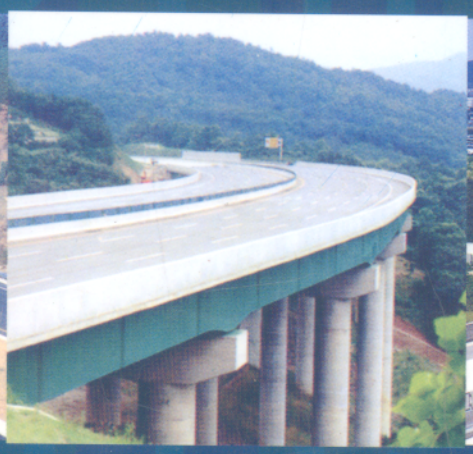
PGS.TS NGUYỄN XUÂN VINH


PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN Clothoid CHO ĐƯỜNG ÔTÔ

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

PGS. TS. NGUYỄN XUÂN VINH

PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID CHO ĐƯỜNG ÔTÔ

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2006

LỜI GIỚI THIỆU

Chất lượng khai thác đường ôtô hiện đại ngày càng đòi hỏi được nâng cao một cách đồng bộ cả về chất lượng công trình nền mặt đường và cả về chất lượng các yếu tố hình học của đường. Mặt đường càng tốt, càng bằng phẳng, trong khi tuyến đường thiết kế phối hợp không gian không tốt thì đó lại là một yếu tố tiềm ẩn gây ra tai nạn giao thông. Chính vì vậy ở các nước phát triển lâu nay đã đưa ra các tiêu chuẩn và phương pháp thiết kế tuyến đường, trong đó có phương pháp thiết kế tuyến clothoid, nhằm bảo đảm cho tuyến đường không những phù hợp với điều kiện chuyển động của ôtô về mặt động lực học mà còn tạo điều kiện cho người lái xe bớt mệt mỏi, bớt căng thẳng và dễ phán đoán đúng đối với đoạn đường phía trước thông qua các thu nhận về thị giác và cảm giác của chính mình.

Tuyến clothoid là tuyến đường ôtô được cắm bằng các đường cong tròn và đường cong clothoid nối tiếp nhau (không có đoạn thẳng chêm hoặc đoạn thẳng chêm rất ngắn không đáng kể). Các đoạn tuyến clothoid ở đây không còn là một yếu tố phụ của tuyến mà trở thành yếu tố chính có vai trò ngang với các đoạn cong tròn khác. Việc sử dụng đường cong clothoid như là một yếu tố tuyến độc lập, thậm chí việc cắm tuyến clothoid toàn bộ trên cả bình đồ và trắc dọc đường ôtô là một giải pháp để bảo đảm đến mức tối đa độ đều đặn và rõ ràng về quang học của tuyến đường và cả để bảo đảm thích hợp về mặt động lực học ôtô, từ đó tạo thuận lợi tối đa cho người lái xe đánh giá và hành xử khi điều khiển phương tiện, góp phần giảm thiểu tai nạn giao thông và tăng chất lượng khai thác của đường.

*Với suy nghĩ như trên, chúng tôi rất vui lòng được giới thiệu cuốn sách "**Phương pháp thiết kế tuyến clothoid cho đường ôtô**" của PGS. TS. Nguyễn Xuân Vinh do Nhà xuất bản Xây dựng ấn hành với các bạn đọc, mà trước hết là với những người làm công tác thiết kế đường. Và cho rằng, đây là một phương pháp thiết kế tuyến đường ôtô nên được xem xét áp dụng ở nước ta khi đất nước đang tiến bước trên con đường phát triển công nghiệp hoá và hiện đại hoá hiện nay.*

Hà Nội, ngày 13 tháng 5 năm 2006

GS.TS. Dương Học Hải

LỜI NÓI ĐẦU

Phương pháp thiết kế tuyến clothoid, trong đó đường cong clothoid được coi là một yếu tố độc lập như đối với các yếu tố đường thẳng và đường cong tròn, được sử dụng để thiết kế, tạo nên một tuyến đường ôtô mềm mại, bằng phẳng về mặt quang học, đều đặn trong không gian, thoả mãn các yêu cầu về thụ cảm thị giác của lái xe và phù hợp với điều kiện địa hình, phong cảnh xung quanh theo các nguyên tắc thiết kế không gian và cảnh quan đường ôtô, sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho xe chạy an toàn với tốc độ cao. Đó là mục đích và nội dung được đề cập trong cuốn sách này.

Nội dung của cuốn sách bao gồm bảy chương :

Từ chương 1 đến chương 5 trình bày lý thuyết về đường cong clothoid từ vị trí được sử dụng là yếu tố phụ với vai trò là đường cong chuyển tiếp nối đường thẳng với đường cong tròn như các dạng đường cong toán học khác (đường hoa thị Lemniscat, đường Parabol bậc ba ...) đã được sử dụng thành một yếu tố độc lập với những nghiên cứu kỹ lưỡng về các thông số cùng những nguyên tắc kết hợp giữa chúng với nhau và giữa chúng với các yếu tố đường thẳng, đường cong tròn tạo nên một phương pháp vạch tuyến mới – phương pháp thiết kế tuyến clothoid, được áp dụng để thiết kế bình đồ cho các tuyến đường ôtô, đặc biệt đối với đường ôtô cấp cao, đường cao tốc.

Những nghiên cứu gần đây nhất của nhiều nước trên thế giới về an toàn giao thông đã đề ra các tiêu chuẩn an toàn nhằm đánh giá chất lượng của một đồ án thiết kế xây dựng hay cải tạo tuyến đường đã được chúng tôi lưu tâm và cập nhật trong nội dung của chương 6.

Để bạn đọc dễ dàng nắm bắt được những vấn đề lý thuyết đã trình bày, chúng tôi dành hẳn một chương cuối cùng (chương 7) đưa ra một ví dụ khá chi tiết thiết kế tuyến clothoid cho một đoạn đường cao tốc cụ thể (đường cao tốc Liên Khương - Đà Lạt) được xây dựng tại một địa phương ở trong nước kèm theo những tính toán đánh giá chất lượng thiết kế tuyến này thông qua các tiêu chuẩn về an toàn giao thông.

Với những nội dung trên, chúng tôi tin rằng cuốn ***"Phương pháp thiết kế tuyến clothoid cho đường ôtô"*** *sẽ là tài liệu tham khảo rất hữu ích cho những kỹ sư đường bộ, đặc biệt là những kỹ sư đã và đang tham gia thiết kế, xây dựng các đường ôtô cao tốc ở nước ta hiện nay.*

Tác giả xin chân trọng cảm ơn những khích lệ quý báu của GS.TS. Dương Học Hải và sự giúp đỡ kịp thời của Nhà xuất bản Xây dựng cùng các đồng nghiệp để cuốn sách này được ra mắt bạn đọc.

Vì trình độ và kinh nghiệm có hạn, chúng tôi mong được sự chỉ bảo của các chuyên gia cũng như những góp ý của bạn đọc xa gần.

Tác giả

Chương 1
ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP TRÊN ĐƯỜNG ÔTÔ

Nghiên cứu thiết kế các đường cong tại những vị trí đổi hướng của tuyến đường bao gồm: lựa chọn bán kính đường cong tròn, chiều dài và thông số của các đường cong chuyển tiếp clothoid, sự phối hợp giữa các đường cong kề liền và mối quan hệ giữa các yếu tố của tuyến đường là những vấn đề cần thiết để nâng cao chất lượng của đồ án thiết kế.

Phối hợp tốt và hợp lý các yếu tố khi thiết kế tuyến sẽ mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật trong đầu tư xây dựng cũng như quá trình khai thác tuyến đường, bảo đảm cho xe chạy an toàn, thuận lợi với tốc độ cao cho phép.

1.1. SỰ CHUYỂN ĐỘNG CỦA ÔTÔ TRÊN ĐƯỜNG CONG

Trên bình đồ, một tuyến đường ôtô thông thường được thiết kế bởi tập hợp các đường cong tròn; để chuyển từ đoạn thẳng sang đường cong có bán kính nhỏ cần phải bố trí đoạn nối siêu cao để chuyển từ trắc ngang hai mái sang trắc ngang một mái có độ dốc bằng độ dốc siêu cao (i_{sc}) nghiêng về phía bụng đường cong.

Việc bố trí đoạn nâng siêu cao được áp dụng cho các đường cong tròn có bán kính nhỏ có siêu cao. Đối với các đường ôtô cấp thấp có tốc độ xe chạy thiết kế không cao thì để chuyển tiếp giữa đường thẳng và đường cong chỉ cần đoạn nối siêu cao là đủ. Nhưng đối với các đường ôtô cấp cao hơn có tốc độ tính toán lớn hơn thì ngoài việc phải có đủ đoạn nối siêu cao còn phải bố trí đường cong chuyển tiếp để nối tuyến từ đoạn thẳng vào đường tròn cơ bản, và đường cong chuyển tiếp này phải thực hiện cả nhiệm vụ của đoạn nâng siêu cao nếu như bán kính đường cong thiết kế có trị số nhỏ quy định ứng với mỗi cấp đường.

Theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Việt Nam hiện hành (TCVN 4054-05) thì đường ôtô được thiết kế với tốc độ $V_{tk} \leq 60$km/h không cần làm đường cong chuyển tiếp mà chỉ cần bố trí đoạn nối siêu cao.

Có thể xác định chiều dài đoạn nối siêu cao theo công thức tính toán thông thường:

$$L_{nsc} = \frac{(B+\Delta).i_{sc}}{i_{nsc}}, \text{m} \qquad (1.1)$$

i_{sc} - độ dốc siêu cao phụ thuộc vào bán kính thiết kế;

i_{nsc} - độ dốc dọc phụ (độ dốc nâng siêu cao):

i_{nsc} = 0,5% đối với đường có $V_{tk} \geq 60$km/h;

i_{nsc} = 1% đối với đường có V_{tk} = 20 và 40 km/h;

B - chiều rộng phần xe chạy (m);

Δ - độ mở rộng phần xe chạy (m).

Hình 1.1 là sơ đồ bố trí đoạn nối siêu cao.

Trường hợp đoạn nối siêu cao L_{nsc} nằm trên đoạn đường có độ dốc dọc tại tim đường là i_d thì độ dốc nâng siêu cao i_{nsc} được xác định từ công thức:

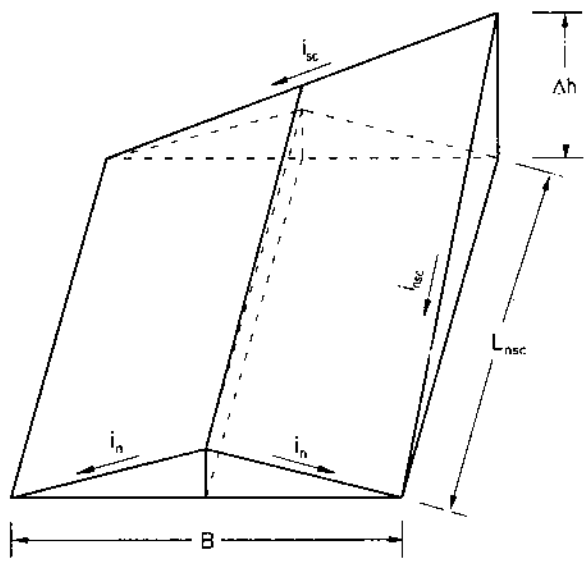
$$i_{nsc} = i_d + \frac{B.i_n}{L_{nsc}} \text{ (khi độ mở rộng mặt đường } \Delta = 0); \quad (1.2)$$

$$i_{nsc} = i_d + \frac{(B+\Delta).i_n}{L_{nsc}} \text{ (khi độ mở rộng mặt đường } \Delta \neq 0); \quad (1.3)$$

Khi thiết kế, tính toán chiều dài đoạn nối siêu cao theo các công thức 1.1 đến 1.3, bạn đọc cần đối chiếu với các trị số chiều dài đoạn nối siêu cao tối thiểu phải phụ thuộc vào tốc độ thiết kế (V_{tk}), bán kính đường cong (R) và trị số độ dốc siêu cao (i_{sc}) được nêu trong quy trình TCVN 4054-05 (bảng 13 và bảng 14).

Theo tiêu chuẩn thiết đường ôtô của Việt Nam (TCVN 4054-05) thì: Khi đường ôtô được thiết kế với tốc độ $V_{tk} \geq 60$ km/h bắt buộc phải thiết kế đường cong chuyển tiếp cho các đường cong có bán kính R ≤ 500 m (trường hợp V_{tk} = 60 km/h) và R ≤ 1000 m (trường hợp V_{tk} = 80 km/h).

Còn theo AASHTO thì chỉ thiết kế đường cong chuyển tiếp khi đường ôtô được thiết kế với tốc độ $V_{tk} \geq 50$ km/h



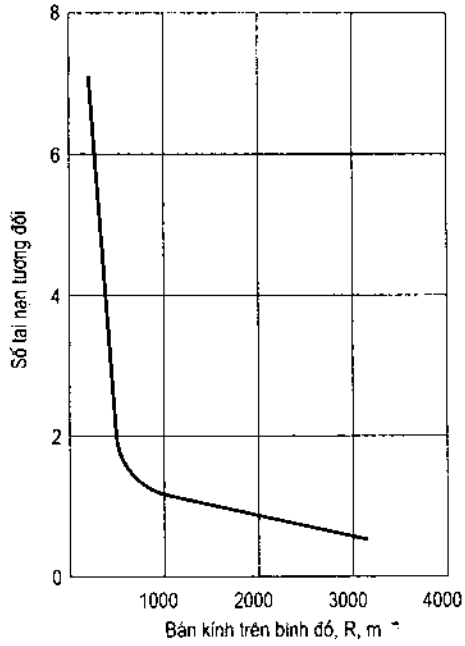
Hình 1.1

Việc lựa chọn bán kính các đường cong liên quan chặt chẽ đến an toàn và tốc độ xe chạy trên đường, đồng thời liên quan đến chiều dài và thông số của đường cong chuyển tiếp được lựa chọn khi thiết kế.

Số tai nạn giao thông giảm khi tăng bán kính đường cong nằm. Nghĩa là đường cong nằm càng có bán kính lớn thì an toàn giao thông càng cao. Sự phụ thuộc của số tai nạn giao thông vào bán kính đường cong trên bình đồ đã được các tác giả ở nhiều nước nghiên cứu. Biểu đồ thể hiện trên hình 1.2 là đường cong lập được sau khi đã xử lý tập hợp các kết quả nghiên cứu của Coburn (Anh), F.Bitzl (Cộng hoà liên bang Đức), Balogh (Hungary), Edamura (Nhật), ... M.Raff(Mỹ), A.P.Vaxiliev và V.F.Babcôv (Nga) cho thấy hệ số giảm tai nạn giao thông phụ thuộc vào mức độ tăng bán kính đường cong nằm. Các số liệu nghiên cứu được phân bố khá chặt chẽ và có dạng gần với đường cong Hyperbolic.

Theo V.F.Babcôv (Nga) thì tai nạn giao thông tại đường cong có bán kính 100 - 150m cao gấp 4 - 5 lần tại đường cong có bán kính 150 - 300 m. Nếu bán kính đường cong từ 300 - 500 m thì tai nạn giao thông giảm xuống 7 - 9 lần.

Nghiên cứu của F. Bilzl cho thấy số tai nạn trên 1 triệu xe - km ở CHLB Đức tại các đường cong có bán kính nhỏ (R < 125m) là 12,12 thì tại đường cong có bán kính từ 750 - 1000 m số tai nạn giảm một cách đáng kể, chỉ còn 1,96 vụ/1 triệu xe - km. Tương tự tại Nga A.P.Vaxiliev đã nghiên cứu trên các đường ôtô vùng núi cao cũng cho ta thấy số tai nạn giảm dần khi tăng bán kính đường cong trên bình đồ. Cụ thể như sau:



Hình 1.2

Bán kính đường cong R, m	50	100	250	500	1000
Số tai nạn, vụ/1 triệu xe - km	3,2	2,8	0,9	0,8	0,4

Rõ ràng tăng bán kính đường cong từ 50m lên gấp 5 lần (R = 250m) thì số tai nạn giảm xuống xấp xỉ 4 lần.

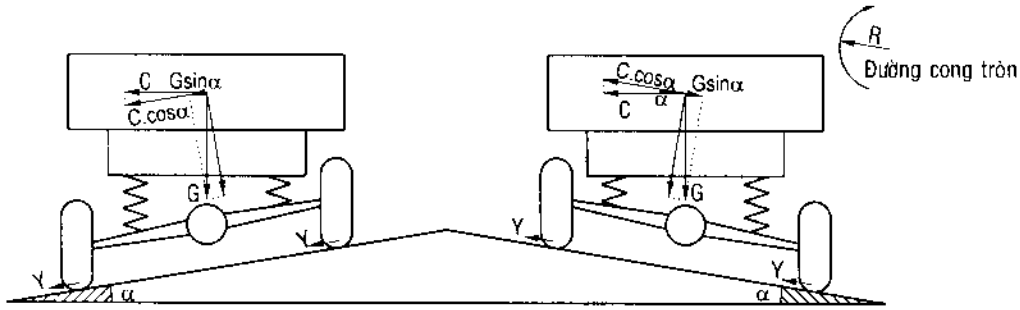
Số tai nạn giao thông thường xảy ra nhiều tại các đường cong có bán kính nhỏ đặt ở cuối đoạn thẳng dài do sự thay đổi đột ngột từ đoạn thẳng có bán kính R = ∞ chuyển ngay sang đường cong có bán kính nhỏ khiến lái xe hoặc chủ quan hoặc xử lý giảm tốc độ không kịp. Ngược lại, nếu tăng số lượng các đường cong dù có bán kính nhỏ, tức là tăng tần số bố trí đường cong trên 1km đường lại không làm tăng số tai nạn giao

thông, vì trên đoạn đường có nhiều đường cong liên tục sẽ làm cho lái xe chú ý và thận trọng hơn khi điều khiển xe đi trên các đoạn đường khó khăn và phức tạp.

Chúng ta cần thấy rõ rằng, trong điều kiện địa hình phức tạp cần thiết phải bố trí nhiều đường cong thì không nên xem xét thiết kế từng đường cong với các bán kính riêng biệt mà phải nghiên cứu cả một tổ hợp các đường cong để thiết kế cho hợp lý. Không nên bố trí đường cong có bán kính lớn giữa hai đường cong có bán kính nhỏ ở gần nhau, vì lái xe không thể đi với tốc độ thấp ở đường cong có bán kính nhỏ thứ nhất kịp tăng tốc đi vào đường cong bán kính lớn rồi ngay lập tức lại phải giảm tốc để vào đường cong bán kính nhỏ thứ hai. Mặt khác, càng nguy hại hơn nếu chúng ta đặt đường cong bán kính nhỏ nằm giữa hai đường cong bán kính lớn, trường hợp này thường hay xảy ra tai nạn do lái xe đang đi với tốc độ cao phải đột ngột giảm tốc mà không được chuẩn bị trước khi đi từ đường cong có bán kính lớn vào đường cong có bán kính nhỏ. Do vậy, một nguyên tắc khi lựa chọn bán kính của hai đường cong kề bên là sao cho tốc độ xe chạy trên hai đường cong chênh lệch nhau không quá 10–15 km/h, đồng thời phải bố trí đường cong chuyển tiếp với chiều dài phù hợp với địa hình và điều kiện xe chạy.

Để thấy rõ vai trò của đường cong chuyển tiếp ta cần phải khảo sát chuyển động của ôtô trên đường cong với các lực tác dụng lên ôtô khi xe chạy trên đường cong có bán kính không đổi.

Trước tiên, ta giả thiết xe đi trên đường cong tròn không bố trí siêu cao và có mặt cắt ngang 2 mái (xem hình 1.3). khi đó xe có thể đi ở bụng đường cong hoặc lưng đường cong. Lực ly tâm C xuất hiện hướng ra ngoài đường cong và vuông góc với hướng xe chạy.



Hình 1.3

Khi xe chạy với tốc độ không đổi v trên đường cong bán kính R thì lực ly tâm C được xác định bằng:

$$C = \frac{m.v^2}{gR}$$

Hay $$C = \frac{G.v^2}{R} \quad (1.4)$$

Trong đo: R - bán kính đường cong, m;

m, G - khối lượng (kg) và trọng lượng (kG) của ôtô;

g - gia tốc trọng trường ($g = 9,81$ m/s^2);

v - tốc độ xe chạy, m/s.

Lực ly tâm này xuất hiện khi ôtô đi từ đường thẳng vào đường cong. Xe chạy với tốc độ càng cao, bán kính đường cong càng nhỏ thì lực ly tâm xuất hiện càng lớn và dễ gây mất ổn định khi xe chạy, ôtô có thể bị trượt ngang. Lực ly tâm gây ra hiện tượng di chuyển vị trí trọng tâm của xe, phân phối lại trọng lượng lên bánh xe làm bánh xe bị lệch sang mép do tác dụng của lực ngang Y (xem hình 1.3) bằng:

$$Y = C.\cos\alpha \pm G.\sin\alpha \quad (1.5)$$

Trong đó: α - góc nghiêng của phần xe chạy.

Thành phần thứ 2 của (1.5) mang dấu (+) khi xe chạy phía ngoài (phía bên trái) đường cong và mang dấu (-) khi xe chạy phía bên trong (bên phải) đường cong.

Lực ngang Y là tổng hợp các lực gây ra hiện tượng trượt của ôtô. Sự biến dạng của lốp xe gây khó khăn cho việc điều khiển ôtô của lái xe và hiện tượng phân bố lại tải trọng khiến bánh xe ở phía bên trong đường cong chịu tải ít hơn bánh xe ở phía ngoài. Nếu trị số lực ngang đủ lớn làm cho lực kéo của bánh xe phía trong lớn hơn lực bám (do lực bám ngang φ_2 giảm) sẽ làm cho bánh xe quay tại chỗ và có thể xe bị trượt.

Một trong những biện pháp để giảm lực ngang tại các đường cong có bán kính nhỏ là cấu tạo trắc ngang một mái tạo thành siêu cao ngiêng về phía bụng đường cong để trị số lực ngang giảm bớt một trị số $G\sin\alpha$.

Biện pháp làm giảm lực ngang là làm giảm lực ly tâm bằng cách tăng bán kính đường cong trong mọi trường hợp có thể phụ thuộc vào địa hình, địa chất và cấp hạng của đường.

Hệ số lực ngang chính là lực ngang đơn vị và bằng:

$$\mu = \frac{Y}{G} = \frac{v^2}{gR} \pm i \quad (1.6)$$

Thông qua hệ số lực ngang μ mà xác định được điều kiện thuận lợi cho hành khách đi trên xe. Bằng thực nghiệm cho thấy khi $\mu = 0,10$ hành khách không cảm thấy có tác động của lực ngang, khi $\mu = 0,15$ hành khách có cảm giác đang đi trên đường cong, nghĩa là tác động của lực ngang còn chưa đáng kể và khi $\mu = 0,30$ thì hành khác thực sự bị xô đẩy dạt ra phía ngoài đường cong. Do vậy, quyết định bán kính tối thiểu của đường cong nằm được tính với trị số giới hạn $\mu = 0,15$; với bán kính này phải bố trí siêu cao:

Từ: $$R = \frac{v^2}{g.(\mu \pm i)} \quad (1.7)$$

Ta xác định bán kính tối thiểu đường cong nằm ứng với độ dốc siêu cao lớn nhất bằng:

$$R_{min} = \frac{v^2}{g.\left(0,15 + i_{sc}^{max}\right)} \quad (1.7a)$$

Hay $$R_{min} = \frac{V^2}{127\left(0,15 + i_{sc}^{max}\right)}, \text{ m} \quad (1.7b)$$

Trong đó: V - tốc độ thiết kế, km/h;

i_{sc}^{max} - độ dốc siêu cao lớn nhất chọn theo cấp đường, %.

Độ dốc siêu cao lớn nhất (i_{sc}^{max}) được lựa chọn phụ thuộc vào tốc độ xe chạy. Tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Việt Nam (TCVN 4054-05) quy định độ dốc siêu cao lớn nhất i_{sc}^{max} = 8% ứng với tốc độ thiết kế V_{tk} = 60 ÷ 120 km/h; i_{sc}^{max} = 7% ứng với V_{tk} = 60km/h và i_{sc}^{max} = 6% ứng với $V_{tk} \leq 40$ km/h. Trị số i_{sc} = 6% được quy định tương ứng với hệ số bám ngang φ_2 = 0,18 và giả thiết độ dốc siêu cao tiếp nhận 1/4 lực ngang. Quy trình thiết kế đường ôtô của Mỹ (AASHTO) quy định độ dốc tối đa của siêu cao còn phụ thuộc vào loại đường và cũng chọn i_{sc}^{max} = 6% cho tất cả các cấp đường đô thị, cụ thể như sau:

Tốc độ thiết kế V, km/h	20	30	40	60	80	100	110	120
Độ dốc siêu cao lớn nhất, i_{sc}^{max} (%)	Đường đô thị							
	6	6	6	6	6	6	6	6
	Đường ngoài đô thị							
	6	6	6	7	8	9	9	9

Để bảo đảm ôtô ổn định chống được trượt ngang (dịch ngang theo bề mặt phần xe chạy) thì từ điều kiện: tổng lực chống trượt bao gồm lực ngang và lực kéo (hay lực hãm) phải nhỏ hơn hoặc bằng lực bám ngang $G_b.\varphi_2$ (G_b tải trọng bám của bánh xe xuống mặt đường, và φ_2 là hệ số bám ngang) ta xác định được hệ số lực ngang μ không được vượt quá hệ số bám ngang (xem hình 1.3). Tức là chọn $\varphi_2 = \mu$. Bán kính đường cong được xác định qua hệ số bám ngang φ_2 như sau:

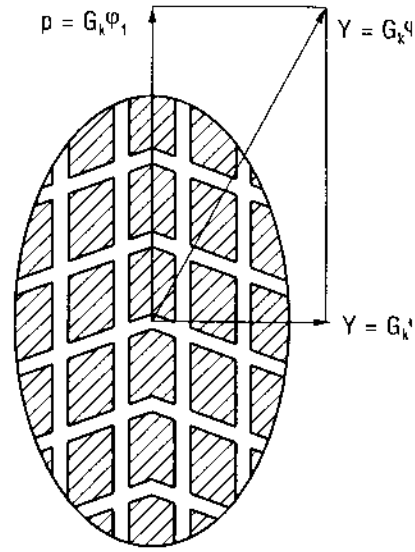
$$R = \frac{v^2}{g.(\varphi_2 \pm i)} \quad (1.8)$$

Trong công thức (1.8) trị số φ_2 được chọn bằng 0,15÷0,20 ứng với tình trạng mặt đường ẩm và sạch.

Trên từng đoạn đường hệ số bám φ có một trị số xác định và:

$$\varphi = \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2} \qquad (1.9)$$

Bởi vậy, cần phải bảo đảm mối tương quan hợp lý giữa hệ số bám dọc φ_1 và hệ số bám ngang φ_2. Khi tính toán nếu chọn φ_1 càng lớn thì φ_2 càng giảm và càng có khả năng mất an toàn xe chạy do bị trượt ngang, nhất là khi xe leo dốc.



Hình 1.4

Ở mỗi nước khi tính toán đã chọn trị số hệ số bám ngang có khác nhau. CHLB Đức chọn $\varphi_2 = 0,12$ với giả thiết cho rằng 1/3 lực ngang được nhận bởi siêu cao và 2/3 lực ngang được nhận bởi độ bám của bánh xe với mặt đường. Achentina xác định hệ số bám ngang phụ thuộc vào tốc độ như sau:

$$\varphi_2 = \frac{1}{2 + \sqrt[3]{V}} \qquad (1.10)$$

Trong đó: V - tốc độ thiết kế, km/h

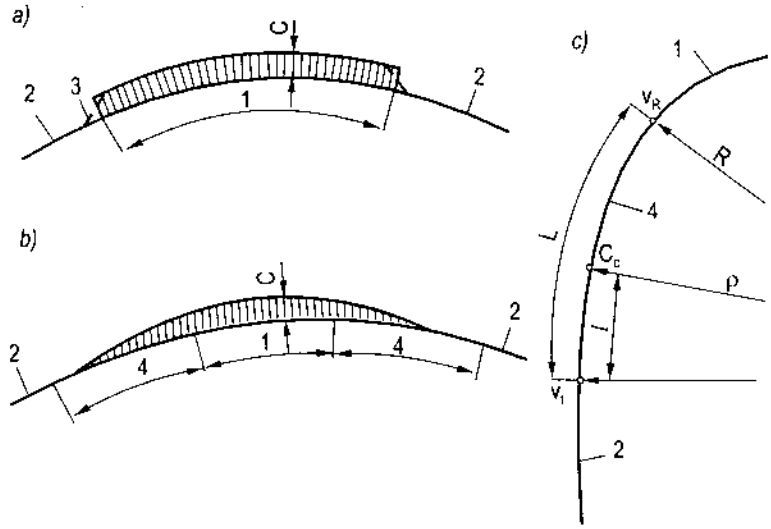
Ở Mỹ, bán kính tối thiểu của đường cong tròn được xác định theo công thức (1.8) và hệ số bám ngang được chọn phụ thuộc vào tốc độ xe chạy. Cụ thể là:

Tốc độ xe chạy V, km/h	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Hệ số bám ngang, φ_2	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09

1.2. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH CỦA ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP

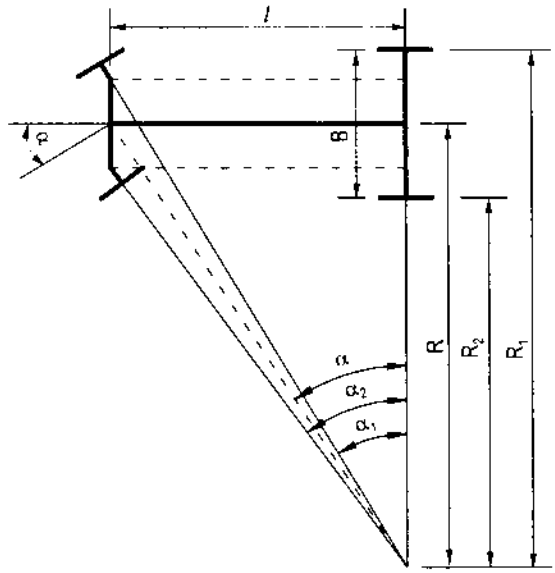
Những nghiên cứu về ổn định và an toàn xe chạy trên đường cong được nêu ở trên cho thấy sự xuất hiện "đột ngột" của lực ly tâm C, một thành phần cơ bản của lực ngang gây nguy hiểm cho xe đi trên các đường cong bán kính nhỏ, cũng như những số liệu thống kê ở nhiều nước khác nhau về tai nạn giao thông xảy ra trên các đường vòng giúp ta tìm ra giải pháp thiết kế khi lựa chọn tốc độ tính toán và quyết định các trị số bán kính cong, đồng thời thấy rõ sự cần thiết phải nghiên cứu xây dựng một đoạn đường cong chuyển tiếp có bán kính giảm dần để cho ôtô khi đi từ đường thẳng có bán kính bằng vô cùng với lực ly tâm C = 0 dần dần tiếp nhận một lực ly tâm cũng tăng từ từ đến một trị số xác định $C = \frac{Gv^2}{R}$ tại đường cong có bán kính R.

Ta thể hiện để thấy rõ điều này trên hình 1.5. Nếu chỉ kết hợp trực tiếp giữa đường thẳng và đường cong tròn thì lực ly tâm C xuất hiện đột biến và có trị số không đổi khi xe chạy trên đường cong tròn, ôtô vừa ra khỏi đường cong lập tức lực ly tâm có trị số bằng 0 (hình 1.5a). Nếu bố trí đường cong chuyển tiếp ở hai đầu đường cong tròn thì lực ly tâm C sẽ tăng dần và chỉ có trị số không đổi khi xe chạy trên đường tròn, sau đó giảm dần khi xe ra khỏi đường cong (hình 1.5b). Trong giới hạn của đường cong chuyển tiếp độ cong và tốc độ xe chạy được thay đổi. Hình 1.5c là sơ đồ nối đường cong chuyển tiếp giữa đường thẳng và đường cong tròn cơ bản.



Hình 1.5:

1- Đường cong tròn; 2- Đường thẳng;
3- Sự thay đổi của lực ly tâm; 4- Đường cong chuyển tiếp



Hình 1.6

Để tìm ra một dạng đường cong dùng làm đường cong chuyển tiếp trước hết ta khảo sát các điều kiện xe chạy trên đoạn cong chuyển tiếp này.

Trên hình (1.6) biểu thị góc quay α của ôtô ứng với bán kính quay R. Khi vào đường cong ôtô thực hiện hai chuyển động độc lập bao gồm: chuyển động tịnh tiến với tốc độ v (m/s) và chuyển động quay với tốc độ góc ω (1/s). Nếu gọi S là chiều dài đường cong chuyển tiếp và α là góc ngoặt của bánh xe trước thì vận tốc v và tốc độ góc ω xác định theo các công thức:

$$v = \frac{ds}{dt} \tag{1.11}$$

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} \tag{1.12}$$

Từ hình (1.6) ta có:

$$tg\alpha = \frac{l}{R} \tag{1.13}$$

Trong đó: l - chiều dài của khung gầm ôtô;

R - bán kính đường quay.

Do bán kính đường cong rất lớn so với chiều dài khung gầm xe nên góc quay $\alpha \approx \frac{l}{\rho}$. Từ đó:

$$d\alpha = -\frac{l^2}{\rho^2} d\rho \tag{1.14}$$

Và

$$\omega = -\frac{l^2}{\rho^2}\frac{d\rho}{ds} \tag{1.15}$$

Thay các công thức (1.11), (1.12), vào (1.15) ta được:

$$ds = -\frac{l.v.d\rho}{\omega.\rho^2} \tag{1.16}$$

Khi xe chạy và ở đường cong với tốc độ góc không đổi $\omega = \omega_0 = const$. Tích phân phương trình (1.16) sẽ được:

$$s = \frac{l.v}{\omega_0.\rho} + C \tag{1.17}$$

Xác định hằng số tích phân C theo điều kiện ứng với đầu đường cong chuyển tiếp thì s = 0, bán kính $\rho = \infty$ nên C = 0, và phương trình (1.17) có dạng:

$$s = \frac{l.v}{\omega_0.\rho} \tag{1.18}$$

Trong trường hợp cụ thể tốc độ v và tốc độ góc ω_0 cũng như chiều dài gầm xe l là các trị số không đổi nên ta đặt $C = \frac{l.v}{\omega_0}$, khi đó phương trình của đường cong chuyển tiếp sẽ là:

$$S = \frac{C}{\rho} \tag{1.19}$$

Ở cuối đường cong chuyển tiếp có chiều dài là L và bán kính $\rho = R$ nên từ (1.19) ta được:

$$L = \frac{C}{R} \tag{1.20}$$

Và thông số của đường cong chuyển tiếp được biểu thị bằng:

$$C = R.L \tag{1.21}$$

Như vậy: bố trí đường cong chuyển tiếp có dạng (1.19) theo toạ độ cực sẽ bảo đảm cho gia tốc ly tâm tăng từ từ làm cho góc ngoặt của bánh lái cũng tăng từ từ khiến cho xe đi từ đường thẳng vào đường cong một cách thuận lợi.

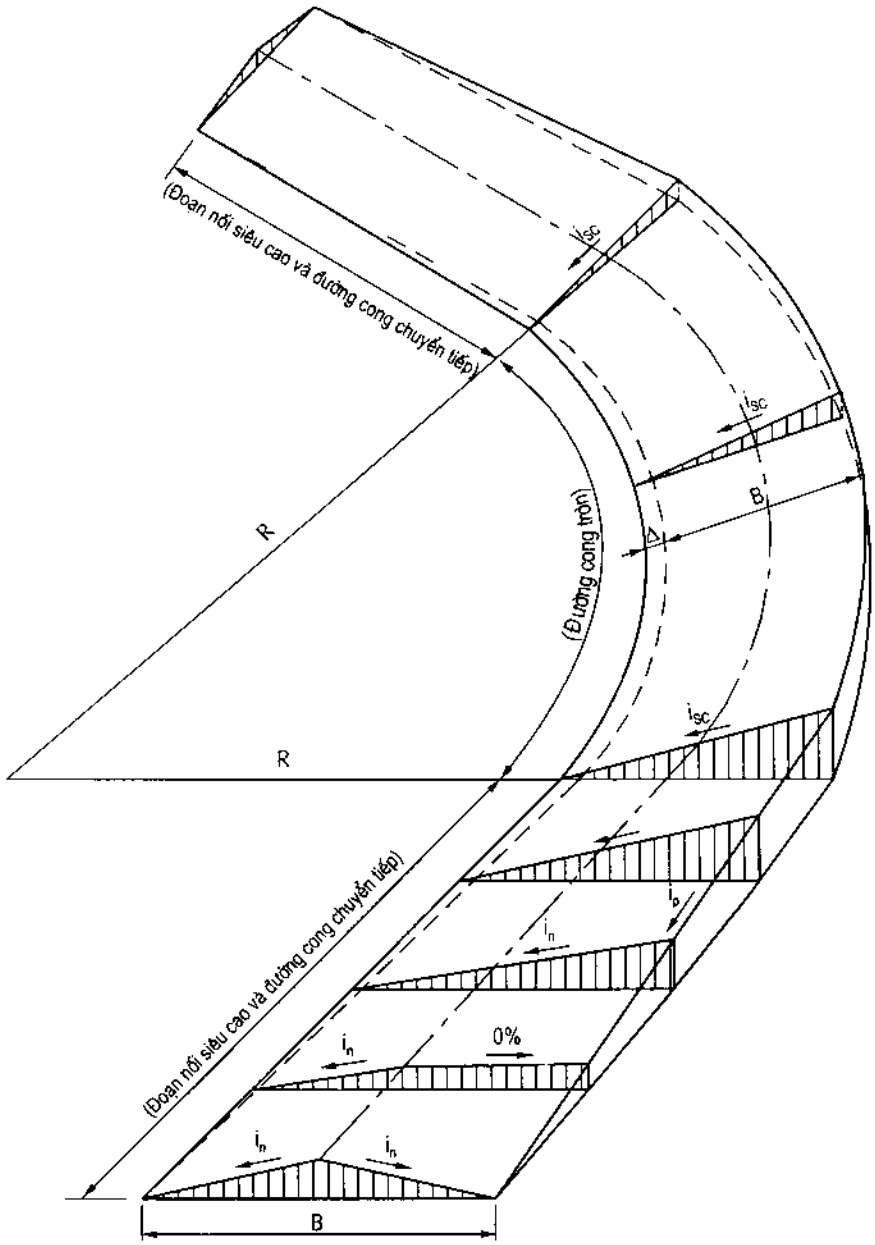
Tuy nhiên, quan sát thực nghiệm cho thấy chỉ khi ôtô đi vào đường cong bán kính lớn thì quỹ đạo của xe mới không khác nhiều với quỹ đạo của đường cong tròn và sai lệch giữa đường cong chuyển tiếp được tính theo lý thuyết so với thực tế khoảng 30 - 40 cm. Do vậy, với các đường cấp thấp có tốc độ xe chạy nhỏ cũng không cần phải bố trí đường cong chuyển tiếp mà chỉ cần xây dựng đoạn nối siêu cao để chuyển trắc ngang từ hai mái sang trắc ngang một mái là đủ.

1.3. XÁC ĐỊNH CHIỀU DÀI CỦA ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN ÁP DỤNG

Một yêu cầu cơ bản khi xác định chiều dài của đường cong chuyển tiếp là phải thoả mãn điều kiện sao cho lực ly tâm tăng từ từ, không gây cảm giác khó chịu cho hành khách ngồi trên xe. Nghĩa là, trên chiều dài của đường cong chuyển tiếp độ tăng của gia tốc ly tâm I không được vượt quá trị số cho phép khiến người đi xe có cảm giác khó chịu. Điều kiện này ta cho là điều kiện đầu tiên.

Điều kiện tiếp theo (điều kiện thứ hai) là, trên chiều dài đường cong chuyển tiếp phải thực hiện việc chuyển từ trắc ngang 2 mái trên đường thẳng dần dần thành trắc ngang một mái khi đi vào đường cong có bán kính nhỏ phải bố trí siêu cao với độ dốc i_{sc}. Trên hình (1.7) trình bày sơ đồ đoạn đường cong chuyển tiếp thực hiện cả chức năng nối siêu cao. Theo điều kiện này thì tại những đường cong chuyển tiếp chiều dài đường cong chuyển tiếp được lựa chọn không nhỏ hơn chiều dài đoạn nối siêu cao tính theo công thức (1.1). ($L_{ct} \geq L_{nsc}$)

Ngoài hai điều kiện trên, đối với đường ôtô cấp hạng cao và đường cao tốc (freeway, expressway) có tốc độ thiết kế cao thì chiều dài đường cong chuyển tiếp phải được lựa chọn sao cho tuyến được hài hoà, êm thuận và đều đặn trong không gian, đạt được độ bằng phẳng về mặt quang học. Đây là điều kiện thứ ba - điều kiện này giúp cho lái xe yên tâm giữ vững tốc độ khi cho xe chạy trên đường cong chuyển tiếp và làm cho hành khách có cảm giác dễ chịu. Theo điều kiện này thì chiều dài đường cong chuyển tiếp thường có trị số lớn hơn chiều dài xác định theo điều kiện bảo đảm cho gia tốc ly tâm tăng từ từ.



Hình 1.7

Dưới đây ta xác định chiều dài tối thiểu của đường cong chuyển tiếp thoả mãn điều kiện thứ nhất như sau:

Theo nguyên tắc gia tốc ly tâm tăng từ từ, nó thay đổi từ trị số bằng 0 trên đường thẳng đến trị số lớn nhất khi vào đường cong tròn bằng $\frac{v^2}{R}$.

Độ tăng của gia tốc ly tâm được xác định bằng công thức:

$$I = \frac{v^2}{R.t} \qquad (1.22)$$

Thời gian xe đi trên đoạn đường cong chuyển tiếp dài L bằng $t = \frac{L}{v}$. Thay trị số t vào công thức (1.22) ta được:

$$I = \frac{v^2}{R.\frac{L}{v}}$$

Hay

$$I = \frac{v^3}{R.L}, \quad m/s^3 \qquad (1.22a)$$

Từ (1.22a) ta xác định được chiều dài đường cong chuyển tiếp L bằng:

$$L = \frac{v^3}{R.I}, m \qquad (1.23)$$

Trong đó: v - tốc độ xe chạy không đổi trên đường cong chuyển tiếp, m/s;

R - bán kính đường cong tròn, m.

Nếu V tính bằng km/h và L tính bằng mét, thì:

$$L = \frac{V^3}{47R.I}, m \qquad (1.24)$$

Ở các nước khác nhau đã nghiên cứu và đưa ra các trị số giới hạn khác nhau về độ tăng của gia tốc ly tâm I. Nghiên cứu của Shorte (Mỹ) đã đưa ra công thức xác định chiều dài đường cong chuyển tiếp khi trên đường cong chuyển tiếp thực hiện đoạn nối siêu cao sẽ xuất hiện một thành phần của trọng lượng ôtô làm giảm lực ly tâm như sau:

$$L = \frac{3,15V}{I}\left(\frac{V^2}{R} - 15.i_{sc}\right) \qquad (1.25)$$

Và đề nghị chọn I = 1,3ft/s^3 (1feet = 0,3048m). Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế của Mỹ quy định trị số I phụ thuộc vào tốc độ thiết kế. Cụ thể I = 0,6 m/s^3 khi $V_{tk} \geq 80$ km/h và

$I = 0,76 - 1,22\ m/s^3$ ở tốc độ xe chạy nhỏ hơn và chiều dài đường cong chuyển tiếp tối thiểu của Mỹ xác định theo công thức:

$$L = \frac{0,0702V^3}{RI} \tag{1.26}$$

Ở Pháp, tính chiều dài đường cong chuyển tiếp tối thiểu theo điều kiện gia tốc ly tâm ở đầu đường cong bằng 0 và đạt trị số bằng $\left(\frac{v^2}{R} - g.i_{sc}\right)$ tại cuối đường cong chuyển tiếp (g - gia tốc trọng trường, m/s^2). Độ tăng của gia tốc ly tâm sẽ là:

$$I = \left(\frac{v^2}{R} - g.i_{sc}\right)\frac{v}{L} \tag{1.27}$$

Từ công thức (1.27) xác định chiều dài đường cong chuyển tiếp:

$$L = \left(\frac{v^2}{R} - g.i_{sc}\right)\frac{v}{I} \tag{1.28}$$

Trị số I được lấy bằng $I = 0,65 \div 1,0\ m/s^3$

Tại CHLB Đức cũng xác định gia tốc ly tâm như trên và từ phương trình đường cong chuyển tiếp (dạng xoắn ốc bức xạ clothoid) $A^2 = LR$ với $L = v.t$ thì $R = \frac{A^2}{v.t}$ và độ tăng gia tốc ly tâm $I = \frac{d}{dt}\left(\frac{v^2}{R} - g.i_{sc}\right)$, với điều kiện tại mỗi đường cong thì $(g.i_{sc})$ là một trị số không đổi, ta có:

$$I = \frac{v^3}{A^2} \tag{1.29}$$

Trị số I thường chọn bằng $I = 0,4 \div 0,6\ m/s^3$. nhưng cũng tại CHLB Đức lại cho rằng, trong điều kiện thuận lợi, xe chạy với tốc độ cao thì chọn $I = 0,3\ m/s^3$, ngược lại trong điều kiện xe chạy tốc độ không cao thì chọn $I = 0,8\ m/s^3$.

Tại Thụy Điển lấy $I = 0,8\ m/s^3$; Anh $I = 0,8\ m/s^3$; Ý $I = 0,8\ m/s^3$.

Tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô ở Việt Nam trước đây (TCVN 4054-98) quy định chọn $I = 0,5\ m/s^3$. Theo đó, công thức (1.24) sẽ viết thành:

$$L = \frac{V^3}{23,5R} \tag{1.30}$$

So sánh công thức (1.24) áp dụng ở Việt Nam và công thức (1.26) của Mỹ cho thấy hai công thức này có dạng tương tự nhau, chỉ khác nhau bởi hệ số do chọn trị số độ tăng gia tốc ly tâm khác nhau mà thôi.

Từ công thức (1.30) cho thấy khi tăng bán kính đường cong tròn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp giảm; ngược lại, tăng tốc độ xe chạy thiết kế thì chiều dài đường cong chuyển tiếp lại tăng lên đáng kể.

Ví dụ: chiều dài đường cong chuyển tiếp tối thiểu được tính theo công thức (1.30) với I = 0,5 m/s^3 ứng với tốc độ thiết kế V_{tk} = 60km/h và V_{tk} = 80km/h như sau:

Tốc độ thiết kế V_{tk}, km/h	L_{min} khi bán kính R bằng:			
	500	1000	2000	3000
60	18,38	9,19	4,6	3,06
80	43,57	21,78	10,89	7,26

Kết quả tính toán cho thấy rõ rằng: ứng với tốc độ thiết kế(được quy định cho mỗi cấp đường) nếu bán kính đường cong được thiết kế có trị số lớn thì đường cong chuyển tiếp tính theo điều kiện gia tốc ly tâm tăng theo quy phạm sẽ không còn mấy ý nghĩa vì chiều dài của nó tính được quá ngắn. Vì thế với các bán kính cong R lớn việc quy định xây dựng đường cong chuyển tiếp nhằm thỏa mãn mục đích khác như: để bảo đảm sự đều đặn quang học của tuyến trong không gian.

Các đường cong chuyển tiếp được thiết kế có chiều dài lớn vượt quá chiều dài cần thiết theo điều kiện bảo đảm gia tốc ly tâm tăng dần nhằm mục đích chính là loại bỏ sự sai lệch thị giác về hình dạng tuyến đường khi đang cho xe chạy về phía trước.

Nói chung, để bảo đảm độ đều đặn, bằng phẳng về mặt thị giác khi đi trên đường cong chuyển tiếp thì góc ngoặt của tuyến phải không nhỏ hơn 3^0 và chiều dài đường cong chuyển tiếp không nhỏ hơn 1/4 chiều dài đường cong tròn cơ bản.

Để bảo đảm chuyển đều đặn trắc ngang 2 mái dần dần thành trắc ngang một mái trên đường cong chuyển tiếp thì độ dốc tương đối của mép ngoài phần xe chạy so với vị trí chung của đường thiết kế phải không lớn hơn 1:70 đến 1:200 tuỳ thuộc cấp đường. Theo điều kiện này thì chiều dài đường cong chuyển tiếp được xác định theo công thức:

$$L = n.h \qquad (1.31)$$

Trong đó: 1:n - độ dốc tương đối của đoạn nối siêu cao;

h - độ chênh cao ở cuối đường cong chuyển tiếp.

Xác định chiều dài đường cong chuyển tiếp theo điều kiện (1.31) đặc biệt quan trọng khi đoạn đường cong chuyển tiếp lại được xây dựng trên đường lên dốc có độ dốc dọc cao.

Chiều dài đường cong chuyển tiếp còn được xác định từ điều kiện thời gian hành trình trên đường cong chuyển tiếp. Với lái xe có trình độ chuyên môn trung bình thì thời gian này bằng 3s. Từ đây xác định chiều dài đường cong chuyển tiếp theo điều kiện này bằng:

$$L = 3.v \ , m \qquad (1.32)$$

Chiều dài đường cong chuyển tiếp tối thiểu được xác định từ công thức (1.30) được tính theo điều kiện xe chạy với vận tốc không đổi (vận tốc thiết kế). Từ quan hệ giữa tốc độ cho phép trên đường cong tròn:

$$V = \sqrt{127R(\varphi_2 + i)} \qquad (1.33)$$

cho thấy trong điều kiện tốc độ xe chạy chưa đạt tới trị số tới hạn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp tăng cùng với bán kính đường cong tròn (R) tăng.

Theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Liên Xô cũ thì quan hệ phụ thuộc trên như sau:

Bảng 1.1

R,m	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600 ÷1000	1000 ÷2000
L,m	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	100

Theo kết quả nghiên cứu của M.GOS và V.Vexelư (CH Séc) thì không nhất thiết phải xây dựng đường cong chuyển tiếp tại các đường cong tròn khi tốc độ thiết kế:

V = 120 km/h với $R \geq 1200$m

V = 100 km/h với $R \geq 900$m

V = 80 km/h với $R \geq 700$m

Tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của CHLB Đức quy định không thiết kế đường cong chuyển tiếp với các đường cong như sau:

Khi V_{tk} ,km/h	R_{min}, m
≤ 80	1500 (điều kiện hạn chế 1000)
> 80	3000 (điều kiện hạn chế 2000)

và cũng không thiết kế đường cong chuyển tiếp khi góc ngoặt nhỏ hơn 9^0.

Tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của nước Cộng hòa Pháp quy định chiều dài đường cong chuyển tiếp tối thiểu được tính từ công thức (1.28) và nêu trong bảng (1.2)

Bảng 1.2

Tốc độ tính toán V, km/h	40	50	80	100	120
R_{min}, m	40	120	240	425	605
L, m	55	85	110	135	150
$R_{không\ siêu\ cao}$, m	400	600	900	1300	1800
L, m	70	85	105	145	200

Để bảo đảm tính thẩm mỹ, đường cong chuyển tiếp vẫn được thiết kế với bán kính đường cong tròn lớn.

Ví dụ: Cộng hòa Séc vẫn thiết kế đường cong chuyển tiếp với bán kính < 2000m, tiêu chuẩn của Hungari - R < 3000m. Tiêu chuẩn thiết kế đường của Liên Xô cũ quy định thiết kế đường cong chuyển tiếp khi:

R ≤ 3000m đối với đường cấp I;

R ≤ 2000m đối với các cấp đường khác.

Ở CHLB Đức cũng cho thấy cần phải xây dựng đường cong chuyển tiếp với các bán kính R < 1500m khi tốc độ xe chạy V = 60km/h, còn khi tốc độ xe chạy lớn hơn thì đường cong chuyển tiếp được xây dựng với các đường tròn có bán kính R < 3000m.

Quy trình thiết kế đường ôtô của Việt Nam chưa nêu thật rõ vấn đề này, nhưng chúng ta có thể hiểu trị số bán kính lớn nhất có độ dốc siêu cao i_{sc} = 0,02 tuỳ thuộc vào tốc độ thiết kế V_{tk} = 60 ÷ 120 km/h nêu trong TCVN 4054-05 là giới hạn trên và cần tham khảo các số liệu của các nước như đã nêu ở trên để thiết kế đường cong chuyển tiếp đối với các đường cong tròn có bán kính lớn khi thiết kế các đường cao tốc (Freeway hay Expressway) hoặc các đường ôtô công cộng cấp cao (highway) có tốc độ xe chạy thiết kế từ V ≥ 60km/h.

Tóm lại, tùy thuộc vào cấp đường, tốc độ thiết kế điều kiện cụ thể của địa hình để quyết định lựa chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp ứng với mỗi bán kính thiết kế của đường cong tròn - chiều dài đường cong chuyển tiếp lựa chọn có thể phải thoả mãn một số hoặc tất cả các điều kiện như đã được trình bày ở trên.

Các điều kiện này là:

1 - Bảo đảm gia tốc ly tâm tăng từ từ trên suốt chiều dài đường cong chuyển tiếp cho đến một trị số nhất định vào đường cong cơ bản (công thức 1.22);

2 - Bảo đảm trên đường cong chuyển tiếp thực hiện được đoạn nối siêu cao để chuyển dần từ trắc ngang hai mái sang trắc ngang một mái có độ dốc bằng độ dốc siêu cao (i_{sc}) (công thức 1.1);

3 - Bảo đảm độ đều đặn không gian và êm thuận về mặt quang học của tuyến trên đường cong chuyển tiếp để lái xe yên tâm điều khiển xe chạy với tốc độ thiết kế mong muốn, nâng cao an toàn và thuận lợi cho xe chạy (nguyên tắc chung đã nêu ở trên). Những nghiên cứu chi tiết theo điều kiện này được trình bày ở chương tiếp theo;

4 - Bảo đảm thực hiện được việc chuyển đều đặn trắc ngang hai mái sang trắc ngang một mái, nhất là khi đường cong chuyển tiếp nằm trên đoạn lên dốc có độ dốc lớn (công thức 1.31);

5 - Bảo đảm cho lái xe có trình độ kỹ thuật trung bình có đủ thời gian điều khiển tay lái quay xe từ từ (công thức 1.32).

Trong 5 điều kiện đã nêu thì đối với đường ôtô cấp thấp có tốc độ xe chạy không cao chỉ cần bảo đảm 2 điều kiện trên là chủ yếu. Còn đối với các đường ôtô cấp cao, đường cao tốc có tốc độ xe chạy lớn thì cần bảo đảm cả 5 điều kiện đã nêu.

1.4. XÁC ĐỊNH CHIỀU DÀI ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP KHI XE CHẠY VỚI TỐC ĐỘ THAY ĐỔI

Thông thường xe chạy trên đường thẳng có tốc độ cao hơn khi đi trên đường cong, nhất là đường cong có bán kính nhỏ. Do vậy, khi đi vào đường cong chuyển tiếp lái xe thường giảm tốc độ, chuyển từ tốc độ xe chạy trên đường thẳng v_t sang tốc độ chạy trên đường cong v_c. Khi cho xe đi vào đường vòng có bán kính nhỏ, lái xe thường sử dụng phanh để hãm cho xe chạy chậm lại. Xe giảm tốc độ sinh ra gia tốc âm b, khi ra khỏi đường cong lái xe cho xe tăng tốc tạo nên gia tốc dương a trên đường cong chuyển tiếp.

Chiều dài đường cong chuyển tiếp cho xe đi từ đường thẳng vào đường cong tròn phụ thuộc vào trị số lựa chọn của gia tốc a.

Tốc độ trung bình của ôtô đi trên đường cong chuyển tiếp bằng:

$$v_{tb} = \frac{v_t + v_c}{2} \tag{1.34}$$

Trong đó: v_t, v_c - tốc độ xe chạy trên đường thẳng và khi vào đường cong tròn.

Thời gian xe đi trên đường cong chuyển tiếp

$$t = \frac{v_t - v_c}{a} \tag{1.35}$$

và chiều dài đường cong chuyển tiếp:

$$L = v_{tb}.t = \frac{(v_t + v_c)}{2}\frac{(v_t - v_c)}{a} \tag{1.36}$$

hay

$$L = \frac{v_t^2 - v_c^2}{2a} \tag{1.37}$$

Trong công thức (1.37) tốc độ tính bằng m/s, gia tốc a tính bằng m/s^2 và chiều dài đường cong chuyển tiếp tính bằng mét. Nếu tốc độ tính bằng km/h, thì:

$$L = \frac{V_t^2 - V_c^2}{26.a} \tag{1.38}$$

Trị số gia tốc a thường chọn bằng 0,8 - 1,5 m/s^2 khi xe giảm tốc độ vào đường cong và a = 0,6 - 1,2 m/s^2 khi xe tăng tốc ra khỏi đường cong.

Cũng có ý kiến cho rằng nên chọn trị số gia tốc âm a = 2,4m/s^2 khi tính chiều dài giảm tốc và lấy a = 0,9m/s^2 để tính chiều dài đoạn tăng tốc.

Nếu thay các trị số V_t và V_c bằng tốc độ đầu V_1 và tốc độ cuối V_2 ta sẽ tính được chiều dài đoạn tăng tốc hay giảm tốc S dùng để thiết kế các dải chuyển tốc khi xe đi từ đường chính vào đường phụ và ngược lại:

$$S = \frac{V_1^2 - V_2^2}{26.a} \tag{1.38a}$$

Từ công thức (1.37) ta được:

$$a = \frac{v_t^2 - v_c^2}{2L} \tag{1.39}$$

Tại điểm bất kỳ cách đầu đường cong chuyển tiếp một khoảng *l* có bán kính cong ρ thì gia tốc ly tâm tăng tỷ lệ với chiều dài đường đi của ôtô. Độ tăng của gia tốc ly tâm:

$$I = \frac{v_\rho^2}{\rho.t} \tag{1.40}$$

Khi ρ = R, $v_c = v_t$ thì độ tăng của gia tốc ly tâm bằng:

$$I = \frac{v_t^2\left(v_t + v_c\right)}{2R.L} \tag{1.41}$$

Thay trị số a từ (1.39) và I từ (1.41) vào (1.40) và rút ra được công thức xác định bán kính cong tại một điểm bất kỳ trên đường cong chuyển tiếp:

$$\rho = \frac{v_\rho^2\left(v_t - v_c\right).R}{v_c^2\left(v_t - v_\rho\right)} \tag{1.42}$$

Tốc độ xe chạy tại một điểm bất kỳ trên đường cong ρ cách đầu đường cong chuyển tiếp một khoảng *l* được xác định từ công thức (1.39):

$$v_\rho = \sqrt{v_t^2 - 2.a.l} \tag{1.43}$$

Đặt $x = \frac{l}{\rho}; y = \frac{\rho}{R}; n = \frac{v_t}{v_c}$ thì phương trình đường cong chuyển tiếp được viết thành:

$$y = \frac{(n-1).\left[n^2 - x.\left(n^2 - 1\right)\right]}{n - \sqrt{n^2 - x\left(n^2 - 1\right)}} \tag{1.44}$$

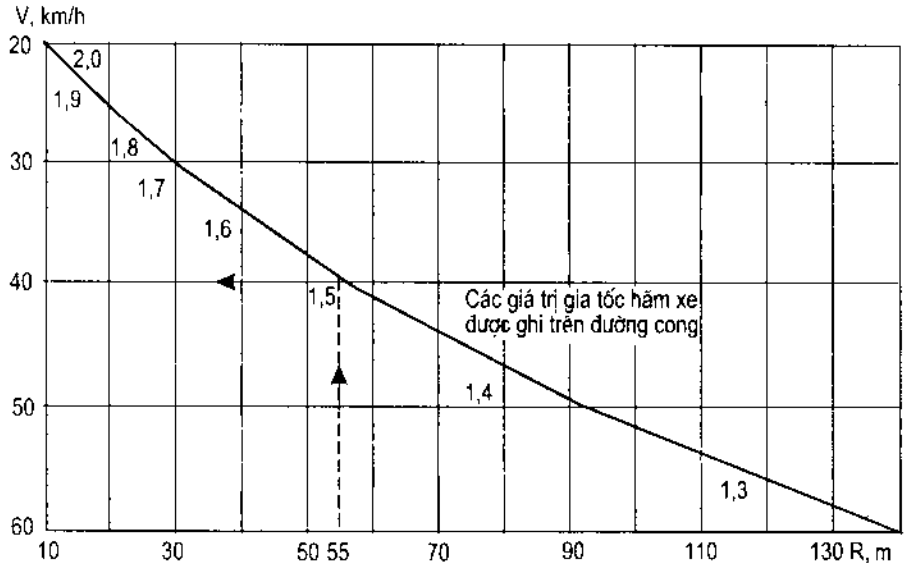
Phương trình (1.44) rất phù hợp với quỹ đạo thực tế của xe chạy phải hãm xe khi đi vào đường cong có bán kính nhỏ và tăng tốc khi ra khỏi đường cong. Bởi vậy có thể coi phương trình (1.44) là đường cong hãm. Nó được ứng dụng khi thiết kế bố trí đường

cong tại các nơi giao nhau của đường, các nút giao thông khác mức và tại các đường vùng núi do địa hình khó khăn phải thiết kế nhiều đường cong có bán kính nhỏ.

Gia tốc hãm xe phụ thuộc vào tốc độ xe chạy và bán kính đường cong tròn. Ở Mỹ đã xác lập điều kiện xe chạy thuận lợi khi gia tốc hãm không vượt quá trị số 16,1ft/s^2.

Quan hệ giữa tốc độ xe chạy V(km/h), bán kính R(m), và gia tốc a = 4 m/s^2 được biểu thị trên hình 1.8.

Từ đồ thị ta có thể xác định được tốc độ cho phép đi trên một đường cong có bán kính xác định R ứng với gia tốc âm nên chọn. Ví dụ đường nhánh rẽ thiết kế có bán kính R = 55m thì tốc độ xe chạy cho phép sẽ là 40 km/h, khi đó gia tốc âm chọn bằng 1,5 m/s^2. Khi a = 4 m/s^2 thì không bảo đảm tốc độ xe chạy giữa một cách đều đặn.



Hình 1.8: *Quan hệ phụ thuộc của tốc độ xe chạy gia tốc hãm vào bán kính đường cong tròn.*

Những vấn đề được trình bày ở phần 1.3 và 1.4 trên đây cho thấy có hai trường hợp áp dụng để xác định chiều dài đường cong chuyển tiếp:

- Trên các đường ôtô cấp hạng cao và đường cao tốc được thiết kế với tốc độ thiết kế không nhỏ và lựa chọn các đường cong nằm có bán kính tương đối lớn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp được tính toán với tốc độ xe chạy trên đó với tốc độ không đổi trong khi vẫn bảo đảm gia tốc ly tâm tăng từ từ trên suốt chiều dài đường cong chuyển tiếp.

- Tại các nút giao thông, khi cho xe đi vào đường rẽ (rẽ phải hay rẽ trái) lái xe phải giảm tốc độ và khi ra khỏi đường rẽ lái xe phải cho xe tăng tốc độ; tốc độ xe chạy trên đoạn đường rẽ sẽ thấp hơn so với đi trên đường chính. Vì vậy, đoạn đường cong chuyển tiếp ở đầu vào và đầu ra của đường rẽ phải được thiết kế với tốc độ thay đổi

(tăng hoặc giảm tốc). Cũng như vậy, trước khi đi vào đường cong có bán kính nhỏ chiều dài đường cong chuyển tiếp được tính từ điều kiện hãm xe với tốc độ cuối bằng tốc độ hạn chế tương ứng với đường cong tròn có bán kính R được thiết kế.

Chúng ta cũng cần lưu ý rằng đường cong chuyển tiếp có chiều dài tăng tỷ lệ thuận (bậc ba) với tốc độ xe chạy và tỷ lệ nghịch với bán kính đường cong.

Ta thử tính chiều dài đường cong chuyển tiếp cho đường cao tốc cấp 60, 80 và 100 (Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5729–97) khi chọn I = 0,50 m/s^2. Kết quả như sau (chưa quy tròn):

Tốc độ thiết kế V, km/h	60	80	100
Tính với R = 300m	30,64	72,62	141,84
Tính với R = 500m	18,38	43,57	85,11

Từ kết quả tính cho thấy:

Cùng chọn bán kính R = 300m thì chiều dài đường cong chuyển tiếp ở cấp 80 gấp 2,37 lần so với cấp 60 (R_{min} của cấp 80 là 240m) và cùng chọn bán kính R = 500m thì chiều dài đường cong chuyển tiếp ở cấp 100 gấp 4,63 lần so với cấp 60 (R_{min} = 450m đối với cấp 100). Tuy nhiên, với đường cao tốc thì thoả mãn độ bằng phẳng về mặt thị giác là một yêu cầu rất quan trọng. Bằng cách cho rằng các chiều dài đường cong chuyển tiếp được tính nêu trong bảng trên bằng 1/4 chiều dài đường cong K (xem phần 1.3), ta xác định góc ngoặt α cần thiết để bảo đảm điều kiện này như dưới đây:

Tốc độ thiết kế V, km/h	Góc ngoặt thiết kế α, (°)		
	60	80	100
R = 300m	$23^0 40$	$55^0 5$	$54^0 20$
R = 500m	$8^0 42$	$19^0 98$	$39^0 20$

Như vậy, rõ ràng là các trị số góc ngoặt α ghi trong bảng là trị số giới hạn. Muốn cho tuyến đạt độ bằng phẳng quang học thì chiều dài đường cong chuyển tiếp thoả mãn không những theo điều kiện bảo đảm gia tốc ly tâm tăng từ từ mà còn phải thoả mãn điều kiện góc ngoặt giới hạn ứng với mỗi bán kính và tốc độ thiết kế của mỗi cấp hạng kỹ thuật của đường.

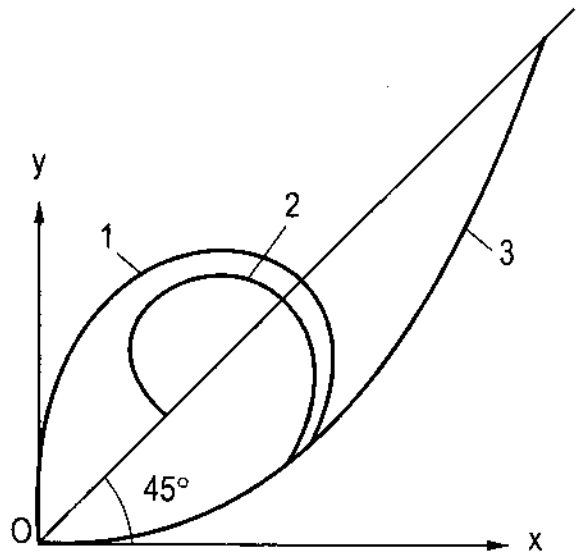
1.5. CÁC ĐƯỜNG CONG TOÁN HỌC ĐƯỢC ÁP DỤNG LÀM ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP

Đã từ lâu, đối với đường ôtô thông thường, đường cong chuyển tiếp được coi là một yếu tố phụ để nối tiếp các đoạn thẳng với các đường cong tròn trên bình đồ, ở đầu

đường cong chuyển tiếp tức là cuối đoạn thẳng tại đó có bán kính bằng vô cùng, trên đường cong chuyển tiếp bán kính này giảm dần và ở cuối đường cong chuyển tiếp tức là đầu đường cong tròn thì bán kính đạt trị số bằng bán kính đường cong tròn. Trị số bán kính này phải giảm dần dần để cho gia tốc ly tâm tăng từ từ.

Có một số dạng đường cong toán học có thể thoả mãn nhiều hay ít yêu cầu trên. Đó là các đường cong xoắn ốc bức xạ hay gọi là clothoid; đường hoa thị Lemniscat Becnulli; đường Parabol bậc ba và bậc bốn. Người ta đã sử dụng một phần của các đường cong toán học này để làm đường cong chuyển tiếp; cũng có thể phối hợp 3 đường cong có bán kính khác nhau để làm đường cong chuyển tiếp - Hình 1.9 trình bày 3 đường cong toán học được nêu ở trên. Các đường cong này được áp dụng rộng rãi trong thực tế thiết kế đường ôtô.

Nói chung, đường cong clothoid được áp dụng làm đường cong chuyển tiếp là phổ biến hơn ở nhiều nước. Đường hoa thị Lemniscat được sử dụng nhiều ở các nước trong khối liên hiệp Anh. Đường cong phối hợp 3 đường cong tròn có bán kính khác nhau thường được dùng để thiết kế đường cong tại các nút giao thông và các đường ôtô cấp thấp. Đã từ lâu CHLB Đức đã ứng dụng đường cong 3 bán kính để thiết kế đường địa phương. Ở Liên Xô cũ từ năm 1933 kỹ sư A.X. Bôzencô đã lập bảng phối hợp tới 5 đường cong với bán kính thứ nhất gấp 3 lần, bán kính thứ 2 gấp 1,5 lần bán kính cơ bản. Ở Áo, giáo sư Orlây đã đề nghị cấm phối hợp 3 bán kính trong đó đường cong đầu tiên có bán kính bằng 2 lần bán kính cơ bản.



Hình 1.9: *Các đường cong chuyển tiếp*
1- Đường Lemniscat Becnulli; 2- Clothoid;
3- Đường parabol bậc 3

Tiêu chuẩn để lựa chọn sử dụng loại đường cong toán học nào làm đường cong chuyển tiếp phụ thuộc vào hai điều kiện cơ bản là:

- Dạng đường cong phù hợp với quỹ đạo chuyển động của xe;
- Tính toán và cắm đường cong được đơn giản và dễ dàng.

Dưới đây chúng ta xem xét chi tiết từng loại đường cong.

1.5.1. Đường cong cothoid

1.5.1.1. Phương trình đường cong clothoid

Phương trình đường cong clothoid ở tọa độ độc cực có dạng:

$$\rho = \frac{A^2}{S} \tag{1.45}$$

Trong đó: ρ - bán kính đường cong, tỷ lệ nghịch với chiều dài đường cong chuyển tiếp S;

A - thông số của đường cong.

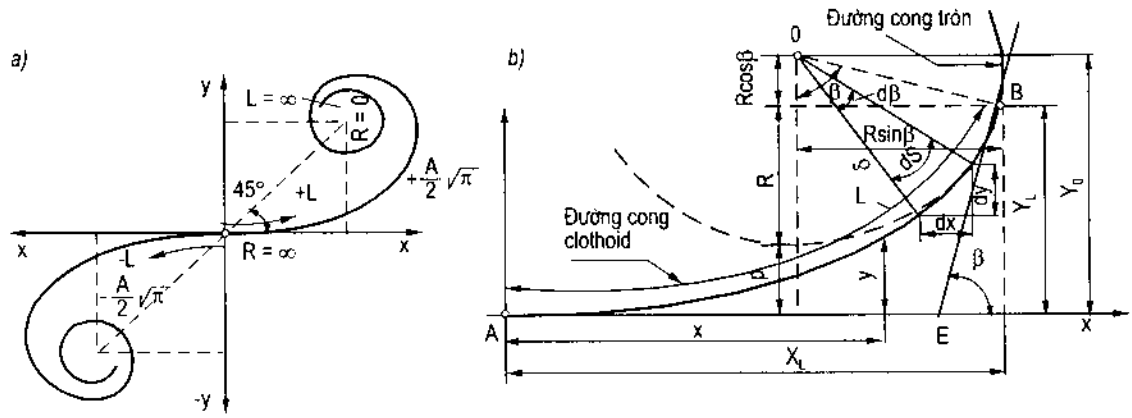
Đối chiếu với công thức (1.19) được lập cho đường cong chuyển tiếp $S = \frac{C}{\rho}$ thì rõ ràng là đường cong clothoid (1.45) hoàn toàn phù hợp với phương trình của đường cong chuyển tiếp và thông số $C = A^2 = R.L$

Từ đó: $$A = \sqrt{C} = \sqrt{R.L} \tag{1.46}$$

Sự phù hợp này khiến đường cong clothoid được sử dụng làm đường cong chuyển tiếp cho đường ôtô.

Trên hình (1.10a) biểu thị đường cong toán học clothoid và sự kết hợp của đường cong clothoid nối đoạn thẳng với đường cong tròn (hình 1.10b).

Để tiện lợi cho việc cắm đường cong clothoid người ta chuyển phương trình (1.45) từ tọa độ độc cực sang toạ độ Descarte (toạ độ vuông góc). Cách thực hiện như sau:



Hình 1.10

Từ hình (1.10b) ta có:

$$dS = \rho.d\beta$$

$$dx = dS.\cos\beta \text{ và } dy = dS.\sin\beta$$

Như vậy: $$x = \int_0^x dx = \int_0^s \cos\beta.dS \tag{1.47}$$

$$y = \int_0^y dy = \int_0^s \sin\beta . dS \tag{1.48}$$

Trong đó: β - góc tạo nên bởi tiếp tuyến của đường cong với trục hoành;

S - chiều dài đường cong chuyển tiếp.

Từ $dS = \rho.d\beta$ ta có:

$$d\beta = \frac{dS}{\rho} \text{ và } \beta = \int_0^s \frac{dS}{\rho} \tag{1.49}$$

Với đường cong clothoid thì $\rho = \frac{C}{S}$, thay vào (1.49) ta được:

$$\beta = \int_0^s \frac{SdS}{C} = \frac{S^2}{2C} \tag{1.50}$$

Khai triển cosβ và sinβ dưới dạng chuỗi, thay vào các công thức (1.47), (1.48) và tích phân hai biểu thức này sẽ được:

$$x = \int_0^s \cos\beta dS = \int_0^s \left(1 - \frac{\beta^2}{2!} + \frac{\beta^4}{4!} - ...\right) dS \tag{1.51}$$

$$y = \int_0^s \sin\beta dS = \int_0^s \left(\beta - \frac{\beta^3}{3!} + \frac{\beta^5}{5!} - ...\right) dS \tag{1.52}$$

Thay trị số góc β từ công thức (1.50) vào (1.51) và (1.52) thì:

$$x = S - \frac{S^5}{40C^2} + \frac{S^9}{3456C^4} - \frac{S^{13}}{599040C^6} + ... \tag{1.53}$$

$$y = \frac{S^3}{6C} - \frac{S^7}{336C^3} + \frac{S^{11}}{42240C^5} - \frac{S^{15}}{9676800C^7} ... \tag{1.54}$$

Các phương trình (1.53) và (1.54) biểu thị đường cong clothoid dưới dạng tọa độ vuông góc - chúng được sử dụng để cắm đường cong chuyển tiếp clothoid cho đường ôtô.

Nếu thông số được biểu thị qua $A = \sqrt{RL}$ thì các công thức biểu thị toạ độ (1.53) và (1.54) sẽ có dạng:

$$x = S - \frac{S^5}{40A^2} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + ... \tag{1.55}$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} ... \tag{1.56}$$

Do các chuỗi x và y hội tụ rất nhanh nên trong thực tế cắm cong người ta chỉ cần tính đến hai số hạng đầu là đủ.

Theo điều kiện biên của đường cong clothoid thì ở đầu đường cong S = 0, cuối đường cong S = L (chiều dài đường cong chuyển tiếp). Khi đó góc tạo bởi tiếp tuyến với trục hoành xác định bằng:

$$\beta = \frac{L^2}{2C}, \qquad \text{vì} \qquad C = RL$$

nên
$$\beta = \frac{L}{2R}\text{, rad} \tag{1.57}$$

hay
$$\beta = 63{,}6620\frac{L}{2R}\text{, độ} \tag{1.57a}$$

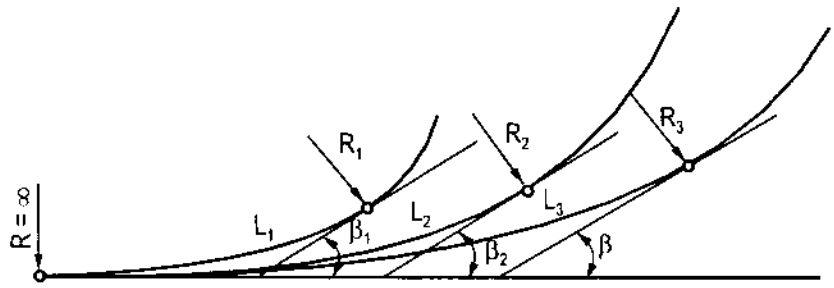
Từ các biểu thức trên ta có thể lập các công thức thể hiện mối liên quan giữa thông số A, bán kính R, chiều dài đường cong chuyển tiếp L, góc tiếp tuyến β như sau:

Bảng 1.3

A	L	R	β
$\sqrt{RL}$	$\frac{A^2}{R}$	$\frac{A^2}{L}$	$\frac{L}{2R}$
$\frac{1}{\sqrt{2\beta}}$	$2R\beta$	$\frac{L}{2\beta}$	$\frac{L^2}{2A^2}$
$R\sqrt{2\beta}$	$A\sqrt{2\beta}$	$\frac{A}{\sqrt{2\beta}}$	$\frac{A^2}{2R^2}$

1.5.1.2. Đặc điểm của đường cong clothoid

Đặc điểm của đường cong clothoid là các đường cong này tuy có chiều dài và thông số khác nhau nhưng chúng luôn luôn giống nhau về mặt hình học và chiều dài của đường cong thay đổi tỷ lệ thuận với thông số A. Hình 1.11 biểu thị 3 nhánh đường cong clothoid có các thông số khác nhau ($A_1 < A_2 < A_3$).



Hình 1.11

Sự giống nhau về dạng hình học của các đường cong clothoid cho phép xác lập được mối tương quan giữa các thông số A, R, L, β tại các điểm đặc trưng của clothoid.

Bằng cách đưa vào khái niệm bán kính đơn vị $r = \frac{R}{A}$.

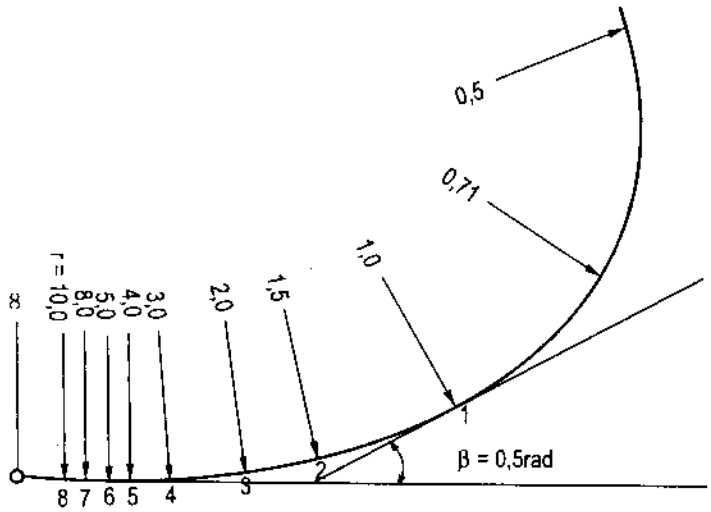
Cho ta các quan hệ:

$$A = rL \tag{1.58}$$

$$R = rA = r^2L \tag{1.59}$$

$$L = \frac{A}{r} = \frac{R}{r^2} \tag{1.60}$$

$$\beta = \frac{L}{2R} = \frac{1}{2r^2} \tag{1.61}$$



Hình 1.12: *Các điểm đặc trưng của clothoid*

Bảng 1.4

$r = \frac{R}{A}$	$\beta = \frac{1}{2r^2}$	A		R		L	
		$\frac{R}{r}$	r.L	r.A	r^2L	$\frac{A}{r}$	$\frac{R}{r^2}$
0,5	2,0	2R	0,5L	0,5A	0,25L	2A	4R
0,71	1,0	1,4R	0,71L	0,71A	0,5L	1,4A	2R
1,0	0,5	R	L	A	L	A	R
1,5	0,22	0,67R	1,5L	1,5A	2,25L	0,67A	0,44R
2,0	0,125	0,5R	2L	2A	4L	0,5A	0,25R
2,5	0,08	0,4R	2,5L	2,5A	6,25L	0,4A	0,16R
3,0	0,056	0,33R	3L	3A	9L	0,33A	0,11R
4,0	0,031	0,25R	4L	4A	16L	0,25A	0,067R
5,0	0,02	0,20R	5L	5A	25L	0,20A	0,04R
10,0	0,005	0,10R	10L	10A	100L	0,10A	0,01R

Các trị số tính được từ các công thức từ (1.58) đến (1.61) cho các điểm đặc trưng được ghi trong bảng (1.4) và thể hiện trên hình (1.12).

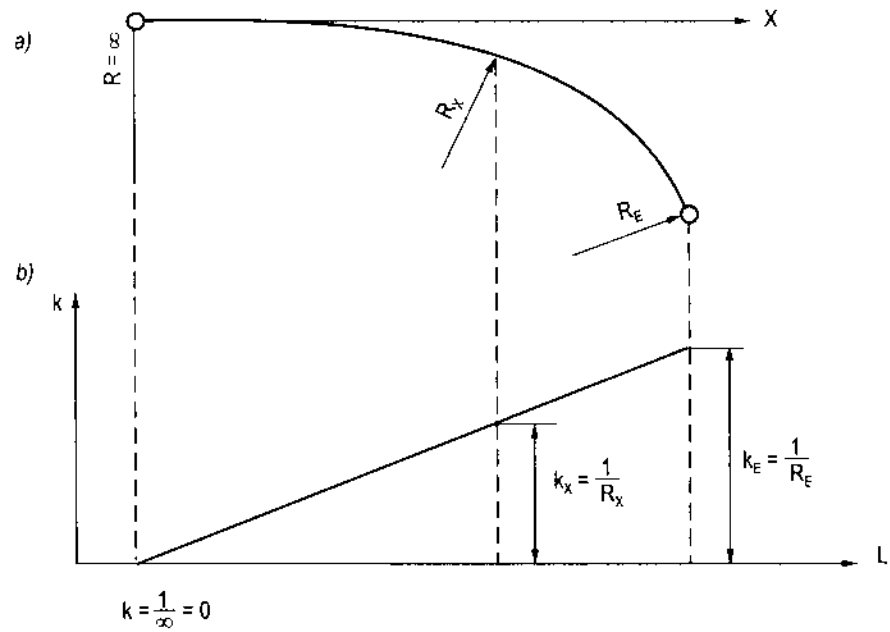
Tại đoạn nằm ngoài điểm đặc trưng 1 có A = R = L đường clothoid có độ cong quá lớn không phù hợp dùng làm đường cong chuyển tiếp trên đường ôtô. Phạm vi được sử dụng đường clothoid làm đường cong chuyển tiếp là đoạn từ 1 đến 4 (trên hình 1.12). khi đó góc giữa các đường tang ở vị trí này bằng β = 0,5 rad.

Khi thiết kế người ta sử dụng các số liệu trong bảng 1.4 để chế tạo ra các thước khuôn mẫu clothoid (vấn đề này sẽ được trình bày ở phần sau)

Độ cong của clothoid được xác định như sau:

$$k = \frac{d\beta}{dS} = \frac{1}{R} \tag{1.62}$$

Và được thể hiện trên hình (1.13)



Hình 1.13: *Bình đồ và đường biểu diễn độ cong của đường clothoid*
a) Đường cong clothoid; b) Biểu đồ thay đổi độ cong k.

Một đặc điểm rất được quan tâm của đường cong clothoid là: hai đường cong clothoid đồng dạng với nhau khi:

$$\begin{cases} S_1 = kS_2 \\ R_1 = kR_2 \\ A_1 = kA_2 \end{cases} \tag{1.63}$$

Cũng tức là:

$$x_1 = kx_2$$
$$y_1 = ky_2$$

Trong đó: S_1, R_1, A_1, x_1, y_1 - các thông số của đường clothoid 1;

S_2, R_2, A_2, x_2, y_2 - các thông số của đường clothoid 2;

k - hệ số tỷ lệ.

Dựa vào đặc điểm này người ta đã lập bảng tính sẵn các toạ độ x_i, y_i của đường cong clothoid có thông số A = 1 (xem bảng 1.5) để cắm đường cong có thông số A bất kỳ. Các toạ độ của đường cong chuyển tiếp clothoid thiết kế tại mỗi điểm bất kỳ trên đường cong này có trị số bằng:

$$\begin{cases} x_i = x_{bảng}.A \\ y_i = y_{bảng}.A \end{cases} \tag{1.64}$$

Bảng 1.5

S = L	x	y	S = L	x	y
0,01	0,010000	0,000000	0,51	0,509138	0,020820
0,02	0.020000	0.000001	0,52	0,519050	0,023404
0,03	0,030000	0,000004	0,53	0,528955	0,024778
0,04	0,040000	0,000011	0,54	0,538850	0,026204
0,05	0,050000	0,000021	0,55	0,548743	0,027684
0,06	0,060000	0,000036	0,56	0,558625	0,029218
0,07	0,070000	0,000057	0,57	0,568498	0,030807
0,08	0,080000	0,000085	0,58	0,578361	0,032453
0,09	0,090000	0,000121	0,59	0,588215	0,034156
0,1	0,100000	0,000167	0,6	0,599059	0,035917
0,11	0,110000	0,000222	0,61	0,607892	0,037737
0,12	0,119999	0,000288	0,62	0,617714	0,039617
0,13	0,129999	0,000366	0,63	0,627523	0,041557
0,14	0,139999	0,000457	0,64	0,637321	0,043560
0,15	0,149998	0,000562	0,65	0,647105	0,045624
0,16	0,159997	0,000683	0,66	0,656876	0,047754
0,17	0,169996	0,000819	0,67	0,666633	0,049947
0,18	0,179995	0,000972	0,68	0,676374	0,052206
0,19	0,189994	0,001143	0,69	0,686100	0,054530
0,2	0,199992	0,001333	0,7	0,695810	0,056922
0,21	0,209990	0,001543	0,71	0,705503	0,059382
0,22	0,219987	0,001775	0,72	0,715178	0,061910

Bảng 1.5 (tiếp theo)

S = L	x	y	S = L	x	y
0,23	0,229984	0,002028	0,73	0,724834	0,064508
0,24	0,239980	0,002304	0,74	0,734472	0,067177
0,25	0,249976	0,002604	0,75	0,744089	0,069916
0,26	0,259970	0,002929	0,76	0,753686	0,072728
0,27	0,269964	0,003280	0,77	0,763261	0,075613
0,28	0,279957	0,003658	0,78	0,772813	0,078571
0,29	0,289949	0,004064	0,79	0,782342	0,081603
0,3	0,299939	0,004499	0,8	0,791847	0,084711
0,31	0,309928	0,004964	0,81	0,801326	0,087895
0,32	0,319916	0,005460	0,82	0,810780	0,091155
0,33	0,329902	0,005988	0,83	0,820206	0,094493
0,34	0,339886	0,006549	0,84	0,829605	0,097909
0,35	0,349869	0,007144	0,85	0,838974	0,101404
0,36	0,359849	0,007774	0,86	0,848314	0,104978
0,37	0,369827	0,008439	0,87	0,857622	0,108633
0,38	0,379802	0,009142	0,88	0,866898	0,112368
0,39	0,389774	0,009882	0,89	0,876141	0,116185
0,4	0,399744	0,010622	0,9	0,885349	0,120084
0,41	0,409710	0,011481	0,91	0,894523	0,124066
0,42	0,419673	0,012341	0,92	0,903659	0,128131
0,43	0,429633	0,013243	0,93	0,912758	0,132279
0,44	0,439588	0,014188	0,94	0,921817	0,136513
0,45	0,449539	0,015176	0,95	0,930837	0,140831
0,46	0,459485	0,016210	0,96	0,939815	0,145235
0,47	0,469427	0,017289	0,97	0,948751	0,149724
0,48	0,479363	0,018415	0,98	0,957642	0,154301
0,49	0,489294	0,019588	0,99	0,966488	0,158964
0,5	0,499219	0,020810	1	0,975288	0,163714

Ví dụ: Cắm đường cong chuyển tiếp L = 80m thông số A = 200m bằng cách sử dụng bảng (1.5). ta có: S = L = 80m; $\frac{S}{A} = \frac{80}{200} = 0,40$

Vậy toạ độ ở điểm cuối đường cong clothoid bằng:

$$x_0 = 0,399747 \times 200 = 79,948m$$

$$y_0 = 0,010662 \times 200 = 2,1324m$$

Tính các điểm trung gian ứng với S = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 và lập thành bảng kết quả sau:

S, m	$\frac{S}{A}$	$\frac{x}{A}$ (x bảng)	$\frac{y}{A}$ (y bảng)	$x = x_{bảng}.200$ m	$y = y_{bảng}.200$ m
0	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
10	0,05	0,050000	0,000021	10,00000	0,00420
20	0,10	0,100000	0,000167	20,000000	0,03340
30	0,15	0,149998	0,000562	29,9996	0,11240
40	0,20	0,199992	0,001333	39,9984	0,26660
50	0,25	0,249976	0,002604	49,9952	0,52080
60	0,30	0,299939	0,004499	59,9878	0,8998
70	0,35	0,349869	0,007144	69,9738	0,14288
80	0,40	0,399747	0,010662	79,9480	2,13240

1.5.1.3. Cắm đường cong cothoid:

Có hai phương pháp cắm đường cong clothoid. Đó là:

- Cắm đường cong theo góc và cát tuyến (theo toạ độ độc cực);
- Cắm theo các toạ độ x, y của toạ độ vuông góc.

