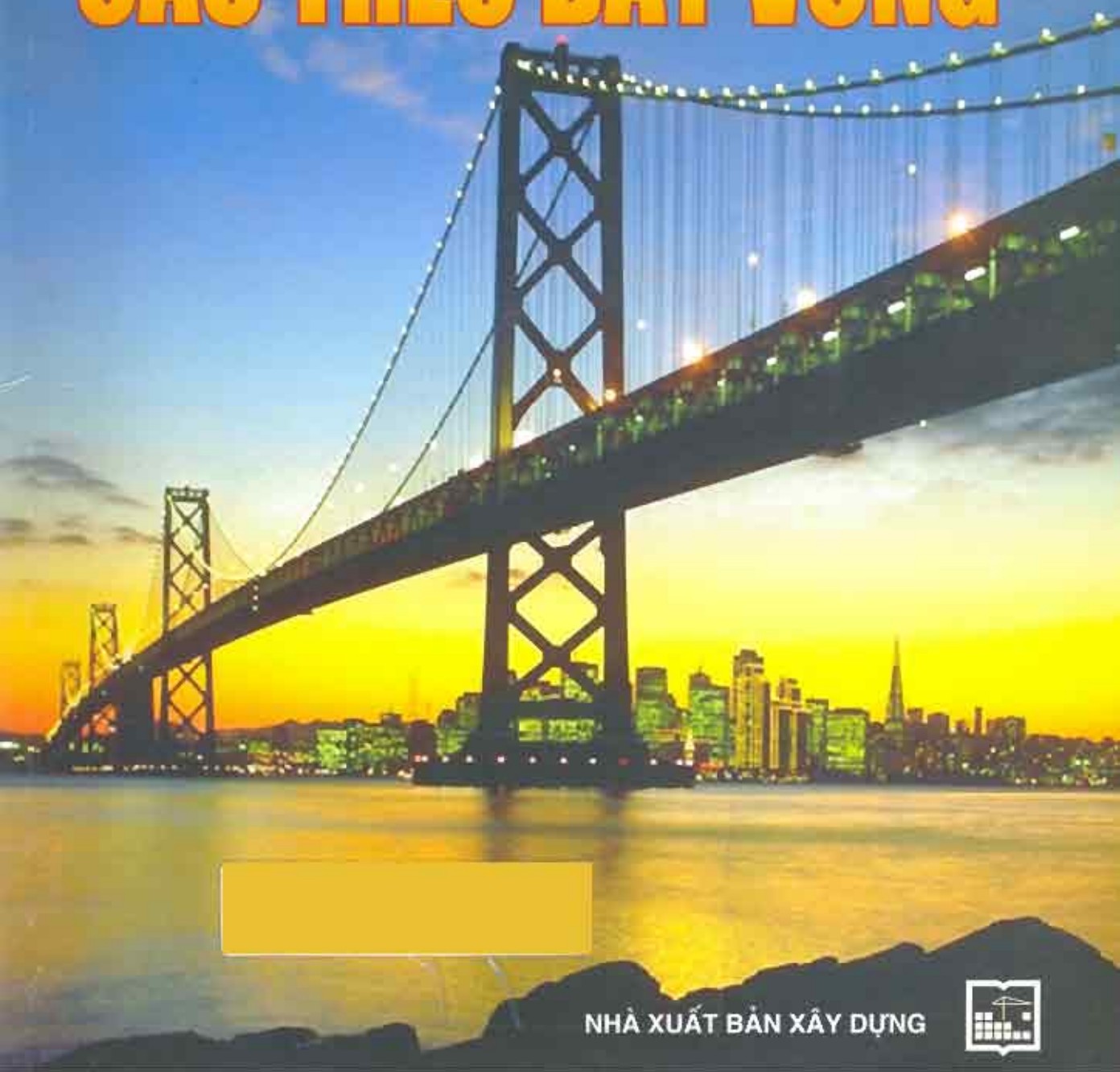


ĐINH VIẾT TRUNG (Chủ biên)

