

备案号：J XXXXX—20XX

浙江省工程建设标准

DBJ

DBJ 33/T 1XXX—20XX

装配式部分填充钢-混凝土组合剪力墙 结构住宅技术规程

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

（征求意见稿）

20XX—00—00 发布

20XX—00—01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

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、制作安装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@jgsteel.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

浙江工业大学土木工程学院

同济大学

合肥工业大学

浙江大学平衡建筑研究中心

浙江波威建工有限公司

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，朱浩川，陈 卓，金 成
王抒弦，于送洋，傅林峰，谢 忠，王静峰
吴 强，陈 东，闻 剑，祁 慧，张琰琳

主要审查人：

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	10
4	结构设计基本规定	11
4.1	一般规定	11
4.2	设计原则	13
4.3	变形规定	20
5	结构计算分析	22
5.1	一般规定	22
5.2	弹性分析	22
5.3	弹塑性分析	24
6	PEC 剪力墙设计	26
6.1	承载力计算	26
6.2	构造要求	33
7	连接与节点设计	39
7.1	一般规定	39
7.2	墙与墙拼接连接	40

7.3 墙与梁连接节点	42
7.4 墙脚连接节点	47
7.5 墙与楼板连接节点	48
7.6 非结构构件与墙连接节点	50
8 防护设计	52
8.1 防火设计	52
8.2 防腐设计	54
9 制作安装	56
9.1 一般规定	56
9.2 制 作	57
9.3 安 装	59
10 质量验收	61
10.1 一般规定	61
10.2 构件验收	63
10.3 安装验收	64
附录A 材料本构关系	67
A.1 钢材本构关系	67
A.2 混凝土本构关系	68
本规程用词说明	73
引用标准名录	74
条文说明	76

目 次

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	10
4	Basic Requirements of Design	11
4.1	General Requirements	11
4.2	Design Principles	13
4.3	Deflection limitations	20
5	Structural Analysis	22
5.1	General Requirements	22
5.2	Elastic Analysis	22
5.3	Elastic-Plastic Analysis	24
6	Design of PEC steel and concrete shear walls	26
6.1	Calculation of bearing capacity	26
6.2	Detailing Requirements	33
7	Design of Connection and Joints	39
7.1	General Requirements	39
7.2	Wall-to-Wall Splices and Joints	40
7.3	Wall-to-Beam Splices and Joints	42

7.4	Wall Footing Joints	47
7.5	Wall-to-Slab Joints	48
7.6	Non-structural element-to-Wall Joints	50
8	Fire-Resistant Design and Coating	52
8.1	Fire-Resistant Design	52
8.2	Corrosion Coating	54
9	Fabrication and Erection	56
9.1	General Requirements	56
9.2	Fabrication	57
9.3	Erection	59
10	Construction quality acceptance	61
10.1	General Requirements	61
10.2	Component acceptance	63
10.3	Installation acceptance	64
Appendix A: Constitutive relationship of Materials		67
A.1	Constitutive relationship of Steel	67
A.2	Constitutive relationship of Concrete	68
Explanation of Wording in This Code		73
List of Quoted Standards		74
Addition: Explanation of Provisions		76

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技术应用，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、制作、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技术应用，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 (PEC) 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 structure

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），框架可采用部分包覆钢-混凝土组合框架、钢框架和钢管混凝土框架等。

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），框架可采用部分包覆钢-混凝土组合框架、钢框架和钢管混凝土框架。

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、圆钢或扁钢。

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；

$(EI)_c$ —— 轴心受压构件等效截面抗弯刚度；

f_a —— 钢材抗拉强度设计值

f_a' —— 钢材抗压强度设计值；

f_{ac} —— 折减后的主钢件腹板钢材抗压、抗拉强度设计值；

f_{ay} —— 钢材屈服强度；

f_{au} —— 钢材极限抗拉强度；

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_{ly} —— 连杆钢材的屈服强度；
 f'_y —— 钢材抗压强度设计值；
 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 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' —— 负弯矩设计值；
 M_{pw} —— PEC 剪力墙截面配置钢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 —— 主钢件全截面面积；
- A_{a1} —— PEC 剪力墙一端所配型钢的截面面积；
- A_{a2} —— PEC 剪力墙两端暗柱中全部型钢截面面积；
- 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_a —— 附加偏心距；
- e_i —— 初始偏心距；
- h_{pw} —— PEC 剪力墙截面钢板配置高度；
- h_{w0} —— 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全截面抗弯刚度之比；
- 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_2 —— PEC 剪力墙长细比；
- λ_1 —— PEC 剪力墙计算截面处的剪跨比；
- λ_n —— PEC 剪力墙正则化长细比。

2.2.4 计算系数及其他

- k_a —— 主钢件抗弯刚度与全截面抗弯刚度之比；
- 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；
- φ —— 组合稳定系数；

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 PEC 剪力墙中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 剪力墙中主钢件钢材宜采用Q355、Q390、Q420、Q345GJ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 剪力墙中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 剪力墙中主钢件钢板应满足现行国家标准《热轧钢板钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709中B类厚度偏差要求。

3.1.5 采用塑性设计的结构构件，以及抗震设计中具有产生塑性铰要求的构件，所用钢材尚应符合下列规定：

1 钢材的屈服强度波动范围不应大于 120 N/mm^2 ，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，且断后伸长率不应小于 20%；

3 钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

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、箍筋、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《混凝土结构设计规范》GB 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《混凝土结构设计规范》GB 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《焊接钢筋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《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 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 剪力墙中混凝土最大骨料直径不宜大于20mm。对浇筑难度较大或复杂节点部位，宜采用骨料更小、流动性更强的高性能混凝土。

3.3.3 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。

3.3.4 PEC 剪力墙连接后浇区材料采用自密实混凝土或水泥基灌浆材料时，尚应满足表3.3.4-1的规定：

1 当采用自密实混凝土材料时，材料应具备一定的微膨胀性，材料的主要性能应满足表 3.3.4-2 中 IV 类材料的要求。

2 当采用水泥基灌浆材料时，材料的主要性能应满足表 3.3.4-2 中 I ~IV类的要求。

表3.3.4-1 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 剪力墙一个区隔内的腹板高度。

表3.3.4-2 PEC剪力墙节点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 ≤ 20
截锥流动度 (mm)	初始值	—	≥ 340	≥ 290	$\geq 650^*$
	30min	—	≥ 310	≥ 260	$\geq 550^*$
流锥流动度 (s)	初始值	≤ 35	—	—	—
	30min	≤ 50	—	—	—
竖向膨胀率 (%)	3h	0.1~3.5			
	24h与3h的 膨胀值之差	0.02~0.50			
抗压强度 (MPa)	1d	≥ 15	≥ 20		
	3d	≥ 30	≥ 40		
	28d	≥ 50	≥ 60		
氯离子含量 (%)		< 0.1			
泌水率 (%)		0			

注：*表示坍落扩展度数值。

3 用于冬期施工的 PEC 剪力墙节点后灌浆材料性能除应符合本规范表 3.3.4-2 的规定外，尚应符合表 3.3.4-3 的规定。

表3.3.4-3 用于冬期施工时的PEC剪力墙节点后浇材料性能指标

规定温度 (°C)	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7天的试件抗压强度值与标准养护28天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7天转标准养护28天和负温养护7天转标准养护56天的试件抗压强度值与标准养护28天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°C。

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《钢结构设计规范》GB50017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 剪力墙的多层和高层建筑的平面和竖向布置及规则性要求应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构设计规程》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，当采用钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁等应采取可靠连接措施。

4.1.4 设置地下室时，剪力墙应延伸至基础，PEC 剪力墙中主钢件应至少延伸至地下一层。

4.1.5 非结构构件与结构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。

4.1.6 PEC 剪力墙的常用截面形式为一字形（图4.1.6-1）、L形（图4.1.6-2）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。

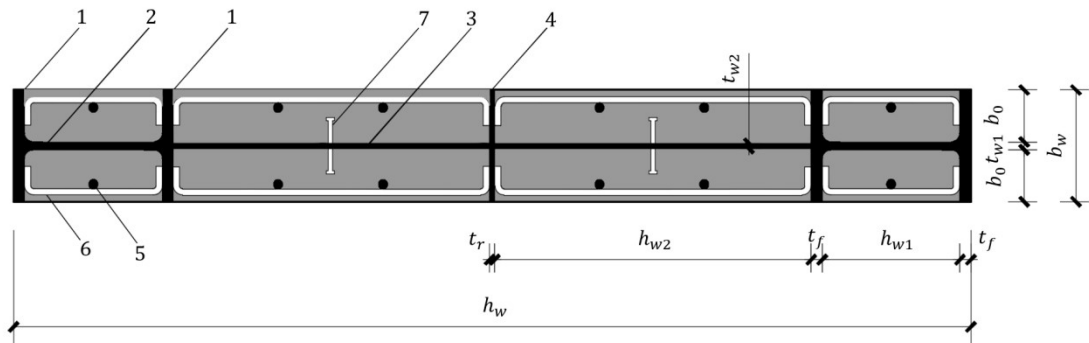


图4.1.6-1 PEC 剪力墙的截面形式-一字型

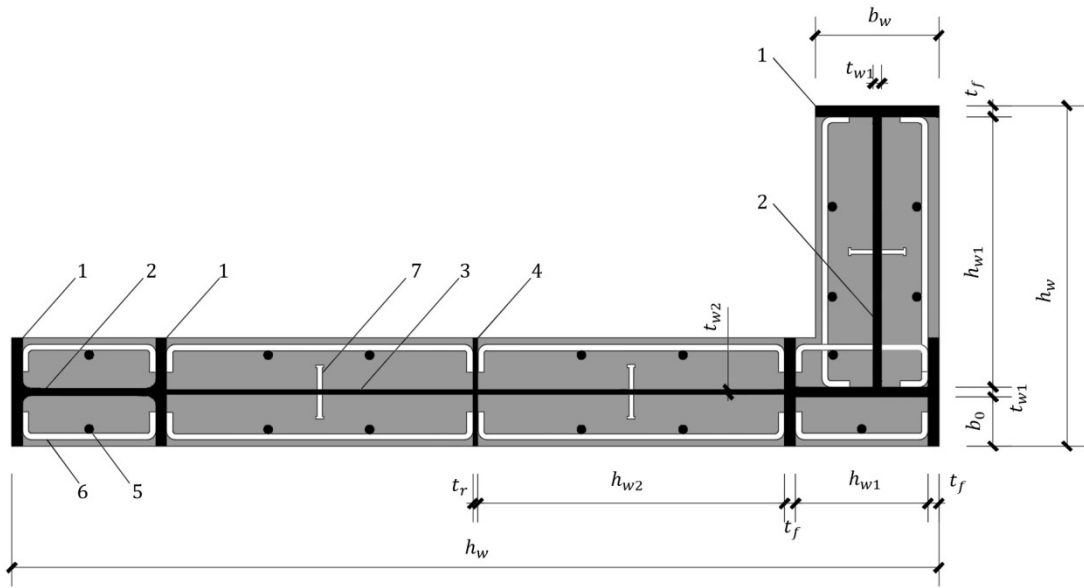


图4.1.6-2 PEC 剪力墙的截面形式-L型

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

4.1.7 PEC 剪力墙中主钢件的截面分类与宽厚比限值应符合下列要求：

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 4.1.7 的规定。

表 4.1.7 PEC 剪力墙中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_{w2})
		翼缘 (b_0/t_f)	腹板 (h_{w01}/t_{w1})	
1	截面达到塑性弯矩且构件发生充分塑性转动	$9\epsilon_k$	$35\epsilon_k$	$65\epsilon_k$
2	截面达到塑性弯矩	$14\epsilon_k$	$75\epsilon_k$	$105\epsilon_k$

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；

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。

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 （对钢筋或圆钢连杆取中心距，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 4.1.7 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 4.1.7 中外伸翼缘的宽厚比限值可在 1.5~1.0 倍间插值。

3 纵向加劲肋截面尺寸应符合下列公式规定：

$$t_r \geq \frac{b_0}{19} \quad (4.1.7)$$

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 $10h_f$ 或 50mm，其净距不应大于 $15t$ ， t 为较薄焊件厚度。

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 有关规定。

4.2.2 采用 PEC 剪力墙的结构构件和连接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：

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

2 地震设计状况：

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

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《建筑抗震设计规范》GB 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)

项次	结构类型	抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度 (0.20g)	
1	PEC剪力墙结构	170	150	130	
2	框架-PEC剪力墙结构	130	120	100	
3	框架-PEC核心筒结构	钢框架-PEC核心筒	200	160	120
		PEC框架-PEC核心筒	220	190	150
		钢管混凝土框架-PEC核心筒	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 表中第2项中的“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 采用 PEC 剪力墙的房屋结构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要求。丙类建筑的抗震等级应按表4.2.5确定。

表 4.2.5 采用 PEC 剪力墙的房屋结构的抗震等级

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	>14 0	≤24	25~ 80	81 ~1 20	>1 20	≤2 4	25~8 0	>8 0
	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		≤2 4	25~6 0	>6 0
	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，已为一级时允许不再提高。

4.2.6 PEC 剪力墙中主钢件受压翼缘应根据构件抗震等级按表

4.2.6 的规定确定。

表 4.2.6 PEC 剪力墙中主钢件受压翼缘截面分类

构件抗震等级	一级	二级	三级、四级
截面分类	1	1、2	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·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列规定：

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

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（m）；

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 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现浇钢筋混凝土组合楼板、钢筋桁架楼承板、预制混凝土叠合板和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，应采用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-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-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-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-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；

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

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；

- 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；
- $V_{f,max}$ —— 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。

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，已为一级时需要采取比一级更有效的抗震构造措施；

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_t ）与平动为主的第一自振周期（ T_1 ）之比不应大于0.85，且 T_t 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楼层层间最大水平位移与层高之比不宜大于 1/450。当采用有较高变形限值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楼层层间最大水平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，应满足国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 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	加速度限值 a_{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，应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 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，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。对结构分析软件的计算结果，应进行分析判断，确认其合理、有效后方可作为工程设计的依据。

5.1.3 采用 PEC 剪力墙的结构进行内力和位移计算时，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性，设计时应采取相应措施来保证楼板平面内整体刚度。

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国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 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 的相关要求。

5.2.3 当结构在地震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地震平均层间位移的乘积，初始弯矩是指该楼层地震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 楼层重力荷载设计值（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 4.3.9 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 结构弹塑性分析时，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；宜计入梁墙节点域的弹塑性剪切变形。

5.3.3 钢柱、钢梁的恢复力模型和骨架曲线可采用二折线模型，滞回模型可不计入刚度退化。材料的本构关系可按本标准附录 A 的规定采用。

5.3.4 弹塑性变形计算应符合下列规定：

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，可视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。

2 施工模拟分析时，应以施工全过程完成后的状态作为弹塑性分析的初始状态；

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 f_y ，混凝土强度可取标准值。

5.3.5 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《建筑抗震设计规范》GB 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 采用弹塑性时程分析法进行罕遇地震作用下的变形计算，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《建筑抗震设计规范》GB50011 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:

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

2 地震设计状况:

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

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

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 (mm^2);
 f'_a 、 f'_y —— 钢材、钢筋抗压强度设计值 (N/mm^2);
 f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);
 γ_{RE} —— 剪力墙轴压抗震承载力调整系数。

6.1.2 PEC 剪力墙轴心受压整体稳定计算应符合下式规定:

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

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

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

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

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全截面抗弯
 刚度之比；
 l —— PEC剪力墙高度（mm）。

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4.1.7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：

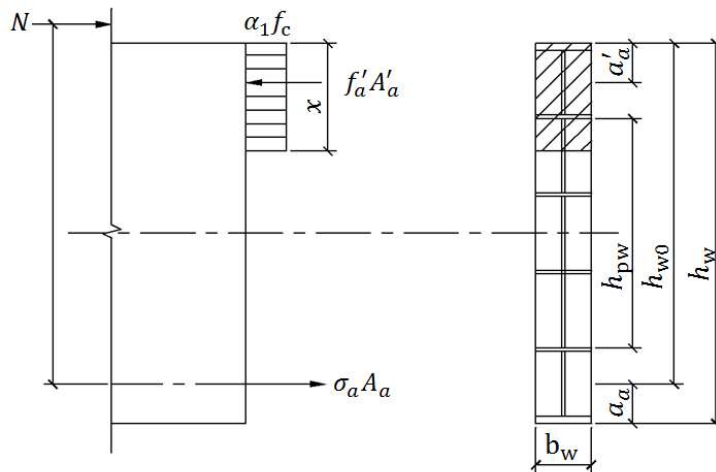


图 6.1.3 偏心受压PEC剪力墙正截面受压承载力计算参数示意图

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，其间接线性内插法确定；

4) 型钢腹板的应力图形为拉压梯形应力图形，计算时简化为等效矩形应力图形；

5) 钢筋、型钢的应力等于钢筋、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；纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘的极限拉应变取0.01。

