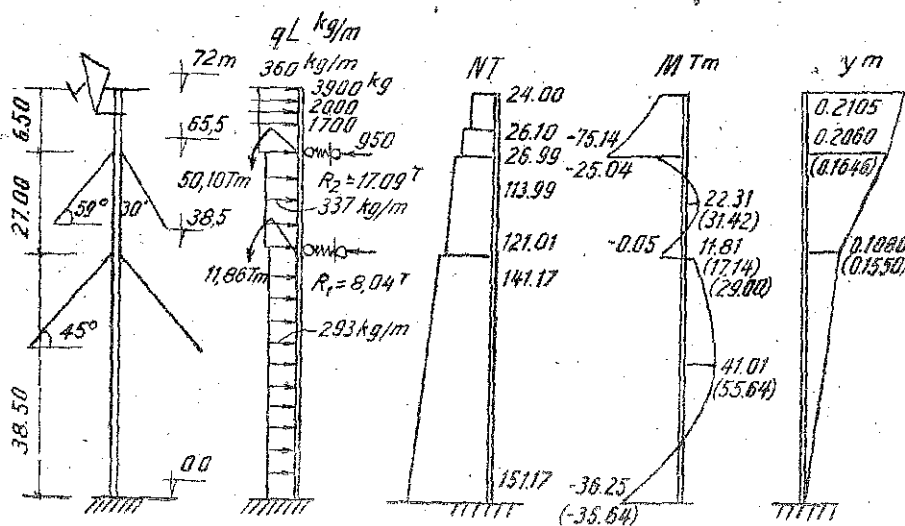


THIẾT KẾ KẾT CẤU HỢP LÝ CỘT TRỤ CÓ DÂY NEO ỨNG SUẤT TRƯỚC

ĐẶNG BÌNH LỘC

§1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trụ là kết cấu chịu tải trọng ngang rất lớn được sử dụng rộng rãi trên thế giới và trong nước cho ngành truyền thanh và truyền hình (hình 1).



Hình 1

Nội dung bài toán thiết kế trụ là giải một hệ phương trình phi tuyến:

- Phương trình tìm mômen gối tựa đàn hồi:

$$a_i M_{i-1} + (b_i + b_{i+1}) M_i + a_{i+1} M_{i+1} + \frac{6}{l_i} y_{i-1} + \left(b_i \varepsilon_i v_i - \frac{6}{l_i} - \frac{6}{l_{i-1}} \right) y_i + \left(a_{i+1} \varepsilon_{i+1} v_{i+1} + \frac{6}{l_{i+1}} \right) y_{i+1} = - (C_i q_i l_i^2 + C_{i+1} q_{i+1} l_{i+1}^2) / 4. \quad (1.1)$$

- Phương trình tìm phân lực gối tựa

$$- \frac{M_{i-1}}{l_i} + \left(\frac{1}{l_i} + \frac{1}{l_{i+1}} \right) M_i - \frac{M_{i+1}}{l_{i+1}} + \frac{N_i}{l_i} y_{i-1} + \left(v_i + \frac{\varepsilon_i v_i}{l_i} - \frac{N_i}{l_i} - \frac{N_{i+1}}{l_{i+1}} \right) y_i - \left(\frac{\varepsilon_{i+1} v_{i+1}}{l_{i+1}} - \frac{N_{i+1}}{l_{i+1}} \right) y_{i+1} = R_i \quad (1.2)$$

— Phương trình tìm chuyển vị và ứng suất của dây neo thuộc tầng thứ i

$$\sum_{k=1}^m v_k = 0, \quad (1.3)$$

$$R_i \cos \varphi - F_{di} \cos \alpha_i \sum_{k=1}^m \sigma_k \cos \varphi_k = 0, \quad (1.4)$$

$$- R_i \sin \varphi + F_{di} \cos \alpha_i \sum_{k=1}^m \sigma_k \sin \varphi_k = 0 \quad (1.5)$$

Để giải hệ phương trình trên, người thiết kế phải

— Giả định trước một số số liệu :

