

MỘT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU DÀN HỢP LÝ THEO ĐỘ TIN CẬY CHO TRƯỚC VỚI RÀNG BUỘC TIÊU CHÍ KINH TẾ

ThS. NGUYỄN TRỌNG HÀ
Trường Đại học Vinh

Tóm tắt: Trong thực tế thiết kế kết cấu theo độ tin cậy cho trước với ràng buộc tiêu chí kinh tế là điều mà người thiết kế quan tâm song vẫn chưa được nghiên cứu nhiều. Bài báo trình bày một phương pháp thiết kế hợp lý theo độ tin cậy dựa vào tiêu chí kinh tế sử dụng thuật toán tối ưu hóa đề xuất. Đối tượng nghiên cứu là kết cấu dàn thép tiết diện chữ L.

1. Mở đầu

Trong lịch sử tính toán, thiết kế kết cấu theo độ tin cậy, các kỹ sư, người thiết kế, nhà quản lý xây dựng luôn mong muốn tìm ra một phương án thiết kế kết cấu đạt độ tin cậy cao và giá thành của kết cấu phải thỏa mãn điều kiện hợp lý (thấp nhất có thể). Trong những năm gần đây đã có một số công trình nghiên cứu về vấn đề này như [1], [4],... Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ đề cập đến tối ưu hóa ràng buộc độ tin cậy hàm mục tiêu ở dạng giải tích và sử dụng các thuật toán quy hoạch toán học. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu một phương pháp thiết kế hợp lý giá thành nhưng vẫn đảm bảo an toàn về độ tin cậy cho trước và sử dụng thuật toán "Tìm kiếm ngẫu nhiên", một phương pháp chưa được sử dụng nhiều trong bài toán tối ưu hóa.

Trong thiết kế tối ưu có hai dạng hàm mục tiêu mà người thiết kế quan tâm:

Dạng 1: Nếu hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc là những biểu thức giải tích của các biến thiết kế, thì tùy theo dạng toán học của hàm mục tiêu và điều kiện ràng buộc của bài toán mà chọn chúng ta chọn một thuật toán quen thuộc về giải bài toán cực trị có điều kiện (quy hoạch toán học) [1], [2], [3].

Dạng 2: Là loại bài toán mà hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc không biểu diễn dưới dạng giải tích thì chúng ta không thể dùng được các thuật toán của quy hoạch toán học, mà người ta thường sử dụng các thuật toán "Tìm kiếm ngẫu nhiên", điển hình là phương pháp Monte Carlo [4], [5], [6].

Bài báo này tác giả thừa kế và phát triển phương pháp "Tìm kiếm ngẫu nhiên" trong [7] để thiết kế hợp

lý tiết diện thanh dàn có ràng buộc độ tin cậy cho trước.

2. Xây dựng bài toán an toàn hệ dàn theo quan điểm tần suất an toàn

2.1 Xây dựng bài toán độ tin cậy bằng phương pháp tần suất xuất hiện

Do yêu cầu của việc tính toán, thiết kế kết cấu theo tiêu chuẩn của hàm mục tiêu, kết quả đầu ra của việc phân tích có thể là: Chuyển vị, ứng suất, tải trọng giới hạn,... Do đó, khi đã có kết quả đầu ra (với mật độ xác suất đã biết) thì việc tính toán độ tin cậy (xác suất an toàn) theo quan điểm của định nghĩa xác suất theo [2]:

$$P_f = P(M < 0) \approx \frac{N_f}{N} \quad (1)$$

$$P_s = 1 - P_f \quad (2)$$

trong đó: N_f - số lần thực nghiệm mà $M < 0$; N - tổng lần thử.

2.2 An toàn theo độ tin cậy kết cấu dàn bằng phương pháp tần suất xuất hiện

Trong tính toán, thiết kế kết cấu dàn đối với các thanh chịu kéo ta có điều kiện bền theo tính toán tiền định [8...]:

$$\sigma_i \leq [\sigma] \quad (3)$$

trong đó: σ_i - ứng suất trong thanh kéo thứ i ; $[\sigma]$ - ứng suất cho phép của vật liệu chế tạo.