2 持久、短暂设计状况

$$N \leq \alpha_1 f_c b_w x + f'_a A'_{aa} - \sigma_a A_{aa} + N_{pw} \quad (6.1.3-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b_w x \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_{aa} (h_{w0} - a'_a) + M_{pw} \quad (6.1.3-2)$$

3 地震设计状况

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c b_w x + f'_a A'_{aa} - \sigma_a A_{aa} + N_{pw} \right] \quad (6.1.3-3)$$

$$Ne \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c b_w x \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_{aa} (h_{w0} - a'_a) + M_{pw} \right] \quad (6.1.3-4)$$

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

$$e_i = e_0 + e_a \quad (6.1.3-6)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.1.3-7)$$

4 N_{pw} 、 M_{pw} 应按下列公式计算：

1) 当 $x \leq \beta_1 h_{w0}$ 时：

$$N_{pw} = \left(1 + \frac{x - \beta_1 h_{w0}}{0.5 \beta_1 h_{pw}} \right) f_p A_p \quad (6.1.3-8)$$

$$M_{pw} = \left[0.5 - \left(\frac{x - \beta_1 h_{w0}}{\beta_1 h_{pw}} \right)^2 \right] f_p A_p h_{wp} \quad (6.1.3-9)$$

2) 当 $x > \beta_1 h_{w0}$ 时：

N_{pw} 、 M_{pw} 应按下列公式计算：

$$N_{pw} = f_p A_p \quad (6.1.3-10)$$

$$M_{pw} = 0.5 f_p A_p h_{wp} \quad (6.1.3-11)$$

5 受拉或受压较小边的型钢翼缘应力 σ_a 应按下列规定计算：

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

2) 当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时，取

$$\sigma_a = \frac{f_a}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_{w0}} - \beta_1 \right) \quad (6.1.3-12)$$

3) ξ_b 可按下列式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_a}{\epsilon_{cu} E_a}} \quad (6.1.3-13)$$

- 式中： N —— 剪力墙轴向压力设计值；
 M —— 剪力墙弯矩设计值；
 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；
 e_a —— 附加偏心距，其值取 20mm、偏心方向截面最大尺寸的 1/30 和 PEC 剪力墙高度的 1/250 三者中的最大值；
 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；
 x —— 受压区高度；
 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；
 A_p —— 剪力墙截面内配置的钢腹板的截面面积；
 f_p —— 剪力墙截面内配置钢腹板的抗拉和抗压强度设计值；
 β_1 —— 受压区混凝土应力图形影响系数；
 N_{pw} —— 剪力墙截面内配置钢板所承担轴向力；

- M_{pw} —— 剪力墙截面配置钢板合力对受拉型钢截面重心的力矩；
- h_{pw} —— 剪力墙截面钢板配置高度；
- h_{w0} —— 剪力墙截面有效高度；
- h_w —— 剪力墙截面高度；
- b_w —— 剪力墙截面厚度。

6.1.4 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6.1.4）。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。

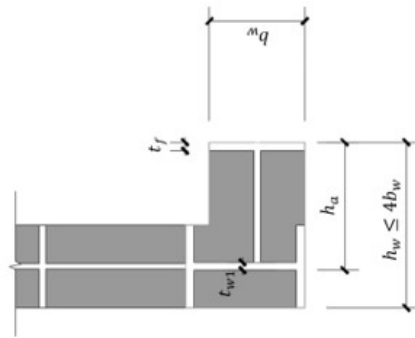


图 6.1.4 PEC剪力墙L型连接

6.1.5 PEC 剪力墙的受剪截面应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V_{cw} \leq 0.25\beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.5-1)$$

$$V_{cw} = V - \left(\frac{0.3}{\lambda} f_a A_{a1} + \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \right) \quad (6.1.5-2)$$

2 地震设计状况

1) 当剪跨比大于2.5时：

$$V_{cw} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.2\beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.5-3)$$

2) 当剪跨比不大于2.5时：

$$V_{cw} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.15\beta_c f_c b_w h_{w0} \quad (6.1.5-4)$$

3) V_{cw} 应按下列式进行计算:

$$V_{cw} = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{0.25}{\lambda_1} f_a A_{a1} + \frac{0.5}{\lambda_1 - 0.5} f_p A_p \right) \quad (6.1.5-5)$$

- 式中: 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;
- λ_1 —— 计算截面处的剪跨比, $\lambda_1 = \frac{M}{Vh_{w0}}$ 。当 $\lambda_1 < 1.5$ 时, 取 $\lambda_1 = 1.5$; 当 $\lambda_1 > 2.2$ 时, 取 $\lambda_1 = 2.2$; 当计算截面与墙底之间的距离小于 $0.5h_{w0}$ 时, λ_1 应按距离墙底 $0.5h_{w0}$ 处的弯矩值与剪力值计算;
- A_{a1} —— PEC 剪力墙一端所配型钢的截面面积, 当两端所配型钢截面面积不同时, 取较小一端的面积;
- 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。

6.1.6 偏心受压 PEC 剪力墙, 其斜截面受剪承载力应符合下列规定:

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.5f_t b_w h_{w0} + 0.13N \frac{A_w}{A} \right) + \frac{0.3}{\lambda} f_a A_{a1} + \frac{0.6}{\lambda - 0.5} f_p A_p \quad (6.1.6-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.4f_t b_w h_{w0} + 0.1N \frac{A_w}{A} \right) + \frac{0.25}{\lambda} f_a A_{a1} + \frac{0.5}{\lambda - 0.5} f_p A_p \right] \quad (6.1.6-2)$$

式中: N —— PEC 剪力墙的轴向压力设计值, 当

$N > 0.2f_c b_w h_w$ 时，取 $N > 0.2f_c b_w h_w$ ；

A —— PEC 剪力墙截面面积；

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

6.1.7 采用的PEC 剪力墙的结构，抗震设计时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。

6.1.8 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。

6.1.9 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。

6.1.10 采用的 PEC 剪力墙的结构，底部加强部位截面的剪力设计值，一、二、三级时应按式（6.1.10）调整。二、三级的其他部位及四级时可不调整。

$$V = \eta_{vw} V_w \quad (6.1.10)$$

式中： V —— 底部加强部位 PEC 剪力墙截面剪力设计值；

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；

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

6.1.11 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 6.1.11 的限值。

$$n = \frac{N}{f_c A_c + f_a A_{a2} + f_p A_p} \quad (6.1.11)$$

- 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；
 A_{a2} —— 剪力墙两端暗柱中全部型钢截面面积；
 A_p —— 剪力墙截面内配置的钢腹板截面面积。

表6.1.11 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 剪力墙中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 有关承载力及构造要求。

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、工字形 PEC 剪力墙墙肢截面长度与截面厚度之比应大于4；

4 PEC 剪力墙的墙肢可采用翼墙或端柱作为其平面外的支承边。翼墙长度不应小于其厚度的3倍，端柱边长不小于墙肢厚度的2倍（图6.2.2）。

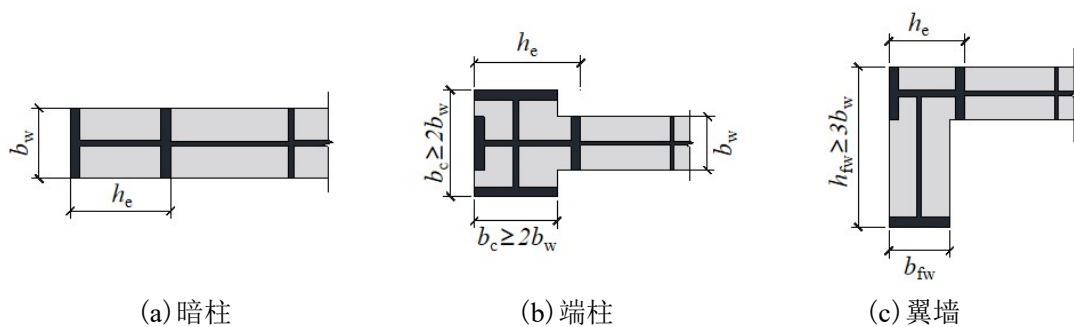


图 6.2.2 PEC剪力墙的暗柱端柱和翼墙

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 约束边缘构件长度 h_c 如图6.2.2所示，并应符合表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 约束边缘构件的箍筋配箍特征值 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：

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

式中： ρ_v —— 箍筋体积配箍率。可计入箍筋、拉筋的面积；

λ_v —— 约束边缘构件配箍特征值（mm）；

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；

f_{yv} —— 箍筋、拉筋的抗拉强度设计值。

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）mm		$0.12h_w$	$0.15h_w$	$0.12h_w$	$0.15h_w$
h_e （翼墙或端柱）mm		$0.10h_w$	$0.12h_w$	$0.10h_w$	$0.12h_w$
d_{min} （最小连杆钢筋直径）mm		10	10	8	10
连杆间距 mm		100	100	150	150
竖向钢筋最小直径 mm		16	16	14	14
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的高度 h_e 如图 6.2.2 所示， 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	其它部位			
	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）。

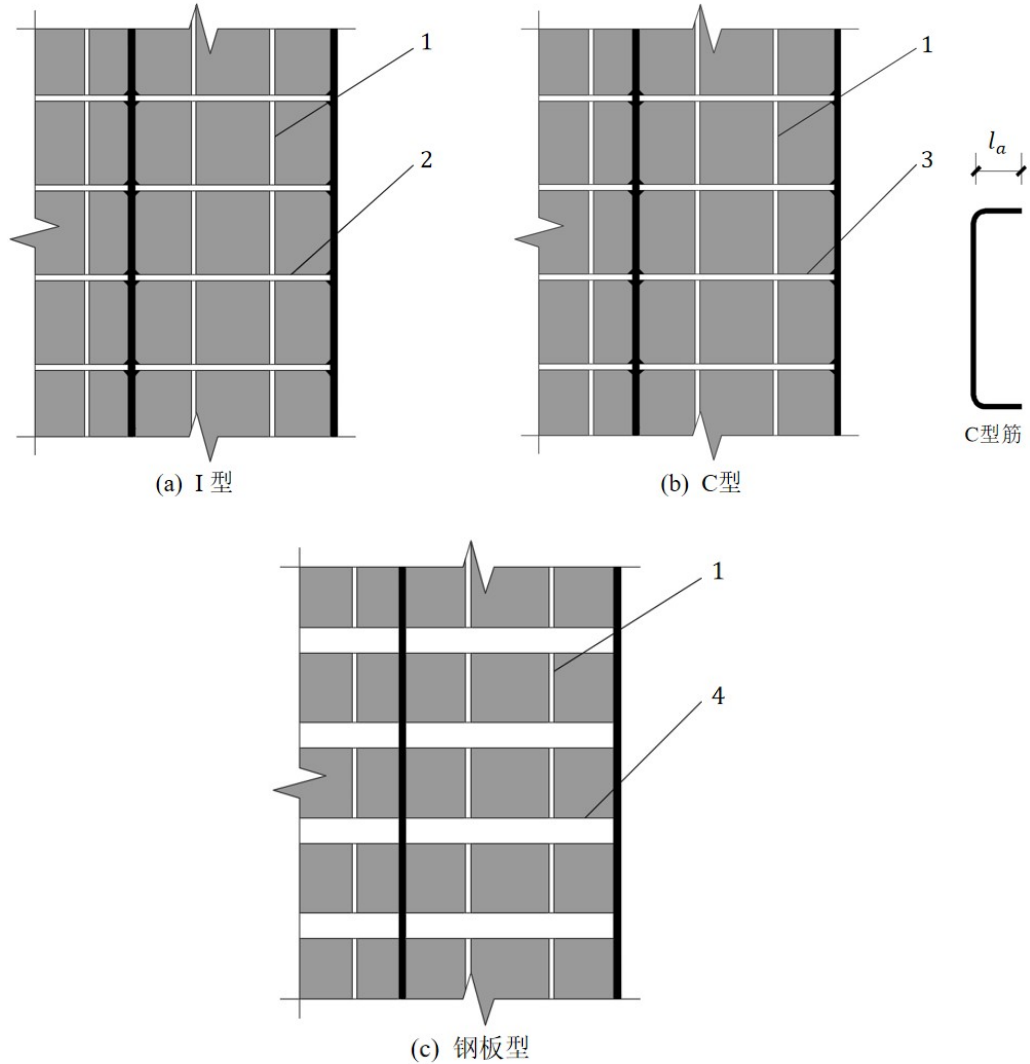


图 6.2.6 连杆形式示意

1-纵筋；2-I形连杆；3-C型连杆；4-钢板连杆

6.2.7 PEC 剪力墙中钢筋应满足下列要求：

- 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型钢钢筋连杆水平长度（ l_a ）不应小于5d；
- 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不应小于按式（6.2.9-1）计算得到的结果：

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

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_f —— 主钢件翼缘宽度；

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

ε_k —— 主钢件翼缘的钢号修正系数。

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满足式（6.2.9-2）的计算要求：

$$N_{LW} \geq 0.7A_1 f_{ly} \quad (6.2.9-2)$$

式中： N_{LW} —— 连杆角焊缝承载力设计值（ N ）。

4 钢筋连杆与主钢件翼缘的连接角焊缝不能满足本条第3款要求时，可采用C型连杆。

6.2.10 PEC 剪力墙中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%，主钢件截面面积不宜小于全截面面积的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满足下列要求：

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 当 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结筋，拉结筋间距不应大于600mm，直径不应小于6mm。拉结筋应贯穿腹板或与腹板有可靠连接。

6.2.13 PEC 剪力墙中钢筋连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接，纵向钢筋的连接应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 和《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的相关要求。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 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。

7 连接与节点设计

7.1 一般规定

7.1.1 PEC 剪力墙的连接节点应符合国家现行标准《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，应保证其强度和刚度。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。

7.1.4 PEC 剪力墙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。梁与 PEC 剪力墙刚接连接节点钢结构部分连接完成后，梁端区域可采用不低于同梁强度等级的后浇材料进行浇筑，当不采用后浇筑材料进行浇筑时应符合本规程第7.1.6条和第7.3.2条的相关要求。

7.1.6 梁与 PEC 剪力墙节点的梁端区无混凝土后浇时，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 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

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

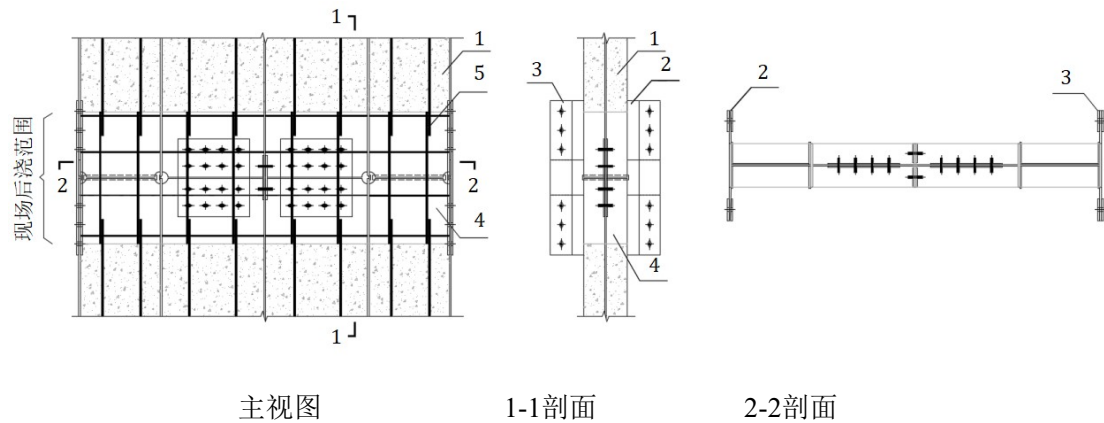
7.2.1 PEC 剪力墙可分段制作，分段拼接位置距下层框架梁顶面上方距离可取 1.3m 和墙净高一半中的较小值。

