

**đại học quốc gia  
hà nội  
trường đại học công  
nghệ**

**Viện khoa học  
và công nghệ việt nam  
viện cơ học**

**Nguyễn Đức Toàn**

**Nghiên cứu dao động dây cáp căng**

**luận văn thạc sĩ**

## MỤC LỤC

	Trang
Trang bìa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Lời cam đoan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
MỤC LỤC .....	2
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ .....	4
Chương 1 DÂY VẼNG VÀ HỆ NEO .....	8
1.1 Lịch sử phát triển Cầu dây văng .....	8
1.2 Dây văng .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.1 Cáp gồm các thanh song song .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2 Cáp gồm các sợi song song .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.3 Tào cáp .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.4 Cáp kín .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Hệ neo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.1 Cấu tạo đầu neo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.2 Neo ép .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.3 Neo đúc hợp kim nóng .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.4 Neo bó dây gồm các thanh song song .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.5 Neo các bó dây có sợi song song .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.6 Neo dùng cho bó cáp kín .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Kết luận chương 1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chương 2 TÍNH HỌC DÂY CÁP .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Mô hình bài toán khảo sát .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Thiết lập phương trình biểu diễn đường cong tĩnh dây cáp .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.3 Quan hệ giữa độ võng tĩnh lớn nhất và sức căng tĩnh ban đầu của dây cáp .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 Phương pháp tính lực căng ban đầu $S_0$ theo một độ võng tương đối cho trước.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Các trường hợp đặc biệt.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5.1 Góc $\varphi = 0$ . Dây cáp ở vị trí nằm ngang.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5.2 Góc $\varphi = \pi/2$ . Dây cáp ở vị trí thẳng đứng.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 Khảo sát bài toán Tĩnh học dây cáp cho một sợi cáp cụ thể ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Kết luận chương 2.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chương 3    DAO ĐỘNG DÂY CÁP .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Khảo sát dao động tự do của dây cáp căng .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1.1 Thiết lập phương trình vi phân chuyển động ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1.2 Tìm nghiệm tổng quát của phương trình vi phân chuyển động	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Khảo sát dao động của dây khi đầu dưới neo vào gối đàn hồi	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Khảo sát dao động cưỡng bức của dây .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Khảo sát dao động tự do có cản của dây.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Kết luận chương 3 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chương 4	
ĐO DAO ĐỘNG DÂY VĂNG CHO CẦU BỀN CỐC, HÀ TÂY ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Mục đích thí nghiệm .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Máy móc thiết bị thí nghiệm và quá trình đo dao động của dây cáp	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Lắp đặt thiết bị đo dao động .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Tiến hành gây tải trọng lên cầu.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5 Kết quả thí nghiệm đo dao động của dây cáp .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ..... **Error! Bookmark not defined.**

TÀI LIỆU THAM KHẢO ..... 10

PHỤ LỤC..... **Error! Bookmark not defined.**

1. Chương trình tính toán bài toán Tĩnh học trên phần mềm Maple 8. **Error! Bookmark not defined.**
2. Chương trình tính toán bài toán Dao động trên phần mềm Maple 8. **Error! Bookmark not defined.**
3. Chương trình tính toán bài toán Dao động có phần tử đàn trên phần mềm Maple 8. **Error! Bookmark not defined.**

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Trang

Hình 1.1	Cầu Mỹ Thuận (Vĩnh Long).....	10
Hình 1.2	Cầu Đăk' rông (Quảng Trị).....	11
Hình 1.3	Các loại cáp thép thông dụng dùng làm dây văng.....	12
Hình 1.4	Các dạng thép thanh dùng làm dây văng.....	14
Hình 1.5	Các dạng bó cáp có sợi song song.....	16
Hình 1.6	Cấu trúc bó cáp và tao cáp.....	19
Hình 1.7	Cấu trúc cáp kín.....	20
Hình 1.8	Các dạng liên kết đầu neo.....	21
Hình 1.9	Cấu tạo neo ép.....	22
Hình 1.10	Neo đúc hợp kim.....	23
Hình 1.11	Neo bó dây gồm các sợi song song.....	23
Hình 1.12	Neo BBRV.....	25
Hình 1.13	Kết cấu neo HiAm – BBRV.....	26
Hình 1.14	Kết cấu neo cho bó cáp kín.....	27
Hình 2.1	Mô hình sợi cáp căng trên cầu.....	29
Hình 2.2	Mô hình khảo sát.....	30
Hình 2.3	Phân tổ dây cáp.....	31
Hình 2.4	Hình dạng đường cong dây cáp khi bị võng tĩnh.....	38
Hình 2.5	Quan hệ giữa độ võng tĩnh lớn nhất và sức căng ban đầu.....	39
Hình 2.6	Đường cong dây cáp trong trường hợp nằm ngang.....	40
Hình 3.1	Mô hình dây cáp để khảo sát dao động.....	42
Hình 3.2	Mô hình khảo sát.....	43
Hình 3.3	Các dạng dao động riêng.....	48
Hình 3.4	Mô hình khảo sát dây cáp khi có phần tử đàn hồi.....	50
Hình 4.1	Cầu bến cóc.....	58
Hình 4.2	Lắp đặt thiết bị đo dao động.....	60
Hình 4.3	Các ô tô đang tiến hành thử tải.....	60
Hình 4.4	Đồ thị gia tốc của dây cáp số 3.....	61
Hình 4.5	Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 3.....	62
Hình 4.6	Đồ thị gia tốc của dây cáp số 9.....	62
Hình 4.7	Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 9.....	63
Hình 4.8	Đồ thị gia tốc của dây cáp số 15.....	64