- n — số lượng tầng neo
- m — số lượng dây neo ở mỗi tầng neo
- a — cạnh tiết diện thân trụ
- l_i — chiều dài nhịp trụ
- α_i — góc của dây neo tầng i so với phương nằm ngang
- φ — góc của phương tải trọng gió so với trục chuẩn Oy
- φ_k — góc của dây neo thứ k tầng i so với trục Oy
- ε_i — độ lệch tâm thẳng đứng do dây neo liên kết lệch tâm
- a_i, b_i, c_i — các hệ số xét đến ảnh hưởng của lực dọc (xem [1])
- q_i — tải trọng gió trên nhịp trụ thứ i
- F_i — diện tích tiết diện thân trụ
- F_{di} — diện tích tiết diện dây neo
- σ_{oi} — ứng suất trước trong dây neo

— Các ẩn số phải tìm là

- M_i — mômen uốn tại gối tựa thứ i
- y_i — chuyển vị tại gối tựa đàn hồi thứ i
- R_i — phản lực tại gối tựa thứ i
- v_k — chuyển vị của mắt neo
- σ_k — ứng suất trong dây neo

— Thông số xác định đúng dần :

N_i — lực dọc trong thân trụ

$$N_i = \sum G + \sum_{i=1}^n g/l_i + \sum_{k=1}^m \sigma_k F_{di} \sin \alpha_i \quad (1.6)$$

trong đó :

- $\sum G$ — tổng trọng lượng các thiết bị trên thân trụ
- g — trọng lượng đơn vị thân trụ

— Khi giải hệ phương trình phi tuyến, để sơ đồ tính phù hợp với sự làm việc thật của trụ, ta có điều kiện $y_i = v_k$. Do đó, cần dùng phương pháp tính lặp đúng dần để tìm hệ số độ cứng của gối tựa

$$v_i = \frac{R_i}{y_i} \quad (1.7)$$

Thoạt đầu, xem thân trụ làm việc như dầm liên tục trên các gối tựa cứng; thiết kế sơ bộ được R_i . Biết R_i giải hệ phương trình (1.3), (1.4), (1.5), được v_k và σ_k , từ đó tìm được v_i . Giải hệ phương trình (1.1) và (1.2) ở giai đoạn thiết kế kết thúc và tính lập hệ số v_i , được M_i , R_i , y_i . Trong giai đoạn kết thúc, xem thân trụ như dầm liên tục đặt trên các gối tựa đàn hồi.

Kết quả tính thường quá an toàn hoặc không bền, ổn định và biến dạng quá lớn. Nguyên nhân là các số liệu giả định ban đầu thường chưa được hợp lý.

Gần đây, các phương pháp thiết kế hiện đại phát triển là vận dụng lý thuyết toán điều khiển, toán quy hoạch và điều chỉnh nội lực trong kết cấu ngay trong giai đoạn thiết kế. Nhiều tác giả đã nghiên cứu ứng dụng khi thiết kế dầm siêu tĩnh, dầm, hệ dầm cằng... như I.M. Rabinovich; K. M. Khubérian; K.G. Prótaxóp, I.U.A. Kátxic, AI. Vinôgrat đốp; A. A. Chiras, V. V. Trôphimovich [2]

Ở bài báo này, tác giả đề cập đến việc sử dụng Toán quy hoạch tuyến tính và điều khiển ứng suất trước trong dầm neo để phân bố lại nội lực trong thân trụ, chuyển vị mất neo làm cho giá thành toàn trụ giảm hơn so với giá thành của phương án thiết kế cũ.

§ 2. CƠ SỞ THIẾT LẬP BÀI TOÁN

2.1. Tác giả vẫn sử dụng các giả thiết cơ bản cũ:

- Thân trụ có tiết diện không đổi
- Tải trọng gió trong từng nhịp trụ không đổi
- Bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt
- Các tầng neo xem như độc lập với nhau

2.2. Diện tích tiết diện thân trụ F_i trong hàm mục tiêu (2.2) được tính theo công thức của Iaxinski

$$F_i = \frac{M_i}{\rho R} + \frac{N_i}{\varphi R} \quad (2.1)$$

trong đó:

- R - cường độ tính toán của vật liệu làm thân trụ
- φ - hệ số uốn dọc
- $\rho = W/F$ - bán kính lõi của tiết diện thân trụ

Vì các số liệu chọn ban đầu đã tương đối hợp lý ngay khi thiết kế sơ bộ nên khi thiết kế kết thúc trị số ρ và φ ít thay đổi, không ảnh hưởng đến kết quả tính [2]. Vậy ρ , φ , R xem là hằng số.

