

Giải pháp giảm dao động của cầu treo cho người đi bộ ở Việt Nam

- **ThS. NCS. PHẠM QUANG HUY** - Thanh tra quận Bắc Từ Liêm, TP. Hà Nội
- **PGS. TS. BUI TIẾN THÀNH** - Trường Đại học Giao thông vận tải
- **KS. TRẦN QUANG MINH** - Công ty TNHH Giao thông vận tải
- **NGUYỄN ANH TUẤN; NGUYỄN HOÀNG NAM** - Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Tại Việt Nam, các cầu treo dây văng được xây dựng và khai thác từ khá sớm, hầu hết các cầu treo đều phục vụ mục đích đi lại, đường dẫn vào các khu di tích lịch sử bởi dáng vẻ mang phần cổ xưa, phù hợp với văn hóa Việt Nam. Có rất nhiều cầu treo dân sinh lớn, nhỏ chạy dọc từ Bắc chí Nam trên khắp đất nước. Kết cấu dây văng chung và loại cầu treo nói riêng đang khẳng định tinh ưu việt của nó, không chỉ về mặt kiến trúc, mỹ quan hay khả năng vượt nhịp lớn mà cả về mặt công nghệ thi công. Tuy nhiên, kết cấu thanh mảnh của cầu treo rất nhạy cảm với dao động do gió, tải trọng động qua cầu. Dao động có thể ảnh hưởng đến khả năng khai thác của kết cấu, gây cảm giác khó chịu, sợ hãi cho phương tiện qua cầu. Bài báo sẽ tập trung đánh giá, nghiên cứu về các dạng dao động, biện pháp tăng cường cầu treo, giúp giảm dao động trong kết cấu cầu treo. Ngoài ra, các tác giả cũng tiến hành thử nghiệm trên một cầu thực tế để kiểm chứng hiệu quả của biện pháp tăng cường.

TỪ KHÓA: Giảm dao động cầu treo, biện pháp tăng cường cầu treo

ABSTRACT: In Vietnam, suspension bridges are built and exploited from quite early, most suspension bridges serve the purpose of traveling, the path to the historic sites by the appearance of the ancient part suitable for Vietnamese culture. There are many small and large suspension bridges running from North to South throughout the country. The wire structure in general and the suspension bridge in particular are affirming its superiority, not only in terms of architecture, beauty or the ability to surpass the big span but also in terms of construction technology. However, the slender structure of the suspension bridge is very sensitive to the knife due to the wind, dynamic load through the bridge. Vibration can affect the ability of the structure to exploit, causing discomfort, fear for the way convenient across the bridge. This article will focus on assessing and studying the types of oscillations, measures to enhance

suspension bridges, helping to reduce fluctuations in suspension structure. In addition, the authors also conducted tests on an actual bridge to verify the effectiveness of the enhancement measure.

KEYWORDS: Livelihoods suspension bridge, theoretical behavioral analysis, solutions to decrease the fluctuation

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi dao động, trong các bộ phận của kết cấu phát sinh hiệu ứng quán tính dẫn tới việc gia tăng trị số nội lực và biến dạng, gây khó khăn cho việc khai thác bình thường, thậm chí trong những điều kiện cụ thể hiệu ứng quán tính là nguyên nhân dẫn đến các sự cố công trình. Việc thiết kế một kết cấu làm việc có hiệu quả tốt hiện nay phải bao gồm cả việc xét đến các tác động nhạy cảm như gió, động đất và hoạt tải. Do có dạng kết cấu thanh mảnh nên các công trình cầu treo dây văng rất nhạy cảm với tác động của tải trọng gió và hoạt tải.

