

# Bảo trì hệ dây văng công trình cầu dây văng: Thách thức và giải pháp

■ PGS. TS. HOÀNG NAM - Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

■ TS. TÔ NAM TOÀN - Tổng cục Đường bộ Việt Nam

**TÓM TẮT:** Bài báo đề cập công tác bảo trì hệ dây văng của các công trình cầu dây văng mà tại Việt Nam đã bắt đầu có thời gian sử dụng đáng kể. Đây là bài toán kỹ thuật tương đối mới và hiện đại với nhiều thách thức. Các đặc trưng kỹ thuật cơ bản của hệ dây văng được trình bày, từ đó mô tả phương pháp đánh giá tình toàn vẹn và khả năng chịu lực của cáp, thông qua kết quả kiểm tra thường xuyên cấp kết hợp với các kỹ thuật đo lực căng và độ giảm loga. Trong trường hợp cấp có dấu hiệu bị hư hại, cần tiến hành kiểm tra chi tiết hơn tại các vùng neo hay dọc chiều dài cáp, sử dụng các công cụ thí nghiệm không phá hủy. Sau cùng là các kiến nghị liên quan triển khai phương pháp bảo trì này trong thực tiễn quản lý bảo trì khai thác cầu dây văng ở Việt Nam, ghi nhận mạng lưới trực tuyến kết nối hệ thống quan trắc công trình ở các cầu dây văng đã được thiết lập.

**TỪ KHÓA:** Bảo trì hệ dây văng, cầu dây văng, mạng lưới hệ thống quan trắc công trình, đo lực căng và độ giảm loga

**ABSTRACT:** The first cable-stayed bridge in Vietnam opened in 2000. As these bridges become older, the need for effective inspection and maintenance techniques and tools become essential. This paper describes challenges in evaluation and monitoring the stays cables and introduces the unified method of Mehrabi, including visual checks and tension and damping measurement techniques to evaluate the global integrity and structural safety of the stays. In serious cases, further non-destructive tests for detection of local damages may be required, at the anchorage zones or the cable free length. Recommendations for application of the method in Vietnam, with respect to an integrated on-line monitoring network has been deployed for several in-service cable stayed bridges, are given.

**KEYWORDS:** Cable inspection and maintenance, cable-stayed bridge, structural-health-monitoring network, tension and damping measurement

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cho đến thời điểm này, cả nước đã có 12 cầu dây văng đi vào sử dụng, trong khi hàng loạt cầu khác đang trong giai đoạn hoàn thành xây dựng như Vàm Cống,

Bình Khánh, Phước Khánh... Nếu tính mốc khánh thành công trình cầu dây văng đầu tiên, cầu Mỹ Thuận vào năm 2000, các công trình cầu đặc biệt trên đã có thời gian sử dụng đáng kể và vấn đề bảo trì cầu trở thành một đòi hỏi cấp bách. Tuổi trung bình của cầu tăng theo thời gian, trong khi lưu lượng xe cũng tăng cả khối lượng và cường độ, cùng môi trường thiên nhiên ngày càng khắc nghiệt. Bảo trì rất nhiều cầu dọc quốc lộ, theo suốt tuổi thọ công trình là một nhiệm vụ khó khăn, bất khả thi nếu thực hiện bằng các biện pháp thủ công thông thường.

Khác với các dạng cầu truyền thống (cầu bê tông, cầu thép nhiều nhịp...), cầu dây văng có thành phần kết cấu chịu lực quan trọng là hệ dây văng. Hệ dây văng này chiếm 5 - 8% chi phí đầu tư công trình và khả phức tạp từ thiết kế, thi công đến cả quá trình bảo trì khai thác do chịu lực kéo lớn dưới tác động thường xuyên của tải trọng lặp đổi chiều và bị chi phối bởi công nghệ thi công [1]. Kiểm nghiệm trong phòng thí nghiệm và thực tế cho thấy tuổi thọ của cáp có thể ngắn hơn đáng kể tuổi thọ của cầu do các yếu tố ăn mòn, mài vật liệu hay hư hại trong cáp và hệ neo, vỏ bọc, gối tựa... [2]. Thực tế, các biện pháp duy tu và bảo dưỡng truyền thống không thể tiếp cận trực tiếp và thường xuyên hệ dây văng này, trong khi đa phần các bộ phận lõi cáp, thiết bị giảm dao động, đặc biệt là phần thiết bị neo (nhất là cấu trúc ống neo phun vữa) hoàn toàn ẩn sâu, không thể thăm nhập được vào bên trong.

