

备案号：J 17781 - 2024

浙江省工程建设标准

DBJ

DBJ33/T 1333 - 2024

装配式部分包覆钢-混凝土组合 剪力墙技术规程

Technical specification for fabricated partially-encased composite
shearwall of steel and concrete

2024-09-27 发布

2025-02-01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

浙江省住房和城乡建设厅

公 告

2024 年 第 39 号

关于发布浙江省工程建设标准 《装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙 技术规程》的公告

现批准《装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙技术规程》为浙江省工程建设标准，编号为 DBJ33/T 1333 - 2024，自 2025 年 2 月 1 日起施行。

本标准由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，精工绿筑科技集团有限公司负责具体技术内容的解释，并在浙江省住房和城乡建设厅网站公开。

浙江省住房和城乡建设厅
2024 年 9 月 27 日

前　　言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发〈2017 年浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划〉的通知》(浙建设发〔2018〕3 号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,结合浙江省的实际情况,按有关国家标准、国内外先进经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分为 10 章和 1 个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、材料、结构设计基本规定、结构计算分析、PEC 剪力墙设计、连接与节点设计、防护设计、施工和质量验收以及有关的附录。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理,精工绿筑科技集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请寄送精工绿筑科技集团有限公司(地址:绍兴市柯桥区齐贤街道步锦路 816 号 1 号楼,邮编 312030,邮箱:jglz@jg-steel.cn),以供修改时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人:

主 编 单 位:精工绿筑科技集团有限公司

浙江大学建筑设计研究院有限公司

浙江工业大学工程设计集团有限公司

参 编 单 位:上海杉达学院

浙江工业大学

同济大学

合肥工业大学

浙江省建筑设计研究院有限公司

浙江大学平衡建筑研究中心

绿筑建筑设计（上海）有限公司
绍兴市柯桥区建筑管理中心
台州市社会事业发展集团有限公司
浙江精工钢结构集团有限公司
绍兴精工绿筑集成建筑系统工业有限公司
杭州绿城绿鑫房地产开发有限公司
宁波市海城投资开发有限公司
绍兴市城投建设开发有限公司
宁波市公共工程建设中心有限公司
同创工程设计有限公司
浙江杰立建设集团有限公司

主要起草人：刘中华 金振奋 章雪峰 肖志斌 李 杰
常康辉 赵必大 徐国军 沈 金 朱浩川
陈 卓 金 成 王抒弦 于送洋 王伟刚
吴 强 单玉川 傅林峰 谢 忠 王静峰
陈 东 闻 剑 邱仙荣 李瑞锋 刘新华
徐立丰 厉剑铁 梁照君 郭得旺 李少华
马 健 黄桥平 费继飚 俞荣华 王留成
徐春平 田利君 陈春晓 陈 峰 闵玉辉
周建敏 祁 慧 张琰琳 李 丽 张莉莉
主要审查人：杨学林 游劲秋 赵宇宏 楼东浩 景 亭
褚 航 邬 涛

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	7
3.1	钢材	7
3.2	钢筋	8
3.3	混凝土	8
3.4	连接材料	9
4	结构设计基本规定	10
4.1	一般规定	10
4.2	设计原则	12
4.3	变形规定	19
5	结构计算分析	21
5.1	一般规定	21
5.2	弹性分析	21
5.3	弹塑性分析	23
6	PEC 剪力墙设计	25
6.1	承载力计算	25
6.2	构造要求	33
7	连接与节点设计	41
7.1	一般规定	41
7.2	墙与墙拼接连接	42
7.3	墙与梁连接节点	44

7.4	墙脚连接节点	49
7.5	墙与楼板连接节点	53
7.6	非结构构件与墙连接节点	54
8	防护设计	56
8.1	防火设计	56
8.2	防腐设计	59
9	施工	61
9.1	一般规定	61
9.2	制作	61
9.3	安装	64
10	质量验收	66
10.1	一般规定	66
10.2	构件验收	68
10.3	安装验收	69
附录 A	墙肢计算长度系数 β	72
本规程用词说明		73
引用标准名录		74
条文说明		77

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Materials	7
3.1	Structural steel	7
3.2	Steel reinforcement	8
3.3	Concrete	8
3.4	Connection materials	9
4	Basic requirements of structural design	10
4.1	General requirements	10
4.2	Design principles	12
4.3	Deflection requirements	19
5	Structural caculation analysis	21
5.1	General requirements	21
5.2	Elastic analysis	21
5.3	Elastic-plastic analysis	23
6	Design of PEC walls	25
6.1	Calculation of bearing capacity	25
6.2	Detailing requirements	33
7	Design of connection and joints	41
7.1	General requirements	41
7.2	Wall-to-wall splices and joints	42
7.3	Wall-to-beam splices and joints	44

7.4	Wall foot joints	49
7.5	Wall-to-slab joints	53
7.6	Non-structural element-to-wall joints	54
8	Protection design	56
8.1	Fire-resistant design	56
8.2	Corrosion design	59
9	Construction	61
9.1	General requirements	61
9.2	Fabrication	61
9.3	Erection	64
10	Construction quality acceptance	66
10.1	General requirements	66
10.2	Component acceptance	68
10.3	Installation acceptance	69
	Appendix A: Shear wall calculation length coefficient β	72
	Explanation of wording in this code	73
	List of quoted standards	74
	Addition: Explanation of provisions	77

1 总 则

1.0.1 为规范浙江省装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙的应用，做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省采用装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙的民用建筑结构的设计、施工和验收。

1.0.3 装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙的应用，除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

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

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（简称 PEC 构件），包括 PEC 柱、PEC 剪力墙、PEC 梁、PEC 支撑等构件。

2.1.2 部分包覆钢-混凝土组合剪力墙 partially-encased composite shearwall of steel and concrete

开口截面主钢件外周轮廓间包覆混凝土，且截面高度与厚度之比大于 4 的竖向承重部分包覆钢-混凝土组合构件（简称 PEC 剪力墙），其截面形式包括一字形、L 形、T 形等。

2.1.3 部分包覆钢-混凝土组合结构 partially-encased composite structures of steel and concrete

由部分包覆钢-混凝土组合构件通过可靠连接装配而成的结构，本规程涉及 PEC 剪力墙结构、框架-PEC 剪力墙结构、框架-PEC 核心筒结构等结构类型。

2.1.4 部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构 partially-encased composite shearwall structures of steel and concrete

由部分包覆钢-混凝土组合剪力墙组成的承受竖向和水平作用的结构（简称 PEC 剪力墙结构）。

2.1.5 框架-部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构 frame and partially-encased steel-concrete composite shearwall structures

由框架和部分包覆钢-混凝土组合剪力墙共同承受竖向和水

平作用的结构（简称框架-PEC 剪力墙结构），框架应采用部分包覆钢-混凝土组合框架、钢框架或钢管混凝土框架。

2.1.6 框架-部分包覆钢-混凝土组合核心筒结构 frame and partially-encased steel-concrete composite corewall structure

由部分包覆钢-混凝土组合剪力墙组成的核心筒与外围的稀柱框架组成的筒体结构（简称框架-PEC 核心筒结构），框架应采用部分包覆钢-混凝土组合框架、钢框架或钢管混凝土框架。

2.1.7 PEC 剪力墙主钢件 main steel component of PEC shearwall

部分包覆钢-混凝土组合剪力墙中的承载结构钢，由多个 H 型钢和附加钢板组成（简称主钢件）。

2.1.8 连杆 link

焊接于主钢件翼缘或加劲肋间的连接钢筋或扁钢。

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_s ——钢筋弹性模量；

EA ——PEC 剪力墙截面轴向刚度；

E_{EQ} ——PEC 剪力墙截面当量弹性模量；

EI ——PEC 剪力墙截面抗弯刚度；

f_a ——钢材抗拉强度设计值；

f'_a ——钢材抗压强度设计值；

f_{ay} ——钢材屈服强度；

f_{av} ——钢材抗剪强度设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；

f_{EQ} ——PEC 剪力墙截面当量强度；

f_p ——PEC 剪力墙主钢件墙身腹板的抗拉和抗压强度设

计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_y ——钢筋抗拉强度设计值；

f_{iy} ——连杆钢材的屈服强度；

f_{iy} ——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 剪力墙截面剪切刚度。

2.2.2 作用效应和承载力

M ——正弯矩设计值；

M_{pw} ——PEC 剪力墙截面内配置钢腹板合力对受拉型钢截面重心的力矩；

M_u ——截面受弯承载力设计值；

N ——轴力设计值；

N_{pw} ——PEC 剪力墙截面内配置钢腹板所承担轴向力；

N_u ——截面受压承载力设计值；

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 ——PEC 剪力墙的墙肢截面剪力设计值；

V_{cw} ——仅考虑墙肢截面钢筋混凝土部分承受的剪力值，即墙肢剪力设计值减去端部型钢和钢板承受的剪力值；

V_w ——底部加强部位 PEC 剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值。

2.2.3 几何参数

A ——PEC 剪力墙截面面积；

A_a ——主钢件截面面积；

A_{al} ——PEC 剪力墙边缘构件一端所配型钢的截面面积；

- A_{a2} ——PEC 剪力墙边缘构件两端型钢截面面积；
 A_{aa} 、 A'_{aa} ——PEC 剪力墙受拉端、受压端型钢截面面积；
 A_p ——PEC 剪力墙截面内配置钢腹板的截面面积；
 A_c ——混凝土截面面积；
 A_s ——包覆混凝土中受拉钢筋截面面积；
 A_w ——剪力墙腹板的截面面积；
 A_1 ——单根连杆面积；
 a_a ——受拉端型钢合力点至截面受拉边缘的距离；
 a'_a ——受压端型钢合力点至截面受压边缘的距离；
 b_0 ——主钢件翼缘外伸宽度；
 b_f ——主钢件翼缘宽度；
 b_w ——PEC 剪力墙截面宽度；
 e ——轴向力作用点到受拉型钢合力点的距离；
 e_i ——初始偏心距；
 h_{pw} ——PEC 剪力墙截面配置内钢腹板高度；
 h_{u0} ——PEC 剪力墙截面有效高度；
 h_{w1} ——PEC 剪力墙边缘构件腹板长度；
 h_{w2} ——PEC 剪力墙主钢件墙身腹板长度；
 k_a ——PEC 剪力墙主钢件抗弯刚度与截面抗弯刚度之比；
 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；
 l ——PEC 剪力墙高度；
 l_0 ——轴心受压 PEC 剪力墙计算长度；
 s_a ——沿构件长度方向连杆的间距；
 t_f ——PEC 剪力墙主钢件边缘构件翼缘厚度；
 t_r ——PEC 剪力墙主钢件纵向加劲肋厚度；
 t_{w1} ——PEC 剪力墙主钢件边缘构件腹板厚度；
 t_{w2} ——PEC 剪力墙主钢件墙身腹板厚度；

x ——混凝土受压区高度；
 λ_n ——PEC 剪力墙正则化长细比。

2.2.4 计算系数及其他

ρ_v ——箍筋体积配箍率；
 λ_v ——约束边缘构件配箍特征值；
 α_1 ——受压区混凝土压应力影响系数；
 β_1 ——受压区混凝土应力图形影响系数；
 β_c ——混凝土强度影响系数；
 η_{vw} ——剪力增大系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 ε_k ——钢号修正系数；
 λ ——剪力系数，PEC 剪力墙计算截面处的剪跨比；
 φ ——组合稳定系数。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 PEC 剪力墙主钢件钢材性能应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构通用规范》GB 55006、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《建筑结构用钢板》GB/T 19879 和《碳素结构钢》GB/T 700 的有关规定。

3.1.2 PEC 剪力墙主钢件钢材宜采用 Q355、Q390、Q420、Q345GJ、Q390GJ、Q420GJ 低合金高强度结构钢及 Q235 碳素结构钢，质量等级不宜低于 B 级。

3.1.3 PEC 剪力墙主钢件钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冲击韧性和硫、磷含量的合格保证，对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证及冷弯试验的合格保证。

3.1.4 PEC 剪力墙主钢件钢板应满足现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 中 B 类厚度偏差要求。

3.1.5 PEC 剪力墙、连梁等主要抗侧力构件，主钢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。

3.1.6 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，宜具有厚度方向抗撕裂性能（即 Z 向性能）的合

格保证，钢板厚度方向的截面收缩率不应小于现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 规定的容许值。

3.1.7 采用组合楼板时，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。压型钢板的基板应选用热浸镀锌钢板，镀锌层应符合现行国家标准《连续热镀锌薄钢板及钢带》GB/T 2518 的规定。

3.2 钢 筋

3.2.1 PEC 剪力墙中纵向受力钢筋、钢筋连杆的选用，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、抗压强度设计值和弹性模量取值，应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定。

3.2.2 一、二、三级抗震等级的 PEC 剪力墙的边缘构件纵向受力钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 中混凝土结构构件抗震设计有关材料性能的规定。

3.2.3 焊接钢筋网片应符合现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的有关规定。

3.3 混凝土

3.3.1 PEC 剪力墙中混凝土材料选用应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定，且混凝土强度等级不应低于 C30，不宜高于 C70。

3.3.2 PEC 剪力墙连接后浇区宜采用自密实混凝土或水泥基灌浆材料，其强度等级应比相应主体构件提高一级。自密实混凝土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 的有关规定。

3.3.3 PEC 剪力墙连接后浇区材料采用水泥基灌浆材料时，尚应满足表 3.3.3 的规定。

表 3.3.3 PEC 剪力墙节点后浇区材料的选择

主钢件外伸翼缘长度 (mm)	深度 (mm)	
	$d \leq 200$	$d > 200$
$70 < b_0 \leq 100$	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