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 当采用焊接连接时，翼缘宜采用全熔透的坡口对接焊缝，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。



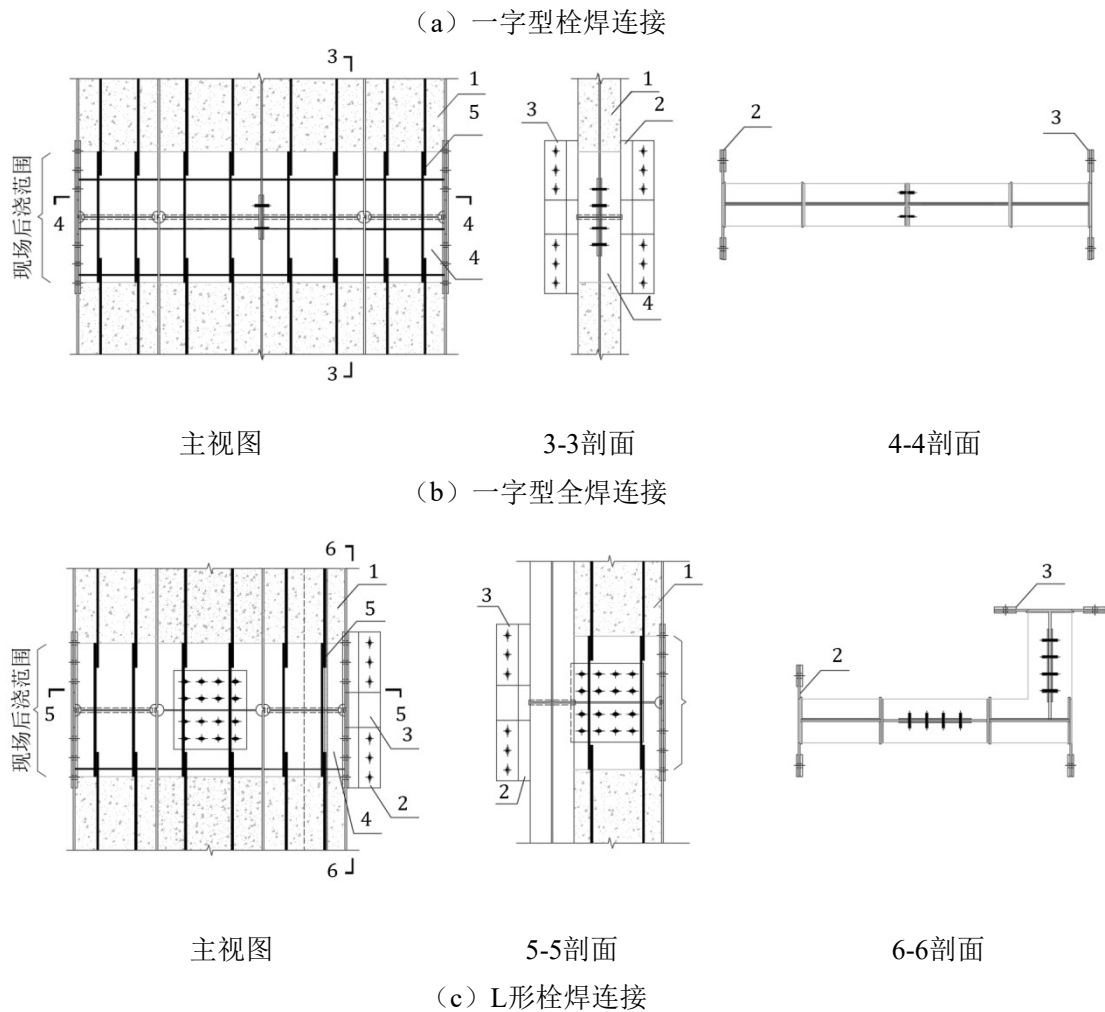


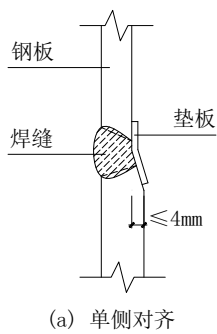
图 7.2.2 PEC剪力墙拼接连接示意

1-预制包覆混凝土；2-耳板；3-连接板；4-后浇混凝土；5-双面焊5d、单面焊10d，d为纵筋直径

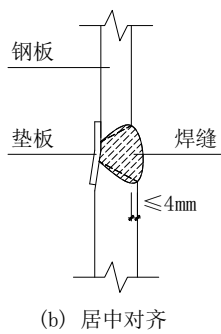
7.2.3 不同壁厚主钢件焊接连接：

1 当型钢钢板厚度在一侧相差不大于4mm时，可按图7.2.3-1的方式焊接。垫板厚度不宜小于5mm。

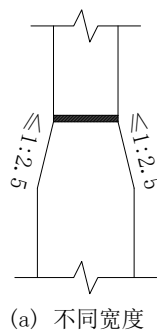
2 当钢板的宽度不同或厚度在一侧相差4mm以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于1:2.5的斜角（图7.2.3-2），当厚度不同时，对接焊缝剖口形式，宜根据板厚和施工条件按有关现行国家标准的要求选用。



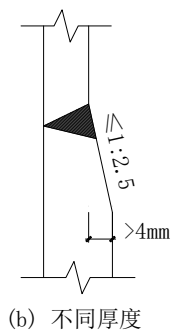
(a) 单侧对齐



(b) 居中对齐



(a) 不同宽度



(b) 不同厚度

图7.2.3-1 不同壁厚钢板的焊接

图7.2.3-2 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 剪力墙与框架梁的连接宜采用 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 框架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。

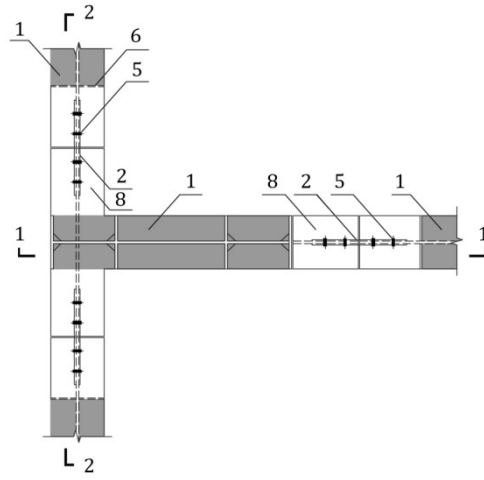
2 框架梁与剪力墙的平面外铰接应在剪力墙的主钢件相应区格内设置水平向横隔板，横隔板数量不宜少于 2 块。

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。

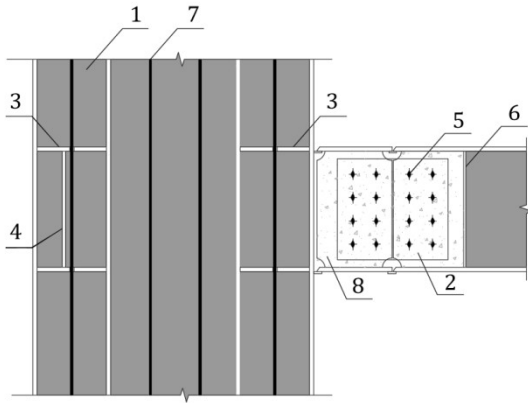
4 刚接节点采用剪力墙边伸出钢悬臂梁段时，悬臂梁段和剪力墙的主钢件应采用全熔透焊缝连接，悬臂梁段和梁连接应满足相关规范的要求。

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。

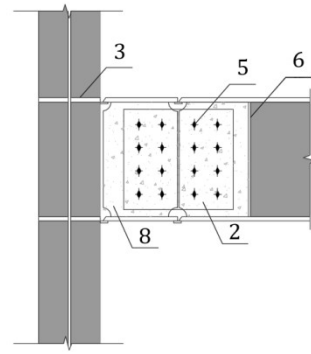
6 一字型剪力墙不应与梁进行单侧面外刚接。



(a) 节点平面图



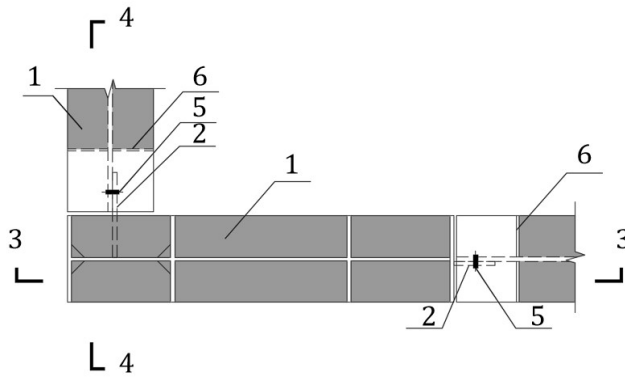
(b) 强轴剖面 1-1



(c) 弱轴剖面 2-2

图 7.3.1-1 梁墙刚接类型

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

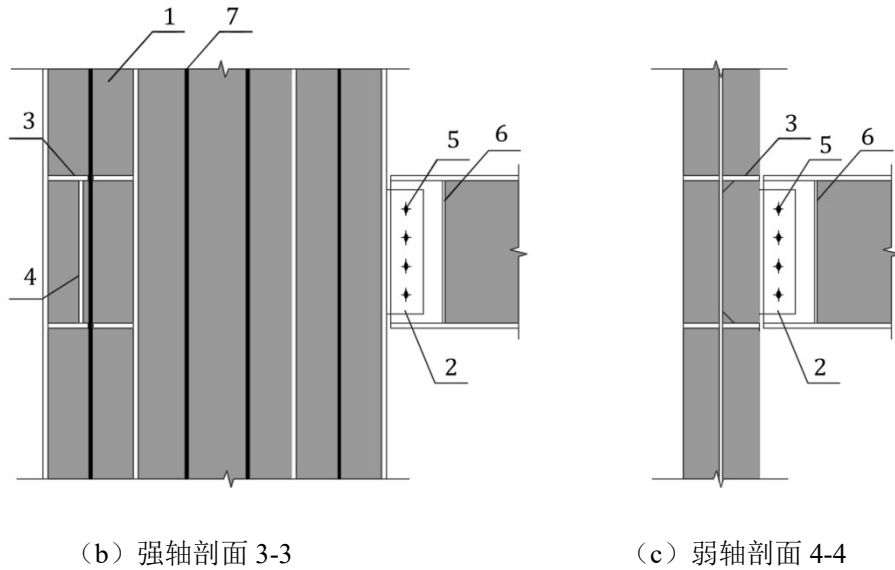


图 7.3.1-2 梁墙铰接类型

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），可通过增加翼缘上下盖板，保证连接位置钢梁的抗弯刚度与极限承载力均不小于PEC梁的抗弯刚度与极限承载力，且节点位置抗剪承载力应符合梁端剪力设计值的要求。

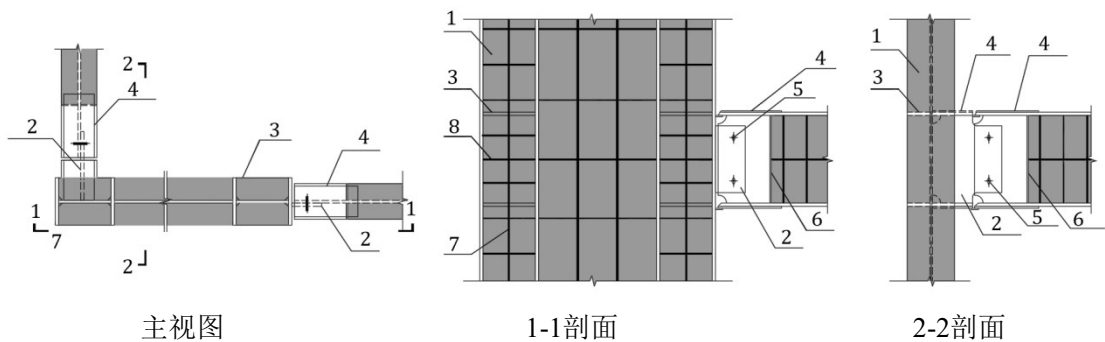


图 7.3.2 梁墙免浇筑刚接节点

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

7.3.3 PEC 剪力墙与梁铰接节点的强度计算应符合下列规定：

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 按地震作用组合设计的剪力墙结构，其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《建筑抗震设计规范》GB 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，应符合下列要求：

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 框架梁与 PEC 剪力墙的刚接连接构造应符合下列要求：

1 梁主钢件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°C 时不低于 27J；

2 梁主钢件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 框架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。

7.4 墙脚连接节点

7.4.1 PEC 剪力墙的墙脚节点可采用外包式（图7.4.1）。

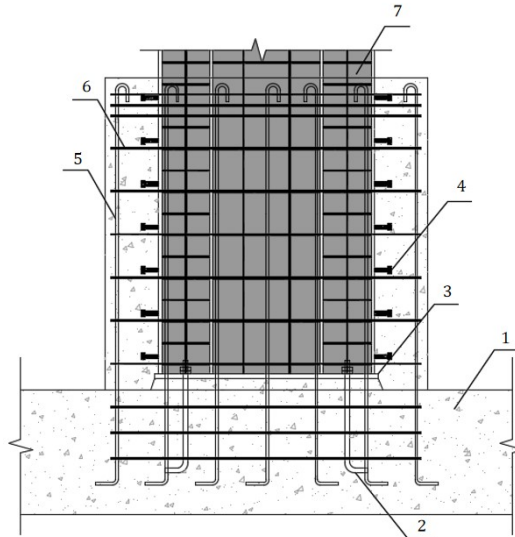


图 7.4.1 墙脚节点构造示意图

1-基础，2-锚栓；3-底板；4-栓钉；5-纵筋；6-箍筋；7-组合剪力墙；8-加劲板

7.4.2 当墙脚位于上部结构计算嵌固端以下至少一层时，可采用图7.4.2所示的外包式墙脚节点，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《混凝土结构设计规范》GB50010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《混凝土结构设计规范》GB50010中钢筋混凝土剪力墙的要求。

3 主钢件平行于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。

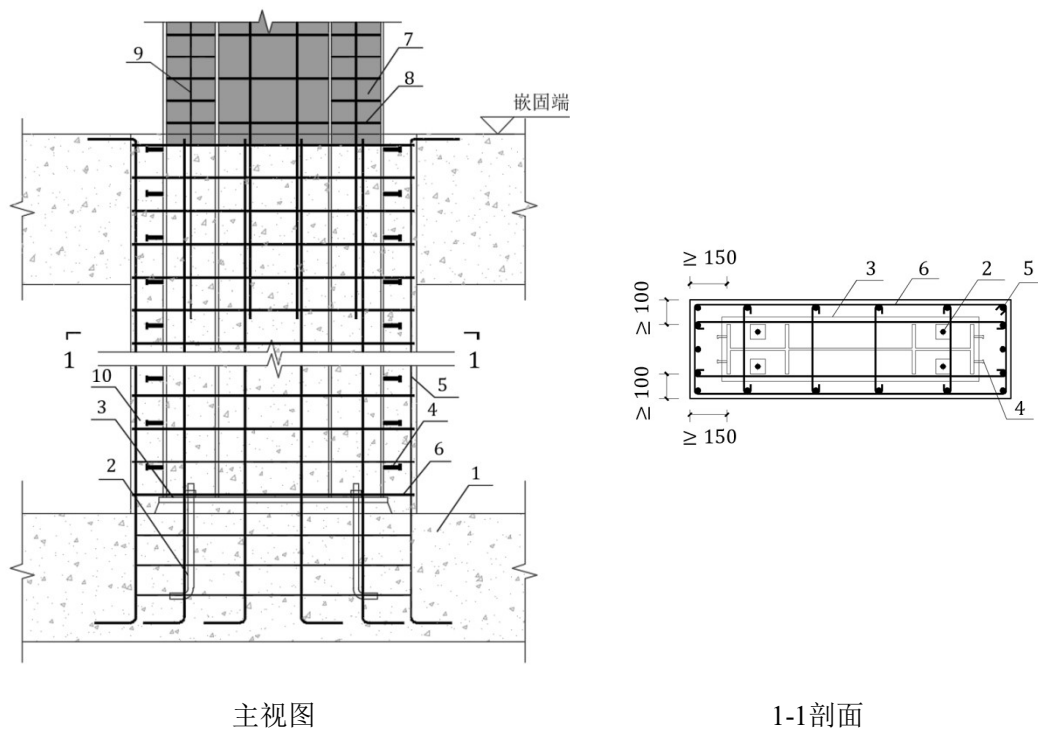


图 7.4.2 外包式墙脚节点构造示意图

1-基础；2-锚栓；3-底板；4-栓钉；5-纵筋；6-箍筋，拉筋；7-组合剪力墙；8-PEC剪力墙上部纵筋；9-PEC剪力墙拉杆；10-现浇外包混凝土

7.4.3 墙脚节点应进行承载力验算，设计时轴力、弯矩、剪力取柱底部的相应内力设计值。承载力设计应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99的相关规定。