Trên thế giới, từ năm 2005 đã có những nghiên cứu về yêu cầu và phương pháp bảo trì hệ dây văng công trình cầu dây văng, tiêu biểu là báo cáo tổng hợp của Tabatabai [3] mang tên NCHRP 353, dựa trên khảo sát 36 cầu dây văng ở Hoa Kỳ và 16 cầu ở Canada. Cũng trên cơ sở khảo sát nhiều cầu hiện hữu ở Hoa Kỳ trong khoảng thời gian dài (từ 1999), Mehrabi [2,4] đã đề xuất một phương pháp hợp nhất (unified approach) để kiểm tra, bảo trì và thay thế dây văng, áp dụng có thể cho một cầu dây văng nhịp dài 372m ở Bắc Mỹ sau 26 năm khai thác. Phương pháp này tương đối đơn giản - hiệu quả - đáng tin cậy, dựa vào kết quả kiểm tra thường xuyên dây văng kết hợp với các kỹ thuật đo lực căng và độ giảm loga để đánh giá tình toàn vẹn (global integrity) và khả năng chịu lực của cáp. Trong trường hợp dây văng có dấu hiệu bị hư hại sẽ tiến hành kiểm tra chi tiết hơn tại các vùng neo hay dọc chiều dài cáp, sử dụng các công cụ thí nghiệm không phá hủy như xem xét trực quan, đo dao động, siêu âm, chụp ảnh nhiệt, đo độ rò thông lượng tử, dò tia phóng xạ... Cần nhấn mạnh về vai trò của các cảm

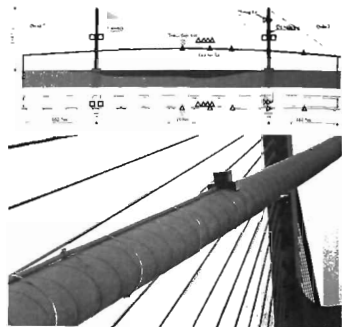
biến nhằm quan trắc thường xuyên hay định kỳ hệ dây văng trong các nghiên cứu trên. Công nghệ quan trắc công trình (structural health monitoring) áp dụng ngay từ khi bắt đầu khai thác cầu sẽ giúp giảm đáng kể chi phí kiểm tra, bảo trì và tránh các nguy cơ hư hại cầu. Trong xu hướng phát triển hơn nữa, các kỹ thuật sử dụng công nghệ rô bốt có thể là giải pháp hữu hiệu, như đã được đề cập trong nghiên cứu của các nhà khoa học Hàn Quốc từ năm 2013 [5].

Ở Việt Nam, thông tin về hệ dây văng của các công trình cầu dây văng tiêu biểu đã khai thác được tóm tắt trong Bảng 1.1. Có 10 công trình cầu, xếp theo thứ tự thời gian khánh thành, cho thấy nhu cầu cấp bách thực hiện công tác bảo trì hệ dây văng trong thời gian tới. Để theo dõi hoạt động và kịp thời bảo trì các công trình hiện đại và phức tạp này, Tổng cục ĐBVN đã có chủ trương thiết lập mạng lưới trực tuyến kết nối hệ thống quan trắc công trình ở tất cả các cầu dây văng, bước đầu bao gồm các cầu Cần Thơ, Rạch Miễu, Bãi Cháy, Kiên [7]. Đến tháng 7/2018, hệ thống quan trắc cầu Phú Mỹ cũng đã được hoàn thành và đưa vào sử dụng. Ở mỗi cầu, hệ thống quan trắc công trình được thiết lập mới hoặc tiến hành hiệu chuẩn, bổ sung cảm biến mới và đóng bộ truyền dẫn - xử lý dữ liệu, nhằm thu thập được các thông tin hữu ích về tình hình hình giao thông và điều kiện sức khỏe của kết cấu cầu. Hình 1.1 mô tả hệ thống quan trắc cầu Phú Mỹ [7], trong đó có 4 cảm biến đo dao động của 4 dây văng dài nhất sẽ cung cấp thường xuyên thông tin lực căng cáp cùng các thông tin liên quan đến việc vận hành cầu (tình hình giao thông, cấp gió tác động, lực căng cáp...) và cảnh báo khi cần thiết. Bằng việc sử dụng các kết quả thu được từ mạng lưới các hệ thống quan trắc các công trình cầu dây văng nói trên, phương pháp hợp nhất do Mehrabi đề xuất nêu trên hoàn toàn có thể áp dụng hiệu quả tại Việt Nam và sẽ được đề cập chi tiết trong bài báo này.