Dưới dây trình bày chi tiết cách cắm cong theo từng phương pháp

1.5.1.3.1. Cắm cong theo các góc và cát tuyến

Để cắm được đường cong theo phương pháp này ta phải biết được các góc thay đổi của toạ độ độc cực (α_i) tại các điểm cần cắm của đường cong.

Từ các trị số của toạ độ vuông góc (x,y) xác định theo công thức (1.51) và (1.52) ở trên ta có:

$$x = \sqrt{2C\beta}\left(1 - \frac{\beta^2}{5.2!} + \frac{\beta^4}{9.4!} - \frac{\beta^6}{13.6!} + \ldots\right) \qquad (1.65)$$

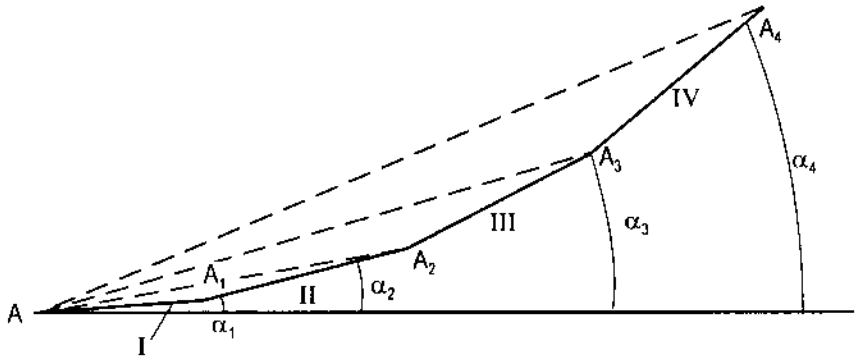
$$y = \sqrt{2C\beta}\left(\frac{\beta}{3} - \frac{\beta^3}{7.3!} + \frac{\beta^5}{11.5!} - \frac{\beta^7}{15.7!} \ldots\right) \qquad (1.66)$$

Trong đó: $S = \sqrt{2C\beta}$

Từ hình (1.14) biểu thị sơ đồ cắm cong đường clothoid theo phương pháp góc và cát tuyến cho ta xác định trị số của các góc độc cực α_i ứng với các toạ độ x,y như sau:

$$tg\alpha = \frac{y}{x} = \frac{\left(\frac{\beta}{3} - \frac{\beta^3}{7.3!} + \frac{\beta^5}{11.5!} - \frac{\beta^7}{15.7!} \ldots\right)}{\left(1 - \frac{\beta^2}{5.2!} + \frac{\beta^4}{9.4!} - \frac{\beta^6}{13.6!} + \ldots\right)}$$

Hay: $$tg\alpha = \frac{\beta}{3} - \frac{\beta^3}{105} + \frac{\beta^5}{5997} - ... \quad (1.67)$$



Hình 1.14

Để cắm cong dễ dàng giáo sư Dawson (Anh) đề nghị xác định góc α_I từ góc giới hạn với hệ số hiệu chỉnh như sau:

$$\alpha_i = \frac{\beta}{3} - N_S \quad (1.68)$$

N_S - hệ số hiệu chỉnh. N_S phụ thuộc vào góc α có các trị:

Bảng 1.6

α^o	N_S	α^o	N_S
9	0,016	15	0,076
10	0,022	16	0,093
11	0,030	17	0,111
12	0,039	18	0,133
13	0,062	19	0,157
14		20	0,184

Với các trị số góc $20^0 < \alpha < 8 - 9^0$ thì hệ số hiệu chỉnh N_S rất nhỏ nên có thể bỏ qua.

Từ công thức (1.50) $\beta = \frac{S^2}{2C}$ cho thấy góc lập bởi tiếp tuyến của đường cong clothoid với trục hoành tỷ lệ bình phương với chiều dài đường cong chuyển tiếp, vì thế nếu ta chia đường cong chuyển tiếp thành một số đoạn có chiều dài bằng nhau và bằng *l* thì dễ dàng xác định được các góc của các đường cát tuyến thứ 2, thứ 3,...theo tỷ lệ bình phương trên. Tức là:

Với cát tuyến thứ nhất có góc β_1 thì

Với cát tuyến thứ hai: $\beta_2 = \frac{(2l)^2}{2C} = 4\beta_1$

Với cát tuyến thứ ba: $\beta_3 = \frac{(3l)^2}{2C} = 9\beta_1$

.....

Với cát tuyến thứ i: $\beta_i = \frac{(i.l)^2}{2C} = i^2\beta_1$

.....

Với cát tuyến thứ n: $\beta_n = \frac{(n.l)^2}{2C} = n^2\beta_1$

Như vậy nếu đường cong chuyển tiếp có một số nguyên n cát tuyến khi chia thì góc độc cực với mỗi cát tuyến được xác định bằng công thức:

$$\alpha_i = \alpha\left(n.\frac{S_i}{L}\right)^2 \qquad (1.69)$$

Trong đó: $\alpha = \frac{\beta}{3}$;

S_i - chiều dài mỗi đoạn cát tuyến, (m);

L - chiều dài đường cong chuyển tiếp,(m);

n - số lượng cát tuyến được chia đều.

Ví dụ 1: Đường cong chuyển tiếp có chiều dài L = 100m, bán kính đường cong tròn R = 600m thì $\beta = \frac{L}{2R^2} = \frac{100}{2.600} = 0,0833$ tức $4^0 66'$. Góc $\alpha = \frac{\beta}{3} = \frac{4^0 66'}{3} = 1^0 35'20'' = 95'$ do đó trị số các góc độc cực tương ứng với mỗi đoạn chia đều dài 20m (gồm 5 đoạn) như sau (áp dụng công thức 1.69).

$$\alpha_1 = 95'\left(\frac{20}{100}\right)^2 = 3'48''; \qquad \alpha_2 = 95'\left(2\frac{20}{100}\right)^2 = 15'12''$$

$$\alpha_3 = 95'\left(3\frac{20}{100}\right)^2 = 34'12''; \qquad \alpha_4 = 95'\left(4\frac{20}{100}\right)^2 = 60'48''$$

$$\alpha_5 = 95'\left(5\frac{20}{100}\right)^2 = 95'$$

Thực hiện cắm cong bằng cách cắm từng đoạn cát tuyến S_i theo thứ tự sau (xem sơ đồ cắm cong trên hình 1.14).

Đặt máy đo góc tại điểm gốc A định được góc α_1 và đoạn $\overline{AA_1}$, sau đó xác định góc α_2 và đặt thước từ A_1 để xác định đoạn $\overline{A_1A_2}$, tiếp theo đo góc α_3 để có đoạn

$\overline{A_2A_3}$. Cứ thế tiếp tục cho đến đoạn cuối cùng ứng với góc $\alpha_n = \frac{\beta}{3}$ của đoạn cuối cùng $\overline{A_{n-1}A_n}$.

Ví dụ 2: Cắm đường cong chuyển tiếp clothoid trên một đoạn tuyến thiết kế bằng phương pháp góc và cát tuyến theo các số liệu sau:

- Bán kính đường cong tròn R=700m
- Góc ngoặt β = 10°15'13" = 0,1789 rad
- Chiều dài đường cong chuyển tiếp L = 115m

Cắm cong theo sơ đồ như hình vẽ dưới đây. Các thông số được tính toán theo công thức sau:

- Góc giữa trục hoành với mỗi cát tuyến:

$$\alpha_i = \text{arctg}\frac{\Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}.\frac{180}{\pi}$$

- Góc kẹp giữa hai cát tuyến liên tiếp:

$$\gamma_{ij} = 180^o - \left(\alpha_j - \alpha_i\right), \text{ với } j = (i + 1);$$

- Chiều dài của mỗi cát tuyến (a_{ij}):

$$a_{ij} = \sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2}$$

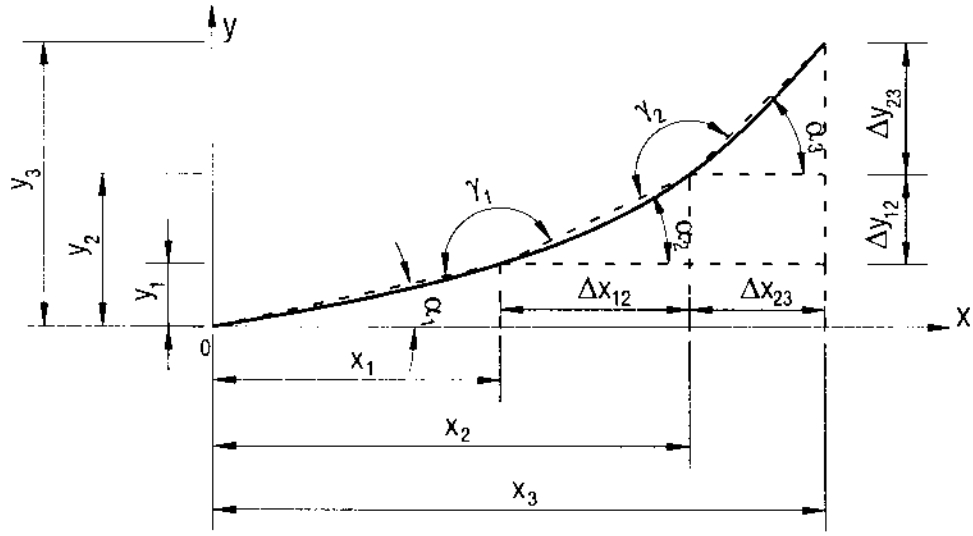
- Số lượng cát tuyến a_{ij}: gồm sáu đoạn nối liền các cọc NĐ, C37, C38, C39, C40, C41 và TĐ. Khoảng cách giữa hai cọc liên tiếp được chia gần như bằng nhau ở bốn đoạn giữa, hai đoạn nối đầu (NĐ) và cuối đường cong chuyển tiếp (nối với tiếp đầu đường cong tròn (TĐ)) có chiều dài khác nhau.

Kết quả tính toán để cắm cong được ghi trong bảng dưới đây

Cọc	Lý trình	Δx_{ij}	Δy_{ij}	α_{ij} (độ)	γ_{ij}	a_{ij}
NĐ	Km0+723,57					
		16,4300	0,0092	1,8376	179,9680	16,4300
C37	Km0+740,00					
		19,9998	0,0909	14,5963	179,7716	19,9999
C38	Km0+760,00					
		19,9980	0,2719	37,9191	179,4814	19,9999
C39	Km0+780,00					
		19,9921	0,5523	57,7164	179,1967	19,9998

(Bảng kết quả tính toán để cắm cong - tiếp theo)

C40	Km0+800,00					
		19,9779	0,9318	69,4841	178,9120	19,9996
C41	Km0+820,00					
		18,5246	1,2913	75,9433	178,6829	18,5695
TC	Km0+838,57					



Sơ đồ cắm cong theo ví dụ 2

Nhận xét: Phương pháp cắm đường cong theo góc và cát tuyến có nhược điểm là độ chính xác kém là do:

- Vị trí đặt mỗi điểm sau của đường cong lại phụ thuộc vào điểm ở phía trước. Vì vậy sẽ mắc phải sai số dây chuyền;

- Có sai số tích lũy khi đo khoảng cách (chiều dài của từng đoạn cát tuyến);

- Do đường cong được cắm gần đúng bằng các đường cát tuyến liên tiếp nên chiều dài thực tế cắm được sẽ nhỏ hơn chiều dài tính toán theo lý thuyết. Sai số này tăng khi chia đường cong thành các đoạn cát tuyến có chiều dài lớn.

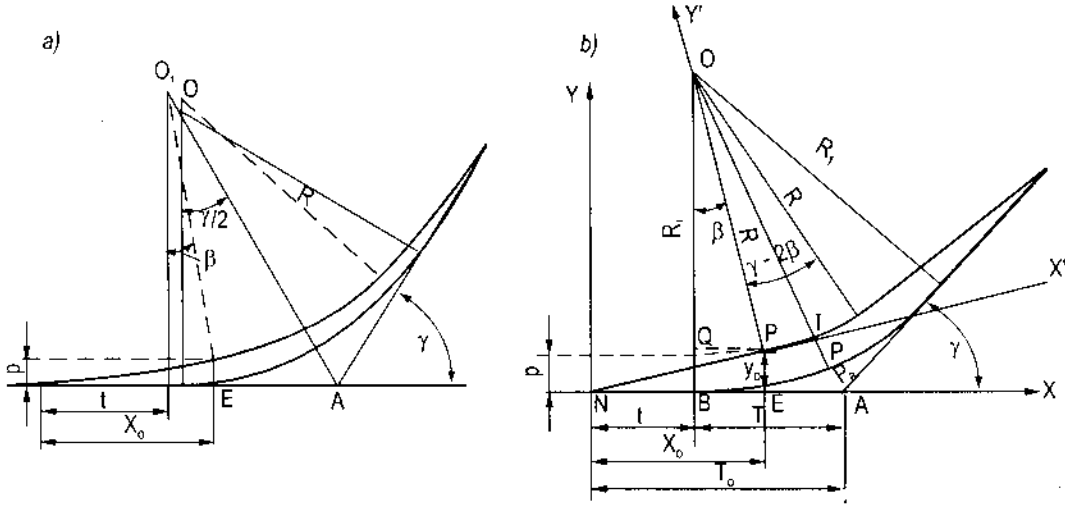
Vì vậy, phương pháp này chỉ nên áp dụng khi tung độ có trị số lớn để xác định các góc α_i một các dễ dàng hoặc khi gặp địa hình khó khăn cản trở việc đo các tung độ.

1.5.1.3.2. Cắm cong theo phương pháp toạ độ vuông góc (toạ độ Descarde)

Phương pháp này được thực hiện rất đơn giản và bảo đảm chính xác. Các điểm trên đường cong chuyển tiếp được định vị bởi hoành độ và tung độ, chúng được cắm độc lập với nhau, không phụ thuộc vào nhau, do đó sẽ không mắc phải sai số tích lũy.

1. *Hai phương pháp cắm đường cong clothoid.*

Cụ thể là:



Hình 1.15: *a) dịch chuyển tâm của đường tròn;*
b) thay đổi bán kính của đường tròn.

- Phương pháp thứ nhất: giữ nguyên bán kính của đường cong tròn cơ bản, dịch chuyển đường cong tròn vào trong (hình 1.15a) và do vậy cũng phải dịch chuyển tâm của đường cong tròn.

- Phương pháp thứ hai: không thay đổi vị trí tâm của đường cong tròn mà thay đổi bán kính ban đầu R bằng cách giảm bán kính một độ dịch chuyển p. Khi đó bán kính của đường cong cơ bản khi có đường cong chuyển tiếp sẽ bằng $R = R_1 - p$ (hình 1.15b) (R_1 - bán kính thiết kế ban đầu của đường cong tròn).

Trong thực tế thiết kế thì phương pháp cắm cong thứ hai (thay đổi bán kính, giữ nguyên tâm của đường tròn) được áp dụng phổ biến ở nhiều nước vì tính toán khá đơn giản. Vì vậy, dưới đây chúng tôi giới thiệu chi tiết về nội dung tính toán và các bước thực hiện cắm cong theo phương pháp này.

Theo phương pháp thứ hai thì nếu ta tăng bán kính ban đầu R_1 thêm một trị số bằng độ dịch chuyển p (tức là $R_1 = R + p$) thì sau khi cắm đường cong chuyển tiếp xong, bán kính của đường cong tròn sẽ bằng R. Làm như vậy là ta đã giữ nguyên được trị số bán kính ban đầu thiết kế cho đường cong tròn khi chưa bố trí đường cong chuyển tiếp clothoid.

Từ hình (1.15b) xác định được trị số độ dịch chuyển p:

$$p = y_0 + R\cos\beta - R \qquad (1.70)$$

hay

$$p = y_0 - R(1 - \cos\beta)$$

Trong trường hợp đường clothoid được sử dụng đoạn cong chỉ đến điểm 1 (tại đó A = R = 1) (hình 1.12) có thể tính độ dịch chuyển p theo công thức gần đúng sau:

$$p \approx \frac{L}{24R} \text{ hay } p = \frac{L^2}{24A^2} \qquad (1.71)$$

Xem xét độ dịch chuyển p cho thấy với các đường cong tròn có bán kính lớn, thông thường R ≥ 500m thì độ dịch chuyển p đa phần có trị số rất nhỏ (chỉ bằng phần trăm đến phần nghìn)

Vì vậy, tính trị số độ dịch chuyển p chỉ có ý nghĩa đối với các đường cong thiết kế có bán kính nhỏ còn đối với các đường cong tròn có bán kính lớn ta có thể bỏ qua độ dịch chuyển này.

Do đó, độ dịch chuyển p tính được có trị số p ≥ 0,01R thì bán kính ban đầu phải tăng thêm độ dịch chuyển p khi bố trí đường cong chuyển tiếp. Ngược lại, nếu trị số p < 0,01R thì không cần phải giảm bán kính thiết kế ban đầu R của đường cong tròn.

Như vậy:

- Khi p < 0,01R thì chiều dài đường tang được tính bằng công thức:

$$T = R.tg\frac{\gamma}{2} \text{ (}\gamma\text{ - góc ngoặt của đường cong)} \qquad (1.72)$$

Và độ dài đường cong tròn còn lại phải được tính theo trị số bán kính được giảm ($R_1 = R - p$):

$$K = \frac{\pi(R-p).(\gamma-2\beta)}{180} \qquad (1.73)$$

Trong đó: β - góc tiếp tuyến của đường cong chuyển tiếp;

R_1 - bán kính thiết kế ban đầu của đường cong tròn.

- Khi p ≥ 0,01R thì chiều dài đường tang T được xác định theo công thức:

$$T = (R+p).tg\frac{\gamma}{2} \qquad (1.74)$$

- Và chiều dài đoạn chêm tròn bằng:

$$K = \frac{\pi R.(\gamma-2\beta)}{180} \qquad (1.75)$$

- Từ sơ đồ hình (1.15) xác định trị số đường tang phụ t tức là khoảng cách từ đầu đường cong tròn cơ bản β tới đầu đường cong chuyển tiếp N.

$$t = NE - BE, \text{ vì } BE = QP$$

nên $$t = x_0 - R\sin\beta \qquad (1.76a)$$

hay $$t = x_0 - (R_1 - p)\sin\beta \qquad (1.76b)$$

Sử dụng công thức (1.76a) và (1.76b) là tuỳ thuộc vào trị số độ dịch chuyển p tính được. Nếu p quá nhỏ ($p < 0,01R$) có thể bỏ qua độ dịch chuyển p và công thức (1.76b) sẽ trở thành công thức (1.76a), khi đó $R_1 \equiv R$

Khoảng cách từ đỉnh góc ngoặt đến đầu đường cong chuyển tiếp bằng $\overline{NA} = T_0 = t + T$

Và nếu:

- Bỏ qua độ dịch chuyển p thì: $T_0 = t + R.tg\frac{\gamma}{2}$ (1.77a)

- Xét cả độ dịch chuyển p: $T_0 = t + (R + p).tg\frac{\gamma}{2}$ (1.77b)

Hay $T_0 = x_0 - R\sin\beta + (R\cos\beta + y_0).tg\frac{\gamma}{2}$ (1.78)

Trong các công thức trên thì x_0, y_0 là hoành độ và tung độ ở điểm cuối của đường cong chuyển tiếp. Các trị số này được xác định bằng cách sử dụng bảng cắm cong clothoid đã nêu ở trên (bảng 1.5)

Cũng trên sơ đồ hình (1.15b) cho thấy: bố trí đường cong chuyển tiếp sẽ làm giảm chiều dài đường cong tròn cơ bản, do đó góc ở tâm đường tròn γ sẽ giảm đi một trị số bằng $(\gamma - 2\beta)$. Khi góc tạo bởi tiếp tuyến của đường cong chuyển tiếp clothoid bằng một nửa góc ở tâm đường tròn $\left(\beta = \frac{\gamma}{2}\right)$ thì độ dài của đường cong tròn K = 0, lúc đó hai đường cong chuyển tiếp ở hai đầu sẽ gặp nhau tại giữa đường cong không có đoạn chêm tròn và tạo nên một đường cong chuyển tiếp liên tục. Vì thế nên ta phải kiểm tra điều kiện giới hạn của góc β cho phép cắm được đường cong chuyển tiếp clothoid:

$$\beta \le \frac{\gamma}{2} \quad (1.79)$$

Biết rằng $\beta = \frac{L}{2R}$, nên nếu điều kiện (1.79) không thoả mãn thì hoặc là ta tăng bán kính đường tròn R hoặc là giảm chiều dài đường cong chuyển tiếp.

Từ trị số giới hạn $\left(\beta = \frac{\gamma}{2}\right)$ ta được $L = 2R\beta$ và chiều dài đường cong chuyển tiếp ứng với trị số giới hạn β sẽ bằng:

$$L = R.\gamma \quad (1.80)$$

(trong đó góc ngoặt γ tính bằng rad).

Đường cong clothoid có góc tiếp tuyến giới hạn $\beta = 0,5$ rad hay $\beta = 28,65^0$. thay trị số giới hạn của góc tiếp tuyến β vào công thức (1.80) với góc ở tâm $\gamma = 2\beta$ sẽ được chiều dài một nhánh đường cong chuyển tiếp $L = \frac{R\gamma}{\left(2 \times 28^0 65'\right)}$, và chiều dài tổng cộng của hai đường cong chuyển tiếp liên tục sẽ bằng $2L = \frac{R\gamma}{28^0 65'}$. Từ các tính toán trên có thể đưa ra trị số về góc ngoặt γ_i cần thiết tối thiểu tương ứng với bán kính đường cong R_i và chiều dài đường cong chuyển tiếp L_i theo bảng dưới đây (chỉ tính với các đường cong có bán kính $R \geq R_{min}$ ứng với các cấp đường có tốc độ thiết kế $V_{tk} \geq 60$ km/h theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Việt Nam).

Bảng 1.7

Bán kính R, m	Chiều dài đường cong chuyển tiếp, m	Trị số góc ngoặt γ tối thiểu cần thiết ($\gamma = 2\beta$)
100	50	28,7
150	60	22,9
200	70	20,0
250	80	18,3
300	90	17,2
400	100	14,3
500	110	12,6
600 - 1000	120	11,4
1000 - 2000	100	2,9

Nếu phải tuân theo góc ngoặt cần thiết nêu trong bảng (1.7) thì có thể xảy ra trường hợp cùng chọn một trị số bán kính như nhau nhưng tốc độ thiết kế khác nhau sẽ cho ra chiều dài đường cong chuyển tiếp khác nhau và không phù hợp với trị số góc ngoặt cần thiết.

Ví dụ: Ta tính thử với tốc độ thiết kế là 60 và 80 km/h và độ tăng gia tốc ly tâm $I = 0,5$ m/s^2 thì chiều dài đường cong chuyển tiếp tính được theo quy trình Việt Nam:

Tốc độ thiết kế		60 km/h				80km/h	
Bán kính R_1, m		150	200	250	300	250	300
Chiều dài đường cong chuyển tiếp L, m	Theo bảng (1.7)	60	70	80	90	80	90
	Theo tính toán (chưa quy tròn)	61,28	45,95	36,76	30,63	87,14	72,62

Kết quả so sánh trong bảng thấy rõ, các chiều dài đường cong chuyển tiếp tính được hầu hết đều không tương ứng với góc ngoặt cần thiết tối thiểu.

Như vậy, xem ra trong thực tế khó có thể duy trì được điều kiện trên, nhất là trong điều kiện địa hình phức tạp ở vùng núi. Khi đó giải pháp có thể thực hiện được là hoặc tăng bán kính đường cong tròn hoặc tăng trị số độ tăng gia tốc ly tâm cho phép I > 0,5 m/s^3 (có thể lấy bằng 0,7 - 0,8 m/s^3) để giảm chiều dài đường cong chuyển tiếp và việc kiểm tra điều kiện (1.78) là bắt buộc khi lựa chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp. Trong trường hợp góc ngoặt không đủ trị số tối thiểu để cắm đường cong chuyển tiếp và địa hình khó khăn không thể tăng được bán kính đường vòng thì có thể có giải pháp mở rộng phần xe chạy để cải thiện một phần điều kiện xe chạy khi vào đường cong.

2. Các bước cắm đường cong chuyển tiếp clothoid

Các bước cắm đường cong chuyển tiếp clothoid được thực hiện theo trình tự cơ bản sau:

a) Tính toán lựa chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp thoả mãn các điều kiện mong muốn như đã trình bày ở trên.

b) Tính góc tiếp tuyến của đường cong chuyển tiếp với trục hoành $\beta = \frac{L}{2R}$.

c) Kiểm tra khả năng cắm cong theo điều kiện $\beta \le \frac{\gamma}{2}$.

d) Tính độ dịch chuyển p theo công thức (1.70) và xem xét trị số p >< 0,01R . Nếu p < 0,01R thì ta có thể bỏ qua độ dịch chuyển. Tuy nhiên tốt hơn cả là vẫn tính đến độ dịch chuyển p. Nếu tính đến độ dịch chuyển thì phải xác định các thông số mới theo bán kính $R_1 = R - p$.

Tính chiều dài đường tang của đường tròn cơ bản T theo công thức (1.72) hay (1.74) và chiều dài đường tang phụ t theo công thức (1.76a) hoặc (1.76b).

Xác định chiều dài đoạn chêm tròn K theo công thức (1.73) hay (1.75).

e) Từ đỉnh đường cong A xác định được vị trí đầu đường cong chuyển tiếp N theo khoảng cách $T_0 = t + T$ được tính theo công thức (1.77a) hoặc (1.77b) hay (1.78).

f) Từ đầu đường cong chuyển tiếp N, xác định vit trí toạ độ điểm cuối của đường cong chuyển tiếp x_0, và y_0 đã tính được. Đó là điểm E trên trục hoành có hoàng độ là x_0 và điểm P có tung độ là y_0.

g) Cắm các điểm trung gian của đường cong chuyển tiếp theo các bảng tính thông thường (bảng 1.5).

h) Kiểm tra mức độ chính xác khi cắm cong bằng cách xác định khoảng cách từ giữa đường cong tới đỉnh góc ngoặt phải bằng tổng của độ phân giác và độ dịch chuyển. Tức là $AI = p + p_1$ với $p_1 = (R + p).\left(\frac{1}{\cos\gamma} - 1\right)$ (1.81)

Phụ thuộc vào chiều dài đường cong chuyển tiếp có thể chia nhỏ để cắm cong theo từng đoạn có chiều dài từ 5 đến 10m.

i) Tiếp tục cắm đường cong tròn ở giữa. Nếu đường cong chuyển tiếp được thiết kế đối xứng qua đoạn chêm tròn thì chỉ cần cắm cong đến một nửa cung tròn. Nửa còn lại được thực hiện đối xứng từ đầu kia đến điểm giữa I.

Các điểm trung gian của đường cong tròn được chia thành các đoạn có khoảng cách tùy thuộc vào bán kính đường cong tròn R như sau:

Khi R < 100m thì l = 5m

R = 100 - 500m l = 10m

R > 500m l = 20m

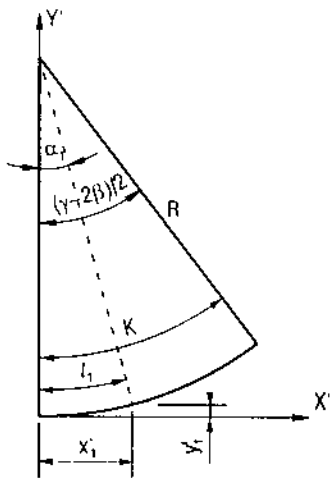
Toạ độ của các điểm trung gian x_i', y_i' của đường cong tròn được xác định trên hệ toạ độ X'OY' (xem hình 1.15b) như sau:

- Góc chắn cung có chiều dài l bằng: $\alpha_i = \dfrac{l}{R}$

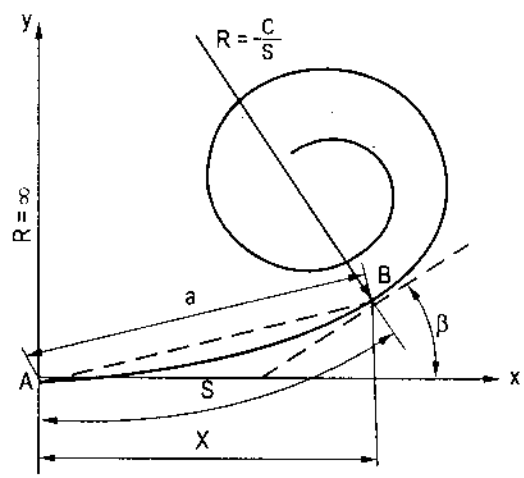
- Tại điểm thứ n có chiều dài là n × l (n = 1, 2, 3, ...) và có toạ độ:

$$\begin{cases} x_i' = R\sin(n\alpha) \\ y_i' = R\left[1-\cos(n\alpha)\right] \end{cases} \qquad (1.82)$$

Ta lần lượt cắm các điểm trung gian trên đường cong tròn cho đến giữa đường cong tại đó chiều dài đoạn cong đạt $\dfrac{K}{2}$ ứng với góc ở tâm bằng $\dfrac{1}{2}(\gamma - 2\beta)$. Còn nửa bên kia cắm đối xứng. Hình (1.16) được tách ra từ hình (1.14b) trình bày cách xác định vị trí tại điểm đầu tiên có khoảng cách l kể từ đầu đường cong tròn.



Hình 1.16



Hình 1.17

Từ phương trình đường cong clothoid ta tiếp tục khảo sát hai đường cong tiếp theo bằng cách thay chiều dài đường cong clothoid S bằng đường dây cung a ta được đường hoa thị Lemniscat Becnulli và thay chiều dài đường cong clothoid S bằng hoành độ x ta được đường cong Parabol bậc 3 (xem hình 1.17).

1.5.2. Đường hoa thị Lemniscat Becnulli

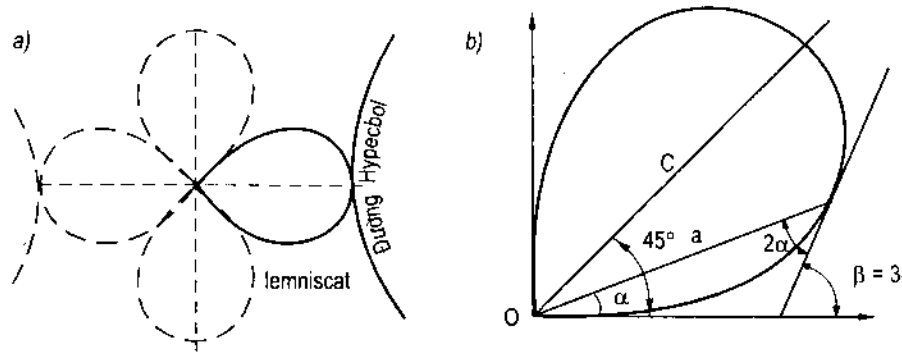
Đường cong toán học Lemniscat có dạng như cánh hoa thị. Nếu thay chiều dài đường cong clothoid S từ phương trình $\rho = \frac{C}{S}$ bằng chiều dài dây cung a ta sẽ có đường cong Lemniscat Becnulli ở tọa độ độc cực có dạng sau:

$$a^2 = 3C\sin(2\alpha) \tag{1.83}$$

Trong đó: C - thông số;

α - góc độc cực.

Hình (1.18) biểu thị đường cong toán học Lemniscat



Hình 1.18

Từ hình (1.18) cho thấy khi góc độc cực bằng 45^0 thì vectơ bán kính đạt trị số lớn nhất, khi đó a = C còn bán kính cong đạt trị số nhỏ nhất và $a^2 = 3C\sin 90^0$ nên

$$\rho_{min} = \frac{C}{a} = \frac{C}{\sqrt{3C}}$$

Và

$$\rho_{min} = \sqrt{\frac{C}{3}} \tag{1.84}$$

Đường cong Lemniscat đã được R.Dawson người Anh nghiên cứu áp dụng để làm đường cong chuyển tiếp vì thế nên nó được phổ biến rộng rãi trong các nước thuộc Liên hiệp Anh.

Phạm vi sử dụng đường Lemniscat để làm đường cong chuyển tiếp với góc độc cực α hay góc $\beta \leq 135^0$ (xem hình 1.18). Hiệu quả nhất là sử dụng đường cong Lemniscat để bố trí đường cong rẽ trái tại các nút giao thông khác mức hoặc để thiết

kế đường cong con rắn khi triển tuyến gặp khó khăn do địa hình vùng núi có nhiều trở ngại. Nhờ các bảng lập sẵn cho phép ta cắm được tất cả các đường cong con rắn, dưới dạng đường cong chuyển tiếp liên tục.

Phương pháp được sử dụng cắm đường cong Lemniscat thường được áp dụng là phương pháp các góc và cát tuyến.

Để thuận lợi khi cắm cong người ta xác định cát tuyến đơn vị S_1 theo công thức:

$$S_1 = \sqrt{\frac{R.L\alpha_1}{573}} = \sqrt{\frac{R.L}{35,81}} \qquad (1.85)$$

Trong đó: R - bán kính đường cong cơ bản, m;

α_1 - góc độc cực của cát tuyến thứ nhất, phút;

L - chiều dài đường cong chuyển tiếp, m.

Trong nửa cung của đường Lemniscat có 13,58 cát tuyến đơn vị.

Bảng cắm cong theo phương pháp các góc và cát tuyến được lập với các góc độc cực và vectơ bán kính khi chiều dài cát tuyến bằng 1 đơn vị như sau:

Bảng 1.8

Đường cong chuyển tiếp liên tục					Bao gồm đường cong tròn	
Chiều dài đường cong, m	Góc độc cực		Bán kính vectơ, m	Bán kính R, m	Độ dịch chuyển p, m	Đường tang phụ thêm t, m
	Độ	Phút				
0	0	0	0	∞	0	0
1	0	16	1,0000	35,8103	0,0012	0,0000
2	1	4	1,9997	17,9087	0,0093	0,0002
3	2	24	2,9982	11,9450	0,0314	0,0015
4	4	15,8	3,9911	8,9727	0,0740	0,0063
5	6	39,3	4,9731	7,2008	0,1436	0,0189
6	9	33,9	5,9334	6,0354	0,2449	0,0468
7	12	58,7	6,8572	5,2222	0,3801	0,1000
8	16	52,2	7,7247	4,6358	0,5479	0,1905

Từ các số liệu trong bảng 1.8 nhân với chiều dài cát tuyến đơn vị (tính theo công thức 1.85 ta sẽ được các kích thước thật của đường cong.

Cũng từ bảng trên cho thấy ta có thể cắm đường cong chuyển tiếp Lemniscat với góc tiếp tuyến $\beta = 3\alpha = 3 \times 16^0 52 \approx 50^0$. Nghĩa là có thể cắm cong tất cả các trường hợp trong thực tế.

Việc nghiên cứu cắm đường cong Lemniscat theo toạ độ vuông góc cũng ít được quan tâm do phương pháp này đã được nghiên cứu kỹ để cắm đường cong clothoid như đã được nêu ra ở phần trên. Riêng tại Anh, giáo sư R.Dawson đã tính toán chuyển về phương pháp cắm theo toạ độ nhờ sử dụng cát tuyến đơn vị. Trị số các toạ độ của đường cong Lemniscat theo toạ độ vuông góc ứng với cát tuyến đơn vị được nêu trong bảng 1.9:

Bảng 1.9

Số thứ tự cát tuyến	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	1,0000	1,9994	2,9956	3,9800	5,9396	5,8509	6,6820	7,3923
y_i	0,0046	0,0372	0,1255	0,2908	0,5763	0,9859	1,5400	2,2417

Nhân các trị số trong bảng (1.9) với chiều dài cát tuyến đơn vị ta sẽ nhận được các trị số toạ độ thật. Bảng được chỉ lập với cát tuyến thứ 8 vì nếu tiếp theo thì đường Lemniscat lại quay lại từ đầu.

Cuối cùng, cần lưu ý rằng cũng giống như khi cắm đường cong clothoid, đường tròn cơ bản phải được tính đến độ dịch chuyển p và cũng phải tính đường tang phụ thêm t để xác định điểm đầu của đường cong chuyển tiếp Lemniscat được sử dụng.

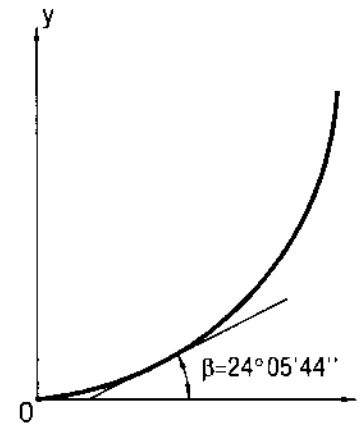
1.5.3. Đường cong Parabol bậc 3

Nếu ta thay chiều dài đường cong S bằng hoành độ x sẽ được đường cong parabol bậc 3 có phương trình (hình 1.19):

$$y = \frac{x^3}{6C} \qquad (1.86)$$

và

$$tg\beta = \frac{x^2}{2C} \qquad (1.87)$$



Hình 1.19

Thực ra, phương trình $\rho = \frac{C}{x}$ không phải là đường parabol bậc 3 mà G.V.Elphimov (Nga) đã chứng minh được phương trình của đường Parabol bậc 3 ở dạng độc cực sẽ là:

$$\rho = \frac{C}{x}\left[1 + \frac{x^4}{4C^2}\right]^{3/2} \qquad (1.88)$$

Theo công thức (1.88) thì chỉ khi x có trị số rất nhỏ so với thông số C đường parabol bậc 3 mới có dạng $\rho = \frac{C}{x}$ như đã nêu.

Đặc điểm của đường cong parabol bậc 3 là bán kính cong giảm dần, tiếp tuyến của đường cong với trục hoành tạo thành góc $\beta = 24^0 05'44''$.

Phương trình (1.86) được lập nên với điều kiện biên $x = 0$, $y = 0$ và $\rho = \infty$.

Đường cong có vectơ bán kính đạt trị số nhỏ nhất ρ_{min} tại góc $\beta = 24^0 05'44''$. Do vậy, góc $\varphi \leq 24^0$ là phạm vi sử dụng đường cong này.

Như đã phân tích nếu tỷ số $\frac{L}{C}$ càng tăng thì sai lệch giữa đường cong và quỹ đạo xe chạy càng lớn. Do vậy, đường parabol bậc 3 chỉ được áp dụng khi bán kính đường cong lớn và chiều dài đường cong chuyển tiếp nhỏ.

1.5.4. Các đường cong toán học khác

Ngoài các đường cong clothoid, hoa thị Lemniscat Becnulli và đường cong parabol bậc 3 còn một số dạng đường cong có thể được áp dụng làm đường cong chuyển tiếp như đường parabol bậc 4, đường Sinussoit, đường cong Sramma...

Phương trình đường parabol bậc 4 có dạng:

$$y = \frac{x^4}{12C} \tag{1.89}$$

Và góc tiếp tuyến

$$\beta = \frac{x^3}{3C} \tag{1.90}$$

Đường cong Sramma có dạng:

$$\rho = \frac{2C}{S} \tag{1.91}$$

So với đường cong clothoid thì đường cong Sramma có chiều dài hợp lý được sử dụng gấp đôi.

Mặc dầu các đường cong trên đều có thể sử dụng để làm đường cong chuyển tiếp cho đường ôtô và bảo đảm điều kiện thuận lợi cho xe chạy, nhưng xét cho cùng để áp dụng vào thực tế, việc áp dụng đường cong nào làm đường cong chuyển tiếp cũng phải đạt được yêu cầu cơ bản là tính toán đơn giản, dễ dàng và thuận lợi khi cắm cong định vị chúng trên địa hình. Bởi vì, quan sát thực tế chuyển động của ôtô khi đi vào đường cong cho thấy lái xe có thể thường thay đổi tốc độ quay của bánh lái và không tuân theo quỹ đạo đã vạch ra của đường cong chuyển tiếp, nhất là đối với đường cong bán kính nhỏ.

Do vậy, đường cong được khảo sát có dạng khác nhau không nhiều không phải là điều kiện cơ bản để xem xét ứng dụng. Các đường cong clothoid, đường cong Lemniscat và đường parabol bậc 3 được áp dụng rộng rãi trong thực tế để làm đường

cong chuyển tiếp bởi tính đơn giản khi tính toán và thuận lợi khi thực hiện cắm cong chúng ngoài hiện trường.

1.6. GIỚI HẠN SỬ DỤNG CÁC ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP

Trong phần này ta chỉ đặt vấn đề nghiên cứu giới hạn sử dụng ba dạng đường cong: clothoid, Lemniscat, parabol bậc ba đã được ứng dụng rộng rãi ở các nước.

1.6.1. Lựa chọn đường cong chuyển tiếp

Từ hình 1.9 đã nêu ở phần 1.5 hiển thị dạng toán học cho 3 đường cong trên cho thấy:

Đối với các góc nhỏ và góc rất nhỏ α (góc tạo bởi vectơ bán kính với trục hoành) thì cả 3 đường cong trên đều có trị số như nhau. Cụ thể là:

Khi góc α nhỏ thì $S = 6R\alpha$

$$y = \frac{x^3}{6C} = \frac{x^3}{6RL}$$

Với góc α rất nhỏ thì cả ba đường cong đều có $S \approx x$

Để thấy rõ ràng hơn khi so sánh ba đường cong tiến hành tính toán các thông số của chúng theo chiều dài cát tuyến đơn vị (bằng 1) bao gồm: vectơ bán kính (l), chiều dài đường cong (S), bán kính cong (ρ) phụ thuộc vào góc độc cực β. Kết quả đưa vào bảng 1.10 dưới đây:

Bảng 1.10

Góc độc cực β	Các đường cong chuyển tiếp								
	Cl			Lemniscat			Parabol bậc ba		
	l	S	ρ	l	S	ρ	l	S	ρ
$0^0$16"	1,000	1,000	35,81	1,000	1,000	35,81	1,000	1,000	35,81
$1^0$04"	2,000	2,000	17,91	2,000	2,000	17,91	2,000	2,000	17,91
$2^0$24"	2,998	3,000	11,94	2,998	3,000	11,94	2,998	3,000	11,94
$4^0$16"	3,993	4,000	8,96	3,993	4,000	8,97	4,003	4,010	8,98
$6^0$39"	4,960	4,996	7,17	4,971	5,001	7,20	5,039	5,066	8,51
$9^0$34"	5,909	5,996	5,97	5,934	6,002	6,03	6,102	6,165	8,37
$12^0$59"	6,805	6,995	5,12	6,858	7,003	5,22	7,240	7,396	9,17
$16^0$53"	7,651	7,982	4,49	7,727	8,004	4,63	8,439	8,673	10,97

Từ bảng tính cho thấy góc độc cực trong phạm vi từ 0^0 - 4^0 thì các kết quả tính toán các thông số cho cả 3 đường cong đều xấp xỉ như nhau, khi góc độc cực đạt $6^0$39" thì có sự sai khác về các trị số của đường cong Parabol bậc ba - có nghĩa là khi góc độc

cực tăng thì chiều dài đường cong parabol bậc ba tăng nhanh hơn so với đường Lemniscat và đường clothoid.

Cũng từ hình (1.9) cho thấy bán kính cong của đường clothoid giảm nhanh hơn cả so với các đường Lemniscat và parabol bậc ba.

Vì thế, khi góc $\alpha = \frac{\beta}{3} = 5 \div 6^0$ thì có thể sử dụng bất kỳ đường cong nào trong cả ba đường cong trên. Nhưng khi góc $\alpha > 9 \div 10^0$, tức là $\beta > 24^0 05'$ thì không nên áp dụng đường cong parabol bậc ba. Bạn đọc có thể thấy rõ giới hạn sử dụng của các đường cong chuyển tiếp thuộc về phần trên đường ngang vạch đậm của bảng (1.10).

Trong thiết kế đường ôtô chúng ta thường áp dụng đường cong clothoid làm đường cong chuyển tiếp bởi nó tính toán đơn giản, thực hiện cắm cong dễ dàng trên địa hình và bởi nó thoả mãn tất cả các yêu cầu đối với một đường cong chuyển tiếp tương ứng với bất kỳ góc ngoặt nào.

1.6.2. Lựa chọn bán kính để áp dụng đường cong chuyển tiếp

Bố trí đường cong chuyển tiếp nối giữa đường thẳng và đường cong tròn rõ ràng là điều thực sự cần thiết, nhất là đối với đường cong có bán kính nhỏ.

Tuy nhiên, nếu chỉ dựa vào điều kiện để gia tốc ly tâm tăng từ từ bán kính đường cong tròn càng lớn chiều dài đường cong chuyển tiếp càng giảm, ngược lại, tốc độ xe chạy thiết kế tăng thì chiều dài đường cong chuyển tiếp càng tăng.

Vậy ứng với một tốc độ thiết kế đã xác định ta cần phải bố trí đường cong chuyển tiếp với các bán kính R nhỏ hơn và bằng trị số bán kính giới hạn bằng bao nhiêu ? Bởi với bán kính quá lớn mà tốc độ thiết kế không lớn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp tính được sẽ quá ngắn. Khi đó việc bố trí đường cong chuyển tiếp sẽ không còn ý nghĩa nữa.

Ví dụ: Tốc độ thiết kế 60km/h, độ tăng gia tốc ly tâm $I = 0,5\ m/s^3$ thì chiều dài đường cong chuyển tiếp lần lượt tính được tương ứng với bán kính R = 1000, 2000m là L = 9,19 m và 4,59m.

Do đó, quy trình thiết kế đường ôtô của Việt Nam trước đây (TCVN 4054 - 98) chỉ quy định thiết kế đường cong chuyển tiếp trên đường có $V_{thiết\ kế} \geq 60km/h$ theo chúng tôi là chưa đủ mà cần phải giới hạn bán kính đường cong tròn lớn nhất và chiều dài đường cong chuyển tiếp giới hạn lớn nhất cho phép thiết kế ứng với các tốc độ thiết kế lớn hơn như $V_{thiết\ kế}$ = 80, 100,120km/h để thuận lợi áp dụng cho cả thiết kế đường cao tốc. Có thể thấy rõ những trị số giới hạn này trong tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô mới (bảng 14 của TCVN 4054-2005).

Tất nhiên, việc lựa chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp không chỉ thoả mãn điều kiện tăng đều gia tốc ly tâm mà còn phải thoả mãn tất cả các điều kiện đã được nêu trong phần 1.3 ở trên, trong đó có điều kiện bảo đảm cho tuyến đều đặn trong không gian thông qua việc quy định lựa chọn trị số thông số A.

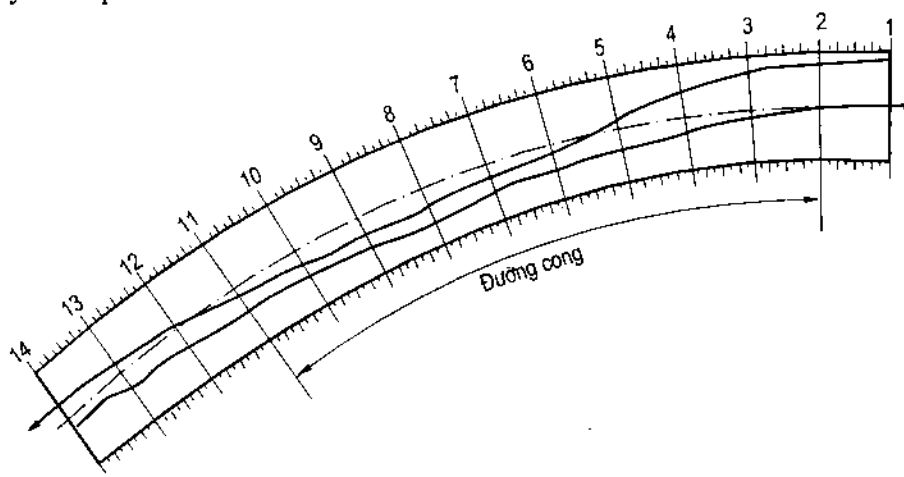
Như đã nêu ra ở phần trên, các nước thường quy định áp dụng đường cong chuyển tiếp với giới hạn bán kính R < 2000m hoặc R < 3000m tuỳ thuộc mỗi nước và cấp đường nhằm thoả mãn tất cả các điều kiện như đã nêu. Khi áp dụng đường cong chuyển tiếp cho bán kính lớn thì độ tăng của gia tốc ly tâm sẽ được thay đổi rất nhỏ. Ví dụ như, với bán kính R = 2000m chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp L = 200m thì độ tăng của gia tốc ly tâm theo tốc độ thiết kế như sau:

$V_{thiết\ kế}$, km/h	60	80	100	120
I, m/s^3	0,01	0,027	0,05	0,09

Với các trị số độ tăng gia tốc ly tâm như vậy thì hành khách ngồi trên xe hoàn toàn có cảm giác như đi trên đường thẳng, nhưng để bảo đảm độ êm thuận quang học vẫn cần phải bố trí đường cong chuyển tiếp cho các đường cong tròn có bán kính lớn.

Khi thiết kế bán kính đường cong tròn lớn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp giảm và góc tiếp tuyến $\beta = \frac{L}{2R}$ cũng giảm theo, dẫn đến độ dịch chuyển của đường cong tròn cũng giảm. Trong đoạn đường cong clothoid giới hạn A=R=1 thì độ dịch chuyển được xác định theo công thức (1.70) đã nêu ở trên.

A.V. Macarov (Nga) đã quan trắc trên đường cong bán kính nhỏ cho thấy quỹ đạo xe chạy thực tế khác với quỹ đạo tính toán. Trên hình (1.20) biểu thị quỹ đạo của xe theo chiều đi và chiều về trên đường cong có bán kính R = 75 m không làm đường cong chuyển tiếp.



Hình 1.20

Bán kính đường cong tròn càng lớn thì độ dịch chuyển (hiệu số giữa quỹ đạo của đường cong chuyển tiếp và đường cong tròn) là không lớn. Khảo sát ôtô chạy trên đường cong cho thấy lái xe thường lái ôtô lệch khỏi quỹ đạo tính theo lý thuyết từ 15–20cm. Độ dịch chuyển p đối với một số đường cong bán kính R ứng với chiều dài đường cong chuyển tiếp lựa chọn như sau:

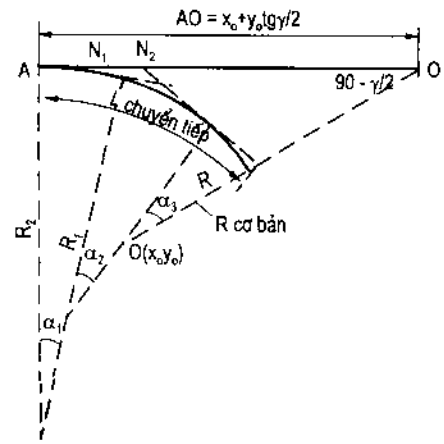
Bán kính R, m	500	600	1000	2000
Chiều dài đường cong chuyển tiếp, L, m	110	120	100	100
Độ dịch chuyển p, m	0,98	1,00	0,41	0,21

Và PGS. V. Veselư (CH Séc) đề nghị cắm đường cong chuyển tiếp khi độ dịch chuyển lớn hơn 25cm, đề nghị này cũng tương ứng với bán kính giới hạn lớn nhất R < 2000m. Do nghiên cứu ở các nước khác nhau đã đưa ra các độ dịch chuyển giới hạn khác nhau (Ví dụ: kỹ sư người Anh Krisvel đề nghị p = 7,5cm nhưng A.V.Macarov lại đề nghị lấy trị số giới hạn của độ dịch chuyển là 15cm còn ở Mỹ trước đây đưa ra độ dịch chuyển giới hạn là 30,5cm...) nên vấn đề lựa chọn bán kính giới hạn để bố trí đường cong chuyển tiếp dựa vào độ dịch chuyển giới hạn p chỉ là một thông số để tham khảo bên cạnh hàng loạt các thông số có liên quan đến chúng đó là tốc độ thiết kế, cấp đường ... và các yêu cầu khác.

1.6.3. Các phương thức cắm đường cong chuyển tiếp

Thông thường, đường cong clothoid được áp dụng để làm đường cong chuyển tiếp trên đường ôtô. Quy phạm thiết kế đường ôtô của Việt Nam cũng quy định có thể dùng đường cong parabol bậc ba hay đường cong phối hợp nhiều cung tròn liên tiếp với các bán kính không lớn hơn nhau quá hai lần để làm đường cong chuyển tiếp thay cho đường cong clothoid.

Nói chung, theo điều kiện tính toán đơn giản và thuận lợi khi cắm cong thì ba đường cong clothoid, Lemniscat và parabol bậc ba được coi là ngang nhau. Nhưng với đường ôtô thì đường cong clothoid được áp dụng phổ biến ở nhiều nước. Chỉ đối với đường ôtô cấp thấp hơn người ta mới áp dụng cắm cong bằng đường cong chuyển tiếp phối hợp ba cung tròn (xem hình 1.21).



Hình 1.21

Mặc dù có 2 phương pháp: cắm cong theo góc và cát tuyến, cắm cong theo toạ độ vuông góc Descarde nhưng trong thực tế người ta thường áp dụng phương pháp toạ độ vuông góc (hoành độ và tung độ) để cắm đường cong clothoid và đường parabol bậc ba.

Trước đây khi công nghệ thông tin chưa phát triển, còn chưa xuất hiện máy tính hoặc việc sử dụng máy tính còn bị hạn chế nên để thuận tiện cho thiết kế người ta thường lập các bảng tính sẵn để cắm cong.

Các bảng cắm cong đầu tiên được lập với các bán kính xác định đã để lộ nhược điểm cơ bản là không thể sử dụng để cắm cong với bất kỳ bán kính và chiều dài đường cong chuyển tiếp lựa chọn nào nằm ngoài các bảng tính sẵn.

Bằng cách đưa vào thông số $A = \sqrt{RL}$ và dựa vào thông số đơn vị A = 1 ở CHLB Đức đã lập ra bảng cắm cong clothoid (xem bảng 1.5 trong phần 5). Dựa vào bảng này ta có thể cắm cong đường cong clothoid với bất kỳ bán kính và chiều dài đường cong chuyển tiếp nào được lựa chọn. Cách làm này tạo điều kiện cho người thiết kế và thi công thực hiện cắm cong một cách nhanh chóng và thuận lợi khi thiết kế cũng như khi thực hiện ngoài hiện trường.

Ngày nay, các kỹ sư thiết kế đã được trang bị đầy đủ những kiến thức về tin học, trong tay họ đã có các phần mềm cần thiết và hầu hết các công ty tư vấn thiết kế đều trang bị đầy đủ hệ thống máy tính có nối mạng nên việc thiết kế cắm cong được thực hiện và sẽ hoàn thành một cách dễ dàng lại không mất bao nhiêu thời gian. Vấn đề còn lại của người kỹ sư thiết kế là việc ứng dụng các phần mềm với vốn tích luỹ về chuyên môn, kinh nghiệm thực tế cùng tài năng sáng tạo sao cho phù hợp với điều kiện địa hình địa chất, cảnh quan và đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu về kinh tế - kỹ thuật.

Tuy nhiên, các bảng cắm cong được lập sẵn từ trước đến nay vẫn còn ý nghĩa vì nếu không kể đến chức năng sử dụng chúng để thực hiện thiết kế cắm cong cụ thể thì các bảng lập sẵn này cũng có vai trò trong giai đoạn thiết kế sơ bộ để lập dự án khả thi hoặc là các con số trực quan để các nhà thiết kế tham khảo ban đầu. Cuối cùng, chúng vẫn có ích thực sự cho những nơi nào còn khó khăn chưa được trang bị đầy đủ máy tính cùng các kiến thức tin học trong điều kiện hiện nay của nước nhà.

Chương 2

ĐƯỜNG CONG CLOTHOID - MỘT YẾU TỐ ĐỘC LẬP TRONG THIẾT KẾ ĐƯỜNG ÔTÔ

2.1. VAI TRÒ VÀ CHỨC NĂNG LÀ MỘT YẾU TỐ ĐỘC LẬP CỦA ĐƯỜNG CONG CLOTHOID

Đã từ lâu những chuyên gia thiết kế đường ô tô đều hiểu rõ rằng, muốn cho ôtô chạy từ đường thẳng sang đường cong tròn cần phải có đoạn chuyển tiếp. Đối với đường cấp thấp nhất là đường vùng núi thường phải thiết kế với nhiều bán kính nhỏ (có khi chỉ vài chục mét) thì khi chuyển từ đường thẳng sang đường cong tròn cơ bản chỉ cần bố trí một đoạn trung gian để nâng siêu cao là đủ. Đoạn chuyển tiếp này chỉ có chức năng chuyển dần trắc ngang từ hai mái trên đường thẳng thành trắc ngang một mái có độ dốc bằng độ dốc siêu cao khi bắt đầu đi vào đường cong tròn.

Khi thiết kế với tốc độ lớn hơn cho các đường ô tô cấp cao hơn (ví dụ theo tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô của Việt Nam ứng với đường cấp III (đồng bằng hay vùng núi) có tốc độ thiết kế $V_{tk} \geq 60$ km/h) thì yêu cầu của đoạn chuyển tiếp không phải chỉ thỏa mãn điều kiện để bố trí siêu cao mà còn phải thỏa mãn yêu cầu đủ để cho gia tốc ly tâm tăng từ từ, tạo điều kiện an toàn cho xe chạy và thuận lợi cho hành khách ngồi trên xe.

Để thỏa mãn được cả hai điều kiện trên người ta đã sử dụng các đường cong toán học dạng clothoid hay dạng hoa thị Lemniscat hoặc đường cong parabol bậc ba làm đường cong chuyển tiếp, mà phổ biến nhất vẫn là áp dụng đường cong clothoid.

Như vậy, khi chiều dài đường cong được tính toán và thiết kế chỉ nhằm đạt được hai mục đích trên thì nó chỉ được xét đến trong trường hợp các bán kính đường cong nằm thiết kế R có trị số trong một khoảng giới hạn nào đó.

Mặt khác, bán kính lớn thì chiều dài đường cong chuyển tiếp tính được theo điều kiện gia tốc ly tâm tăng từ từ sẽ rất nhỏ. Với chiều dài quá ngắn, có khi chỉ đạt vài mét như ví dụ tính toán đã được chúng tôi nêu ra chương 1 thì việc bố trí đoạn đường cong chuyển tiếp hầu như vô nghĩa.

Và như thế thì, đường cong clothoid ở đây chỉ đóng vai trò là một đoạn chuyển tiếp - Một yếu tố phụ. Yếu tố phụ này chỉ được sử dụng khi chuyển từ đường thẳng vào

đường cong tròn có bán kính tương đối không lớn trở xuống còn đối với các đường cong tròn có bán kính lớn thì yếu tố phụ này sẽ không cần thiết và không được sử dụng.

Khi đường cong cothoid chỉ được coi là một yếu tố phụ thì người thiết kế đường chỉ áp dụng đường cong này làm đường cong chuyển tiếp trong phạm vi các bán kính giới hạn theo đúng quy trình, quy phạm, kỹ thuật mà hoàn toàn không cần quan tâm đến các vấn đề khác có liên quan.

Việc coi thiết kế đường cong cothoid chỉ là yếu tố phụ để xây dựng đoạn chuyển tiếp đã được các kỹ sư thiết kế đường ở nước ta nhập tâm và thực hiện từ trước đến nay.

Song, cùng với quá trình phát triển kinh tế - kỹ thuật nói chung và sự phát triển trong ngành giao thông vận tải nói riêng những yêu cầu về thiết kế và xây dựng một tuyến đường ôtô ngày càng được đòi hỏi cao về mặt *kỹ thuật* cũng như về *mỹ thuật*.

Một con đường được xây dựng nên không phải chỉ đơn thuần phục vụ cho vận tải hàng hóa và hành khách từ nơi này đến được nơi khác là đủ mà còn cần phải thỏa mãn các yêu cầu cơ bản dưới đây:

- Bảo đảm xe chạy an toàn, thuận lợi với tốc độ cao cho phép.

- Bảo đảm cho lái xe và hành khách ngồi trên xe có tâm trạng thoải mái, dễ chịu, không mệt mỏi.

- Bảo đảm tuyến đường không phá vỡ cảnh quan, môi trường xung quanh dọc theo khu vực tuyến đi qua.

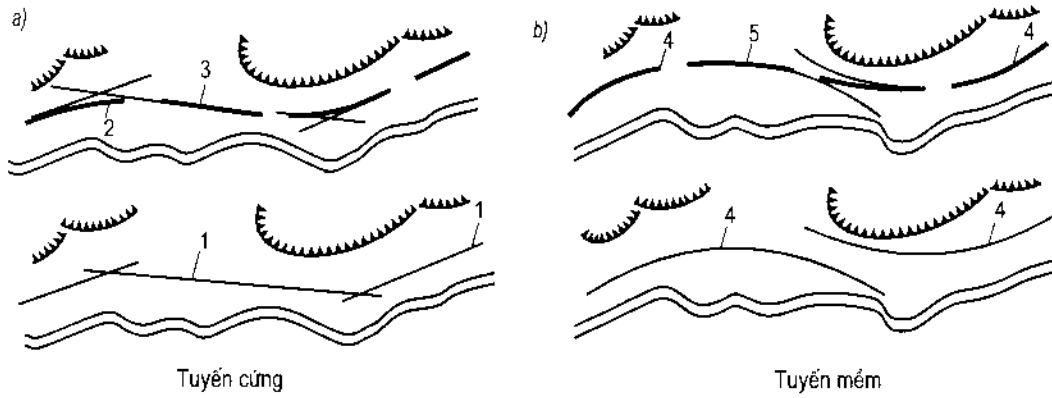
Để đạt được các yêu cầu trên người kỹ sư thiết kế phải có quan điểm coi con đường là nơi làm việc thường xuyên, hàng ngày trong suốt cả cuộc đời của người lái xe. Phải coi con đường là một công trình kiến trúc, nó không những không phá hỏng cảnh quan thiên nhiên xung quanh mà chính con đường và các công trình được xây dựng trên nó (Hệ thống cầu, cống, trạm kỹ thuật, bãi nghỉ ngơi, trạm dừng xe, trạm cung cấp nhiên liệu xăng, dầu, các motel phục vụ lái xe và hành khách ...) lại có tác dụng tôn thêm vẻ đẹp cho phong cảnh thiên nhiên mà nó băng qua.

Với cách nhìn như vậy, người ta đã nghiên cứu quá trình thụ cảm thị giác của lái xe khi xe đang chạy trên đường, dựng hình phối cảnh từng đoạn tuyến và xây dựng nên một phương pháp thiết kế không gian cho đường ôtô. Và những kết quả nghiên cứu ở các nước cho thấy tuyến được cấu tạo bởi các đoạn đường cong cothoid liên kết với nhau và liên kết với các đoạn thẳng, đường cong sẽ tạo thành một tuyến không gian thỏa mãn tốt nhất về độ bằng phẳng quang học, êm thuận về mặt thị giác.

Cách thiết kế tuyến đường ô tô như thế khiến lái xe có thể yên tâm cho xe chạy an toàn với tốc độ cao.

Muốn cho tuyến đường uốn lượn theo địa hình không phá vỡ cảnh đẹp thiên nhiên do có nhiều đoạn phải đào sâu, đắp cao; đồng thời nếu muốn cho tuyến đường đi qua được những điểm (vị trí) mong muốn như đi vòng quanh bìa rừng, qua các khu du lịch, các di tích lịch sử nổi tiếng. Chúng ta phải nắm vững các nguyên tắc về thiết kế cảnh quan đường ôtô, mà một trong các nguyên tắc đó là sử dụng các đoạn tuyến bằng các đường cong cothoid nối với nhau kết hợp với các đoạn thẳng và các đường cong tròn trên bình đồ.

Thực hiện được như vậy thì việc thiết kế tuyến đường ôtô từ chỗ được một tuyến "cứng" (xem hình 2.1a) trở thành một tuyến "mềm" lượn theo địa hình (xem hình 2.1b).



Hình 2.1: 1- Đường thẳng ; 2- Đường cong tròn ;
3- Đường cong tròn thiết kế theo địa hình; 4- Đường cong cothoid

Trong trường hợp thiết kế tuyến mềm thì đường cong cothoid đã trở thành *một yếu tố độc lập*, có vai trò như đối với yếu tố đường thẳng và yếu tố đường cong tròn.

Khi đã trở thành một yếu tố độc lập thì đường cong, clothoid lúc này vừa đóng vai trò là đường cong chuyển tiếp nhưng lại có thêm một "nhiệm vụ" là làm cho tuyến đường trở nên mềm mại, đều đặn trong không gian, êm thuận về mặt thị giác và bằng phẳng về mặt quang học. Chính vì thế mà ngay cả những bán kính cong lớn người ta vẫn sử dụng đường cong cothoid như đã được trình bày ở trên.

Và điều này cũng giải thích tại sao mà theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của chúng ta (Điều 5.6 TCVN 4054 - 2005) lại quy định vẫn thiết kế độ dốc siêu cao i_{sc} = 2% với đoạn uốn siêu cao có chiều dài đáng kể ứng với tốc độ thiết kế $V_{tk} \geq 60$km/h như dưới đây:

Tốc độ thiết kế V_{tk} (km/h)	120	100	80	60
i_{sc} (%)	0,02	0,02	0,02	0,02
Bán kính R (m)	3500-5500	1000-4000	650-2500	300-1500
L (m)	85	85	70	50

Rõ ràng, nếu ta lấy giới hạn: R = 1500m ứng với $V_{t.kế}$ = 60 km/h

và R = 5500m ứng với V_{tk} = 120 km/h

Để tính theo các điều kiện của đường o tô 2 làn xe:

Thì chiều dài đủ để nâng siêu cao i_{sc} = 2% chỉ bằng:

$$\text{với V = 60km/h có } L_{usc} = \frac{(7+0).0,02}{0,005} = 28m < 50m$$

$$\text{với V = 120km/h có } L_{usc} = \frac{(7,5+0).0,02}{0,005} = 30m < 85m$$

Còn nếu lấy L = 50m và 85m theo tiêu chuẩn ta sẽ tính được độ tăng của gia tốc ly tâm I là rất nhỏ, không đáng kể như sau:

$$\text{với V = 60km/h có } I = \frac{60^3}{47.50.1500} = 0,061\ m/s^3 << 0,5\ m/s^3$$

$$\text{với V = 120km/h có } I = \frac{120^3}{47.85.5500} = 0,078\ m/s^3 << 0,5\ m/s^3$$

Trong đó I = 0,5 m/s^3 là độ tăng gia tốc ly tâm cho phép.

Cuối cùng thiết kế tuyến mềm (tuyến cothoid) của đường ôtô bao gồm từ sự kết hợp của 3 yếu tố độc lập đó là: *đường thẳng - đường cong tròn- đường cong clothoid.*

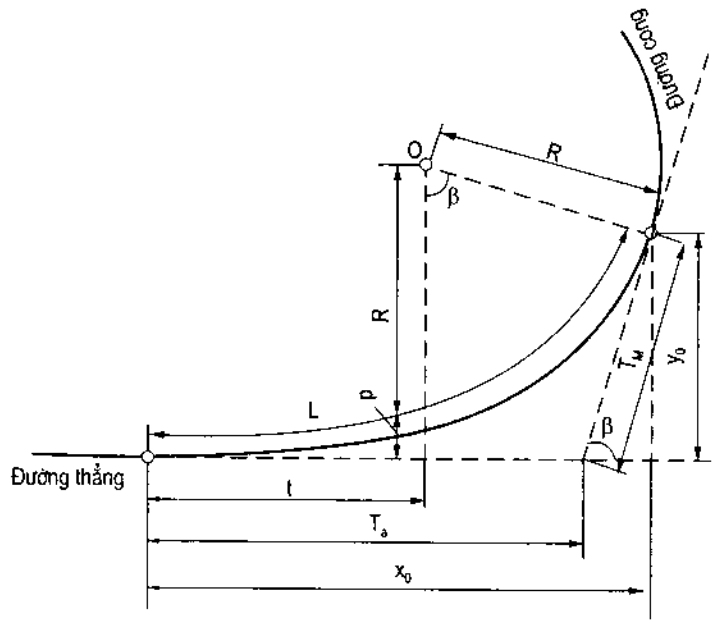
Các chi tiết về cách kết hợp thiết kế các yếu tố trên sẽ được nghiên cứu kỹ ở các phần sau.

2.2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA ĐƯỜNG CONG CIOTHOID

Để sử dụng đường cong clothoid là một yếu tố độc lập khi thiết kế tuyến mềm ta không thể áp dụng bảng cắm cong thông thường như bảng 1.5 đã nêu trong chương 1 để cắm đường cong chuyển tiếp clothoid vì bảng này được lập với thông số của clothoid A = 1 nhằm định vị tọa độ (hoành độ và tung độ) của tất cả các điểm nằm trên chiều dài đường cong chuyển tiếp S và như vậy nó chỉ thuận lợi cho việc cắm cong ngoài ra không cho ta biết thêm một thông tin nào khác.

Muốn vạch được một đường cong có chiều dài chọn tùy ý, đồng thời xác định ngay được các thông số của đường cong clothoid đã lựa chọn người ta lập bảng tính chi tiết đối với đường tròn có bán kính đơn vị R = 1.

Sơ đồ xác định các yếu tố của đường cong clothoid để lập bảng được trình bày trên hình 2.2 (xem phần phụ lục).



***Hình 2.2**: Sơ đồ các yếu tố của clothoid*

Trong bảng tra nêu trong phụ lục chúng ta có thể xác định được các thông số của đường cong clothoid khi biết bán kính R, chiều dài đường cong L.

Ví dụ: Nối đường tròn bán kính R = 400m với đường cong clothoid dài L = 100m. Từ phụ lục ta được:

$$\frac{L}{R} = \frac{100}{400} = 0,25 \quad , \qquad \text{tra bảng } \frac{A}{R} = 0,5$$

Từ đó có A = 0,5. R hay A = 0,5. 400m = 200m. Độ dịch chuyển p xác định từ $\frac{p}{R} = \frac{p}{400} = 0,002603$ rút ra p = 0,002603 . 400 = 0,104m

Xác định các tọa độ x_o, y_o cuối đường cong clothoid: $\frac{x_o}{R} = 0,249610$

Rút ra x_o = 0,249610 . 400 = 99,84 m

Và $\frac{y_o}{R} = 0,010405$, rút ra y_o = 0,010405 . 400 = 4,16m

- Góc tiếp tuyến β tra bảng được β = 7°09'43''

- Đường tang phụ: $\frac{t}{R} = 0,124935$, rút ra: t = 0,124935 . 400 = 49,974m

- Đường tang lớn: $\frac{T_a}{R} = 0,166804$, rút ra: T_a= 0,166804 . 400 = 66,736m

- Đường tang nhỏ: $\frac{T_M}{R} = 0,083458$, rút ra: T_M = 0,083458 . 400 = 33,3832m

Các trị số tọa độ x_o, y_o tính được từ phụ lục có thể kiểm tra lại theo bảng 1.5

Trong ví dụ trên chúng ta cố tình chọn các trị số bán kính R và đường cong chuyển tiếp L sao cho chiều dài đường cong L chia hết cho R. Song như trong phụ lục cho thấy hầu như tỷ số trên đều là số lẻ tới sáu con số, bởi vậy khó có thể chọn để tính ra được thông số A có trị số nguyên. Vì thế để đơn giản cho công việc cắm tuyến ta nên chọn bán kính đường tròn R và thông số A là các trị số nguyên. Khi đó chiều dài đường cong clothoid được tính ngược lại: Từ tỷ so $\frac{A}{R}$ ở cột (2) đã biết ta tra cột (1) để được tỷ số $\frac{L}{R}$ và tìm được trị số của đường cong L.

Ví dụ: Bán kính R = 1000m chọn A = 400m thì A/R = 400/1000 = 0,40

Tra ở cột (1) có L/R = 0,16, vậy L = 0,16 . 1000 = 160m

Tuy nhiên, trong thực tế ta thường gặp là khi chọn trước bán kính R và thông số A thì chiều dài đường cong clothoid tính được thường không là một số ngyên mà là số lẻ. Trong trường hợp này ta cần nghiên cứu thay đổi các trị số nguyên R và A trong điều kiện cho phép để có thể nhận được trị số nguyên của đường cong chuyển tiếp L; nếu không có thể thay đổi được ta vẫn có thể chấp nhận đường cong L có trị số lẻ Nếu số lẻ quá nhỏ ta có thể quy tròn để được trị số nguyên của L.

Ví dụ: Bán kính chọn R = 1300m, A = 400m thì

$\frac{A}{R} = \frac{400}{1300} = 0,30769$; Tra bảng ứng với A/R = 0,3076923

Có $\frac{L}{R} = 0,0946746$, từ đó tính được: L = 0,0946746 . 1300 = 123,07696m

Vì có số lẻ là 0,07696 nên ta quy tròn và chọn chiều dài đường cong chuyển tiếp clothoid L = 123m để cắm cung.

Khi đường cong L có chiều dài là số lẻ có trị số lớn ta vẫn giữ nguyên trị số đó để cắm cong.

2.3. BẢO ĐẢM TÍNH THẨM MỸ, ĐỀU ĐẶN VÀ BẰNG PHẲNG QUANG HỌC TRONG KHÔNG GIAN CỦA ĐƯỜNG CONG CLOTHOID

Giao thông đường ôtô càng phát triển, lưu lượng xe chạy trên đường càng ngày càng lớn, tốc độ xe chạy càng cao đòi hỏi đường ô tô phải ngày càng có chất lượng cao về mặt kỹ thuật, mỹ thuật để thỏa mãn các yêu cầu về an toàn, thuận lợi cho xe chạy.

Tính thẩm mỹ của một con đường đặt ra nhiệm vụ cho người thiết kế là phải áp dụng nguyên tắc thiết kế tuyến đường mềm. Sao cho đường được xây dựng phải mềm

mại, uốn lượn bao quanh địa hình, kết hợp hài hòa bình đồ tuyến với địa hình địa phương và với cảnh quan xung quanh. Việc sử dụng đường cong clothoid là một yếu tố độc lập có chiều dài lớn hơn nhiều so với chiều dài đường cong, chuyển tiếp khi thiết kế thông thường bằng cách kết hợp trực tiếp với nhau hoặc với các đường cong tròn có bán kính lớn và các đoạn thẳng ngắn cho phép ta thiết kế được một bình đồ tuyến mềm mại, được triển khai theo địa hình một cách "rất tự nhiên" sẽ thỏa mãn được những yêu cầu về thẩm mỹ và cảnh quan của tuyến đường. Một tuyến đường được thiết kế như vậy được gọi là *thiết kế tuyến clothoid.* Nguyên tắc vạch tuyến clothoid là thay thế các đường thẳng bằng các đường cong tròn có bán kính lớn kết hợp với các đường cong clothoid.

Trên hình 2.3 là ảnh minh họa của một đoạn tuyến clothoid được xây dựng ở nước ngoài. Bình đồ tuyến được thiết kế uốn lượn bằng cách đường cong clothoid và cung tròn khiến cho tuyến trở thành một "dải lụa" vắt qua thung lũng và bao quanh chân núi, tạo nên một cảnh quan cực kỳ hấp dẫn cho những ai qua đây đi trên con đường này.

Hình 2.3

Vấn đề thiết kế cảnh quan đường ô tô sẽ được chúng tôi đề cập trong cuốn sách khác viết về vấn đề này.

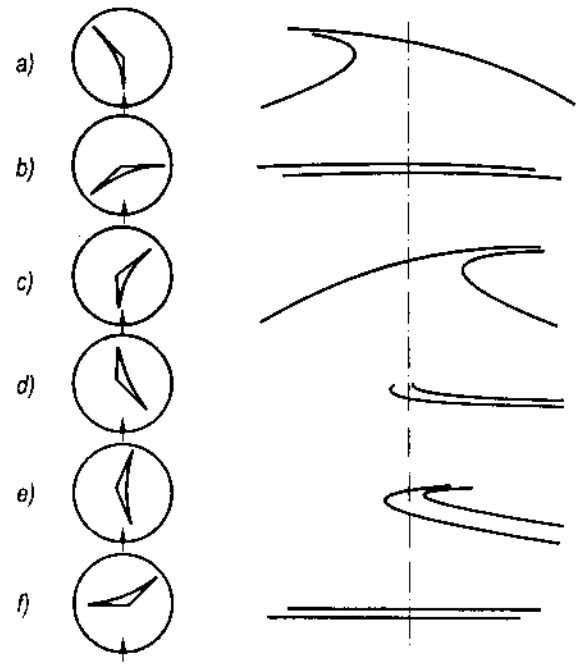
Điều quan tâm tiếp theo là độ đều đặn của tuyến trong không gian và độ bằng phẳng về mặt thị giác (bằng phẳng quang học) khi áp dụng đường cong clothoid để thiết kế tuyến.

Bằng cách nghiên cứu sự thụ cảm thị giác của lái xe đối với con đường khi cho xe đang chạy và hình ảnh phối cảnh của các đoạn đường hiện ra trước mắt của người lái xe mà người ta đã đưa ra được các nguyên tắc sử dụng phối hợp các đường cong clothoid, đường cong tròn nhằm đạt được các mục đích trên.

Ví dụ như, ngồi trên xe đang chạy lái xe thường nhìn xuống mặt đường với một góc nhìn nhỏ, do đó đoạn đường trên phối cảnh ở phía trước hiện ra trong khoảng thời gian ngắn luôn luôn bị rút ngắn và làm cho lái xe cảm nhận thị giác một cách sai lệch như: nhìn đường cong trên hình đồ thành đường E-lip, nhìn đoạn đường bằng (có độ dốc dọc bằng 0%) trước đoạn xuống dốc (hoặc đi ngược lại) lái xe có cảm giác như đoạn đường trước mặt bị dốc đứng.

Cũng chỉ đi vào một đường cong có bán kính xác định nhưng nếu ở vị trí nhìn gần lái xe thấy đường cong này đều đặn nhưng nhìn ở khoảng cách xa đường cong lại trở nên gãy v.v...

Cũng một đường cong nhưng tại vị trí nhìn khác nhau lái xe cảm nhận các yếu tố tuyến đường cũng khác nhau. Một ví dụ cụ thể được trình bày trên hình 2.4 cho thấy: Khi lái xe ở ngay đầu đường cong sẽ cảm nhận là đường cong đều đặn (trường hợp a và c) khi đi ở vị trí đối diện với bụng hoặc lưng đường cong lái xe có cảm giác như đường thẳng và hai mép đường gần như song song và nhập làm một (trường hợp b và f) còn khi lái xe ở vị trí phía lưng đường cong nhìn về đỉnh thì thấy đường cong có góc ngoặt gấp, đường rộng trở thành hẹp (trường hợp d và e).



Hình 2.4

Mặt khác, tốc độ xe chạy cũng là một nhân tố ảnh hưởng quan trọng đến thụ cảm thị giác của người lái xe. Do khi cho xe chạy với tốc độ càng cao thì việc điều khiển xe càng phải căng thẳng và phức tạp hơn. Lái xe phải nhìn phía trước đường với khoảng cách lớn hơn, góc quan sát của lái xe trong không gian càng nhỏ đi, do đó ảnh hưởng sai lệch về mặt quang học đối với hình dạng của con đường trong phối cảnh càng lớn.

Rõ ràng, quá trình xe chạy trên đường tạo nên một "*hành trình của tri giác*" giúp lái xe nhận biết và lựa chọn các thông tin cần thiết. Đồng thời sự chuyển động với tốc độ thay đổi liên tục tạo nên sự "*biến dạng của không gian*", làm cho các đối tượng trong không gian luôn luôn thay đổi các thông số của chúng, tạo nên sự sai lệch về mặt quang học của tuyến đường.

Để bảo đảm tuyến đường ôtô có dạng đều đặn về mặt thị giác, tạo nên các "đường viền" phù hợp với cảnh quan thiên nhiên thì vạch tuyến clothoid, tạo cho tuyến đường mềm mại là phương pháp thiết kế tuyến hợp lý hơn cả.

Bởi vì tuyến clothoid đảm thay đổi độ cong một cách liên tục, tạo khả năng theo bám địa hình và hài hòa với cảnh quan xung quanh.

Từ những kinh nghiệm thiết kế đường ô tô cấp cao và đường cao tốc ở các nước trong nhiều năm người ta đã đúc kết và đưa ra một số những nguyên tắc thiết kế tuyến clothoid như dưới đây:

1. Để đảm bảo thụ cảm quang học tức là bảo đảm thụ cảm đều đặn về mặt thị giác thì đường cong clothoid phải có góc tiếp tuyến tạo nên ở điểm đầu đường cong không nhỏ hơn 3,15°. Từ điều kiện này mà lựa chọn thông số A của đường cong clothoid phải có trị số tối thiểu bằng:

$$A_{min} = \frac{R}{3} \qquad (2.1)$$

Vì chiều dài đường cong chuyển tiếp $L = \frac{A^2}{R}$, nên có thể thay điều kiện (2.1) bằng chiều dài tối thiểu của đường cong chuyển tiếp $L_{min} = \frac{R^2}{3^2.R}$

hay

$$L_{min} = \frac{R}{9} \qquad (2.1a)$$

Và chiều dài đường cong chuyển tiếp clothoid không nhỏ hơn ¼ chiều dài đường cong tròn. Thông số của đường clothoid từ phương trình $A^2 = R.L$ phải nằm trong giới hạn từ 0,4R đến 1,4R.

Theo điều kiện 2.1 và quan hệ giữa tốc độ thiết kế với bán kính cong tròn R ta được các trị số tối thiểu của thông số A phụ thuộc vào tốc độ thiết kế như sau:

Bảng 2.1

Tốc độ thiết kế , V_{tk} (km/h)	Trị số tối thiểu của thông số A, A_{min} (m)
50	30
60	40
70	60
80	80
90	110
100	150 (120)
120	240 (120)

Ghi chú: Trị số trong ngoặc sử dụng trong điều kiện hạn chế.

Như vậy, từ các điều kiện trên thì, khi bán kính R càng lớn, đường cong chuyển tiếp clothoid càng dài.

2. Khi đường cong clothoid có góc tiếp tuyến β đạt trị số lớn nhất ($\beta = 28,6^0$) thì thông số A có trị số giới hạn lớn nhất theo điều kiện an toàn xe chạy bằng:

$$A_{max} = R \qquad (2.2)$$

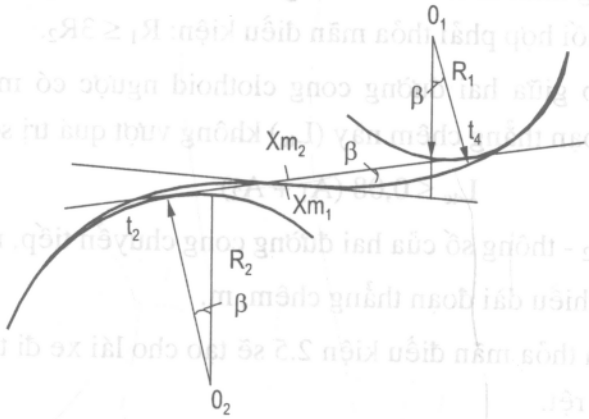
3. Trường hợp giữa hai đường cong clothoid với thông số $A \geq R/3$ có đoạn chêm tròn ngắn không đủ chiều dài cho xe chạy với tốc độ thiết kế trong vòng thì hai giây cần phải chọn chiều dài của đường chêm tròn bằng chiều dài đường cong clothoid ở hai đầu. Nghĩa là $L_{A1} = L_k = L_{A2}$ (2.3)

Theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô mới nhất của Cộng Hòa Liên Bang Đức (RAS - L - Phần đặt tuyến đường ôtô) thì bán kính tối thiểu (R_{min}) và chiều dài tối thiểu (L_{min}) của đường cong nằm bảo đảm cho khả năng xe chạy với tốc độ thiết kế trên đó không nhỏ hơn 2s phải bằng.

Bảng 2.2

Tốc độ thiết kế V_{tk}, km/h	Bán kính tối thiểu của đường cong tròn R_{min}, m	Chiều dài tối thiểu của đường cong tròn L_{min}, m
50	80	30
60	120	35
70	180	40
80	250	45
90	340	50
100	450	55
120	720	65

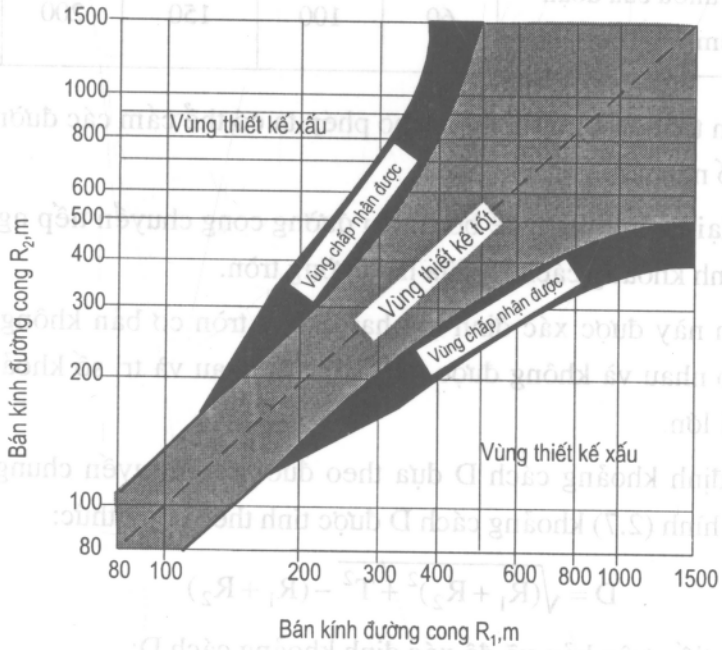
4. Khi kết hợp hai đường cong clothoid ngược chiều (tạo thành hình chữ S)(xem hình 2.5) thì tốt hơn cả là hai đường cong này nên chọn có cùng một thông số A ($A_1 = A_2$) và hai đường cong tròn có cùng một bán kính ($R_1 = R_2$). Nếu điều kiện địa hình hạn chế thì $R_1 \leq 2R_2$.



Hình 2.5

Trong trường hợp hai nhánh clothoid không có cùng một thông số A thì theo Tiêu chuẩn Thiết kế đường ôtô của CHLB Đức với các đường ôtô cấp AI, AII, AIII. Có tốc độ thiết kế $V_{tk} \leq 100 \div 120$ km/h và cấp BI, BII có tốc độ thiết kế $V_{tk} \leq 80 \div 100$ km/h, nếu chọn $A_2 \leq 200$m thì thông số A_1 phải thỏa mãn điều kiện:

$$A_1 \leq 1{,}5 \, . A_2 \qquad (2.4)$$



Hình 2.6: Quan hệ lựa chọn hai bán kính của hai đường tròn nối với nhau bằng đường clothoid ngược

Đồng thời hai đường tròn được nối với nhau bằng hai đường cong clothoid ngược phải có các bán kính được lựa chọn theo các giới hạn trình bày trên hình 2.6. (đối với đường nhóm A có tốc độ cho phép nhỏ hơn hoặc bằng 100 km/h).

Trường hợp chung nhất là khi hai đường clothoid có thông số khác nhau ($A_1 \neq A_2$) thì hai đường tròn phối hợp phải thỏa mãn điều kiện: $R_1 \leq 3R_2$.

Trong trường hợp giữa hai đường cong clothoid ngược có một đoạn thẳng chêm ngắn thì chiều dài đoạn thẳng chêm này (L_{tc}) không vượt quá trị số sau:

$$L_{tc} \leq 0{,}08\ (A_1 + A_2) \qquad (2.5)$$

Trong đó: A_1, A_2 - thông số của hai đường cong chuyển tiếp, m;

L_{tc} - chiều dài đoạn thẳng chêm, m.

Đoạn thẳng chêm thỏa mãn điều kiện 2.5 sẽ tạo cho lái xe đi trên tuyến không cảm thấy có điểm gãy rõ rệt.

Chiều dài tối thiểu của đoạn thẳng chêm giữa hai đường cong ngược chiều phụ thuộc vào tốc độ xe chạy thiết kế và loại đường được ghi trong bảng 2.3 dưới đây:

Bảng 2.3

Loại đường	Đường ôtô công cộng				Đường cao tốc	
Tốc độ thiết kế, V_{tk}, km/h	30-40	50-60	70-80	90-100	100	120
Chiều dài tối thiểu của đoạn thẳng chêm L_{tc}^{min}, m	60	100	150	200	300	300

Sử dụng đoạn thẳng chêm tối thiểu cho phép ta có thể cắm các đường cong clothoid với các thông số nguyên.

Vấn đề còn lại là điều kiện để bố trí hai đường cong chuyển tiếp ngược chiều (hình chữ S) là xác định khoảng cách D giữa hai đường tròn.

Khoảng cách này được xác định khi hai đường tròn cơ bản không được cắt nhau, không được bao nhau và không được tiếp xúc với nhau và trị số khoảng cách D cũng không được quá lớn.

