

DB

安徽省地方标准

J17561-2024

DB34 / T 4762-2024

装配式部分包覆钢-混凝土组合结构
技术规程

装配式部分包覆钢-混凝土组合结构
技术规程

Technical specification of assembled partially-encased
steel-concrete composite structures

2024-04-15 发布

2024-10-15 实施

安徽省市场监督管理局 发布

前 言

根据安徽省市场监督管理局《安徽省市场监督管理局关于下达 2022 年第二批安徽省地方标准制修订计划的通知》(皖市监函〔2022〕550 号)的要求,编制本规程。规程编制组经广泛的调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规程。

本规程共 10 章,主要内容有:1. 总则;2. 术语和符号;3. 材料;4. 基本规定;5. 结构设计;6. 构件设计;7. 连接与节点;8. 防火与防腐;9. 制作与施工;10. 验收。

本规程由安徽省住房和城乡建设厅负责归口管理,委托合肥工业大学负责对条文和具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请将相关意见和有关资料反馈给合肥工业大学(安徽省合肥市屯溪路 193 号,邮编 230009, E-mail: yongliu@hfut.edu.cn)。

主 编 单 位:合肥工业大学

安徽富煌钢构股份有限公司

合肥工业大学设计院(集团)有限公司

参 编 单 位:同济大学

浙江大东吴建筑科技有限公司

合肥工大建设监理有限责任公司

长江精工钢结构(集团)股份有限公司

中能建建筑集团有限公司

合肥建工集团有限公司

中铁四局集团钢结构建筑有限公司

苏州科技大学

安徽徽裕建筑工程有限公司

华汇工程设计集团股份有限公司
合肥皓赢建筑设计有限公司
安徽中科樨卯建工集团有限公司
安徽鼎峰钢结构科技有限公司
阜阳市建筑业监督管理处
安徽省高迪循环经济产业园股份有限公司
安徽吾兴新材料有限公司
安徽省建筑科学研究设计院
上海杉达学院
安徽承宇装配式建筑有限公司

主要编写人员:王静峰 刘 用 王 珺 沈万玉 李 杰
江 涛 张 勇 陈以一 方有珍 肖景平
刘 亮 何 利 边雪虎 张 虎 朱海生
曹 晗 傅 强 童林浪 蒋首超 陈传明
袁 峰 肖亚明 郑齐敬 魏滔锴 钱礼平
徐秋雨 薛 扬 王 波 覃祚威 郑中明
田朋飞 鲁 阳 邢大鹏 屈 创 田 源
刘 果 王抒弦 范晓伟 戴贤阳 涂刚要
俞能报 黄 华 刘玉亭 陶书庆 钱正昊
李志鹏 胡培芳 张 璐 汪皖黔 陈旭阳
李 慧 卫晓晓

主要审查人员:朱兆晴 胡泓一 徐正安 胡夏闽 刘宏欣
陈 刚 蒋 路 丰建国 方义庆

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	材 料	8
3.1	钢材与钢筋	8
3.2	混凝土	9
3.3	连接材料	11
4	基本规定	12
5	结构设计	18
5.1	设计原则与结构分析	18
5.2	结构体系	20
5.3	结构变形规定	22
5.4	抗震设计	23
6	构件设计	26
6.1	一般规定	26
6.2	梁设计	29
6.3	柱和支撑设计	49
7	连接与节点	66
7.1	一般规定	66
7.2	梁梁连接	67
7.3	柱柱连接	68
7.4	梁柱连接	70
7.5	柱脚连接	77
7.6	支撑连接	77
7.7	梁墙连接	78

8	防火与防腐	80
8.1	一般规定	80
8.2	防 腐	80
8.3	防 火	81
9	制作与施工	84
9.1	一般规定	84
9.2	制 作	84
9.3	运输与存放	87
9.4	施 工	88
10	验 收	90
10.1	一般规定	90
10.2	预制构件	91
10.3	预制构件安装	93
	附录 A 验收表格	96
	附录 B 异形 PEC 柱截面抗弯承载力计算方法	99
	本规程用词说明	118
	引用标准名录	119
	条文说明	121

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Material	8
3.1	Steel and reinforcement	8
3.2	Concrete	9
3.3	Connections and fasteners materials	11
4	General requirements	12
5	Structural design	18
5.1	Design principles and structural analysis	18
5.2	Structural system	20
5.3	Structural deformation requirements	22
5.4	Seismic design	23
6	Component design	26
6.1	General requirements	26
6.2	Beam design	29
6.3	Column and brace design	49
7	Connections and joints	66
7.1	General requirements	66
7.2	Beam-beam connections	67
7.3	Column-column connections	68
7.4	Beam-column joints	70
7.5	Column base joints	77
7.6	Brace connections	77
7.7	Beam-wall connections	78

8	Fire prevention and corrosion prevention	80
8.1	General requirements	80
8.2	Corrosion prevention	80
8.3	Fire prevention	81
9	Fabrication and construction	84
9.1	General requirements	84
9.2	Fabrication	84
9.3	Transportation and storage	87
9.4	Construction	88
10	Quality acceptance	90
10.1	General requirements	90
10.2	Prefabricated components	91
10.3	Erection of prefabricated components	93
Appendix A	Quality acceptance tables	96
Appendix B	Flexural capacity calculation method of special-shaped PEC column	99
	Explanation of wording in this standard	118
	List of quoted standards	119
	Explanation of provisions	121

1 总 则

1.0.1 为规范装配式部分包覆钢-混凝土组合结构设计、构件制作、施工、验收的技术要求,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、绿色低碳,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于安徽省工业与民用建筑装配式部分包覆钢-混凝土组合结构的设计、构件制作、施工与验收。

1.0.3 装配式部分包覆钢-混凝土组合结构的设计、构件制作、施工与验收,除应执行本规程外,尚应符合国家、行业和安徽省现行相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 装配式部分包覆钢-混凝土组合结构 assembled partially-encased steel-concrete composite(PEC)structures

全部或部分采用工厂预制的部分包覆钢-混凝土组合构件,通过可靠连接形成整体的装配式结构,简称为 PEC 结构。

2.1.2 部分包覆钢-混凝土组合构件 partially-encased steel-concrete composite members

开口截面主钢件外周轮廓间包覆混凝土,且混凝土与主钢件共同受力的结构构件,包括 PEC 柱、PEC 梁、PEC 支撑等构件。

2.1.3 部分包覆钢-混凝土组合梁 partially-encased steel-concrete composite beams

主要承受弯矩或弯矩-剪力的部分包覆钢-混凝土组合构件,包括无翼板的部分包覆钢-混凝土组合梁(简称矩形组合梁)和有翼板的部分包覆钢-混凝土组合梁(简称 T 形组合梁)。

2.1.4 部分包覆钢-混凝土组合柱 partially-encased steel-concrete composite columns

主要承受轴力或轴力-弯矩的部分包覆钢-混凝土组合构件,简称 PEC 柱,包括框架柱、排架柱和两端铰接柱。

2.1.5 异形截面部分包覆钢-混凝土组合柱 special-shaped partially-encased steel-concrete composite columns

截面形状不规则的部分包覆钢-混凝土组合柱,简称异形 PEC 柱,包括十字形、L 形和 T 形等。

2.1.6 部分包覆钢-混凝土组合支撑 partially-encased steel-concrete composite bracings

承受轴力且与框架结构协同抵抗侧向力的部分包覆钢-混

凝土组合构件,简称 PEC 支撑。

2.1.7 部分包覆钢-混凝土组合框架 partially-encased steel-concrete composite frames

由部分包覆钢-混凝土组合柱和部分包覆钢-混凝土组合梁组成的组合框架,简称 PEC 框架。

2.1.8 主钢件 main steel component

部分包覆钢-混凝土组合构件中的承载结构钢截面,由单个或若干个钢板、T 形、H 形或工字形钢组成,包括采用型钢或钢板焊接成型。

2.1.9 连杆 link

焊接于主钢件两翼缘间的连接钢筋、钢棒或钢板。

2.1.10 厚实型截面 compact section

无需设置连杆即能满足塑性承载能力要求的主钢件截面。

2.1.11 薄柔型截面 non-compact section

设置连杆方能满足塑性承载能力要求的主钢件截面。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能:

E_a —— 钢材弹性模量;

E_c —— 混凝土弹性模量;

E_{EQ} —— 组合截面当量弹性模量;

E_s —— 钢筋弹性模量;

EA —— PEC 构件截面轴向刚度;

EI —— PEC 构件截面抗弯刚度;

$(EI)_e$ —— 轴心受压构件等效截面抗弯刚度;

f_a, f'_a —— 钢材抗拉、抗压强度设计值;

f_{ae} —— 折减后的主钢件腹板钢材抗压、抗拉强度设计值;

f_{at} —— 圆柱头栓钉极限抗拉强度设计值;

f_{ay} —— 钢材屈服强度;

f_{au} —— 钢材抗拉强度最小值;

f_{av} —— 钢材抗剪强度设计值；
 $f_{ck}、f_c$ —— 混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；
 f_{cw} —— 梁主钢件腹部混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{EQ} —— 组合截面当量强度；
 f_{r1v} —— 竖向加劲肋钢材抗剪强度设计值；
 $f_{tk}、f_t$ —— 混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；
 $f_y、f'_y$ —— 钢筋抗拉、抗压强度设计值；
 f_{yv} —— 箍筋或横向钢筋抗拉强度设计值；
 G_a —— 钢材剪切模量；
 G_c —— 混凝土剪切模量；
 GA —— PEC 构件截面抗剪刚度。

2.2.2 作用效应和承载力：

$M、M'$ —— 正、负弯矩设计值；
 M_{cr} —— 混凝土截面的抗裂弯矩；
 M_j —— 主次梁连接的弯矩设计值；
 M_q —— 按荷载准永久组合计算的弯矩值；
 M_u —— 截面受弯承载力设计值；
 $M_{u,r}$ —— 部分抗剪连接时组合梁正截面受弯承载力；
 N —— 轴力设计值；
 $N_{a,y}、N_{an,u}$ —— 毛截面屈服承载力设计值、净截面断裂承载力设计值；
 $N_{Ex}、N_{Ey}$ —— 轴心受压构件绕 x 轴和 y 轴弹性稳定临界力；
 N_m —— 特征轴力；
 N_u —— 截面轴压承载力设计值；
 N_v^c —— 单个抗剪连接件的纵向抗剪承载力设计值；
 R —— 结构构件的抗力设计值；
 S —— 承载能力极限状态下作用组合的效应设计值；
 $V_b、V_c、V_j$ —— 梁(框架梁)、柱及节点剪力设计值；
 $V_{bu}、V_{ju}$ —— 梁(框架梁)、节点受剪承载力设计值；
 V_s —— 每个剪跨区段内梁主钢件与混凝土翼板交界

面的纵向剪力；

V_u —— 主钢件受剪承载力设计值；

$V_{ux}、V_{uy}$ —— 截面上沿 x 轴方向、 y 轴方向主钢件受剪承载力设计值；

$V_x、V_y$ —— 截面上沿 x 轴方向、 y 轴方向主钢件剪力设计值；

σ_{sa} —— 计入梁主钢件受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的等效钢筋应力值；

σ_{sq} —— 开裂截面纵向受拉钢筋应力；

ω_{max} —— 最大裂缝宽度。

2.2.3 几何参数：

A_a —— 主钢件截面(毛截面)面积；

A_{ac} —— 梁主钢件受压区截面面积；

$A_{ac}、A'_{af}、A_w$ —— 主钢件受拉(或一个)翼缘截面面积、受压翼缘截面面积、腹板截面面积；

A_{an} —— 柱主钢件的净截面面积；

A_c —— 混凝土截面面积；

A_{cf} —— 混凝土翼板截面面积；

A_{cw} —— 梁主钢件腹部混凝土受压截面面积；

A_s —— 纵向受拉钢筋截面面积；

A'_s —— 纵向受压钢筋截面面积；负弯矩区混凝土翼板有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积；

A_{st} —— 圆柱头栓钉钉杆截面面积；

$a_s、a'_s$ —— 受拉、压区钢筋合力点至混凝土受拉边缘的距离；

b_0 —— 翼缘外伸部分宽度，或板托顶部宽度；

b_c —— 混凝土外轮廓宽度；

b_e —— 混凝土翼板的有效宽度；

b_f —— 主钢件翼缘宽度；

c_s —— 纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度；

d_c —— 梁主钢件截面形心到混凝土翼板截面形心的距离；

d_e —— 计入主钢件受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的

- 有效直径；
- h —— T 型组合梁截面总高度；
- h_0 —— 腹板计算高度，混凝土截面有效高度；
- h_{0s} —— 纵向受拉钢筋截面重心至混凝土截面受压边缘的距离；
- h_{0f} —— 主钢件受拉翼缘截面重心至混凝土截面受压边缘的距离；
- h_{0w} —— 主钢件受拉腹板截面重心至混凝土截面受压边缘的距离；
- h_a —— 主钢件截面高度；
- h_c —— T 形组合梁混凝土翼板厚度；
- h_0 —— 主钢件腹板高度；
- i —— 组合截面回转半径；
- I_a —— 主钢件截面的惯性矩；
- I_c —— 混凝土截面的惯性矩；
- I_{cf} —— 混凝土翼板截面的惯性矩；
- I_{cr} —— PEC 梁开裂截面的换算截面惯性矩；
- I_{eq} —— PEC 梁截面的等效惯性矩；
- I_s —— 钢筋截面的惯性矩；
- I_{ucr} —— PEC 梁未开裂截面的换算截面惯性矩；
- l —— PEC 梁的跨度；
- l_0 —— 构件计算跨度；轴心受压构件计算长度；
- l_e —— 等效跨度；
- s_a —— 沿构件长度方向上连杆的间距；
- S_{at} 、 S_{ac} —— 受拉、压区梁主钢件截面对组合截面塑性中和轴的面积矩；
- t_f —— 主钢件受拉翼缘厚度；拉、压翼缘等厚时的受压翼缘厚度；
- t'_f —— 受压翼缘厚度；
- t_w —— 主钢件或槽钢连接件腹板厚度；

x ——混凝土受压区高度；

λ ——构件长细比；

λ_n ——构件正则化长细比。

2.2.4 计算系数及其他：

B ——计入混凝土翼板与主钢件之间滑移效应的折减刚度；

k ——抗剪连接件的刚度系数；

n ——轴压比；

α_1 ——受压区混凝土压应力影响系数；

α_E ——钢材与混凝土弹性模量的比值；

$\beta_{mx}、\beta_{my}$ ——计算平面内稳定时，关于 $x、y$ 轴的等效弯矩系数；

$\beta_{tx}、\beta_{ty}$ ——计算平面外稳定时，关于 $x、y$ 轴的等效弯矩系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

δ ——钢贡献率；

ϵ_k ——钢号修正系数；

ζ ——刚度折减系数；

ρ_{te} ——计入梁主钢件受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的有效配筋率；

φ ——轴心受压构件的稳定系数；

ψ ——计入梁主钢件翼缘作用的钢筋应变不均匀系数。

3 材 料

3.1 钢材与钢筋

3.1.1 钢材宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420、Q460、Q355GJ、Q390GJ、Q420GJ 和 Q460GJ 钢,质量等级不宜低于 B 级,其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 及《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。

3.1.2 承重结构所用的钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构尚应具有碳当量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材应具有冷弯试验的合格保证。

3.1.3 钢材的屈服强度、抗拉强度、强度设计值、弹性模量和剪切模量应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定采用。

3.1.4 采用塑性设计的结构、进行弯矩调幅的构件及抗震设计中具有产生塑性铰要求的构件,所用的钢材应符合下列规定:

1 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85;

2 钢材应有明显的屈服台阶,且伸长率不应小于 20%;

3 在罕遇地震作用下发生塑性变形的构件或节点部位的钢材,其屈服强度实测值与其标准值之比不应大于 1.35。

3.1.5 钢板厚度大于或等于 40mm,且承受沿板厚方向拉力的焊接连接板件,其质量应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。

3.1.6 组合楼板中压型钢板的材质和材料性能应符合现行国家标准《建筑用压型钢板》GB/T 12755 的有关规定。

3.1.7 纵向受力钢筋、箍筋的选用,以及钢筋的屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉强度设计值、抗压强度设计值及弹性模量取值,应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

3.1.8 一、二、三级抗震等级的框架和斜撑构件的纵向受力钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 中的混凝土结构构件抗震设计有关材料性能的规定。

3.2 混凝土

3.2.1 混凝土材料选用应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定。梁、柱构件采用的混凝土强度等级不应低于 C30,不宜高于 C70。组合楼板的混凝土强度等级不应低于 C30。混凝土的最大骨料直径不宜大于 25mm。

3.2.2 PEC 梁中可采用轻骨料混凝土。轻骨料混凝土选用应符合现行行业标准《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12 的有关规定。轻骨料混凝土强度等级不应低于 LC30。

3.2.3 PEC 柱和 PEC 支撑连接后浇区应采用自密实混凝土或水泥基灌浆材料,梁连接后浇区宜采用自密实混凝土、水泥基灌浆材料或普通混凝土。自密实混凝土的选用应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关规定。水泥基灌浆材料的选用应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 有关规定。

3.2.4 PEC 构件连接后浇区采用自密实混凝土或水泥基灌浆材料时,应满足表 3.2.4-1 的要求,其材料性能应符合下列规定:

1 当采用自密实混凝土材料时,其主要性能应满足表 3.2.4-2 中 IV 类材料的性能要求;

2 当采用水泥基灌浆材料时,其主要性能应满足表 3.2.4-2 中 I~IV 类材料的性能要求;

表 3.2.4-1 构件连接后浇区材料的选择

主钢件翼缘外伸宽度 (mm)	主钢件腹板高度(mm)	
	$h_0 \leq 200$	$h_0 > 200$
$70 < b_0 \leq 100$	I 类、II 类、III 类	I 类、II 类、III 类
$100 < b_0 \leq 200$	I 类、II 类、III 类	IV 类
$b_0 > 200$	IV 类	IV 类

表 3.2.4-2 构件连接后浇区材料的主要性能指标

类 别		I 类	Ⅱ 类	Ⅲ 类	Ⅳ 类
最大骨料粒径(mm)		≤4.75			>4.75 且 ≤25
截锥流动度 (mm)	初始值	—	≥340	≥290	≥650 *
	30min	—	≥310	≥260	≥550 *
流锥流动度 (mm)	初始值	≤35	—	—	—
	30min	≤50	—	—	—
竖向膨胀率 (%)	3 <i>h</i>	0.1~3.5			
	24 <i>h</i> 与 3 <i>h</i> 的 膨胀值之差	0.02~0.50			
抗压强度 (MPa)	1 <i>d</i>	≥15	≥20		
	3 <i>d</i>	≥30	≥40		
	28 <i>d</i>	≥50	≥60		
氯离子含量(%)		<0.1			
泌水率(%)		0			

注：* 表示坍落扩展度数值。

表 3.2.4-3 用于冬期施工时构件连接后浇区材料性能指标

规定温度(℃)	抗压强度比(%)		
	R_{-7}	R_{-7+28}	R_{-7+56}
-5	≥ 20	≥ 80	≥ 90
-10	≥ 12		

注： R_{-7} 表示负温养护 7d 的试件抗压强度值与标准养护 28d 的试

件抗压强度值的比值; R_{-7+28} 、 R_{-7+56} 分别表示负温养护 7d 转标准养护 28d 和负温养护 7d 转标准养护 56d 的试件抗压强度值与标准养护 28d 的试件抗压强度值的比值;施工时最低温度可比规定温度低 5℃。

3 用于冬期施工的构件连接后浇区材料性能除应符合本规程表 3.2.4-2 的规定外,尚应符合表 3.2.4-3 的规定。

3.3 连接材料

3.3.1 焊接材料选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定。

3.3.2 焊缝强度指标应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定,焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定,检验方法应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

3.3.3 受力螺栓选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。螺栓连接的强度指标、高强度螺栓的预拉力设计值,以及高强度螺栓连接的钢材摩擦面抗滑移系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定。

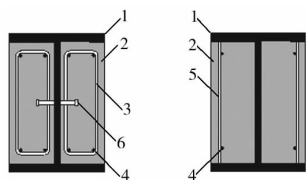
3.3.4 圆柱头焊(栓)钉连接件的质量应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定,圆柱头焊(栓)钉的材料及力学性能应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

3.3.5 锚栓可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定的 Q235 钢、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q355、Q390 或强度更高的钢材,质量等级不宜低于 B 级。

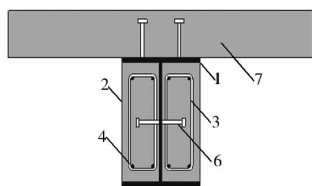
3.3.6 受力预埋件的锚板及锚筋材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定,专用预埋件及拉结材料应符合国家现行有关标准的规定。

4 基本规定

4.0.1 PEC 构件主钢件可为单 H 形截面,也可为两个或多个钢板、T 形和 H 形截面焊接组合,主钢件混凝土内可设纵筋、箍



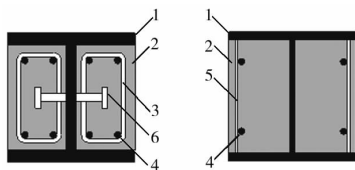
(a) 矩形组合梁截面



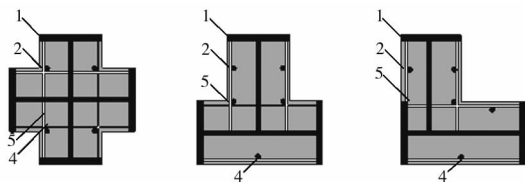
(b) T 形组合梁截面

图 4.0.1-1 PEC 梁的截面形式示意图

1—开口截面主钢件;2—混凝土;3—箍筋;4—纵筋;5—连杆;6—抗剪件(栓钉);7—楼板



(a) 矩形组合柱截面



(b) 异形组合柱截面

图 4.0.1-2 PEC 柱的截面形式示意图

1—开口截面主钢件;2—混凝土;3—箍筋;4—纵筋;5—连杆;6—抗剪件(栓钉)

筋、抗剪件、连杆等钢配件(图 4.0.1-1 和图 4.0.1-2)。

4.0.2 主钢件的截面分类与宽厚比限值应符合下列规定：

1 梁和框架柱中主钢件的截面分类和宽厚比限值应符合表 4.0.2 的规定；

表 4.0.2 梁和框架柱中主钢件的
截面分类和宽厚比限值

截面 分类	构件设计要求	外伸翼缘 (b_0/t_f)	腹 板	
			梁(h_0/t_w)	柱(h_0/t_w)
1	截面达到塑性弯矩、构件发生充分塑性转动	$9\epsilon_k$	$65\epsilon_k$	$35\epsilon_k$
2	截面达到塑性弯矩	$14\epsilon_k$	$124\epsilon_k$	$70\epsilon_k$
3	主钢件仅截面边缘达到钢材屈服强度	$20\epsilon_k$	250	250

注：1 b_0 为翼缘外伸部分宽度，热轧工字钢和热轧 H 型钢为翼缘自由端至根部圆弧起弧处，焊接 H 形截面为翼缘自由端至焊脚边缘； t_f 为翼缘厚度(图 4.0.2)；

2 h_0 为腹板计算高度，热轧工字钢和热轧 H 型钢为腹板两端圆弧间的距离，焊接 H 形截面为两端焊脚间的距离， t_w 为腹板厚度；

3 ϵ_k 为钢号修正系数， $\epsilon_k = \sqrt{235/f_{ay}}$ ， f_{ay} 为钢材的屈服强度，当翼缘和腹板的钢材牌号不同时，应取各自对应的屈服强度。

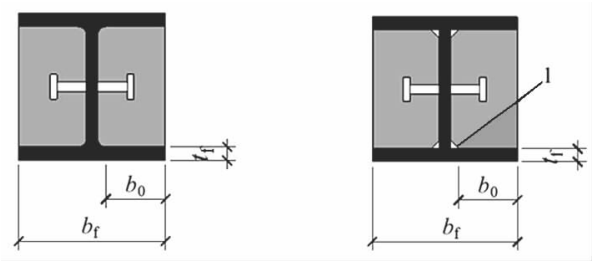


图 4.0.2 受压翼缘外伸部分宽厚比示意

1—焊缝

2 轴心受压柱中主钢件翼缘外伸部分的宽厚比不应大于

表 4.0.2 中截面分类 2 的规定;当柱子整体稳定承载力小于截面强度承载力的 75%时,不应大于表 4.0.2 中截面分类 3 的规定;

3 支撑中主钢件翼缘外伸部分的宽厚比不宜大于表 4.0.2 中截面分类 1 的规定,但当框架一支撑结构抗震等级为三级、四级时,可按截面分类 2 设计。腹板的宽厚比不宜大于表 4.0.2 中截面分类 1 中柱的规定;

4 当主钢件受压翼缘通过连杆与另一侧翼缘牢固连接,且连杆间距(s_a)(钢筋或钢棒连杆取中心距,钢板条连杆取净距)与翼缘宽度(b_f)的比值不大于 0.25 时,则表 4.0.2 的宽厚比限值可放大 1.5 倍;大于 0.25 且不大于 0.5 时,则表 4.0.2 的宽厚比限值可在 1.5 倍~1.0 倍间插值;

5 梁和框架柱构件沿全长弯矩分布不均匀时,满足本条第 4 款要求的 s_a/b_f 的范围应覆盖弯矩最大值相邻区域,且不应小于构件净长的 1/8;

6 当 T 形组合梁和框架柱的主钢件受压翼缘外侧面与钢筋混凝土板、压型钢板混凝土组合板等刚度较大的板件可靠连接或贴合连接,且其受弯中和轴位于混凝土板或与混凝土板相连的主钢件翼缘中时,表 4.0.2 截面分类 2 的宽厚比限值可采用表 4.0.2 截面分类 3 对应的宽厚比限值。

4.0.3 PEC 构件采用截面分类 1、截面分类 2 的厚实型主钢件截面时,截面高宽比宜为 0.2~5.0。

4.0.4 PEC 构件采用截面分类 3 的薄柔型主钢件截面时,组合柱截面高宽比宜为 0.9~1.1,且应设置防止板件局部屈曲的连杆。组合梁截面高宽比宜为 0.25~4.0,矩形组合梁应设防止板件局部屈曲的连杆,T 形组合梁正弯矩区段可不设连杆,负弯矩区段宜设连杆。主钢件外伸翼缘宽度不宜小于 70mm。

4.0.5 采用厚实型主钢件截面时,应符合下列规定:

- 1** 包覆混凝土内应设置纵向钢筋、箍筋和栓钉或穿孔拉筋;
- 2** 设置箍筋时,可将箍筋焊接在腹板上;或箍筋穿过腹板焊接连接(图 4.0.5a~图 4.0.5b);

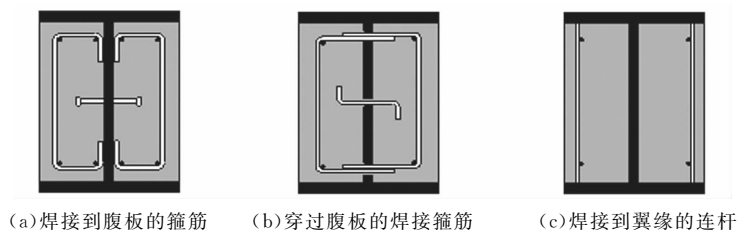


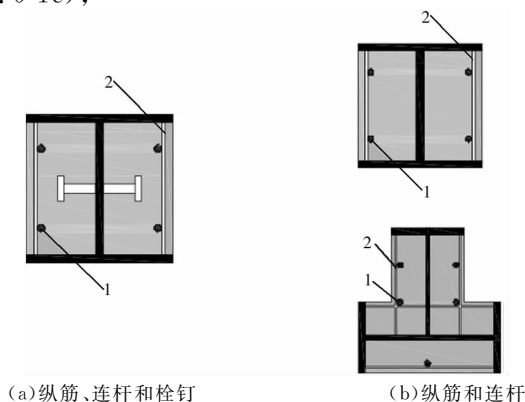
图 4.0.5 厚实型截面构造形式示意

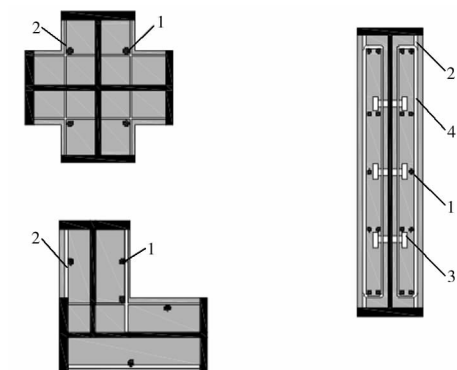
3 腹板设置栓钉或穿孔拉筋时,栓钉或穿孔拉筋的纵向间距不应大于 400mm。翼缘内表面到腹板最近一排栓钉或穿孔拉筋的距离不得大于 200mm,沿腹板高度方向栓钉或穿孔拉筋之间的距离不应大于 250mm。对于截面高度大于 400mm 并有两排或两排以上栓钉或穿孔拉筋的主钢件,可采用交错布置栓钉或穿孔拉筋的方式;