Bảng 1.1. Tóm tắt thông tin về hệ dây văng các công trình cầu dây văng ở Việt Nam

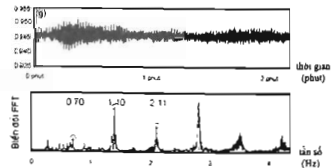
TT	Tên cầu	Năm khai thác	Nhịp chính	Loại cáp	Hãng sản xuất cấp
1	Mỹ Thuận	2000	350m	PSS	Freyssinet
2	Đà Nẵng	2000	80m	PSS	Ciencofi
3	Kiên	2003	200m	PSS	VSL
4	Bình	2005	260m	PWS	BBR
5	Bãi Cháy	2006	435m	PSS	Freyssinet
6	Rạch Miễu	2009	270m	PSS	VSL
7	Phú Mỹ	2009	380m	PSS	Freyssinet
8	Cần Thơ	2010	550m	NPWS	Nippon Steel
9	Rào 2	2012	120m	PSS	Freyssinet
10	Trần Thị Lý - Nguyễn Văn Trỗi	2013	230m	PSS	VSL
11	Nhật Tân	2014	300mx4 nhịp	NPWS	Tokyo Rope
12	Bạch Đằng	2018	240mx2 nhịp	PSS	VSL

Một số tài liệu xem xét hệ dây văng cầu dây văng bao gồm trụ tháp và các dây văng. Tuy nhiên, đối với trụ tháp cầu, công tác bảo trì có thể tham khảo nhiều phương pháp phổ biến dành cho kết cấu bê tông hoặc thép. Do vậy, bài báo chỉ đề cập những phương pháp kiểm tra và bảo trì các dây văng, bao gồm phân thân cáp và thiết bị neo hai đầu. Trừ một số cầu dây văng liên tục nhiều nhịp (như cầu Nhật Tân, Hà Nội), các dây văng có thể liên tục gối trên trụ tháp, còn lại đa số trường hợp, các dây văng được neo trong phạm vi một nhịp, tại dầm cầu và va trụ tháp.



Các gia tốc kế lắp trên dây văng

C02-ACC-01 Z

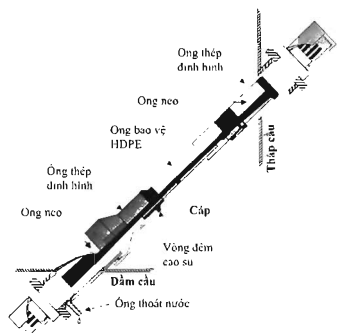


Biên độ FFT  
tần số (Hz)  
Bản ghi gia tốc và biến đổi Fourier để tính lực căng cáp  
Hình 1.1: Cảm biến đo gia tốc dây văng trong hệ thống quan trắc cầu Phú Mỹ

## 2. ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT HỆ DÂY VĂNG

Mỗi dây văng trong hệ dây văng của công trình cầu có thể định nghĩa đơn giản như một phần tử chịu lực kéo có hai đầu liên kết tại trụ tháp và tại dầm cầu. Hình 2.1 trình bày mô hình một dây văng điển hình gồm thân cáp và hai đầu liên kết. Hai đầu cáp được bảo vệ bởi các ống thép đỉnh hình (steel guide tubes) đặt sẵn trong trụ tháp và dầm cầu khi thi công. Trong ống thép có bố trí các vòng đệm cao su tổng hợp (neoprene washer) nhằm định vị cáp, giảm ứng suất tập trung và cung cấp thêm khả năng cản dao động cho cáp. Sau cùng, dây văng thường được neo thích hợp vào bộ neo

(ở dầm hay trụ tháp) bằng các hộp/ống neo (anchorage socket). Chú ý phần thân cáp được bảo vệ bằng ống nhựa HDPE (high density polyethylene), bên trong giữa những bó sợi có phun hoặc nhựa epoxy hay sáp. Ngoài ra, bên trong ống neo còn thường được phun vừa chống ăn mòn cáp. Như vậy, ba lớp bảo vệ cáp cũng đồng thời cản trở bất cứ phương pháp thí nghiệm, kiểm tra hay bảo trì trực tiếp nào.