# THIẾT KẾ CẦU TREO DÂY VÒNG



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



**PGS. TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG** (*Chủ biên*)  
**TS. HOÀNG HÀ**

# **THIẾT KẾ CẦU TREO DÂY VÕNG**

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG**  
**HÀ NỘI - 2004**

## LỜI NÓI ĐẦU

Cầu treo là loại cầu trong đó bộ phận chịu lực chính là dây cáp do vậy tận dụng được hết thành tựu của khoa học về sự làm việc của vật liệu. Chính vì có ưu điểm này nên cầu treo vượt được khẩu độ rất lớn mà các loại kết cấu khác không làm được. Ví dụ như cầu Akashi Kaikyo ở Nhật Bản vượt được nhịp 1991m. Cùng với thế giới nước ta cũng đã xây dựng rất nhiều các cây cầu treo dây võng, tiếp đến trong dự án xóa cầu khỉ ở nông thôn chúng ta còn xây dựng nhiều cây cầu treo dây võng nữa. Để đáp ứng nhu cầu của thực tế chúng tôi cho xuất bản cuốn "**Thiết kế cầu treo dây võng**". Cuốn sách được biên soạn với hy vọng cung cấp cho các sinh viên, kỹ sư và học viên cao học ngành Xây dựng công trình giao thông một tài liệu ngắn gọn và đủ dùng để phân tích tính toán và thiết kế cầu treo nói riêng hay hệ treo nói chung.

Cuốn sách bao gồm 5 chương và phần phụ lục với nội dung như sau :

Chương 1: Giới thiệu cơ sở thiết kế cầu treo dây võng

Chương 2: Trình tự thiết kế sơ bộ một cây cầu cụ thể

Chương 3: Hướng dẫn sử dụng một phần mềm tính toán trên cơ sở phân tích kết cấu cầu treo dây võng bằng Sap 2000

Chương 4: Vấn đề động lực học cầu treo

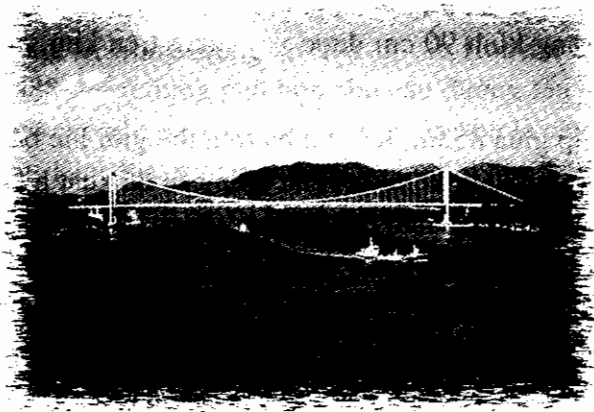
Chương 5: Kiểm tra và phân tích các hư hỏng cầu treo dây võng

Phần phụ lục có nội dung tính cầu treo theo sơ đồ biến dạng và chương trình Pascal.

Đây là cuốn sách đầu tiên có tiếp cận đến nhiều vấn đề mới của công nghệ cầu treo, nên cũng gặp nhiều khó khăn và phức tạp, vì vậy không tránh khỏi thiếu sót. Chúng tôi mong nhận được các lời phê bình và cảm ơn các bạn đọc góp ý để giúp cho cuốn sách có chất lượng tốt hơn.

Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Nhà xuất bản Xây dựng - 37 Lê Đại Hành - Hà Nội hoặc Bộ môn Công trình giao thông thành phố, Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội  
Email : [Viettrungng@hn.vnn.vn](mailto:Viettrungng@hn.vnn.vn) hoặc [nhhungct@yahoo.com](mailto:nhhungct@yahoo.com)

Các tác giả



# Chương 1

## CƠ SỞ THIẾT KẾ CẦU TREO DÂY VÕNG

### 1.1. GIỚI THIỆU

#### 1.1.1. Sơ lược lịch sử phát triển của cầu treo dây võng hiện đại

Cầu treo dây võng hiện đại phát triển từ thế kỷ XIX dựa trên cơ sở sự phát triển của các dạng kết cấu cầu và công nghệ sản xuất thép. Cầu Jacobs Creek được xây dựng ở Mỹ năm 1801 theo thiết kế của Finley, có nhịp giữa 21,3m. Đặc điểm nổi bật của cầu là có dầm chủ dạng dàn để tạo ra độ cứng cần thiết đối với cầu và tạo sự phân bố tải trọng qua tháp treo cáp vì thế đã hạn chế được đáng kể biến dạng của cáp. Cầu Clifton với nhịp giữa 214 m, là cầu treo dây võng cổ nhất hiện còn dùng cho ô tô qua lại, được khởi công xây dựng năm 1831 và được hoàn thành năm 1864 ở nước Anh, sử dụng loại xích sắt rèn.

