

**ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP CĂNG SAU
BẰNG CẤP CƯỜNG ĐỘ CAO ĐỂ TĂNG CƯỜNG KẾT CẤU NHỊP CẦU
DẦM THÉP TRÊN ĐƯỜNG Ô TÔ
APPLICATION OF POST-TENSIONING METHOD BY
MULTISTRAND REINFORCEMENT TO STRENGTHEN IN
HIGHWAY STEEL BRIDGES**

Lê Thị Bích Thủy và Trần Nhật Lâm

Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt nam

BẢN TÓM TẮT

Dựa trên các lý thuyết phân tích kết cấu, các tài liệu thu thập được, mục tiêu bài báo này nhằm mô tả phương pháp tăng cường kết cấu nhịp cầu dầm thép giản đơn bằng cấp cường độ cao theo các qui trình hiện hành của Việt Nam. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc sử dụng lực nén kết hợp với momen uốn nhằm cải thiện khả năng chịu uốn, chịu cắt của tiết diện, giảm độ võng và dao động của kết cấu nhịp.

ABSTRACT

On the basis of structural analysis theory, obtained documents, the aim of this paper is to describe the method of post-tensioning as a mean for strengthening single span steel bridge follows present Vietnamese rules and regulations. This method is based on principles using pressing force and moment to increase the flexural and shear strength of section and to decrease span deflection and agitation.

1. GIỚI THIỆU

Việc ứng dụng phương pháp tăng cường bằng cấp cường độ cao trong kết cấu nhịp cầu bê tông cốt thép đã và đang được áp dụng rộng rãi, tuy nhiên phương pháp này còn rất hạn chế đối với kết cấu nhịp cầu thép. Trong bài viết này nhằm giới thiệu phương pháp tính toán gia cường dầm thép bằng cấp cường độ cao căng sau, trên cơ sở các số liệu thu thập được từ [9] và kiểm toán theo [1] và [2].

Phương pháp căng sau bằng cấp cường độ cao tăng cường kết cấu nhịp (tạo ứng suất sau), theo nguyên tắc sử dụng lực dọc trục kết hợp với momen uốn nhằm cải thiện khả năng chịu uốn, chịu cắt của tiết diện, giảm độ võng và dao động khi khai thác, giảm bớt ứng suất ở vị trí nguy hiểm, do đó tăng khả năng khai thác của công trình.

2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHI DÙNG PHƯƠNG PHÁP CĂNG SAU BẰNG CẤP CƯỜNG ĐỘ CAO

Đối với các kết cấu nhịp dầm thép, cấu tạo cáp đặt ngoài tiết diện có sự tham gia của lực nén thì sơ đồ làm việc là dầm chịu uốn và nén đồng thời, bố trí dây căng làm cho kết cấu chịu nén lệch tâm. Việc nghiên cứu lý thuyết dựa trên giả thiết vật liệu làm việc đàn hồi, liên kết giữa ụ chuyên hướng và dầm là liên kết khớp, bỏ qua biến dạng dọc của ụ chuyên hướng.

Khi bố trí dây căng lệch tâm so với trục trung hoà của dầm một khoảng cách là e , ứng suất pháp tại điểm đang xét được xác định:

- Ứng suất lớn nhất do lực N gây ra được kiểm toán theo công thức:

$$\sigma_{\max} = \frac{|N|}{F} + \frac{|Ne|}{W} \quad (1)$$

- Ứng suất nhỏ nhất do lực N gây ra được kiểm toán theo công thức:

$$\sigma_{\min} = \frac{|N|}{F} - \frac{|Ne|}{W} \quad (2)$$

Trong đó: N là lực dọc trục tác dụng vào tiết diện.

s_{max}, s_{min} là ứng suất lớn nhất và nhỏ nhất do lực N gây ra.

F, W là diện tích và momen kháng uốn của tiết diện.

Dây căng được bố trí đối xứng qua trục thẳng đứng của dầm, nguyên tắc của việc gây ứng lực trong dây căng dựa trên độ giãn dài của dây, theo định luật Hook ta có:

$$s_d = eE_d \quad (3)$$

Trong đó: s_d là ứng suất trong dây căng.

