

Chương 4

KẾT CẤU THÉP

Biên soạn: PGS. TS. Vũ Thành Hải
Hiệu đính: PGS. TS. Đỗ Văn Hứa

4.1. CƠ SỞ THIẾT KẾ KẾT CẤU THÉP

4.1.1. Phương pháp tính kết cấu thép theo trạng thái giới hạn

Kết cấu thép, cũng như các loại kết cấu xây dựng khác (kết cấu gỗ, kết cấu bê tông cốt thép,...), được tính toán theo phương pháp trạng thái giới hạn. Trong kết cấu thép trạng thái giới hạn (TTGH) được chia thành hai nhóm:

- Nhóm TTGH thứ nhất: về cường độ và ổn định.
- Nhóm TTGH thứ hai: về biến dạng hoặc chuyển vị.

Theo nhóm TTGH thứ nhất, điều kiện để kết cấu có đủ khả năng chịu lực về cường độ và ổn định được biểu diễn dưới dạng sau:

$$N = \sum N_i \gamma_n c = \sum n_i N_i^c \gamma_n c \leq \Phi = SR \quad (4.1)$$

trong đó:

N - nội lực tính toán do tổ hợp tải trọng tính toán bất lợi nhất;

N_i - nội lực tính toán do tải trọng tính toán P_i ;

N_i^c - nội lực do tải trọng tiêu chuẩn P_i^c (tải trọng lớn nhất trong điều kiện sử dụng bình thường);

n_i - hệ số lệch tải, xét tới tải trọng thực tế có thể khác tải trọng tiêu chuẩn một cách bất lợi, vậy tải trọng tính toán P_i bằng tải trọng tiêu chuẩn nhân với hệ số lệch tải:

$$P_i = n_i P_i^c$$

γ_n - hệ số an toàn về sử dụng, xét tới mức độ quan trọng của công trình;

c - hệ số tổ hợp, xét tới các tải trọng lớn nhất không xuất hiện đồng thời;

Φ - khả năng chịu lực của kết cấu bằng tích số của đặc trưng hình học S của tiết diện cấu kiện với cường độ tính toán R của vật liệu và hệ số điều kiện làm việc γ .

Cường độ tính toán R của vật liệu:

$$R = \frac{R^c}{\gamma_{vl}}$$

vậy cường độ tính toán R bằng cường độ tiêu chuẩn R^c chia cho hệ số an toàn của vật liệu γ_{vl} .

Cường độ tiêu chuẩn R^c lấy bằng ứng suất chảy σ_c của thép khi tính theo giới hạn chảy và R^c lấy bằng ứng suất bền kéo đứt σ_b khi tính theo giới hạn bền, xem bảng 4-2.

Theo nhóm TTGH thứ hai, điều kiện về biến dạng hoặc chuyển vị để kết cấu được sử dụng bình thường:

$$\Delta^c = \sum P_i^c \gamma_n c \delta_i \leq [\Delta] \quad (4.2)$$

trong đó:

Δ^c - biến dạng hoặc chuyển vị của kết cấu dưới tác dụng của các tải trọng tiêu chuẩn trong những tổ hợp bất lợi nhất;

δ_i - biến dạng hay chuyển vị do tải trọng đơn vị sinh ra;

$[\Delta]$ - biến dạng hay chuyển vị giới hạn.

γ_n, c - xem công thức (4.1).

Các số liệu có liên quan đến thiết kế kết cấu thép xem Tiêu chuẩn thiết kế - Kết cấu thép TCVN 5575-91 hiện hành.

4.1.2. Vật liệu thép dùng trong kết cấu

Các loại thép dùng làm kết cấu phải lựa chọn thích hợp tùy theo mức độ quan trọng của công trình, điều kiện làm việc, tính chất của tải trọng và phương pháp liên kết. Thép dùng trong các kết cấu chịu lực cần chọn loại thép lò Martin hoặc lò quay thổi oxy, rót sôi hoặc nửa tĩnh, tĩnh, có mức tương đương với các mức thép CCT34, CCT38, CCT42 theo Tiêu chuẩn TCVN 1765:1975 và các mức tương ứng với TCVN 5709:1993, các mức thép hợp kim thấp theo TCVN 3104:1979. Thép phải được đảm bảo phù hợp với các tiêu chuẩn nêu trên cả về tính năng cơ học và cả về thành phần hoá học.

Thép dùng để chế tạo phần động kết cấu van có thể dùng:

- Thép cacbon: CCT38-5, CCT38n5, CCT38nMn5.
- Thép hợp kim thấp: 09Mn2, 09Mn2Si, 10Mn2Si1, 14Mn2A, 10CrSiNi,...

Cường độ tính toán của vật liệu thép cần trong các trạng thái ứng suất khác nhau được tính theo các công thức cho ở bảng 4-1.

Bảng 4-1. Công thức xác định cường độ tính toán của thép cán

Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Cường độ tính toán
- Kéo, nén và uốn	R	$R = \sigma_c / \gamma_{vl}$
- Cắt	R_c	$R_c = 0,58 \cdot \sigma_c / \gamma_{vl}$
- Ép mặt lên đầu mút khi tì sát	R_{em}	$R_{em} = \sigma_b / \gamma_{vl}$
- Ép mặt trong ổ trục khi tiếp xúc chặt	$R_{em,c}$	$R_{em,t} = 0,5 \sigma_b / \gamma_{vl}$
- Ép theo đường kính con lăn	R_{cl}	$R_{cl} = 0,025 \sigma_b / \gamma_{vl}$

Chú thích: γ_{vl} - hệ số an toàn về vật liệu, lấy bằng 1,05 cho mọi mức thép.

Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của một số loại thép cacbon thông dụng cho ở bảng 4-2, của thép hợp kim thấp cho ở bảng 4-3. Cường độ tính toán của một số loại thép dùng để chế tạo kết cấu chịu lực của phần động của van trong công trình thủy lợi ứng với tổ hợp tải trọng cơ bản và đã xét tới điều kiện làm việc của kết cấu, có thể tham khảo bảng 4-4.

Bảng 4-2. Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của thép cacbon (TCVN 5709:1993)

Mức thép	Cường độ tiêu chuẩn R ^c và cường độ tính toán R của thép với độ dày δ(mm), (MPa)						Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn σ _b không phụ thuộc chiều dày δ (mm)
	δ ≤ 20		20 < δ ≤ 40		40 < δ ≤ 100		
	σ _c	R	σ _c	R	σ _c	R	
CCT34	220	210	210	200	200	190	340
CCT38	240	230	230	220	220	210	380
CCT42	260	245	250	240	240	230	420

Chú thích: - Khi tính theo giới hạn chảy $R^c = \sigma_c$;
 - Khi tính theo giới hạn bền $R^c = \sigma_b$;
 - $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ daN/cm}^2$.

Bảng 4-3. Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của thép hợp kim thấp

Mức thép	Cường độ tiêu chuẩn R^c và cường độ tính toán R của thép với độ dày δ (mm), (MPa)								
	$\delta \leq 20$			$20 < \delta \leq 30$			$30 < \delta \leq 60$		
	σ_c	σ_b	R	σ_c	σ_b	R	σ_c	σ_b	R
09Mn2	310	450	295	300	450	285	-	-	-
14Mn2	340	460	325	330	460	315	-	-	-
16MnSi	320	490	305	300	480	285	290	470	275
09Mn2Si	330	480	315	310	470	295	290	460	275
10Mn2Si1	360	510	345	350	500	335	340	480	325

Chú thích: - Khi tính theo giới hạn chảy $R^c = \sigma_c$;
 - Khi tính theo giới hạn bền $R^c = \sigma_b$.

Bảng 4-4. Cường độ tính toán của thép dùng làm kết cấu chịu lực phần động của cửa van trong công trình thủy lợi (MPa)

Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Thép số hiệu			
		BMCT3CII khi chiều dày của thép cán định hình ≤ 20 mm và của thép bản ≤ 40 mm trong cửa van		10Г2CΔ trong cửa van	
		Nhóm 1 ~ 4	Nhóm 6	Nhóm 1~4	Nhóm 6
- Kéo, nén dọc trục	R	149,0	168	214	241
- Kéo, nén khi uốn	R_u	156,5	176	225	258
- Cắt	R_c	89,5	101	129	145
- Ép mặt lên đầu mút khi tì sát	R_{em}	223,0	251	322	362

4.1.3. Vật liệu thép dùng trong liên kết

4.1.3.1. Vật liệu thép dùng trong liên kết hàn

Kim loại que hàn phải có cường độ kéo đứt tức thời không nhỏ hơn trị số tương ứng của thép được hàn, khi hàn tay que hàn lấy theo TCVN 3223:1994. Cường độ tính toán của liên kết hàn đối với những dạng liên kết và trạng thái ứng suất khác nhau được xác định theo các công thức trong bảng 4-5 và 4-6. Cường độ tính toán của liên kết hàn trong kết cấu phần động chịu lực của cửa van công trình thủy lợi ứng với tổ hợp tải trọng cơ bản và đã xét tới điều kiện làm việc của kết cấu cho ở bảng 4-7.

Bảng 4-5. Công thức xác định cường độ tính toán của mối hàn

Dạng liên kết	Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Cường độ tính toán
Hàn đối đầu	- Nén, kéo và uốn khi kiểm tra chất lượng của đường hàn bằng các phương pháp vật lý	R_h	$R_h = R$
	- Nén, kéo và uốn khi kiểm tra chất lượng của đường hàn bằng các phương pháp thông thường	R_h	$R_h = 0,85R$
	- Cắt	R_c^h	$R_c^h = R_c$
Hàn góc	- Cắt (quy ước)	Theo kim loại của mối hàn R_g^h	$R_g^h = 0,55 \sigma_b^h / \gamma_h$
		Theo kim loại của biên nóng chảy R_g^b	$R_g^b = 0,45 \sigma_b$

Chú thích:

1. R là cường độ tính toán của thép được hàn.
2. σ_b , σ_b^h là cường độ kéo đứt tiêu chuẩn của thép được hàn và của kim loại hàn.
3. Hệ số độ tin cậy về cường độ của mối hàn $\gamma_h = 1,25$ khi $\sigma_b^h < 490$ MPa
và $\gamma_h = 1,35$ khi $\sigma_b^h < 590$ MPa.

Bảng 4-6. Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn σ_b^h và cường độ tính toán R_g^h của kim loại hàn trong mối hàn góc (MPa)

Loại que hàn theo TCVN 3223:1994	Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn σ_b^h (MPa)	Cường độ tính toán R_g^h (MPa)
N42, N42-6B	410	180
N46, N46-6B	450	200
N50, N50-6B	490	215

Bảng 4-7. Cường độ tính toán của liên kết hàn trong kết cấu chịu lực phân động của cửa van trong công trình thủy lợi (MPa)

Loại đường hàn	Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Thép số hiệu			
			BMCT3CII khi chiều dày của thép cán định hình ≤ 20 mm và của thép bản ≤ 40 mm trong các cửa van		10Г2CΔ trong cửa van	
			Nhóm 1~4	Nhóm 6	Nhóm 1~4	Nhóm 6
Đối đầu	Kéo	R_k^h	149	168	214	241
	Nén	R_n^h	156,5	168	214	241
	Uốn	R_u^h	89,5	176	225	254
	Cắt	R_c^h	223	101	129	145
Hàn góc	Kéo, nén, uốn, cắt khi kiểm tra chất lượng bằng:	R_g^h				
	- Phương pháp tiên tiến		104,5	117,5	150	168,5
	- Phương pháp thông thường		75,5	84,5	114,5	129

4.1.3.2. Vật liệu thép dùng trong liên kết bulông

Vật liệu làm bulông phải phù hợp với yêu cầu của TCVN 1916:1995.

Cường độ tính toán của liên kết một bulông được xác định theo các công thức trong bảng 4-8, các bảng 4-9 và 4-10.