Trường hợp nổi tiếng nhất là trường hợp cây cầu Tacoma Narrows cũ, bị phá hủy vào năm 1940. Đây là một cây cầu treo ở bang Washington, Mỹ, kéo dài qua eo biển giữa Tacoma và bán đảo Kitsap. Tại thời điểm xây dựng, cây cầu này (khẩu độ nhịp 853m, bề rộng 12m) là cây cầu treo có chiều dài nhịp chính lớn thứ ba trên thế giới, sau cầu Golden Gate và cầu George Washington.



a) - Cầu Tacoma



b) - Cầu Chu Va
 Hình 1.1: Hình ảnh cầu bị phá hủy

Cầu Tacoma được bắt đầu xây dựng vào tháng 9/1938. Ngay trong thời gian xây dựng, dầm cầu đã có chuyển động vuông góc với hướng gió, dẫn đến các công nhân xây dựng đặt cho cầu biệt danh Galloping Gertie. Một số biện pháp nhằm ngăn chặn sự ảnh hưởng của gió nhưng không hiệu quả và nhịp chính của cây cầu cuối cùng sụp đổ dưới tác dụng của gió vào sáng ngày 7/11/1940.

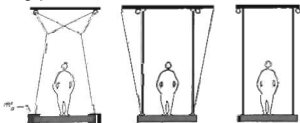
Cầu treo Chu Va tại bản Chu Va 6 thuộc sự quản lý của Sở GTVT tỉnh Lai Châu bị sập vào ngày 24/02/2014. Cầu có thiết kế dài 54m, rộng 02m, tải trọng thiết kế là 1.5 tấn, hoạt tải qua cầu 100 kg/m² mặt cầu. Khi có đoàn người qua đi đến 1/4 chiều dài cầu thì cầu bắt đầu mất ổn định và phá hoại theo hình chữ S. Do vậy, việc nghiên cứu các biện pháp giảm dao động có hại cho các hạng mục kết cấu nhằm nâng cao hiệu quả làm việc của hệ trước các tác động này là yêu cầu không thể thiếu.

2. CÁC BIỆN PHÁP GIẢM DAO ĐỘNG CẦU TREO DÂY VÒNG

2.1. Các giải pháp về hình học

Một trong những nguyên nhân gây ra dao động cho công trình là gió. Vì tải sóng gió phụ thuộc vào diện tích và hình dạng mặt chắn nên nếu thay đổi những yếu tố về hình học thì có thể giảm được tác động của gió, sóng lên kết cấu. Kết cấu không chịu nhiều ảnh hưởng của gió hay sóng, từ đó giảm nguyên nhân gây dao động, giảm dao động. Ví dụ với các kết cấu có diện tích cản lớn có thể sử dụng các giải pháp như vật góc, tạo ra các lỗ thoát gió, tạo ra các rìa, sườn... để giảm hệ số khí động học. Việc giảm hệ số khí động học sẽ giúp giảm tác động của các tác nhân đến kết cấu, kết cấu sẽ ít bị ảnh hưởng bởi các dao động cưỡng bức từ yếu tố ngoại lực như gió, sóng...

Ngoài ra, cũng có thể thay đổi dạng liên kết, vị trí liên kết giữa các bộ phận để tăng cường khả năng giảm dao động cho cấu. Tuy nhiên, biện pháp này cần được thực hiện ngay từ lúc thiết kế.



Hình 2.1: Một số giải pháp về hình học giúp giảm dao động cầu treo dây vòng

2.2. Các giải pháp về kết cấu

- *Tăng khối lượng (m):* Tăng khối lượng còn làm giảm tần số riêng ω_y kết cấu ổn định hơn. Tuy nhiên, giải pháp tăng khối lượng m là một giải pháp ít được sử dụng vì làm tăng giá thành vật liệu cũng như giá thành móng. Hơn thế nữa, khi xảy ra dòng đất thì tăng khối lượng là một giải pháp có nhiều rủi ro.