注： b_0 为 PEC 剪力墙主钢件翼缘外伸宽度， d 为 PEC 剪力墙一个区格内的腹板高度。

3.4 连接材料

3.4.1 螺栓的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、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。

3.4.2 圆柱头焊（栓）钉连接件的选用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。

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

3.4.4 PEC 剪力墙焊接材料选择和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。

4 结构设计基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 PEC 剪力墙可用于剪力墙结构、框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构等结构体系中。

4.1.2 采用 PEC 剪力墙的建筑平面和竖向布置及规则性要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

4.1.3 与 PEC 剪力墙相连的梁宜采用 PEC 梁或钢梁，与地下室墙连接的梁也可采用钢筋混凝土梁或型钢混凝土梁。

4.1.4 设置地下室时，剪力墙应延伸至基础，PEC 剪力墙主钢件应至少延伸至嵌固端以下一层。

4.1.5 PEC 剪力墙的截面形式可采用一字形（图 4.1.5-1）、L 形（图 4.1.5-2）等，翼缘之间和翼缘与纵向加劲肋间应设置一定间距的连杆。PEC 剪力墙的包覆混凝土除节点区外宜采用工厂预制。

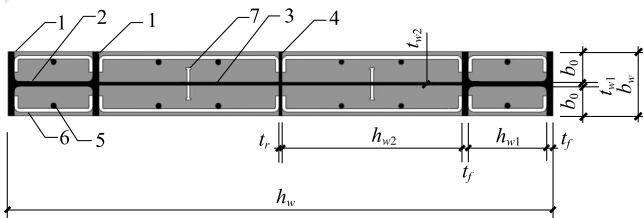


图 4.1.5-1 PEC 剪力墙的截面形式—一字形

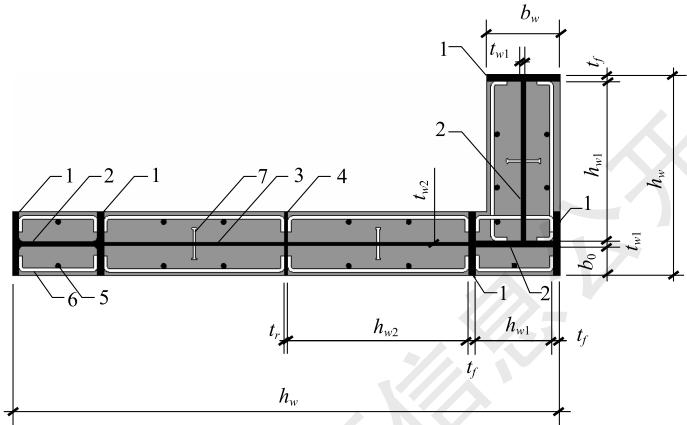


图 4.1.5-2 PEC 剪力墙的截面形式-L 形

1—翼缘；2—边缘构件腹板；3—墙身腹板；4—纵向加劲肋；5—纵筋；
6—连杆（两侧与主钢件焊接）；7—栓钉

4.1.6 PEC 剪力墙主钢件的截面分类与宽厚比限值应符合下列规定：

1 主钢件截面按塑性发展能力可分为 2 类，各类截面的宽厚比限值应符合表 4.1.6 的规定。

表 4.1.6 PEC 剪力墙主钢件截面分类和宽厚比限值

截面分类	构件设计要求	边缘构件		墙身腹板 (h_{w02}/t_{w1})
		翼缘 (b_0/t_f)	腹板 (h_{w01}/t_{w1})	
1	截面达到塑性弯矩且边缘构件发生充分塑性转动	$9\varepsilon_k$	$35\varepsilon_k$	$65\varepsilon_k$
2	截面达到塑性弯矩	$14\varepsilon_k$	$75\varepsilon_k$	$105\varepsilon_k$

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；

2 h_{w01} 、 h_{w02} 分别为腹板 h_{w1} 、 h_{w2} 的计算高度，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_{w1} 为边缘构件腹板厚度， t_{w2} 为墙身腹板厚度（图 4.1.5-1、图 4.1.5-2）；

3 ε_k 为钢号修正系数，其值为 235 与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

2 当受压翼缘通过连杆与相邻肋板牢固连接，且端部区格连杆竖向间距 s_a （对钢筋连杆取中心距，对扁钢连杆取净距）与翼缘宽度 b_w 的比值满足 $s_a/b_w \leq 0.5$ ，则表 4.1.6 中外伸翼缘的宽厚比限值可放大 1.5 倍；当 $0.50 < s_a/b_w \leq 1.0$ ，则表 4.1.6 中外伸翼缘的宽厚比限值可在 1.5 ~ 1.0 倍间插值。

3 纵向加劲肋厚度应符合下式规定：

$$t_r \geq \frac{b_0}{19} \quad (4.1.6)$$

4 纵向加劲肋与墙身腹板可采用断续角焊缝连接。断续角焊缝焊段的长度不得小于 $10h_t$ 或 50mm，其净距不应大于 $15t$ ， t 为较薄焊件厚度。

4.1.7 非结构构件与结构的连接应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《非结构构件抗震设计规范》JGJ 339 的有关规定。

4.2 设计原则

4.2.1 采用 PEC 剪力墙的结构安全等级和设计工作年限应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 和《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定。结构的荷载标准值、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、《工程结构通用规范》GB 55001 和《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的有关规定。

4.2.2 采用 PEC 剪力墙的结构构件和连接节点设计应符合按承载能力极限状态设计时的下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况应按下式验算：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.2-1)$$

2 地震设计状况应按下式验算：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (4.2.2-2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数：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；
 S ——作用组合的效应设计值，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定进行计算；
 R ——结构构件的抗力设计值；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，对于 PEC 剪力墙，构件强度验算取 0.85；连接强度计算时取 0.75；当仅计算竖向地震作用时取 1.0。

4.2.3 采用 PEC 剪力墙的房屋结构的最大适用高度应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 采用 PEC 剪力墙的房屋结构的最大适用高度 (m)

结构类型	抗震设防烈度		
	6 度	7 度	8 度 (0.20g)
PEC 剪力墙结构	170	150	130
框架-PEC 剪力墙结构	130	120	100
框架-PEC 核心筒结构	200	160	120

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 表中的“框架”包含钢框架、PEC 框架、钢管混凝土框架。

4.2.4 采用 PEC 剪力墙的房屋结构的高宽比不宜超过表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 采用 PEC 剪力墙的房屋结构的最大高宽比

设防烈度	6 度	7 度	8 度 (0.20g)
最大高宽比	6.5	6.5	5.5

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 当塔形建筑底部有大底盘时，计算高宽比的高度从大底盘顶部算起。

4.2.5 抗震设计时，采用 PEC 剪力墙的房屋结构应根据抗震设防类别、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。丙类建筑结构的抗震等级应按表 4.2.5 确定。

表 4.2.5 采用 PEC 剪力墙的房屋结构抗震等级

结构类型		抗震设防烈度									
		6 度			7 度			8 度			
PEC 剪力墙 结构	房屋高度 (m)	≤80	81 ~ 140	>140	≤24	25 ~ 80	81 ~ 120	>120	≤24	25 ~ 80	>80
	剪力墙	四	三	二	四	三	二	一	三	二	一
框架- PEC 剪力墙 结构	房屋高度 (m)	≤60	>60	≤24	25 ~ 60	>60		≤24	25 ~ 60	>60	
	钢框架	四		四	三			三	二		
	PEC 框架	四	三	四	三	二		三	二	一	
	钢管混凝土框架	四	三	四	三	二		三	二	一	
	PEC 剪力墙	四	三	四	三	二		三	二	一	
框架- PEC 核心筒 结构	房屋高度 (m)	≤150	>150	≤130	>130			≤120			
	PEC 框架、 钢管混凝土 框架-PEC 核心筒	框架	三	二	二	一		一			
	核心 筒	三	二	二	一		一				
	钢框架-PEC 核心筒	框架	四			三			二		
	核心 筒	三	二	二	一		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 当抗震等级需要提高一级采用，已为一级时可不再提高；
 4 当 PEC 框架-PEC 剪力墙结构和钢管混凝土框架-PEC 剪力墙结构中的梁为钢梁时，梁的抗震等级按钢框架-PEC 剪力墙结构中的钢框架来选用；当 PEC 框架-PEC 核心筒结构和钢管混凝土框架-PEC 核心筒结构中的梁为钢梁时，梁的抗震等级按钢框架-PEC 核心筒结构中的框架来选用。

4.2.6 PEC 剪力墙主钢件受压翼缘截面分类应根据构件抗震等级按表 4.2.6 确定。

表 4.2.6 PEC 剪力墙主钢件受压翼缘截面分类

构件抗震等级	一级	二、三、四级
截面分类	1	1、2

4.2.7 采用 PEC 剪力墙的房屋结构抗震计算的阻尼比宜按下列规定取值：

1 多遇地震作用下的结构阻尼比可取 0.04。

2 在罕遇地震作用下的弹塑性分析，阻尼比可取 0.05。

4.2.8 采用 PEC 剪力墙的房屋结构在风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时阻尼比可取 0.02 ~ 0.04，验算建筑风振舒适度时，阻尼比宜取 0.01 ~ 0.02。

4.2.9 在进行结构整体内力分析和变形计算时，PEC 剪力墙的抗弯刚度、轴向刚度和抗剪刚度可按下列公式计算：

$$EI = E_a I_a + E_c I_c \quad (4.2.9-1)$$

$$EA = E_a A_a + E_c A_c \quad (4.2.9-2)$$

$$GA = G_a A_a + G_c A_c \quad (4.2.9-3)$$

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 ——主钢件截面面积（mm²）、混凝土截面面积（mm²）；

I_a 、 I_c ——主钢件截面的惯性矩（mm⁴）、混凝土截面的惯性矩（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·mm²）。

4.2.10 PEC 剪力墙结构、框架-PEC 剪力墙结构和框架-PEC 核心筒结构的整体稳定性应符合下式规定：

$$EJ_d \geq 1.0 H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (4.2.10)$$

式中： G_i ——分别为第 i 楼层重力荷载设计值（kN），取 1.2 倍的永久荷载标准值与 1.4 倍的楼面可变荷载标准值的组合值；

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 · mm²），可取倒三角形分布荷载作用下结构顶点位移相等的原则，将结构的侧向刚度折算为竖向悬臂受弯构件的等效侧向刚度。

4.2.11 采用 PEC 剪力墙的房屋楼盖体系应保证必要的水平刚度和整体性，其布置应符合下列规定：

1 楼面可采用压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼承板、预制混凝土叠合板或现浇钢筋混凝土楼板等，楼板与主体结构应可靠连接，保证楼盖的整体性。

2 机房设备层、避难层所在楼层的楼板宜采用压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼承板或现浇钢筋混凝土楼板，并应采取加强措施。

3 当建筑物楼面有大开洞或为转换楼层时，宜采用压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼承板或现浇钢筋混凝土楼板；对楼板大开洞部位宜采取刚性水平支撑等加强措施。

4 在 PEC 剪力墙长度范围内的楼板的上下层钢筋应连续。

4.2.12 采用 PEC 剪力墙的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要求：

(1) 框架-PEC 剪力墙和 PEC 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 度和 8 度分别每增加高度 5m、4m 和 3m，宜加宽 30mm；

(2) 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 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。

3 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。

4.2.13 框架-PEC 剪力墙结构应根据在规定的水平力作用下结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值，确定相应的设计方法，并应符合下列规定：

1 框架部分承受的地震倾覆力矩不大于结构总地震倾覆力矩的 10% 时，按 PEC 剪力墙结构设计，其中的框架部分应按框架-PEC 剪力墙结构的框架进行设计。

2 框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 10% 但不大于 50% 时，按框架-PEC 剪力墙结构设计。

3 框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 50% 但不大于 80% 时，按框架-PEC 剪力墙结构设计，其最大适用高度可比框架结构适当增加，框架部分的抗震等级和轴压比限值宜按框架结构采用。

4 框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 80% 时，按框架-PEC 剪力墙结构设计，其最大适用高度宜按框架结构采用，框架部分的抗震等级和轴压比限值应按框架结构采用。

4.2.14 抗震设计时，框架-PEC 剪力墙结构对应于地震作用标准值的各层框架总剪力应符合下列规定：

1 满足式（4.2.14）要求的楼层，其框架总剪力不必调整；不满足式（4.2.14）要求的楼层，其框架总剪力应按 $0.2V_0$ 和 $1.5V_{f,\max}$ 二者的较小值采用。

$$V_f \geq 0.2 V_0 \quad (4.2.14)$$

式中： V_0 ——对框架柱数量从下至上基本不变的结构，应取对应

与地震作用标准值的结构底层总剪力；对框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构，应取每段底层结构对应于地震作用标准值的总剪力（kN）；

V_f ——对应于地震作用标准值且未经调整的各层（或某一段内各层）框架承担的地震总剪力（kN）；

$V_{f,\max}$ ——对框架柱数量从下至上基本不变的结构，应取对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值；对框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构，应取每段中对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值（kN）。

2 各层框架所承担的地震总剪力按本条第1款调整后，应按调整前、后总剪力的比值调整每根框架柱和与之相连框架梁的剪力及端部弯矩标准值，框架柱的轴力标准值可不予调整。

3 按振型分解反应谱法计算地震作用时，本条第1款所规定的调整可在振型组合之后、并满足本规程第5.2.5条关于楼层最小地震剪力系数的前提下进行。

4.2.15 框架-PEC 剪力墙结构应设计成双向抗侧力体系；抗震设计时，结构两主轴方向均应布置剪力墙。

4.2.16 框架-PEC 核心筒结构的框架部分按侧向刚度分配的楼层地震剪力标准值应符合下列规定：

1 框架部分分配的楼层地震剪力标准值的最大值不宜小于结构底部总地震剪力标准值的10%。

2 当框架部分分配的地震剪力标准值的最大值小于结构底部总地震剪力标准值的10%时，各层框架部分承担的地震剪力标准值应增大到结构底部总地震剪力标准值的15%；此时，各层核心筒墙体的地震剪力标准值宜乘以增大系数1.1，但可不大于结构底部总地震剪力标准值，墙体的抗震构造措施应提高一级，已为一级时可不提高。

