

## **NGHIÊN CỨU CHUYỂN VỊ VÀ ỨNG SUẤT CỦA CẦU MÁNG VỎ MỎNG XI MĂNG LƯỚI THÉP ỨNG SUẤT TRƯỚC NHỊP LỚN**

**Phạm Cao Tuyền<sup>1</sup>, Vũ Hoàng Hưng<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Cầu máng xi măng lưới thép ứng suất trước (CM-XMLT-UST) nhịp lớn là một kết cấu dạng vỏ trụ không gian được gia cường bằng các sườn dọc, sườn ngang và thanh giằng, khi thiết kế đòi hỏi nội lực có độ chính xác cao cần phân tích theo bài toán vỏ mỏng không gian. Tuy nhiên phân tích nội lực thân máng trên cơ sở các phương trình vi phân cơ bản của lý thuyết vỏ mỏng không gian để tìm lời giải chính xác thì gần như không thể thực hiện được, thường dùng phương pháp phần tử hữu hạn và giải theo chuyển vị. Song đòi hỏi người sử dụng phải có hiểu biết nhất định về lý thuyết vỏ mỏng, phương pháp phần tử hữu hạn và phần mềm ứng dụng. Dựa trên Chương trình chuyên dụng tính toán CM-XMLT-UST do tác giả lập trên nền phần mềm ANSYS, đã tiến hành tính toán hàng loạt bài toán vỏ mỏng và thấy rằng với CM-XMLT-UST có nhịp lớn, khi tỷ số chiều dài nhịp trên chiều cao mặt cắt ngang  $L/H \geq 10$  thì tính theo lý thuyết dầm cũng đạt độ chính xác cần thiết.

**Từ khóa:** Cầu máng, xi măng lưới thép, ứng suất trước, lý thuyết vỏ, lý thuyết dầm, ANSYS

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Khi cầu máng cần vượt qua các nhịp lớn, giải pháp hữu hiệu để tăng khả năng chịu lực theo phương dọc của máng là sử dụng UST. Do thân máng XMLT có dạng vỏ trụ và chiều dày của thân máng rất mỏng, nên chỉ thích hợp với cốt thép UST đặt thẳng tại đáy máng và dùng phương pháp căng sau. Với phương pháp căng sau dễ dàng không chế được lực căng cáp trong từng giai đoạn, nên cũng thuận tiện trong việc không chế biến dạng và nứt, vấn đề được xem là nhạy cảm với kết cấu vỏ mỏng XMLT.

Đối với các cầu máng lớn và trung bình thì thiết kế đòi hỏi nội lực có độ chính xác cao, cần phân tích nội lực thân máng theo bài toán vỏ mỏng không gian. Tốt nhất là dùng phương pháp phần tử hữu hạn và giải theo chuyển vị. Hiện nay có những phần mềm mạnh cho phép ta phân tích các kết cấu vỏ có dạng bất kỳ và chịu tải trọng tùy ý như SAP2000 hay ANSYS, song đòi hỏi người sử dụng phải có hiểu biết nhất định về lý thuyết vỏ mỏng và phương pháp phần tử hữu hạn.

Đối với cầu máng nhỏ có thể dùng phương

pháp gần đúng để phân tích nội lực thân máng, một trong các phương pháp thường dùng là thay bài toán tính vỏ mỏng không gian bằng hai bài toán phẳng riêng biệt theo phương dọc và phương ngang máng, được gọi là phương pháp tính theo “lý thuyết dầm”. Theo lý thuyết tính toán này, phương dọc thân máng được tính như bài toán dầm, phương ngang máng được tính như một hệ phẳng (khung phẳng) có bề rộng đơn vị được cắt ra từ thân máng chịu tất cả các tải trọng tác dụng lên đoạn máng đó và được cân bằng nhờ các lực tương hỗ của các phần máng hai bên, được gọi là “phương pháp lực cắt không cân bằng” (Vũ Thành Hải, 2001).

Trong các giáo trình “Kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước” đều trình bày dưới dạng bài toán dầm (Nguyễn Tiến Chương, 2010), cho nên với CM-XMLT-UST vỏ mỏng nhịp lớn, phân tích nội lực theo phương dọc dùng lý thuyết dầm có nhiều thuận lợi và cũng đủ độ chính xác cần thiết khi chiều dài nhịp đủ lớn, còn theo phương ngang tính theo sơ đồ khung giống như CM-XMLT thông thường (14-TCN 181:2006).