Bảng 4-8. Công thức xác định cường độ tính toán của liên kết một bulông

Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Cường độ tính toán của liên kết một bulông			
		Cắt và kéo của một bulông với cấp độ bền			Ép mặt của cấu kiện bằng thép có $\sigma_c < 440$ MPa
		4.6, 5.6, 6.6	4.8, 5.8	8.8, 10.9	
Cắt	R_c^b	$R_c^b = 0,38\sigma_b^b$	$R_c^b = 0,4\sigma_b^b$	$R_c^b = 0,4\sigma_b^b$	-
Kéo	R_k^b	$R_k^b = 0,42\sigma_b^b$	$R_k^b = 0,4\sigma_b^b$	$R_k^b = 0,5\sigma_b^b$	-
Ép mặt	R_{em}^b	a. Bulông có độ chính xác cao			$R_{em}^b = (0,5 + 340 \frac{\sigma_b}{E})\sigma_b$
		b. Bulông có độ chính xác bình thường và bulông thô			$R_{em}^b = (0,5 + 280 \frac{\sigma_b}{E})\sigma_b$

Bảng 4-9. Cường độ tính toán của bulông chịu kéo và chịu cắt

Trạng thái ứng suất	Ký hiệu	Cường độ tính toán của các loại bulông (MPa) với cấp độ bền					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8
Cắt	R_c^b	150	160	190	200	230	320
Kéo	R_k^b	175	169	210	200	250	400

Chú thích: Giá trị trong bảng được tính theo công thức trong bảng 4-8 và làm tròn đến 5 MPa.

Bảng 4-10. Cường độ tính toán về ép mặt của bulông

Giới hạn bền kéo đứt của thép cấu kiện được liên kết σ_b (MPa)	Cường độ tính toán ép mặt của cấu kiện trong liên kết bulông R_{em}^b (MPa)	
	Bulông tinh	Bulông thường và thô
345	365	335
355	385	350
365	400	365
370	410	370
380	430	385
390	445	400
400	465	415

4.2. TÍNH TOÁN CÁC CẤU KIỆN KẾT CẤU THÉP

4.2.1. Cấu kiện chịu uốn

- Kiểm tra độ bền của cấu kiện chịu uốn trong một mặt phẳng chính được tiến hành theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{M}{W_{th}^{min}} \leq R \quad \tau = \frac{QS}{J\delta_b} \leq R_c \quad (4.3)$$

trong đó:

M, Q - mômen uốn tính toán và lực cắt tính toán;

W_{th}^{min} - môđun chống uốn nhỏ nhất của tiết diện đối với trục trung hòa;

S - mômen tĩnh của phần trượt của tiết diện nguyên đối với trục trung hòa;

J - mômen quán tính của tiết diện nguyên đối với trục trung hòa;

δ_b - chiều dày bản bụng dầm.

R, R_c - cường độ tính toán chịu uốn và chịu cắt của thép, lấy theo bảng 4-2, 4-3, 4-4 phải nhân với hệ số điều kiện làm việc γ , lấy theo bảng 4-11.

Bảng 4-11. Hệ số điều kiện làm việc γ

Loại cấu kiện	Hệ số γ
- Dầm bụng đặc và các thanh chịu nén trong dàn của sàn những phòng lớn.	0,9
- Cột của các nhà công cộng và của tháp nước.	0,95
- Các thanh bụng chịu nén tiết diện chữ T ghép bằng hai thép góc của dàn mái và dàn đỡ sàn khi độ mảnh lớn hơn hoặc bằng 60.	0,80
- Dầm bụng đặc khi tính toán ổn định tổng thể.	0,95
- Thanh căng, thanh kéo, thanh treo, thanh neo được làm từ thép cán.	0,90
- Các cấu kiện của kết cấu thanh ở mái và sàn.	0,95
- Các thanh chịu nén lằm bằng một thép góc được liên kết trên một cánh.	0,75

Chú thích: Các hệ số $\gamma < 1$ khi tính toán không xét cùng một lúc.

• Kiểm tra độ bền tại mặt cắt có mômen và lực cắt đều khá lớn theo ứng suất tương đương:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R \quad (4.4)$$

với:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{J} y_1 \quad \text{và} \quad \tau_1 = \frac{Q_1 S_c}{J\delta_b} \quad (4.5)$$

trong đó:

M_1, Q_1 - mômen uốn và lực cắt tính toán tại tiết diện kiểm tra;

J - mômen quán tính của tiết diện đối với trục trung hoà;

S_c - mômen tĩnh của bản cánh tiết diện đối với trục trung hoà;

y_1 - khoảng cách từ trục trung hoà đến chỗ tiếp giáp giữa bụng và cánh dầm.

• Kiểm tra độ bền của bản bụng dầm tại mặt cắt có đặt lực tập trung cục bộ theo công thức sau đây:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_{cb}^2 - \sigma_{cb}\sigma_1 + 3\tau_1^2} \leq 1,15R \quad (4.6)$$

trong đó:

σ_1, τ_1 - được xác định theo công thức (4.5) tại mặt cắt đặt lực tập trung;

σ_{cb} - ứng suất cục bộ do tải trọng tập trung P đặt ở cánh trên của dầm và tại đó bản bụng dầm không có sườn gia cường, được tính theo công thức:

$$\sigma_{cb} = \frac{P}{\delta_b Z} \quad (4.7)$$

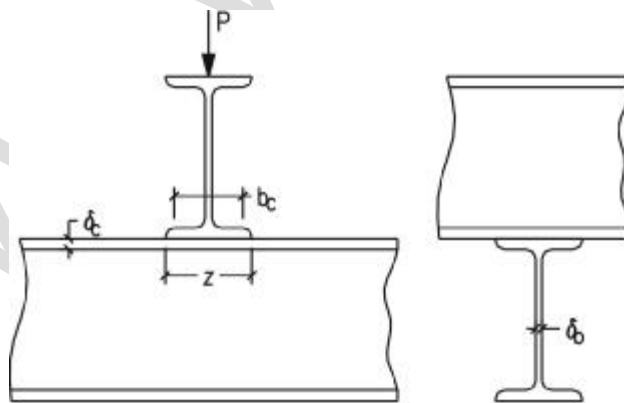
với Z là chiều dài quy ước chịu tải của bản bụng dầm:

$$Z = b + 2d_1$$

trong đó:

b - bề rộng chuyển tải trong tập trung P lên bản cánh dầm;

d_1 - khoảng cách từ mặt trên bản cánh dầm đến chỗ tiếp giáp giữa bụng và cánh dầm (hình 4-1).



Hình 4-1. Sơ đồ xác định chiều dài chịu tải của bụng dầm

- Kiểm tra độ võng của cầu kiện chịu uốn do tải trọng tiêu chuẩn sinh ra không được vượt quá giá trị độ võng giới hạn $[f]$:

$$f^c = \beta \frac{M_{\max}^c}{EJ_x} L^2 \leq [f] \quad (4.8)$$

trong đó:

β - hệ số phụ thuộc vào tải trọng và liên kết ở hai đầu dầm, với dầm đơn chịu tải trọng phân bố đều $\beta = 5/48$, với dầm đơn chịu tải tập trung ở giữa nhịp $\beta = 1/12$;

M_{\max}^c - mômen uốn lớn nhất do tải trọng tiêu chuẩn sinh ra;

$[f]$ - độ võng giới hạn của cấu kiện chịu uốn cho ở bảng 4-12.

Bảng 4-12. Độ võng giới hạn $[f]$ của cấu kiện chịu uốn

Các cấu kiện của kết cấu	Độ võng giới hạn $[f]$
1. Dầm chính trong cửa van: - Cửa van âu thuyền thường xuyên công tác trong dòng chảy. - Cửa van chính của đập công tác trong dòng chảy.	L/700 L/600
2. Dầm phụ trong cửa van	L/250
3. Dầm đỡ cầu trục: - Cầu trục chế độ làm việc nhẹ, cầu trục dẫn động bằng tay - Cầu trục chế độ làm việc vừa - Cầu trục chế độ làm việc nặng	L/400 L/500 L/600
4. Dầm sàn nhà và mái: - Dầm chính - Các dầm khác	L/400 L/250

- Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm tiết diện chữ I, chịu uốn trong mặt phẳng bản bụng dầm theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_d W} \leq R \quad (4.9)$$

trong đó:

M - mômen uốn lớn nhất trong dầm;

W - mômen chống uốn của tiết diện nguyên của dầm lấy đối với trục nén xa nhất;

φ_d - hệ số giảm khả năng chịu lực của dầm khi xét đến khả năng mất ổn định tổng thể.

Đối với dầm tiết diện chữ I có hai trục đối xứng, để xác định hệ số φ_d cần phải tính hệ số φ_1 theo công thức:

$$\varphi_1 = \psi \frac{J_y}{J_x} \left(\frac{h}{L_o} \right)^2 \frac{E}{R} \quad (4.10)$$

trong đó:

ψ - hệ số lấy theo bảng 4-13, phụ thuộc vào liên kết của dầm ở các gối tựa, vào dạng và vị trí tải trọng tác dụng lên dầm và tham số α .

Bảng 4-13. Hệ số ψ đối với dầm chữ I có hai trục đối xứng

Số lượng cốt kết ở cánh nên trong nhịp	Dạng tải trọng tác dụng	Vị trí đặt tải	Công thức tính ψ khi trị số α	
			$0,1 < \alpha \leq 40$	$40 < \alpha \leq 400$
Không có cốt kết	Tập trung	Cánh trên	$\psi = 1,75 + 0,09\alpha$	$\psi = 3,3 + 0,053\alpha - 4,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2$
		Cánh dưới	$\psi = 5,05 + 0,09\alpha$	$\psi = 6,6 + 0,053\alpha - 4,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2$
	Phân bố đều	Cánh trên	$\psi = 1,6 + 0,08\alpha$	$\psi = 3,15 + 0,04\alpha - 2,7 \cdot 10^{-5} \alpha^2$
		Cánh dưới	$\psi = 5,05 + 0,09\alpha$	$\psi = 5,35 + 0,04\alpha - 2,7 \cdot 10^{-5} \alpha^2$
Có 2 hoặc nhiều cốt kết (*)	Bất kỳ	Bất kỳ	$\psi = 2,25 + 0,07\alpha$	$\psi = 3,6 + 0,04\alpha - 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2$
Có một cốt kết ở giữa nhịp	Tập trung ở giữa nhịp	Bất kỳ	$\psi = 1,75\psi_1$	$\psi = 1,75\psi_1$
	Tập trung ở 1/4 nhịp	Cánh trên	$\psi = 1,14\psi_1$	$\psi = 1,14\psi_1$
		Cánh dưới	$\psi = 1,6\psi_1$	$\psi = 1,6\psi_1$
	Phân bố đều	Cánh trên	$\psi = 1,14\psi_1$	$\psi = 1,14\psi_1$
		Cánh dưới	$\psi = 1,3\psi_1$	$\psi = 1,3\psi_1$

Chú thích:

- Trị số ψ_1 lấy bằng ψ khi cánh nên của dầm có từ hai cốt kết trở lên trong nhịp.
- (*) Các điểm cốt kết chia nhịp thành những phần bằng nhau.

Với dầm chữ I thì tham số α được tính theo công thức:

$$\alpha = 1,54 \frac{J_k}{J_y} \left(\frac{L_o}{h} \right)^2 \quad (4.11)$$

trong đó:

J_x - mômen quán tính đối với trục x, là trục vuông góc với mặt phẳng uốn của dầm;

J_y - mômen quán tính đối với trục y, là trục nằm trong mặt phẳng bản bụng của dầm;

h - chiều cao của tiết diện dầm;

L_o - chiều dài tính toán của dầm ở ngoài mặt phẳng uốn là khoảng cách giữa hai điểm cốt kết cánh chịu nén không cho chuyển vị ngang (khi không có hệ giằng $L_o = L$);

J_k - mômen quán tính xoắn, với thép chữ I định hình có thể lấy theo bảng 4-14, với dầm chữ I là dầm hàn tổ hợp, được ghép bằng ba tấm thép và có hai trục đối xứng thì J_k được xác định theo công thức:

$$J_k = \frac{1,3}{3} (2b_c \delta_c^3 + h_b \delta_b^3) \quad (4.12)$$

Nếu $\varphi_1 \leq 0,85$, lấy $\varphi_d = \varphi_1$; còn nếu $\varphi_1 > 0,85$, lấy $\varphi_d = 0,68 + 0,21 \varphi_1 \leq 1$.