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、7.5.1-2），并应满足下列要求：

- 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。

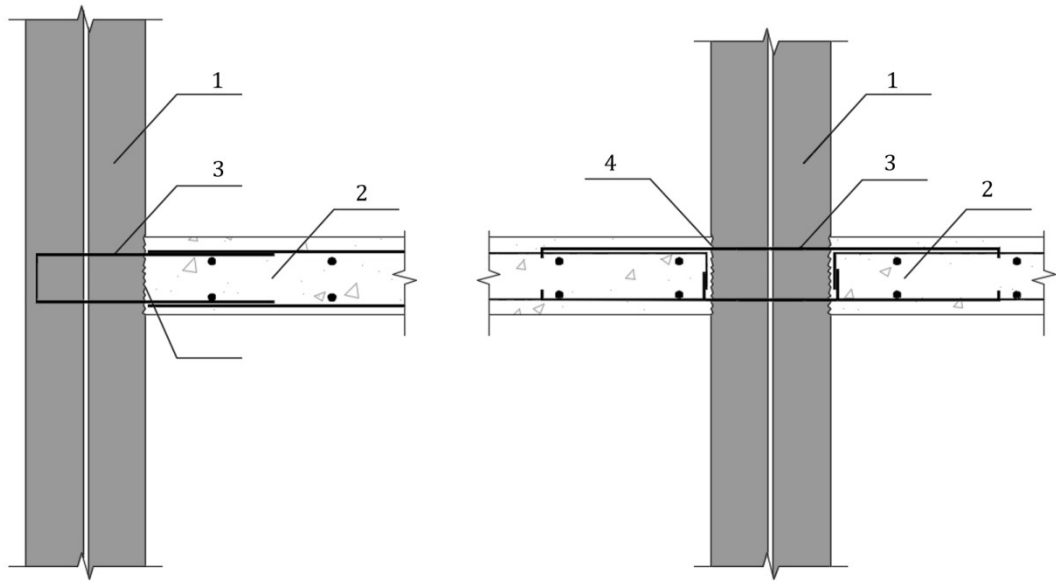


图 7.5.1-1 PEC 剪力墙与现浇楼板连接示意图

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

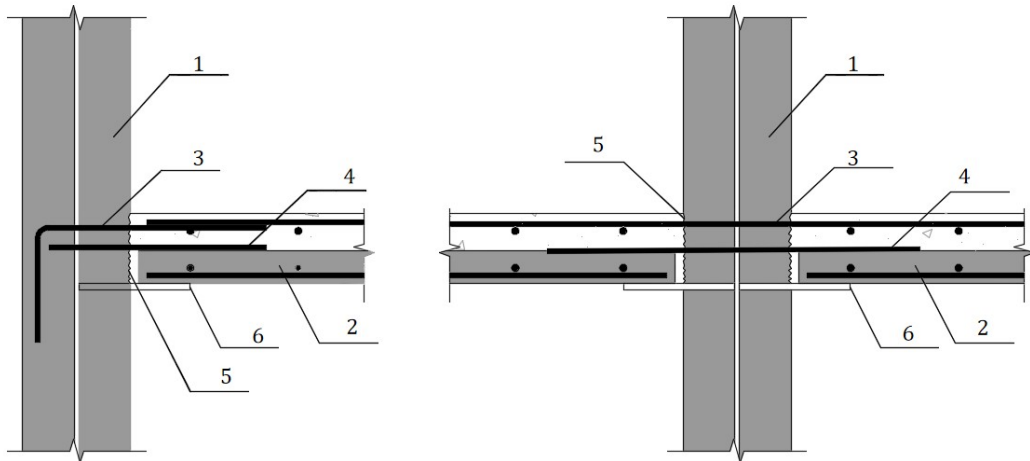


图 7.5.1-2 PEC 剪力墙与叠合楼板连接示意图

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

7.5.2 楼板和 PEC 剪力墙的连接宜采用剪力墙主钢件腹板穿孔或钢筋与主钢件腹板焊接的方式，也可采用从墙体外伸支撑板方式连接。

7.5.3 楼板钢筋的锚固长度应满足现行国家规范《混凝土结构设计规范》GB 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，宜采用蒸压加气混凝土材料与保温装饰一体化板复合系统，其连接应符合现行浙江省工程建设标准《墙体自保温系统应用技术规程》DB33/T 1102、《蒸压加气混凝土墙板应用技术规程》DB33/T1232、《无机非金属面板保温装饰板外墙外保温系统应用技术规程》DB33/T1164、《金属面板保温板外墙保温系统应用技术过程》DB33/T1230 的有关规定。

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、现场安装就位和调整；

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，满足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，当设备与管线必须在 PEC 剪力墙上预留孔洞时，应符合下列要求：

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，或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 剪力墙上不宜开孔。当无法避免时，宜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、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规定确定。

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施工及后续施工；
- 3 火灾下不发生结构性破坏与实效，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。

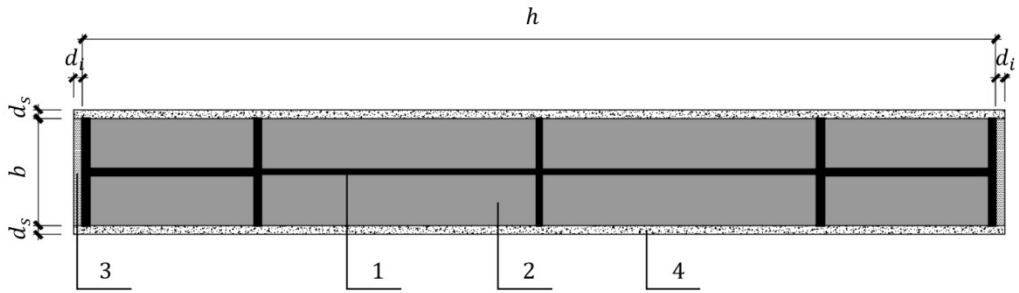
8.1.4 设计文件中，应注明建筑的耐火等级、构件的耐火极限、所采取的防火保护措施及防火保护材料的性能要求。

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：

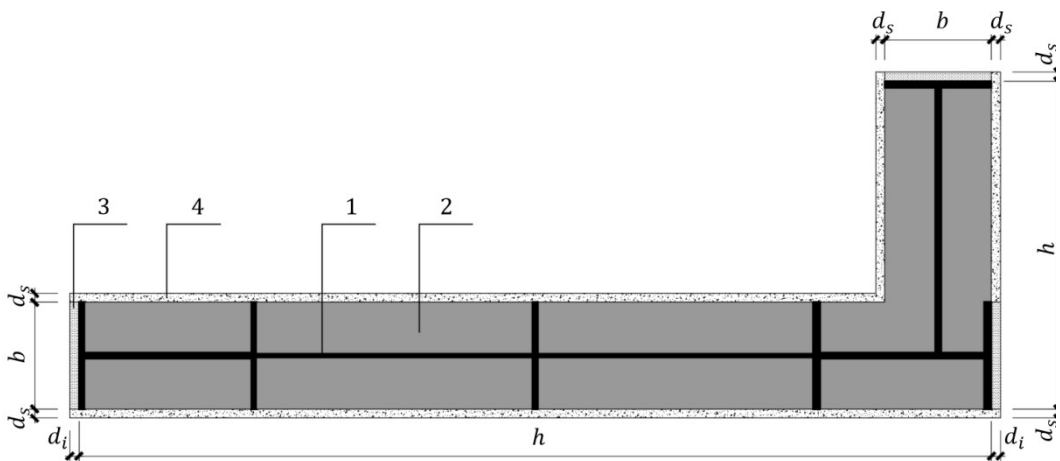
- 1 喷涂或抹涂防火涂料；

- 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部分保护（图8.1.6-a、b）的构造形式。



(a) 部分保护-一字形



(b) 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

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15mm，粘结强度不应小于0.04Mpa；当保护层厚度大于25mm 时，应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；

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国家现行标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046、《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。

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，钢构件表面应采用喷射或抛射除锈，除锈等级不应低于 Sa 2.5；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 涂料产品说明书的相关规定，节点区应做好有效保护措施。

8.2.6 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 制作安装

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，尚应遵守现行国家标准《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。施工详图应经原设计单位确认批准。当需要修改时，制作单位应向原设计单位申报，经同意并签署文件后修改内容方能生效。

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文件。其内容至少应包括：制作所依据的标准，制作厂的质量保证体系，成品的质量保证和为保证成品达到规定的要求而制定的措施。

9.1.4 PEC 剪力墙制作前，需与建筑专业、设备专业和装修专业进行管线预埋的复核，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，组装人员应熟悉施工详图、组装工艺及有关技术文件的要求，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。

9.1.6 PEC 剪力墙的节点构造、连接板设置位置、型钢上预留钢筋孔和混凝土浇筑孔、排气孔位置等应进行专业深化设计。

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，应符合本标准第3章的规定。

9.2 制 作

9.2.1 PEC 剪力墙中混凝土部分的制作宜采取工厂或现场专用场地预制的方式。

9.2.2 PEC 剪力墙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。

9.2.3 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 剪力墙区格长度的 1/2。浇筑孔处应进行受力计算，必要时采取补强措施。

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 连杆的位置宜避开主钢件腹板上浇筑孔的位置，不宜在孔中心区域；
- 2 直钢筋和扁钢条连杆与主钢件采用围焊，C 形连杆与主钢件采用双面角焊缝，焊缝应饱满。

9.2.6 L型、T型、Z型等非对称的 PEC 剪力墙构件，宜在拼接位置及楼板连接位置分别设置辅助支撑，辅助支撑分别连接两个方向墙肢端部翼缘，增强构件在加工、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，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，宜采用振动模台或振动棒振捣的方式，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 对分次浇筑双面或多面成型的 PEC 构件，浇筑过程中应通过计算控制构件的支垫间距，防止制作期间混凝土产生裂缝；
- 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 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 混凝土浇筑完毕后应及时覆盖保湿，脱模前不得揭开；
- 3 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。

9.2.10 设计文件未规定时，构件脱模、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等级不应低于设计强度等级值的75%。

9.2.11 对构造复杂的 PEC 剪力墙，在制作前宜进行工艺性试验。

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 构件支垫应坚实，垫块在构件下的位置宜与制作、起吊位置一致；

2 应采取防止构件产生裂缝的措施；

3 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 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，并应包括但不限于下列内容：

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。

9.3.3 PEC 剪力墙在安装前，应根据构件重量确定吊机型号和

布置位置。

9.3.4 PEC 剪力墙安装应根据结构特点按照合理顺序进行，并形成稳固的空间刚度单元，必要时应增加临时支承结构或临时措施。

9.3.5 PEC 剪力墙的竖向拼接区域的主钢件应在校正完成后即进行永久性连接。

9.3.6 PEC 剪力墙竖向拼接区后浇时间应依据主体结构的施工验算而确定，集中后浇作业不易超过 3 层。

9.3.7 PEC 剪力墙连接或拼接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。

9.3.8 PEC 剪力墙后浇混凝土经检测存在质量缺陷的部位应立即修复，修复用材料宜选用水泥基灌浆料。

9.3.9 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 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。当不同标准对同一项目有不同规定时应从严执行。

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中关于现浇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、《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 1.5 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。

10.1.8 PEC 剪力墙中构件主钢件防火涂料的厚度应满足设计要求。

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 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；

3 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、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 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≤6m	H/1000且≤5	经纬仪或吊线、尺测
	H>6m	H/1000且≤10	

附录A 材料本构关系

A.1 钢材本构关系

A.1.1 PEC 剪力墙中各部分钢材的单轴加载的应力-应变 (σ - ε) 关系曲线 (图A.1.1) 可按下列式确定:

$$\sigma_s = \begin{cases} E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_y) \\ f_y + \alpha E_s (\varepsilon_s - \varepsilon_y) & (\varepsilon_y < \varepsilon_s \leq \varepsilon_u) \\ 0 & (\varepsilon_s > \varepsilon_u) \end{cases} \quad (\text{A.1.1})$$

式中: E_s ——钢材的弹性模量 (N/mm^2);

σ_s ——钢材应力 (N/mm^2);

ε_s ——钢材应变;

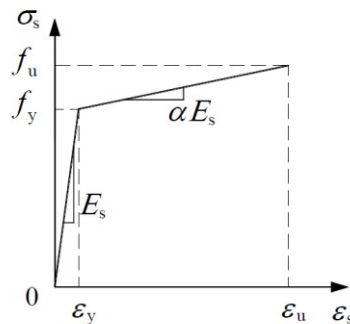
f_y ——钢材屈服强度 (N/mm^2);

f_u ——钢材的极限强度 (N/mm^2);

ε_y ——与 f_y 相应的钢材屈服应变;

ε_u ——与 f_u 相应的钢材极限应变;

α ——钢材的强化系数, 取为0.01。



图A.1.1 钢材单调加载应力-应变曲线

A.1.2 PEC 剪力墙中各部分钢材的反复加载的应力-应变 (σ - ε) 关系曲线 (图A.1.2) 可按下列公式确定, 也可采用简化的折线形

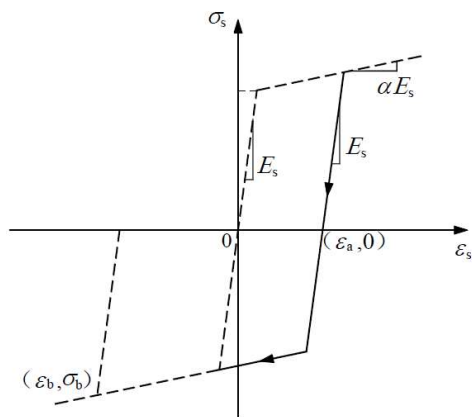
式表达。

$$\sigma_s = E_s(\varepsilon_s - \varepsilon_a) - \left(\frac{\varepsilon_s - \varepsilon_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a}\right)^p [E_s(\varepsilon_b - \varepsilon_a) - \sigma_b] \quad (\text{A.1.2-1})$$

$$p = \frac{(1-\alpha)E_s(\varepsilon_b - \varepsilon_a)}{E_s(\varepsilon_b - \varepsilon_a) - \sigma_b} \quad (\text{A.1.2-2})$$

式中： ε_a ——再加载路径起点对应的应变；

σ_a 、 ε_b ——再加载路径终点对应的应力（N/mm²）和应变，如再加载方向钢材未曾屈服过，则 σ_a 、 ε_b 取钢材初始屈服点的应力和应变。如再加载方向钢材已经屈服过，则取该方向钢材历史最大应力和应变。



图A.1.2 钢材反复加载应力-应变曲线

A.2 混凝土本构关系

A.2.1 PEC 剪力墙中混凝土的单轴受拉应力—应变（ σ - ε ）关系（图A.2.1）可按下列公式确定：

$$\sigma = (1 - d_t) E_c \varepsilon \quad (\text{A.2.1-1})$$

$$d_t = \begin{cases} 1 - \rho_t (1.2 - 0.2x^5) & x \leq 1 \\ 1 - \frac{\rho_t}{\alpha_t (x-1)^{1.7} + x} & x > 1 \end{cases} \quad (\text{A.2.1-2})$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{t,r}} \quad (\text{A.2.1-3})$$

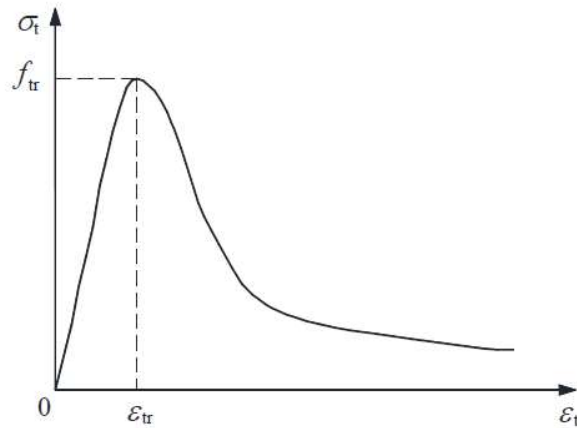
$$\rho_t = \frac{f_{t,r}}{E_c \varepsilon_{t,r}} \quad (\text{A.2.1-4})$$