- *Tăng độ cứng bằng biện pháp tăng cường kích thước các bộ phận:* Tăng độ cứng kết cấu có thể được thực hiện bằng việc sử dụng các dầm, cột với đường kính lớn hơn, sử dụng các thanh giằng, dầm chia, tường chống trượt, trụ đỡ; tăng độ cứng sẽ làm giảm thành phần chuyển dịch tĩnh; tăng độ cứng cũng làm tăng tần số riêng ω_y . Nhìn chung, việc giảm dao động bằng cách này khá tốn kém và ít được sử dụng.

Biện pháp liên kết dây chủ vào giữa dầm nhịp dầm cứng:

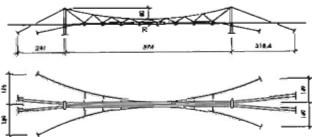


Hình 2.2: Hệ có dây chủ neo vào dầm

Các kết quả nghiên cứu sơ đồ cầu treo một nhịp có dạng này đã cho thấy rằng, độ võng do hoạt tải trên 1/4 nhịp của hệ giảm từ 1.5 đến 3 lần, còn mô-men uốn trong dầm cứng giảm hai lần so với hệ bình thường có cùng nhịp. Tuy nhiên, liên kết dây vào dầm cứng không cải thiện được sự làm việc của hệ trong trường hợp hoạt tải đứng trên toàn nhịp.

Biện pháp gia cường bằng cách thêm các mặt phẳng dây:

Để giảm bớt dao động ngang và dao động của cầu treo dây vòng, ta có thể sử dụng một mặt phẳng dây vuông góc với mặt phẳng dây treo của cầu như Hình 2.3. Sau đó, nối các điểm trên hai dây neo này với thân cầu, các điểm này sẽ làm giảm biên độ dao động ngang của cầu trong quá trình sử dụng.



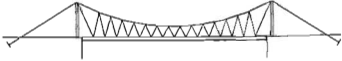
Hình 2.3: Hệ gia cường thêm mặt phẳng dây

Ưu điểm của phương pháp này là giảm đáng kể biên độ dao động ngang và thẳng đứng của cầu, tuy nhiên sẽ phát sinh lực kéo thẳng đứng, làm tăng tải trọng và độ võng, đồng thời việc bố trí vị trí neo cáp gặp nhiều khó khăn.

Biện pháp cấu tạo các dây treo nghiêng hình tam giác:

Cầu treo trong đó các dây được bố trí theo phương thẳng đứng là hệ biến dạng hình học, nên có độ cứng nhỏ. Với cách bố trí các dây theo xiên, tạo với dây chủ và dầm cứng thành các hình tam giác, đồng thời có biện pháp đảm bảo cho tất cả các dây luôn luôn làm việc chịu kéo, để làm cho hệ trở thành một giàn bất biến hình (Hình 2.4). Giảm

pháp này có tác dụng nâng cao độ cứng tổng thể của kết cấu, giảm biến dạng hình chữ S, đồng thời giảm đáng kể mô-men uốn trong dầm.

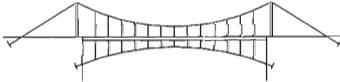


Hình 2.4: Hệ có dây treo nghiêng hình tam giác

Biện pháp dùng dây cong ngược căng trước:

Dây cong ngược được căng trước tạo cho toàn hệ chịu ứng suất trước. Khi chịu tải, nội lực trong dây cong ngược giảm đi, do đó làm giảm độ võng của dây chủ. Hệ hai dây căng trước không những có độ cứng lớn, mà còn cho phép điều chỉnh nội lực, điều chỉnh độ cứng bằng cách thay đổi lực căng trong dây dưới để tránh hiện tượng cộng hưởng với các trọng tải có chu kỳ.

Số với các hệ nếu ở trên thì hệ hai dây căng trước chỉ cần dầm cứng bê hơn, nhưng phải tốn thêm vật liệu để làm hai mỏ neo cho dây cong ngược. Tuy nhiên, biện pháp này chỉ áp dụng được ở những nơi mà chiều cao kiến trúc của cầu không bị hạn chế.