Hình 2.1: Mô hình một dây văng điển hình

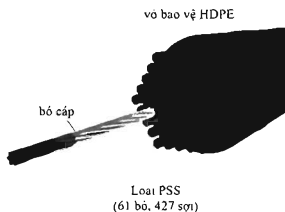
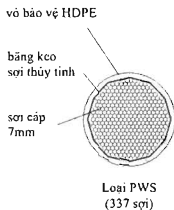
**2.1. Tiết diện cáp**

Có hai hình thức tiết diện (Hình 2.2) phổ biến cấu tạo nên hệ dây văng hiện nay:

- Loại PSS (parallel strand stay): Dây văng cấu tạo từ những bó cáp song song (strands), mỗi bó lại cấu tạo từ các sợi cáp (thường là cấu trúc 7 sợi, mỗi sợi có đường kính 5 - 7mm) bên với nhau. Những bó cáp được vận chuyển, lắp dựng và căng đóc lập từng bó riêng rẽ tại công trường.

- Loại PWS (parallel wire stay): Dây văng tạo thành trực tiếp từ những sợi cáp song song, vận chuyển đến công trường và lắp dựng như một sản phẩm hoàn chỉnh và sau đó tất cả các sợi cáp được căng đồng thời vào bề neo. Loại cáp này có thể có tiết diện thu gọn hơn so với PSS, nhưng hiện chỉ được sản xuất và sử dụng chủ yếu bởi các nhà thầu Nhật Bản và Trung Quốc. Gần đây, NPWS (new PWS) đã được áp dụng ở Việt Nam, chính là loại PWS mà những sợi cáp được xoắn nhẹ với bước xoắn tương đối dài nhằm đảm bảo tính chắc chắn của cáp trong suốt quá trình vận chuyển và lắp dựng.

Rõ ràng, ứng với loại cáp khác nhau là công nghệ sản xuất, thi công và đo đạc bảo trì hoàn toàn khác nhau. Mỗi loại đều có ưu điểm và nhược điểm riêng. Dưới góc độ thi công và bảo trì, loại cáp PSS cho phép sử dụng các thiết bị vận chuyển và lắp dựng nhỏ gọn linh hoạt, dễ kiểm tra và sửa chữa. Việc chọn lựa loại cáp cần cần nhắc đến các yếu tố liên quan, tối ưu chi phí xây dựng và bảo trì công trình cầu, đặc biệt trong bối cảnh có thể thay thế cáp vài lần trong niên hạn sử dụng của.



Hình 2.2: Các loại cáp cầu dây văng

**2.2. Các vấn đề thường gặp**

Hư hỏng dây văng và thiết bị neo là một vấn đề hết sức quan trọng trong bảo trì cầu dây văng. Các hư hỏng này có thể ảnh hưởng rất lớn đến khả năng chịu lực của kết cấu, vì vậy cần phải được phát hiện, xử lý kịp thời. Có hai cơ chế chính liên quan đến các hư hỏng này bao gồm:

- Ăn mòn: Là cơ chế đáng quan tâm nhất trong bảo trì dây văng từ những bảo cáo ghi nhận ở nhiều cầu dây văng trên thế giới [3]. Ăn mòn không chỉ do các yếu tố bên ngoài tác động như hơi ẩm, không khí muối... mà còn từ chính hơi nước đọng bên trong ống bảo vệ và cáp và neo. Trong nhiều trường hợp, giải pháp chủ động cho thoát nước khu vực neo dưới như minh họa ở Hình 2.1 tỏ ra ưu việt hơn hẳn là boc kín nước.

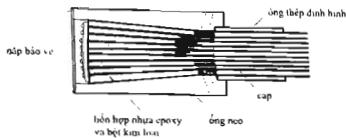
- Mỏi vật liệu: Cáp dao động chủ yếu do cơ chế gió rối, do gió - mưa kết hợp, do xoáy cường bức phía sau vật cản (vortex), do cộng hưởng dao động dầm/tháp cầu (parametric vibration), hay do các cơ chế mất ổn định khi đàn hồi (flutter, galloping). Dưới tác động thường xuyên của những tải trọng lặp đổi chiều này, tuổi thọ môi của cáp bị giới hạn đáng kể. Cơ chế dao động do gió - mưa kết hợp, phát hiện từ 1987, có thể gây nên những dao động biên độ lớn chi phối nếu không có các biện pháp loại trừ như đặc lỗ hay quấn chỉ xoắn bề mặt cáp. Các nguyên nhân khác cần đến các thiết bị giảm dao động như cản nhớt (viscous damper), cản ma sát (friction damper) hay dùng biện pháp kết nối nhóm dây văng (cross-tie)...