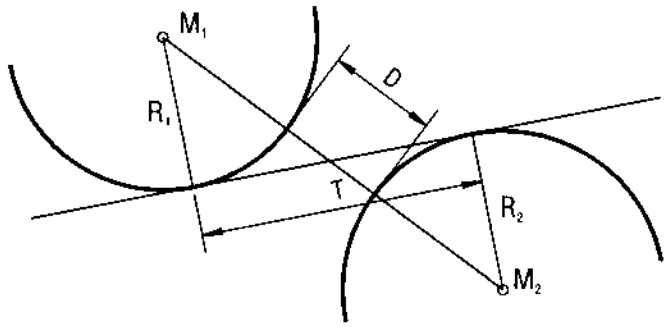
Có thể xác định khoảng cách D dựa theo đường tiếp tuyến chung của hai đường tròn cơ bản. Từ hình (2.7) khoảng cách D được tính theo công thức:

$$D = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + T^2} - (R_1 + R_2)$$

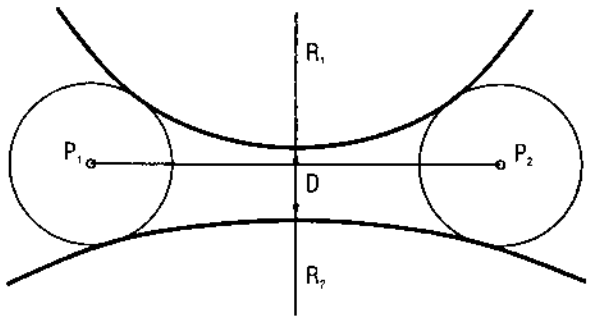
Hoặc đo trực tiếp trên bản vẽ để xác định khoảng cách D:

$$D = \overline{M_1M_2} - (R_1 + R_2)$$

Trường hợp các tâm của hai đường tròn nằm ngoài bản vẽ thì ta xác định hướng của khoảng cách D bằng cách vẽ hai đường tròn phụ trợ có tâm là P_1, P_2 tiếp xúc với hai đường cong tròn có bán kính R_1, R_2 sau đó đo trực tiếp khoảng cách D (xem hình 2.8).

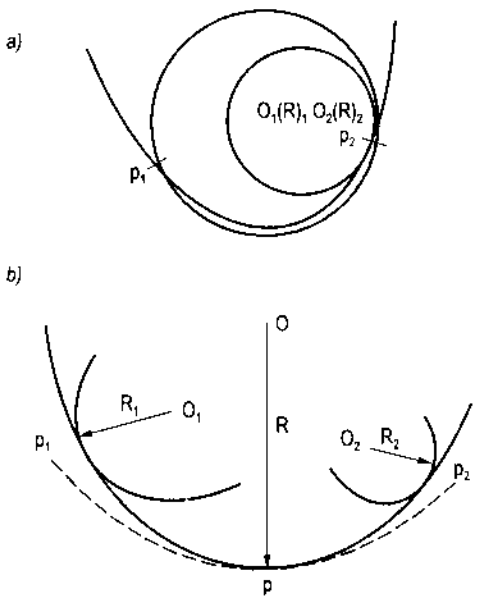


Hình 2.7



Hình 2.8

5. Khi thiết kế kết hợp hai đường cong tròn hướng cùng một phía có thể xảy ra hai trường hợp:



Hình 2.9

Trường hợp 1 - Hai đường cong tròn có bán kính lớn nhỏ khác nhau lồng vào nhau (xem hình 2.9a);

Trường hợp 2 - Hai đường cong tròn có bán kính khác nhau nằm cùng một phía nhưng cách xa nhau (xem hình 2.9b).

Trong trường hợp thứ nhất nếu nối hai đường cong tròn bằng hai đường cong chuyển tiếp clothoid đối đầu thì trên hình phối cảnh đường sẽ xuất hiện điểm gãy.

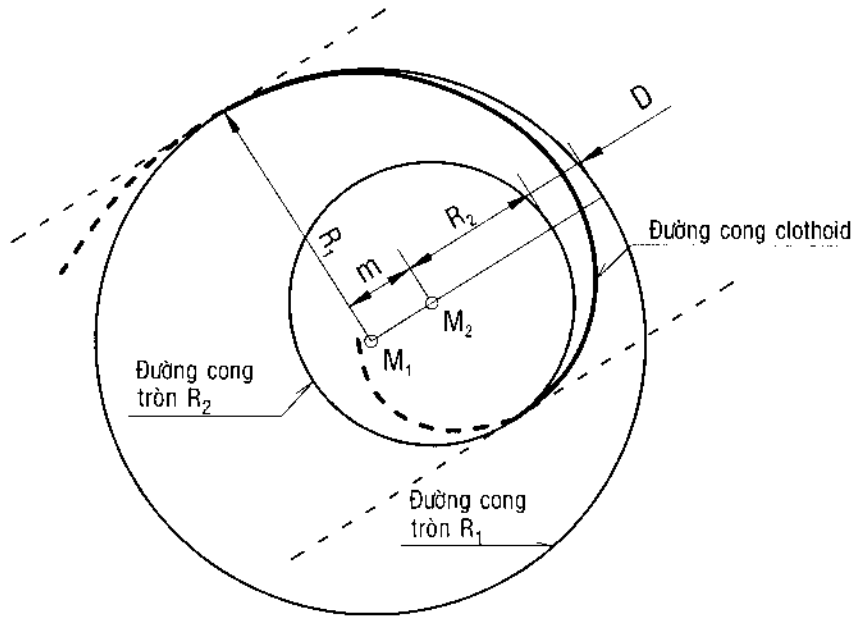
Vì vậy, trong trường hợp này sử dụng đoạn xoắn ốc của đường cong clothoid để nối hai đường tròn cơ bản là hợp lý nhất, bảo đảm tuyến thay đổi độ cong một cách hài hòa trong không gian.

Trên hình 2.10 trình bày phương pháp kết hợp hai đường cong tròn lồng nhau, đường tròn ngoài có bán kính R_1 lớn hơn đường tròn bên trong có bán kính R_2. Đoạn đường cong clothoid được sử dụng với thông số A nằm trong giới hạn.

$$A = \frac{R_2}{2} - R_2$$

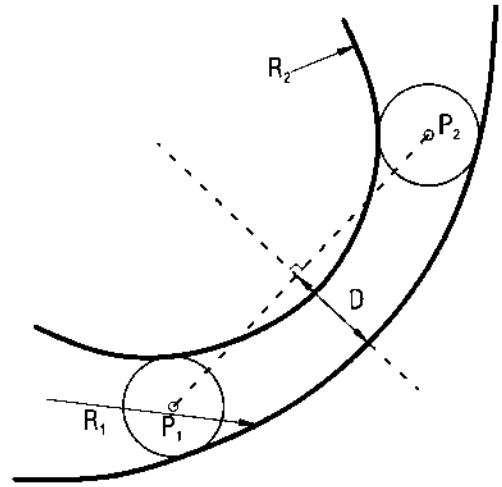
Khoảng cách D được xác định từ hình 2.10 bằng:

$$D = R_1 - R_2 - m \qquad (2.8)$$



Hình 2.10

Trường hợp hai tâm đường cong M_1 và M_2 không nằm trong bản vẽ thì xác định hướng của D bằng cách vẽ hai đường tròn phụ trợ có bán kính bằng nhau tiếp xúc với hai đường cong tròn R_1, R_2 có tâm là P_1 và P_2. Nối P_1 với P_2, tại điểm giữa các đoạn P_1P_2 vạch đường vuông góc, sau đó đo trực tiếp khoảng cách D trên bản vẽ (xem hình 2.11).



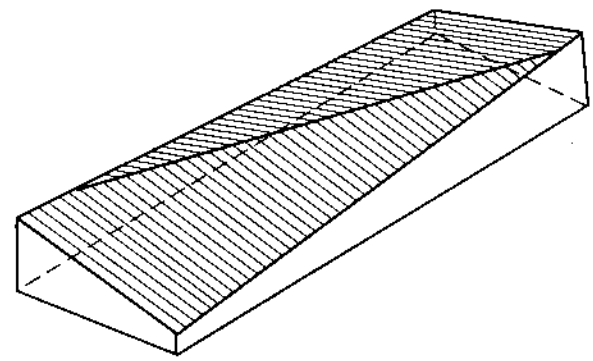
Hình 2.11

Ở trường hợp hai có thể kết hợp hai đường tròn cơ bản cùng phía bằng hai đường cong chuyển tiếp clothoid nối trực tiếp với nhau (hình 2.9b). Trong trường hợp này thì thông số của đường cong chuyển tiếp A nằm trong khoảng:

$$0,5R_2 < A < R_2$$

Việc kết hợp trực tiếp hai đường cong tròn chỉ cho phép khi bán kính $R_1 < 2R_2$

6. Khi thiết kế tuyến clothoid một vấn đề cần quan tâm là bảo đảm được độ đều đặn quang học trên đoạn cần chuyển trắc ngang hai mái dần dần thành trắc ngang một mái có độ dốc bằng độ dốc siêu cao (i_{sc}). Đặc biệt trong trường hợp hai đường chuyển tiếp clothoid được nối ngược trực tiếp với nhau theo dạng hình chữ S; khi đó mặt đường sẽ có một đoạn bị vênh như được thể hiện trên hình 2.12.



Hình 2.12

Quá trình biến chuyển mặt cắt ngang để nối hai đường tròn có bán kính R_1 và R_2 với hai đường cong chuyển tiếp clothoid ngược chiều có chiều dài và các thông số tương ứng là L_1, A_1 và L_2, A_2 được thực hiện như sau:

Trên đường cong cơ bản R_1 mặt cắt ngang một mái có độ dốc ngang bằng độ dốc siêu cao lớn nhất $i_n = i_{sc1}$

+ Sang đoạn chuyển tiếp clothoid L_1 tức là tại vị trí cuối đường tròn cơ bản trùng với đầu đường cong clothoid L_1 : trắc ngang từ một mái có $i_n = i_{sc1}$ chuyển dần thành

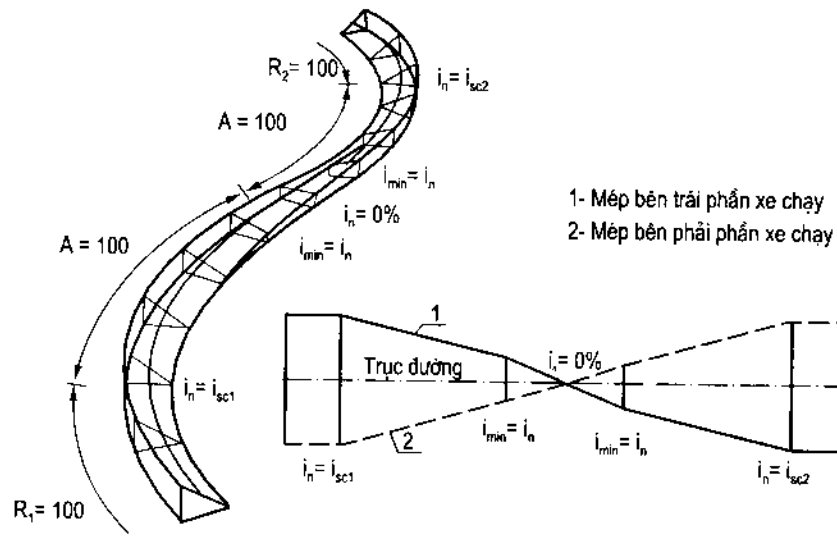
trắc ngang một mái có độ dốc ngang bằng độ dốc ngang nhỏ nhất ứng với loại mặt đường được thiết kế: $i_{min} = i_n$

+ Tiếp tục chuyển ngược độ dốc ngang để đưa trắc ngang một mái có độ dốc ngang bằng i_n thành trắc ngang có độ dốc ngang bằng $i_n = 0\%$. Trắc ngang này nằm tại vị trí cuối đường clothoid thứ 1 trùng với đầu đường clothoid thứ hai.

+ Từ trắc ngang có độ dốc $i_n = 0\%$ ta lại chuyển dần thành trắc ngang một mái vẫn theo chiều ngược lại để đạt được trắc ngang một mái có độ dốc ngang $i_{min} = i_n$ và sau đó được trắc ngang có dốc ngang lớn nhất đạt trị số $i_n = i_{sc2}$ (độ dốc siêu cao ứng với đường tròn cơ bản R_2). Trắc ngang này nằm tại cuối đường cong chuyển tiếp L_2 trùng với đầu đường tròn cơ bản R_2 ngược chiều với đường tròn cơ bản R_1.

Thông thường, để thuận lợi cho thiết kế thì khi không bị hạn chế bởi điều kiện địa chất, địa hình người ta thường chọn $R_1 = R_2$ và hai đường cong clothoid nên chọn cùng một giá trị thông số A ($A_1 = A_2$).

Trên hình 2.13 trình bày một ví dụ về cấu tạo đoạn thay đổi trắc ngang khi nối hai đường tròn cơ bản ngược chiều có bán kính R = 100m với hai đường cong chuyển tiếp clothoid ngược chiều (hình thứ ba) có cùng thông số A = 100m



Hình 2.13

Đối với các đường cong tròn có bán kính lớn thì việc sử dụng đường cong clothoid nhằm mục đích chủ yếu là để bảo đảm độ đều đặn của tuyến trong không gian tạo nên một sự thụ cảm êm thuận về mặt thị giác cho người lái xe. Vì thế các đường clothoid này thường có chiều dài tương đối ngắn.

Trong trường hợp vẫn phải bố trí siêu cao trên đoạn chuyển tiếp này thì để bảo đảm điều kiện nâng dần được mép phần xe chạy trong đoạn nối siêu cao, trị số tối thiểu

của thông số A cần thiết của đường cong clothoid phải đạt được theo các điều kiện sau:

- Đối với cả đường cong cothoid:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a.(i_{nc} - i_{nd})}{\Delta i_{pmax}}.R} \qquad (2.9)$$

Trong đó: R - bán kính ở cuối đường cong clothoid, m;

a - khoảng cách từ mép phần xe chạy đến trục quay, m;

i_{nc}, i_{nd} - độ dốc ngang ở cuối và đầu đường cong clothoid, %;

Δi_{pmax} - độ tăng lớn nhất của độ dốc dọc, %.

- Trong từng đoạn của đường cong clothoid trị số tối thiểu của thông số A phải bằng:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a(i_2 - i_1)}{\Delta i_{pmax}\left[\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right]}} \qquad (2.10)$$

Trong đó: i_2, i_1 - độ dốc ngang ở cuối và đầu của mỗi đoạn clothoid, %;

R_2, R_1 - bán kính ở cuối và đầu của đoạn clothoid, m.

Các trị số i_{nd}, i_1 trong hai công thức trên mang dấu "âm" khi hướng của chúng ngược với hướng của i_{nc} và i_2

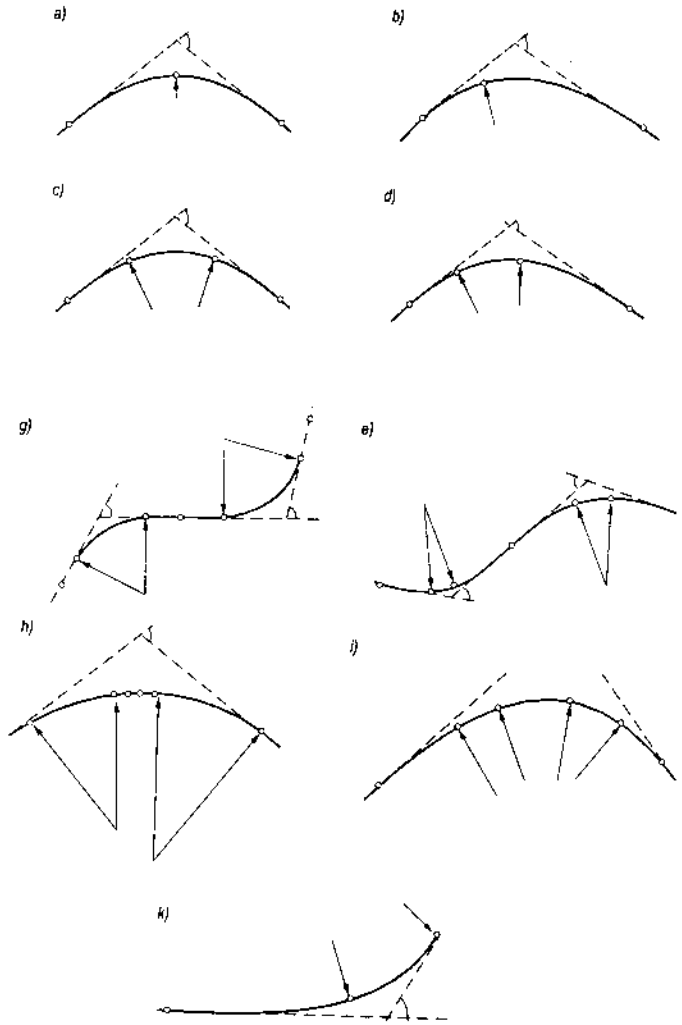
Theo các công thức 2.9 và 2.10 thì khi thiết kế cần lựa chọn thông số của đường cong clothoid không nhỏ hơn các trị số A_{min} tính được theo hai công thức này.

Tóm lại, những vấn đề được trình bày, trong phần 2.3 của chương đều nhằm mục đích đưa ra những lời khuyên, những công thức để lựa chọn các chiều dài đường cong clothoid cùng các thông số của chúng khi coi đường cong này là một yếu tố độc lập để kết hợp với các đường cong tròn, các đoạn thẳng tạo nên tuyến clothoid có dạng đều đặn trong không gian, bảo đảm tính thẩm mỹ của tuyến, tạo cho tuyến kết nối "tự nhiên" với cảnh quan xung quanh và êm thuận về mặt thị giác quang học khiến cho lái xe yên tâm điều khiển xe đi trên đường một cách an toàn, thuận lợi với tốc độ cho phép. Tuyến clothoid cũng giúp cho hành khách ngồi trên xe cảm nhận được tính hài hòa, mềm mại của một con đường và không cảm thấy mệt mỏi dù đi trên một hành trình dài.

Chương 3

CÁC DẠNG KẾT HỢP CƠ BẢN KHI THIẾT KẾ TUYẾN COLOTHOID

Trong phương pháp thiết kế tuyến clothoid thì đường cong clothoid không chỉ còn đóng vai trò là đường cong chuyển tiếp mà nó trở thành một yếu tố độc lập, được sử dụng ngang hàng với các yếu tố đường cong tròn và đoạn thẳng. Vì vậy, các đường cong clothoid có thể được kết hợp trực tiếp với nhau hay kết hợp với các đường cong tròn và các đoạn thẳng chêm.



Hình 3.1

Trên hình 3.1 trình bày các sơ đồ kết hợp cơ bản của thiết kế tuyến clothoid, trong đó bao gồm các trường hợp sau:

- Hai đường cong clothoid kết hợp trực tiếp với nhau và đối xứng (hình 3.1a);
- Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid nhưng không đối xứng (hình 3.1b);
- Kết hợp hai đường clothoid đối xứng có đoạn chêm tròn (hình 3.1c);
- Kết hợp hai đường clothoid không đối xứng có đoạn chêm tròn (hình 3.1d).

Để kết hợp các đường cong ngược chiều có thể thực hiện bằng cách:

- Bố trí đoạn thẳng chêm giữa hai đường cong chuyển tiếp ngược chiều (hình 3.1g);
- Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid ngược chiều không có đoạn thẳng chêm (hình 3.1e);

Để kết hợp các đường cong cùng chiều có thể thực hiện bằng cách:

- Bố trí đoạn thẳng chêm giữa hai đường cong chuyển tiếp (hình 3.1h);
- Không bố trí đoạn thẳng chêm giữa các đường cong (hình 3.1i);
- Kết hợp các cung clothoid liên tiếp với nhau (hình 3.1k).

Như đã trình bày ở chương 2 trong thiết kế tuyến clothoid thì không nên sử dụng các bảng cắm cong thông thường mà sử dụng các bảng có thể tính được tất cả các yếu tố của đường cong theo sơ đồ tính toán đã nêu (hình 2.2 và phụ lục).

Sau đây chúng ta sẽ xem xét các trường hợp kết hợp cụ thể.

3.1. ĐƯỜNG CONG TRÒN NỐI HAI ĐẦU BẰNG HAI ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP ĐỐI XỨNG

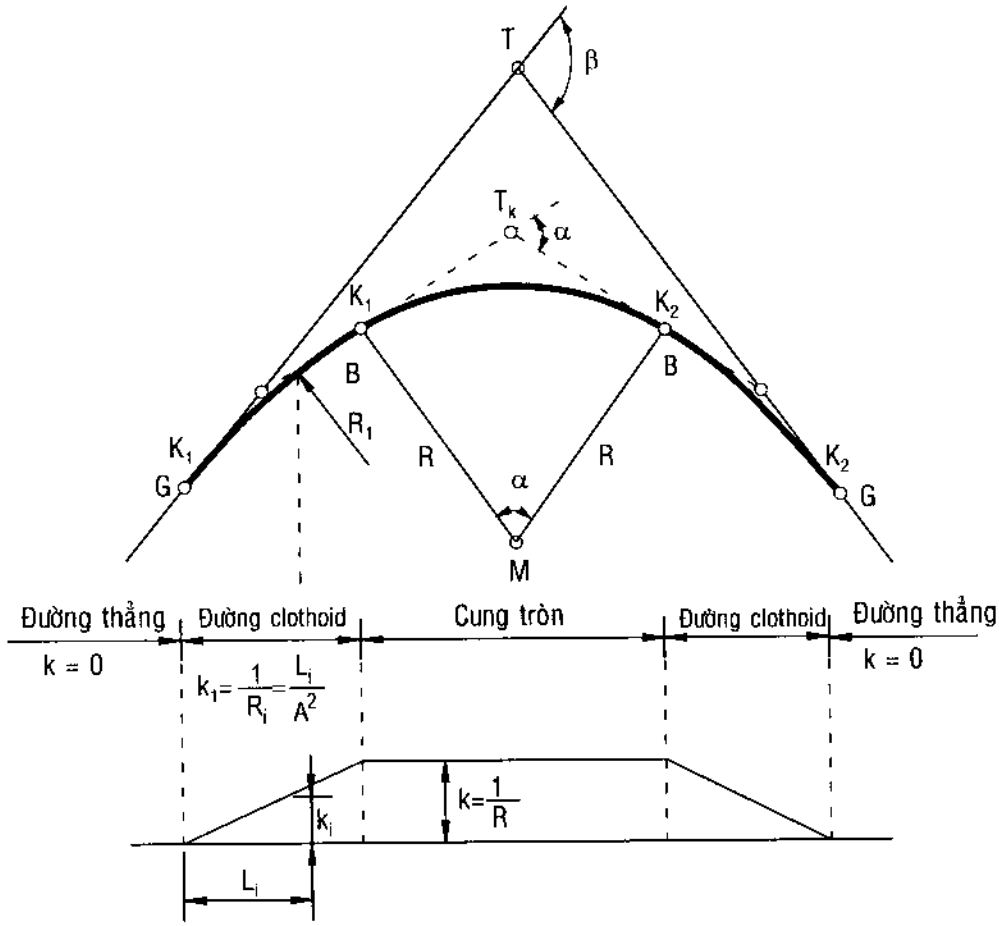
Đây là trường hợp thông thường nhất được áp dụng phổ biến để thiết kế bình đồ tuyến đường ôtô và theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Việt Nam (TCVN 4054:2005) thì tất cả các đường ôtô có tốc độ thiết kế $V_{tk} \geq 60$km/h đều phải thiết kế đường cong chuyển tiếp clothoid.

Hình 3.2 trình bày bình đồ kết hợp giữa đường cong tròn với hai đường cong chuyển tiếp clothoid và đường biểu diễn sự thay đổi độ cong $k = \frac{1}{R}$ theo sự kết hợp trên.

Trong trường hợp đối xứng thì hai đường cong chuyển tiếp clothoid có cùng một thông số A. Trên thực tế, sử dụng các đường cong chuyển tiếp clothoid đối xứng chỉ thuận lợi tại những nơi mà tuyến đường ít phụ thuộc vào các điểm khống chế.

Với loại kết hợp này ta có thể dễ dàng sử dụng các bảng cắm cong được lập sẵn để cắm cong khi biết được bán kính đường cong tròn R và chiều dài đường cong chuyển tiếp L.

Khi thiết kế tuyến clothoid thì ta xác định sơ bộ điểm đầu tiên của đường cong nhờ bộ thước khuôn mẫu (bao gồm các thước cong clothoid và thước cong tròn). Do vậy, các trị số về bán kính và thông số A của đường cong clothoid có được ban đầu có thể chưa được quy tròn.



Hình 3.2: *Bình đồ và đường biểu diễn độ cong của* $k = \frac{1}{R}$.

Trường hợp tuyến clothoid đối xứng có đường cong tròn ở giữa thì các công thức cơ bản áp dụng để tính toán như sau:

- Góc ngoặt: γ
- Góc tương ứng với phần còn lại của đường cong tròn: $\alpha = \gamma = 2\beta$
- Chiều dài đường tang của đường cong tròn cơ bản:

$$T_K = (R + p).\text{tg}\frac{\gamma}{2} \tag{3.1}$$

- Đường tang toàn bộ đường cong (kể từ điểm nối đầu NĐ của đường cong chuyển tiếp clothoid đến đỉnh của góc ngoặt):

$$T = T_K + t \tag{3.2}$$

(trong đó: t – chiều dài đường tang phụ thêm)

- Chiều dài đường cong tròn:

$$K = \frac{\pi R \alpha^0}{180} \tag{3.3}$$

Bạn đọc có thể tìm hiểu chi tiết của các công thức trên đã được trình bày rõ ở chương 2.

Với tuyến clothoid trong thiết kế sơ bộ nên chọn thông số A theo bán kính R như sau:

Bảng 3.1

Bán kính R, m		500	800	1200	1600
Thông số A, m	Nên dùng	-	270	350	450
	Tối thiểu	200	270	350	

Để bảo đảm tính thẩm mỹ của tuyến đường thì đường cong tròn chêm giữa hai đường cong chuyển tiếp phải có chiều dài tối thiểu phụ thuộc vào tốc độ xe chạy thiết kế như dưới đây:

Bảng 3.2

Tốc độ xe chạy thiết kế, km/h	30 – 40	50 – 60	70 – 80	90 – 100
Chiều dài tối thiểu đường cong tròn, K_{min}, m	20	35	50	70

Nghiên cứu của CHLB Đức đã đưa ra lời khuyên về lựa chọn trị số thông số A của đường cong clothoid phụ thuộc vào tốc độ thiết kế và các trị số bán kính đường cong $R \leq 650$ như sau:

Bảng 3.3

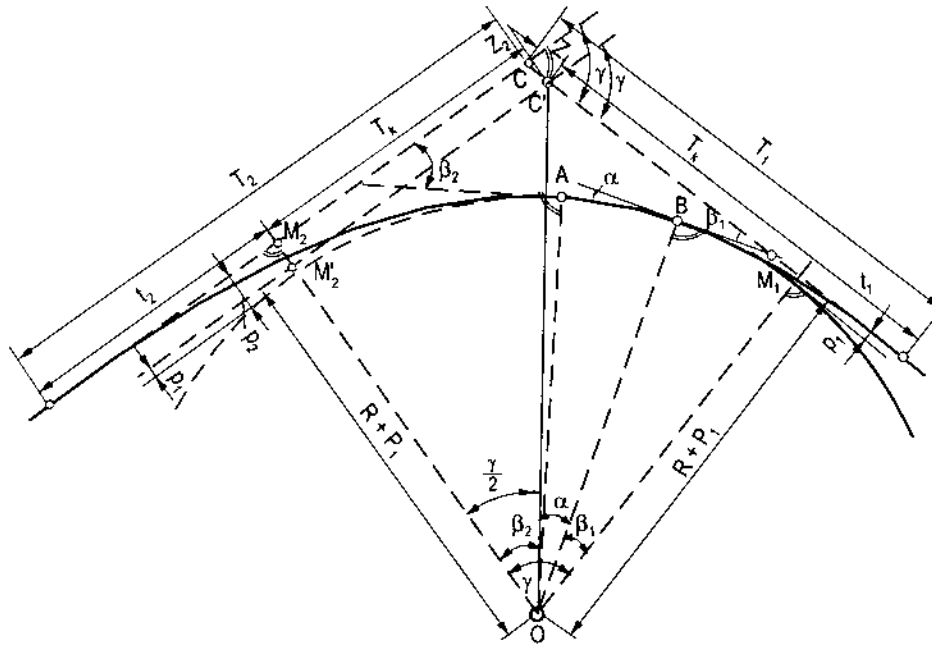
Tốc độ thiết kế V_{tk}, km/h		60		70		80		90		100	
Bán kính R, m		140	250	200	325	250	400	325	525	400	650
Thông số A, m	Nên dùng		120		150		180		210		250
	Tối thiểu	80		110		125		150		175	

3.2. ĐƯỜNG CONG TRÒN NỐI HAI ĐẦU BẰNG HAI ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP KHÔNG ĐỐI XỨNG

Trong trường hợp này hai đường cong chuyển tiếp clothoid nối ở hai đầu đường cong tròn có chiều dài khác nhau và có thông số khác nhau ($A_1 \neq A_2$). Tuy nhiên, để bảo đảm tính mỹ quan thì tỷ số của 2 thông số $\frac{A_1}{A_2} \leq \frac{1}{3}$. Tình huống thiết kế này thường xảy ra khi muốn đặt tuyến đi qua các điểm đã cho.

Do hai đường clothoid có chiều dài khác nhau nên độ dịch chuyển p của hai đường cong cũng khác nhau ($p_1 \neq p_2$). Và như vậy, chúng ta cần phải hiệu chỉnh khi xác định chiều dài toàn bộ đường tang.

Trên hình (3.3) biểu thị hai đường cong clothoid không đối xứng kẹp giữa là đoạn chêm tròn $\overset{\frown}{AB}$. Dựa theo sơ đồ này ta xác định các đại lượng tính toán.



Hình 3.3

Theo hình vẽ thì đường cong clothoid 1 có chiều dài L_1 nhỏ hơn đường cong clothoid 2 tức là $L_1 < L_2$.

Mỗi một đường cong chuyển tiếp clothoid sẽ có các trị số tương ứng như sau:

Đường cong chuyển tiếp 1 có chiều dài L_1, góc tiếp tuyến β_1, độ chuyển dịch p_1, đường tang lớn T_1 và đường tang phụ thêm t_1. Đường cong chuyển tiếp 2 có chiều dài L_2, góc tiếp tuyến β_2, độ chuyển dịch p_2, đường tang lớn T_2 và đường tang phụ thêm t_2.

Vạch đường $C'M_2$ song song với đường tang T_2 và cách đường tang lớn này một khoảng bằng $(p_2 - p_1)$. Do đó góc ngoặt mới tại điểm C' không thay đổi và luôn bằng γ. Đường nối OC' trong tứ giác $C'M_2OM_1$ chia góc γ ở tâm ra làm đôi.

Chiều dài đường tang T_K được tính theo công thức:

$$T_K = (R + p_1).tg\frac{\gamma}{2} \tag{3.4}$$

Các đại lượng phụ trợ z_1 và z_2 được xác định bằng:

$$\begin{cases} z_1 = \dfrac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} \\ z_2 = (p_2 - p_1)\cot g\gamma \end{cases} \tag{3.5}$$

Chiều dài toàn bộ đường tang ở hai nhánh được tính theo công thức:

$$T_1 = T_K + z_1 + t_1 = (R + p_1).tg\frac{\gamma}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} + t_1 \tag{3.6}$$

$$T_2 = T_K - z_2 + t_2 = (R + p_1).tg\frac{\gamma}{2} - (p_2 - p_1).\cot g\gamma + t_2 \tag{3.7}$$

Góc ở tâm ứng với phần đường cong tròn còn lại xác định theo công thức:

$$\alpha = \gamma - (\beta_1 + \beta_2) \tag{3.8}$$

Trong đó các góc β_1 và β_2 được xác định theo các công thức $\beta_1 = \frac{L_1}{2R}$ và $\beta_2 = \frac{L_2}{2R}$ hoặc theo các bảng tra được lập sẵn.

Chiều dài đường tròn K còn lại được tính từ góc α theo công thức (3.3) đã nêu ở trên.

Thiết kế hai đường cong chuyển tiếp clothoid không đối xứng giữa có đoạn chêm tròn được thực hiện như sau:

- Trên bình đồ tỉ lệ 1/1000 – 1/2000 ta vạch hướng tuyến cơ bản và định góc ngoặt γ.

- Sử dụng các thước mẫu đường cong tròn với các bán kính R_i được chế tạo theo tỷ lệ của bình đồ áp vào bình đồ ta sẽ lựa chọn được bán kính R cần thiết xác định phù hợp với điều kiện địa hình.

- Tại hai điểm của đường cong tròn tiếp tuyến với hai đường tang được chọn là 2 điểm giữa của hai đường cong chuyển tiếp tương ứng ở hai bên với lý do là ta đặt áng chừng một nửa đường cong chuyển tiếp trên đường thẳng và nửa còn lại ở trên đường tròn.

- Nhờ bán kính R của đường cong tròn đã xác định ta sử dụng bộ thước khuôn mẫu các đường cong clothoid được chế tạo với các thông số A khác nhau áp vào các đường

tang để sơ bộ lựa chọn được chiều dài và thông số của từng nhánh đường cong clothoid.

- Dựa vào các bảng lập sẵn hoặc các công thức giải tích tính toán tất cả các thông số còn lại của hai đường cong clothoid. Để giảm nhẹ tính toán có thể quy tròn chiều dài và thông số của các đường cong. Công việc tính toán các thông số được thực hiện nhẹ nhàng trên máy tính.

3.3. THIẾT KẾ ĐƯỜNG CONG CHUYỂN TIẾP LIÊN TỤC

Đường cong chuyển tiếp clothoid liên tục là sự kết hợp trực tiếp hai đường cong chuyển tiếp với nhau mà không có đoạn chêm tròn.

Thực hiện thiết kế đường cong chuyển tiếp liên tục có ưu điểm là tăng được chiều dài đường cong, làm cho tuyến trở nên êm thuận và cải thiện được chế độ xe chạy. Tổ hợp nối trực tiếp hai đường cong clothoid được áp dụng trong trường hợp bị địa hình khống chế; bán kính cong tại điểm tiếp xúc của hai đường cong được lựa chọn có trị số lớn và góc ngoặt (góc chuyển hướng) nhỏ. Cụ thể với bán kính R > 600m thì góc chuyển hướng $\gamma \leq 15^0$. Do áp dụng cách nối trực tiếp hai đường cong chuyển tiếp này giúp ta thực hiện được với góc ngoặt γ nhỏ (tức là giảm được góc ngoặt của tuyến) đây cũng chính là ưu điểm cần thiết để đặt tuyến clothoid.

Như đã nêu sơ bộ trên hình (3.1a) và (3.1b) đường cong chuyển tiếp liên tục có thể được thiết kế kết hợp dưới hai dạng: *đối xứng* và *không đối xứng*.

Do khi góc ngoặt $\gamma = 2\beta$ (β - góc tiếp tuyến ở cuối của đường cong clothoid với trục hoành) thì hai đường cong chuyển tiếp gặp nhau mà không có đoạn chêm tròn tạo nên một đường cong chuyển tiếp liên tục. Tại điểm tiếp xúc đường cong clothoid có bán kính R = A tương ứng có góc tiếp tuyến $\beta = 0{,}5$rad hay $\beta = 28{,}65^0$, vì vậy chiều dài đường cong chuyển tiếp được xác định theo công thức:

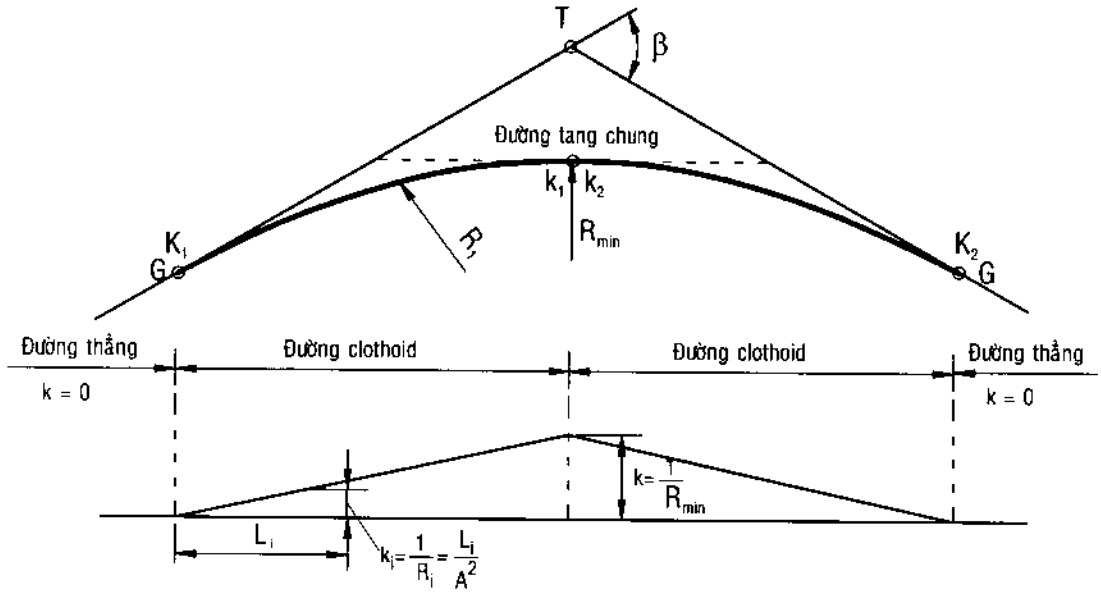
$$L = \frac{R\gamma}{57{,}3^0} \tag{3.9}$$

Trong đó: γ - góc ngoặt (góc chuyển hướng) của đường cong, (độ).

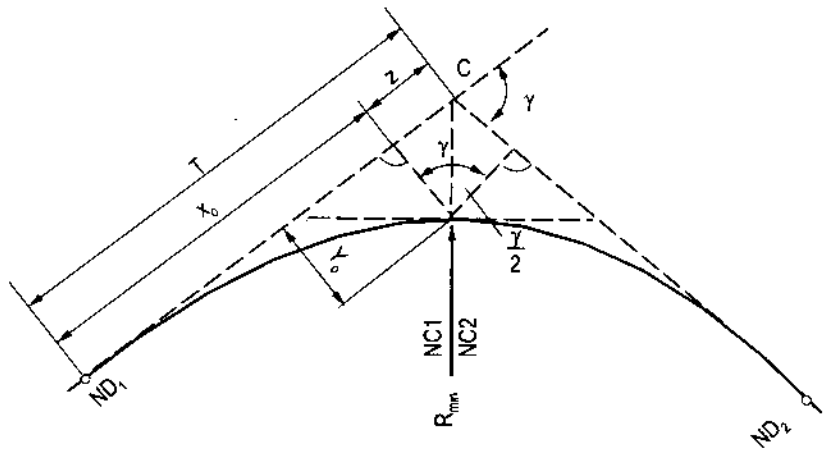
Dưới đây, ta xem xét các trường hợp cụ thể.

3.3.1. Đường cong chuyển tiếp clothoid liên tục dạng đối xứng

Trên hình (3.4) biểu thị bình đồ và sự thay đổi độ cong $k = \frac{1}{R}$ của đường cong chuyển tiếp liên tục dạng đối xứng.



Hình 3.4: Bình đồ và đường biểu diễn độ cong của tổ hợp hai đường cong chuyển tiếp đối xứng.



Hình 3.5

Các yếu tố của chúng được xác định trên hình 3.5. Tại điểm tiếp xúc hai đường cong clothoid có cùng một bán kính cong ($R_1 = R_2 = R_{min}$) và có chung một đường tang.

Trong trường hợp đối xứng ta xác định các yếu tố của chúng như sau:

Từ hình (3.5) cho thấy, với γ là góc ngoặt thì:

Chiều dài đường tang bằng: $T = x_0 + Z$, vỡ $Z = y_0 tg\frac{\gamma}{2}$

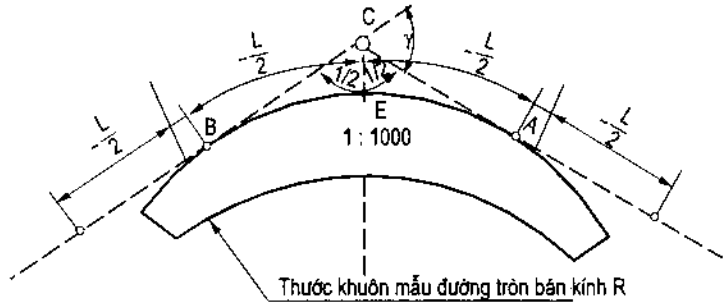
nên:

$$T = x_0 + y_0 tg\frac{\gamma}{2} \quad (3.10)$$

Các bước thiết kế được thực hiện như sau:

a) Bước sơ bộ:

Đầu tiên, trên bình đồ tuyến tỷ lệ 1/1000 hay 1/2000 ta dùng các thước khuôn mẫu các đường cong tròn áp vào đường tang sơ bộ xác định được bán kính đường cong tròn R và vị trí tiếp tuyến của đường cong tròn với 2 đường tang (các điểm A và B) và điểm giữa E (xem hình 3.6).



Hình 3.6

Coi nửa cung tròn BE (hay EA) bằng khoảng nửa chiều dài đường cong chuyển tiếp. Nghĩa là: cung tròn $BE \approx \frac{L}{2}$ nửa còn lại của đường cong chuyển tiếp được bố trí nhờ đường tang.

b) Bước tính toán chi tiết

- Đo góc ngoặt trên bình đồ: γ

- Nhờ bộ thước khuôn mẫu đường cong clothoid ta tìm được bán kính R' và chiều dài đường cong chuyển tiếp L' đây là các trị số áng chứng sơ bộ ban đầu.

- Tính góc tiếp tuyến $\beta = \frac{\gamma}{2}$, từ góc β tính được theo phụ lục, ta tính được tất cả các yếu tố của đường cong chuyển tiếp (hoặc dùng các công thức giải tích để tính).

- Xác định sơ bộ thông số $A' = \sqrt{R'.L'}$. Sau đó quy tròn thông số A để làm cơ sở tính toán. Với thông số A được quy tròn ta xác định bán kính thiết kế:

$$R = R'\frac{A}{A'} \qquad (3.11)$$

Với R và A đã có ta sẽ tính lại để được các trị số của các yếu tố đường cong chuyển tiếp cần tìm.

3.3.2. Đường cong chuyển tiếp liên tục dạng đối xứng được thiết kế theo chiều dài đường tang đã cho

Sử dụng sơ đồ thiết kế này trong điều kiện bình đồ của khu vực khiến ta phải xác lập trước điểm đầu và điểm cuối của đường cong. Nghĩa là chiều dài đường tang của đường cong đã được định trước.

Trong trường hợp này ta cần xác định các yếu tố của đường cong chuyển tiếp clothoid thông qua các trị số đã biết là góc ngoặt γ và chiều dài đường tang T.

Từ góc tiếp tuyến của đường cong chuyển tiếp được xác định theo công thức $\beta = \frac{\gamma}{2}$ ta tính các yếu tố của clothoid theo bảng tra (xem phụ lục) hoặc bằng các công thức giải tích.

Do chiều dài đường tang T đã biết được xác định từ công thức $T = x_0 + y_0 tg\frac{\gamma}{2}$ ta chia cả 2 vế cho R:

$$\frac{T}{R} = \frac{x_0}{R} + \frac{y_0}{R} tg\frac{\gamma}{2} \qquad (3.12)$$

Từ công thức (3.12) tính được bán kính:

$$R = \frac{T}{\frac{x_0}{R} + \frac{y_0}{R}.tg\frac{\gamma}{2}} \qquad (3.13)$$

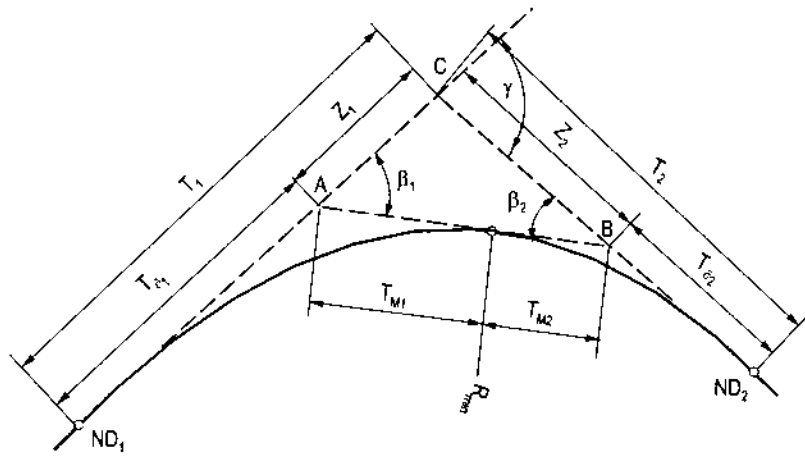
Trong công thức (3.13) đã biết các trị số T, x_0, y_0 và γ nên dễ dàng xác định bán kính R từ công thức này.

Các giá trị thực của các yếu tố của đường cong clothoid được xác định sau khi nhân các số liệu trong bảng với bán kính R từ công thức (3.13).

3.3.3. Đường cong chuyển tiếp liên tục dạng không đối xứng

Đường cong chuyển tiếp liên tục dạng không đối xứng bao gồm từ việc kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid có các thông số khác nhau. Tại điểm nối chúng có cùng một bán kính ($R_1 = R_2 = R_{min}$) và một tiếp tuyến chung.

Các yếu tố của đường cong liên tục dạng không đối xứng được trình bày trên hình (3.7).



Hình 3.7

Các đường cong chuyển tiếp có chiều dài L_1 và L_2 sẽ có các thông số tương ứng là $A_1 \neq A_2$; đường tang chính $T_1 \neq T_2$.

Tính toán xác định các yếu tố của đường cong chuyển tiếp được thực hiện như sau (xem hình 3.7):

Góc ngoặt γ: $$\gamma = \beta_1 + \beta_2 \tag{3.14}$$

Trong đó các góc tiếp tuyến β_1, β_2 xác định được từ các công thức:

$$\begin{cases} \beta_1 = \dfrac{A_1^2}{R^2}\dfrac{\rho}{2} \\ \beta_2 = \dfrac{A_2^2}{R^2}\dfrac{\rho}{2} \end{cases} \tag{3.15}$$

Với $\rho = 57{,}3^0$

Từ công thức (3.14) và (3.15) suy ra:

$$\gamma = \frac{A_1^2 + A_2^2}{R}\frac{\rho}{2} \tag{3.16}$$

Từ đó tính được bán kính R bằng:

$$R = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2}{\gamma}\frac{\rho}{2}} \tag{3.17a}$$

Hay $$R = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2}{\gamma}.28{,}65^o} \tag{3.17b}$$

Các đường tang nhỏ T_{M_1} và T_{M_2} xác định theo các công thức:

$$\begin{cases} T_{M_1} = \dfrac{y_{01}}{\sin\beta_1} \\ T_{M_2} = \dfrac{y_{02}}{\sin\beta_2} \end{cases} \tag{3.18}$$

Các đường tang lớn $T_{\partial 1}$ và $T_{\partial 2}$ tính được nhờ các đại lượng phụ thêm Z_1, Z_2.

Từ tam giác ABC trên hình (3.7) ta có các hệ thức:

$$\frac{Z_1}{T_{M_1} + T_{M_2}} = \frac{\sin\beta_2}{\sin(180-\gamma)} \quad \text{và} \quad \frac{Z_2}{T_{M_1} + T_{M_2}} = \frac{\sin\beta_1}{\sin(180-\gamma)}$$

Rút ra $$Z_1 = \frac{\sin\beta_2\left(T_{M_1} + T_{M_2}\right)}{\sin\gamma} \tag{3.19}$$

$$Z_2 = \frac{\sin\beta_1\left(T_{M_1} + T_{M_2}\right)}{\sin\gamma} \tag{3.20}$$

Từ đó ta tính được:

$$T_1 = T_{\partial_1} + Z_1 = x_{01} - y_{01}\text{cotg}\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(T_{M_1} + T_{M_2}\right)}{\sin\gamma} \quad (3.21)$$

Và $$T_2 = T_{\partial_2} + Z_2 = x_{02} - y_{02}\text{cotg}\beta_2 + \frac{\sin\beta_1\left(T_{M_1} + T_{M_2}\right)}{\sin\gamma} \quad (3.22)$$

Thay các trị số T_{M_1} và T_{M_2} từ công thức (3.18) vào các công thức (3.21) và (3.22) ta có được các công thức cuối cùng để xác định các đường tang T_1 và T_2 như sau:

$$T_1 = x_{01} - y_{01}\text{cotg}\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} \quad (3.23)$$

$$T_2 = x_{02} - y_{02}\text{cotg}\beta_2 + \frac{\sin\beta_1\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} \quad (3.24)$$

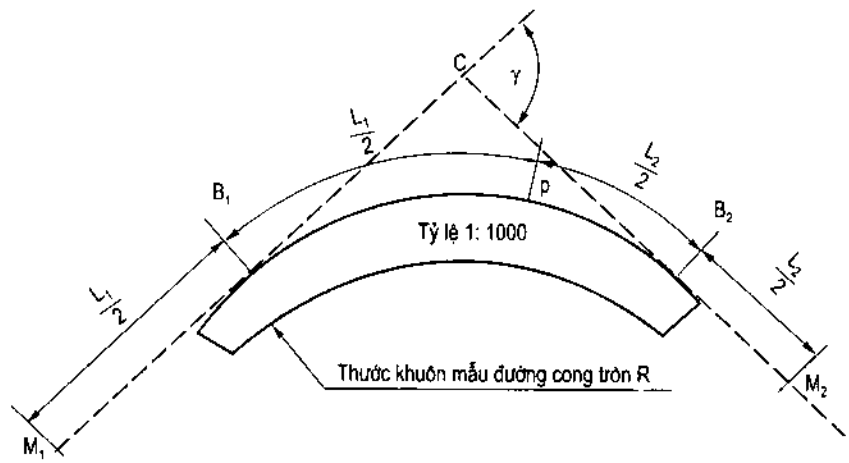
Các bước thiết kế được thực hiện như sau:

Thông thường chiều dài đường tang và các điểm khống chế được biết trước, từ đó ta thiết kế các đường cong chuyển tiếp L_1 và L_2.

a) Bước sơ bộ: (xem hình 3.8)

- Trước tiên nhờ bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn lần lượt áp vào đường tang ta sẽ xác định sơ bộ bán kính cong R và các điểm tiếp xúc với đường tang là B_1 và B_2.

- Tiếp theo ta lấy các điểm B_1 và B_2 làm điểm giữa của 2 đường cong chuyển tiếp. Trên đường tròn chọn điểm P sao cho $M_1B_1 \approx B_1P = \frac{L_1}{2}$ và $M_2B_2 \approx B_2P = \frac{L_2}{2}$. Như thế là ta đã coi M_1 và M_2 là điểm đầu và điểm cuối của đường cong chuyển tiếp liên tục.



Hình 3.8

- Để định được điểm P ta có thể phải lựa chọn bằng cách áp nhiều thước khuôn mẫu khác nhau.

- Tính các thông số của 2 đường cong chuyển tiếp liên tục bằng:

$$\begin{cases} A_1 = \sqrt{RL_1} \\ A_2 = \sqrt{RL_2} \end{cases} \tag{3.25}$$

Thường thì các thông số A được quy tròn để dễ thực hiện việc tra bảng hay tính toán. Nhưng như thế thì bán kính nhận được lại thường là số lẻ (số thập phân).

b) Bước tính toán chi tiết

- Thực hiện tính toán các yếu tố của hai đường cong chuyển tiếp theo các công thức từ (3.15) đến (3.24)

- Trong quá trình thực hiện cần lưu ý rằng: nếu thừa nhận các thông số đã cho trên cơ sở sử dụng các thước khuôn mẫu thì đầu tiên là xác định sơ bộ bán kính đường cong tại vị trí nối hai đường clothoid. Từ đó tính lại các thông số A theo công thức (3.25) và tính lại bán kính R theo công thức (3.17a) và (3.17b).

Bước làm tiếp này sẽ cho trị số bán kính chính xác khác với bán kính giả thiết ban đầu.

- Sử dụng bán kính chính xác để cắm cong theo bảng hoặc tính theo công thức giải tích. Nhưng do bán kính nhận được không là số nguyên nên phải tiếp tục công việc hiệu chỉnh bằng cách nội suy các số liệu có trong bảng cắm cong.

3.4. KẾT HỢP CÁC CUNG CLOTHOID LIÊN TIẾP (NỐI TIẾP NHAU)

Trường hợp các cung clothoid nối tiếp nhau đã nêu sơ bộ trên hình (3.1k).

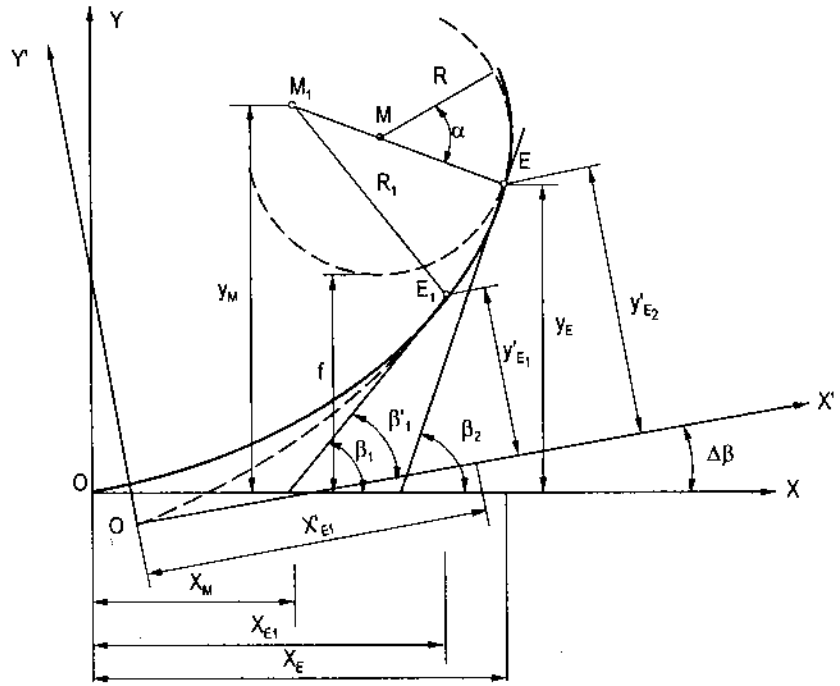
Việc kết hợp các đường cong chuyển tiếp liên tiếp tạo thành một đường cong bao gồm nối nhiều đoạn clothoid cùng hướng nhưng có các thông số khác nhau. Tại các điểm tiếp xúc chúng có chung đường tang và cùng một bán kính.

Loại đường cong kết hợp liên tiếp này thường được sử dụng để làm đường cong hãm. Khi thiết kế thì tỷ lệ các thông số của 2 đường clothoid nối tiếp nhau $\frac{A_1}{A_2}$ không vượt quá 2 lần và các trị số tối thiểu về bán kính và thông số A phụ thuộc vào tốc độ thiết kế nên được chọn theo các số liệu ghi trong bảng 3.3. do nối các đường cong có các thông số khác nhau nên tại các vị trí có điểm nối sẽ có sự thay đổi về độ cong. Sự thay đổi này phụ thuộc vào việc lựa chọn các thông số thiết kế. Đây là nhược điểm của loại đường cong này.

Trên hình (3.9) trình bày sơ đồ nối hai đoạn đường cong chuyển tiếp clothoid. Từ sơ đồ ta xác định các góc tiếp tuyến và các toạ độ theo các công thức sau:

Đường cong chuyển tiếp 1 có chiều dài L_{E_1}, góc tiếp tuyến β_1, thông số A_1, bán kính cong R_1 và được xác định theo toạ độ vuông góc XOY.

Đường cong chuyển tiếp 2 nối với đường cong 1 có chiều dài L'_{E_2}, góc tiếp tuyến β_2, thông số A_2, bán kính cong R_2 và được xác định theo toạ độ vuông góc X'OY'.



Hình 3.9: *Nối hai đường cong clothoid liên tục có chiều dài tổng cộng gồm hai cung OE_1 và E_1E*

Theo hình (3.9) thì:

$$\beta = \beta_1 - \beta'_1 \tag{3.26}$$

Và

$$\beta_2 = \beta'_2 + \Delta\beta \tag{3.27}$$

Tâm của đường tròn có bán kính R_1 là M_1 và của đường tròn có bán kính R là M.

Toạ độ của điểm E_2 được xác định trên các trục vuông góc XOY phụ thuộc vào toạ độ của các điểm E_1 và E_2 được xác định trên trục X'OY' theo các công thức sau:

$$x_E = x_{E_1} + \left(x'_{E_2} - x'_{E_1}\right).\cos\Delta\beta - \left(y'_{E_2} - y'_{E_1}\right).\sin\Delta\beta \tag{3.28}$$

$$y_E = y_{E_1} + \left(x'_{E_2} - x'_{E_1}\right).\sin\Delta\beta + \left(y'_{E_2} - y'_{E_2}\right).\cos\Delta\beta \tag{3.29}$$

Toạ độ của tâm M xác định theo các công thức:

$$x_M = x_{E_1} + \left(x'_M - x'_{E_1}\right)\cos\Delta\beta - \left(y'_M - y'_{E_1}\right)\sin\Delta\beta \tag{3.30}$$

$$y_M = R + f \tag{3.31}$$

Trong đó khoảng cách f bằng:

$$x_M = x_{E_1} + \left(x'_M - x'_{E_1}\right)\cos\Delta\beta - \left(y'_M - y'_{E_1}\right)\cos\Delta\beta - R \qquad (3.32)$$

Chiều dài tổng cộng của 2 đoạn cung clothoid nối tiếp:

L_{tc} = cung ($OE_1 + E_1E$)

Vì L'_{E_1} = cung ($O'E_1 + E_1E$)

và L'_{E_1} = cung $O'E_1$; L_{E_1} = cung OE_1

nên: $L_{tc} = L_{E_1} + (L'_{E_2} - L'_{E_1})$ (3.33)

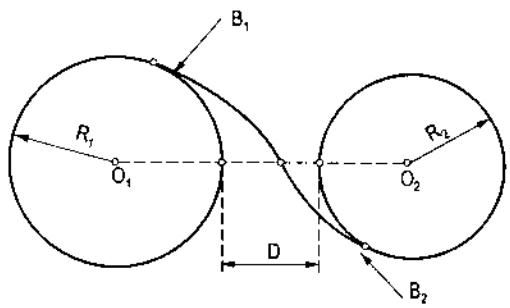
3.5. KẾT HỢP CÁC ĐƯỜNG CONG NGƯỢC CHIỀU

Đây là trường hợp thiết kế khó khăn nhất, đặc biệt khi các đường cong này đặt ở rất gần nhau. Trong trường hợp này khi thiết kế thì phải đặt tuyến sao cho giữa các điểm cuối của hai đường cong tròn ngược chiều phải có đọan thẳng chêm đủ bố trí được các đường cong chuyển tiếp.

Chiều dài đường cong chuyển tiếp thường được bố trí một nửa nằm trong đường cong tròn, nửa còn lại đặt trên đọan thẳng. Vì vậy, chiều dài đoạn thẳng chêm phải không nhỏ hơn tổng hai nửa đường cong chuyển tiếp.

Để nối hai đường tròn có bán kính lớn có thể cho phép nối trực tiếp các đường cong chuyển tiếp ngược chiều mà không cần đoạn chêm. Khi đó giữa hai đường cong chuyển tiếp ngược chiều được nối trực tiếp với nhau. Điểm cuối của đường cong chuyển tiếp này là điểm đầu của đường cong chuyển tiếp kia.

Khi thiết kế tuyến clothoid thì chiều dài của các đường cong chuyển tiếp không bị phụ thuộc vào bán kính các đường cong tròn theo tiêu chuẩn mà chiều dài, bán kính cong và thông số của các đường cong chuyển tiếp được xác định từ việc bố trí hình học của các đỉnh góc chuyển hướng và khoảng cách giữa chúng.



Hình 3.10

Để bảo đảm độ đều đặn của tuyến clothoid trong không gian, không tạo nên điểm gãy tại vị trí nối các đường cong thì các thông số của các đường cong clothoid kết hợp ngược (hình chữ S) cần được tuân thủ các điều kiện được nêu rõ ở chương 2.

Sơ đồ kết hợp các đường cong chuyển tiếp ngược chiều được trình bày trên hình (3.10).

Các trường hợp xác định khoảng cách D đã nêu cụ thể ở chương 2.

Trường hợp hai đường cong chuyển tiếp nối trực tiếp ngược chiều có cùng các thông số là L, R, A và khoảng cách D thì các trị số này có thể xác định gần đúng theo các công thức dưới đây:

$$R = \sqrt[3]{\frac{A^4}{24D}} = \frac{L^2}{24D} \tag{3.34}$$

$$L = \sqrt[3]{24A^2D} = \sqrt{24RD} \tag{3.35}$$

$$A = \sqrt{\frac{L^3}{24D}} = \sqrt[4]{24DR^3} \tag{3.36}$$

$$D = \frac{L^2}{24R} = \frac{A^4}{24R^3} = \frac{L^3}{24A^2} \tag{3.37}$$

Trong đó R được gọi là bán kính thay thế:

$$R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \tag{3.38}$$

Tính theo các công thức trên thì sai số tới 3%.

Ở nước CHLB Đức từ lâu người ta đã xây dựng toán đồ để thiết kế các đường cong ngược chiều có đường cong chuyển tiếp (xem hình 3.11).Toán đồ được lập theo quan hệ giữa 2 đường tròn có bán kính lớn R_1 và bán kính nhỏ R_2, khoảng cách giữa 2 đường tròn là D. khi đã xác lập được các bán kính R_1, R_2 và khoảng cách D ta có thể dễ dàng tìm được thông số A dựa vào các tỷ số $\frac{R_1}{R_2}, \frac{D}{R_1}, \frac{A}{R_1}$.

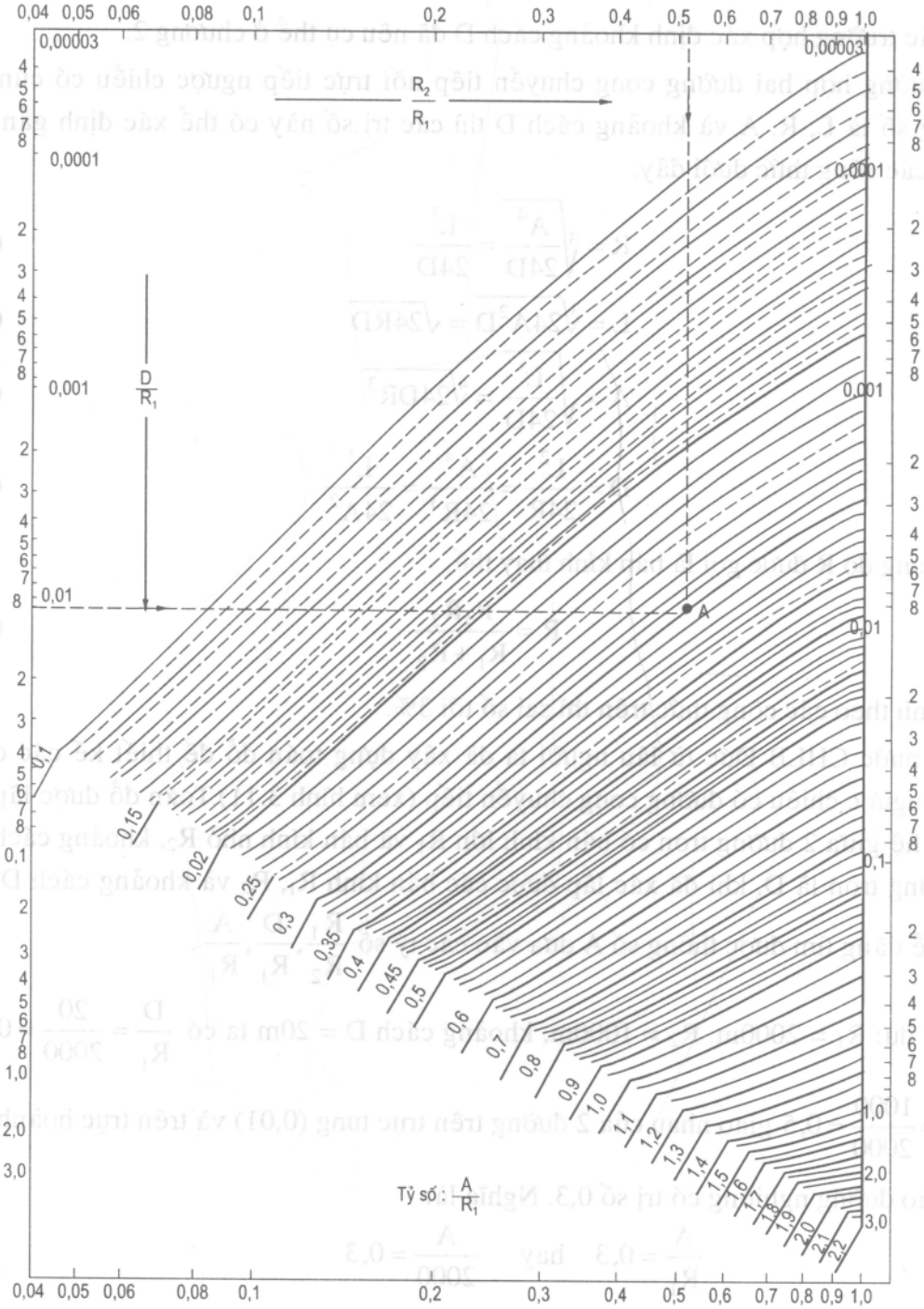
Ví dụ: R_1 = 2000m, R_2 = 1000m, khoảng cách D = 20m ta có $\frac{D}{R_1} = \frac{20}{2000} = 0{,}01$;

$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1000}{2000} = 0{,}5$ giao nhau của 2 đường trên trục tung (0,01) và trên trục hoành (0,5) rơi vào đường nghiêng có trị số 0,3. Nghĩa là:

$$\frac{A}{R_1} = 0{,}3 \quad \text{hay} \quad \frac{A}{2000} = 0{,}3$$

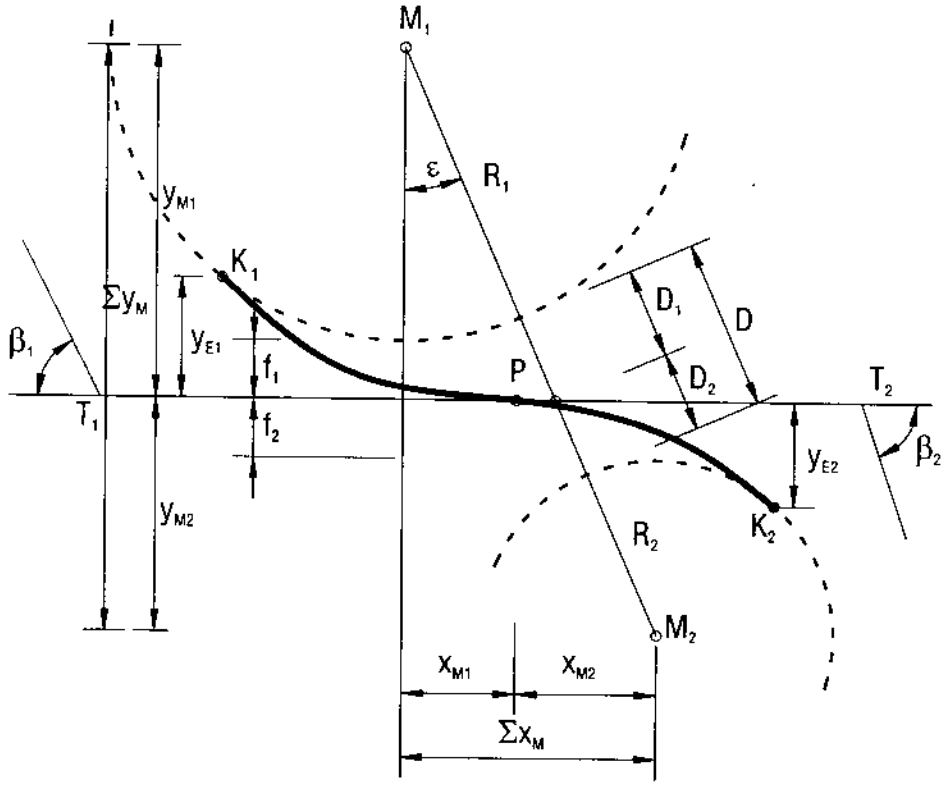
Rút ra: đường cong chuyển tiếp có thông số A = 2000 × 0,3 = 600m. Thực hiện thiết kế kết hợp hai đường cong ngược chiều được thực hiện trên bình đồ tỷ lệ 1/1000 hay 1/2000.

Ở bước sơ bộ sử dụng các bộ thước khuôn mẫu cho đường cong tròn và các đường cong chuyển tiếp clothoid để lựa chọn bước đầu bán kính các đường cong tròn, chiều dài và thông số các đường cong chuyển tiếp.



Hình 3.11: *Toán đồ để thiết kế các đường cong ngược chiều*

Sau khi chính xác hoá các trị số bán kính R_1, R_2 và các thông số A_1, A_2 dựa vào bảng cắm cong (phụ lục) ta tìm các tỷ số $\frac{A_1}{R_1}, \frac{A_2}{R_2}$, từ đó xác định được chiều dài đường cong chuyển tiếp L_1 và L_2 cùng các yếu tố của chúng.



Hình 3.12

Trên hình (3.12) trình bày các yếu tố của đường cong kết hợp hai đường clothoid ngược và được xác định như sau:

Chiều dài đường cong K_1K_2 là tổng của hai đường cong clothoid:

$$L = L_1 + L_2 \tag{3.38}$$

Khoảng cách ngắn nhất giữa hai đường cong tròn:

$$D = D_1 + D_2 = \overline{M_1M_2} - (R_1 + R_2)$$

Trong đó:

$$D_1 = \frac{x_{M_1} + E}{\sin\varepsilon} - R_1 \tag{3.39}$$

$$D_2 = \frac{x_{M_2} - E}{\sin\varepsilon} - R_2 \tag{3.40}$$

Gọi khoảng cách ngắn nhất giữa đường tiếp tuyến đi qua điểm giữa của đường cong chuyển tiếp với hai đường tròn R_1, R_2 là f_1 và f_2 thì khoảng cách E xác định như sau:

$$E = (R_1 + f_1).\text{tg}\varepsilon - x_{M_1} \tag{3.41}$$

Hay $\quad E = x_{M_2} - (R_2 + f_2).\text{tg}\varepsilon \quad ; \quad$ với $\quad R_1 > R_2;$ (3.42)

Các khoảng cách:

$$\sum x_M = x_{M_1} + x_{M_2} \quad (3.43)$$

$$\sum y_M = y_{M_1} + y_{M_2} \quad (3.44)$$

$$\overline{M_1M_2} = \frac{\sum x_M}{\sin\varepsilon} \quad (3.45)$$

3.6. KẾT HỢP CÁC ĐƯỜNG CONG CÙNG CHIỀU

Như đã trình bày trong chương 2, việc kết hợp hai đường cong cùng chiều có thể xảy ra 2 trường hợp: hai đường tròn cùng chiều lồng vào nhau hoặc ở cách xa nhau (xem hình 2.9 chương 2).

Trong trường hợp hai đường tròn cùng chiều cách xa nhau thì khi thiết kế tuyến clothoid người ta không làm đoạn chêm ngắn mà thiết kế tổ hợp các đường cong sao cho tuyến chuyển một cách đều đặn từ bán kính cong R của đường cong tròn sang các bán kính cong thay đổi R_i thông qua các đường cong chuyển tiếp (xem hình 2.9b).

Trường hợp hai đường tròn cơ bản cùng phía lồng vào nhau thì đoạn chuyển tiếp để nối hai đường tròn có dạng xoắn ốc (xem hình 2.10). Khi đó độ cong của đường cong chuyển tiếp được thay đổi từ $k = \frac{1}{R_1}$ đến $k = \frac{1}{R_2}$ với ($R_1 > R_2$).

Cũng như đối với các đường cong ngược chiều, chiều dài và thông số clothoid được thiết kế phụ thuộc vào bán kính cong và khoảng cách giữa các đỉnh góc.

Có thể nêu ra đây một dạng toán đồ để bạn đọc tham khảo (hình 3.13).

Hình 3.13 là toán đồ để thiết kế đường cong cùng chiều. Cách sử dụng toán đồ này cũng giống như các sử dụng toán đồ đối với hai đường cong ngược chiều (xem hình 3.11). Khi đã định được các bán kính đường cong R_1 và R_2 với $R_2 < R_1$ và khoảng cách D giữa chúng, ta có thể tính được tỷ số $\frac{R_1}{R_2}$ (ghi trên trục hoành) và tỷ số $\frac{D}{R_1}$ (ghi trên trục tung). Giao nhau vuông góc của hai đường này sẽ cho ta tỷ số $\frac{A}{R_1}$ trên các đoạn cong, từ đó tính được thông số A của đường cong chuyển tiếp clothoid.

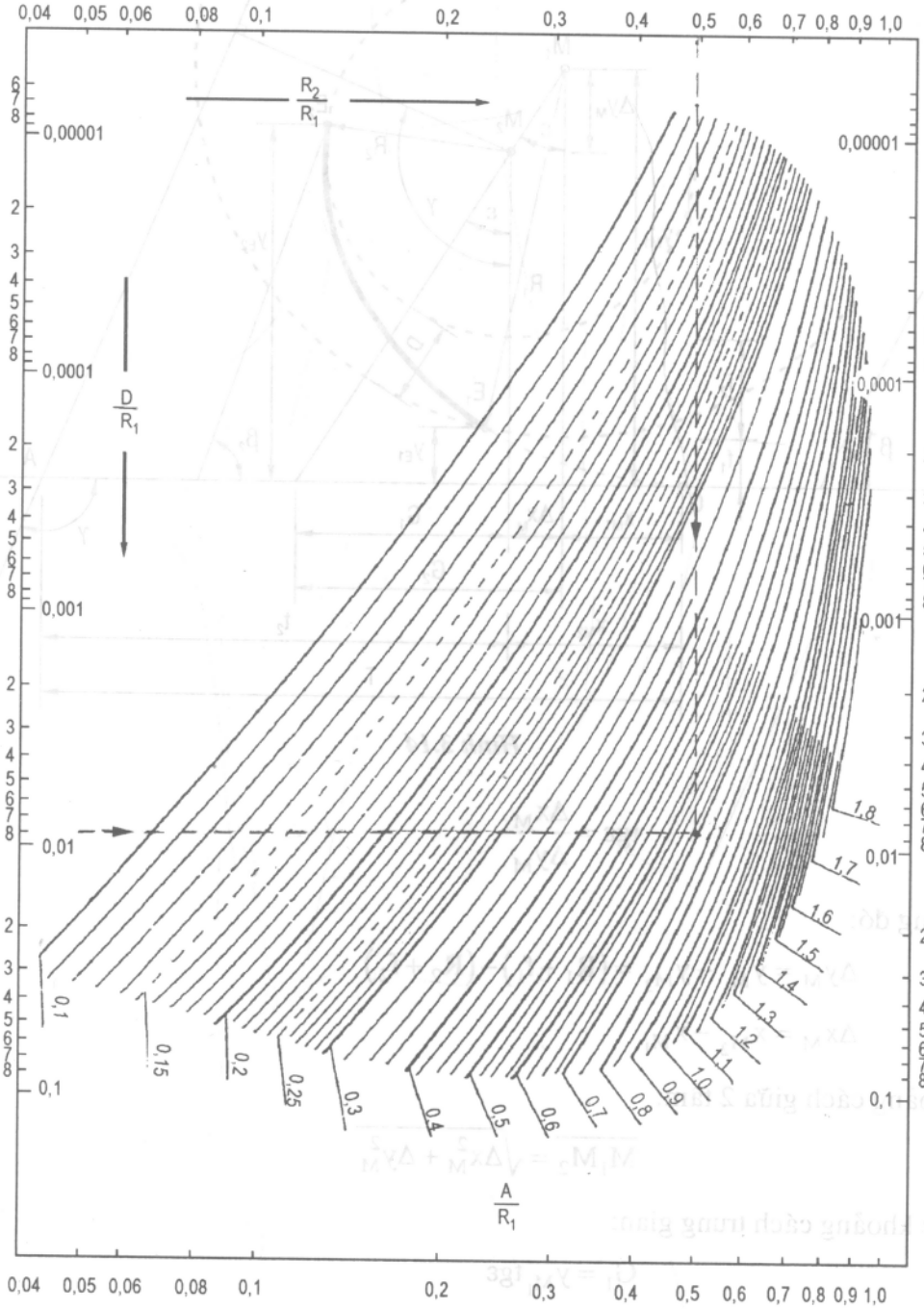
Ví dụ: Xác định thông số của đường cong chuyển tiếp clothoid nối hai đường cong tròn cùng chiều có R_1 = 2000m và R_2 = 1000m, khoảng cách D = 20m.

Từ toán đồ ta có $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1000}{2000} = 0,5$; $\frac{D}{R_1} = \frac{20}{2000} = 0,01$. Hai đường giao nhau tại điểm A trên đường cong có $\frac{A}{R_1} = 0,7$. Vậy đường cong chuyển tiếp có thông số A bằng:

$$A = 0,7 \times R_1 = 0,7 \times 2000 = 1400m$$

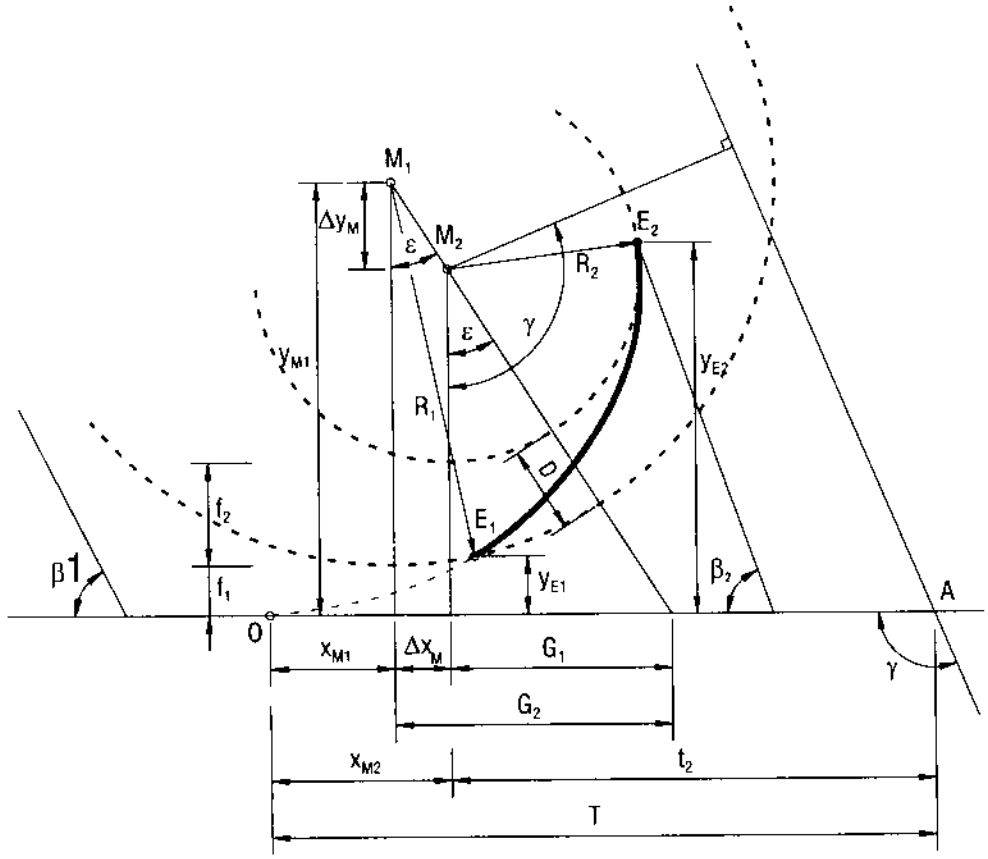
Ngày nay, do sự phát triển mạnh mẽ của tin học, việc sử dụng toán đồ chỉ để tham khảo hoặc được sử dụng để xác định sơ bộ.

Đường lối chung để thiết kế là có thể thực hiện bằng cách dùng các bộ thước khuôn mẫu để áp thử sau đó tính toán các yếu tố bằng các công thức giải tích trên máy tính.



Hình 3.13: *Toán đồ để thiết kế các đường cong cùng chiều.*

Trong trường hợp hai đường cong tròn cùng chiều lồng vào nhau thì nối tiếp hai đường cong tròn này bằng đường chuyển tiếp xoắn ốc. Các yếu tố của đường cong xoắn ốc này được trình bày trên hình (3.14) và được tính theo các công thức dưới đây:



Hình 3.14

$$tg\varepsilon = \frac{\Delta x_M}{\Delta y_M} \tag{3.46}$$

Trong đó:

$$\Delta y_M = y_{M_1} - y_{M_2} = (R_1 + f_1) - (R_2 + f_2) \tag{3.47}$$

$$\Delta x_M = x_{M_2} - x_{M_1} \tag{3.48}$$

Khoảng cách giữa 2 tâm:

$$\overline{M_1M_2} = \sqrt{\Delta x_M^2 + \Delta y_M^2} \tag{3.49}$$

Các khoảng cách trung gian:

$$G_1 = y_{M_1} tg\varepsilon \tag{3.50}$$

$$G_2 = y_{M_2} tg\varepsilon \tag{3.51}$$

Các đường tang:

$$t_2 = (R_2 + f_2)\,tg\frac{\gamma}{2} \qquad (3.52)$$

Và

$$T = t_2 + x_{M_2} \qquad (3.53)$$

Chiều dài đường cong clothoid $E_1E_2 = L$ được xác định bằng:

$$L = E_1\,E_2 = OE_2 - OE_1$$

Hay

$$L = L_2 - L_1 \qquad (3.54)$$

Và khoảng cách gần nhất của 2 đường tròn như đã biết:

$$D = R_1 - \left(R_2 + \overline{M_1M_2}\right)$$

3.7. MỘT SỐ VÍ DỤ THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID BẰNG CÁCH SỬ DỤNG CÁC THƯỚC KHUÔN MẪU VÀ BẢNG TRA

Nhằm giúp bạn đọc thấy rõ hơn cách kết hợp cụ thể các đường cong chuyển tiếp trong thiết kế tuyến clothoid một số trường hợp được minh hoạ bằng các ví dụ nhỏ nêu ra dưới đây:

Ví dụ 1: (kết hợp hai đường cong chuyển tiếp đối xứng liên tục)

Cho góc ngoặt $\gamma = 15^0 30'$

- Bằng cách dùng bộ thước khuôn mẫu cho các đường cong tròn và các đường cong clothoid áp vào các đường tang sơ bộ ta định được bán kính đường cong tròn cơ bản R' = 500m và chiều dài đường cong chuyển tiếp L' = 130m.

- Xác định góc tiếp tuyến của đường cong clothoid với trục hoành $\beta = \frac{\gamma}{2} = \frac{15^0 30'}{2} = 7^0 45'$

- Xác định gần đúng thông số $A' = \sqrt{500 \times 130} = 254,9m$. Ta quy tròn A'=255m.

- Theo phụ lục ta được:

$A = 255m$ thì $\frac{A}{R} = 0,52$ và $R = \frac{255}{0,52} = 490,3m$.

- Nếu chọn A = 260m thì $\frac{A}{R} = \frac{260}{500} = 0,52$. Như vậy nếu giữa nguyên bán kính R = 500m và chọn thông số A = 260m thì theo phụ lục với R = 1 chiều dài đường cong chuyển tiếp l = 0,2704m và với R = 500m chiều dài đường cong chuyển tiếp L sẽ là số thập phân:

Lần lượt tra từ phụ lục và tính các yếu tố của đường cong chuyển tiếp:

- Độ dịch chuyển: $p = 0,03045 \times 500 = 15,23m$

- Đường tang nhỏ: $t = 0,1351 \times 500m = 67,55m$

- Toạ độ điểm cuối nối hai đường cong chuyển tiếp với nhau:

$$x_0 = 0,2699 \times 500m = 134,95m$$

$$y_0 = 0,0122 \times 500 = 6,10m$$

***Ví dụ 2**: (kết hợp hai đường cong chuyển tiếp đối xứng liên tục và biết trước chiều dài đường tang)*

Do điều kiện địa hình chiều dài đường tang bị khống chế và đo được T=131,92m. góc chuyển hướng $\gamma = 25^0 02'$

Thiết kế đường cong chuyển tiếp liên tục đối xứng theo các bước sau:

- Xác định góc tiếp tuyến $\beta = \frac{\gamma}{2} = \frac{25^0 30'}{2} = 12^0 30'$. Ở bảng phụ lục không có trị số góc này nên ta cần phải nội suy.

- Chọn trị số gần nhất của $\beta = 12^0 31'$ là các góc $\beta_1 = 12^0 28' 45''$ và $\beta_2 = 12^0 43' 57''$

- Hiệu giữa 2 góc $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 12^0 43' 57'' - 12^0 28' 45'' = 15' 12''$ hay $912''$. Tính hiệu $\Delta\beta_1 = \beta - \beta_1 = 12^0 31' - 12^0 28' 45'' = 2' 15''$ hay $135''$

- Tính tỷ số $\frac{\Delta\beta_1}{\Delta\beta} = \frac{135''}{912''} = 0,148$

- Tra bảng với $\beta_1 = 12^0 28' 45''$ thì tỷ số $\frac{L}{R} = 0,4356$

Với $\beta_2 = 12^0 43' 57''$ thì tỷ số $\frac{L}{R} = 0,4444$

Hiệu số đối với yếu tố L (ứng với R = 1) sẽ là 0,4444 – 0,4356 = 0,0088. Vậy hệ số hiệu chỉnh bằng $\frac{\Delta\beta_1}{\Delta\beta} \times 0,0088 = 0,148 \times 0,0088 = 0,00130$

Bổ sung lượng hiệu chỉnh 0,0013 vào tỷ số $\frac{L}{R}$ ứng với β_1 ta được 0,4356 + 0,0013 = 0,4369.

Tiếp tục hiệu chỉnh tương tự đối với thông số A và các yếu tố khác là p, t, x_0, y_0 bằng cách tra bảng phụ lục. Từ đó tìm được các giá trị chính xác đối với góc $\beta = 12^0 31'$ để có $\frac{x_0}{R} = 0,4349; \frac{y_0}{R} = 0,0317, tg\frac{\gamma}{2} = tg12^0 31' = 0,222$

Xác định bán kính R theo công thức (3.13)

$$R = \frac{131,92}{0,4349 + 0,0317 + 0,222} = 298,49m$$

Lấy các trị số có được từ bảng tra nhân với trị số R = 298,49m ta được:

$$L = 130,44m$$

$$A = 197,32m$$

$$p = 2,37m$$

$$t = 65,12m$$

Ví dụ 3: *(kết hợp hai đường cong chuyển tiếp liên tục không đối xứng)*

- Tại góc ngoặt $\gamma = 12^0$, nhờ thước khuôn mẫu sơ bộ áng chừng R = 1000m, hai đường cong chuyển tiếp chọn hai thông số $A_1 = 500m, A_2 \approx 400m$

- Từ bảng phụ lục tra $\frac{A_1}{R} = \frac{500}{1000} = 0,5$ và các trị số tương ứng $\frac{L}{R} = 0,25$; $\frac{p}{R} = 0,002603$; $\frac{t}{R} = 0,1249$; $\frac{x_0}{R} = 0,249610$; $\frac{y_0}{R} = 0,01405$.

- Nhân các tỷ số trên cho R = 1000m ta được: L = 250m, A_1 = 500m, p_1 = 2,60m, t_1 = 124,94m, x_0 = 249,61m và y_0 = 10,41m

- Góc β_1 tra được là $7^0 09'43"$ quy tròn $\beta_1 = 7^0 10'$

- Xác định góc $\beta_2 = \gamma - \beta_1 = 12^0 - 7^0 10' = 4^0 50'$

- Tính tỷ số $\frac{A_2}{R} = \frac{400}{1000} = 0,4$ vì vậy cần phải hiệu chỉnh bằng cách nội suy các trị số gần đúng trong bảng ra tương ứng với hai góc liền nhau. $\beta = 4^0 48'57"$ và $\beta_1 = 4^0 51'26"$

- Kết quả nội suy hiệu chỉnh được trị số chính xác của thông số A_2 = 410,75m. các yếu tố khác của đường cong chuyển tiếp 2 cũng được tính toán nội suy tương tự.

- Cuối cùng các đường tang T_1, T_2 được tính từ các trị số được biết theo các công thức (3.23), (3.24).

Trên đây là những trường hợp cơ bản kết hợp các đường cong chuyển tiếp với nhau và với đường cong tròn. Các trường hợp này là cơ sở để thiết kế tuyến clothoid mà nội dung chi tiết sẽ được trình bày chi tiết ở chương tiếp theo.

Chương 4
PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID

4.1. TÍNH ƯU VIỆT VÀ PHƯƠNG PHÁP CƠ BẢN THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID

4.1.1. Tính ưu việt của tuyến clothoid

Tuyến clothoid bảo đảm đầy đủ các yêu cầu về đặt tuyến quang học. Sự thay đổi đều đặn của bình đồ tuyến bao gồm từ việc phối hợp các đoạn clothoid làm cho tuyến được đều đặn, nhịp nhàng. Ở tuyến clothoid thì mọi vị trí thay đổi hướng tuyến và kết hợp giữa các đường cong cùng chiều hay ngược chiều đều được thực hiện bằng các đường cong chuyển tiếp clothoid.

Tuyến clothoid ngoài ưu điểm nổi bật là có thể kết hợp hài hòa với phong cảnh xung quanh và êm thuận về mặt quang học còn có nhiều ưu điểm khác như:

- Do tuyến được uốn lượn liên tục một cách mềm mại với các bán kính cong lớn nên cải thiện đáng kể tầm nhìn của lái xe, nhất là các xe chạy ngược chiều, tạo điều kiện cho lái xe yên tâm điều khiển xe chạy với tốc độ lớn nhất cho phép và nâng cao an toàn xe chạy.