E_d, e là môđun đàn hồi và độ giãn dài tỉ đối của thép làm dây căng.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

Kết cấu cần được nén với một lực căng T cần thiết làm tăng khả năng mang tải của nhịp dưới tác dụng của tải trọng, như vậy sẽ phát sinh một ứng suất của dây do lực căng tạo ra.

Nếu dây căng được đặt dưới dạng gãy khúc:

$$\sigma = \frac{1}{F_d} \sqrt{H^2 + V^2} \quad (5)$$

Trong đó: F_d là diện tích mặt cắt ngang dây căng.

H, V là thành phần lực ngang và đứng do lực căng T.

3. ĐẶC ĐIỂM TÍNH TOÁN KẾT CẤU NHỊP DÀM THÉP KHI SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP TẠO ỨNG SUẤT SAU ĐỂ GIA CỐ VÀ TĂNG CƯỜNG

Tuỳ theo yêu cầu và mức độ chịu tải của kết cấu nhịp theo [4] mà có thể có các trường hợp:

Gọi M là khả năng chịu tải ban đầu của kết cấu. M_q là momen do tải trọng bổ sung q gây ra.

M_{ht} là khả năng chịu tải hiện trạng của kết cấu.

Thứ nhất là gia cố kết cấu nhằm mục đích khả năng chịu tải sau khi tăng cường lớn hơn khả năng chịu tải của kết cấu theo thiết kế ban đầu, khả năng chịu tải của kết cấu được tăng thêm một lượng DM sao cho $DM > M_q$.

Thứ hai là gia cố kết cấu nhằm mục đích để phục hồi khả năng chịu tải như thiết kế ban đầu, khả năng chịu tải của kết cấu được tăng thêm một lượng DM sao cho $DM = M - M_{ht}$.

Các bước tính toán khi tăng cường kết cấu nhịp dầm thép bằng cáp cường độ cao:

1- Xác định lượng cần bổ sung về khả năng chịu tải của kết cấu, trong trường hợp này thì cần xác định tải trọng tăng thêm hay xác định các giá trị momen DM và lực cắt DQ.

2- Sơ bộ chọn tiết diện dây căng, đối với việc tăng cường bằng cáp cường độ cao thì tiết diện cáp sẽ được chọn theo tính toán của tải trọng cần bổ sung thêm, nhưng ở đây ta chọn số lượng và đường kính trước, sau đó kiểm tra lại theo các điều kiện khác nhau.

3- Xác định ứng lực trong dây căng dưới tác dụng của tải trọng tăng thêm, trong bước này thì bài toán đặt ra sẽ tương ứng với các trường hợp khác nhau, tuy nhiên trong bài viết này chỉ giới thiệu sơ đồ bố trí cáp theo đường gãy khúc với 2 điểm chuyển hướng trong dầm cầu thép nhịp giản đơn.

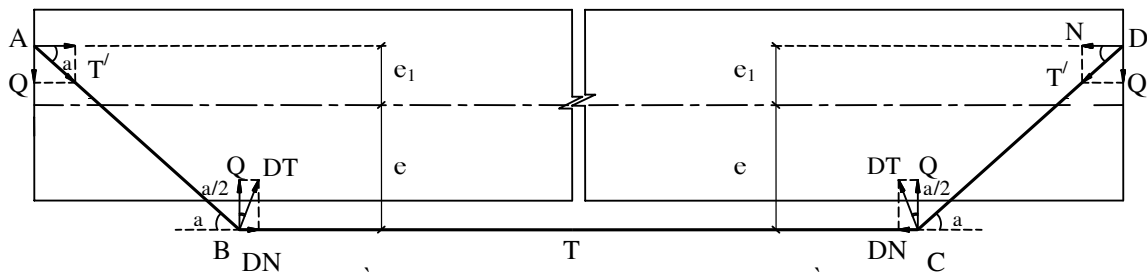
Bố trí cáp theo đường gãy khúc A-B-C-D, B và C là hai điểm gãy khúc, cáp lệch theo đường nằm ngang một góc α , e_1 và e là khoảng lệch tâm của cáp (Hình 1).