Từ ngoài bề mặt các dạng hư hỏng quan sát được sẽ là: Rỉ sét của ống thép, vỏ bảo vệ HDPE bị khía cạnh, xé đứt và mài mòn, nứt hoặc tách rời ở những chỗ nối ống, lớp bảo vệ bị cong vênh hoặc phình ra chứng tỏ môi và

sợi cáp đã bị đứt, các vết nứt ngang có thể do mối; bị chệch tách dọc bỏ cáp có thể do sự thay đổi bất thường của nhiệt độ (hệ số co giãn vì nhiệt của polyethylene cao hơn đến 3 lần so với của bê tông và thép). Các dạng hư hỏng khác là: Cáp bị chệch khỏi trục trong ống bảo vệ gây rách vỏ cáp; nước đọng trong ống neo ở dầm cầu, lỗ rỗng trong vữa phun (grouting), đứt các sợi cáp bên trong...

**2.3. Thiết bị neo cáp**

Đối với cấu dầm văng, dạng ống neo phổ biến nhất, kể cả các công trình cầu dầm văng ở Việt Nam trong Bảng 1, 1 là ống Hi-Am, tương ứng với phương pháp đúc nguội hỗn hợp nhựa epoxy và bột kim loại đúc vào trong ống, như minh họa trong Hình 2.3 [6].



Hình 2.3: Ống neo Hi-Am

Đối với ống neo này, thường ở phía dầm cầu, sau thời gian dài sử dụng sẽ xuất hiện các khe hở ở đầu vòng đệm cao su tổng hợp phía đầu trên của ống thép bảo vệ hoặc vòng đệm cao su tổng hợp bị lệch, bị rách và tách dọc, không hoạt động hoặc gãy vỡ bê tông bị tì đè. Phần neo trên trụ thấp có thể bị ăn mòn hoặc nứt, các đai ốc bị lỏng tại hốc neo và các tấm đệm cũng như dầu mỡ có thể bị rò rỉ ở mũ ống bảo vệ.

**3. CÁC PHƯƠNG PHÁP BẢO TRÌ**

Các đặc trưng kỹ thuật cơ bản của hệ dầm văng trình bày trong phần trên đã cho thấy những thách thức đối với công tác duy tu và bảo dưỡng trong suốt thời gian khai thác công trình cầu, từ đó các nhà nghiên cứu đề xuất khái niệm "bảo trì dự phòng" (preventive maintenance) [3,5]. Khái niệm này yêu cầu xem xét, rà soát ngay từ trong giai đoạn thiết kế từng bộ phận kết cấu và liên kết công trình cầu có khả năng cản trở (hay không thực hiện được) việc bảo trì mà có thể xuất tương ứng. Một đề xuất khá thi là chỉ định lắp đặt các cảm biến thường trực ở các vị trí phù hợp để cung cấp thông tin chính xác và tức thời, thí dụ như lực kế một số đầu neo cáp cung cấp số đo lực căng. Những đề xuất khác bao gồm phương cách tiếp cận để thực hiện bảo trì nhanh chóng, dễ dàng, không ảnh hưởng đến lưu thông: Buồng kỹ thuật, xe chuyên dụng, thang đến vị trí sửa chữa/thay thế các bộ phận cáp, gối, khe co giãn... Bảo trì dự phòng cũng sẽ đề cao việc sử dụng những vật liệu kéo dài tuổi thọ công trình, xem xét đầy đủ các yếu tố bất lợi theo thời gian.