Không cần kiểm tra ổn định tổng thể của dầm khi tải trọng truyền qua sàn đặc cứng, tựa liên tục lên cánh chịu nén của dầm và liên kết chặt với dầm ($L_o = 0$).

Bảng 4-14. Mômen quán tính xoắn J_k của tiết diện thép hình chữ I (theo IOCT 8239-72)

IN°	$J_k(\text{cm}^4)$	IN°	$J_k(\text{cm}^4)$	IN°	$J_k(\text{cm}^4)$	IN°	$J_k(\text{cm}^4)$
10	2,28	20	6,92	27	13,6	40	40,6
12	2,88	20a	7,94	27a	16,7	45	54,7
14	3,59	22	8,60	30	17,4	50	75,4
16	4,46	22a	9,77	30a	20,3	55	100
18	5,60	24	11,1	33	23,8	60	135
18a	6,54	24a	12,8	36	31,4		

- Kiểm tra độ bền các cấu kiện chịu uốn trong hai mặt phẳng chính theo công thức:

$$\frac{M_x}{J_x^{\text{th}}} y \pm \frac{M_y}{J_y^{\text{th}}} x \leq R \quad (4.13)$$

trong đó:

M_x, M_y - mômen uốn đối với hai trục chính x, y ;

$J_x^{\text{th}}, J_y^{\text{th}}$ - mômen quán tính của tiết diện thu hẹp lần lượt đối với hai trục chính x, y ;

x, y - tọa độ của điểm kiểm tra đối với các trục chính x, y .

- Kiểm tra ứng suất tương đương trong bản bụng của dầm ở hai mặt phẳng uốn chính cũng được tiến hành theo các công thức (4.4) và (4.6).

- Kiểm tra ổn định cục bộ của bản cánh dầm:

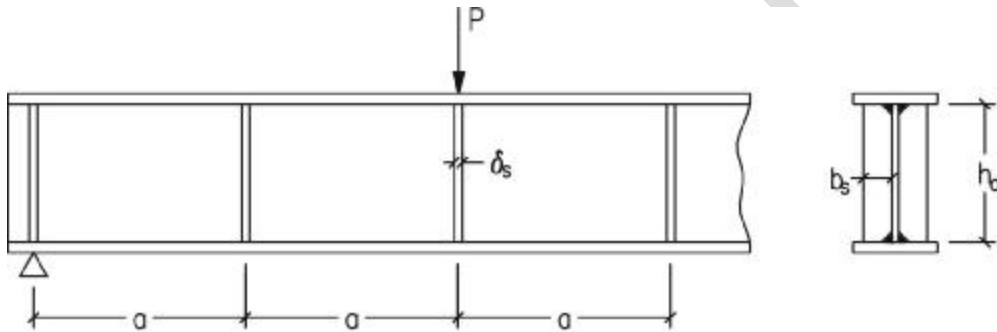
Điều kiện để bản cánh dầm chịu nén không bị mất ổn định cục bộ:

$$\frac{b_o}{\delta_c} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R}} \quad (4.14)$$

với dầm chữ I hàn thì b_o là khoảng cách từ biên của bản bụng tới mép của bản cánh.

- Kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng dầm:

Bản bụng của dầm cần gia cường bằng các sườn ngang (đứng) nếu giá trị độ mảnh quy ước của bản bụng $\bar{\lambda}_b = \frac{h_0}{\delta_b} \sqrt{\frac{R}{E}} > 3,2$ khi không có tải trọng di động và $\bar{\lambda}_b > 2,2$ khi có tải trọng di động trên cánh dầm. Khoảng cách a giữa các sườn ngang không được vượt quá $2h_0$ khi $\bar{\lambda}_b > 3,2$ và $2,5h_0$ khi $\bar{\lambda}_b \leq 3,2$; h_0 là chiều cao tính toán của bản bụng dầm. Kích thước các sườn ngang lấy như sau: bề rộng phần nhô ra của các sườn ngang khi bố trí cặp sườn đối xứng $b_s \geq \frac{h_0}{30} + 40\text{mm}$, chiều dày của sườn $\delta_s \geq 2b_s \sqrt{R/E}$. Cần phải đặt các sườn ngang tại gối tựa và tại vị trí đặt tải trọng tập trung có giá trị lớn (hình 4-2).



Hình 4-2. Bụng dầm được gia cường bằng các sườn ngang

Kiểm tra ổn định cục bộ các ô bản bụng dầm có tiết diện đối xứng, khi chỉ được gia cường bằng các sườn ngang và độ mảnh quy ước của bản bụng $\bar{\lambda}_b \leq 6$, cần được tiến hành theo các công thức sau:

a. Khi không có lực tập trung (ứng suất cục bộ $\sigma_{cb}=0$):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} \leq \gamma \quad (4.15)$$

trong đó:

γ - hệ số điều kiện làm việc, lấy theo bảng 4-11;

σ_0 - ứng suất pháp tới hạn được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_0 = \frac{c_0 R}{\bar{\lambda}_b^2} \quad (4.16)$$

c_0 - hệ số, đối với dầm hàn lấy theo bảng 4-15 phụ thuộc vào hệ số t:

$$t = \beta \frac{b_c}{h_0} \left(\frac{\delta_c}{\delta_b} \right)^3 \quad (4.17)$$

trong đó:

b_c, δ_c - chiều rộng và chiều dày của bản cánh chịu nén;

β - hệ số lấy theo bảng 4-16.

Bảng 4-15. Giá trị hệ số c_o

t	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	30
c_o	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Bảng 4-16. Giá trị hệ số β

Dầm	Điều kiện làm việc của cánh chịu nén	Hệ số β
Cầu trục	- Ray được hàn vào cánh nén	2
	- Ray được hàn vào cánh nén	∞
Các dầm khác	- Khi có sàn cứng đặt liên tục trên cánh nén	∞
	- Trong trường hợp khác	0,8

Chú thích: Đối với dầm cầu trục khi có lực tập trung đặt ở cánh chịu kéo, lấy $\beta=0,8$.

τ_o - ứng suất tiếp tối hạn được xác định theo công thức sau:

$$\tau_o = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_c}{\bar{\lambda}_{ob}^2} \quad (4.18)$$

trong đó:

$$\bar{\lambda}_{ob} = \frac{d}{\delta_b} \sqrt{\frac{R}{E}} \quad (4.19)$$

d - cạnh nhỏ của ô bản bụng (h_o hoặc a);

μ - tỷ số giữa cạnh lớn trên cạnh nhỏ của ô bản bụng;

σ, τ - ứng suất nén ở biên và ứng suất tiếp trung bình của ô bản bụng kiểm tra, được tính theo các công thức sau:

$$\sigma = \frac{M}{J_x} y \quad \tau = \frac{Q}{\delta_b h_b} \quad (4.20)$$

trong đó:

y - khoảng cách từ trục trung hoà đến thớ chịu nén xa nhất của bản bụng;

h_b - chiều cao toàn bộ của bản bụng;

M và Q - giá trị trung bình tương ứng của mômen và lực cắt trong phạm vi của ô, nếu chiều dài của ô lớn hơn chiều cao tính toán h_o của nó thì M và Q được tính cho phần ô chịu lực lớn hơn có chiều dài bằng chiều cao h_o của ô. Nếu trong phạm vi của ô mômen và lực cắt đổi dấu thì giá trị trung bình của chúng được tính trên phần có dấu không đổi.

b. Trường hợp có lực tập trung (ứng suất cục bộ $\sigma_{cb} \neq 0$):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_o} + \frac{\sigma_{cb}}{\sigma_{cb,o}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_o}\right)^2} \leq \gamma \quad (4.21)$$

trong đó:

γ - hệ số điều kiện làm việc, lấy theo bảng 4-11;

σ, τ, τ_o - xác định như trong công thức (4.15);

σ_{cb} - xác định theo công thức (4.7);

$\sigma_o, \sigma_{cb,o}$ - được xác định như sau:

• Nếu $a/h_o \leq 0,8$ thì σ_o xác định theo công thức (4.16), còn $\sigma_{cb,o}$ xác định theo công thức:

$$\sigma_{cb,o} = \frac{c_1 R}{\bar{\lambda}_a^2} \quad (4.22)$$

$$\text{với } \bar{\lambda}_a = \frac{a}{\delta_b} \sqrt{\frac{R}{E}} \quad (4.23)$$

còn c_1 là hệ số, đối với dầm hàn lấy theo bảng 4-17, phụ thuộc vào tỉ số a/h_o và giá trị của t xác định theo công thức (4.17).

• Nếu $a/h_o > 0,8$ và tỉ số σ_{cb}/σ lớn hơn giá trị $[\sigma_{cb}/\sigma]$ trong bảng 4-18, thì σ_o xác định theo công thức sau:

$$\sigma_o = \frac{c_2 R}{\bar{\lambda}_b^2} \quad (4.24)$$

trong đó c_2 là hệ số lấy theo bảng 4-19, còn $\sigma_{cb,o}$ tính theo công thức (4.22) trong đó nếu $a/h_o > 2$ thì lấy $a = 2h_o$.

• Nếu $a/h_o > 0,8$ và tỉ số σ_{cb}/σ không lớn hơn giá trị $[\sigma_{cb}/\sigma]$ trong bảng 4-17, thì σ_o xác định theo công thức (4.16) và $\sigma_{cb,o}$ xác định theo công thức (4.22) nhưng thay a bằng $a/2$ cả trong công thức tính $\bar{\lambda}_a$ cả khi tra bảng 4-17 để tìm hệ số c_1 .

Bảng 4-17. Giá trị hệ số c_1 đối với dầm hàn

t	Giá trị của c_1 đối với dầm hàn khi a/h_o bằng								
	$\leq 0,5$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$
≤ 1	11,5	12,4	14,8	18,0	22,1	27,1	32,6	38,9	45,6
2	12,0	13,0	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	57,7
4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
10	12,4	13,6	16,9	22,5	30,0	39,7	51,0	63,3	76,5
≥ 30	12,5	13,7	17,0	22,9	31,0	41,6	53,8	68,2	83,6

Nếu ngoài các sườn ngang còn đặt các sườn dọc để gia cường bản bụng dầm, thì cần kiểm tra ổn định các ô bản bụng dầm theo các công thức riêng cho trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép hiện hành.

Bảng 4-18. Giá trị giới hạn của tỉ số $[\sigma_{cb}/\sigma]$

Loại dầm	t	Giá trị giới hạn của tỉ số $[\sigma_{cb}/\sigma]$ khi a/h_0 bằng							
		0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$
Dầm hàn	≤ 1	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,445	0,540	0,618
	2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
	4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	1,132
	6	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
	10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
	≥ 30	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939

Bảng 4-19. Giá trị hệ số c_2

a/h_0	$\leq 0,8$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2,0$
c_2	30,0	37,0	39,2	45,2	52,8	62,2	72,6	84,7

4.2.2. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm và chịu nén đúng tâm

4.2.2.1. Tính toán độ bền

Kiểm tra độ bền các cấu kiện chịu kéo hoặc chịu nén đúng tâm theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{N}{F_{th}} \leq R \quad (4.25)$$

trong đó:

N - lực dọc tính toán;

F_{th} - diện tích tiết diện thu hẹp của cấu kiện;

R - cường độ tính toán khi chịu kéo hoặc chịu nén của thép, lấy theo bảng 4-1.