Gọi T và T' là lực căng trong cáp ở đoạn thẳng và đoạn xiên.

Q, N là phân lực thẳng đứng và ngang của T' .

DT phân lực tác dụng của T tại B.

DN phân lực nằm ngang của DT.



Hình 1. Sơ đồ tính toán lực căng trong dây dạng sơ đồ gãy khúc

Lực căng T trong cáp được xác định theo công thức:

$$T = DN + N \quad (6)$$

Trong đó:

$$N = T' \cos \alpha \quad (7)$$

$$DN = f_0 Q t g \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

f_0 là hệ số ma sát giữa dây và α chuyển hướng.

Phân lực thẳng đứng do T' gây ra:

$$Q = T' \sin \alpha \quad (9)$$

$$\Rightarrow DN = f_0$$

$$\Rightarrow \frac{T' \sin^2 \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{T' (1 - \cos^2 \alpha)}{1 + \cos \alpha} = T' (1 - \cos \alpha) \quad (8')$$

Lực căng trong cáp ở đoạn xiên.

$$T' = \frac{T}{f_0 \sin \alpha + \cos \alpha} \quad (10)$$

Để xác định lực căng T trong dây có thể xác định từ điều kiện về khả năng chịu kéo của cáp để định ra lực kéo cần thiết, trường hợp này có thể tham khảo bảng tra trong [5].

4- Xác định ứng lực cần thiết trong dây căng.

$$\sigma_0 = m_0 R_a - \sigma_m \quad (11)$$

Trong đó:

R_a , m_0 là cường độ tính toán và hệ số điều kiện làm việc của dây căng.

σ_m là mất mát ứng suất trong

dây căng.

5- Kiểm tra khả năng chịu tải của kết cấu sau khi gia cố theo các trạng thái giới hạn trong các qui trình hiện hành.

3.1. Tính toán nội lực trong kết cấu nhịp khi tăng cường bằng cáp cường độ cao

Với sơ đồ trên thì việc tính toán tăng cường dầm thép chủ yếu là kiểm tra ứng suất các thớ của dầm đảm bảo điều kiện bền, các điều kiện về ổn định chung và cục bộ. Do việc căng kéo chủ yếu là tăng tải trọng của hoạt tải, các tải trọng của tĩnh tải không ảnh hưởng nhiều đến phần tăng thêm, ứng suất thớ trên và thớ dưới của dầm được kiểm toán như sau:

- Ứng suất thớ trên do ngoại lực tác dụng vào kết cấu.

$$\sigma^{M_{tr}} = -\frac{M}{W_{tr}} \quad (12)$$

- Ứng suất thớ dưới do ngoại lực tác dụng vào kết cấu.

$$\sigma^{M_d} = \frac{M}{W_d} \quad (13)$$

Trong đó:

$\sigma^{M_{tr}}$, σ^{M_d} là ứng suất thớ trên và dưới dầm do ngoại lực.

M là momen uốn do ngoại lực.

W_{tr} , W_d là momen kháng uốn thớ trên và dưới tiết diện dầm.

Dưới ảnh hưởng của hệ thống dây căng thì các ứng suất thớ trên và dưới của dầm phải xét đến ảnh hưởng của lực căng T trong dây gây nên lực nén vào dầm.

- Ứng suất thớ trên do ảnh hưởng của lực căng T tác dụng vào kết cấu.

$$\sigma^{T_{tr}} = -\frac{n_1 T}{F} + \frac{n_1 T e}{W_{tr}} \quad (14)$$

- Ứng suất thớ dưới do ảnh hưởng của lực căng T.

$$\sigma^{T_d} = -\frac{n_1 T}{F} - \frac{n_1 T e}{W_d} \quad (15)$$

Trong đó:

$\sigma^{T_{tr}}$, σ^{T_d} là ứng suất thớ trên và dưới của dầm do ảnh hưởng của lực căng T.

n_1 là hệ số vượt tải của lực căng T, ($n_1 = 0,9$).