Ta có khoảng an toàn của phần tử thanh thứ i :

$$M_i = [\sigma] - \sigma_i = [\sigma] - \frac{N_i}{A_i} \quad (4)$$

trong đó: N_i - nội lực trong thanh thứ i , A_i - diện tích tiết diện thanh thứ i .

Do đó xác suất tin cậy của thanh chịu kéo thứ i theo điều kiện bền sẽ là:

$$P_{rob}(M_i > 0) = P_{rob}\left([\sigma] - \frac{N_i}{A_i} > 0\right) \quad (5)$$

trong đó: N_i - nội lực trong thanh thứ i , A_i - diện tích tiết diện thanh thứ i .

Đối với các thanh chịu nén bài toán được thiết lập trên cơ sở bài toán tiền định của Euler. Từ điều kiện ổn định của bài toán tiền định:

$$\sigma_{cr} \geq \sigma_i \text{ hay } \frac{\pi^2 EI}{A_i I_i^2} > \frac{N_i}{A_i} \text{ từ đó ta có khoảng an toàn}$$

của kết cấu chịu nén theo điều kiện Euler:

$$M_i = \sigma_{cr} - \sigma_i = \left(\frac{\pi^2 EI}{A_i I_i^2} - \frac{N_i}{A_i} \right) \quad (6)$$

Xác suất tin cậy theo điều kiện ổn định được xác định:

$$P_{rob}(\sigma_{cr} - \sigma_i > 0) = P_{rob} \left(\frac{\pi^2 EI}{A_i I_i^2} - \frac{N_i}{A_i} > 0 \right) \quad (7)$$

Độ cứng của hệ kết cấu được đặc trưng bởi yếu tố sau: Chuyển vị thẳng tại một điểm j bất kỳ theo phương k nào đó trong hệ Δ_{jk} phải nhỏ hơn giá trị chuyển vị thẳng cho phép theo phương đó $[\Delta_{jk}]$. Việc xác định chuyển vị nút j nào đó của hệ dàn được áp dụng theo công thức Maxwell – Mohr [5] và được xác định:

$$\Delta_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_{ik} \cdot N_{im}}{EA_i} \cdot l_i \leq [\Delta_{jk}] \quad (8)$$

Xác suất tin cậy theo điều kiện độ võng tổng thể:

$$P_s = P_{rob} \left([\Delta_{jk}] - \sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_{ik} \cdot N_{im}}{EA_i} \cdot l_i > 0 \right) \quad (9)$$

trong đó: Δ_{jk} - chuyển vị của nút j theo phương k ; \bar{N}_k - lực dọc đơn vị trong thanh thứ i do lực đơn vị đặt tại j gây ra. E, A_i, l_i - lần lượt là mô đun đàn hồi của vật liệu, diện tích mặt cắt ngang thanh thứ i và chiều dài của thanh thứ i .

Như vậy điều kiện an toàn của dàn phải thỏa mãn theo đẳng thức:

$$P_s = P_{rob} \left[\begin{array}{l} \frac{\pi^2 EI}{A_i I_i^2} - \frac{N_i}{A_i} > 0 \\ [\sigma] - \frac{N_i}{A_i} > 0 \\ [\Delta_{jk}] - \sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_{ik} \cdot N_{im}}{EA_i} \cdot l_i > 0 \end{array} \right] \approx \frac{N_f}{N} \quad (10)$$

trong đó: N_f - số lần thực nghiệm mà $M < 0$; N - tổng lần thử.

3. Phương pháp tính toán kỳ vọng giá thành

Việc tính toán kỳ vọng giá thành xuất phát từ việc các phương án thiết kế là tập hợp các giá trị rời rạc của các biến thiết kế tất định và ngẫu nhiên. Mỗi một

phương án thiết kế được xác định theo nguyên tắc sau đây:

Rời rạc hóa các biến thiết kế tất định với khoảng cách đều, tổ hợp các giá trị rời rạc này (gọi là TH1);

Rời rạc hóa các biến thiết kế ngẫu nhiên với khoảng cách đều, tổ hợp các giá trị rời rạc này (gọi là TH2).