Hình 4.9	Đồ thị dịch chuyển của dây cáp số 15.....	64
----------	---	----

## MỞ ĐẦU

Hiện nay, các loại cầu treo được sử dụng rộng rãi ở nước ta và trên thế giới, do chúng có nhiều ưu điểm về mặt kỹ thuật cũng như mỹ thuật. Nước ta có nhiều sông ngòi, việc phát triển hệ thống cầu là rất cần thiết, đặc biệt là cầu dây văng, vì chúng thích hợp với các sông có bề rộng lớn. Trước nhu cầu thực tiễn, việc tìm hiểu nghiên cứu về dao động của các sợi cáp treo trên những cây cầu thực sự đã trở thành mối quan tâm của nhiều nhà khoa học và các kỹ sư, đặc biệt là việc làm giảm bớt biên độ dao động của các sợi cáp ngay từ khi thiết kế các cây cầu mới hoặc nâng cao tính ổn định và tuổi bền cho các cây cầu cũ. ở nước ta đã xây dựng một số cầu dây văng như: Cầu dây văng Đak'rông (Quảng Trị), Cầu dây văng Mỹ thuận (Vĩnh Long), một số dự án đã và đang được triển khai như cầu Phú Mỹ, cầu Bình (Hải Phòng), cầu Bãi Cháy (Quảng Ninh)... Tháng 2, năm 1999 cầu Đak'rông đã gặp sự cố đứt neo. Điều đó cho thấy, việc nghiên cứu về kỹ thuật cầu dây văng ở nước ta là rất cần thiết. Các sợi cáp trên cầu dây văng dễ bị ảnh hưởng bởi các kích động phức tạp bên ngoài (tác động của gió, dao động ngẫu nhiên của các phương tiện giao thông...). Để làm giảm ảnh hưởng đến mức có thể các dao động này, một hướng nghiên cứu khả thi đã và đang được các nhà khoa học, các kỹ sư quan tâm nhiều đó là gắn thêm bộ cản nhót vào sợi cáp. Mặc dù quá trình đo đạc, quan sát qua máy móc cũng chưa thể cho ta hiểu biết một cách sâu sắc, thấu đáo, hoàn chỉnh về quá trình cơ học của sợi cáp khi có gắn bộ cản nhót, nhưng hiệu quả của việc kết nối thêm bộ cản nhót là không thể phủ nhận.

*Phần lớn các sợi cáp trên cầu dây văng ở vị trí nghiêng với phương ngang một góc nào đó. Đã có nhiều tài liệu, công trình nghiên cứu về tĩnh học và dao động của dây ở vị trí nằm ngang (xem [4, tr.191], [8, tr.239]...), khi đó ảnh hưởng của khối lượng dây là không kể đến và lực căng trong dây là hằng số. Luận văn này phát triển theo hướng nghiên cứu tĩnh học và dao động của dây cáp căng nhưng ở vị trí nằm nghiêng so với phương ngang một góc nào đó. Khi đó, yếu tố khối lượng dây cáp đã được đề cập đến và lực căng trong dây không còn là hằng số nữa, mà lực căng phụ thuộc vào biến không gian dọc theo chiều dài dây.*

*Về phương pháp nghiên cứu, luận văn vẫn sử dụng các định luật và nguyên lý cơ học đã biết để thiết lập các phương trình vi phân chuyển động của dây như các định luật cơ học của*

*Newton và nguyên lý D'lambe. Việc giải các phương trình vi phân chuyển động này, luận văn sử dụng các phương pháp toán học giải tích thông thường như giải phương trình vi phân thường, giải phương trình vi phân đạo hàm riêng bằng phương pháp tách biến.*

*Luận văn bao gồm 4 chương.*

Chương 1. Trình bày tổng quan về cấu trúc dây văng cũng như các đặc trưng cơ học của dây văng.