4.2.2.2. Tính toán ổn định tổng thể

Kiểm tra ổn định tổng thể các cấu kiện chịu nén đúng tâm theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} \leq R \quad (4.26)$$

trong đó:

F - diện tích tiết diện nguyên của cấu kiện;

φ - hệ số uốn dọc được tính theo công thức (4.27) cho ở bảng 4-20, phụ thuộc vào độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ hoặc tra ở bảng 4-21, phụ thuộc vào độ mảnh λ và cường độ tính toán R.

Bảng 4-20. Hệ số uốn dọc φ của cầu kiên chiu nén trung tâm

Khi	Công thức tính hệ số uốn dọc φ
$0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$	$\varphi = 1 - (0,073 - 5,53 \frac{R}{E}) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}} \quad (4.27a)$
$2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$	$\varphi = 1,47 - 13 \frac{R}{E} - (0,371 - 27,3 \frac{R}{E}) \bar{\lambda} + (0,0275 - 5,53) \frac{R}{E} \bar{\lambda}^2 \quad (4.27b)$
$\bar{\lambda} > 4,5$	$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})} \quad (4.27c)$

Chú thích: Độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ xác định theo công thức (4.28)

Bảng 4-21. Hệ số uốn dọc φ của cấu kiện chiu nén đúng tâm

Độ mảnh λ	Hệ số φ đối với các cấu kiện bằng thép có cường độ tính toán R (MPa)									
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938
30	939	931	924	917	911	905	900	895	891	878
40	906	894	883	873	863	854	846	839	832	825
50	869	852	836	822	809	796	785	775	764	746
60	827	805	785	766	749	721	696	672	650	628
70	782	754	724	687	654	623	595	568	542	518
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326
100	599	542	495	448	408	369	335	309	286	267
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190
130	424	364	313	276	247	223	204	189	175	163
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112
170	259	228	189	167	150	136	125	115	107	100
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082
200	191	161	140	124	111	101	093	086	080	075
210	174	147	128	113	102	093	085	079	074	069
220	160	135	117	104	094	086	077	073	068	064

Chú thích: Giá trị φ trong bảng đã được tăng lên 1000 lần

Độ mảnh λ và độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ của cấu kiện được xác định theo công thức sau:

$$\lambda = \frac{L_0}{r} \quad \text{và} \quad \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R}{E}} \quad (4.28)$$

trong đó:

r - bán kính quán tính của tiết diện;

R, E - cường độ tính toán và môđun đàn hồi của thép.

Chiều dài tính toán L_0 của cấu kiện có tiết diện không đổi theo chiều dài thanh được xác định theo công thức:


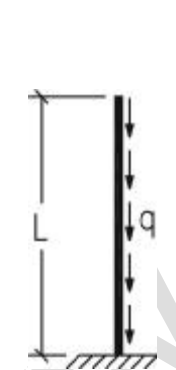
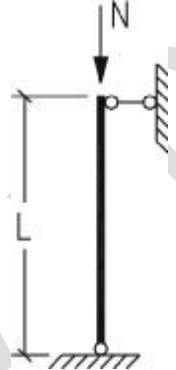
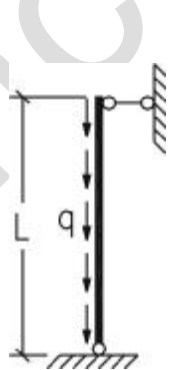
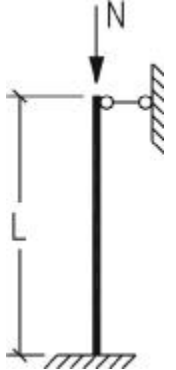

$$L_0 = \mu L \quad (4.29)$$

trong đó:

μ - hệ số chiều dài tính toán, phụ thuộc vào liên kết ở hai đầu cấu kiện, xem bảng 4-21;

L - chiều dài của cấu kiện.

Bảng 4-22. Hệ số μ đối với cột có mặt cắt không đổi

Sơ đồ liên kết ở hai đầu cột và tải trọng					
					
$\mu = 2$	$\mu = 1,12$	$\mu = 1$	$\mu = 0,725$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,5$

Đối với cột trong khung một tầng một nhịp chân khung liên kết khớp hoặc ngàm, khi dầm liên kết cứng với cột và tải trọng tác dụng tại các nút khung thì hệ số chiều dài tính toán μ được xác định theo công thức (4.31) và (4.32), phụ thuộc vào tỷ số giữa độ cứng tương đối của dầm và cột tính theo công thức sau:

$$k = \frac{i_d}{i_c} = \frac{J_d}{L_d} \times \frac{L_c}{J_c} \quad (4.30)$$

trong đó:

J_d, J_c - mômen quán tính của tiết diện dầm và của cột đối với trục vuông góc với mặt phẳng của khung;

L_d, L_c - chiều dài dầm và chiều cao cột trong khung.

- Khi cột liên kết khớp với móng:

$$\mu = 2\sqrt{1 + \frac{0,38}{k}} \quad (4.31)$$

- Khi cột liên kết ngàm với móng:

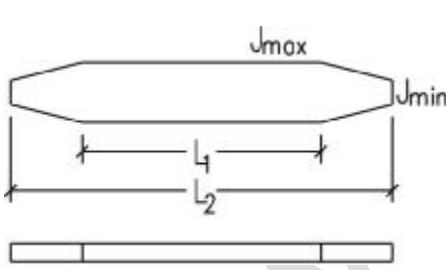
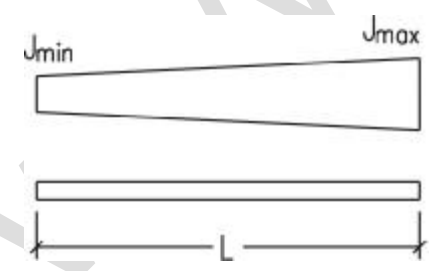
$$\mu = \sqrt{\frac{k + 0,56}{k + 0,14}} \quad (4.32)$$

Đối với cột có mặt cắt thay đổi thì chiều dài tính toán được xác định theo công thức:

$$L_o = \mu_o \mu L \quad (4.33)$$

trong đó μ_o là hệ số hiệu chỉnh chiều dài tính toán khi cột có mặt cắt thay đổi, được xác định theo bảng 4-23.

Bảng 4-23. Hệ số hiệu chỉnh chiều dài tính toán μ_o đối với cột có tiết diện thay đổi theo chiều cao

Sơ đồ thanh	Quy luật biến đổi của J	$\frac{L_1}{L_2}$	Tỷ số J_{min}/J_{max}						
			0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	Bậc nhất	0,0	0,0	1,23	1,19	1,12	1,07	1,03	1,00
		0,2	0,2	1,14	1,11	1,07	1,04	1,02	
		0,4	0,4	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01	
		0,6	0,6	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	
		0,8	0,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	Bậc nhất	0		1,45	1,35	1,21	1,13	1,05	1,00
	Bậc hai	0		1,66	1,45	1,24	1,13	1,05	1,00
	Bậc ba	0		1,75	1,48	1,25	1,14	1,06	1,00

Chú thích: Cột có bề dày không đổi theo chiều cao.

Đối với cột có mặt cắt thay đổi kiểu bậc thang thì hệ số chiều dài tính toán được xác định riêng cho từng phần cột.

Đối với các cấu kiện là các thanh của dàn phẳng thì chiều dài tính toán L_0 khi tính về ổn định trong mặt phẳng dàn và trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng dàn (ngoài mặt phẳng dàn) được xác định theo bảng 4-24.

Nếu dọc theo chiều dài của thanh dàn tính toán, các lực nén có giá trị khác nhau ($N_1 > N_2$), thì chiều dài tính toán L_0 ngoài mặt phẳng dàn được tính theo công thức:

$$L_0 = L_1 \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (4.34)$$

và khi tiến hành kiểm tra ổn định theo công thức (4.26) cần phải lấy $N = N_1$.

Bảng 4-24. Chiều dài tính toán L_0 của các thanh dàn phẳng

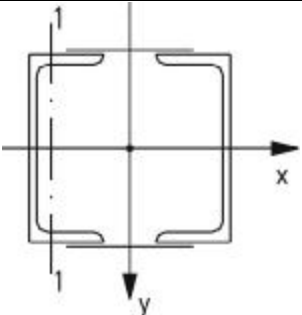
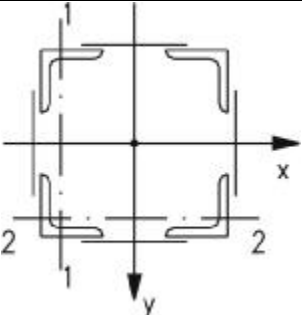
Phương uốn dọc	Chiều dài tính toán L_0		
	Thanh cánh	Thanh xiên và thanh đứng ở gối	Các thanh bụng khác
- Trong mặt phẳng dàn	L	L	0,8L
- Ngoài mặt phẳng dàn	L_1	L_1	L_1
<p><i>Chú thích:</i></p> <p>L - chiều dài hình học của thanh giàn (khoảng cách giữa tâm các mắt dàn) trong mặt phẳng dàn.</p> <p>L_1 - khoảng cách giữa các mắt được liên kết không cho chuyển vị ra ngoài mặt phẳng của dàn.</p>			

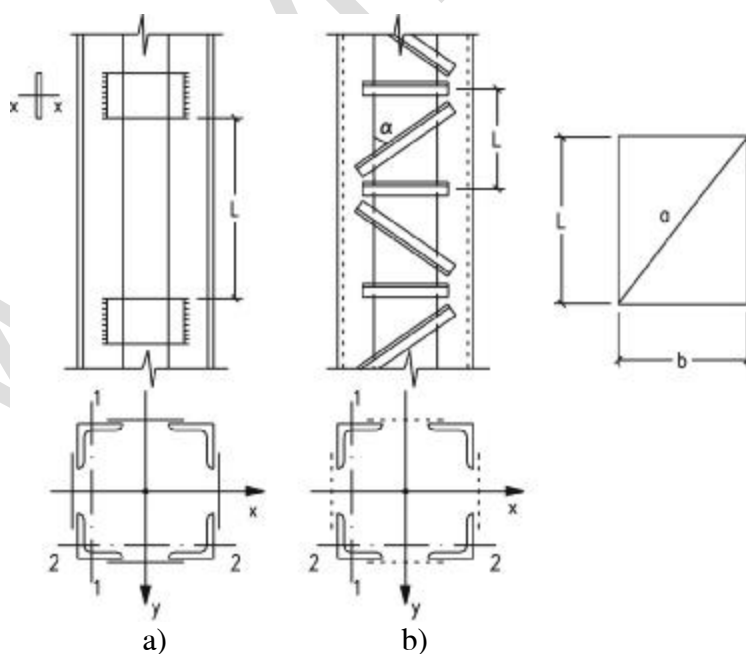
Đối với cột rỗng có các nhánh được nối với nhau bằng các bản giằng hoặc các thanh giằng thì chiều dài tính toán của cột đối với trục ảo (trục thẳng góc với mặt phẳng của bản giằng hoặc thanh giằng) cần phải xét thêm ảnh hưởng của lực cắt. Trong trường hợp này khi xác định hệ số uốn dọc φ cần thay độ mảnh λ bằng độ mảnh tương đương λ_{td} nếu sử dụng bảng 4-21; thay độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ bằng độ mảnh quy ước tương đương $\bar{\lambda}_{td} = \lambda_{td} \sqrt{R/E}$ nếu tính theo công thức (4.27).

Độ mảnh tương đương λ_{td} của thanh rỗng bản giằng và thanh giằng được tính theo các công thức (4.35) và (4.36) cho trong bảng 4-25.

Trong những cột rỗng bản giằng thì độ mảnh λ_1, λ_2 của từng nhánh riêng rẽ giữa các bản giằng không được lớn hơn 40, còn trong các cột rỗng thanh giằng thì độ mảnh của các nhánh riêng rẽ giữa các mắt không được lớn hơn 80 và không được vượt quá độ mảnh tương đương λ_{td} của toàn cột.