2.3. Hệ số độ cứng gối tựa v_i trong phương trình (1.1) và (1.2) là hàm phi tuyến với ứng suất trước σ_{oi} [1] cho nên tác giả điều chỉnh lại σ_{oi} cho hợp lý thì sẽ phân bố lại được nội lực M_i và chuyển vị y_i .

2.4. Hàm mục tiêu:

Ở giai đoạn thiết kế kết thúc, lấy giá thành vật liệu thân trụ là hàm mục tiêu:

$$C = \sum_{i=1}^n F_i \cdot \psi \cdot \gamma \cdot e \cdot l_i \quad (2.2)$$

- ψ - hệ số kết cấu
- γ - trọng lượng riêng
- e - giá thành đơn vị trọng lượng
- l_i - chiều dài nhịp trụ thứ i
- n - số lượng tầng neo

Vì diện tích thân trụ không đổi nên chọn trong các F_k một F_k có giá trị dương lớn nhất để tính:

$$C = E_k \cdot \psi \cdot \gamma \cdot e \cdot \sum_{i=1}^n l_i \quad (2.3)$$

Làm cực tiểu hàm mục tiêu tuyến tính (2.3) theo F_k

2.5. Hàm ràng buộc

- Điều kiện bền và ổn định

$$F_i \geq \frac{M_i}{\rho R} + \frac{N_i}{\varphi R} \quad (2.4)$$

- Điều kiện chuyển vị:

$$y_i \geq 0 \quad (2.5)$$

$$y_i \leq \frac{h_i}{100} \quad (2.6)$$

h_i - độ cao của tầng neo thứ i

- Điều kiện cấu tạo:

$$F_i \geq 0 \quad (2.7)$$

Nếu F_k là diện tích được chọn làm hàm mục tiêu vì có giá trị dương lớn nhất, thì các diện tích còn lại F_j ($j = 1, \dots, n$) và $j \neq k$, phải thỏa mãn điều kiện:

$$F_k - F_j \geq 0 \quad (2.8)$$

Để bảo đảm tính chất hợp lý thì F_i tìm được sau phải nhỏ hơn diện tích tiết diện thân trụ đã chọn ở giai đoạn thiết kế sơ bộ là F_c :

$$F_c - F_k \geq 0 \quad (2.9)$$

Ngoài ra, do suy luận của người thiết kế và căn cứ vào biểu đồ mômen uốn, chuyển vị, người thiết kế cũng định trước xu hướng của phương án hợp lý sẽ có mômen nhịp và mômen gối là có giá trị dương hoặc âm.

Thí dụ:

$$M_i^a \geq 0 \quad (2.10)$$

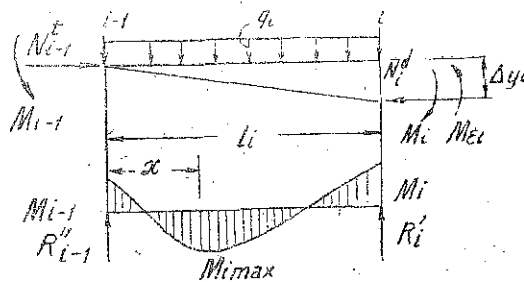
$$M_i^s \leq 0 \quad (2.11)$$

Làm như vậy, miền ràng buộc thu hẹp, số biến giảm rõ rệt, phương án hợp lý sẽ xác định dễ hơn.

§ 3. BÀI TOÁN THIẾT KẾ HỢP LÝ TRỤ

3.1. Xác định các thông số hợp lý:

Ở giai đoạn thiết kế sơ bộ xem thân trụ làm việc trên gối cứng chịu nén uốn, có ứng suất đều tại các tiết diện thì xác định được chiều dài nhịp trụ hợp lý l_i . Xác định số lượng tầng neo n , góc của dây neo α_i , phản lực của gối cứng R_i , trên cơ sở giá thành vật liệu làm thân trụ và dây neo nhỏ nhất. Từ đó tìm được diện tích tiết diện thân trụ F_i , tiết diện dây neo F_{di} tương đối hợp lý. Chuyển sang giai đoạn xem thân trụ trên gối đàn hồi. Giả thiết độ chênh lệch ứng suất của dây neo đón gió và



