

# **MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM CẤU TẠO VÀ SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN CẦU Vòm ỐNG THÉP NHỒI BÊ TÔNG**

## **SOME STRUCTURAL FEATURES AND CALCULATING MODEL OF THE CONCRETE FILLED TUBULAR ARCH BRIDGE**

Phùng Mạnh Tiến và Nguyễn Duy Dương\*

Phòng Cầu-Cảng, Phân Viện KHCN GTVT Phía Nam, Tp. Hồ Chí Minh, Việt nam

\*Ban QLDA chuyên ngành giao thông tỉnh Phú Yên, Phú Yên, Việt nam

### **BẢN TÓM TẮT**

Kết cấu cầu vòm ống thép nhồi bê tông không những giúp vượt nhịp lớn mà còn là một trong những kết cấu mang tính thẩm mỹ cao. Tuy nhiên việc áp dụng loại cầu này tại Việt Nam vẫn chưa được phổ biến do chưa có qui trình, qui phạm, tiêu chuẩn kỹ thuật, tài liệu hướng dẫn tính toán thiết kế liên quan đến loại kết cấu này. Chính vì vậy, nội dung bài báo nhằm mục đích giới thiệu một số đặc điểm cấu tạo của kết cấu cầu vòm ống thép nhồi bê tông. Mặt khác, để hiểu được phần nào bản chất của kết cấu, nội dung bài báo tập trung phân tích kết quả tính toán một số mô hình khác nhau được xây dựng dựa trên phần mềm SAP2000.

### **ABSTRACT**

The concrete filled tubular arch bridge does not only help cross large span but also belongs to one of the highest architectural construction. In Vietnam, there is no technical guides, standards and introduction guide related to this kind of bridge. Therefore, the aims of this article is to introduce some structural features of the concrete filled tubular arch bridge. In the other hand, the main part of this article concentrates to analyze some results obtained from the various calculating model in SAP2000 to make the essence of the structure clearly.

### **1. MỘT SỐ CẦU Vòm ỐNG THÉP NHỒI BÊ TÔNG**

Cầu vòm có thể được thiết kế bằng đá, thép, bê tông cốt thép, thép liên hợp bê tông. Một số ưu điểm chính của kết cấu ống thép nhồi bê tông có thể kể đến như bê tông nhồi trong ống thép không những không bị co ngót mà trái lại còn nở thể tích do đó tạo điều kiện cho bê tông và vỏ thép cùng nhau làm việc dưới tác dụng của tải trọng khai thác; việc nhồi bê tông đã tăng khả năng chống rỉ phía trong của ống thép, giảm độ mảnh của vòm, tăng độ ổn định cục bộ của vách ống thép, tăng khả năng chống biến dạng; ống tròn có độ cứng chống xoắn cao hơn các tiết diện hở khác; khi dùng ống tròn nhồi bê tông có thể tiết kiệm khoảng 40% lượng thép so với kết cấu BTCT thông thường; mặt ngoài ống thép dễ bảo vệ chống rỉ hơn các loại tiết diện có hình dạng phức tạp [1] [3]... Chính vì vậy, kết cấu ống thép nhồi bê tông trở nên khá

phổ biến trên thế giới. Đặc biệt đối với cầu dạng vòm. Trung Quốc nghiên cứu ống thép nhồi bê tông từ những năm 1970. Năm 1990 ~ 1992, Trung Quốc đã ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật CECS28-90, DLGJ99-01 và DLGJ-S11-92 liên quan đến việc ứng dụng công nghệ ống thép nhồi bê tông trong xây dựng công trình [6]. Một số cầu vòm ống thép nhồi bê tông đã xây dựng tại Trung Quốc được liệt kê trong bảng 1 và thể hiện trên hình 1 ~4.

Bảng 1

| Stt | cầu   |
|-----|---|
| 1   | Cầu Yiwu Yuanhuang, Zhejiang, năm 1990, một ống đơn $\varnothing$ 800mm, $\varnothing$ 18mm, mặt cầu chạy trên, vượt nhịp 80m |
| 2   | Cầu San-an Yongjiang tỉnh Guangxi, 1999, mặt cầu chạy giữa, vượt nhịp 270m  |
| 3   | Cầu Yajisha vượt Zhujiang, Guangzhou, 2000, 6 ống(ký lục thế giới). Oánh giữa $b=750$ , dày 20mm; hai ống bên $b=750$ ,       |