Bảng 4-25. Công thức tính độ mảnh tương đương λ_{td}

Sơ đồ tiết diện	Độ mảnh tương đương λ_{td} của thanh tổ hợp rỗng	
	Với bản giằng khi $n \leq 0,2$	Với thanh giằng
 Loại tiết diện 1	$\lambda_y^{td} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (4.35a)$	$\lambda_y^{td} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha_1 \frac{F}{F_{x1}}} \quad (4.36a)$
 Loại tiết diện 2	$\lambda_{td} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2} \quad (4.35b)$	$\lambda_{td} = \sqrt{\lambda^2 + F \left(\frac{\alpha_1}{F_{x1}} + \frac{\alpha_2}{F_{x2}} \right)} \quad (4.36b)$

**Hình 4-3. Cột tổ hợp**

a) Cột rỗng bản giằng; b) Cột rỗng thanh giằng.

Các ký hiệu trong công thức:

λ_y - độ mảnh của thanh đối với trục ảo y-y;

λ_1, λ_2 - độ mảnh của từng nhánh đối với trục 1-1 và 2-2 giữa hai mép trong của bản giằng khi dùng liên kết hàn hoặc giữa hai đỉnh tán ở biên;

F - diện tích tiết diện của toàn thanh;

F_{x1}, F_{x2} - diện tích tiết diện các thanh xiên của hệ giằng (khi hệ giằng chữ thập có 2 thanh xiên) nằm trong mặt phẳng thẳng góc với các trục tương ứng 1-1 và 2-2;

α_1, α_2 - các hệ số được xác định theo công thức $\alpha = 10a^3/b^2l$;

a, b, L - kích thước cột thanh giằng xem hình 4-3;

n, n_1, n_2 - các hệ số được xác định theo công thức sau:

$$n = J_n b / J_b l \quad n_1 = J_{n1} b_1 / J_{b1} l \quad n_2 = J_{n2} b_2 / J_{b2} l$$

J_{n1}, J_{n2} - mômen quán tính của tiết diện các nhánh đối với các trục tương ứng 1-1 và 2-2 (đối với tiết diện loại 2 có 2 trục ảo);

J_b - mômen quán tính tiết diện của một bản giằng đối với trục bản thân x-x;

J_{b1}, J_{b2} - mômen quán tính tiết diện của bản giằng, nằm trong các mặt phẳng thẳng góc với các trục tương ứng 1-1 và 2-2 (đối với loại tiết diện 2);

b_1, b_2 - khoảng cách giữa các trục của nhánh, nằm trong các mặt phẳng thẳng góc với các trục tương ứng 1-1 và 2-2 (đối với loại tiết diện 2).

Các thanh giằng và bản giằng của cấu kiện tổ hợp chịu nén đúng tâm được tính toán chịu lực cắt quy ước Q_0 coi như không đổi trên toàn chiều dài thanh và được xác định theo công thức sau đây:

$$Q_0 = 7,15 \times 10^{-6} (2330 - \frac{E}{R}) \frac{N}{\varphi} \quad (4.37)$$

trong đó:

N - lực nén tính toán trong cột tổ hợp;

φ - hệ số uốn dọc của cột tổ hợp xác định theo λ_{td} .

Lực cắt quy ước Q_0 phân bố đều cho các hệ giằng trong các mặt phẳng song song với nhau. Bản giằng chịu lực cắt T_b và mômen uốn M_b trong mặt phẳng của bản giằng tính theo các công thức sau:

$$T_b = \frac{Q_r L_c}{b} \quad \text{và} \quad M_b = \frac{Q_r L_c}{2} \quad (4.38)$$

trong đó:

Q_r - lực cắt quy ước tác dụng lên một hệ giằng trong một mặt phẳng (nếu các hệ giằng đặt trong hai mặt phẳng thì $Q_r = Q_0/2$);

L_c - khoảng cách trung tâm giữa hai bản giằng;

b - khoảng cách giữa các trục của nhánh.

Các thanh giằng của cột rồng cần được tính như các thanh bụng của dầm, lực dọc trong thanh bụng xiên được xác định theo công thức sau:

$$N_{tx} = \frac{Q_r}{n_t \sin \alpha} \quad (4.39)$$

trong đó:

n_t - số thanh giằng xiên ở một mặt hệ giằng, với hệ thanh giằng hình tam giác $n_t=1$, với hệ thanh giằng chữ thập $n_t = 2$;

α - góc nghiêng giữa thanh giằng xiên và nhánh cột.

Trường hợp hệ thanh bụng chữ thập có thanh ngang, lực dọc trong thanh xiên còn chịu thêm một lực dọc phụ do nó cùng chịu nén với nhánh cột, vậy toàn bộ lực dọc trong thanh giằng xiên N_{tx} là:

$$N_{tx} = \frac{Q_r}{n_t \sin \alpha} + \alpha_t N_n \frac{F_x}{F_n} \quad (4.40)$$

trong đó:

N_n - lực dọc trong một nhánh cột;

F_n - diện tích tiết diện của một nhánh;

F_x - diện tích tiết diện của một thanh xiên;

α_t - hệ số được xác định theo công thức sau:

$$\alpha_t = \frac{a l^2}{a^3 + 2b^3} \quad (4.41)$$

a - chiều dài thanh xiên;

l - khoảng cách giữa hai mắt;

b - khoảng cách giữa 2 trục của nhánh.

Các thanh giằng xiên được tính như một thanh chịu nén trung tâm, nếu có sự lệch tâm giữa thanh giằng xiên và mặt phẳng liên kết thì lấy hệ số điều kiện làm việc $\gamma = 0,75$.

Độ mảnh của các cấu kiện chịu kéo và chịu nén không được vượt quá các giá trị độ mảnh giới hạn $[\lambda]$ cho trong bảng 4-26.

Bảng 4-26. Độ mảnh giới hạn $[\lambda]$ của các cấu kiện chịu lực dọc

Loại cấu kiện	Độ mảnh giới hạn $[\lambda]$		
	Cấu kiện chịu nén	Cấu kiện chịu kéo khi tác dụng	
		Tải trọng động	Tải trọng tĩnh
- Cột chính.	120	-	-
- Cột phụ, các thanh giằng của cột.	150	-	-
- Các thanh giằng khác.	200	400	400
- Các thanh cánh, thanh đứng, thanh xiên truyền phân lực gối tựa.	120	250	400
- Các thanh khác của dầm.	150	350	400

4.2.2.3. Tính toán ổn định cục bộ

Đối với cột được ghép từ các thép bản hoặc từ các thép dẹt cần bảo đảm cột không bị mất ổn định cục bộ trước khi cột bị mất ổn định tổng thể.

- Điều kiện để bản cánh không bị mất ổn định cục bộ khi tỷ số b_o/δ_c giữa chiều rộng tính toán b_o của phần nhô ra của bản cánh và chiều dày δ_c của bản cánh không được lớn hơn giá trị độ mảnh giới hạn $[\lambda_c]$ cho trong bảng 4-27:

$$\frac{b_o}{\delta_c} \leq [\lambda_c] \quad (4.42)$$

Bảng 4-27. Độ mảnh giới hạn $[\lambda_c]$ của phần nhô ra của cánh tiết diện cột

Đặc điểm của bản cánh và tiết diện	Giá trị độ mảnh giới hạn $[\lambda_c]$ khi $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$
- Cánh của tiết diện chữ I và chữ T không viên.	$[\lambda_c] = (0,36 + 0,10\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$
- Cánh của thép góc đều cạnh và các thép dẹt không viên (trừ chữ I).	$[\lambda_c] = (0,35 + 0,07\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$
- Cánh lớn của thép góc không đều cạnh và cánh thép chữ I không viên.	$[\lambda_c] = (0,38 + 0,08\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$
<i>Chú thích:</i> Khi $\bar{\lambda} < 0,8$ lấy $\bar{\lambda} = 0,8$ và khi $\bar{\lambda} > 4$ lấy $\bar{\lambda} = 4$.	

- Điều kiện để bản bụng cột chịu nén trung tâm không bị mất ổn định cục bộ là khi tỷ số h_o/δ_b giữa chiều cao tính toán h_o và chiều dày δ_b của bản bụng không được lớn hơn giá trị giới hạn $[\lambda_b]$ cho trong bảng 4-28:

$$\frac{h_o}{\delta_b} \leq [\lambda_b] \quad (4.43)$$

Đối với cột tiết diện chữ I, khi không thỏa mãn điều kiện (4.43) cần bố trí các cặp sườn dọc đặt ở giữa bản bụng, sườn dọc phải có kích thước $b_{sd} \geq 10\delta_b$ và $\delta_{sd} \geq 0,75\delta_b$.

Ngoài ra khi $(h_o/\delta_b) \geq 2,2\sqrt{E/R}$ phải đặt các sườn ngang cách nhau $a=(2,5\div 3)h_o$ để bản bụng không bị mất ổn định do ứng suất tiếp. Kích thước của cặp sườn ngang bố trí đối xứng qua bản bụng phải có:

$$b_{sn} \geq h_o/30 + 40\text{mm và } \delta_{sn} \geq 2b_s\sqrt{E/R} \quad (4.44)$$

Bảng 4-28. Độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ của bản bụng cột đặc chịu nén đúng tâm

Hình thức tiết diện cột	Độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ khi độ mảnh quy ước của cột	
	$\bar{\lambda} \leq 0,8$	$\bar{\lambda} > 0,8$
- Chữ I	$[\lambda_b] = \sqrt{E/R}$	$[\lambda_b] = (0,36 + 0,8\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$ $\leq 2,9\sqrt{E/R}$
- Chữ L, hình hộp chữ nhật (h_0 là cạnh lớn của hình hộp)	$[\lambda_b] = \sqrt{E/R}$	$[\lambda_b] = (0,85 + 0,19\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$ $\leq 1,6\sqrt{E/R}$
- Hình hộp vuông	$[\lambda_b] = 0,9\sqrt{E/R}$	$[\lambda_b] = (0,76 + 0,17\bar{\lambda})\sqrt{E/R}$ $\leq 1,4\sqrt{E/R}$

4.2.3. Cấu kiện chịu tác dụng đồng thời của lực dọc và mômen uốn**4.2.3.1. Tính toán cột đặc chịu nén lệch tâm**

- Kiểm tra độ bền của cột đặc chịu nén lệch tâm khi mặt phẳng tác dụng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện (mặt phẳng vuông góc với trục x-x), được tiến hành theo công thức sau:

$$\frac{N}{F_{th}} + \frac{M_x}{W_x^{th}} \leq R \quad (4.45)$$

trong đó:

N, M_x - lực dọc và mômen uốn trong mặt phẳng vuông góc với trục x;

F_{th}, W_x^{th} - diện tích, môđun chống uốn đối với trục x của tiết diện thu hẹp;

- Kiểm tra độ bền của cột chịu nén lệch tâm cho phép kể đến sự phát triển biến dạng dẻo khi cột không chịu trực tiếp tải trọng động, được làm bằng thép có giới hạn chảy $\sigma_c \leq 580 \text{ MPa}$, có $\tau \leq 0,5R_c$ theo công thức sau:

$$\left(\frac{N}{F_{th}R} \right)^n + \frac{M_x}{c_x R W_x^{th}} \leq 1 \quad (4.46)$$

trong đó n, c_x là các hệ số phụ thuộc hình dạng tiết diện, lấy theo bảng 4-29.