- Tuyến clothoid tạo nên các đường cong thẳng trên đó ta bố trí siêu cao sẽ tạo nên sự cân bằng giữa các thành phần lực ly tâm ($C.\cos\alpha$) và trọng lượng thành phần của ô tô ($G.\sin\alpha$) giúp cho lái xe giữ được quỹ đạo mong muốn khi điều khiển xe chạy.

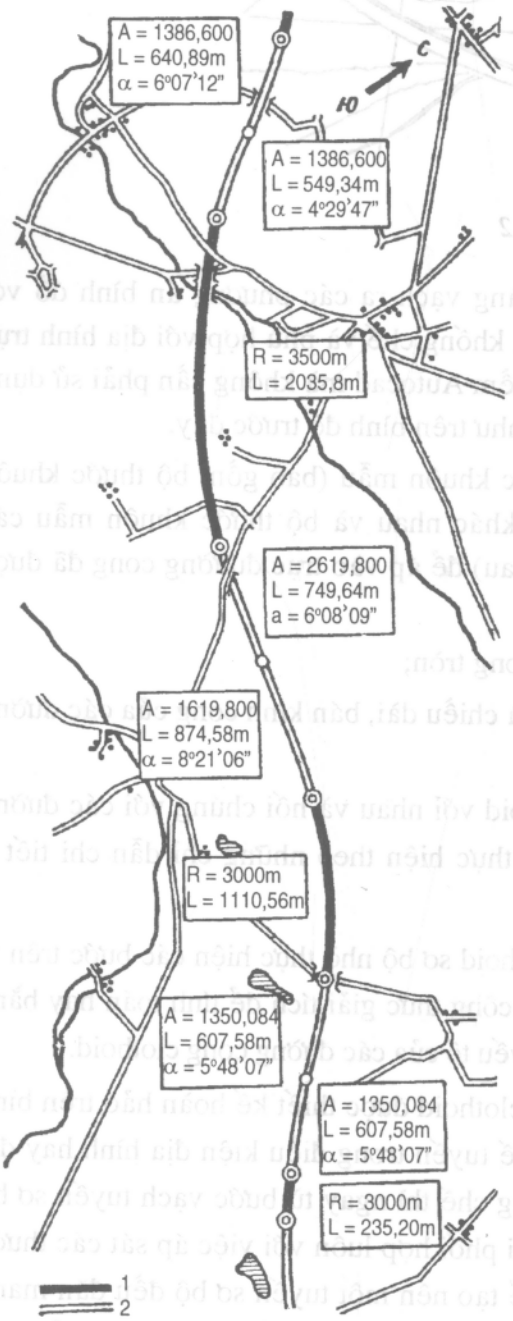
- Ở các khu vực thuộc vùng đồi thoải như vùng trung du phía Bắc nước ta hay các vùng đồi thoải ở Tây Nguyên thì đặt tuyến clothoid cho phù hợp với cảnh quan là điều rất thuận lợi, đồng thời có thể giảm được khối lượng công tác đáng kể.

- Tại khu vực có địa thế phức tạp mà buộc tuyến phải đi qua một số điểm khống chế đã định thì thiết kế tuyến clothoid có thể bảo đảm cho xe chạy thuận lợi hơn cả so với cách thiết kế tuyến thông thường.

Cũng do tuyến clothoid được thiết kế có khả năng bám được địa hình nên có thể tránh được những vị trí đào sâu, đắp cao hoặc tránh được những nơi có địa chất không tốt như nơi có đất đá phong hóa mạnh, vùng có ao, hồ, đầm lầy .... và cũng chính nhờ sử dụng kết hợp các đường cong chuyển tiếp clothoid dưới dạng khác nhau và kết hợp

các đường cong chuyển tiếp với các đường cong tròn khác nhau mà ta có thể vạch tuyến đi qua được các điểm mong muốn.

Hình 4.1 là một ví dụ về thiết kế một đoạn tuyến clothoid bao gồm chỉ có các đường cong tròn và các đường cong chuyển tiếp clothoid nối với nhau. Trong đó có ba đường tròn với các bán kính R = 3000; 3500m được nối với nhau bằng các đường cong clothoid ngược chiều có cùng chiều dài và thông số hoặc cùng thông số nhưng khác chiều dài đã tạo thành một đường cong đều đặn không có điểm gãy.



Hình 4.1

4.1.2. Các bước cơ bản thiết kế tuyến clothoid

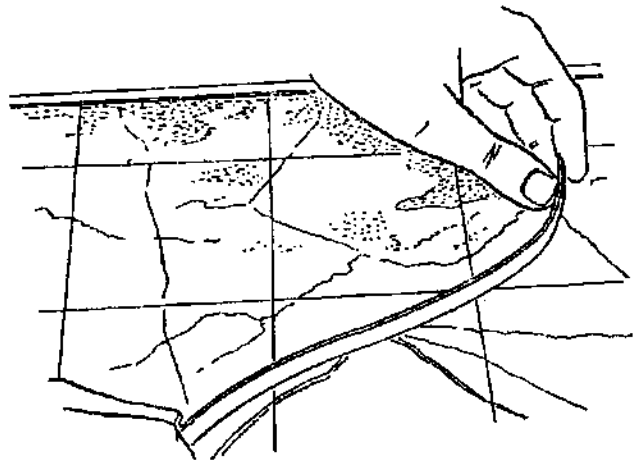
Theo kinh nghiệm của nhiều nước thì thiết kế tuyến clothoid được thực hiện trên bản vẽ tỷ lệ 1/1000 – 1/2000.

Các bước cơ bản thiết kế tuyến clothoid được thực hiện như sau:

Bước 1: Nghiên cứu bình đồ, xác định vị trí các điểm khống chế. Điểm khống chế cũng là điểm mong muốn mà khi thiết kế phải cố gắng để tuyến đi qua.

Bước 2: Dựa vào các điểm khống chế và các yêu cầu về phối hợp với cảnh quan thiên nhiên nơi tuyến đi qua tiến hành vạch sơ bộ tuyến đường. Tuyến được vạch xem như là trục đường trên đó ta cắm các cọc.

Trước đây khi vạch tuyến clothoid để có thể có được một đường trục qua các điểm khống chế và uốn lượn theo địa hình phù hợp với cảnh quan người ta thường dùng một thước làm bằng nhựa mica trong suốt mềm có thể uốn cong bằng tay tùy theo ý muốn của người thiết kế để vạch được một tuyến cong trên bình đồ (xem hình 4.2).



Hình 4.2

Ngày nay các kỹ sư thiết kế có thể dễ dàng vạch ra các phương án bình đồ với nhiều dạng đường cong tùy ý đi qua các điểm khống chế và phù hợp với địa hình trực tiếp trên máy tính nhờ sự trợ giúp của phần mềm Autocad mà không cần phải sử dụng đến thước cong mềm để vạch tuyến bằng tay như trên bình đồ trước đây.

Bước 3: Tiếp theo là sử dụng các bộ thước khuôn mẫu (bao gồm bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn với các bán kính khác nhau và bộ thước khuôn mẫu các đường cong clothoid với các thông số khác nhau) để áp vào trục đuường cong đã được vạch sơ bộ ở bước 2 nhằm mục đích:

+ Sơ bộ định vị trí và bán kính các đường cong tròn;

+ Xác định một cách áng chừng thông số và chiều dài, bán kính cong của các đường cong chuyển tiếp clothoid.

Nguyên tắc kết hợp các đường cong clothoid với nhau và nối chúng với các đường cong tròn cùng chiều hay ngược chiều được thực hiện theo những chỉ dẫn chi tiết ở chương 2 và chương 3.

Bước 4: Sau khi đã thiết kế được tuyến clothoid sơ bộ nhờ thực hiện các bước trên ta tiến hành quy tròn các trị số này rồi bằng các công thức giải tích để tính toán hay bằng bảng tra (xem phụ lục) xác định chính xác các yếu tố của các đường cong clothoid.

Đây là bước cơ bản nhất để có một tuyến clothoid được thiết kế hoàn hảo trên bình đồ. Chúng ta cũng cần lưu ý rằng, khi thiết kế tuyến trong điều kiện địa hình hay địa thế phức tạp lại phải đi qua nhiều điểm khống chế thì ngay từ bước vạch tuyến sơ bộ là một đường cong liên tục (bước 2) cũng phải phối hợp luôn với việc áp sát các thước khuôn mẫu clothoid (ở bước 3) sao cho có thể tạo nên một tuyến sơ bộ đều đặn mang tính thiết kế khả thi. Khi kết hợp các clothoid có thông số khác nhau thì tại điểm nối chúng phải có cùng một bán kính và một tiếp tuyến chung.

Công việc cuối cùng sau khi tính toán chính xác các yếu tố của đường cong clothoid là thực hiện khôi phục hay xác định lại vị trí của tất cả các tiếp tuyến để bảo đảm cắm được các đường cong trên thực địa bằng các đường tang.

4.2. CHẾ TẠO VÀ SỬ DỤNG THƯỚC KHUÔN MẪU ĐỂ THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID

4.2.1. Chế tạo bộ thước khuôn mẫu:

Các thước khuôn mẫu được sử dụng để thiết kế tuyến clothoid gồm hai loại:

a) Bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn

Bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn có các bán kính khác nhau. Các thước này được làm theo tỷ lệ của bình đồ tuyến được thiết kế (tỷ lệ 1/1000 hoặc 1/2000) với những trị số bán kính tăng dần từ nhỏ đến lớn; trong đó trị số bán kính tối thiểu của đường cong nằm được chọn phù hợp với cấp đường thiết kế.

Ví dụ, theo tiêu chuẩn thiết kế mới (TCVN 4054-2005) quy định như sau:

Cấp đường	I	II	III	
Tốc độ thiết kế, km/h	120	100	80	60
R_{min} giới hạn	650	400	250	125
R_{min} thông thường	1000	700	400	250
R_{min} không siêu cao	5500	4000	2500	1500

Ngoài các bán kính tối thiểu bộ thước khuôn mẫu của đường cong tròn phải bao gồm các bán kính thông dụng nhất đặc trưng cho mỗi cấp đường và phù hợp với điều kiện địa hình (tuyến thiết kế qua vùng đồng bằng và vùng đồi thì lựa chọn các bán kính thông dụng có trị số lớn, còn đối với vùng núi thì ngược lại).

b) Bộ thước khuôn mẫu các đường cong clothoid

Các thước mẫu đường cong clothoid được chế tạo theo các thông số khác nhau. Trị số thông số A được lựa chọn có thể từ 100, 200 cho đến trị số bằng hoặc lớn hơn 1000m. Với tuyến clothoid, tại các góc ngoặt nhỏ có thể thiết kế các đường cong clothoid có chiều dài lớn với thông số A lựa chọn cũng sẽ lớn hơn ứng với các bán kính R lớn; Bạn đọc có thể thấy rõ điều này trong một ví dụ nêu trên hình 4.1; Đồng thời cũng có thể thiết kế đường cong chuyển tiếp clothoid ứng với giới hạn trên của thông số A, Khi đó có thể chọn $A_{max} = R$ (công thức 2.2 đã dẫn).

Với giới hạn rộng như thế nên một bộ thước mẫu (có thể có từ 20-25 thước mẫu). Số lượng thước mẫu chế tạo cũng như các thông số A lựa chọn cần được tham khảo mối tương quan giữa bán kính cong R và thông số A cũng như cấp đường thiết kế.

Trong trường hợp chiều dài đường cong chuyển tiếp là số thập phân thì bán kính cong cuối cùng được xác định từ công thức: $R = \frac{A^2}{L}$

Các bộ thước khuôn mẫu được chế tạo bằng các miếng nhựa trong suốt hoặc bằng bìa cứng (carton). Tốt nhất là bằng nhựa trong suốt để có thể nhìn thấy bình đồ đặt ở dưới thước trong khi xê dịch thước dò tìm vị trí thích hợp.

c) Cách chế tạo các thước khuôn mẫu clothoid

Trước hết cần định trị số thông số A và các trị số biên của các bán kính đường cong tròn đối với thông số đã cho. Sau đó sử dụng các công thức giải tích để tính toán các yếu tố của đường cong chuyển tiếp hay dựa vào bảng lập sẵn (xem phụ lục).

Tuy nhiên, hiện nay nhờ có sự hỗ trợ của máy tính ta không cần dựa vào bảng lập sẵn mà dựa vào phương trình clothoid được lập theo tọa độ vuông góc đã nêu trong công thức 1.55 và 1.56 ở chương 1 để chế tạo thước cong. Cụ thể như sau:

Thực hiện theo cách này thì với mỗi một thông số A đã chọn tùy theo chiều dài của đường cong clothoid cùng với một bán kính R_i ($S_i = A^2.R_i$) sử dụng máy tính tính được các tọa độ (x_{oi} ,y_{oi}) tương ứng. Sau đó nối các điểm này lại ta sẽ được một thước cong clothoid.

Ví dụ: Chọn thông số A = 400m với bán kính R = 200m. Sau khi tính các chiều dài đường cong chuyển tiếp S_i và các tọa độ tương ứng (x_{oi} ,y_{oi}) trong phạm vi R = 200 ÷ 1200m theo bảng đã lập máy in ra các số liệu để chế tạo thước cong mẫu như sau: (xem bảng 4.1).

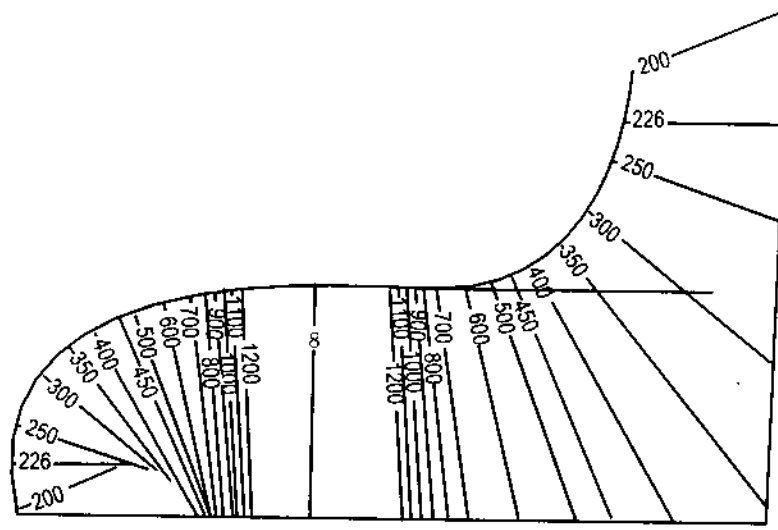
A = 400m **Bảng 4.1**

R_i(m)	A/R_i	$S_i = L_i = A^2/R_i$	x_{oi}	y_{oi}
200	2,000	800,000	533,789	398,992
225	1,778	711,111	552,881	312,841
250	1,600	640,000	542,795	242,728
275	1,455	581,818	519,996	189,333
300	1,333	533,333	492,707	149,327
350	1,143	457,143	438,027	96,523
400	1,000	400,000	390,115	65,486
450	0,889	355,556	350,046	46,303
500	0,800	320,000	316,739	33,884
600	0,667	266,667	265,353	19,684

Bảng 4.1 (tiếp theo)

R_i(m)	A/R_i	$S_i = L_i = A^2/R_i$	x_{oi}	y_{oi}
700	0,571	228,571	227,963	12,416
800	0,500	200,000	199,688	8,324
900	0,444	177,778	177,604	5,849
1000	0,400	160,000	159,898	4,265
1100	0,364	145,455	145,391	3,205
1200	0,333	133,333	133,292	2,469

Hình 4.3 Trình bày thước khuôn mẫu được chế tạo theo các số liệu tính toán nêu trong bảng 4.1. Việc vẽ thước khuôn mẫu cũng được thực hiện ngay trên máy tính.



Hình 4.3: Thước khuôn mẫu clothoid với A = 400m

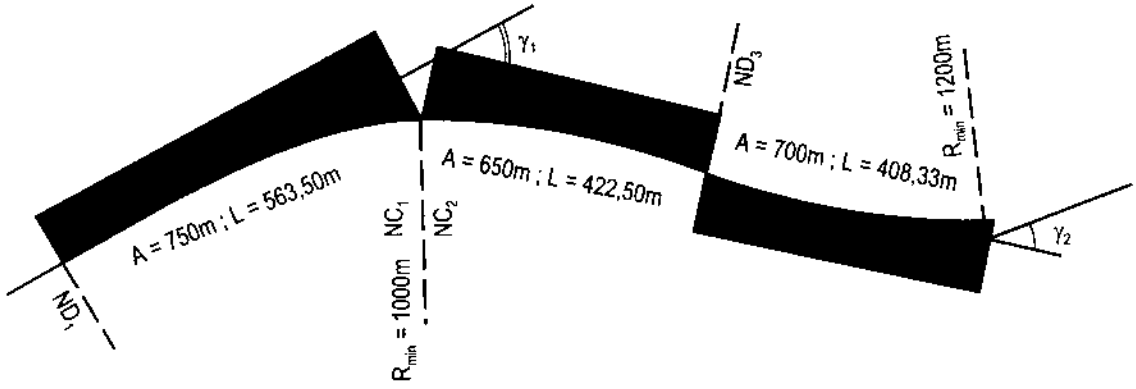
4.2.2. Sử dụng thước khuôn mẫu để thiết kế tuyến clothoid

Sau khi vạch đường trục với các góc ngoặt xác định ở bước 2 ta sử dụng bộ thước khuôn mẫu để thiết kế như sau:

Trước tiên sử dụng bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn áp vào đường trục đã được vạch sơ bộ tại nơi có các góc ngoặt để sơ bộ xác định vị trí và bán kính các đường cong tròn.

Nếu cần thiết kế đường cong có đoạn chêm tròn thì ta lấy điểm tiếp xúc của thước khuôn mẫu với trục đường (tức đường tang) coi là điểm giữa của đường cong chuyển tiếp rồi thực hành thiết kế theo các trường hợp đường cong tròn, nối hai đầu bằng hai đường cong chuyển tiếp đối xứng hoặc không đối xứng như đã trình bày trong mục 3.1 và 3.2 thuộc chương 2.

Trường hợp không sử dụng đoạn chêm tròn mà nối trực tiếp các đường cong chuyển tiếp với nhau thì ở bước sơ bộ ta sử dụng các thước khuôn mẫu áp liên tục vào đường trục.



Hình 4.4

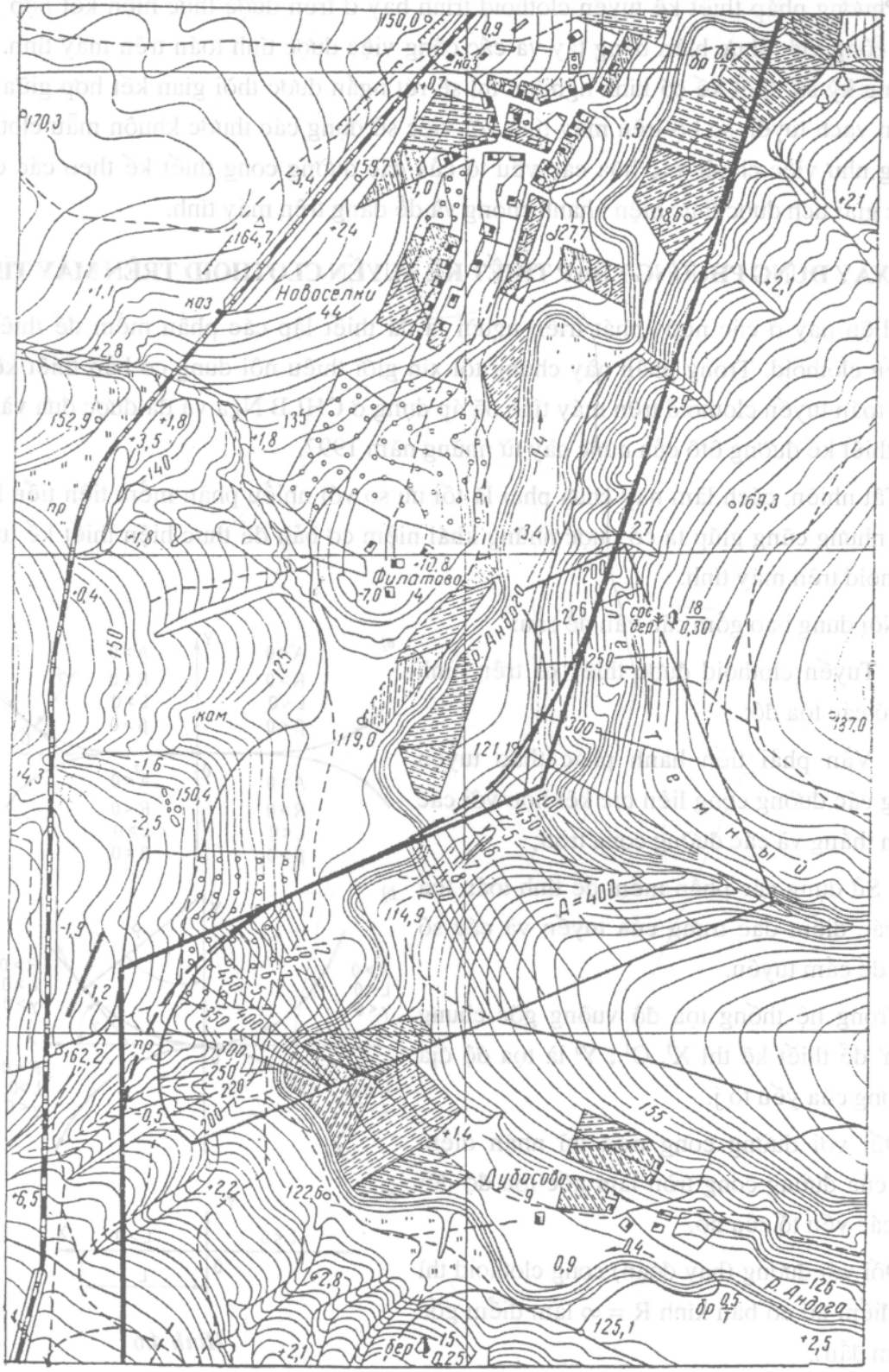
Ví dụ, trên hình 4.4 người ta sử dụng 3 thước khuôn mẫu của đường cong clothoid áp liên tục vào đường trục tại đoạn đường có 2 góc ngoặt γ_1 và γ_2. Tại góc ngoặc γ_1 kết hợp hai đường cong chuyển tiếp cùng chiều không đối xứng khác nhau về chiều dài và thông số A. Chuyển từ góc ngoặt γ_1 sang góc ngoặc γ_2 kết hợp trực tiếp hai đường cong chuyển tiếp ngược chiều cũng không đối xứng và khác nhau cả chiều dài cùng thông số.

Sau khi áp liên tiếp các thước khuôn mẫu vào đường trục có các góc ngoặt γ_i ta sẽ được sơ bộ một phương án tuyến clothoid gần đúng là một đường cong liên tục. Phương pháp áp thước khuôn mẫu (làm bằng miếng mica trong suốt) lên đường trục vạch ra trên bình đồ được thể hiện trên hình 4.5.

Trong trường hợp các đường cong chuyển tiếp nối trực tiếp với nhau thì tùy theo trường hợp mà thực hiện thiết kế theo nội dung thiết kế đã nêu trong mục (3.3) hoặc (3.4) hay (3.5) thuộc chương 2.

Để bảo đảm độ chính xác trong thực tế thiết kế người ta thường xác định (còn gọi là định vị) tọa độ của tất cả các điểm được coi là đặc trưng như: tọa độ của các đỉnh góc ngoặt, các điểm đầu và cuối của đường cong tròn và các đường cong chuyển tiếp; tọa độ của các điểm khống chế, đồng thời cũng xác định luôn cao độ của các điểm đặc trưng này.

Tọa độ của các điểm đặc trưng được tính toán trên máy tính theo các công thức đã biết trong trắc địa và trong hình giải tích. Còn tọa độ của các điểm đặc trưng được xác định trên bình đồ khu vực có sẵn hoặc dựa vào các số liệu chụp ảnh hàng không.



Hình 4.5: Sử dụng thước khuôn mẫu mẫu để thiết kế tuyến clothoid

Phương pháp thiết kế tuyến clothoid trình bày ở trên được thực hiện kết hợp giữa các công việc thực hiện bằng tay và các công việc được tính toán trên máy tính. Với những kỹ sư thiết kế có kinh nghiệm thì sẽ rút ngắn được thời gian kết hợp giữa giai đoạn vạch tuyến sơ bộ trên máy tính với việc sử dụng các thước khuôn mẫu clothoid cũng như việc chính xác hóa các yếu tố của các đường cong thiết kế theo các công thức giải tích được thực hiện nhanh chóng và dễ dàng trên máy tính.

4.3. XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID TRÊN MÁY TÍNH

Hiện nay ở các nước phát triển người ta đã thiết lập các phần mềm để thiết kế tuyến clothoid. Trong phần này chúng tôi xin giới thiệu nội dung cơ bản thiết kế và tính toán tuyến clothoid trên máy tính đã áp dụng ở CHLB Nga và đã được đưa vào sổ tay thiết kế đường ôtô của nước này từ những năm 1997.

Tất nhiên, cách làm này chưa phải là tối ưu so với nhiều phần mềm tiên tiến hiện nay nhưng cũng giúp ta có được những khái niệm cơ bản để thực hiện thiết kế tuyến clothoid trên máy tính.

Nội dung bao gồm các vấn đề sau:

* Tuyến clothoid được thiết kế trên bình đồ có các tọa độ;

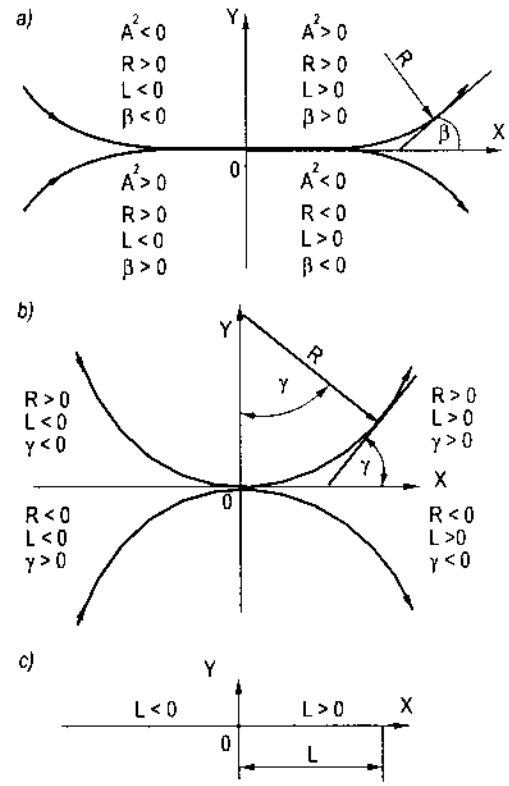
* Vẫn phải tiến hành phác thảo tuyến bằng các đường cong liên tục kết hợp với các đoạn thẳng và các đường cong tròn;

* Sử dụng các phần mềm để tính toán tọa độ các điểm đặc trưng của tuyến và các số liệu để cắm tuyến.

Trong hệ thống tọa độ vuông góc chung XOY để thiết kế thì X^j, O^j , Y^j là tọa độ địa phương của yếu tố j.

Đối với đường cong tròn thì nhận điểm đầu của đường cong tròn làm gốc tọa độ đối với các yếu tố của nó.

Đối với đường (hay đoạn) cong clothoid thì lấy điểm tại có bán kính R = ∞ làm điểm gốc (điểm đầu).



Hình 4.6

Trục X^j tiếp tuyến với tuyến và hướng của nó trùng với đường cát tuyến tính toán.

Để có thể kiểm tra tự động thì dấu quy ước của các yếu tố phải tuân theo quy tắc đã nêu trên hình 4.6.

* Có hai phương pháp thiết kế trên máy tính. Đó là:

- Phương pháp các *yếu tố điểm tựa*;

- Phương pháp làm *gần đúng liên tục các điểm.*

Dưới đây trình bày tóm tắt từng phương pháp.

4.3.1. Phương pháp các yếu tố điểm tựa

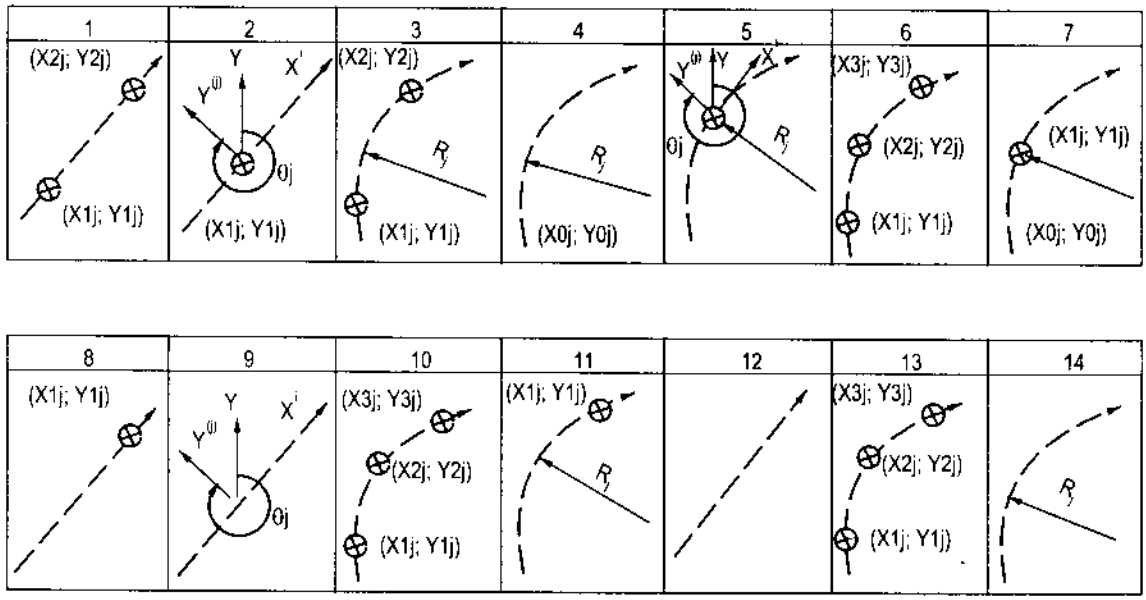
Thiết kế tuyến theo phương pháp các điểm tựa dựa trên cơ sở sử dụng các bộ thước khuôn mẫu của đường cong tròn và đường thẳng kết hợp với các đường cong hoặc đoạn clothoid tạo nên tuyến clothoid trên bình đồ đã được xác định các tọa độ.

Có ba loại yếu tố điểm tựa, đó là: các yếu tố điểm tựa đã được xác định; các yếu tố điểm tựa bán xác định và các yếu tố điểm tựa tự do.

Yếu tố đã xác định được hình dạng bên ngoài (ví dụ đường thẳng hay đường tròn hay với đường cong tròn đã có bán kính đã cho – tức là các yếu tố đã được biết) cũng như vị trí của chúng trong tọa độ thì được gọi là *yếu tố điểm tựa đã xác định.*

Yếu tố đã xác định được hình dạng, vị trí của nó trong hệ tọa độ chung nhưng trong quá trình tính toán có thể quay yếu tố quanh một điểm nào đó được gọi là *yếu tố điểm tựa bán xác định.*

Yếu tố chỉ xác định được hình dạng nhưng không xác định được vị trí của nó trong hệ thống chung thì gọi là *yếu tố điểm tựa tự do.*



Hình 4.7

Trên hình 4.7 cho thấy các trường hợp từ 1 đến 7 là các yếu tố điểm tựa đã xác định (là đường thẳng đi qua 2 điểm cố định hay được xác định theo tọa độ và các đường cong đã được xác định bằng bán kính đã cho và qua các điểm cố định).

Các trường hợp từ 8 đến 11 là các yếu tố điểm tựa bán xác định vì là đường thẳng hoặc đường cong tròn chỉ đi qua một điểm hoặc nếu đường tròn qua 3 điểm nhưng không có bán kính xác định.

Các trường hợp cuối cùng từ 12 đến 14 là các yếu tố điểm tựa tự do.

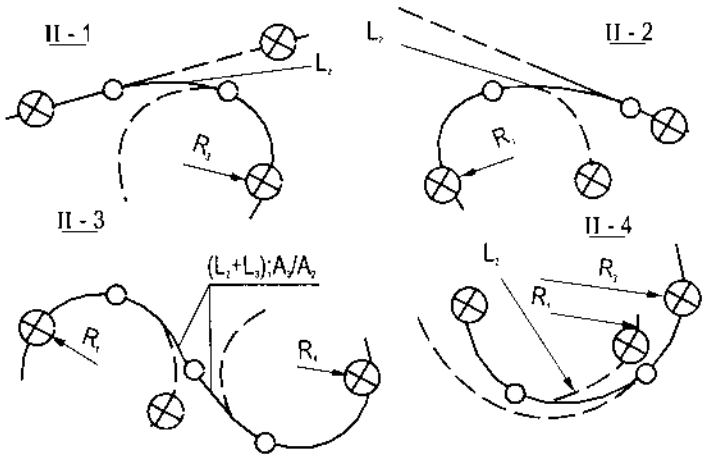
Để đảm bảo thiết kế tuyến được mềm mại người ta đã nghiên cứu đưa ra các sơ đồ tính toán khác nhau. Các sơ đồ này đều dựa trên cơ sở tổng hợp các trường hợp thường gặp trong thực tế thiết kế và được chia thành ba nhóm được đặc trưng bởi các vị trí tương hỗ và vị trí giữa các yếu tố điểm tựa.

Cách thiết kế tuyến theo phương pháp các yếu tố điểm tựa được thực hiện như sau:

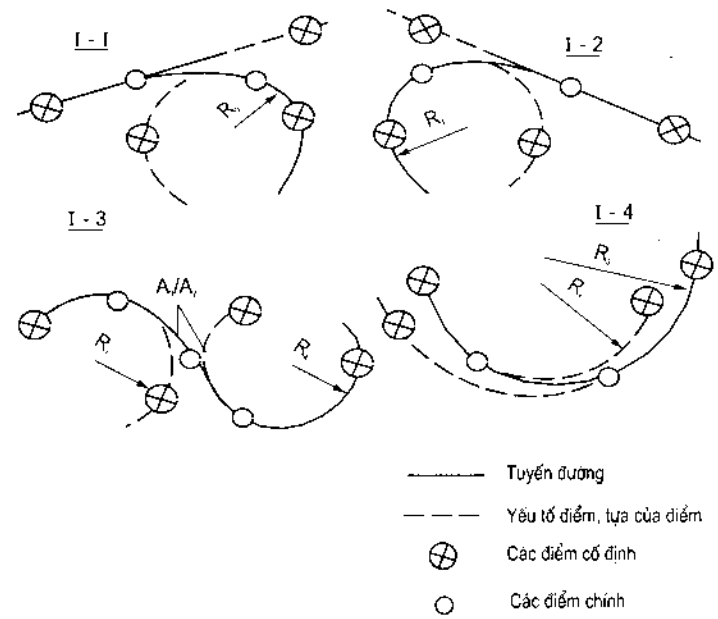
- Trong khi phân tích tuyến đã được vạch sơ bộ ta xác định sự liên tục của các yếu tố nhưng chưa xác định giới hạn của các yếu tố này;

- Sử dụng bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn và đường thẳng để xác định vị trí của các yếu tố điểm tựa;

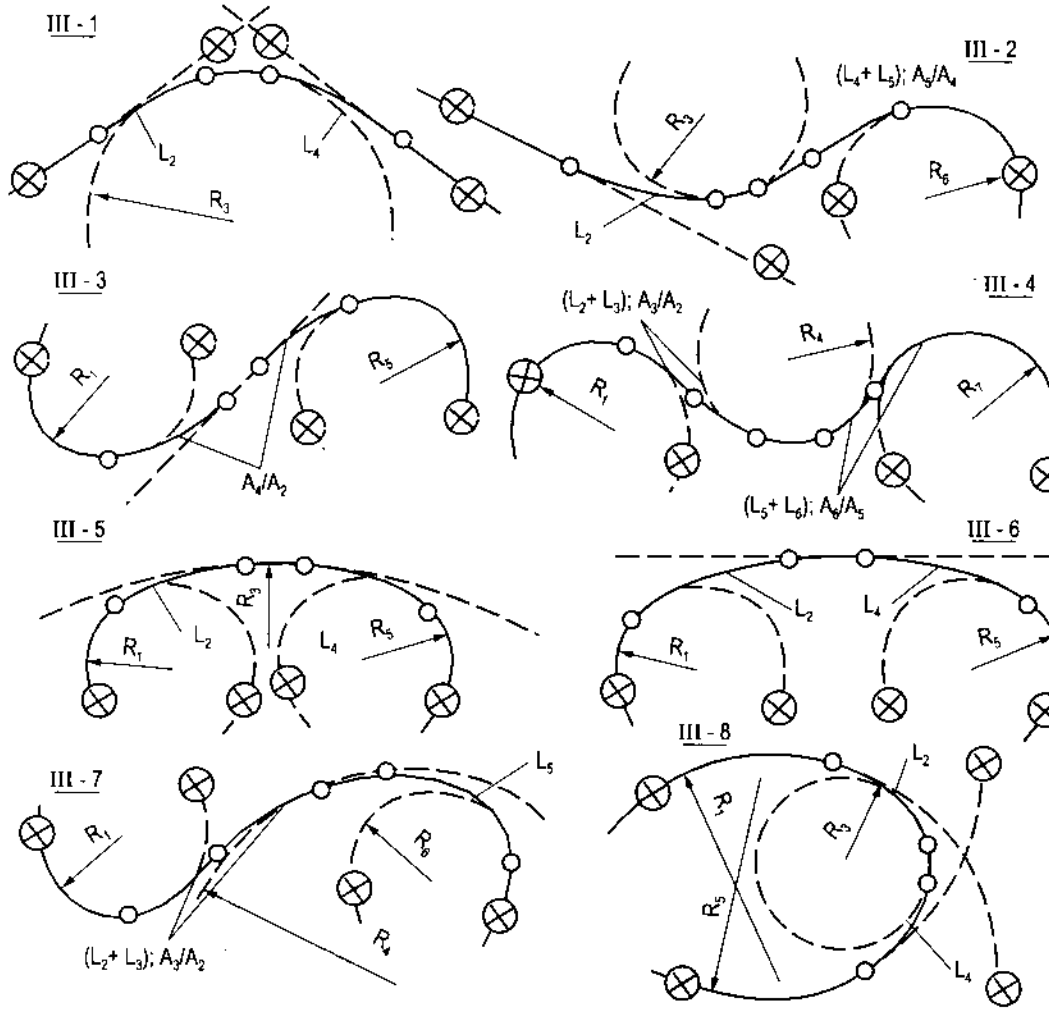
- Lựa chọn sơ đồ tính toán phù hợp nhất trong 16 trường hợp kết hợp đã nêu thuộc ba nhóm trình bày trên hình 4.8, hình 4.9 và hình 4.10 để thực hiện kết hợp và tính toán các yếu tố chi tiết trên máy tính.



Hình 4.8



Hình 4.9



Hình 4.10

Một chương trình tổng hợp được thiết lập sẽ tự động nhận biết các dạng kết hợp thuộc ba nhóm trên. Kết quả sẽ thu nhận được các đặc trưng hình học của tất cả các yếu tố như: chiều dài, bán kính, các thông số, trị số các góc ngoặt ... ; các tọa độ và vị trí của các điểm chính của tuyến và các đỉnh góc ngoặt.

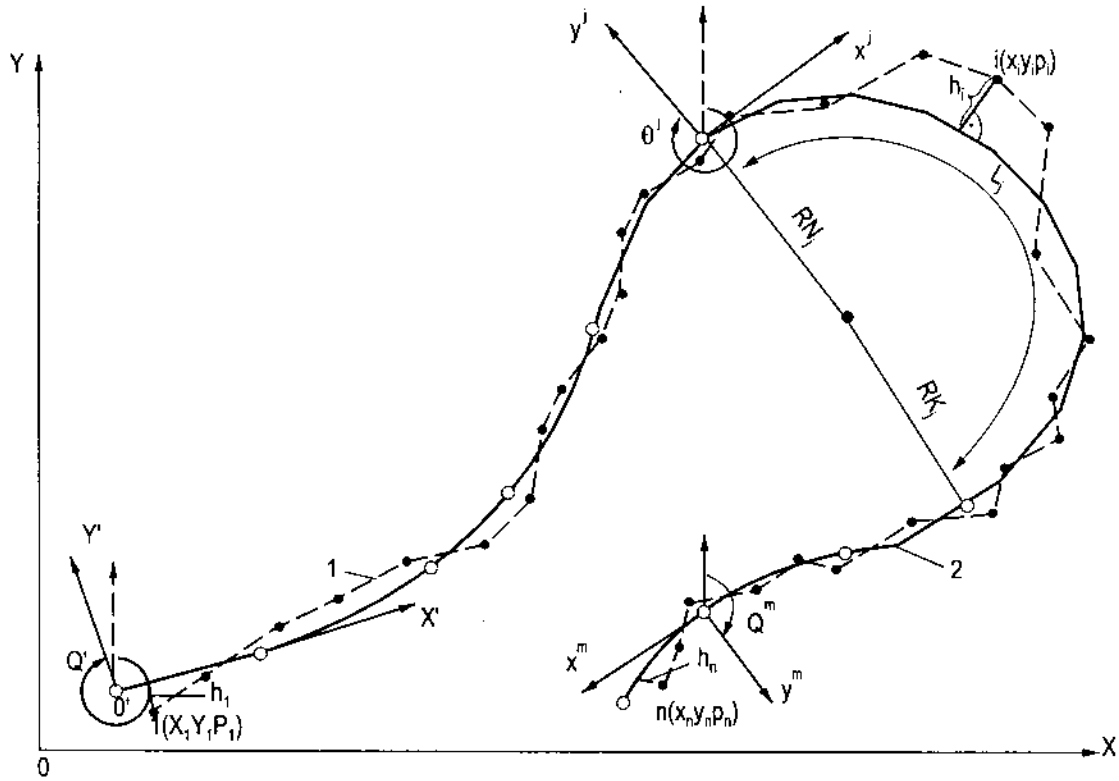
Chương trình cũng cho kết quả nhận biết được loại yếu tố, hướng tiếp tuyến ở điểm đầu của yếu tố, các bán kính ở điểm đầu và điểm cuối yếu tố, tọa độ điểm đầu cũng như chiều dài của yếu tố. Đồng thời dựa vào những kết quả tính toán thiết kế trên để xây dựng các phần mềm khác như: cắm tuyến, dựng hình chiếu phối cảnh v.v...

4.3.2. Phương pháp làm gần đúng (xấp xỉ) liên tục để nối các điểm

Ưu điểm của phương pháp xấp xỉ so với phương pháp các yếu tố điểm tựa là loại bỏ được khối lượng lớn công việc phải sử dụng các bộ thước khuôn mẫu để thiết kế tuyến.

Nội dung cơ bản của phương pháp này có thể tóm tắt như sau: Từ tuyến được phác thảo sơ bộ ban đầu định ra được tọa độ của một số lớn các điểm cơ bản trên tuyến. Sau đó từ điều kiện tối thiểu hóa tổng bình phương các độ lệch của tuyến thiết kế so với tuyến phác thảo sơ bộ ban đầu (phương pháp tổng bình phương bé nhất) mà vạch được bình đồ tuyến thỏa mãn các yêu cầu của một tuyến cothoid.

Sơ đồ tính toán của phương pháp làm gần đúng liên tục các điểm được thể hiện trên hình 4.11.



Hình 4.11:

1- Tuyến phác thảo sơ bộ; 2- Tuyến thiết kế

Để kết thúc chương này chúng tôi muốn khẳng định thêm với độc giả một điều là: Hai phương pháp thiết kế tuyến clothoid trên máy tính được trình trình bày ở trên có thể chưa hoàn hảo so với các phần mềm của nhiều nước tiên tiến hiện có. Song, trong điều kiện bước đầu tiếp cận với công tác tư vấn thiết kế các công trình đường ô tô cấp cao và đường cao tốc ở nước ta hiện nay thì chắc rằng hai phương pháp tính toán thiết kế tuyến clothoid này sẽ là những gợi ý và những tham khảo có ích cho chúng ta.

Chương 5

KIỂM TRA ĐỘ BẰNG PHẲNG QUANG HỌC CỦA TUYẾN CLOTHOID ĐƯỢC THIẾT KẾ

5.1. ĐƯỜNG ÔTÔ TRONG KHÔNG GIAN

Các điều kiện bảo đảm tính thẩm mỹ, đều đặn và bằng phẳng quang học trong không gian khi thiết kế tuyến clothoid cho đường ôtô, trong đó đường cong clothoid được coi như là một yếu tố độc lập để liên kết với các đường cong tròn, đoạn thẳng hoặc kết hợp với nhau đã được trình bày một cách chi tiết trong mục 2.3 của chương 2.

Các điều kiện này chính là những lời khuyên và những hướng dẫn cho người thiết kế khi lựa chọn bán kính R, chiều dài đường cong tròn tối thiểu (K_{min}), chiều dài đường cong chuyển tiếp clothoid (L), thông số của đường cong (A) cũng như quan hệ giữa các thông số trên với tốc độ thiết kế V_{tk}.

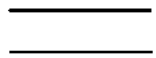
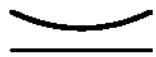
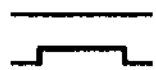
Việc phối hợp giữa các yếu tố bình đồ và trắc dọc bao gồm cả vị trí tương đối giữa các đỉnh của đường cong đứng và đường cong nằm, tỷ số các bán kính cũng như chiều dài của các đường cong cũng là những vấn đề đã được nghiên cứu và đã đưa ra nhiều nguyên tắc thiết kế phối hợp cho đường ôtô.

Tuy nhiên, trong quá trình điều khiển cho xe chạy trên đường lái xe phải luôn luôn dựa vào các đường ranh giới chuẩn được vạch rõ trên mặt đường như mép phần xe chạy, tim đường hay các đối tượng, công trình khác có trên đường như các hàng cây, hàng rào biên (barier), cọc an ninh, các công trình kiến trúc cạnh đường .... để định quỹ đạo xe chạy và để phán đoán hướng đi tiếp theo của đường.

Hiệu quả lớn nhất đạt được đối với đặt tuyến quang học là tập trung được các vị trí mà tại đó tác động mạnh nhất đến người lái xe.

Mặt khác tuyến đường là một đường cong trong không gian, vì vậy trong thiết kế ngoài việc áp dụng các nguyên tắc thiết kế chung, còn phải xác lập các loại điểm và đường; tạo nên các đoạn đường đặc trưng riêng biệt của tuyến và dạng bề mặt tạo nên nền đường. Dựa theo các quy luật tạo thành các bề mặt xác định, ta có thể thấy rõ các trường hợp phối hợp giữa bình đồ và trắc dọc đường trong không gian như dưới đây (xem bảng 5.1).

Bảng 5.1

Trường hợp	Bình đồ và trắc dọc	Tuyến đường		Loại bề mặt phụ thuộc vào dạng mặt cắt ngang	
		Dạng tuyến trong không gian		Các đường thẳng	Đường cong phẳng
1		Đường thẳng	Đường thẳng	Các mặt phẳng	Hình trụ
2			Đường cong đứng	Các hình trụ nghiêng	Mặt của hình trụ tròn
3			Mặt cắt hình trụ nằm ngang	Các hình nón	Bề mặt xoay
4			Mặt cắt hình trụ nghiêng	Các dạng xoắn ốc nghiêng có bước thay đổi	Mặt của hình trụ tròn
5		Đường cong không gian (đường xoắn hình trụ)	Độ dốc nghiêng không đổi	Các dạng xoắn ốc nghiêng có bước không đổi	-
6			Độ dốc ngiêng tăng dần	Các dạng xoắn ốc nghiêng có bước thay đổi	-
7			Độ dốc ngiêng giảm dần	Các dạng xoắn ốc nghiêng có bước thay đổi	-

Từ bảng 5.1 cho ta thấy tuyến trong không gian có thể phân ra làm ba loại:

a) Đường thẳng trong không gian: khi bình đồ và trắc dọc đều là những đoạn thẳng (trường hợp 1).

b) Đường cong phẳng: bao gồm các trường hợp:

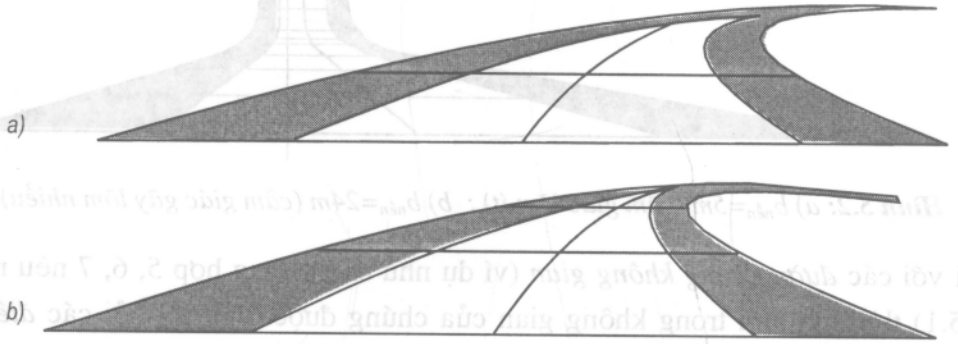
- Nằm trên mặt phẳng đứng khi kết hợp giữa đường cong đứng (lồi hoặc lõm) với đường thẳng trên bình đồ (trường hợp 2);

- Nằm trên mặt phẳng ngang khi kết hợp giữa đường cong trên bình đồ với các đường thẳng hoặc đường cong trên trắc dọc (trường hợp 3 và 4).

c) ***Đường cong trong không gian***: khi kết hợp các đường cong trên bình đồ với các đường cong hoặc thẳng trên trắc dọc (các trường hợp 5, 6, 7).

Đối với các đoạn đường trong không gian là *đường cong phẳng* thì khoảng cách và chiều cao của điểm nhìn ảnh hưởng trực tiếp đến thụ cảm thị giác của người lái xe. Ví dụ cũng là đường cong tròn nhưng hình ảnh của đoạn đường này được lái xe nhìn nhận

khi là đường tròn, khi là hình ellip hoặc có thể là một đường thẳng hay đường parabol, hyperbol, tuỳ theo khoảng cách và vị trí từ nhiều điểm. Cũng như vậy hình ảnh không gian của đoạn đường cong này nếu nhìn từ xa thì lái xe cảm thấy đường bị gãy lõm nhưng nếu đến gần lại thì cảm nhận thuyến không gian đều đặn như hình ảnh được thể hiện trên hình 5.1.



Hình 5.1: *a- Cự ly nhìn L = 50m (cảm nhận cong đều);*
b- Cự ly nhìn L=150m (cảm nhận gãy lõm).

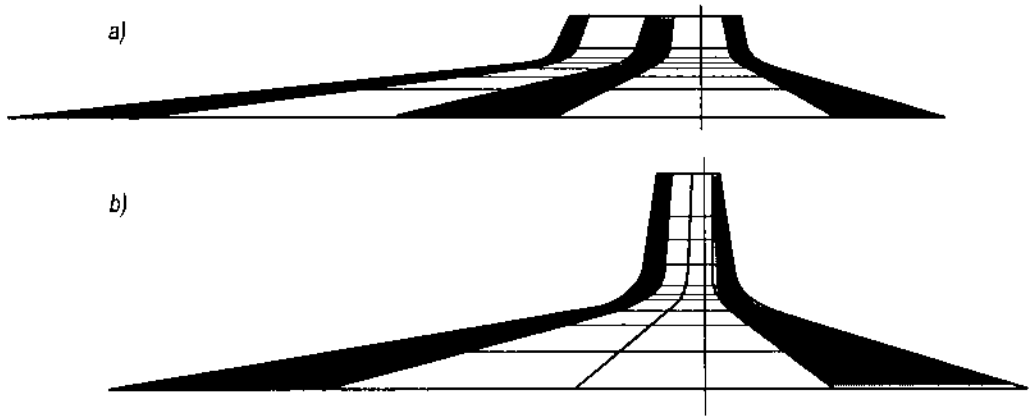
Hình dạng và kích thước của trắc ngang cũng ảnh hưởng đến thụ cảm thị giác của lái xe đến hình ảnh không gian của đường cụ thể là:

Khi xe đi trên đường có trắc ngang hai mái thì bề mặt đường được cảm nhận là bề mặt hình côn, một phần bề mặt được cảm nhận thị giác là bị lồi còn phần kia là bị lõm. Kết quả là, lái xe cảm thấy độ nghiêng của phần xe chạy nghiêng về phía mép ngoài.

Khi xe chạy trên đoạn đường có trắc ngang một mái (siêu cao) thì một phần xe chạy tạo nên hình côn làm cho lái xe luôn hướng cho xe chạy về phía lõm với cảm nhận thị giác như một mặt phẳng đều đặn. Bởi vậy, bố trí siêu cao tại các đường cong bán kính nhỏ không những nâng độ ổn định xe chạy trên đường cong mà còn cải thiện được độ bằng phẳng của thị giác.

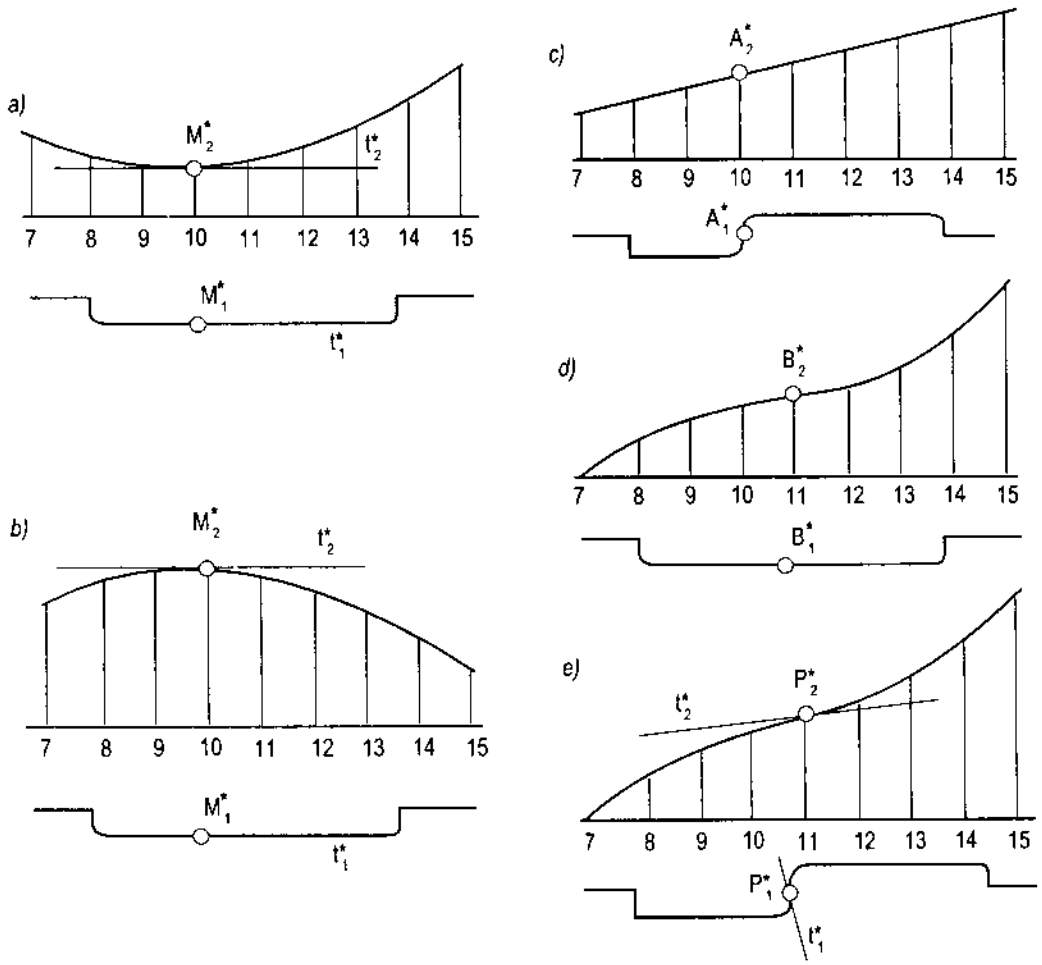
Khi xe chạy trên đường cong đứng lõm của trắc dọc thì tại chỗ lõm của trắc dọc hình ảnh bề mặt hình trụ không gian của nền đường tạo thành các mặt hình trụ giao nhau làm cho các lái xe cảm thấy như là bị lõm xuống hay lồi lên. Nếu trắc dọc là đường cong đứng lõm thì hình ảnh không gian của đoạn đường thể hiện rõ trong trường nhìn của lái xe, còn nếu trắc dọc là lồi thì một phần của đường cong có thể nằm ngoài giới hạn của tầm nhìn.

Phụ thuộc vào bề rộng phần xe chạy mà cũng tại chỗ có đường cong đứng lõm cảm nhận thị giác về không gian đường cũng sẽ khác nhau. Lái xe nhìn thấy chỗ lõm bị gãy nhiều nếu nền đường rộng nhưng lại cảm thấy chỗ lõm bị gãy ít nếu bề rộng nền đường hẹp (xem hình 5.2).



Hình 5.2: *a) $b_{nền}$=5m (cảm giác lõm ít) ; b) $b_{nền}$=24m (cảm giác gãy lõm nhiều)*

Đối với các *đường cong không gian* (ví dụ như các trường hợp 5, 6, 7 nêu ra trong bảng 5.1) thì hình ảnh trong không gian của chúng được biểu thị bởi các *điểm bình thường* và các *điểm đặc biệt*.



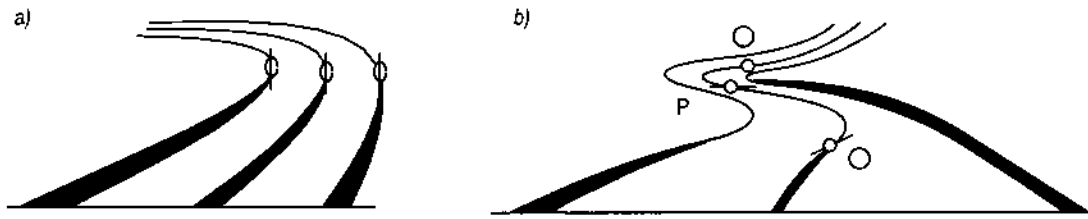
Hình 5.3

Các *điểm đặc biệt* là các điểm thấp nhất của đường cong đứng lõm hay điểm cao nhất của đường cong đứng lồi (xem hình 5.3.a và b) điểm kết hợp các đường cong nằm ngược chiều (hình 5.3.c) điểm kết hợp hai đường cong đứng ngược chiều (hình 5.3.d) hoặc kết hợp hai đường cong đứng ngược chiều với hai đường cong nằm ngược chiều (hình 5.3.e).

Các điểm nối giữa hai đường cong ngược chiều là các điểm uốn.

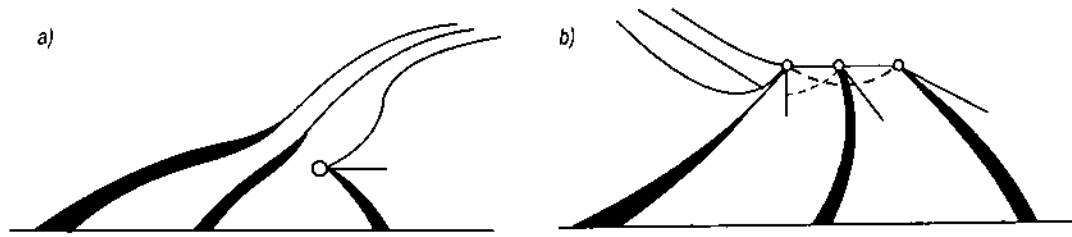
Điểm uốn là hình chiếu của điểm bình thường trong đường cong không gian được coi là *điểm uốn di động*. Điểm uốn này di dộng khi thay đổi điểm nhìn của lái xe tạo cho lái xe một ấn tượng như sóng di dộng. Trên các đường cong đặt trên đoạn có độ dốc đáng kể ta có thể triệt tiêu sự rung động của tuyến bằng cách thay thế đoạn đường cong phẳng trong không gian.

Như vậy, các điểm uốn di động có được từ các điểm bình thường của tuyến không gian. Ví dụ như các điểm chạy trên trục của một đường cong tròn tạo nên khi xe đang chạy (xem hình 5.4a). Còn các điểm uốn cố định là các điểm đặc biệt, ví dụ như điểm P nối giữa hai đường cong nằm ngược chiều (xem hình 5.4b). Tại các điểm uốn cố định này, nếu kết hợp giữa đường cong trên bình đồ và đường cong đứng trên trắc dọc không tốt thì mặc dầu thiết kế đều thỏa mãn các yêu cầu về các thông số kỹ thuật nhưng vẫn có thể tạo nên các "điểm gãy" trong không gian.



Hình 5.4: *a) Các điểm bình thường ; b) Điểm uốn cố định P*

Trên hình (5.5) biểu thị sự xuất hiện điểm gãy trong không gian khi kết hợp đường cong đứng lõm trùng với đường cong nằm (hinh 5.5a) và, kết hợp đường cong đứng lồi và đường cong nằm (hình 5.5b).



Hình 5.5

Từ những phân tích sơ bộ về một số các hình ảnh của đường trong không gian được thể hiện qua các hình chiếu phối cảnh cho thấy:

1- Các đặc trưng hình học của các đường cong và vị trí điểm nhìn đối với đoạn cần xem xét sẽ là các nhân tố quyết định các đặc trưng của hình chiếu phối cảnh đoạn đường;

2- Trong không gian thì các đoạn đường cong phẳng trong phối cảnh vẫn được cảm nhận một cách nguyên vẹn. Bởi vậy, đoạn đường cong đặt trên các đoạn trắc dọc nằm ngang hay tại các chỗ lõm của trắc dọc vẫn được cảm nhận như là một đường không có các điểm đặc biệt nếu như trên các đoạn như vậy ta lựa chọn các bán kính đường cong tròn phù hợp và trên đường cong được thiết kế siêu cao thì có thể bảo đảm được độ êm thuận về mặt thị giác;

3- Đối với các đường cong không gian, tại đó lại bố trí đường cong đứng trùng với đường cong nằm thì do đặc trưng hình học của chúng không được bảo tồn nên tại các vị trí đặc biệt (như đã nêu trên hình 5.5) độ bằng phẳng thị giác sẽ bị phá vỡ, làm mất đi độ đều đặn quang học của tuyến.

Tất cả những điều trình bày trên đều có thể xảy ra khi thiết kế tuyến clothoid, dù cho khi thiết kế chúng ta đã tuân thủ các nguyên tắc cũng như những hướng dẫn về lựa chọn các thông số theo tuyến clothoid do chưa kiểm soát chặt chẽ và đầy đủ trong việc kết hợp các yếu tố bình đồ, trắc dọc, trắc ngang cũng như vị trí tương hỗ giữa chúng khi thiết kế.

Do vậy, chỉ có thể xác định được độ bằng phẳng về mặt thị giác và tính khúc triết rõ ràng về mặt tâm lý cũng như độ đều đặn quang học của tuyến thiết kế bằng các hình chiếu phối cảnh các đoạn tuyến cần xem xét kiểm tra.

Mặt khác, chất lượng thụ cảm thị giác của lái xe trên các đoạn đường phức tạp theo chiều đi và theo chiều về sẽ khác nhau do thay đổi cảnh quan và vị trí của điểm nhìn (ví dụ: tại một đoạn khi đi thì lên dốc khi về xuống dốc, tại một đường cong khi đi thì rẽ phải khi về lại rẽ trái v.v...).

Bởi vậy, để phân tích thụ cảm thị giác một cách đúng đắn thì tại các đoạn tuyến phức tạp cần thiết phải dựng hình phối cảnh của đoạn đường theo cả hai chiều xe chạy.

5.2. ĐỘ BẰNG PHẲNG ĐỘNG LỰC VÀ ĐỘ BẰNG PHẲNG THỊ GIÁC CỦA TUYẾN ĐƯỜNG – CÁC GIAI ĐOẠN THIẾT KẾ

5.2.1. Độ bằng phẳng động lực và độ bằng phẳng thị giác của tuyến

Trong quá trình điều khiển xe chạy, lái xe một mặt hướng tới mục đích cố gắng rút ngắn thời hành trình trên đường mặt khác luôn luôn lo lắng sao cho xe chạy trên đường được an toàn trên suốt chặng đường.

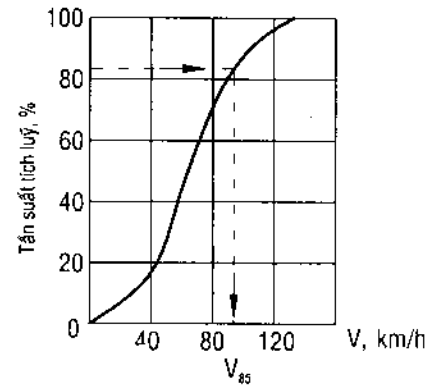
Hiệu quả của các hành động của lái xe hoàn toàn phụ thuộc vào hai yếu tố cơ bản là: trạng thái tâm lý của người lái xe và các điều kiện đường cũng như các tình huống xảy ra trên đường. Thường khi đang cho xe chạy lái xe thường "tưởng tượng" để hình dung các đoạn đường sắp tới cho xe đi đến.

Các nhân tố khiến lái xe tập trung chú ý và ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn xe chạy cũng như tốc độ xe chạy chính là bình đồ, trắc dọc đoạn tuyến, nền đường, tình trạng của mặt đường cũng với các thông tin đặt bên lề đường (như biển báo, hàng cây xanh, hàng rào (barrier) và các công trình kiến trúc khác...), người đi bộ ...

Vì vậy trên các đoạn đường có mặt đường không bằng phẳng lái xe thường giảm tốc độ nhằm giảm lực xung kích do va đập của lốp xe xuống mặt đường. Khi vào đường cong mà lái xe cảm nhận là đường cong gấp hoặc tại các vị trí tạo nên các điểm gãy trong không gian lái xe cũng giảm tốc độ nhằm giảm lực ly tâm tăng độ ổn định và an toàn cho xe chạy. Trên các đoạn đường bằng phẳng, có trồng các hàng cây xanh ở hai bên đường lái xe thường tăng tốc độ và có xu hướng cho xe dịch chuyển vào gần giữa tim đường. Trường hợp này thường xảy ra khi mật độ xe trên đường không cao.

Từ những phân tích trên cho thấy, để bảo đảm cho lái xe điều khiển xe một cách an toàn, thuận lợi với tốc độ cao thì đường ôtô được xây dựng phải đạt được hai yêu cầu cơ bản sau: tuyến đường phải bằng phẳng về mặt động lực học và đồng thời cũng phải bằng phẳng về mặt thị giác.

Độ bằng phẳng động lực của tuyến đường có thể đạt được khi thiết kế các yếu tố của đường (bình đồ, trắc dọc) sao cho tốc độ xe chạy trên đường giữa đoạn này với đoạn khác kề liền thay đổi không đáng kể. Tuân theo điều kiện này, tiêu chuẩn thiết kế đường của Mỹ quy định trên các đường trục phải tuân theo nguyên tắc tốc độ xe chạy trên các đường cong kề liền không được khác nhau ΔV = 9-13km/h với trị số lực ngang không đổi. Theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô và đường thành phố của AASHTO năm 1994 thì quy định trên các đoạn đường cong đơn lẻ, mức giảm tốc độ so với tốc độ thiết kế chung của đường không được vượt quá mức ΔV = 10km/h (và không bao giờ vượt quá mức ΔV = 20km/h).



Hình 5.5b

Những kết quả nghiên cứu, khảo sát trên nhiều tuyến đường ôtô hiện hữu đang khai thác thuộc nhóm A và B có tốc độ thiết kế $V_{tk} \geq$ 100km/h (theo cách phân loại của nhiều nước) ở các nước (như CHLB Đức, Mỹ, Anh, Canada, Nga, Pháp, Úc, Hy Lạp, CH Séc, Hungari ...) cũng đã đưa ra các tiêu chuẩn an

toàn giao thông trong đó tuyến đường được đánh giá là thiết kế tốt khi hiệu giữa tốc độ thiết kế V_d và tốc độ khai thác với suất bảo đảm 85% (V_{85} – là tốc độ khai thác động học trong điều kiện mặt đường ẩm và sạch bảo đảm 85% xe chạy với tốc độ bằng hoặc thấp hơn trị số chọn. Trị số tốc độ khai thác V_{85} được xác định từ biểu đồ quan hệ giữa các trị số tốc độ xe chạy trên đường được khảo sát với tần số tích lũy của chúng như trình bày ở hình vẽ trên), cũng như hiệu giữa các tốc độ khai thác $V_{85(i)}$ và $V_{85(i+1)}$ của hai yếu tố kề liền không vượt quá 10km/h; tương ứng trường hợp chỉ chấp nhận khi hiệu số giữa các tốc độ này không vượt quá 20km/h.

Để kiểm tra độ bằng phẳng động lực ta có thể thực hiện bằng cách vẽ biểu đồ vận tốc xe chạy theo cả chiều đi và chiều về. Qua biểu đồ tốc độ (thường được vẽ cho loại xe chiếm tỷ lệ cao nhất trên đường) ta có thể thấy rõ ngay trị số chênh lệch tốc độ giữa các đoạn kề liền và từ đó có thể chỉnh sửa thiết kế lại đoạn tuyến cần xem xét (như thay đổi độ dốc dọc trên trắc dọc, thay đổi bán kính đường cong nằm hoặc tìm hướng đi khác nếu có thể được trên bình đồ). Biểu đồ tốc độ cũng cho phép ta xác định được tốc độ xe chạy trung bình theo chiều đi và trung bình cho cả hai chiều để đối chiếu với tốc độ thiết kế và tốc độ xe chạy lớn nhất cho phép (theo lý thuyết) trên tuyến. Các trị số trên giúp người thiết kế có thể tự đánh giá độ bằng phẳng động lực của phương án tuyến được thiết kế.

Phương pháp thiết kế tuyến clothoid để vạch tuyến trên bình đồ chắc chắn sẽ làm cho tuyến đều đặn về mặt động lực học hơn hẳn so với phương pháp thiết kế bình đồ tuyến thông thường vẫn được thực hiện từ trước đến nay (nối các đường thẳng và đường cong tròn bằng các đường cong chuyển tiếp).

Độ bằng phẳng về mặt thị giác và khúc chiết về mặt tâm lý của đường được bảo đảm khi thiết kế bình đồ, trắc dọc của tuyến sao cho tạo thành một tuyến không gian đều đặn về mặt quang học, tạo cho mắt người lái xe trong lúc điều khiển xe chạy nhìn lướt trên đường không thấy các chướng ngại như các điểm gãy, làn sóng, các chỗ lõm hoặc không rõ được hướng đường đi tiếp theo. Như vậy, để nâng cao an toàn thuận lợi cho xe chạy với tốc độ cao không chỉ bằng biện pháp trang bị tiện nghi, tổ chức giao thông bằng hệ thống các biển báo, sơn vạch cùng các hệ thống kỹ thuật khác và điều không kém phần quan trọng chính là các đặc trưng của của tuyến đường được thể hiện qua "*không gian động và biến dạng*" do xe luôn luôn di chuyển trên đường. Kỹ năng, sự hiểu biết và kinh nghiệm của người thiết kế là sao cho tuyến đường được xây dựng "*tự giải thích*" được về mình, không được tạo ra những "*bí ẩn*" đối với thụ cảm thị giác của người lái xe, không tạo nên những "*chướng ngại ảo*" do thiết kế phối hợp giữa các yếu tố không tốt vì chính những điều này khiến lái xe buộc phải xử lý hãm xe hoặc giảm tốc độ.

Bình đồ của tuyến đường được thiết kế theo phương pháp đặt tuyến clothoid với sự kết hợp hoàn hảo giữa các yếu tố bình đồ, trắc dọc, trắc ngang sẽ bảo đảm cho tuyến đều đặn về mặt không gian, bằng phẳng về mặt thụ cảm thị giác và khúc chiết về mặt tâm lý giúp cho lái xe yên tâm điều khiển xe an toàn và hiệu quả.

5.2.2. Các giai đoạn thiết kế

Những yêu cầu về độ bằng phẳng động học và bằng phẳng về mặt thị giác đối với đường ôtô khiến cho việc thiết kế đường được thực hiện theo hai giai đoạn như dưới đây:

Giai đoạn 1: Yêu cầu cơ bản của giai đoạn một là thiết kế đường phải thoả mãn các yêu cầu về động lực. Điều này có thể thực hiện dễ dàng bằng các tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng đối với mỗi cấp đường.

Tuy nhiên ở giai đoạn này ngoài việc vận dụng các tiêu chuẩn kỹ thuật để thiết kế còn phải đồng thời kết hợp với thiết kế cảnh quan sao cho tuyến đường phù hợp với phong cảnh thiên nhiên được giới hạn bởi không gian gần hai bên đường. Điều này có nghĩa là, kết thúc giai đoạn thiết kế đầu tiên thì tuyến đường được thiết kế phải thỏa mãn các yêu cầu về kỹ thuật và mỹ thuật. Tuyến vạch ra không những bảo đảm được độ bằng phẳng về mặt động học (chênh lệch tốc độ giữa các đoạn kề liền trong phạm vi cho phép) mà còn đạt được các tiêu chuẩn về mặt mỹ quan: Tuyến được xây dựng không những không phá vỡ hoặc chia cắt thiên nhiên mà ngược lại còn là một công trình kiến trúc tô điểm thêm cho cảnh đẹp của thiên nhiên và hài hoà với phong cảnh khu vực.

Giai đoạn 2: Yêu cầu phải đạt được ở giai đoạn thiết kế này là tuyến đạt độ bằng phẳng về mặt quang học, đều đặn về mặt cảm nhận thị giác.

Muốn đạt được yêu cầu trên cần thực hiện những vấn đề cơ bản sau:

- Dựng hình chiếu phối cảnh các đoạn tuyến phức tạp để kiểm tra bằng mắt thường và bằng các tiêu chuẩn đã định;

- Kiểm tra kích thước và sự phối hợp giữa các đường cong nằm và đường cong đứng;

- Lựa chọn các loại cây xanh và phối hợp việc trồng cây xanh để dẫn hướng, để "nhấn mạnh" tuyến cũng như vai trò của chúng "tự giải thích" cho lái xe đoán biết hướng và các vị trí tuyến nằm ngoài giới hạn tầm nhìn trực tiếp của lái xe;

- Sửa chữa các đoạn tuyến không đạt yêu cầu về độ bằng phẳng quang học dựa vào các hình chiếu phối cảnh được dựng bằng phương pháp thay đổi tọa độ của các điểm đặc trưng nằm trên trục đường.

Khi thực hiện ở giai đoạn này chúng ta cần phân biệt:

- Các đoạn đường có các yếu tố hình học đơn giản mà tính chất chúng vẫn được duy trì khi biểu diễn trên hình chiếu phối cảnh ; đó là các đoạn đường cong phẳng bao gồm các đường thẳng trên bình đồ, các đường cong bằng. Trục của các đoạn đường như vậy là các đường cong phẳng.

- Các đoạn đường phức tạp là các đường thẳng cong trên bình đồ và trắc dọc tạo nên các đường cong phức tạp trong không gian ; các đoạn bị che khuất tầm nhìn ...Các đoạn đường phức tạp như thế chỉ có thể xác định độ bằng phẳng quang học và sự khúc chiết rõ ràng về mặt tâm lý bằng cách phân tích thụ cảm thị giác hàng loạt các hình ảnh phối cảnh trực quan.

Trong các đoạn phức tạp này cần lưu ý các đường cong đứng lõm ngắn trên trắc dọc trùng với đường cong nằm ngắn trên bình đồ đặt ở các đoạn dốc > 20‰; các đoạn đường mà đỉnh của đường cong đứng và đường cong nằm lệch nhau 1/4 chiều dài đoạn cong.

Khi phân tích thị giác các đoạn đường phức tạp cần giải quyết một loạt các vấn đề sau:

a- Xác lập chế độ xe chạy trong dòng với lưu lượng và thành phần xe chạy đã cho để quyết định vị trí điểm nhìn làm cơ sở dựng hình chiếu phối cảnh.

b- Xác định dạng hình chiếu phối cảnh và phương pháp dựng hình hợp lý nhất.

c- Đánh giá các giải pháp thiết kế với quan điểm bảo đảm độ bằng phẳng, êm thuận và rõ ràng về mặt thị giác theo các hướng của đường;

d- Đưa ra các giải pháp sửa chữa tuyến và một số vấn đề để bảo đảm nhấn mạnh tuyến về mặt không gian;

e- Xác định hiệu quả kinh tế khi sửa chữa , liên quan đến vấn đề tăng giảm khối lượng công tác đào đắp đất và giá thành xây dựng khai thác.

5.3. DỰNG HÌNH CHIẾU PHỐI CẢNH ĐỂ KIỂM TRA ĐỘ BẰNG PHẲNG QUANG HỌC CỦA TUYẾN THIẾT KẾ

Như đã nêu ở trên, những nguyên tắc cơ bản được đúc kết bằng các điều chỉ dẫn khi thiết kế kết hợp các yếu tố của tuyến để bảo đảm cho tuyến đều đặn trong không gian và gắn bó với cảnh quan xung quanh chỉ là những hướng dẫn mang tính tổng quát; Còn tuyến có đạt được yêu cầu như ta mong muốn hay không lại phụ thuộc vào kinh nghiệm vận dụng của người thiết kế; Do vậy, cần phải tiến hành dựng hình chiếu phối cảnh để đánh giá và kiểm tra độ bằng phẳng quang học của các đoạn tuyến phức tạp trên tuyến đường thiết kế.

5.3.1. Xác định vị trí điểm nhìn và trị số góc nhìn

Góc nhìn là góc tạo bởi tia nhìn chính và tia chiếu lên vật.

Vị trí điểm nhìn và trị số góc nhìn ảnh hưởng thực sự đến việc lựa chọn hình ảnh trực quan và phương pháp dựng nó.

Ngoài ra, số lượng điểm và đường, hình chiếu của chúng ảnh hưởng đến phương pháp lựa chọn để dựng hình chiếu phối cảnh.

Khi dựng hình ảnh trực quan thì vị trí điểm nhìn trước tiên được xác định bởi góc nhìn rõ.

Góc nhìn rõ của con người với các đối tượng là 1,0°-1,5°. Với độ chính xác đủ để phân biệt các chi tiết của đối tượng thì góc nhìn bằng 5°-6°, thoả mãn là 18°-20°.

Độ sắc nét của thị giác con người giảm theo độ lệch của tia nhìn từ khu vực nhìn rõ. Độ sắc nét của thị giác giảm ở mức độ khác nhau tại các mặt phẳng khác nhau. Như ở mặt thẳng đứng, góc nhìn chỉ bằng (0,5-0,75) góc nhìn ở mặt phẳng nằm ngang. Lái xe không những thu nhận ở phía trước mình mà còn ở một khoảng cách nào đó ngoài hình nón của tầm nhìn rõ. Nhưng các đối tượng nằm ngoài góc nhìn bằng 10° thì nhìn không rõ các chi tiết màu sắc.

Để nhìn các đối tượng nằm ngoài phạm vi của vùng nhìn sắc nét, lái xe phải đưa mắt hoặc quay đầu, mất một khoảng thời gian lớn hơn hoặc bằng 0,5 giây. Do vậy, sẽ giảm an toàn, nhất là xe chạy với tốc độ cao.

Hình chiếu phối cảnh đường phải được thực hiện và đánh giá từ điểm nhìn của lái xe. Khi đó cần phải xét đến vấn đề: tuyến bị biến dạng quang học, làm tuyến bị sai lệch hướng ở bình đồ và trắc dọc.

Kích thước của đối tượng lại thay đổi phụ thuộc vào mức độ xa hay gần của điểm được xem xét.

Vì vậy, khi thể hiện độ bằng phẳng quang học của đoạn đường, cần thiết phải được đánh giá ở một vị trí nào đó.

Khoảng cách từ điểm nhìn đến đầu đoạn đường quan sát được quyết định theo điều kiện xe chạy thực tế. Khi dòng xe là không đồng nhất với đoạn đường thẳng dài thì khoảng cách điểm nhìn là khoảng cách tầm nhìn khi vượt L_n.

$$L_n = S_p + S_n + I_o + S_v \qquad (5.1)$$

Trong đó:

S_p - khoảng cách mà ôtô vượt qua trong thời gian đánh giá trạng thái của lái xe (1-2s);

I_o - khoảng cách giữa xe vượt và xe đi ngược chiều ở cuối lúc vượt;

S_n – chiều dài quỹ đạo vượt;

S_v - đoạn đường mà xe ngược chiều đi qua trong thời gian vượt.

Các trị số nói trên có thể thamkhảo ở bảng 5.2

Bảng 5.2

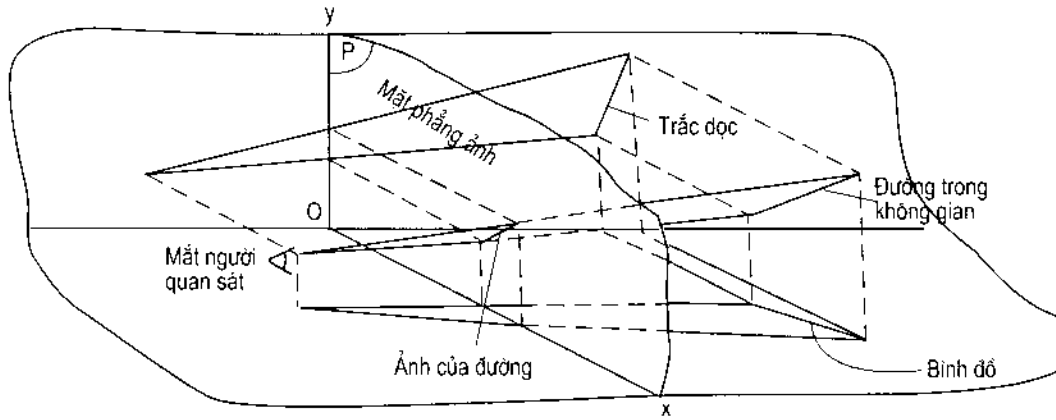
Tốc độ xe (km/h)			Khoảng cách (m)				Khoảng cách tầm nhìn (bao quanh), L_o, m
Xe vượt	Xe bị vượt	Xe ngược chiều	S_P	S_n	L_o	S_v	
120	70	80	33,4	550	30	366	900
100	70	80	27,8	280	25	214	550
100	60	60	27,8	273	25	180	500

Ở địa hình vùng núi, chiều dài các đoạn thẳng không đáng kể, tầm nhìn bị giới hạn và số lần vượt giảm đáng kể. Trong điều kiện như vậy, khoảng cách tối thiểu từ điểm nhìn đến đầu đoạn nghiên cứu có thể lấy bằng khoảng cách tầm nhìn của xe đi ngược chiều. Góc nhìn bao quát đoạn nghiên cứu không vượt quá 10°, và để xét đến địa hình xung quanh, góc nhìn có thể mở đến trị số 20-30°. Chiều cao điểm nhìn từ 1,2-1,5m.

Đã có một vài phương pháp dựng hình chiếu không gian của tuyến đường ôtô được nghiên cứu để phục vụ cho mục đích khác nhau: Ví dụ: Để có được hình ảnh phối cảnh trên bình đồ trên đó thể hiện cả địa hình và phong cảnh xung quanh, thì người ta sử dụng phương pháp chụp hình (photographic method) hay phương pháp chia lưới trên bình đồ kết hợp với biểu thị độ cao theo tỷ lệ của hình phối cảnh hoặc phương pháp đồ thị phối cảnh.

Để kiểm tra độ bằng phẳng của mỗi đoạn tuyến thiết kế, thì tốt hơn cả là sử dụng phương pháp dựng hình chiếu phối cảnh toạ độ vuông góc trong đó mặt phẳng ảnh được đặt vuông góc với tia nhìn chính của người quan sát, vì phương pháp này sẽ cho ta hình ảnh không gian ít bị sai lệch trong phạm vi góc nhìn không quá 30° và có thể dựng hình chiếu phối cảnh đoạn tuyến dài tới 2-4km.

Hình 5-6 là sơ đồ dựng hình chiếu phối cảnh trong tọa độ vuông góc.



Hình 5.6

Dưới đây trình bày chi tiết phương pháp này.

5.3.2. Cách dựng hình chiếu phối cảnh trong toạ độ vuông góc bằng phương pháp giải tích (Analytical method)

Theo cách dựng này thì toạ độ của tất cả các điểm đặc trưng của đường đều được xác định bằng cách tính toán từ các công thức giải tích.

Trước tiên, ta đưa ra một số khái niệm cần thiết là:

a) Điểm nhìn:

Điểm nhìn là vị trí đặc trưng mà người quan sát đứng. Điểm nhìn thường được chọn trên đường phân thủy và tại các vị trí có tầm nhìn hạn chế bằng tầm nhìn vượt xe. Chiều cao điểm nhìn ứng với mắt nhìn của người lái xe và bằng 1,5m đối với xe tải và 1,2m đối với xe con.

Trên mặt cắt ngang thì điểm nhìn cách mép phần xe chạy 1,5-2m đối với đường hai làn xe. Nếu đường có giải phân cách thì điểm nhìn cách dải này 2m.

b) Tia nhìn chính:

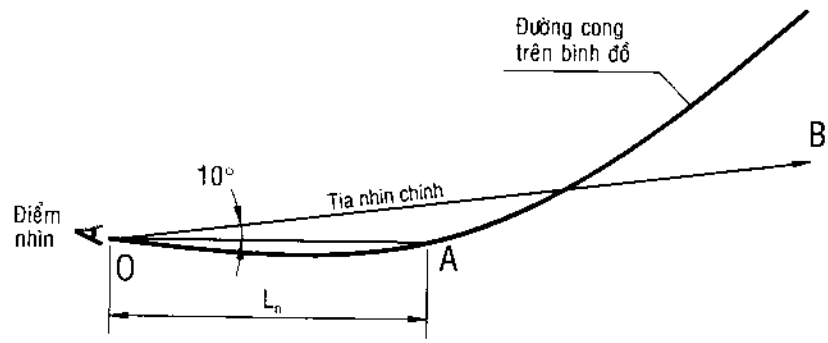
Tia nhìn chính là tia hướng từ điểm nhìn vuông góc với mặt phẳng ảnh (mặt phẳng tranh).

Trên trắc dọc nơi đường có độ dốc nhỏ thì chọn tia nhìn nằm ngang, tại đoạn có độ dốc lớn thì tia nhìn đặt ở độ dốc trung bình của đoạn đường nghiên cứu hoặc song song với độ dốc của đường tại điểm nhìn.

Trên bình đồ nếu là đường thẳng thì tia nhìn song song với tim đường. Tại đường cong có độ cong nhỏ tia nhìn hướng vào khoảng giữa vùng quan sát, còn nếu đường cong có độ cong lớn thì tia nhìn xác định theo hình 5.7. Cụ thể như sau:

- Tính tầm nhìn vượt xe L_n theo công thức 5.1.

- Từ điểm nhìn xác định đoạn OA bằng chiều dài tầm nhìn vượt xe L_n = OA. Từ O vạch đường thẳng OB tạo với OA mốt góc 10°, OB chính là tia nhìn chính tạo thành góc nhìn rõ.



Hình 5.7

c) Các điểm đặc trưng:

Hình phối cảnh được vẽ thường dựa vào các điểm đặc trưng là tim đường, hai bên mép phần xe chạy, hai bên mép lề đường, mép rãnh biên, mép dải phân cách (nếu có), chân ta luy đào hoặc đắp, các nét đặc trưng của địa hình hai bên đường.

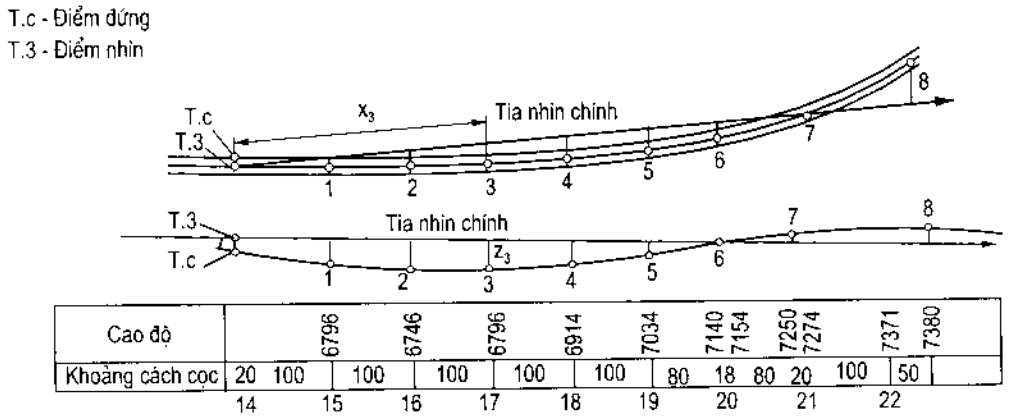
d) Khoảng cách từ điểm nhìn đến mặt phẳng tranh:

Do bình đồ ở phía trước cách mắt người quan sát ở cự ly đến 200m thì hình ảnh phối cảnh bị sai lệch nên người ta không dựng ảnh ở cự ly này mà mặt phẳng tranh được đặt trước người quan sát (điểm nhìn) để dựng phối cảnh thường được chọn là d_0=100m và đoạn lập hình phối cảnh của đường phía nằm trong giới hạn tối đa của góc nhìn là 30°.