Chương 2. Nghiên cứu về tĩnh học của dây văng

Chương 3. Nghiên cứu về dao động của dây văng

*Chương 4. Đo dao động dây văng cho cầu Bến Cốc – Hà Tây*

Với mức độ nghiên cứu của một luận văn thạc sỹ, chắc chắn vẫn còn nhiều vấn đề mà luận văn chưa thể nghiên cứu một cách thấu đáo, hoàn chỉnh các vấn đề đã đề cập đến. Học viên xin chân thành cảm ơn Khoa Cơ học Kỹ thuật và Tự động hoá- Đại học Quốc gia Hà nội, GS. TSKH Nguyễn Đông Anh, TS. Nguyễn Đức Tính đã nhiệt tình hướng dẫn, chỉ bảo để học viên có thể hoàn thành luận văn này.



## Chương 1

### DÂY VĂNG VÀ HỆ NEO

#### 1.1 Lịch sử phát triển Cầu dây văng

Cùng với cầu treo, cầu dây văng có một lịch sử lâu đời. Năm 1970 một công trình sư người Pháp là Poet đã đề nghị dùng hai tháp cầu cùng một hệ dây văng đỡ hệ mặt cầu của một cầu ba nhịp.

Năm 1817, ý tưởng của Poet đã được thực hiện ở Anh trong một cầu cho người đi có nhịp chính là 33,5 m. Hệ dầm mặt cầu được đỡ bằng các dây văng xuất phát từ đỉnh tháp cầu, phía đối diện các dây văng sử dụng một dây neo.

Năm 1868, ở Praha đã xây dựng một cầu dây văng qua sông Vltava có nhịp chính 146,6m. Hệ dầm mặt cầu được đỡ bằng dây văng tại các điểm dọc theo nhịp, chia dầm thành các khoang dài 24,4m. Các dầm khá lớn nên đã bố trí dầm cứng là hệ dàn có chiều cao tới 2,1m cùng với hệ dầm ngang liên kết hai dàn. Dầm cứng vừa tham gia chịu uốn cục bộ và tổng thể gần giống như vai trò dầm cứng trong cầu dây văng hiện đại.

Ngoài các dây văng thuần túy, cuối thế kỷ 19 các dây văng còn được dùng để tăng cường độ cứng của các cầu treo, tạo thành hệ liên hợp. Các dây văng xuất phát từ đỉnh tháp cầu, neo vào dầm cứng tại một số điểm ở khu vực 1/4 nhịp để giảm mômen uốn và độ võng, thường có trị số lớn nhất trong cầu treo. Cuối thế kỷ 19, đầu thế kỷ 20 là thời kỳ tìm kiếm các biện pháp tăng cường độ cứng cho hệ cầu treo, cầu dây. Sau hàng loạt các sự cố về cầu treo, cầu dây văng mới lại được quan tâm nghiên cứu, áp dụng và phát triển.

Mặt khác, cùng với nhịp độ phát triển khoa học kỹ thuật, công nghệ luyện thép đã cho lưu hành trên thị trường các kim loại và dây thép có cường độ rất cao (1800 – 2000 MPa), trong khi môđun đàn hồi của các vật liệu cường độ cao lại có khuynh hướng giảm, đặc biệt đối với dây cáp làm cầu treo và cầu dây văng. Việc sử dụng vật liệu cường độ cao làm tăng độ võng do hoạt tải. Đặc biệt với các hệ dây có trọng lượng bản thân nhỏ lại yêu cầu tải trọng nặng, tỉ số nội lực

do hoạt tải và tĩnh tải lớn nên thường gây biến dạng do hoạt tải vượt trị số độ võng giới hạn quy định trong các quy trình. Để giảm biến dạng của công trình thì hoặc giảm ứng suất do hoạt tải trong kết cấu hoặc tăng tĩnh tải, điều đó đồng nghĩa với việc tăng tiết diện, vật liệu và giá thành. Các biện pháp trên đều không mang lại hiệu quả kinh tế.