Hình 2.5: Hệ có dây cong ngược căng trước

Biện pháp tăng cường bằng các dây văng:

Biện pháp tăng cường cầu treo dây văng bằng các dây văng là một biện pháp đơn giản, dễ thực hiện. Trong đó, sự biến dạng hình học được hạn chế bằng cách dùng các dây văng ngay neo từ chân tháp lên một số điểm của dây chủ. Các dây văng có tác dụng giữ cho nửa dây chủ phía không có tải đặt đúng trên nhịp không bị võng lên. Bên cạnh đó, các dây văng một phần giúp tăng cường độ cứng của cầu, từ đó giảm dao động cho cầu một cách hiệu quả.



Hình 2.6: Hệ có các dây văng tăng cường

Hệ có dây văng tăng cường còn có ưu điểm là chiều cao kiến trúc nhỏ, cấu tạo tương đối đơn giản, dễ thi công kể cả trong trường hợp làm cầu mới cũng như để sửa chữa, nâng cấp cầu cũ.

Ngoài các biện pháp tăng cường độ cứng cho cầu treo đã được giới thiệu ở trên, còn một số biện pháp giảm dao động cho cầu treo dây văng như sử dụng các thiết bị cách ly nền, thiết bị tiêu tán năng lượng, điều khiển tích cực và nửa tích cực... Tuy nhiên, các biện pháp này thường được sử dụng cho các cầu nằm trong khu vực có nguy cơ động đất cao, cầu lớn, có kết cấu đặc biệt.

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Giới thiệu chung về cầu

Ví dụ, nghiên cứu thực nghiệm là cầu treo Na Xá - Nghệ An. Cầu treo có 1 nhịp L = 78m, cầu có bề rộng cầu B

= 1.5 + 2x0.08 = 1.66m. Chiều dài toàn cầu L = 125.83, tính đến đuôi mỏ neo. Đường hai đầu cầu nền đường rộng 3m. Qua kết quả điều tra MN1978 = 46.68m, MNTBHN = 42.18m, Htk = 46.96m. Hệ dầm mặt cầu: Làm từ thép hình I200, dầm dọc bằng thép hình I150, dây treo làm bằng thép tròn D20. Hệ giằng gió bằng thép tròn D20 liên kết với hệ dầm ngang. Mặt cầu gỗ bê nhôm II 20x6cm, lan can bằng gỗ + thép. Cáp chủ mỗi bên dùng cáp mềm 1D56mm và cáp chống lắc ngang D21.5. Mỏ M1 bằng bê tông cốt thép. Móng mỏ được đặt trên nền thiên nhiên. Thân mỏ, bê mỏ, tương cánh bằng bê tông M250. Mỏ M2 bằng bê tông cốt thép. Móng trụ được đặt trên nền thiên nhiên. Thân trụ, bê trụ bằng bê tông M250, công cấu bằng tổ hợp thép hình 2 I300.



Hình 3.1: Bố trí chung cầu Na Xá

3.2. Biện pháp tăng cường cầu

Giải pháp tăng cường độ cứng cho cầu treo Na Xá được lựa chọn trên cơ sở các giải pháp giảm dao động đã trình bày ở trên, phù hợp với cấu tạo cầu treo Na Xá và công nghệ thi công cầu treo trong nước hiện nay. Qua nghiên cứu, phân tích cho thấy, biện pháp tăng cường độ cứng bằng dây văng là khả thi nhất bởi các lý do sau:

- Phù hợp với cấu tạo của cầu do dây văng có thể văng xuyên từ công cấu, chiều cao của công cấu phù hợp, hệ thống dầm dọc, dầm ngang có thể đảm bảo về mặt cấu tạo để tăng cường hệ dầm dọc cứng và dây văng vào cầu;
- Cấu tạo tương đối đơn giản, phù hợp với việc gia cố, nâng cấp cầu cũ;
- Dễ thi công phù hợp với tình độ thi công hiện nay của địa phương.