### **2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN NỘI LỰC CM-XMLT-UST**

#### **2.1. Tải trọng tính toán**

Tải trọng tác dụng lên cầu máng gồm có:

---

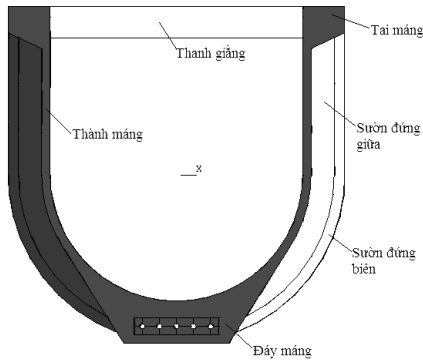
<sup>1</sup> Nghiên cứu sinh, Trường Đại học Thủy lợi

<sup>2</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

- Trọng lượng bản thân cầu máng.
- Áp lực nước ứng với mực nước thiết kế.
- Tải trọng người qua lại trên cầu máng.
- Các tải trọng khác như áp lực gió, lực ma sát ở gối đỡ, áp lực thủy động, động đất, tải trọng cầu lắp, lực va chạm của vật nổi... được bỏ qua trong tính toán.

### 2.2. Tổ hợp tải trọng

Phân tích trạng thái ứng suất biến dạng thân máng XMLT được tiến hành với tổ hợp tải trọng

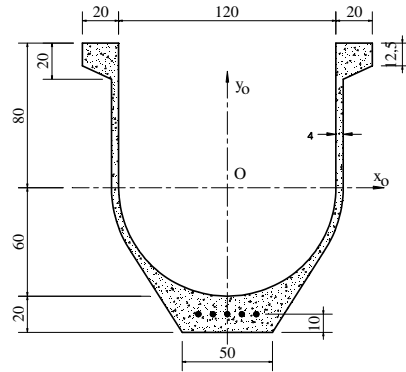


Hình 1. Cấu tạo và kích thước mặt cắt ngang CM-XMLT-UST

ơ bản (TH1) gồm: trọng lượng bản thân máng (TLBT) + tải trọng người qua lại (ND\*) + trọng lượng nước ứng với chiều sâu mực nước thiết kế (ALN) và lực nén trước (LNT\*).

### 2.3. Trường hợp tính toán

Tính toán cho CM-XMLT-UST mặt cắt chữ U có cấu tạo và kích thước mặt cắt ngang như hình 1 với chiều dài máng thay đổi  $L = 8m \sim 22m$ .



## 3. TÍNH TOÁN CM-XMLT-UST THEO LÝ THUYẾT VỎ

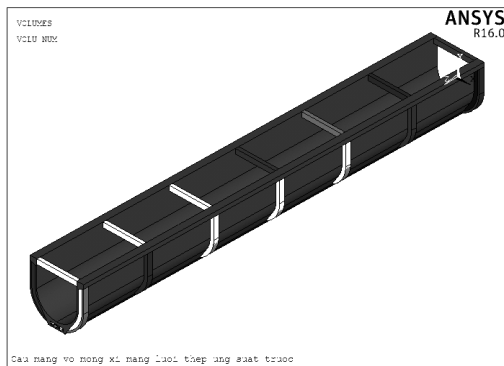
### 3.1. Mô hình tính toán

Dựa trên Chương trình chuyên dụng tính toán CM-XMLT-UST do tác giả lập trên nền phần mềm ANSYS (Phạm Cao Tuyển, 2015) đã tiến hành mô hình CM-XMLT-UST dài  $L = 12m$  theo bài toán vỏ mỏng không gian với kích thước mặt cắt ngang như hình 1, cầu máng được gia cường bằng các thanh giằng, sườn đứng giữa

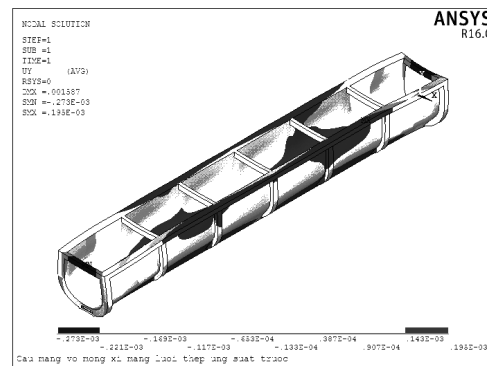
và sườn đứng bên cho ở hình 2.