Từ những khái niệm và quy định đã nêu ở trên ta dựng hình phối cảnh của đoạn đường theo trình tự sau:

- Trên bình đồ và trắc dọc tỷ lệ $\frac{1}{1000} \div \frac{1}{2000}$ từ điểm nhìn ta vạch tia nhìn chính.

- Xác định toạ độ của các cọc ở trục đường trên bình đồ và trắc dọc kể từ điểm nhìn theo tia nhìn chính. Như thế thì ở bình đồ cọc thứ i được xác định bởi các toạ độ (x_i, y_i), trong đó x_i là khoảng cách từ cọc i đến điểm quan sát và y_i là khoảng cách từ cọc i tại tim đường đến tia nhìn chính; còn ở trắc dọc thì các trị số Z_i của cọc i chính là hiệu cao độ của tia nhìn chính với cao độ của cọc I tương ứng (xem hình 5.8).



Hình 5.8

- Xác định toạ độ của các ảnh trên mặt phẳng tranh: từ điều kiện đồng dạng giữa một vật thực và ảnh của nó trong mặt phẳng chiếu ta có, ta có toạ độ ảnh (xem hình 5.9)

$$\begin{cases} z_i^1 = \dfrac{d_0 z_i}{x_i}.n \\ y_i^1 = \dfrac{d_0 y_i}{x_i}.n \end{cases} \qquad (5.2)$$

Trong đó:

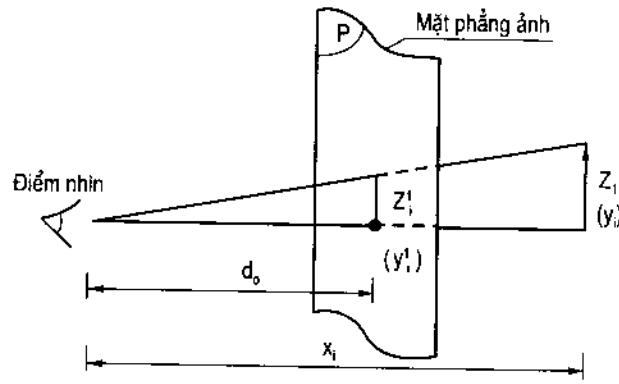
d_o - khoảng cách từ mắt lái xe đến mặt phẳng chiếu (thường lấy 100m);

n - tỷ lệ phối cảnh (thường là 1/100);

x_i - khoảng cách từ mắt lái xe đến cọc i;

x_i, y_i, z_i - tọa độ của các cọc i;

z_i^1, y_i^1 - tọa độ của ảnh tại cọc i.



Hình 5.9

Nếu z_i^1 và y_i^1 tính bằng cm thì:

$$\begin{cases} z_i^1 = \dfrac{d_0 z_i}{x_i} \\ y_i^1 = \dfrac{d_0 y_i}{x_i} \end{cases} \tag{5.3}$$

và tính các trị số z_i^1 và y_i^1 của từng cọc trên đường.

-Vẽ hệ toạ độ yoz: xác định toạ độ tại tim đường ở một mặt cắt bắt đầu tại cọc (1).

Định các điểm mép phần xe chạy trên phối cảnh từ trị số nửa bề rộng phần xe chạy trên hình chiếu được xác định theo công thức:

$$\frac{b_i^1}{2} = \frac{d_o}{x_i}\left(\frac{b}{2}\right) \tag{5.4}$$

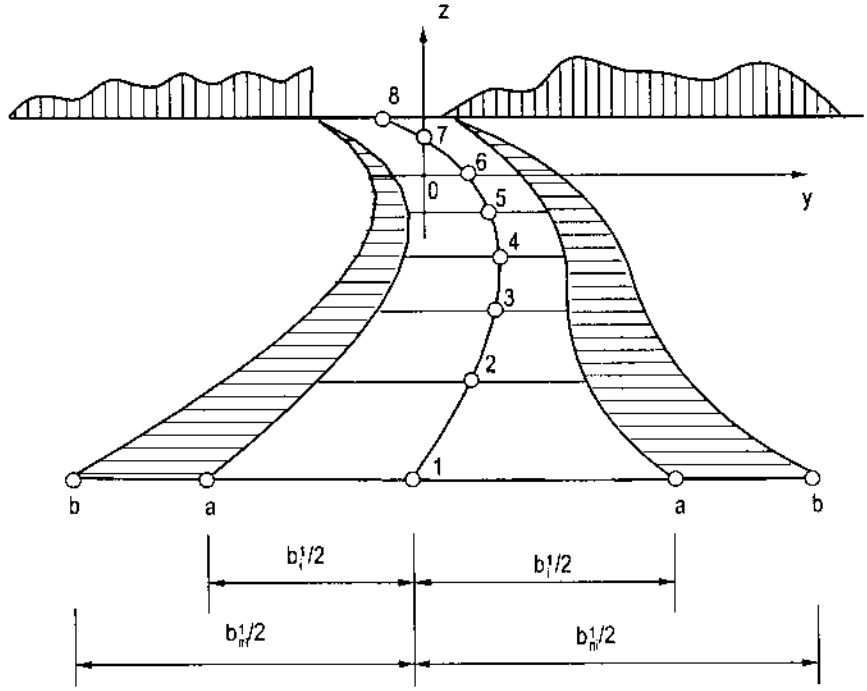
và mép hai bên của nền đường từ trị số một nửa bề rộng nền trên hình chiếu được xác định theo công thức:

$$\frac{b_{ni}^1}{2} = \frac{d_o}{x_i}\left(\frac{b_n}{2}\right) \tag{5.5}$$

Trong đó: b, b_n - bề rộng thực của phần xe chạy và nền đường;

b_i, b_{ni} - bề rộng của phần xe chạy và nền đường trên hình phối cảnh.

- Tiếp tục vẽ các mặt cắt khác tại các cọc 2,3,...i ... rồi nối các điểm tương ứng theo trục đường, mép hai bên phần xe chạy và theo mép hai bên nền đường, ta sẽ được hình chiếu phối cảnh của một đoạn đường (hình 5.10)



Hình 5.10

Để thuận lợi và tránh nhầm lẫn trong quá trình tính toán ta lập bảng để dễ dàng sử dụng khi dựng hình (xem bảng 5.3).

Bảng 5.3

Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách x (m)	Khoảng cách từ điểm nhìn		Hệ số điều chỉnh (d_0/x)	Toạ độ trục trên phối cảnh, (cm)		Khoảng cách đến mép	
			y_i	z_i		y_i^1	x_i^1	Phần xe chạy	Nền
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

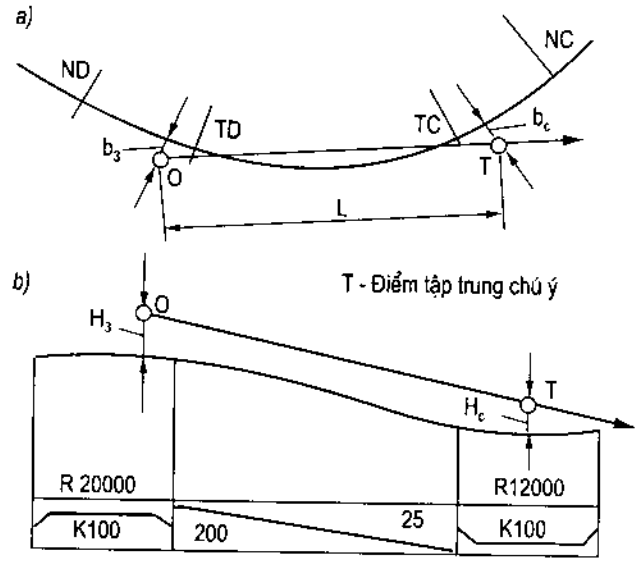
5.3.3. Dựng hình chiếu phối cảnh của đường trên máy tính

Công việc dựng hình chiếu phối cảnh để kiểm tra độ bằng phẳng quang học của tuyến đường bằng tay thì do khối lượng tính toán và dựng hình chiếm nhiều thời gian (kể cả hiện nay sử dụng máy tính để tính toán và lập bảng sau đó dựng hình bằng tay)

vì thế người ta chỉ lựa chọn những đoạn tuyến phức tạp để dựng phối cảnh. Ví dụ như đoạn có tầm nhìn bị hạn chế; đoạn phối hợp các đường cong ngược chiều; đoạn có độ dốc lớn lại vừa có đường cong đứng trên trắc dọc vừa có đường cong nằm trên bình đồ v.v... Đồng thời phải chọn những điểm thích hợp để dựng hình phối cảnh kiểm tra. Nhưng khi đã sử dụng máy tính để dựng hình phối cảnh thì người ta có thể thể hiện liên tục hình ảnh của tuyến đường theo điều kiện xe không dừng trên tuyến và dễ dàng phát hiện hay kiểm tra bất cứ đoạn nào theo chiều đi cũng như chiều về dọc tuyến. Và như thế thì việc chọn vị trí điểm nhìn sẽ không còn quan trọng.

Ở nước ngoài, người ta đã nghiên cứu lập chương trình dựng hình phối cảnh của đường. Chương trình này có khả năng dựng hình chiếu phối cảnh theo nhiều loại (series) đoạn tuyến khá nhau với điểm nhìn thay đổi hoặc cố định, đồng thời cho phép tính tọa độ không gian và tất cả các điểm quan tâm như trục đường, mép phần xe chạy, mép nền đường ... và có thể chuyển từ hệ thống toạ độ chung sang hệ thống toạ độ riêng cho mỗi loại hình phối cảnh.

Vị trí của các tia nhìn chính trong không gian được xác định một cách tự động. Khoảng cách (L) từ điểm nhìn đến điểm tập trung chú ý của lái xe (T) phụ thuộc vào tốc độ xe chạy như sau (xem hình 5.11):



Hình 5.11

V_{tk}(km/h)	40	60	80	100	120	150
L(m)	46	180	300	420	540	680

Sơ đồ xác định toạ độ của hình chiếu phối cảnh được trình bày trên (hình 5.12). Trong đó biểu thị:

y_{ki}, z_{ki} – các toạ độ ảnh của điểm trên mặt phẳng tranh;

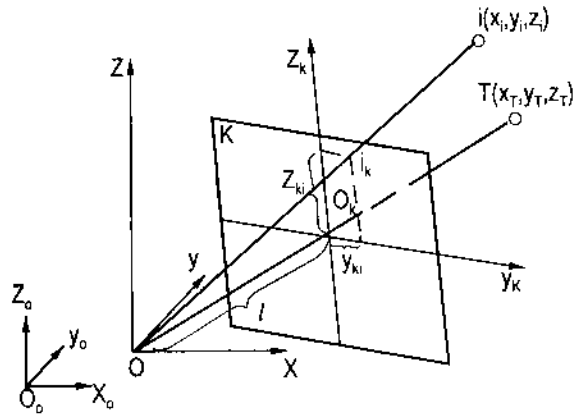
l – khoảng cách từ điểm nhìn đến mặt phẳng tranh;

x_T, y_T, z_T – toạ độ của điểm tập trung chú ý của lái xe trong hệ $X_oO_oY_o$;

x_i, y_i, z_i – toạ độ của điểm trong hệ toạ độ $X_oO_oY_o$.

Chương trình được lập với các số liệu ban đầu của đường được thiết kế theo bình đồ, trắc dọc, trắc ngang như sau:

- Bình đồ tuyến: mỗi một yếu tố được đặc trưng bởi ký hiệu loại yếu tố (đường thẳng, đường tròn, đường clothoid...) cùng các thông số tính toán của chúng như : trị số bán kính R, chiều dài, ... trong đó bao gồm cả trị số giới hạn (tối thiểu, tối đa ...).

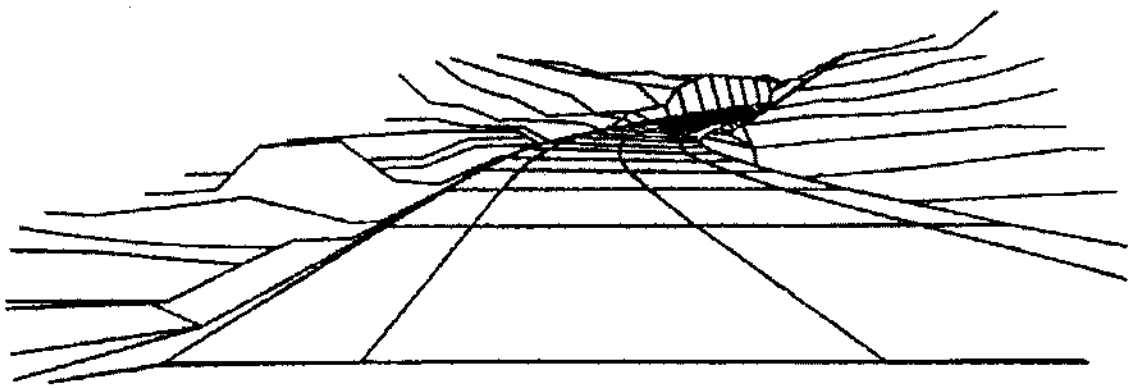


Hình 5.12

- Mỗi yếu tố trên trắc dọc cần hai đặc trưng là chiều dài và bán kính đường cong đứng.

- Trắc ngang có thể thực hiện bằng hai cách: hoặc đưa kích thước hình học của trắc ngang điển hình hoặc đưa hình trắc ngang cá biệt cụ thể tại các vị trí đặc trưng của đường thiết kế kèm theo các trị số bề rộng thay đổi và bố trí siêu cao tại các đường cong với các trị số khác nhau.

Với các số liệu đầy đủ của chương trình có thể dựng được hình phối cảnh của tuyến và địa hình ở hai bên đường (ta luy đào, đắp ...). Hình 5.13 là một ví dụ về dựng hình phối cảnh của một đoạn tuyến trên máy tính.



Hình 5.13

5.4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ BẰNG PHẲNG THỊ GIÁC CỦA CÁC ĐOẠN TUYẾN ĐƯỢC THIẾT KẾ TRONG KHÔNG GIAN

Khi đánh giá độ bằng phẳng thị giác các đoạn tuyến thiết kế, trước hết ta cần hiểu được đặc điểm thị giác của con người, đó là độ sắc nét của thị giác được đặc trưng bởi khoảng cách tối thiểu giữa hai đối tượng của mắt chúng ta nhìn thấy.

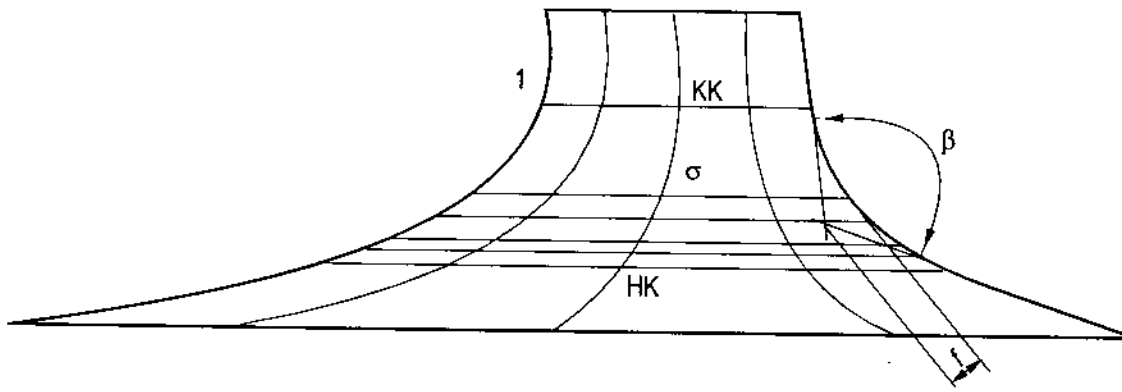
Độ sắc nét của thị giác phụ thuộc vào lái xe đang ngồi trên xe chạy hay khảo sát đối tượng (khi điểm nhìn di động). Ngoài ra còn chịu ảnh hưởng của độ chiếu sáng, độ tương phản màu sắc của các đối tượng hay các nhân tố khác.

Trên hình chiếu phối cảnh, trị số của độ lệch do mắt người thu nhận được phụ thuộc vào tỷ lệ của tranh và khoảng cách từ điểm nhìn tới tranh. Khoảng cách (d_o) này có thể lựa chọn tuỳ ý. Để xem xét độ bằng phẳng thị giác của một đoạn tuyến được nêu ra dưới đây và ở các bảng cuối chương này thì hình chiếu phối cảnh được dựng với tỷ lệ 1/100, khoảng cách từ điểm nhìn tới mặt phẳng tranh là 100m.

Dưới đây đánh giá độ bằng phẳng thị giác trong các trường hợp cụ thể:

5.4.1. Trường hợp đoạn đường là đường thẳng - thẳng trên bình đồ *(bố trí đường cong trên trắc dọc)*

Biến dạng thị giác của nền đường thường quan sát thấy ở các vị trí lõm của trắc dọc trên đường cong đứng lõm (hình 5.14).



Hình 5.14

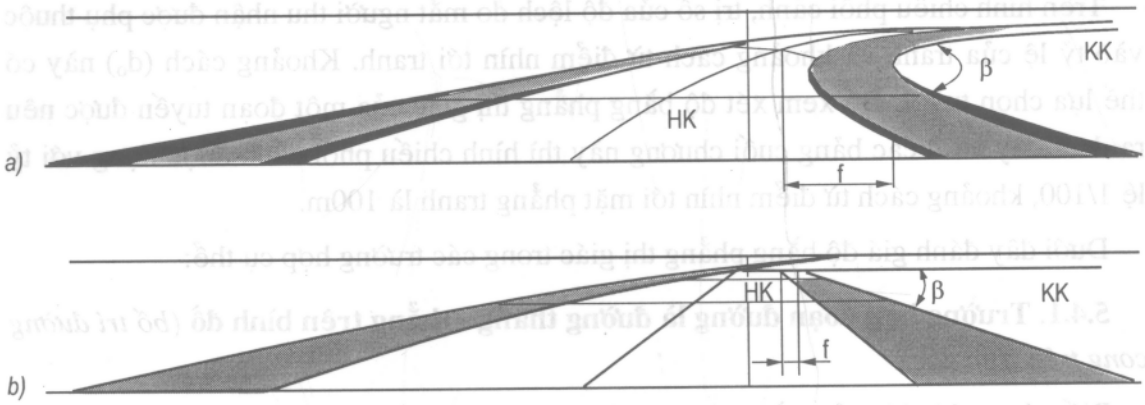
Đoạn đường như dưới đây được coi là bằng phẳng thị giác: góc hội tụ β của mép đường dao động trong khoảng từ 110-165°, phụ thuộc vào độ dốc dọc của các đoạn kết hợp. Trên hình chiếu phối cảnh, chỗ lõm của nền đường được bố trí cách đầu đường cong một khoảng bằng 1/4 chiều dài của nó. Độ lệch của mép mặt đường trên đường cong đứng f từ đỉnh góc β vượt trị số 4mm (f > 4mm), đoạn đường được coi là đạt độ bằng phẳng về mặt thị giác.

5.4.2. Trường hợp đoạn đường là đường cong – thẳng trên bình đồ (bố trí đường cong nằm trên bình đồ)

Các đoạn thẳng – thẳng của mép mặt đường tạo thành đường cong thẳng ở bình đồ, hội tụ dưới các góc nhọn khác nhau.

Đánh giá độ bằng phẳng qua độ lệch f trên bình đồ như sau:

- Khi f >10 mm: đoạn tuyến đạt được bằng phẳng thị giác (hình 5.15a);
- 4 mm < f < 10 mm tuyến hơi bị gãy;
- f< 4 mm: đoạn tuyến bị gãy (hình 5.15b).



Hình 5.15

Ta có thể đánh giá độ bằng phẳng thị giác bằng cách ta có thể tham khảo ở bảng sau:

Bảng 5.4

Khoảng cách *l*, (m) (cự ly tới đỉnh)	Độ phân cự thị giác thực tế, P = *l*.f (m)		
	Ngoặt đều đặn (Đường cong đều)	Ngoặt đáng kể (Đường cong gấp)	Tạo thành gãy lõm (đường cong gãy khúc)
550	5,5 và lớn hơn	2,2 - 5,5	< 2,2
500	5,0 và lớn hơn	2,0 - 5,0	< 2,0
300	3,0 và lớn hơn	1,2 - 3,0	< 1,2
250	2,5 và lớn hơn	1,0 - 2,5	< 1,0
200	2,0 và lớn hơn	0,8 - 2,0	< 0,8

5.4.3. Trường hợp đoạn đường là đường cong – thẳng trên bình đồ và trắc dọc (bố trí kết hợp đường cong đứng và đường cong bằng)

Độ bằng phẳng thị giác trong các đoạn loại này được xác định bằng các đặc trưng của trắc dọc, cụ thể:

a) Đường cong lồi kết hợp với đường cong nằm

Quan sát thấy rằng: lái xe bắt đầu thu nhận mép mặt đường như một đường cong thẳng ở bình đồ không phải từ đầu đường cong mà từ một điểm nào đó. Trị số dịch chuyển của điểm này từ đầu đường cong được xác định bằng khoảng cách từ lái xe đến đường cong.

Độ nét của thị giác thu nhận hướng đường trên đoạn này được đảm bảo khi $f \geq 4mm$.

b) Đoạn cong thẳng của đường mà trắc dọc của chúng là đường cong đứng lõm

Đoạn đường mà đường cong trên bình đồ trùng với đường cong đứng lõm trên trắc dọc được coi là bằng phẳng quang học nếu:

- Trục đường cong phối cảnh không có điểm uốn và điểm đặc biệt khác;

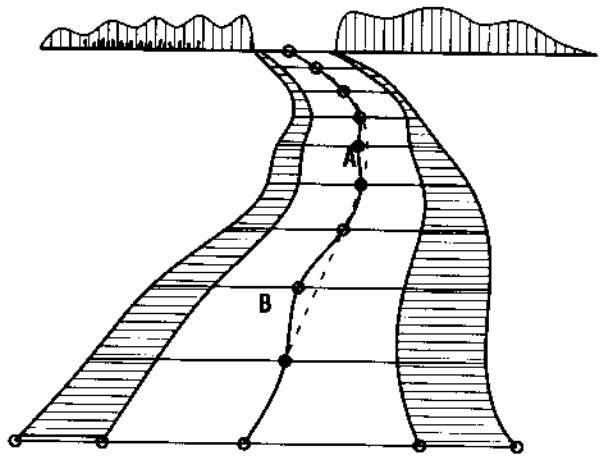
- Độ sai lệch f của mép mặt đường tại vị trí ngoặt của tuyến và độ lõm của trắc dọc có trị số cao hơn các trị số ghi trong bảng 5.4.

Ghi chú: Các trị số giới hạn β và f nêu ở trên dùng để lập trình phối cảnh với khoảng cách từ mắt người lái xe tới mặt phẳng chiếu $d_0 = 100m$.

5.5. SỬA CHỮA ĐỂ ĐẠT ĐƯỢC ĐỘ BẰNG PHẲNG QUANG HỌC CỦA ĐOẠN TUYẾN TRÊN HÌNH CHIẾU PHỐI CẢNH

5.5.1. Các phương pháp sửa chữa

Sau khi dựng được hình chiếu phối cảnh của đoạn đường phức tạp ta dễ dàng nhận ra những vị trí không bình thường trên tuyến như tại các điểm uốn làm tuyến bị gãy không đều đặn, những chỗ bị biến dạng, những điểm "đặc biệt" này sẽ làm cho trục đường trong hình phối cảnh không đều đặn. Ví dụ như trên hình (5.16) thì tại hai điểm A và B trên trục đường tuyến bị gãy (bị lõm xuống và lồi lên).



Hình 5.16

Để chỉnh sửa cho tuyến đạt được độ đều đặn quang học ta cần nghiên cứu tìm hiểu nguyên nhân cụ thể, từ đó đưa ra giải pháp hiệu chỉnh cho phù hợp với điều kiện địa hình.

Ví dụ: Nếu tuyến bị gãy do bình đồ ta có thể tăng bán kính đường cong nằm hoặc dịch chuyển sang vị trí bên cạnh nếu địa hình cho phép. Nếu bị gãy lõm ta có thể nâng cao độ tại điểm bị gãy và các điểm xung quanh với điều kiện không tăng khối lượng công tác quá mức ảnh hưởng đến giá thành xây dựng; Hoặc cũng có thể chỉnh sửa phối hợp cả ở bình đồ và trắc dọc của đoạn tuyến.

Tóm lại, có thể chỉnh sửa đoạn tuyến theo ba phương pháp:

+ Sửa chữa trên trắc dọc;

+ Sửa chữa trên bình đồ;

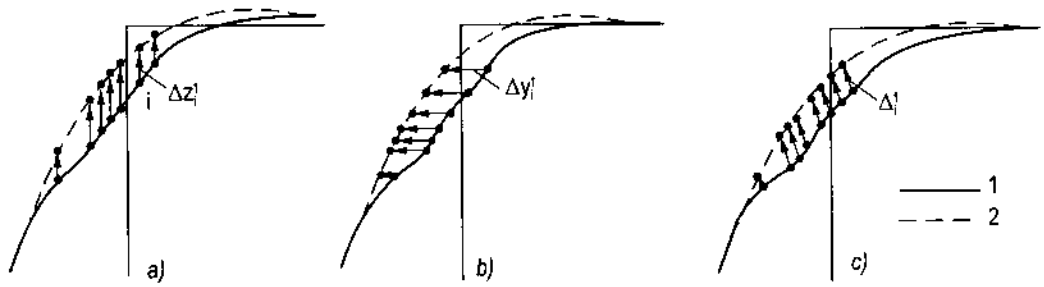
+ Sửa chữa cả trắc dọc lẫn bình đồ.

Để dễ dàng cho việc chỉnh sửa ta tăng tỷ lệ đứng lên gấp bốn lần tỷ lệ ngang nhằm dễ nhận ra các điểm gãy sau đó tiến hành chỉnh sửa như sau:

Trước tiên, dựa vào trục đường không đều đặn trên hình phối cảnh ta sửa lại để tạo nên trục đường mới đã được hiệu chỉnh một cách trơn chu (không có chỗ lồi, lõm...); Trục đứng mới được thể hiện bằng nét đứt trên hình 5.16.

a) Sửa trên trắc dọc

Bằng cách đẩy các cọc từ trục đường cũ (thể hiện bằng nét liền) lên trục đường mới (đường nét đứt) song song với trục thẳng đứng để có các cọc tương ứng (xem hình 5.17a).



Hình 5.17

Gia số điều chỉnh theo trắc dọc tại cọc thứ i là ΔZ_i^1 chính là trị số điều chỉnh trên mặt phẳng ảnh. Trị số độ dịch chuyển thực trên trắc dọc ΔZ_i^1 được xác định theo công thức:

$$\Delta Z_i = \frac{\Delta Z_i^1 . x_i}{d_{oi}} \qquad (5.6)$$

b) Sửa chữa trên bình đồ

Cũng cách làm như trên, nhưng ta dịch các cọc sang ngang (song song với trục hoành) để có các cọc tương ứng trên trục đường mới đã được hiệu chỉnh (xem hình 5.17b).

Gia số điều chỉnh theo bình đồ tại cọc thứ i là ΔY_i^1 chính là trị số điều chỉnh bình đồ trên mặt phẳng ảnh. Trị số độ dịch chuyển thực tế trên bình đồ ΔY_i được xác định theo công thức:

$$\Delta Y_i = \frac{\Delta Y_i^1 . x_i}{d_{oi}} \quad (5.7)$$

Trong đó: d_{oi} – khoảng cách từ điểm nhìn đến mặt phẳng ảnh;

x_i – khoảng cách từ điểm nhìn đến cọc thứ i.

c) Phối hợp sửa chữa cả trên trắc dọc và trên bình đồ

Dịch các cọc theo các tọa độ thẳng đứng và nằm ngang (hình 5.17c). Cọc thứ i có tọa độ trên mặt phẳng ảnh bằng Δ_i^1. Trị số Δ_i^1 được xác định bằng cách từ vị trí các cọc i được dịch chuyển và định vị trên trục đường mới. Ta đo khoảng cách trực tiếp trên hình phối cảnh trên máy tính và độ dịch chuyển thực của cọc i cũng được xác định tương tự bằng công thức:

$$\Delta_i = \frac{\Delta_i^1 . x_i}{d_{oi}} \quad (5.8)$$

Để tránh nhầm lẫn và thuận lợi khi dựng hình ta nên lập bảng số liệu như trong bảng 5.5.

Bảng 5.5

N° cọc	Z_i^1 (Y_i^1), cm		Z_i (Y_i), m		Hiệu số (m)	Cao độ (m)	
	Chưa sửa	Đã sửa	Chưa sửa	Đã sửa		Chưa hiệu chỉnh	Đã hiệu chỉnh
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

5.5.2. Các ví dụ

Dựng hình chiếu phối cảnh và sửa chữa để bảo đảm độ bằng phẳng quang học của đoạn tuyến trong các trường hợp sau:

Ví dụ 1:

- Đường ôtô cấp I: Số làn xe: 6; bề rộng mỗi làn: 3,5m; bề rộng dải phân cách: 1,5m; bề rộng lề: 3m.

- Trên trắc ngang, điểm nhìn cách mép phần xe chạy 1,65m.

Trên hình 5.18 là bình đồ và trắc dọc của tuyến trong trường hợp thứ nhất. Toạ độ các điểm trên hình chiếu phối cảnh trước khi sửa chữa được ghi trong bảng 5.6 và sau khi sửa chữa ghi trong bảng 5.7.

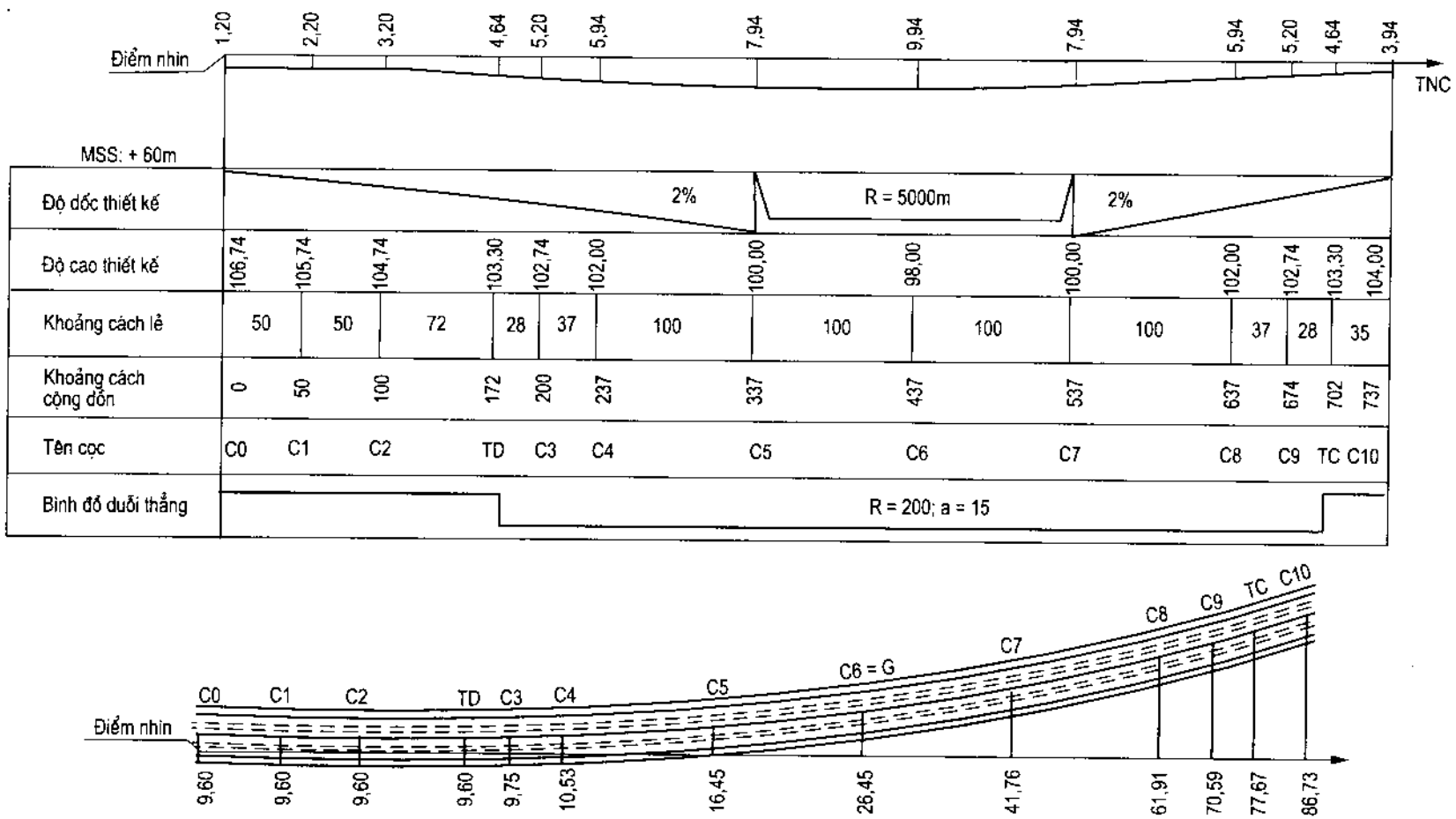
Trên hình 5.19 là hình chiếu phối cảnh của đoạn tuyến được dụng theo số liệu của bảng 5.6. Sau khi sửa chữa toạ độ theo số liệu bảng 5.7, ta dựng lại hình chiếu phối cảnh của đoạn đường này thể hiện trên hình 5.20.

Bảng 5.6. Bảng ghi toạ độ các điểm hình chiếu phối cảnh trước khi sửa chữa (ví dụ 1)

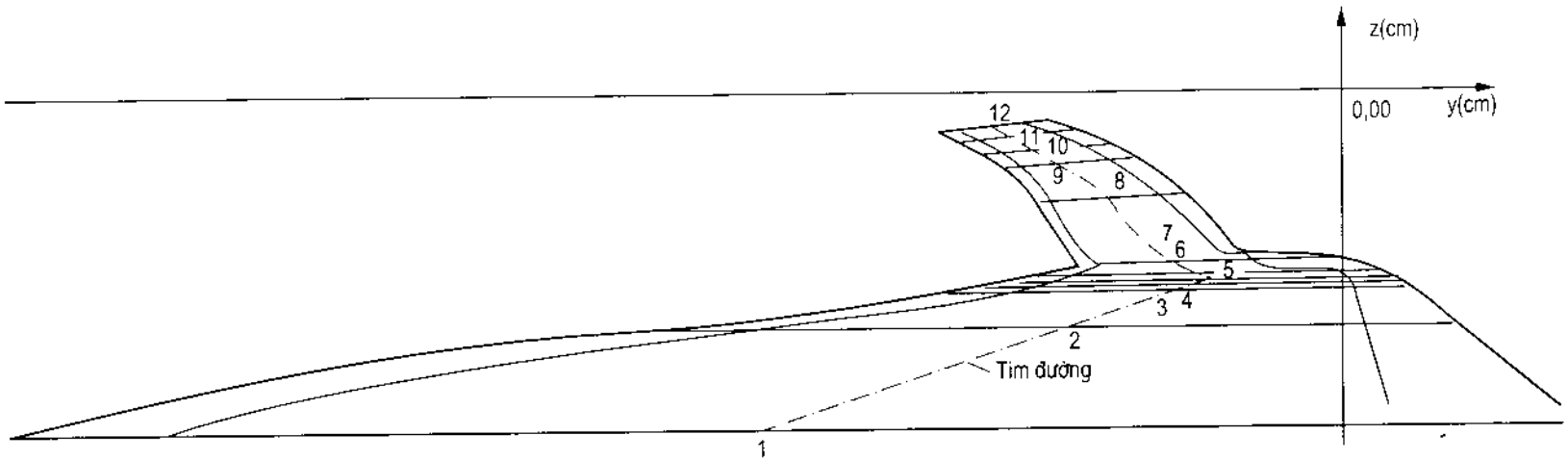
Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách	Khoảng cách từ điểm nhìn		H/s điều chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Khoảng cách	
			Y_i (m)	Z_i (m)	d_o/X_i	Y_i^1, (cm)	Z_i^1, (cm)	Đến mép phần xe chạy (cm)	Đến mép nền (cm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	C0	0	-9,6	-1,2					
1	C1	50	-9,6	-2,2	2	-19,2	-4,4	21	27
2	C2	100	-9,6	-3,2	1	-9,6	-3,2	10,5	13,5
3	TĐ	172	-9,6	-4,64	0,581	-5,58	-2,7	6,1	7,85
4	C3	200	-9,75	-5,2	0,5	-4,88	-2,6	5,25	6,75
5	C4	237	-10,53	-5,94	0,422	-4,44	-2,51	4,43	5,7
6	C5	337	-16,04	-7,94	0,297	-4,76	-2,36	3,12	4,01
7	C6	437	-26,45	-9,94	0,229	-6,05	-2,27	2,4	3,09
8	C7	537	-41,76	-7,94	0,186	-7,78	-1,48	1,96	2,51
9	C8	637	-61,91	-5,94	0,157	-9,72	-0,93	1,65	2,12
10	C9	674	-70,59	-5,2	0,148	-10,47	-0,7	1,56	2
11	TC	702	-77,67	-4,64	0,142	-11,06	-0,66	1,5	1,92
12	C10	737	-86,73	-3,94	0,136	-11,77	-0,53	1,42	1,83

Bảng 5.7. Bảng kết quả hiệu chỉnh cao độ (ví dụ 1)

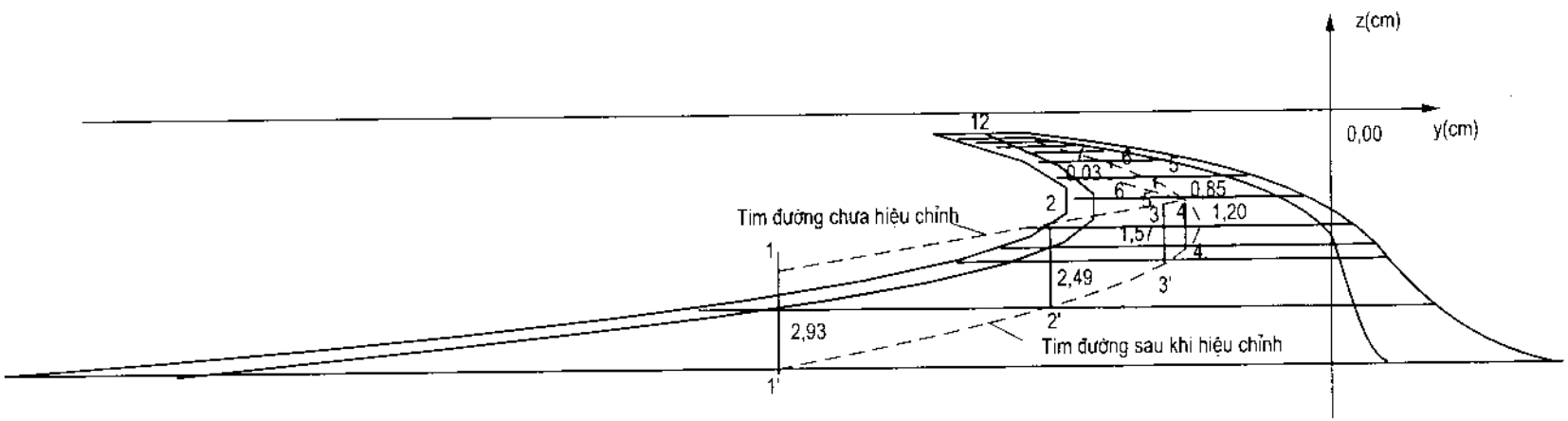
Điểm	Tên cọc	Z_i^1, (cm)			Z_i, (m)		Hiệu số (m)	Cao độ (m)	
		Chưa sửa	Hiệu chỉnh	Đã sửa	Chưa sửa	Đã sửa		Chưa hiệu chỉnh	Đã hiệu chỉnh
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	C1	-4,4	-2,93	-7,33	-2,2	-3,67	-1,47	105,74	104,28
2	C2	-3,2	-2,94	-5,69	-3,2	-5,69	-2,49	104,74	102,25
3	TĐ	-2,7	-1,57	-4,27	-4,64	-7,34	-2,7	103,3	100,6
4	C3	-2,6	-1,2	-3,8	-5,2	-7,6	-2,4	102,74	100,34
5	C4	-2,51	-0,85	-3,36	-5,94	-7,95	-2,01	102	99,99
6	C5	-2,36	0,03	-2,33	-7,94	-7,84	0,1	100	100,1
7	C6	-2,27	0,44	-1,83	-9,94	-8,02	1,92	98	99,92
8	C7	-1,48	0,2	-1,28	-7,94	-6,87	1,07	100	101,07
9	C8	-0,93	0,02	-0,91	-5,94	-5,81	0,13	102	102,13
10	C9	-0,7	0	-0,77	-5,2	-5,2	0	102,74	102,74
11	TC	-0,66	0	-0,66	-4,64	-4,64	0	103,3	103,3
12	C10	-0,53	0	-0,53	-3,94	-3,94	0	104	104



Hình 5.18: *Trắc dọc và bình đồ tuyến đường*



Hình 5.19: *Hình chiếu phối cảnh trước khi chỉnh sửa*



Hình 5.20: *Hình chiếu phối cảnh sau khi hiệu chỉnh trắc dọc*

Ví dụ 2:

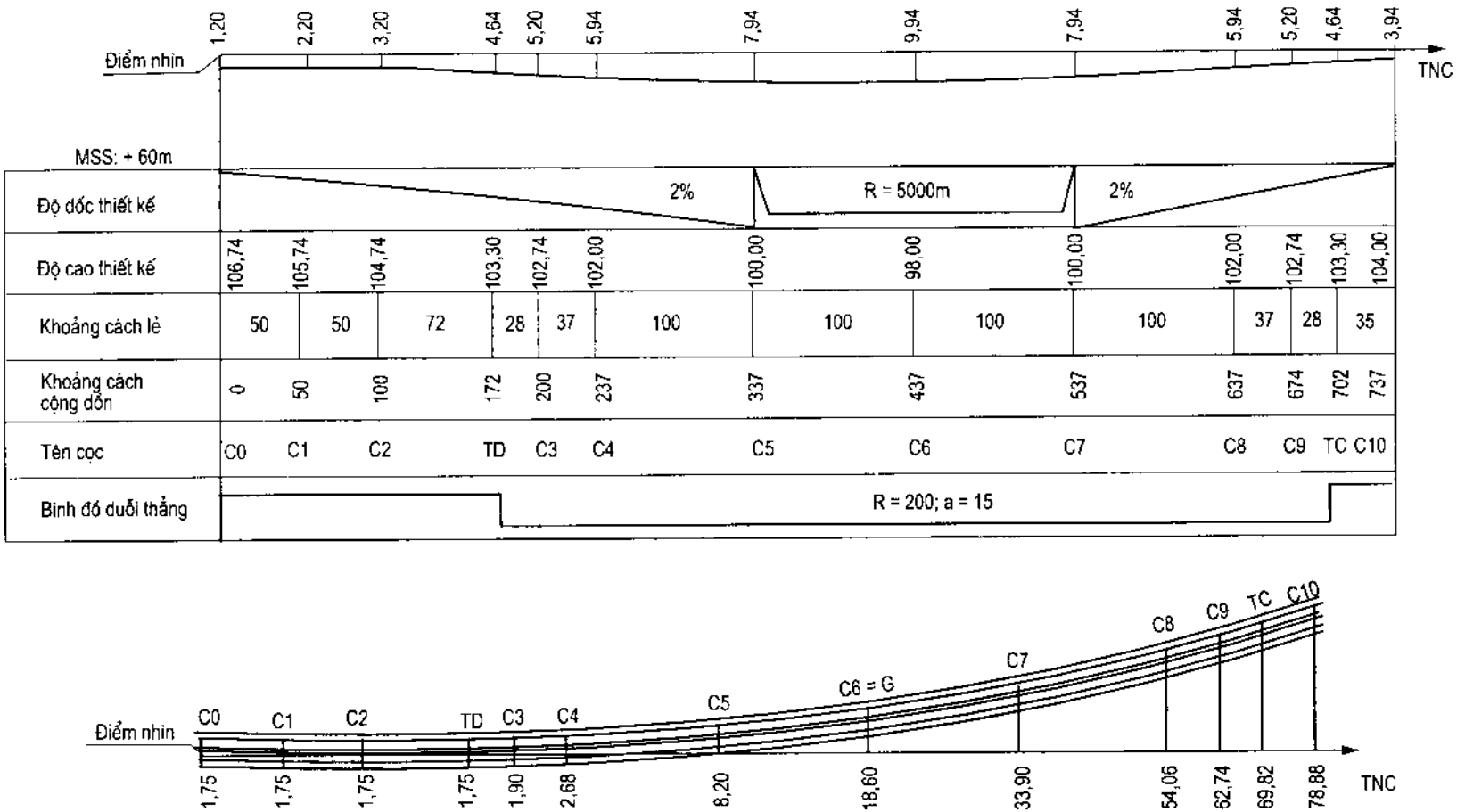
- Đường ôtô cấp III: số làn xe : 2; bề rộng mỗi làn: 3,5m; bề rộng lề: 3m.
- Chiều cao mắt: chọn 1,2m đối với xe con.
- Trên trắc ngang, điểm nhìn cách mép phần xe chạy 1,75m.
- Tia nhìn: do đường có độ dốc nhỏ nên tia nhìn nằm ngang.

Bình đồ và trắc dọc thể hiện trên hình 5.21. Tọa độ các điểm hình chiếu phối cảnh trước khi sửa chữa ghi trong bảng 5.8 và sau khi sửa chữa ghi trong bảng 5.9.

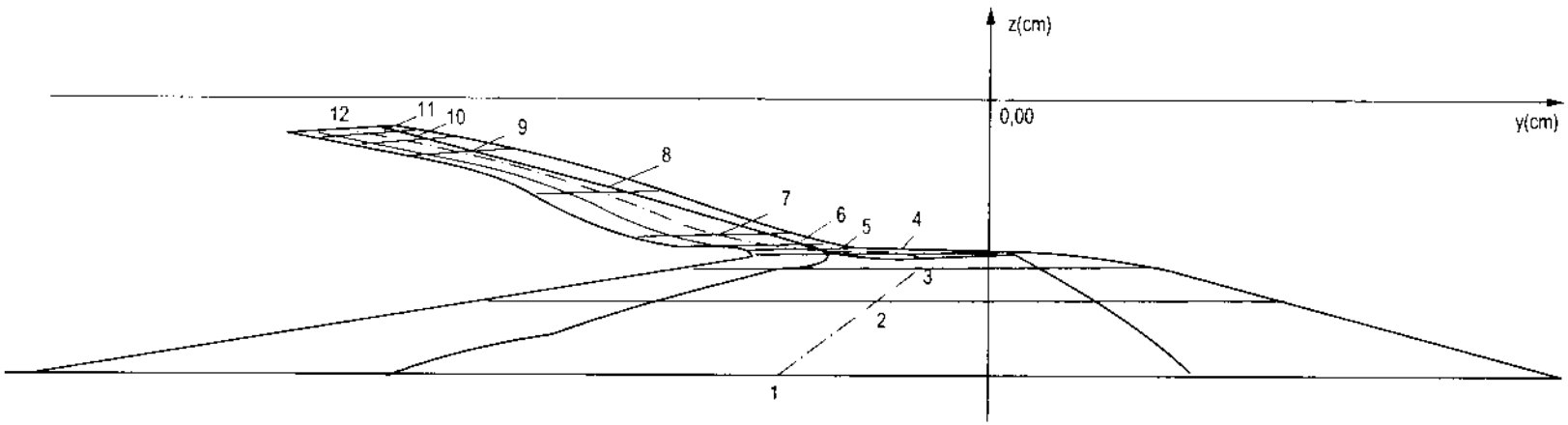
Trên hình 5.22 là hình chiếu phối cảnh của đoạn tuyến được dựng theo số liệu ghi trong bảng 5.8 và sau khi hiệu chỉnh theo số liệu của bảng 5.9, ta dựng hình chiếu phối cảnh đoạn tuyến hình 5.23.

Bảng 5.8. Bảng ghi tọa độ các điểm hình chiếu phối cảnh trước khi sửa chữa (ví dụ 2)

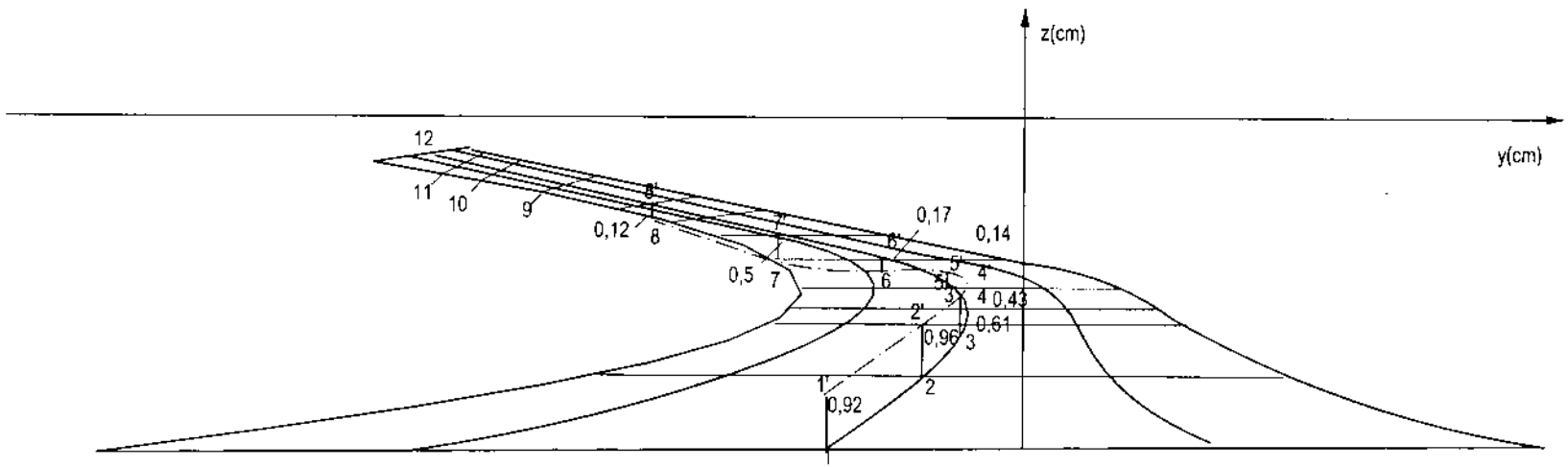
Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách	Khoảng cách từ điểm nhìn		H/s điều chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Khoảng cách	
			Y_i(m)	Z_i(m)	d_o/X_i	Y_i^1,(cm)	Z_i^1,(cm)	Đến mép phần xe chạy (cm)	Đến mép nền (cm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	C0	0	-1,75	-1,2					
1	C1	50	-1,75	-2,2	2	-3,5	-4,4	21	13
2	C2	100	-1,75	-3,2	1	-1,75	-3,2	3,5	6,5
3	TĐ	172	-1,75	-4,64	0,581	-1,02	-2,7	2,03	3,78
4	C3	200	-1,9	-5,2	0,5	-0,95	-2,6	1,75	3,25
5	C4	237	-2,68	-5,94	0,422	-1,13	-2,51	1,48	2,74
6	C5	337	-8,2	-7,94	0,297	-2,43	-2,36	1,04	1,93
7	C6	437	-18,6	-9,94	0,229	-4,26	-2,27	0,8	1,49
8	C7	537	-33,9	-7,94	0,186	-6,31	-1,48	0,65	1,21
9	C8	637	-54,06	-5,94	0,157	-8,49	-0,93	0,55	1,02
10	C9	674	-62,74	-5,2	0,148	-9,31	-0,7	0,52	0,96
11	TC	702	-69,82	-4,64	0,142	-9,35	-0,66	0,5	0,93
12	C10	737	-78,88	-3,94	0,136	-10,7	-0,53	0,47	0,88



Hình 5.21: *Trắc dọc và bình đồ tuyến đường*



Hình 5.22: *Hình chiếu phối cảnh (trước khi chỉnh sửa)*



Hình 5.23: *Hình chiếu phối cảnh sau khi được hiệu chỉnh trắc dọc*

Bảng 5.9. Bảng kết quả hiệu chỉnh cao độ (ví dụ 2)

Điểm	Tên cọc	Z_i^1, (cm)			Z_i, (m)		Hiệu số (m)	Cao độ (m)	
		Chưa sửa	Hiệu chỉnh	Đã sửa	Chưa sửa	Đã sửa		Chưa hiệu chỉnh	Đã hiệu chỉnh
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	C1	-4,4	-0,92	-5,32	-2,2	-2,66	-0,46	105,74	105,28
2	C2	-3,2	-0,96	-4,16	-3,2	-4,16	-0,96	104,74	103,78
3	TĐ	-2,7	-0,61	-3,31	-4,64	-5,69	-1,05	103,3	102,25
4	C3	-2,6	-0,43	-3,03	-5,2	-6,06	-0,86	102,74	101,88
5	C4	-2,51	-0,14	-2,65	-5,94	-6,26	-0,33	102	101,67
6	C5	-2,36	0,17	-2,19	-7,94	-7,37	0,57	100	100,57
7	C6	-2,27	0,5	-1,77	-9,94	-7,76	2,19	98	100,19
8	C7	-1,48	0,12	-1,36	-7,94	-7,3	0,64	100	100,64
9	C8	-0,93	0	-0,93	-5,94	-5,94	0	102	102
10	C9	-0,7	0	-0,77	-5,2	-5,2	0	102,74	102,74
11	TC	-0,66	0	-0,66	-4,64	-4,64	0	103,3	103,3
12	C10	-0,53	0	-0,53	-3,94	-3,94	0	104	104

Rõ ràng, bằng phương pháp dựng hình chiếu phối cảnh, ta dễ dàng sửa chữa từng đoạn tuyến để có dạng đều đặn quang học như đã trình bày trên hình 5.20 và hình 5.22 cho cả hai trường hợp nền và mặt đường có bề rộng khác nhau.

Chương 6

CÁC TIÊU CHUẨN AN TOÀN (SAFETY CRITERIA) ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ĐỒ ÁN THIẾT KẾ ĐƯỜNG Ô TÔ

Ngày nay, *an toàn giao thông* trở thành một mục tiêu hết sức quan trọng và được quan tâm đặc biệt khi thiết kế xây dựng mới hay cải tạo nâng cấp đường ôtô cũng như quản lý, khai thác các tuyến đường hiện hữu.

Có rất nhiều công trình nghiên cứu của nhiều tác giả ở các nước khác nhau như: CHLB Đức, Mỹ, Canada, Nga, Thụy Điển, Thụy Sĩ, Anh, Pháp, Hy Lạp, Hungari ... về an toàn giao thông đường ôtô.

Đó là các công trình nghiên cứu của các tác giả ở các nước:

- CHLB Đức: Pfundt K., Krebs H.G., Kloeckner J.H, Bitzl F., Knoflacher H., Dilling J., Koeppel G., H.Bock, Durth W., B.Biedermann, B.Vieth, N. Damianoff, Leutzbach W., J. Zoellmer ...
- CHLB Nga: V.F. Bakcov, A. Vasiliev, V.V. Xilianôv ...
- Mỹ: Baldwin D.M, Raff T., Lamn R., E.M. Choueri ...
- Anh: Coburn T.M., O'Flaherty, ...
- Pháp: Brenac T., ...
- Thuỵ Sĩ: Spacek, ...
- Canada: Wilson F.R, ...
- Thuỵ Điển: Rumar K., ...
- Hungari: Balogh T., ...

Trong đó đã nghiên cứu rất chi tiết theo nhiều thông số khác nhau cùng những quan hệ giữa các thông số này như: Vận tốc thiết kế V_d (Design Speed), vận tốc khai thác ứng với suất bảo đảm 85% trên đường (V85), số lượng tai nạn giao thông ứng với hệ số tai nạn giao thông AR (Accident Rate) là số tai nạn trên 1 triệu xe – km hành trình; mật độ tai nạn AD (Accident Density) là số tai nạn xảy ra trên 1 km trong 1 năm; mức độ tổn thất tính bằng tiền do tai nạn giao thông gây ra trên 1 km đường trong 1 năm (ACD - Accident Cost Rate).

Đối với các đường cong nằm thiết kế được đánh giá bằng: hệ số thay đổi độ ngoặt của đường cong CCR_S (Curvature Change Rate) cùng quan hệ giữa các đường cong

thiết kế kề liền thông qua $\Delta CCR = CCR_{si} - CCR_{si+1}$, quan hệ giữa từng đường cong riêng biệt với trị số thay đổi độ cong toàn tuyến $\overline{CCR_s}$, độ cong của tuyến DC (Degree of Curve).

Vấn đề bảo đảm ổn định động lực cho xe chạy an toàn trên đường cong cũng được nghiên cứu thông qua khảo sát hệ số lực ngang xuất hiện khi xe chạy trên đường cong có bố trí siêu cao với tốc độ khai thác V85 (f_{RA} – Side friction Demanded) chênh lệch so với hệ số lực ngang thiết kế (f_{RA} – Side friction Assumed).

Năm 1982, lần đầu tiên cuốn "*Sổ tay an toàn giao thông*" được xuất bản tại thủ đô Ôslô (Na-uy), sau đó được dịch ra tiếng phần Lan, tiếng Nga (2001), tiếng Anh ... trong đó đã đề ra 124 biện pháp hiệu quả nhất để nâng cao an toàn giao thông cho xe chạy trên đường.

Ở nước ta, một *Ủy ban an toàn giao thông quốc gia* đã được thành lập và hoạt động trong nhiều năm nay.

Từ những kết quả nghiên cứu trên nhiều tuyến đường thuộc nhóm A và B có hai làn xe, tốc độ thiết kế $V_d = 80 \div 120$(km/h) trong nhiều năm với sự tham gia của nhiều nhà nghiên cứu và các chuyên gia đầu ngành ở nhiều nước người ta đã đưa ra 3 tiêu chuẩn về an toàn dưới đây để đánh giá chất lượng của một đồ án thiết kế mới hay cải tạo một tuyến đường hiện hữu. Đó là:

- *Tiêu chuẩn an toàn thứ nhất*: Bảo đảm cho đồ án thiết kế đạt được chất lượng tốt.

- *Tiêu chuẩn an toàn thứ hai*: Bảo đảm đạt được tốc độ khai thác mong muốn với suất bảo đảm 85%.

- *Tiêu chuẩn an toàn thứ ba*: Bảo đảm an toàn về mặt ổn định động học của ôtô khi lái xe.

Sau đây, ta sẽ nghiên cứu chi tiết các thông số chính phục vụ cho việc xây dựng 3 tiêu chuẩn trên.

6.1. HỆ SỐ THAY ĐỔI ĐỘ NGOẶT CỦA ĐƯỜNG CONG CCR_S (CURVATURE CHANGE RATE)

Tại mỗi một đường cong hệ số thay đổi độ ngoặt CCR_s được xác định như sau:

6.1.1. Đối với đường tròn đơn có bán kính R và chiều dài đường cong K (xem hình 6.1)

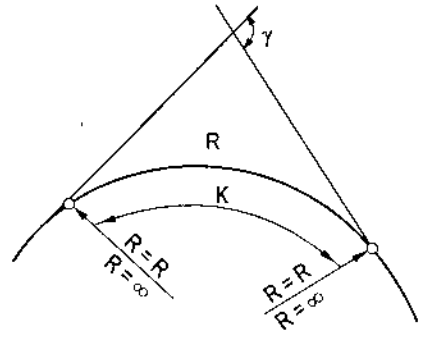
$$CCR_s = \frac{\frac{K}{R} \times 63,7 \times 10^3}{K}, \quad \text{gon/km} \qquad (6.1)$$

Trong đó:

Góc ngoặt $|\gamma| = \frac{K}{R} = \frac{K}{R} \times 63,7\text{gon}$ (6.2)

(gon – là đơn vị đo góc trong hệ bách phân, được sử dụng phổ biến ở các nước châu Âu. Trong hệ bách phân, một vòng tròn được chia thành 400gon (thay vì 360° hay 2π rad), 1gon = 0,9° hay $63,7\text{gon} = \frac{400^0}{2\pi}$).

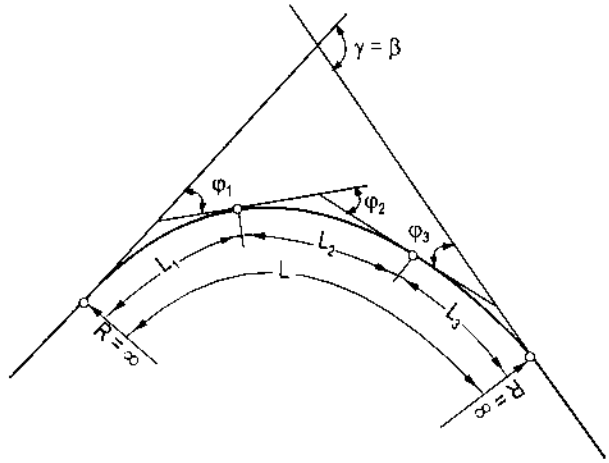
K – chiều dài đường cong, m;



Hình 6.1

6.1.2. Trường hợp tổng quát

Khi có 3 đường cong bất kỳ có chiều dài L_1, L_2, L_3 kết hợp liên tiếp với nhau ứng với các góc ngoặt φ_1, φ_2, φ_3 và góc ngoặt chung là γ thì hệ số CCR_s được xác định theo công thức (xem hình 6.2).



Hình 6.2

$$CCR_s = \frac{|\gamma|.63700}{L} \quad , \text{ gon/km} \tag{6.3}$$

Hay $$CCR_s = \frac{\left[|\varphi_1| + |\varphi_2| + |\varphi_3|\right].63700}{L} \tag{6.3a}$$

Với $L = L_1 + L_2 + L_3$ m

6.1.3. Trường hợp phối hợp đường cong tròn có bán kính R với hai đường cong clothoid không đối xứng có các thông số A_1 và A_2

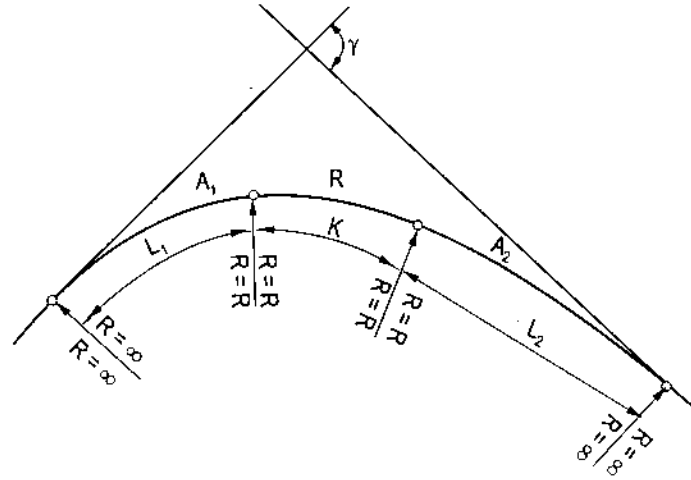
Từ hình 6.3, cho thấy

$$|\gamma| = \frac{L_1}{2R} + \frac{K}{R} + \frac{L_2}{2R} \tag{6.4}$$

Nên:

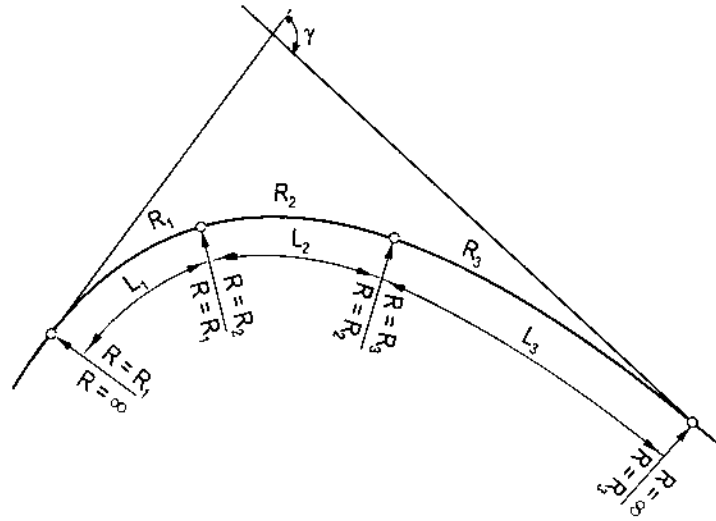
$$CCR_S = \frac{\left(\frac{L_1}{2R} + \frac{K}{R} + \frac{L_2}{2R}\right).63,7\times10^3}{(L_1 + K + L_2)} \quad , \text{(gon/km)} \qquad (6.5)$$

Trong đó: K ,L_1,L_2 – chiều dài đường cong tròn và hai đường clothoid, m .



Hình 6.3

6.1.4. Trường hợp đường cong phối hợp 3 bán kính R_1, R_2, R_3 (xem hình 6.4)



Hình 6.4

Ta có

$$CCR_S = \frac{\left(\frac{K_1}{R_1} + \frac{K_2}{R_2} + \frac{K_3}{R_3}\right).63,7\times10^3}{(K_1 + K_2 + K_3)} \quad , \text{gon/km;} \qquad (6.6)$$

Trong đó: R_1, R_2, R_3 - Bán kính của 3 đường cong liên tiếp, m;

K_1, K_2, K_3 - Chiều dài của 3 đường cong tương ứng, m.

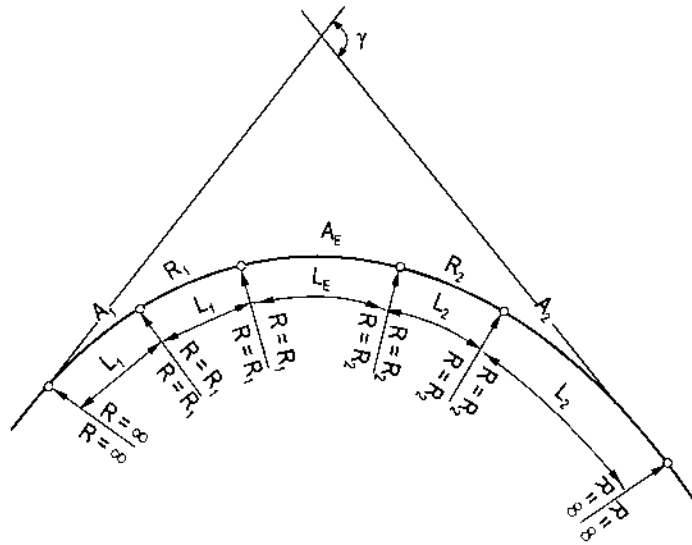
6.1.5. Trường hợp hai đường cong tròn ($R_1 > R_2$) phối hợp nằm giữa hai đường cong clothoid ở hai đầu và một đường cong clothoid chêm ở giữa (xem hình 6.5)

Khi đó:

$$|\gamma| = \frac{L_1}{2R_1} + \frac{K_1}{R_1} + \frac{A_E^2}{2R_2^2} - \frac{A_E^2}{2R_1^2} + \frac{K_2}{R_2} + \frac{L_2}{2R_2} \qquad (6.7)$$

Và:

$$CCR_S = \frac{\left[\frac{L_1}{2R_1} + \frac{K_1}{R_1} + \frac{A_E^2}{2R_2^2} - \frac{A_E^2}{2R_1^2} + \frac{K_2}{R_2} + \frac{L_2}{2R_2}\right].63,7x10^3}{(L_1 + K_1 + L_E + K_2 + L_2)}, \text{ gon/km} \qquad (6.8)$$



Hình 6.5

Trong đó: A_1, A_2, A_e – thông số của đường cong clothoid ở hai đầu và ở giữa m;

L_1, L_2, L_E – chiều dài của đường cong chuyển tiếp ở hai đầu và giữa, m.

6.1.6. Trường hợp trên các đoạn thẳng

Do $R = \infty$ nên

$CCR_s = 0$ (gon/km)

6.2. ĐỘ CONG DC (DEGREE OF CURVE)

Hệ số thay đổi độ ngoặt của đường cong CCR_s là thông số thiết kế đưa ra ở CHLB Đức. Tại Mỹ thông số được đề nghị là độ cong DC xácđịnh bằng công thức sau:

$$DC_{ft} = \frac{360^0}{2\pi R} = \frac{5729,6}{R} \quad , \quad \left(\frac{\text{Độ}}{100ft}\right) \tag{6.9}$$

Hay:

$$DC_m = \frac{63,700}{R} \quad , \quad (gon/km) \tag{6.10}$$

Trong đó: R – bán kính đường cong (ft hay m)

Từ: $CCR_s = \frac{\left(\frac{K}{R}\right)63,7}{L}$,(gon/km) với K chiều dài đường cong tròn (m) và L = K/1000, (km) ta được:

$CCR = \frac{63700}{R}$,(gon/km) với R tính bằng mét, ta có thể chuyển đổi hay tìm sự tương quan của hai hệ số này theo các biểu thức sau:

$$DC_{ft}\left(\frac{\text{Độ}}{100ft}\right) \times 36,5 = CCR_s\left(\frac{gon}{km}\right); \tag{6.11}$$

Hay:

$$DC_m\left(\frac{\text{Độ}}{100m}\right) \times 11,13 = CCR_s\left(\frac{gon}{km}\right); \tag{6.12}$$

(1ft = 0,3084m)

6.3. XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ KHAI THÁC VỚI SUẤT BẢO ĐẢM 85% (V_{85})

Điều tra khảo sát trên nhiều tuyến đường đang sử dụng ở các nước đã đưa ra các công thức thực nghiệm thể hiện mối quan hệ giữa tốc độ khai thác V_{85} với các thông số như CCR_s, DC như sau:

- CHLB Đức: $$V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8,01CCR_S} \tag{6.13}$$

với tốc độ giới hạn là 100km/h.

- Mỹ (New York): $V_{85} = 93,85 - 1,82DC$ (6.14a)

hay: $V_{85} = 93,85 - 0,05CCR_s$ (6.14b)

với tốc độ giới hạn là 90 km/h

- Pháp: $$V_{85} = \frac{102}{1 + 346.(CCR_S / 63,700)^{1.5}} \tag{6.15}$$

với tốc độ giới hạn là 90km/h.

- Australia: $V_{85} = 101,2 - 1,56DC$ (6.16a)

hay: $V_{85} = 101,2 - 0,043CCR_s$ (6.16b)

với tốc độ giới hạn là 90 km/h.

- Canađa: $V_{85} = e^{(4,561 - 5,86.10^{-3} DC)}$ (6.17a)

hay: $V_{85} = e^{(4,561 - 5,27.10^{-4} DC)}$ (6.17b)

với tốc độ giới hạn bằng 90 km/h.

6.4. CÔNG THỨC XÁC ĐỊNH HỆ SỐ LỰC NGANG THIẾT KẾ (f_A) VÀ HỆ SỐ LỰC NGANG YÊU CẦU (f_{RD})

Hệ số lực ngang chính là lực ngang đơn vị ($f = \frac{Y}{G}$) (nhiều tài liệu có kí hiệu là μ) phát sinh khi xe đi vào đường cong có bố trí siêu cao và được xác định theo công thức đã quen thuộc trong các giáo trình thiết kế đường ôtô như sau:

- Hệ số lực ngang thiết kế:

$$f_{RA} = \frac{V_d^2}{127.R} - i_{sc} \quad (6.18)$$

Trong đó: V_d: tốc độ thiết kế (Design Speed), km/h;

- Hệ số lực ngang tương ứng với tốc độ khai thác V_{85}

$$f_{RD} = \frac{V_{85}^2}{127.R} - i_{sc} \quad (6.19)$$

Hiệu số của hai hệ số lực ngang này ($\Delta f = f_{RA} - f_{DA}$) biểu thị mức độ ổn định động học bảo đảm an toàn cho xe chạy khi vào đường cong.

6.5. THIẾT LẬP CÁC TIÊU CHUẨN AN TOÀN (SAFETY CRITERIA)

Một tiêu chuẩn quan trọng về an toàn giao thông cần được xem xét khi thiết kế mới hay cải tạo đường cũ là phải thiết kế sao cho bảo đảm được sự phù hợp giữa tốc độ khai thác và tốc độ thiết kế. Nghĩa là, bảo đảm sự chênh lệch giữa tốc độ khai thác với suất bảo đảm 85% và tốc độ thiết kế $|V_{85} - V_d|$ có trị số không lớn, chênh lệch tốc độ này càng nhỏ đồ án thiết kế càng được đánh giá tốt.

Cụ thể là:

- Khi $|V_{85} - V_d| \leq 10$km/h thì đồ án thiết kế đạt chất lượng tốt;
- Khi $|V_{85} - V_d| \leq 20$km/h đồ án ở mức độ chấp nhận được.

Còn khi $|V_{85} - V_d| > 20$km/h thì chất lượng thiết kế của đồ án được đánh giá là kém.

Khi thiết kế bình đồ, các đường cong thiết kế riêng biệt cần phải được xem xét mối tương quan giữa các đường cong kề kiền thông qua hiệu số hệ số thay đổi độ ngoặt của các đường cong $\Delta CCR = |CCR_{si} - CCR_{si+1}|$ cũng như tương quan giữa mỗi đường cong riêng biệt với trị số trung bình $\overline{CCR_s}$ của toàn tuyến thông qua hiệu số $|CCR_{si} - \overline{CCR_s}|$. Các hiệu số này càng nhỏ thì bình đồ tuyến được thiết kế càng có chất lượng tốt.

Trong khi xét an toàn giao thông thì một trong những vị trí thường hay xảy ra tai nạn giao thông (gọi là những điểm đen) là những đường cong có thiết kế siêu cao chưa đạt yêu cầu, khiến cho xe đi vào đường cong mất ổn định động học do bị trượt ngang. Điều này xảy ra khi xe chạy với tốc độ khai thác (V_{85}) xuất hiện lực ngang khác biệt so với lực ngang thiết kế khiến cho sự chênh lệch hệ số lực ngang (f_{RA}-f_{RD}) có trị số lớn. Nguyên nhân xảy ra tai nạn do ôtô mất ổn định trượt ngang này thường các cán bộ quản lý đường bộ ở nước ta hầu như chưa xét đến nên đưa ra kết luận "tai nạn chưa rõ nguyên nhân".

Những nghiên cứu cho thấy không chấp nhận khi thiết kế đường cong nằm có $\Delta f < -0{,}04$ và đồ án thiết kế chỉ được chấp nhận khi hiệu số hệ số lực ngang nằm trong phạm vi $-0{,}04 \le f_{RA} - f_{RD} < +0{,}01$ đồng thời hệ số CCR_{si} phải nhỏ hơn hoặc bằng 360 gon/km. Cũng như vậy, chấp nhận các đồ án thiết kế khi hiệu số $|CCR_{si} - \overline{CCR_s}|$ hay $|CCR_{si} - CCR_{si+1}|$ phải không vượt quá trị số 360 gon/km.

Tất cả những phân tích trên cho phép thiết lập ba tiêu chuẩn an toàn giao thông cụ thể như sau:

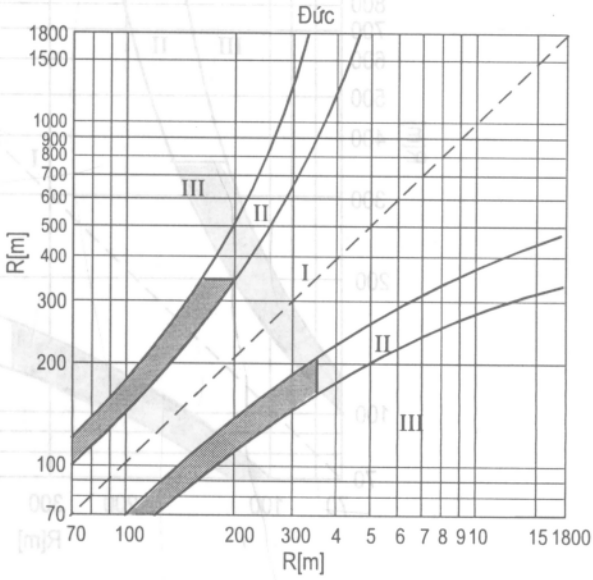
Bảng 6.1

Các thông số	Phân loại đồ án thiết kế		
	Tốt	Chấp nhận được	Xấu, kém
1- Tiêu chuẩn an toàn thứ nhất			
a) $\lvert V_{85i} - V_d \rvert$	≤ 10 km/h	> 10km/h và ≤ 20 km/h	> 20km/h
b) $\lvert CCR_{si} - \overline{CCR_s} \rvert$	≤ 180 gon/km	> 180gon/km và ≤ 360gon/km	> 360 gon/km
2-Tiêu chuẩn an toàn thứ hai			
a) $\lvert V_{85i} - V_{85i+1} \rvert$	≤ 10 km/h	> 10km/h và ≤ 20 km/h	> 20km/h
b) $\lvert CCR_{si} - CCR_{si+1} \rvert$	≤ 180 gon/km	> 180gon/km và ≤ 360gon/km	> 360 gon/km
3-Tiêu chuẩn an toàn thứ ba			
a) CCR_{si}	≤ 180 gon/km	> 180gon/km và ≤ 360gon/km	> 360gon/km
b) $f_{RA} - f_{RD}$	≥+ 0,01	≥- 0,04 và <+ 0,01	<- 0,04

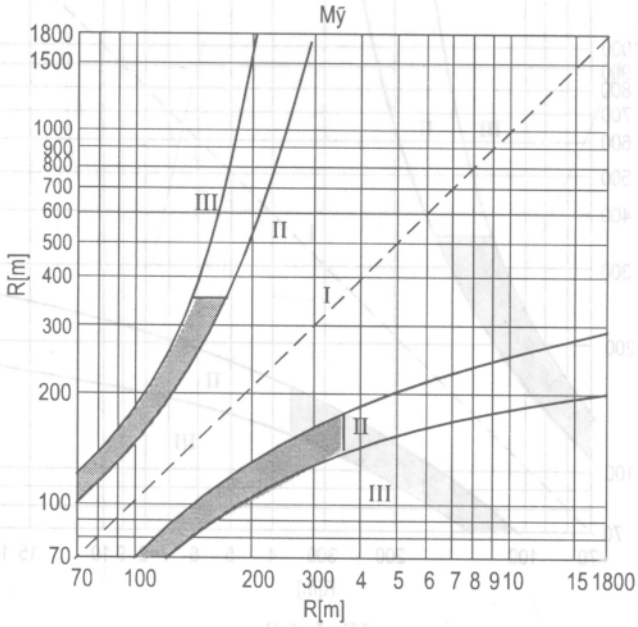
Các số liệu ghi trong bảng 6.1 cho thấy: Cả ba tiêu chuẩn đều lấy cùng các trị số giới hạn về hiệu số $|V_{85i} - V_d|$ và các tiêu chuẩn CCR_{si}, $|CCR_{si} - CCR_{si+1}|$, $|CCR_{si} - \overline{CCR_s}|$ đều có cùng những trị số giới hạn ứng với các trường hợp thiết kế tốt, chấp nhận được và xấu, kém.

Từ tiêu chuẩn an toàn thứ nhất và tiêu chuẩn an toàn thứ hai được nghiên cứu, các nước đã xây dựng đồ thị để hỗ trợ cho người thiết kế đường ôtô lựa chọn bán kính hợp lý của các đường cong tròn được bố trí liên tiếp trên bình đồ tuyến.

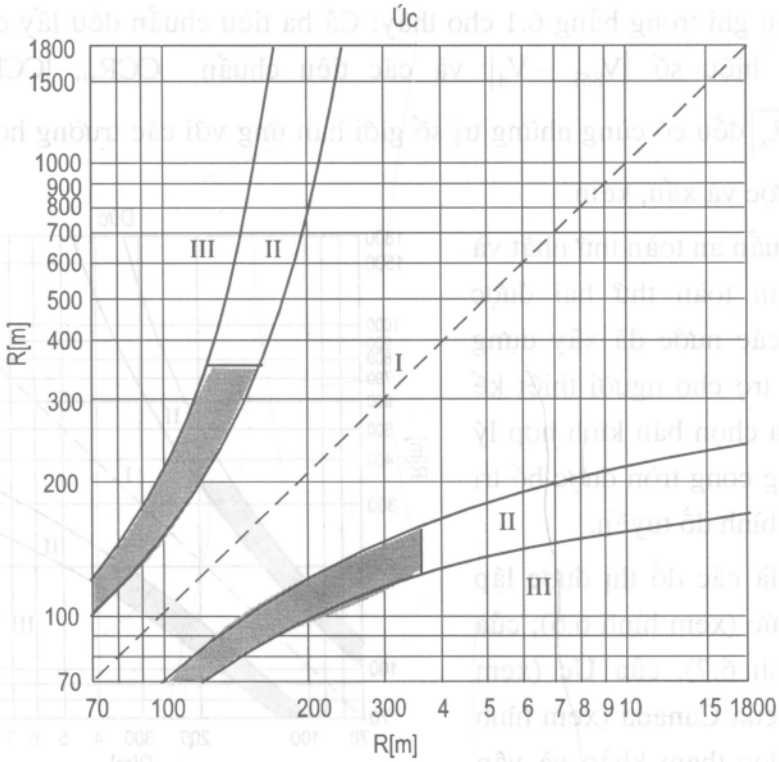
Dưới đây là các đồ thị được lập của CHLB Đức (xem hình 6.6); của Mỹ (xem hình 6.7), của Úc (xem hình 6.8), và của Canada (xem hình 6.9) để bạn đọc tham khảo và vận dụng khi thiết kế bình đồ cho phù hợp với điều kiện địa hình và cấp đường theo tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô của Việt Nam.



Hình 6.6:
I – vùng "thiết kế tốt"; II – vùng "chấp nhận được"; III – vùng "thiết kế xấu".

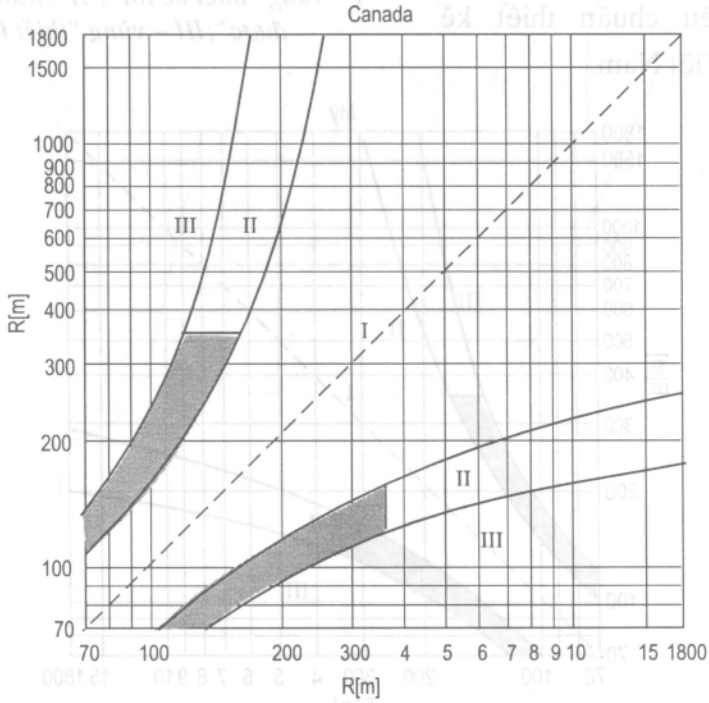


Hình 6.7



Hình 6.8

I – vùng "thiết kế tốt"; II – vùng "chấp nhận được"; III – vùng "thiết kế xấu"



Hình 6.9

I – vùng "thiết kế tốt"; II – vùng "chấp nhận được"; III – vùng "thiết kế xấu"

Các đồ thị do mỗi nước lập ra đều ở dạng hình vuông đối xứng qua đường chéo với bán kính đường cong nằm thay đổi từ R = 70m đến R = 1800m và chia ra làm ba vùng để đánh giá chất lượng của đồ án thiết kế bao gồm:

- Vùng ở giữa (vùng I) được đánh giá là đồ án thiết kế có *chất lượng tốt* với vùng này, người thiết kế đã lựa chọn hai đường cong kề liền trên bình đồ có bán kính thoả mãn các điều kiện về hiệu số của các hệ số thay đổi độ ngoặt $|CCR_{si} - CCR_{si+1}| \leq 180$ gon/km cũng như bảo đảm quan hệ giữa tốc độ thiết kế (V_d) và tốc độ khai thác (V_{85}) chênh nhau không vượt quá 10km/h. Trên đường chéo hai đường vòng được lựa chọn bán kính có trị số bằng nhau ($R_i = R_{i+1}$).

- Vùng hẹp kẹp ở giữa (vùng II) là vùng được đánh giá là đồ án thiết kế *co thể chấp nhận được*. Khi đó hai bán kính cong được lựa chọn của hai đường vòng kề liền bảo đảm chênh lệch giữa tốc độ thiết kế (V_d) và tốc độ khai thác (V_{85}) không vượt quá 10 ÷ 20 km/h, và hiệu số của các hệ số thay đổi độ ngoặt của đường cong nằm trong phạm vi 180 ÷ 360 gon/km.

- Ở vùng ngoài cùng (vùng III), sự lựa chọn hai bán kính đường vòng liên tiếp được đánh giá *xấu* bởi tạo nên sự chênh lệch lớn giữa hai tốc độ $|V_{85} - V_d| > 20$ km/h và có sự biến đổi độ cong lớn $|CCR_{si} - CCR_{si+1}| > 360$ gon/km.

Khi thiết kế nếu lựa chọn hai bán kính nằm trong vùng "chấp nhận được" thì theo các kết quả điều tra nghiên cứu của các tác giả, hệ số tai nạn sẽ ít nhất cao hơn 2÷3 lần so với vùng đạt "chất lượng tốt".

Khảo sát sơ bộ các đồ thị được lập ở bốn nước khác nhau cho thấy: trong vùng thiết kế "có thể chấp nhận được" nếu một đường cong nằm được thiết kế có bán kính thay đổi từ trị số nhỏ nhất là R = 350m đến trị số lớn nhất R = 1800m thì bán kính của đường cong nằm thứ hai liền kề có thể chọn trị số nhỏ hơn nhiều. Cụ thể là:

- Ở giới hạn dưới (R_{min} = 350m) hai bán kính kề liền chênh nhau khoảng gấp hơn 2 lần (Mỹ, Canada, Úc) và gấp trên dưới 2 lần (Đức);

- Ở giới hạn trên (R_{max} = 1800m) thì chênh lệch giữa hai bán kính càng lớn: gấp 6 ÷ 9 lần (Mỹ, Canada, Úc) và gấp 4 đến hơn 5 lần (Đức).

Có thể thấy rõ nhận xét trên theo bảng thống kê 6.2:

Từ đây, ta có thể giải thích được vì sao ở vùng "chấp nhận được" hệ số tai nạn lại tăng ít nhất gấp 2 ÷ 3 lần so với vùng thiết kế "tốt" là do có thể lựa chọn hai trị số bán kính thiết kế của hai đường cong kề liền có các trị số chênh lệch nhau nhiều.

Các tiêu chuẩn an toàn này sẽ được chúng ta áp dụng để xem xét chất lượng đồ án thiết kế tuyến clothoid trong một ví dụ thiết kế cụ thể trình bày ở chương sau (chương 7).

Bảng 6.2

Tên nước		CHLB Đức	Mỹ	Canada	Úc
Giới hạn dưới (R_{min} = 350m)	$\frac{(R_i)}{(R_{i+1})}$	$\frac{350}{(170 \div 200)}$	$\frac{350}{(145 \div 170)}$	$\frac{350}{(120 \div 160)}$	$\frac{350}{(125 \div 165)}$
	Tỷ số chênh lệch giữa hai bán kính	2,05 ÷ 1,75	2,41 ÷ 2,05	2,91 ÷ 2,18	2,80 ÷ 2,12
Giới hạn trên (R_{max} = 1800m)	$\frac{(R_i)}{(R_{i+1})}$	$\frac{1800}{(330 \div 460)}$	$\frac{1800}{(200 \div 280)}$	$\frac{1800}{(185 \div 260)}$	$\frac{1800}{(170 \div 240)}$
	Tỷ số chênh lệch giữa hai bán kính	5,4÷3,9	9,0÷6,4	9,7÷6,9	10,5÷7,5

Chương 7

VÍ DỤ THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID CHO ĐƯỜNG CAO TỐC LIÊN KHƯƠNG - ĐÀ LẠT

Trong nội dung của chương cuối cùng này chúng tôi đưa ra một ví dụ minh họa cụ thể về thiết kế bình đồ một tuyến đường cao tốc theo phương pháp thiết kế tuyến clothoid để bạn đọc tham khảo. Đó là đoạn đường cao tốc Liên Khương – Đà Lạt thuộc tỉnh Lâm Đồng của nước ta.

Thực ra đoạn đường cao tốc Liên Khương – Đà Lạt (LK - ĐL) đã được một công ty tư vấn thuộc bộ Giao thông Vận tải thiết kế và cho đến cơ bản đã được xây dựng xong. Bởi vậy, thiết kế tuyến clothoid nêu ra dưới đây đã dựa vào số liệu khảo sát, điều tra sẵn có của một cơ quan tư vấn để thực hiện cho một tuyến đường cao tốc cụ thể và chỉ dùng để làm ví dụ.