Ngoài ra dưới tác dụng của ngoại lực đối với kết cấu có cáp ngoài thì trong dây căng còn xuất hiện lực phụ T_1 , khi đó ứng suất trong kết cấu được kiểm toán theo công thức:

- Ứng suất thớ trên do ảnh hưởng của lực căng T và ngoại lực tác dụng vào kết cấu.

$$\sigma_T = -\frac{n_1 T + T_1}{F} + \frac{(n_1 T + T_1)e}{W_r} - \frac{M}{W_r} \leq mR \quad (16)$$

- Ứng suất thớ dưới do ảnh hưởng của lực căng T và ngoại lực tác dụng vào kết cấu.

$$\sigma_d = -\frac{n_1 T + T_1}{F} - \frac{(n_1 T + T_1)e}{W_d} - \frac{M}{W_d} \leq mR \quad (17)$$

Trong đó:

m là hệ số điều kiện làm việc trong [1], (m = 0,9).

R là cường độ của thép dầm chủ.

Kiểm toán ứng suất trong dây căng.

$$\sigma = -\frac{n_1 T + T_1}{F_d} \leq mR_a \quad (18)$$

Trong đó:

n₁ là hệ số vượt tải của lực căng T, (trường hợp này lấy n₁ = 1,1).

R_a, F_d là cường độ và diện tích tiết diện của thép làm dây căng.

Lực T₁ được xác định bằng phương pháp lực trong [4] theo công thức.

$$T_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}} = \frac{\int_a^{l-a} \frac{\overline{M}_1 M}{E.I} dx}{\int_a^{l-a} \frac{\overline{M}_1^2}{E.I} dx + \frac{l-2a}{EF} + \frac{l-2a}{E_d F_d}} \quad (19)$$

Trong đó:

\overline{M}_1 là momen do lực T=1 gây ra trong hệ cơ bản.

E, E_d là modun đàn hồi của thép làm dầm và dây căng.

l là khoảng cách giữa 2 ụ neo cáp.

a là khoảng cách giữa ụ neo và ụ chuyển hướng.

3.2. Tính toán các mắt mắt ứng suất trong cáp

- Mắt mắt ứng suất do tự chùng cốt thép.

Nếu ứng suất kiểm tra $s_{KT} \geq 0,5.R^{tc}_d$ (trong đó R^{tc}_d là cường độ tiêu chuẩn của cáp).

$$\sigma_c = \left(0,27 \frac{\sigma_d}{R^{tc}_d} - 0,1 \right) \sigma_d \quad (20)$$

- Mắt mắt ứng suất do ma sát giữa cáp với thành ống.

Mắt mắt này được xét đến do các góc cong tại các điểm chuyển hướng trong trường hợp căng kéo cốt thép theo dạng gãy khúc.

$$\sigma_{ms} = \frac{\mu \Delta T}{F_d} \quad (21)$$

Trong đó:

DT là phân lực do lực căng T gây ra tại các điểm chuyển hướng.

m là hệ số ma sát giữa cáp với ụ chuyển hướng (m = 0,3).

F_d là diện tích cốt thép cường độ cao.

3.3. Tính toán ổn định và dao động của kết cấu

- Điều kiện ổn định của dầm (xét cho cánh chịu nén):

$$\sigma_{od} = -\frac{n_1 T + T_1}{F} + \frac{(n_1 T + T_1)e}{W_{ng}} - \frac{M}{W_{ng}} \leq \varphi.R_o \quad (22)$$

Trong đó:

W_{ng} là momen kháng uốn tiết diện nguyên của dầm, lấy đối với biên chịu nén.

j, R_o là hệ số uốn dọc và cường độ chịu nén dọc trục của thép làm dầm.

Ngoài ra có thể tham khảo tính toán ổn định theo công thức (8.4) trong [7].

- Chu kỳ dao động trong cáp được xác định như sau:

$$T_d = 2l_d \sqrt{\frac{\rho}{g\sigma}} \quad (23)$$

Trong đó:

s, r là ứng suất kéo và trọng lượng riêng của cáp.

g, l_d là gia tốc trọng trường và chiều dài cáp giữa hai điểm cố định.