Hình 2

trước gối là $\Delta\sigma_k$ và ứng suất trước trong dây neo là σ_{0i} . Giải hệ phương trình (1.1) đến (1.5) được biểu đồ nội lực M_i , N_i và chuyển vị y_i . Các số liệu F_i , F_{0i} , M_i , N_i , y_i mới chỉ là tương đối hợp lý vì còn xem thân trụ như có gối cứng và giả thiết số liệu σ_{0i} chưa chắc đã tối ưu.

3.2. Thiết kế điều chỉnh hợp lý hơn

a) Phân tích một nhịp trụ như ở hình 2

$$\Sigma M_i = 0 \text{ được } R_{i-1}''$$

$$\Sigma Q = 0 \text{ được } R_i'$$

Vị trí có M_{\max} là:
$$x = \frac{R_{i-1}''}{q_i}$$

Phân lực gối tựa i:
$$R_i = R_i'' + R_i'$$

Tính N_i^t và N_i^d : lực dọc trên và dưới mắt neo thứ i theo (1.6).

Tính $M_{\epsilon i} = R_i \cdot \epsilon_i$: mômen uốn lệch tâm

b) Viết phương trình mômen gối và nhịp theo ẩn số Δy_i với

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1} \quad (3.1)$$

ta có:

$$M_{i-1} = -M_{\epsilon i} + M_i - R_i' l_i + q_i \frac{l_i^2}{2} + N_i^d \Delta y_i + g l_i \frac{\Delta y_i}{2} \quad (3.2)$$

$$M_{i\max} = M_{\epsilon i} - M_i + R_i'(l_i - x) - N_i^d \frac{\Delta y_i}{l_i} (l_i - x) - q_i \frac{(l_i - x)^2}{2} - g(l_i - x)^2 \frac{\Delta y_i}{2l_i} \quad (3.3)$$

c) Viết phương trình diện tích tiết diện thân trụ theo ẩn số Δy_i

$$F_{i-1}^{\epsilon} = \frac{M_{i-1}}{\rho R} + \frac{N_{i-1}^d}{\phi R} \quad (3.4)$$

$$F_i^n = \frac{M_{i\max}}{\rho R} + \frac{N_i^d}{\phi R} \quad (3.5)$$

d) Phân tích các hàm F_i tính theo (3.4) và (3.5).

Chọn hàm F_k nào có giá trị dương lớn nhất thay vào biểu thức (2.3) và chọn làm hàm mục tiêu tuyến tính theo Δy_i .

e) Viết các hàm ràng buộc là các bất đẳng thức (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9)... theo ẩn số Δy_i .

f) Giải bài toán quy hoạch tuyến tính và làm cực tiểu hóa biểu thức (2.3) thỏa mãn các điều kiện ràng buộc (2.4), (2.5)... Dùng phương pháp đơn hình nếu có nhiều ẩn số. Dùng phương pháp hình học nếu có hai ẩn số. Kết quả được Δy_i .

g) Tìm lại giá trị các mômen theo (3.2) và (3.3), phân lực R_i , diện tích thân trụ theo (3.4) hoặc (3.5).

Tính lại bán kính lõi $\rho = W/F_i$. Nếu ρ khác ít hơn so với thiết kế cũ thì không phải tính lại.

h) Tính lại dây neo: Với các số liệu hợp lý đã tìm được là y_i theo (3.1) và phân lực R_i . Giải lại hệ phương trình (1.3), (1.4), (1.5) tìm σ_{0i} hợp lý và ứng suất trong dây neo σ_k . Trong nhiều trường hợp không cần giữ nguyên F_{0i} cũ, mà khi tìm lại σ_{0i} , có thể giảm F_{0i} để hạ giá thành toàn trụ vì có y_i và R_i hợp lý hơn trước.

i) Tính lại lực dọc trong thân trụ theo (1.6)

j) Kiểm tra bền và ổn định

$$\sigma_i = \frac{M_i}{\rho F_i} + \frac{N_i}{\phi F_i} \leq R \quad (3.6)$$

§ 4. THÍ DỤ

Thiết kế kết cấu trụ ãng ten như ở hình 1.