### 3.2. Kết quả tính toán

Phổ màu chuyển vị đứng UY do tổ hợp tải trọng  $TH1=TLBT+ALN+ND*+LNT*$  sinh ra cho ở hình 3. Giá trị chuyển vị do các thành phần tải trọng gồm trọng lượng bản thân TLBT, áp lực nước ALN, tải trọng người đi lại và trọng lượng đường người đi  $ND*$ , lực nén trước  $LNT*$  và tổ hợp tải trọng TH1 cho ở bảng 1.



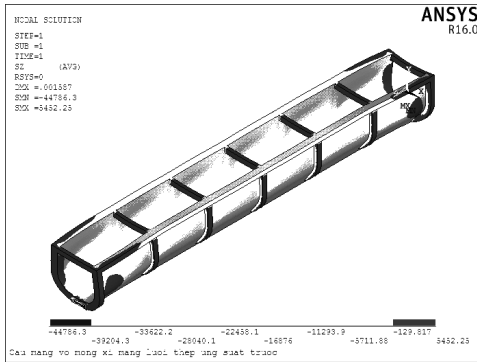
Hình 2. Mô hình CM-XMLT-UST mặt cắt chữ U nhíp đơn  $L = 12m$



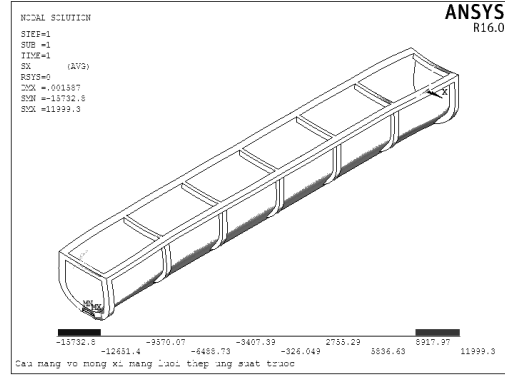
Hình 3. Phổ màu chuyển vị đứng UY

Phổ màu ứng suất theo phương dọc SZ do TH1 sinh ra cho ở hình 4. Phổ màu ứng suất theo phương ngang SX do TH1 cho ở hình 5. Giá trị ứng suất ở đáy máng và ở đỉnh máng tại giữa nhịp do các thành phần tải trọng TLBT, ALN, ND\*, LNT\* và TH1 cho ở bảng 1.

Kết quả tính toán cho thấy ứng suất theo phương ngang nhỏ hơn rất nhiều so với ứng suất theo phương dọc tại đáy máng. Hay nói cách khác đối với cầu máng nhịp lớn, ứng suất theo phương dọc SZ là chủ yếu.



Hình 4. Phổ màu ứng suất dọc SZ



Hình 5. Phổ màu ứng suất ngang SX

**Bảng 1. Chuyển vị đứng UY, ứng suất SZ và SX tại mặt cắt giữa nhịp CM-XMLT-U<sup>ST</sup>**

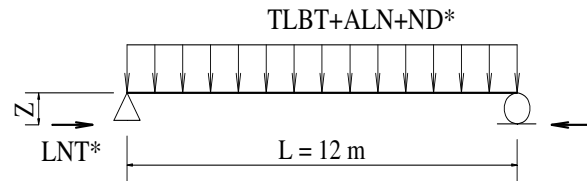
Nhịp L (m)	Thành phần tải trọng				
	TLBT	ALN	ND*	LNT*	TH1
12	Chuyển vị đứng UY đáy máng (mm)				
	-0,72537	-1,42132	-0,09372	2,385	0,14459
	Ứng suất dọc SZ đáy máng (kN/m <sup>2</sup> )				
	727,98	1424,8	95,158	-4862,1	-2614,16
	Ứng suất dọc SZ đỉnh máng (kN/m <sup>2</sup> )				
	-1225,1	-2600,0	-141,53	1166,8	-2799,83
	Ứng suất ngang SX đáy máng (kN/m <sup>2</sup> )				
41,403	-228,57	-5,7964	89,663	-103,300	

**Ghi chú:** Các lực mang dấu sao (\*) là lực có giá trị cho từng bài toán cụ thể, còn trọng lượng bản thân và áp lực nước chương trình tự tính khi đã chọn mặt cắt ngang máng.