3 当框架部分分配的地震剪力标准值小于结构底部总地震剪力标准值的 20%，且最大值不小于结构底部总地震剪力标准值的 10% 时，应按结构底部总地震剪力标准值的 20% 和框架部分楼层地震剪力标准值中最大值的 1.5 倍的较小值调整。

4 框架柱的地震剪力按本条第 2 款或第 3 款调整后，框架柱端弯矩及与之相连的框架梁端弯矩、剪力应相应调整。

5 有加强层时，本条框架部分分配的楼层地震剪力标准值的最大值不应包括加强层及其上、下层的框架剪力。

4.2.17 框架-PEC 核心筒结构的周边柱间必须设置框架梁。

4.2.18 对内筒偏置的框架-PEC 核心筒结构，应控制结构在计入偶然偏心影响的规定地震力作用下，最大楼层水平位移和层间位移不应大于楼层平均值的 1.4 倍，结构扭转为主的第一自振周期 (T_1) 与平动为主的第一自振周期 (T_1) 之比不应大于 0.85，且 T_1 的扭转成分不宜大于 30%。

4.3 变形规定

4.3.1 PEC 剪力墙结构或主要抗侧力构件为 PEC 剪力墙的结构体系，在风荷载标准值作用下的层间相对位移与层高之比不宜大于 1/450。当采用有较高变形限制的非结构构件和装饰材料时，层间相对位移与层高之比宜适当减小。

4.3.2 PEC 剪力墙结构或主要抗侧力构件为 PEC 剪力墙的结构体系，在地震标准值作用下的层间相对位移与层高之比宜符合下列规定：

1 在多遇地震作用下（按弹性计算）层间相对位移与层高之比值不宜大于 1/450。

2 在罕遇地震作用下（按弹塑性计算）层间相对位移与层高之比值不宜大于 1/70。

4.3.3 采用 PEC 剪力墙的房屋填充墙变形能力应与主体结构的变形相适应。抗震设计时，应满足现行国家标准《建筑抗震设计

标准》GB/T 50011 相关要求。

4.3.4 对于高度大于 150m 的采用 PEC 剪力墙的高层建筑应满足风振舒适度要求，在 10 年一遇的风荷载标准值作用下，结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度限值，应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 结构顶点风振加速度限值

使用功能	α_{lim} (m/s ²)
住宅、公寓	0.20
办公、旅馆	0.28
其他	0.30

5 结构计算分析

5.1 一般规定

5.1.1 采用 PEC 剪力墙的结构，荷载及荷载组合，静力荷载、风荷载和地震作用下的内力和位移计算，应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

5.1.2 采用 PEC 剪力墙的结构，在竖向荷载、风荷载以及多遇地震作用下，变形和内力可按弹性方法计算。结构分析模型应根据结构实际情况确定。所选的分析模型应能准确地反映结构中各构件的实际受力状况，并应对结构分析软件的计算结果进行合理性和有效性的分析判断。

5.1.3 采用 PEC 剪力墙的结构进行内力和位移计算时，对于现浇结构或装配整体式结构，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性。当楼盖开有较大洞口或可能产生较明显的平面内变形时，计算时应采用楼盖平面内的实际刚度，考虑楼盖的面内变形的影响。

5.1.4 当非承重墙体为砌体墙时，PEC 剪力墙结构计算周期折减系数可取为 0.8 ~ 1.0，框架-PEC 剪力墙结构和框架-PEC 核心筒结构的计算周期折减系数可取为 0.7 ~ 0.9。

5.1.5 采用 PEC 剪力墙的结构，抗震性能设计和结构弹塑性分析尚应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定进行分析。

5.2 弹性分析

5.2.1 采用 PEC 剪力墙的结构，弹性计算模型应根据结构的实

际情况确定，应能反应结构的刚度和质量分布以及各结构构件的实际受力情况。

5.2.2 框架-PEC 剪力墙结构进行弹性分析时，应计入梁的弯曲、剪切、扭转变形，柱在轴力和弯矩作用下的弹性变形，以及 PEC 剪力墙的弹性弯曲及剪切变形；对于刚性连接的钢框架宜计入梁柱节点域的弹性剪切变形，其计算按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

5.2.3 当结构在水平作用下的重力附加弯矩大于初始弯矩的 10% 时，应计入重力二阶效应的影响。重力附加弯矩是指任一楼层以上全部重力荷载与该楼层水平作用平均层间位移的乘积，初始弯矩是指该楼层水平作用剪力与楼层层高的乘积。

5.2.4 弹性分析时，PEC 剪力墙宜采用壳单元或墙单元。

5.2.5 任一楼层的水平地震剪力应符合下式规定：

$$V_{eki} > \lambda \sum_{j=i}^n G_j \quad (5.2.5)$$

式中： V_{eki} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力 (kN)；

λ ——剪力系数，不应小于表 5.2.5 规定的楼层最小地震剪力系数值，对竖向不规则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数；

G_j ——第 j 楼层重力荷载代表值 (kN)。

表 5.2.5 楼层最小地震剪力系数

类别	抗震设防烈度		
	6 度	7 度	8 度
扭转效应明显或基本周期小于 3.5s 的结构	0.008	0.016	0.032
基本周期大于 5.0s 的结构	0.006	0.012	0.024

注：基本周期介于 3.5s 和 5s 之间的结构，按插入法取值。

5.2.6 结构弹性阶段的内力和位移计算时，PEC 剪力墙截面刚

度取值按本规程第 4.2.9 条。

5.3 弹塑性分析

5.3.1 采用 PEC 剪力墙的结构进行弹塑性计算分析时，可根据实际工程情况采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法，并应符合下列规定：

1 结构弹塑性分析的计算模型应包括全部主要结构构件，应能正确反映结构的质量、刚度和承载力的分布以及结构构件的弹塑性性能。

2 弹塑性分析宜采用空间计算模型。

5.3.2 采用 PEC 剪力墙的结构进行弹塑性分析时，应计入梁的弹塑性弯曲变形、柱在轴力和弯矩作用下的弹塑性变形、PEC 剪力墙的弹塑性弯曲及剪切变形。

5.3.3 PEC 剪力墙主钢件的恢复力模型和骨架曲线可采用二折线模型，滞回模型可不计人刚度退化。

5.3.4 采用 PEC 剪力墙的结构进行弹塑性变形计算时，应符合下列规定：

1 房屋高度不超过 100m 时，可采用静力弹塑性分析方法；高度超过 150m 时，应采用弹塑性时程分析法；高度为 100m ~ 150m 时，可根据结构不规则程度选择静力弹塑性分析法或弹塑性时程分析法；高度超过 200m 时，应有两个独立的计算，进行校核。

2 结构弹塑性分析应以重力荷载代表值施加完毕的状态作为初始状态，并应计入施工过程的影响。

3 结构构件上应施加重力荷载代表值，效应应与水平地震作用产生的效应进行组合，分项系数可取 1.0。

4 应计入重力荷载二阶效应的影响。

5 钢材强度可取屈服强度，混凝土强度可取标准值。

5.3.5 采用 PEC 剪力墙的结构采用静力弹塑性分析法进行罕遇

地震作用下的变形计算时，应符合下列规定：

1 可在结构的各主轴方向分别施加单向水平力进行静力弹塑性分析。

2 水平力可作用在各层楼盖的质心位置，可不考虑偶然偏心的影响。

3 结构的每个主轴方向宜采用不少于两种水平力沿高度分布模式，其中一种可与振型分解反应谱法得到的水平力沿高度分布模式相同。

4 采用能力谱法时，需求谱曲线可由现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的地震影响系数曲线得到，或由建筑场地的地震安全性评价提出的加速度反应谱曲线得到。

5.3.6 采用 PEC 剪力墙的结构采用弹塑性时程分析法进行罕遇地震作用下的计算，应符合下列规定：

1 一般情况下，可采用单向水平地震输入，在结构的各主轴方向分别输入地震加速度时程；对体型复杂或特别不规则的结构，宜采用双向水平地震或三向地震输入。

2 应按建筑场地类别和设计地震分组，选取实际地震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际地震记录的数量不应少于总数量的 2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法所采用的地震反应谱曲线在统计意义上相符。

3 地震波的持续时间不宜小于建筑结构基本自振周期的 5 倍和 15s，地震波的时间间距可取 0.01s 或 0.02s。

4 当取三组加速度时程曲线输入时，结构地震作用效应宜取时程法计算结构的包络值与振型分解反应谱法计算结果的较大值；当取七组及七组以上的时程曲线进行计算时，结构地震作用效应可取时程法计算结果的平均值与振型分解反应谱法计算结果的较大值。罕遇地震下输入地震加速度取值按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

6 PEC 剪力墙设计

6.1 承载力计算

6.1.1 PEC 剪力墙轴心受压截面承载力计算应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况，应按下式验算：

$$N \leq N_u \quad (6.1.1-1)$$

2 地震设计状况，应按下式验算：

$$N \leq N_u / \gamma_{RE} \quad (6.1.1-2)$$

$$N_u = f'_a A_a + f'_c A_c + f'_y A_s \quad (6.1.1-3)$$

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 ——剪力墙主钢件、混凝土、钢筋的截面面积（mm²）；

f'_a 、 f'_y ——钢材、钢筋抗压强度设计值（N/mm²）；

f'_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

γ_{RE} ——剪力墙轴压抗震承载力调整系数。

6.1.2 PEC 剪力墙轴心受压稳定性验算应符合下列公式的规定：

1 PEC 剪力墙墙肢应按下列公式进行稳定性验算：

$$N \leq \varphi \frac{\pi^2 EI}{(\beta l)^2} \quad (6.1.2-1)$$

$$\varphi = \frac{(1 + k_a)}{8}$$

$$EI = E_a I_a + E_c I_c \quad (6.1.2-2)$$

$$k_a = \frac{E_a I_a}{EI} \quad (6.1.2-3)$$

式中： N ——PEC 剪力墙轴向压力设计值（N）；

φ ——组合稳定系数，当 φ 大于 0.2 时取 $\varphi = 0.2$ ，当 φ 小于 0.14 时取 $\varphi = 0.14$ ；

k_a ——PEC 剪力墙主钢件抗弯刚度与截面抗弯刚度之比；

l ——PEC 剪力墙高度（mm）；

β ——PEC 墙肢计算长度系数，按附录 A 计算。

2 当 T 形、L 形剪力墙的翼缘截面高度或 T 形、L 形剪力墙的腹板截面高度与翼缘截面厚度之和小于截面厚度的 2 倍和 800mm 时，尚宜按下式验算剪力墙的整体稳定：

$$N \leq \frac{1.2EI}{l^2} \quad (6.1.2-4)$$

式中： EI ——PEC 剪力墙截面抗弯刚度，取两个方向的较小值。

6.1.3 PEC 剪力墙偏心受压正截面受压承载力，当符合本规程第 4.1.6 条截面分类 1、分类 2 的规定时，可采用弹塑性理论按下列规定计算：

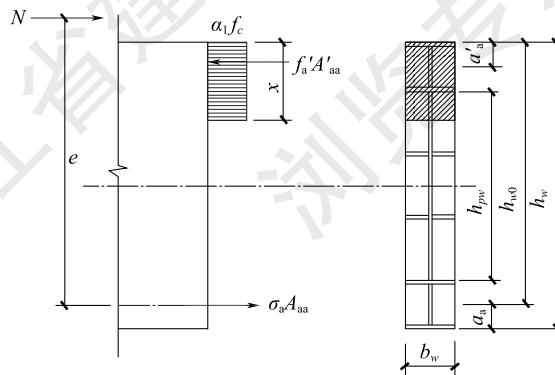


图 6.1.3 偏心受压 PEC 剪力墙正截面受压承载力计算参数示意图

1 承载力计算应符合下列基本假定：

(1) 截面应变保持平面；

(2) 不考虑混凝土的抗拉强度，不考虑肋板对承载力的作用；

(3) 受压边缘混凝土极限压应变 ε_{cu} 取 0.003，相应的最大压应力取混凝土轴心抗压强度设计值 f_c 乘以受压区混凝土压应力影响系数 α_1 ，当混凝土强度等级不超过 C50 时， α_1 取为 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时， α_1 取为 0.94，其间按线性内插法确定；受压区应力图简化为等效的矩形应力图，其高度取按平截面假定所确定的中和轴高度乘以受压区混凝土应力图形影响系数 β_1 ，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 取为 0.8，当混凝土强度等级为 C80 时， β_1 取为 0.74，其间按线性内插法确定；

(4) 型钢腹板的应力图形为拉压梯形应力图形；

(5) 型钢的应力等于型钢应变与其弹性模量的乘积，其绝对值不应大于其相应的强度设计值；型钢受拉翼缘的极限拉应变取 0.01。

2 持久、短暂设计状况，正截面受压承载力设计值应符合下列公式规定：

$$N \leq \alpha_L f_c b_w x + f'_a A'_{aa} - \sigma_a A_{aa} + N_{pw} \quad (6.1.3-1)$$

$$Ne \leq \alpha_L f_c b_w x \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_{aa} (h_{w0} - a'_a) + M_{pw} \quad (6.1.3-2)$$