式中： α_t ——混凝土单轴受拉应力-应变关系曲线下降段的参数值，按表A.2.1取用；

$f_{t,r}$ ——混凝土的单轴抗拉强度代表值，其值可根据实际结构分析需要分别取抗拉强度设计值（ f_t ）、抗拉强度标准值（ f_{tk} ）或抗拉强度平均值（ f_m ）；

$\varepsilon_{t,r}$ ——与单轴抗拉强度代表值 $f_{t,r}$ 相应的混凝土峰值拉应变，按表A.2.1取用；

d_t ——混凝土单轴受拉损伤演化参数。



图A.2.1 混凝土单轴受拉应力-应变曲线

表A.2.1 混凝土单轴受拉应力-应变曲线的参数取值

$f_{t,r}$ (N/mm ²)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$\varepsilon_{t,r}$ (10 ⁻⁶)	65	81	95	107	118	128	137
α_t	0.31	0.70	1.25	1.95	2.81	3.82	5.00

A.2.2 PEC 剪力墙中混凝土的单轴受压应力—应变（ σ - ε ）关系（图A.2.2）可按下列公式确定：

$$\sigma = (1 - d_c) E_c \varepsilon \quad (\text{A.2.2-1})$$

$$d_t = \begin{cases} 1 - \frac{\rho_c n}{n - 1 + x^n} & x \leq 1 \\ 1 - \frac{\rho_c}{\alpha_c (x - 1)^2 + x} & x > 1 \end{cases} \quad (\text{A.2.2-2})$$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c,r}} \quad (\text{A.2.2-3})$$

$$\rho_c = \frac{f_{c,r}}{E_c \varepsilon_{c,r}} \quad (\text{A.2.2-4})$$

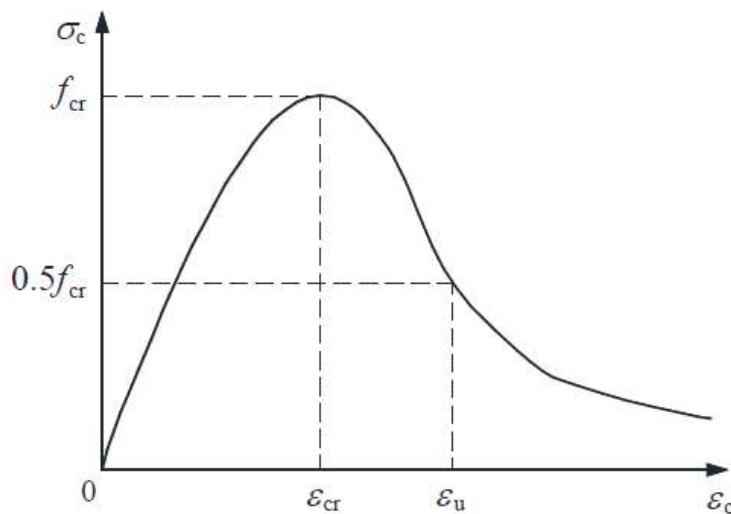
$$n = \frac{E_c \varepsilon_{c,r}}{E_c \varepsilon_{c,r} - f_{c,r}} \quad (\text{A.2.2-5})$$

式中： α_c ——混凝土单轴受压应力-应变关系曲线下降段的参数值，按表A.2.2取用；

$f_{c,r}$ ——混凝土的单轴抗压强度代表值，其值可根据实际结构分析需要分别取抗压强度设计值（ f_c ）、抗压强度标准值（ f_{ck} ）或抗压强度平均值（ f_{cm} ）；

$\varepsilon_{c,r}$ ——与单轴抗压强度代表值 $f_{c,r}$ 相应的混凝土峰值压应变，按表A.2.2取用；

d_t ——混凝土单轴受压损伤演化参数。



图A.2.2 混凝土单轴受压应力-应变曲线

表A.2.2 混凝土单轴受压应力-应变曲线的参数取值

$f_{c,r}$ (N/mm ²)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\varepsilon_{c,r}$ (10 ⁻⁶)	1470	1560	1640	1720	1790	1850	1920	1980	2030	2080	2130	2190	2240
α_c	0.74	1.06	1.36	1.65	1.94	2.21	2.48	2.74	3.00	3.25	3.50	3.75	3.99
$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c,r}}$	3.0	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6

注： ε_{cu} 为应力应变曲线下降段应力等于0.5 $f_{c,r}$ 时的混凝土压应变。

A.2.3 在重复荷载作用下，受压混凝土卸载及再加载应力路径（图A.2.3）可按下列公式确定：

$$\sigma = E_r (\varepsilon - \varepsilon_z) \quad (\text{A.2.3-1})$$

$$E_r = \frac{\sigma_{un}}{\varepsilon_{un} - \varepsilon_z} \quad (\text{A.2.3-2})$$

$$\varepsilon_z = \varepsilon_{un} - \left[\frac{(\varepsilon_{un} + \varepsilon_{ca}) \sigma_{un}}{\sigma_{un} + E_c \varepsilon_{ca}} \right] \quad (\text{A.2.3-3})$$

$$\varepsilon_{ca} = \max \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{un}}, \frac{0.09 \varepsilon_{un}}{\varepsilon_c} \right) \sqrt{\varepsilon_c \varepsilon_{un}} \quad (\text{A.2.3-4})$$

式中： σ ——受压混凝土的压应力；

ε ——受压混凝土的压应变；

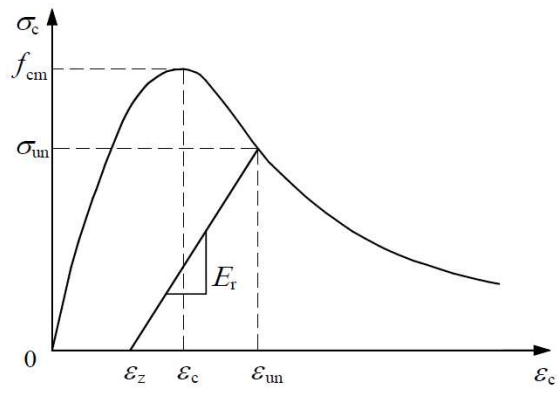
ε_z ——受压混凝土卸载至零应力点时的残余应变；

E_r ——受压混凝土卸载/再加载的变形模量；

σ_{un} 、 ε_{un} ——分别为受压混凝土从骨架线开始卸载时的应力和应变；

ε_{ca} ——附加应变；

ε_c ——混凝土受压峰值应力对应的应变；



图A.2.3 重复荷载作用下混凝土应力-应变曲线

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
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》 GB 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规范》 GB 50205
- 《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》 GB 50212
- 《建筑防腐蚀工程质量检验评定标准》 GB 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
- 《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
《轻骨料混凝土技术规程》 JGJ 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
《建筑钢结构防腐技术规程》 JGJ/T 251
《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283

浙江省工程建设标准

**装配式部分填充钢-混凝土组合剪力墙
结构住宅技术规程**

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

DB 33/T 12xx—20xx

条文说明

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	4
2.1 术 语	4
2.2 符 号	5
3 材 料	6
3.1 钢 材	6
3.2 钢 筋	6
3.3 混 凝 土	6
4 基本设计规定	8
4.1 一般规定	8
4.2 设计原则	12
4.3 变形规定	16
5 基本设计规定	17
5.3 弹塑性分析	17
6 PEC剪力墙设计	18
6.1 承载力计算	18
6.2 构造要求	22
7 PEC剪力墙设计	24
7.1 一般规定	24
7.2 墙与墙拼接连接	24
7.3 墙与梁连接节点	25
7.4 墙脚连接节点	26
7.5 墙与楼板连接节点	27
8 防护设计	29

8.1 防火设计	29
8.2 防腐设计	30
9 制作安装	32
9.1 一般规定	32
9.2 制 作	32
9.3 安 装	33

1 总 则

1.0.1 本条是建筑工程中合理应用装配式部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构应当遵循的总方针。

PEC 剪力墙构件通过混凝土与钢的合理组合，使之具有混凝土和钢结构的双重优点，可以有效减小构件截面，节材，钢材锈蚀、受压失稳、隔音、防火、舒适性等性能得到较大提升；现场湿作业少，预制率高，基本做到全装配；施工速度快；节点连接安全可靠等特点。

由于部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构特点和优势，近年来已经在我省装配式钢结构住宅建筑中得到了越来越多的应用，本规程是在总结国内外在部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构领域的理论研究和大量试验的基础上，结合我省的工程项目实践编写而成，旨在规范和指导部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构在我省的工程项目的设计、制作和安装。

1.0.2 本规程主要阐明了部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构的适用范围、设计方法、施工要求和方法等，作为部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构在我省建造的依据。

工业建筑中如果要采用部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构可以参照本规程执行。

PEC 剪力墙构件可以全部或部分在工厂或现场预制，预制构件的吊装和连接方式与钢构件类似，现场只需少量补填混凝土，可达到较高的预制化、装配化水平。PEC 剪力墙构件由于利用了钢-混凝土的组合作用，经济性良好，在住宅建筑中得到了广泛的应用。工业建筑如采用装配式部分包覆钢-混凝土组合结构，可按

本规程有关规定执行。

为保证 PEC 剪力墙构件中主钢件与混凝土能共同作用，最大化利用钢和混凝土的材料性能，对混凝土中的纵筋、箍筋，以及抗剪件、连杆等需满足一定的构造要求。

本规程中涉及的结构体系中，以竖向受力构件采用 PEC 剪力墙构件的情况为主，给出了较为具体的规定。当采用 PEC 柱和 PEC 梁等部分包覆钢-混凝土组合构件时，按照浙江省工程建设标准《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》DBJ33/T 1290 进行设计。

仅有剪力墙采用 PEC 剪力墙构件，其他采用钢柱、钢管混凝土柱、PEC 柱或钢筋混凝土构件等的情况，PEC 剪力墙构件设计可采用本规程的相关规定，其他构件的设计应满足相应标准的要求。但连接和节点的构造类型较多，本规程尚不能完全覆盖；有关结构体系设计的整体指标，也需经过论证或研究，本规程中尚不能完全覆盖。这些情况，需要设计工程师在调研基础上针对个案具体解决，积累一定经验后作为普遍性规定予以明确。

由于 PEC 剪力墙构件的高周疲劳尚未有充分研究结果能够指导工程实践，故本规程暂不适用于需要高周疲劳的构件，即直接承受动力荷载重复作用且结构使用期间应力循环次数大于 5×10^4 的情况。

为满足实际工程需要，PEC 剪力墙构件的截面形式不限于本规程规定的采用两端工字（H 型）钢，中间焊接钢板和纵向加劲肋的情况，也可采用图 1-1 所示的主钢件形式。采用本规程尚未规定的截面形式或节点形式时，应有充分的计算分析依据和试验依据，并进行必要的专项论证。

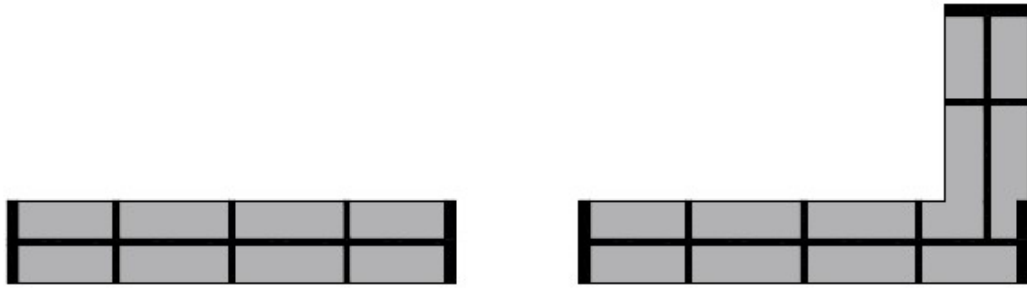


图 1-1 部分包覆钢-混凝土组合墙截面形式

1.0.3部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构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，如《钢结构通用规范》GB 55006、《混凝土结构通用规范》GB 55008、《钢结构设计标准》GB 50017、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《组合结构设计规范》JGJ 138 等。当标准修订或有新的相关标准实施时，应按最新标准执行。

当采用 PEC 柱和 PEC 梁等部分包覆钢-混凝土组合构件时，应满足浙江省工程建设标准《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》DBJ33/T 1290 相关要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 PEC 构件是在开口型钢结构构件截面的翼缘间填筑混凝土，形成型钢和混凝土共同受力的组合构件，能较好地将钢与混凝土组合协同工作，混凝土提高开口截面钢的局部稳定性，钢的外包约束一定程度上抑制混凝土裂缝早期开裂，使得构件具有较高的竖向承载力，又具有较好的抗震性能。PEC 构件包括 PEC 剪力墙、PEC 柱、PEC 梁、PEC 支撑等。

2.1.2 给出了部分包覆钢-混凝土组合剪力墙构件的定义和简称。

2.1.3 部分包覆钢-混凝土组合结构是指由部分包覆钢-混凝土组合构件组成的结构，一般包括PEC框架结构、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。本规程限定了涉及的结构类型。

PEC 剪力墙构件可以单独形成 PEC 剪力墙结构体系，也可以与 PEC 构件、钢构件、钢筋混凝土构件或其他形式的钢-混凝土组合构件形成结构体系。

剪力墙结构和框架-剪力墙结构等结构体系中的剪力墙构件可全部或者部分采用 PEC 剪力墙构件。

2.1.4 ~ 2.1.6 给出了部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构、框架-部分包覆钢-混凝土组合剪力墙结构和框架-部分包覆钢-混凝土组合核心筒结构的定义。其中的框架部分除可采用钢框架、钢管混凝土框架和部分包覆钢-混凝土组合框架以外，也可采用混凝土框架、型钢混凝土框架等构件类型，设计时尚应满足相关规范要求。

2.1.7 PEC 构件有别于型钢混凝土构件和钢管混凝土构件，为此给出了组合构件截面中钢骨的专有名词“主钢件”以示区别。PEC 剪力墙中主钢件也有别于PEC 柱中主钢件，因此进行了专有定义。PEC剪力墙中主钢件包含了边缘构件的型钢、墙身腹板、纵向加劲肋，图2-1和图2-2中黑色填充部分均属于PEC剪力墙主钢件。

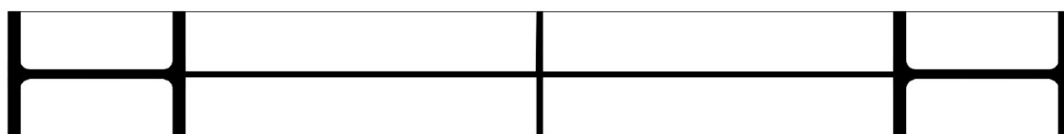


图 2-1

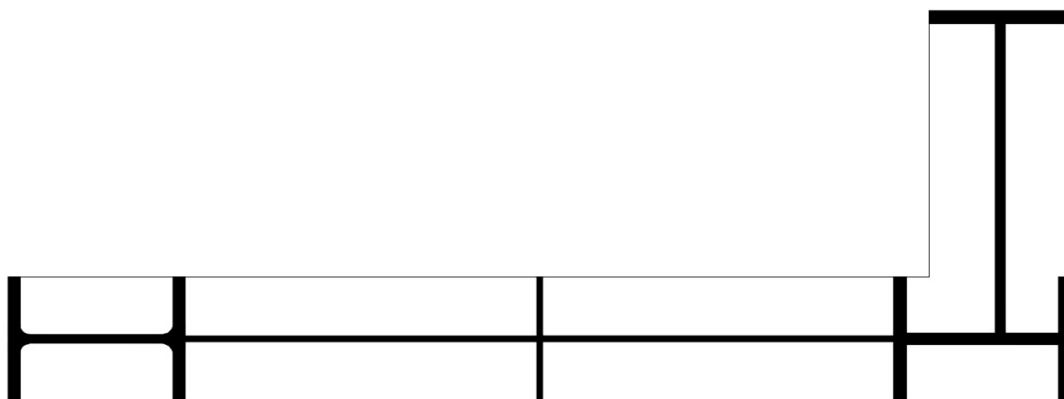


图 2-2

2.1.8 连杆是 PEC 构件中特有的组件，连杆不是箍筋，尽管连杆可以采用钢筋，连杆的主要作用是约束受压钢翼缘向外鼓屈，在术语中特加说明。

2.2 符 号

2.2.1~2.2.4 符号是根据现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083 的有关规定制定的，并尽可能保持同现行标准（如《钢结构设计标准》GB 50017、《混凝土结构设计规范》GB 50010 及现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138）的协调性。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.3 本条规定了承重结构的钢材应具有力学性能和化学成分等合格保证的项目。非焊接的重要结构（如吊车梁、吊车桁架、有振动设备或有大吨位吊车厂房的屋架、托架，大跨度重型桁架等）以及需要弯曲成型的构架等，亦都需要具有冷弯试验合格的保证。