- Kiểm tra ổn định tổng thể của đặc chịu nén lệch tâm trong mặt phẳng uốn

• Trường hợp mặt phẳng tác dụng của mômen uốn M_x trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện cột (mặt phẳng vuông góc với trục x-x), được tính toán theo công thức:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x^t F} \leq R \quad (4.47)$$

trong đó:

φ_x^{lt} - hệ số ổn định của cột chịu nén lệch tâm, được xác định theo bảng 4-30 phụ thuộc vào độ mảnh quy ước $\bar{\lambda}$ và độ lệch tâm tính đối m_1 :

$$m_1 = \eta m_x \quad (4.48)$$

với:

η - hệ số kể tới ảnh hưởng của hình dạng tiết diện, lấy theo bảng 4-30;

m_x - độ lệch tâm tương đối:

$$m_x = \frac{M_x}{N} \times \frac{F}{W_x} \quad (4.49)$$

F - diện tích tiết diện cột;

W_x - mômen chống uốn tại thớ chịu nén lớn nhất của tiết diện;

N, M_x - lực dọc và mômen uốn được lấy trong cùng một tổ hợp tải trọng, với giá trị của M được lấy như sau:

- Đối với cột tiết diện không đổi của hệ khung thì M lấy giá trị lớn nhất trong phạm vi chiều dài cột.
- Đối với cột một đầu ngàm một đầu tự do thì M lấy giá trị ở ngàm nhưng không nhỏ hơn mômen tại tiết diện cách chân cột một đoạn bằng một phần ba chiều dài cột.

- Kiểm tra ổn định ngoài mặt phẳng tác dụng của mômen uốn (khi uốn trong mặt phẳng có độ cứng lớn nhất $J_x > J_y$ và trùng với mặt phẳng đối xứng), theo công thức sau:

$$\frac{N}{c\varphi_y F} = R \quad (4.50)$$

trong đó:

φ_y - hệ số uốn dọc đối với trục y , xác định theo công thức (4.27);

c - hệ số được xác định như sau:

- Khi độ lệch tâm tương đối $m_x \leq 5$:

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x} \quad (4.51)$$

trong đó α, β là các hệ số, lấy theo bảng 4-32.

- Khi độ lệch tâm tương đối $m_x \leq 10$:

$$c = \frac{\beta}{1 + m_x \varphi_y / \varphi_d} \quad (4.52)$$

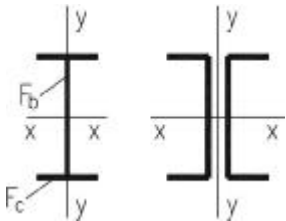
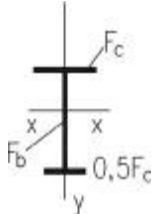
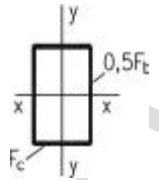
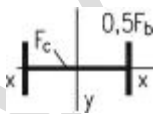
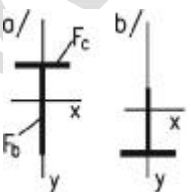
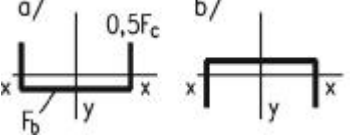
trong đó φ_d là hệ số ổn định của dầm, được xác định như trong công thức (4.9).

- Khi độ lệch tâm tương đối $5 < m_x < 10$:

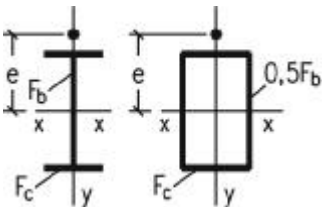
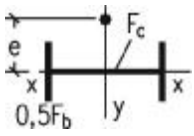
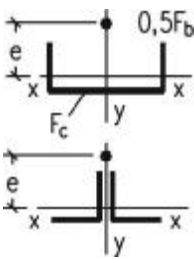
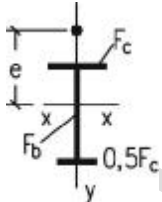
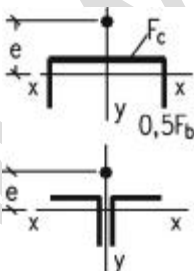
$$c = c_5(2 - 0,2m_x) + c_{10}(0,2m_x - 1) \quad (4.53)$$

trong đó c_5 tính theo công thức (4.51) khi $m_x=5$ và c_{10} tính theo công thức (4.52) khi $m_x=10$.

Bảng 4-29. Các hệ số c_x và n

Loại tiết diện	Hình dạng tiết diện	$\frac{F_c}{F_b}$	Giá trị các hệ số	
			c_x	n
1		0,25	0,25	1,5
		0,5	0,50	
		1,0	1,00	
		2,0	2,00	
2		0,5	1,40	2,0
		1,0	1,28	
		2,0	1,18	
3		0,25	1,19	1,5
		0,5	1,12	
		1,0	1,07	
		2,0	1,04	
4		0,25	1,47	3,0
		0,5		
		1,0		
		2,0		
5		-	1,60	a) 3,0 b) 1,0
6		0,5	1,60	a) 3,0 b) 1,0
		1,0		
		2,0		
<p>Chú thích: Khi F_c/F_b có giá trị trung gian cho phép nội suy tuyến tính. F_c, F_b - diện tích bản cánh và diện tích bản bụng.</p>				

Bảng 4-30. Hệ số ảnh hưởng của hình dạng tiết diện η

Sơ đồ tiết diện	$\frac{F_c}{F_b}$	Giá trị η			
		$0 < \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$	
		$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$
	0,25	$(1,45-0,05m)-0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,2	1,2	
	0,5	$(1,75-0,1m)-0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,25	1,25	
	$\geq 1,0$	$(1,9-0,1m)-0,02(6-m)\bar{\lambda}$	$1,4-0,02\bar{\lambda}$	1,3	
	0,25	$(1,75+0,05m)+0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
	0,5	$(0,5+0,1m)+0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
	$\geq 1,0$	$(0,25+0,15m)+0,03(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
	0,5	$(1,25-0,05m)-0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
	$\geq 1,0$	$(0,5+0,1m)+0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
	0,5	1,4	1,4	1,4	
	1,0	$1,6-0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,6	$1,35+0,05m$	1,6
	2,0	$1,8-0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,8	$1,3+0,1m$	1,8
	0,5	$1,45+0,04m$	1,65	$1,45+0,04m$	1,65
	1,0	$1,8+0,12m$	2,4	$1,8+0,12m$	2,4
	1,5	$2,0+0,25m+0,1\bar{\lambda}$	-	-	-
	2,0	$3,0+0,25m+0,1\bar{\lambda}$	-	-	-

Chú thích: Với tiết diện 1 khi tính tỉ số F_c/F_b không tính phần cánh đặt thẳng đứng.

Bảng 4-31. Hệ số φ_{lt} để kiểm tra ổn định của thanh chịu nén lệch tâm tiết diện đặc trong mặt phẳng tác dụng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện

$\bar{\lambda}$	Hệ số φ_{lt} khi độ lệch tâm tính đối m_1												
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337
1,0	825	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	181
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150
5,5	302	280	258	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	168	153	145	137	128
6,5	222	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	069
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	049	049	048	048	047
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042

Chú thích:

- Giá trị φ_{lt} trong bảng đã tăng lên 1000 lần.
- Trị số φ_{lt} lấy không lớn hơn φ .

Bảng 4-31 (tiếp). Hệ số φ_{lt} để kiểm tra ổn định của thanh chịu nén lệch tâm tiết diện đặc trong mặt phẳng tác dụng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện

$\bar{\lambda}$	Hệ số φ_{lt} khi độ lệch tâm tính đối m_1												
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	106	090	077
1,0	283	259	240	225	209	196	175	157	142	121	103	086	074
1,5	262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	082	070
2,0	240	222	206	193	182	170	153	138	125	107	094	079	067
2,5	220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	090	076	065
3,0	202	187	175	166	156	147	135	123	112	097	086	073	063
3,5	183	172	162	153	145	137	125	115	106	092	082	069	060
4,0	168	158	149	140	135	127	118	108	098	088	078	066	057
4,5	155	146	137	130	125	118	110	101	093	083	075	064	055
5,0	143	135	126	120	117	111	103	095	088	079	072	062	053
5,5	132	124	117	112	108	104	095	089	084	075	069	060	051
6,0	120	115	109	104	100	096	089	084	079	072	066	057	049
6,5	112	106	101	097	094	089	083	080	074	068	062	054	047
7,0	102	098	094	091	087	083	078	074	070	064	059	052	045
8,0	087	083	081	078	076	074	068	065	062	057	053	047	041
9,0	075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	048	043	038
10,0	065	062	060	059	058	057	055	052	049	046	043	039	035
11,0	057	055	053	052	051	050	048	046	044	040	038	035	032
12,0	051	050	049	048	047	046	044	042	040	037	035	032	029
13,0	045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027
14,0	041	040	040	039	039	038	037	036	036	034	032	029	026

Chú thích:

- Giá trị φ_{lt} trong bảng đã tăng lên 1000 lần.
- Trị số φ_{lt} lấy không lớn hơn hệ số uốn dọc φ .

- Kiểm tra ổn định cục bộ của bản cánh cột đặc chịu nén lệch tâm như cột đặc chịu nén trung tâm: $b_0/\delta_c \leq [\lambda_c]$ với độ mảnh giới hạn $[\lambda_c]$ được xác định theo bảng 4-27.

- Kiểm tra ổn định cục bộ của bản bụng cột đặc chịu nén lệch tâm tương tự như cột đặc chịu nén trung tâm: $h_0/\delta_b \leq [\lambda_b]$, nhưng độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ ngoài phụ thuộc vào độ mảnh, vật liệu, hình dạng tiết diện như cột chịu nén trung tâm, còn phụ thuộc độ lệch tâm tương đối m và hệ số α để kể đến trạng thái ứng suất pháp ở bản bụng phân bố không đều do mômen uốn sinh ra:

$$\alpha = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} \quad (4.54)$$

trong đó:
$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{J_x} y \quad \sigma' = \frac{N}{F} - \frac{M_x}{J_x} y' \quad (4.55)$$

với y là khoảng cách từ trục $x-x$ đến thớ chịu nén xa nhất của bản bụng, còn y' là khoảng cách từ trục $x-x$ đến thớ chịu kéo xa nhất của bản bụng do M_x sinh ra.

• Nếu $\alpha \leq 0,5$ có độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ của bản bụng lấy theo bảng 4-33.

• Nếu $\alpha \geq 1$ có độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ của bản bụng tính theo công thức sau:

$$[\lambda_b] = 4,35 \sqrt{\frac{(2\alpha - 1)E}{\sigma(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2})}} \leq 3,8 \sqrt{\frac{E}{R}} \quad (4.56)$$

trong đó:

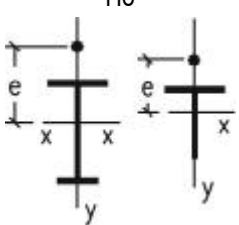
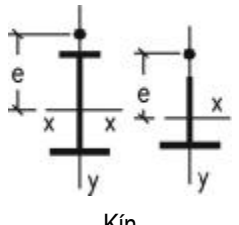
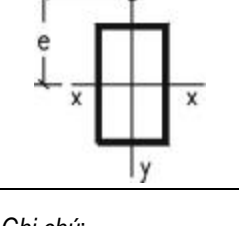
$$\beta = 1,4(2\alpha - 1) \frac{\tau}{\sigma} \quad \text{và} \quad \tau = \frac{Q}{h_b \delta_b}$$

với Q là lực cắt ở tiết diện đang khảo sát; σ ứng suất pháp tính theo công thức (4.55).

• Nếu $0,5 < \alpha < 1$ xác định $[\lambda_b]$ bằng cách nội suy tuyến tính giữa các giá trị tính được khi $\alpha=0,5$ và $\alpha=1$.

Khi bản bụng không bảo đảm điều kiện ổn định cục bộ, cần gia cố bằng các sườn dọc có mômen quán tính $J_{sd} \geq 6h_0 \delta_b^3$ đặt vào giữa bản bụng như ở cột chịu nén trung tâm. Ngoài ra khi $h_0/\delta_0 \geq 2,2 \sqrt{E/R}$ bụng cột cần gia cố thêm bằng các sườn ngang như ở cột chịu nén trung tâm.