3 地震设计状况，正截面受压承载力设计值应符合下列公式规定：

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [\alpha_L f_c b_w x + f'_a A'_{aa} - \sigma_a A_{aa} + N_{pw}] \quad (6.1.3-3)$$

$$Ne \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_L f_c b_w x \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_{aa} (h_{w0} - a'_a) + M_{pw} \right] \quad (6.1.3-4)$$

$$e = e_0 + h_w / 2 - a_a \quad (6.1.3-5)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.1.3-6)$$

4 N_{pw} 、 M_{pw} 应按下列公式计算：

(1) 当 $x \leq \beta_1 h_{w0}$ 时，

$$N_{pw} = \left(1 + \frac{x - \beta_1 h_{w0}}{0.5 \beta_1 h_{pw}} \right) f_p A_p \quad (6.1.3-7)$$

$$M_{pw} = \left[0.5 - \left(\frac{x - \beta_1 h_{w0}}{\beta_1 h_{pw}} \right)^2 \right] f_p A_p h_{pw} \quad (6.1.3-8)$$

(2) 当 $x > \beta_1 h_{w0}$ 时，

$$N_{pw} = f_p A_p \quad (6.1.3-9)$$

$$M_{pw} = 0.5 f_p A_p h_{pw} \quad (6.1.3-10)$$

5 受拉或受压较小边的端部型钢应力 σ_a 应按下列公式计算：

(1) 当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时，取 $\sigma_a = f_p$ ；

(2) 当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时，取

$$\sigma_a = \frac{f_a}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_{w0}} - \beta_1 \right) \quad (6.1.3-11)$$

(3) ξ_b 可按下式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_a}{\varepsilon_{cu} E_a}} \quad (6.1.3-12)$$

式中：
式中：
 N ——剪力墙轴向压力设计值 (N)；

M ——剪力墙弯矩设计值 (N·mm)；

e ——轴向力作用点到受拉型钢合力点的距离 (mm)；

e_i ——初始偏心距 (mm)；

a_a ——受拉端型钢合力点至截面受拉边缘的距离 (mm)；

a'_a ——受压端型钢合力点至截面受压边缘的距离 (mm)；

x ——受压区高度 (mm)；

α_1 ——受压区混凝土压应力影响系数；

A_{aa} 、 A'_{aa} ——剪力墙受拉端、受压端型钢截面面积 (mm^2)；

A_p ——剪力墙截面内配置的钢腹板的截面面积 (mm^2)；

f_p ——剪力墙截面内配置钢腹板的抗拉和抗压强度设计值

(N/mm²);

β_1 ——受压区混凝土应力图形影响系数;

N_{pw} ——剪力墙截面内配置的钢腹板所承担轴向力(N);

M_{pw} ——剪力墙截面内配置的钢腹板合力对受拉型钢截面重心的力矩(N);

h_{pw} ——剪力墙截面内配置的钢腹板配置高度(mm);

h_{w0} ——剪力墙截面有效高度(mm);

h_w ——剪力墙截面高度(mm);

b_w ——剪力墙截面厚度(mm)。

6.1.4 PEC 剪力墙偏心受拉正截面受拉承载力应符合下列公式的规定:

1 持久、短暂设计状况, 正截面受拉承载力设计值应符合下式规定:

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \quad (6.1.4-1)$$

2 地震设计状况, 正截面受拉承载力设计值应符合下式规定:

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \quad (6.1.4-2)$$

3 N_{0u} 、 M_{wu} 应按下列公式计算:

$$N_{0u} = f_a (A_{aa} + A'_{aa}) + f_p A_p \quad (6.1.4-3)$$

$$M_{wu} = f_a A_{aa} (h_{w0} - a'_a) + f_p A_p \left(\frac{h_{w0} - a'_a}{2} \right) \quad (6.1.4-4)$$

式中: N ——剪力墙轴向拉力设计值(N);

e_0 ——剪力墙轴向拉力对截面重心的偏心矩;

N_{0u} ——剪力墙轴向受拉承载力;

M_{wu} ——剪力墙受弯承载力。

6.1.5 L型截面 PEC 剪力墙的墙肢计算应按本规程第 6.1.3 条对剪力墙单侧墙肢按一字形截面分别计算。当墙肢截面高度与厚度之比不大于 4 时，墙肢应按高度为 h_a 、宽度为 b_w 的 PEC 柱进行承载力计算（图 6.1.5）。墙肢角部连接位置的约束边缘区腹板 t_{w1} 应考虑两个方向墙肢受力的叠加作用。

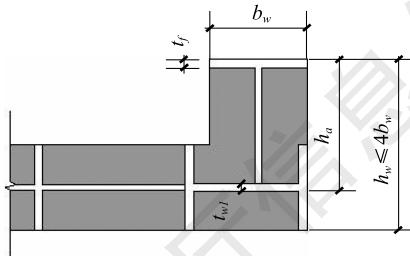


图 6.1.5 PEC 剪力墙 L 形连接

6.1.6 PEC 剪力墙的受剪截面应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况，受剪截面承载力设计值应符合下列公式规定：

$$V_{ew} \leq 0.25 \beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.6-1)$$

$$V_{ew} = V - \left(\frac{0.3}{\lambda} f_a A_{a1} + \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \right) \quad (6.1.6-2)$$

2 地震设计状况，截受剪截面承载力设计值应符合下列公式规定：

(1) 当剪跨比大于 2.5 时，

$$V_{ew} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.2 \beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.6-3)$$

(2) 当剪跨比不大于 2.5 时，

$$V_{ew} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.15 \beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.6-4)$$

(3) V_{ew} 应按下式进行计算：

$$V_{ew} = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{0.25}{\lambda} f_a A_{al} + \frac{0.5}{\lambda - 0.5} f_p A_p \right) \quad (6.1.6-5)$$

式中: V ——PEC 剪力墙的墙肢截面剪力设计值 (N);

V_{ew} ——仅考虑墙肢截面钢筋混凝土部分承受的剪力值,
即墙肢剪力设计值减去端部型钢和钢板承受的剪
力值 (N);

λ ——计算截面处的剪跨比, $\lambda = \frac{M}{Vh_{w0}}$: 当 $\lambda < 1.5$ 时, 取

$\lambda = 1.5$; 当 $\lambda > 2.2$ 时, 取 $\lambda = 2.2$; 当计算截面与墙
底之间的距离小于 $0.5h_{w0}$ 时, λ 应按距离墙底 0.5
 h_{w0} 处的弯矩值与剪力值计算;

A_{al} ——PEC 剪力墙边缘构件一端型钢的截面面积, 当两端
所配型钢截面面积不同时, 取较小一端的面积
(mm^2);

β_c ——混凝土强度影响系数, 当混凝土强度等级不超过
C50 时, 取 $\beta_c = 1.0$; 当混凝土强度等级为 C80 时,
取为 $\beta_c = 0.8$; 其间按线性内插法确定。

6.1.7 偏心受压 PEC 剪力墙斜截面受剪承载力应符合下列
规定:

1 持久、短暂设计状况, 斜截面受剪承载力设计值应符合
下式规定:

$$V \leq \frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.5 f_t b_w h_{w0} + 0.13 N \frac{A_w}{A} \right) + \frac{0.3}{\lambda} f_a A_{al} + \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \quad (6.1.7-1)$$

2 地震设计状况, 斜截面受剪承载力设计值应符合下式
规定:

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.4 f_t b_w h_{w0} + 0.1 N \frac{A_w}{A} \right) + \frac{0.25}{\lambda} f_a A_{al} + \frac{0.5}{\lambda - 0.5} f_p A_p \right] \quad (6.1.7-2)$$

式中： N ——PEC 剪力墙的轴向压力设计值（N），当 $N > 0.2f_c b_w h_w$ 时，取 $0.2f_c b_w h_w$ ；

A ——PEC 剪力墙截面面积 (mm^2)；

A_w ——剪力墙腹板的截面面积 (mm^2)，对矩形截面剪力墙应取 $A_w = A$ 。

6.1.8 抗震设计时，采用 PEC 剪力墙的结构底部加强部位的范围，应符合下列规定：

1 底部加强部位的高度，应从地下室顶板算起。

2 房屋高度大于 24m 时，底部加强部位的高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值；房屋高度不大于 24m 时，底部加强部位可取底部一层。

3 当结构计算嵌固端位于地下一层的底板或以下时，底部加强部位尚宜向下延伸到计算嵌固端。

6.1.9 抗震设计的双肢 PEC 剪力墙，其墙肢不宜出现小偏心受拉，当任一墙肢为偏心受拉时，另一墙肢的弯矩设计值及剪力设计值应乘以增大系数 1.25。

6.1.10 采用的 PEC 剪力墙的结构，抗震等级为一级时，底部加强部位以上墙肢的组合弯矩设计值和组合剪力设计值应乘以增大系数，弯矩增大系数可取为 1.2，剪力增大系数可取为 1.3。

6.1.11 采用的 PEC 剪力墙的结构，底部加强部位的 PEC 剪力墙截面剪力设计值，抗震等级为一、二、三级时应按下式调整，抗震等级为四级时可不调整。

$$V = \eta_{vw} V_w \quad (6.1.11)$$

式中： V ——底部加强部位 PEC 剪力墙截面剪力设计值（N）；

V_w ——底部加强部位 PEC 剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值（N）；

η_{vw} ——剪力增大系数，一级取 1.6，二级取 1.4，三级取 1.2。

6.1.12 考虑地震作用的 PEC 剪力墙，其重力荷载代表值作用下墙肢的轴压比应按下式计算，且不宜超过表 6.1.12 的限值。

$$n = \frac{N}{f_c A_e + f_a A_{a2} + f_p A_p} \quad (6.1.12)$$

式中： n ——PEC 剪力墙轴压比；

N ——墙肢重力荷载代表值作用下轴向压力设计值（N）；

A_{a2} ——剪力墙边缘构件中全部型钢截面面积（mm²）；

A_p ——剪力墙截面内配置的钢腹板截面面积（mm²）。

表 6.1.12 PEC 剪力墙轴压比限值

抗震等级	一级	二、三级	四级
轴压比限值	0.55	0.6	0.8

6.2 构造要求

6.2.1 PEC 剪力墙主钢件可采用一个或多个 H 型钢与钢板焊接而成，也可全部采用钢板焊接，钢板之间的连接焊缝应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 有关承载力及构造规定。

6.2.2 PEC 剪力墙的截面尺寸和主钢件厚度应符合下列规定：

1 墙体厚度不应小于层高以及无支长度的 1/30。L 形、T 形、工字形墙体厚度不应小于 150mm，一字形墙体厚度不应小于 170mm。

2 边缘构件翼缘钢板的厚度不宜小于 8mm，边缘构件腹板和墙身腹板的厚度不宜小于 6mm，纵向加劲肋的厚度不宜小于 5mm 和墙身腹板厚度 3/4 倍两者的较大值。

3 L 形、T 形 PEC 剪力墙长肢的截面高度与墙体厚度之比的最小值应大于 4。

4 PEC 剪力墙的墙肢可采用端柱或翼墙作为其平面外的支

承边。端柱边长不小于墙肢厚度的 2 倍，翼墙长度不应小于其厚度的 3 倍（图 6.2.2）。

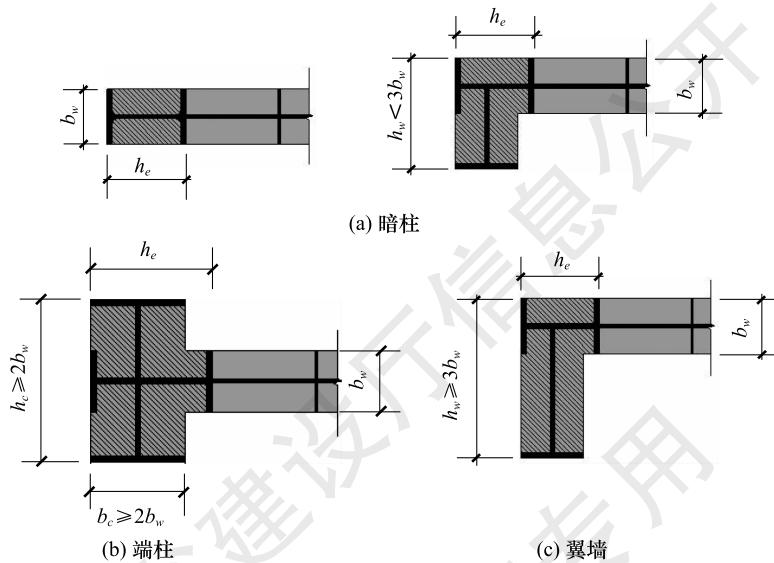


图 6.2.2 PEC 剪力墙的暗柱、端柱和翼墙

6.2.3 一、二、三级抗震等级的 PEC 剪力墙墙肢底截面在重力荷载代表值作用下轴压比大于表 6.2.3 的规定值时，以及部分框支剪力墙结构的剪力墙，其底部加强部位及其上一层墙肢端部应设置约束边缘构件。墙肢截面轴压比不大于表 6.2.3 的规定时，可设置构造边缘构件。