3.1.5 结构设计包括抗震设计中，如构件需经受较大塑性变形时，结构钢材的选用应满足本条规定。

3.2 钢 筋

3.2.1 当 PEC 构件中的纵筋主要起约束混凝土作用、且未在承载力计算中予以考虑时，可不按受力钢筋要求。

3.3 混 凝 土

3.3.1 本条参照现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的设计原则，鉴于 PEC 剪力墙含钢率较高，故当要求计入混凝土对承载力的贡献时，混凝土强度等级不宜过低。

本规程构件截面强度计算是基于材料达到极限变形假定的，也即要求主钢件和混凝土材料在承载能力极限状态下分别能达到其屈服强度和轴心抗压强度。因为达到轴心受压强度后混凝土承载能力将下降，如果这一状态发生在主钢件屈服之前，极限分析假定将与实际情况产生一定偏差。混凝土和钢材应变比较（见表 3-1）说明，当主钢件的钢材牌号在 Q235~Q420 范围内时，匹配的混凝土标号为 C20~C70，则都能满足这一要求。国内外已完成的构件试验大多

都在上述材料范围内，试验结果均表明试件可以达到基于极限变形假定所计算的承载力。但当采用高强度钢材（如 Q460）时，需要注意可能出现混凝土压碎时钢材没有屈服的情况。

表 3-1 混凝土和钢材应变比较

混凝土强度	C20~C50	C55	C60	C65	C70
ε_0	0.00200	0.00202	0.00205	0.00208	0.0021
钢材牌号	Q235	Q355	Q390	Q420	Q460
ε_y	0.0011	0.0017	0.0019	0.0020	0.0022

注：混凝土应变 $\varepsilon_0 = 0.002 + 0.5 \times (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5}$ ，钢材应变 $\varepsilon_y = f_{ay} / E_a$ 。

3.3.3 PEC 剪力墙的连接后浇区也可采用普通混凝土，除强度等级应比相应主体构件提高一级外，还需加强施工措施，确保混凝土浇筑密实。当采用普通混凝土浇筑时，采用簸箕口从后浇区侧上方灌混凝土，混凝土充分振捣，保证后浇筑节点密实。浇筑完成后再将料斗口凿除，凿除时应注意不能影响主体结构。

3.3.4 为保证 PEC 剪力墙后浇区的性能，对节点进行了分类，节点材料根据类别规定了不同的要求，当采用自密实混凝土材料时，材料膨胀率一般为 0.02%~0.05%。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 PEC剪力墙构件也可用于框架-核心筒结构、部分框支剪力墙结构等体系，对其他结构体系的应用，可根据工程经验与其他相应规范、标准的要求研究制定。

4.1.3 PEC 剪力墙与钢筋混凝土梁的连接可参考图4-1，混凝土梁纵筋与钢牛腿采用搭接焊接时，单面焊接长度不小于 $10d$ ，双面焊接长度不小于 $5d$ 。PEC 剪力墙与型钢混凝土梁的连接方式应符合《组合结构设计规范》中型钢混凝土柱与混凝土梁的刚性连接要求。

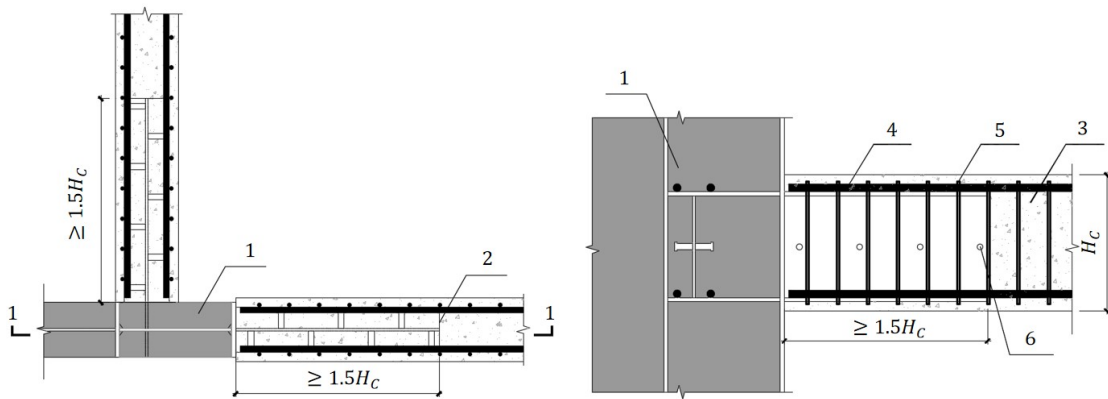


图 4-1 PEC剪力墙与钢筋混凝土梁连接示意

1-预制混凝土；2-钢牛腿；3-现浇混凝土梁；4-纵筋；5-箍筋；6-栓钉

4.1.6 部分包覆钢-混凝土组合构件（PEC 构件）主要由H 钢等开口截面主钢件和混凝土组成，且混凝土与主钢件共同受力。PEC剪力墙是基于 PEC 柱构造形式进行拓展，截面高宽比大于4的竖向构件。PEC剪力墙的主钢件可采用两端H型钢钢，中间焊接钢板和纵向加劲肋。主钢件可以采用型钢，也可以采用焊接截面。焊接截面可以采用宽厚比较大的板件，起到节省钢材的作用；但采用型钢有利于

标准化、模数化的设计，也能获得较高的综合效益。

PEC剪力墙在墙身腹板宽厚比不满足要求时，可在墙身腹板两侧设置纵向加劲肋。

PEC剪力墙常用的截面形式为一字型、L型，也可拓展为T型（图4-2）、Z型（图4-3）。

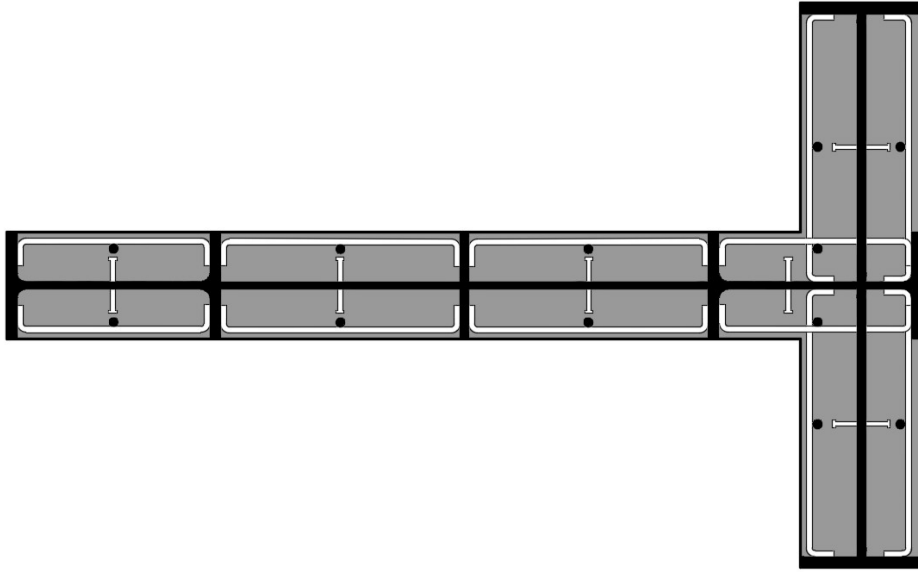


图 4-2 PEC剪力墙的截面形式- T型

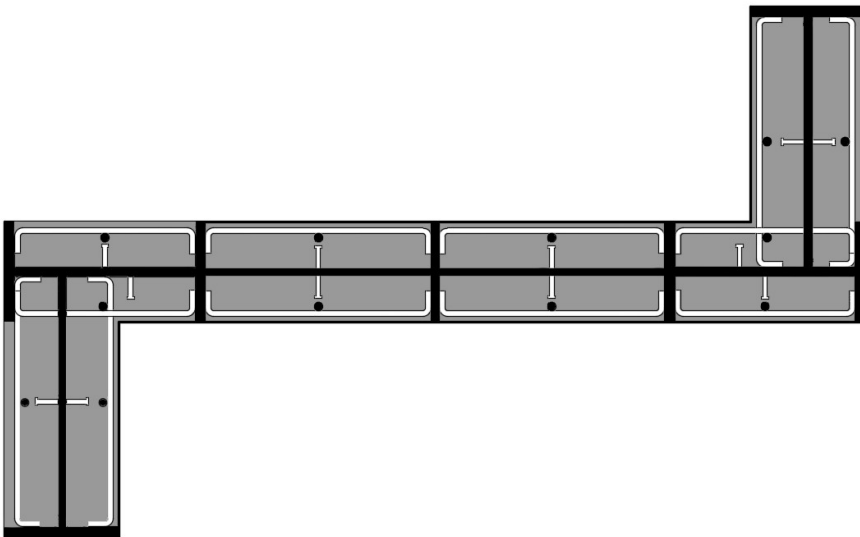


图 4-3 PEC剪力墙的截面形式- Z型

为满足实际工程需要，PEC 剪力墙的截面形式不限于本规程规定的采用 H 形钢拼接作为主钢件的情况。

例如，可采用十字型钢柱作为端柱（图4-4），或端部翼缘采用槽钢（图4-5）等形式。针对具体工程采用此类构件时，应进行必要的试验和充分的论证。

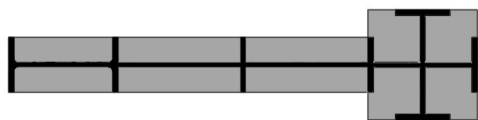


图 4-4



图 4-5

为体现装配式特点，PEC 剪力墙的主钢件及包覆混凝土宜在工厂预制完成。

4.1.7 PEC 墙的塑性承载能力和变形能力发展与可能达到的程度与主钢件板件宽厚比密切相关。确定墙翼缘及腹板的设计原则、选择计算方法时，应当依据主钢件的板件宽厚比及与之有关的截面分类。

本款规定了墙中主钢件的截面分类及相应不同部位的宽厚比限值。根据试验和有限元分析，PEC剪力墙破坏出现在受压侧角部，破坏形态基本为角部混凝土压碎，钢翼缘向外局部屈曲。因此对于PEC剪力墙的宽厚比控制分为端部区格和墙身两个部分。表4.2.2中端部翼缘和边缘构件腹板的规定参照《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程（DBJ33/T 1290-2023）》中构件宽厚比限值进行规定；钢板外侧混凝土墙体对保证钢板的侧向稳定有重要作用，且根据试验结果，极限状态下墙身区格内的混凝土受损程度较小，对腹板依然存在约束作用，因此对于墙身腹板的宽厚比限值在端部区格宽厚比限值的基础上相应放大。目前在29个剪力墙构件试验中，尚未发生腹板破坏的情况。在基于16个钢板混凝土剪力墙的相关试验研究（同济大学王伟《钢板钢筋混凝土复合剪力墙抗震性能的试验研究》，2018），内藏于钢筋混凝土剪力墙中的钢板高厚比最大做到了200，随着混凝土的裂缝的发展，越来越多的混凝土退出工作后，钢板才会发生屈曲。钢板承担了分担侧向力的主要作用，而混凝土则对钢板提供侧向约束。因此，混凝土

可以防止钢板过早失效。对于轴压比不大于0.3的PEC剪力墙，墙身腹板高厚比可以放宽到124。腹板厚度的选择应综合考虑制造加工工序工艺的可行性。



图 4-6 PEC剪力墙的试件破坏照片

在框架结构抗震设计中，根据“强柱弱梁”要求，除柱脚部分外，主钢件达到截面分类2的塑性承载力即能满足要求，按本款规定设计截面仍能得到良好的经济性。但对柱脚部位等如要求具备塑性铰能力，腹板宽厚比应符合截面分类1的要求。《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程（DBJ33/T 1290-2023）》中截面分类3的情况为主钢件仅截面边缘达到钢材屈服强度，实际工程应用中PEC剪力墙构件焊接程序较多，板件厚度过薄容易出现整体变形大、竖向拼接困难，因此本款取消截面分类3的情况。

本款参考了《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程（DBJ33/T 1290-2023）》4.1.2中第4款的规定。本款规定事实上允许采用超出表4.2.2宽厚比限值的主钢件，一定条件下可能取得更

高的材料利用效率。

纵向加劲肋宽厚比限值参考《钢结构设计标准》中的相关规定。

纵向加劲肋与腹板采用断续角焊缝可减小加工阶段产生的钢板变形。

可采用焊接角钢或粗钢筋构造措施增加PEC剪力墙受压翼缘的局部稳定性。

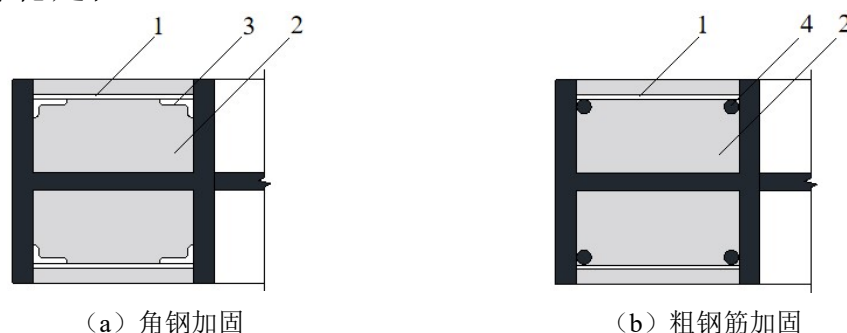


图 4-7 PEC剪力墙构造措施

1-连杆；2-混凝土；3-角钢；4-粗钢筋

4.2 设计原则

4.2.1 建筑结构安全等级按现行国家标准《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 的规定划分为一级、二级和三级。对一般工业与民用建筑部分包覆钢-混凝土组合结构，其安全等级可取为二级。

荷载效应的组合原则根据现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 的有关规定制订。对荷载效应的偶然组合，统一标准只做出原则性的规定，具体的设计表达式及各种系数应符合相关规范的有关规定。对于正常使用极限状态，一般只采取荷载效应的标准组合，当有可靠依据和实践经验时，亦可采取荷载效应的频遇组合。部分包覆钢-混凝土组合结构的极限状态设计规定与现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 一致。

4.2.2 构件的承载力设计，基于现行国家标准《建筑结构荷载规

范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《组合结构设计规范》JGJ 138 有关极限状态设计表达式的规定。本规程对 PEC剪力墙的承载力和稳定抗震调整系数按《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程（DBJ33/T 1290-2023）》中柱的要求执行。

4.2.3 PEC剪力墙结构体系延性好，类似于框架-支撑结构体系。考虑到PEC剪力墙结构体系使用经验还需要进一步积累，PEC剪力墙结构是在框架-支撑结构体系的基础上，对适用高度适当降低了50m。

框架-PEC剪力墙结构、框架-PEC核心筒结构分别与行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138-2016第4.3.5条中对应框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构的规定一致。其原因是部分包覆钢-混凝土组合结构的力学性能与型钢混凝土构件相比性能更有优势，前者边缘部分始终有钢材参与工作，在正常使用状态下能更有效的防止裂缝开展，在极限状态下前者钢材外包轮廓范围内的受压混凝土在完全压溃前也能较充分地发挥作用，故按型钢混凝土结构取值是合理且偏于安全的。

本条尚不能全部覆盖可以应用PEC剪力墙的结构体系，对其他结构体系的适用高度，需根据工程经验与其他规范、标准的要求研究制定。

列出 8 度的最大高度限值是因为 7 度乙类建筑需提高一度取值。

4.2.4 高宽比是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制。参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010 第3.3.2条，建筑结构适用的最大高宽比与结构体系及抗震设防烈度有关；参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015第 3.2.3条，高宽比仅与抗震设防烈度有关。由于PEC剪力墙结构刚度、整体稳定、承载能力等优于钢筋混凝土剪力墙，故本条在高宽比取值上遵循不超过钢结构但适当高于钢筋混凝土结构的原则。