#### 4. KIỂM TRA CM-XMLT-U<sup>ST</sup> BẰNG TAY THEO LÝ THUYẾT DÀM

##### 4.1. Sơ đồ tính toán

Kiểm tra độ tin cậy của kết quả tính toán CM-XMLT-U<sup>ST</sup> theo lý thuyết vỏ sử dụng phần mềm ANSYS bằng sơ đồ dầm đơn dài L = 12m chịu tải trọng phân bố đều gồm TLBT, ALN, ND\* và LNT\* đặt lệch tâm một khoảng Z như hình 6.



Hình 6. Sơ đồ tính toán dầm U<sup>ST</sup>

Đặc trưng hình học của tiết diện dầm cho ở hình 7:

- Diện tích tiết diện:

$$A = 0,32856 \text{ m}^2$$

- Trọng tâm tiết diện C so với góc tọa độ O:

$$Y_C = -0,17937 \text{ m}$$

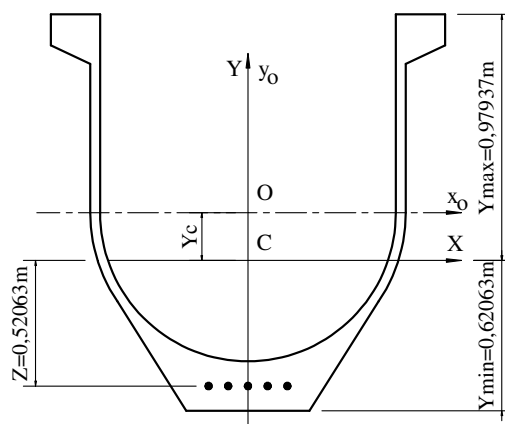
- Mômen quán tính đối với trục X:

$$I_{XX} = 0,10738 \text{ m}^4$$

Tải trọng tác dụng gồm trọng lượng bản thân máng TLBT =  $\gamma_{bt}A = 7,09098 \text{ kN/m}$ , trọng lượng nước ALN =  $\gamma_n (A_o + fD_o) = 15,25488 \text{ kN/m}$ , đường người đi và người đi lại ND\* =  $1,0 \text{ kN/m}$ , lực nén trước LNT\* =  $875 \text{ kN}$ .

#### 4.2. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán chuyển vị đứng UY và ứng suất dọc SZ tại đáy mặt cắt giữa dầm do TLBT, ALN, ND\*, LNT\* và tổ hợp tải trọng TH1 cho ở bảng 2.



Hình 7. Đặc trưng hình học tiết diện CM-XMLT-UST

**Bảng 2. Mô men, chuyển vị và ứng suất dọc tại mặt cắt giữa nhịp CM-XMLT-UST**

Giá trị	Thành phần tải trọng				
	TLBT	ALN	ND*	LNT*	TH1
Mômen $M = qL^2/8$ (kNm)	127,63767	274,58784	18,0	-455,55125	-35,32574
Lực dọc N (kN)	0	0	0	-875	-875
Chuyển vị đứng $UY = 5ML^2/48EI_{XX}$ (mm)	0,6414	1,3789	0,09045	-2,2891	0,17745
Ứng suất dọc SZ tại đáy $SZ = N/A + M/W_X$ (kN/m <sup>2</sup> )	737,705	1587,029	104,034	-5296,076	-2867,308

#### 4.3. Nhận xét

Kết quả tính toán chuyển vị và ứng suất dọc tại mặt cắt giữa nhịp của CM-XMLT-UST dài L = 12m theo bài toán vỏ mỏng không gian và

theo bài toán dầm bằng giải tích do các thành phần tải trọng tác dụng lên cầu máng sinh ra được tổng hợp trong bảng 3.

**Bảng 3. So sánh chuyển vị UY, ứng suất SZ tại mặt cắt giữa nhịp của CM-XMLT-UST**

Tính toán	Thành phần tải trọng				
	TLBT	ALN	ND*	LNT*	TH1
Chuyển vị đứng UY đáy máng (mm)					
ANSYS	-0,72537	-1,42132	-0,09372	2,385	0,14459
Giải tích	-0,6414	-1,3798	-0,09045	2,2891	0,17745
Ứng suất dọc SZ đáy máng (kN/m <sup>2</sup> )					
ANSYS	727,98	1424,8	95,158	-4862,1	-2614,16
Giải tích	737,705	1587,029	104,034	-5296,076	-2867,308
% khác biệt	-1,33%	-11,38%	-9,35%	-8,92%	-9,68%

Từ bảng 3 cho thấy kết quả tính toán chuyển vị và ứng suất giữa nhịp máng do các thành phần tải trọng theo lý thuyết vỏ bằng phần mềm ANSYS và theo lý thuyết dầm

bằng giải tích có sự chênh nhau nhưng không nhiều (xấp xỉ 10%). Sự chênh lệch này là do khi tính toán theo lý thuyết dầm đã không xét được ảnh hưởng của thanh giằng và các sườn ngang, bỏ qua áp lực ngang nên giá trị chuyển vị và ứng suất dọc tại đáy máng đều lớn hơn so với tính toán theo bài toán không gian bằng phần mềm ANSYS.