Bảng 4-32. Giá trị các hệ số α và β

Loại tiết diện	Giá trị các hệ số			
	α		β	
	$m_x \leq 1$	$1 < m_x \leq 5$	$\lambda_y \leq \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
<p>Hở</p>  <p>Hở</p>  <p>Kín</p> 	0,7	$0,65 + 0,05m_x$	1	$\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$
	$1 - 0,3 \frac{J_2}{J_1}$	$1 - (0,35 - 0,05m_x) \frac{J_2}{J_1}$	1	$1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}\right) \left(2 \frac{J_2}{J_1} - 1\right)$
	0,6	$0,55 + 0,05m_x$	1	$\sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}$
<p>Ghi chú:</p> <p>J_1, J_2 - mômen quán tính của cánh lớn và cánh nhỏ đối với trục y-y của tiết diện.</p> <p>φ_c - giá trị của φ_y khi $\lambda_y = \lambda_c = 3,14 \sqrt{E/R}$.</p> <p>Đối với cột rỗng kín nếu trên chiều dài thanh có ít nhất hai vách cứng thì giá trị của α và β lấy theo tiết diện kín,, ngược lại lấy theo tiết diện hở.</p>				

Bảng 4-33. Độ mảnh giới hạn $[\lambda_b]$ của bản bụng cột chịu nén lệch tâm

Độ lệch tâm tương đối	Giá trị giới hạn $[\lambda_b]$ của bản bụng	
	$\bar{\lambda} \leq 0,8$	$\bar{\lambda} > 0,8$
$m \leq 0,3$	$[\lambda_b] = \sqrt{E/R}$	$[\lambda_b] = (0,36 + 0,8\bar{\lambda}) \sqrt{E/R} \leq 2,9 \sqrt{E/R}$
$m \geq 1$	$[\lambda_b] = 1,3 \sqrt{E/R}$	$[\lambda_b] = (0,9 + 0,5\bar{\lambda}) \sqrt{E/R} \leq 3,1 \sqrt{E/R}$
<p>Chú thích: Khi $0,3 < m < 1$ được nội suy tuyến tính giữa các giá trị được xác định với $m=0,3$ và $m=1$.</p>		

Bảng 4-34. Hệ số φ_{lt} để kiểm tra ổn định của thanh chịu nén lệch tâm tiết diện rỗng trong mặt phẳng tác dụng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện

$\bar{\lambda}$	Hệ số φ_{lt} khi độ lệch tâm tương đối m												
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333	286	250	222	200
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328	300	243	218	197
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311	271	240	211	190
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293	255	228	202	183
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274	238	215	192	175
3,0	637	545	455	399	356	324	296	275	255	222	201	182	165
3,5	562	480	402	355	320	294	270	251	235	206	187	170	155
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215	191	173	160	145
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196	176	160	149	136
5,0	350	315	277	250	230	212	201	186	178	161	149	138	127
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163	147	137	128	118
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149	135	126	119	109
6,5	221	208	190	178	165	157	149	142	137	124	117	109	102
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125	114	108	101	095
8,0	148	142	136	130	123	118	113	108	105	097	091	085	082
9,0	117	114	110	107	102	098	094	090	087	082	079	075	072
10,0	097	094	091	090	087	084	080	076	073	070	067	064	062
11,0	082	078	077	076	073	071	068	066	064	060	058	056	054
12,0	068	066	064	063	061	060	058	057	056	054	053	050	049
13,0	060	059	054	053	052	051	050	049	049	048	047	046	045
14,0	050	049	048	047	046	046	045	044	043	043	042	042	041

Chú thích:

- Giá trị φ_{lt} trong bảng đã tăng lên 1000 lần.
- Trị số φ_{lt} lấy không lớn hơn φ .

Bảng 4-34 (tiếp). Hệ số φ_{lt} để kiểm tra ổn định của thanh chịu nén lệch tâm tiết diện rộng trong mặt phẳng tác dụng của mômen uốn trùng với mặt phẳng đối xứng của tiết diện

$\bar{\lambda}$	Hệ số φ_{lt} khi độ lệch tâm tương đối m												
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	182	167	154	143	133	125	111	100	091	077	067	056	048
1,0	180	165	151	142	131	121	109	098	090	077	066	055	046
1,5	178	163	149	137	128	119	108	096	088	077	065	053	045
2,0	170	156	143	132	125	117	106	095	086	076	064	052	045
2,5	162	148	136	127	120	113	103	093	083	074	062	051	044
3,0	153	138	130	121	116	110	100	091	081	071	061	051	043
3,5	143	130	123	115	110	106	096	088	078	069	059	050	042
4,0	133	124	118	110	105	100	093	084	076	067	057	049	041
4,5	124	116	110	105	100	096	089	079	073	065	055	048	040
5,0	117	108	104	100	095	092	086	076	071	062	054	047	039
5,5	110	102	098	095	091	087	081	074	068	059	052	046	039
6,0	103	097	093	090	085	083	077	070	065	056	051	045	038
6,5	097	092	088	085	080	077	072	066	061	054	050	044	037
7,0	091	087	083	079	076	074	068	063	058	051	047	043	036
8,0	079	077	073	070	067	065	060	055	052	048	044	041	035
9,0	069	067	064	062	059	056	053	050	048	045	042	039	035
10,0	060	058	056	054	052	050	047	045	043	041	038	036	033
11,0	053	052	050	048	046	044	043	042	041	038	035	032	030
12,0	048	047	045	043	042	040	039	038	037	034	032	030	028
13,0	044	042	042	041	040	038	037	036	035	032	030	028	026
14,0	041	040	039	039	038	037	036	035	034	031	029	027	025

Chú thích:

- Giá trị φ_{lt} trong bảng đã tăng lên 1000 lần.
- Trị số φ_{lt} lấy không lớn hơn φ .

4.2.3.2. Tính toán cột rộng chịu nén lệch tâm

Đối với các cột rộng chịu nén lệch tâm có các thanh giằng đặt trong mặt phẳng song song với mặt phẳng uốn, kiểm tra ổn định tổng thể của cột theo công thức (4.47), trong đó hệ số ổn định của cột khi chịu nén lệch tâm φ_x^{lt} lấy theo bảng 4-34, phụ thuộc vào độ mảnh tính đối quy ước $\bar{\lambda}$ và độ lệch tâm tương đối m_x :

$$m_x = \frac{M_x}{N} \times \frac{F}{J_x} a \quad (4.57)$$

trong đó a là khoảng cách từ trục chính (trục $x-x$) vuông góc với mặt phẳng uốn của tiết diện đến trục của nhánh chịu nén lớn nhất, nhưng không nhỏ hơn khoảng cách đến trục của bản bụng nhánh.

Ngoài ra còn cần phải kiểm tra ổn định từng nhánh riêng như thanh chịu nén trung tâm theo công thức (4.26) với lực nén trong mỗi nhánh được xác định theo công thức sau:

$$N_n = \frac{N}{h_c} y \pm \frac{M}{h_c} \quad (4.58)$$

trong đó:

h_c - khoảng cách giữa hai trục của nhánh;

y - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện cột tới đường trục của nhánh đối diện với nhánh cần tìm nội lực.

Tính toán thanh giằng và bản giằng như cột chịu nén trung tâm, lực cắt lấy giá trị lớn nhất trong hai giá trị lực cắt thực Q và lực cắt quy ước Q_0 tính theo công thức (4.37).

4.3. TÍNH TOÁN LIÊN KẾT TRONG KẾT CẤU THÉP

4.3.1. Liên kết hàn

4.3.1.1. Đường hàn đối đầu

Đường hàn đối đầu được coi như phần kéo dài của thép cơ bản, vì vậy công thức tính toán đường hàn đối đầu như tính toán thép cơ bản.

• Đường hàn đối đầu chịu lực dọc N , ta có công thức tính toán sau:

$$\text{- Khi } N \text{ là lực kéo: } \sigma_N = \frac{N}{F_h} \leq R_k^h \quad (4.59a)$$

$$\text{- Khi } N \text{ là lực nén: } \sigma_N = \frac{N}{F_h} \leq R_n^h \quad (4.59b)$$

trong đó:

N - lực dọc tính toán tác dụng lên đường hàn;

R_k^h, R_n^h - cường độ tính toán của đường hàn khi chịu kéo và khi chịu nén;

F_h - diện tích tính toán của đường hàn đối đầu, khi nối đối đầu hai tấm thép thì diện tích tính toán của đường hàn $F_h = \delta_h l_h$, trong đó δ_h là bề dày tính toán của đường hàn bằng bề dày δ của thép cơ bản; l_h là chiều dài tính toán của đường hàn, bằng chiều dài thực trừ đi 2δ , xét tới chất lượng hai đầu đường hàn không tốt.

- Đường hàn đối đầu chịu mômen uốn M , được kiểm tra theo công thức sau:

$$\text{- Tại thớ chịu kéo: } \sigma_M = \frac{M}{W_h^{(+)}} \leq R_k^h \quad (4.60a)$$

$$\text{- Tại thớ chịu nén: } \sigma_M = \frac{M}{W_h^{(-)}} \leq R_n^h \quad (4.60b)$$

- Đường hàn đối đầu chịu lực cắt Q , được kiểm tra theo công thức sau đây với giả thiết đơn giản hóa là ứng suất tiếp phân bố đều trên toàn tiết diện:

$$\tau_Q = \frac{Q}{F_h} \leq R_c^h \quad (4.61)$$

Đường hàn đối đầu đồng thời chịu mômen uốn M , lực dọc N và lực cắt Q , được kiểm tra độ bền theo ứng suất tương đương:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma_h^2 + 3\tau_h^2} \leq 1,15R_k^h \quad (4.62)$$

trong đó $\sigma_h = \sigma_N + \sigma_M$ và $\tau_h = \tau_Q$ được xác định theo các công thức (4.59), (4.60) và (4.61).

4.3.1.2. Đường hàn góc

- Đường hàn góc chịu tác dụng của lực dọc tính toán N , cần được kiểm tra độ bền theo hai tiết diện:

- Theo kim loại của đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_N^h = \frac{N}{F_h} = \frac{N}{\sum \beta_h h_h l_h} \leq R_g^h \quad (4.63a)$$

- Theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2, xem hình 4-4):

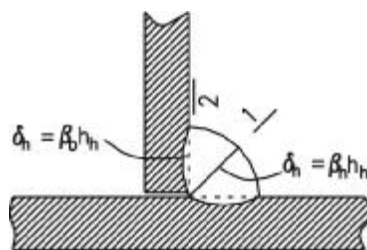
$$\tau_N^b = \frac{N}{F_b} = \frac{N}{\sum \beta_b h_h l_h} \leq R_g^b \quad (4.63b)$$

trong đó:

h_h - chiều cao đường hàn góc;

l_h - chiều dài tính toán của đường hàn lấy bằng chiều dài thực trừ đi 10mm, xét tới chất lượng hai đầu đường hàn không tốt;

β_h, β_b - các hệ số lấy như sau, khi hàn các cấu kiện bằng thép có giới hạn chảy nhỏ hơn 580 MPa lấy theo bảng 4-35; với giới hạn chảy cao hơn 580 MPa lấy $\beta_h=0,7$ và $\beta_b=1$.