表 6.2.3 PEC 剪力墙可不设约束边缘构件的轴压比限值

抗震等级	一级	二、三级
轴压比限值	0.20	0.30

6.2.4 PEC 剪力墙端部约束边缘构件可为暗柱、端柱和翼墙(图 6.2.2)，并应符合下列规定：

1 约束边缘构件范围按图中阴影区取用(图 6.2.2)，长度 h_e 应符合表 6.2.4 的要求。

2 约束边缘构件范围内的主钢件翼缘应通过连杆连接，最小连杆钢筋直径间距应符合表 6.2.4 的要求。

3 约束边缘构件的配箍特征值 λ_v 应符合表 6.2.4 的要求，其体积配箍率 ρ_v 应按下式计算：

$$\rho_v \geq 0.60 \lambda_v \frac{f_c}{f_{yv}} \quad (6.2.4)$$

式中： ρ_v ——体积配箍率，计入连杆、拉筋的面积；

λ_v ——约束边缘构件配箍特征值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；混凝土强度等级低于 C35 时，应取 C35 的混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)；

f_{yv} ——连杆、拉筋的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

表 6.2.4 PEC 剪力墙约束边缘构件构造要求

抗震等级	一级(6、7、8 度)		二、三级	
轴压比	$n \leq 0.3$	$n > 0.3$	$n \leq 0.4$	$n > 0.4$
h_e (暗柱最小尺寸) mm	0.12 h_w	0.15 h_w	0.12 h_w	0.15 h_w
h_e (翼墙或端柱) mm	0.10 h_w	0.12 h_w	0.10 h_w	0.12 h_w
d_{min} (最小连杆钢筋直径) mm	10	10	8	10
连杆最大间距 mm	100	100	150	150
竖向钢筋最小直径 mm	16	16	14	14

续表 6.2.4

阴影区端柱翼缘最小厚度 mm	11	11	9	9
λ_v	0.12	0.2	0.12	0.2

- 注：1 两侧翼墙长度小于其厚度 3 倍时，视为无翼墙剪力墙；
 2 约束边缘构件沿墙肢长度除符合表 6.2.4 的规定外，且不宜小于墙厚和 200mm 的较大值；
 3 h_w 为墙肢长度。

6.2.5 PEC 剪力墙构造边缘构件范围按图所示取用（图 6.2.2）， h_e 不宜小于 200mm，其构造要求应满足表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 PEC 剪力墙构造边缘构件构造要求

抗震等级	底部加强部位			
	竖向钢筋最小直径 (mm)	连杆最小直径 (mm)	连杆最大间距 (mm)	端柱翼缘最小厚度 (mm)
一级	16	10	100	11
二级	14	8	150	9
三级	12	8	150	9
四级	12	8	150	8
抗震等级	其他部位			
	竖向钢筋最小直径 (mm)	连杆最小直径 (mm)	连杆最大间距 (mm)	端柱翼缘最小厚度 (mm)
一级	14	8	150	9
二级	12	8	200	8
三级	12	8	200	8
四级	12	8	200	8

6.2.6 PEC 剪力墙连杆可采用钢筋连杆或钢板连杆。钢筋连杆形式可采用 I 型或 C 型（图 6.2.6）。

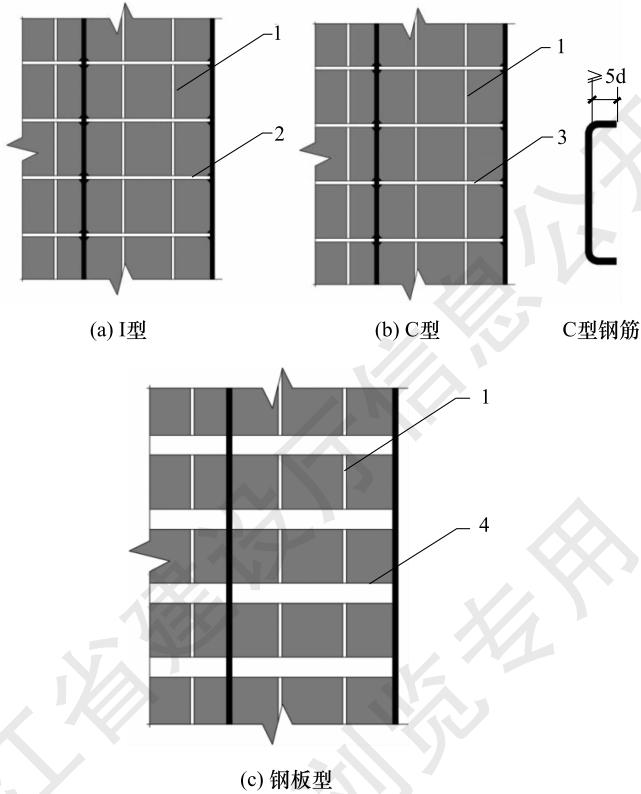


图 6.2.6 连杆形式示意

1—纵筋；2—I形连杆；3—C型连杆；4—钢板连杆

6.2.7 PEC 剪力墙中钢筋应符合下列规定：

- 1 纵向钢筋间距不宜大于 300mm，直径不应小于 8mm。
- 2 钢筋连杆间距不宜大于 300mm，且不宜小于 70mm，直径不应小于 8mm。
- 3 C 型钢筋连杆水平长度不应小于 5d，d 为连杆直径。
- 4 混凝土保护层厚度不应小于 15mm。

6.2.8 PEC 剪力墙中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宜小于 20mm。

6.2.9 PEC 剪力墙连杆的设置尚应符合下列要求：

1 边缘构件范围外的连杆间距均不宜大于边缘构件连杆间距的 2 倍。

2 边缘构件范围内垂直于主钢件翼缘平面的单根连杆面积应符合下式规定：

$$A_1 \geq 0.005 b_w t_f \frac{f_{ay}}{f_{ly}} \quad (6.2.9-1)$$

式中： A_1 ——单根连杆面积（ mm^2 ）；

t_f ——连杆拉结的主钢件翼缘厚度（ mm ）；

b_w ——PEC 剪力墙截面宽度（ mm ）；

f_{ay} 、 f_{ly} ——主钢件翼缘钢材和连杆钢材的屈服强度（ N/mm^2 ）。

3 按本条第 2 款要求设置的连杆，其与主钢件连接的角焊缝承载力设计值应符合下式规定：

$$N_{LW} \geq 0.7 A_L f_y \quad (6.2.9-2)$$

式中： N_{LW} ——连杆角焊缝承载力设计值（ N ）。

6.2.10 PEC 剪力墙主钢件截面面积与纵向钢筋截面面积之和不宜超过全截面面积的 20%，主钢件截面面积不应小于全截面面积的 6%，纵向钢筋配筋率不宜超过全截面面积的 4%。

6.2.11 PEC 剪力墙中抗剪栓钉应符合下列规定：

1 边缘构件腹板栓钉直径宜采用 16mm，墙身腹板栓钉直径宜采用 13mm，长度不宜小于 4 倍栓钉直径，水平和竖向间距不宜小于 6 倍栓钉直径且不宜大于 500mm；当 PEC 剪力墙轴压比 >0.3 时，栓钉间距不宜大于 300mm。

2 当 PEC 剪力墙中 h_{w1} 和 h_{w2} 不大于 300mm 时，该区格腹板内可不设置栓钉。

3 栓钉顶面的混凝土保护层厚度不宜小于 15mm。

6.2.12 PEC 剪力墙中 h_{w1} 和 h_{w2} 大于 600mm 时，应在腹板两侧的纵筋之间设置拉筋，拉筋间距不应大于 600mm，直径不应小于 6mm。拉筋应贯穿腹板或与腹板有可靠连接。

6.2.13 PEC 剪力墙中钢筋连接应符合下列要求：

1 纵向钢筋的连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接，应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 和《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的相关规定。

2 小偏心受拉构件和边缘构件中的纵向受力钢筋不得采用绑扎搭接。

3 PEC 剪力墙拼接处纵向钢筋的接头面积百分率可不受限制。

6.2.14 PEC 剪力墙主钢件焊缝的坡口形式和尺寸应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1 和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2 的有关规定。

6.2.15 与 PEC 剪力墙连接的钢梁，当满足下列公式的要求时，为剪切屈服型连梁，并应符合下列规定：

$$2.6 M_p / l_n \geq 0.58 A_w f_y \quad (6.2.15-1)$$

$$M_p = W_p f \quad (6.2.15-2)$$

式中： A_w ——钢梁的腹板截面面积 (mm^2)；

M_p ——钢梁的全塑性受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

l_n ——钢梁的净跨 (mm)；

W_p ——钢梁的塑性截面模量 (mm^3)。

1 地震作用效应计算时，可对剪切屈服型钢连梁刚度进行折减，6、7 度抗震设防区的折减系数不宜小于 0.7；8 度抗震设防区的折减系数不宜小于 0.6。

2 剪切屈服型钢连梁的钢材屈服强度不应大于 355MPa，屈强比不应大于 0.8，且屈服强度波动范围不应大于 100MPa。

3 钢连梁板件的宽厚比应满足 6.2.15 的规定：

表 6.2.15 剪切屈服型钢连梁的板件宽厚比限值

板件名称	最大宽厚比
翼缘外伸部分	8
腹板	90

注：表中数值适用于 Q235，采用其他牌号钢材时，应乘以 ε_k 。

4 连梁的抗震等级与相连的 PEC 剪力墙相同。

5 剪切屈服型钢连梁的腹板不得贴焊补强板。

6 剪切屈服型钢连梁应按下列原则设置中间加劲肋：

(1) 当 $1.6 M_p / l_n \geq 0.58 A_w f_y$ 时，加劲肋间距不大于 $(30t_{wb} - h_b/5)$ ， t_{wb} 为钢梁腹板厚度， h_b 为钢梁高度。

(2) 当 $2.6 M_p / l_n \geq 0.58 A_w f_y > 1.6 M_p / l_n$ 时，加劲肋间距不大于 $(30t_{wb} - h_b/5) + 22t_{wb} (0.58 A_w f_y l_n / M_p - 1.6)$ 。

(3) 中间加劲肋应与梁腹板等高。当 $h_b \leq 640\text{mm}$ 时，可配置单侧加劲肋；当 $h_b > 640\text{mm}$ 时，应在两侧配置加劲肋。加劲肋厚度不应小于 t_{wb} 和 10mm ，一侧加劲肋的宽度不应小于 $(0.5b_f - t_{wb})$ ， b_f 为钢梁翼缘宽度。

6.2.16 与 PEC 剪力墙连接的 PEC 梁，当满足公式 (6.2.15-1) 的要求时，为剪切屈服型连梁，公式中的 M_p 应按浙江省现行标准《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》DBJ33/T 1290 中的 PEC 梁截面受弯承载力公式进行计算，式中材料强度设计值替换为标准值。剪切屈服型 PEC 连梁应符合 6.2.15 条第 1、2、4、5 款的规定，且截面类型不应低于 2 类，连杆应全长加密。

7 连接与节点设计

7.1 一般规定

7.1.1 PEC 剪力墙主钢件的连接节点应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

7.1.2 PEC 剪力墙的连接节点应根据结构的重要性、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。主钢件之间的节点连接宜采用栓焊混合连接、全螺栓连接或焊接连接。

7.1.3 PEC 剪力墙的连接节点应满足承载能力极限状态要求，保证其强度和刚度。

7.1.4 PEC 剪力墙的节点构造应符合结构计算假定，传力可靠，减小应力集中。当构件在节点处偏心相交时，尚应计入局部弯矩的影响。

7.1.5 梁与 PEC 剪力墙节点区墙段部位墙的纵向受力钢筋应连续，墙拼接部位应采用提高一级强度等级的后浇筑材料进行浇筑。

7.1.6 PEC 梁与 PEC 剪力墙刚接连接时，应符合下列规定：

1 当节点区采用后浇筑材料进行浇筑时，应采用不低于同梁强度等级的后浇材料进行浇筑。

2 当节点区不采用后浇筑材料进行浇筑时，应符合本规程第 7.3.2 条的相关要求，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 和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

7.1.7 构造复杂的重要节点应通过有限元分析确定其承载力，并宜进行试验验证。

7.1.8 节点构造应便于制作、运输、安装和维护，并应采取可靠的防腐与防火措施。

7.1.9 高层建筑的钢梁或 PEC 梁与 PEC 剪力墙刚性连接时，梁翼缘与 PEC 剪力墙主钢骨的连接、PEC 剪力墙的拼接以及悬臂构件等重要受拉构件的拼接，均应采用一级全熔透焊缝，其他全熔透焊缝为二级。非熔透的角焊缝和部分熔透的对接与角接组合焊缝的外观质量标准应为二级。现场一级焊缝宜采用气体保护焊。

7.2 墙与墙拼接连接

7.2.1 PEC 剪力墙可分段制作，分段拼接位置距下层框架梁顶面上方距离可取 1.3m 和墙净高一半的较小值。

7.2.2 PEC 剪力墙拼接接头可采用主钢件栓焊混合连接或全焊接连接（图 7.2.2），并应符合下列规定：

1 边缘构件焊接连接时，应采用全熔透的坡口对接焊缝，墙身腹板可采用高强螺栓连接或全熔透坡口对接焊缝。

2 墙与墙拼接缝两侧的纵向钢筋可采用机械连接或焊接连接。当采用搭接焊接时，单面焊接长度不小于 $10d$ ，双面焊接长度不小于 $5d$ ， d 为纵向钢筋直径。