7.1. THUYẾT MINH VỀ ĐOẠN TUYẾN VÀ NHỮNG SỐ LIỆU BAN ĐẦU ĐỂ THIẾT KẾ

7.1.1. Giới thiệu sơ bộ đoạn tuyến Liên Khương - Đà Lạt

Đoạn tuyến cao tốc Liên Khương – Đà Lạt nối liền sân bay LK đến ĐL, thành phố du lịch nổi tiếng của nước ta. Đây là đoạn cuối của tuyến cao tốc Dầu Giây - Đà Lạt nối liền quốc lộ 1A tại ngã ba Dầu Giây hiện tại với khu vực Tây Nguyên và tuyến đường cao tốc này sẽ được xây dựng hoàn chỉnh trong tương lai không xa.

Đoạn tuyến được lựa chọn làm ví dụ thiết kế là đoạn từ Km210 đến Km218 (và để thuận lợi, đoạn này được giả định từ Km0 đến Km8).

Đây là đoạn tuyến thuộc huyện Đức Trọng tỉnh Lâm Đồng, giáp ranh với Thành phố Đà Lạt ở độ cao trung bình từ 800m đến 1200m so với mặt biển. Địa hình dọc tuyến là địa hình đồi núi. Cao độ địa hình thay đổi từ 1056,40m đến 1132,5m. Cá biệt có những đoạn địa hình bị chia cắt thành nhiều khe trũng và mỏm núi liên tiếp nhau.

Hướng tuyến cơ bản là bám theo sườn núi và hướng dốc ngang sườn núi chủ yếu là từ trái qua phải. Dọc đoạn tuyến có các điểm du lịch với nhiều cảnh đẹp khác như thác Pren, kế tiếp là thành phố du lịch Đà Lạt, với những danh lam thắng cảnh nổi tiếng có khí hậu ôn hoà, quanh năm mát mẻ, nhiệt độ trung bình của khu vực từ 15^0C đến 18^0C.

Tóm lại, đoạn đường cao tốc LK-ĐL được xây dựng ngoài những ý nghĩa quan trọng về kinh tế, chính trị mà nó còn là một tuyến đường phục vụ cho khách du lịch trong và ngoài nước. Do vậy, hiệu quả thiết kế và xây dựng đoạn tuyến này phải đạt cả hai yêu cầu về kỹ thuật và mỹ thuật; bảo đảm cho xe chạy an toàn, êm thuận với tốc độ cao và phối hợp hài hoà với cảnh quan thiên nhiên tạo cho du khách trong và ngoài nước một tâm trạng thoải mái , thích thú và không hề mệt mỏi trước khi đặt chân đến thành phố du lịch – thành phố hoa xinh đẹp nổi tiếng của nước nhà.

7.1.2. Cấp hạng kỹ thuật và những tiêu chuẩn thiết kế

Đường cao tốc LK-ĐL được thiết kế theo quy trình "Đường ôtô cao tốc- yêu cầu thiết kế" (TCVN 5729-97).

Cấp hạng kỹ thuật thiết kế: Đường cao tốc loại B (Expressway) với tốc độ thiết kế V_{tk} = 80km/h.

Các chỉ tiêu kỹ thuật được lựa chọn theo TCVN 5729-97 như sau:

Bảng 7.1

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Theo TCVN 5729-97
1	Vận tốc xe chạy	km/h	80
2	Độ dốc siêu cao lớn nhất	%	7
3	Bán kính đường cong nằm nhỏ nhất	m	
	R với i_{sc} = 7%		240
	Rvới i_{sc} = 5%		450
	R với i_{sc} = 2%		1300
	R không siêu cao		2000
4	Tầm nhìn một chiều	m	100
5	Bán kính đường cong đứng tối thiểu	m	
	R lồi		3000
	R lõm		2000
6	Độ dốc dọc lớn nhất (lên và xuống dốc)	%	6
7	Số làn xe	-	4
8	Bề rộng một làn	m	3,75
9	Bề rộng nền đường	m	23

Ngoài ra khi thiết kế tuyến clothoid được thực hiện tuân theo những chỉ dẫn đã được trình bày ở chương trước.

Ví dụ: Khi nối hai đường cong ngược chiều (hình chữ S) thì dùng hai đường cong có cùng thông số A hoặc $A_1 \leq 1,5A_2$ và $R_1 \leq 3R_2$. Nối hai đường cong cùng chiều phải thoả mãn điều kiện $0,5R < A < R_2$. Chỉ cho phép uốn trực tiếp hai đường cong tròn khi $R_1 \leq 2R_2$ ...

7.1.3. Cắm các đường cong clothoid và đường cong tròn

Trong ví dụ thiết kế tuyến clothoid thì đường cong clothoid được cắm theo toạ độ vuông góc (toạ độ Descarte). Toạ độ của các điểm trung gian trên đường cong được xác định theo các phương trình (công thức (1.51) và (1.52)) đã nêu trong chương 1 cụ thể là:

$$x = S - \frac{S^3}{40A^2} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + ...$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} + ...$$

Cự ly giữa các điểm trung gian thường lấy bằng 10 m.

Các thông số của đường cong clothoid như thông số A, chiều dài đường cong chuyển tiếp L, bán kính R, đường tang phụ thêm t, toạ độ điểm cuối của đường cong (x_o,y_o), đường tang lớn T_a, đường tang nhỏ T_m, góc tiếp tuyến của đường cong với trục hoành β được xác định theo sơ đồ hình 1.11 cùng các công thức tính toán giải tích đã nêu ở chương 1 hoặc có thể rút ra từ bảng tra (phần phụ lục ở cuối sách).

Đối với đường cong tròn (đoạn chêm tròn) ở giữa các đường cong clothoid thì chiều dài được xác định theo công thức $K = \frac{\pi R(\gamma - 2\beta)}{180}$ như đã nêu trong chương 1.

Khi cắm đường cong tròn thì cự ly giữa các điểm trung gian (l_i) được chọn tuỳ thuộc vào bán kính R, cụ thể như sau:

Nếu R = 200-500 m chọn l_i =10m;

Nếu R > 500 m chọn l_i =20m.

7.2. CÁC BƯỚC THỰC HIỆN ĐỂ THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID CHO ĐOẠN ĐƯỜNG CAO TỐC LIÊN KHƯƠNG – ĐÀ LẠT (KM0 - KM8)

Thiết kế tuyến clothoid được thực hiện trên bình đồ tỉ lệ 1/2000 trong phạm vi từ Km 210 đến Km 218 của đường cao tốc Liên Khương - Đà Lạt theo các bước sau:

Bước 1:

Kết hợp giữa khảo sát trực tiếp trên thực địa với việc nghiên cứu đối chiếu trên bản đồ địa hình để xác định sơ bộ các điểm khống che.

Trên đoạn tuyến này các điểm khống chế được xác định là tại các vị trí mà địa hình tương đối thoải, ở đó có thể cho tuyến thay đổi hướng và có thể bố trí đường cong tròn hay có thể kết hợp các đường cong chuyển tiếp .

Tiếp theo dựa vào địa hình và địa mạo cũng như tình hình địa chất đã khảo sát ta dùng tay vạch các phương án tuyến thoả mãn nhiều nhất các yếu cầu về phối hợp tuyến với cảnh quan thiên nhiên. Dạng đường cong uốn lượn theo phương trình clothoid trên bình đồ của các phương án phải đi qua các điểm khống chế. Công việc này trước đây được thực hiện bằng thước dẻo như đã nêu nhưng hiện nay nhờ sự hỗ trợ của máy tính và các phần mềm thiết kế (Autocad, SoftDesk ...) nên công đoạn này đã được thực hiện ngay trên máy vi tính mà không cần dùng đến thước dẻo. Hơn nữa trên màn hình máy vi tính ta có thể dễ dàng vạch ra nhiều phương án tuyến dạng clothoid để tuỳ ý lựa chọn và hiệu chỉnh nhằm chọn được phương án đường trục cuối cùng.

Sau khi đã sơ bộ định được phương án đường trục thiết kế (có dạng gần đúng với tuyến clothoid và đi qua các điểm khống chế (còn gọi là điểm kiểm tra))ta tiến hành vạch tuyến theo hai cách:

Cách thứ nhất: Từ dạng gần đúng của tuyến ta dựng các tiếp tuyến với các đường cong, tức là các đường tang, rồi dùng các thước khuôn mẫu áp vào để quyết định lựa chọn các thông số và thiết kế bình thường.

Cách thứ hai: Dùng các thước khuôn mẫu áp ngay vào tuyến đường trục sơ bộ đã vạch sao cho chỗ nối tiếp nhau của các đường cong phải có cùng bán kính như đã nêu trên hình 4.3 của chương 4. Sau đó dựng các đường tang và xác định sơ bộ các thông số của đường cong .

Trong hai cách trên khi áp dụng cách thứ nhất là tính toán thuận lợi hơn cả. Vì nhờ có vạch trước các đường tang kết hợp với nghiên cứu kỹ địa hình mà ta có thể thiết kế kết hợp các đường cong theo các trị số đường tang đã được xác định trước.

Bước 2:

Nhiệm vụ của bước này là sau khi áp các thước khuôn mẫu để quyết định dạng kết hợp các đường cong và sơ bộ lựa chọn bán kính cùng các thông số của đường cong clothoid sao cho phù hợp với hình dạng đường trục của tuyến đã vạch, ta thực hiện thiết kế phối hợp và tính toán chi tiết các yếu tố của đường cong. Trong quá trình tính toán và kết hợp các đường cong được thực hiện theo các trường hợp đã trình bày trong chương 4 và phải chú ý tuân theo các tiêu chuẩn về kết hợp các đường cong .

Trên bình đồ tuyến clothoid bên cạnh các yếu tố thiết kế (đường cong tròn , đường cong clothoid) phải ghi các trị số của các thông số A, R, L, γ, β ... dọc theo tuyến. Dựa vào đường đồng mức trên bình đồ xác định cao độ tại các cọc.

Hiện nay do có các phần mềm (Excel, AutoCad, SoftDesk...) nên ngay cả bước 1 và bước 2 ta đều có thể thực hiện trên máy tính.

Bước 3:

Nội dung được thực hiện trong bước 3 là nghiên cứu, xem xét, áp dụng các nguyên tắc thiết kế phối hợp giữa bình đồ và trắc dọc. Trong đó đã lưu ý phối hợp giữa đường cong đứng và đường cong nằm khi lựa chọn bán kính và vị trí tương hỗ giữa chúng để bảo đảm tuyến là một đường cong trung gian đều đặn, êm thuận về mặt thụ cảm thị giác, tạo cho lái xe thấy được hướng đi ở bất kỳ vị trí nào trên tuyến để điều khiển xe chạy an toàn với tốc độ cao.

Bước 4:

Ở giai đoạn cuối này thì tuyến đã được thiết kế xong, nhưng cần phải lựa chọn các đoạn phức tạp để dựng hình chiếu phối cảnh nhằm kiểm tra mức độ đều đặn của tuyến trong không gian. Cần thiết phải chỉnh sửa lại những đoạn chưa đạt yếu cầu bằng cách sửa chữa trên bình đồ hay trên trắc dọc hoặc sửa chữa cả bình đồ và trắc dọc, sau đó dựng lại hình phối cảnh của đoạn tuyến đã được sửa. Có thể đánh giá độ đều đặn của tuyến tại các vị trí có bố trí đường cong nằm và đường cong đứng bằng mắt thường trên hình phối cảnh hoặc bằng các tiêu chuẩn được nêu trong chương 5. Toàn bộ nội dung tính toán và dựng hình chiếu phối cảnh các đoạn tuyến của đường cao tốc LK-ĐL đều được thực hiện trên máy vi tính một cách nhanh chóng nhờ các phần mềm Excel và AutoCad ...

7.3. CHẾ TẠO BỘ THƯỚC KHUÔN MẪU ĐỂ CHUẨN BỊ CHO THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID.

Để thiết kế tuyến clothoid cho đoạn cao tốc LK-ĐL theo tiêu chuẩn đường cao tốc loại B (TCVN 5729-97) ta dựa vào các tiêu chuẩn kỹ thuật ghi trong bảng 7.1 và theo điều kiện địa hình thực tế vùng đồi núi thuộc huyện Đức Trọng (tỉnh LĐ) kết hợp với những lời khuyên được rút ra từ kinh nghiệm thiết kế tuyến clothoid của nước ngoài ta chọn bán kính thiết kế tối thiểu R_{min} = 240m. Các trị số bán kính khác được lựa chọn tăng dần càng lớn càng tốt, nhưng do điều kiện địa hình hạn chế nên bán kính lớn nhất được lựa chọn cũng không vượt quá R = 1500m. Các thông số A của đường cong Clothoid cũng được lựa chọn tăng dần theo trị số tăng của bán kính và lần lượt A = 150,250,300,350,400,500,700,800,1000,1100,1200m. Việc tính toán các toạ độ và lập bảng cũng như vẽ các đường cong clothoid ứng với các thông số A khác nhau đều được thực hiện trên máy vi tính nhờ các phần mềm Excel và Autocad...

Cũng thực hiện tương tự đối với các đường cong tròn có bán kính từ R = 240 -1500m.

Sau khi vẽ xong các bộ thước khuôn mẫu của các đường cong clothoid và các đường cong trên máy tính ta in chúng ra theo tỷ lệ 1/2000 (bằng tỷ lệ bình đồ tuyến) trên giấy vẽ rồi dùng keo dán vào bìa carton cứng để có từng thước khuôn mẫu .

Các số liệu ghi trên bảng 7.2 đưa ra một số tính toán cụ thể để dựng các đường cong clothoid ứng với các thông số A = 150, 250, 300, 350, 400.

Bảng 7.2

Bảng tính các toạ độ của đường cong clothoid ứng với các thông số A khác nhau					
Với thông số A = 150					
A	R	A/R	$S = L = A^2/R$	x_o	y_o
150	60	2,500	375,000	137,045	188,376
150	70	2,143	321,429	188,314	167,476
150	75	2,000	300,000	200,171	149,622
150	100	1,500	225,000	198,143	77,048
150	115	1,304	195,652	181,961	52,676
150	125	1,200	180,000	170,890	41,627
150	150	1,000	150,000	146,293	24,557
150	175	0,857	128,571	126,847	15,592
150	200	0,750	112,500	111,613	10,487
150	225	0,667	100,000	99,507	7,381
150	250	0,600	90,000	89,709	5,388
150	275	0,545	81,818	81,637	4,051
150	300	0,500	75,000	74,883	3,122
150	350	0,429	64,286	64,232	1,967
150	400	0,375	56,250	56,222	1,318
Với thông số A = 250					
A	R	A/R	$S = L = A^2/R$	x_o	y_o
250	100	2,500	625,000	228,408	313,960
250	115	2,174	543,478	308,360	284,720
250	125	2,000	500,000	333,618	249,370
250	150	1,667	416,667	343,150	167,898
250	175	1,429	357,143	321,705	112,736
250	200	1,250	312,500	293,958	77,900
250	225	1,111	277,778	267,378	55,619
250	250	1,000	250,000	243,822	40,929
250	275	0,909	227,273	223,423	30,925

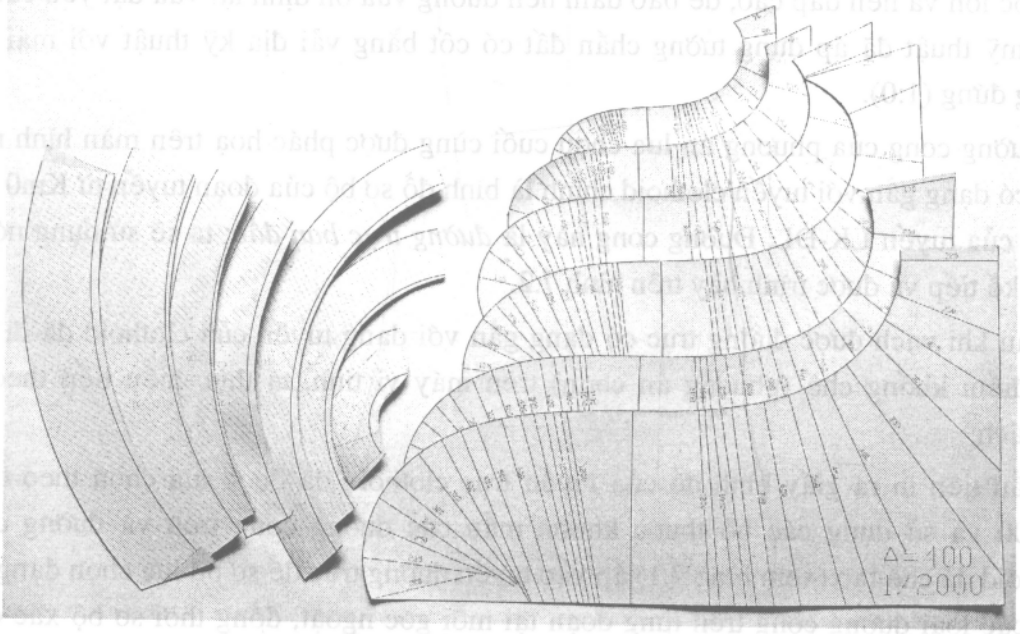
Bảng 7.2 (tiếp theo)

250	300	0,833	208,333	205,836	23,906
250	350	0,714	178,571	177,413	15,114
250	400	0,625	156,250	155,655	10,145
250	450	0,556	138,889	138,558	7,132
250	500	0,500	125,000	124,805	5,203
250	600	0,417	104,167	104,088	3,012
250	700	0,357	89,286	89,249	1,898
250	800	0,313	78,125	78,106	1,271
Với thông số A = 300					
A	R	A/R	$S = L = A^2/R$	x_o	y_o
300	125	2,400	720,000	308,232	374,116
300	150	2,000	600,000	400,342	299,244
300	175	1,714	514,286	413,793	215,616
300	200	1,500	450,000	396,287	154,095
300	225	1,333	400,000	369,530	111,995
300	250	1,200	360,000	341,780	83,253
300	275	1,091	327,273	315,873	63,290
300	300	1,000	300,000	292,586	49,114
300	350	0,857	257,143	253,694	31,185
300	400	0,750	225,000	223,227	20,975
300	450	0,667	200,000	199,015	14,763
300	500	0,600	180,000	179,418	10,775
300	600	0,500	150,000	149,766	6,243
300	700	0,429	128,571	128,463	3,933
300	800	0,375	112,500	112,444	2,636
300	900	0,333	100,000	99,969	1,851
300	1000	0,300	90,000	89,982	1,350
300	1100	0,273	81,818	81,807	1,014
Với thông số A = 350					
A	R	A/R	$S = L = A^2/R$	x_o	y_o
350	150	2,333	816,667	383,597	429,318
350	175	2,000	700,000	467,066	349,118
350	200	1,750	612,500	483,632	264,017

Bảng 7.2. (tiếp theo)

350	225	1,556	544,444	469,967	197,654
350	250	1,400	490,000	444,986	149,416
350	275	1,273	445,455	417,108	114,742
350	300	1,167	408,333	389,822	89,611
350	350	1,000	350,000	341,351	57,300
350	400	0,875	306,250	301,792	38,672
350	450	0,778	272,222	269,742	27,267
350	500	0,700	245,000	243,533	19,923
350	600	0,583	204,167	203,576	11,555
350	700	0,500	175,000	174,727	7,284
350	800	0,438	153,125	152,985	4,882
350	900	0,389	136,111	136,033	3,429
350	1000	0,350	122,500	122,454	2,500
350	1100	0,318	111,364	111,335	1,879
Với thông số A = 400					
A	R	A/R	$S = L = A^2/R$	x_o	y_o
400	200	2,000	800,000	533,789	398,992
400	225	1,778	711,111	552,881	312,841
400	250	1,600	640,000	542,795	242,728
400	275	1,455	581,818	519,996	189,333
400	300	1,333	533,333	492,707	149,327
400	350	1,143	457,143	438,027	96,523
400	400	1,000	400,000	390,115	65,486
400	450	0,889	355,556	350,046	46,303
400	500	0,800	320,000	316,739	33,884
400	600	0,667	266,667	265,353	19,684
400	700	0,571	228,571	227,963	12,416
400	800	0,500	200,000	199,688	8,324
400	900	0,444	177,778	177,604	5,849
400	1000	0,400	160,000	159,898	4,265
400	1100	0,364	145,455	145,391	3,205
400	1200	0,333	133,333	133,292	2,469

Trên hình 7.1 là ảnh chụp một số trong bộ thước khuôn mẫu các đường cong clothoid và các đường cong tròn được chế tạo trên bìa carton cứng dùng để thiết kế sơ bộ tuyến clothoid đoạn đường cao tốc LK-ĐL do chúng tôi thực hiện. Các thước mẫu này dùng để áp thử vào phương án đường trục tuyến clothoid được phác hoạ lựa chọn ban đầu.



Hình 7.1: Bộ thước khuôn mẫu
a) Các đường cong tròn ; b) Các đường cong clothoid

7.4. NỘI DUNG CHI TIẾT THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID ĐOẠN TỪ KM0 ĐẾN KM8 (TỨC KM210 ÷ KM218) CỦA ĐƯỜNG CAO TỐC LIÊN KHƯƠNG - ĐÀ LẠT

7.4.1. Thiết kế sơ bộ (thực hiện nội dung của bước 1):

Trình tự thực hiện như sau:

Dựa vào khảo sát thực địa kết hợp với nghiên cứu địa hình trên bình đồ tỷ lệ 1/2000 xác định sơ bộ các điểm khống chế có thể.

Phương án cuối cùng lựa chọn được 6 điểm khống chế. Tại các vị trí khống chế này là những chỗ chuyển tiếp từ chân đỉnh núi này sang chân đỉnh núi kề liền, có địa hình tương đối thoải, các đường đồng mức thưa hơn so với các nơi khác và có thể chuyển hướng tuyến. Đó là các điểm khống chế nằm khoảng giữa Km0 ÷ Km1, gần giữa Km1 ÷ Km2, gần cuối Km2, đầu Km4 và đầu K (xem hình 7.2).

Tại sáu điểm này, tuyến sẽ được chuyển hướng bởi sáu góc ngoặt γ_i (i = 1÷6) tạo nên bằng bảy đoạn nối với đầu tuyến Km0) và cuối tuyến (Km8).

Tiếp theo, sử dụng phần mềm (AutoCad, SoftDesk ...) mà không cần dùng thước cong dẻo như trước đây, để vạch trực tiếp trên máy vi tính các phương án đường cong tạo nên tuyến clothoid đi qua các điểm kiểm tra, ôm lượn địa hình. Tuyến được quan tâm thường bám dọc theo chân các hỏm núi xen kẽ và không phá vỡ cảnh quan xung quanh, hạn chế tối đa các đoạn đào sâu, đắp cao. Tại các chỗ tuyến đi qua hõm núi có độ dốc lớn và nền đắp cao, để bảo đảm nền đường vừa ổn định lại vừa đạt yêu cầu về mặt mỹ thuật đã áp dụng tường chắn đất có cốt bằng vải địa kỹ thuật với mái dốc thẳng đứng (1:0).

Đường cong của phương án lựa chọn cuối cùng được phác hoạ trên màn hình máy tính có dạng gần với tuyến clothoid chính là bình đồ sơ bộ của đoạn tuyến từ Km0 đến Km8 của tuyến LK-ĐL. Đường cong này là *đường trục ban đầu*; ta sẽ sử dụng nó để thiết kế tiếp và được trình bày trên hình 7.2.

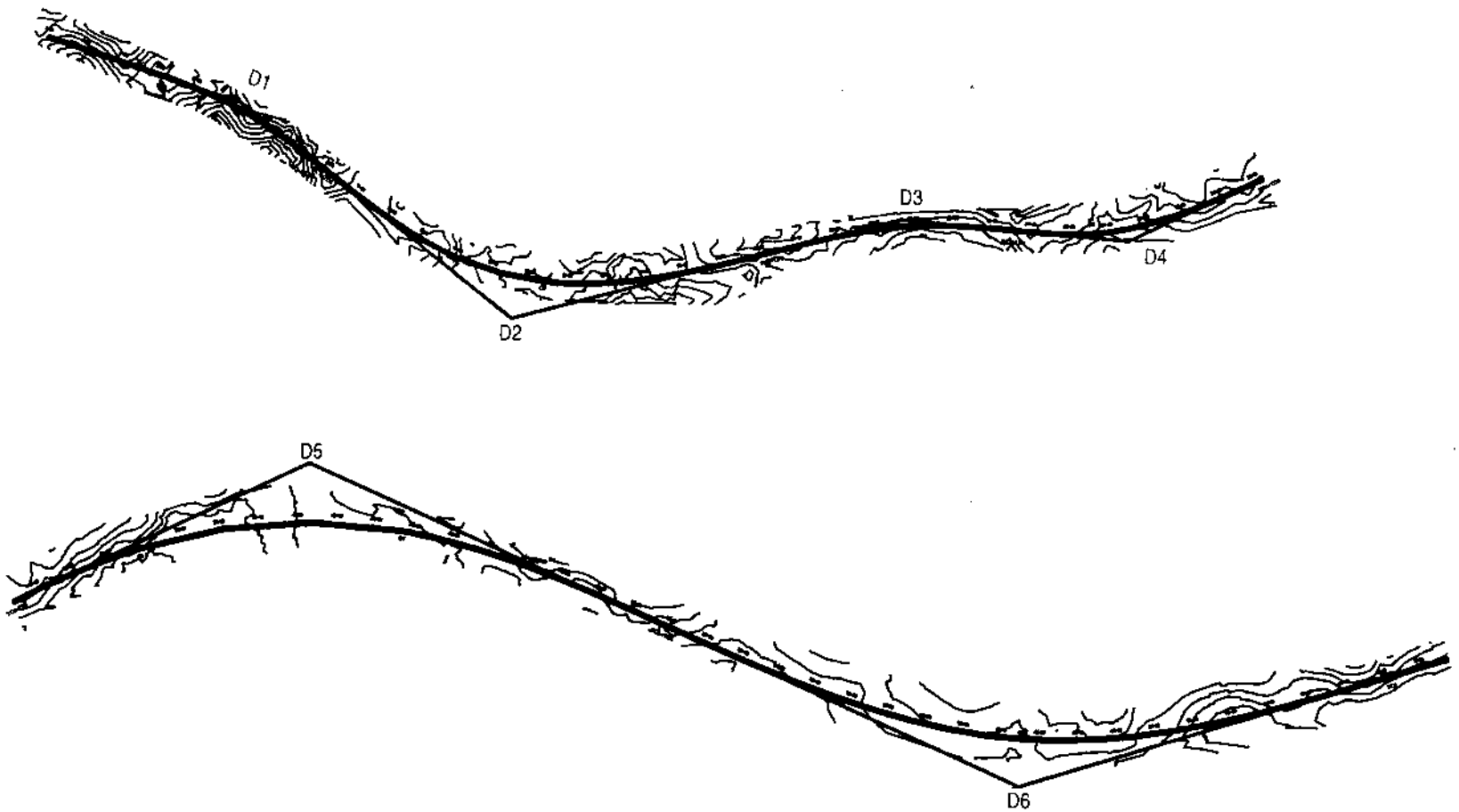
Sau khi vạch được đường trục có dạng gần với dạng tuyến của clothoid đã đi qua sáu điểm khống chế (phương án chọn) trên máy vi tính, ta thực hiện tiếp theo cả hai cách:

Đầu tiên in ra giấy bình đồ của tuyến trục clothoid đã được lựa chọn theo tỷ lệ 1/2000 và sử dụng các bộ thước khuôn mẫu các đường cong tròn và đường cong clothoid đã chế tạo (xem hình 7.1) áp vào tuyến đường trục để sơ bộ lựa chọn dạng kết hợp các loại đường cong trên từng đoạn tại mỗi góc ngoặt, đồng thời sơ bộ xác định bán kính và các thông số của những đường cong. Thiết kế sơ bộ theo cách này thực hiện hoàn toàn bằng phương pháp thủ công (Lưu ý rằng, khi người kỹ sư thiết kế tuyến clothoid có kinh nghiệm thì có thể bỏ qua bước vạch tuyến sơ bộ bằng phương pháp thủ công này).

Đồng thời, ngay trên màn hình của máy vi tính dựa theo dạng gần đúng của tuyến trục thiết kế ta dựng các đường tang, tức là các đường tiếp tuyến với các đường cong như đã trình bày trên hình 7.2, sau đó sử dụng các phần mềm có sẵn, tại các đỉnh ta áp các bán kính vào đường trục để lựa chọn trị số bán kính thích hợp. Nhờ có các số liệu về các toạ độ, thông số của mỗi loại thước khuôn mẫu mà công việc tính toán, thiết kế này có thể thực hiện ngay trên máy vi tính để từ đó lựa chọn được phương án kết hợp với các thông số hợp lý của các đường cong.

Dựa vào nghiên cứu địa hình cụ thể trên bình đồ ta quyết định được cách phối hợp các đường cong để tạo nên tuyến clothoid đoạn từ Km0 – Km8 của đường cao tốc LK-ĐL như sau:

Thực hiện thiết kế phối hợp các đường cong bắt đầu từ đỉnh D1 lần lượt từ đầu tuyến (DT) đến cuối tuyến (CT).



Hình 7.2: *Đường trục phác thảo tuyến clothoid từ km0-km8 đường LK-ĐL*

Tại đỉnh 1 (D1) có góc ngoặt $\gamma_1 = 19°16'16''$ bố trí hai đường cong clothoid đối xứng với bán kính R = 800m.

Tại đỉnh 2 (D2) có góc ngoặt $\gamma_2 = 52°41'58''$ bố trí hai đường cong clothoid không đối xứng và có đoạn chêm tròn có bán kính R = 700m. Đầu của đường cong chuyển tiếp 1 thuộc đỉnh D2 trùng với cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh D1 (tức $TC_1 \equiv TD_2$).

Tại đỉnh 3 (D3) có góc ngoặt $\gamma_3 = 19°45'18''$ bố trí hai đường cong clothoid không đối xứng với bán kính R = 900m. Đầu của đường cong chuyển tiếp 1 thuộc đỉnh D3 trùng với cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh D2 (tức $TC_2 \equiv TD_3$).

Tại đỉnh 4 (D4) có góc ngoặt $\gamma_4 = 30°28'50''$ bố trí hai đường cong clothoid nối với nhau trực tiếp không đối xứng có bán kính chung R = 600m. Đầu của đường cong chuyển tiếp 1 thuộc đỉnh D4 trùng với cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh D3 (tức $TC_3 \equiv TD_4$).

Tại đỉnh 5 (D5) có góc ngoặt $\gamma_5 = 49°32'15''$ bố trí hai đường cong clothoid không đối xứng có đoạn chêm tròn bán kính R = 1400m. Đầu của đường cong chuyển tiếp 1 thuộc đỉnh D5 trùng với cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh D4 (tức $TC_5 \equiv TD_4$).

Tại đỉnh 6 (D6) có góc ngoặt $\gamma_6 = 41°08'05''$ bố trí kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid đối xứng có bán kính R = 1300m. Đầu của đường cong chuyển tiếp 1 thuộc đỉnh D6 trùng với cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh D5 (tức $TC_5 \equiv TD_6$).

Cuối của đường cong chuyển tiếp 2 thuộc đỉnh 6 nối với cuối tuyến (Km8) bằng một đoạn thẳng.

Đầu tuyến (tại Km0) nối với đầu đường cong chuyển tiếp 1 của đỉnh D1 bằng một đoạn thẳng.

Ta thống kê thiết kế sơ bộ tuyến clothoid cho đoạn từ Km0-Km8 đường cao tốc LK-ĐL vào bảng 7.3 dưới đây.

7.4.2. Thiết kế và tính toán các chi tiết: (thực hiện nội dung của bước 2)

Sau khi xác định được hướng tuyến và sơ bộ quyết định các trường hợp kết hợp các đường cong ta tiến hành thiết kế, tính toán chi tiết các yếu tố của đường cong và xác định chính xác các thông số của chúng.

Để bạn đọc tiện theo dõi quá trình tính toán, trong phần này sau mỗi kết quả tính toán cho mỗi đỉnh, chúng tôi đưa vào bảng số liệu cắm cong tương ứng.

Bảng 7.3

Vị trí	Hình thức kết hợp	Bán kính lựa chọn sơ bộ R, m
DT đến TD_1	Đoạn thẳng	-
D1	Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid đối xứng	800
D2	Kết hợp hai đường cong clothoid không đối xứng ở giữa có đoạn chêm tròn	700
D3	Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid không đối xứng	900
D4	Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid không đối xứng	600
D5	Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid không đối xứng có đoạn chêm tròn	1400
D6	Kết hợp trực tiếp hai đường cong clothoid đối xứng	1300
TC_6 đến CT	Đoạn thẳng	-

7.4.2.1. Đỉnh 1: Bố trí hai đường cong clothoid đối xứng

Số liệu:

Chiều dài đường tang:

DT - D_1 = 528,09 m

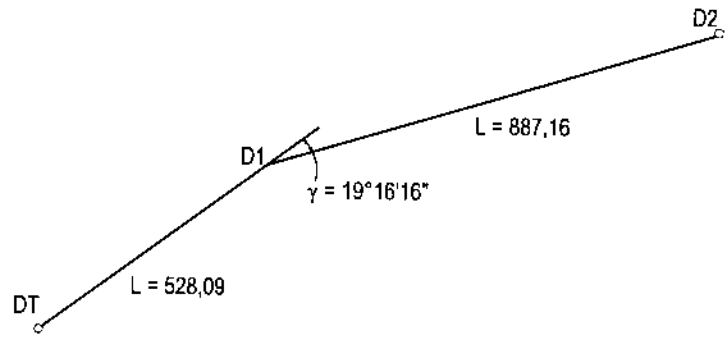
D_1D_2 = 887,16 m

Góc chuyển hướng:

$\gamma = 19^o16'16''$

Chọn bán kính R = 800 m.

Ta có góc $\beta = \dfrac{\gamma}{2} = 9^o51'38''$



Từ giá trị góc β ta tính bằng các công thức giải tích hay tra bảng được các thông số của clothoid ứng với bán kính đơn vị

Góc β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
9,8605	0,3441953	0,5866816	0,0049315	0,1719277	0,3431773	0,019703

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân chúng với R = 800m:

L	A	p	t	x_o	y_o
275,35621	469,34528	3,9452	137,54216	274,54184	15,7624

Chiều dài đường tang:

$$T_1 = T_2 = x_o + y_o tg\frac{\gamma}{2} = 274,54184 + 15,7624.tg\frac{19^o16'16''}{2} = 277,29m$$

Từ các thông số trên áp dụng công thức:

$$x = S - \frac{S^3}{40A^2} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + ...$$

$$= S - \frac{S^3}{40.(469,34528)^2} + \frac{S^9}{3456.(469,34528)^8} - \frac{S^{13}}{599040.(469,34528)^{12}} + ...$$

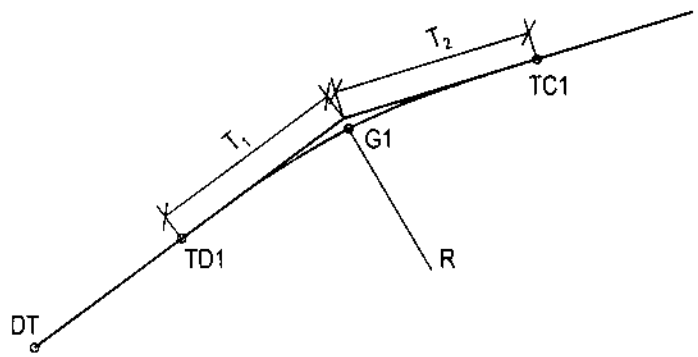
$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} + ...$$

$$= \frac{S^3}{6.(469,34528)^2} - \frac{S^7}{336.(469,34528)^6} + \frac{S^{11}}{42240.(469,34528)^{10}} - ...$$

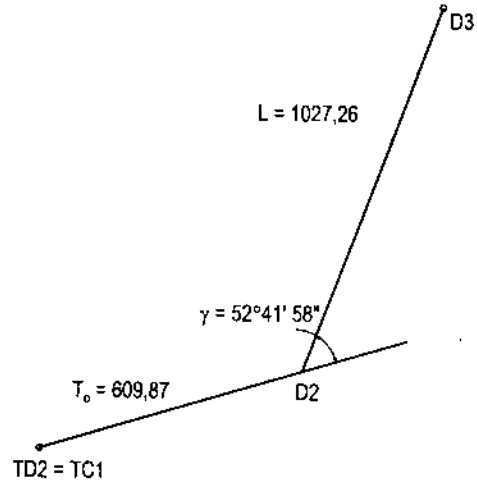
lập bảng toạ độ để cắm đường cong clothoid theo sơ đồ dưới đây (xem bảng 7.4)

Bảng 7.4. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D1

A	S=L	X	Y	S=L	X	Y
469,35	0	0,00	0,00	150	149,96	2,55
469,35	10	10,00	0,00	160	159,95	3,10
469,35	20	20,00	0,01	170	169,93	3,72
469,35	30	30,00	0,02	180	179,90	4,41
469,35	40	40,00	0,05	190	189,87	5,19
469,35	50	50,00	0,09	200	199,84	6,05
469,35	60	60,00	0,16	210	209,79	7,00
469,35	70	70,00	0,26	220	219,73	8,05
469,35	80	80,00	0,39	230	229,67	9,20
469,35	90	90,00	0,55	240	239,59	10,45
469,35	100	99,99	0,76	250	249,50	11,80
469,35	110	109,99	1,01	260	259,39	13,28
469,35	120	119,99	1,31	270	269,26	14,86
469,35	130	129,98	1,66	275,36	274,54	15,76
469,35	140	139,97	2,08			



7.4.2.2. Đỉnh 2: Bố trí hai đường cong chuyển tiếp không đối xứng có đoạn chêm tròn ở giữa:



Số liệu:

Chiều dài đường tang:

D_2D_3 = 1027,26m

Góc chuyển hướng: $\gamma = 52^o41'58"$

Chiều dài đường tang còn lại để bố trí đường cong tại đỉnh 2 là: $T_o = D_1D_2 - T_2$ = 887,16 – 227,29 = 609,87 m.

Sử dụng các phần mềm vẽ đường cong tròn và đường cong chuyển tiếp áp vào bình đồ ta chọn sơ bộ: bán kính R = 700m, A_1 = 500, A_2 = 600. Lập tỉ số $\frac{A_1}{R}$ và $\frac{A_2}{R}$. Tính theo các công thức giải tích hay tra bảng ta suy ra được các yếu tố của đường cong ứng với bán kính đơn vị.

	β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
Nhánh 1	$14^0 36'59"$	0,5102041	0,7142857	0,010821	0,254549	0,506894	0,043183
Nhánh 2	$21^0 02'51"$	0,734694	0,8571429	0,022383	0,365701	0,724841	0,089099

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân các trị số ở bảng trên với bán kính R = 700m (trừ giá trị góc β):

	β	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	$14^0 36'59"$	357,1428	499,9999	7,5747	178,1843	354,8258	30,2281
Nhánh 2	$21^0 02'51"$	514,2858	600,0000	15,668	255,9907	507,3887	62,3693

Từ các giá trị trên áp dụng công thức:

$$T_1 = T_k + Z_1 + t_{01} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} + t_{01}$$

$$= (700+7,5747)\,tg\frac{52^o41'58"}{2} + \frac{(15,668 - 7,5747)}{\sin 52^o41'58"} + 178,1843 = 533,83m$$

và $T_2 = T_k - Z_2 + t_{02} = (R+p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} - (p_2 - p_1)\,cotg\gamma + t_{02}$

Ta thấy T_1 = 533,83 < T_o = 609,87. Để hai clothoid nối tiếp nhau thì T_1 = 609,87 do đó ta nhân tất cả các thông số tìm được của hai clothoid (trừ giá trị góc β) với tỉ số $\frac{T_0}{T_1} = \frac{609,87}{533,83} = 1,132$.

Các thông số sau khi hiệu chỉnh:

	R	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	792,29	404,2296	565,92141	8,573370	201,6766	401,6070	34,2134
Nhánh 2	792,29	582,0907	679,10574	17,73382	289,7412	574,2842	70,5922

Chiều dài các đường tang T_1 và T_2 được tính từ các trị số ở bảng trên như sau:

$$T_1 = T_k + Z_1 + t_{01} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} + t_{01}$$

$$= (792,29 + 8,573370)\,tg\frac{52^o41'88''}{2} + \frac{(17,73382 - 8,57337)}{\sin 52^o41'88''} + 201,6766 = 609,87m$$

$$T_2 = T_k - Z_2 + t_{02} = (R+p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} - (p_2 - p_1)\,cotg\gamma + t_{02}$$

$$= (792,29 + 8,573370)\,tg\frac{52^o41'88''}{2} + (17,73382 - 8,57337)\,cotg(52^o41'88'') + 289,7412$$

$$= 679,44 \text{ m}$$

Góc ứng với phần còn lại của đường cong tròn: $\alpha = \gamma - \beta_1 - \beta_2 = 17^0 2'8''$

Chiều dài đoạn chêm tròn:

$$K = \frac{R\pi\alpha}{180} = \frac{792,29 \times \pi \times 17,036}{180} = 235,57 \text{ m}$$

Có chiều dài đường tang và thay giá trị của các thông số vào công thức (cách làm tương tự như đối với đỉnh D_1):

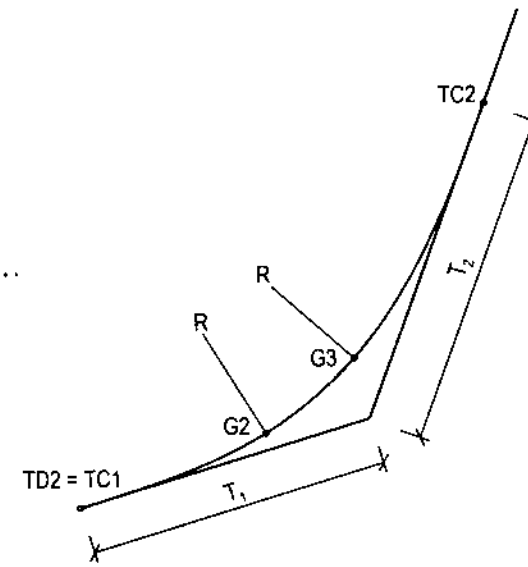
$$x = S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + \cdots$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} \cdots$$

với A = 565,92141 đối với nhánh T_1

A = 679,10574 đối với nhánh T_2

ta lập được bảng toạ độ để cắm các đường cong theo sơ đồ (xem bảng 7.5).



Bảng 7.5. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D2

Nhánh 1:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
565.92	0.00	0,00	0,00	210,00	209,90	4,82
565,92	10,00	10,00	0,00	220,00	219,87	5,54
565,92	20,00	20,00	0,00	230,00	229,84	6,33
565,92	30,00	30,00	0,01	240,00	239,81	7,19
565,92	40,00	40,00	0,03	250,00	249,76	8,13
565,92	50,00	50,00	0,07	260,00	259,71	9,14
565,92	60,00	60,00	0,11	270,00	269,65	10,23
565,92	70,00	70,00	0,18	280,00	279,58	11,41
565,92	80,00	80,00	0,27	290,00	289,50	12,68
565,92	90,00	90,00	0,38	300,00	299,41	14,03
565,92	100,00	100,00	0,52	310,00	309,30	15,48
565,92	110,00	110,00	0,69	320,00	319,18	17,02
565,92	120,00	119,99	0,90	330,00	329,05	18,66
565,92	130,00	129,99	1,14	340,00	338,89	20,41
565,92	140,00	139,99	1,43	350,00	348,72	22,25
565,92	150,00	149,98	1,76	360,00	358,53	24,21
565,92	160,00	159,97	2,13	370,00	368,31	26,27
565,92	170,00	169,97	2,56	380,00	378,07	28,45
565,92	180,00	179,95	3,03	390,00	387,81	30,75
565,92	190,00	189,94	3,57	400,00	397,51	33,16
565,92	200,00	199,92	4,16	404,23	401,61	34,21
Nhánh 2:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
679,11	0,00	0,00	0,00	300,00	299,71	9,75
679,11	10,00	10,00	0,00	310,00	309,66	10,76
679,11	20,00	20,00	0,00	320,00	319,61	11,83
679,11	30,00	30,00	0,01	330,00	329,54	12,97
679,11	40,00	40,00	0,02	340,00	339,47	14,19
679,11	50,00	50,00	0,05	350,00	349,38	15,48
679,11	60,00	60,00	0,08	360,00	359,29	16,84
679,11	70,00	70,00	0,12	370,00	369,19	18,28
679,11	80,00	80,00	0,19	380,00	379,07	19,80
679,11	90,00	90,00	0,26	390,00	388,94	21,40
679,11	100,00	100,00	0,36	400,00	398,80	23,08
679,11	110,00	110,00	0,48	410,00	408,64	24,85

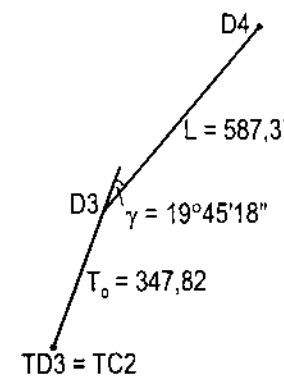
Bảng 7.5 (tiếp theo)

679,11	120,00	120,00	0,62	420,00	418,47	26,70
679,11	130,00	130,00	0,79	430,00	428,28	28,65
679,11	140,00	139,99	0,99	440,00	438,07	30,69
679,11	150,00	149,99	1,22	450,00	447,84	32,82
679,11	160,00	159,99	1,48	460,00	457,58	35,04
679,11	170,00	169,98	1,78	470,00	467,31	37,37
679,11	180,00	179,98	2,11	480,00	477,01	39,79
679,11	190,00	189,97	2,48	490,00	486,69	42,31
679,11	200,00	199,96	2,89	500,00	496,34	44,94
679,11	210,00	209,95	3,35	510,00	505,96	47,67
679,11	220,00	219,94	3,85	520,00	515,55	50,50
679,11	230,00	229,92	4,40	530,00	525,11	53,45
679,11	240,00	239,91	4,99	540,00	534,63	56,50
679,11	250,00	249,89	5,64	550,00	544,11	59,67
679,11	260,00	259,86	6,35	560,00	553,56	62,94
679,11	270,00	269,83	7,11	570,00	562,97	66,34
679,11	280,00	279,80	7,93	580,00	572,33	69,84
679,11	290,00	289,76	8,81	582,09	574,28	70,59

Đường cong tròn:

STT	n	nl/R	S = nl	X'	Y'
1	0	0,00	0	0,00	0,00
2	1	0,03	20	20,00	0,25
3	2	0,05	40	39,98	1,01
4	3	0,08	60	59,94	2,27
5	4	0,10	80	79,86	4,04
6	5	0,13	100	99,73	6,30
7	5,89	0,15	117,79	117,37	8,74

7.4.2.3. Đỉnh 3: Bố trí hai clothoid nối tiếp không đối xứng:



Số liệu:

Chiều dài đường tang:

D_3D_4 = 587,37 m

Góc chuyển hướng $\gamma = 19^0 45' 18''$

Chiều dài còn lại để bố trí đường cong tại đỉnh 3 là:

$T_0 = D_2D_3 - T_2 = 1027,26 - 679,44 = 347,82$ m

Đầu tiên ta sử dụng các phần mềm vẽ đường cong tròn áp vào bình đồ để chọn sơ bộ bán kính R = 900m. Với bán kính này chiều dài cung tròn là 310 m. Chọn sơ bộ hai clothoid có nửa chiều dài lần lượt là $\frac{L_1}{2} = 200\,m$ và $\frac{L_2}{2} = 110\,m$.

$$\Rightarrow \quad A_1 = \sqrt{L_1 R} = \sqrt{400 \times 900} = 600\,m$$

$$A_2 = \sqrt{L_2 R} = \sqrt{220 \times 900} = 445\,m$$

Chọn $A_1 = 600m$, $A_2 = 450m$.

Ta tính lại bán kính R:

$$R = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2}{\gamma} \times 28,65} = 903,2\,m$$

Lập tỉ số $\frac{A_1}{R}$ và $\frac{A_2}{R}$. Tính toán tra bảng ta suy ra được các yếu tố của đường cong ứng với bán kính đơn vị:

	Góc β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
Nhánh 1	$12^0$38'34"	0,441308	0,66430	0,008101	0,220296	0,439164	0,03234
Nhánh 2	$7^0$6'41"	0,248237	0,498227	0,002566	0,12405	0,247855	0,01026

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân chúng với bán kính R(trừ giá trị góc β):

R = 903,2	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	398,5909	600,0000	7,317275	198,9724	396,6542	29,218
Nhánh 2	224,2087	449,9999	2,318095	112,0467	223,8638	9,26689

Chiều dài đường tang:

$$T_1 = T_{\partial_1} + Z_1 = x_{01} - y_{01}\cot g\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 342,71\ m$$

Ta thấy $T_1 = 342,71 < T_0 = 347,82$, Để hai clothoid nối tiếp nhau thì $T_1 = 347,82$ do đó ta nhân tất cả các thông số tìm được của hai clothoid (trừ giá trị góc β) với tỉ số $\frac{T_0}{T_1} = \frac{347,82}{342,71} = 1,015$.

Các thông số sau khi hiệu chỉnh:

	R	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	916,7002	404,5477	608,96673	7,426628	201,9459	402,5820	29,65464
Nhánh 2	916,7002	227,5594	456,72500	2,352738	113,7212	227,2093	9,405381

Chiều dài các đường tang T_1 và T_2 được tính từ các trị số ở bảng trên như sau:

$$T_1 = T_{\partial_1} + Z_1 = x_{01} - y_{01}\cot g\,\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 347{,}82\text{ m}$$

$$T_2 = T_{\partial_2} + Z_2 = x_{02} - y_{02}\cot g\beta_2 + \frac{\sin\beta_1\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 288{,}75\text{ m}$$

Có chiều dài đường tang và thay các trị số của các thông số vào công thức (cách làm tương tự như đối với đỉnh D_1):

$$x = S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + \cdots$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} \cdots$$

với A = 608,96673 đối với nhánh T_1

A = 456,725 đối với nhánh T_2

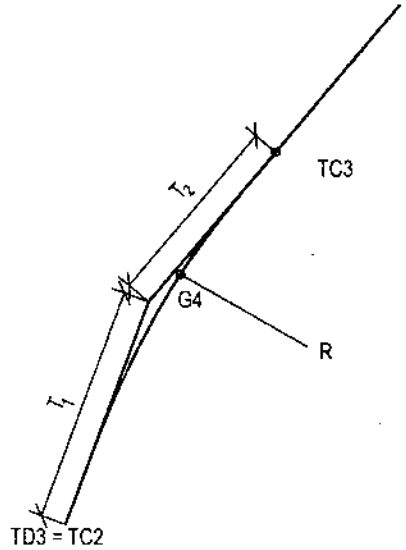
ta lập được bảng toạ độ để cắm các đường cong clothoid theo sơ đồ (xem bảng 7,6)

Bảng 7.6. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D3

Nhánh 1:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
608,97	0,00	0,00	0,00	210,00	209,93	4,16
608,97	10,00	10,00	0,00	220,00	219,91	4,78
608,97	20,00	20,00	0,00	230,00	229,88	5,47
608,97	30,00	30,00	0,01	240,00	239,86	6,21
608,97	40,00	40,00	0,03	250,00	249,82	7,02
608,97	50,00	50,00	0,06	260,00	259,78	7,89
608,97	60,00	60,00	0,10	270,00	269,74	8,84
608,97	70,00	70,00	0,15	280,00	279,69	9,86
608,97	80,00	80,00	0,23	290,00	289,63	10,95
608,97	90,00	90,00	0,33	300,00	299,56	12,12
608,97	100,00	100,00	0,45	310,00	309,48	13,37
608,97	110,00	110,00	0,60	320,00	319,39	14,71
608,97	120,00	120,00	0,78	330,00	329,29	16,13

Bảng 7.6 (tiếp theo)

608,97	130,00	129,99	0,99	340,00	339,17	17,63
608,97	140,00	139,99	1,23	350,00	349,05	19,23
608,97	150,00	149,99	1,52	360,00	358,90	20,92
608,97	160,00	159,98	1,84	370,00	368,74	22,71
608,97	170,00	169,97	2,21	380,00	378,56	24,59
608,97	180,00	179,97	2,62	390,00	388,36	26,58
608,97	190,00	189,95	3,08	400,00	398,14	28,67
608,97	200,00	199,94	3,59	404,55	402,58	29,65
Nhánh 2:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
456,73	0,00	0,00	0,00	120,00	119,99	1,38
456,73	10,00	10,00	0,00	130,00	129,98	1,76
456,73	20,00	20,00	0,01	140,00	139,97	2,19
456,73	30,00	30,00	0,02	150,00	149,96	2,70
456,73	40,00	40,00	0,05	160,00	159,94	3,27
456,73	50,00	50,00	0,10	170,00	169,92	3,92
456,73	60,00	60,00	0,17	180,00	179,89	4,66
456,73	70,00	70,00	0,27	190,00	189,86	5,48
456,73	80,00	80,00	0,41	200,00	199,82	6,39
456,73	90,00	90,00	0,58	210,00	209,77	7,39
456,73	100,00	99,99	0,80	220,00	219,70	8,50
456,73	110,00	109,99	1,06	227,56	227,21	9,40

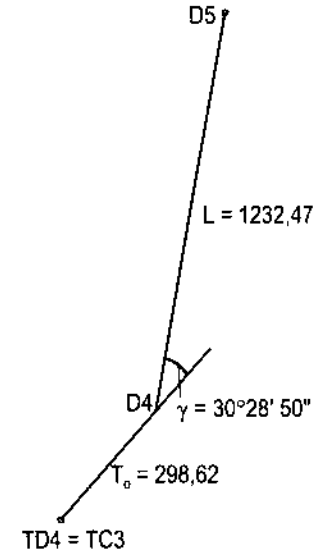


7.4.2.4. Đỉnh 4: Bố trí hai clothoid nối tiếp không đối xứng

Số liệu:

Chiều dài đường tang: $D_4D_5 = 1232,47$ m

Góc chuyển hướng $\gamma = 30^o28'50''$



Chiều dài còn lại để bố trí đường cong tại đỉnh 4 là: $T_o = D_3D_4 - T_2 = 587,37 - 288,75 = 298,62$ m,

Sử dụng các phần mềm vẽ đường cong tròn áp vào bình đồ ta chọn sơ bộ bán kính R = 600 m. Với bán kính này chiều dài cung tròn là 319 m. Chọn sơ bộ hai clothoid có chiều dài lần lượt là $\frac{L_1}{2} \approx 100\,\text{m}$ và $\frac{L_2}{2} \approx 225\,\text{m}$.

$$\Rightarrow A_1 = \sqrt{L_1R} = \sqrt{200 \times 600} = 346\,\text{m}$$

$$A_2 = \sqrt{L_2R} = \sqrt{450 \times 600} = 520\,\text{m}$$

Ta tính lại bán kính R: $R = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2}{\gamma} \times 28,65} = 605,55\,\text{m}$

Lập tỉ số $\frac{A_1}{R}$ và $\frac{A_2}{R}$. Tính toán theo các công thức giải tích hay tra bảng ta suy ra được các yếu tố của đường cong ứng với bán kính đơn vị:

	Góc β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
Nhánh 1	$9^0 21'11''$	0,3264784	0,571382	0,004437	0,16309	0,325609	0,01773
Nhánh 2	$21^0 7'31''$	0,7374119	0,8587257	0,022548	0,367041	0,727449	0,08975

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân các trị số ở bảng trên với bán kính R = 600m (trừ giá trị góc β):

R = 605,55	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	197,6985	346,0000	2,687157	98,7613	197,1721	10,7371
Nhánh 2	446,5386	519,9999	13,65396	222,261	440,5060	54,3502

Chiều dài đường tang:

$$T_1 = T_{\partial_1} + Z_1 = x_{01} - y_{01}\cot g\,\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 286,07\text{ m}$$

Ta thấy $T_1 = 286,07 < T_0 = 298,62$, Để hai clothoid nối tiếp nhau thì $T_1 = 298,62$ do đó ta nhân tất cả các thông số tìm được của hai clothoid (trừ giá trị góc β) với tỉ số $\frac{T_0}{T_1} = \frac{298,62}{286,07} = 1.044$

Các thông số sau khi hiệu chỉnh:

	R	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	632,1059	206,368	361,1744	2,80500	103,092	205,8195	11,2080
Nhánh 2	632,1059	466,122	542,8055	14,2527	232,009	459,8253	56,7339

Chiều dài đường tang T_1 và T_2 được tính từ các trị số ở bảng trên như sau:

$$T_1 = T_{\partial_1} + Z_1 = x_{01} - y_{01}\cot g\,\beta_1 + \frac{\sin\beta_2\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 298,62\text{ m}$$

$$T_2 = T_{\partial_2} + Z_2 = x_{02} - y_{02}\cot g\beta_2 + \frac{\sin\beta_1\left(\frac{y_{01}}{\sin\beta_1} + \frac{y_{02}}{\sin\beta_2}\right)}{\sin\gamma} = 385,52\text{m}$$

Có chiều dài đường tang và giá trị của các thông số, áp dụng công thức (cách làm tương tự như đối với đỉnh D_1):

$$x = S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + \cdots$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} \cdots$$

với $A = 361,1744$ đối với nhánh T_1;

$A = 542,8055$ đối với nhánh T_2.

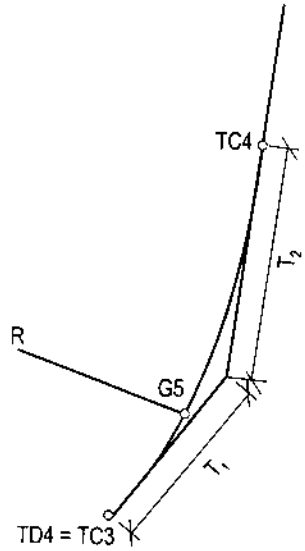
ta lập được bảng toạ độ để cắm các đường cong clothoid theo sơ đồ (bảng 7.7)

Bảng 7.7. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D4

Nhánh 1:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
361,17	0,00	0,00	0,00	110,00	109,98	1,70
361,17	10,00	10,00	0,00	120,00	119,96	2,21
361,17	20,00	20,00	0,01	130,00	129,95	2,81
361,17	30,00	30,00	0,03	140,00	139,92	3,50
361,17	40,00	40,00	0,08	150,00	149,89	4,31

Bảng 7.7 (tiếp theo)

361,17	50,00	50,00	0,16	160,00	159,85	5,23
361,17	60,00	60,00	0,28	170,00	169,79	6,27
361,17	70,00	70,00	0,44	180,00	179,72	7,44
361,17	80,00	80,00	0,65	190,00	189,64	8,75
361,17	90,00	89,99	0,93	200,00	199,53	10,20
361,17	100,00	99,99	1,28	206,37	205,82	11,21
Nhánh 2:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
542,81	0,00	0,00	0,00	240,00	239,77	7,81
542,81	10,00	10,00	0,00	250,00	249,72	8,83
542,81	20,00	20,00	0,00	260,00	259,66	9,93
542,81	30,00	30,00	0,02	270,00	269,59	11,12
542,81	40,00	40,00	0,04	280,00	279,50	12,40
542,81	50,00	50,00	0,07	290,00	289,41	13,78
542,81	60,00	60,00	0,12	300,00	299,30	15,25
542,81	70,00	70,00	0,19	310,00	309,18	16,82
542,81	80,00	80,00	0,29	320,00	319,04	18,50
542,81	90,00	90,00	0,41	330,00	328,87	20,28
542,81	100,00	100,00	0,57	340,00	338,69	22,17
542,81	110,00	110,00	0,75	350,00	348,49	24,18
542,81	120,00	119,99	0,98	360,00	358,26	26,30
542,81	130,00	129,99	1,24	370,00	368,01	28,54
542,81	140,00	139,98	1,55	380,00	377,72	30,91
542,81	150,00	149,98	1,91	390,00	387,41	33,40
542,81	160,00	159,97	2,32	400,00	397,06	36,01
542,81	170,00	169,96	2,78	410,00	406,68	38,76
542,81	180,00	179,95	3,30	420,00	416,25	41,64
542,81	190,00	189,93	3,88	430,00	425,79	44,66
542,81	200,00	199,91	4,52	440,00	435,27	47,82
542,81	210,00	209,88	5,24	450,00	444,71	51,11
542,81	220,00	219,85	6,02	460,00	454,10	54,55
542,81	230,00	229,81	6,88	466,12	459,83	56,73



7.4.2.5. Đỉnh 5: Bố trí hai đường cong chuyển tiếp không đối xứng ở giữa có đoạn chêm tròn

Số liệu:

Chiều dài đường tang:

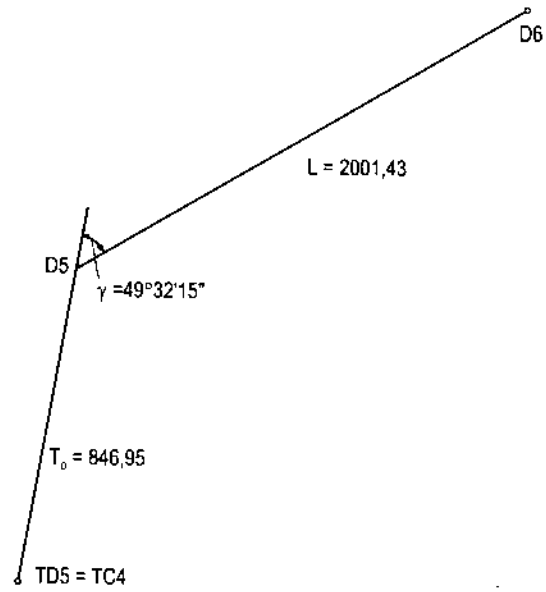
$D_5D_6 = 2001,43$ m

Góc chuyển hướng $\gamma = 49^0 32' 15''$

Chiều dài còn lại để bố trí đường cong tại đỉnh 5 là:

$T_o = D_4D_5 - T_2 = 1232,47 - 385,52$

$= 846,95$ m.



Sử dụng các phần mềm vẽ các đường cong tròn và đường cong clothoid áp vào bình đồ ta chọn sơ bộ bán kính R = 1400 m, A_1 = 700m, A_2 = 1000m (cơ sở để lựa chọn các thông số này là chiều dài của cung tròn và chiều dài còn lại của đường tang).

Lập tỉ số $\frac{A_1}{R}$ và $\frac{A_2}{R}$, Tính theo các công thức giải tích hay tra bảng ta suy ra được các yếu tố của đường cong ứng với bán kính đơn vị:

	β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
Nhánh 1	$7^0 9' 43''$	0,25	0,5	0,002603	0,12493	0,2496	0,01040
Nhánh 2	$14^0 36' 59''$	0,510204	0,714285	0,01082	0,25454	0,50689	0,04318

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân các trị số ở bảng trên với bán kính R = 1400m (trừ giá trị góc β):

	β	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	$7^0$9'43"	350	700	3,6442	174,909	349,454	14,567
Nhánh 2	$14^0$36'59"	714,28574	999,99998	15,1494	356,3686	709,6516	60,4562

Từ các giá trị trên áp dụng công thức

$$T_1 = T_k + Z_1 + t_{01} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} + t_{01} = 837{,}68 \text{ m}$$

và $$T_2 = T_k - Z_2 + t_{02} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} - (p_2 - p_1)\ \text{cotg}\gamma + t_{02}$$

Ta thấy $T_1 = 837{,}68 < T_0 = 846{,}95$. Để hai clothoid nối tiếp nhau thì $T_1 = 846{,}95$ do đó ta nhân tất cả các thông số tìm được của hai clothoid (trừ giá trị góc β) với tỉ số $\frac{T_0}{T_1} = \frac{846{,}95}{837{,}68} = 1{,}011$

Các thông số sau khi hiệu chỉnh:

	R	L	A	p	t	x_o	y_o
Nhánh 1	1415,5	353,87394	707,7478	3,684535	176,84496	353,3219	14,72823
Nhánh2	1415,5	722,19174	1011,0683	15,31708	360,31303	717,5063	61,12535

Chiều dài các đường tang T_1 và T_2 được tính từ các trị số ở bảng trên như sau:

$$T_1 = T_k + Z_1 + t_{01} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\sin\gamma} +$$

$t_{01} = 846{,}95$ m

$$T_2 = T_k - Z_2 + t_{02} = (R + p_1)\,tg\frac{\gamma}{2} - (p_2 - p_1)$$

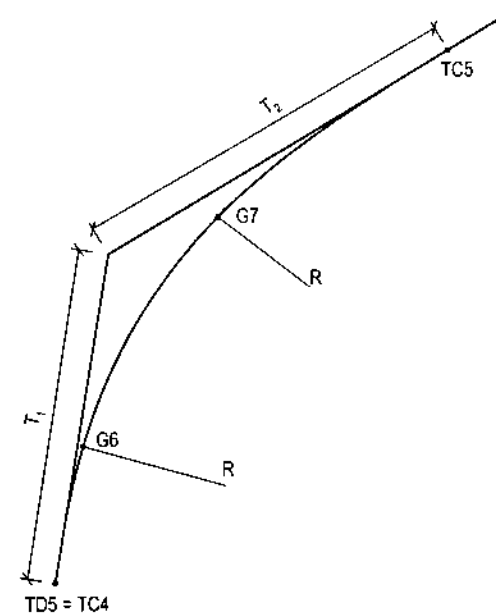
$\text{cotg}\gamma + t_{02} = 1005{,}21$ m

Góc ứng với phần còn lại của đường cong tròn: $\alpha = \gamma - \beta_1 - \beta_2 = 27^0 45'33"$

Chiều dài đoạn chêm tròn:

$$K = \frac{R\pi\alpha}{180} = \frac{1415.5 \times \pi \times 27.76}{180}$$

$= 685{,}79$ m



Có chiều dài đường tang và thay giá trị của các thông số vào công thức (cách làm tương tự như đối với đỉnh D_1):

$$x = S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + \cdots$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} \cdots$$

với $A_1 = 707,7478$ đối với nhánh T_1

$A_2 = 1011,0683$ đối với nhánh T_2

ta lập bảng toạ độ để cắm các đường cong clothoid theo sơ đồ (xem bảng 7.8)

Bảng 7.8. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D5

Nhánh 1:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
707,75	0,00	0,00	0,00	190,00	189,98	2,28
707,75	10,00	10,00	0,00	200,00	199,97	2,66
707,75	20,00	20,00	0,00	210,00	209,96	3,08
707,75	30,00	30,00	0,01	220,00	219,95	3,54
707,75	40,00	40,00	0,02	230,00	229,94	4,05
707,75	50,00	50,00	0,04	240,00	239,92	4,60
707,75	60,00	60,00	0,07	250,00	249,90	5,20
707,75	70,00	70,00	0,11	260,00	259,88	5,85
707,75	80,00	80,00	0,17	270,00	269,86	6,55
707,75	90,00	90,00	0,24	280,00	279,83	7,30
707,75	100,00	100,00	0,33	290,00	289,80	8,11
707,75	110,00	110,00	0,44	300,00	299,76	8,98
707,75	120,00	120,00	0,57	310,00	309,71	9,91
707,75	130,00	130,00	0,73	320,00	319,67	10,89
707,75	140,00	139,99	0,91	330,00	329,61	11,95
707,75	150,00	149,99	1,12	340,00	339,55	13,07
707,75	160,00	159,99	1,36	350,00	349,48	14,25
707,75	170,00	169,99	1,63	353,87	353,32	14,73
Nhánh 2:						
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
1011,07	0,00	0,00	0,00	370,00	369,83	8,26
1011,07	10,00	10,00	0,00	380,00	379,81	8,94
1011,07	20,00	20,00	0,00	390,00	389,78	9,67
1011,07	30,00	30,00	0,00	400,00	399,76	10,43
1011,07	40,00	40,00	0,01	410,00	409,72	11,23
1011,07	50,00	50,00	0,02	420,00	419,69	12,07

Bảng 7.8 (tiếp theo)

1011,07	60,00	60,00	0,04	430,00	429,65	12,96
1011,07	70,00	70,00	0,06	440,00	439,61	13,88
1011,07	80,00	80,00	0,08	450,00	449,56	14,85
1011,07	90,00	90,00	0,12	460,00	459,51	15,86
1011,07	100,00	100,00	0,16	470,00	469,45	16,91
1011,07	110,00	110,00	0,22	480,00	479,39	18,01
1011,07	120,00	120,00	0,28	490,00	489,32	19,16
1011,07	130,00	130,00	0,36	500,00	499,25	20,36
1011,07	140,00	140,00	0,45	510,00	509,18	21,60
1011,07	150,00	150,00	0,55	520,00	519,09	22,90
1011,07	160,00	160,00	0,67	530,00	529,00	24,24
1011,07	170,00	170,00	0,80	540,00	538,90	25,64
1011,07	180,00	180,00	0,95	550,00	548,80	27,08
1011,07	190,00	189,99	1,12	560,00	558,68	28,58
1011,07	200,00	199,99	1,30	570,00	568,56	30,14
1011,07	210,00	209,99	1,51	580,00	578,43	31,75
1011,07	220,00	219,99	1,74	590,00	588,29	33,42
1011,07	230,00	229,98	1,98	600,00	598,14	35,14
1011,07	240,00	239,98	2,25	610,00	607,98	36,92
1011,07	250,00	249,98	2,55	620,00	617,81	38,76
1011,07	260,00	259,97	2,87	630,00	627,63	40,66
1011,07	270,00	269,97	3,21	640,00	637,44	42,62
1011,07	280,00	279,96	3,58	650,00	647,23	44,64
1011,07	290,00	289,95	3,98	660,00	657,01	46,72
1011,07	300,00	299,94	4,40	670,00	666,78	48,87
1011,07	310,00	309,93	4,86	680,00	676,53	51,08
1011,07	320,00	319,92	5,34	690,00	686,27	53,35
1011,07	330,00	329,91	5,86	700,00	695,99	55,69
1011,07	340,00	339,89	6,41	710,00	705,70	58,10
1011,07	350,00	349,87	6,99	720,00	715,38	60,57
1011,07	360,00	359,86	7,60	722,19	717,51	61,13

Đường cong tròn:

STT	n	nl/R	S = nl	X'	Y'
1	0	0,00	0	0,00	0,00
2	1	0,03	20	20,00	0,25
3	2	0,05	40	39,98	1,01
4	3	0,08	60	59,94	2,27

Bảng 7.8 (tiếp theo)

5	4	0,10	80	79,86	4,04
6	5	0,13	100	99,73	6,30
7	6	0,15	120	119,54	9,07
8	7	0,18	140	139,27	12,34
9	8	0,20	160	158,91	16,10
10	9	0,23	180	178,46	20,36
11	10	0,25	200	197,88	25,11
12	11	0,28	220	217,18	30,35
13	12	0,30	240	236,35	36,07
14	13	0,33	260	255,36	42,28
15	14	0,35	280	274,21	48,96
16	15	0,38	300	292,88	56,12
17	16	0,40	320	311,37	63,75
18	17	0,43	340	329,66	71,84
19	17,145	0,43	342,9	332,29	73,05

7.4.2.6. Đỉnh 6: Bố trí hai đường cong clothoid nối tiếp đối xứng

Số liệu:

Chiều dài đường tang:

$D_6CT = 1633,67m$

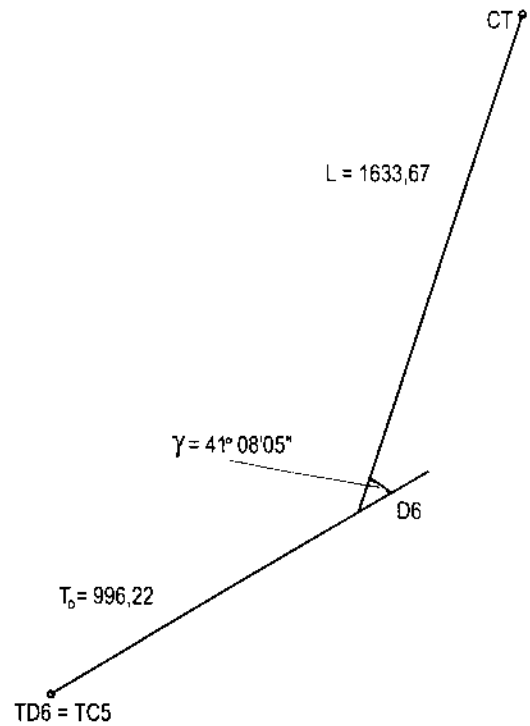
Góc chuyển hướng $\gamma = 41^0 08'05''$

Chiều dài còn lại để bố trí đường cong tại đỉnh 6 là: $T_o = D_5D_6 - T_2 = 2001,43 - 1005,21 = 996,22$ m.

Sơ bộ chọn bán kính R =1300 m.

Ta có góc $\beta = \frac{\gamma}{2} = 9^0 51'38''$

Từ giá trị góc β, ta tính toán bằng các công thức giải tích hay tra bảng ta được các thông số của clothoid ứng với bán kính đơn vị (Nếu giá trị không có trong bảng thì ta phải nội suy):



Góc β	L/R	A/R	p/R	t/R	x_o/R	y_o/R
20,5674	0,7179406	0,84731189	0,0213788	0,3574335	0,708744	0,0851202

Để có giá trị thực của các thông số ta nhân chúng với R = 1300 m:

L	A	p	t	x_o	y_o
933,32275	1101,50546	27,792479	464,6636	921,3672	110,65626

Chiều dài đường tang: $T_1 = T_2 = x_o + y_o tg\frac{\gamma}{2} = 962,89$ m

Ta thấy $T_1 = 962,89 < T_0 = 996,22$. Để hai clothoid nối tiếp nhau thì $T_1 = 996,22$ do đó ta nhân tất cả các thông số tìm được của hai clothoid (trừ giá trị góc β) với tỉ số $\frac{T_0}{T_1} = \frac{996,22}{962,89} = 1,0346$

Các thông số sau khi hiệu chỉnh:

R	L	A	p	t	x_o	y_o
1345,00	965,63099	1139,63557	28,754553	480,74856	953,26158	114,48678

Chiều dài đường tang sau khi hiệu chỉnh: $T_1 = T_2 = x_o + y_o tg\frac{\gamma}{2} = 996,22$ m

Thay trị số các thông số trên vào công thức (cách làm tương tự như đối với đỉnh D_1)

$$x = S - \frac{S^5}{40A^4} + \frac{S^9}{3456A^8} - \frac{S^{13}}{599040A^{12}} + \cdots$$

$$y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6} + \frac{S^{11}}{42240A^{10}} - \frac{S^{15}}{9676800A^{14}} \cdots$$

với $A = 1139,63557$

ta lập bảng toạ độ để cắm đường cong clothoid (xem bảng 7.9).

Bảng 7.9. Bảng toạ độ cắm đường cong clothoid đỉnh D6

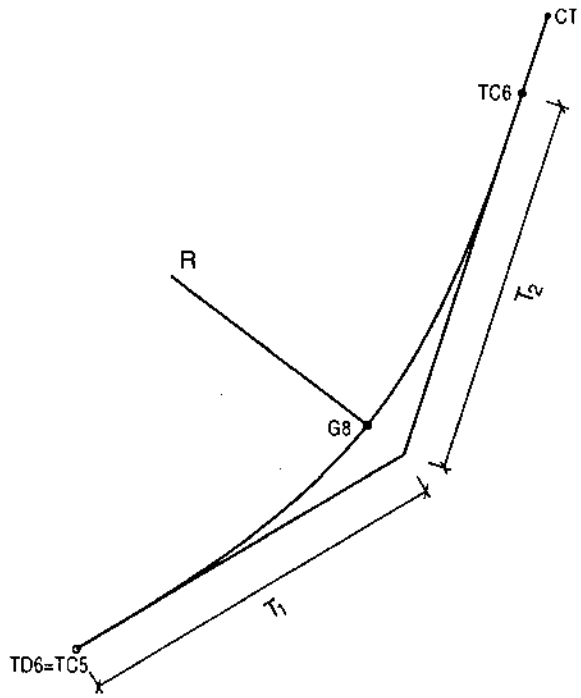
A	S = L	X	Y	S = L	X	Y
1	2	3	4	5	6	7
1139,64	0,00	0,00	0,00	490,00	489,58	15,09
1139,64	10,00	10,00	0,00	500,00	499,54	16,03
1139,64	20,00	20,00	0,00	510,00	509,49	17,01
1139,64	30,00	30,00	0,00	520,00	519,44	18,03
1139,64	40,00	40,00	0,01	530,00	529,38	19,09

Bảng 7.9 (tiếp theo)

1	2	3	4	5	6	7
1139,64	50,00	50,00	0,02	540,00	539,32	20,19
1139,64	60,00	60,00	0,03	550,00	549,25	21,33
1139,64	70,00	70,00	0,04	560,00	559,18	22,51
1139,64	80,00	80,00	0,07	570,00	569,11	23,74
1139,64	90,00	90,00	0,09	580,00	579,03	25,01
1139,64	100,00	100,00	0,13	590,00	588,94	26,32
1139,64	110,00	110,00	0,17	600,00	598,85	27,68
1139,64	120,00	120,00	0,22	610,00	608,75	29,09
1139,64	130,00	130,00	0,28	620,00	618,64	30,54
1139,64	140,00	140,00	0,35	630,00	628,53	32,03
1139,64	150,00	150,00	0,43	640,00	638,41	33,58
1139,64	160,00	160,00	0,53	650,00	648,28	35,18
1139,64	170,00	170,00	0,63	660,00	658,15	36,82
1139,64	180,00	180,00	0,75	670,00	668,00	38,51
1139,64	190,00	190,00	0,88	680,00	677,85	40,26
1139,64	200,00	200,00	1,03	690,00	687,69	42,06
1139,64	210,00	209,99	1,19	700,00	697,51	43,90
1139,64	220,00	219,99	1,37	710,00	707,33	45,81
1139,64	230,00	229,99	1,56	720,00	717,14	47,76
1139,64	240,00	239,99	1,77	730,00	726,93	49,77
1139,64	250,00	249,99	2,01	740,00	736,72	51,84
1139,64	260,00	259,98	2,26	750,00	746,49	53,96
1139,64	270,00	269,98	2,53	760,00	756,25	56,13
1139,64	280,00	279,97	2,82	770,00	766,00	58,37
1139,64	290,00	289,97	3,13	780,00	775,73	60,66
1139,64	300,00	299,96	3,46	790,00	785,45	63,01
1139,64	310,00	309,96	3,82	800,00	795,16	65,42
1139,64	320,00	319,95	4,20	810,00	804,85	67,89
1139,64	330,00	329,94	4,61	820,00	814,52	70,42
1139,64	340,00	339,93	5,04	830,00	824,18	73,01
1139,64	350,00	349,92	5,50	840,00	833,82	75,66

Bảng 7.9 (tiếp theo)

1	2	3	4	5	6	7
1139,64	360,00	359,91	5,99	850,00	843,45	78,37
1139,64	370,00	369,90	6,50	860,00	853,05	81,15
1139,64	380,00	379,88	7,04	870,00	862,64	83,99
1139,64	390,00	389,87	7,61	880,00	872,21	86,90
1139,64	400,00	399,85	8,21	890,00	881,76	89,87
1139,64	410,00	409,83	8,84	900,00	891,29	92,90
1139,64	420,00	419,81	9,50	910,00	900,79	96,00
1139,64	430,00	429,78	10,20	920,00	910,28	99,17
1139,64	440,00	439,76	10,93	930,00	919,74	102,41
1139,64	450,00	449,73	11,69	940,00	929,18	105,71
1139,64	460,00	459,69	12,48	950,00	938,60	109,08
1139,64	470,00	469,66	13,32	960,00	947,99	112,52
1139,64	480,00	479,62	14,18	965,63	953,26	114,49



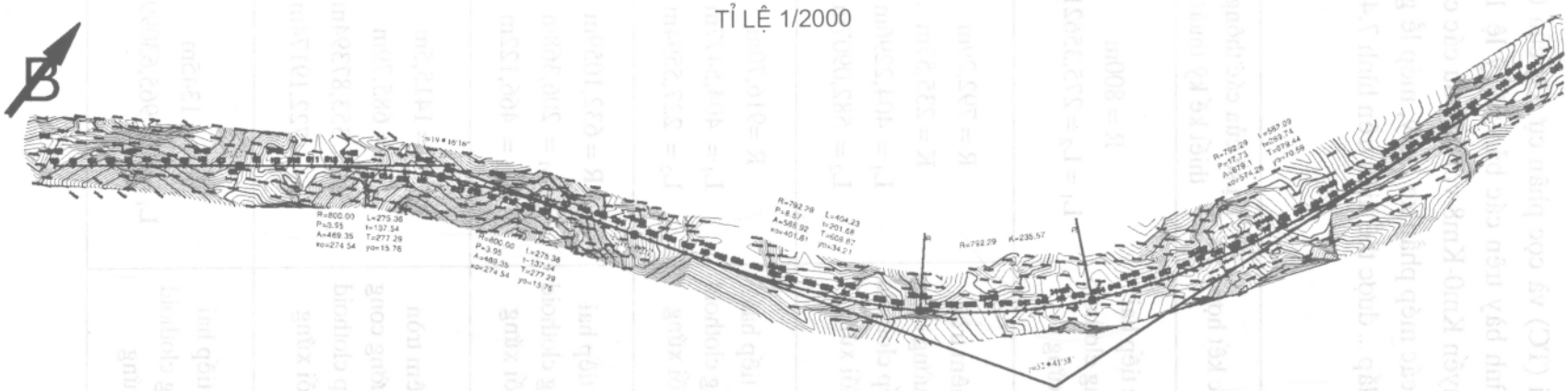
Như vậy, sau khi bố trí và tính toán chi tiết các yếu tố của các đường cong kết hợp ta thực hiện cắm cong chi tiết ứng với mỗi đỉnh. Nối các điểm đầu và điểm cuối của các đường cong tại sáu đỉnh liên tục với nhau ta được bình đồ kỹ thuật tuyến là một đường cong liên tục nối từ Km0-Km8 có dạng tuyến clothoid của đoạn đường cao tốc Liên Khương - Đà Lạt.

Lý trình của các cọc tiếp đầu (TD), tiếp cuối (TC) và cọc phân cự (G) của 6 đỉnh góc ngoặt được nêu trong bảng 7.10 và được trình bày trên các bản vẽ tỷ lệ 1/2000 (Hình 7.3). Bình đồ kỹ thuật thi công của đoạn tuyến Km0-Km8 với đầy đủ các chi tiết thể hiện trên bình đồ như: dải phân cách ở giữa, các mép phần xe chạy, mép lề gia cố, mép nền đường và giới hạn các chân taluy đào, đắp ... được thể hiện trên hình 7.4.