Thiết kế các thông số hợp lý:

Kết quả tìm được là:

Thân trụ: $F_1 = 4.31,2 = 124,8 \text{ cm}^2$, $g = 0,26 \text{ t/m}$, $W_x = 9910 \text{ cm}^3$, $M_1^g = 35,54 \text{ tm}$,
 $M_1^n = 55,64 \text{ tm}$, $M_1^g = 29 \text{ tm}$, $M_2^n = 31,4 \text{ tm}$, $M_2^g = 25,04 \text{ tm}$, $M_{E1} = 11,86 \text{ tm}$, $M_{E2} = 50,10 \text{ tm}$;
 $N^o = 148,11 \text{ t}$, $N_1^g = 126,40 \text{ t}$, $N_1^n = 138,11 \text{ t}$, $N_2^g = 118,99 \text{ t}$, $N_1 = 142,13 \text{ t}$, $N_2 = 133,69 \text{ t}$;
 $R_o = 6,74 \text{ t}$, $R_1 = 4,54 \text{ t}$, $R_1' = 6,1 \text{ t}$.

Dây neo:

tầng 1: $F_{d1} = 2,9 \text{ cm}^2$, $\sigma_{oi} = 0,85 \text{ t/cm}^2$, $y_1 = 15,50 \text{ cm}$.
 tầng 2: $F_{d2} = 10,7 \text{ cm}^2$, $\sigma_{o2} = 2,5 \text{ t/cm}^2$, $y_2 = 16,46 \text{ cm}$.

Kiểm tra bền:

$$\sigma_1^n = \frac{5564000}{9910} + \frac{142130}{0,965 \cdot 124,8} = 1767 \text{ KG/cm}^2 > R = 1600 \text{ KG/cm}^2$$

σ_{oi} chọn sơ bộ chưa hợp lý, cần điều chỉnh lại

Thiết kế điều chỉnh hợp lý hơn:

Viết phương trình mômen (3.2) và (3.3):

$$M_1^g = 11,98 - 122,68 \Delta y_2, \quad M_2^g = -8,74 - 143,31 y_1 - 122,6 \Delta y_2$$

$$M_1^n = 59,04 - 55,17 y_1 - 122,6 \Delta y_2, \quad M_2^n = 30,25 - 81,14 \Delta y_2$$

Viết phương trình diện tích (3.4), (3.5):

$$F_o^g = 0,0092775 + 0,0099521 y_1 + 0,0085201 \Delta y_2$$

$$F_1^n = 0,0072467 + 0,008520 \Delta y_2$$

$$F_2^g = 0,00874 \text{ m}^2$$

$$F_1^g = 0,012433 - 0,0038125 y_1 - 0,0085201 \Delta y_2$$

$$F_2^n = 0,0093537 - 0,0056347 \Delta y_2$$

Phân tích thấy F_1^n là lớn nhất khi $0 \leq y_1 \leq 0,229 \text{ m}$ và $0 \leq \Delta y_2 \leq 0,185 \text{ m}$. Chọn

F_1^n là hàm mục tiêu:

$$F_1^n = 0,012433 - 0,00383125 y_1 - 0,0085201 \Delta y_2$$

Các hàm ràng buộc:

$$F_o^g \geq 0, \quad F_1^g \geq 0, \quad F_2^g \geq 0, \quad F_1^n \geq 0, \quad F_2^n \geq 0, \quad y_1 \geq 0, \quad \Delta y_2 \geq 0;$$

$$y_1 \leq h_1/100 = 38,5 \text{ cm}, \quad y_2 \leq h_2/100 = 65,5 \text{ cm};$$

$$F_1^n - F_2^g \geq 0 \quad \text{hay} \quad 0,003156 - 0,013783 y_1 - 0,01740 \Delta y_2 \geq 0,$$

$$F_1^n - F_1^g \geq 0 \quad \text{hay} \quad 0,005186 - 0,003183 y_1 - 0,01704 \Delta y_2 \geq 0,$$

$$F_1^n - F_2^g \geq 0 \quad \text{hay} \quad 0,003693 - 0,003831 y_1 - 0,008520 \Delta y_2 \geq 0,$$