Một phương án thiết kế (PATK) được xác định bằng một phương án trong TH1 và tất cả các phương án của TH2 là: $PATK = TH1 + \{TH2\}$.

Định mức đơn giá của kết cấu được xây dựng theo nguyên tắc.

$$\text{Định mức đơn giá (ĐG)} = \text{Giá vật liệu (GVL)} + \text{Giá nhân công (NC)} + \text{Máy thi công (MTC)}$$

(Định mức dự toán được xác định theo 1776)

Để xác định kỳ vọng giá thành cho một phương án thiết kế thì trước hết phải xác định giá thành cho mỗi tổ hợp của giá trị rời rạc. Giá thành này được xây dựng bằng trọng lượng của tổ hợp thiết kế nhân với định mức đơn giá và được xác định theo biểu thức:

$$C_{TH1}^i = G_{TH1}^i \cdot DG \quad (\text{đồng}) \quad (11)$$

trong đó: C_{TH1}^i và G_{TH1}^i - giá thành và khối lượng của kết cấu do TH1 tạo thành, DG - định mức đơn giá.

$$C_{TH2}^i = G_{TH2}^i \cdot DG \quad (\text{đồng}) \quad (12)$$

trong đó: C_{TH2}^i và G_{TH2}^i - giá thành và khối lượng của kết cấu do TH2 tạo thành, DG - định mức đơn giá.

Giá thành cho một phương án thiết kế (C_{PA}^i) được xác định là giá trị kỳ vọng của giá thành do TH1 và TH2 tạo nên một phương án thiết kế đã được định nghĩa ở trên theo biểu thức sau đây:

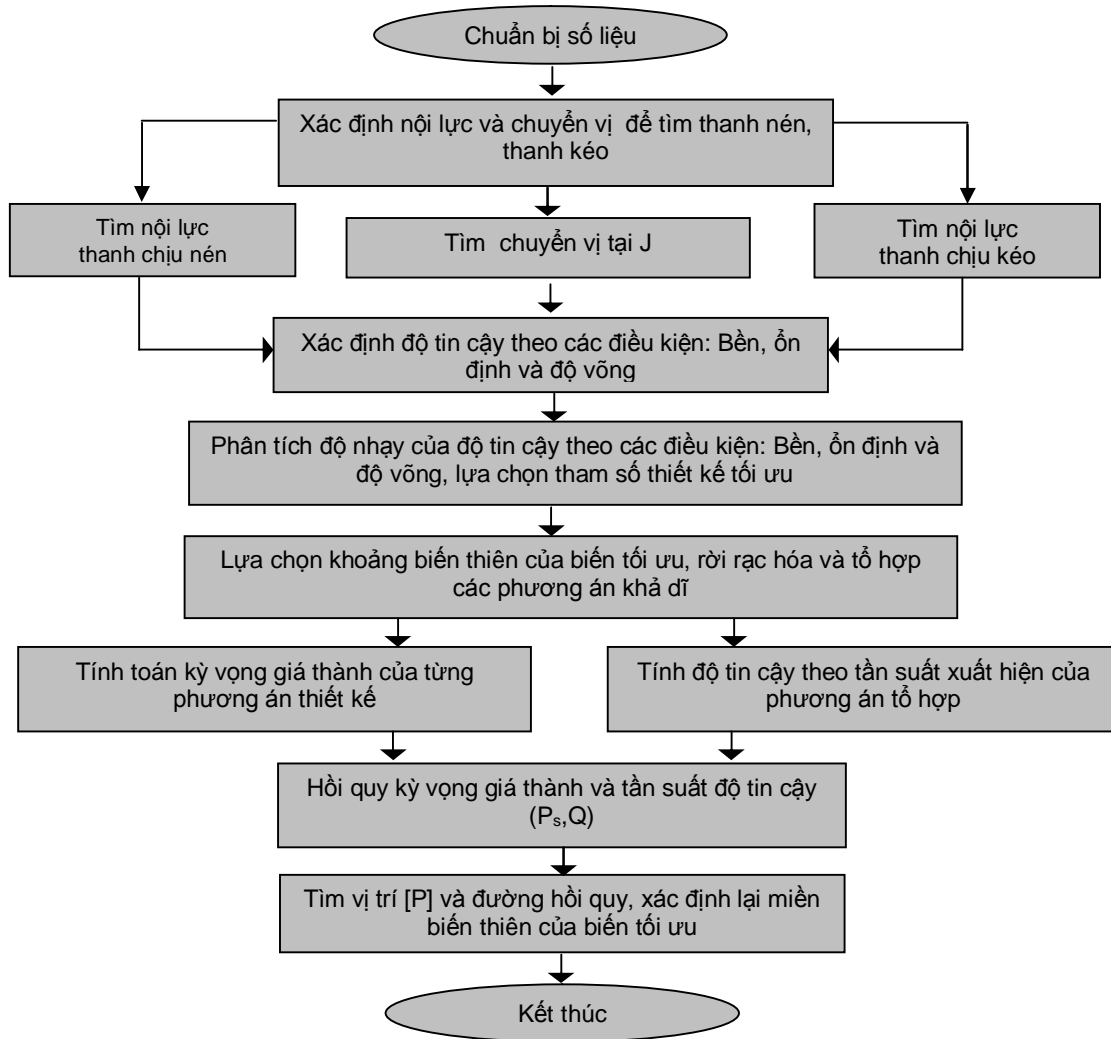
$$C_{PA}^i = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{TH1}^i + C_{TH2}^i)}{n} \quad (\text{đồng}) \quad (13)$$