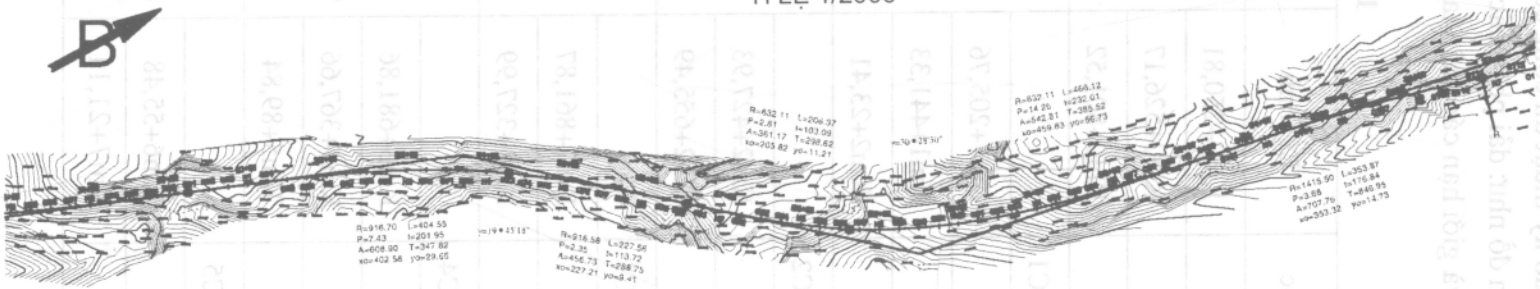
Bảng 7.10

Đỉnh	Tên cọc	Lý trình	Hình thức kết hợp	Trị số của các thông số thiết kế kỹ thuật
D1	TD1	Km0+250,81	Nối trực tiếp hai đường cong clothoid đối xứng	R = 800m $L_1 = L_2 = 275,35621$m
	G1	Km0+526,17		
	TC1	Km0+801,52		
D2	TD2 = TC1		Đoạn chêm tròn giữa hai đường cong chuyển tiếp clothoid không đối xứng	R = 792,29m K = 235,57m L_1 = 404,2296m L_2 = 582,0907m
	G2	Km1+205,76		
	G3	Km1+441,33		
	TC2	Km2+23,41		
D3	TD3 = TC2		Nối trực tiếp hai đường cong clothoid không đối xứng	R =916,70m L_1 = 404,5477m L_2 = 227,5594m
	G4	Km2+427,93		
	TC3	Km2+655,49		
D4	TD4 = TC3		Nối trực tiếp hai đường cong clothoid không đối xứng	R = 632,1059m L_1 = 206,368m L_2 = 466,122m
	G5	Km2+861,87		
	TC4	Km3+327,99		
D5	TD5 = TC4		Đoạn chêm tròn giữa hai đường cong chuyển tiếp clothoid không đối xứng	R = 1415,5m K = 685,79m L_1 = 353,87394m L_2 = 722,19174m
	G6	Km3+681,86		
	G7	Km4+367,66		
	TC5	Km5+89,84		
D6	TD6 = TC5		Nối trực tiếp hai đường cong clothoid đối xứng	R = 1345m $L_1 = L_2 = 965,63099$m
	G8	Km6+55,48		
	TC6	Km7+21,11		

CÁC YẾU TỐ ĐƯỜNG CONG
KM0 - KM2 + 100
TỈ LỆ 1/2000

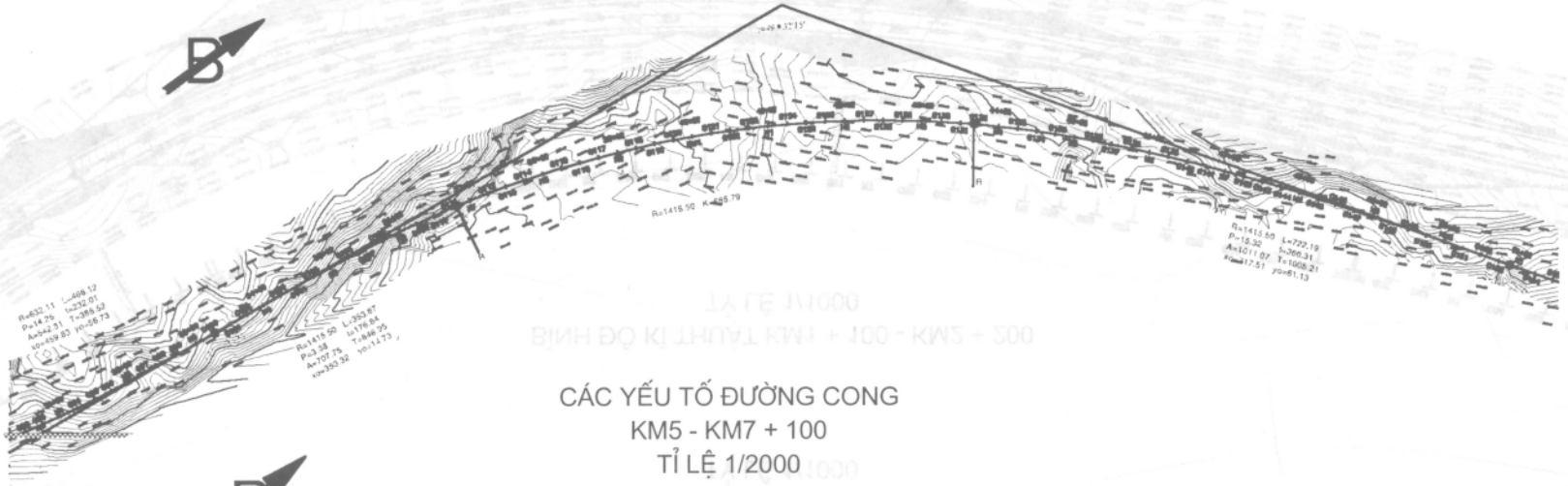


CÁC YẾU TỐ ĐƯỜNG CONG KM2 - KM3 + 400
TỈ LỆ 1/2000

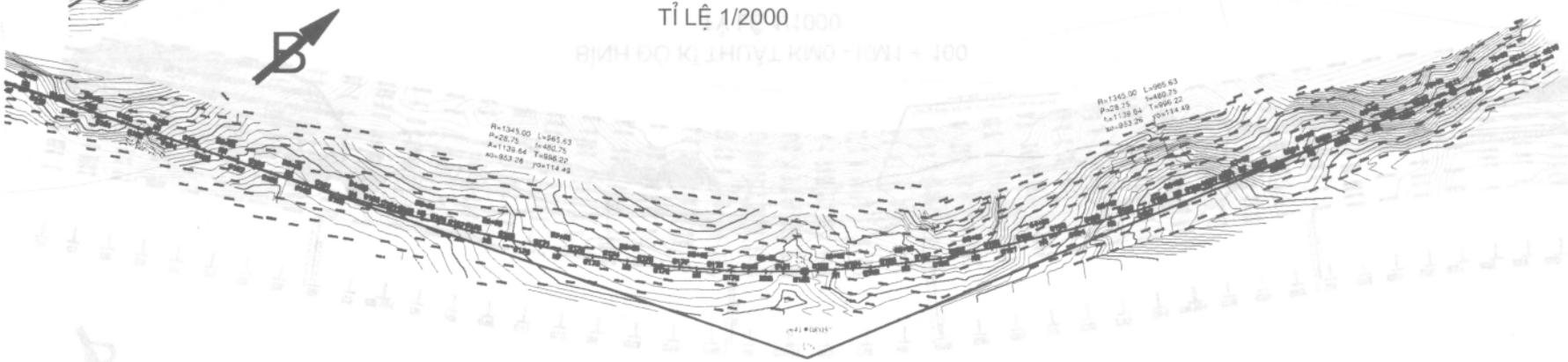


Hình 7.3a

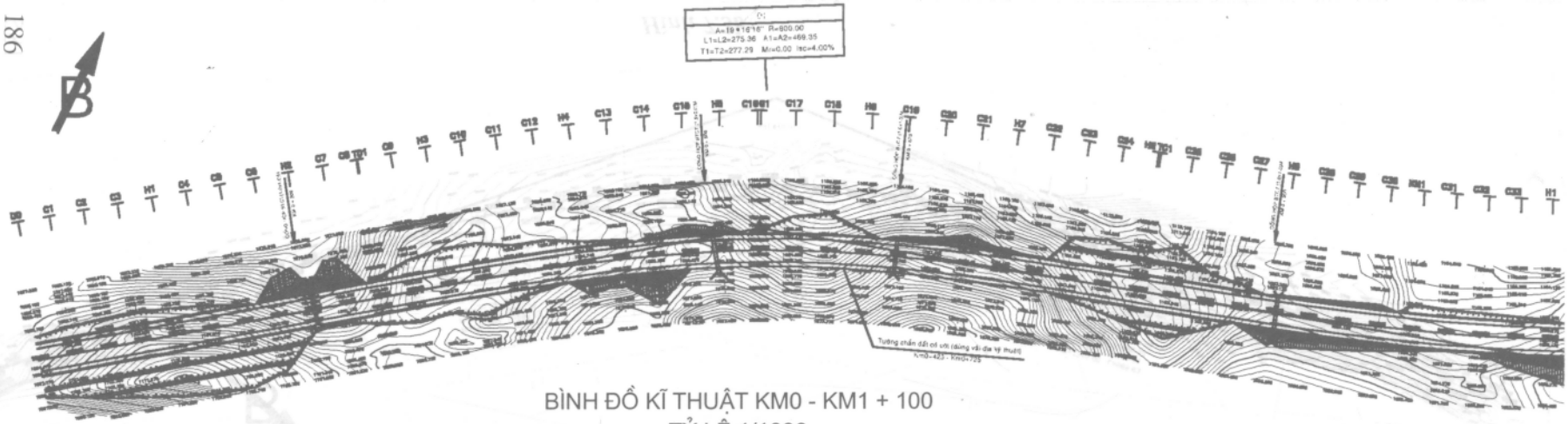
CÁC YẾU TỐ ĐƯỜNG CONG
KM3 + 300 - KM5 + 100
TỈ LỆ 1/2000



CÁC YẾU TỐ ĐƯỜNG CONG
KM5 - KM7 + 100
TỈ LỆ 1/2000

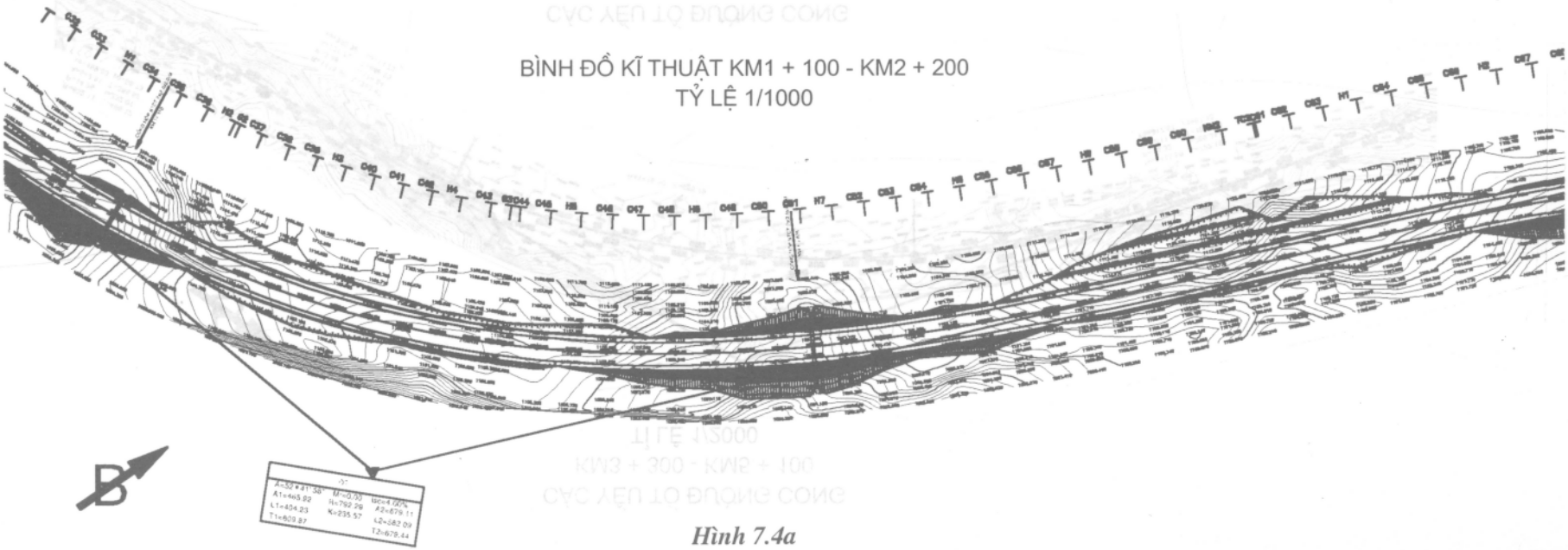


Hình 7.3b



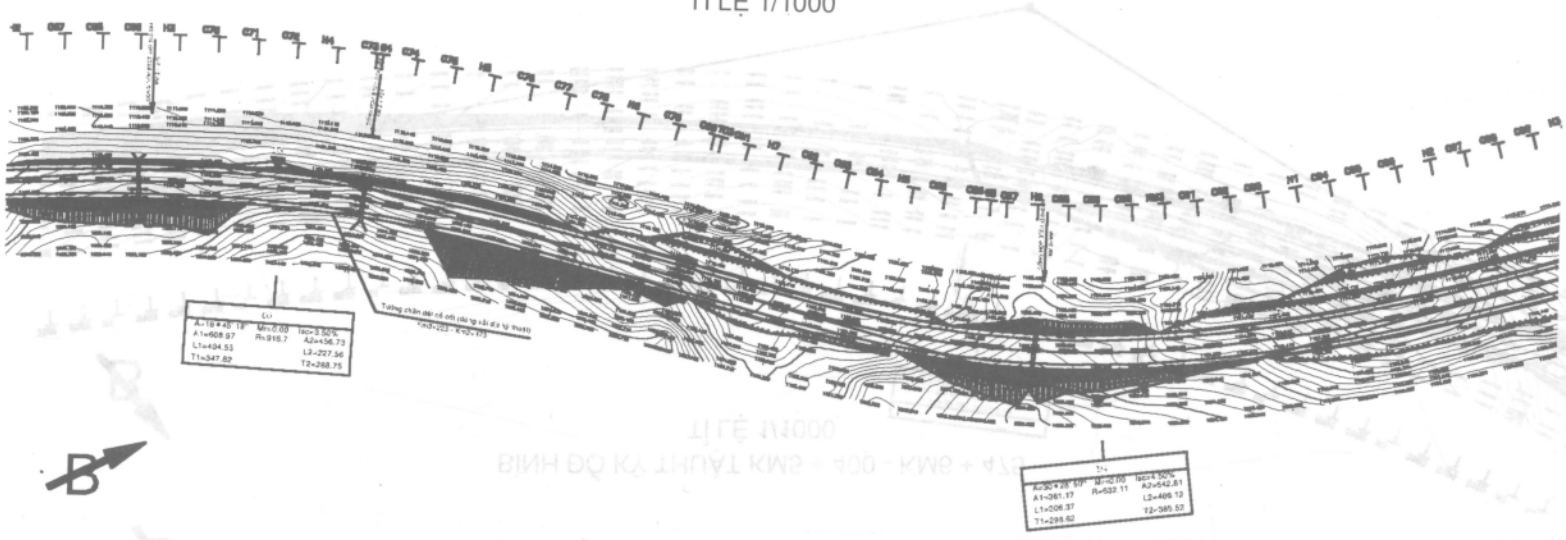
BÌNH ĐỒ KĨ THUẬT KM0 - KM1 + 100
TỶ LỆ 1/1000

BÌNH ĐỒ KĨ THUẬT KM1 + 100 - KM2 + 200
TỶ LỆ 1/1000

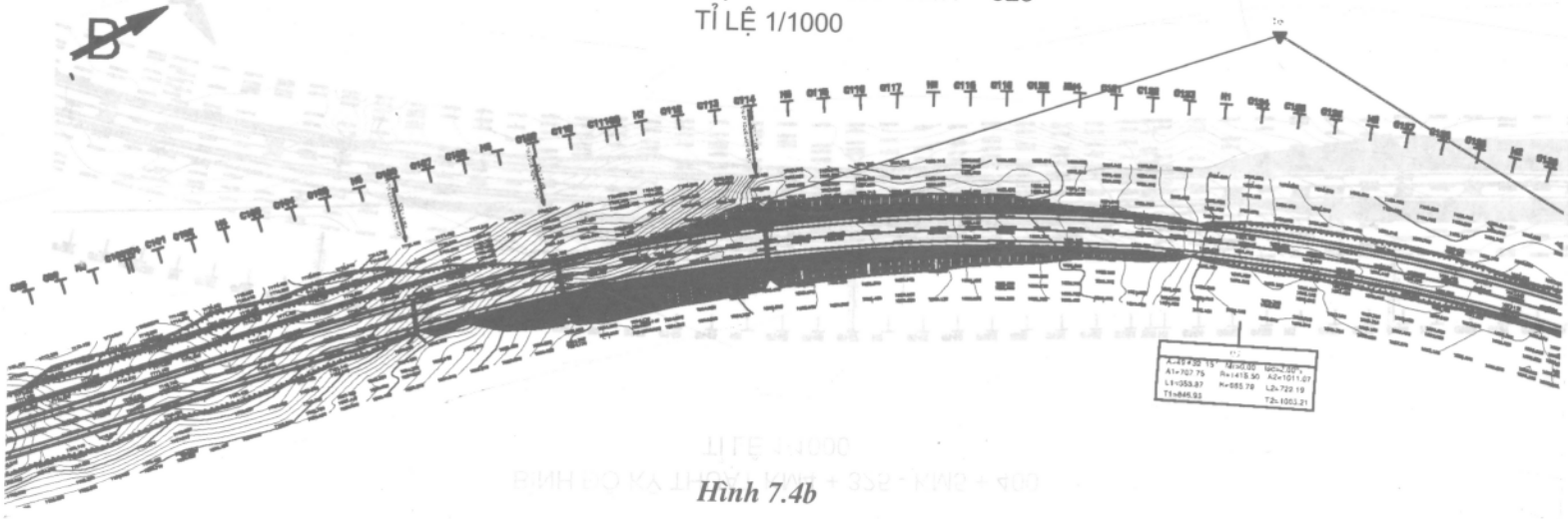


Hình 7.4a

BÌNH ĐỒ KỸ THUẬT KM2 + 200 - KM3 + 250
TỈ LỆ 1/1000

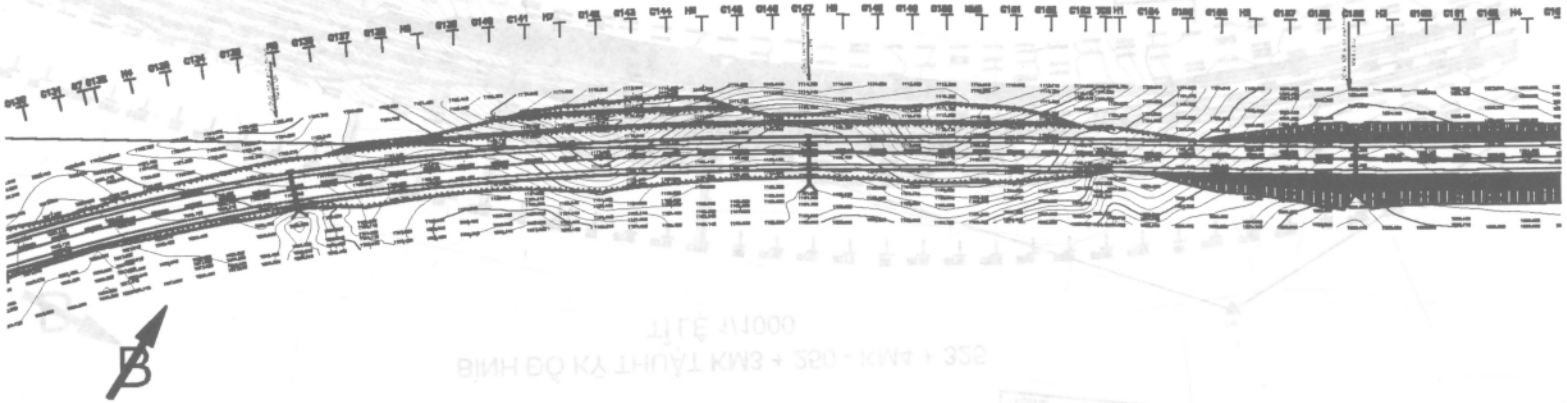


BÌNH ĐỒ KỸ THUẬT KM3 + 250 - KM4 + 325
TỈ LỆ 1/1000

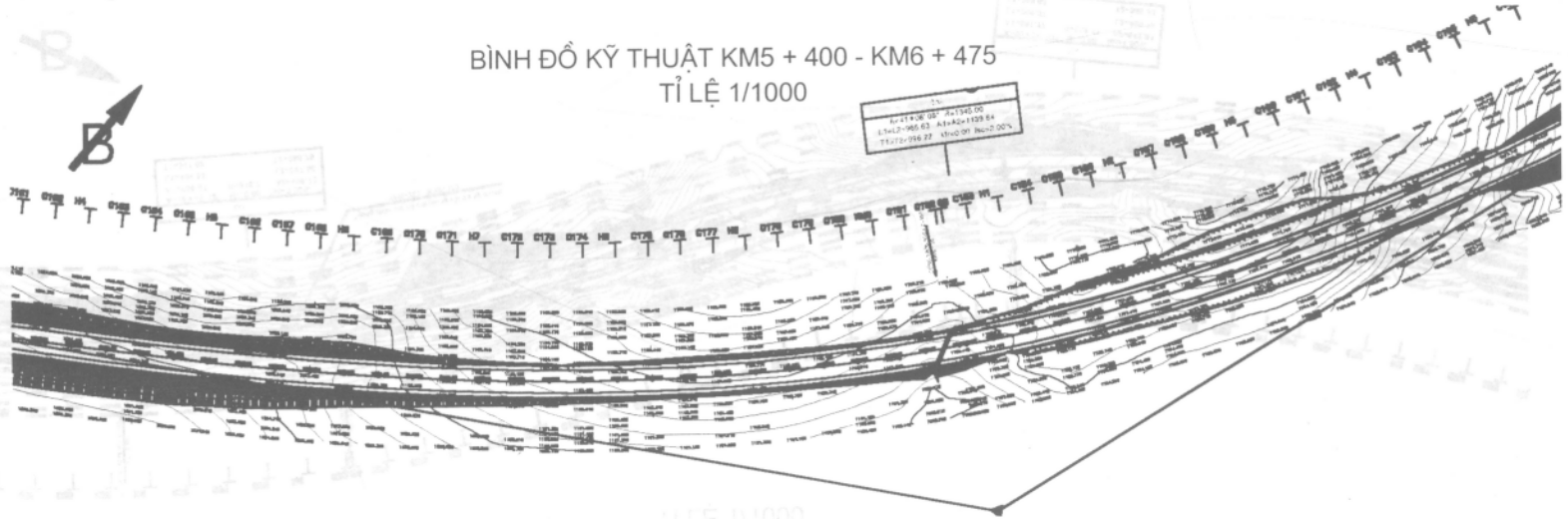


Hình 7.4b

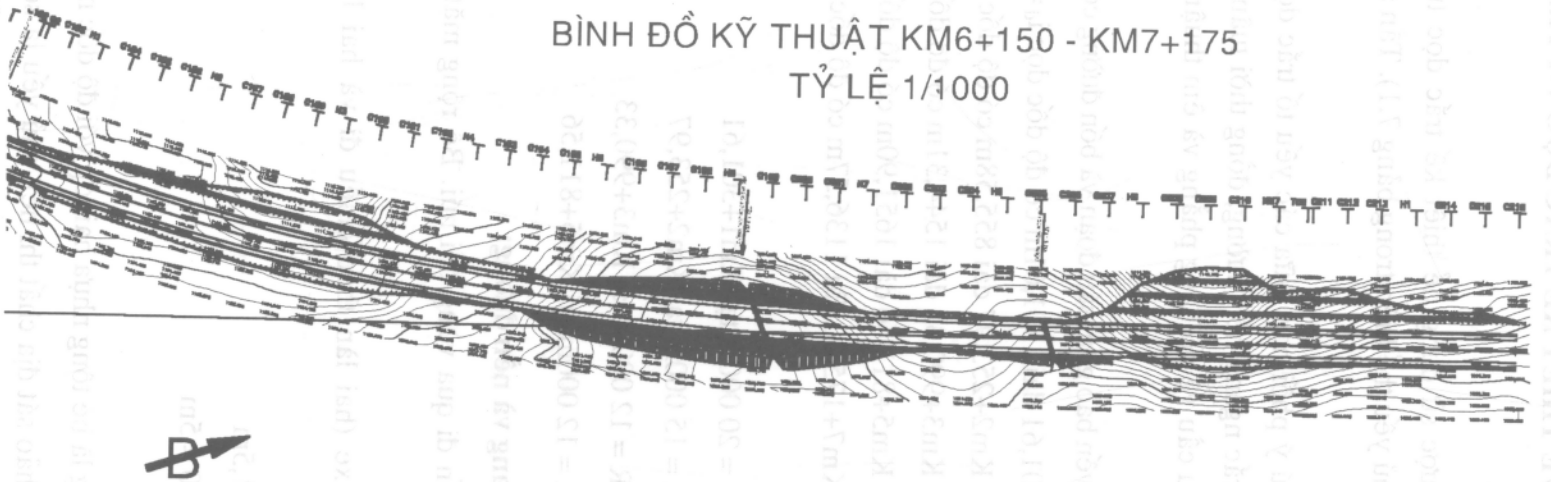
BÌNH ĐỒ KỸ THUẬT KM4 + 325 - KM5 + 400
TỈ LỆ 1/1000



BÌNH ĐỒ KỸ THUẬT KM5 + 400 - KM6 + 475
TỈ LỆ 1/1000



Hình 7.4c



Hình 7.4d

7.5. THUYẾT MINH SƠ BỘ VỀ THIẾT KẾ TRẮC DỌC VÀ TRẮC NGANG

7.5.1. Thiết kế mặt cắt dọc

Các tiêu chuẩn kỹ thuật được sử dụng để thiết kế trắc dọc tuân theo quy trình TCVN 5729-97 (các chỉ tiêu chủ yếu thể hiện trong bảng 7.1). Tần suất để thiết kế với cầu cống nhỏ là 1%.

Khi thiết kế trắc dọc đã chú ý phối hợp giữa các yếu tố trắc dọc và bình đồ cũng như bảo đảm sự ổn định của trắc ngang nền đường, đồng thời tuân thủ những nguyên tắc bảo đảm cho tuyến đạt yêu cầu về độ bằng phẳng và êm thuận, và đều đặn trong không gian.

Thiết kế mặt cắt dọc đoạn tuyến bao gồm sáu đoạn và bốn đường cong đứng. Trong đó:

- Đoạn từ Km0 đến Km1+301,61 dài 1301,61m có độ dốc dọc $i_d = 10‰$
- Đoạn từ Km1+398,39 đến Km2+253,97 dài 855,58m có độ dốc dọc $i_d = 5‰$
- Đoạn từ Km2+446,02 đến Km3+990,33 dài 1544,31m có độ dốc dọc $i_d = 8‰$
- Đoạn từ Km4+159,66 đến Km5+811,56 dài 1651,90m có độ dốc dọc $i_d = 6‰$
- Đoạn từ Km6+38,43 đến Km7+175,00 dài 1136,57m có độ dốc dọc $i_d = 13‰$

và bốn đường cong đứng:

- Đường cong đứng lồi có R = 20 000m tại Km1+301,61
- Đường cong đứng lồi có R = 15 000m tại Km2+253,97
- Đường cong đứng lõm có R = 12 000m tại Km3+990,33
- Đường cong đứng lồi có R = 12 000m tại Km5+811,56

7.5.2. Thiết kế mặt cắt ngang và nền đường:

Đoạn LK-ĐL là đoạn tuyến đi qua vùng đồi núi. Bề rộng mặt cắt ngang là 23m, bao gồm:

- Mặt đường có bốn làn xe (hai làn theo chiều đi và hai làn theo chiều về): $B_{mặt} = 4 \times 3,75 = 15m$
- Dải phân cách giữa rộng 1,5m
- Lề gia cố hai bên: $2 \times 2,50 = 5m$
- Lề đất: $2 \times 0,75 = 1,5m$

Phần xe chạy có mặt đường là bê tông nhựa hai lớp với độ dốc ngang $i_n = 2\%$.

Nền đường: theo tài liệu khảo sát địa chất thì nền chủ yếu là sét bazan, sét cát lẫn sỏi sạn laterít ở trạng thái nửa cứng đến cứng. Vì vậy không phải xử lý nền đường ở phía dưới, mà chủ yếu phải quan tâm là thiết kế ổn định mái taluy.

Độ dốc mái taluy thông thường được thiết kế là 1:2 với nền đắp và 1:1,5 với nền đào.

Để tăng cường ổn định của mái taluy đào và tạo mỹ quan trên tuyến, hạn chế nước mưa chảy tràn qua taluy xuống mặt đường nên cứ mỗi chiều cao mái dốc là 6m sẽ thiết kế dật cấp rộng 1m, phía trong làm rãnh hình thang rộng 0,4m xây đá hộc hay đá chẻ bằng vữa ximăng mác 100 dày 20cm. Rãnh biên ở chân taluy đào có dạng hình thang kích thước rộng 1,4m và sâu 0,4m.

Các đoạn có độ dốc ngang của sườn dốc lớn hơn 20% phải đánh cấp trước khi đắp đất nền đắp (ghi chú: Trắc ngang và nền đường nêu ở trên được chúng tôi sử dụng theo các số liệu thiết kế của một công ty tư vấn).

Riêng tại hai đoạn tuyến từ Km0+450 đến Km0+750 và từ Km2+325 đến Km2+525 do nền đắp trên sườn dốc có độ dốc ngang lớn và có chỗ đắp cao tới 12m (theo thiết kế trắc dọc của dự án) nên để bảo đảm nền đắp ổn định và tính mỹ quan của công trình đã thiết kế trắc ngang có tường chắn đất có cốt (terre armeé), và cốt dùng vải địa kỹ thuật (geotextile) với độ dốc thẳng đứng (taluy 1:0).

Do chủ đề của cuốn sách là thiết kế tuyến clothoid nên phần thiết kế trắc dọc và trắc ngang nền đường chỉ được thuyết minh sơ bộ mà không trình bày chi tiết nội dung thiết kế các phần này.

7.6. DỰNG HÌNH CHIẾU PHỐI CẢNH ĐỂ KIỂM TRA ĐỘ BẰNG PHẲNG QUANG HỌC CỦA TUYẾN CLOTHOID THIẾT KẾ

Để kiểm tra độ bằng phẳng quang học của tuyến trong không gian của đoạn đường cao tốc LK-ĐL được thiết kế, bằng phương tiện máy vi tính với việc sử dụng các phần mềm như Excel, AutoCad ... ta dễ dàng dựng hình chiếu phối cảnh của tuyến đường đã thiết kế ở bất kỳ điểm nhìn và bất kỳ đoạn nào theo ý muốn để kiểm tra và phát hiện những đoạn phải sửa thiết kế.

Sau đây chúng tôi đưa ra một số đoạn dựng hình chiếu phối cảnh để kiểm tra theo các thông số chung:

- Kích thước mặt cắt ngang nền đường (23m)

$$B_{nền} = (0,75 + 2,5) + 2 \times 3,75 + (1,5) + 2 \times 3,75 + (2,5 + 0,75)$$

- Điểm nhìn cách mép ngoài giải phân cách ở giữa là 2m và cao 1,5m.

- Khoảng cách từ điểm nhìn đến mặt phẳng ảnh: $d_o = 100m$

- Để dễ dàng kiểm tra ta dựng hình phối cảnh có tỷ lệ theo chiều ngang 1/100; theo chiều đứng: 1/25 (gấp 4 lần theo tỷ lệ theo chiều ngang).

7.6.1. Tại vị trí điểm nhìn: Cọc C58, Km1+925

Hướng nhìn: LK-ĐL

Mục đích: để kiểm tra hình ảnh không gian đoạn này khi thiết kế đường cong đứng lồi R = 15000m nằm vào khoảng giữa của hai đường cong clothoid kết hợp không đối xứng.

Bảng 7.11 ghi các toạ độ của bình đồ và trắc dọc để dựng phối cảnh và hình (7.5) biểu thị bình đồ , trắc dọc và hình chiếu phối cảnh của đoạn này.

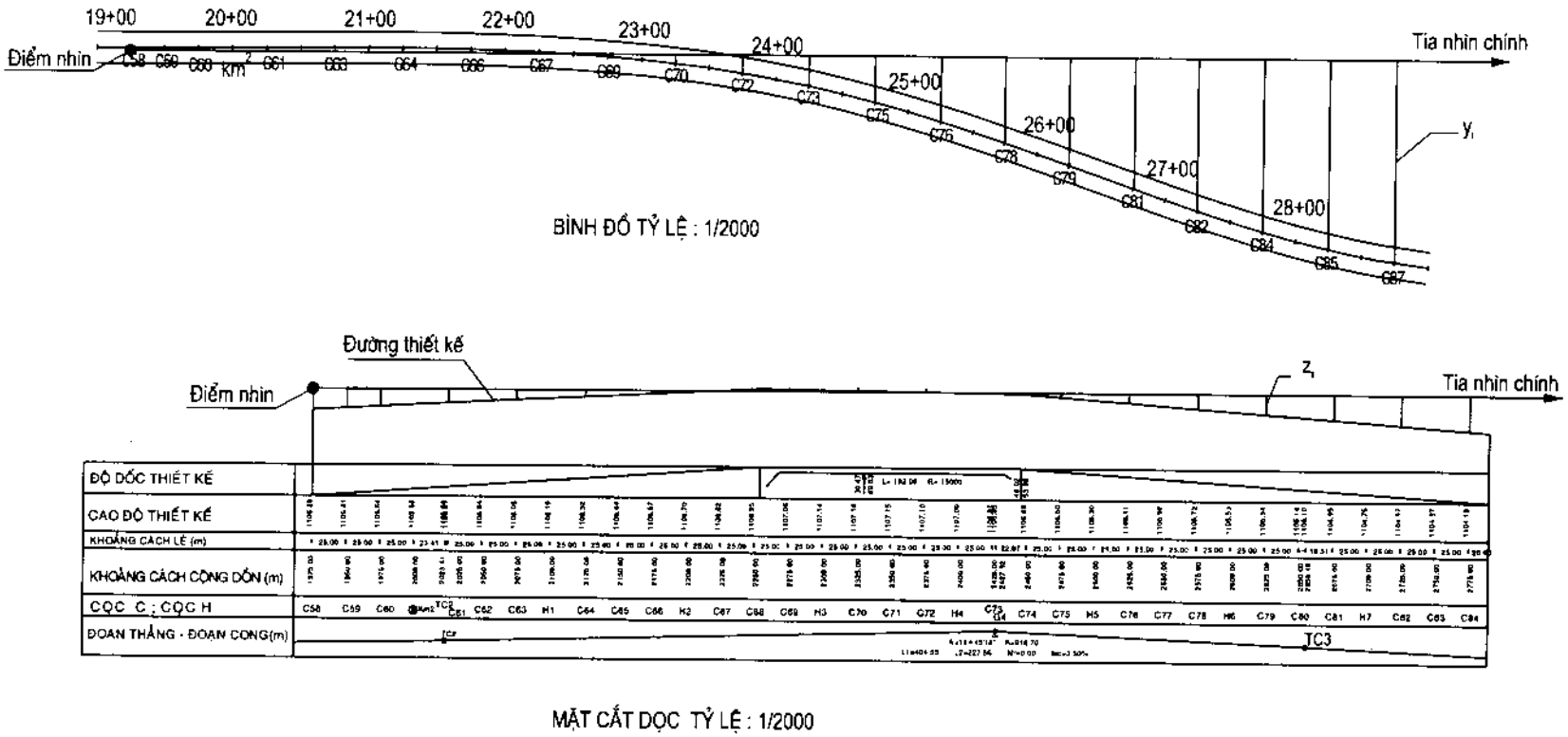
Bảng 7.11

Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách từ điểm nhìn			Hệ số hiệu chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Bề rộng		
		x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	d_v/x_i	Y_i^1 (cm)	Z_i^1 (cm)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)
0	C58	0	-2,00	-1,50						
1	C59	25	-2,06	-1,37	4,00	-8,24	-5,48	68,00	86,00	92,00
2	C60	50	-2,24	-1,24	2,00	-4,48	-2,48	34,00	43,00	46,00
3	C61	100	-2,72	-0,97	1,00	-2,72	-0,97	17,00	21,50	23,00
4	C63	150	-3,19	-0,72	0,67	-2,13	-0,48	11,33	14,33	15,33
5	C64	200	-3,32	-0,46	0,50	-1,66	-0,23	8,50	10,75	11,50
6	C66	250	-2,75	-0,21	0,40	-1,10	-0,08	6,80	8,60	9,20
7	C67	300	-1,17	0,04	0,33	-0,39	0,01	5,67	7,17	7,67
8	C69	350	1,76	0,28	0,29	0,50	0,08	4,86	6,14	6,57
9	C70	400	6,40	0,38	0,25	1,60	0,10	4,25	5,38	5,75
10	C72	450	13,05	0,32	0,22	2,90	0,07	3,78	4,78	5,11
11	C73	500	22,04	0,09	0,20	4,41	0,02	3,40	4,30	4,60
12	C75	550	33,55	-0,28	0,18	6,10	-0,05	3,09	3,91	4,18
13	C76	600	47,16	-0,67	0,17	7,86	-0,11	2,83	3,58	3,83
14	C78	650	62,27	-1,06	0,15	9,58	-0,16	2,62	3,31	3,54
15	C79	700	78,29	-1,44	0,14	11,18	-0,21	2,43	3,07	3,29
16	C81	750	95,03	-1,83	0,13	12,67	-0,24	2,27	2,87	3,07
17	C82	800	110,66	-2,21	0,13	13,83	-0,28	2,13	2,69	2,88
18	C84	900	137,92	-2,99	0,11	15,32	-0,33	1,89	2,39	2,56

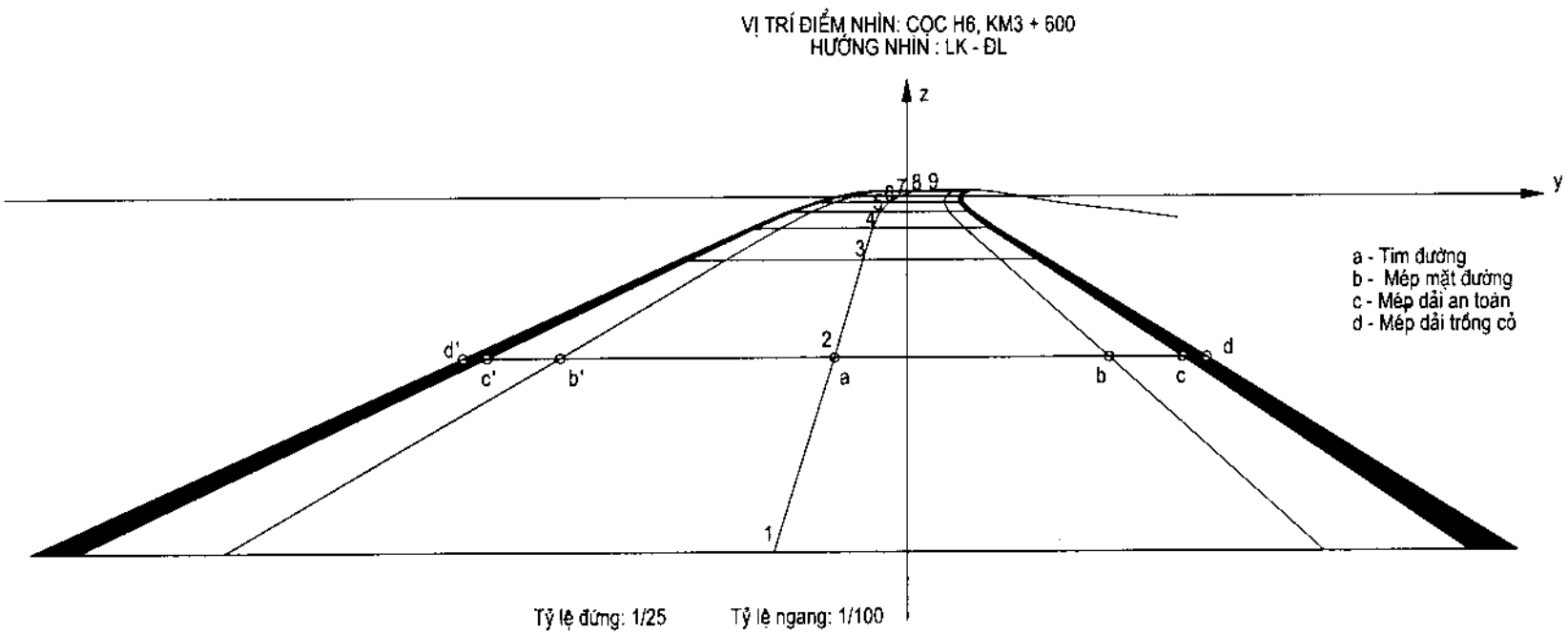
L_1 – bề rộng mặt đường

L_2 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên

L_3 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên + lề đất trồng cỏ hai bên.


19+00
20+00
21+00
22+00
23+00
24+00
25+00
26+00
27+00
28+00
Điểm nhìn
Tia nhìn chính
BÌNH ĐỒ TỶ LỆ : 1/2000
Đường thiết kế
Điểm nhìn
Tia nhìn chính
ĐỘ DỐC THIẾT KẾ
CAO ĐỘ THIẾT KẾ
KHOẢNG CÁCH LẺ (m)
KHOẢNG CÁCH CỘNG DỒN (m)
CỌC C ; CỌC H
ĐOẠN THẲNG - ĐOẠN CONG(m)
MẶT CẮT DỌC TỶ LỆ : 1/2000

Hình 7.5a


VỊ TRÍ ĐIỂM NHÌN: CỌC H6, KM3 + 600
HƯỚNG NHÌN : LK - ĐL
z
y
a - Tim đường
b - Mép mặt đường
c - Mép dải an toàn
d - Mép dải trồng cỏ
Tỷ lệ đứng: 1/25
Tỷ lệ ngang: 1/100

Hình 7.5b

Từ bảng số liệu (7.11) và hình phối cảnh (hình 7.5) cho thấy qua cọc C66 sang cọc C67 trở đi trên trắc dọc các toạ độ Z_i đều có giá trị dương. Nghĩa là kể từ sau cọc C67 lái xe sẽ chỉ nhìn thấy đến cọc cao nhất tại đỉnh đường cong đứng C70 (tức là điểm 9 trên hình phối cảnh) có trị số Z lớn nhất (Z = 0,38)và trên hình phối cảnh sau cọc C70 (điểm 9) ta sẽ không trông thấy hình ảnh tiếp theo của đoạn đường .

7.6.2. Tại vị trí điểm nhìn: Cọc H6, Km3+600

Hướng nhìn: LK-ĐL.

Mục đích: Kiểm tra hình ảnh của tuyến khi xe đi vào đường cong lõm R = 12000m trên trắc dọc và đi trong đường cong kết hợp hai clothoid không đối xứng trên bình đồ.

Các toạ độ tính toán để dựng phối cảnh được ghi trong bảng 7.12.

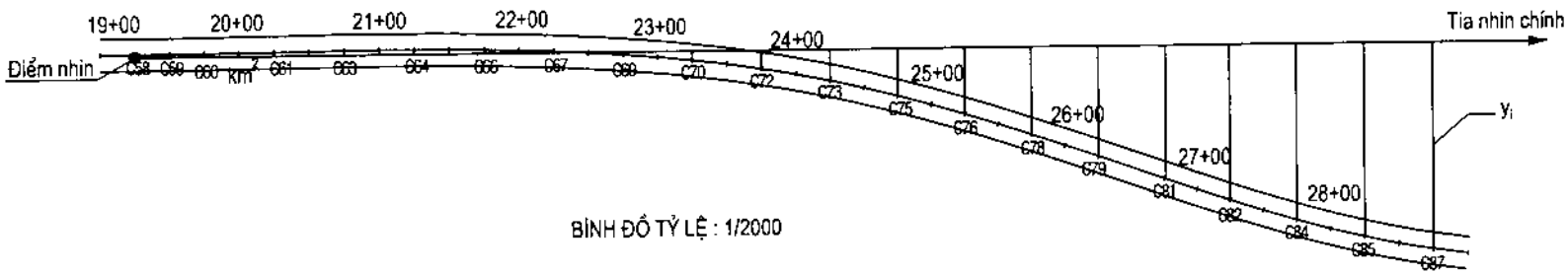
Bảng 7.12

Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách từ điểm nhìn			Hệ số hiệu chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Bề rộng		
		x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	d_o/x_i	Y_i^1 (cm)	Z_i^1 (cm)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)
0	H6	0	-2,00	-1,50						
1	C109	25	-5,16	-1,69	4,00	-20,64	-6,76	68,00	86,00	92,00
2	C110	50	-7,96	-1,88	2,00	-15,92	-3,76	34,00	43,00	46,00
3	C111	75	-10,37	-2,08	1,33	-13,83	-2,77	22,67	28,67	30,67
4	C112	125	-13,89	-2,46	0,80	-11,11	-1,97	13,60	17,20	18,40
5	C114	175	-15,64	-2,85	0,57	-8,94	-1,63	9,71	12,29	13,14
6	C115	225	-15,62	-3,23	0,44	-6,94	-1,44	7,56	9,56	10,22
7	C117	275	-13,84	-3,62	0,36	-5,03	-1,32	6,18	7,82	8,36
8	C118	325	-10,30	-4,00	0,31	-3,17	-1,23	5,23	6,62	7,08
9	C120	375	-5,00	-4,39	0,27	-1,33	-1,17	4,53	5,73	6,13
10	C121	425	2,06	-4,72	0,24	0,48	-1,11	4,00	5,06	5,41
11	C123	475	10,86	-4,86	0,21	2,29	-1,02	3,58	4,53	4,84
12	C124	525	21,39	-4,79	0,19	4,07	-0,91	3,24	4,10	4,38
13	C126	575	33,64	-4,52	0,17	5,85	-0,79	2,96	3,74	4,00
14	C127	625	47,59	-4,20	0,16	7,61	-0,67	2,72	3,44	3,68
15	C129	675	63,24	-3,88	0,15	9,37	-0,57	2,52	3,19	3,41
16	C130	725	80,54	-3,56	0,14	11,11	-0,49	2,34	2,97	3,17
17	C132	775	99,50	-3,24	0,13	12,84	-0,42	2,19	2,77	2,97
18	C133	825	120,04	-2,92	0,12	14,55	-0,35	2,06	2,61	2,79

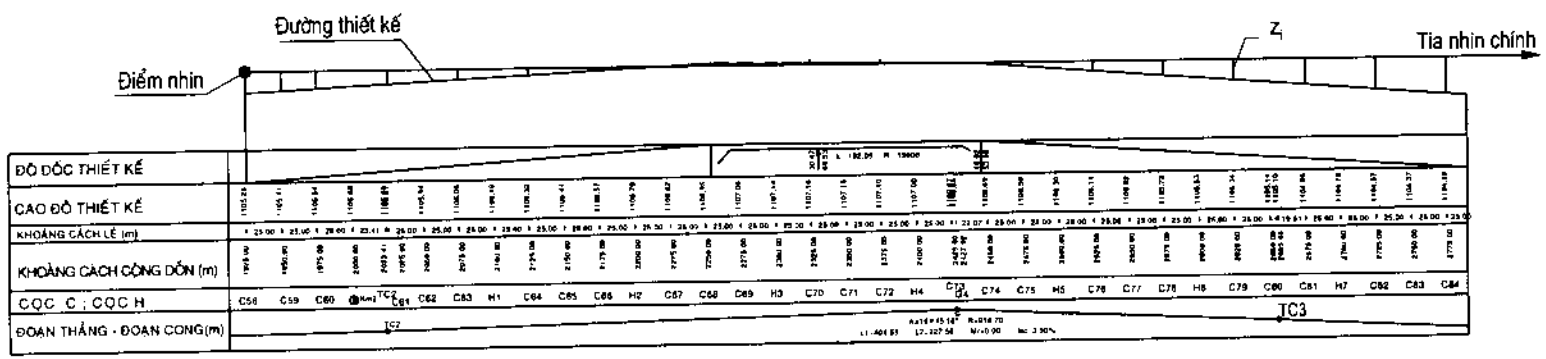
L_1 – bề rộng mặt đường

L_2 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên

L_3 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên + lề đất trồng cỏ hai bên.

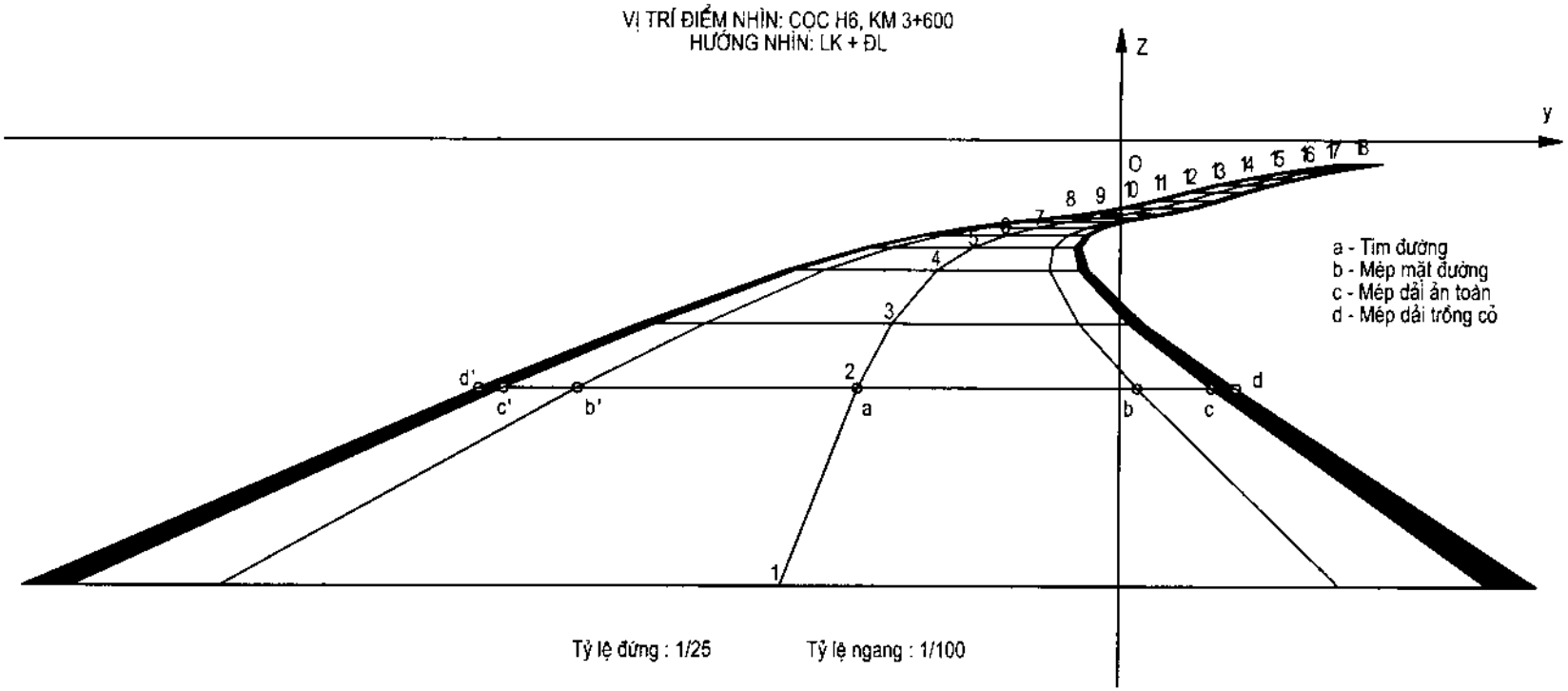


BÌNH ĐỒ TỶ LỆ : 1/2000



MẶT CẮT DỌC TỶ LỆ : 1/2000

Hình 7.6a


VỊ TRÍ ĐIỂM NHÌN: CỌC H6, KM 3+600
HƯỚNG NHÌN: LK + ĐL
Z
y
O
a - Tim đường
b - Mép mặt đường
c - Mép dải an toàn
d - Mép dải trồng cỏ
Tỷ lệ đứng : 1/25
Tỷ lệ ngang : 1/100

Hình 7.6b

Bình đồ, trắc dọc và hình chiếu phối cảnh của đoạn này được trình bày trên hình (7.6)

Từ bảng số liệu (7.12) cho thấy các cọc C120, C121, C123, C124, C126 có các giá trị tuyệt đối của toạ độ (Z_i) lớn và tại cọc C123 có trị số $|Z_i| = 4,86$ là lớn nhất. Cọc này ứng với điểm lõm thấp nhất trên trắc dọc. Trên hình phối cảnh (hình 7.6) cho thấy các cọc trên ứng với các điểm 9, 10, 11, 12, 13 nối với nhau tạo thành chỗ lõm không bằng phẳng trong không gian, và cần thiết phải sửa.

Cũng trên đoạn tuyến này ta sẽ dựng hình phối cảnh với điểm nhìn theo chiều ngược lại để kiểm tra thêm.

7.6.3. Tại vị trí điểm nhìn: Cọc 141, Km4+675

Hướng nhìn: ĐL-LK

Tại vị trí này điểm nhìn của người lái xe hướng ngược lại về phía cọc H6 (Km3+600) và ở trên nhánh đường cong clothoid thứ 2, còn đường cong đứng lõm lùi ra phía trước, trong phạm vi của đường cong clothoid thứ nhất của đỉnh D5.

Các toạ độ tính toán để dựng phối cảnh được ghi trong bảng 7.13.

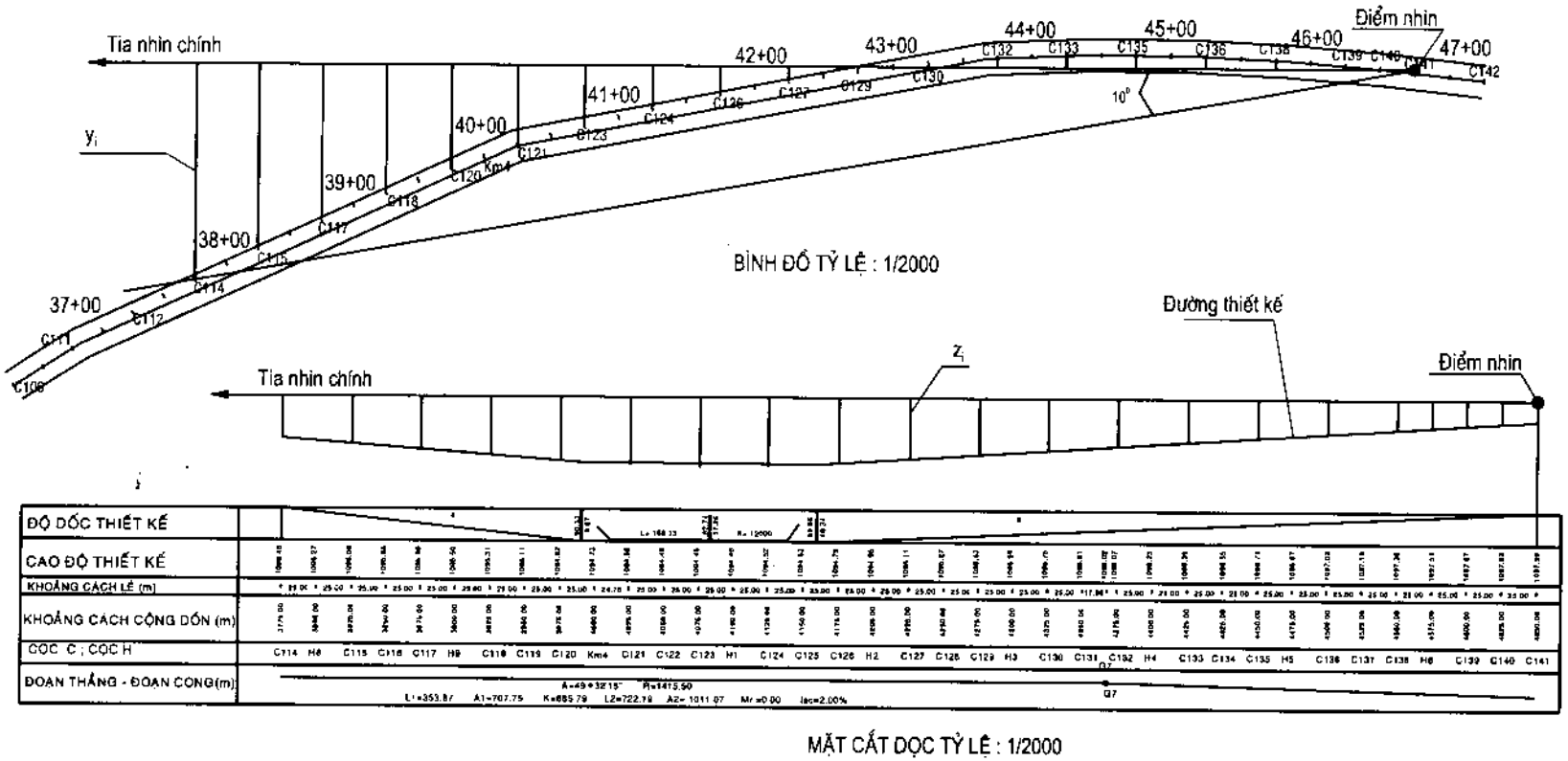
Bảng 7.13

Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách từ điểm nhìn			Hệ số hiệu chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Bề rộng		
		x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	d_o/x_i	Y_i^1 (cm)	Z_i^1 (cm)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)
0	C141	0	0,00	-1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	C140	25	0,50	-1,66	4,00	2,00	-6,64	68,00	86,00	92,00
2	C139	50	2,71	-1,82	2,00	5,42	-3,64	34,00	43,00	46,00
3	C138	100	6,27	-2,14	1,00	6,27	-2,14	17,00	21,50	23,00
4	C136	150	8,56	-2,46	0,67	5,71	-1,64	11,33	14,33	15,33
5	C135	200	9,48	-2,78	0,50	4,74	-1,39	8,50	10,75	11,50
6	C133	250	8,91	-3,10	0,40	3,56	-1,24	6,80	8,60	9,20
7	C132	300	6,69	-3,42	0,33	2,23	-1,14	5,67	7,17	7,67
8	C130	350	2,75	-3,74	0,29	0,79	-1,07	4,86	6,14	6,57
9	C129	400	-2,94	-4,06	0,25	-0,74	-1,01	4,25	5,38	5,75
10	C126	500	-19,58	-4,70	0,20	-3,92	-0,94	3,40	4,30	4,60
11	C123	600	-43,14	-5,04	0,17	-7,19	-0,84	2,83	3,58	3,83
12	C121	650	-57,47	-4,90	0,15	-8,84	-0,75	2,62	3,31	3,54
13	C120	700	-73,49	-4,57	0,14	-10,50	-0,65	2,43	3,07	3,29
14	C118	750	-91,17	-4,18	0,13	-12,16	-0,56	2,27	2,87	3,07
15	C117	800	-110,50	-3,80	0,13	-13,81	-0,47	2,13	2,69	2,88
16	C115	850	-131,44	-3,41	0,12	-15,46	-0,40	2,00	2,53	2,71
17	C114	900	-153,96	-3,03	0,11	-17,11	-0,34	1,89	2,39	2,56

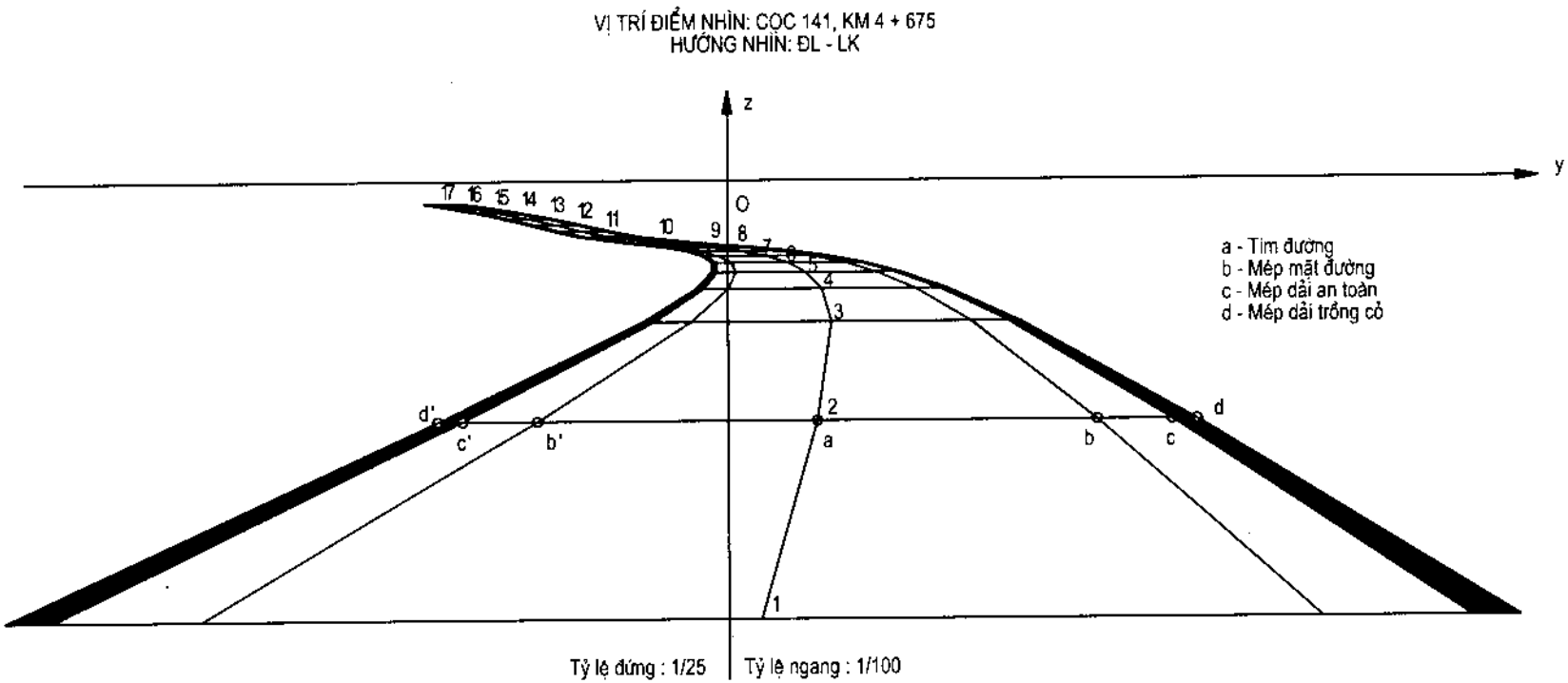
L_1 – bề rộng mặt đường;

L_2 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên;

L_3 – bề rộng mặt đường + lề gia cố hai bên + lề đất trồng cỏ hai bên;


Tia nhìn chính
Điểm nhìn
37+00
38+00
39+00
40+00
41+00
42+00
43+00
44+00
45+00
46+00
47+00
Km4
10°
BÌNH ĐỒ TỶ LỆ : 1/2000
Đường thiết kế
Tia nhìn chính
Điểm nhìn
ĐỘ DỐC THIẾT KẾ
CAO ĐỘ THIẾT KẾ
KHOẢNG CÁCH LẺ (m)
KHOẢNG CÁCH CỘNG DỒN (m)
CỌC C ; CỌC H
ĐOẠN THẲNG - ĐOẠN CONG(m)
MẶT CẮT DỌC TỶ LỆ : 1/2000

Hình 7.7a


VỊ TRÍ ĐIỂM NHÌN: CỌC 141, KM 4 + 675
HƯỚNG NHÌN: ĐL - LK
z
y
O
17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
a - Tim đường
b - Mép mặt đường
c - Mép dải an toàn
d - Mép dải trồng cỏ
d'
c'
b'
a
b
c
d
Tỷ lệ đứng : 1/25
Tỷ lệ ngang : 1/100

Hình 7.7b

Bình đồ và trắc dọc của hình chiếu phối cảnh của đoạn này được trình bày trên hình 7.7.

Số liệu trong bảng 7.13 cũng cho thấy tại các cọc C126, C123, C121,và C120 trị số tuyệt đối $|Z_i|$ lớn nhất là tại cọc C123 có $|Z_i| = 5{,}04$ tạo nên một đoạn không bằng phẳng tương ứng với các điểm 10, 11, 12, 13 trên hình phối cảnh nên cần phải chỉnh sửa.

7.6.4. Tại vị trí điểm nhìn: Cọc C216, Km7+125

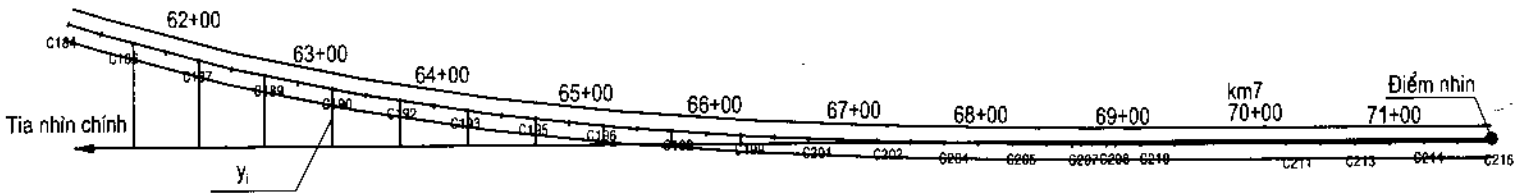
Hướng nhìn: ĐL-LK

Mục đích: Kiểm tra hình phối cảnh đoạn đường lái xe vừa lên dốc vừa đi vào nhánh đường cong clothoid tại đỉnh D6.

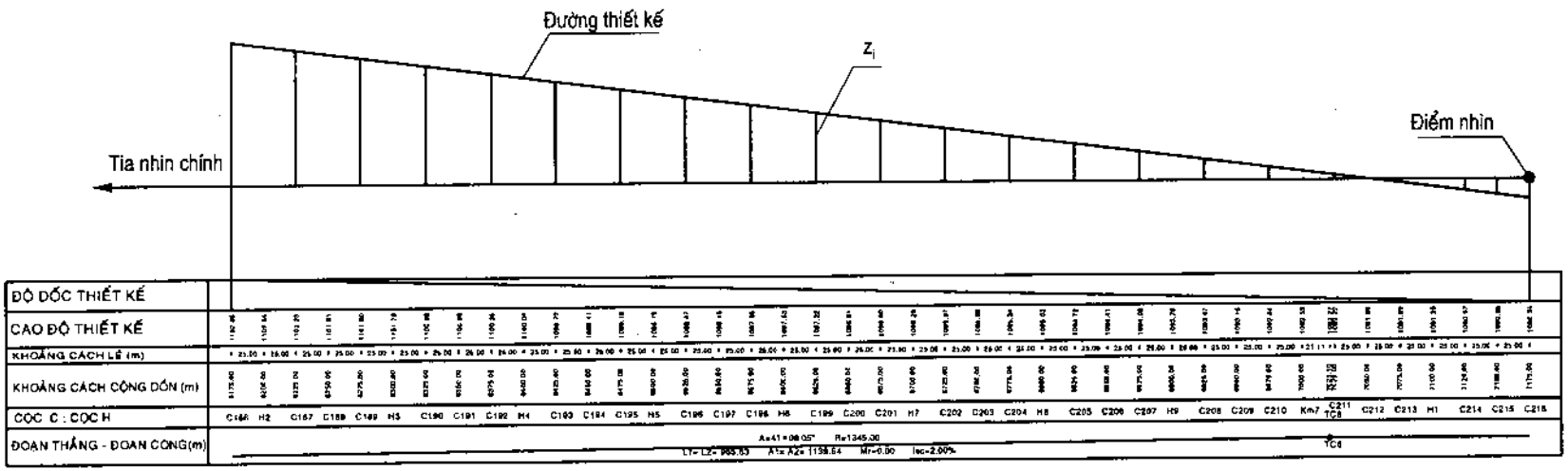
Các toạ độ tính toán để dựng hình phối cảnh để đưa vào bảng 7.14

Bảng 7.14

Tên điểm	Tên cọc	Khoảng cách từ điểm nhìn			Hệ số hiệu chỉnh	Toạ độ trục trên phối cảnh		Bề rộng		
		x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	d_c/x_i	Y_i^1 (cm)	Z_i^1 (cm)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_3 (cm)
0	C216	0	-2,00	-1,50						
1	C215	25	-2,00	-1,19	4,00	-8,00	-4,76	68,00	86,00	92,00
2	C214	50	-2,00	-0,87	2,00	-4,00	-1,74	34,00	43,00	46,00
3	C213	100	-2,00	-0,25	1,00	-2,00	-0,25	17,00	21,50	23,00
4	C211	150	-2,00	0,38	0,67	-1,33	0,25	11,33	14,33	15,33
5	C210	200	-1,98	1,00	0,50	-0,99	0,50	8,50	10,75	11,50
6	C208	250	-1,89	1,63	0,40	-0,76	0,65	6,80	8,60	9,20
7	C207	300	-1,60	2,25	0,33	-0,53	0,75	5,67	7,17	7,67
8	C206	350	-1,00	2,88	0,29	-0,29	0,82	4,86	6,14	6,57
9	C204	400	0,00	3,50	0,25	0,00	0,88	4,25	5,38	5,75
10	C202	450	1,33	4,13	0,22	0,30	0,92	3,78	4,78	5,11
11	C199	550	5,97	5,38	0,18	1,09	0,98	3,09	3,91	4,18
12	C198	600	9,39	6,01	0,17	1,57	1,00	2,83	3,58	3,83
13	C196	650	13,65	6,63	0,15	2,10	1,02	2,62	3,31	3,54
14	C192	800	32,55	8,51	0,13	4,07	1,06	2,13	2,69	2,88
15	C187	950	62,47	10,39	0,11	6,58	1,09	1,79	2,26	2,42

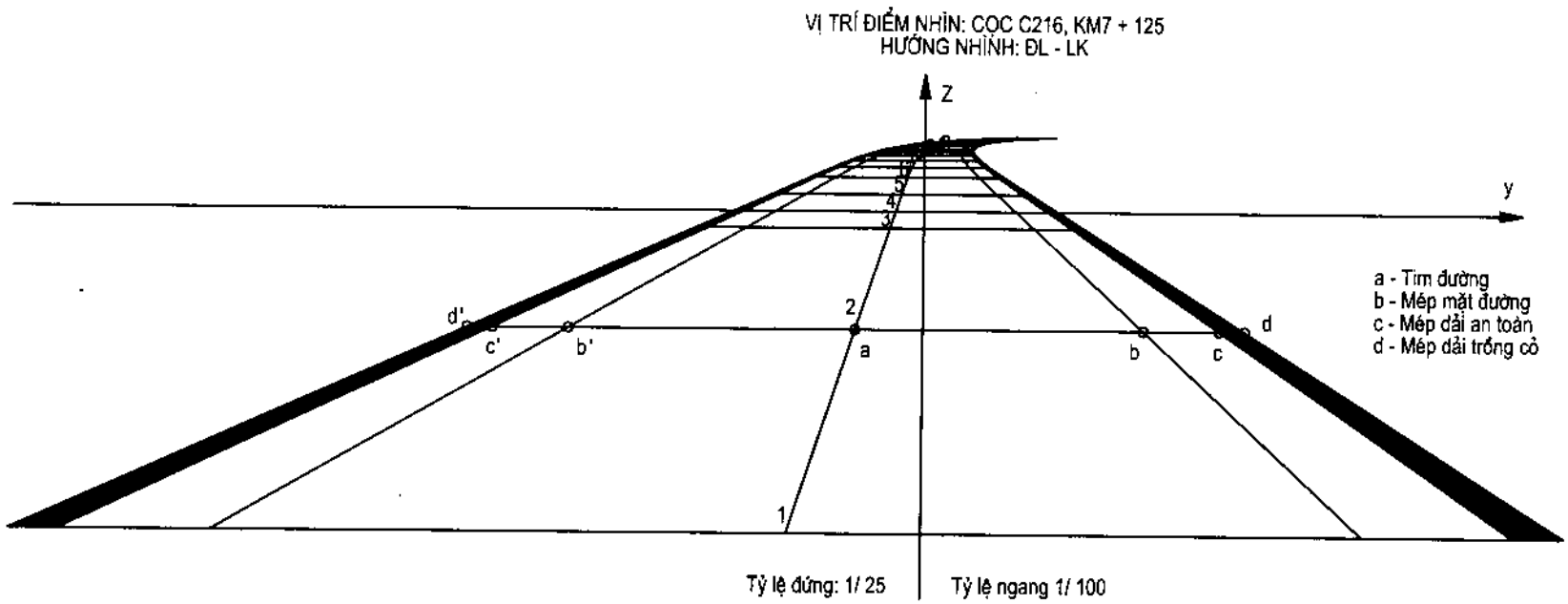


BÌNH ĐỒ TỶ LỆ : 1/2000



MẶT CẮT DỌC TỶ LỆ : 1/2000

Hình 7.8a


VỊ TRÍ ĐIỂM NHÌN: CỌC C216, KM7 + 125
HƯỚNG NHÌNH: ĐL - LK
Z
y
a - Tim đường
b - Mép mặt đường
c - Mép dải an toàn
d - Mép dải trồng cỏ
d'
c'
b'
a
b
c
d
1
2
3
4
5
Tỷ lệ đứng: 1/ 25
Tỷ lệ ngang 1/ 100

Hình 7.8b

Bình đồ, trắc dọc và hình chiếu phối cảnh được dựng hiển thị trên hình 7.8.

Từ bảng số liệu hình 7-8 cho thấy các toạ độ Z_i của tất cả các cọc đều có giá trị tăng dần và không có sự thay đổi đột ngột. Điều này thấy rõ trên hình chiếu phối cảnh tạo nên một đoạn tuyến không gian đều đặn.

Do bình đồ là các đường cong clothoid kết hợp và xe đang chạy lên dốc nên lái xe có thể thấy rõ cả đoạn tuyến ở phía trước.

7.6.5. Sửa chữa đoạn tuyến từ Km3+600 đến Km4+675 trên hình phối cảnh

Như chúng ta đã thấy rõ hai trường hợp về hình chiếu phối cảnh trên cùng một đoạn tuyến (từ Km3+600 đến Km4+675) đều cho thấy tuyến không đạt độ bằng phẳng, êm thuận quang học theo cả hai hướng nhìn (LK-ĐL và ngược lại ĐL-LK) tại các cọc C120 đến cọc C126 (xem hình 7.6 và hình 7.7). Vì vậy chúng ta cần sửa chữa đoạn này (theo hướng nhìn nào cũng được). Cụ thể ở đây ta chọn hình phối cảnh dựng tại cọc C141 (Km4+675) để sửa chữa tuyến. Từ hình phối cảnh cho thấy có thể sửa chữa bằng cách hiệu chỉnh trên trắc dọc. Theo các số liệu các toạ độ thực Z_i và toạ độ trên ảnh phối cảnh Z^1_i của các cọc C126, C123, C121,và C120 ghi trong bảng 7.13 trên màn hình của máy tính ta dịch chuyển tim đường ở đoạn nối 4 cọc trên để có được một trục đường đều đặn trong không gian nhìn thấy trực tiếp hình của máy tính, sau đó ta xác định được các gia số hiệu chỉnh ΔZ^1_i và tính được trị số toạ độ thực sau khi hiệu chỉnh .

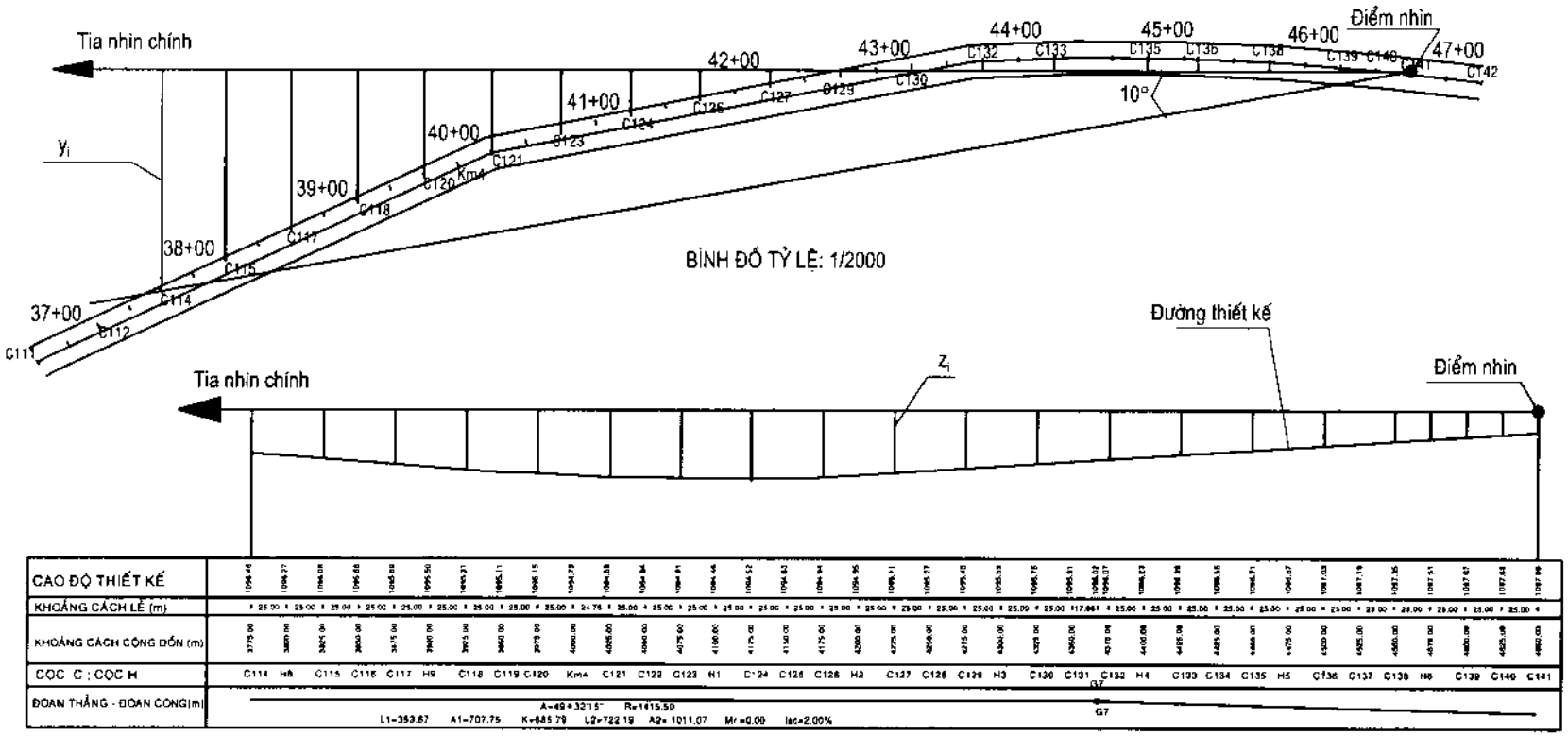
Cuối cùng, ta tính lại cao độ thiết kế của các cọc mới được hiệu chỉnh này.

Số liệu hiệu chỉnh (Hc) các toạ độ của các cọc trên được ghi trong bảng 7.15.

Bảng 7.15

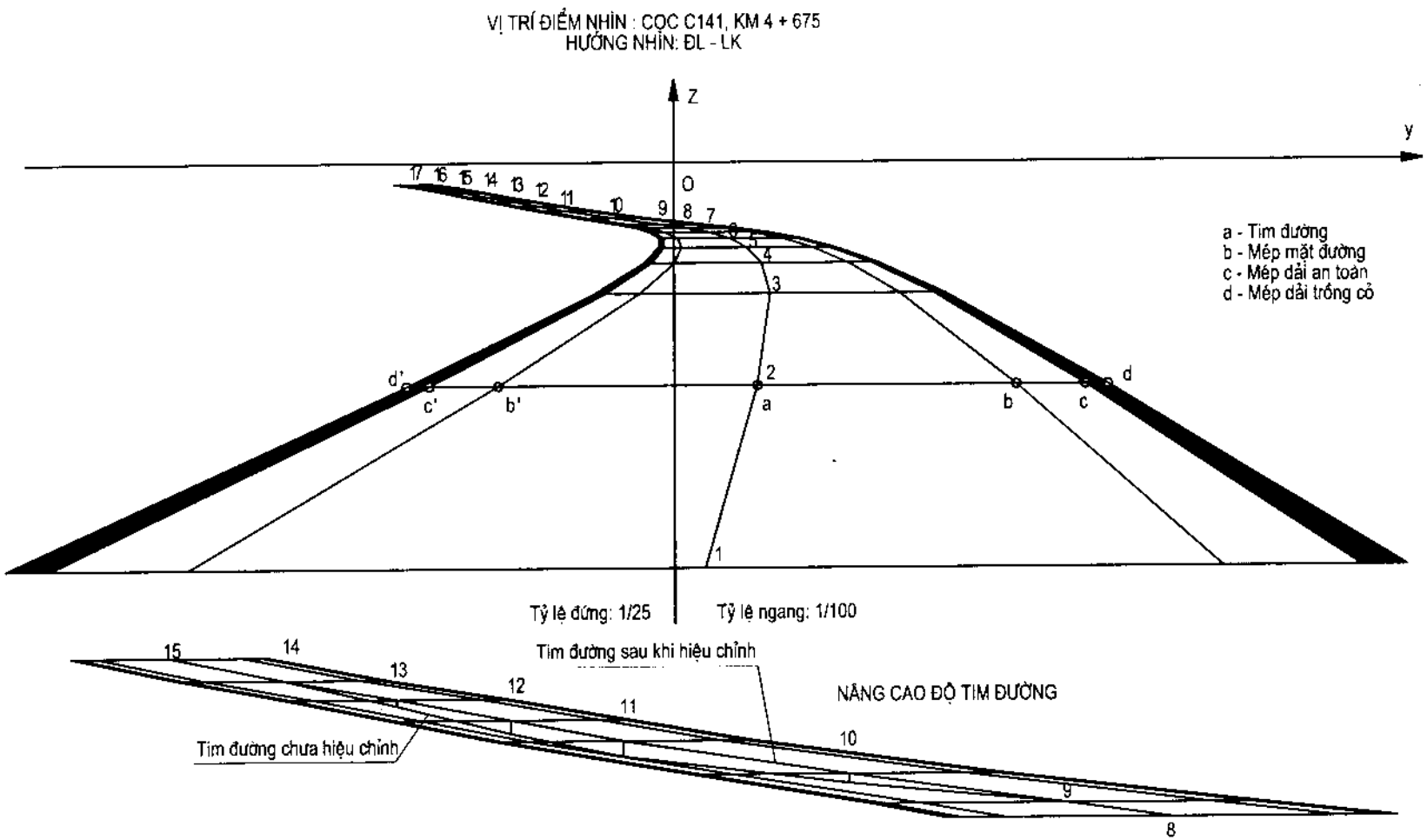
Tên điểm	Tên cọc	ΔZ^1_i (cm)			Z_i (m)		Hiệu số	Cao độ	
		Chưa HC	Hiệu chỉnh	Đã HC	Chưa HC	Đã HC		Chưa HC	Đã HC
10	C126	-0.94	0,03	-0,91	-4,7	-4,55	-0,15	1094,79	1094,94
11	C123	-0,84	0,06	-0,78	-5,04	-4,68	-0,36	1094,45	1094,81
12	C121	-0,75	0,05	-0,70	-4,9	-4,55	-0,35	1094,59	1094,94
13	C120	-0,65	0,03	-0,62	-4,57	-4,34	-0,23	1094,92	1095,15

Hình chiếu phối cảnh của đoạn từ Km3+600 đến Km4+675 được nhìn theo hướng ngược lại. Sau khi hiệu chỉnh sửa chữa để đạt được độ đều đặn quang học hiển thị trên hình 7.9.



MẶT CẮT DỌC TỶ LỆ: 1/2000

Hình 7.9a


VỊ TRÍ ĐIỂM NHÌN : CỌC C141, KM 4 + 675
HƯỚNG NHÌN: ĐL - LK
Z
y
O
a - Tim đường
b - Mép mặt đường
c - Mép dải an toàn
d - Mép dải trồng cỏ
Tỷ lệ đứng: 1/25
Tỷ lệ ngang: 1/100
Tim đường sau khi hiệu chỉnh
NÂNG CAO ĐỘ TIM ĐƯỜNG
Tim đường chưa hiệu chỉnh

Hình 7.9b

7.7. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CỦA TUYẾN CLOTHOID THIẾT KẾ

Đoạn tuyến từ Km0–Km8 của đường cao tốc LK-ĐL được thiết kế theo phương pháp đặt tuyến clothoid đã đạt được yêu cầu về độ bằng phẳng quang học, đồng thời bảo đảm phối hợp được bình đồ tuyến với địa hình và cảnh quan xung quanh.

Rõ ràng, so với cảnh thiết kế theo phương pháp thông thường thiết kế đoạn tuyến này theo phương pháp tuyến clothoid ta được bình đồ tuyến mềm mại hơn nhiều, làm cho tuyến uốn lượn theo điều kiện địa hình và đi qua các điểm khống chế mong muốn. Trên hình 7.10 biểu thị trục đường trên bình đồ của đoạn tuyến trên được thiết kế theo hai phương pháp khác nhau. Phương pháp thiết kế tuyến thông thường như vẫn thường làm từ trước đến nay đối với bất cứ cấp hạng nào của đường ôtô cho thấy: do thiết kế có các đoạn thẳng dài xen kẽ giữa các đường cong có bán kính không lớn làm cho tuyến trở nên "cứng" hơn nhiều (xem hình 7.10).

Để đánh giá chất lượng đồ án thiết kế đoạn đường này theo phương pháp vạch thuyến clothoid ta áp dụng các tiêu chuẩn an toàn (3 tiêu chuẩn) của Mỹ và CHLB Đức đề ra để tính toán đối chiếu và tham khảo. Các tiêu chuẩn an toàn này đã được chúng tôi giới thiệu ở chương 6.

Trước tiên, để có số liệu so sánh và đánh giá ta tính toán các thông số sau:

Tính toán hệ số thay đổi độ ngoặt của đường cong (CCR_s): được xác định từ các công thức 6.1 đến 6.6 (xem chương 6):

- Tại đỉnh Đ1:

$$CCR_{s1} = \frac{2\times\left(\frac{275,35621}{2\times 800}\right)\times 63700}{2\times 275,35621} = 39,81 gon/km$$

- Tại đỉnh Đ2:

$$CCR_{s2} = \frac{\left[\frac{404,2296}{2\times 792,29} + \frac{235,57}{792,29} + \frac{582,0907}{2\times 792,29}\right]63700}{(404,2296 + 235,57 + 582,0907)} = 47,95 gon/km$$

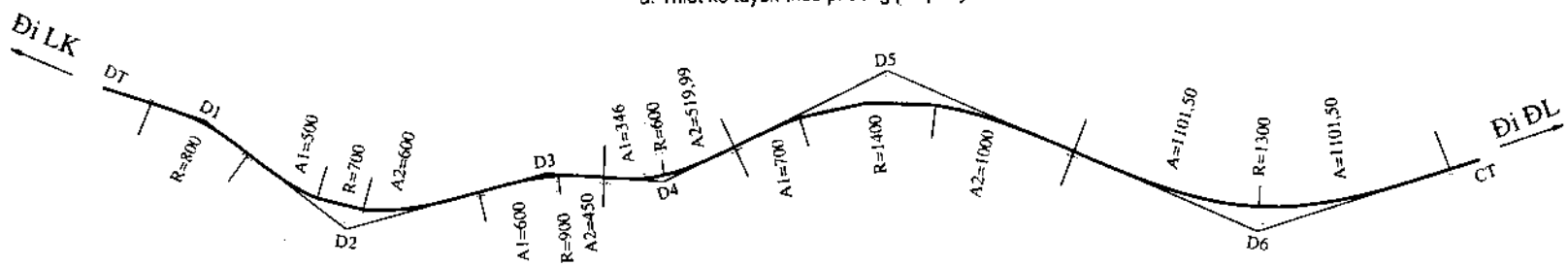
- Tại đỉnh Đ3:

$$CCR_{s3} = \frac{\left[\frac{404,5477}{2\times 916,70} + \frac{227,5594}{2\times 916,7}\right]63700}{(404,5477 + 227,5594)} = 35,34 gon/km$$

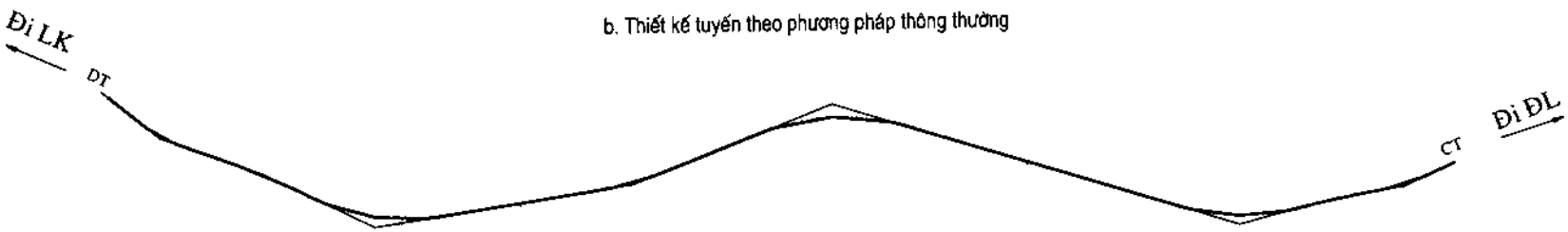
- Tại đỉnh Đ4:

$$CCR_{s4} = \frac{\left[\frac{206,368}{2x632,1059} + \frac{466,122}{2x632,1059}\right]63700}{(206,368 + 466,122)} = 50,39 gon/km$$

a. Thiết kế tuyến theo phương pháp tuyến clothoid



b. Thiết kế tuyến theo phương pháp thông thường



Hình 7.10

- Tại đỉnh Đ5:

$$CCR_{s5} = \frac{\left[\frac{353,87394}{2\times1415,5} + \frac{685,79}{1415,5} + \frac{722,19174}{2\times1415,5}\right]63700}{(353,87394 + 685,79 + 722,19174)} = 30,35 gon/km$$

-Tại đỉnh Đ6:

$$CCR_{s6} = \frac{2\left[\frac{965,63099}{2\times1345}\right]63700}{(2\times965,63099)} = 23,08 gon/km$$

2. Xác định trị số trung bình của hệ số thay đổi độ ngoặt của toàn đoạn ($\overline{CCR_s}$):

Gồm sáu đường cong tổ hợp nối liền sáu đỉnh. Xác định theo công thức:

$$\overline{CCR_s} = \frac{\sum CCR_{Si}.L_i}{\sum L_i} = \frac{A}{B}$$ với

$$A = \left\{\begin{array}{l} 39,81(2x275,35621) + 47,95(404,2296 + 235,57 + 582,09) + \\ +35,340(404,5477 + 227,5594) + 50,39(206,368 + 466,122) + \\ +30,35(353,87394 + 685,79 + 722,19174) + 23,08(2x965,63099) \end{array}\right\}$$

$$B = \left\{\begin{array}{l} (2x275,35621) + (404,2296 + 235,57 + 582,09) + \\ +(404,5477 + 227,5594) + (206,368 + 466,122) + \\ +(353,87394 + 685,79 + 722,19174) + (2x965,63099) \end{array}\right\}$$

$$\overline{CCR_s} = \frac{A}{B} = \frac{234782,72}{6770,313} = 34,678 \approx 34,68 gon/km$$

3. Xác định hiệu số $\left|CCR_{si} - \overline{CCR_s}\right|$:

Tại đỉnh D_1: $|39,81 - 34,68| = 5,13 gon/km$

Tại đỉnh D_2: $|47,05 - 34,68| = 12,37 gon/km$

Tại đỉnh D_3: $|35,34 - 34,68| = 0,66 gon/km$

Tại đỉnh D_4: $|50,39 - 34,68| = 15,71 gon/km$

Tại đỉnh D_5: $|30,35 - 34,68| = 4,33 gon/km$

Tại đỉnh D_6: $|23,08 - 34,68| = 11,6 gon/km$

4. Xác định hiệu số $\left|CCR_{si} - CCR_{si+1}\right|$:

Cặp đỉnh D_1-D_2: $|39,81 - 47,95| = 8,14 gon/km$

Cặp đỉnh D_2-D_3: $|47,95 - 35,34| = 12,61 gon/km$

Cặp đỉnh D_3-D_4: $|35,34 - 50,39| = 15,05 gon/km$

Cặp đỉnh D_4-D_5: $|50,39 - 30,35| = 20,04 gon/km$

Cặp đỉnh D_5-D_6: $|30,35 - 23,08| = 7,27 gon/km$

5. Xác định tốc độ khai thác với suất bảo đảm 85% (V85)

Đoạn tuyến LK-ĐL là đường cao tốc loại B có tốc độ thiết kế V_d=80km/h (theo TCVN5729-97) nhưng các công thức thực nghiệm của CHLB Đức và của Mỹ (New-York) chỉ thiết lập với các tốc độ giới hạn tương ứng là 100km/h và 90km/h. Vì vậy chúng tôi đã tính tốc độ khai thác V_{85} ứng với cả hai trường hợp để có số liệu tham khảo. Cụ thể như sau:

a) Tính V_{85} theo công thức của CHLB Đức ứng với V_d =100km/h:

$$V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8,01CCR_S}, \text{ km/h}$$

- Tại đỉnh D_1: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 39,81)} = \frac{10^6}{8588,878} = 116,42 km/h$

- Tại đỉnh D_2: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 47,95)} = \frac{10^6}{8654,07} = 115,55 km/h$

- Tại đỉnh D_3: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 35,34)} = \frac{10^6}{8553,07} = 116,91 km/h$

- Tại đỉnh D_4: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 50,39)} = \frac{10^6}{8673,62} = 115,29 km/h$

-Tại đỉnh D_5: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 30,35)} = \frac{10^6}{8513,10} = 117,46 km/h$

-Tại đỉnh D_6: $V_{85} = \frac{10^6}{8270 + (8,01 \times 23,08)} = \frac{10^6}{8454,87} = 118,27 km/h$

b) Tính V_{85} theo công thức của New York (Mỹ) ứng với V_d = 90km/h

$$V_{85} = 93,85 - 0,05CCR_s, \text{ km/h}$$

-Tại đỉnh D_1: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 39,81 = 91,86$, km/h

-Tại đỉnh D_2: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 47,95 = 91,45$, km/h

-Tại đỉnh D_3: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 35,34 = 92,08$, km/h

-Tại đỉnh D_4: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 50,39 = 91,33$, km/h

-Tại đỉnh D_5: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 30,35 = 92,34$, km/h

-Tại đỉnh D_6: $V_{85} = 93,85 - 0,05 \times 23,08 = 92,69$, km/h

6. Xác định trị số $|\Delta V| = |V_{85} - V_D|$, km/h theo:

Đỉnh	CHLB Đức (V_d=100km/h)	NewYork (Mỹ) (V_d=90km/h)
D1	16,42 km/h	1,86 Km/h
D2	15,55 km/h	1,45 km/h
D3	16,91 km/h	2,08 km/h
D4	15,29 km/h	1,33 km/h
D5	17,46 km/h	2,34 km/h
D6	18,27 km/h	2,69 km/h

7. Tính các trị số hệ số lực ngang thiết kế (f_{RA})và hệ số lực ngang yêu cầu ứng với tốc độ khai thác V_{85} (f_{DA})

Do quy trình thiết kế của Việt Nam (TCVN 4054-05) chỉ quy định tốc độ thiết kế V_d = 80, 100km/h, đồng thời xác định tốc độ khai thác V_{85} chỉ tính được với tốc độ thiết kế V_d =100km/h (theo CHLB Đức) và V_d = 90km/h (theo New-York – Mỹ) nên ta xét trường hợp ứng với V_d = 100 km/h để có số liệu tham khảo đánh giá chất lượng động lực của đồ án thiết kế.