4.2.5 抗震等级的划分体现了对结构不同的延性要求。本条参考国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3和《组合结构设计规范》JGJ 138等的规定确定PEC剪力墙的抗震等级，并适当考虑PEC剪力墙的抗震性能。由于PEC剪力墙延性优于现浇混凝土剪力墙，前者相应抗震等级可适当降低，在遇到转换层、错层、体型收进等复杂结构情况且抗震等级为一级时可不再提高。

一般情况下，构件的抗震等级应与结构相同；当某个部位各构件的承载力均满足2倍地震作用组合下的内力要求时，7~8度的构件抗震等级应允许按降低一度确定。

4.2.6 本条所规定的主钢件截面分类要求，包括了本规程第4.2.2条中设置连杆后达到宽厚比限值的情况。

4.2.7 结构抗震计算时的阻尼比取值按行业标准《组合结构设计规范》JGJ138-2016第4.3.6条规定采用。框架（包含钢框架、PEC框架和钢管混凝土框架）-PEC剪力墙结构、框架（包含钢框架、PEC框架和钢管混凝土框架）-PEC核心筒结构阻尼比取值参照PEC剪力墙结构。实际情况中存在组合构件与混凝土构件、钢构件共同组成结构体系的情况，目前尚无充分的分析研究确定其阻尼比的取值，采用本条规定进行设计时由设计人员分析确定。

4.2.8 风荷载作用下的阻尼比取值按行业标准《组合结构设计规范》JGJ138-2016第4.3.6条规定采用。框架（包含钢框架、PEC框架和钢管混凝土框架）-PEC剪力墙结构、框架（包含钢框架、PEC框架和钢管混凝土框架）-PEC核心筒结构阻尼比取值参照PEC剪力墙结构。

4.2.9 本条适用于结构整体弹性分析时采用的截面刚度计算。截面刚度计算中参考现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138和现行浙江省工程建设标准《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》DBJ33/T 1290，采用主钢件截面刚度和混凝土截面刚度叠加的方法。在弹性范围内用叠加方法计算截面刚度简单可行、

符合实际情况。

通常工程设计中的构件内力和结构变形是根据弹性分析获得或基于弹性计算结果予以调整，因此使用本条规定能够满足工程设计的一般要求。构件设计计算时其刚度需要进行适当折减的情况，在相关构件设计的条文中予以规定。结构进入弹塑性后，截面刚度不能按本条规定计算，因此在非线性分析中，可根据理论假定、试验结果、数值模拟等建立的非弹性刚度计算，本规程对此不予规定。

式中主钢件的截面和惯性矩，不包含截面纵向加劲肋。

4.2.10 结构的刚度和重力荷载之比（简称刚重比）主要是控制在风荷载或水平地震作用下，重力荷载产生的二阶效应不致过大，以免引起结构的失稳、倒塌。PEC剪力墙体系和框架剪力墙体系均属于弯剪型的结构变形形态。对PEC结构而言，其构件由混凝土和主钢件两部分组成，但PEC剪力墙由于钢的贡献占比较高，钢筋混凝土部分考虑刚度的折减后占比不超过50%，主钢件部分占比最小不小于50%，本规程又对含钢量有6%的最小要求，所以随着含钢量的增加，主钢件的贡献会越高。本规程中的刚重比限值偏保守取了最大值1.0（弯剪型）。

4.2.11 采用行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010第11.2.6条的规定。第3项中当建筑物楼面有大开洞或为转换楼层时，可采用现浇钢筋混凝土楼板，也可采用钢筋桁架楼承板或现浇钢筋混凝土组合楼板。

4.2.12 框架-PEC剪力墙和PEC剪力墙结构体系的容许变形相较PEC框架结构体系略小，数值上较为接近，因此可按《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程》(DBJ33/T 1290-2023)中4.2.10条对框架结构防震缝宽度的要求。

4.2.13 作为结构体系的判断依据，本条与行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010保持一致。

4.2.14 框架-PEC剪力墙结构在水平地震作用下，框架部分计算

所得的剪力一般都较小。按多道防线的概念设计要求，墙体是第一道防线，在设防地震、罕遇地震下先于框架破坏，由于塑性内力重分布，框架部分按侧向刚度分配的剪力会比多遇地震下加大，为保证作为第二道防线的框架具有一定的抗侧力能力，需要对框架承担的剪力予以适当的调整。调整参数参照了《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010中8.1.4条对于框架-剪力墙结构的调整系数。

4.2.15 本款与行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010第8.1.5条要求保持一致。

4.3 变形规定

4.3.1、4.3.2 PEC剪力墙在主抗侧方向的受力性能和破坏模式更偏向于钢结构，钢截面的刚度贡献占比较高，但外表面有别于钢管混凝土和双钢板混凝土组合剪力墙，钢筋混凝土填充于腹板空腔处，一侧外露。结合试验的数据，33片PEC剪力墙试验的数据统计，混凝土出现裂缝的位移角平均值为1/321，综合考虑PEC剪力墙的最大特点是包覆的钢筋混凝土外露因素，有别于钢管混凝土和钢板组合剪力墙结构，参考《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936-2014，本规程最大层间位移角适当加严取1/450，保证了小震作用下非结构构件不因结构变形而发生破损。设计人员可按实际情况，必要时提高控制标准。

4.3.3 考虑到防水、防开裂、隔音等综合因素，建议填充墙与主体结构采用刚性连接做法。

4.3.4 本条引用了《组合结构通用规范》55004-2021第4.2.4条的规定。鉴于《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015都是以150m为高度分界点，而PEC结构的刚度介于两者之间，故仍维持此高度分界点不变。

5 基本设计规定

5.3 弹塑性分析

5.3.3 钢梁和钢柱的恢复力模型参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99的有关条文。PEC剪力墙采用壳单元模型和墙单元模型时，可近似按混凝土保护层为零的型钢-混凝土剪力墙来处理。

5.3.4 重力荷载二阶效应的影响可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关条文执行。混凝土材料强度可取标准值，有依据时可取平均值。

弹塑性计算结果与分析软件的计算模型、有限元单元划分等有关系，存在较多经验因素。因此，弹塑性分析计算首先需要了解分析软件的适应性，选择适合于所设计工程的分析软件，并对计算结果合理性进行判断。因此对于超高层结构，需进行两个独立的计算，包括用两个不同的软件程序分别进行计算。

6 PEC剪力墙设计

6.1 承载力计算

6.1.1 本条为轴心受压PEC剪力墙的截面承载力计算规定。焊接普通 H 形钢 PEC 柱轴压试验结果表明，在达到极限承载力之前，钢与混凝土能够很好的协同工作，最终的破坏模式主要是混凝土压碎，横向连杆鼓出，受压翼缘达到屈服并发生局部屈曲。PEC 剪力墙可以参考 PEC 柱轴压试验结果，基于叠加原理，建立 PEC 剪力墙轴压截面承载力计算公式。

6.1.2 参照行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010附录D第D.0.4条，剪力墙整体稳定承载力为欧拉稳定承载力除以8.0，其依据是考虑到混凝土材料的弹塑性、荷载的长期性以及荷载偏心距的综合影响。参照国家标准《钢结构设计标准》GB 50017-2017第5.1.6条第2款，一般结构的二阶效应系数 $\theta_i^{\parallel} = 1/\eta_{cr}$ ， η_{cr} 最小值为4，由于PEC剪力墙抗弯刚度是主钢件和包覆混凝土两部分抗弯刚度的组合，故整体稳定承载力可以按两者抗弯刚度占比进行计算。公式推导如下：

$$\text{PEC剪力墙整体稳定承载力: } N_{cr} = \frac{\pi^2(EI)_{eq}}{l^2} = \frac{\pi^2}{l^2} \left(\frac{E_a I_a}{4} + \frac{E_c I_c}{8} \right);$$

不计纵向钢筋对PEC剪力墙抗弯刚度的贡献，可考虑钢肋板作用，

令： $EI = E_a I_a + E_c I_c$ ， $k_a = \frac{E_a I_a}{EI}$ 。则得到： $E_a I_a = k_a EI$ ， $E_c I_c =$

$(1 - k_a)EI$ 。代入 N_{cr} 表达式且令 $\varphi = \frac{(1+k_a)}{8}$ 即可得到式（6.1.2-1）。

选取了120个算例，其中剪力墙厚度175mm、200mm、250mm、300mm；层高3m至6m；含钢率4%至16%；混凝土强度等级C30、C50；钢材牌号Q235、Q355；计算发现组合稳定系数在1/7.5至之1/5.5间，故取上下限值为0.18及0.13。

“文献1《部分包覆钢-混凝土组合竖向构件整体稳定承载力分析》”基于实际工程最常用的 PEC 剪力墙截面形式，设计并完成了6个长细比不同的PEC剪力墙试件的轴压试验，破坏模式均为平面外弹塑性失稳破坏，试验值与本规程公式计算结果之比，平均值1.499，标准差0.08，偏于安全。试验表明，平面内轴压稳定通常不起控制作用，故可以按b曲线计算平面内轴压稳定承载力。PEC剪力墙轴心受压平面内整体稳定具体计算如下：

1 持久、短暂设计状况：

$$N \leq \varphi N_u \quad (6-1)$$

2 地震设计状况：

$$N \leq \varphi N_u / \gamma_{RE} \quad (6-2)$$

式中： N 、 N_u —— 轴向压力设计值、截面受压承载力设计值（N）；

φ —— 轴心受压剪力墙平面内的稳定系数，应采用国家标准《钢结构设计标准》GB 50017-2017附录 A 规定的 b 曲线。

γ_{RE} —— 剪力墙轴压抗震承载力调整系数。

组合截面回转半径应按下式计算：

$$i = \sqrt{\frac{E_a I_a + E_c I_c}{E_a A_a + E_c A_c}} \quad (6-3)$$

式中： i —— 组合截面回转半径（mm）。

参照现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138，整体稳定计算时按组合截面计算截面回转半径。常用构件，含钢率在6%至13%之间，按组合截面计算的PEC剪力墙回转半径与纯钢截面的

回转半径关系大致为：强轴 $i_x=0.884i_{x\text{钢}}$ ，弱轴 $i_y=1.240i_{y\text{钢}}$ 。与 PEC柱相比，强轴更弱，弱轴更强。

剪力墙正则化长细比（ λ_n ）按下列公式计算：

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{\text{EQ}}}{E_{\text{EQ}}}} \quad (6-4-1)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (6-4-2)$$

$$f_{\text{EQ}} = \frac{f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c}{A_a + A_c} \quad (6-4-3)$$

$$E_{\text{EQ}} = \frac{E_a A_a + E_c A_c}{A_a + A_c} \quad (6-4-4)$$

式中： l_0 —— 轴心受压剪力墙计算长度（mm），应符合本标准第6.3.8条规定；

λ —— 剪力墙长细比；

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）。

采用正则化长细比，公式推导如下：

$$\begin{aligned} \lambda_n &= \sqrt{\frac{N_{\text{uk}}}{N_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c}{\pi^2(E_a I_a + E_c I_c) / l_0^2}} = \frac{l_0}{\pi} \sqrt{\frac{f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c}{E_a I_a + E_c I_c}} \\ &= \frac{l_0}{\pi} \sqrt{\frac{(f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c) / (E_a A_a + E_c A_c)}{(E_a I_a + E_c I_c) / (E_a A_a + E_c A_c)}} = \frac{l_0}{\pi i} \sqrt{\frac{f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c}{E_a A_a + E_c A_c}} \\ &= \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{(f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c) / (A_a + A_c)}{(E_a A_a + E_c A_c) / (A_a + A_c)}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{\text{EQ}}}{E_{\text{EQ}}}} \end{aligned}$$

式中：当量强度为 $f_{\text{EQ}} = \frac{f_{\text{ay}}A_a + f_{\text{ck}}A_c}{A_a + A_c}$ ；当量弹性模量为

$$E_{\text{EQ}} = \frac{E_a A_a + E_c A_c}{A_a + A_c}。$$

一阶分析时，PEC剪力墙的计算长度系数可以参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017附录E的规定计算。剪力墙平面内稳定计算时，应以考虑PEC梁对PEC剪力墙的约束。

6.1.3 本条文参照现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138-2016第10章钢板混凝土剪力墙的相关规定。为验证理论公式的可靠性，收集了国内20个剪力墙试验的数据样本，试件的墙厚分别为175mm、180 mm、200 mm；墙长分别为900 mm、1200 mm、1600 mm；墙高分别为1080mm、1035mm、2500mm、3000mm，剪跨比分别为 $\lambda = 1.2$ 、1.5、1.9、2.5、2.8、3.3；含钢率分别为7.37%至12.73%；混凝土强度等级C30、C40；钢材牌号Q235、Q355。计算得到极限承载力理论值与试验值之比，平均值 0.995，标准差 0.140，符合较好。

6.1.5 本条文参照了行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138-2016第10章钢板混凝土剪力墙的相关规定。控制剪跨比的目的是为了防止当包覆混凝土截面尺寸过小时PEC剪力墙腹部混凝土因产生斜压破坏而剥落，导致腹板发生局部屈曲。PEC剪力墙受剪性能试验表明，即使剪力超过了钢筋混凝土的截面抗剪限制条件，但由于腹板加劲肋的存在，并未出现混凝土斜压破坏的情况。

6.1.6 本条文参照了行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138-2016第10章钢板混凝土剪力墙的相关规定。由PEC剪力墙抗剪试验结果可知，即使剪跨比达到1.2，试件破坏任然呈现压弯破坏的模式，剪压破坏的特征并不明显，腹板也未出现剪切屈曲的现象。

6.1.11 试验表明，PEC剪力墙压弯作用下的延性和耗能能力比钢筋混凝土剪力墙有较大的提高，轴压比计算可考虑钢板的承压能力。轴压比限值参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3，考虑到PEC剪力墙是一种新型结构体系，故在二级、三级抗震等级时，轴压比限值提高了0.05。

6.2 构造要求

6.2.7 本款参考《组合结构设计规范》JGJ 138-2016中第10.2.2条的规定。为保证连杆对混凝土的有效约束，减缓柱翼缘的局部屈曲，连杆与翼缘的焊接有最低强度要求，且需要保证连杆间距和截面积要求。本条参考了加拿大钢结构规范CSA S16-09。

6.2.8 考虑到钢板连杆和混凝土的粘结性能较弱，故混凝土保护层厚度取20mm。

6.2.9 当主钢件翼缘宽厚比较大时，连杆是避免其早期失稳、从而保证构件塑性变形能力的重要措施，因此连杆应有必要的承载力，包括与主钢件翼缘的拉接焊缝承载力。

公式（6.2.9-1）来源如下：假设翼缘塑性失稳时板件承载力可超过材料屈服强度（取为屈服强度的1.5倍，对应抗震等级为一级、二级的要求）或达到屈服强度（对应抗震等级为三级的要求），而能否超过或达到屈服强度与翼缘板宽厚比有关，此时防止翼缘板面外失稳的支承力应达翼缘板面内受力的1/60倍，再假设腹板可分担翼缘板面外支承力的60%，由于双侧都有连杆，故单侧连杆承担20%，依据以上受力需求推得条文的连杆面积公式： $A_l f_{ly} \geq 1/60 \times 0.2 \times 1.5 \times f_{ay} \times b_f \times t_f = 0.005 f_{ay} \times b_f \times t_f$ 。连杆面积公式计算结果仅适用于连杆垂直翼缘板面的情况。当连杆采用扁钢时，还需满足施焊工艺要求和最小焊缝尺寸及长度要求，并确保最小面积大于本条规定。

连杆的拉接焊缝承载力可按焊缝极限强度计算，故式（6.2.9-2）采用在式（6.2.9-1）左端项乘以0.7倍系数的方式计算焊缝所需承载力设计值，因为焊缝强度设计值与焊缝极限强度的比值（0.38~0.41），假设计入抗震设计连接系数1.4，则 $0.41 \times 1.4 = 0.57 < 0.7$ ，故具有必要的安全储备。