Để sử dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu cường độ cao trong các hệ có dây chịu kéo có thể có hai phương hướng:

- Nghiên cứu các biện pháp tăng cường độ cứng của hệ thống qua các giải pháp kết cấu như dùng dầm cứng, dùng các hệ liên hợp, các hệ được gây tạo ứng suất trước có lợi về biến dạng, hoặc tìm các biện pháp triệt tiêu biến dạng dư, biến dạng hình học, biến dạng đàn hồi phi tuyến của các đoạn dây cong bị duỗi thẳng khi chịu tải trọng nút.
- Về mặt tiêu chuẩn kỹ thuật cũng cần nghiên cứu một cách thận trọng và có cơ sở khoa học về việc quy định các trị số độ võng, biến dạng cho phép của công trình dưới tác dụng của hoạt tải.

Cùng với thời gian, Cầu dây văng được quan tâm nghiên cứu và phát triển. Cho đến nay, đã có rất nhiều cầu dây văng được xây dựng trên thế giới, có thể kể ra các cây cầu nổi tiếng sau đây:

- Cầu Saint – Nazaire, 1975, dầm thép tiết diện hình hộp bản trục hướng.
- Cầu Barrios de Luna, 1983, dầm cứng bằng bê tông cốt thép ứng suất trước.
- Cầu Annacis ở Mỹ, 1986, dầm bê tông thép liên hợp, gồm hai dầm I có bản bê tông liên hợp.
- Cầu Ikuchi, 1991, nhịp chính bằng thép, nhịp biên bằng bê tông cốt thép.
- Cầu Skamsundet, 1991, dầm chủ là bê tông cốt thép ứng suất trước.
- Cầu Thượng hải, 1993, dầm thép bê tông liên hợp.
- Cầu Normandie, 1995, tiết diện hình hộp bằng thép ở nhịp giữa.

Cầu dây văng có ưu điểm rõ ràng về mọi mặt nên đã được nhanh chóng áp dụng trên toàn thế giới. Cho đến nay đã thống kê được trên 300 cầu dây văng lớn nhỏ với đầy đủ thể loại trong đó có một đặc điểm quan trọng mà các loại cầu khác không có được là tính đa dạng.

Ở Việt nam, Cầu dây văng cũng được quan tâm nghiên cứu từ lâu, trên thực tế đã xây dựng một số cầu hiện đang khai thác sử dụng như cầu dây văng Đak'rông (Quảng Trị), Cầu dây văng Mỹ thuận (Vĩnh Long), cầu Bến Cốc (Hà Tây), một số dự án đã và đang được triển khai như cầu Phú Mỹ, cầu Bính (Hải Phòng), cầu Bãi Cháy (Quảng Ninh)...

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Nguyễn Đụng Anh. Lò Thỏi Hoà (2004), *Cốc hướng kiểm soát flutter cho cầu dẫy văng*, Báo cáo khoa học tại hội nghị cộng nghệ Giao Thụng Vận Tải.
2. Lỗm Nguyễn Bội (1993), *Cầu dẫy văng*, Bắc kinh.
3. Phạm Văn Hệ, Lò Thỏi Hoà, Vũ Mạnh Lóng (2004), *Đánh giá lực căng tĩnh trong dẫy văng bằng phương pháp đo dao động*. Báo cáo khoa học tại hội nghị cộng nghệ Giao Thụng Vận Tải.
4. Nguyễn Văn Khang (1998), *Dao Động Kỹ Thuật*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
5. Lò Quang Minh, Nguyễn Văn Vượng (1994), *Sức bền vật liệu*, Tập 1, Tập 2, Tập 3. Nhà xuất bản Giáo dục. Hà Nội.
6. Trung tũm thụng tin KHKT – GTVT (1981), *Quy trũnh quy phạm kỹ thuật trong cộng tũc xũy dựng cơ bản*.
7. Đỗ Sanh (1992) *Cơ học*, Tập 2, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
8. Lò Đũnh Tũm, Phạm Duy Hoà (2001), *Cầu dẫy văng*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

### Tiếng Anh

9. Rene Walther, Bernard Houriet, Walmar Isler, Pierre Mola (1998), *Cable stayed bridges*, London.
10. Walther Podolny, John. B. Scalzi (1986), *Construction and desing of*

*cable-stayed bridges*. London.

11. J. A. Main, N. P. Jones (2004), *Free Vibrations of Taut Cable with Attached Damper*. Journal of Engineering Mechanics.