#### *1. Sự phát triển của chiều dài nhịp chính từ nửa cuối thế kỷ XIX ở nước Mỹ*

Trong thế kỷ XIX, nước Mỹ là nơi xây dựng nhiều cầu treo nhịp dài nhất. Phương pháp lắp dây cáp kiểu “quay tơ” (AS method) sử dụng cho cáp kim loại dạng song song do Roebling đề xuất, đã được áp dụng lần đầu tiên khi xây dựng cầu Niagara, với nhịp chính dài 246m, hoàn thành năm 1855. Công nghệ này sau đó được áp dụng ở cầu Brooklyn với nhịp giữa dài 486m, hoàn thành năm 1883, ở đây dây thép đã lần đầu tiên được sử dụng. Cầu Brooklyn được coi là cây cầu dây võng hiện đại đầu tiên được xây dựng suốt trong 14 năm để bắc ngang sông New York East.

Tiếp đến, năm 1903, cầu Manhattan với nhịp giữa 448m và sau đó ít lâu, năm 1909 cầu Williamsburg với nhịp giữa dài 448m được xây dựng trên đoạn thượng lưu của cùng dòng sông. Cầu George Washington bắc qua sông Hudson ở New York được hoàn thành năm 1931 với nhịp giữa dài 1067m; tháp cầu bằng thép cao 180m; dây chủ dùng 4 bó cáp, mỗi bó cáp có đường kính 90 cm; dầm cứng dạng dàn thép rộng 32,3m, cao 9,1m; dùng cho 6 làn xe, đến năm 1962 cải tạo và nâng cấp đủ dùng cho 14 làn xe. Trong năm 1936 cầu qua vịnh San Francisco- Oakland, là cây cầu dây võng kép với nhịp giữa là

704m và trong năm 1937 cầu Golden Gate với nhịp giữa 1280m; tháp bằng thép cao 227m; dây chủ dùng 2 cáp, mỗi cáp có đường kính 90 cm được xây dựng trên khu vực vịnh San Francisco.

Năm 1940, cầu Tacoma-Narrows với nhịp giữa 853m, lớn thứ ba trên thế giới lúc bấy giờ, có dầm cứng kiểu dầm I đặc. Ngay khi xây dựng xong kết cấu nhịp cầu đã xuất hiện dao động uốn với biên độ lên tới 8,5m xảy ra cùng với dao động xoắn. Cầu này bị đổ sập dưới tốc độ gió 19m/s vào thời điểm chỉ 4 tháng sau khi hoàn thành. Sau tai nạn này, vấn đề thiết kế chịu gió trở thành vấn đề cốt yếu đối với cầu treo dây võng. Tuy vậy các sự cố cầu treo chỉ làm tăng thêm mức độ thận trọng khi thiết kế mà không hề hạn chế bước phát triển của cầu treo. Cầu Tacoma Narrows mới đã được xây dựng lại năm 1950 với chiều dài nhịp tương tự cầu cũ nhưng đã cải tiến sử dụng dầm cứng kiểu dàn.

Cầu Mackinac Straits với nhịp giữa dài 1158m được xây dựng như là cầu treo dây võng lớn tương đương với cầu Golden Gate năm 1956 và cầu Verrazano Narrows với nhịp giữa 1298m, giữ kỷ lục thế giới sau khoảng thời gian 17 năm, được xây dựng năm 1964.

## ***2. Xu hướng mới trong kết cấu ở châu Âu từ cuối chiến tranh thế giới thứ 2 tới những năm 1960***

Cầu treo dây võng được xây dựng phổ biến ở châu Âu, ngay cả khi nhịp giữa của chúng không yêu cầu quá dài.

Tại nước Anh mặc dù cầu Forth Road, với nhịp giữa 1006m được xây dựng sử dụng dạng dàn dây, cầu Severn với nhịp giữa 988m xây dựng với dầm hộp và dây treo cáp chéo năm 1966. Thiết kế độc đáo này đã cách mạng hoá công nghệ cầu treo dây võng. Cầu Humber với nhịp giữa dài 1410m là cầu dài nhất thế giới trước năm 1997 được xây dựng theo công nghệ tương tự như cầu Severn. Tại Bồ Đào Nha, cầu 25 de Abril được thiết kế cho tải trọng xe lửa và ô tô được hoàn thành năm 1966 với nhịp chính 1013m.