Đối chiếu TCVN 4054-05 quy định về thiết kế độ dốc siêu cao (i_{sc}) trên đường cong theo tốc độ thiết kế V_d = 100km/h ta có:

Đỉnh	Bán kính R(m)	i_{sc}, (%)
D1	800	3
D2	792,29	4
D3	916,7	3
D4	632,10	4
D5	1415,5	2
D6	1345	2

Từ đó tính được các trị số của hệ số lực ngang như sau:

Đỉnh	Hệ số lực ngang thiết kế ,f_{RA}	Hệ số lực ngang yêu cầu ứng với V_{85} , f_{DA}
D1	$\frac{100^2}{127\times 800} - 0,03 = 0,068$	$\frac{116,42^2}{127\times 800} - 0,03 = 0,103$
D2	$\frac{100^2}{127\times 792,29} - 0,04 = 0,059$	$\frac{115,55^2}{127\times 654,07} - 0,04 = 0,093$

D3	$\frac{100^2}{127\times916,7}-0,03=0,052$	$\frac{116,90^2}{127\times916,7}-0,03=0,087$
D4	$\frac{100^2}{127\times632,10}-0,04=0,124$	$\frac{115,29^2}{127\times632,10}-0,04=0,125$
D5	$\frac{100^2}{127\times1415,5}-0,02=0,055$	$\frac{117,46^2}{127\times1415,5}-0,02=0,056$
D6	$\frac{100^2}{127\times1345}-0,02=0,0385$	$\frac{118,27^2}{127\times1345}-0,02=0,081$

8. Xác định hiệu số $\Delta f = f_{RA} - f_{RD}$ ***tại tất cả các đỉnh của tuyến***

Kết quả như sau:

- Tại đỉnh D_1: $\Delta f_1 = 0,068 - 0,103 = -0,035$
- Tại đỉnh D_2: $\Delta f_2 = 0,059 - 0,093 = -0,034$
- Tại đỉnh D_3: $\Delta f_3 = 0,052 - 0,087 = -0,035$
- Tại đỉnh D_4: $\Delta f_4 = 0,124 - 0,125 = -0,001$
- Tại đỉnh D_5: $\Delta f_5 = 0,055 - 0,056 = -0,001$
- Tại đỉnh D_6: $\Delta f_6 = 0,039 - 0,081 = -0,042$

9. Đánh giá chất lượng của tuyến clothoid thiết kế

Để đánh giá chất lượng của đồ án thiết kế tuyến cao tốc LK-ĐL ta sử dụngba tiêu chuẩn an toàn được nêu ở chương 6.

1. Theo tiêu chuẩn an toàn thứ nhất(xem bảng 6.1 ở chương 6):

Tất cả các hiệu số $\left|CCR_{si} - \overline{CCR_s}\right|$ tại sáu đỉnh của đoạn tuyến thiết kế đều có trị số nhỏ hơn 180 gon/km

Hiệu số $\left|V_{85i} - V_d\right|$ được tính cho cả 6 đỉnh:

Với tốc độ thiết kế V_d = 100km/h đều có trị số nhỏ hơn 10 km/h.

Với tốc độ thiết kế V_d = 100Km/h đều có trị số nhỏ hơn 20km/h. Do tốc độ thiết kế của đường cao tốc LK-ĐL là V_d = 80 Km/h nên đối chiếu theo tiêu chuẩn 1 (xem bảng 6.1) tuyến thiết kế rơi vào trường hợp thứ nhất: Đồ án thiết kế đạt chất lượng tốt .

2. Theo tiêu chuẩn an toàn thứ hai (Bảng 6.1 ở chương 6):

-Tại các đỉnh tất cả các trị số tính được $\left|CCR_{si} - \overline{CCR_s}\right|$ đều nhỏ hơn 180gon/km

Hiệu số $\left|V_{85i} - V_d\right|$ tại tất cả các đỉnh đã được nêu ở trên .

Đối chiếu với tiêu chuẩn an toàn thứ hai tuyến thiết kế hoàn toàn đạt tiêu chuẩn một đồ án *thiết kế tốt* (trường hợp 1)

3. Theo tiêu chuẩn an toàn thứ 3 (bảng 6.1 ở chương 6):

Tại tất cả các đỉnh của tuyến đều đạt CCR_s nhỏ hơn 180 gon/km, nghĩa là đạt tiêu chuẩn thiết kế tốt (trường hợp 1). Còn hiệu số lực ngang Δf_i của các đường cong đều có trị số nằm trong phạm vi $-0,04 \leq \Delta f_i < +0,01$ đạt tiêu chuẩn *chấp nhận được* (trường hợp 2 của tiêu chuẩn 3).

Tóm lại, tất cả những kết quả tính toán ở trên sau khi so sánh với 3 tiêu chuẩn an toàn đã cho chúng ta có nhận xét chung như sau:

Đoạn từ Km0 – Km8 của tuyến đường cao tốc LK-ĐL thiết kế theo phương pháp vạch tuyến clothoid để lựa chọn các trị số bán kính phù hợp và kết hợp các đường cong clothoid một cách hợp lý, là một đồ án *thiết kế đạt chất lượng*, thoả mãn cả ba tiêu chuẩn về an toàn giao thông cùng các yêu cầu kỹ thuật thẩm mỹ khác.

PHỤ LỤC

BẢNG XÁC ĐỊNH CÁC YẾU TỐ CƠ BẢN CỦA CLOTHOID

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0100000	0,1000000	0,000004	0,005000	0	17	11	0,010000	0,000017	0,003333	0,006667
0,0103149	0,1015625	0,000004	0,005157	0	17	44	0,010315	0,000018	0,003438	0,006877
0,0104597	0,1022727	0,000005	0,005230	0	17	59	0,010460	0,000018	0,003487	0,006973
0,0105969	0,1029412	0,000005	0,005298	0	18	13	0,010597	0,000019	0,003532	0,007065
0,0107270	0,1035714	0,000005	0,005364	0	18	26	0,010727	0,000019	0,003576	0,007151
0,0107840	0,1038462	0,000005	0,005392	0	18	32	0,010784	0,000019	0,003595	0,007189
0,0108160	0,1040000	0,000005	0,005408	0	18	36	0,010816	0,000020	0,003605	0,007211
0,0108507	0,1041667	0,000005	0,005425	0	18	39	0,010851	0,000020	0,003617	0,007234
0,0109297	0,1045454	0,000005	0,005465	0	18	47	0,010930	0,000020	0,003643	0,007286
0,0110250	0,1050000	0,000005	0,005512	0	18	57	0,011025	0,000020	0,003675	0,007350
0,0110803	0,1052632	0,000005	0,005540	0	19	03	0,011080	0,000020	0,003693	0,007387
0,0111420	0,1055556	0,000005	0,005571	0	19	09	0,011142	0,000021	0,003714	0,007428
0,0111871	0,1057692	0,000005	0,005594	0	19	14	0,011187	0,000021	0,003729	0,007458
0,0112111	0,1058824	0,000005	0,005606	0	19	16	0,011211	0,000021	0,003737	0,007474
0,0112891	0,1062500	0,000005	0,005645	0	19	24	0,011289	0,000021	0,003763	0,007526
0,0113778	0,1066667	0,000005	0,005689	0	19	34	0 ,011378	0,000022	0,003793	0,007585
0,0114796	0,1071429	0,000006	0,005740	0	19	44	0,011480	0,000022	0,003827	0,007653
0,0115976	0,1076923	0,000006	0,005799	0	19	56	0,011598	0,000022	0,003866	0,007732
0,0116640	0,1080000	0,000006	0,005832	0	20	03	0,011664	0,000023	0,003888	0,007776
0,0117361	0,1083333	0,000006	0,005868	0	20	10	0,011736	0,000023	0,003912	0,007824
0,0119008	0,1090909	0,000006	0,005950	0	20	27	0,011901	0,000024	0,003967	0,007934
0,0119629	0,1093750	0,000006	0,005982	0	20	34	0,011963	0,000024	0,003988	0,007975
0,0121000	0,1100000	0,000006	0,006050	0	20	48	0,012100	0,000024	0,004033	0,008067
0,0121648	0,1102941	0,000006	0,006082	0	20	55	0,012165	0,000025	0,004055	0,008110
0,0122161	0,1105263	0,000006	0,006108	0	21	00	0,012216	0,000025	0,004072	0,008144
0,0123457	0,1111111	0,000006	0,006173	0	21	13	0,012346	0,000025	0,004115	0,008230
0,0124408	0,1115385	0,000006	0,006220	0	21	23	0,0.12441	0,000026	0,004147	0,008294
0,0124913	0,1117647	0,000007	0,006246	0	21	28	0,012491	0,000026	0,004164	0,008328
0,0125087	0,1118421	0,000007	0,006254	0	21	30	0,012509	0,000026	0,004170	0,008339

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0125440	0,1120000	0,000007	0,006272	0	21	34	0,012544	0,000026	0,004181	0,008362
0,0126562	0,1125000	0,000007	0,006328	0	21	45	0,012656	0,000027	0,004219	0,008438
0,0128444	0,1133333	0,000007	0,006422	0	22	05	0,012844	0,000028	0,004282	0,008563
0,0129132	0,1136364	0,000007	0,006457	0	22	12	0,012913	0,000028	0,004305	0,008609
0,0130612	0,1142857	0,000007	0,006531	0	22	27	0,.013061	0,000028	0,004354	0,008708
0,0131293.	0,1145833	0,000007	0,006565	0	22	34	0,013129	0,000029	0,004377	0,008753
0,0132250	0,1150000	0,000007	0,006612	0	22	44	0,013225	0,000029	0,004408	0,008817
0,0133136	0,1153846	0,000007	0,406657	0	22	53	0,013314	0,00030	0,004438	0,008876
0,0131072	0,1157895	0,000008	0,006704	0	23	03	0,013407	0,00 030	0,004469	0,008938
0,0131560	0,11601000	0,000008	0,006728	0	23	08	0,013456	0,000030	0904485	0,008971
0,0134726	0,1160714	0,000008	0,006736	0	23	09	0,013473	0,000030	0,004491	0,008982
0,0136111	0,11061107	0,000008	0,006806	0	23	24	0,013611	0,000031	0,004537	0,009074
0,0137329	0,1171875	0,000008	0,006866	0	23	36	0,0137.33	0,000031	0,004578	0,009155
0,0138408	0,1176471	0,000008	0,006420	0	23	48	0,013541	0,000032	0,004614	0,009227
0,0139371	0,1180556	0,000008	0,006969	0	23	57	0,013937	0,000032	0,004646	0,009291
0,0139669	0,1181818	0,000008	0,006983	0	24	01	0,013967	0,000033	0,004656	0,009311
0,01402311	0,1184211	0,000008	0,007012	0	241.	06	0,014024	0,000033	0,004675	0,009349
0,0141016	0,1187500	0,000008	0,007051	0	24	14	0,014102	0,000033	0,004701	0,009401
0,0144000	0,1200000	0,000009	0,007200	0	24	45	0,014400	0,000035	0,004800	0,009600
0,0146007	0,1208333	0,000009	0,007300	0	25	06	0,014601	0,000036	0,004867	0,009734
0,0146537	0,1210526	0,000009	0,007327	0	25	11	0,014654	0,000036	0,004885	0,009769
0,0147449	0,1214286	0,000009	0,007372	0	25	21	0,014745	0,000036	0,004915	0,009830
0,0149383	0,1222222	0,000009	0,007469	0	25	41	0,014935	0,000037	0,004979	0,009959
0,0150620	0,1227273	0,000009	0,007531	0	25	53	0,015062	0,000038	0,005021	0,010041
0,0151479	0,1230769	0,000010	0,007574	0	26	02	0,015148	0,000038	0,005049	0,010099
0,0152595	0,1235294	0,000010	0,007630	0	26	14	0,015259	0,000039	0,005087	0,010173
0,0156250	0,1250000	0,000010	0,007812	0	26	52	0,015625	0,000441	0,005208	0,010417
0,0159557	0,1263158	0,000011	0,007978	0	27	26	0,015956	0,000042	0,005319	0,010637
0,0160445	0,1266667	0,000011	0,008022	0	27	35	0,016044	0,000043	0,005348	0,010696
0,0161983	0,1272727	0,000011	0,008099	0	27	51	0,016198	0,000044	0,005400	0,010799
0,0163272	0,1277778	0,000011	0,008164	0	28	04	0,016327	0,000044	0,005442	0,010885
0,0165306	0,1285714	0,000011	0,008265	0	28	25	0,016530	0,000046	0,005510	0,011020
0,6167474	0,1294118	0,000012	0,008374	0	28	47	0,016747	0,000047	0,005583	0,011165
0,0169000	0,1300000	0,000012	0,008450	1	29	03	0,016900	0,000048	0,005633	0,011267

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
010171006	0,1807692	0,000012	0,008550	0	29	24	0,017100	0,000049	0,005700	0,011400
0,0172266	0,1312500	0,000012	0,008613	0	29	36	0,017226	0,000049	0,005742	0,011484
0,0173130	0,1315789	0,000012	0,008656	0	29	46	0,017313	0,000050	0,005771	0,011542
0,0173760	0,1318182	0,000013	0,008688	0	29	52	0,017376	0,000050	0,005792	0,011584
0,0174093	0,1319444	8,000013	0,008705	0	29	56	0,017409	0,000051	0,005803	0,011606
0,0175173	0,1323529	0,000013	0,008759	0	30	07	0,017517	0,000051	0,005839	0,011678
0,0176392	0,1328125	0,000013	0,008820	0	30	19	0,017639	0,000052	0,005880	0,011759
0,0177778	0,1333333	0,000013	0,008,989	0	30	34	0,017778	0,000053	0,005926	0,011852
0,0179369	0,1339286	0,000014	0,008968	0	30	50	0,017937	0,000054	0,005979	0,011958
0,0181213	0,1346154	0,000014	0,009061	0	31	09	0,018121	0,000055	0,006041	0,012081
0,0182250	0,1350000	0,000014	0,009112	0	31	20	0,018225	0,000055	0,006075	0,012150
0,0183045	0,1352941	0,000014	0,009162	0	31	28	0,018394	0,000056	0,006102	0,012203
0,0183377	0,1354167	0,000014	0,009169	0	31	31	0,018338	0,000056	0,006113	0,012225
0,0184184	0,1357143	0,000014	0,009209	0	31	40	0,018418	0,000057	0,006140	0,012279
0,0185950	0,1363636	0,000014	0,009298	0	31	58	0,018595	0,000058	0,006198	0,012397
0,0187258	0,1368421	0,000015	0,009363	0	32	11	0,018726	0,000058	0,006242	0,012484
0,0189062	0,1375000	0,000015	0,009453	0	32	30	0,018906	0,000060	0,006302	0,012604
0,0191716	0,1384615.	0,000015	0,009586	0	32	57	0,019171	0,000061	0,006391	0,012781
0,0192901	0,1388889	0,000015	0,009645	0	33	09	0,019290	0,000062	0,006430	0,012860
0,0195177	0,1397059	0,000016	0,009759	0	33	33	0,019518	0,000063	0,006506	0,013012
0,0196000	0,1400000	0,000016	0,009800	0	33	41	0,019600	0,000064	0,006534	0,013067
0,0197754	0,1406250	0,000016	0,009888	0	34	00	0,019775	0,000065	0,006592	0,013184
0,0199308	0,1411765	0,000017	0,009965	0	34	15	0,019931	0,000066	0,006644	0,013287
0,0200695	0,1416667	0,000017	0,010035	0	34	30	0,020069	0,000067	0,006690	0,013380
0,0201939	0,1421053	0,000017	0,010097	0	34	43	0,020194	0,000068	0,006731	0,013463
0,0204082	0,1428571	0,000017	0,010204	0	35	05	0,020408	0,000069	0,006803	0,013606
0,0206641	0,1437500	0,000018	0,010332	0	35	31	0,020664	0,000071	0,006888	0,013776
0,0208025	0,1442308	0,.000018	0,010401	0	35	46	0,020802	0,000072	0,006934	0,013868
0,0208642	0,1444444	0,000018	0,010432	0	35	52	0,020864	0,000073	0,006955	0,013909

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0209487	0,1447368	0,000018	0,010475	0	36	00	0,020949	0,000073	0,006983	0,013966
0,0210250	0,1450000	0,000018	0,010512	0	36	08	0,021025	0,000074	0,007008	0,014017
0,0211570	0,1454545	0,000019	0,010578	0	36	22	0,021157	0,000075	0,007053	0,014105
0,0212674	0,1458333	0,000019	0,010680	0	36	33	0,021267	0,000075	0,007089	0,014178
0,0213609	0,1461538	0,000019	0,010634	0	36	43	0,021361	0,000076	0,007120	0,014241
0,0215111	0,1466667	0,000019	0,010756	0	36	58	0,021511	0,000077	0,007171	0,014341
0,0216263	0,1470588	0,000019	0,010813	0	37	10	0,021626	0,000078	0,007209	0,014417
0,0217174	0,1473684	0,000020	0,010859	0	37	20	0,021717	0,000079	0,007239	0,014478
0,0218234	0,1477273	0,000020	0,010912	0	37	31	0,021823	0,000079	0,007275	0,014549
0,0220337	0,.1484375	0,000020	0,011017	0	37	53	0,022033	0,000081	0,007345	0,014689
0,0225000	0,1500000	0,000021	0,011250	0	38	40	0,022500	0,000084	0,007500	0,015000
0,0230389	0,1517857	0,000022	0,011519	0	39	36	0,023039	0,000088	0,007680	0,015359
0 0232964	0,1526316	0,000023	0,011648	0	40	02	0,023206	0,000090	0,007766	0,015530
0,0233411	0,1527778	0,000023	6,011671	0.	40	07	0,023341	0,000091	0,007781	0,015561
0,0233910	0,1529412	0,000023	0,01169	0	40	13	0,023391	0,000091	0,007797	0,015594
0,0235111	0,1533333	0,000023	0,011756	0	40	25	0,023511	0,000092	0,007837	0,015674
0,0236687	0,1538462	0,000023	0,011834	0	40	41	0,023608	0,000093	0,007890	0,015779
0,0238843	0,1545455	0,000024	0,011942	0	41	03	0,023884	0,000095	0,007962	0,015923
0,0241975	0,1555556	0,000024	0,012099	0	41	36	0,024197	0,000098	0,008066	0,016132
0,0244141	0,1562500	0,000025	0,012207	0	41	58	0,024414	0,000099	0,008138	0,016276
0,0246939	0,1571429	0,000025	0,012347	0	42	27	0,024694	0,000102	0,008232	0,016463
0,0249307	0,1578947	0,000026	0,012465	0	42	51	0,024930	0,000104	0,008310	0,016621
0,0250694	0,1583333	0,000026	0,012535	0	43	06	0,025069	0,000105	0,008357	0,016713
0,0252249	0,1588235	0,000026	0,012612	0	43	21	0,025225	0,000106	0,008408	0,016817
0,0253099	0,1590909	0,000027	0,012655	0	43	30	0,025310	0,000107	0,008437	10,016873
0,0256000	0,1600000	0,000027	0,012800	0	44	00	0,025600	0,000109	0,008534	0,017067
0,0258291	0,1607143	0,000028	0,012915	0	44	24	0,025829	0,000111	0,008610	0,017219
0,0259568	0,1611111	0,000028	0,012978	0	44	37	0,025956	0,000112	0,008652	0,017305
0,0260947	0,1615385	0,000028	0,013047	0	44	51	0,026094	0,000113	0,008699	0,01.7397
0,0261678	0,1617647	0,000029	0,013084	0	44	59	0,026167	0,000114	0,008723	0,017445
0,0264062	0,1625000	0,000029	0,013203	0	45	23	0,026406	0,000116	0,008802	0,017604
0,0266205	0,1631579	0,000030	0,013310	0	45	46	0,026620	0,000118	0,008874	0,017747
0,0267197	0,1634615	0,000030	0,013360	0	45	56	0,026719	0,000119	0,008907	0,017813
0,0267769	0,1636364	0,000030	0,013388	0	46	01	0,026776	0,000120	0,008926	0,017851
0,0269898	0,1642857	0,000030	0,013495	0	46	23	0,026989	0,000122	0,008997	0,017,993

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{l}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0271280	0,1647059	0,000031	0,013564	0	46	38	0,027128	0,000123	0,009043	0,018085
0,0277778	0 1666667	0,000032	0,013889	0	47	45	0,027777	0,000129	0,009260	0,018519
0,0283657	0,1684211	0,000034	0,014183	0	48	45	0,028365	0,0001,34	0,009455	0,018910
0,0284766	0,1687500	0,000034	0,014238	0	48	57	0,028476	0,000135	0,009493	0,018984
0,0286391	0,1692308	0,000034	0,014319	0	49	14	0 028638	0,000137	0,009547	0,019093
0,0287787	0,1696429	0,000035	0,014389	0	49	28	0,028778	0,000138	0,009593	0,019186
0,0289000	0,1700000	0,000035	0,014450	0	49	40	0,028899	0,000139	0,009634	0,019267
0,0290547	0,1704545	0,000035	0,014527	0	49	56	0,029054	0,000141	0,009685	0,019370
0,0291003	0,1705882	0,000035	0,014550	0	50	01	0,029100	0,000141	0,009700	0,019400
0,0292590	0,1710526	0,000036	0,014629	0	50	17	0,029258	0,000143	0,009753	0,019506
0,0293878	0,1714286	0,000036	0,014694	0	50	31	0,029387	0,000144	0,009796	0,019592
0295410	0,1718750	0,000036	0,014771	0	50	47	0,029540	0,000145	0,009847	0,019694
0298347	0,1727273	0,000037	0,014017	0	51	17	0,029834	0,000148	0,009945	0,019890
0,0299556	0,1730769	0,000037	0,014978	0	51	29	0,029955	0,000150	0,009986	0,019970
0,0300444	0,1733333	0,000038	0,015022	0	51	38	0,030044	0,000150	0,010015	0,020030
0,0306250	0,1750000	0,000039	0,015312	0	52	38	0,030624	0,000156.	0,010209	0,020417
0,0311419	0,1764706	0,000040	0,015571	0	53	32	0,031141.	0,000162	0,010381	0,020761
0,0313018	0,1769231	0,000041	0,015651	0	53	48	0,031301	0,000163	0,010434	0,020867
0,0313585	0,1770833	0,000041	0,015679	0	53	54	0,031358	0,000164	0,010453	0,020906
0,0316049	0,1777778	0,000042	0,015802	0	54	20	0,031604	0,000166	0,010535	0,021070
0,0318877	0,1785714	0,000042	0,015944	0	54	49	0,031887	0,000169	0,010630	0,021259
0,0320222	0,1789474	0,000043	0,016011	0	55	03	0,032021	0,000171	0,010675	0,021348
0,0324000	0,1800000	0,000044	0,016200	0	55	41	0,032399	0,000175	0,010801	0,021600
0,0326003	0,1805556	0,000044	0,016300	0	56	02	0,032590	0,000177	0,010868	0,021734
0,0328516	0,1812500	0,000045	0,016426	0	56	28	0,032851	0,000180	0,010951	0,021901
0,0330579	0,1818182	0,000045	0,016529	0	56	49	0,033057	0,000182	0,011020	0,022039
0,0333765	0,1826923	0,000046	0,016688	0	57	22	0,033376	0,000186	0,011126	0,022251
0,0336111	0,1833333	0,000047	0,016805	0	57	46	0,033610	0,000188	0,011204	0,022408
0,0339335	0,1842105	0,003048	0,016967	0	58	20	0,033933	0,000192	0,011311	0,022623

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0340828	0,1846154	0,000048	0,017041	0	58	35	0,034082	0,000194	0,011361	0,022722
0,0344898	0,1857143	0,000050	0,017245	0	59	17	0,034489	0,000198	0,011497	0,022994
0,0348445	0,1866667	0,000051	0,017422	0	59	53	0,034843	0,000202	0,011615	0,023230
0,0351562	0,1875000	0,000052	0,017578	1	00	26	0,035155	0,000206	0,011719	0,023438
0,0354325	0,1882353	0,000052	0,017716	1	00	54	0,035431	0,000209	0,011811	0,023622
0,0356790	0,1888889	0,000053	0,017839	1	01	20	0,035678	0,000212	0,011893	0,023787
0,0359003	0,1894737	0,000054	0,017950	1	01	42	0,035899	0,000215	0,011967	0,023934
0,0361000	0,1900000	0.,000054	0,018050	1	02	03	0,036099	0,000217	0,012033	0,024067
0,0364463	0,1909091	0,000055	0,018223	1	02	39	0,036445	0,000221	0,012149	0,024298
0,0365485	0,1911765	0,000056	0,018274	1	02	49	0,036547	0,000223	0,012182	0,024367
0,0367361	0,1916667	0,000056	0,018368	1	03	09	0,036735	0,000225	0,012245	0,024492
0,0369823	0,1923077	0,000057	0,018491	1	03	34	0,036981	0,000228	0,012328	0,024656
0,0371939	0,1928571	0,000058	0,018597	1	03	56	0,037193	0,000229	0,012398	0,024797
0,0373192	0,1931818	0,000058	0,018659	1	04	09	0,037318	0,000232	0,012440	0,024880
0,0373778	0,1933333	0,000058	0,018689	1	04	15	0,037376	0,000233	0,012459	0,024919
0,0378086	0,1944414	0,000059	0,018904	1	04	59	0,037807	0,000238	0,012603	0,025206
0,0385842	0,1964256	0,000062	0,019292	1	06	19	0,038583	0,000240	0,012862	0,025724
0,0389543	0,1973684	0,000063	0,019477	1	06	58	0,038953	0,000253	0,012985	0,025970
0,0391710	0,1979167	0,000064	0,019585	1	07	20	0,039170	0,000256	0,013057	0,026115
0,04,00000	0,2000000	0,000067	0,020000	1	08	45	0,039995	0,000267	0,013334	0,026667
0,0412598	0,2031250	0,000071	0,020630	1	10	55	0,0112.58	0,000284	0,013754	0,027507
0,0418389	0,2045455	0,000073	0,020919	1	11	55	0,041837	0,000292	0,013907	0,027893
0,0423876	0,2058824	0,000075	0,021193	1	12	51	0,042385	0,000299	0,014130	0,028259
0,0429082	0,2071429	0,000077	0,021454	1	13	45	0,042906	0,000307	0,014304	0,028606
0,0431361	0,2076923	0,000077	0,021568	1	14	09	0,043134	0,000310	0,014380	0,028758
0,0434028	0,2083333	0,000079	0,021701	1	14	36	0,043401	0,000314	0,014469	0,028935
0,0437190	0,2090909	0,000079	0,021859	1	15	09	0,043717	0,000319	0,014574	0,029146
0,0441000	0,2100000	0,000081	0,022050	1	15	48	0,044095	0,000324	0,014701	0,029400
0,0443213	0,2105263	0,000082	0,022160	1	113	11	0,041319	0,000328	0,014857	0,029548
0,0445679	0,2111111	0,000083	0,022284	1	16	36	0,044566	0,000331	0,014857	0,029712
0,0447485	0,2115385	0,000083	0,022374	1	16	55	0,044746	0,000334	0,014917	0,029833
0,0448443	0,2117647	0,000084	0,022422	1	17	05	0,044842	0,000335	0,014949	0,029897
0,0451562	0,2125000	0,000085	0,022578	1	17	37	0,045154	0,000340	0,015053	0,030105
0,0455111	0,2133333	0,000086	0,022755	1	18	14	0,045509	0,000345	0,015171	0,030341
0,0459184	0,2142857	0,000088	0,022959	1	18	56	0,045916	0,000351	0,015307	0,030613

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0463905	0,2153846	0,000090	0,023195	1	19	45	0,046388	0,000359	0,015465	0,036928
0,0466167	0,2159091	0,006090	0,023308	1	20	08	0,046614	0,000362	0,015540	0,031078
0,0469445	0,2166667	0,000092	0,023472	1	20	42	0,046942	0,000367	0,015649	0,031297
0,0476033	0,2181818	0,000094	0,023801	1	21	50	0,047601	0,000378	0,015869	0,031736
0,0478516	0,2187500	0,000095	0,02342.5	1	22	15	0,047849	0,000382	0,015951	0,031902
0,0484000	0,2200000	0,006098	0,024200	1	23	12	0,048397	0,000390	0,016134	0,032268
0,0486592	0,2205882	0,010099	0,024329	1	23	38	0,048656	0,000395	0,016221	0,032440
0,0488643.	0,2210526	0,001099	0,024432	1	23	59	0,048861	0,000398	0,016289	0,032577
0,0493827	0,2222222	0,000102	0,024691	1	24	53	0,049380	0,000406	0,016462	0,032923
0,0497633	0,2230769	0,000103	0,024881	1	25	32	0,049760	0,000413	0,016589	0,033177
0,0499654	0,2235294	0,060104	0,024982	1	25	53	0,049962	0,000416	0,016656	0,033311
0,0500346	0,2236842	0,000104	0,025017	1	26	00	0,050031	0,000417	0,016679	0,033358
0,0506250	0,2250000	0,000107	0,025312	1	27	01	0,056622	0,000427	0,016876	0,033751
0,0513778	0,2266667	0,000110	0,025688	1	28	19	0,051374	0,000440	0,017127	0,034253
0,0516529	0,2272727	0,000111	0,025826	1	28	47	0,051649	0,000445	0,017219	0,034437
0,0522449	0,2285714	0,000114	0,026122	1	29	48	0,052241	0,000455	0,017416	0,034831
0,0525174	0,2291667	0,000115	0,026258	1	30	16	0,052514	0,000460	0,017507	0,035013
0,0529000	0,2300000	0,000117	0,026449	1	30	56	0,052896	0,000466	0,017634	0,035268
0,0532544	0,2307692	0,000118	0,026627	1	31	32	0,053251	0,060473	0,017752	0,035505
0,0536288	0,2315790	0,000120	0,026814	1	32	11	0,053625	0,000479	0,017877	0,035754
0,0538903	0,2321429	0,000121	0,026944	1	32	38	0,053886	0,000484	0,017965	0,035928
0,0544444	0,2333333	0,600123	0,027222	1	33	35	0,054440	0,000494	0,018149	0,036298
0,0549316	0,2343750	0,000126	0,027465	1	34	25	0,054927	0,000403	0,018312	0,036622
0,0553633	0,2352941	0,000128	0,027681	1	35	10	0,055359	0,000511	0,018456	0,036910
0,0557485	0,2361111	0,060129	0,027874	1	35	49	0,055744	0,000518	0,018584	0,037167
0,0558678	0,2363636	0,000130	0,027933	1	36	02	0,055863	0,000520	0,018624	0,037247
0,0560942	0,2368421	0,000131	0,028046	1	36	25	0,056090	0,000524	0,018700	0,037398
0,0564062	0,2375000	0,000133	0,028202	1	36	57	0,056402	0,000530	0,018804	0,037606
0,0576000	0,2400000	0,000138	0,028799	1	39	01	0,057595	0,000553	0,019202	0,038401

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0584028	0,2416667	0,000142	0,029200	1	40	23	0,058398	0,000568	0,019470	0,038937
0,0586150	0,2421053	0,000143	0,029307	1	40	45	0,058610	0,000573	0,019540	0,039078
0,0589796	0,2428571	0,000145	0,029489	1	41	23	0,058974	0,000580	0,019662	0,039321
0,0597531	0,2444444	0,000149	0,029876	1	42	43	0,059748	0,000595	0,019920	0,039837
0,0602479	0,2454545	0,000151	0,030123	1	43	34	0,060242	0,000605	0,020085	0,040167
0,0605917	0,2461538	0,000153	0,030295	1	44	09	0,060586	0,000612	0,020199	0,040396
0,0610381	0,2470588	0,000155	0,030518	1	44	55	0,061032	0,000621	0,020348.	0,040694
0,0625000	0,2500000	0,000163	0,031249	1	47	26	0,062494	0,000651	0,020835	0,041669
0,0638227	0,2526316	0,000170	0,031910	1	49	42	0,053816	0,000679	0,021276	0,042551
0,0641778	0,2533333	0,000172	0,032088	1	50	19	0,064171	0,000686	0,021395	0,042787
0,0647934	0,2545455	0,000175	0,032395	1	51	22	0,064787	0,000700	0,021600	0,043198
0,0653087	0,2555556	0,000178	0,032635	1	52	15	0,065302	0,000711	0,021772	0,043542
0,0661225	0,2571429	0,000182	0,033060	1	53	39	0,066115	0,000729	0,022043	0,044084
0,0669896	0,2588235	0,000187	0,033494	1	55	09	0,066982	0,000748	0,022332	0,044662
0,0676000	0,2600000	0,000190	0,033799	1	56	12	0,057592	0,000762	0,022536	0,045069
0,0684024	0,2615385	0,000195	0,034200	1	57	34	0,068394	0,000780	0,022803	0,045604
0,0689062	0,2625000	0,000198	0,034452	1	58	27	0,068898	0,000791	0,022971	0,045940
0,0692521	0,2631579	0,000200	0,034625	1	59	02	0,069244	0,000800	0,023087	0,046171
0,0695042	0,2636364	0,000201	0,034751	1	59	28	0,069496	0,000805	0,023171	0,046339
0,0696374	0,2638889	0,000202	0,034817	1	59	42	0,069629	0,000808	0,023215	0,046428
0,0700692	0,2647059	0,000204	0,035033	2	00	211	0,070061	0,000818	0,023359	0,046716
0,0705566	0,2656250	0,000207	0,035277	2	01	17	0,070548	0,000830	0,023522	0,047041
0,0711111	0,2666667	0,000211	0,035554	2	02	14	0,071102	0,000843	0,023707	0,047411
0,0717474	0,2678571	0,000215	0,035872	2	03	20	0,071738	0,000858	0,023919	0,047835
0,0724852	0,2692308	0,000219	0,036241	2	04	36	0,072476	0,000876	0,024165	0,048327
0,0729000	0,2700000	0,000221	0,036449	2	05	18	0,072891	0,000886	0,024303	0,048603
0,0732810	0,2705882	0,000224	0,036608	2	05	51	0,073208	0,000893	0,024409	0,048815
0,0733507	0,2708333	0,000224	0,036764	2	06	05	0,073341	0,000897	0,024453	0,048904
0,0736735	0,2714286	0,000226	0,036835	2	06	38	0,073663	0,000905	0,024561	0,049119
0,0743802	0,2727273	0,000231	0,037189	2	07	51	0,074370	0,000922	0,024797	0,049590
0,0749030	0,2736842	0,000234	0,037450	2	08	45	0,074893	0,000935	0,024971	0,049939
0,0756250	0,2750000	0,000238	0,037811	2	09	59	0,075614	0,000953	0,025212	0,050420
0,0766864	0,2769231	0,000245	0,038342	2	11	49	0,076675	0,000980	0,025566	0,051128
0,0771605	0,2777778	0,000248	0,038578	2	12	38	0,077149	0,000992	0,025724	0,051444
0,0780710	0,2794118	0,000254	0,039034	2	14	12	0,078059	0,001016	0,026028	0,052051

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0784000	0,2800000	0,000256	0,039198	2	14	46	0,078388	0,001024	0,026137	0,052271
0,0791016	02812500	0,000261	0,039549	2	15	58	0,079089	0,001043	0,026371	0,052738
0,0797232	0,2823529	0,000265	0,039859	2	17	02	0,079711	0,001059	0,026579	0,053153
0,0802778	0,2833333	0,000268	0,040137	2	17	59	0,080265	0,001074	0,026764	0,053523
0,0807756	0,2842105	0,000272	0,040336	2	18	51	0,080762	0,001087	0,028930	0,053854
0,0816327	0,2857143	0,000277	0,040814	2	20	111	0,081619	0,001111	0,027216	0,054426
0,0826562	0,2875000	0,000285	0,041326	2	22	04	0,082642	0,001139	0,027557	0,055109
0,0832100	0,2884615	0,000288	0,041603	2	23	02	0,083196	0,001154	0,027742	0,055478
0,0834568	0,2888889	0,000290	0,041726	2	23	27	0,083442	0,001161	0,027824	0,055643
0,0837950	0,2894737	0,000293	0,041395	2	24	02	0,083780	0,001170	0,027937	0,055868
0,0841000	0,2900000	0,000295	0,042048	2	24	33	0,084085	0,001179	0,028039	0,056071
0,0846281	0,2909091	0,000298	0,042312	2	25	28	0,084613	0,001194	0,028215	0,056423
0,0850694	0,2916667	0,000302	0,042532	2	26	14	0,085054	0,001206	0,028362	0,056718
0,0854438	0,2923077	0,000301	0,042719	2	26	52	0,085428	0,001217	0,028487	0,056968
0,0860444	0,2933333	0,000309	0,043020	2	27	54	0,086029	0,001234	0,028687	0,057368
0,0865052	0,2941176	0,000312	0,043250	2	28	42	0,086489	0,001247	0,028841	0,057675
0,0868698	0,2947368	0,000314	0,043432	2	29	19	0,086853	0,001253	0,028962	0,057918
0,0872934	0,2954545	0,000318	0,043644	2	30	03	0,087277	0,001270	0,029103	0,058201
0,0881348	0,2968750	0,000324	0,044065	2	31	30	0,088118	0,001294	0,029381	0,058762
0,0900000	0,3000000	0,000338	0,044997	2	34	42	0,089982	0,001350	0,030006	0,060006
0,0921556	0,3035714	0,000354	0,046075	2	38	24	0,092136	0,001415	0,030725	0,061443
0,0931856	0,3052632	0,000362	0,046590	2	40	10	0,093165	0,001447	0,031069	0,062131
0,0933642	0,3065556	0,000363	0,046679	2	40	29	0,093344	0,001453	0,031128	0,062250
0,0935640	0,3058824	0,000365	0,046779	2	40	49	0,093544	0,001459	0,031195	0,062383
0,0940444	0,3066667	0,000369	0,047019	2	41	39	0,094024	0,001474	0,031355	0,062704
0,0946746	0,3076923	0,000374	0,047334	2	42	44	0,094653	0,001494	0,031565	0,063124
0,0955372	0,3090909	0,000380	0,047765	2	44	13	0,095515	0,001521	0,031853	0,063699
0,0961000	0,3100000	0,000385	0,048046	2	45	11	0,096078	0,001539	0,032041	0,064074
0,0967901	0,3111111	0,000390	0,015391	2	46	22	0,096767	0,001561	0,032271	0,064534

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0976562	0,3125000	0,000398	0,048824	2	47	52	0,097633	0,001589	0,032560	0,065112
0,0987755	0,3142857	0,000406	0,049384	2	49	47	0,098751	0,001626	0,032933	0,065859
0,0997230	0,3157895	0,000414	0,049857	2	51	25	0,099698	0,001657	0,033249	0,066491
0,1002778	0,3166667	0,000419	0,050135	2	52	22	0,100253	0,001676	0,033434	0,066861
0,1008997	0,3176471	0,000424	0,050446	2	53	26	0,100874	0,001696	0,033641	0,067275
0,1012397	0,3181818	0,000427	0,050615	2	54	01	0,101214	0,001708	0,033755	0,067502
0,1024000	0,3200000	0,000437	0,051196	2	56	01	0,102373	0,001747	0,034142	0,068276
0,1033163	0,3214286	0,000445	0,051654	2	57	35	0,103289	0,001779	0,034448	0,068887
0,1038271	0,3222222	0,000449	0,051909	2	58	28	0,103799	0,001796	0,034618	0,069228
0,1043787	0,3230769	0,000454	0,052184	2	59	25	0,104350	0,001815	0,034802	0,069596
0,1046713	0,3235294	0,000456	0,052331	2	59	55	0,104643	0,001826	0,034899	0,069791
0,1056250	0,3250000	0,000465	0,052808	3	01	34	0,105596	0,001859	0,035218	0,07.0427
0,1068787	0,3269231	0,000476	0,053434	3	03	43	0,106848	0,001903	0,035636	0,071263
0,1071074	0,3272727	0,000478	0,053548	3	04	06	0,117077	0,001912	0,035712	0,071416
0,1079592	0,3285714	0,000486	0,053974	3	05	34	0,117928	0,001942	0,035996	0,071984
0,1085121	0,3294118	0,000490	0,054251	3	06	31	0,118480	0,001962	0,036181	0,072353
0,1089000	0,3300000	0,000494	0,054445	3	07	11	0,118868	0,001976	0,036310	0,072612
0,1111111	0,3333333	0,000515	0,055550	3	10	59	0,111077	0,002057	0,037048	0,074086
0,1134626	0,3368421	0,000536	0,056725	3	15	02	0,113426	0,002145	0,037832	0,075655
0,1139062	0,3375000	0,000541	0,056947	3	15	48	0,113869	0,002162	0,037981	0,075951
0,1145562	0,3384615	0,000547	0,057272	3	16	55	0,114519	0,002187	0,038197	0,076384
0,1151148	0,3392857	0,000552	0,057551	3	17	52	0,115077	0,002208	0,038384	0,076757
0,1156000	0,3400000	0,000557	0,057794	3	18	42	0,115561	0,002227	0,038545	0,077080
0,1162190	0,3409091	0,000563	0,058103	3	19	46	0,116180	0,002251	0,038752	0,077493
0,1164014	0,3411765	0,000564	0,058194	3	20	05	0,116362	0,002258	0,038813	0,077615
01170360	0,3421053	0,000571	0,058511	3	21	10	0,116996	0,002282	0,039025	0,078038
0,1175510	0,3428571	0,000576	0,058769	3	22	03	0,117510	0,002302	0039196	0,078382
0,1181641	0,3437500	0,000582	0,059075	3	23	07	0,118123	0,002327	0,039401	0,078791
0,1193388	0,3454545	0,000593	0,059662	3	25	08	0,119290	0,002373	0,039793	0,079574
0,1198225	0,3461538	0,000598	0,059904	3	25	58	0,119779	0,002392	0,039954	0,079897
0,1201778	0,3466667	0,000602	0,060081	3	26	34	0,120134	0,002406	0,040073	0,080134
0,1225000	0,3500000	0,000625	0,061242	1	30	34	0,122454	0,002500	0,040848	0,081683
0,1245675	0,3529412	0,000646	0,062276	1	34	07	0,124519	0,002585	0,041538	0,083062
0,1252071	0,3538462	0,000053	0,062595	3	35	13	0,125198	0,002012	0,041751	0,083489
0,1254340	0,3541667	0,000656	0,062709	3	35	36	0,125385	0,002622	0,041827	0,083640

L/R	A/R	p/R	t/R	β °	β '	β "	x_o/R	y_o/R	T_M/R	T_a/R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1264198	0,3555556	0,000666	0,063201	3	37	18	0,126369	0,002663	0,042156	0,084298
0,1275511	0,3571429	0,000678	0,063767	3	39	15	0,127494	0,002711	0,042533	0,085053
0,1280886	0,3578947	0,000683	0,064035	3	40	10	0,128036	0,002734	0,042713	0,085411
0,1296000	0,3600000	0,000700	0,064791	3	42	46	0,129546	0,002798	0,043217	0,086419
0,1304012	0,3611111	0,000708	0,065191	3	44	09	0,130346	0,002833	0,043483	0,086954
0,1314062	0,3625000	0,000719	0,065694	3	45	52	0,131350	0,002877	0,043820	0,087625
0,1322314	0,3636364	0,000728	0,066106	3	47	17	0,132174	0,002913	0,044095	0,088175
0,1335059	0,3653846	0,000742	0,066743	3	49	29	0,133446	0,002970	0,044520	0,089025
0,1344444	0,3666667	0,000753	0,067212	3	51	06	0,134384	0,003012	0,044834	0,089651
0,1357340	0,3684210	0,000767	0,067857	3	53	19	0,135672	0,003070	0,045265	0,090511
0,1363314	0,3692308	0,000774	0,068155	3	54	20	0,136268	0,003097	0,045464	0,090910
0,1369000	0,3700000	0,000781	0,068439	3	55	19	0,136836	0,003123	0,045654	0,091289
0,1379592	0,3714286	0,000793	0,068969	3	57	08	0,137894	0,003171	0,046007	0,091996
0,1393778	0,3733333	0,000809	0,069678	3	59	34	0,139310	0,003237	0,046480	0,092942
0,1406250	0,3750000	0,000824	0,070301	4	01	43	0,140556	0,003295	0,046897	0,093774
0,1417301	0,3764706	0,000837	0,070853	4	03	37	0,141659	0,003347	0,047266	0,094512
0,1427161	0,3777778	0,000848.	0,071346	4	05	19	0,142643	0,003393	0,047595	0,095170
0,1436011	0,3789474	0,000859	0,071788	4	06	50	0,143527	0,003433	0,047890	0,095760
0,1444000	0,3800000	0,000869	0,072187	4	08	12	0,144325	0,003474	0,048157	0,096293
0,1457851	0,3818182	0,000886	0,072880	4	10	35	0,115708	0,003541	0,048620	0,097217
0,1461937	0,3823529	0,000890	0,073084	4	11	17	0,146116	0,003561	0,048756	0,097490
0,1469444	0,3833333	0,000899	0,073459	4	12	35	0,146865	0,003597	0,049006	0,097991
0,1479290	0,3846154	0,000912	0,073951	4	14	16	0,147848	0,003646	0,049335	0,098648
0,1487755	0,3857143	0,000922	0,074374	4	15	44	0,148693	0,003688	0,049618	0,099213
0,1492768	0,3863636	0,000928	0,074625	4	16	35	0,149194	0,003712	0,049785	0,099547
0,1496111	0,3866667	0,000931	0,074742	4	16	59	0,149428	0,003724	0,049864	0,099704
0,1512346	0,3888889	0,000953	0,075603	4	19	57	0,151148	0,003810	0,050439	0,100853
0,1521000	0,3900000	0,000964	0,076036	4	21	26	0,152012	0,003854	0,050728	0,101431
0,1543367	0,3928571	0,000992	0,077153	4	25	17	0,154245	0,003968	0,051475	0,102923

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1558171	0,3947368	0,001012	0,077893	4	27	50	0,155723	0,004045	0,051969	0,103911
0,1566840	0,3958333	0,001023	0,078326	4	29	19	0,156588	0,034390	0,052259	0,104193
0,1600000	0,4000000	0,001066	0,079983	4	35	01	0,159898	0,034265	0,053366	0,106702
0,1650391	0,4062500	0,001135	0,082501	4	43	41	0,164927	0,094537	0,055349.	0,110365
0,1673554	0,4090909	0,001167	0,083658	4	47	40	0,167238	0,004636	0,055822	0,111610
0,1681000	0,4100000	0,001177	0,084030	4	48	57	0,167981	0,034707	0,056971.	0,112108
0,1695502	0,4117647	0,001197	0,084755	4	51	26	0,169428	0,034789	0,056555	0,113376
0,1716326	0,4142857	0,001227	0,085796	4	55	01	0,171506	0,034907	0,057251	0,114466
0,1725444	0,4153846	0,001240	0,086251	4	56	35	0,172416	0,094959	0,057556	0,115074
0,1736111	0,4166667	0,001255	0,036784	4	58	25	0,173483	0,005021	0,057912.	0,115786
0,1748760	0,4181818	0,001274	0,087416	5	00	35	0,174742	0,035394	0,058335	0,116630
0,1764000	0,4200000	0,001296	0,088177	5	03	13	0,176263	0,035183	0,053814	0,117643
0,1772853	0,4210526	0,001309	0,088619	5	04	44	0,177146	0,035235	0,0591.40	0,118239
0,1782716	0,4222222	0,001324	0,089112	5	06	25	0,178130	0,095294	0,059469	0,118397
0,1789941	0,4230769	0,001335	0,089473	5	07	40	0,178851	0,005337	0,039711	0,119379
0,1793772	0,4235294	0,001341.	0,089665	5	08	20	0,179233	0,005353	0,059838	0,119635
0,1806250	0,4250000	0,001359	0,090288	5	10	28	0,180478	0,035431	0,060255	0,120468
0,1820444	0,4266667	0,001380	0,090997	5	12	55	0,181894	0,005523	0,060733	0,12 415
0,1836734	0,4285714	0,001405	0,091811	5	15	43	0,183519	0,035619	0.061274	0,122503
0,1849000	0,4300000	0,001424	0,092424	5	17	49	0,184742.	0,005695	0,061684	0,123322
0,1855621	0,4307692	0,001434	0,092754	5	18	57	0,185402	0,005735	0,001905	0,123761
0,1864670	0,4318182	0,001448	0,093206	5	29	31	0,186305	0,005791	0,062207	0,124368
0,1877778	0,4333333	0,001469	0,093861	5	22	46	0,187612	0,005373	0,062646	0,123243
0 ,1904132	0,4363636	0,001510	0,095178	5	27	18	0,190241	0,006039	0,063526	0,127002
0,1914062	0,4375000	0,001526	0,095674	5	23	00	0,191231	0,006102	0,063358	0,127665
0,1936000	0,4400000	0,001561	0,096770	5	32	46	0,193419	0,006243	0,064591	0,129139
0,1946367	0,4411765	0,001578	0,097287	5	34	33	0,194452	0,003310	0,064933	0,129322
0 ,1954571	0,4421053	0,001592	0,097698	5	35	58	0,195270	0,006363	0,065212	0,139370
0,1975308	0,4444444	0,001625	0,098733	5	39	32	0,197338	0,006499	0,055935	0,131755
0,1990533	0,4461539	0,001650	0,099494	5	42	09	0,198856	0,006599	0,066114	0,132771
0,1998616	0,4470588	0,001664	0,099898	5	43	32	0,199662	0,006653	0,066684	0,133311
0 ,2001385	0,4473684	0,001668	0,100036	5	44	01	0,199938	0,006671	0,066776	0,133496
0,2025000	0,4500000	0,001708	0,101215	5	48	04	0,202293	0,036829	0,067566	0,135972
0,2055111	0,4533333	0,001759	0,102719	5	53	1.5	0,235291	0,037031	0,068573	0,137083
0,2066116	0,4545455	0,001778	0,103269	5	55	08	0,206391	0,007109	0,068941	0,137818

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,2089796	0,4571429	0,001819	0,104452	5	59	12	0,208752	0,007273	0,069733	0,139400
0,2100694	0,4583333	0,001838	0,104996	6	01	05	0,209838	0,007349	0,070097	0,146128
0,2116000	0,4600000	0,001865	0,105760	6	03	43	0,211363	6,007456	0,070609	0,141150
0,2130178	0,4615385	0,001890	0,106469	6	06	09	0,212776	0,007557	0,071082	0,142096
0,2145152	0,4631579	0,001917	0,107216	1	08	43	0,214269	0,007663	0,071584	0,143096
0,2155612	0,4642857	0,001936	0,107739	6	10	31	0,215311	0,007738	0,071934	0,143795
0,2177778	0,4666667	0,001975	0,108846	6	14	20	0,217520	0,007898	0,072675	0,145275
0,2197266	0,4687500	0,002010	0,109819	6	17	41	0,219461	0,008040	0,073327	0,146577
0,2209000	0,4700000	0,002032	0,110405	6	19	42	0,220631	0,008126	0,073719	0,147361
0,2214533	0,4705882	0,002042	0,110681	6	20	39	0,221182	0,008166	0,073904	0,147730
0,2229938	0,4722222	0,002071	0,111451	6	23	18	0,222717	0,008280	0,074419	0,148759
0,2234711	0,4727273	0,002080	0,111689	6	24	07	0,223192	0,008316	0,074579	0,149078
0,2243766	0,4736842	0,002097	0,112141	6	25	40	0,224095	0,008383	0,074882	0,149683
0,2256250	0,4750000	0,002120	0,112765	6	27	49	0,225338	0,008477	0,075300	0,150517
0,2304000	0,4800000	0,002211	0,115149	6	36	02	0,230094	0,008839	0,076897	0,153707
0,2336111	0,4833333	0,092273	0,116752	6	41	33	0,233293	0,009087	0,077972	0,155852
0,2344598	0,4842105	0,002289	0,117176	6	43	00	0,234138	0,009153	0,078256	0 156419
0,2359184	0,4857143	0,002318	0,117904	6	45	31	0,235590	0,009267	0,078744	0,157394
0,2401000	0,4888889	0,002379	0,119449	6	50	50	0,238671	0,009511	0,079779	0,159461
0,2390124	0,4900000	0,002401	0,119992	6	52	42	0,239754	0,009598	0,080143	0,160188
0,2409917	0,4909091	0,002419	0,120438	6	54	14	0,240642	0,009669	0,080442	0 160784
0,2423669	0,4923077	0,002446	0,121124	6	56	36	0,242011	0,009780	0,080902	0,161702
0,2441522	0,4941176	0,002482	0,122015	6	59	40	0,243789	0,009924	0,081500	0,162896
0,2500000	0,5000000	0,002603	0,124935	7	09	43	0,249610	0,010405	0,083458	0,166804
0,2552909	0,5052632	0,002714	0,127576	7	18	49	0,254875	0,010850	0,085229	0,170339
0,2567111	0,5066667	0,002744	0,128285	7	21	15	0,256289	0,010971	0,085705	0,171289
0,2591735	0,5090909	0,002797	0,129977	7	25	29	0,258739	0,011182	0,086840	0,172935
0,2601000	0,5100000	0,002817	0,129514	7	27	05	0,259660	0,011262	0,086530	0,173554
0,2612346	0,5111111	0,002842	0,130543	7	29	02	0,260789	0,011360	0,087220	0,174312

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,2644898	6,5142857	0,002913	0,132168	7	34	38	0,264028	0,011645	0,088311	0,176488
0,2679585	0,5176471	0,002990	0,133899	7	40	35	0,267478	0,011952	0,089472	0,178808
0,2704000	0,5200000	0,003045	0,135118	7	44	47	0,269906	0,012170	0,090291	0,180439
0,2736094	0,5230769	0,003118	0,136719	7	50	18	0,273098	0,012460	0,091366	0,182586
0,2756250	0,5250000	0,003163	0,137725	7	53	46	0,272102	0,012644	0,092042	0,183932
0,2770083	0,5263158	0,003195	0,138416	7	56	51	0,276477	0,012771	0,092505	0,184858
0,2780165.	0,5272727	0,003218	0,138919	7	57	53	0,277480	0,012864	0,092843	0,185532
0,2785494	0,5277778	0,003231	0,139185	7	58	48	0,278010	0,012914	0,093022	0,185889
0,2802769	0,5294118	0,003271	0,140046	8	01	46	0,279727	0,013074	0,093601	0,187044
0,2809000	0,5300000	0,003285	0,140358	8	02	50	0,280346	0,013132	0,093809	0,187460
0,2822266	0,5312500	0,003317	0,141020	8	15	07	0,281665	0,013256	0,094254	0,188348
0,2844444	0,5333333	0,003369	0,142126	8	08	55	0,283870	0,013465	0,094998	0,189831
0,2869898	0,5357143	0,003430	0,143397	8	13	18	0,286399	0,013707	0,095852	0,191533
0,2899408	0,5384615	0,003501	0,144869	8	18	22	0,289332	0,013990	0,096841	0,193507
0,2916000	0,5400000	0,003540	0,145697	8	21	13	0,290981	0,014150	0,097397	0,194617
0,2928720	0,5411765	0,003571	0,146331	8	23	25	0,292245	0,014274	0,097824	0,195468
0,2934028	0,5416667	0,003584	0,146596	8	24	19	0,292772	0,014320	0,098002	0,195823
0,2946938	0,5428571	0,003616	0,147240	8	26	32	0,294055	0,014.452	0,098435	0,196686
0,2975206	0,5454545	0,003686	0,148651	8	31	24	0,296863	0,014730	0,099383	0,198578
0,2996122	0,5473684	0,003737	0,149694	8	35	00	0,298940	0,014937	0,100085	0,199977
0,3025000	0,5500000	0,003810	0,151135	8	39	58	0,301809	0,015226	0,101054	0,201909
0,3067456	0,5538462	0,003917	0,153253	8	47	15	0,306025	0,015656	0,102478	0,204750
0,3086420	0,5555556	0,003966	0,154199	8	50	31	0,307908	0,015850	0,103114	0,206019
0,3122837	0,5588235	0,004060	0,156015	8	56	47	0,311523	0,016225	0,104337	0,208456
0,3136000	0,5600000	0,004094	0,156672	8	59	02	0,312830	0,016362	0,104779	0,209336
0,3164062	0,5625000	0,004168	0,158071	9	03	52	0,315615	4,016656	0,105721	0,211215
0,3188928	0,5647059	0,004233	0,159311	9	08	08	0,318083	0,016918	0,106555	0,212879
0,3211111	0,5666667	0,004293	0,160418	9	11	57	0,320284	0,017154	0,107301	0,214364
0,3231025	0,5684211	0,004346	0,161411	9	15	22	0,322260	0,017367	0,107969	0,215697
0,3249000	0,5700000	0,004394	0,162307	9	18	28	0,324044	0,017560	0,108573	0,216900
0,3265306	0,5714286	0,004439	0,163120	9	21	16	0,325661	0,017737	0,109121	0,217992
0,3306250	0,5750000	0,004551	0,165162	9	28	18	0,329723	0,018183	0,110496	0,220733
0,3328403	0,5769231	0,004612	0,166267	9	32	07	0,331921	0,018927	0,111240	0,222216
0,3338272	0,5777778	0,004639	0,166759	9	33	49	0,332898	0,018536	0,111572	0,222877
0,3351801	0,5789474	0,004677	0,167433	9	36	08	0,334240	0,018687	0,112026	0,223783

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,3364000	0,5800000	0,004711	0,168042	9	38	14	0,335449	0,018823	0,112436	0,224600
0,3385124	0,5818182	0,004770	0,169095	9	41	52	0,337544	0,019059	0,113147	0,226015
0,3402778	0,5833333	0,004819	0,169975	9	44	54	0,339294	0,019258	0,113739	0,227197
0,3417752	0,5846154	0,004862	0,170721	9	47	28	0,340778	0,119428	0,114243	0,228200
0,3441778	0,5866667	0,004931	0,171919	9	51	36	0,343160	0,019701	0,115050	0,229809
0,3,460208	0,5882353	0,004984	0,172838	9	54	46	0,344986	0,019912	0,115670	0,231044
0,3474792	0,5894737	0,005025	0,173565	9	57	16	0,346432	0,020080	0,116161	0,232020
0,3481000	0,5900000	0,005043	0,173874	9	58	20	0,347047	0,020152	0,116369	0,232436
0,3491736	0,5909091	0,005075	0,174410	10	00	11	0,348111	0,020276	0,116730	0,233156
0,3505886	0,5921052	0,005116	0,175115	10	02	37	0,349128	0,020440	0,117206	0,234104
0,3525391	0,5937500	0,005173	0,176087	10	05	57	0,351445	0,020668	0,117862	0,235410
0,3600000	0,6000000	0,005394	0,179806	10	18	48	0,358835	0,021550	0,120371	0,240409
0,3686225	0,6071429	0,005655	0,184103	10	33	37	0,367372	0,022592	0,123273	0,246187
0,3721000	0,6100000	0,005762	0,185835	10	39	36	0,370814	0,023019	0,124444	0,248518
0,3727424	0,6105263	0,005782	0,186156	10	40	42	0,371450	0,023099	0,124660	0,248948
0,3734568	0,6111111	0,005804	0,186512	10	41	56	0,372157	0,023187	0,124901	0,249427
0,3742560	0,6117647	0,005829	0,186909	10	43	18	0,372948	0,023286	0,125170	0,249963
0,3761778	0,6133333	0,005889	0,187868	10	46	36	0,374849	0,023526	0,125817	0,251251
0,3786982	0,6153846	0,005968	0,189123	10	50	56	0,377343	0,023841	0,126665	0,252941
0,3821487	0,6181818	0,006077	0,190842	10	56	52	0,380756	0,024276	0,127828	0,255255
0,3844000	0,6200000	0,006149	0,191964	11	00	44	0,382982	0,024562	0,128586	0,256764
0,3871605	0,6222222	0,006237	0,193338	11	05	29	0,385712	0,024916	0,129516	0,258615
0,3906250	0,62 0000	0,006349	0,195064	11	11	26	0,389138	0,025362	0,130683	0,260939
0,3951020	0,6285714	0,006496	0,197294	11	19	08	0,393563	0,025945	0,132192	0,263942
0,3969000	0,6300000	0,006555	0,198190	11	22	13	0,395340	0,026181	0,132798	0,265148
0,3988919	0,6315789	0,006620	0,199182	11	25	39	0,397308	0,026444	0,133470	0,266484
0,4011111	0,6333333	0,006694	0,200287	11	29	28	0,399501	0,026738	0,134218	0,267973
0,4035986	0,6352941	0,006777	0,201525	11	33	44	0,401958	0,027070	0,135056	0,269642
0,4049587	0,6363636	0,006823	0,202203	11	36	05	0,403302	0,027252	0,135516	0,270555

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,4096000	0,6428571	0,006980	0,204514	11	44	03	0,407885	0,027878	0,137081	0,273660
0,4132653	0,6400000	0,007105	0,206338	11	50	21	0,411504	0,028378	0,138317	0,276130
0,4153086	0,6444444	0,007176	0,207356	11	53	52	0,413521	0,028658	0,139007	0, 277501
0,4175147	0,6461538	0,007252	0,208454	11	57	39	0,415699	0,028963	0,139751	0,278981
0,4186851	0,6470588	0,007292	0,209037	11	59	40	0,416854	0,029125	0,140146	0,279768
0,4225000	0,6500000	0,007426	0,210936	12	06	13	0,420618	0,029656	0,141435	0,282328
0,4275149	0,6538462	0,007603	0,213432	12	14	51	0,425566	0,030362	0,143128	0,285695
0,4284298	0,6545455	0,007635	0,213888	12	16	25	0,426468	0,030492	0,143437	0,286309
0,4318368	0,6571429	0,007758	0,216076	12	22	16	0·430803	0,030977	0,144588	0,288597
0,4328254	0,6578947	0,007793	0,215584	12	23	59	0,429828	0,031119	0,144922	0,289262
0,4340484	0,6588235	0,007837	0,216684	12	26	04	0·432008	0,031294	0,145335	0,291125
0,4356011	0,6600000	0,007893	0,217456	12	28	45	0,433538	0,031518	0,145859	0,290083
0,4444444	0,6666667	0,008381	0,224073	12	43	57	0,442255	0,032806	0,148848	0,300060
0,4489000	0,6700000	0,008216	0,221857	12	51	36	0,446644	0,033464	0,150355	0,297067
0,4556250	0,6750000	0,008634	0,227419	13	03	10	0,453266	0,034471	0,152630	0,304580
.0,4582249	0,6769231	0,008732	0,228712	13	07	38	0,455825	0,034864	0,153510	0,306328
0,4604591	0,6785714	0,008818	0,229823	13	11	28	0,458024	0,035204	0,154265	0,307830
0,4624000	0,6800000	0,008892	0,230789	13	14	48	0,459934	0,035500	0,154922	0 ,309135
0,4648760	0,6823529	0,008987	0,232021	13	19	04	0,462371	0,035880	0,155761	0,310799
0,4656055	0,6818182	0,009015	0,232383	13	20	19	0,463088	0,035992	0,156008	0,311290
0,4681440	0,6842105	0,009114	0,233645	13	24	41	0,465586	0,036384	0,156867	0 ,312996
0,4702041	0,6857143	0,009194	0,234669	13	28	13	0,467611	0,036703	0,157564	0,314382
0,4726562	0,6875000	0,009290	0,235889	13	32	26	0,470023	0,037086	0,158395	0,316031
0,4745679	0,6888889	0,009365	0,236839	13	35	43	0,471903	0,037385	0,159042	0,317317
0,4761000	0,6900000	0,009425	0,237602	13	38	21	0,473409	0,037626	0,159561	0,318347
0,4773554	0,6909091	0,009476	0,238225	13	40	31	0,476545	0,037824	0,160642	0,320493
0,4792900	0,6923077	0,009552	0,239187	13	43	50	0,474643	0,038130	0,159987	0,319192
0,4807111	0,6033333	0,009609	0,239893	13	46	17	0,477941	0,038355	0,161124	0,321449
0,4822530	0,6944444	0,009670	0,240660	13	48	56	0,479457	0,038601	0,161647	0,322487
0,4900000	0,7000000	0,009983	0,244511	14	02	15	0,487067	0,039845	0,164272	0,327699
0,4982700	0,7058821	0,010322	0,248620	14	16	25	0,495186	0,041196	0,167078	0,333266
0,5008284	0,7076923	0,111425	0,249892	14	20	52	0,497697	0,041618	0,167946	0,334989
0,5017361	0,7033333	0,010564	0,251518	14	22	25	0,498588	0,041768	0,169057	0,337192
0,5041000	0,7100000	0,010166	0,250343	14	26	29	0,500907	0,042161	0,168255	0,335601
0,5056790	0,7111111	0,010630	0,252302	14	29	13	0,502456	0,042424	0,101593	0,338255

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5102041	0,7142857	0,010821	0,254549	14	36	59	0,506894	0,043183	0,171129	0,341303
0,5184000	0,7200000	0,011171	0,258620	14	51	04	0,514928	0,044575	0,173913	0,346824
0,5216049	0,7222222	0,011309	0,260212	14	56	34	0,518068	0,045125	0,175002	0,348984
0,5256250	0,7250000	0,011483	0,262209	15	03	29	0,522006	0,045820	0,176369	0,351693
0,5289256	0,7272727	0,011628	0,263847	15	09	09	0,525238	0,046395	0,177492	0,353918
0,5329000	0,7300000	0,011803	0,265821	15	15	59	0,529129	0,047091	0,178843	0,356597
0,5340236	0,7307692	0,011852	0,266379	15	17	55	0,530229	0,047289	0,179226	0,357354
0,5377778	0,7333333	0,012019	0,268242	15	24	22	0,533903	0,047953	0,180503	0,369886
0,5406559	0,7352941	0,012148	0,269671	15	29	19	0,536720	0,048465	0,181483	0,361828
0,5429363	0,7368421	0,012250	0,270803	15	33	14	0,538949	0,048872	0,182259	0,363365
0,5453254	0,7384615	0,012358	0,271989	15	37	21	0,541285	0,049111	0,183072	0,364976
0,5476000	0,7400000	0,012461	0,273117	15	41	15	0,543509	0,049301	0,183846	0,366511
0,5518367	0,7428571	0,012654	0,275220	15	48	32	0,547650	0,050479	0,185290	0,369369
0,5575111	0,7466667	0,012915	0,278036	15	58	18	0,553195	0,051516	0,187224	0,373198
0,5625000	0,7500000	0,013146	0,280510	16	06	52	0,553067	0,052437	0,188924	0,376566
0,5708642	0,7555556	0,013539	0,284659	15	21	15	0,566231	0,053999	0,191777	0,882213
0,5776000	0,7600000	0,013859	0,287999	16	32	49	0,572801	0,055273	0,194076	0,386762
0,5831406	0,7636364	0,014126	0,290746	16	42	21	0,578202	0,056332	0,195968	0,390506
0,5847750	0,7647059	0,014205	0,291556	16	45	09	0,579796	0,056647	0,196526	0,391610
0,5877778	0,7666667	0,014351	0,293045	16	50	11	0,582721	0,057226	0,197552	0,393640
0,5917160	0,7692308	0,014543	0,294997	16	57	05	0,586558	0,057991	0,198898	0,396301
0,5929000	0,7700000	0,014602	0,295584	16	59	07	0,587711	0,058222	0,199302	0,397101
0,5951021	0,7714286	0,014710	0,296675	17	02	54	0,589855	0,058652	0,200063	0,398590
0,5971075	0,7727273	0,014809	0,297669	17	06	21	0,591807	0,059046	0,200741	0,399947
0,5980444	0,7733333	0,014855	0,298133	17	0	58	0,592719	0,059230	0,201062	0,400580
0,6049383	0,7777778	0,015198	0,301549	17	19	49	0,599427	0,060594	0,203420	0,405242
0,6084000	0,7800000	0,015372	0,303264	17	25	46	0,602794	0,061285	0,204604	0,407584
0,6103516	0,7812500	0,015470	0,304230	17	29	07	0,504692	0,061676	0,205273	0,408904
0,6173470	0,7857143	0,015827	0,307695	17	41	09	0,611491	0,063089	0,207668	0,413638

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,6232686	0,7894737	0,016130	0,310628	17	51	19	0,617243	0,064296	0,209697	0,417646
0,6241000	0,7900000	0,016173	0,311040	17	52	45	0,618050	0,064467	0,209982	0,418209
0,6267362	0,7916667	0,016309	0,312345	17	57	17	0,620610	0,065009	0,210886	0,419994
0,6400000	0,8000000	0,017004	0,318910	18	20	05	0,633477	0,067769	0,215436	0,428978
0,6561000	0,8100000	0,017868	0,326877	18	47	45	0,649074	0,071195	0,220966	0,439892
0,6601562	0,8125000	0,018058	0,328883	18	54	43	0,653000	0,072071	0,222362	0,442643
0,6694215	0,8181818	0,018597	0,333465	19	10	39	0,661961	0,074092	0,225549	0,448929
0,6724000	0,8200000	0,018762	0,334937	19	15	46	0,664840	0,074747	0,226574	0,450950
0,6782007	0,8235294	0,019086	0,337804	19	25	44	0,670444	0,076032	0,228572	0,454888
0,6865306	0,8285714	0,019557	0,341922	19	49	03	0,678485	0,077895	0,231443	0,460545
0,6889000	0,8300000	0,019691	0,343092	19	44	08	0,680771	0,078429	0,232260	0,462154
0,6901776	0,8307692	0,019763	0,343723	19	46	20	0,682004	0,078718	0,232701	0,463022
0,6944444	0,8333333	0,020007	0,3458.32	19	53	40	0,686119	0,079686	0,234173	0,465921
0,6995041	0,8363636	0,020299	0,348330	20	02	22	0,690996	0,080841	0,235919	0,469360
0,7056000	0,8400000	0,020652	0,351341	20	12	50	0,696868	0,082244	0,238024	0,473504
0,7091413	0,8421053	0,020860	0,353090	20	15	56	0,700278	0,083064	0,239248	0,475919
0,7130863	0,8444444	0,021092	0,355037	20	25	42	0,704074	0,083982	0,240611	0,478596
0,7159763	0,8461538	0,021262	0,356464	20	30	40	0,706855	0,084658	0,241611	0,480562
0,7225000	0,8500000	0,021650	0,359684	20	41	53	0,713128	0,086193	0,243868	0,485001
0,7346940	0,8571429	0,022383	0,365701	21	112	51	0,724841	0,089099	0,248091	0,493304
0,7396000	0,8600000	0,022681	0,368121	21	11	17	0,729550	0,090281	0,249790	0,496646
0,7422486	0,8615385	0,022843	0,369427	21	15	50	0,732090	0,090923	0,250709	0,498451
0,7458678	0,8636364	0,023065	0,371212	21	22	03	0,735561	0,091803	0,251964	0,500917
0,7511111	0,8666667	0,023389	0,373797	21	31	04	0,740586	0,093085	0,253783	0,504491
0,7569000	0,8700000	0,023746	0,376651	21	41	01	0,746131	0,094511	0,255793	0,508438
0,7616529	0,8727273	0,024046	0,378993	21	49	11	0,750651	0,095689	0,257445	0,511681
0,7656250	0,8750000	0,021297	0,380150	21	56	01	0,754481	0,096679	0,258825	0,514391
0,7744000	0,8800000	0,024854	0,385273	22	11	06	0,762870	0,098884	0,261877	0,520380
0,7785466	0,8823529	0,025120	0,387315	22	18	13	0,766831	0,099394	0,263320	0,523212
0,7901235	0,8888889	0,025868	0,393015	22	38	07	0,777880	0,102895	0,267353	0,531121
0,7921000	0,8900000	0,025997	0,393988	22	41	31	0,779765	0,103405	0,268042	0,532472
0,7962130	0,8923077	0,026266	0,396012	22	48	31	0,783686	0,104469	0,269477	0,535284
0,7971938	0,8928571	0,026332	0,396495	22	511	17	0,784621	0,104724	0,269820	0,535954
0,8005539	0,8947368	0,026551	0,398149	22	56	03	0,787822	0,105598	0,270992	0,538251
0,8100000	0,9000000	0,027178	0,402796	23	12	17	0,796814	0,108076	0,27,1290	0,544713

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,8264463	0,9090909	0,028285	0,410882	23	40	33	0,812445	0,112455	0,280043	0,555974
0,8281000	0,9100000	0,028398	0,411695	23	43	24	0,814015	0,112900	0,280621	0,557107
0,8359183	0,9142857	0,028933	0,415537	23	56	50	0,821433	0,115015	0,283360	0,562465
0,8402778	0,9166667	0,029234	0,417679	24	04	20	0.,825566	0,116202	0,284889	0,565454
0,8464000	0,9200000	0,029659	0,420687	24	14	51	0,831366	0,117880	0,287036	0,569653
0,8483379	0,9210526	0,029795	0,421639	24	18	11	0,833201	0,118414	0,287717	0,570983
0,8520710	0,9230769	0,030055	0,423471	24	24	36	0,836735	0,119444	0,289027	0,573545
0,8622448	0,9285714	0,030774	0,428465	24	42	05	0,846356	0,122276	0,292602	0,580528
0,8649000	0,9300000	0,030962	0,429768	24	46	39	0,848865	0,123020	0,293536	0,582351
0,8711111	0,9333383	0,031405	0,432816	24	57	20	0,854730	0,124769	0,295722	0,586619
0,8789062	0,9375000	0,031966	0,436640	25	10	44	0,862084	0,126981	0,298466.	0,591977
0,8836000	0,9400000	0,032305	0,438941	25	18	48	0,866508	0,128322	0,300121	0,595204
0,8858132	0,9411765	0,032465	0,440025	25	22	36	0,868594	0,128957	0,300902	0,596721
0,8919753	0,9444444	0,032917	0,443047	25	33	12	0,874396	0,130731	0,303076	0,600966
0,8938842	0,9454545	0,033057	0,443983	25	36	28	0,876193	0,131284	0,303749	0,602280
0,8975069	0,9473684	0,033324	0,445758	25	42	42	0,879601	0,132334	0,305029	0,604773
0,9025000	0,9500000	0,033692	0,448204	25	51	17	0,884295	0,133789	0,306792	0,608212
0,9216000	0,9600000	0,035123	0,457558	26	24	07	0,902222	0,139425	0,313551	0,621375
0,9245563	0,9615385	0,035346	0,459005	26	29	12	0,904993	0,140308	0,314600	0,623415
0,9344444	0,9666667	0,036101	0,463842	26	46	12	0,914251	0,143278	0,318107	0,630239
0,9409000	0,9700000	0,036597	0,467001	26	57	17	0,920288	0,145233	0,320399	0,634696
0,9437635	0,9714286	0,036811	0,468357	27	02	03	0,922880	0,146076	0,321385	0,636612
0,9452160	0,9722222	0,036931	0,469111	27	04	43	0,924321	0,146547	0,321932	0,637679
0,9560494	0,9777778	0,037775	0,474407	27	23	20	0,934433	0,149870	0,325787	0,6451.67
0,9604000	0,9800000	0,038117	0,476533	27	30	48	0,238489	0,152321	0,327335	0,648175
0,9639670	0,9818182	0,038399	0,478276	27	36	56	0,941813	0,151214	0,328606	0,650643
0,9801000	0,9900000	0,039683	0,486153	28	04	40	0,956823	0,157374	0,334362	0,661813
1,0000000	1,0000000	0,041297	0,495862	28	38	52	0,975288	0,163714	0,341480	0,675611
1,0201000	1,0100000	0,042957	0,505659	29	13	25	0,993880	0,170238	0,348690	0,689571

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0366942	1,0181818	0,044353	0,513739	29	41	57	1,009184	0,175714	0,354657	0,701114
1,0404000	1,0200000	0,044668	0,515543	29	48	19	1,012596	0,176918	0,355994	0,703693
1,0449382	1,0222222	0,045054	0,517750	29	56	07	1,016772	0,178465	0,357630	0,706853
1,0579591	1,0285714	0,046174	0,524084	30	18	30	1,028736	0,182851	0,362330	0,715929
1,0596887	1,0294118	0,046323	0,524924	30	21	28	1,030324	0,183437	0,362954	0,717136
1,0609000	1,0300000	0,046427	0,525513	30	23	33	1,031435	0,183348	0,363392	0,717980
1,0816000	1,0400000	0,048238	0,535571	30	59	08	1,050392	0,190941	0,370887	0,732431
1,0850695	1,0416667	0,048545	0,537255	31	05	06	1,053563	0,192142	0,372146	0,734857
1,1025000	1,0500000	0,050100	0,548397	31	35	04	1,069466	0,198230	0,378479	0,747051
1,1080333	1,0526316	0,050599	0,545713	31	4,4	34	1,074504	0,200181	0,380494	0,750925
1,1120661	1,0545455	0,050964	0,550351	31	51	30	1,078173	0,201608	0,381963	0,753750
1,1141975	1,0555556	0,051158	0,551385	31	55	10	1,080111	0,202364	0,382739	0,755244
1,1211072	1,0588235	0,051786	0,554732	32	07	03	1,086388	0,204825	0,385260	0,760887
1,1236006	1,0600000	0,052014	0,555941	32	11	20	1,088651	0,205717	0,386170	0,761837
1,1289061	1,0625000	0,052501	0,558512	32	20	27	1,093465	0,207620	0,388108	0,765560
1,1377778	1,0666667	0,053321	0,562806	32	35	42	1,101503	0,210820	0,391353	0,771789
1,1449000	1,0700000	0,053982	0,566254	32	47	56	1,107947	0,213405	0,393960	0,776793
1,1479592	1,0714286	0,054268	0,567734	32	53	12	1,110712	0,214521	0,395082	0,778944
1,1597634	1,0769231	0,055375	0,573442	33	13	2.1	1,121367	0,218848	0,399412	0,787248
1,1664000	1,0800000	0,056003	0,576650	33	24	54	1,127348	0,221299	0,401852	0,791921
1,1736111	1,0833333	0,056690	0,580134	33	37	17	1,133838	0,223976	0,404505	0,797002
1,1787755	1,0857143	0,057183	0,582628	33	46	10	1,138481	0,225902	0,406407	0,800643
1,1881000	1,0900000	0,058081	0,587131	34	02	12	1,146852	0,229400	0,409845	0,807221
1,1900827	1,0909091	0,058272	0,588087	34	05	36	1,148630	0,230146	0,410578	0,808620
1,1962891	1,0937500	0,058873	0,591081	34	16	16	1,154192	0,232492	0,412871	0,813004
1,2100000	1,1000000	0,060213	0,597693	34	39	50	1,166455	0,237711	0,417944	0,822696
1,2216067	1,1052632	0,061359	0,603286	34	59	47	1,176811	0,242171	0,422248	0,830910
1,2321000	1,1100000	0,062403	0,608338	35	17	50	1,186154	0,246235	0,426149	0,840096
1,2345679	1,1111111	0,062650	0,609526	35	22	04	1,188349	0,247196	0,427067	0,838345
1,2491350	1,1176471	0,064116	0,616533	35	47	06	1,201280	0,252900	0,432495	0,850433
1,2544000	1,1200000	0,064650	0,619065	35	56	09	1,205945	0,254976	0,434460	0,854174
1,2656250	1,1250000	0,065796	0,624459	36	15	27	1,215871	0,259428	0,438657	0,862156
1,2769000	1,1300000	0,066950	0,629873	36	34	50	1,225824	0,263935	0,442881	0,870182
1,2844444	1,1333333	0,067738	0,633494	36	47	48	1,232469	0,266971	0,445713	0,875558
1,2913222	1,1363636	0,068455	0,636792	36	59	37	1,238519	0,269752	0,448297	0,880464

$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$	$\frac{p}{R}$	$\frac{t}{R}$	β			$\frac{x_o}{R}$	$\frac{y_o}{R}$	$\frac{T_M}{R}$	$\frac{T_a}{R}$
				°	'	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,2996000	1,1400000	0,069321	0,640761	37	13	51	1,245788	0,273117	0,451413	0,886372
1,3061224	1,1428571	0,070009	0,643887	37	25	04	1,251507	0,275781	0,453871	0,891030
1,3225000	1,1500000	0,071747	0,651728	37	53	13	1,265832	0,282523	0,460050	0,902744
1,3313611	1,1538462	0,072697	0,655968	38	08	26	1,273562	0,286201	0,463412	0,909091
1,3353086	1,1555556	0,073122	0,657855	38	15	14	1,277001	0,287846	0,464909	0,911921
1,3407201	1,1578947	0,073707	0,660442	38	24	32	1,281711	0,290109	0,466063	0,915801
1,3456000	1,1600000	0,074235	0,662775	38	32	55	1,285953	0,292156	0,468815	0,919302
1,3611111	1,1666667	0,075928	0,670184	38	59	35	1,299408	0,298705	0,474719	0,930446
1,3689000	1,1700000	0,076785	0,673900	39	12	58	1,306147	0,302018	0,477690	0,936048
1,3840831	1,1764706	0,0784.69	0,681140	39	39	04	1,319250	0,308524	0,483496	0,946985
1,3924000	1,1800000	0,079399	0,685102	39	53	22	1,326409	0,312114	0,486684	0,952983
1,3966942	1,1818182	0,079880	0,687147	40	00	45	1,330100	0,313974	0,488332	6,956084
1,4023545	1,1842105	0,080518	0,689842	40	10	28	1,334959	0,316435	0,490507	0,960171
1,4101562	1,1875000	0,081400	0,693555	40	23	53	1,341647	0,319839	0,493508	0,965810
1,4161000	1,1900000	0,082075	0,696381	40	34	06	1,346735	0,322444	0,495798	0,070111
1,4400000	1,2000000	0,084818	0,707736	41	15	11	1,376121	0,333012	0,505034	0,987433
1,4641000	1,2100000	0,087626	0,719166	41	56	36	1,387562	0,343820	0,514396	1,004951
1,4653739	1,2105263	0,087776	0,719770	41	58	48	1,388639	0,344396	0,514893	1,005878
1,4744898	1,2142857	0,088849	0,724087	42	14	28	1,396338	0,348527	0,518448	1,012520
1,4884000	1,2200000	0,090501	0,730670	42	38	22	1,408054	0,354871	0,523885	1,022669
1,4938271	1,2222222	0,091150	0,733237	42	47	42	1,412614	0,357360	0,526011	1,026632
1,5129000	1,2300000	0,093444	0,742248	43	20	29	1,428593	0,366167	0,533504	1,040587
1,5147928	1,2307692	0,093673	0,743142	43	23	44	1,430174	0,367046	0,534250	1,041974
1,5259515	1,2352941	0,095030	0,748408	43	4.2	55	1,439483	0,372247	0,538649	1,050157
1,5376000	1,2400000	0,096456	0,753900	44	02	56	1,449173	0,377710	0,543254	1,058712
1,5486419	1,2444444	0,097816	0,759101	44	21	55	1,458331	0,382920	0,547831	1,066832
1,5625000	1,2500000	0,099536	0,765622	44	45	44	1,469790	0,389,502	0,553139	1,077042
1,5804083	1,2571429	0,101781	0,774039	45	16	31	1,484536	0,398080	0,560285	1,090265
1,5876000	1,2600000	0,102687	0,777416	45	28	53	1,490439	0,401547	0,563161	1,095584
1,5955679	1,2631579	0,103698	0,781155	45	42	35	1,496965	0,405403	0,566356	1,101483
1,6044444	1,2666667	0,104828	0,785318	45	57	50	1,504220	0,409717	0,569920	1,108062
1,6129000	1,2700000	0,105910	0,789280	416	12	22	1,511115	0,413845	0,573324	1,114337
1,6198347	1,2727273	0,106802	0,792527	46	24	17	1,516757	0,417244	0,576120	1,119490
1,6327160	1,2777778	0,108467	0,798555	46	46	26	1,527211	0,423587	0,581326	1,129073
1,6384000	1,2800000	0,109206	0,801212	46	56	12	1,531812	0,426399	0,583629	1,133307
1,6530613	1,2857143	0,111120	0,808062	47	21	24	1,543648	0,433689	0,589584	1,144246
1,6612346	1,2888889	0,112195	0,811878	47	35	27	1,550225	0,437775	0,592912	1,150354

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Andreev O.V, Babkov V.F, (và các tác giả khác). *Sổ tay kỹ sư đường*. Nhà xuất bản Giao thông Moscow, 1977 (Nguyên bản tiếng Nga).
2. Babkov V.F. *Điều kiện đường và an toàn giao thông*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội, 1984 (bản dịch tiếng Việt của Nguyễn Xuân Vinh).
3. Babkov V.F, Andreev O.V. *Thiết kế đường ôtô*. NXB Giao thông Moscow, 1987 (Nguyên bản tiếng Nga).
4. Bộ Giao thông Liên bang Nga. *Phân tích các tiêu chuẩn thiết kế nền đường ôtô của các nước theo tiêu chuẩn và quy tắc thiết kế gần đây nhất của Cộng hoà Liên bang Đức* (Phần : Đặt tuyến đường ôtô (RAS-L)). Moscow, 2003.
5. Damakhaev M.X. *Các đường cong chuyển tiếp trên đường ôtô*. NXB Giao thông Moscow, 1965 (Nguyên bản tiếng Nga).
6. Dzenix P.IA, Reinpheld V.R. *Thiết kế không gian đường ôtô*. NXB Giao thông Moscow, 1968 (Nguyên bản tiếng Nga).
7. *Đường ôtô – Tiêu chuẩn thiết kế (TCVN 4054-98)*. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 1998.
8. *Đường ôtô – Yêu cầu thiết kế (Highway – Specifications) (TCVN 4054 : 2005)*. Hà Nội, 2006.
9. Gôs M., Vexelưv V. *Đặt tuyến đường có xét đến cảnh quan*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật Moscow, 1961 (Nguyên bản tiếng Nga).
10. Lamm R., Psarian OSB, Mailaender T. *Highway design and traffic safety engineering handbook*. Nhà xuất bản McGraw Hill, New York, 1999.
11. Roger L, Kenneth J. *Highway engineering handbook*. Nhà xuất bản McGraw Hill, New York, 1996.
12. *Tiêu chuẩn thiết kế đường ôtô (22TCN 273-01)*. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2001.
13. Nguyễn Xuân Vinh. *Các chuyên đề nâng cao : Thiết kế đường ôtô và đường đô thị & điều khiển giao thông bằng đèn tín hiệu*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2003.
14. Viện Kinh tế vận tải Nauy, Trường Đại học Đường ôtô Matxcơva, Hội đồng Bộ trưởng các nước Bắc Âu – *Sổ tay an toàn giao thông* – Ôslô, Moscow, 2001 (Bản dịch tiếng Nga).

MỤC LỤC

PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN CLOTHOID CHO ĐƯỜNG ÔTÔ

Chịu trách nhiệm xuất bản:
BÙI HỮU HẠNH

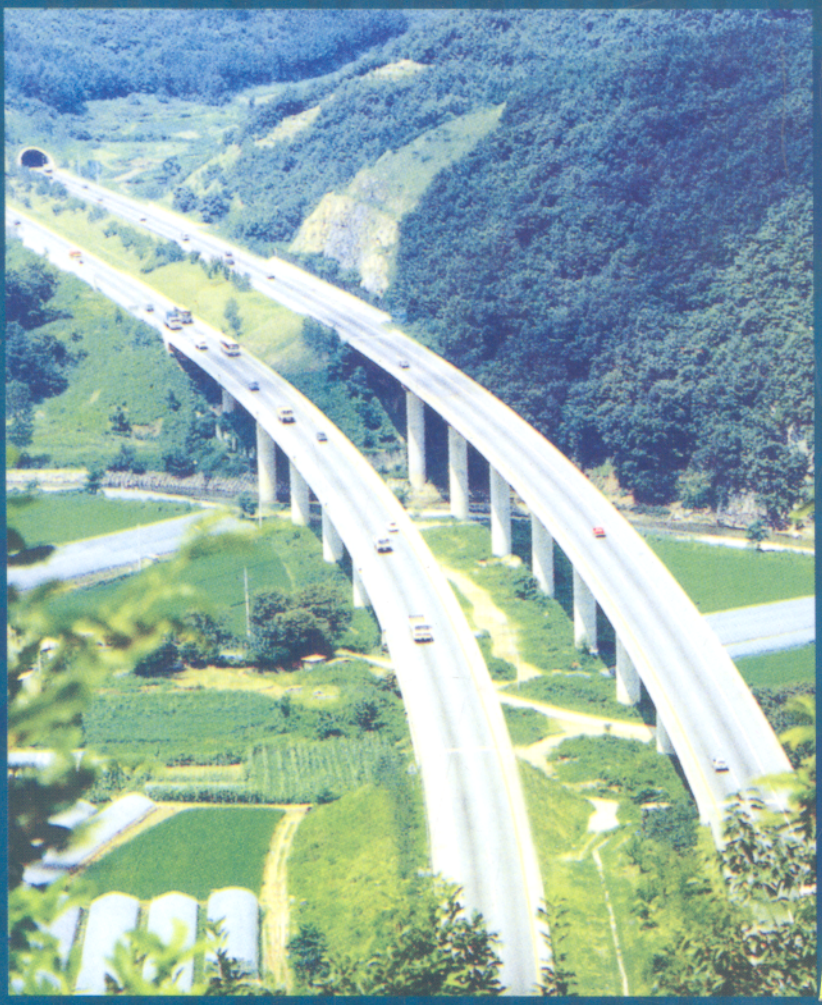
Biên tập: TRẦN CƯỜNG
Chế bản: PHẠM HỒNG LÊ
Sửa bản in: HUY HOÀNG
Trình bày bìa: VŨ BÌNH MINH

In 1000 cuốn khổ 19 × 27cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng kí kế hoạch xuất bản số 419-2006/CXB/5-33/XD ngày 20/5/2006. In xong và nộp lưu chiểu tháng 7/2006.

XÂY DỰNG ĐẠI HỌC

1956 - 2006
1966 - 2006

KỈ NIỆM 50 NĂM ĐÀO TẠO, 40 NĂM THÀNH LẬP
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG



PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ TUYẾN Clothoid CHO ĐƯỜNG ÔTÔ

6X8
XD- 2006
419 - 2006

Giá : 44.000đ