6.2.11 为保证钢筋混凝土与钢板共同工作，钢板与钢筋混凝土之间应有可靠的连接，因此规定了钢板上栓钉的构造措施。

6.2.12 拉结筋贯穿腹板构造按图6-1，拉结筋与腹板可靠连接按

图6-2。



图 6-1 拉结筋贯穿腹板构造示意图

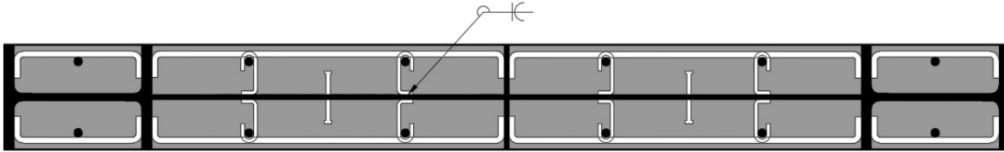


图6-2 拉结筋与腹板可靠连接构造示意图

7 PEC剪力墙设计

7.1 一般规定

7.1.2 部分包覆钢-混凝土组合构件的优点之一，是其构件在安装现场可以如同钢结构那样实现装配式连接，优先采用螺栓连接有助于减少工地施焊的质量控制难点、提高安装效率。这一要求需在节点设计阶段予以充分考虑。

7.1.5 节点构造对制作、运输、安装和维护的便捷性与经济性密切相关，应在设计阶段予以充分考虑。本章节点构造主要针对混凝土预制的PEC构件，混凝土现浇的PEC构件可参照执行并作相应调整。强调PEC墙纵向钢筋应连续通过梁柱节点区。

7.1.9 高层建筑的定义参照《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99，指10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑以及房屋高度大于24m的其他高层民用建筑。

7.2 墙与墙拼接连接

7.2.1 为提高现场安装效率，避免复杂构造处理，应尽量减少PEC柱现场拼接接头的总量。PEC柱需要拼接时，接头宜布置在等截面段内，以降低拼接构造的复杂程度。

7.2.2 本条基于提高装配率、降低现场焊接工作量的考虑，对主钢件推荐使用栓焊连接的方式，但根据现场施工条件等需要，也可使用全焊接连接。

PEC剪力墙拼接段要求纵筋连续，构造应尽量采取施工性能较好、连接质量易于控制的方式。

纵筋连接方式，除采用图7.2.2中的搭接焊以外，也可采用帮条焊或熔槽帮条焊的形式，焊接应符合《钢筋焊接及验收规程JGJ18》的相关规定。

7.3 墙与梁连接节点

7.3.1 梁墙节点按抗弯性质可区分为铰接节点和刚接节点，两者均可用于剪力墙结构和框架-剪力墙结构。

部分包覆钢-混凝土组合结构节点构造形式主要参照《装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技术规程(DBJ33/T 1290-2023)》中梁柱连接形式。

节点构造涉及剪力墙纵筋与梁的纵筋在节点区的布置。剪力墙纵筋应在节点区连续布置，可采用在柱上下水平加劲肋上打孔贯穿，或通过端部弯折或锚板连接的形式，焊接在节点区上下水平加劲肋上，实际构造宜结合节点域的空间尺寸予以处理。

梁的纵筋不要求一定贯穿节点域。纵筋未锚固到梁端时，梁端截面承载力略有降低。对铰接梁而言，无须采取其他措施；对刚接梁，当纵筋对梁的抗弯承载力贡献较小时也无须采取其他措施，如纵筋提供的抗弯承载力不能忽视时，可在梁端部区间予以适当加强，如增厚梁端部位主钢件翼缘或腹板厚度（贴板方式）、主钢件翼缘适当放宽、增设纵向加劲肋等，或在梁端截面受弯承载力计算时，不计入纵筋的作用。

当剪力墙设置短伸臂与梁连接时，剪力墙身节点区间的混凝土可一并预制。其余部位宜在现场完成主钢件连接后用混凝土予以包覆；如不采用现场补浇局部混凝土的措施，则应满足强度和防火防腐的等效处理要求。

7.3.2 PEC剪力墙与PEC梁刚接节点采用梁端连接区域免浇筑的连接方式时，塑性铰的位置详见图7-1所示。

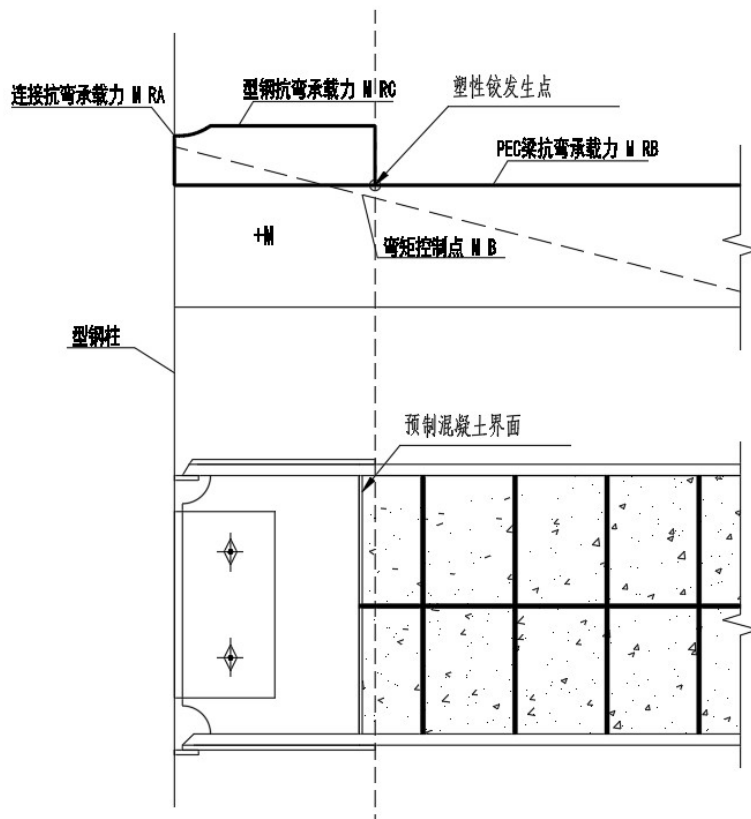


图7-1 免浇筑的节点连接方式塑性铰示意图

7.3.3 本条为铰接连接的计算。腹板螺栓限值梁端的完全自由转动，产生一定的约束弯矩，计算连接强度（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）时，宜考虑约束弯矩的作用。对于连接上方有混凝土楼板使之连成整体的情况，按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99的有关规定执行。

7.3.8 考虑到PEC墙体中纵筋需要在横向加劲肋上打孔贯穿，需对横向加劲肋采取适当补强的措施，同时也考虑到板厚存在公差，且连接存在偏心，因此横向加劲肋厚度应比梁翼缘厚2mm。

7.4 墙脚连接节点

7.4.1 PEC剪力墙墙脚节点也可采用埋入式，如图7.1所示。埋入式柱脚的埋置深度应经进步研究分析确定。

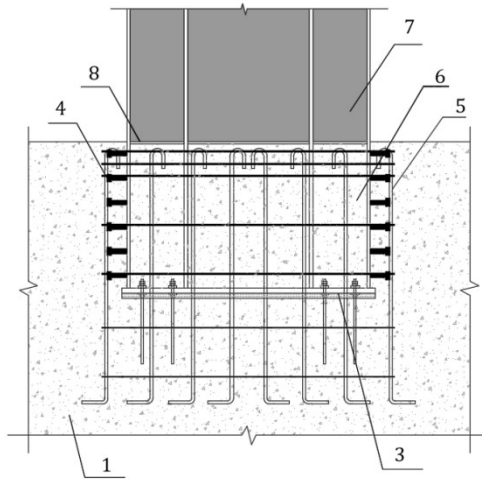


图7-1 埋入式柱脚示意图

1-基础，2-锚栓；3-底板；4-栓钉；5-纵筋；6-箍筋；7-组合剪力墙；8-加劲板

7.4.2 本条用于有地下室且嵌固端在基础以上的建筑，此时可采用对基础以上一层竖向构件整层外包混凝土的形式。由于外包混凝土中的纵筋和箍筋可以很好传递弯矩和剪力，并对主钢件形成良好的约束作用，上部PEC剪力墙中的纵筋可仅锚入外包混凝土中而无需锚入基础，上部PEC剪力墙的拉杆也无需在外包混凝土段中设置。参照《组合结构设计规范》JGJ 138中10.2.5条规定，型钢翼缘外侧外包混凝土厚度不宜小于150mm，考虑到实际施工要求，腹板两侧混凝土外包从翼缘边起不宜小于100mm。

7.5 墙与楼板连接节点

7.5.1 楼板为PEC剪力墙提供面外约束，因此楼板与PEC剪力墙应通过钢筋拉结和现浇混凝土进行可靠连接。

7.5.2 楼板钢筋于主钢件腹板焊接的连接方式除穿腹板外还可采用焊接连接，参考图7-2。

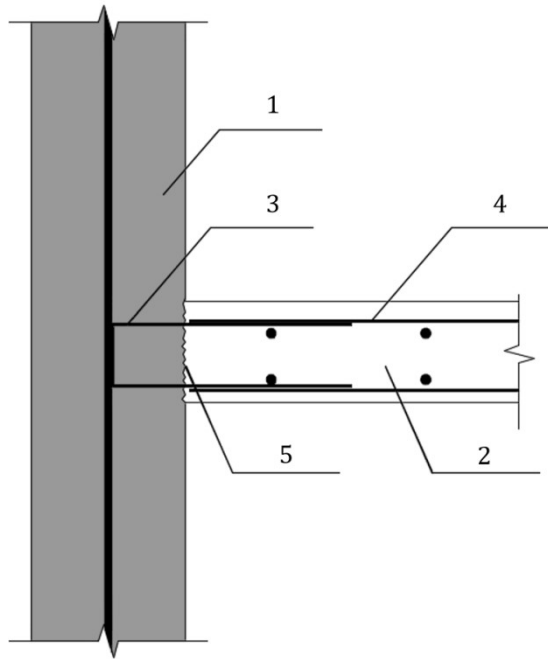


图 7-2 楼板和 PEC 剪力墙的连接

1-预制包覆混凝土；2-现浇楼板；3-连接钢筋；4-楼板钢筋；5-拉毛处理，凹凸不小于6mm

8 防护设计

8.1 防火设计

8.1.1 现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 对不同耐火等级的建筑中的结构构件的设计耐火极限进行了规定。在进行构件保护设计时，可同时参照现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB51249，确定部分包覆钢混凝土组合构件的防火设计要求。

8.1.2 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。

8.1.4 防火保护材料的等效热传导系数 λ_i 或等效热阻 R_i 、比热 C_i 和密度等性能参数 ρ_i ，为进行结构抗火分析验算时所需，设计时应由防火保护材料供应商提供，或参考可靠依据。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。

8.1.6 PEC构件中，因主钢件所包覆混凝土厚度较大，通常可直接满足构件设计耐火极限的要求。但对于非混凝土包覆部位、直接外露钢构件表面及侧壁，在不采取任何防火保护措施的情况下较难直接满足构件设计耐火极限的要求。

因此，主钢件裸露部分必须完全用防火保护材料包裹，对于构件厚度方向的侧面保护，可以通过内置镀锌铁丝网或玻璃纤维布的砂浆进行保护，砂浆厚度可根据截面形式及构件受力情况，依据《建筑钢结构防火技术规范》GB51249 7.2.8的要求计算确定保护层的厚度。本标准基于PEC剪力墙构件特点，提供了一字形和L形截面的PEC剪力墙构件分别采用部分保护非膨胀型防火涂

料的防护保护构造方式，供相关工程选用。

8.1.7 参照现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907、《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249相关规定执行。在PEC剪力墙中，PEC剪力墙、PEC柱等竖向构件耐火极限通常超过2.0h，宜采用非膨胀型防火涂料；PEC梁等水平构件耐火极限较低，可采用膨胀型防火涂料。

8.1.9 参照现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907、《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249相关规定执行。

8.2 防腐设计

8.2.2 钢构件的除锈方法、除锈等级和涂层的种类、厚度、涂装方法，应考虑构件的基材种类、钢材表面原始状态、构件所处的环境、涂层的预期耐蚀寿命和工程造价等因素综合确定。

大气腐蚀性等级应符合现行国家标准《色漆和清漆防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第2部分：环境分类》GB/T 30790.2的规定，分为C1、C2、C3、C4、C5-I和C5-M六个等级。

防腐涂层的耐久性年限分为四个等级：低（L），≤5年；中（M），5年~15年；高（H），15年~25年；非常高（VH），25年以上。

8.2.4 本条规定参考了现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251中关于除锈等级的规定。

8.2.5 被混凝土包覆部位的钢构件因混凝土的保护作用，耐腐蚀性较强，且设置底漆、中间漆会削弱钢与混凝土间的粘结，阻碍其共同工作性能的发挥。因此，本标准仅对主钢件非混凝土包裹部位的防腐涂装提出要求。对于与混凝土直接接触的钢构件表面，不宜进行防腐涂装，但在混凝土浇筑前应对主钢件进行除锈。

8.2.6 防腐蚀涂装配套中的底漆、中间漆和面漆因使用功能不同，对主要性能的要求也有所差异，但同一配套中的底漆、中间漆、

面漆宜有良好的相容性。在涂装配套中，因底漆、中间漆和面漆所起作用不同，各厂家同类产品的成分配比也有所差别。如果一个涂装系统采用不同厂家的产品，配套性难以保证。一旦出现质量问题，不易分析原因，也难以确定责任者，因此宜选用同一厂家的产品。

9 制作安装

9.1 一般规定

9.1.5~9.1.6 管线预埋，主钢件开孔需满足设计要求。严禁施工现场进行对翼缘的二次开槽切割。

9.2 制作

9.2.1 PEC剪力墙构件中的混凝土可采取工厂或现场专用场地预制的方式，也可采取主钢件安装后现场支模浇筑的方式。基于提高工业化程度、取得总体最优效益的考虑，推荐采用预制方式。

9.2.3 边缘构件采用热轧型钢可有效控制构件的变形。对于一字型四区格的剪力墙，主钢件可按图9-1步骤加工控制变形。

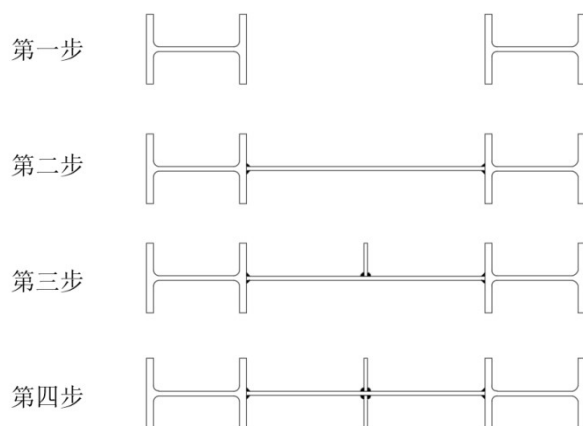


图 9-1 四区格PEC剪力墙主钢件加工步骤

9.2.4 采用在腹板开孔方式对腹板两侧同时进行浇筑的方法时，应按板件开洞后的净截面进行构件验算。当采用本条文内容进行腹板开浇筑孔设计时可不采取额外措施对腹板进行补强或补充局

部板件验算。主钢件腹板上开设的混凝土浇筑孔径可参照如下：

- (1) 当主钢件腹板高度为300mm时，孔径不宜大于120mm；
- (2) 当主钢件腹板高度为350mm时，孔径不宜大于150mm；
- (3) 当主钢件腹板高度为400mm时，孔径不宜大于180mm。

9.2.5 PEC构件是钢与混凝土组合构件，连杆是钢与混凝土组合的关键构件，连杆与钢骨的焊接质量对PEC构件组合作用很重要。采用直钢筋焊接时，钢筋端部与钢骨采用围焊；采用C形钢筋连杆时，连杆弯折部位焊缝宜圆滑过渡。

9.2.8 在浇筑混凝土时，建议在混凝土初凝即将完成时，再进行一次抹面。如果采用翻面二次浇筑，要保证第一次浇筑的混凝土有足够的强度。

9.3 安装

9.3.2 PEC剪力墙由于预制混凝土存在，其重量相对纯钢构件有较大提高，对吊具、耳板的承载力都应进行验算。深化阶段应根据现场吊装方案调整构件长度，建议PEC剪力墙两层一节吊装，对层高较高的建筑可一层一节进行吊装。

9.3.5 PEC剪力墙通常为2层一节进行安装，在一节PEC剪力墙内的两层梁均安装完成后再进行校正，在构件校正后，下一节PEC剪力墙安装前进行主钢件的永久性连接。

9.3.6 连接区域后浇混凝土之前，无混凝土包覆截面仅计主钢件承重，施工验算时主钢件的正应力不宜大于 $0.4f_y$ 。