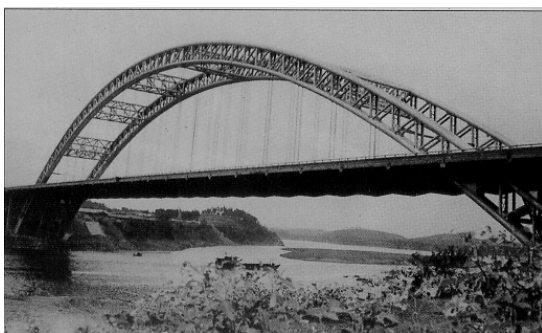
|   |  |
|---|--|
|   | dày 18mm, mặt cầu chạy giữa, vượt nhịp 360m.   |
| 4 | Cầu Wuhan thứ 3 vượt sông Hanjiang, 2000, 2 ống cho một vòm, mặt cầu chạy dưới, vượt nhịp 280m |
| 5 | Cầu bắc qua sông Beipanjiang gần thành phố Luipanshui, 2001, mặt cầu chạy trên, vượt nhịp 236m |



Hình 1: Cầu Yongning Yongjiang



Hình 2 : Cầu San an Yongjiang tỉnh Guangxi



Hình 3 : Cầu Yaisha, tỉnh GuangZhou

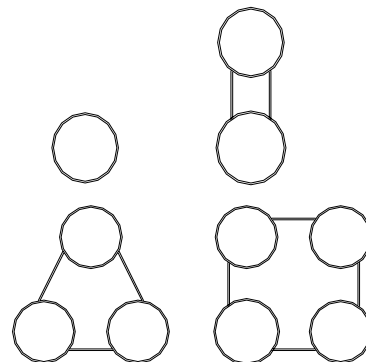


Hình 4 : Cầu qua sông Beipanjiang, Guizhou

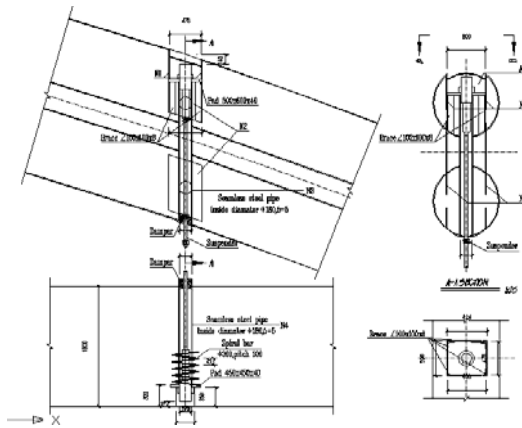
## 2. MỘT SỐ CẤU TẠO TRONG CẦU VÒM ỚNG THÉP NHỒI BÊ TÔNG

Những kết cấu chính trong cầu vòm ống thép nhồi bê tông bao gồm: vòm, hệ giằng ngang, hệ thanh treo, hệ dầm ngang, hệ dầm dọc và hệ thanh kéo. Trong đó, các dầm dọc, dầm ngang, bản mặt cầu làm việc theo sơ đồ kết cấu nhịp giản đơn; riêng vòm chịu nén, cắt và uốn trong mặt phẳng vòm dưới tác dụng của toàn bộ tĩnh tải và hoạt tải. Cấu tạo của các bộ phận chính như sau [2]:

- **Vòm:** tùy theo khẩu độ nhịp và tải trọng, vòm được cấu tạo từ một hay nhiều ống thép tròn được nhồi bê tông và liên kết với nhau bằng các bản thép (hình 5). Ống thép được chế tạo từ thép tấm theo phương pháp cuốn tròn hàn dọc hoặc cuốn dạng lò xo. Hiệu quả làm việc chung giữa thép và bê tông được giải quyết chủ yếu nhờ hiệu ứng ép hông rất cao ở bề mặt tiếp xúc giữa vỏ ống thép và lõi bê tông [5].



Hình 5 : Các dạng mặt cắt ngang vòm



Hình 6 : Cầu tạo thanh treo

- **Hệ giằng ngang:** Đối với cầu được thiết kế từ 2 vòm trở lên, giữa các vòm bố trí hệ giằng ngang để chịu lực gió phương ngang cầu và đảm bảo ổn định cho vòm. Hệ giằng ngang cầu tạo bằng ống thép nhồi bê tông liên thông với sườn vòm hoặc thép hình liên kết hàn với sườn vòm.

- **Hệ thanh treo:** gồm các thanh treo được cấu tạo bằng những bó cáp cường độ cao. Đầu trên thanh treo được neo cố định vào sườn vòm, đầu dưới neo vào dầm ngang (hình 6).