Theo lý thuyết vỏ khi kết cấu vỏ mỏng dạng dầm có tỷ số giữa chiều dài và chiều cao của tiết diện  $L/H$  đủ lớn thì độ võng theo phương vuông góc với trục dầm và ứng suất dọc ở đáy tính theo lý thuyết dầm cũng đủ độ chính xác cần thiết (Edward G. Nawy, 2006). Tuy nhiên tỷ số này ít nhất bằng bao nhiêu để loại bỏ ảnh hưởng của thanh giằng và sườn

ngang đến độ võng và ứng suất dọc ở đáy CM-XMLT-U<sup>ST</sup> thì cần phải được xem xét cụ thể.

### 5. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN CHO CM-XMLT-U<sup>ST</sup> VỎ MỎNG NHỊP LỚN

Để có cơ sở cho việc đề xuất phương pháp tính toán CM-XMLT-U<sup>ST</sup> nhịp lớn, bài báo đã tiến hành tính toán cho các chiều dài máng khác nhau từ  $L = 8\text{m}$  đến  $22\text{m}$  theo lý thuyết vỏ sử dụng phần mềm ANSYS và lý thuyết dầm. Từ kết quả tính toán chuyển vị của cầu máng có  $H = 1,6\text{m}$  với chiều dài nhịp máng thay đổi từ  $8\text{m}$  đến  $22\text{m}$ , đã xác định được tỷ số  $L/H$  để kết quả tính toán theo lý thuyết dầm xấp xỉ bằng theo lý thuyết vỏ qua các số liệu tính toán được cho ở bảng 4.

**Bảng 4. So sánh chuyển vị tính theo lý thuyết vỏ và lý thuyết dầm**

Nhịp máng		Cầu máng $H = 1,6\text{m}$		Tỷ số		LT Dầm	LT Vỏ (ANSYS)	
$L_i$ (m)		UY (TLBT)	UY (ALN)	$L_{22}/L_i$		$(L_{22}/L_i)^4$	TLBT	ALN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
L8	8	-0,18805	-0,35493	22/8	2,750	57,19	37,47	39,31
L10	10	-0,3845	-0,74375	22/10	2,200	23,43	18,33	18,76
L12	12	-0,7254	-1,42132	22/12	1,833	11,30	9,71	9,82
L14	14	-1,2718	-2,5038	22/14	1,571	6,10	5,54	5,57
L16	16	-2,0918	-4,1311	22/16	1,375	3,57	3,37	3,38
L18	18	-3,2653	-6,456	22/18	1,222	2,23	2,16	2,16
L20	20	-4,8857	-9,6696	22/20	1,100	1,46	1,44	1,44
L22	22	-7,0468	-13,951	22/22	1,000	1,00	1,00	1,00

Từ bảng 4 cho thấy khi  $L = 16\text{m}$  thì chuyển vị đứng tính theo lý thuyết vỏ và lý thuyết dầm chênh nhau không đáng kể, với máng có  $H = 1,6\text{m}$  thì tỷ số này là  $L/H = 16/1,6 = 10$ . Cũng tương tự ta lập bảng tính với ứng suất dọc tại mặt cắt

giữa nhịp ở đáy máng  $SZ(L_i)$  do trọng lượng bản thân và áp lực nước được xác định theo lý thuyết vỏ bằng phần mềm ANSYS và theo lý thuyết dầm ứng với cầu máng có  $H = 1,6\text{m}$  cho ở bảng 5.