4 包覆混凝土内也可设置纵筋和连杆(图 4.0.5c),此时纵筋和连杆的设置应符合本规程第 4.0.6 条的规定。

4.0.6 采用薄柔型主钢件截面时,包覆混凝土内的纵筋、连杆和栓钉应符合下列规定:

1 包覆混凝土应设置纵向钢筋、连杆和栓钉(图 4.0.6-1a)。截面高宽比不大于 2 时,可设置纵向钢筋和连杆(图 4.0.6-1b);截面高宽比大于 4 时,可设置纵筋、箍筋、连杆和栓钉(图 4.0.6-1c);





(c)纵筋箍筋连杆和栓钉

图 4.0.6-1 薄柔性主钢件截面构造形式示意

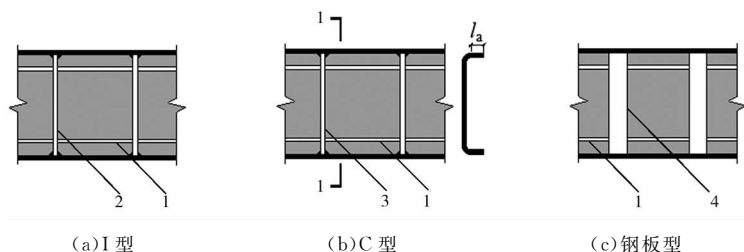
1—纵向钢筋;2—连杆;3—栓钉;4—箍筋

2 连杆可采用钢筋连杆、钢棒连杆和钢板连杆。钢筋连杆和钢棒连杆形式有 I 型、C 型(图 4.0.6-2);

3 钢筋连杆和钢棒连杆直径不宜小于 8mm,间距不宜小于 70mm,连杆弯弧后水平长度(l_a)不应小于 5 倍连杆直径,混凝土保护层厚度不应小于 25mm;

4 钢板连杆厚度不宜小于 4mm,宽度不宜小于 25mm,净距不宜小于 70mm,混凝土保护层厚度不应小于 30mm;

5 连杆的位置宜避开主钢件腹板上浇筑孔的位置,不宜在孔中心区域。



(a)I 型

(b)C 型

(c)钢板型

图 4.0.6-2 连杆形式示意

1—纵向钢筋;2—I 型连杆;3—C 型连杆;4—钢板连杆

4.0.7 混凝土保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构

设计规范》GB 50010 的有关规定。当内排纵向钢筋与主钢件板件之间净距小于 25mm 和 $1.5d$ 的较大值(d 为纵筋的最大直径)时,粘结力计算时应采用有效周长(c)(图 4.0.7)。

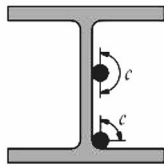


图 4.0.7 有效周长示意

4.0.8 PEC 构件的主钢件宜选用成品型材。

4.0.9 混凝土的外轮廓宽度(b_c)宜与主钢件翼缘宽度(b_f)一致;当需缩进时, b_c 不宜小于 b_f 的 80%(图 4.0.9)。

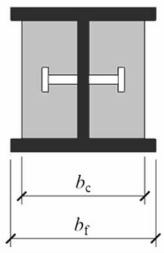


图 4.0.9 混凝土的外轮廓尺寸示意

4.0.10 装配式部分包覆钢-混凝土组合结构的楼板可选用压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼承板组合楼板、预制混凝土叠合楼板及预应力空心叠合楼板等型式,楼板与主体结构应采取可靠的连接构造。

5 结构设计

5.1 设计原则与结构分析

5.1.1 承重结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

5.1.2 结构的安全等级和设计工作年限应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 和《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的有关规定。

5.1.3 按承载能力极限状态进行设计时,应采用作用效应的基本组合,必要时尚应采用作用效应的偶然组合,对于地震设计状况应采用作用效应的地震组合。按正常使用极限状态进行设计时,应采用作用效应的标准组合,对组合梁,尚应采用作用效应的准永久组合,并考虑长期作用的影响。

5.1.4 荷载的标准值、分项系数、组合值系数等应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068、《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定。

5.1.5 结构构件、连接及节点应采用下列承载能力极限状态设计表达式:

1 持久设计状况、短暂设计状况,应采用下式表达:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.1.5-1)$$

2 地震设计状况,应采用下式表达:

$$\gamma_0 S \leq R/\gamma_{RE} \quad (5.1.5-2)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数:在持久设计状况和短暂设计状况下,对安全等级为一级的结构构件不应小于1.1,对安全等级为二级的结构构件不应小于1.0,

对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；对地震设计状况下应取 1.0；

S ——作用组合的效应设计值,承载能力极限状况下应符合第 5.1.3 条规定；

R ——结构构件的抗力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,按表 5.1.5 采用,其他情况按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定取值。

表 5.1.5 承载力抗震调整系数

构件类型	梁		柱 及 支 撑						核心区
受力特征	受弯	受剪	偏 压		轴压	轴拉	受剪	稳定	抗剪
			$n < 0.15$	$n \geq 0.15$					
γ_{RE}	0.75	0.75	0.75	0.80	0.80	0.75	0.75	0.80	0.80

注： n 为轴压比,应符合本规程第 6.3.16 条规定。

5.1.6 在竖向荷载、风荷载以及多遇地震作用下,PEC 结构的内力和变形应采用弹性方法计算;罕遇地震作用下的弹塑性变形应采用弹塑性时程分析法或静力弹塑性分析法计算。

5.1.7 在进行结构整体内力和变形的弹性计算时,按下列公式计算 PEC 梁、柱构件的截面刚度:

$$EA = E_a A_a + E_c A_c \quad (5.1.7-1)$$

$$GA = G_a A_a + G_c A_c \quad (5.1.7-2)$$

$$EI = E_a I_a + E_c I_c \quad (5.1.7-3)$$

式中: E_a 、 E_c ——钢材弹性模量(N/mm²)、混凝土弹性模量(N/mm²);

G_a 、 G_c ——钢材剪切模量(N/mm²)、混凝土剪切模量(N/mm²);

A_a 、 A_c ——主钢件面积(mm²)、混凝土面积(mm²);

I_a 、 I_c ——主钢件惯性矩(mm⁴)、混凝土惯性矩(mm⁴);

EA 、 GA 、 EI ——组合构件截面轴向刚度(N)、抗剪刚度(N)、抗弯刚度($N \cdot mm^2$)。

5.1.8 PEC 结构计算的阻尼比宜符合下列规定：

1 组合结构在多遇地震作用下的结构阻尼比可取为 0.04,房屋高度超过 200m 时,阻尼比可取为 0.03;

2 风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时,阻尼比可取为 0.02~0.04;

3 结构舒适度验算时,阻尼比可取为 0.01~0.02。

5.1.9 PEC 结构整体稳定性应符合下列规定：

1 框架结构应符合下式要求：

$$D_i \geq 7 \sum_{j=1}^n G_j / h_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5.1.9-1)$$

2 框架-支撑结构、框架-钢筋混凝土剪力墙结构、框架-钢板剪力墙板结构、框架-钢筋混凝土核心筒结构应符合下式要求：

$$EJ_d \geq 1.0 H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (5.1.9-2)$$

式中： D_i ——第 i 楼层抗侧刚度(kN/mm)，可取该层剪力与层间位移的比值；

G_i 、 G_j ——分别为第 i 、 j 楼层重力荷载设计值(kN)；

h_i ——第 i 、 j 楼层层高(mm)；

H ——房屋高度(mm)；

EJ_d ——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度($kN \cdot mm^2$)。

5.1.10 结构计算分析时,应计入重力二阶效应的影响。

5.1.11 在进行结构整体内力分析和变形的弹性计算时,T 形组合梁抗弯刚度,对边框架可取矩形组合梁抗弯刚度的 1.2 倍;对中框架可取矩形组合梁抗弯刚度的 1.5 倍。

5.2 结构体系

5.2.1 框架结构、框架-支撑结构、框架-钢筋混凝土剪力墙结构、框架-钢板剪力墙结构、框架-钢筋混凝土核心筒结构的框架柱、框架梁、次梁和支撑构件可全部或部分采用 PEC 构件。

5.2.2 采用 PEC 构件作为框架柱和框架梁的房屋结构,结构的最大适用高度不应超过表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 结构适用的最大高度(m)

结 构 类 型	设 防 烈 度		
	6 度	7 度	8 度
			0.20g
PEC 框架结构	60	50	40
PEC 框架-支撑结构	200	170	150
PEC 框架-钢筋混凝土剪力墙结构	130	120	100
PEC 框架-钢板剪力墙结构	200	170	150
PEC 框架-钢筋混凝土核心筒结构	220	190	150

- 注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板顶的高度(不包括局部突出屋顶部分)；
- 2 平面和竖向均不规则的结构,最大适用高度宜适当降低；
- 3 超过表内高度的房屋,应进行专门研究和论证,采取有效的加强措施；
- 4 对于采用异形 PEC 柱的结构体系,其结构适用的最大高度按照表 5.2.2 进行折减,折减系数为 0.9。

5.2.3 PEC 结构的高宽比不宜大于表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 结构适用的最大高宽比

结 构 类 型	设 防 烈 度		
	6 度	7 度	8 度
PEC 框架结构	5	5	4
PEC 框架-支撑结构	6	6	5
PEC 框架-钢筋混凝土剪力墙结构	6.5	6.5	5.5
PEC 框架-钢板剪力墙结构	6.5	6.5	6
PEC 框架-钢筋混凝土核心筒结构	7	7	6

注：对于采用异形 PEC 柱的结构体系,其结构适用的最大高宽比按照表 5.2.3 进行折减,折减系数为 0.9。

5.3 结构变形规定

5.3.1 多层及高层结构在风荷载或多遇地震作用下按弹性方法计算的楼层弹性层间位移角,以及在罕遇地震作用下结构薄弱层弹塑性层间位移角,不宜超过表 5.3.1 的限值。

表 5.3.1 多层及高层结构层间位移角限值

结构类型	弹性层间位移角限值		弹塑性层间位移角限值
PEC 框架结构	多遇地震	1/350	1/50
	风荷载	1/400	
PEC 框架-支撑结构	1/400		1/50
PEC 框架-钢筋混凝土剪力墙结构	1/800		1/100
PEC 框架-钢板剪力墙结构	1/400		1/50
PEC 框架-钢筋混凝土核心筒结构	1/800		1/100

5.3.2 PEC 梁的最大挠度,不应超过表 5.3.2 规定的挠度限值。构件有起拱时,可将计算得到的挠度值减去起拱值。

表 5.3.2 PEC 梁的挠度限值

跨 度	挠度限值(mm)
$l_0 < 7\text{m}$	$l_0/200(l_0/250)$
$7\text{m} \leq l_0 < 9\text{m}$	$l_0/250(l_0/300)$
$l_0 \geq 9\text{m}$	$l_0/300(l_0/400)$

注: 1 l_0 为构件的计算跨度,悬臂构件应取实际悬臂长度的 2 倍;
2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

5.3.3 PEC 梁的混凝土最大裂缝宽度不应大于表 5.3.3 规定

表 5.3.3 PEC 梁混凝土最大裂缝宽度限值(mm)

环境类别	裂缝控制等级	混凝土最大裂缝宽度限值 ω_{lim}
一	三级	0.3(0.4)
二 a、二 b、三 a、三 b		0.2

注：对于年平均相对湿度小于 60% 地区，一类环境下的 PEC 梁，混凝土裂缝最大宽度限值可采用括号内的数值。

的最大裂缝宽度限值。

5.3.4 PEC 结构的楼盖应具有适宜的舒适度，其舒适度验算应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 和《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/ 441 的规定。

5.4 抗震设计

5.4.1 组合结构构件的抗震设计，应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度等因素采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施规定。丙类建筑的抗震等级应按表 5.4.1 确定。

表 5.4.1 PEC 结构的抗震等级

结构类型		设 防 烈 度							
		6 度		7 度		8 度			
PEC 框架结构	房屋高度(m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24		
	框 架	四	三	四	三	二	一		
	大跨度框架	三		二		一			
PEC 框架- 支撑结构	房屋高度(m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24		
	框 架	四	三	三	二	二	一		
	支撑框架	三	二	二	一	一	一		
	支 撑	四		三		二			
PEC 框架- 钢筋混凝土 剪力墙结构	房屋高度(m)	≤60	>60	≤24	≤60	>60	≤24	≤60	>60
	框 架	四	三	四	三	二	三	二	一
	钢筋混凝土 剪力墙	三		三	二	二	二		一
PEC 框架- 钢板剪力墙 结构	房屋高度(m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24		
	框 架	四	三	三	二	二		一	
	房屋高度(m)	≤50	>50	≤50	>50	≤50	>50		
	钢板剪力墙	四		四	三	三		二	

续表 5.4.1

结构类型		设 防 烈 度					
		6 度		7 度		8 度	
PEC 框架- 核心筒结构	房屋高度(m)	≤150	>150	≤130	>130	≤100	>100
	框 架	三	二	二	一	一	一
	核心筒	二	二	二	一	一	特一

注：1 建筑场地为 I 类时，除 6 度设防烈度外可按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低；

2 接近或等于高度分界时，可结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级；

3 大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架；

4 高度不超过 60m 的框架-核心筒结构按框架-剪力墙的要求设计时，应按表中框架-剪力墙结构的规定确定其抗震等级；

5 特一级抗震等级的结构抗震设计，应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

5.4.2 框架梁、柱中主钢件的截面分类应根据构件抗震等级按表 5.4.2 的规定确定。表中截面分类和宽厚比限值应符合本规程第 4.0.2 条的规定。

表 5.4.2 框架梁、柱中主钢件受压
翼缘外伸部分宽厚比要求

构件抗震等级	一 级	二 级	三、四级
截面分类	1	1、2	1、2、3

5.4.3 PEC 结构房屋防震缝设置应符合下列规定：

1 防震缝宽度应符合下列规定：

1) PEC 框架结构、PEC 框架-支撑结构、PEC 框架-钢板剪力墙结构房屋的防震缝宽度，当高度不超过 15m 时不应小于 130mm；高度超过 15m 时，6 度、7 度、8 度和 9 度分别每增加高度 5m、4m、3m 和 2m，宜加宽 30mm；

2) PEC 框架-剪力墙结构房屋的防震缝宽度不应小于本

款第 1)项规定数值的 70%,且不宜小于 100mm;

- 3) 防震缝两侧结构类型不同时,宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低房屋高度确定缝宽。

2 8 度设防烈度的框架结构房屋防震缝两侧结构层高相差较大时,可根据需要在缝两侧沿房屋全高各设置不少于两道垂直于防震缝的抗撞墙。抗撞墙的布置宜避免加大扭转效应,抗撞墙的长度可不大于 1/2 层高,抗震等级可同框架结构;框架构件的内力应按设置和不设置抗撞墙两种计算模型的不利情况取值;

3 当相邻结构的基础存在较大沉降差时,宜增大防震缝的宽度;

4 防震缝宜沿房屋全高设置,地下室、基础可不设防震缝,但在与上部防震缝对应处应加强构造和连接。

5.4.4 非结构构件与结构构件的连接应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《非结构构件抗震设计规范》JGJ 339 的有关规定。

6 构件设计

6.1 一般规定

6.1.1 PEC 梁绕截面强轴弯曲时应符合本章的规定。现浇混凝土板、混凝土叠合板或压型钢板混凝土组合板应通过抗剪连接件与梁主钢件截面连接,方可作为有翼板的 T 形组合梁的有效截面(图 6.1.1)。

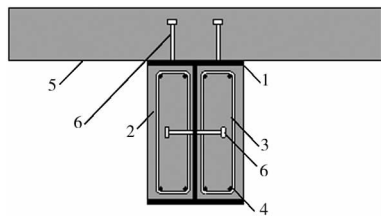


图 6.1.1 T 形 PEC 梁截面示意

1—H 形钢主钢件;2—包覆混凝土;3—箍筋;4—纵筋;
5—混凝土翼板;6—抗剪件(栓钉)

6.1.2 PEC 梁截面受弯承载力,当符合本规程第 4.0.2 条截面分类 1、分类 2 的规定时,可采用全塑性理论按本规程第 6.2 节的规定计算。

6.1.3 PEC 梁截面受弯承载力,当符合本规程第 4.0.2 条规定的截面分类 3 的规定时,应采用下列方法之一计算:

- 1 采用非线性方法计算时,应符合下列规定:
 - 1) 组合截面应变应符合平截面假定;
 - 2) 钢材应力-应变曲线应采用理想弹塑性模型,弹性段应力应等于应变乘以弹性模量,并宜以强度设计值为上限;受拉塑性极限应变可取 15 倍屈服应变;
 - 3) 混凝土应力-应变曲线应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定;

4) 钢筋应力-应变曲线应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

5) 可忽略混凝土抗拉作用。

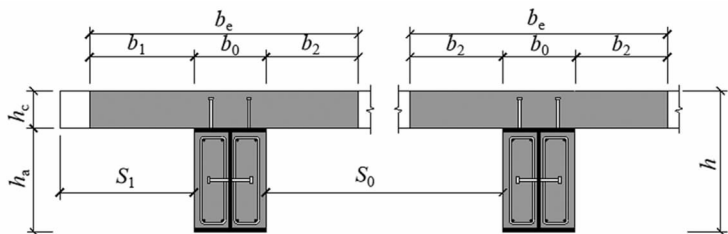
2 采用简化方法计算时,可按下列规定执行：

1) 当宽厚比为不大于 14 时,可按全塑性方法计算截面塑性受弯承载力；

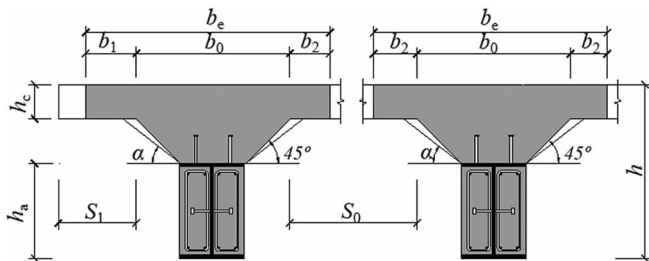
2) 当宽厚比为不小于 20 时,可按边缘屈服方法计算截面弹性受弯承载力；

3) 当宽厚比大于 14 且小于 20 时,可采用本款第 1)项、第 2)项所得的受弯承载力按实际宽厚比线性插值。

6.1.4 T 形组合梁截面受弯承载力计算时,跨中与支座处混凝土翼板的有效宽度(b_e)应按下式计算(图 6.1.4)：



(a) 不设板托的 T 形组合梁



(b) 设板托的 T 形组合梁

图 6.1.4 混凝土翼板有效宽度示意

$$b_e = b_0 + b_1 + b_2 \quad (6.1.4)$$

式中： b_e ——混凝土翼板的有效宽度(mm)；

b_0 ——板托顶部宽度(mm)，当板托倾角 $\alpha < 45^\circ$ 时，应按 α

=45°计算板托顶部的宽度;当无板托时,则取梁主钢件上翼缘的宽度;当混凝土板和钢梁不直接接触(如之间有压型钢板分隔)时,取栓钉的横向间距,仅有一列栓钉时取0;

b_1 、 b_2 ——梁外侧和内侧的翼板计算宽度(mm),各取梁等效跨度(l_e)的1/6倍; b_1 尚不应超过翼板实际外伸宽度(S_1); b_2 尚不应超过相邻梁主钢件上翼缘或托板间净距(S_0)的1/2倍;

l_e ——等效跨度(mm),对于简支T形组合梁,取梁的计算跨度(l);对于连续T形组合梁,中间跨正弯矩区取计算跨度(l)的60%,边跨正弯矩区取计算跨度(l)的80%,支座负弯矩区取相邻两跨计算跨度之和的20%。

6.1.5 梁按塑性分析方法进行计算时,连续梁和框架梁在竖向荷载作用下的内力可采用弹性分析,不计混凝土开裂。对弹性分析结果可采用弯矩调幅法计及负弯矩区混凝土开裂以及截面塑性发展的影响,内力调幅不宜超过30%。

6.1.6 在梁强度、挠度和裂缝宽度计算中,可忽略板托的作用。

6.1.7 梁截面受弯承载力计算时,梁端钢筋及混凝土翼板中受拉钢筋应采取有效锚固措施,保证受力钢筋达到抗拉或抗压设计强度。当不能满足有效锚固要求时,本规程第6.2.1~6.2.3条计算公式中的钢筋面积应取零。

6.1.8 柱主钢件贡献率(δ)应符合下列公式的规定:

$$0.3 \leq \delta \leq 0.9 \quad (6.1.8-1)$$

$$\delta = \frac{A_a f'_a}{N_u} \quad (6.1.8-2)$$

式中: A_a 、 f'_a ——柱主钢件截面面积(mm^2)、钢材抗压强度设计值(N/mm^2);

N_u ——柱截面受压承载力设计值(N),应符合规程第6.3.3条规定。

6.1.9 主钢件面积与纵向钢筋面积之和不宜超过全截面面积的 20%，主钢件面积不宜小于全截面面积的 4%，纵向钢筋配筋率不宜超过全截面面积的 4%。

6.2 梁设计

I 承载力计算

6.2.1 无翼板 PEC 梁绕强轴正截面受弯承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况；

$$M \leq M_u \quad (6.2.1-1)$$

2 地震设计状况；

$$M \leq M_u / \gamma_{RE} \quad (6.2.1-2)$$

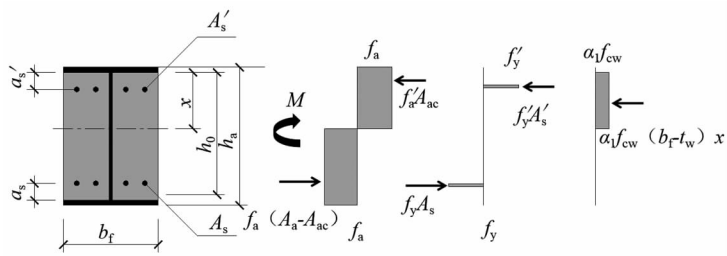


图 6.2.1 正弯矩作用下矩形组合梁截面及应力示意

$$\begin{aligned} \text{其中: } M_u = & \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{x^2}{2} + f_y A_s (h_a - x - 2t_f - a_s) \\ & + f_y' A'_s (x - a'_s) + f_a S_{at} + f_a' S_{ac} \end{aligned} \quad (6.2.1-3)$$

$$x = \frac{f_y A_s + f_a b_f t_f + f_a h_w t_w - f_y' A'_s - f_a' b_f t_f}{f_a' t_w + f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w)} \quad (6.2.1-4)$$

混凝土受压区高度应符合下列公式的规定：

$$2a'_s \leq x \leq \xi_b h_0 \quad (6.2.1-5)$$

$$\xi_b = \frac{1}{1 + \frac{f_y + f_a}{2 \cdot 0.003 E_s}} \quad (6.2.1-6)$$

式中： M ——正弯矩设计值(N·mm)；

M_u ——截面受弯承载力设计值(N·mm)；

f_{cw} ——梁主钢件腹部混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm^2),取现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中轴心抗压强度设计值;

x ——组合截面中和轴至混凝土受压边缘的距离(mm);

b_f, t_w, t_f ——梁主钢件翼缘宽度、腹板厚度、翼缘厚度(mm);

h_a ——梁主钢件截面高度(mm);

α_1 ——受压区混凝土压应力影响系数,当混凝土强度等级不超过 C50 时, α_1 取 1.0,当混凝土强度等级为 C80 时, α_1 取 0.94,中间按线性内插法确定;

f_y, f_y' ——钢筋抗拉、抗压强度设计值(N/mm^2);

f_a, f_a' ——梁主钢件抗拉、抗压强度设计值(N/mm^2);

A_s, A_s' ——受拉、受压钢筋截面面积(mm^2);

A_a, A_{ac} ——梁主钢件全截面、梁主钢件受压区截面面积(mm^2);

a_s, a_s' ——受拉区钢筋合力点至混凝土受拉边缘的距离、受压区钢筋合力点至混凝土受压边缘的距离(mm);

S_{at}, S_{ac} ——受拉区梁主钢件截面、受压区梁主钢件截面对组合截面塑性中和轴的面积矩(mm^3);

h_0 ——混凝土截面有效高度(mm),即混凝土截面受压区的外边缘至梁主钢件受拉翼缘与受拉钢筋合力点的距离;

E_a, E_s ——梁主钢件弹性模量、钢筋弹性模量(N/mm^2);

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,按表 5.1.5 取值。

6.2.2 完全抗剪连接的 T 形 PEC 梁正截面受弯承载力应符合下列规定:

1 正弯矩作用区段正截面受弯承载力应符合下列规定:

1) 当 $\alpha_1 f_c b_c h_c \geq f_a A_a + f_y A_s$ 即塑性中和轴位于混凝土翼

板内时(图 6.2.2-1),正截面受弯承载力应符合下列公式规定:

持久、短暂设计状况:

$$M \leq M_u \quad (6.2.2-1)$$

地震设计状况:

$$M \leq M_u / \gamma_{RE} \quad (6.2.2-2)$$

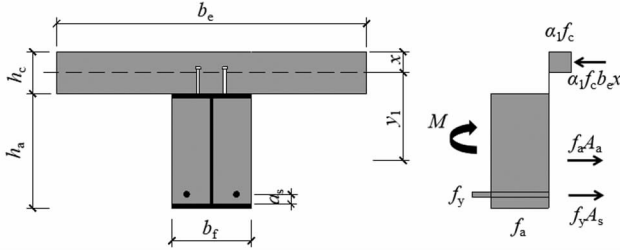


图 6.2.2-1 中和轴位于混凝土翼板内时的 T 形组合梁截面及应力示意

$$\text{其中: } M_u = \frac{\alpha_1 f_c b_e x^2}{2} + f_a A_a (0.5 h_a + h_c - x)$$

$$+ f_y A_s (h_c + h_a - x - t_f - a_s) \quad (6.2.2-3)$$

$$x = \frac{f_a A_a + f_y A_s}{\alpha_1 f_c b_e} \quad (6.2.2-4)$$

2) 当 $f_a (A_a - A'_{af}) + f_y A_s - f'_a A'_{af} \leq \alpha_1 f_c b_e h_c < f_a A_a + f_y A_s$
即塑性中和轴位于梁主钢件上翼缘内时(图 6.2.2-2),
正截面受弯承载力应符合下列公式规定:

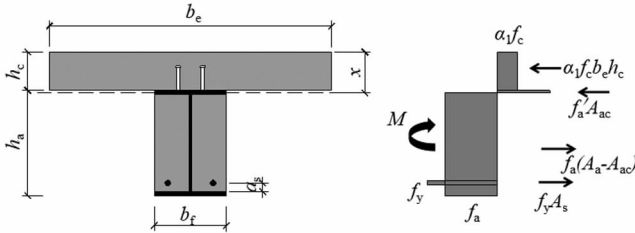


图 6.2.2-2 中和轴位于梁主钢件上翼缘时的 T 形组合梁截面及应力图形

持久、短暂设计状况:

$$M \leq M_u \quad (6.2.2-5)$$

地震设计状况:

$$M \leq M_u / \gamma_{RE} \quad (6.2.2-6)$$

$$\text{其中: } M_u = \alpha_1 f_c b_e h_c \left(x - \frac{h_c}{2}\right) + f_a S_{at} + f'_a S_{ac}$$

$$+ f_y A_s (h_c + h_a - x - t_f - a_s) \quad (6.2.2-7)$$

$$x = \frac{f_y A_s + f_a A_a - \alpha_1 f_c b_e h_c}{f'_a b_f + f_a b_i} + h_c \quad (6.2.2-8)$$