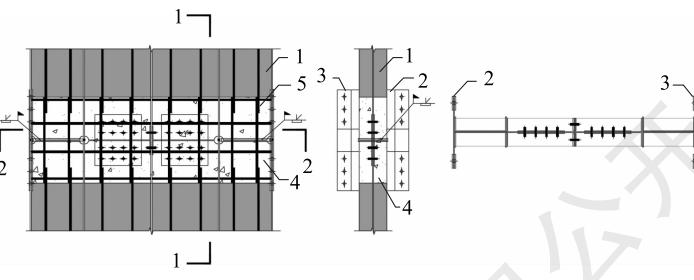
3 墙拼接接头区域应采用提高一级强度等级的后浇筑材料包覆主钢件。

7.2.3 拼接连接的承载力设计值不应小于 PEC 剪力墙的截面承载力设计值。

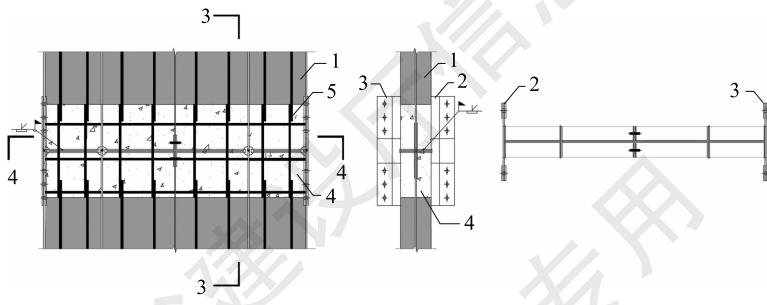
7.2.4 不同壁厚主钢件焊接连接：

1 当型钢钢板厚度在一侧相差不大于 4mm 时，可按图所示的方式焊接（图 7.2.4-1），垫板厚度不宜小于 5mm。

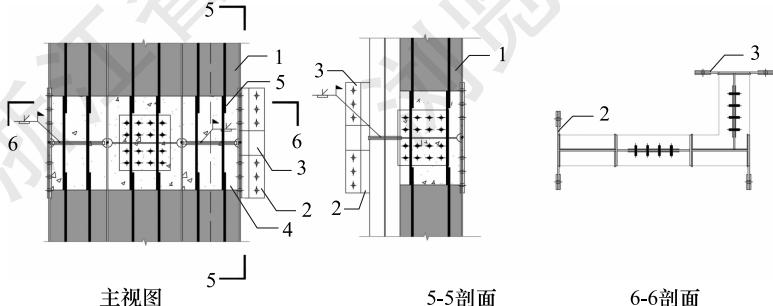
2 当钢板的宽度不同或厚度在一侧相差 4mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于 1:2.5 的斜角（图 7.2.4-2），当厚度不同时，对接焊缝剖口形式，宜根据板厚和施工条件按有关现行国家标准的要求选用。



(a) 一字形栓焊连接



(b) 一字形全焊连接



(c) L形栓焊连接

图 7.2.2 PEC 剪力墙拼接连接示意

1—预制包覆混凝土；2—耳板；3—连接板；4—后浇混凝土；5—纵筋焊接连接

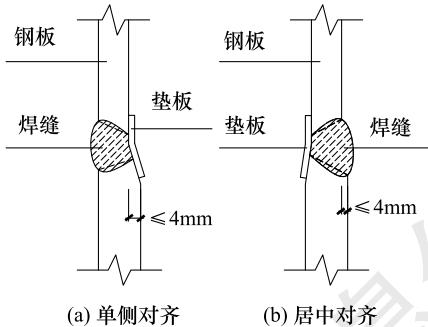


图 7.2.4-1 不同壁厚钢板的焊接

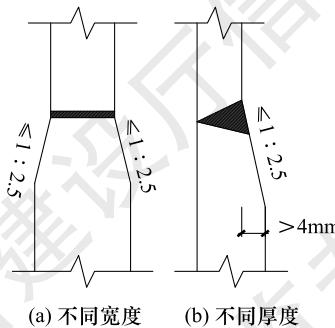


图 7.2.4-2 不同宽度或厚度钢板的拼接

7.3 墙与梁连接节点

7.3.1 PEC 剪力墙与钢梁或 PEC 梁的连接宜采用 PEC 剪力墙的主钢件贯通型，连接可采用刚接节点（图 7.3.1-1）或铰接节点（图 7.3.1-2），并应符合下列规定：

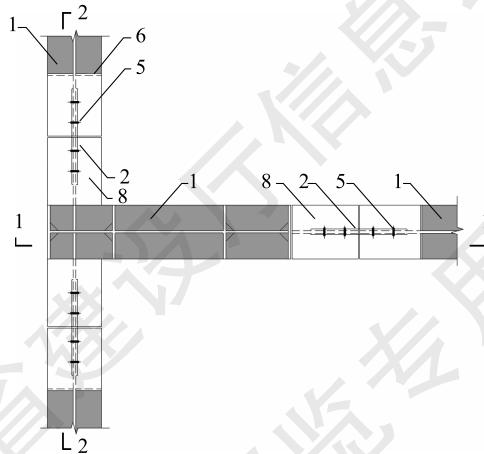
- 1** 梁与剪力墙的刚接应在剪力墙的主钢件相应区格内设置水平向横隔板，横隔板数量不宜少于 2 块。
- 2** 梁与剪力墙的平面外铰接应在剪力墙的主钢件相应区格内设置水平向横隔板，横隔板数量不宜少于 2 块。
- 3** 铰接节点宜将梁主钢件的腹板与剪力墙的主钢件连接；

刚接节点应使梁主钢件的翼缘和腹板均与剪力墙的主钢件连接。

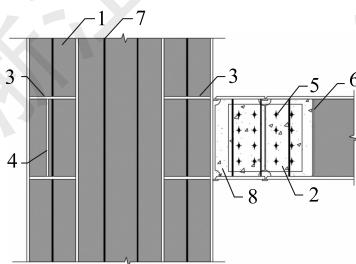
4 刚接节点采用剪力墙边伸出钢悬臂梁段时，悬臂梁段和剪力墙的主钢件应采用全熔透焊缝连接，悬臂梁段和梁连接应满足相关规范的要求。

5 剪力墙的纵筋在节点区应连续布置；梁内主钢件腹板范围的纵筋在梁端宜有可靠措施锚固在梁端板或梁端部附近的钢档板上。

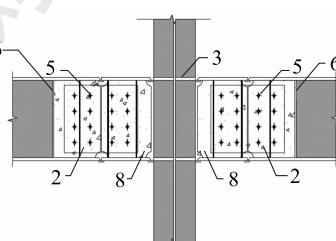
6 一字形剪力墙不宜与梁进行单侧面外刚接。



(a) 节点平面图



(b) 强轴剖面1-1

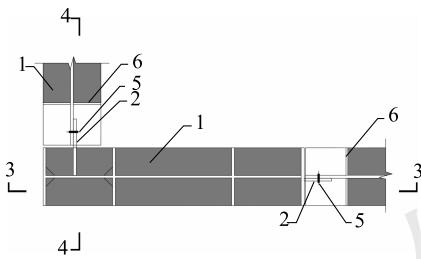


(c) 弱轴剖面2-2

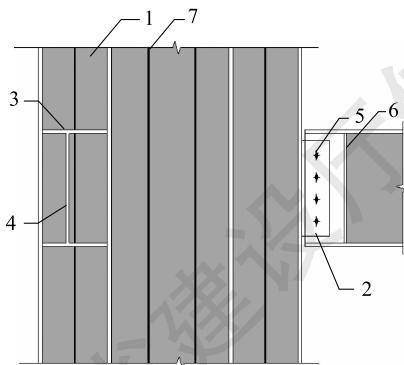
图 7.3.1-1 梁墙刚接节点

1—预制包覆混凝土；2—连接板；3—横向加劲板；4—竖向加劲板；

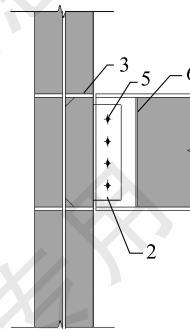
5—高强度螺栓；6—挡板；7—纵向钢筋；8—后浇混凝土



(a) 节点平面图



(b) 强轴剖面3-3



(c) 弱轴剖面4-4

图 7.3.1-2 梁墙铰接节点

1—预制包覆混凝土；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

7.3.2 PEC 剪力墙与 PEC 梁刚接节点也可采用梁端连接区域免浇筑的连接方式（图 7.3.2），连接范围梁翼缘采用盖板式连接，连接处钢梁的抗弯刚度不小于 PEC 梁的抗弯刚度，连接承载力设计值不应小于构件的承载力设计值，连接的极限承载力应大于构件的屈服承载力，且符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 中梁柱连接的相关要求。

7.3.3 PEC 剪力墙与钢梁或 PEC 梁铰接节点的强度计算应符合下列规定：

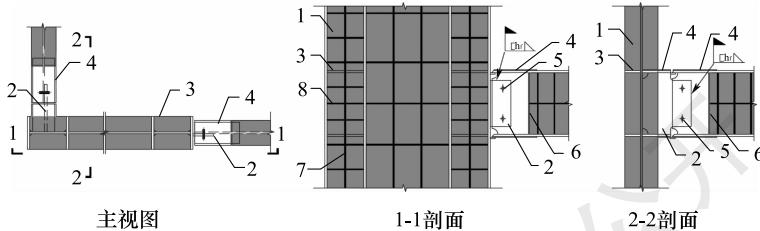


图 7.3.2 梁墙免浇筑刚接节点

1—预制包覆混凝土；2—连接板；3—横向加劲板；4—翼缘盖板；
5—安装螺栓；6—挡板；7—纵向钢筋；8—横向钢筋

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

$$M_j = V_b a \quad (7.3.3)$$

式中： M_j ——墙梁连接的弯矩设计值（N·mm）；

V_b ——梁端部剪力设计值（N）；

a ——连接板的合力中心到剪力墙主钢件侧边的水平距离（mm）。

2 当采用现浇混凝土楼板将 PEC 剪力墙与梁连成整体时，可不计算该弯矩的影响。

3 连接强度计算应包括螺栓群强度、连接板与 PEC 剪力墙主钢件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 有关规定。

7.3.4 PEC 剪力墙与钢梁或 PEC 梁刚接节点承载力设计应包括受弯承载力计算和受剪承载力计算。

7.3.5 梁墙刚接节点采用全焊连接时，节点受弯承载力设计值由梁主钢件翼缘和腹板与剪力墙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剪力墙主钢件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。

7.3.6 梁墙刚接节点采用栓焊连接时，节点受弯承载力设计值由梁主钢件翼缘与剪力墙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剪力墙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。

7.3.7 考虑地震作用时，梁墙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《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

2 梁墙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。

7.3.8 采用全焊连接或栓焊混合连接的梁墙刚接节点，PEC 剪力墙主钢件对应于梁主钢件翼缘部位应设置横向加劲肋，应符合下列规定：

1 横向加劲肋的厚度不宜小于梁主钢件翼缘厚度加 2mm，其钢材强度不得低于梁翼缘的钢材强度，总宽度不宜小于梁主钢件翼缘的宽度。

2 按非支承边计算的横向加劲肋宽厚比不应超过 $15\varepsilon_k$ ，横向加劲肋外侧宜与梁主钢件翼缘外侧对齐，并以对接焊缝与剪力墙主钢件翼缘连接。

3 当梁主钢件与剪力墙主钢件非翼缘侧连接，即梁轴与剪力墙主钢件腹板平面垂直时，横向加劲肋与剪力墙主钢件腹板的连接宜采用焊透对接焊缝。

7.3.9 钢梁或 PEC 梁与 PEC 剪力墙的刚接连接构造应符合下列规定：

1 梁翼缘与剪力墙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，其夏比冲击韧性在-20℃时不低于27J。

2 梁腹板与剪力墙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剪力墙主钢件翼缘间的全焊透坡口焊缝完全隔开。

3 梁腹板连接板与剪力墙主钢件的焊接，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。

7.3.10 梁墙采用刚性节点时，在梁主钢件翼缘上、下各600mm的范围内，PEC剪力墙主钢件翼缘与边缘构件腹板、墙身腹板间的连接焊缝应采用全熔透坡口焊缝。

7.3.11 与梁连接的剪力墙主钢件在连接区格以外的其他区格内，对应梁上下翼缘的位置，应设置钢筋连杆，钢筋连杆直径不应小于14mm。

7.4 墙脚连接节点

7.4.1 PEC剪力墙的墙脚抗震设计的连接系数可按表7.4.1取值。

表7.4.1 墙脚抗震设计的连接系数

嵌固端以下地下室层数	6度、7度(0.10g)	8度(0.20g)
无	1.2	1.2
一层	1.0	1.0
二层及以上	1.0	1.0

7.4.2 当墙脚位于上部结构计算嵌固端以下至少一层时，可采用外包式墙脚节点（图7.4.2）。设计时轴力、弯矩、剪力取柱底部的相应内力设计值。承载力计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的相关规定。其构造尚应符合

下列规定：

1 墙脚以上一层整层外包现浇混凝土。外包层内纵向受力钢筋在基础内的锚固长度应根据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定确定，纵筋上部应锚入上一层混凝土梁板内或采用弯钩自锚，弯钩投影长度不应小于 $15d$ 。

2 外包层中应配置箍筋，箍筋的直径、间距和配箍率应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中钢筋混凝土剪力墙的要求。