Chu kỳ dao động riêng lớn nhất của dầm chịu tải trọng phân bố đều.

$$T_{\max} = \frac{2l^2}{\pi} \sqrt{\frac{q}{gEI}} \quad (24)$$

Trong đó:

l là chiều dài tính toán của kết cấu nhịp.

q là tải trọng phân bố đều trên chiều dài dầm.

E, I là môđun đàn hồi và momen quán tính của dầm thép.

3.4. Tính toán liên kết bulông cường độ cao trong các ụ neo, ụ chuyển hướng, kiểm tra nứt của bản mặt cầu trong quá trình căng kéo

Do cấu tạo ụ neo và ụ chuyển hướng liên kết vào dầm chủ bằng bu lông cường độ cao, lực ma sát giữa các bản thép hoàn toàn tiếp nhận lực trượt do ngoại lực gây nên, bulông lúc này chỉ chịu kéo do sự xiết chặt đầu đai ốc, phương pháp tính toán được giới thiệu trong [3].

Trong quá trình căng kéo xem bê tông làm việc trong giai đoạn đàn hồi, cần xác định các ứng suất phát sinh mép trên bê tông và trong hàng cốt thép ngoài cùng của bản, để đảm bảo ứng suất kéo không vượt quá ứng suất kéo cho

phép của bê tông để có thể dùng các biện pháp xử lý khi xác định chiều rộng vết nứt, tính toán độ mở rộng vết nứt được giới thiệu trong [6].

4. VÍ DỤ ÁP DỤNG

Các số liệu tính toán được tham khảo trong [9], nhịp giản đơn với chiều dài tính toán 17.7m, gồm 5 dầm thép chữ I có chiều cao mỗi dầm là 71cm, dầm hàn được ghép từ 2 bản cánh trên và cánh dưới có kích thước 30 x 3cm, liên kết với sườn dầm có kích thước 67 x 2cm, dầm thép liên hợp bản bê tông cốt thép có chiều dày 18cm, chiều rộng phần xe chạy 7,56m. Thép làm dầm là thép hợp kim thấp, bê tông bản có mác 300. Với kết cấu hiện đang sử dụng, kiểm tra với tải trọng theo qui trình 22TCN18-79 và 22TCN 243 – 98.

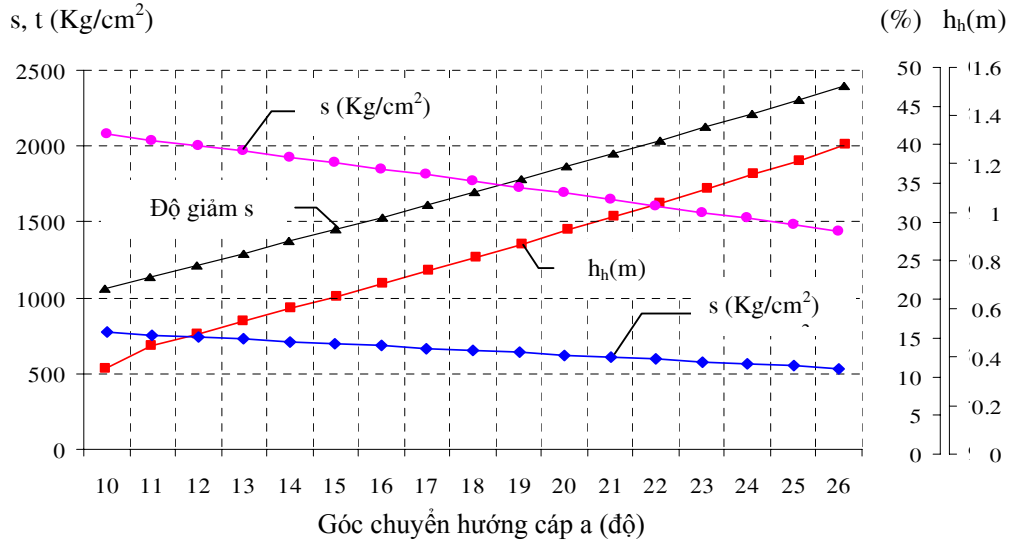
Biện pháp tăng cường nhằm tăng khả năng chịu uốn của mặt cắt giữa nhịp, dùng cáp cường độ cao căng theo phương dọc đối xứng qua mặt cắt tim dầm, mỗi bên gồm 2 tao cáp loại 12,7mm theo tiêu chuẩn ASTM A416, lực căng trong mỗi tao là 12T, góc chuyển hướng ban đầu được chọn là $16^{\circ}30'$, chiều cao ụ chuyển hướng 70cm theo sơ đồ (Hình 1).