Năm 1998 cầu Great Belt East với nhịp chính dài 1624m được hoàn thành ở Đan Mạch, có dầm cứng dạng dầm hộp (đứng thứ 2 thế giới hiện nay).

## ***3. Sự phát triển ở châu Á từ thập kỷ 70***

Tại Nhật Bản việc nghiên cứu đề xuất kết cấu cầu Honshu Shikoku được bắt đầu bởi Hội kỹ sư công trình Nhật Bản năm 1961. Công nghệ thiết kế cầu treo dây võng nhịp lớn áp dụng ở cầu Honshu Shikoku, đã ảnh hưởng quyết định tới cấu tạo của cầu Kanmom, hoàn thành năm 1973 với nhịp giữa dài 712m sau đó là các cầu Namhae hoàn thành năm 1973 ở Hàn Quốc với nhịp chính dài 400m, cũng như cầu Hirado hoàn thành năm 1977 với nhịp chính dài 465m.

Cầu Innoshima với nhịp chính 770m được xây dựng năm 1983 là cây cầu dây võng đầu tiên trong dự án cầu Honshu Shikoku, tiếp theo sau cầu Ohnaruto được hoàn thành

năm 1985 với nhịp chính dài 876m dùng cho tải trọng đường sắt có dự kiến phát triển tải trọng xe trong tương lai. Dự án cầu Honshu Shikoku cải tạo và nâng cấp công nghệ năm 1988 để sử dụng phù hợp cho cầu đường tàu cao tốc. Tuyến này bao gồm hệ thống hàng loạt các cầu treo dây võng nhịp lớn như là cầu Minami Bisan Seto với nhịp chính 1100m, cầu Kita Bisan Seto với nhịp chính 990m và cầu Shimotsui Sento với nhịp chính 910m. Cầu Akashi Kaikyo hoàn thành năm 1998 với nhịp chính dài nhất thế giới 1991m, thể hiện sự tích lũy kinh nghiệm công nghệ xây dựng cầu treo từ trước tới nay.

Tại Thổ Nhĩ Kỳ cầu Bosporus với nhịp chính dài 1074m được xây dựng năm 1973 với kiểu dáng tương tự như cầu Severn, cùng thời gian này cầu Bosporus thứ hai với nhịp chính dài 1090m được khởi công xây dựng sau đó đổi tên là cầu Fail Sulta Mehmet, được hoàn thành năm 1988 sử dụng dây treo thẳng đứng thay cho các dây treo chéo.

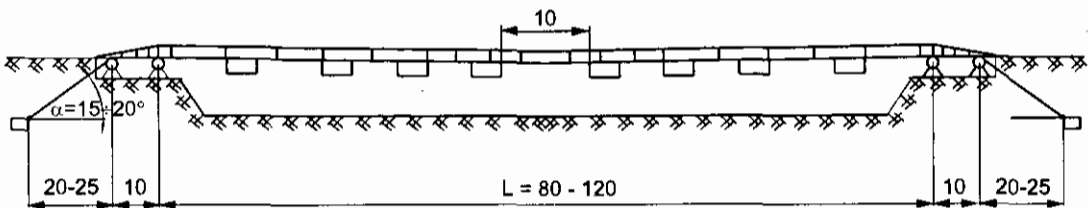
Tại Trung Quốc cầu Tsing Ma (Hong Kông) cho xe lửa và ô tô đi chung với nhịp chính 1377m được hoàn thành năm 1997. Cầu qua sông Xi Li Yangtze với nhịp chính 900m và cầu Jing Yin Yangtze với nhịp chính 1385m đang được xây dựng [1]. Cả hai cầu treo đều có dầm hộp cứng và tháp chính bằng bê tông. Xây dựng cầu treo nhịp lớn có khẩu độ khoảng 1000m là vấn đề đang được quan tâm hiện nay. Một số dự án xây dựng các cầu treo có chiều dài vượt nhịp lớn hơn cũng đang được hình thành.