Hình 4-4. Mặt cắt ngang của mối hàn

Bảng 4-35. Hệ số β_h và β_b của đường hàn góc

Phương pháp hàn và đường kính dây hàn d (mm)	Vị trí đường hàn	Hệ số	Giá trị của hệ số β_h và β_b khi chiều cao đường hàn h_h (mm)			
			3 ÷ 8	9 ÷ 12	14 ÷ 16	≥ 18
Hàn tự động d = 3 ÷ 5	Nghiêng	β_h	1,1		0,7	
		β_b	1,15		1,0	
	Nằm	β_h	1,1	0,9	0,7	
		β_b	1,15	1,05	1,0	
Hàn tự động và bán tự động khi d = 3 ÷ 5	Nghiêng	β_h	0,9	0,8	0,7	
		β_b	1,05	1,1		
	Nằm	β_h	0,9	0,8	0,7	
		β_b	1,05	1,0		
Hàn tay, bán tự động với dây hàn đặc d<1,4 hoặc dây hàn có lõi thuốc hàn	Nghiêng, ngang, đứng, ngược	β_h	0,7			
		β_b	1,0			

• Đường hàn góc chịu tác dụng của lực cắt tính toán Q, cũng có công thức tương tự kiểm tra độ bền theo hai tiết diện:

- Theo kim loại của đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_Q^h = \frac{Q}{F_h} = \frac{Q}{\sum \beta_h h_h l_h} \leq R_g^h \quad (4.64a)$$

- Theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\tau_Q^b = \frac{Q}{F_b} = \frac{Q}{\sum \beta_b h_b l_b} \leq R_g^b \quad (4.64b)$$

trong đó:

Q - lực cắt tính toán, tác dụng lên đường hàn.

• Đường hàn góc chịu tác dụng của mômen uốn M trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng bố trí đường hàn, được tiến hành với hai tiết diện theo các công thức:

- Theo kim loại của đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_M^h = \frac{M}{W_h} \leq R_g^h \quad (4.65a)$$

- Theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\tau_M^b = \frac{M}{W_b} \leq R_g^b \quad (4.65b)$$

còn khi mômen uốn M nằm trong mặt phẳng bố trí đường hàn, cũng được tiến hành kiểm tra ở hai tiết diện theo các công thức:

- Theo kim loại của đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_M^h = \frac{M}{J_x^h + J_y^h} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_g^h \quad (4.66a)$$

- Theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\tau_M^b = \frac{M}{J_x^b + J_y^b} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_g^b \quad (4.66b)$$

trong đó:

M - mômen uốn tính toán, tác dụng lên đường hàn;

W_h - mômen chống uốn của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn;

W_b - mômen chống uốn của tiết diện tính toán theo kim loại ở biên nóng chảy hàn;

J_x^h, J_y^h - mômen quán tính của tiết diện tính toán theo kim loại đường hàn đối với các trục quán tính chính của nó;

J_x^b, J_y^b - mômen quán tính của tiết diện tính toán theo kim loại ở biên nóng chảy đối với các trục quán tính chính của nó;

x, y - tọa độ của những điểm ở xa nhất so với trọng tâm tiết diện tính toán của đường hàn với trục quán tính chính của nó;

R_g^h, R_g^b - cường độ chịu cắt tính toán của đường hàn góc theo kim loại của đường hàn và theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy.

Phương chiều của ứng suất tiếp trong trường hợp mặt phẳng tác dụng của mômen uốn thẳng góc với tiết diện tính toán của đường hàn theo quy luật ứng suất pháp của cấu kiện chịu uốn, còn trong trường hợp mặt phẳng tác dụng của mômen uốn nằm trong tiết diện tính toán của đường hàn theo quy luật ứng suất tiếp của cấu kiện khi chịu xoắn.

• Đường hàn góc chịu tác dụng đồng thời của lực dọc N , lực cắt Q và mômen uốn M , được tiến hành kiểm tra ở hai tiết diện theo các công thức:

- Theo kim loại của đường hàn (tiết diện 1):

$$\tau_g^h = \left| \overline{\tau_N^h} + \overline{\tau_Q^h} + \overline{\tau_M^h} \right| \leq R_g^h \quad (4.67a)$$

- Theo kim loại của thép cơ bản trên biên nóng chảy (tiết diện 2):

$$\tau_g^b = \left| \overline{\tau_N^b} + \overline{\tau_Q^b} + \overline{\tau_M^b} \right| \leq R_g^b \quad (4.67b)$$

4.3.2. Liên kết bulông

4.3.2.1. Khả năng chịu lực của một bulông

Khả năng chịu lực của một bulông $[N]^b$ khi chịu cắt, chịu ép mặt và chịu kéo được xác định theo các công thức sau:

$$\text{- Khả năng chịu cắt:} \quad [N]_c^b = R_c^b F_b \quad (4.68a)$$

$$\text{- Khả năng chịu ép mặt:} \quad [N]_{em}^b = R_{em}^b d(\Sigma\delta)_{\min} \quad (4.68b)$$

$$\text{- Khả năng chịu kéo:} \quad [N]_k^b = R_k^b F_{th}^b \quad (4.68c)$$

trong đó:

d - đường kính ngoài của thân bulông;

$F_b = \pi d^2/4$ - diện tích tiết diện của thân bulông;

F_{th}^b - diện tích tiết diện của thân bulông tại chỗ có ren, giá trị F_{th}^b lấy theo bảng 4-36;

$(\Sigma\delta)_{\min}$ - tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng ép ở một phía thân bulông;

n_c số lượng mặt bị cắt trong một bulông;

R_c^b , R_{em}^b , R_k^b - cường độ tính toán của liên kết bulông khi chịu cắt, chịu ép mặt và chịu kéo, lấy theo bảng 4-8 và phải nhân với hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông γ_{lk} , lấy theo bảng 4-37.

Bảng 4-36. Diện tích tiết diện của bulông

d (mm)	16	18	20	22	24	27	30	36
F_b (cm ²)	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17
F_{th}^b (cm ²)	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,60	8,26

Bảng 4-37. Hệ số điều kiện làm việc của liên kết bulông γ_{lk}

Tính chất của liên kết	Hệ số γ_{lk}
1. Liên kết nhiều bulông khi tính toán chịu cắt và ép mặt với: - Bulông tinh (độ chính xác cao). - Bulông thô và bulông có độ chính xác bình thường.	1,0 0,9
2. Liên kết bulông trong các cấu kiện của kết cấu bằng thép có giới hạn chảy nhỏ hơn 380MPa chịu ép mặt khi khoảng cách dọc theo lực, từ mép của cấu kiện đến trọng tâm của lỗ gần nhất là $1,5d$ và khoảng cách giữa trọng tâm các lỗ là $2d$.	0,85
<i>Chú thích:</i> Các hệ số trong mục 1 và 2 được xét đồng thời.	

4.3.2.2. Tính toán liên kết bulông

Dưới tác dụng của ngoại lực nếu hai phân tố được liên kết bằng bulông trượt lên nhau, khi đó bulông bị cắt đồng thời bị ép mặt. Còn nếu hai phân tố được nối tách rời nhau ra, bulông bị kéo.

• *Liên kết bulông chịu lực dọc N hoặc lực cắt Q* với giả thiết các bulông chịu lực như nhau, vậy ta có công thức tính toán sau đây:

- Nếu N_N^b và N_Q^b đều làm cho bulông bị cắt đồng thời chịu ép mặt:

$$N_N^b = \frac{N}{n_b} \leq [N]_{\min}^b \quad \text{hoặc} \quad N_Q^b = \frac{Q}{n_b} \leq [N]_{\min}^b \quad (4.69)$$

- Nếu N_N^b làm cho bulông bị kéo, còn N_Q^b làm cho bulông chịu cắt và chịu ép mặt:

$$N_N^b = \frac{N}{n_b} \leq [N]_k^b \quad \text{hoặc} \quad N_Q^b = \frac{Q}{n_b} \leq [N]_k^b \quad (4.70)$$

trong đó:

n_b - số bulông chịu lực dọc N hoặc lực cắt Q ;

$[N]_{\min}^b$ - giá trị nhỏ nhất trong hai khả năng chịu cắt và chịu ép mặt của một bulông;

$[N]_k^b$ - khả năng chịu kéo của một bulông.

• *Liên kết bulông chịu mômen uốn M* , với giả thiết dưới tác dụng của mômen uốn hai phân tố được nối quay quanh một tâm quay và lực phân phối lên các bulông tỷ lệ với khoảng cách từ tâm quay của liên kết đến bulông khảo sát, vậy ta có công thức tính toán sau:

$$N_M^b = \frac{M}{\sum_{i=1}^{n_b} e_i^2} e_{\max} \quad (4.71)$$

- Nếu N_M^b làm cho bulông bị cắt đồng thời chịu ép mặt:

$$N_M^b \leq [N]_{\min}^b \quad (4.72)$$

- Nếu N_M^b làm cho bulông bị kéo:

$$N_M^b \leq [N]_k^b \quad (4.73)$$

trong đó:

n_b - số bulông chịu mômen uốn M ;

e_i - khoảng cách từ trục quay của liên kết đến bulông thứ i ;

e_{\max} - khoảng cách từ trục quay của liên kết đến bulông xa tâm quay nhất.

• Liên kết bulông đồng thời chịu mômen uốn M , lực dọc N và lực cắt Q , khi bulông chịu kéo và chịu cắt đồng thời được kiểm tra về cắt và kéo riêng biệt:

$$\begin{aligned} N_N^b + N_M^b &\leq [N]_k^b \\ N_Q^b &\leq [N]_{\min}^b \end{aligned} \quad (4.74)$$

còn khi bulông chịu cắt và chịu ép mặt do tác dụng đồng thời của mômen, lực dọc và lực cắt được kiểm tra theo hợp lực của các thành phần lực tác dụng vào bulông:

$$N^b = \left| \overrightarrow{N_N^b} + \overrightarrow{N_Q^b} + \overrightarrow{N_M^b} \right| \leq [N]_{\min}^b \quad (4.75)$$

Khi các cấu kiện liên kết với nhau qua bản nối hoặc trong các liên kết dùng bản nối một phía, số lượng bulông cần tăng thêm 10% so với tính toán.

4.3.2.3. Bố trí bulông

Các bulông phải được bố trí theo các quy định ở bảng 4-38.

Quy định về khoảng cách nhỏ nhất giữa các bulông nhằm đảm bảo độ bền của liên kết và không gian tối thiểu để vận hành, khoảng cách lớn nhất nhằm đảm bảo ổn định của phần bản thép giữa hai bulông.

Đối với các liên kết chịu lực nên bố trí bulông theo khoảng cách nhỏ nhất để liên kết gọn và đỡ tốn thép.

Bảng 4-38. Quy định về khoảng cách giữa các bulông

Đặc điểm của khoảng cách	Trị số của khoảng cách
1. Khoảng cách giữa tâm bulông theo hướng bất kỳ: <ul style="list-style-type: none"> - Nhỏ nhất - Lớn nhất trong các dãy biên khi không có thép góc viền chịu kéo và nén. - Lớn nhất trong các dãy giữa cũng như trong các dãy biên khi có thép góc viền: <ul style="list-style-type: none"> • Khi chịu kéo: • Khi chịu nén: 	<p>2,5d</p> <p>8d hoặc 12δ</p> <p>16d hoặc 24δ</p> <p>12d hoặc 18δ</p>
2. Khoảng cách giữa tâm bulông đến mép của cấu kiện: <ul style="list-style-type: none"> - Nhỏ nhất dọc theo lực. - Nhỏ nhất vuông góc với lực: <ul style="list-style-type: none"> • Khi mép cắt. • Khi mép cán. - Lớn nhất 	<p>2d</p> <p>1,5d</p> <p>1,2d</p> <p>4d hoặc 8δ</p>
<p><i>Chú thích:</i> d - đường kính lỗ bulông.</p> <p>δ - chiều dày bản mỏng nhất ở ngoài.</p>	

Chương 4 201**KẾT CẤU THÉP 201****4.1. Cơ sở thiết kế kết cấu thép 201**

4.1.1. Phương pháp tính kết cấu thép theo trạng thái giới hạn 201

4.1.2. Vật liệu thép dùng trong kết cấu 202

4.1.3. Vật liệu thép dùng trong liên kết 204

4.2. Tính toán các cấu kiện kết cấu thép 207

4.2.1. Cấu kiện chịu uốn 207

4.2.2. Cấu kiện chịu kéo đúng tâm và chịu nén đúng tâm 215

4.2.3. Cấu kiện chịu tác dụng đồng thời của lực dọc và mômen uốn 224

4.3. Tính toán liên kết trong kết cấu thép 234

4.3.1. Liên kết hàn 234

4.3.2. Liên kết bulông 238