Trên cơ sở tăng cường bằng phương pháp dây văng như đã phân tích ở trên, tiến hành đo đạc và tính toán cho các trường hợp kết cấu sau:

- Trường hợp 1: Đo đạc, tính toán dao động trước tăng cường;
- Trường hợp 2: Đo đạc, tính toán dao động sau khi tăng cường qua các cấp lực.

Bảng 3.1. Các cấp lực

Trạng thái	0	1(0.2P)	2(0.4P)	3(0.6P)	4(0.8P)	5(P)
Cấp lực	0	100N	200	600N	800N	1000N

Thông số kỹ thuật của dây cáp và tăng-đơ như sau:

Bảng 3.2. Thông số tăng-đơ và dây cáp sử dụng tăng cường cầu Na Xá

Tăng-đơ				
Loại	Size	Tải trọng	Đài	Khối lượng
M6	6mm	2250N	180mm	0.8kg
Dây cáp				
Loại	Size	Chiều dài	Số lượng	Cường độ
D6	6mm	16m	4	1.85 tấn

Việc điều khiển các cấp lực được thực hiện bằng cách tính toán và hiệu chỉnh thông qua số vòng siết của tăng-đờ dầy cáp.



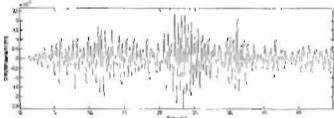
Hình 3.2: Hình ảnh thi công và tăng cường cầu Na Xá

4. KẾT QUẢ ĐO ĐẠC VÀ TÍNH TOÁN

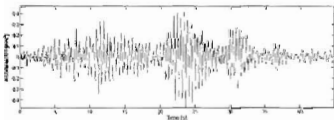
Trong phần này thể hiện kết quả tính toán và đo đạc về dao động của kết cấu cầu treo trước và sau tăng cường ở dạng dao động thứ 1 và thứ 2.

4.1. Biểu đồ dao động của cầu

4.1.1. Biểu đồ đo đạc dao động thực tế trên cầu



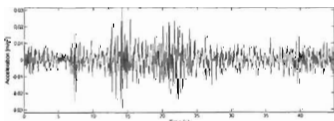
a) - Biểu đồ chuyển vị



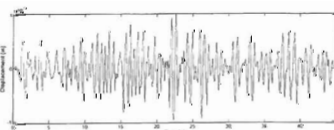
b) - Biểu đồ gia tốc

Hình 4.1: Biểu đồ theo phương đứng từ 0 - 45s trước tăng cường

4.1.2. Mô hình phân tích dao động cầu Na Xá



a) - Biểu đồ chuyển vị



b) - Biểu đồ gia tốc

Hình 4.2: Biểu đồ theo phương đứng từ 0 - 45s sau tăng cường



Hình 4.3: Mô hình cầu treo Na Xá trước tăng cường



Hình 4.4: Mô hình cầu treo Na Xá sau tăng cường

4.2. Kết quả tính toán dao động trước và sau tăng cường cầu

Dạng dao động trước căng dây:

Dạng dao động	Đo đạc thực tế	Mô hình tính toán
Dạng dao động thứ nhất		
Dạng dao động thứ 2		

Dạng dao động sau căng dây:

Dạng dao động	Đo đạc thực tế	Mô hình tính toán
Dạng dao động thứ nhất		
Dạng dao động thứ 2		

Nhận xét: Hình dạng dao động khi đo đạc thực tế và mô hình tính toán phần tử hữu hạn trong trường hợp trước tăng cường và sau tăng cường tương đồng nhau. Tần số dao động tăng thể hiện sau tăng cường, khả năng chống chịu dao động của cầu được cải thiện, độ cứng của cầu tăng lên đáng kể.