**4. Sự phát triển cầu treo dây võng tại Việt Nam**

Trong những năm chiến tranh, hệ thống cầu cống của nước ta bị đánh phá nhiều. Để phục vụ kịp thời cho tiền tuyến cần phải khôi phục lại những cây cầu đã bị phá hoại. Khi đó việc xây dựng cầu cáp, cầu treo là một trong những giải pháp hợp lý và nhanh chóng nhất. Cho đến nay, cầu treo dây võng vẫn giữ một vị trí quan trọng trong giao thông miền núi, phục vụ đặc lực cho công cuộc phát triển kinh tế xã hội vùng sâu, vùng xa ở nước ta.

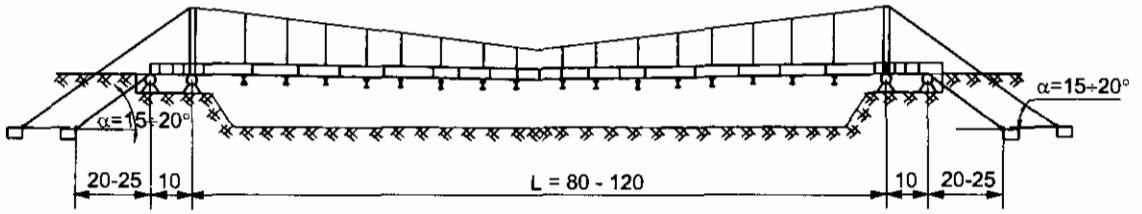
Những vị trí vượt sông mà có khẩu độ thông thuyền lớn (ví dụ ở các cửa sông lớn) thì việc sử dụng cầu treo sẽ có ưu điểm vì ít làm xáo trộn chế độ dòng chảy tự nhiên của sông, mang lại hiệu quả thiết thực về kinh tế kỹ thuật. Hơn nữa, các cầu treo thường tạo dáng vẻ đẹp và là điểm nhấn kiến trúc giữa khu vực đô thị lớn.

Ở Việt Nam đã bắt đầu xây dựng nhiều cầu treo bán vĩnh cửu từ năm 1965. Những chiếc cầu treo đầu tiên là loại cầu cáp không cống, chỉ có một hệ dây (hình 1.1) với khẩu độ từ 80÷120m. Loại cầu này đã được thiết kế thành định hình cầu cáp đã chiến không cống, ứng dụng rộng rãi trong thời kỳ chiến tranh (1965-1975).



Hình 1.1. Sơ đồ cầu treo không cống

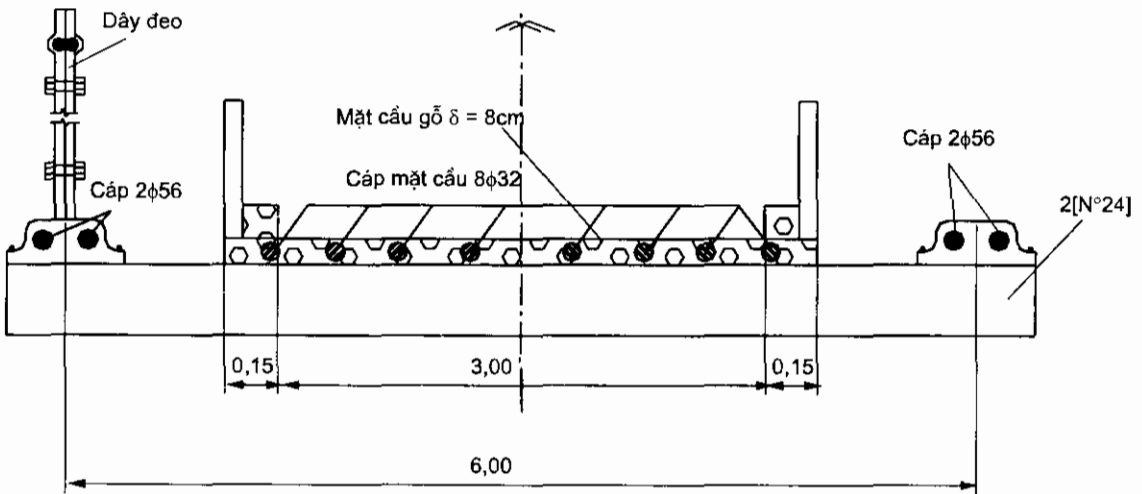
Đối với các loại cầu khẩu độ từ 120 ÷ 200m thường áp dụng loại cầu cáp có cống (hình 1.2)



**Hình 1.2.** Sơ đồ cầu treo có cống

Đây là loại cầu hai hệ dây: hệ dây dưới gồm hai cụm dây chủ và hệ cáp mặt cầu: hệ dây trên gồm hai cụm cáp chủ vắt qua cống trụ. Hai hệ dây được neo giữ bằng các hố thế riêng biệt.