3) 当 $\alpha_1 f_c b_e h_c < f_a (A_a - A'_{af}) + f_y A_s - f'_a A'_{af}$ 即塑性中和轴位于梁主钢件腹板内时(图 6.2.2-3), 正截面受弯承载力应符合下列公式规定:

持久、短暂设计状况:

$$M \leq M_u \quad (6.2.2-9)$$

地震设计状况:

$$M \leq M_u / \gamma_{RE} \quad (6.2.2-10)$$

$$\text{其中: } M_u = \alpha_1 f_c b_e h_c \left(x - \frac{h_c}{2}\right) + f_a S_{at} + f'_a S_{ac} + f_y A_s (h_c + h_a - x$$

$$- t_f - a_s) + \alpha_1 f_{cw} A_{cw} \frac{(x - h_c - t'_f)}{2} \quad (6.2.2-11)$$

$$x = \frac{f_y A_s + f_a b_i t_f + f_a h_w t_w - f'_a b_i t'_f - \alpha_1 f_c b_e h_c}{f'_a t_w + f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w)} + h_c + t'_f \quad (6.2.2-12)$$

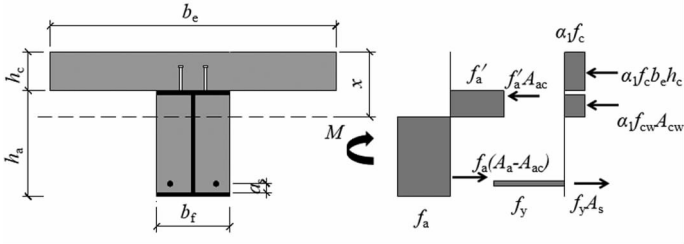


图 6.2.2-3 中和轴位于梁主钢件腹板时的 T 形组合梁截面及应力示意 I

式中: f_c ——翼板混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm²);

h_c ——混凝土翼板厚度(mm), 不计托板、压型钢板肋的高度;

h_a ——梁主钢件的截面高度(mm);

t_f' ——梁主钢件受压翼缘的厚度(mm)；

A_{af} 、 A_{af}' ——梁主钢件受拉翼缘截面、梁主钢件受压翼缘截面的面积(mm²)；

A_{cw} ——梁主钢件腹部混凝土受压截面的面积(mm²)，
 $A_{cw} = (b_f - t_w)(x - h_c - t_f')$ 。

2 负弯矩作用区段中，当 $f_y A_s' < f_a'(A_a - A_{af}) + \alpha_1 f_{cw}(b_f - t_w)h_w + f_y' A_s - f_a A_{af}$ 即塑性中和轴位于梁主钢件腹板内时(图 6.2.2-4)，正截面受弯承载力应符合下列公式规定：

1) 持久、短暂设计状况：

$$M' \leq M_u' \quad (6.2.2-13)$$

2) 地震设计状况：

$$M' \leq M_u' / \gamma_{RE} \quad (6.2.2-14)$$

其中： $M_u' = f_y A_s'(h_a + h_c - x - t_f - a_s') + f_a S_{at} + f_a' S_{ac}$

$$+ \frac{\alpha_1 f_{cw} A_{cw} x}{2} + f_y' A_s(x - a_s) \quad (6.2.2-15)$$

$$x = \frac{f_y A_s' + f_a b_f t_f' + f_a h_w t_w - f_y' A_s - f_a' b_f t_f}{f_a' t_w + f_a t_w + \alpha_1 f_{cw}(b_f - t_w)} \quad (6.2.2-16)$$

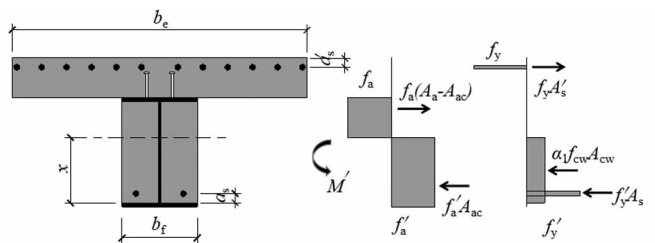


图 6.2.2-4 中和轴位于梁主钢件腹板时的 T 形组合梁截面及应力示意 II

式中： M' ——负弯矩设计值(N·mm)；

M_u' ——截面受弯承载力设计值(N·mm)；

A_s' ——负弯矩区混凝土翼板有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积(mm²)；

A_{cw} ——梁主钢件腹部混凝土受压截面的面积(mm²)， $A_{cw} = (b_f - t_w)x$ ；

x ——组合截面中和轴至混凝土受压边缘的距离(mm)。

6.2.3 部分抗剪连接的 T 形 PEC 梁正截面受弯承载力应符合下列规定：

1 正弯矩作用区段正截面受弯承载力(图 6.2.3)应符合下列公式规定：

1) 持久、短暂设计状况：

$$M \leq M_{u,r} \quad (6.2.3-1)$$

2) 地震设计状况：

$$M \leq M_{ur} / \gamma_{RE} \quad (6.2.3-2)$$

$$\text{其中: } M_{u,r} = \alpha_1 f_c b_e x_c \left(x - \frac{x_c}{2}\right) + \alpha_1 f_{cw} A_{cw} \frac{(x - h_c - t'_f)}{2} + f_a S_{at} \\ + f'_a S_{ac} + f_y A_s (h_c + h_a - x - t_f - a_s) \quad (6.2.3-3)$$

$$x = \frac{f_y A_s + f_a b_f t_f + f_a h_w t_w - f'_a b_f t'_f - \alpha_1 f_c b_e x_c}{f'_a t_w + f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w)} + h_c + t'_f \quad (6.2.3-4)$$

$$\alpha_1 f_c b_e x_c = n_{st} N_v^c \quad (6.2.3-5)$$

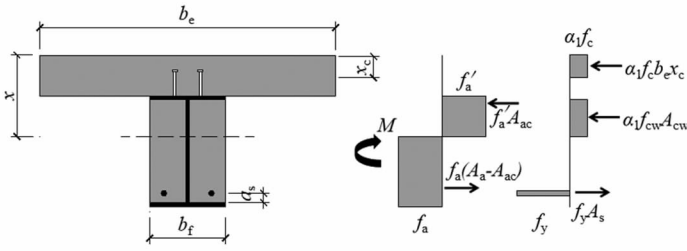


图 6.2.3 部分抗剪连接时的 T 形组合梁截面及应力示意

式中： $M_{u,r}$ ——部分抗剪连接时组合截面受弯承载力($N \cdot mm$)；

x_c ——混凝土翼板受压区高度(mm)；

n_{st} ——部分抗剪连接时最大正弯矩验算截面到最近零弯矩点之间的抗剪连接件数目；

N_v^c ——一个抗剪连接件的纵向抗剪承载力(N)，应符合本规程第 6.2.8 条规定。

2 负弯矩作用区段正截面受弯承载力应按本规程式(6.2.2-13)或(6.2.2-14)计算，计算中将 $f_y A_s$ 改为 $f_y A'_s$ 和

$n_{st} N_v^c$ 两者的最小值, n_{st} 为最大负弯矩验算截面到最近零弯矩点之间的抗剪连接件数目。

6.2.4 T形组合梁完全抗剪连接和部分抗剪连接时,混凝土翼板与梁主钢件间设置的抗剪连接件应分别符合下列公式的规定:

1 完全抗剪连接:

$$n_{st} \geq \frac{V_s}{N_v^c} \quad (6.2.4-1)$$

2 部分抗剪连接:

$$n_{st} \geq 0.5 \frac{V_s}{N_v^c} \quad (6.2.4-2)$$

式中: V_s ——每个剪跨区段内梁主钢件与混凝土翼板交界面的纵向剪力设计值(N),应符合本规程第 6.2.5 条的规定;

N_v^c ——一个抗剪连接件的纵向抗剪承载力(N),应符合本规程第 6.2.8 条规定;

n_{st} ——完全或部分抗剪连接的组合梁在一个剪跨区的抗剪连接件数目。

6.2.5 当采用柔性抗剪连接件时,梁主钢件与混凝土翼板交界面的纵向剪力应以弯矩绝对值最大点及支座为界限,划分若干剪跨区(图 6.2.5),各剪跨区纵向剪力计算应符合下列规定:

1 正弯矩最大点到边支座区段,即 m_1 区段的纵向剪力应按下式计算:

$$V_s = \min\{f_a A_a + f_y A_s, \alpha_1 f_c b_c h_c\} \quad (6.2.5-1)$$

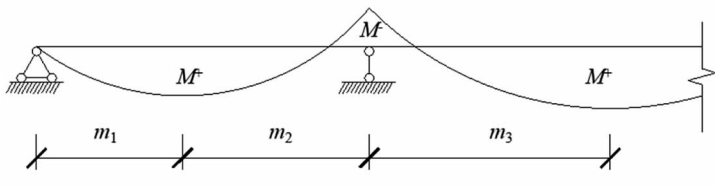


图 6.2.5 连续梁剪跨区划分示意

2 正弯矩最大点到中支座(负弯矩最大点)区段,即 m_2 和 m_3 区段的纵向剪力应按下式计算:

$$V_s = \min\{f_a A_a + f_y A_s, \alpha_1 f_c b_c h_c\} + f_y A'_s \quad (6.2.5-2)$$

式中: A_s ——梁主钢件包覆混凝土中钢筋截面面积(mm^2);

A'_s ——负弯矩区混凝土翼板中钢筋截面面积(mm^2)。

6.2.6 受剪承载力计算可仅计入主钢件中平行于剪力方向的板件受力,不计内填混凝土和箍筋的作用,宜符合下列公式的规定:

1 持久、短暂设计状况:

$$V_b \leq V_{bu} \quad (6.2.6-1)$$

$$V_{bu} = h_w t_w f_{av} \quad (6.2.6-2)$$

2 地震设计状况:

$$V_b \leq V_{bu} \quad (6.2.6-3)$$

$$V_{bu} = \frac{1}{\gamma_{RE}} h_w t_w f_{av} \quad (6.2.6-4)$$

式中: V_b ——梁剪力设计值(N);

V_{bu} ——梁受剪承载力设计值(N);

f_{av} ——梁主钢件腹板的抗剪强度设计值(N/mm^2)。

6.2.7 用塑性设计法计算梁正截面受弯承载力时,承受正弯矩的 T 形组合梁可不计弯矩和剪力的相互影响,承受正、负弯矩的矩形组合梁、承受负弯矩的 T 形组合梁应计入弯矩与剪力间的相互影响,按下列规定对腹板抗压、抗拉强度设计值进行折减,采用 f_{ae} 代替 f_a 。

1 当剪力设计值 $V_b > 0.5V_{bu}$ 时,应符合下列公式的规定:

$$f_{ae} = (1 - \rho) f_a \quad (6.2.7-1)$$

$$\rho = \left(\frac{2V_b}{V_{bu} - 1} \right)^2 \quad (6.2.7-2)$$

式中: f_{ae} ——折减后的梁主钢件腹板抗压、抗拉强度设计值(N/mm^2);

ρ ——折减系数。

2 当剪力设计值 $V_b \leq 0.5V_{bu}$ 时,可不对腹板强度设计值进行折减。

6.2.8 T形组合梁混凝土翼板与梁主钢件之间的抗剪连接件宜采用圆柱头焊钉或栓钉,也可采用槽钢(图 6.2.8)。组合梁腹部的抗剪连接件宜采用圆柱头栓钉。一个抗剪连接件的承载力设计值应符合下列规定:

1 圆柱头焊钉或栓钉连接件抗剪承载力设计值应符合下式规定:

$$N_v^c = 0.43A_{st}\sqrt{E_c f_c} \leq 0.7A_{st}f_{at} \quad (6.2.8-1)$$

2 槽钢连接件抗剪承载力设计值应符合下式规定:

$$N_v^c = 0.26(t + 0.5t_w)l_c\sqrt{E_c f_c} \quad (6.2.8-2)$$

式中: A_{st} ——圆柱头焊钉杆截面面积(mm^2);

f_{at} ——圆柱头焊钉极限抗拉强度设计值(N/mm^2);

t ——槽钢翼缘的平均厚度(mm);

t_w ——槽钢腹板的厚度(mm);

l_c ——槽钢的长度(mm)。

3 槽钢连接件通过肢尖肢背两条通长角焊缝与梁主钢件连接,角焊缝应按承受槽钢连接件的抗剪承载力设计值(N_v^c)进行计算;

4 位于负弯矩区段的一个抗剪连接件的承载力设计值(N_v^c)应乘以折减系数,中间支座两侧折减系数可取 0.9,悬臂部分折减系数可取 0.8。

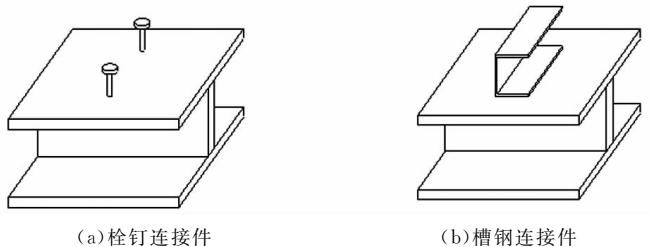


图 6.2.8 组合梁抗剪连接件示意图

6.2.9 采用压型钢板混凝土组合板做翼板的组合梁,圆柱头焊钉连接件的抗剪承载力设计值应分别按下列两种情况予以降低(图 6.2.9):

1 当压型钢板肋平行于梁主钢件布置(图 6.2.9a), $b_w/h_e < 1.5$ 时,焊钉抗剪连接件承载力设计值的折减系数应按下式计算:

$$\beta_v = 0.6 \frac{b_w}{h_e} \left(\frac{h_d - h_e}{h_e} \right) \quad (6.2.9-1)$$

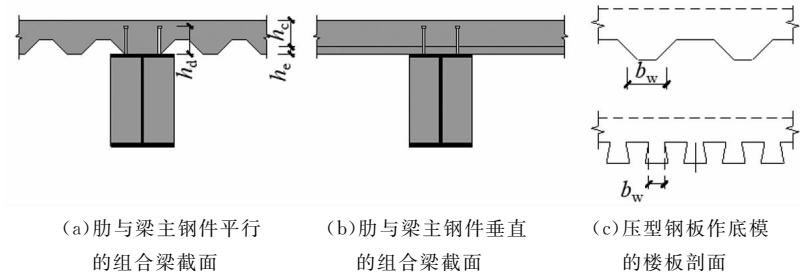


图 6.2.9 采用压型钢板混凝土组合板做翼板的组合梁示意图

2 当压型钢板肋垂直于梁主钢件布置(图 6.2.9b)时,焊钉抗剪连接件承载力设计值的折减系数应按下式计算:

$$\beta_v = \frac{0.7 b_w}{\sqrt{n_0}} \frac{h_d - h_e}{h_e} \quad (6.2.9-2)$$

表 6.2.9 折减系数 β_v 的上限值

一个肋中 栓钉数量	压型钢板厚度 (mm)	采用穿透焊技术 焊接栓钉 直径 $\leq 20\text{mm}$	预先在压型钢板上 穿孔,然后焊接栓钉, 直径 $< 22\text{mm}$
$n_0 = 1$	≤ 1.0	0.85	0.75
	> 1.0	1.0	0.75
$n_0 = 2$	≤ 1.0	0.70	0.60
	> 1.0	0.80	0.60

式中: β_v ——抗剪连接件承载力折减系数,不应大于表 6.2.9 中的上限值;

- b_w ——混凝土凸肋的平均宽度(mm),当肋的上部宽度小于下部宽度时(图 6.2.9c),取凸肋的上部宽度;
- h_e ——混凝土凸肋高度(mm),不大于 85mm,且 $h_e \leq b_w$;
- h_d ——焊钉高度(mm);
- n_0 ——梁截面处一个肋中布置的栓钉数,当多于 2 个时,按 2 个计算。

6.2.10 按本规程式(6.2.4-1)、式(6.2.4-2)算得的抗剪连接件数量,可在对应的剪跨区段内均匀布置。当在此剪跨区段内有较大集中荷载作用时,应将连接件个数(n_{st})按剪力图面积比例分配后再各自均匀布置。

6.2.11 T 形组合梁由荷载作用引起的单位纵向抗剪界面长度上的剪力设计值应符合下列规定(图 6.2.11):

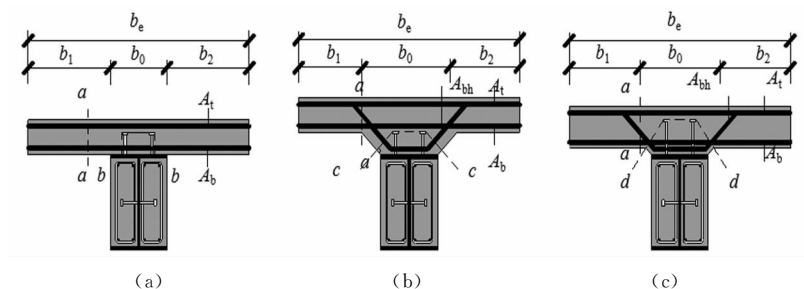


图 6.2.11 托板及翼板的纵向受剪界面及纵向剪力简化计算图

A_t ——混凝土板顶部紧邻主钢件单位长度内抗弯钢筋面积总和;

A_b ——混凝土板底部紧邻主钢件单位长度内抗弯钢筋面积总和;

A_{bh} ——混凝土托板单位长度内弯起钢筋面积总和,量纲均为 mm^2/mm 。

1 a-a 界面剪力设计值应按下式计算:

$$V_{bl} = \max \left\{ \frac{V_s}{m_i} \times \frac{b_1}{b_e}, \frac{V_s}{m_i} \times \frac{b_2}{b_e} \right\} \quad (6.2.11-1)$$

2 b-b、c-c、d-d 界面剪力设计值应按下式计算:

$$V_{bl} = \frac{V_s}{m_i} \quad (6.2.11-2)$$

式中: V_{bl} ——荷载作用引起的单位纵向抗剪界面长度上的剪力

设计值(N/mm);

V_s —— 每个剪跨区段内梁主钢件与混凝土翼板交界面的纵向剪力设计值(N),应符合本规程第 6.2.5 条的规定;

m_i —— 剪跨区段长度(mm),应符合本规程第 6.2.5 条的规定;

b_e —— 混凝土翼板的有效宽度(mm),应符合本规程第 6.1.4 条的规定取跨中有效宽度;

b_1 、 b_2 —— 混凝土翼板左、右两侧挑出的宽度(mm)。

6.2.12 T 形组合梁单位纵向抗剪界面长度上的斜截面受剪承载力应符合下列公式的规定:

$$V_{bt} \leq 0.7 f_t b_s + 0.8 A_e f_{yv} \quad (6.2.12-1)$$

$$V_{bt} \leq 0.25 f_c b_s \quad (6.2.12-2)$$

式中: f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值(N/mm²);

b_s —— 垂直于纵向抗剪界面的长度(mm),按本规程图 6.2.11所示的 a-a、b-b、c-c 及 d-d 连线在抗剪连接件以外的最短长度取值;

A_e —— 单位纵向抗剪界面长度上的横向钢筋截面面积(mm²/mm)。对于界面 a-a, $A_e = A_b + A_t$; 对于界面 b-b, $A_e = 2A_b$; 对于有板托的界面 c-c, $A_e = 2A_{bh}$; 对于有板托的界面 d-d, $A_e = 2(A_b + A_{bh})$;

f_{yv} —— 横向钢筋抗拉强度设计值(N/mm²)。

6.2.13 混凝土板横向钢筋最小配筋宜符合下列规定:

$$A_e f_{yv} / b_s > t_s \quad (6.2.13)$$

式中: t_s —— 混凝土板横向钢筋最小配筋限值,取 0.75,量纲 N/mm²。

II 挠度验算

6.2.14 PEC 梁挠度应分别按照荷载的标准组合和准永久组合进行计算,并应以其中的最大值作为依据。

6.2.15 PEC 梁的挠度可根据构件的刚度按结构力学方法计算。挠度的限值应符合本规程第 5.3.2 条的规定。

6.2.16 计算梁的挠度变形时,可假定各同号弯矩区段内的刚度相等。仅受正弯矩作用的 T 形组合梁的抗弯刚度应取计入滑移效应的折减刚度;连续 T 形组合梁应按变截面刚度梁进行计算,在距中间支座两侧各 0.15 倍梁跨度范围内,按负弯矩作用确定截面等效刚度,其余区段仍取折减刚度。

6.2.17 PEC 梁计入受拉混凝土开裂影响的截面等效惯性矩(I_{eq})应按下式计算:

$$I_{eq} = (I_{ucr} + I_{cr}) / 2 \quad (6.2.17)$$

式中: I_{ucr} ——PEC 梁未开裂的换算截面惯性矩(mm^4);对于荷载标准组合,可将翼缘和主钢件腹部混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩;对荷载准永久组合,则除以 $2\alpha_E$ 进行换算; α_E 为钢材与混凝土模量的比值;

I_{cr} ——PEC 梁开裂截面的换算截面惯性矩(mm^4)。对于准荷载标组合,当正弯矩作用时,可将翼缘及主钢件腹部受压区混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩;当负弯矩作用时,应计入翼板内纵向钢筋的作用,可将截面腹部受压区混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩。对荷载准永久组合,则除以 $2\alpha_E$ 进行换算。

6.2.18 T 形组合梁计入混凝土翼板与主钢件之间滑移效应的折减刚度(B)可按下列公式计算:

$$B = \frac{E_a I_{eq}}{1 + \zeta} \quad (6.2.18)$$

式中: E_a ——梁主钢件的弹性模量(N/mm^2);

I_{eq} ——截面等效惯性矩(mm^4),按式(6.2.17)计算;

ζ ——刚度折减系数,按 6.2.19 条计算。

6.2.19 刚度折减系数(ζ)可按下列公式计算:

$$\zeta = \eta \left[0.4 - \frac{3}{(jl)^2} \right] \quad (6.2.19-1)$$

$$\eta = \frac{36E_a d_c p A_0}{n_s k h l^2} \quad (6.2.19-2)$$

$$j = 0.81 \sqrt{\frac{n_s N_v^c A_1}{E_a I_0 p}} \quad (6.2.19-3)$$

$$A_0 = \frac{A_{cf} A_a}{\alpha_E A_a + A_{cf}} \quad (6.2.19-4)$$

$$A_1 = \frac{I_0 + A_0 d_c^2}{A_0} \quad (6.2.19-5)$$

$$I_0 = I_a + \frac{I_{cf}}{\alpha_E} \quad (6.2.19-6)$$

式中： ζ ——刚度折减系数，当 $\zeta \leq 0$ 时，取 $\zeta = 0$ ；

A_{cf} ——混凝土翼板截面面积(mm^2)；

A_a ——梁主钢件截面面积(mm^2)；

I_a ——梁主钢件截面惯性矩(mm^4)；

I_{cf} ——混凝土翼板的截面惯性矩(mm^4)；

d_c ——梁主钢件截面形心到混凝土翼板截面形心的距离(mm)；

h ——PEC 梁截面高度(mm)；

l ——PEC 梁跨度(mm)；

k ——抗剪连接件刚度系数，取 $k = N_v^c (\text{N}/\text{mm})$ ；

N_v^c ——抗剪连接件的承载力设计值(N)；

p ——抗剪连接件的纵向平均间距(mm)；

n_s ——抗剪连接件的纵向平均间距(mm)；

α_E ——钢材与混凝土弹性模量的比值，当按荷载效应的准永久组合进行计算时， α_E 应乘以 2。

6.2.20 对于负弯矩作用的 T 形组合梁和正、负弯矩作用的矩形组合梁，应取 ζ 等于 0，并按本规程式(6.2.18)计算截面等效抗弯刚度($E_a I_{eq}$)。

Ⅲ 裂缝宽度验算

6.2.21 PEC 梁应验算裂缝宽度，最大裂缝宽度应按荷载准永

久组合并计入长期作用影响的效应计算。

6.2.22 无翼板 PEC 梁混凝土最大裂缝宽度应按下列公式计算 (图 6.2.22):

$$\omega_{\max} = 1.9\psi \frac{\sigma_{sa}}{E_s} (1.9c_s + 0.08 \frac{d_e}{\rho_{te}}) \quad (6.2.22-1)$$

$$\psi = 1.1(1 - M_{cr}/M_q) \quad (6.2.22-2)$$

$$M_{cr} = 0.235(b_c - t_w)h_w^2 f_{tk} \quad (6.2.22-3)$$

$$\sigma_{sa} = \frac{M_q}{\gamma_s (A_s h_{0s} + A_{af} h_{0f} + k_w A_{aw} h_{0w})} \quad (6.2.22-4)$$

$$d_e = \frac{4(A_s + A_{af} + k_w A_{aw})}{u} \quad (6.2.22-5)$$

$$u = n\pi d_s + (b_c - t_w + 2k_w h_w) \times 0.7 \quad (6.2.22-6)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s + A_{af} + k_w A_{aw}}{0.5(b_c - t_w)h_w} \quad (6.2.22-7)$$

$$k_w = \frac{0.25h_a - t_f}{h_w} \quad (6.2.22-8)$$

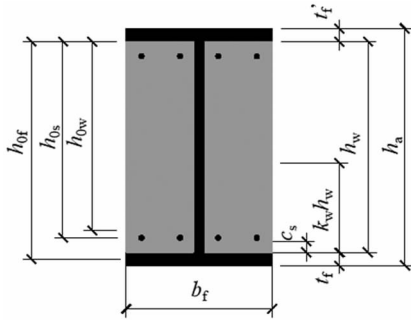


图 6.2.22 无翼板 PEC 梁混凝土最大裂缝宽度计算参数示意

式中: c_s ——纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度(mm);

ψ ——计入梁主钢件翼缘作用的钢筋应变不均匀系数;当 $\psi \leq 0.4$ 时,取 $\psi = 0.4$,当 $\psi \geq 1.0$ 时,取 $\psi = 1.0$;

M_q ——按荷载准永久组合计算的弯矩(N·mm);

k_w ——梁主钢件腹板影响系数,取 1/4 梁高范围中腹板高度与整个腹板高度的比值;

d_e, ρ_{te} ——计入梁主钢件受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋

的有效直径(mm)、有效配筋率；

γ_s —— 力臂系数,取 0.87；

σ_{sa} —— 计入梁主钢件受拉翼缘与部分腹板及受拉钢筋的等效钢筋应力值(N/mm²)；

M_{cr} —— 混凝土截面的抗裂弯矩(N·mm)；

f_{tk} —— 混凝土轴心抗拉强度标准值；

A_{af} 、 A_{aw} 、 A_s —— 梁主钢件受拉翼缘面积、梁主钢件腹板截面面积、纵向受拉钢筋截面面积(mm²)；

b_f 、 h_w 、 t_w —— 梁主钢件翼缘宽度、腹板高度、厚度(mm)；

h_{0s} 、 h_{0f} 、 h_{0w} —— 纵向受拉钢筋、梁主钢件受拉翼缘、 kA_{nw} 截面重心至混凝土截面受压边缘的距离(mm)；

n_r —— 纵向受拉钢筋的数量；

u —— 等效周长(mm),取纵向受拉钢筋周长、梁主钢件受拉翼缘内侧边长的 0.7 倍及受拉区部分腹板长度的 0.7 倍之和；

b_c —— 梁主钢件腹板两侧混凝土外轮廓宽度(mm)。

6.2.23 T形截面组合梁最大裂缝宽度可按不计翼缘作用的矩形截面组合梁计算,本规程式(6.2.22—4)中的力臂系数 r_s 宜取为 0.92。

6.2.24 T形截面组合梁负弯矩区段混凝土最大裂缝宽度可按荷载准永久组合并计入长期作用影响的效应计算。最大裂缝宽度计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对轴心受拉构件的规定,开裂截面翼板纵向受拉钢筋应力计算应符合本规程第 6.2.25 条的规定。