trong đó: n - số tổ hợp giá trị rời rạc của biến ngẫu nhiên (TH2).

4. Tối ưu dàn thép theo tiêu chí giá thành với độ tin cậy cho trước

4.1 Sơ đồ khối thực hiện phương pháp

Từ phương pháp đề xuất ở trên ta lập sơ đồ tính toán của phương pháp như sau:



4.2 Tập hợp các biến thiết kế

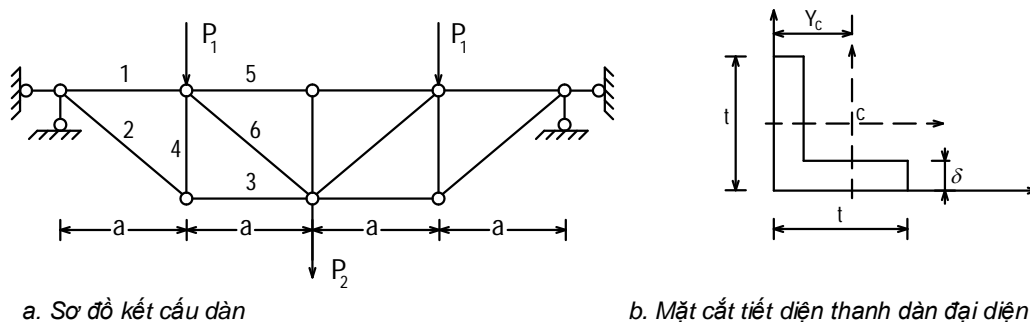
Tập hợp các biến thiết kế $\{x_i\} = \{E, f, P_1, P_2, a, t, \delta\}$ là tập hợp các biến ngẫu nhiên và tất định.

Gọi F_μ là tập hợp các biến thiết kế ngẫu nhiên: $F_\mu = \{E, f, P_1, P_2, a\}$ và độ lệch chuẩn của các biến là $F_k = \{\sigma_E, \sigma_f, \sigma_{P_1}, \sigma_{P_2}, \sigma_a\}$ lần lượt là mô đun đàn hồi, cường độ tính toán, tải trọng tập trung và kích thước của dốt dòn.

Gọi F_δ là tập hợp các biến thiết kế tất định: $F_\delta = \{t, \delta\}$ là biến cấu tạo tiết diện ngang (đây cũng là các biến tối ưu hóa).