Mặt cầu của cầu cáp không cống và cầu cáp có cống gồm dầm ngang bằng thép, gỗ đặt trên hệ cáp mặt cầu (hình 1.3)



**Hình 1.3.** Mặt cắt ngang cầu treo loại có cống và không cống

Vào năm 1965, 1966 đã xây dựng các cầu qua Sông Lô, khẩu độ 104m; cầu Kỳ Cùng có khẩu độ 120m. Năm 1967, xây dựng cầu cáp Việt Trì với khẩu độ 225m, cầu Đống khẩu độ 190m. Năm 1969 xây dựng cầu Đò Quan (Nam Định) khẩu độ 190m, với sơ đồ cáp chủ được bố trí theo dạng bất chéo 2 dây. Sau thời kỳ này hàng loạt cầu treo dầm cứng đã được xây dựng như cầu Bảo Nhai, khẩu độ 140m; cầu Hang Tôm khẩu độ 140m; cầu Cốc Pài, khẩu độ 100m; cầu treo Cửa Rào, khẩu độ 130m. Năm 1980 đã thiết kế cầu treo Sông Hồng, chiều dài toàn cầu là 1206m. Năm 1983 đã xây dựng xong toàn bộ kết cấu bên dưới, sau đó đã thay đổi bằng cầu cứng dầm thép vì không mua được cáp (nay là cầu Chương Dương).

Trong những năm gần đây một số dự án cầu treo mới đã được đề xuất cầu Thanh Thạch (Quảng Bình), cầu H'ling (Đắc Lắc), cầu Thuận Phước (Đà Nẵng)... Đặc biệt trong dự án xây dựng cầu Nhật Tân (Hà Nội) có đề xuất phương án cầu treo dây văng với các đặc điểm chọn sơ bộ: khẩu độ nhịp chính  $500 \div 600\text{m}$  nhịp biên  $145 \div 180\text{m}$ , chiều cao tháp tính từ mặt xe chạy  $\approx 70\text{m}$ , khoảng cách giữa các thanh treo giữ dầm ngang là  $10 \div 12\text{m}$ .

Viện KHCN GTVT đã lập các đồ án định hình thiết kế cầu treo với các loại hoạt tải nhỏ như đoàn xe H8, H10. Trên cơ sở tham khảo đồ án này, nhiều cầu treo cho giao thông miền núi đã được thiết kế và xây dựng dưới dạng bán vĩnh cửu.

### 1.1.2. Chỉ tiêu kỹ thuật của một số cầu treo trên thế giới

Sơ đồ và kích thước cơ bản của một số cầu treo dây văng nhịp lớn trên thế giới được trình bày trong bảng 1.1.