3 平行于主钢件翼缘外侧外包混凝土厚度不宜小于 150mm ，垂直于翼缘外侧外包混凝土厚度不宜小于 100mm 。

4 外包部分的主钢件翼缘表面宜设置栓钉。

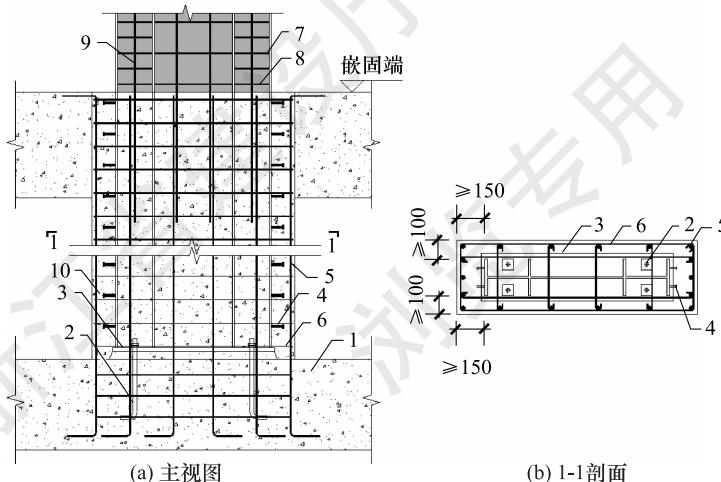


图 7.4.2 外包式墙脚节点构造示意图

1—基础；2—锚栓；3—底板；4—栓钉；5—纵筋；6—箍筋、拉筋；7—PEC 剪力墙；
8—PEC 剪力墙连杆；9—PEC 剪力墙纵筋；10—现浇外包混凝土

7.4.3 有地下室且墙脚位于上部结构计算嵌固端以下至少一层时或无地下室且墙脚位于基础顶时，可采用埋入式墙脚节点

(图 7.4.3)，边缘构件范围内的主钢件下插至钢筋混凝土构件中。设计尚应符合下列规定：

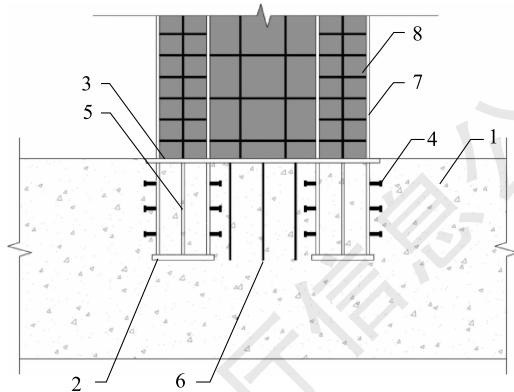


图 7.4.3 埋入式柱脚节点构造示意图

1—基础；2—锚板；3—底板；4—栓钉；5—加劲肋；6—锚筋；
7—PEC 剪力墙；8—部分包覆混凝土

1 墙脚底板及边缘构件锚板下混凝土的局部受压承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定进行验算。

2 墙脚底板厚度 (t) 不应小于 25mm 和锚筋直径，且应符合下式规定：

$$t \geq \sqrt{\frac{6M_{imax}}{f}} \quad (7.4.3-1)$$

式中： M_{imax} ——底板的弯矩设计值 ($N \cdot mm$)，根据底板的支撑情况计算所得的最大弯矩。

3 在轴力和弯矩作用下墙脚弯矩设计值应符合下式规定：

$$M \leq M_l \quad (7.4.3-2)$$

式中： M ——墙脚弯矩设计值 ($N \cdot mm$)；

M_l ——在轴力和弯矩作用下按型钢混凝土压弯构件截面设

计方法计算的墙脚受弯承载力 (N · mm)。设截面为底板面积,由受压区边缘构件范围的主钢件(含加劲肋)及基础混凝土承受压力,受拉区边缘构件范围的主钢件(含加劲肋)和锚筋承受拉力,主钢件、锚筋和混凝土的强度均取设计值。

4 抗震设计时,墙体可能出现塑性铰的墙脚极限受弯承载力应大于墙体的全截面塑性受弯承载力,并应符合下列公式规定:

$$M_u \geq \eta_j M_{pc} \quad (7.4.3-3)$$

$$\text{当 } N/N_y \leq 0.13 \text{ 时} \quad M_{pc} = M_p \quad (7.4.3-4)$$

$$\text{当 } N/N_y > 0.13 \text{ 时} \quad M_{pc} = 1.15 (1 - N/N_y) M_p \quad (7.4.3-5)$$

式中: M_{pc} ——考虑轴力时墙体的全截面塑性受弯承载力 (N · mm);

M_u ——墙脚的极限受弯承载力 (N · mm),按本条第3款中计算 M_i 的方法计算,但主钢件、锚筋和混凝土的强度均取标准值;

M_p ——全截面塑性受弯承载力 (N · mm),应取材料的标准值;

η_j ——连接系数,按本规程第7.4.1条的规定采用;

N ——构件轴力设计值 (N);

N_y ——构件的轴向屈服承载力 (N)。

5 墙体底部的剪力可由底板与混凝土之间的摩擦力传递,摩擦系数可取0.4;当剪力大于摩擦力时,应在底板下设置抗剪键传递剪力。

6 应对PEC剪力墙底板的混凝土进行抗冲切验算。

7 边缘构件埋置深度由边缘构件对基础产生的向上冲切验算决定;边缘构件锚板以下基础厚度由边缘构件对基础产生的向下冲切验算决定。

8 构造应符合下列规定:

- (1) 边缘构件主钢件的埋置深度不小于边缘构件高度的 3.0 倍；当墙脚存在受拉工况时，埋置深度不小于边缘构件高度的 4.0 倍。
- (2) 锚筋宜采用 HRB400 钢筋，锚筋布置及锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定；
- (3) 边缘构件主钢件的埋置深度范围应设置栓钉，栓钉直径不宜小于 19mm，水平和竖向间距不宜大于 200mm，边距不宜小于 50mm 且不宜大于 100mm；
- (4) PEC 剪力墙宜在工厂将下插的边缘构件主钢件与上部构件整体加工制作完成，现场安装。

7.5 墙与楼板连接节点

7.5.1 楼板与 PEC 剪力墙的连接宜采用刚性连接的方式（图 7.5.1-1、图 7.5.1-2），并应符合下列规定：

- 1 楼板钢筋应锚入墙体内部，并具有足够锚固长度。
- 2 楼板与墙体连接部位应具有足够的抗剪承载力。
- 3 应满足楼板舒适度要求。

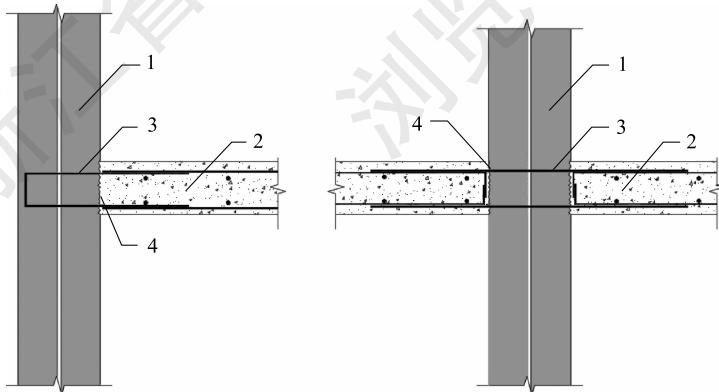


图 7.5.1-1 PEC 剪力墙与现浇楼板连接示意图

1—预制包覆混凝土；2—现浇楼板；3—连接钢筋；4—拉毛处理，凹凸不小于 6mm

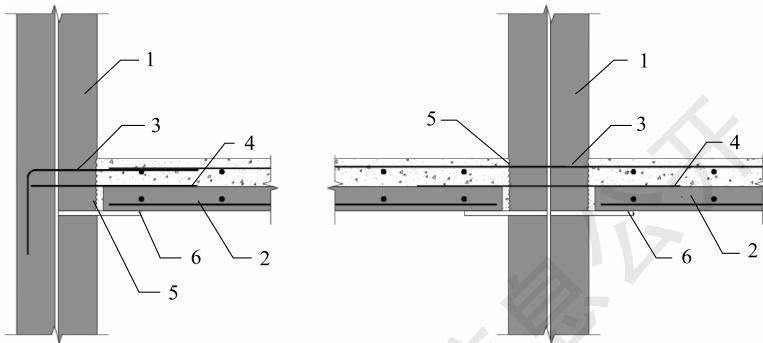


图 7.5.1-2 PEC 剪力墙与叠合楼板连接示意图

1—预制包覆混凝土；2—预制楼板；3—连接钢筋；4—附加钢筋；
5—拉毛处理，凹凸不小于6mm；6—水平加劲板

7.5.2 楼板和 PEC 剪力墙的连接钢筋宜采用剪力墙主钢件腹板穿孔或与主钢件腹板焊接的方式，也可采用从墙体外伸搭筋板方式连接。

7.5.3 楼板钢筋的锚固长度应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中的有关规定。两边均有楼板的 PEC 剪力墙，楼板支座负筋宜直接穿过主钢件腹板；仅一侧有楼板的 PEC 剪力墙，楼板支座负筋宜与主钢件腹板焊接或贯穿主钢件腹板锚固。

7.6 非结构构件与墙连接节点

7.6.1 采用 PEC 剪力墙的建筑，外围护系统应采取防水、防结露、防冷桥处理措施。

7.6.2 采用 PEC 剪力墙的建筑，外围护系统采用整体式外墙板时，与主体结构的连接应符合下列规定：

- 1 连接节点在保证主体结构整体受力的前提下，应牢固可靠、受力明确、传力简捷、构造合理。
- 2 连接节点应具有足够的承载力。承载能力极限状态下，

连接节点不应发生破坏；当单个连接节点失效时，外墙板不应掉落。

3 连接部位采用柔性连接方式时，连接节点应具有适应主体结构变形的能力。

4 节点设计应便于工厂加工、现场安装。

5 连接件的耐久性应满足使用年限要求。

7.6.3 内隔墙与 PEC 剪力墙间应有可靠连接构造，适应结构及温度变形的要求。

7.6.4 设备与管线宜采用与主体结构分离方式，当无法分离，需 PEC 剪力墙预留孔洞时，应符合下列规定：

1 管线应统筹布置，合理选型、准确定位，并减少预留孔洞数量。

2 孔洞应预留并满足结构安全要求，不得在结构构件安装后开槽、钻孔、打洞。

3 管线与预留孔洞之间应留有空隙，并在空隙处填充柔性材料。

4 管道应设置支架固定，并有防颤减振措施。

7.6.5 PEC 剪力墙可在主钢件腹板区格中间 $1/3$ 范围内开设圆形孔，孔直径不大于腹板区格宽度的 $1/3$ ，且孔边缘距主钢件翼缘或纵向加劲板的距离不得小于 15mm 。孔周边可采用套管或外贴钢板等措施予以补强，补强后的截面承载力不应低于未开洞截面的承载力，套管的壁厚应大于钢板厚度 2mm 以上。

8 防护设计

8.1 防火设计

8.1.1 PEC 剪力墙的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级和构件类别，按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的相关规定确定。PEC 剪力墙的耐火极限宜按承重墙的相关要求确定。

8.1.2 PEC 剪力墙的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。当构件的耐火性能不满足设计耐火极限要求时，应采取防火保护措施。

8.1.3 结构的防火保护措施及构造应根据工程实际，结合建筑用途、火灾类型、结构类型、设计耐火极限和使用环境等因素，按照安全可靠、经济合理的原则确定，并应符合下列规定：

- 1** 施工时不产生对人体有害的粉尘或气体。
- 2** 施工方便且不影响前续已完工的部分和后续施工的部分。
- 3** 火灾下不发生结构性破坏与失效，能够适应被保护构件在火灾下的变形。

4 具有良好的耐久、耐火性能。

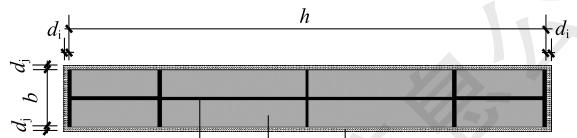
8.1.4 设计文件中，应注明建筑的耐火等级、构件的耐火极限、所采取的防火保护措施及防火保护材料的性能要求。

8.1.5 PEC 剪力墙进行防火保护设计时，可利用主钢件上部分包覆混凝土的防火保护作用；非混凝土包覆部位、直接外露的钢构件表面及侧壁，应进行防火保护。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：

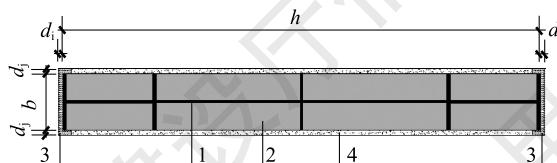
- 1** 喷涂或抹涂防火涂料。

- 2 包覆防火板。
- 3 包覆柔性毡状隔热材料。
- 4 外包混凝土、金属网抹砂浆或砌块。

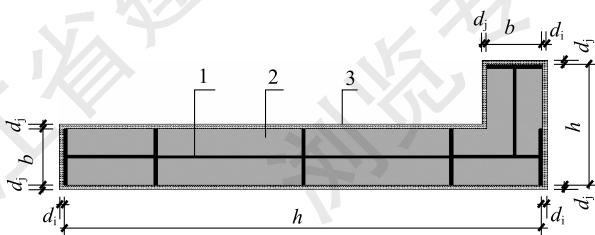
8.1.6 PEC 剪力墙的防火保护构造可采取完全保护或部分保护(图 8.1.6) 的构造形式。



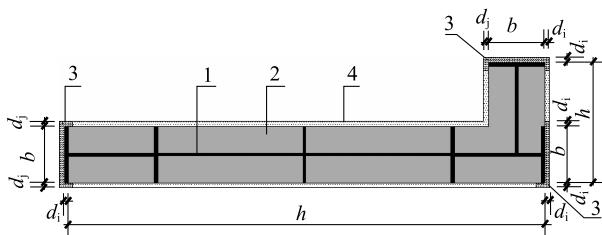
(a) 完全保护-一字形



(b) 部分保护-一字形



(c) 完全保护-L形



(d) 部分保护-L形

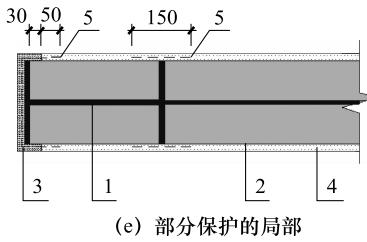


图 8.1.6 构件防火保护构造

1—主钢件；2—混凝土；3—防火涂料；4—砂浆；5—镀锌铁丝网或玻璃纤维布

8.1.7 采用防火涂料除应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1** 室内隐蔽构件，宜选用非膨胀型防火涂料。
- 2** 设计耐火极限大于 1.5h 的钢结构构件，不宜选用膨胀型防火涂料；设计耐火极限大于 2.0h 的钢结构构件，应选用非膨胀型防火涂料。
- 3** 室外、半室外钢结构采用非膨胀型防火涂料时，应选用满足环境要求的产品。
- 4** 防火涂料与防腐涂料应相容、匹配。