6.2.25 T形截面组合梁负弯矩区翼板开裂截面纵向受拉钢筋应力应按下式计算：

$$\sigma_{sq} = \frac{N_q y_s}{I_{cr}} \quad (6.2.25)$$

式中： I_{cr} —— 由翼板纵向受拉钢筋和矩形组合梁组成的开裂换算截面惯性矩(mm⁴)；

- σ_{sq} ——开裂截面纵向受拉钢筋应力(N/mm^2);
- y_s ——翼板纵向受拉钢筋截面重心至翼板纵向受拉钢筋和矩形组合梁组成的开裂换算截面中和轴的距离(mm);
- M_q ——准永久荷载作用下支座负弯矩($\text{N} \cdot \text{mm}$),可按未开裂截面由弹性计算得到。

IV 构造措施

6.2.26 PEC 框架梁端部剪力设计值计算应符合下列规定:

1 一级抗震等级的框架结构应按下列式计算:

$$V_b = 1.1 \frac{(M_{bua}^l + M_{bua}^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.26-1)$$

2 除本条第 1 款以外的其他情况下,应按下列式计算:

$$\text{一级抗震等级} \quad V_b = 1.2 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.26-2)$$

$$\text{二级抗震等级} \quad V_b = 1.1 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.26-3)$$

$$\text{三级抗震等级} \quad V_b = 1.05 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.26-4)$$

四级抗震等级,取地震组合的剪力设计值。

式中: $M_{bua}^l + M_{bua}^r$ ——框架梁左、右端顺时针或逆时针方向按主钢件面积和实配钢筋面积(计入梁纵向钢筋及框架梁有效翼缘宽度范围内的楼板钢筋,当上述钢筋未能可靠锚固时则不计)、材料强度标准值、且计入承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力所对应的弯矩值($\text{N} \cdot \text{mm}$),取两者中的较大值。框架梁有效翼缘宽度取值应符合本规程第 6.1.4 条的规定;

M_b^l, M_b^r ——地震组合的框架梁左、右端顺时针或逆时针方向弯矩设计值($\text{N} \cdot \text{mm}$),取两者中的

较大值。对一级抗震等级框架,两端弯矩均为负弯矩时,绝对值较小的弯矩应取零;

V_b —— 框架梁剪力设计值(N);

V_{Gb} —— 重力荷载代表值产生的剪力设计值(N),可按简支梁计算确定;

l_n —— 框架梁的净跨(mm)。

6.2.27 框架梁主钢件的腹板高度大于 450mm 时,沿梁两侧高度方向应设置纵向构造钢筋。纵向构造钢筋的间距不宜大于 200mm;纵向构造钢筋面积不应小于混凝土面积 A_c 的 0.1%。

6.2.28 包覆混凝土中纵向受力钢筋不宜超过两排,净距不宜小于 25mm 和 $1.5d$ 的较大值(d 为纵筋的最大直径)。单侧纵向钢筋配筋率不宜小于 0.2%。

6.2.29 梁的受拉钢筋可在端部和连接钢板焊接,也可通过可焊接机械连接套筒连接(图 6.2.29),并应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

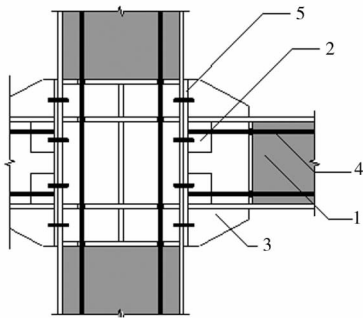


图 6.2.29 受拉钢筋端部连接构造示意

1—包覆混凝土;2—连接钢板或套筒;3—加劲肋;4—纵向钢筋;5—端板

6.2.30 框架梁配置箍筋时应符合下列规定:

1 梁端应设置箍筋加密区,加密区的长度、加密区箍筋最大间距和箍筋最小直径应符合表 6.2.30 的规定;

2 非加密区的箍筋直径宜与加密区相同,间距不宜大于加密区箍筋间距的 2 倍,且不应大于 300mm。

表 6.2.30 梁加密区长度、箍筋最大
间距和箍筋最小直径(mm)

抗震等级	截面分类	箍筋加密区 长度	加密区箍筋 最大间距	箍筋最小 直径
一级	1	$1.0h_n$	150	10
二级	1	$1.0h_n$	200	8
	2	$1.5h_n$	150	8
三级	1	$1.0h_n$	200	6
	2	$1.5h_n$	200	8
四级	1	$1.0h_n$	200	6
	2	$1.0h_n$	200	8
	3	$1.5h_n$	150	8

注：1 h_n 为梁主钢件高；

2 当梁跨度小于梁主钢件截面高度 4 倍时，梁全跨应按箍筋加密区配置。

6.2.31 框架梁配置连杆时应符合下列规定：

1 梁端连杆加密区长度应取本规程表 6.2.30 中箍筋加密区长度和梁跨度的 1/6 中的较大值；

2 抗震等级为一级、二级时，加密区的连杆间距应使主钢件翼缘宽厚比满足本规程第 4.0.2 条截面分类 1 的规定，垂直于主钢件翼缘平面的连杆面积应满足下式计算结果的要求，且连杆面积不宜小于 78.5mm^2 ，抗震等级为三级时，加密区的连杆间距应使主钢件翼缘宽厚比符合本规程第 4.0.2 条截面分类 2 的规定，垂直于主钢件翼缘平面的连杆面积应满足下式计算结果的要求，且连杆面积不宜小于 50mm^2 ：

$$A_1 \geq 0.14 t_f^2 \epsilon_k \frac{f_{ay}}{f_{ly}} \quad (6.2.31-1)$$

式中： A_1 ——连杆面积(mm^2)；

t_f ——连杆拉结的主钢件翼缘厚度(mm)；

ϵ_k ——主钢件翼缘的钢号修正系数；

f_{ay} 、 f_{ly} ——主钢件翼缘钢材和连杆钢材的屈服强度(N/mm²)。

3 按本条第2款设置的连杆,连杆与主钢件翼缘连接的角焊缝承载力设计值应符合下式的规定:

$$N_{LW} \geq 0.1 l_f^2 \epsilon_k f_{ay} \quad (6.2.31-2)$$

式中: N_{LW} ——连杆角焊缝承载力设计值(N)。

4 直线式钢棒或钢筋连杆与主钢件翼缘的连接角焊缝不能满足本条第3款要求的,宜采用C型,并应符合本规程第4.0.6条的规定。

5 非加密区的连杆间距不宜大于主钢件翼缘全宽的1.5倍和500mm两者的较小值。连杆面积宜与加密区相同。

6.2.32 翼板抗剪连接件的设置应符合下列规定:

1 栓钉连接件钉头下表面或槽钢连接件上翼缘下表面高出翼板底部钢筋顶面不宜小于30mm;

2 连接件沿梁跨度方向的最大间距不应大于混凝土翼板及板托厚度的3倍,且不大于300mm;

3 连接件的外侧边缘与梁主钢件翼缘边缘之间的距离不应小于20mm;

4 连接件的外侧边缘至混凝土翼板边缘间的距离不应小于100mm;

5 连接件顶面的混凝土保护层厚度不应小于15mm。

6.2.33 栓钉连接件尚应符合下列规定:

1 当栓钉位置不正对梁主钢件腹板时,若梁主钢件上翼缘承受拉力,则栓钉钉杆直径不应大于梁主钢件上翼缘厚度的1.5倍;若梁主钢件上翼缘不承受拉力,则栓钉钉杆直径不应大于梁主钢件上翼缘厚度的2.5倍;

2 栓钉长度不应小于杆径的4倍;

3 栓钉沿梁轴线方向的间距不应小于杆径的6倍;布置多排栓钉时,垂直于梁轴线方向的间距不应小于杆径的4倍;

4 用压型钢板作底模的组合梁,混凝土凸肋的最小宽度不应小于50mm,栓钉的高度不应小于 $(h_e + 2d)$ mm, d 为栓钉

杆的直径, h_e 为混凝土凸肋高度。

6.2.34 槽钢连接件宜采用 Q235 钢, 截面不宜大于槽钢 12.6。

6.3 柱和支撑设计

I 轴心受力构件承载力计算

6.3.1 轴心受拉构件的截面承载力应由组合截面中主钢件截面承载力确定; 轴心受压构件的承载力应由组合截面承载力和构件整体稳定承载力的较低值确定。

6.3.2 当端部连接处主钢件的各板件都由连接件直接传力时, 除采用高强度螺栓摩擦型连接者外, 轴心受拉构件截面承载力计算应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况:

$$N \leq N_{a,y} \quad (6.3.2-1)$$

$$N \leq N_{an,u} \quad (6.3.2-2)$$

地震设计状况:

$$N \leq N_{a,y} / \gamma_{RE} \quad (6.3.2-3)$$

$$N \leq N_{an,u} / \gamma_{RE} \quad (6.3.2-4)$$

$$N_{a,y} = A_a f_a \quad (6.3.2-5)$$

$$N_{an,u} = 0.7 A_{an} f_{au} \quad (6.3.2-6)$$

式中: N ——轴向拉力设计值(N);

$N_{a,y}$ ——毛截面屈服承载力设计值(N);

$N_{an,u}$ ——净截面断裂承载力设计值(N);

A_a ——组合截面中柱主钢件毛截面面积(mm²);

A_{an} ——组合截面中柱主钢件净截面面积(mm²), 当构件多个截面有孔时, 取最不利的截面;

f_a ——钢材抗拉强度设计值(N/mm²);

f_{au} ——钢材抗拉强度最小值(N/mm²)。

γ_{RE} ——柱轴拉抗震承载力调整系数, 按表 5.1.5 取值。

6.3.3 当端部连接处组成截面的各板件都由连接件直接传力时, 轴心受压构件截面承载力计算应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况：

$$N \leq N_u \quad (6.3.3-1)$$

地震设计状况：

$$N \leq N_u / \gamma_{RE} \quad (6.3.3-2)$$

$$N_u = f'_a A_a + f_c A_c + f'_y A_s \quad (6.3.3-3)$$

式中： N 、 N_u ——轴向压力设计值、截面受压承载力设计值(N)；

A_a 、 A_c 、 A_s ——柱主钢件、混凝土、钢筋的截面面积(mm²)；

f'_a 、 f_c 、 f'_y ——钢材、混凝土、钢筋的抗压强度设计值(N/mm²)；

γ_{RE} ——柱轴压抗震承载力调整系数，按表 5.1.5 取值。

6.3.4 轴心受压构件的整体稳定计算应符合下式规定：

持久、短暂设计状况：

$$N \leq \varphi N_u \quad (6.3.4-1)$$

地震设计状况：

$$N \leq \varphi N_u / \gamma_{RE} \quad (6.3.4-2)$$

式中： N 、 N_u ——轴向压力设计值、截面受压承载力设计值(N)；

φ ——轴心受压构件的稳定系数，取截面两主轴稳定系数(φ_x 、 φ_y)中的较小值；

γ_{RE} ——柱轴压抗震承载力调整系数，按表 5.1.5 取值。

6.3.5 组合截面回转半径应按下列公式计算：

$$i = \sqrt{\frac{E_a I_a + E_c I_c}{E_a A_a + E_c A_c}} \quad (6.3.5)$$

式中： i ——组合截面回转半径(mm)。

6.3.6 构件正则化长细比(λ_n)应按下列公式计算：

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{EQ}}{E_{EQ}}} \quad (6.3.6-1)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (6.3.6-2)$$

$$f_{EQ} = \frac{f_{ay} A_a + f_{ck} A_c}{A_a + A_c} \quad (6.3.6-3)$$

$$E_{EQ} = \frac{E_a A_a + E_c A_c}{A_a + A_c} \quad (6.3.6-4)$$

式中： l_0 ——轴心受压构件计算长度(mm)，应符合本规程第 6.3.8 条规定；

λ ——构件长细比；

f_{EQ} ——组合截面当量强度(N/mm²)；

E_{EQ} ——组合截面当量弹性模量(N/mm²)；

f_{ay} ——钢材屈服强度(N/mm²)；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值(N/mm²)。

6.3.7 轴心受压稳定系数按式(6.3.7-1)、(6.3.7-2)计算：

$$\lambda_n \leq 0.382 \quad \varphi = 1 - \alpha_1 \lambda_n^2 \quad (6.3.7-1)$$

$$\lambda_n > 0.382 \quad \varphi = \frac{1}{2\lambda_n^2} [\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2 - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2)^2 - 4\lambda_n^2}] \quad (6.3.7-2)$$

式中： α_1 、 α_2 、 α_3 ——系数，按表 6.3.7 取值，计算异形 PEC 柱时，均按强轴取。

表 6.3.7 轴压稳定系数公式的参数取值

失稳方向	α_1	α_2	α_3
强 轴	0.550	0.986	0.240
弱 轴	0.420	0.830	0.595

6.3.8 轴心受力构件和框架柱的计算长度应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定。确定框架柱的柱端约束时，应按本规程式(5.1.7-3)计算相应的组合梁、组合柱截面抗弯刚度。

II 单向压弯构件承载力计算

6.3.9 单向压弯构件的截面承载力计算应符合下列规定：

1 当绕对称轴受力时，应按下列公式计算：

持久、短暂设计状况：

$$M \leq M_u \quad (0 \leq N < N_m) \quad (6.3.9-1)$$

$$\frac{N - N_m}{N_u - N_m} + \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (N_m < N \leq N_u) \quad (6.3.9-2)$$

地震设计状况：

$$M \leq M_u / \gamma_{RE} \quad (0 \leq N < N_m) \quad (6.3.9-3)$$

$$\frac{N - N_m}{N_u - N_m} + \frac{M}{M_u} \leq 1 / \gamma_{RE} \quad (N_m < N \leq N_u) \quad (6.3.9-4)$$

式中： N ——轴力设计值(N)；

M ——弯矩设计值(N·mm)，针对不同弯曲轴分别取 M_x 或 M_y ；

N_m ——特征轴力(N)，取 $\alpha_1 A_c f_c$ ；

N_u ——截面受压承载力设计值(N)，按本规程第 6.3.3 条计算；

M_u ——截面受弯承载力设计值(N·mm)，按本规程第 6.3.10 条计算；

γ_{RE} ——柱偏压抗震承载力调整系数，按表 5.1.5 取值。

2 当异形 PEC 柱绕非对称轴受力时，应按下列公式计算：
持久、短暂设计状况：

$$\frac{N}{N_u} + \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (6.3.9-5)$$

地震设计状况：

$$\frac{N}{N_u} + \frac{M}{M_u} \leq 1 / \gamma_{RE} \quad (6.3.9-6)$$

式中： N ——轴力设计值(N)；

M ——弯矩设计值(N·mm)，针对不同弯曲轴分别取 M_x 或 M_y ；

N_u ——截面受压承载力设计值(N)，按本规程第 6.3.3 条计算；

M_u ——截面受弯承载力设计值(N·mm)，按本规程第 6.3.10 条计算；

γ_{RE} ——柱偏压抗震承载力调整系数，按表 5.1.5 取值。

6.3.10 截面受弯承载力设计值的计算应符合下列规定：

1 规则截面绕强轴截面受弯承载力设计值(M_{ux})应符合本规程第 6.2.1 条的规定；绕弱轴截面受弯承载力设计值

(M_{uy})应符合下列公式的规定:

- 1) 当 $\alpha_1 f_{cw} h_w (b_f - t_w) / 2 \geq f_a h_a t_w$, 塑性中和轴位于一侧混凝土内时(图 6.3.10-1):

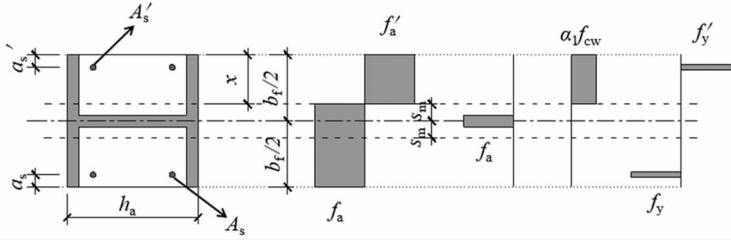


图 6.3.10-1 绕弱轴截面受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} (h_a - 2t_f) x^2 / 2 + A'_s f'_y (x - a'_s) + A_s f_y (b_f - x - a_s) + 2f_a t_f x (b_f - x) + f_a [4s_m t_f + t_w (h_a - 2t_f)] (b_f / 2 - x) \quad (6.3.10-1)$$

$$\alpha_1 f_{cw} (h_a - 2t_f) x + A'_s f'_y - A_s f_y - 4f_a s_m t_f - f_a (h_a - 2t_f) t_w = 0 \quad (6.3.10-2)$$

式中: s_m ——计算参数(mm),取中和轴到截面中心轴的距离;

E_a, h_0 ——钢材弹性模量(N/mm^2)、受拉钢筋面积重心到受压混凝土边缘的距离(mm)。

- 2) 当 $\alpha_1 f_{cw} h_w (b_f - t_w) / 2 < f_a h_a t_w$, 塑性中和轴位于主钢件腹板内时(图 6.3.10-2):

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} (h_a - 2t_f) \frac{(b_f - t_w)}{2} \left(x - \frac{(b_f - t_w)}{4} \right) + A_s f_y (b_f - x - a_s) + f_a t_f (b_f^2 - t_w^2) / 2 + f_a h_a \left(\frac{t_w^2}{4} - s_m^2 \right) + 2f_a h_a s_m^2 + A'_s f'_y (x - a'_s) \quad (6.3.10-3)$$

$$\alpha_1 f_{cw} (h_a - 2t_f) (b_f - t_w) / 2 + A'_s f'_y - A_s f_y - 2f_a h_a s_m = 0 \quad (6.3.10-4)$$

2 异形 PEC 柱截面受弯承载力设计值应符合下列规定:

- 1) 将柱截面划分为有限个混凝土单元、钢筋单元及型钢单元,近似取单元内的应变和应力为均匀分布,合力点

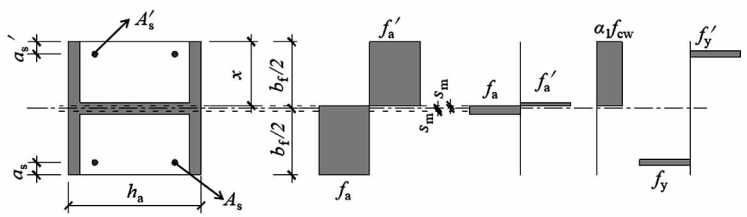


图 6.3.10-2 绕弱轴截面受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

在单元重心处(图 6.3.10-3)；

- 2) 混凝土单元的轴心抗压强度、钢筋单元及型钢单元的屈服强度应按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定取用；

- 3) 正截面承载力应按下列公式计算：

$$\sum f_{ci} A_{ci} + \sum f_{aj} A_{aj} + \sum f_{yk} A_{yk} = 0 \quad (6.3.10-5)$$

$$M_{usx} = \sum f_{ci} A_{ci} (X_{ci} - X_0) + \sum f_{aj} A_{aj} (X_{aj} - X_0) + \sum f_{yk} A_{yk} (x_{yk} - X_0) \quad (6.3.10-6)$$

$$M_{usy} = \sum f_{ci} A_{ci} (Y_{ci} - Y_0) + \sum f_{aj} A_{aj} (Y_{aj} - Y_0) + \sum f_{yk} A_{yk} (Y_{yk} - Y_0) \quad (6.3.10-7)$$

$$X_0 = \frac{\sum f_{ci} A_{ci} X_{ci} + \sum f_{aj} A_{aj} X_{aj} + \sum f_{yk} A_{yk} X_{yk}}{\sum f_{ci} A_{ci} + \sum f_{aj} A_{aj} + \sum f_{yk} A_{yk}} \quad (6.3.10-8)$$

$$Y_0 = \frac{\sum f_{ci} A_{ci} Y_{ci} + \sum f_{aj} A_{aj} Y_{aj} + \sum f_{yk} A_{yk} Y_{yk}}{\sum f_{ci} A_{ci} + \sum f_{aj} A_{aj} + \sum f_{yk} A_{yk}} \quad (6.3.10-9)$$

式中： X_0, Y_0 ——异形 PEC 柱截面中心坐标；

M_{ux}, M_{uy} ——受弯构件截面绕 x 轴、y 轴方向的弯矩设计值；

f_{ci}, A_{ci} ——第 i 个混凝土单元的轴心抗压强度、面积及单元中心至混凝土受压边缘的距离；

f_{aj}, A_{aj} ——第 j 个型钢单元的屈服强度、面积及单元中心至混凝土受压边缘的距离；

f_{yk}, A_{yk} ——第 k 个钢筋单元的屈服强度、面积及单元中心至混凝土受压边缘的距离；

X_{ci}, Y_{ci} ——第 i 个混凝土单元的中心坐标;
 X_{aj}, Y_{aj} ——第 j 个型钢单元的中心坐标;
 X_{yk}, Y_{yk} ——第 k 个钢筋单元的中心坐标。

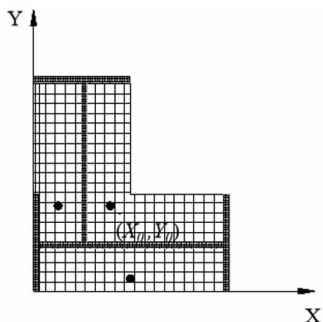


图 6.3.10-3 异形 PEC 柱截面受弯承载力计算模式示意

6.3.11 受剪承载力计算应符合下列规定:

1 受剪承载力应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况:

$$V_c \leq V_u \quad (6.3.11-1)$$

地震设计状况:

$$V_c \leq V_u / \gamma_{RE} \quad (6.3.11-2)$$

$$V_u = A_w f_{av} \quad (6.3.11-3)$$

式中: V_c ——剪力设计值(N);

V_u ——主钢件受剪承载力设计值(N);

A_w ——主钢件受剪板件(板件宽度平行于剪力方向)的面积(mm^2)(当为 H 形截面腹板时,取翼缘间的净高和厚度的乘积计算);

f_{av} ——钢材的抗剪强度设计值(N/mm^2);

γ_{RE} ——柱受剪抗震承载力调整系数,按表 5.1.5 取值。

2 绕强轴受弯时,若按本规程式(6.3.11-1)计算得到的左端值大于 $0.5V_u$,则按本规程第 6.2.1 条计算截面受弯承载力时,主钢件腹板应力强度应乘以调整系数 $1-\rho=1-(2V_c/V_u-1)^2$;

3 异形 PEC 柱受剪承载力按本条第 1 款和第 2 款计算, 式中 A_w 取宽度平行于剪力方向的主钢件受剪腹板面积 (mm^2)。

6.3.12 单向压弯构件的整体稳定承载力计算应符合下列规定:

1 单向压弯构件平面内整体稳定应符合下式规定:

持久、短暂设计状况:

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + \frac{\beta_{mx} M_x}{M_{ux} (1 - \varphi_x N / N_{Ex})} \leq 1 \quad (6.3.12-1)$$

地震设计状况:

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + \frac{\beta_{mx} M_x}{M_{ux} (1 - \varphi_x N / N_{Ex})} \leq 1 / \gamma_{RE} \quad (6.3.12-2)$$

式中: φ_x ——轴心受压构件绕 x 轴整体稳定系数, 应符合本规程第 6.3.7 条规定;

N_{Ex} ——轴心受压构件绕 x 轴的弹性稳定临界力 (N), 按本规程第 6.3.13 条规定计算;

β_{mx} ——等效弯矩系数, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定计算。

2 单向压弯构件平面外整体稳定应符合下式规定:

持久、短暂设计状况:

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} + \frac{\beta_{tx} M_x}{0.85 M_{ux}} \leq 1 \quad (6.3.12-3)$$

地震设计状况:

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} + \frac{\beta_{tx} M_x}{0.85 M_{ux}} \leq 1 / \gamma_{RE} \quad (6.3.12-4)$$

式中: φ_y ——轴心受压构件绕 y 轴整体稳定系数, 应符合本规程第 6.3.7 条规定;

β_{tx} ——等效弯矩系数, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定取值;

γ_{RE} ——柱稳定抗震承载力调整系数, 按表 5.1.5 取值。

6.3.13 轴心受压构件绕 x 轴的弹性稳定临界力应符合下列公式规定:

$$N_{\text{Ex}} = \frac{\pi^2 (EI)_e}{l_0^2} \quad (6.3.13-1)$$

$$(EI)_e = E_a I_a + E_s I_s + k_e E_c I_c \quad (6.3.13-2)$$

式中: l_0 ——轴心受压构件计算长度(mm),应符合本规程第 6.3.8 条规定;

$(EI)_e$ ——构件等效抗弯刚度($\text{N} \cdot \text{mm}^2$);

E_a 、 E_s 、 E_c ——钢材、钢筋、混凝土的弹性模量(N/mm^2);

I_a 、 I_s 、 I_c ——柱主钢件、钢筋、混凝土的截面惯性矩(mm^4);

k_e ——折减系数,取 0.5。

III 双向压弯构件承载力计算

6.3.14 双向压弯构件的截面承载力计算应符合下列规定:

1 双轴对称截面双向压弯承载力计算应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况:

$$\frac{(N_u - N_{\text{mx}})M_x}{(N_u - N)M_{\text{ux}}} + \frac{(N_u - N_{\text{my}})M_y}{(N_u - N)M_{\text{uy}}} \leq 1 \quad (N_{\text{mx}} < N < N_u) \quad (6.3.14-1)$$

$$\frac{M_x}{M_{\text{ux}}} + \frac{M_y}{M_{\text{uy}}} \leq 1 \quad (0 < N < N_{\text{mx}}) \quad (6.3.14-2)$$

地震设计状况:

$$\frac{(N_u - N_{\text{mx}})M_x}{(N_u - N)M_{\text{ux}}} + \frac{(N_u - N_{\text{my}})M_y}{(N_u - N)M_{\text{uy}}} \leq 1/\gamma_{\text{RE}} \quad (N_{\text{mx}} < N < N_u) \quad (6.3.14-3)$$

$$\frac{M_x}{M_{\text{ux}}} + \frac{M_y}{M_{\text{uy}}} \leq 1/\gamma_{\text{RE}} \quad (0 < N < N_{\text{mx}}) \quad (6.3.14-4)$$

式中: N ——截面上的轴力设计值(N);

M_x 、 M_y ——绕 x 轴的弯矩设计值、绕 y 轴的弯矩设计值($\text{N} \cdot \text{mm}$);

N_u ——截面受压承载力设计值(N),符合本规程第 6.3.3 条规定;

N_{mx} 、 N_{my} ——针对 x 轴和 y 轴的特征轴力(N),符合本规程第 6.3.9 条第 1 款的规定;

M_{ux} 、 M_{uy} ——绕 x 轴和绕 y 轴的受弯承载力设计值(N·mm),按符合本规程第 6.3.10 条第 1 款的规定;

γ_{RE} ——柱偏压抗震承载力调整系数,按表 5.1.5 取值。

2 单轴对称截面双向压弯承载力计算应符合下列公式的规定(x 轴为对称轴):

持久、短暂设计状况:

$$\frac{(N_u - N_{mx})M_x}{(N_u - N)M_{ux}} + \frac{N_u - M_y}{(N_u - N)M_{uy}} \leq 1 \quad (N_{mx} < N < N_u) \quad (6.3.14-5)$$

$$\frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{N_u M_y}{(N_u - N)M_{uy}} \leq 1 \quad (0 < N < N_{mx}) \quad (6.3.14-6)$$

地震设计状况:

$$\frac{(N_u - N_{mx})M_x}{(N_u - N)M_{ux}} + \frac{N_u - M_y}{(N_u - N)M_{uy}} \leq 1/\gamma_{RE} \quad (N_{mx} < N < N_u) \quad (6.3.14-7)$$

$$\frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{N_u M_y}{(N_u - N)M_{uy}} \leq 1/\gamma_{RE} \quad (0 < N < N_{mx}) \quad (6.3.14-8)$$

3 非对称截面双向压弯承载力计算应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况:

$$\frac{N}{N_u} + \frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{M_y}{M_{uy}} \leq 1 \quad (6.3.14-9)$$

地震设计状况:

$$\frac{N}{N_u} + \frac{M_x}{M_{ux}} + \frac{M_y}{M_{uy}} \leq 1/\gamma_{RE} \quad (6.3.14-10)$$

4 截面双向受剪承载力应符合下列规定:

1) 截面双向受剪承载力计算可仅计入主钢件中平行于剪力方向的板件受力,忽略内填混凝土和箍筋的作用,应符合下列公式的规定:

持久、短暂设计状况:

$$V_y \leq V_{uy} \quad (6.3.14-11)$$

$$V_x \leq V_{ux} \quad (6.3.14-12)$$

地震设计状况：

$$V_y \leq V_{uy} / \gamma_{RE} \quad (6.3.14-13)$$

$$V_x \leq V_{ux} / \gamma_{RE} \quad (6.3.14-14)$$

$$V_{uy} = A_{ay} f_{av} \quad (6.3.14-15)$$

$$V_{ux} = A_{ax} f_{av} \quad (6.3.14-16)$$

式中： V_x 、 V_y ——截面上沿 x 轴(主钢件翼缘板面方向)和 y 轴(主钢件腹板面方向)的剪力设计值(N)；

V_{ux} 、 V_{uy} ——截面上沿 x 轴(主钢件翼缘板面方向)和 y 轴(主钢件腹板面方向)的受剪承载力设计值(N)；

A_{ax} 、 A_{ay} ——主钢件板件宽度平行于 x 轴和 y 轴方向的板件面积(mm^2)(当为 H 形或异形截面腹板时，取翼缘间的净高和厚度的乘积计算)；

f_{av} ——钢材的抗剪强度设计值(N/mm^2)，当翼缘与腹板的钢材牌号不同时，分别取对应的抗剪强度设计值；

γ_{RE} ——柱受剪抗震承载力调整系数，按表 5.1.5 取值。

- 2) 若 V 大于 $0.5V_{uy}$ 或 V 大于 $0.1V_{ux}$ ，则采用本规程第 6.3.10 条第 1 款计算截面压弯时的受弯承载力(M_{ux} 、 M_{uy})应分别乘以应力强度调整系数 $\rho_x = (2V_y/V_{uy} - 1)^2$ 、 $\rho_y = (2V_x/V_{ux} - 1)^2$ 。

6.3.15 双向压弯构件的整体稳定承载力计算应符合下列公式的规定：

持久、短暂设计状况：

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + \frac{\beta_{mx} M_x}{M_{ux}(1 - \varphi_x N/N_{Ex})} + \frac{\beta_{iy} M_y}{0.85 M_{uy}} \leq 1 \quad (6.3.15-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + \frac{\beta_{tx} M_x}{0.85 M_{ux}} + \frac{\beta_{my} M_y}{M_{uy}(1 - \varphi_y N/N_{Ey})} \leq 1 \quad (6.3.15-2)$$

地震设计状况：

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + \frac{\beta_{mx} M_x}{M_{ux}(1 - \varphi_x N/N_{Ex})} + \frac{\beta_{ty} M_y}{0.85 M_{uy}} \leq 1/\gamma_{RE} \quad (6.3.15-3)$$

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} + \frac{\beta_{tx} M_x}{0.85 M_{ux}} + \frac{\beta_{my} M_y}{M_{uy}(1 - \varphi_y N/N_{Ey})} \leq 1/\gamma_{RE} \quad (6.3.15-4)$$

式中: φ_x 、 φ_y ——轴心受压构件整体稳定系数,应符合本规程第 6.3.7 条规定;

N_{Ex} 、 N_{Ey} ——弹性稳定临界力(N), N_{Ex} 应符合本规程 6.3.13 条规定,计算 N_{Ey} 时取弱轴方向的计算长度和等效抗弯刚度作相应代换;

β_{mx} 、 β_{my} ——绕 x 轴或 y 轴单向压弯时的弯矩等效系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定;

β_{tx} 、 β_{ty} ——绕 x 轴或 y 轴单向压弯时的平面外稳定弯矩等效系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定;

γ_{RE} ——柱稳定抗震承载力调整系数,按表 5.1.5 取值。

IV 抗震措施及构造要求

6.3.16 按地震组合设计时,框架柱的轴压比(n)应按下列式计算,且不宜大于表 6.3.16 规定的限值:

$$n = \frac{N}{f_c A_c + f_a A_a} \quad (6.3.16)$$

式中: N ——地震组合下框架柱承受的最大轴压力设计值(N);

A_c ——框架柱混凝土的截面面积(mm^2);

A_a ——框架柱主钢件的截面面积(mm^2)。

6.3.17 采用地震组合计算的框架节点上、下柱端内力设计值应符合下列规定:

1 节点上、下柱端的弯矩设计值应符合下列规定:

1) 框架结构应按下列式计算:

$$\text{一级框架} \quad \sum M_c = 1.2 \sum M_{\text{bua}} \quad (6.3.17-1)$$

$$\text{二级框架} \quad \sum M_c = 1.5 \sum M_b \quad (6.3.17-2)$$

表 6.3.16 框架柱的轴压比限值

结构类型	柱类型	抗震等级			
		一级	二级	三级	四级
框架结构、框架-支撑结构、 框架-钢板剪力墙结构	框架柱	0.65	0.75	0.85	0.9
框架-钢筋混凝土剪力墙结构	框架柱	0.70	0.80	0.90	0.95
框架-混凝土核心筒结构	框架柱	0.70	0.80	0.90	—

注：1 剪跨比不大于 2 的柱的轴压比限值应比表中限值减小 0.05；

2 当混凝土强度等级采用 C65~C70 时，轴压比限值应比表中
限值减小 0.05；

3 “—”表示不采用。

$$\text{三级框架} \quad \Sigma M_c = 1.3 \Sigma M_b \quad (6.3.17-3)$$

$$\text{四级框架} \quad \Sigma M_c = 1.2 \Sigma M_b \quad (6.3.17-4)$$

2) 其他结构体系中的框架应按下列公式计算：

$$\text{一级框架} \quad \Sigma M_c = 1.4 \Sigma M_b \quad (6.3.17-5)$$

$$\text{二级框架} \quad \Sigma M_c = 1.2 \Sigma M_b \quad (6.3.17-6)$$

$$\text{三、四级框架} \quad \Sigma M_c = 1.1 \Sigma M_b \quad (6.3.17-7)$$

式中： ΣM_c ——采用地震组合计算的节点上、下柱端的弯矩设计值之和(N·mm)；柱端弯矩设计值可取调整后的弯矩设计值之和按弹性分析的弯矩比例进行分配；

$\Sigma M_{\text{bu}a}$ ——同一节点左、右梁端按顺时针和逆时针方向采用实配钢筋(计入梁纵向钢筋及框架梁有效翼缘宽度范围内的楼板钢筋,当上述钢筋未能可靠锚固时则不计)和实配主钢件截面积、材料强度标准值,且计入承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力之和的较大值(N·mm)；

ΣM_b ——同一节点左、右梁端按顺时针和逆时针方向地震组合计算的两端弯矩设计值之和的较大值(N·mm)；一级抗震等级,当两端弯矩均为负

弯矩时,绝对值较小的弯矩值应取 0。

2 按地震组合的框架结构底层柱下端截面的弯矩设计值,对一、二、三、四级抗震等级应分别乘以弯矩增大系数 1.7、1.5、1.3 和 1.2;底层柱纵向钢筋宜按上、下端的不利情况配置;

3 顶层柱、轴压比小于 0.15 的柱,柱端弯矩设计值可取地震组合下的弯矩设计值;

4 节点上、下柱端的轴向力设计值,应取地震组合下各自的轴向力设计值。

6.3.18 按地震组合计算的框架柱的剪力设计值应符合下列规定:

1 框架结构应按下式计算:

$$\text{一级抗震等级} \quad V_c = 1.2 \frac{(M_{cua}^t + M_{cua}^b)}{H_n} \quad (6.3.18-1)$$

$$\text{二级抗震等级} \quad V_c = 1.2 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-2)$$

$$\text{三级抗震等级} \quad V_c = 1.1 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-3)$$

$$\text{四级抗震等级} \quad V_c = 1.05 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-4)$$

2 其他结构体系中的框架应按下列公式计算:

$$\text{一级抗震等级} \quad V_c = 1.3 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-5)$$

$$\text{二级抗震等级} \quad V_c = 1.1 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-6)$$

$$\text{三、四级抗震等级} \quad V_c = 1.05 \frac{(M_c^t + M_c^b)}{H_n} \quad (6.3.18-7)$$

式中: V_c —— 框架柱剪力设计值(N);

M_{cua}^t 、 M_{cua}^b —— 框架柱上、下端顺时针或逆时针方向按实配钢筋(但不计柱端未能有效锚固的钢筋)和主钢件截面面积、材料强度标准值,且计入承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力所对应的弯矩值(N·mm);

M_c^t 、 M_c^b —— 按地震组合,且经调整后的柱上、下端弯矩设计

值($N \cdot mm$);

H_n —— 框架柱的净高(mm)。

6.3.19 PEC 柱应采用配筋混凝土包覆。柱的纵筋应符合下列规定:

- 1 抗震设计时宜采用对称配筋;
- 2 纵向钢筋直径不宜小于 10mm,间距不宜大于 250mm;
- 3 柱纵向钢筋净距均不应小于 50mm;全部纵向钢筋的最小配筋率不应小于 0.5%。

6.3.20 框架柱配置箍筋时应符合下列规定:

- 1 按地震组合设计的框架柱应设置箍筋加密区。加密区的箍筋最大间距和最小直径应符合表 6.3.20 的规定;

表 6.3.20 加密区箍筋最大间距和最小直径(mm)

抗震等级	截面分类	加密区箍筋最大间距	箍筋最小直径
一级	1	150	10
二级	1	200	8
	2	150(柱根 100)	8
三级	1	200	8
	2	150(柱根 100)	8
四级	1	200	6
	2	200(柱根 150)	8
	3	150(柱根 100)	8

注: 1 柱根指地下室的顶面或无地下室的基础顶面箍筋加密区;

2 箍筋宜采用封闭箍或与主钢件焊接。

- 2 非加密区的箍筋直径宜与加密区相同,间距不宜大于加密区箍筋间距的 2 倍且不应大于 300mm;

- 3 非抗震设计时,箍筋直径不应小于 6mm,箍筋间距不应大于 300mm。

6.3.21 框架柱配置连杆时应符合下列规定：

1 厚实型截面和薄柔型截面柱端加密区连杆的配置要求与加密区箍筋相同。扁钢连杆面积可按最小直径的圆面积等效；

2 薄柔型截面柱连杆间距尚应使主钢件翼缘宽厚比符合本规程第 4.0.2 条截面分类的规定，垂直于主钢件翼缘平面的连杆面积及焊缝承载力设计值应符合本规程第 6.2.31 条第 2 款、第 3 款的规定；

3 非加密区的连杆面积宜与加密区相同，连杆间距不宜大于加密区间距的 2 倍、主钢件翼缘全宽的 1.5 倍和 300mm 三者的较小值。

4 非抗震设计时，连杆直径不应小于 6mm，连杆间距不应大于 300mm。

6.3.22 按地震作用组合设计的 PEC 框架柱的箍筋或连杆加密区应为下列范围：

1 柱上、下两端，取截面长边长度、柱净高 1/6 和 500mm 的最大值；

2 底层柱的下端不小于 1/3 柱净高的范围；

3 刚性地面上、下各 500mm 的范围。

6.3.23 按地震组合设计的 PEC 框架柱配置箍筋或连杆时，箍筋或连杆加密区体积配箍率应符合下式规定：

1 当采用箍筋时应符合下式规定：

$$\rho_v \geq 0.7 \lambda_v \frac{f_c}{f_{yv}} \quad (6.3.23-1)$$

2 当采用连杆时应符合下式规定：

$$\rho_v \geq 0.6 \lambda_v \frac{f_c}{f_{yv}} \quad (6.3.23-2)$$

式中： ρ_v ——框架柱箍筋加密区的相应体积配箍率；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm²)；当强度等级低于 C35 时，按 C35 取值；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值(N/mm²)；

λ_v ——箍筋的最小配筋特征值，按表 6.3.23 采用。

表 6.3.23 PEC 框架柱端箍筋的配筋特征值(λ_v)

抗震等级	箍筋形式	轴 压 比							
		≤ 0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
一级	普通箍、连杆	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	—	—	—
	复合箍	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	—	—	—
二级	普通箍、连杆	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	—	—
	复合箍	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	—	—
三级	普通箍、连杆	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	—
	复合箍	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	—
四级	普通箍、连杆	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
	复合箍	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17

- 注：1 一、二、三、四级抗震等级柱的箍筋加密区的体积配箍率分别不应小于 0.8%、0.6%、0.4% 和 0.4%；当采用连杆时分别不应小于 0.6%、0.5%、0.3% 和 0.3%；
- 2 当混凝土强度等级高于 C60 时，如轴压比不大于 0.6，柱加密区的最小配筋特征值宜按表中数值增大 0.01；如轴压比大于 0.6，宜按表中数值增大 0.02；
- 3 扁钢连杆取面积等效的换算直径；
- 4 “—”表示不采用等于或大于对应的轴压比。

6.3.24 按地震组合设计的框架柱非加密区箍筋体积配箍率不宜小于加密区的一半；箍筋间距不宜大于加密区的 2 倍和框架柱截面的短边长度。一级、二级抗震等级，间距不应大于纵筋直径的 10 倍；三级、四级抗震等级，间距不应大于纵筋直径的 15 倍。

6.3.25 按地震组合设计的剪跨比不大于 2 的部分包覆钢—混凝土框架柱，箍筋或连杆间距不应大于 100mm 并沿全高加密，体积配箍率不应小于 0.8%。

7 连接与节点

7.1 一般规定

7.1.1 节点设计应根据结构的重要性与受力特点、荷载情况和工作环境等因素,选用适当的形式、材料与加工工艺。主钢件之间宜采用栓焊混合连接或全螺栓连接。

7.1.2 节点设计应满足承载能力极限状态要求,防止节点因强度破坏、板件局部失稳、焊缝及其周边开裂等引起的失效。

7.1.3 节点构造应符合结构计算假定,并应传力可靠、减小应力集中。当构件在节点偏心相交时,尚应计入局部弯矩的影响。

7.1.4 梁柱节点区柱段部位和柱拼接区的纵向受力钢筋应连续,并应浇筑混凝土。梁柱节点的梁端区、梁拼接区的纵向受力钢筋宜连续,并应浇筑混凝土。主次梁连接区宜浇筑混凝土。

7.1.5 PEC 柱、PEC 支撑的连接后浇区材料强度等级应比相应主体构件混凝土材料强度等级提高一级,PEC 梁的连接后浇区材料强度等级不应低于相应主体构件材料强度等级。

7.1.6 主次梁连接区无混凝土后浇时,主钢件的强度、局部稳定、刚度、抗震性能和构造措施应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定,并满足防腐和防火保护要求。

7.1.7 非常规节点或重要部位的连接应通过有限元分析确定节点承载力,并宜通过试验进行验证。

7.1.8 节点构造应便于制作、运输、安装和维护,防腐与防火措施应符合本规程第 8.2 节、8.3 节的规定。

7.2 梁梁连接

7.2.1 同轴梁段现场拼接时,主钢件可采用翼缘焊接连接、腹板螺栓连接(图 7.2.1a)或翼缘、腹板均为螺栓连接(图 7.2.1b)。梁段主钢件宜在连接板外侧设置永久或临时挡板,挡板与腹板连接板间距不宜小于纵向钢筋直径的 5 倍。

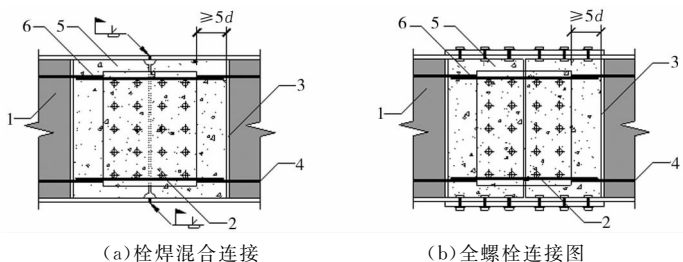


图 7.2.1 梁拼接连接示意

1—预制包覆混凝土;2—高强度螺栓;3—挡板;4—纵筋;5—后浇混凝土;
6—双面焊 5d、单面焊 10d(d 为纵筋直径)

7.2.2 同轴梁段拼接位置宜避开受弯较大截面。连接承载力设计值不应小于拼接处梁的内力设计值,且不得小于梁截面塑性承载力的 50%。

7.2.3 主次梁连接节点采用铰接连接时(图 7.2.3),连接强度计算应符合下列规定:

1 除应计入次梁传递的剪力设计值外,尚宜加入次梁端部弯曲约束产生的弯矩,弯矩设计值可按下式计算:

$$M_j = V_b a \quad (7.2.3)$$

式中: M_j ——主次梁连接的弯矩设计值(N·mm);

V_b ——次梁端部剪力设计值(N);

a ——次梁连接板的合力中心到主梁翼缘侧边的水平距离(mm)。

2 当采用受力性能等同于现浇混凝土的楼板将主次梁连成整体时,可不计算端部弯曲约束产生的弯矩的影响;

3 连接强度应包括螺栓群强度、连接板与主梁的焊缝强

度以及连接板拉剪强度。连接强度设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

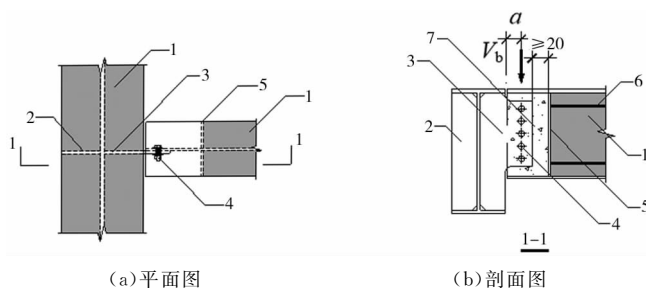


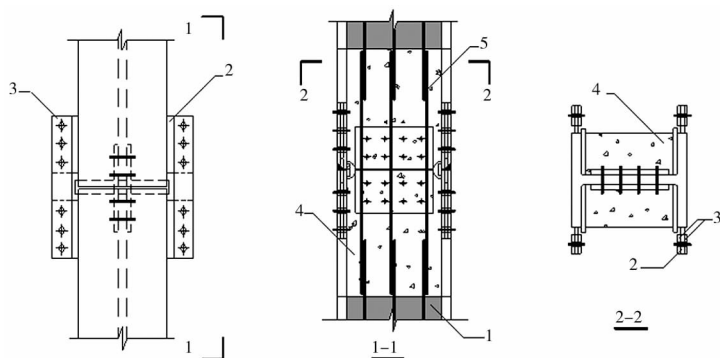
图 7.2.3 主次梁铰接连接示意

1—预制包覆混凝土；2—加劲板；3—连接板；4—高强度螺栓；
5—挡板；6—纵向钢筋；7—后浇混凝土

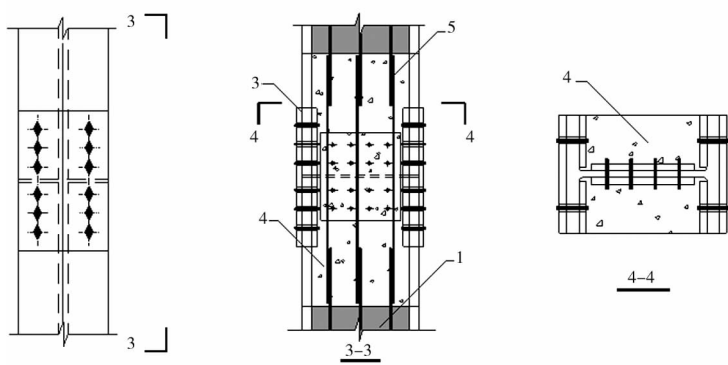
7.3 柱柱连接

7.3.1 框架柱现场安装的拼缝位置距下层框架梁顶面上方距离可取 1.3m 和柱净高一半中的较小值。当柱子截面外包尺寸有变化时,变化过渡段内不宜设置现场拼接接头。

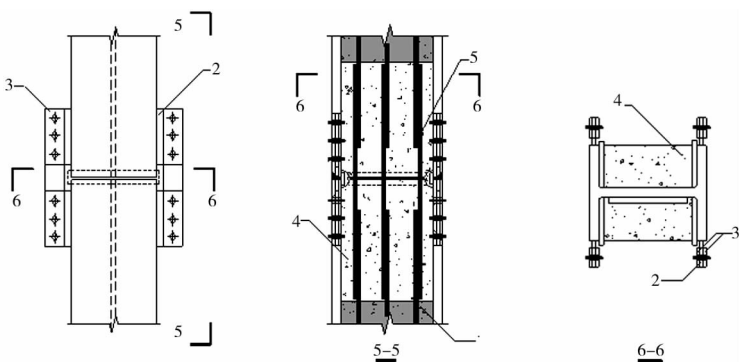
7.3.2 上下柱拼接接头可采用主钢件栓焊混合连接或全焊接连接,也可采用全螺栓连接(图 7.3.2)。柱拼接缝两侧的纵向钢筋可采用机械式连接或焊接连接。当采用搭接焊接时,单面焊接长度不应小于 $10d$,且不宜小于 200mm,双面焊接长度不应小于 $5d$,且不宜小于 100mm, d 为纵向钢筋直径。



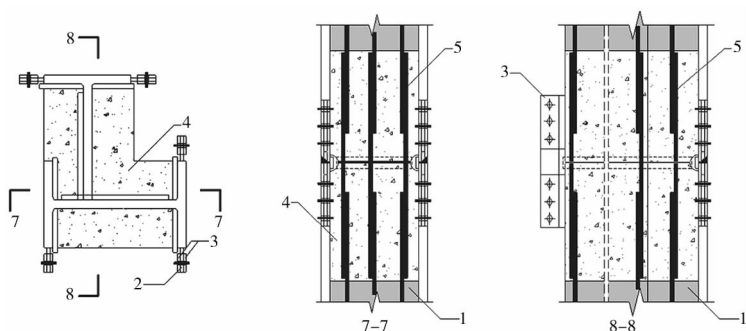
(a) 栓焊连接



(b)全螺栓连接



(c)PEC 柱全焊接连接



(d)L 形 PEC 柱全焊接连接

图 7.3.2 柱柱现场拼接连接示意

1—预制包混混凝土;2—耳板;3—连接板;4—后浇混凝土;
5—双面焊 5d、单面焊 10d(d 为纵筋直径)

7.3.3 拼接连接的计算应符合下列规定：

1 当柱两端的弯矩曲率异号，或柱两端弯矩曲率同号但弯矩相差大于 20% 时，拼接连接的承载力设计值不应小于连接处柱的内力设计值的 1.2 倍，且不得小于柱截面承载力设计值的 50%；

2 当柱两端的弯矩曲率同号且弯矩值相差不大于 20% 时，拼接连接的承载力设计值不应小于柱的截面承载力设计值。

7.4 梁柱连接

7.4.1 梁柱连接可采用铰接节点(图 7.4.1-1)或刚接节点(图 7.4.1-2)。铰接节点宜将梁主钢件的腹板与柱的主钢件连接；刚接节点应使梁主钢件的翼缘和腹板均与柱的主钢件连接，且梁内主钢件腹板范围的纵筋宜锚固在梁端板或端部附近的钢档板上。

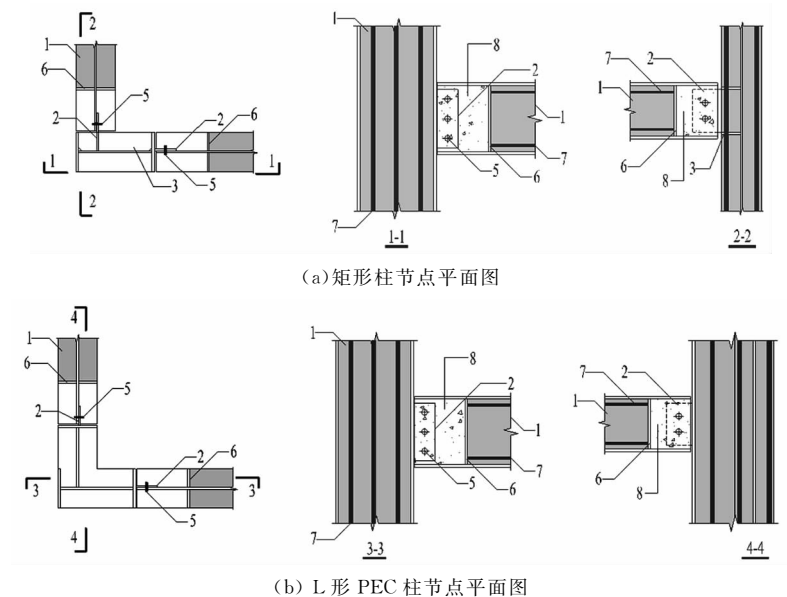
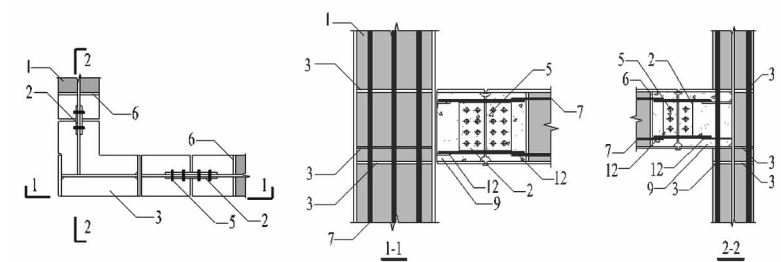
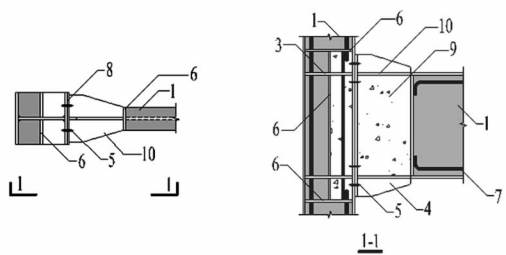


图 7.4.1-1 梁柱铰接示意

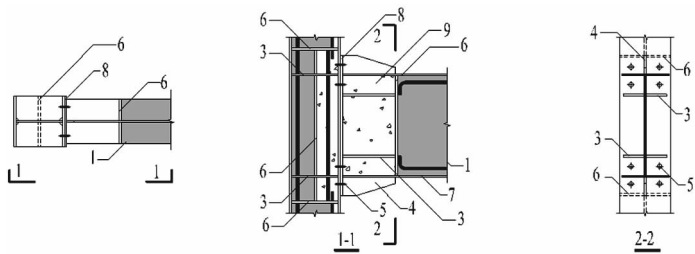
1—包覆混凝土；2—连接板；3—横向加劲板；4—竖向加劲板；
5—高强度螺栓；6 挡板；7—纵向钢筋；8—后浇混凝土



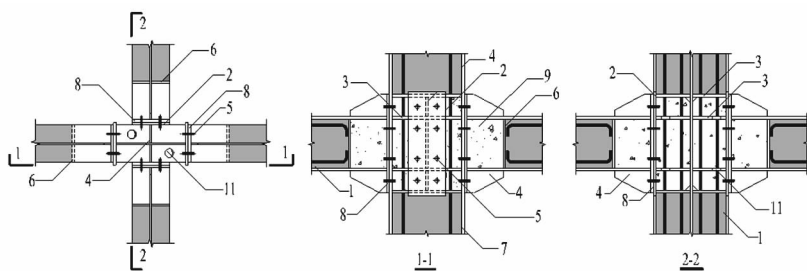
(a) 节点平面图



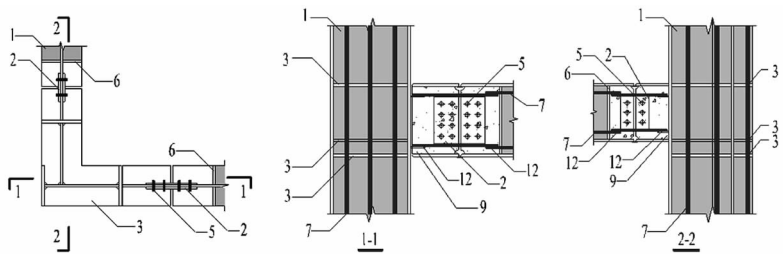
(b) 扩大式端板连接平面



(c) 非扩大式边柱端板连接平面



(d) 非扩大式中柱端板连接平面



(e) 异形柱节点平面图

图 7.4.1—2 梁柱刚接示意

- 1—包覆混凝土；2—连接板；3—横向加劲板；4—竖向加劲板；5—高强度螺栓；
6—挡板；7—纵向钢筋；8—端板；9—后浇混凝土；10—扩大端；
11—灌浆孔；12—双面焊 $5d$ 、单面焊 $10d$ (d 为纵筋直径)