**Bảng 1.1: Kích thước các cầu treo dây văng nhịp lớn trên thế giới**

| STT | Tên cầu             | Tên nước   | Năm hoàn thành | Chiều dài các nhịp | Loại          | Ghi chú            |
|-----|---------------------|------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|
| 1   | 2                   | 3          | 4              | 5                  | 6             | 7                  |
| 1   | Akashi Kaikyo       | Nhật       | 1998           | 960+1991+960       | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 2   | Great Belt East     | Đan Mạch   | 1998           | 535+1624+535       | liên tục      |                    |
| 3   | Humber              | Anh        | 1981           | 280+1410+530       | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 4   | Jing Yin Yangtze    | Trung Quốc | 1999           | 336.5+1385+309.34  | nhịp đơn      |                    |
| 5   | Tsing Ma            | Trung Quốc | 1997           | 455+1377+300       | liên tục      | đường bộ và xe lửa |
| 6   | Verrazano Narrows   | Mỹ         | 1964           | 370.3+1298.5+370.3 | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 7   | Golden Gate         | Mỹ         | 1937           | 342.9+1280.2+342.9 | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 8   | Hoga Kusten         | Thụy Điển  | 1997           | 310+1210+280       | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 9   | Mackinac            | Mỹ         | 1957           | 548.6+1158.2+548.6 | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 10  | Mianami Bisan-Seto  | Nhật Bản   | 1988           | 274+1100+274       | liên tục      | đường bộ và xe lửa |
| 11  | Fatih Sultan Mehmet | Thổ Nhĩ Kỳ | 1988           | 210+1090+210       | nhịp đơn      |                    |
| 12  | Bosphorus           | Thổ Nhĩ Kỳ | 1973           | 231+1074+255       | nhịp đơn      |                    |
| 13  | George Washington   | Mỹ         | 1931           | 185.9+1066.8+198.1 | 3 nhịp 2 chốt |                    |
| 14  | Kurushima Kaikyo 3  | Nhật Bản   | 1999           | 260+1030+280       | nhịp đơn      |                    |
| 15  | Kurushima Kaikyo 2  | Nhật bản   | 1999           | 250+1020+245       | 2 nhịp 2 chốt |                    |
| 16  | 25 de Abril         | Bồ Đào Nha | 1966           | 483.4+1012.9+483.4 | liên tục      | đường bộ và xe lửa |



(Tiếp bảng 1.1)

| 1  | 2                         | 3          | 4    | 5                  | 6                    | 7                  |
|----|---------------------------|------------|------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 17 | Forth Road                | Anh        | 1964 | 408.4+1005.8+408.4 | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 18 | Kita Bisan Seto           | Nhật Bản   | 1988 | 274+990+274        | liên tục             | đường bộ và xe lửa |
| 19 | Severn                    | Anh        | 1966 | 304.8+987.6+304.8  | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 20 | Shimotsui-Seto            | Nhật Bản   | 1988 | 230+940+230        | nhịp đơn có nút thừa | đường bộ và xe lửa |
| 21 | Xi Ling Yangtze           | Trung Quốc | 1997 | 225+900+255        | nhịp đơn             |                    |
| 22 | Hu Men Zhu Jiang          | Trung Quốc | 1997 | 302+888+348.5      | nhịp đơn             |                    |
| 23 | Ohnaruto                  | Nhật Bản   | 1985 | 93+330+876+330     | 3 nhịp 2 chốt        | đường bộ và xe lửa |
| 24 | Tacoma Narrows 2          | Mỹ         | 1950 | 335.3+853.4+335.3  | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 25 | AsKoy                     | Na Uy      | 1992 | 173+850+173        | nhịp đơn             |                    |
| 26 | Innoshima                 | Nhật Bản   | 1983 | 250+770+250        | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 27 | Akinada                   | Nhật Bản   | 2000 | 255+750+170        | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 28 | Hakuchō                   | Nhật Bản   | 1998 | 330+720+330        | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 29 | Angostura                 | Vêneduêla  | 1967 | 280+712+280        | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 30 | Kanmon                    | Nhật Bản   | 1973 | 178+712+178        | 3 nhịp 2 chốt        |                    |
| 31 | San Francisco-Oakland Bay | Mỹ         | 1936 | 356.9+704.1+353.6  | 3 nhịp 2 chốt        |                    |