- **Hệ dầm ngang:** gồm các dầm ngang bằng BTCT dự ứng lực với chiều dài nhịp phụ thuộc bề rộng mặt cầu. Dầm ngang được treo tại hai đầu nhờ hệ thanh treo. Riêng 2 dầm ngang ngoài cùng (tại đầu vòm) được liên kết ngàm với sườn vòm để thực hiện chức năng liên kết ngang dưới giữa 2 sườn vòm.

- **Hệ dầm dọc:** gồm các dầm dọc bằng BTCT được đúc sẵn với chiều dài phụ thuộc vào khoảng cách giữa các dầm ngang. Dầm dọc được kê 2 đầu lên dầm ngang. Trên mặt dầm dọc và dầm ngang là lớp BTCT mặt cầu đổ tại chỗ tạo đồng khối mặt cầu và hiệu chỉnh cao độ mặt cầu. Dầm dọc thực hiện chức năng phân bố tải trọng, định vị cho dầm ngang trong quá trình chịu tải (hình 8). Hai dầm dọc biên được cấu tạo như dầm liên tục với hai đầu được ngàm vào vòm, gối lên các dầm ngang.

- **Hệ thanh kéo (thanh chống):** cấu tạo gồm các bó cáp nối liền 2 chân vòm để triệt tiêu lực đẩy ngang của vòm. Hệ thanh kéo nằm tự do trên mặt dầm ngang và dầm dọc biên. Sau khi căng cáp xử lý nội lực, hệ thanh kéo được đẩy kín bằng hộp bê tông nhằm bảo vệ khỏi ảnh hưởng của môi trường.

- **Chân vòm:** là nơi bố trí đầu neo của hệ thanh kéo, gối cầu.

### 3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

#### 3.1. Các trường hợp tính toán

Kết quả tính toán được thực hiện trên mô hình cầu vòm dài 99m, rộng 10,50m bố trí 3 làn xe với tải trọng H30. Hoạt tải tác dụng trên mặt cầu được phân bố xuống dầm ngang thông qua hệ mặt cầu gồm dầm dọc và bản mặt cầu. Thông qua hệ dây treo, dầm ngang tiếp tục truyền tải trọng lên sườn vòm, từ đó truyền xuống kết cấu hạ tầng nhờ gối cầu. Với mục đích làm rõ ảnh hưởng của sự làm việc chung giữa ống thép với lõi bê tông đến sự phân bố nội lực trong kết cấu cầu vòm ống thép nhồi bê tông, kết cấu được mô hình và phân tích tính toán nhờ phần mềm SAP2000 với ba trường hợp nghiên cứu như sau:

✓ **Trường hợp 1 (TR 1):** Kết cấu làm việc độc lập, chỉ phần ống thép tham gia chịu lực. Trong trường hợp này, độ cứng và khả năng chịu lực của kết cấu ống thép nhồi được tính toán theo công thức dưới đây:

- Độ cứng: bằng độ cứng riêng biệt của vỏ thép, công thức (1) và (2),
- Độ cứng chống kéo, nén dọc trục:

$$EA = E_a A_a \quad (1)$$

- Độ cứng chống uốn :

$$EI = E_a I_a \quad (2)$$

- Khả năng chịu lực của ống thép nhồi tính theo (3) và (4):

- Chịu nén đúng tâm:

$$N_o = f_a \cdot A_a \quad (3)$$

- Chịu nén lệch tâm:

$$N_u = \varphi_1 \varphi_e N_o \quad (4)$$

✓ **Trường hợp 2 (TR 2):** Kết cấu làm việc độc lập, phần lõi bê tông làm việc, vỏ ống thép không tham gia chịu lực. Trong trường hợp này, độ cứng và khả năng chịu lực của kết

cầu ống thép nhồi được tính toán theo những công thức dưới đây:

- Độ cứng: chỉ tính bằng độ cứng của bê tông, công thức (5) và (6)
  - Độ cứng chống nén dọc trục:

$$EA = E_c A_c \quad (5)$$

- Độ cứng chống uốn:

$$EI = E_c I_c \quad (6)$$

- Khả năng chịu lực tính theo (7) và (8):
  - Chịu nén đúng tâm:

$$N_o = f_c \cdot A_c \quad (7)$$

- Chịu nén lệch tâm:

$$N_u = \varphi_1 \varphi_e N_o \quad (8)$$

✓ **Trường hợp 3 (TR3): Kết cấu làm việc** liên hợp, ống thép và lõi bê tông đồng thời tham gia chịu lực. Trong trường hợp này, độ cứng và khả năng chịu lực của kết cấu ống thép nhồi được tính toán theo những công thức cơ bản dưới đây:

- Độ cứng: bằng tổng các độ cứng riêng biệt của vỏ thép và lõi bê tông, công thức (9) và (10) theo tiêu chuẩn của Mỹ AISC-LRDF (1986),
  - Độ cứng chống kéo, nén dọc trục:

$$EA = E_a A_a + E_c A_c \quad (9)$$

- Độ cứng chống uốn :

$$EI = E_a I_a + E_c I_c \quad (10)$$

- Khả năng chịu lực tính theo tiêu chuẩn Trung Quốc (CECS 28-90):
  - Chịu nén đúng tâm:

$$N_o = f_c \cdot A_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta); \text{ với } \theta = \frac{f_a \cdot A_a}{f_c \cdot A_c} \quad (11)$$

- Chịu nén lệch tâm:

$$N_u = \varphi_1 \varphi_e N_o \quad (12)$$

Trong đó :

No: khả năng chịu lực của ống thép nhồi bê tông chịu nén đúng tâm.

Aa, Ac : diện tích mặt cắt ngang ống thép và lõi bê tông.

Ia, Ic : mômen quán tính của tiết diện ống thép và tiết diện lõi bê tông.

Ea, Ec : môđun đàn hồi của thép và bê tông.

θ : hệ số ảnh hưởng của tiết diện ống thép nhồi bê tông.

f<sub>c</sub>: cường độ chịu nén tính toán của bê tông.

f<sub>a</sub>: cường độ chịu kéo, chịu nén tính toán của ống thép.

φ<sub>1</sub>: hệ số giảm tải khi có lỗ khoan.

φ<sub>e</sub>: hệ số giảm tải khi có lệch tâm tải trọng.

### 3.2. Kết quả tính toán

**Mô hình được lập nhờ chương trình** SAP2000 được trình bày trong hình 9. Trong khuôn khổ phạm vi bài báo, việc phân tích tính toán chỉ dừng ở bước phân tích dưới tác dụng của tải trọng tĩnh, không xem xét đến phân tích động lực học. Kết quả phân tích tính toán nội lực xuất hiện trong vòm được trình bày trong bảng 2, trong dầm ngang biên trình bày trong bảng 3, trong dầm ngang giữa (bảng 4), dầm dọc biên (bảng 5), dầm dọc giữa (bảng 6), thanh treo (bảng 7) và phản lực tại chân vòm (bảng 8). Đơn vị của mômen uốn M là kNm, lực cắt Q và lực dọc trục N là kN.

Bảng 2: Nội lực trong vòm

|   | TR 1     | TR 2     | TR 3     |
|---|----------|----------|----------|
| M | 2212.35  | 1852.79  | 1876.95  |
| Q | 855.25   | 678.54   | 663.12   |
| N | 15456.90 | 17442.70 | 17025.49 |

Bảng 3: Nội lực trong dầm ngang biên

|   | TR 1    | TR 2    | TR 3    |
|---|---------|---------|---------|
| M | 850.37  | 850.37  | 850.37  |
| Q | 1139.23 | 1139.23 | 1139.23 |

Bảng 4: Nội lực trong dầm ngang giữa

|   | TR 1    | TR 2    | TR 3    |
|---|---------|---------|---------|
| M | 873.79  | 874.15  | 874.19  |
| Q | 1159.99 | 1160.47 | 1160.51 |

Bảng 5: Nội lực trong dầm dọc biên

|    | TR 1    | TR 2    | TR 3    |
|----|---------|---------|---------|
| M- | 3819.71 | 2080.73 | 1929.91 |
| M+ | 3108.63 | 1486.20 | 1265.55 |
| Q  | 624.35  | 302.62  | 261.74  |
| N  | 9615.13 | 9100.37 | 8774.60 |

Bảng 6: Nội lực trong dầm dọc giữa

|   | TR 1    | TR 2    | TR 3    |
|---|---------|---------|---------|
| M | 574.14  | 574.14  | 574.14  |
| Q | 338.79  | 338.79  | 338.79  |
| N | 1153.46 | 1091.70 | 1052.63 |

Bảng 7: Nội lực trong thanh treo

|   | TR 1    | TR 2    | TR 3    |
|---|---------|---------|---------|
| N | 1496.64 | 1204.33 | 1169.43 |

Bảng 8: Phản lực tại chân vòm

|    | TR 1     | TR 2     | TR 3     |
|----|----------|----------|----------|
| Rx | 5.58     | 12.78    | 14.78    |
| Rz | 14075.15 | 13305.43 | 12824.11 |

Khi so sánh kết quả tính toán cho các trường hợp nghiên cứu, nội lực phát sinh trong kết cấu thay đổi như sau:

- ✓ Phản tử vòm: Moment và lực cắt xuất hiện trong vòm đạt giá trị lớn nhất trong trường hợp 1, lực cắt đạt giá trị lớn nhất trong trường hợp 2. Mô ment nhỏ nhất trong trường hợp 2, lực dọc nhỏ nhất trong trường hợp 1. lực cắt nhỏ nhất đối với trường hợp 3. Giá trị mô ment thay đổi khoảng  $\pm 20,0\%$ . Giá trị lực cắt thay đổi khoảng  $\pm 29\%$ . Giá trị lực dọc trực thay đổi khoảng  $\pm 12,0\%$ .
- ✓ Dầm ngang biên: Nội lực có giá trị không thay đổi trong cả ba trường hợp.
- ✓ Dầm ngang giữa: Giá trị nội lực lớn nhất đối với trường hợp 3 và nhỏ nhất trong trường hợp 1.
- ✓ Dầm dọc biên: Giá trị nội lực lớn nhất trong trường hợp 1, nhỏ nhất trong trường hợp 3. Giá trị mô ment âm thay đổi trong khoảng từ -47.5% đến 97.9%. Giá trị mô ment dương thay đổi trong khoảng từ -59.2% đến 145.6%. Giá trị lực cắt thay đổi trong khoảng từ -58.0% đến 138.4%. Giá trị lực dọc trực thay đổi trong khoảng -8.71% đến 9.50%.

- ✓ Dầm dọc giữa: Giá trị môment và lực cắt không thay đổi. Giá trị lực dọc trực đạt lớn nhất trong trường hợp 1 và nhỏ nhất trong trường hợp 3.
- ✓ Thanh treo: Lực dọc trực lớn nhất xảy ra trong trường hợp 1 và nhỏ nhất trong trường hợp 3. Giá trị lực dọc trực thay đổi trong khoảng từ -21.8% đến 27.9%.
- ✓ Phản lực tại chân vòm: theo phương thẳng đứng đạt giá trị lớn nhất trong trường hợp 1, nhỏ nhất trong trường hợp 3. Giá trị thay đổi trong khoảng từ -8.88% đến 9.75%. Theo phương dọc cầu, phản lực lớn nhất trong trường hợp 3 và nhỏ nhất trong trường hợp 1. Giá trị thay đổi trong khoảng -62.26% đến 164.87%.

## 5. KẾT LUẬN

Điều kiện làm việc của tiết diện vòm thay đổi kéo theo việc phân bố lại nội lực giữa các phần tử trong kết cấu. Nội lực trong vòm, dầm dọc biên thay đổi nhiều nhất. Nội lực xuất hiện trong hệ dầm ngang hầu như không thay đổi và không chịu ảnh hưởng do điều kiện làm việc của vòm. Trong kết cấu cầu vòm ống thép nhồi bê tông, khi ống thép và lõi bê tông đồng thời cùng tham gia chịu lực thì moment và lực cắt trong vòm, nội lực trong dầm biên và trong dây treo giảm hơn khi chỉ có vỏ ống thép làm việc. Riêng lực dọc trực xuất hiện trong vòm tăng. Khi ống thép và lõi bê tông đồng thời cùng tham gia chịu lực thì lực cắt và lực dọc trực trong vòm, nội lực trong dầm biên và trong dây treo giảm hơn khi chỉ có lõi bê tông làm việc. Riêng mô ment xuất hiện trong vòm tăng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. I. Kikin, R. s. Sanzharovski, V. A. Trull. Kết cấu ống thép nhồi bê tông . NXB Xây dựng Hà Nội 1999 (bản dịch tiếng việt)
2. Tập bản vẽ Super-structure of arch bridge, Xom Cui bridge (nguyên bản tiếng Anh).
3. Phùng Mạnh Tiến – Vũ Trí Thắng. Bài báo “Cầu vòm bằng ống thép nhồi bê tông”. Tạp chí Giao Thông Vận Tải 6/2004.
4. Hội tiêu chuẩn Trung Quốc CECS 28-90: Qui trình thiết kế và thi công kết cấu ống thép nhồi bê tông. NXB Kế hoạch Trung Quốc, 11/1990 (nguyên bản tiếng Trung)

5. Trần Đại Minh. Bài báo “Một số nhận xét về tính Kinh tế – Kỹ thuật – Mỹ thuật của loại nhịp vòm chạy dưới Thép – Bê tông”. Tạp chí giao thông vận tải.
6. Ding Dajun, prof., Nanjing Institute of Technology, Nanjing, China. “Development of concrete filled tubular Arch bridges, China”. Structural Engineering International 4/2001.