Trong các giai đoạn tiếp theo triển khai thi công và quản lý khai thác và bảo trì cầu, cần hết sức chú ý lưu giữ tài liệu thiết kế và thi công (bridge inventory) phù hợp, tuân thủ Quy trình quản lý khai thác và bảo trì cầu [8]. Hiện nay, đa số các quốc gia áp dụng quy trình kiểm tra theo các mức: thường xuyên (regular/visual inspection, tần

suất 1 hoặc 2 năm một lần); kiểm tra định kỳ hay chi tiết (periodic/detailed inspection, dưới 5 hoặc 6 năm); kiểm tra đột xuất hay đặc biệt (special inspection, toàn diện sau tác động bất thường hay sự cố, thay thế cáp...). Yêu cầu quan trọng nhất của một quy trình kiểm tra như vậy là dữ liệu thu thập được cần đảm bảo chính xác, thường xuyên, phát hiện kịp thời dấu hiệu xuống cấp, dấu hiệu hư hỏng, hư hỏng của bộ phận công trình để có biện pháp xử lý kịp thời, nhằm đảm bảo khai thác an toàn, duy trì sự bền vững của công trình. Như đã nêu, Mehrabi đã đề xuất phương pháp hợp nhất phục vụ công tác kiểm tra, bảo trì và thay thế dầm văng. Phương pháp này dựa trên kết quả kiểm tra thường xuyên cáp (kiểm tra bên ngoài) kết hợp với các kỹ thuật đo lực căng và độ giảm loga để đánh giá tình toàn vẹn và khả năng chịu lực của cáp. Trong trường hợp cáp có dấu hiệu bị hư hại sẽ tiến hành kiểm tra chi tiết hơn tại các vùng neo hay dọc chiều dài cáp, sử dụng các công cụ thí nghiệm không phá hủy. Nội dung chi tiết như sau:

**3.1. Đánh giá tính toàn vẹn và khả năng chịu lực**

Trước tiên cần kiểm tra thường xuyên hệ dầm văng, đảm bảo duy trì các hạng mục (1) ống bảo vệ cáp (không nứt, vỡ, lệch vị trí, vòng đệm cao su nguyên vẹn...), (2) hệ giảm dao động (không rò rỉ dầu, không biến dạng...), (3) hệ neo (tránh lọt nước vào các bộ phận, không bị ăn mòn, hụt dầu bôi trơn...). Công tác kiểm tra tiến hành đơn giản và trực tiếp bằng mắt, có thể kết hợp với các công cụ ống nhòm hoặc thiết bị bay điều khiển từ xa dùng để chụp ảnh từ trên không đối các bộ phận khó tiếp cận, trong điều kiện chi phí chế tạo rẻ bố hay xe chuyên dụng kiểm tra cáp từ hành độ ít hao chi phí rất cao. Với các hình ảnh thu thập được, có thể áp dụng các kỹ thuật xử lý ảnh để rút ra được các dấu hiệu bất thường [8].

\* Xác định lực căng và độ giảm loga của cáp dựa trên dữ liệu dao động

Cần đặt được số liệu cơ sở phân bố lực căng trong toàn bộ hệ dầm văng và sự thay đổi lực căng giữa những lần đo, kết hợp với phân tích kết cấu toàn công trình để phát hiện những bất thường tổng thể hay những hư hại cục bộ. Một sự sụt giảm lực căng tại một dầm văng đi kèm với sự tăng lực căng ở các cáp lân cận có thể là dấu hiệu dầm văng đó bị suy giảm tiết diện hoặc xảy ra trượt cáp trong bê neo.

Kỹ thuật đo lực căng cáp phổ biến hiện nay là đo gián tiếp: Dùng dây thép tạo chuyển động ban đầu cho cáp, đo dao động tự do, suy ra tần số dao động tự nhiên và tính được lực căng cáp thông qua mối quan hệ giữa lực căng và tần số. Thiết bị đo gồm có gia tốc kế gắn trên dây văng ở độ cao vừa phải, máy ghi gia tốc, máy tính và chương trình kèm theo.

Công thức đơn giản tính lực căng cáp xác định bởi mô hình cáp căng (taut string):

$$T_0 = 4mf_1^2 L^2 \tag{1}$$

Trong đó, cáp có khối lượng trên một đơn vị chiều dài là  $m$ , chiều dài cáp là  $L$ ,  $f_1$  = tần số dao động riêng thứ nhất đo được của cáp. Công thức (1) có độ sai số nhất định (có thể đến 20% trong các trường hợp cực đoan) do không kể đến độ cứng chống uốn, độ chùng hay điều

kiện ngầm của cáp. Tác giả bài báo đã có nghiên cứu và đề xuất công thức điều chỉnh kể đến các yếu tố trên như sau [10]:

$$l = \frac{T_0}{1 + \frac{0,6268A^2}{\pi^2}} - 4\sqrt{ET_0} \quad (2)$$

Trong đó, cáp có mô-đun đàn hồi của vật liệu là  $E$ , mô-nem quán tính tiết diện ngang là  $I$  và độ chùng ở giữa nhịp theo phương vuông góc với cáp là  $d$ . Độ cứng chống uốn của cáp xác định bởi tích số  $EI$ ,  $\frac{d}{L}$  là tham số độ cứng chống uốn của cáp;  $\alpha = \frac{M}{EI}$ ; Tham số độ chùng của cáp, với  $L = L[1 + 9(d/L)^2]$  và  $A$  = diện tích tiết diện ngang của cáp.

Giá trị độ giảm loga (hay tỉ số cần) của cáp cũng là một thông số quan trọng, đảm bảo trạng thái sử dụng của công trình cấu đối với tải trọng môi trường. Các nghiên cứu đã chỉ ra độ giảm loga của riêng dây văng (không gắn thiết bị giảm dao động) thường rất thấp: Dưới 0.01 đối với các dạng dao động đầu tiên [11] và cần thiết phải bổ sung các thiết bị giảm dao động gắn hai đầu neo. Độ giảm loga  $\delta$  xác định từ các bản ghi dao động tự do của cáp theo công thức [12].

$$\delta = \ln \frac{u_i}{u_{i+1}} \quad (3)$$

Trong đó:  $u_i$  và  $u_{i+1}$  - Biên độ các đỉnh dương thứ  $i$  và  $i+1$  của dao động tự do tắt dần. Để đạt độ chính xác cao hơn có thể xem xét các đỉnh cách biệt vài chu kì dao động. Nếu kết quả đo cho thấy sự sụt giảm loga sau thời gian sử dụng, các biện pháp bổ sung sức cản, bằng hệ giảm dao động gắn ngoài hay các biện pháp cơ học, cần được xem xét tức thời.

Trong trường hợp sử dụng các gia tốc kế gắn thường trực trên cáp (thuộc hệ thống quan trắc công trình cầu như Hình 1.1), kỹ thuật đo như trên vẫn có thể áp dụng với các bản ghi dao động trong và ngoài mặt phẳng cáp do tải trọng môi trường (ambient vibration) mà không cần các công cụ kích tải trên công trình.

### 3.2. Xác định các hư hỏng cục bộ

Từ kết quả đánh giá trên, khi phát hiện tính toàn vẹn và khả năng chịu lực của cáp có dấu hiệu bị tổn hại, cần tiến hành kiểm tra chi tiết hơn tại các vùng neo hay dọc chiều dài cáp. Tùy theo đối tượng được kiểm tra mà chọn công cụ thí nghiệm không phá hủy tương ứng. Thí dụ như thí nghiệm đo độ rò thông lượng từ (magnetic flux leakage) để kiểm tra ăn mòn trong thân cáp [13]; chụp ảnh nhiệt (thermography) hay dò tia phóng xạ (radiography) để kiểm tra thiết bị neo hay phát hiện hư hỏng trong ống nhựa HDPE hay trong ống neo [5]; siêu âm (ultrasonic) để đánh giá tình trạng sợi cáp trong neo Hi-Am [14,2]... Tuy nhiên, các công cụ và phương pháp này hiện vẫn còn trong giai đoạn nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, đòi hỏi chi phí cao, thiết bị cồng kềnh và triển khai phức tạp, cần thêm nhiều cải tiến và đúc kết từ thực tế trong tương lai gần [2]. Giải pháp kinh tế do vậy sẽ là thay thế bộ phận có dấu hiệu hư hỏng, thay thế một vài hay toàn bộ hệ dây văng. Đối với cáp cấu loại PSS, có thể tiến hành thay thế từng bộ cáp một hoặc phải lắp đặt các dây văng tam trong khi tiến hành thay thế. Trình tự của việc thay thế

cáp, biện pháp dự phòng cùng các thông số điều chỉnh lực căng phải được thiết kế kỹ lưỡng và do nhà thầu uy tín thi công [15].