Kết quả tính toán được trình bày trong [8], bảng 1 giới thiệu các giá trị sau khi tăng cường tại mặt cắt giữa nhịp.

Bảng 1

Mặt cắt	s_{bm} (Kg/cm ²)	s_b (Kg/cm ²)	s_{tr}^T (Kg/cm ²)	s_d^T (Kg/cm ²)
1/2L	-106.82	-79.60	-991.48	1836.89
Mức độ tăng khả năng chịu tải (%)				
Mặt cắt	s_{bm} (%)	s_b (%)	s_{tr}^T (%)	s_d^T (%)
1/2L	40.59	40.59	11.27	31.43

Bằng phương pháp tính lập và đúng đắn với các giá trị góc chuyển hướng cáp thay đổi ta có thể lập được đồ thị quan hệ giữa các giá trị như sau:



Đồ thị quan hệ giữa góc a - ứng suất s, t (sau khi tăng cường)- mức độ giảm ứng suất (%) - chiều cao u chuyển hướng h_h , tương ứng với $L_{tt} = 17,7m$.

5. KẾT LUẬN

5.1. Từ các giá trị tính toán có thể rút ra các số liệu tham khảo về cấu tạo bố trí cáp tăng cường cho dầm thép trong trường hợp này như sau:

Gọi X là khoảng cách từ đầu dầm đến u chuyển hướng.

a là góc giữa dây căng và hình chiếu của nó trên mặt phẳng nằm ngang.

L chiều dài của dầm giản đơn.

$$\Rightarrow \begin{aligned} 0,25L \leq X \leq 0,33L \\ 14^\circ \leq a \leq 21^\circ \quad L \leq 20m. \end{aligned}$$

5.2. Áp dụng tính toán tăng cường theo các bước như trên, ta cũng có thể dùng phương pháp thử dần khi biết được tải trọng cần tăng thêm cho kết cấu, bằng cách thay đổi cấu tạo hệ thống dây căng cũng như thành phần lực T cần thiết để tăng cường cho kết cấu.

Với các sơ đồ dây căng tăng cường ứng với kết cấu nhịp dầm thép có dạng cấu tạo khác nhau sẽ được trình bày trong các bài viết tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quy Trình Kiểm Định Cầu 22TCN 243 – 98.
2. Quy Trình Thiết Kế Cầu Công Theo Trạng Thái Giới Hạn – 22TCN 18-79 – Bộ Giao Thông Vận Tải.
3. B.M VeinBlat – Bulông Cường Độ Cao Trong Kết Cấu Cầu – NXB Giao Thông Vận Tải – Hà Nội 1985.
4. Nguyễn Xuân Bích – Sửa Chữa và Gia Cố Công Trình Xây Dựng – NXB Khoa Học Kỹ Thuật – Hà Nội 1995.
5. Lê Văn Kiểm – Hư Hỏng, Sửa Chữa, Gia Cường Công Trình – NXB Đại Học Quốc Gia TPHCM 2004.
6. Đào Bá Thực – Kết Cấu Bê Tông Cốt Thép - NXB Giao Thông Vận Tải – Hà Nội 1998.
7. Vương Hách – Sổ Tay Xử Lý Sự Cố Công Trình Xây Dựng – NXB Xây Dựng.
8. Trần Nhật Lâm – Nghiên Cứu Các Dạng Hư Hỏng và Gia Cường Bằng Phương Pháp Tạo Ứng Suất Sau Trong Kết Cấu Nhịp Cầu Thép Trên Đường Ô tô – Luận Văn Thạc Sĩ – Tp. HCM 2005.
9. Strengthening of Bridges Using External Post – Tensioning – Overseas Centre – Transpost Research Laboratory United Kingdom (Report 1997).