**Bảng 5. So sánh ứng suất tính theo lý thuyết vỏ và lý thuyết dầm**

Nhịp máng		Cầu máng $H = 1,6\text{m}$		Tỷ số		LT Dầm	LT Vỏ (ANSYS)	
$L_i$ (m)		SZ (TLBT)	SZ (ALN)	$L_{22}/L_i$		$(L_{22}/L_i)^2$	TLBT	ALN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
L8	8	331,22	627,11	22/8	2,750	7,5625	6,61	7,46
L10	10	509,25	953,19	22/10	2,200	4,8400	4,30	4,91
L12	12	727,98	1424,8	22/12	1,833	3,3611	3,01	3,28
L14	14	988,27	1902,3	22/14	1,571	2,4694	2,22	2,46
L16	16	1284,9	2527,9	22/16	1,375	1,8906	1,70	1,85

L18	18	1616,2	3145,3	22/18	1,222	1,4938	1,36	1,49
L20	20	1989,2	3923,3	22/20	1,100	1,2100	1,10	1,19
L22	22	2190,7	4679,9	22/22	1,000	1,0000	1,00	1,00

Từ bảng 5 cho thấy khi  $L=16m$  thì ứng suất dọc tính theo lý thuyết vỏ và lý thuyết dầm chênh nhau không đáng kể, với máng có  $H = 1,6m$ , tỷ số  $L/H=16/1,6=10$  thì ứng suất theo phương dọc máng tính theo lý thuyết dầm cũng đạt độ chính xác cần thiết, đặc biệt là ứng suất do áp lực nước.

## 6. KẾT LUẬN

Bài báo đã khẳng định độ tin cậy của Chương trình tính toán CM-XMLT-U<sup>ST</sup> lập trên nền phần mềm ANSYS thông qua kết quả kiểm tra bằng tay theo lý thuyết dầm. Ngoài ra qua kết quả tính toán trạng thái ứng suất biến dạng của CM-XMLT-

U<sup>ST</sup> mặt cắt chữ U có chiều cao  $H=1,6m$ , đường kính lòng máng  $D_0=1,2m$ , chiều dài nhịp máng  $L$  thay đổi từ 8m đến 22m theo bài toán vỏ bằng phương pháp phần tử hạn với sự hỗ trợ của phần mềm ANSYS và theo bài toán dầm bằng giải tích cho thấy khi tỷ số  $L/H \geq 10$  thì chuyển vị tại mặt cắt giữa nhịp máng và ứng suất theo phương dọc máng theo hai phương pháp gần xấp xỉ nhau, hay khi chiều dài máng đủ lớn thì tính theo lý thuyết dầm cũng đạt độ chính xác cần thiết. Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết vỏ mỏng dạng dầm thông thường.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Tiến Chương (2006), *Kết cấu bê tông ứng suất trước*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.  
 Phạm Cao Tuyền (2015), “Nghiên cứu thực nghiệm cầu máng xi măng lưới thép ứng suất trước nhịp lớn trên máy tính”, *Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường*, số 49, pp. 122-128, 06/2015.  
 Tiêu chuẩn ngành thủy lợi 14-TCN 181:2006 (2006), *Công trình thủy lợi - Cầu máng vỏ mỏng XMLT - Hướng dẫn tính toán thiết kế kết cấu*.  
 Vũ Thành Hải (2001), *Cầu máng xi măng lưới thép*, Bài giảng sau đại học ngành Công trình thủy, trường Đại học Thủy Lợi, Hà Nội.  
 Edward G. Nawy (2006), *Prestressed Concrete – A Fundamental Approach*, Fifth Edition, Pearson Education, Inc.

### Abstract:

## STUDY THE DEFORMATION AND STRESS OF LONG SPAN PRESTRESSED THIN SHELL FERRO-CEMENT AQUEDUCTS

*Long-span prestressed ferrocement aqueducts is a thin shell structure reinforced by vertical ribs, transverse ribs and struts, when the design requires internal force with high precision, need to analyze the space thin shell problem. However, the analysis of the internal force of the body aqueduct based on the fundamental differential equations of space thin shell theory, it is almost impossible to find the exact solution, often used finite element method. However, it requires the user to have a certain understanding of shell theory, finite element method and application software. Based on CM-XMLT-U<sup>ST</sup> Dedicated Program in ANSYS software created by the author, have conducted hand calculation for a series of problems and found that for prestressed ferrocement aqueducts with long-span, when the ratio of the length/cross-sectional height  $L/H \geq 10$ , calculate by the theory of beams also achieve the necessary precision.*

**Key words:** Aqueducts, Ferrocement, Prestressed, Shell theory, Beam theory, ANSYS

---

Ngày nhận bài: 17/03/2017

Ngày chấp nhận đăng: 02/4/2018