## 4. KIẾN NGHỊ

Bảo trì hệ dây văng công trình cầu dây văng là bài toán kỹ thuật mới, ngay cả đối với những quốc gia tiên tiến, với nhiều thách thức cần được nhận thức ở tất cả các đối tượng liên quan, từ thiết kế đến thi công và đội ngũ quản lý khai thác cầu. Do tầm quan trọng của những công trình cầu dây văng đối với hệ thống giao thông đường bộ quốc gia, cần phải giải quyết bài toán bảo trì theo những phương pháp tối ưu chi phí và đạt hiệu quả cao nhất, đảm bảo ATGT.

Trong bối cảnh các phương pháp bảo trì đối với công trình cầu dây văng hiện đại còn đang được nghiên cứu trên thế giới, phương pháp đề xuất bởi Mehrabi nhằm đánh giá chính xác trạng thái hiện hữu của hệ dây văng cần được xem xét và áp dụng thống nhất, ghi nhận trên thực tế triển khai tại Việt Nam, trong đó cần tối ưu hiệu quả của các cảm biến đo dao động dây văng của các hệ quan trắc dài hạn sức khỏe đã thiết lập tại các công trình cầu. Đánh giá được trạng thái cập sẽ đảm bảo các biện pháp bảo trì, sửa chữa phù hợp và kịp thời. Các phương pháp bảo trì hệ dây văng cụ thể cần được đề cập trong quy trình quản lý, khai thác, bảo trì và giám sát thực hiện một cách hiệu quả nhất.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Soletanche Freysinnet (2014), *Maintenance of cable-stayed structures*, France.
- [2]. Mehrabi, A.B. (2006), *In-service evaluation of cable-stayed bridges, overview of available methods and findings*, Journal of Bridge Engineering, ASCE, 11(6), 716-724.
- [3]. Tabatabaie, H. (2005), *Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems: A Synthesis of Highway Practice*, NCHRP Synthesis 353, Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- [4]. Mehrabi, A.B. (2014), *Cable Stayed Bridges: Inspection, Evaluation, and Rehabilitation*, Geo-Hubei 2014 International Conference on Sustainable Civil Infrastructure, Yichang, Hubei, China.
- [5]. Yun, H.B., Kim, S.H., Wu, L., & Lee, J.J. (2013), *Development of Inspection Robots for Bridge Cables*, The Scientific World Journal.
- [6]. Gimsing, N.J (1997), *Cable Supported Bridges: Concept and Design*, 2nd Ed, John Wiley & Sons.
- [7]. Hoàng, N., Tô, N.T. (2017), *Mạng lưới hệ chẩn đoán kỹ thuật cho các cầu dây văng ở Việt Nam*, Tạp chí GTVT, số tháng 9, tr.70-73.
- [8]. Công ty Cổ phần Đầu tư xây dựng Phú Mỹ (2018), *Quy trình quản lý, khai thác và bảo trì cầu Phú Mỹ*.
- [9]. Ho, H.N., Kim, K.D., Park, Y.S., & Lee, J.J. (2013), *An efficient image-based damage detection for cable surface in cable-stayed bridges*, NDT & E International, 58, 18-23.
- [10]. Hoàng, N. (2015), *Công thức xác định lực căng cáp trong cầu dây văng xét ảnh hưởng đồng thời của độ*

chùng và độ cứng chống uốn, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, Chuyên san Kỹ Thuật và Công nghệ, 18, 95-101.

[11]. Yamaguchi, H., Fujino, Y. (1998), *Stayed cable dynamics and its vibration control*, Bridge aerodynamics, A. Larsen and S. Esdahl, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

[12]. Clough, R.W., Penzien, J. (1993), *Dynamics of Structures*, 2nd Ed, Mc.GrawHill.

[13]. Kitagawa, M., Suzuki, S., & Okuda, M. (2001), *Assessment of Cable Maintenance Technologies for Honshu - Shikoku Bridges*, Journal of Bridge Engineering, 6 (6), 418-424.

[14]. Suzuki, N., Takamatsu, H., Kawashima, S., Sugii, K., & Iwasaki, M. (1988), *Ultrasonic Detection Method for Wire Breakage*, Kobelco Technology Review, 4, 23-26.

[15]. Đào, D.L., Nguyễn, V.T (2015), *Analysis of stayed-cable replacing solution for in-service cable stayed bridge in Vietnam*, Innovation in Construction International Conference CIGOS, Paris, France.

**Ngày nhận bài: 21/3/2019**

**Ngày chấp nhận đăng: 5/4/2019**

**Người phản biện: PGS. TS. Đào Thế Lâm**

**PGS. TS. Trần Văn Truyền**