5. Ví dụ áp dụng

Thiết kế hợp lý tiết diện dàn thép (hình 1) với các tham số đầu vào cho ở bảng 1:



Hình 1. Kết cấu dàn thép

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Bảng 1. Bảng tập hợp số liệu đầu vào của kết cấu dàn

STT	Tham số thiết kế	Ký hiệu	Độ lớn	Đơn vị	Độ lệch chuẩn
1	Mô đun đàn hồi	E	$2,1 \cdot 10^6$	daN/cm ²	$1,05 \cdot 10^5$
2	Cường độ tính toán	f	2100	daN/cm ²	105
3	Tải trọng tập trung 1	P_1	40.000	daN	8000
4	Tải trọng tập trung 2	P_2	5000	daN	1000
5	Kích thước đốt dàn	a	200	cm	0,4
6	Bề rộng cánh tiết diện	t	20	cm	-
7	Chiều dày tiết diện	δ	1,5	cm	-

Bảng 2. Kết quả phân tích độ nhạy của độ tin cậy các tham số thiết kế

$\{x\}$	$\partial P_s^b / \partial x_i$	$\partial P_s^{cr} / \partial x_i$	$\partial P_s^{bu} / \partial x_i$	$\partial P_s^A / \partial x_i$
t	1,30	1,45	1,36	2,05
δ	1,43	2,40	2,12	2,34
E	-	-	-	-
f	-	-	-	-
P_1	-	-	-	-
P_2	-	-	-	-
a	-	-	-	-

Tập hợp giá trị biến thiên của khoảng thiết kế $\{\bar{x}_i\}$ được tập hợp ở bảng 3.

Bảng 3. Bảng biến thiên của các tham số thiết kế

$\{x\}$	Giá trị tính toán	Đơn vị tính	Độ lệch chuẩn	Cận dưới	Cận trên
t	-	cm	-	10	20
δ	-	cm	-	0,50	2,5
E	2.1E6	daN/cm ²	1,05E5	1,995E6	2,205E6
f	2100	daN/cm ²	105	1995	2205
P_1	40.000	daN	8.000	32.000	48.000
P_2	5000	daN	1000	4000	6000
a	200	cm	0,4	199,6	200,4

Rời rạc hóa các biến thiết kế tất định với khoảng cách đều. Kết quả được thể hiện trong bảng 4, tổ hợp các giá trị rời rạc này (gọi là TH1) với số điểm rời rạc là 5 ta có: $5 \times 5 = 25$ (TH1).

Bảng 4. Bảng giá trị rời rạc của các biến tất định

STT	Tên biến	Điểm rời rạc	Đơn vị	Giá trị các điểm rời rạc
1	t	5	cm	$t^1 = 10,0; t^2 = 12,0; t^3 = 14,0; t^4 = 16,0; t^5 = 18,0; t^6 = 20,0$
2	δ	5	cm	$\delta^1 = 0,5; \delta^2 = 0,9; \delta^3 = 1,3; \delta^4 = 1,7; \delta^5 = 2,1; \delta^6 = 2,5$

Rời rạc hóa các biến thiết kế ngẫu nhiên với khoảng cách đều. Kết quả được thể hiện trong bảng 5, tổ hợp các giá trị rời rạc này (gọi là TH2) với số điểm rời rạc như bảng 5, ta có: $5 \times 4 \times 5 \times 5 \times 4 = 2000$ (TH2).

Bảng 5. Bảng giá trị rời rạc của biến ngẫu nhiên

STT	Tên biến	Điểm rời rạc	Đơn vị	Giá trị các điểm rời rạc
1	f	5	daN/cm ²	$f_1 = 1995; f_2 = 2037; f_3 = 2079; f_4 = 2121; f_5 = 2163; f_6 = 2205$
2	E	4	daN/cm ²	$E_1 = 1,995E6; E_2 = 2,048E6; E_3 = 2,10E6; E_4 = 2,153E6; E_5 = 2,205E6$
3	P_1	5	daN	$P_1^1 = 3,2e4; P_1^2 = 3,52e4; P_1^3 = 3,84e4; P_1^4 = 4,16e4; P_1^5 = 4,48e4; P_1^6 = 4,8e4$
4	P_2	5	daN	$P_2^1 = 4000; P_2^2 = 4400; P_2^3 = 4800; P_2^4 = 5200; P_2^5 = 5600; P_2^6 = 6000$
5	a	4	daN/cm	$a_1 = 199,6; a_2 = 199,8; a_3 = 200; a_4 = 200,2; a_5 = 200,4$