## 1.2. HỆ THỐNG KẾT CẤU

### 1.2.1. Các bộ phận của kết cấu cầu treo

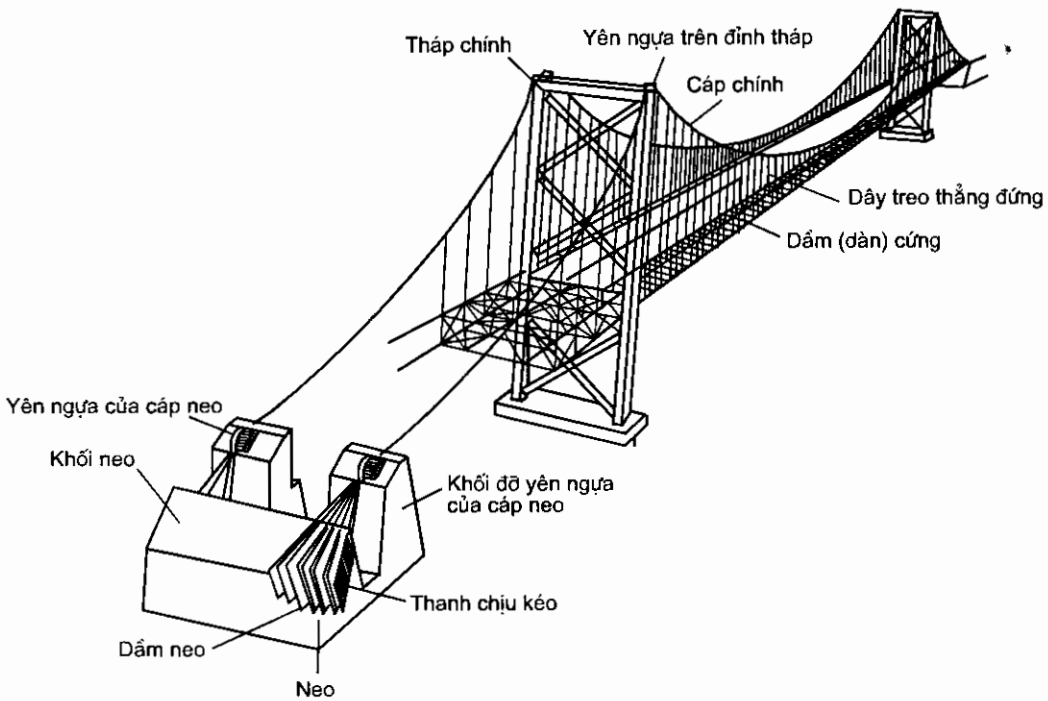
Hệ thống kết cấu chính của một cầu treo dây văng được thể hiện trong hình 1.4

1. Dầm/dàn cứng: Kết cấu dọc để chịu và phân bố tải trọng hoạt tải, hoạt động như là dầm cứng và đảm bảo ổn định khí động học cho kết cấu.

2. Cáp chính: Tổ hợp các bó sợi cáp song song, là bộ phận chịu lực chính của cầu, nâng đỡ dầm/dàn cứng và hệ mặt cầu và truyền tải trọng qua tháp cầu tới trụ và nền móng. Sự truyền tải từ dầm/dàn lên cáp chính được thực hiện thông qua các dây treo hoặc thanh treo.

3. Tháp cầu: Kết cấu trung gian thẳng đứng, chịu lực từ cáp chính truyền đến rồi truyền tải trọng xuống đến nền móng.

4. Khối neo: khối bê tông nặng để giữ neo cáp chính và hoạt động như là bộ phận chịu lực sau cùng của cầu.



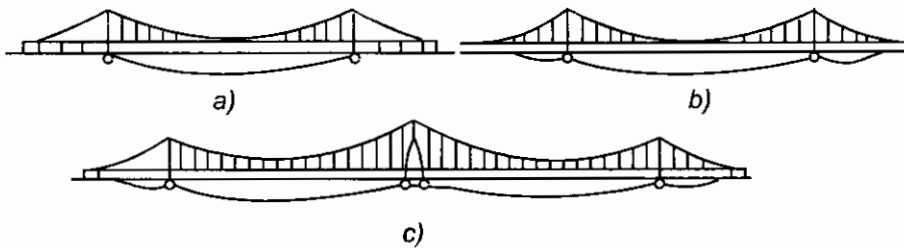
**Hình 1.4.** Cấu tạo các bộ phận chính của cầu treo dây võng

### 1.2.2. Phân loại các cầu treo dây võng

Cầu treo dây võng có thể được phân loại theo số nhịp, cấu tạo của dầm cứng, loại dây võng và phương thức neo cáp.

#### 1. Phân loại theo số lượng nhịp

Cầu treo dây võng thường có sơ đồ một nhịp, hai nhịp, hoặc ba nhịp dây võng với hai tháp và cầu nhiều nhịp dây võng với ba hoặc nhiều hơn ba tháp (hình 1.5). Cầu treo dây võng ba nhịp được sử dụng phổ biến nhất. Trong cầu dây võng nhiều nhịp, chuyển vị ngang của đỉnh tháp có thể tăng đáng kể khi tải trọng chỉ đặt trên 1 nhịp do đó cần quan tâm đúng mức tới các biện pháp cấu tạo để kiểm soát được chuyển vị của tháp cầu.



**Hình 1.5.** Các loại cầu treo dây võng  
a) 1 nhịp; b) 2 nhịp; c) Nhiều nhịp