$$F_1^n - F_2^n \geq 0 \quad \text{hay} \quad 0,003077 - 0,0038312 y_1 - 0,002885 \Delta y_2 \geq 0;$$

$$M_1^n \geq 0, \quad M_2^n \geq 0, \quad M_1^g \leq 0, \quad M_2^g \leq 0.$$

Giải bài toán theo phương pháp hình học, được:

$$y_1 = 0,108 \text{ m}, \quad \Delta y_2 = 0,098 \text{ m} \quad \text{hay} \quad y_2 = 0,206 \text{ m};$$

$$M_1^E = -0,05 \text{ tm}, \quad M_2^E = -36,25 \text{ tm}, \quad M_1^H = 41,01 \text{ tm}, \quad M_2^H = 22,31 \text{ tm};$$

$$R_0 = 6,29 \text{ t}, \quad R_1 = 8,04 \text{ t}, \quad R_2 = 17,09 \text{ t}$$

Giải hệ phương trình (1.3), (1.4), (1.5) tìm lại được:

Dây neo tầng 1:

$$\sigma_0 = 2,44 \text{ t/cm}^2, \quad \sigma_1 = 4,18 \text{ t/cm}^2, \quad \sigma_3 = 0,468 \text{ t/cm}^2;$$

$$y_1 = 10,8 \text{ cm}, \quad F_{d1} = 2,9 \text{ cm}^2, \quad \Delta \sigma_1 = 3,92 \text{ t/cm}^2.$$

Dây neo tầng 2:

$$\sigma_0 = 2,7 \text{ t/cm}^2, \quad \sigma_1 = 4,64 \text{ t/cm}^2, \quad \sigma_3 = 1,13 \text{ t/cm}^2;$$

$$y_2 = 20,6 \text{ cm}, \quad F_{d2} = 9,40 \text{ cm}^2, \quad \Delta \sigma_2 = 3,55 \text{ t/cm}^2.$$

Tìm lại lực dọc (1.6)

$$N_2^1 = 26,99 \text{ t}, \quad N_2^d = 113,99 \text{ t}, \quad N_2 = 117,50 \text{ t}, \quad N_1 = 146,17 \text{ t},$$

$$N_1^1 = 121,01 \text{ t}, \quad N_1^d = 141,17 \text{ t}, \quad N_0 = 151,17 \text{ t}.$$

Tìm lại diện tích thân trụ (3.5) được $F_1^H = 123 \text{ cm}^2$, vẫn chọn như thiết kế trước
 $F_1 = 4 \cdot 31,2 = 124,8 \text{ cm}^2$ nhưng kiểm tra bền đạt yêu cầu:

$$\sigma_1^n = \frac{4101000}{9910} + \frac{146170}{0,965 \cdot 124,8} \approx R = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

Như vậy, điều chỉnh lại ứng suất trước trong dây neo vẫn giữ được diện tích hợp lý của thân trụ như ở thiết kế cũ, lại giảm được diện tích tiết diện dây neo. Trọng lượng giảm được

$$\frac{10,7 - 9,4}{10,7} \cdot 100 = 12 \%$$

Nhận ngày 20/1/1983

Địa chỉ:
Đại học tại chức HN

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. САВИЦКИЙ Г. А. Основы проектирования антенных конструкций «Связь», М., 1973.
2. ТРОФИМОВИЧ В. В., ПЕРМЯНОВ В. А. Оптимальное проектирование металлических конструкций. «Будивельник», Киев, 1981.
3. ТРОФИМОВИЧ В. В., ПЕРМЯНОВ В. А. Проектирование предварительно напряжённых вантовых систем. «Будивельник», Киев, 1970.

SUMMARY

OPTIMAL DESIGN OF MAST SUPPORTED ON PRESTRESSED ANCHORTIES

In this paper, the author uses the method of mathematical programming for the optimal design of a mast with prestressed anchorties. The objective function is the minimum cost or material volume of the whole post and ties. The restrictions are mechanical and technical requirements such as the conditions of strength and stability, the deflections of anchored knots. By applying the design method for a direct problem, the author has found out the efficient prestress in the ties, without any previous suppositions of theses their volume, as commonly resolved. This optimal design would save 12% of the mast weight in comparison with other design.