Từ yêu cầu của bài toán thiết kế hợp lý chi phí và độ tin cậy phải thỏa mãn sao cho $[P_s]=0,99$. Để chính xác nghiệm của bài toán từ điểm M là giao điểm của đường hồi quy và đường thẳng $[P_s]=0,99$, lấy bán kính $R=0,003$ ta xác định được tập hợp các điểm

nằm trong hình tròn tâm M bán kính R là tập các phương án thiết kế cho ta giá trị tin cậy trong khoảng $[P_s]-R \leq [P_s] \leq [P_s]+R$. Tập hợp các phương án thiết kế chính là khoảng thu gọn của miền biến thiên các tham số thiết kế tối ưu.

Bảng 6. Các phương án thỏa mãn điều kiện tối ưu

STT	Phương án thiết kế	Tần suất độ tin cậy	Giá thành phương án (đồng)
8	$t^3, \delta^2 + \{TH2\}$	0,9900551	11.683.940
19	$t^4, \delta^4 + \{TH2\}$	0,9942299	11.044.771
23	$t^3, \delta^5 + \{TH2\}$	0,9911825	9.576.617

Từ kết quả bảng 6, ta thấy phương án thiết kế đã được thu hẹp giá trị của phương án tiến hành chia nhỏ khoảng giá trị vừa tìm được ta sẽ tìm được phương án tối ưu thỏa mãn điều kiện yêu cầu của bài toán.

6. Kết luận

Tìm phương án thiết kế hợp lý là mục tiêu quan trọng nhất hướng tới của các kỹ sư, nhà quản lý xây dựng. Trong bài báo này tác giả nêu ra một phương án lựa chọn tiết diện hợp lý thanh dầm có xét đến giá trị độ tin cậy cho phép ban đầu.

Trong bài báo này tác giả xét độ tin cậy của các yếu tố theo phương pháp tần suất xuất hiện sự kiện là một phương pháp được xem là tổng quát khi áp dụng bài toán độ tin cậy vào kết cấu công trình.

Giá thành kết cấu được tác giả tính toán dựa vào đơn giá xây dựng cơ bản hiện hành cũng là một điểm mới hơn trong các bài toán thiết kế tối ưu trước đây.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn GS.TS Nguyễn Văn Phó – Trường Đại học Xây dựng đã có những gợi ý và đóng góp quý báu cho bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. LÊ XUÂN HUỖNH. Tính toán kết cấu theo lý thuyết tối ưu. *Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2006.*
2. NGUYỄN VĂN HẠP, NGUYỄN QUÝ HỖ, NGUYỄN CÔNG THỦY. Cơ sở phương pháp tính. Tập II. *NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội, 1970.*
3. NGUYỄN VĂN PHÓ, NGUYỄN XUÂN AN. Phương pháp Monte – Carlo cải tiến và tính toán công trình. *Tạp chí kết cấu và công nghệ xây dựng, số 12/2013. pp. 29-38, 2013.*
4. NGUYỄN VĂN PHÓ, LÊ NGỌC THẠCH, NGUYỄN TRỌNG HẢI. Một phương pháp lựa chọn phương án thiết kế hợp lý kết cấu tối ưu về kinh phí, có độ tin cậy cho trước. *Tuyển tập Hội nghị cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 9, Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 11/2013.*
5. LÊU THỌ TRÌNH. Cơ học kết cấu 1 và 2. *Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2006.*
6. IA.M. ERMOLEV. Methods of Stochastic programming. *HauKa - Moscow (in Russian), 1976.*
7. U.I. ZANVIN. Nonlinear programming. *Moscow (in Russian), 1973.*
8. ANDZEJ S. NOWALK, KENVINR. Collins. Reliability of Structures. *Mc Grow. Hill, 2000.*

Ngày nhận bài sửa: 3/11/2014.