8.1.8 防火涂料层的厚度应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的有关规定。

8.1.9 防火保护层构造措施除应符合现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1** 连接节点的防火保护不应低于与被连接构件中防火保护要求最高者。
- 2** 当使用非膨胀型防火涂料时，涂层厚度不应小于 10mm，粘结强度不应小于 0.04 MPa；当保护层厚度大于 25mm 时，应设置与钢构件连接的金属网或其他防止保护层脱落的有效措施。
- 3** 当使用膨胀型防火涂料时，涂层厚度不应小于 1.5mm，

粘结强度不应小于 0.15MPa；装饰面层不应限制涂料的发泡膨胀。

4 当采用水泥砂浆或其他混合砂浆时，宜在涂层表面涂刷聚合物界面剂，并设置与钢构件连接的钢丝网或其他防止保护层脱落的有效措施。

5 当采用砌块作为防火保护层时，砌块底面及砌块之间应用砂浆填缝。

6 当采用防火板时，防火板底面、防火板之间应采用防火材料填缝；防火板、固定防火板的连接装置及黏结剂应为不燃材料；黏结剂在高温下应能保持一定的强度。

8.2 防腐设计

8.2.1 PEC 剪力墙的防腐设计应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046、《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 和《色漆和清漆防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790 的有关规定。

8.2.2 PEC 剪力墙应根据环境条件、材质、构件重要性、大气腐蚀性等级、防护层耐久性年限、施工条件和维护管理条件等因素进行防腐蚀设计，选用良好性价比的长效防腐蚀涂装措施和合理配套的复合涂层方案。设计文件中应注明所要求的钢材表面除锈等级、涂料种类及涂层厚度，并应注明进行定期检查和维护的要求。

8.2.3 主钢件表面原始锈蚀等级和钢材除锈等级标准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，并应符合下列规定：

1 表面原始锈蚀等级为 D 级的钢材不应用作结构钢；

2 喷砂或抛丸用的磨料等表面处理材料应满足防腐蚀产品对表面清洁度和粗糙度的要求，并应满足环保要求。

8.2.4 防腐涂装前，主钢件表面应采用喷射或抛射除锈，除锈

等级不应低于 Sa2.5；局部难以进行喷射或抛射除锈时，可采用手工和动力工具除锈方法，除锈等级不应低于 St3。

8.2.5 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，涂装工艺应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的相关规定及涂料产品说明书，节点区应做好有效保护措施。

8.2.6 各涂层间应具有良好的相容性，且宜选用同一供应商的产品。

9 施工

9.1 一般规定

9.1.1 PEC 剪力墙的制作与安装，除符合本规程的有关规定外，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 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定。

9.1.2 PEC 剪力墙的制作单位应根据已批准的技术设计文件编制施工详图。主体建筑设计单位应对预制构件深化设计进行会签。当修改时，应向原设计单位申报，经同意签署文件后修改才能生效。

9.1.3 PEC 剪力墙制作前，应根据设计文件和施工详图的要求编制制作工艺书。内容应包括：制作所依据的标准，制作厂的质量保证体系，成品的质量保证体系和措施。

9.1.4 PEC 剪力墙上的开孔及预埋应在工厂加工制作完成。

9.1.5 PEC 剪力墙组装前，应根据施工详图、组装工艺及有关技术文件的要求，组装零部件的材质、规格、外观、尺寸、数量等均应符合设计要求。

9.1.6 PEC 剪力墙的节点构造、连接板设置位置、型钢上各种预留孔应进行专业深化设计，并符合设计文件要求。

9.1.7 PEC 剪力墙采用的钢材、焊接材料、连接材料和混凝土材料的性能，应符合本规程第 3 章的规定。

9.2 制作

9.2.1 PEC 剪力墙中预制混凝土部分的制作宜采取工厂预制或现场专用场地预制。

9.2.2 PEC 剪力墙中预制混凝土浇筑宜双面或多面分次浇筑成型或双面或多面一次浇筑成型。双面或多面一次浇筑成型时，浇筑孔应设在主钢件的腹板上，混凝土应振捣密实，并设置排气孔。主钢件同一区格内的混凝土应一次浇捣完成。

9.2.3 PEC 剪力墙的边缘构件主钢件宜优先采用热轧型钢。

9.2.4 PEC 剪力墙主钢件腹板上的浇筑孔宜为圆形，孔径和孔间距应符合下列规定：

- 1** 开孔位置宜选在受力较小处。
- 2** 孔间距宜为孔径的 3 倍~4 倍。
- 3** 当主钢件上设置劲板时，浇筑孔边缘距离劲板不应小于 50mm。
- 4** 浇筑孔应满足混凝土浇筑要求，孔径不应小于 50mm，不宜大于 PEC 剪力墙区格宽度的 1/2。必要时，浇筑孔处可采取补强措施。

9.2.5 PEC 剪力墙中连接主钢件翼缘的连杆应符合下列规定：

- 1** 连杆的位置宜避让主钢件腹板上浇筑孔的位置。
- 2** 连杆采用 I 型钢筋或钢板，应与主钢件采用围焊；采用 C 型连杆，应与主钢件双面角焊缝焊接。

9.2.6 非一字形的 PEC 剪力墙构件，宜在墙墙拼接位置和墙楼板连接位置处分别设置辅助支撑，辅助支撑连接两个方向墙肢端部翼缘，保证构件在加工、支座、运输、堆放中的稳定性。

9.2.7 PEC 剪力墙在混凝土浇筑前应进行构件的隐蔽工程验收，验收项目应包括下列内容：

- 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 钢筋的混凝土保护层厚度。

9.2.8 PEC 剪力墙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。

3 同一区格内的混凝土浇筑应一次浇筑。

4 当一次浇筑双面或多面成型的浇筑混凝土时，宜采用振动模台或振动棒振捣，浇筑混凝土应密实。

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，应分别进行每一批次的混凝土试块强度测试，强度差值在 5MPa 以内；

6 对分次浇筑双面或多面成型的 PEC 构件，应合理设置构件支垫的间距，控制制作期间混凝土的受力裂缝产生。

7 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。

9.2.9 PEC 剪力墙中预制混凝土养护应符合下列规定：

1 预制混凝土养护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。

2 混凝土浇筑完毕后应及时覆盖保湿养护至脱模前。

3 采用蒸汽加热养护时，应对裸露钢表面采取防腐蚀的保护。

9.2.10 设计文件未明确规定时，构件起吊、翻转时的混凝土强度不应小于 15MPa，且应达到设计强度的 50%；构件出厂时的混凝土强度不应低于设计强度的 75%。

9.2.11 对构造复杂的 PEC 剪力墙，在批量制作前宜进行工艺性验证。

9.2.12 PEC 剪力墙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。

9.2.13 PEC 剪力墙的构件运输与堆放应符合下列规定：

- 1 构件支垫应牢靠，在构件下的设置位置宜与制作、起吊时的位置一致。**
- 2 应采取防止构件在运输与堆放过程中产生裂缝的有效措施。**
- 3 重叠堆放构件时，每层构件间的支垫应上下对齐，堆垛层数根据构件、垫块的承载力确定，应防止堆垛倾覆。**

9.3 安 装

9.3.1 PEC 剪力墙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，应包括下列内容：

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

9.3.2 PEC 剪力墙安装前应进行施工验算，施工验算应包括下列内容：

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

9.3.3 PEC 剪力墙在安装前，应根据构件重量选择吊机型号和布置位置。

9.3.4 PEC 剪力墙安装应根据结构特点合理安排组装顺序，应形成稳定可靠的空间刚度单元，必要时采取结构临时支撑措施。

9.3.5 PEC 剪力墙安装校正完成后，竖向拼接区域的主钢件应及时进行永久性的固定连接。

9.3.6 PEC 剪力墙竖向拼接区混凝土后浇工序的组织安排应跟

据主体结构的施工验算确定，集中后浇作业不宜超过3层。

9.3.7 PEC剪力墙连接节点区域后浇混凝土施工工艺宜采用标准化模具，模具应表面平整，安全牢靠。

9.3.8 PEC剪力墙后浇混凝土如出现局部质量外观缺陷，宜采用水泥基灌浆料进行修复。

9.3.9 PEC剪力墙安装全过程，应有防止构件上的附件、预埋件或吊件损伤的保护措施。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 PEC 剪力墙应进行单位（子单位）工程验收、分部（子分部）工程验收和分项工程验收，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 剪力墙中现场焊接、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 剪力墙的外观质量除满足设计要求外，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 中关于混凝土结构的有关规定。

10.1.4 PEC 剪力墙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 剪力墙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 和《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 和《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 1.5 倍。

3 质量检查记录、质量证明文件等资料应完整。

10.1.6 PEC 剪力墙紧固件连接工程应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定的质量验收方法和质量验收项目执行，同时应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

10.1.7 PEC 剪力墙中构件主钢件防腐蚀涂装工程应按现行国家标准《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。

10.1.8 PEC 剪力墙主钢件的防火保护工程验收应满足《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的相关要求。防火涂料的厚度除应满足设计要求外，尚应符合下列规定：

1 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。

2 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、《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。

10.1.9 PEC 剪力墙验收时，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 剪力墙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 剪力墙安装施工记录。
- 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 剪力墙结构分项工程质量验收文件。

10.1.10 PEC 剪力墙的结构性能检验除设计有专门要求外，进场时可不做结构性能检验。

10.2 构件验收

主控项目

10.2.1 PEC 剪力墙的质量应符合本规范、现行国家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 剪力墙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 剪力墙上的预留插筋、预埋管线等的规格和数量以及预留孔、预留洞的数量应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

一般项目

10.2.4 PEC 剪力墙应有标识。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

10.2.5 PEC 剪力墙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 剪力墙的尺寸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，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 的尺寸允许偏差要求。

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 件。

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	
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 安装验收

主控项目

10.3.1 PEC 剪力墙采用焊接连接时，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：按现行国家标准《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 剪力墙采用螺栓连接时，螺栓的材质、规格、拧紧

力矩应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 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：按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《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 剪力墙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 的有关规定。

检查数量：按现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定确定。

检验方法：检查质量证明文件及检验报告。

10.3.4 PEC 剪力墙中，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《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 执行。

2 当采用灌浆料时，其强度应满足设计要求，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、灌浆料试验报告及相关检验报告。

10.3.5 PEC 剪力墙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。

一般项目

10.3.6 PEC 剪力墙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 剪力墙安装的允许尺寸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 件。

检验方法：尺量。

10.3.8 PEC 剪力墙安装允许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 件。

检验方法：用钢尺和拉线等辅助量具实测。

表 10.3.8 PEC 剪力墙安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差 (mm)		检验方法
PEC 墙轴线位置	5		基准线尺测
PEC 墙标高	± 5		水准仪或拉线、尺测
PEC 墙垂直度	$H \leq 6m$	$H/1000$ 且 ≤ 5	经纬仪或吊线、尺测
	$H > 6m$	$H/1000$ 且 ≤ 10	

附录 A 墙肢计算长度系数 β

A.0.1 墙肢计算长度系数 β 应根据墙肢的支承条件按下列规定采用：

1. 单片独立墙肢按两边支承板计算，取等于 1.0。
2. T 形、L 形剪力墙的翼缘（图 A.0.1），采用三边支承板按式（A.0.1）计算；当 β 计算值小于 0.25 时，取 0.25。

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{2b_f}\right)^2}} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： b_f ——T 形、L 形剪力墙的单侧翼缘截面高度，取图 A.0.1 中各 b_{f1} 的较大值或最大值。

3. T 形剪力墙的腹板（图 A.0.1）也按三边支承板计算，但应将公式（A.0.1）中的 b_f 代以 b_w 。

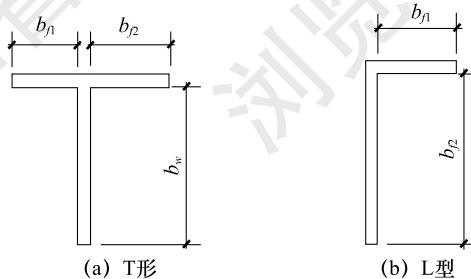


图 A.0.1 剪力墙腹板与单侧翼缘截面高度示意

本规程用词说明

1 为便于在执行本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，在条件允许时首先这样做的；

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 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
《建筑结构荷载规范》 GB 50009
《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010
《建筑抗震设计标准》 GB/T 50011
《建筑设计防火规范》 GB 50016
《钢结构设计标准》 GB 50017
《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
《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标准》 GB 50205
《建筑防腐蚀工程施工规范》 GB 50212
《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》 GB/T 50224
《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
《钢结构焊接规范》 GB 50661
《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
《钢结构工程施工规范》 GB 50755
《建筑工程机电工程抗震设计规范》 GB 50981
《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》 GB 51022
《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51249
《碳素结构钢》 GB/T 700
《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
《厚度方向性能钢板》 GB/T 5313
《建筑构件耐火试验方法》 GB/T 9978. 1 ~ 5
《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433

- 《建筑用压型钢板》 GB/T 12755
《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
《建筑施工组织设计规范》 GB/T 50502
《轻骨料混凝土应用技术标准》 JGJ/T 12
《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
《组合结构设计规范》 JGJ 138
《非结构构件抗震设计规范》 JGJ 339
《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 JGJ/T 251
《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283