7.4.2 梁柱铰接节点的强度计算应符合本规程第 7.4.3 条的规定。

7.4.3 梁柱刚接节点的强度计算应包括受弯计算和受剪计算。节点承载力设计值应符合下列规定：

1 全焊连接节点：

- 1) 节点受弯承载力设计值由梁翼缘和腹板与柱连接的焊缝群截面模量和焊缝强度设计值确定，焊缝的受剪承载力由梁腹板与柱连接的焊缝面积和焊缝强度设计值确定。对接焊缝、角焊缝的计算厚度以及焊缝强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；
- 2) 框架梁轴线平行于柱主钢件腹板(图 7.4.3 中水平梁)时，节点区受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$V_{ju} = \sqrt{1-n^2} (h_c - t_{fc}) t_{wc} f_{av} + 0.3 (b_c - t_{wc}) (h_c - 2t_{fc}) f_c \quad (7.4.3-1)$$

- 3) 框架梁轴线垂直于柱主钢件腹板(图 7.4.3 中竖向梁)时，节点区受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$V_{ju} = b_c t_{r1} f_{r1v} + 0.3 (b_{r2} - t_{r1}) (b_c - t_{wc}) f_c \quad (7.4.3-2)$$

式中： V_{ju} ——节点受剪承载力设计值(N)；

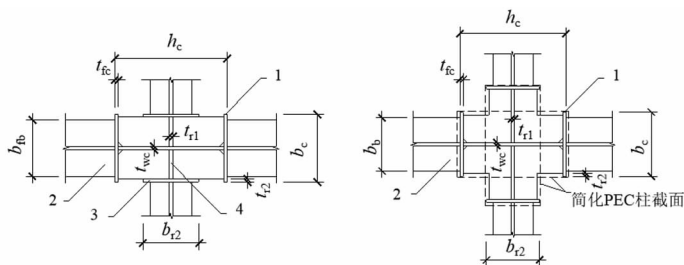
n ——柱子轴压比；

h_c 、 b_c 、 t_{fc} 、 t_{wc} ——柱主钢件截面高度、柱包覆混凝土外轮廓宽度、翼缘厚度、腹板厚度(mm)；

f_{av} 、 f_c ——柱主钢件腹板的钢材抗剪强度设计值和混凝土抗压强度设计值(N/mm²)；

t_{r1} 、 b_{r2} 、 t_{r2} ——竖向加劲肋厚度、连接面板宽度和厚度(mm)；

f_{r1v} ——竖向加劲肋的钢材抗剪强度设计值(N/mm²)。



(a)PEC 柱

(b)异形 PEC 柱

图 7.4.3 节点区受剪计算参数示意

1—柱；2—梁；3—连接板；4—竖向加劲肋

2 栓焊连接节点：

- 1) 节点受弯承载力设计值可由梁主钢件翼缘与柱主钢件连接的焊缝面积和焊缝强度设计值以及梁主钢件腹板与柱主钢件连接的螺栓受剪承载力设计值确定。焊缝计算厚度、强度设计值和螺栓承载力设计值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定；
- 2) 节点区受剪承载力设计值应按本条第 1 款式(7.4.3—1)、式(7.4.3—2)计算。

3 端板式高强度螺栓连接节点：

- 1) 节点受弯承载力设计值应分别计算端板与主钢件的连接焊缝承载力设计值、端板受弯承载力设计值和螺栓群受弯承载力设计值。焊缝承载力设计值计算应符合本条第 1 款第 1 项规定；端板受弯承载力设计值和螺栓

群受弯承载力设计值应符合现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 的有关规定；

- 2) 节点区受剪承载力设计值应按本条第 1 款式(7.4.3-1)、式(7.4.3-2)计算。

4 框架梁与异形 PEC 柱连接(图 7.4.3b)时,节点承载力设计值可仅考虑连接翼缘、与之平行且等宽的翼缘或腹板和中间区域混凝土的贡献,可基于简化 PEC 柱截面按本条第 1~3 款计算节点承载力。

7.4.4 采用全焊连接或栓焊混合连接的梁柱刚接节点,柱主钢件对应于梁主钢件翼缘部位应设置横向加劲肋,横向加劲肋的厚度不宜小于梁主钢件翼缘厚度,总宽度不宜小于梁主钢件翼缘的宽度,按非支承边计算的板件宽厚比不应超过 $15\epsilon_k$,横向加劲肋的上表面宜与梁主钢件翼缘的上表面对齐,并应以对接焊缝与柱翼缘连接;当梁主钢件与柱主钢件非翼缘侧连接(图 7.4.1-2 a)、(图 7.4.1-2 b),即梁轴与柱主钢件腹板平面垂直时,横向加劲肋与柱主钢件腹板的连接宜采用对接焊缝。

7.4.5 端板连接的梁柱刚接节点,端板宜采用外伸式加劲端板。端板的厚度不宜小于螺栓直径。柱主钢件对应于梁主钢件翼缘部位应设置横向加劲肋,横向加劲肋的构造要求应符合本规程第 7.4.4 条的规定。

7.4.6 钢梁与 PEC 柱的连接节点,可按本节规定进行节点计算和构造设计。

7.4.7 按地震组合设计时,框架梁柱节点设计应符合下列规定:

1 连接的极限承载力应大于相连构件的屈服承载力,连接极限承载力计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定;

2 框架梁柱节点按刚性设计且采用高强度螺栓连接时,弹性设计阶段应采用摩擦型连接设计,极限承载力验算可按承压型连接设计。

7.4.8 按地震组合设计时,框架梁柱节点的剪力设计值应符

合下列规定：

1 PEC 柱与 PEC 梁框架结构应按下列公式计算：

1) 一级抗震等级：

顶层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.15 \frac{M_{\text{bua}}^l + M_{\text{bua}}^r}{Z} \quad (7.4.8-1)$$

其他层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.15 \frac{M_{\text{bua}}^l + M_{\text{bua}}^r}{Z} \left(1 - \frac{Z}{H_c - h_b}\right) \quad (7.4.8-2)$$

2) 二级抗震等级：

顶层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.25 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \quad (7.4.8-3)$$

其他层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.25 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \left(1 - \frac{Z}{H_c - h_b}\right) \quad (7.4.8-4)$$

2 其他各类结构梁柱节点应符合下列规定：

1) 一级抗震等级：

顶层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.25 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \quad (7.4.8-5)$$

其他层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.25 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \left(1 - \frac{Z}{H_c - h_b}\right) \quad (7.4.8-6)$$

2) 二级抗震等级：

顶层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.1 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \quad (7.4.8-7)$$

其他层中间节点和端节点：

$$V_j = 1.1 \frac{M_b^l + M_b^r}{Z} \left(1 - \frac{Z}{H_c - h_b}\right) \quad (7.4.8-8)$$

式中： V_j —— 框架梁柱节点的剪力设计值(N)；

$M_{\text{bua}}^l、M_{\text{bua}}^r$ ——同一节点左、右梁端按顺时针和逆时针方向采用实配钢筋(计入梁纵向钢筋及框架梁有效翼缘宽度范围内的楼板钢筋,当上述钢筋未能可靠锚固时则不计)和实配主钢件截面积、材料强度标准值、且计入承载力抗震调整系数的正截面受弯承载力对应的弯矩值($\text{N} \cdot \text{mm}$);

$M_b^l、M_b^r$ ——节点两侧框架梁的梁端弯矩设计值($\text{N} \cdot \text{mm}$);

H_c ——节点上柱和下柱反弯点之间的距离(mm);

Z ——对框架梁,取主钢件上翼缘与梁上部纵向受力钢筋合力点与主钢件下翼缘与梁下部纵向受力钢筋合力点之间的距离(mm)。

7.4.9 框架梁与柱的连接构造应符合下列规定:

1 梁主钢件翼缘与柱主钢件翼缘采用焊接连接时,应采用全焊透坡口焊缝,抗震等级为一、二级时,应检验焊缝的 V 形切口冲击韧性,V 形切口的夏比冲击韧性在 -20°C 时不应低于 27J ;

2 柱主钢件的横向加劲肋的强度应与梁主钢件翼缘相同;

3 梁主钢件腹板与柱主钢件的连接板宜采用高强度螺栓摩擦型连接;经工艺试验合格能确保现场施工质量时,可采用气体保护焊进行焊接;腹板角部应设置焊接孔,焊接孔形应使其端部与梁主钢件翼缘和柱主钢件翼缘间的全焊透坡口焊缝完全隔开;

4 腹板连接板与柱主钢件的焊接,当板厚不大于 16mm 时应采用双面角焊缝,焊缝有效厚度应满足等强度要求,且不小于 5mm ;板厚大于 16mm 时应采用 K 形坡口对接焊缝,焊缝宜采用气体保护焊,且板端应绕焊。

7.4.10 框架梁柱采用刚性节点时,在梁主钢件翼缘上下各 500mm 的范围内,框架柱主钢件翼缘与腹板间的连接焊缝应采用全焊透坡口焊缝。当柱主钢件截面宽度大于 600mm 时,应在梁主钢件翼缘上下各 600mm 的范围内采用全焊透坡口焊缝。

7.5 柱脚连接

7.5.1 柱脚可采用外露式柱脚、外包式柱脚或埋入式柱脚(图 7.5.1)。

1 外露式柱脚可用于低层和多层建筑;外包式柱脚可用于有地下室的高层民用建筑;

2 当柱脚位于上部结构计算嵌固端时,宜采用埋入式柱脚节点。

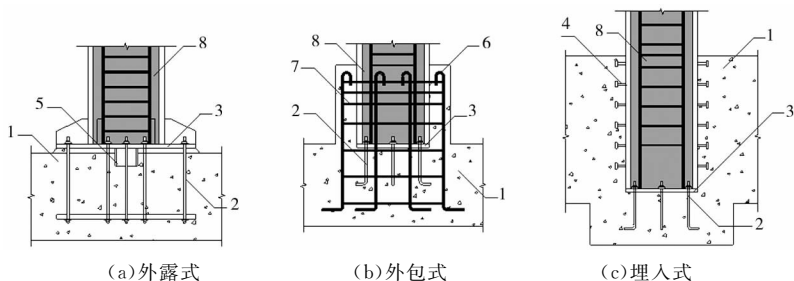


图 7.5.1 柱脚构造示意

1—基础,2—锚栓;3—底板;4—栓钉;5—抗剪键;6—纵筋;7—箍筋;8—组合柱

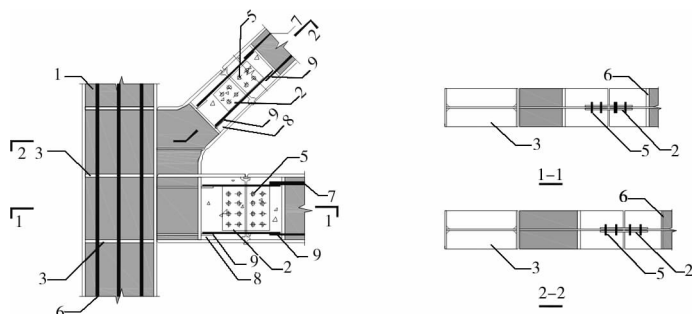
7.5.2 外露式柱脚应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 有关规定进行计算和构造设计。外包式和埋入式柱脚应按现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定进行计算和构造设计。设计时轴力、弯矩、剪力应取柱子底部的相应内力设计值。

7.5.3 刚性柱脚宜采用埋入式,也可采用外包式;抗震设防烈度为 6 度、7 度且高度不超过 24m 时也可采用外露式。

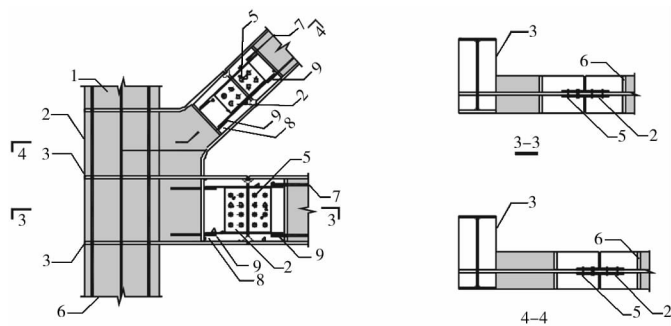
7.6 支撑连接

7.6.1 当设置中心支撑时,中心支撑与框架的连接和支撑拼接应按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定进行承载力计算和构造设计(图 7.6.1)。

7.6.2 由 PEC 柱与钢梁组成的框架-支撑结构中,当设置偏心支撑时,偏心支撑与消能梁段的连接应符合现行行业标准《高



(a) 柱强轴支撑连接示意



(b) 柱弱轴支撑连接示意

图 7.6.1 支撑连接示意

1—包裹混凝土；2—连接板；3—横向加劲板；4—竖向加劲板；5—高强度螺栓；
6—挡板；7—纵向钢筋；8—后浇混凝土；9—双面焊 5d、单面焊 10d(d 为纵筋直径)

层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中的构造规定。

7.7 梁墙连接

7.7.1 梁与混凝土剪力墙的平面内连接,可采用铰接或刚接,与混凝土剪力墙的平面外连接宜采用铰接。

7.7.2 当梁为框架梁或受力较大的次梁时,宜采用图 7.7.2a 形式,在混凝土剪力墙内预埋型钢柱,梁与钢柱上伸出的牛腿可采用高强螺栓连接。当混凝土剪力墙内无法埋置钢柱时,框架梁或受力较大的次梁可按图 7.7.2b 与剪力墙内的预埋件连接,锚筋长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。当梁为受力较小的次梁时可采用图 7.7.2c

形式,预埋件上仅设置栓钉。

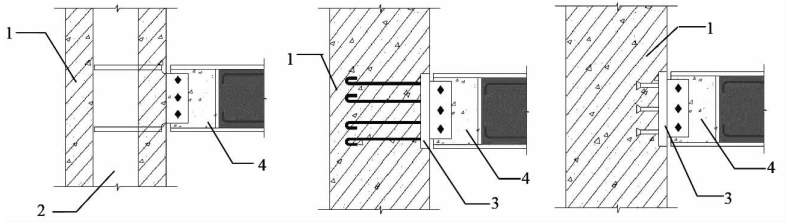


图 7.7.2 梁与混凝土墙的铰接连接示意图

1—剪力墙,2—墙内预埋型钢;3—预埋件;4—PEC 梁

7.7.3 梁与混凝土剪力墙采用铰接连接方式、且梁不承受拉力时,预埋件应进行单独设计验算。

8 防火与防腐

8.1 一般规定

8.1.1 构件的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级,按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定确定。

8.1.2 PEC 结构中主钢件的防腐蚀设计应根据环境条件、结构重要性、防护层耐久性年限、施工条件和维护管理条件等因素选择防腐涂料和防腐配套,并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定。

8.2 防 腐

8.2.1 防腐涂装前,主钢件表面应进行除锈处理,除锈等级应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》GB/T 8923 的有关规定。

8.2.2 主钢件与混凝土的直接接触面,不应进行防腐涂覆。

8.2.3 主钢件工地焊接部位的焊缝两侧宜留出暂不涂装区,宽度可为焊缝两侧各 100mm。焊接完毕后,对非混凝土包覆的主钢件重新进行表面处理和涂装。

8.2.4 主钢件的除锈和防腐涂装工作应在其制作质量检验、检测合格并完成连杆焊接后,方可进行,并应符合《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 等国家现行有关标准的规定。

8.2.5 主钢件除锈宜在室内进行,钢材表面除锈方法和除锈等级应符合设计要求,工厂中被混凝土包覆的部位应除去浮锈。

8.2.6 主钢件除锈后除端部节点区域外,非混凝土包覆的部位应进行防腐涂装,防腐涂装部位的防腐涂料品种和厚度应符合设

计文件要求,涂装工艺应符合《钢结构工程施工规范》GB 50755及涂料产品说明书的相关规定,节点区应做好有效保护措施。

8.2.7 当 PEC 构件中的混凝土采取现场预制时,主钢件出厂前非混凝土包覆的部位宜进行底漆涂装或采取其它防锈蚀措施。

8.2.8 进行 PEC 构件中混凝土施工时,应做好成品保护,避免对主钢件外露部分涂层面的污染和损伤。对污染和损伤部位,必须进行清理和涂层修复,方可出厂和吊装。

8.2.9 PEC 构件直接埋置于土壤时,宜外包 100 厚的细石混凝土,且外包高度伸出室外地面不应小于 150mm。柱脚在地面以上的部分应采用强度等级不高于 C30 的混凝土包裹,保护层厚度不应小于 50mm,包裹的混凝土高出室外地面不应小于 150mm,室内地面不应小于 50mm,并宜采取措施防止水分残留。

8.2.10 构件油漆补涂应符合下列规定:

1 表面涂有工厂底漆的构件,因焊接、火焰校正、暴晒和擦伤等原因造成重新锈蚀或附有白锌盐时,应经表面处理后再按原涂装规定进行补漆;

2 运输、安装过程的涂层碰损、焊接烧伤等,应根据原涂装规定进行补涂。

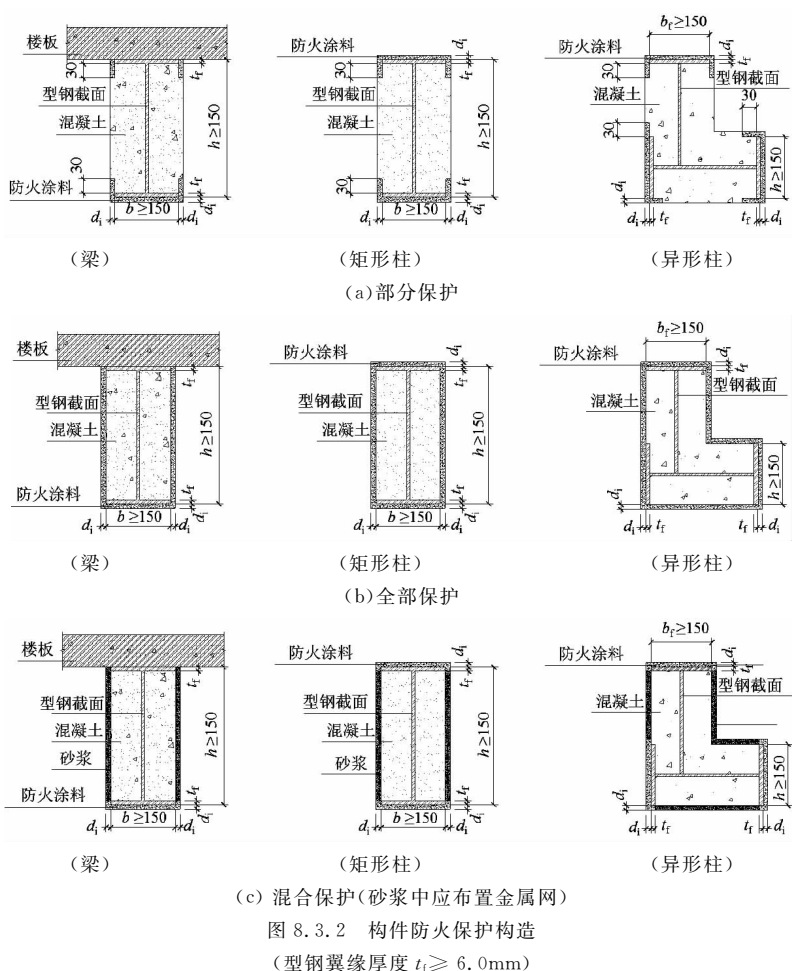
8.3 防 火

8.3.1 构件防火保护设计应符合现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的有关规定。对构件进行防火保护设计时,可利用主钢件上包覆混凝土的防火保护作用。

8.3.2 构件的耐火性能不满足要求时,应对构件裸露的主钢件部分进行防火保护,并有一定的延长包覆长度。构件的防火保护可采用下列措施之一或其中几种的复合或组合(图 8.3.2):

- 1 喷涂或抹涂防火涂料;
- 2 包覆防火板;
- 3 包覆柔性毡状隔热材料;
- 4 外包混凝土、金属网抹砂浆、金属网石膏基抹灰或砌块;

5 通过现浇楼板混凝土下沉或局部下沉来包裹 T 形 PEC 梁主钢件上翼缘。



8.3.3 防火保护层的最小等效热阻 R_f 应满足表 8.3.3 的要求。

8.3.4 防火保护层的材料及构造应符合下列规定：

- 1 设计工作环境下应具有良好的耐久、耐候性能；
- 2 火灾下应保持完整，不开裂、不脱落；
- 3 应能够适应被保护构件在火灾下的变形。

表 8.3.3 保护最小热阻要求

构件类型	防火保护构造形式	耐火极限要求 (h)	最小等效热阻 R_i ($m^2 K/W$)
梁	部分保护	1.5	0.06
		2.0	0.10
	全保护	1.5	0.05
		2.0	0.07
	混合保护 ($d_s \geq 30\text{mm}$)	1.5	0.10 ($150 \leq b \leq 200$) 0.08 ($b > 200$)
		2.0	0.25 ($150 \leq b \leq 200$) 0.10 ($b > 200$)
柱和支撑	部分保护	2.0	0.08
		2.5	0.14
		3.0 ($t_f \geq 8.0\text{mm}$)	0.16
	全保护	2.0	0.06
		2.5	0.08
		3.0	0.10
	混合保护	2.0	0.15 ($b \geq 200$ 且 $d_s \geq 30\text{mm}$)
		2.5	0.30 ($200 \leq b \leq 300$ 且 $d_s \geq 30\text{mm}$) 0.30 ($b > 300$ 且 $d_s \geq 30\text{mm}$)
		3.0	0.30 ($200 \leq b \leq 300$ 且 $d_s \geq 40\text{mm}$) 0.30 ($b > 300$ 且 $d_s \geq 30\text{mm}$)

8.3.5 防火保护材料供应商应提供材料的等效热传导系数或等效热阻、比热和密度等性能参数,并提供证明材料。

8.3.6 PEC 结构中构件主钢件防火涂料的粘结强度、抗压强度应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定;试验方法应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分:通用要求》GB/T 9978.1,《建筑构件耐火试验方法 第 6 部分:梁的特殊要求》GB/T 9978.6 或《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分:柱的特殊要求》GB/T 9978.7 的有关规定。

9 制作与施工

9.1 一般规定

9.1.1 PEC 结构应进行深化设计、宜采用 BIM 技术,提供构件的加工制作深化图纸。

9.1.2 构件加工制作前,应熟悉设计文件和构件加工图,应做好各道工序的工艺准备,并应结合加工的实际情况,编制加工工艺文件并进行技术交底。

9.1.3 构件组装前,组装人员应熟悉构件加工图、组装工艺及有关技术文件的要求,检查组装用的零部件的材质、规格、外观、尺寸、数量等均应符合设计要求。

9.1.4 构件组装的尺寸偏差,应符合设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

9.2 制 作

9.2.1 PEC 构件的钢结构部分的制作应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 及《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。PEC 构件的混凝土部分的制作应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

9.2.2 PEC 构件中的混凝土部分的制作宜采取工厂预制的方式。

9.2.3 PEC 构件中预制混凝土浇筑可采取双面或多面分次浇筑成型以及双面或多面一次浇筑成型的方式。采取一次浇筑成型的方式时,混凝土应振捣密实,应在主钢件的腹板上开设洞口,并宜设置排气孔。构件同一区格内的混凝土应一次浇捣完成。

9.2.4 主钢件腹板上开设的混凝土浇筑孔宜为圆形,浇筑孔的

孔径和孔间距除应满足设计文件的规定外,尚应符合下列规定:

1 开孔位置宜选在剪力、弯矩较小处,不应在距构件端部相当于截面高度范围内设孔,孔间距宜为孔径的 3 倍~4 倍;

2 浇筑孔应满足混凝土浇筑要求,孔径不应小于 50mm;

3 PEC 柱开孔产生的腹板截面损失率不宜大于 20%;当腹板截面损失率大于 20%时,应进行计算并采取补强措施;

4 PEC 梁孔口直径不得大于梁高的 $1/2$,圆形孔直径不大于梁高的 $1/3$ 时可不予补强。当大于梁高的 $1/3$ 时,可采用环形加劲板、套管、或环形补强板等进行补强;

5 当主钢件上设置加劲板时,浇筑孔边缘距离劲板不应小于 50mm。

9.2.5 PEC 构件在混凝土浇筑前应进行构件的隐蔽工程验收,可按本规程附录 A.0.1 进行验收记录,并留存相关资料,验收项目应包括但不限于下列内容:

1 内置连接板、钢筋和连杆钢材的牌号、规格、数量、位置、间距等;

2 钢筋的连接方式、接头位置、接头质量、接头面积百分率、搭接长度等;

3 预埋件、预埋线盒及管线、预留孔洞的规格、数量、位置及固定措施等;

4 连杆的焊接质量;

5 钢筋和连杆的混凝土保护层厚度。

9.2.6 PEC 构件中预制混凝土浇筑应符合下列规定:

1 混凝土浇筑前,外露钢骨表面以及预埋件、预留钢筋的外露部分宜采取防止污染的措施;

2 混凝土倾落高度不宜大于 600mm,并应均匀摊铺;

3 混凝土浇筑应连续进行;

4 对一次浇筑双面或多面成型的混凝土,宜采用振动模台与振动棒相结合的方式,确保浇筑的混凝土达到密实要求;

5 对分次浇筑双面或多面成型的混凝土,若混凝土不属

于同一批次,应分别预留每一批次的混凝土试块并测试试块强度,强度差值应在 5MPa 以内;

6 混凝土从搅拌机卸出到浇筑完毕的延续时间,气温高于 25℃ 时不宜超过 60min,气温不高于 25℃ 时不宜超过 90min。

9.2.7 PEC 构件中预制混凝土养护应符合下列规定:

1 应根据预制构件特点和生产任务量选择自然养护、自然养护加养护剂或加热养护方式;

2 混凝土浇筑完毕或压面工序完成后应及时覆盖保湿,脱模前不得揭开;

3 涂刷养护剂应在混凝土终凝后进行;

4 加热养护可选择蒸汽加热、电加热或模具加热等方式;

5 加热养护制度应通过试验确定,宜采用加热养护温度自动控制装置。宜在常温下预养护 2h~6h,升、降温速度不宜超过 20℃/h,最高养护温度不宜超过 70℃。预制构件脱模时的表面温度与环境温度的差值不宜超过 25℃;

6 采用蒸汽加热养护时,应有防止未被混凝土包裹钢表面腐蚀的保障措施。

9.2.8 设计文件未规定时,构件脱模、起吊、翻转时的混凝土强度等级不应小于 15N/mm²,且应达到设计标准值的 50%;构件出厂时的混凝土强度等级不应低于设计强度等级的 75%。采用轻质混凝土的 PEC 梁,如设计无要求,则构件脱模、起吊、翻转、出厂时的混凝土强度等级不应低于设计强度等级的 75%。

9.2.9 对构造复杂的 PEC 构件,在制作前宜进行工艺性试验。

9.2.10 PEC 结构的构件制作应执行首件验收制度,首件验收合格后方可批量生产。

9.2.11 高层 PEC 结构的复杂构件在制作单位出厂前宜进行预拼装。

9.2.12 涂装完毕后,应在构件明显部位印制构件编号或构件二维码。编号或二维码信息应与深化图纸的构件编号一致,大型、异形构件尚应标明重量、重心位置和定位标记。

9.3 运输与存放

9.3.1 PEC 构件的最大运输尺寸和重量应结合运输工具、运输条件和国家有关规定综合确定。

9.3.2 应制定预制构件的成品保护、堆放和运输专项方案,其内容应包括运输时间、次序、堆放场地、运输路线、固定要求、堆放支垫及成品保护措施等。

9.3.3 构件出厂前应进行包装和保护,保障构件在运输及堆放过程中不破损、不变形。

9.3.4 对于超高、超宽、形状特殊的大型构件的运输和堆放应制定专门的方案。

9.3.5 选用的运输车辆应满足构件的尺寸、重量等要求,装卸与运输时应符合下列规定:

- 1 堆放场地应平整、坚实;
- 2 构件支垫应坚实,垫块在构件下的位置宜与制作、起吊位置一致;
- 3 应采取防止构件产生裂缝的措施,PEC 构件宜采用强轴高度方向装卸和堆放;
- 4 重叠堆放构件时,每层构件间的垫块应上下对齐,堆垛层数应根据构件、垫块的承载力确定,并应根据需要采取防止堆垛倾覆的措施。

9.3.6 构件堆放应符合下列规定:

- 1 堆放场地应平整、坚实,并按部品部件的保管技术要求采用相应的防雨、防潮、防暴晒、防污染和排水等措施;
- 2 预埋吊件应朝上,标识宜朝向堆垛间的通道;
- 3 构件支垫应坚实,垫块在构件下的位置宜与脱模、吊装时的起吊位置一致;
- 4 重叠堆放构件时,每层构件间的垫块应上下对齐,PEC 构件宜采用强轴高度方向堆放,堆垛层数应根据构件、垫块的承载力确定,并应根据需要采取防止堆垛倾覆的措施。

9.4 施 工

9.4.1 PEC 构件的安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定；现场后浇部位的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

9.4.2 PEC 构件安装前应进行施工组织方案设计，施工组织方案应符合现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502 的有关规定，并应包括但不限于下列内容：

- 1 PEC 构件的安装工艺、流程及安装精度控制措施；
- 2 PEC 构件预制时预留的节点区域现场后浇混凝土的施工方案；
- 3 PEC 构件临时固定方案及安装误差纠偏方案。

9.4.3 PEC 构件安装前应进行施工验算，施工验算应包括但不限于下列内容：

- 1 构件吊装过程中的变形验算和预制混凝土开裂验算；
- 2 吊装及安装耳板的承载力验算；
- 3 吊装用吊具的相关验算；
- 4 构件临时固定措施的安全验算。

9.4.4 PEC 柱在安装前，应根据构件重量确定吊机型号和布置位置。

9.4.5 PEC 构件预留的节点后浇区域在现场进行补浇之前，应进行隐蔽工程验收，可按本规程附录 A 中表 A.0.2 进行验收记录，并应符合下列规定：

- 1 主钢件焊缝连接、现场补焊的连杆的加工及焊接应符合设计图纸及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；

- 2 高强度螺栓连接应符合设计图纸及现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 有关规定。

9.4.6 PEC 构件预留的节点后浇区域后浇混凝土时宜采用标

准化模具,模具应表面平整,并应具有足够刚度。

9.4.7 PEC 构件后浇混凝土经检测存在质量缺陷时,应对质量缺陷的严重程度进行评估;当存在严重缺陷时,应编制专项方案经设计确认后方可实施。

9.4.8 项目施工全过程中,应采取防止构件上附件、预埋件、吊件损伤的保护措施。

10 验 收

10.1 一般规定

10.1.1 PEC 结构应按型钢混凝土结构子分部工程进行验收, PEC 结构中的预制构件和安装分项工程应按本规程要求进行分项工程验收,其他各部分可作为型钢混凝土结构子分部工程的分项工程进行验收,并应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

10.1.2 PEC 构件与现场焊接、螺栓等连接用材料的进场验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 与《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

10.1.3 PEC 结构的外观质量除设计有专门的规定外,尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中钢构件外形尺寸允许偏差的有关规定和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中关于现浇混凝土结构的有关规定。

10.1.4 PEC 结构的制作和安装工程可按楼层或施工段等划分为一个或若干个检验批。

10.1.5 PEC 结构检验批合格质量标准应符合下列规定:

1 主控项目应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中合格质量标准的规定;

2 一般项目检验结果应有 80% 及以上的检验点符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土

结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中合格质量标准的规定,且允许偏差项目中最大偏差值不应超过允许偏差限值的1.2倍;

3 质量检查记录、质量证明文件等资料应完整。

10.1.6 PEC 结构中构件主钢件防腐蚀涂装工程应按国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 及《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224 的有关规定进行验收。

10.1.7 PEC 结构中构件主钢件防火涂料的厚度应满足设计要求。防火涂料的粘结强度、抗压强度应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定;防火涂料的厚度应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 关于耐火极限的设计规定。

10.1.8 PEC 结构验收时,除应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 要求提供的文件和记录外,尚应提供下列文件和记录:

- 1 工程设计文件、预制构件制作和安装的深化设计图;
- 2 PEC 构件、主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录、抽样复验报告;
- 3 PEC 构件安装施工记录;
- 4 后浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件;
- 5 后浇混凝土强度等级检测报告;
- 6 PEC 结构质量验收文件。

10.2 预制构件

I 主控项目

10.2.1 PEC 构件质量应符合本规程、国家现行有关标准的规定和设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查质量证明文件、技术文件或质量验收记录。

10.2.2 PEC 构件的外观质量不应有严重缺陷,且不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,尺量;检查处理记录。

10.2.3 PEC 构件上的预留插筋、预埋管线等的规格和数量以及预留孔、预留洞的数量应符合设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察。

II 一般项目

10.2.4 PEC 构件应有标识。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察。

10.2.5 PEC 构件的外观质量不应有一般缺陷。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,检查处理记录。

10.2.6 PEC 构件的尺寸偏差应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定,预留插筋、预埋管线等的规格和数量以及预留孔、预留洞的尺寸偏差应满足表 10.2.6 的规定。

检查数量:同一类型的构件,每批应抽查构件数量的 10%,且不应少于 3 个。

检验方法:尺量。

表 10.2.6 尺寸的允许偏差及检验方法

项 目		允许偏差(mm)	检验方法
预留孔	中心线位置	5	尺量
	孔尺寸	±5	
预留洞	中心线位置	10	尺量
	孔尺寸	±10	

续表 10.2.6

项 目		允许偏差(mm)	检验方法
预留插筋	中心线位置	5	尺量
	外露长度	±10, -5	
预埋件	预埋板中心线位置	5	尺量
	预埋板与混凝土面平面高差	0, -5	
	预埋螺栓中心线位置	2	
	预埋螺栓外露长度	+10, -5	

10.3 预制构件安装

I 主控项目

10.3.1 PEC 构件采用焊接连接时,钢材焊接的焊缝尺寸应满足设计文件的要求,焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量:按国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定确定。

检验方法:检查施工记录及检验报告。

10.3.2 PEC 构件采用螺栓连接时,螺栓的材质、规格、拧紧力矩应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量:按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检验方法:检查质量证明文件、施工记录及检验报告。

10.3.3 PEC 构件钢筋采用焊接连接时,其接头质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定。

检查数量:按现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定确定。

检验方法:检查质量证明文件及检验报告。

10.3.4 PEC 结构中,节点区后浇混凝土的选用及强度、收缩性指标应符合设计文件的规定。

检查数量:

1 当采用混凝土时按现行国家标准《混凝土工程施工质量验收规范》GB 50204 执行;

2 当采用灌浆料时,其强度应符合设计要求,用于检验灌浆料的试件应在灌注地点随机抽取,每一楼层取样不得少于一组,每次取样至少留置一组试件。

检验方法:检查质量证明文件、施工记录、灌浆记录、混凝土强度试验报告及相关检验报告。

10.3.5 PEC 结构分项工程的外观质量不应有严重缺陷,且不得有影响结构性能和使用功能的尺寸偏差,构件安装的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,量测;检查处理记录。

II 一般项目

10.3.6 PEC 结构工程的外观质量不应有一般缺陷。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,检查处理记录。

10.3.7 PEC 构件安装的允许尺寸偏差应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

检查数量:同一类型的构件,每批应抽查构件数量的 10%,且不应少于 3 个。

检验方法:尺量。

10.3.8 部分包覆钢-混凝土组合结构梁、柱安装偏差及检验方法应符合表 10.3.8 的规定。

检查数量:按检验批抽样不应少于 10 个点,且不应少于 10 个构件。

检验方法:用钢尺和拉线等辅助量具实测。

表 10.3.8 预制梁、柱安装允许偏差及检验方法

项 目		允许偏差(mm)	检验方法
PEC 柱轴线位置		5	基准线尺测
PEC 柱标高		±5	水准仪或拉线、尺测
PEC 柱 垂直度	$H\leq 6\text{m}$	$H/1000$ 且 ≤ 5	经纬仪或吊线、尺测
	$H> 6\text{m}$	$H/1000$ 且 ≤ 10	
	柱全高	35	
PEC 梁轴线位置		5	基准线尺测
PEC 梁标高		±5	水准仪或拉线尺测
PEC 梁倾斜度		5	经纬仪或吊线、尺测
PEC 梁相邻构件平整度		±2	塞尺测量

附录 A 验收表格

表 A.0.1 隐蔽工程检验记录

编号：

单位工程名称			分项工程名称	
验收部位			施工图号	
验收内容				
施工单位 检查结果	班组长： 项目专业质量检查员： 项目专业技术负责人： 年 月 日			
监理单位 验收结论				

表 A.0.2 后浇节点检验批质量验收记录

单位 (子单位) 工程名称			分部 (子分部) 工程名称			分项工程 名称		
施工单位			项目 负责人			检验 批容量		
分包单位			分包单位 项目 负责人			检验批 部位		
施工依据			《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 《钢结构工程施工规范》GB 50755			验收依据		《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204； 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
验收项目				设计要求及 规范规定		最小/实际 抽样数量	检查记录	检查结果
主 控 项 目	1	钢筋 连接、 安装	受力钢筋的牌 号、力学性能	GB 50666 第 5.5.1 条	/			
			受力钢筋的 安装位置、规 格和数量	GB 50666 第 5.5.4 条	/			
			钢筋的连接 方式	GB 50666 第 5.5.6 条	/			
			机械连接和 焊接接头的 力学性能、弯 曲性能	GB 50666 第 5.4.5 条	/			
	2	焊材 连接	焊接材料品 种、规格	GB 50755 第 4.3.1 条	/			
			焊接材料复验	GB 50755 第 4.3.2 条	/			
			内部缺陷	GB 50755 第 5.2.4 条	/			
			组合焊缝尺寸	GB 50755 第 5.2.5 条	/			
			焊缝表面缺陷	GB 50755 第 5.2.6 条	/			

续表 A.0.2

验收项目				设计要求及 规范规定	最小/实际 抽样数量	检查记录	检查结果
主控项目	3	高强螺栓连接	高强螺栓品种、规格	GB 50755 第 4.4.1 条	/		
			扭矩系数或 预拉力复验	GB 50755 第 4.2.2 条 或第 4.4.3 条	/		
			抗滑移系数 试验	GB 50755 第 6.3.1 条	/		
			终拧扭矩	GB 50755 第 6.3.2 条 或第 6.3.3 条	/		
一般项目	1	钢筋加工	受力钢筋沿 长度方向的 净尺寸 mm	±10	/		
			弯起钢筋的 弯折位置 mm	±20	/		
			箍筋外廓尺 寸 mm	±5	/		
	2	焊材加工	焊缝外观质量	GB 50755 第 5.2.8 条	/		
			焊缝尺寸偏差	GB 50755 第 5.2.9 条	/		
			焊缝感观	GB 50755 第 5.2.11 条	/		
	3	螺栓连接	连接外观质量	GB 50755 第 6.3.5 条	/		
			摩擦面外观	GB 50755 第 6.3.6 条	/		
			扩 孔	GB 50755 第 6.3.7 条	/		
施工单位 检查结果					专业工长： 项目专业质量检查员： 年 月 日		
监理单位 验收结论					专业监理工程师： 年 月 日		

附录 B 异形 PEC 柱截面抗弯承载力计算方法

B.1 L 形 PEC 柱

B.1.1 承受绕 X 轴正弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_{ux})应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) > f_a b t_{wl} + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_i t_f$, 塑性中和轴位于腹板外侧时(图 B.1.1-1):

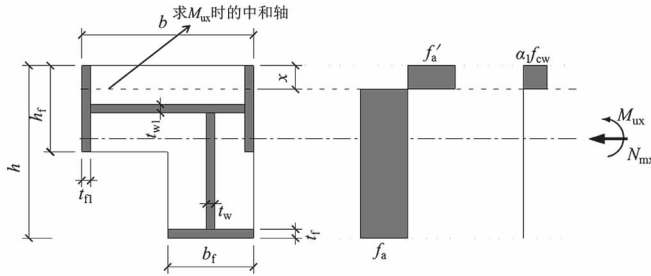


图 B.1.1-1 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})\frac{x^2}{2} + f_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B.1.1-1)$$

$$x = \frac{f_a(b-2t_{fl})t_{wl} + 2f_a t_{fl} h_f + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_i t_f}{\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}) + 4f_a t_{fl}} \quad (B.1.1-2)$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) \leq f_a b t_{wl} + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_i t_f$, 且 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + f_a b t_{wl} > f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_i t_f$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B.1.1-2):

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})[x-(\frac{h_f}{4}-\frac{t_{wl}}{4})] + f_a' S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B.1.1-3)$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_w}{2}-t_f) + f_a b h_f + f_a b_f t_f}{2f_a b}$$

(B. 1. 1-4)

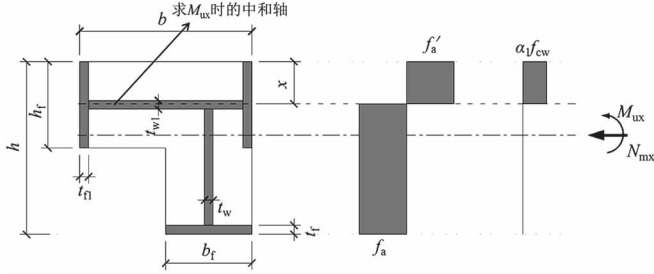


图 B. 1. 1-2 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

3 当 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + f_a b t_{wl} \leq f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_f t_f$, 且 $2f_a t_{fl} h_f + \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}-t_w)(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + f_a(b-2t_{fl})t_{wl} + f_a t_w(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) > f_a t_w(h-h_f-t_f) + f_a b_f t_f$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B. 1. 1-3):

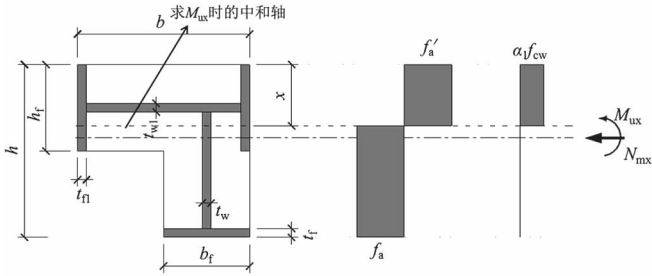


图 B. 1. 1-3 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})[x-(\frac{h_f}{4}-\frac{t_{wl}}{4})] + \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}-t_w)(x-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})^2/2 + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 1. 1-5)$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}-t_w)(\frac{h_f}{2}+\frac{t_{wl}}{2}) - f_a(b-2t_{fl})t_{wl}}{4f_a t_{fl} + 2f_a t_w + \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}-t_w)}$$

$$\frac{+2f_a t_{fl} h_f + f_a t_w (h - t_f + \frac{h_f}{2} + \frac{f_{wl}}{2}) + f_a b_f t_f}{4f_a t_{fl} + 2f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w)} \quad (\text{B. 1. 1-6})$$

4 当 $2f_a t_{fl} h_f + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl} + f_a t_w (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) \leq f_a t_w (h - h_f - t_f) + f_a b_f t_f$ ，塑性中和轴位于混凝土内时(图 B. 1. 1-4)：

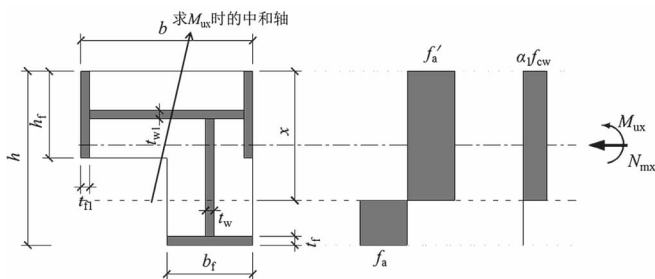


图 B. 1. 1-4 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 4 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) [x - (\frac{h_f}{4} - \frac{t_{wl}}{4})] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (\frac{h_f}{4} - \frac{t_{wl}}{4} + x - h_f) + \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(x - h_f)^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 1. 1-7})$$

$$x = \frac{-2f_a t_{fl} h_f - \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) - \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} + \frac{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) h_f - f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl} + f_a t_w (h - t_f + \frac{h_f}{2} + \frac{f_{wl}}{2}) + f_a b_f t_f}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \quad (\text{B. 1. 1-8})$$

B. 1. 2 承受绕 X 轴负弯矩时，截面受弯承载力设计值(M_{ux})应符合以下规定：

1 当 $f_a b_f t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (b_f - t_w) + f_a t_w (h - t_f - \frac{3h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) > 2f_a t_{fl} h_f + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl}$ ，塑性中和轴位于混凝土内时

(图 B. 1. 2-1):

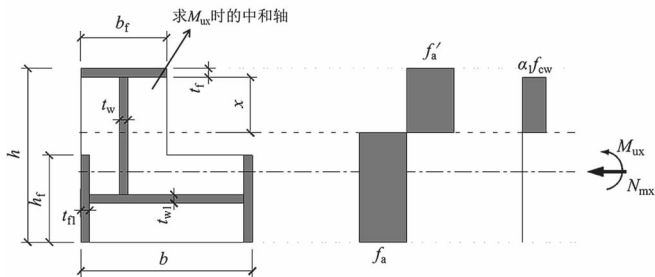


图 B. 1. 2-1 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} \frac{(b_f - t_w) x^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 1. 2-1)$$

$$x = \frac{-f_a b_f t_f + 2f_a t_{fl} h_f + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2})}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \quad (B. 1. 2-2)$$

2 当 $f_a b_f t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (b_f - t_w) + f_a t_w (h - t_f - \frac{3h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) \leq 2f_a t_{fl} h_f + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl}$ 且 $f_a b_f t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} + \alpha_1 f_{cw} (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) (b_f - t_w - t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - b_f - t_{fl}) > f_a t_{wl} b$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B. 1. 2-2):

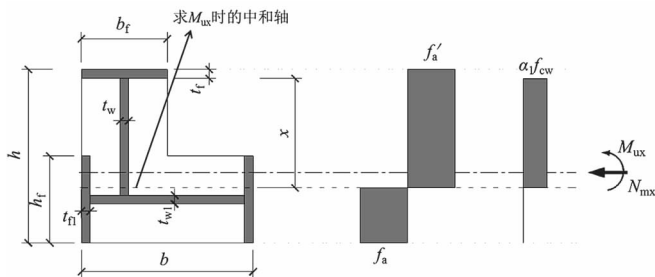


图 B. 1. 2-2 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) (h - h_f - t_f) (x - \frac{(h - h_f - t_f)}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (b$$

$$-2t_{fl}-t_w)\frac{[x-(h-h_f-t_f)]^2}{2}+f'_a S_{ac}+f_a S_{at} \quad (B.1.2-3)$$

$$x=\frac{-f_a b t_f-\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)(\frac{b}{2}-\frac{t_w}{2}+t_{fl})-\alpha_1 f_{cw}(h_f-h+t_f)(b-\frac{b}{2}-\frac{t_w}{2}-t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw}(b-t_w-2t_{fl})+4f_a t_{fl}+2f_a t_w} \\ +\frac{2f_a t_{fl}(2h-2t_f-h_f)+f_a t_{wl}(b-2t_{fl})+f_a t_w[(h-\frac{h_f}{2}-t_f)-\frac{t_{wl}}{2}]}{\alpha_1 f_{cw}(b-t_w-2t_{fl})+4f_a t_{fl}+2f_a t_w} \quad (B.1.2-4)$$

3 当 $f_a b t_f+\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}+\alpha_1 f_{cw}(h-\frac{h_f}{2}-t_f-\frac{t_{wl}}{2})(b_t-t_w-t_{fl})+f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-t_f-\frac{t_{wl}}{2})+\alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})(b-b_f-t_{fl})\leq f_a t_{wl} b$,

塑性中和轴位于腹板内时(图 B.1.2-3):

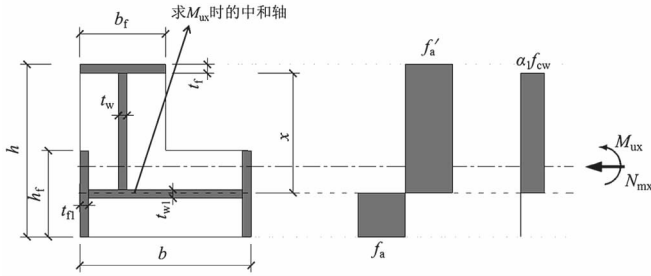


图 B.1.2-3 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{ux}=\alpha_1 f_{cw}(b_f-t_w)(h-h_f-t_f)(x-\frac{(h-h_f-t_f)}{2})+\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl}-t_w)(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})(x-h+\frac{3h_f}{4}+\frac{t_{wl}}{4}+t_f)+f'_a S_{ac}+f_a S_{at} \quad (B.1.2-5)$$

$$x=\frac{-f_a b t_f-\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}-\alpha_1 f_{cw}(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f)(b_t-t_w-t_{fl})}{2f_a b}+ \\ \frac{-f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f)-\alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})(b-b_f-t_{fl})+2f_a t_{fl}(2h-2t_f-h_f)}{2f_a b} \\ +\frac{f_a(b-2t_{fl})(t_{wl}+2h-h_f-t_{wl}-2t_f)}{2f_a b} \quad (B.1.2-6)$$

B. 1.3 承受绕 Y 轴正弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_{uy})应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw}(h_f - t_{wl})(b - b_f - t_{fl}) + f_a t_{wl}(b - 2b_f - t_{fl}) > f_a t_f b_f + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)$, 塑性中和轴位于混凝土内时(图 B. 1.3-1):

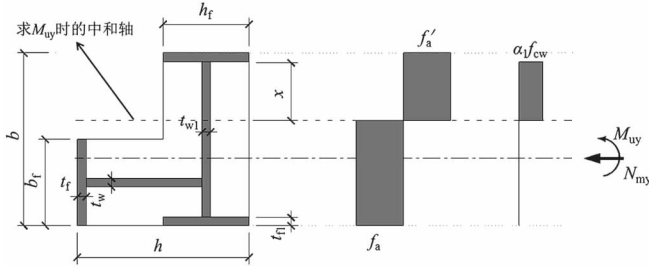


图 B. 1.3-1 绕 Y 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw}(h_f - t_{wl}) \frac{x^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 1.3-1)$$

$$x = \frac{f_a t_f b_f + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) + f_a t_{wl}(b - 2t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw}(h_f - t_{wl}) + 2f_a t_{wl}} \quad (B. 1.3-2)$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw}(h_f - t_{wl})(b - b_f - t_{fl}) + f_a t_{wl}(b - 2b_f - t_{fl}) \leq f_a t_f b_f + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)$ 且 $\alpha_1 f_{cw}(h_f - t_{wl})(b - \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) + f_a t_{wl}(b - b_f - t_w) + \alpha_1 f_{cw}(h - h_f - t_f)(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}) > f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B. 1.3-2):

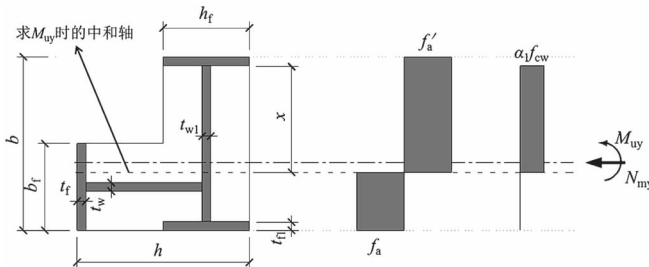


图 B. 1.3-2 绕 Y 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) \frac{x^2}{2} + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) \frac{[x - (b - b_f - t_{fl})]^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 1. 3-3})$$

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (b - b_f - t_{fl}) + f_a t_f (2b - b_f - 2t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)}{\alpha_1 f_{cw} (h - t_{wl} - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} + \frac{f_a t_{wl} (b - 2t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw} (h - t_{wl} - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} \quad (\text{B. 1. 3-4})$$

3 当 $\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) (b - \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) + f_a t_{wl} (b - b_f - t_w) + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}) \leq f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B. 1. 3-3):

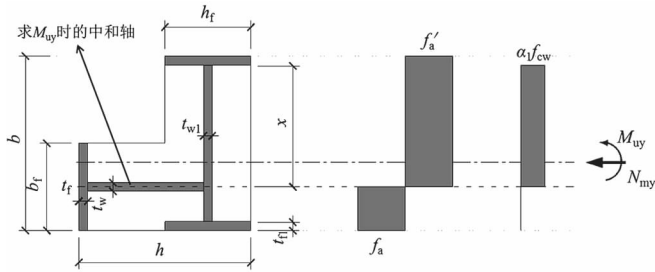


图 B. 1. 3-3 绕 Y 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{wl})}{2} \frac{x^2}{2} + \alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) (x - \frac{b}{2} + \frac{b_f}{4} + \frac{t_w}{4} + \frac{t_{fl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}) [x - (\frac{b_f}{4} - \frac{t_w}{4} - (b - b_f - t_{fl}))] + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 1. 3-5})$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) - \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2})}{\alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + 2f_a (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2})} + \frac{f_a t_f (2b - b_f - 2t_{fl}) + f_a (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) (2b - b_f - 2t_{fl}) + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + 2f_a (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2})} \quad (\text{B. 1. 3-6})$$

B. 1. 4 承受绕 Y 轴负弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_{uy})应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl} + \alpha_1 f_{cw}(h-t_{wl}-t_f)(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) > f_a t_{wl}(b-b_f+t_w) + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) + f_a t_f t_w$, 塑性中和轴位于腹板内侧时(图 B. 1. 4-1):

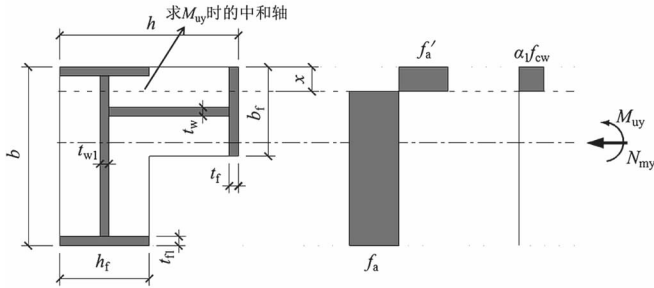


图 B. 1. 4-1 绕 Y 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}(x - \frac{t_{fl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw}(h-t_{wl}-t_f) \frac{(x-t_{fl})^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 1. 4-1)$$

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw}(h_f-t_{wl})t_{fl} + f_a t_{wl}b + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) + f_a t_f b_f}{\alpha_1 f_{cw}(h-t_{wl}-t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} \quad (B. 1. 4-2)$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl} + \alpha_1 f_{cw}(h-t_{wl}-t_f)(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) \leq f_a t_{wl}(b-b_f+t_w) + f_a t_w(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) + f_a t_f t_w$ 且 $\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl} + \alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})(\frac{b_f}{2} + \frac{t_w}{2} - t_{fl}) + \alpha_1 f_{cw}(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl}) + f_a(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})t_w > f_a t_{wl}[b - (b_f + t_w)]$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B. 1. 4-2):

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}(x - \frac{t_{fl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw}(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)(\frac{b_f}{2}$$

$$-\frac{t_w}{2}-t_{fl})\left[x-\left(\frac{b_f}{4}-\frac{t_w}{4}-\frac{t_{fl}}{2}\right)-t_{fl}\right]+\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)\frac{(x-t_{fl})^2}{2}+f'_a S_{ac}+f_a S_{at} \quad (\text{B.1.4-3})$$

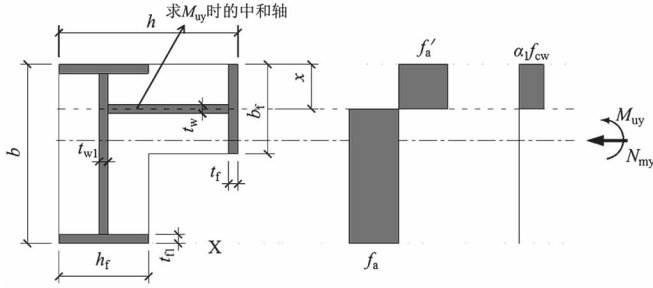


图 B.1.4-2 绕 Y 轴弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{3h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-h+t_f\right)t_{fl}-\alpha_1 f_{cw}\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right)\left(\frac{b_f}{2}-\frac{t_w}{2}-t_{fl}\right)}{\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)+2f_a\left(h-\frac{h_f}{2}+\frac{t_{wl}}{2}\right)} + \frac{f_a\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)b_f+f_a t_{wl} b}{\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)+2f_a\left(h-\frac{h_f}{2}+\frac{t_{wl}}{2}\right)} \quad (\text{B.1.4-4})$$