Tuy nhiên, đây chỉ là biện pháp tăng cường về độ cứng nhưng với cầu treo dây văng thì độ cứng lớn không phải là một ưu thế và nhất là khi lực căng các bên không đều còn dẫn tới mất ổn định hình học của kết cấu cầu treo. Ví thể, khi thiết kế lực căng các dây tăng cường cần lưu ý đảm bảo ổn định cho kết cấu cầu. Ngoài ra, lực căng không được quá lớn, có thể dẫn đến nhiều bất lợi trong quá trình khai thác như ứng suất tập trung tại vị trí tăng cường quá lớn, cầu có thể giảm dao động nhưng lại bị hư hỏng do hiện tượng khác.

4.3. Hiệu quả tăng cường

Từ kết quả tính toán và thực nghiệm ta thấy:

Sau khi tăng cường với từng cấp lực, độ cứng của cầu treo dây văng tăng lên đáng kể thể hiện qua việc tần số dao động tăng lên.

Bảng tổng hợp kết quả thể hiện hiệu quả tăng cường cầu bằng phương pháp căng dây:

Trạng thái	Tần số đặc		Tần số tính toán		Hiệu quả tăng cường (%)	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
Trước tăng cường	1.02	1.79	1.09	1.91		
Sau khi căng lực 0.2P	1.11	1.88	1.15	1.95	7.16	3.56
Sau khi căng lực 0.4P	1.17	1.92	1.22	1.97	13.31	5.17
Sau khi căng lực 0.6P	1.25	2.01	1.27	2.04	19.53	8.78
Sau khi căng lực 0.8P	1.31	2.02	1.34	2.039	25.68	9.63
Sau khi căng lực P	1.382	2.043	1.41	2.12	32.42	12.22

5. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu các dạng dao động và biện pháp giảm dao động cho cầu treo dây võng tại Việt Nam nói chung và tại các tỉnh miền núi là cần thiết. Biện pháp tăng cường làm tăng độ cứng cho cầu treo Na Xá bằng cách bố sung dây xiên đối xứng nhau ở hai bên là khả thi và hiệu quả. Kiến nghị đưa vào áp dụng để tăng cường độ cứng cho cầu này cũng như đối với các cầu treo dân sinh khác cùng kích thước. Đối với các cầu treo thiết kế mới có sơ đồ một nhịp nên nghiên cứu áp dụng giải pháp này để tăng cường độ cứng cho công trình.

Tài liệu tham khảo

- [1]. A. Kareem, W.J. Sun (1987), *Stochastic Response of Structures with FluidContaining Appendages*, Journal of Sound and Vibration, 119 (3), pp.389-408.
- [2]. Preumont, A. (2011), *Vibration Control of Active Structures*, An Introduction (3rd Edition), Springer.
- [3]. Van Nimmen, K., Lombaert, G., De Roeck, G., & Van den Broeck, P. (2014), *Vibration serviceability of footbridges: Evaluation of the current codes of practice*, Engineering Structures.
- [4]. Akyiliz, Haken, Ünal, N. Erdem (2006), *Sloshing in a three dimensional rectangular tank: Numerical simulation and experimental validation*, Ocean Engineering, vol.33, pp.2135-2149.
- [5]. Yang, J. N., & Giannopoulos, F. (1979a), *Active control and stability of cable-stayed bridge*, Journal of the Engineering Mechanics Division, 105(4), 677-694.
- [6]. Yang, J. N., & Giannopoulos, F. (1979b), *Active control of two-cable-stayed bridge*, Journal of the Engineering Mechanics Division, 105(5), 795-810.
- [7]. Auperin, M., Dumoulin, C. (2000), *Structural Control: Point of View of a Civil Engineering Company in the Field of Cable-Supported Structures*, Proceedings of the 3rd International workshop on Structural Control, Paris, France, July.
- [8]. Hoàng Trọng Lân, *Tính toán cầu treo dây võng*, Suspension bridge design.
- [9]. PGS. TS. Nguyễn Việt Trung, TS. Hoàng Hà, *Thiết kế cầu treo dây võng*.

Ngày nhận bài: 10/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2019

Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Thị Minh Nghĩa
TS. Ngô Văn Minh