3 当 $\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}+\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)\left(\frac{b_f}{2}+\frac{t_w}{2}-t_{fl}\right)+\alpha_1 f_{cw}\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right)\left(\frac{b_f}{2}-\frac{t_w}{2}-t_{fl}\right)+f_a\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)t_w \leq f_a t_{wl}[b-(b_f-t_w)]$ 且 $\alpha_1 f_{cw}(h-h_f-t_f)t_{fl}+\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)(b_f-t_{fl})+\alpha_1 f_{cw}\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right)(b_f-t_w-t_{fl})+f_a t_f b_f+f_a t_w\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right) > f_a t_{wl}(b-2b_f)$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B.1.4-3):

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw}\left(h-h_f-t_f\right)t_{fl}\left(x-\frac{t_{fl}}{2}\right)+\alpha_1 f_{cw}\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right)\left(\frac{b_f}{2}-\frac{t_w}{2}-t_{fl}\right)\left[x-\left(\frac{b_f}{4}-\frac{t_w}{4}-\frac{t_{fl}}{2}\right)-t_{fl}\right]+\alpha_1 f_{cw}\left(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}\right)\frac{(x-t_{fl})^2}{2}+\alpha_1 f_{cw}\left(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f\right)(x-\frac{b_f}{2}-\frac{t_w}{2})^2/2+f'_a S_{ac}+f_a S_{at} \quad (\text{B.1.4-5})$$

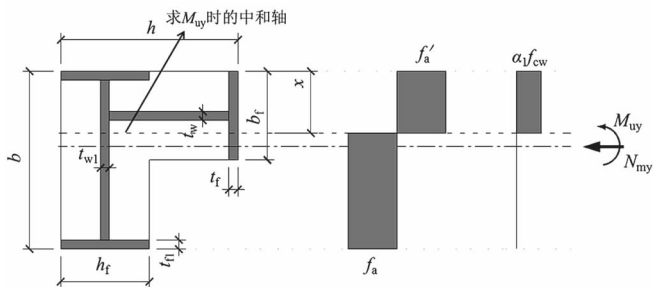


图 B.1.4-3 绕 Y 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw} \left(\frac{3h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - h + t_f \right) t_{fl} + \alpha_1 f_{cw} \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) (t_w + t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw} (h - t_{wl} - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} + \frac{-f_a t_w \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) + f_a t_{wl} b + f_a t_f b_f}{\alpha_1 f_{cw} (h - t_{wl} - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} \quad (\text{B.1.4-6})$$

4 当 $\alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} + \alpha_1 f_{cw} \left(\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} \right) (b_f - t_{fl}) + \alpha_1 f_{cw} \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) (b_f - t_w - t_{fl}) + f_a t_f b_f + f_a t_w \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) \leq f_a t_{wl} (b - 2b_f)$, 塑性中和轴位于混凝土内时(图 B.1.4-4):

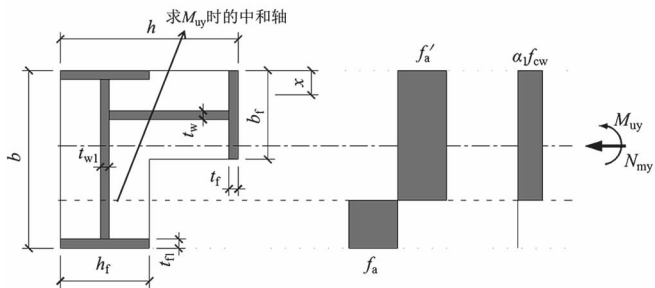


图 B.1.4-4 绕 Y 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 4 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} \left(x - \frac{t_{fl}}{2} \right) + \alpha_1 f_{cw} \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) \left(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl} \right) \left[x - \left(\frac{b_f}{4} - \frac{t_w}{4} - \frac{t_{fl}}{2} \right) - t_{fl} \right] + \alpha_1 f_{cw} \left(\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} \right) \frac{(x - t_{fl})^2}{2} + \alpha_1 f_{cw} \left(h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f \right) \left(\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} \right) \left[\left(\frac{b_f}{4} - \frac{t_w}{4} \right) + x - b_f \right] + \alpha_1 f_{cw} \left(\frac{h_f}{2} \right)$$

$$-\frac{t_{wl}}{2})\frac{(x-b_f)^2}{2}+f'_a S_{ac}+f_a S_{at} \quad (\text{B.1.4-7})$$

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw}(\frac{3h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-h+t_f)t_{fl}-\alpha_1 f_{cw}(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f)(b_f-t_w-t_{fl})}{2\alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})+2f_a t_{wl}} + \frac{\alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})b_f-f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f)+f_a t_{wl}b-f_a t_f b_f}{2\alpha_1 f_{cw}(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2})+2f_a t_{wl}} \quad (\text{B.1.4-8})$$

B.2 T形 PEC 柱

B.2.1 承受绕 X 轴正弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_{ux})应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) > f_a b t_{wl} + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_f t_f$, 塑性中和轴位于腹板外侧时(图 B.2.1-1):

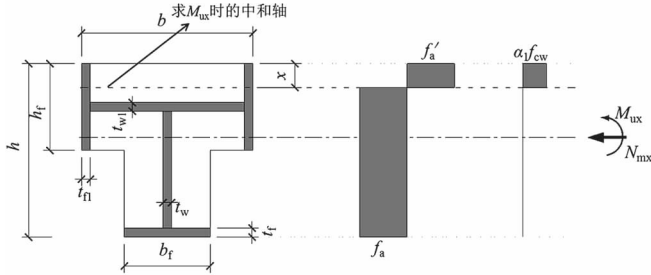


图 B.2.1-1 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})\frac{x^2}{2} + f_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$x = \frac{f_a(b-2t_{fl})t_{wl}+2f_a t_{fl}h_f+f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f)+f_a b_f t_f}{\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})+4f_a t_{fl}} \quad (\text{B.2.1-2})$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) \leq f_a b t_{wl} + f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}-t_f) + f_a b_f t_f$, 且 $\alpha_1 f_{cw}(b-2t_{fl})(\frac{h_f}{2}-\frac{t_{wl}}{2}) + f_a b t_{wl} > f_a t_w(h-\frac{h_f}{2}-$

$\frac{t_{\text{wl}}}{2} - t_{\text{f}}) + f_{\text{a}} b_{\text{f}} t_{\text{f}}$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B. 2. 1—2):

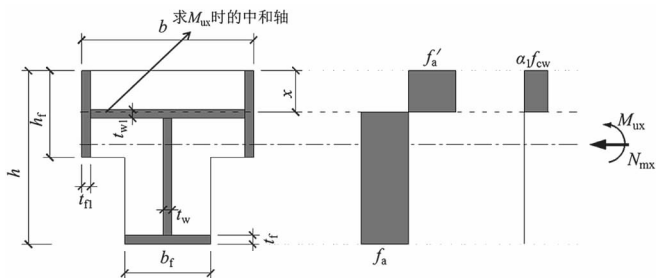


图 B.2.1-2 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

$$M_{\text{ux}} = \alpha_1 f_{\text{cw}} (b - 2t_{\text{fl}}) \left(\frac{h_{\text{f}}}{2} - \frac{t_{\text{wl}}}{2} \right) \left[x - \left(\frac{h_{\text{f}}}{4} - \frac{t_{\text{wl}}}{4} \right) \right] + f'_{\text{a}} S_{\text{ac}} + f_{\text{a}} S_{\text{at}} \quad (\text{B. 2. 1-3})$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{\text{cw}}(b - 2t_{\text{fl}})(\frac{h_{\text{f}}}{2} - \frac{t_{\text{wl}}}{2}) + f_{\text{a}} t_{\text{w}}(h - \frac{h_{\text{f}}}{2} - \frac{t_{\text{w}}}{2} - t_{\text{f}}) + f_{\text{a}} b t_{\text{f}} + f_{\text{a}} b h_{\text{f}}}{2f_{\text{a}} b} \quad (\text{B. 2. 1-4})$$

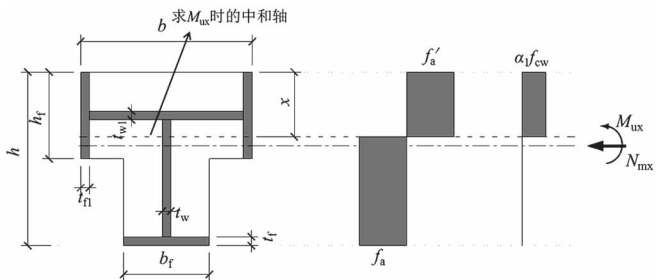
$$\begin{aligned} \text{3} \quad & \text{当 } \alpha_1 f_{\text{cw}}(b-2t_{\text{fl}})\left(\frac{h_{\text{f}}}{2}-\frac{t_{\text{wl}}}{2}\right)+f_{\text{a}}bt_{\text{wl}}\leq f_{\text{a}}t_{\text{w}}\left(h-\frac{h_{\text{f}}}{2}-\frac{t_{\text{w}}}{2}-t_{\text{f}}\right) \\ & +f_{\text{a}}bt_{\text{f}}, \text{ 且 } 2f_{\text{a}}t_{\text{fl}}h_{\text{f}}+\alpha_1 f_{\text{cw}}(b-2t_{\text{fl}})\left(\frac{h_{\text{f}}}{2}-\frac{t_{\text{wl}}}{2}\right)+\alpha_1 f_{\text{cw}}(b-2t_{\text{fl}}- \\ & t_{\text{w}})\left(\frac{h_{\text{f}}}{2}-\frac{t_{\text{wl}}}{2}\right)+f_{\text{a}}(b-2t_{\text{fl}})t_{\text{wl}}+f_{\text{a}}t_{\text{w}}\left(\frac{h_{\text{f}}}{2}-\frac{t_{\text{wl}}}{2}\right)>f_{\text{a}}t_{\text{w}}(h-h_{\text{f}}-t_{\text{f}}) \\ & +f_{\text{a}}bt_{\text{f}}, \text{ 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B.2.1-3):} \end{aligned}$$


图 B.2.1-3 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{\text{ux}} = \alpha_1 f_{\text{cw}} (b - 2t_{\text{fl}}) \left(\frac{h_{\text{f}}}{2} - \frac{t_{\text{wl}}}{2} \right) \left[x - \left(\frac{h_{\text{f}}}{4} - \frac{t_{\text{wl}}}{4} \right) \right] + \alpha_1 f_{\text{cw}} (b - 2t_{\text{fl}} -$$

$$t_w)(x - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})^2 / 2 + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 2. 1-5})$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) - f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl}}{4f_a t_{fl} + 2f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w)} \\ + \frac{2f_a t_{fl} h_f + f_a t_w (h - t_f + \frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) + f_a b t_f}{4f_a t_{fl} + 2f_a t_w + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w)} \quad (\text{B. 2. 1-6})$$

4 当 $2f_a t_{fl} h_f + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl} + f_a t_w (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) \leq f_a t_w (h - h_f - t_f) + f_a b t_f$ ，塑性中和轴位于混凝土内时(图 B. 2. 1-4)：

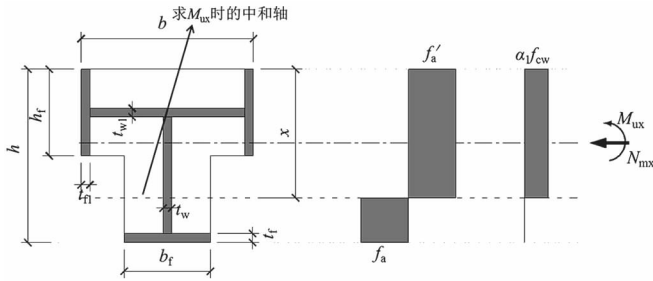


图 B. 2. 1-4 绕 X 轴正弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 4 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) [x - (\frac{h_f}{4} - \frac{t_{wl}}{4})] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (\frac{h_f}{4} - \frac{t_{wl}}{4} + x - h_f) + \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(x - h_f)^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 2. 1-7}) \\ x = \frac{-2f_a t_{fl} h_f - \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl}) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) - \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2})}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \\ + \frac{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) h_f - f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl} + f_a t_w (h - t_f + \frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) + f_a b t_f}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \quad (\text{B. 2. 1-8})$$

B. 2. 2 承受绕 X 轴负弯矩时，截面受弯承载力设计值(M_{ux})应

符合以下规定:

1 当 $f_a b_i t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (b_f - t_w) + f_a t_w (h - t_f - \frac{3h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) > 2f_a t_{fl} h_f + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl}$, 塑性中和轴位于混凝土内时 (图 B. 2. 2-1):

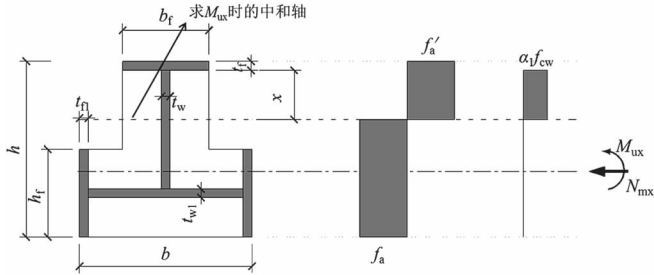


图 B. 2. 2-1 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} \frac{(b_f - t_w) x^2}{2} + f_a' S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 2. 2-1)$$

$$x = \frac{-f_a b_i t_f + 2f_a t_{fl} h_f + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2})}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \quad (B. 2. 2-2)$$

2 当 $f_a b_i t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (b_f - t_w) + f_a t_w (h - t_f - \frac{3h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2}) \leq 2f_a t_{fl} h_f + f_a (b - 2t_{fl}) t_{wl}$ 且 $f_a b_i t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} + \alpha_1 f_{cw} (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) (b_f - t_w - t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - b_f - t_{fl}) > f_a t_{wl} b$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时 (图 B. 2. 2-2):

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) (h - h_f - t_f) [x - \frac{(h - h_f - t_f)}{2}] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) \frac{[x - (h - h_f - t_f)]^2}{2} + f_a' S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B. 2. 2-3)$$

$$x = \frac{-f_a b_i t_f - \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} + t_{fl}) - \alpha_1 f_{cw} (h_f - h + t_f) (b - \frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2} - t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw} (b - t_w - 2t_{fl}) + 4f_a t_{fl} + 2f_a t_w}$$

$$+ \frac{2f_a t_{fl}(2h-2t_f-h_f) + f_a t_{wl}(b-2t_{fl}) + f_a t_w \left[(h - \frac{h_f}{2} - t_f) - \frac{t_{wl}}{2} \right]}{\alpha_1 f_{cw}(b-t_w-2t_{fl}) + 4f_a t_{fl} + 2f_a t_w} \quad (\text{B. 2. 2-4})$$

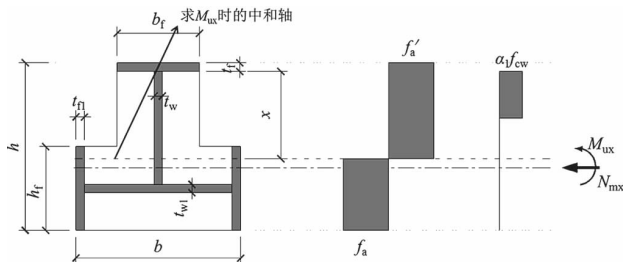


图 B. 2. 2-2 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

3 当 $f_a b t_f + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} + \alpha_1 f_{cw} (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) (b - t_w - t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) + \alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - b_f - t_{fl}) \leq f_a t_{wl} b$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B. 2. 2-3):

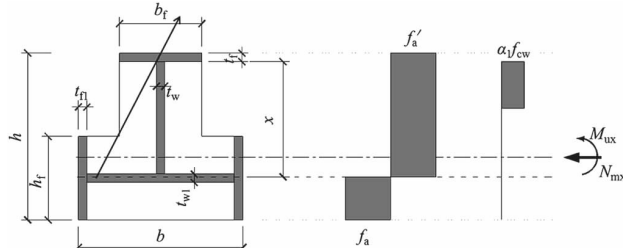


图 B. 2. 2-3 绕 X 轴负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{ux} = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) (h - h_f - t_f) \left[x - \frac{(h - h_f - t_f)}{2} \right] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) \left(\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} \right) (x - h + \frac{3h_f}{4} + \frac{t_{wl}}{4} + t_f) + f_a' S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 2. 2-5})$$

$$x = \frac{-f_a b t_f - \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) t_{fl} - \alpha_1 f_{cw} (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) (b_f - t_w - t_{fl})}{2f_a b - f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f) - \alpha_1 f_{cw} (\frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2}) (b - b_f - t_{fl}) + 2f_a t_{fl} (2h - 2t_f - h_f)} + \frac{f_a (b - 2t_{fl}) (t_{wl} + 2h - h_f - t_{wl} - 2t_f)}{2f_a b} \quad (\text{B. 2. 2-6})$$

B. 2. 3 承受绕 Y 轴弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_{uy})应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) \frac{b - 2t_{fl} - b_f}{2} > f_a b_f t_f + f_a b_f t_{wl} + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)$, 塑性中和轴位于混凝土内时(图 B. 2. 3-1):

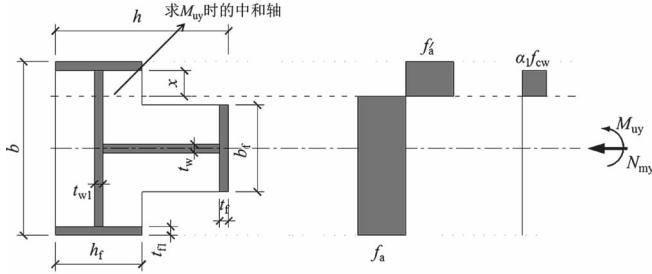


图 B. 2. 3-1 绕 Y 轴弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{wl}) x^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 2. 3-1})$$

$$x = \frac{f_a t_{wl} (b - 2t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - t_f - \frac{t_{wl}}{2}) + f_a b_f t_f}{\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) + 2f_a t_{wl}} \quad (\text{B. 2. 3-2})$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) \frac{b - 2t_{fl} - b_f}{2} \leq f_a b_f t_f + f_a b_f t_{wl} + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)$ 且 $\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) \frac{(b - t_w - 2t_{fl})}{2} + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}) > f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{wl}}{2})$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B. 2. 3-2):

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) \frac{x^2}{2} + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (x - \frac{(b - b_f - 2t_{fl})}{2})^2 / 2 + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 2. 3-3})$$

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) \frac{(b - b_f - 2t_{fl})}{2} + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl}) + f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} - \frac{t_{wl}}{2} - t_f)}{\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} + \frac{f_a t_f (b - 2t_{fl})}{\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{wl}) + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) + 2f_a t_{wl} + 2f_a t_f} \quad (\text{B. 2. 3-4})$$

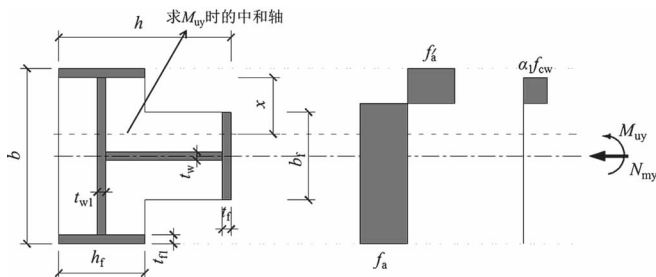


图 B.2.3-2 绕 Y 轴弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

3 当 $\alpha_1 f_{cw} (h_f - t_{w1}) \frac{(b - t_w - 2t_{f1})}{2} + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2}) \leq f_a t_w (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{w1}}{2})$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B.2.3-3):

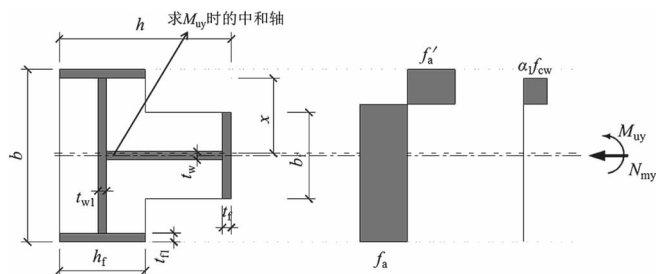


图 B.2.3-3 绕 Y 轴弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_{uy} = \alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{w1})}{2} \frac{(b - t_w - 2t_{f1})}{2} (x - \frac{(b - t_w - 2t_{f1})}{4}) + \alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{w1})}{2} \frac{x^2}{2} + \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) \frac{(b_f - t_w)}{2} [x - \frac{(b - b_f - 2t_{f1})}{2} - \frac{(b_f - t_w)}{4}] + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (B.2.3-5)$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{w1})}{2} \frac{(b - t_w - 2t_{f1})}{2} - \alpha_1 f_{cw} (h - h_f - t_f) (\frac{b_f}{2} - \frac{t_w}{2})}{\alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{w1})}{2} + 2f_a (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{w1}}{2})} + \frac{f_a (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{w1}}{2}) (b - 2t_{f1})}{\alpha_1 f_{cw} \frac{(h_f - t_{w1})}{2} + 2f_a (h - \frac{h_f}{2} + \frac{t_{w1}}{2})} \quad (B.2.3-6)$$

B.3 十字形 PEC 柱

B.3.1 承受绕 X 轴(Y 轴)弯矩时,截面受弯承载力设计值(M_u)应符合以下规定:

1 当 $\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - h_f - 2b_f)}{2} > 2h_f t_{fl} + f_a t_w h_f + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl} - t_w)$, 塑性中和轴位于混凝土内时(图 B.3.1-1):

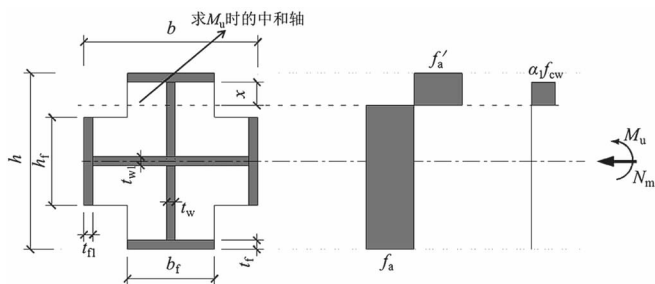


图 B.3.1-1 绕 X 轴(Y 轴)弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 1 示意图

$$M_u = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{x^2}{2} + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B.3.1-1})$$

$$x = \frac{f_a t_w (h - 2t_f) + 2f_a h_f t_{fl} + f_a (b - 2t_{fl} - t_w) t_{wl}}{\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) + 2f_a t_w} \quad (\text{B.3.1-2})$$

2 当 $\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - h_f - 2b_f)}{2} \leq 2h_f t_{fl} + f_a t_w h_f + f_a t_{wl} (b - 2t_{fl} - t_w)$ 且 $\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - h_f - 2b_f)}{2} + \alpha_1 f_{cw} (b - t_w - 2t_{fl}) \frac{(h_f - t_{wl})}{2} > f_a t_{wl} b$, 塑性中和轴位于翼缘内侧腹板外侧时(图 B.3.1-2):

$$M_u = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - 2t_f - h_f)}{2} \left[x - \frac{(h - 2t_f - h_f)}{4} \right] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) \left[x - \frac{h - 2t_f - h_f}{2} \right]^2 / 2 + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B.3.1-3})$$

$$x = \frac{\alpha_1 f_{cw} \frac{(h - 2t_f - h_f)}{2} (b - 2t_{fl} - b_f) + 2f_a t_{fl} (h - 2t_f) + f_a t_w (h - 2t_f)}{\alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_{wl}) + 2f_a t_w + 4f_a t_{fl}}$$

$$+ \frac{f_a (b - 2t_{fl} - t_w) t_{wl}}{\alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_{wl}) + 2f_a t_w + 4f_a t_{fl}} \quad (\text{B. 3. 1-4})$$

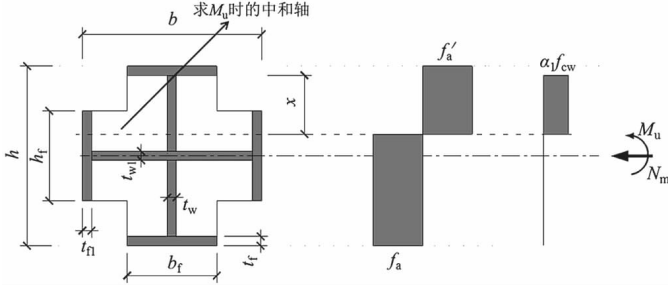


图 B. 3. 1-2 绕 X 轴(Y 轴)负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 2 示意图

3 当 $\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - h_f - 2b_f)}{2} + \alpha_1 f_{cw} (b - t_w - 2t_{fl}) \frac{(h_f - t_{wl})}{2} \leq f_a t_{wl} b$, 塑性中和轴位于腹板内时(图 B. 3. 1-3):

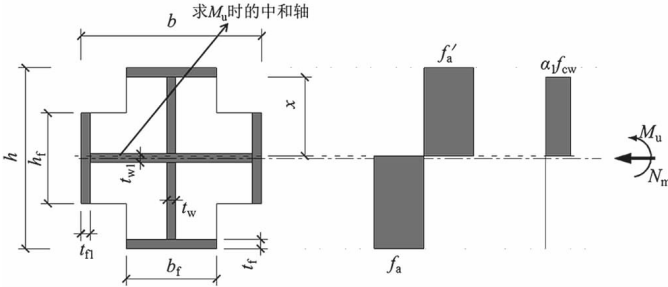


图 B. 3. 1-3 绕 X 轴(Y 轴)负弯矩受弯承载力计算的应力分布模式 3 示意图

$$M_u = \alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - 2t_f - h_f)}{2} \left[x - \frac{(h - 2t_f - h_f)}{4} \right] + \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) \left(\frac{h_f - t_{wl}}{2} \right) \left[x - \frac{(h - 2t_f - h_f)}{2} - \frac{h_f - t_{wl}}{4} \right] + f'_a S_{ac} + f_a S_{at} \quad (\text{B. 3. 1-5})$$

$$x = \frac{-\alpha_1 f_{cw} (b_f - t_w) \frac{(h - 2t_f - h_f)}{2} - \alpha_1 f_{cw} (b - 2t_{fl} - t_w) \left(\frac{h_f - t_{wl}}{2} \right) + \frac{f_a t_w (h - 2t_f) + 2f_a t_{fl} (h - 2t_f) + f_a (b - 2t_{fl} - t_w) (h - 2t_f)}{2f_a b}}{2f_a b} \quad (\text{B. 3. 1-6})$$

本规程用词说明

1 为便于在执行规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1) 表示很严格,非这样做不可的;
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先这样做的:
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- 4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 5 《钢结构设计标准》GB 50017
- 6 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068
- 7 《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083
- 8 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 10 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 11 《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212
- 12 《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224
- 13 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 14 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 15 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 16 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 17 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022
- 18 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
- 19 《工程结构通用规范》GB 55001
- 20 《钢结构通用规范》GB 55006
- 21 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 22 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 23 《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502
- 24 《碳素结构钢》GB/T 700
- 25 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 26 《厚度方向性能钢板》GB/T 5313

- 27 《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》
GB/T 8923
- 28 《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分:通用要求》
GB/T 9978.1
- 29 《建筑构件耐火试验方法 第 6 部分:梁的特殊要求》
GB/T 9978.6
- 30 《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分:柱的特殊要求》
GB/T 9978.7
- 31 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 32 《建筑用压型钢板》GB/T 12755
- 33 《建筑结构用钢板》GB/T 19879
- 34 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 35 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 36 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 37 《组合结构设计规范》JGJ 138
- 38 《非结构构件抗震设计规范》JGJ 339
- 39 《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12
- 40 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
- 41 《建筑楼盖结构振动舒适度技术标准》JGJ/T 441