



T/CECS ×××—2025

中国工程建设标准化协会标准

装配式排钢管混凝土结构技术规程

Technical specification for assembled array circular steel tube-reinforced
concrete structures

(征求意见稿)

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

装配式排钢管混凝土结构技术规程

Technical specification for assembled array circular steel tube-reinforced
concrete structures

T/CECS ×××—2025

主编单位：西藏涛扬集团有限公司
重庆大学
批准部门：中国工程建设标准化协会
施行日期：2025 年××月×日

中国 xx 出版社

2025 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2024 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2024〕15 号）的要求，编制组经深入调查研究，开展系统的理论与试验，认真总结工程实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 9 章，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、构件设计、节点设计、制作运输和安装、施工验收。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由西藏涛扬集团有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（通信地址：西藏自治区拉萨市经开区 B 区园区南路西藏涛扬集团有限公司，邮政编码：850000），以供修订时参考。

主编单位：西藏涛扬集团有限公司

重庆大学

参编单位：上海建筑设计研究院有限公司

重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

华东建筑集团股份有限公司上海科技发展分公司

中铁建工集团有限公司

中铁二十二局集团有限公司

江苏中车城市发展有限公司

上海振宏金属制品有限公司

北京市朝阳区城市建设综合开发有限责任公司

山东建筑大学

成都理工大学

上海应用技术大学

成都西南交大珪森工程技术有限公司
北京财贸职业学院
中国新兴建设开发有限责任公司
中国新兴集团有限责任公司设计研究总院
西藏自治区建筑勘察设计院
西藏天海集团有限责任公司
西藏涛扬建筑设计有限公司
西藏涛扬建设工程有限公司
西藏涛扬新型建材科技有限公司
重庆涛扬绿建科技有限公司

主要起草人：王东方 杨 波 刘明辉 杨 涛 张海江 姜文伟 张 坚
顾绍义 刘扬明 唐佳峰 李金玮 黄 淼 翟 影 闫明聪
卢国安 王 斌 王亚民 孙仕杰 阿旺土旦 邓启华 李明雨
刘小荣 李俊梅 刘 冶 曾庆华 李士彬 代春生 徐军翔
宫广娟 李 伟 祁 勇 胡世林 杨建波 王代军 孙玉品
陈 光 邱 莲

主要审查人：

目次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	8
3	材料	12
3.1	钢材	12
3.2	钢筋	12
3.3	混凝土	13
3.4	连接材料	15
4	结构设计基本规定	16
4.1	一般规定	16
4.2	设计原则	18
4.3	结构变形	20
5	结构计算分析	23
5.1	一般规定	23
5.2	弹性分析	24
5.3	弹塑性分析	26
6	构件设计	28
6.1	叠合柱	28
6.2	异形柱	38
6.3	剪力墙	52
6.4	混合梁	72
7	节点设计	81
7.1	一般规定	81
7.2	墙与墙、柱与柱拼接节点	82
7.3	墙脚、柱脚节点	85
7.4	梁与墙、柱连接节点	90
7.5	梁与梁连接节点	90
7.6	楼板与墙、柱连接节点	97
8	制作、运输和安装	99
8.1	制作	99
8.2	运输	102
8.3	安装	102
9	施工验收	107
9.1	一般规定	107
9.2	构件验收	108
9.3	安装验收	110
	附录 A 框架梁柱节点核心区截面抗震验算	112
	本规程用词说明	114
	引用标准名录	115
	条文说明	115

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and symbols.....	3
2.1	Terms.....	3
2.2	Symbols.....	8
3	Materials	16
3.1	Steel.....	16
3.2	Rebar	12
3.3	Concrete	13
3.4	Connection materials.....	15
4	Basic requirements of structural design	16
4.1	General requirements	16
4.2	Design principles.....	18
4.3	Deflection limitations.....	20
5	Structural analysis	23
5.1	General requirements	23
5.2	Elastic analysis	24
5.3	Elastic-plastic analysis	26
6	Design of structural members	28
6.1	Circular steel tube-reinforced concrete columns.....	28
6.2	Array circular steel tube-reinforced concrete specially shaped columns	38
6.3	Array circular steel tube-reinforced concrete shear walls	52
6.4	Hybrid-beams	72
7	Design of connection	81
7.1	General requirements	81
7.2	Splice of members.....	82
7.3	Footing of members	85
7.4	Beam -member connections	90
7.5	Beam-girder connections	90
7.6	Slab-member connections	97
8	Fabrication,transportation and erection.....	99
8.1	Fabrication	99
8.2	Transportation	102
8.3	Erection	102
9	Constrution acceptance	107
9.1	General requirements	107
9.2	Member acceptance.....	108
9.3	Erection acceptance.....	110
	Appendix A Seismic strength calculation for beam-column joint zone	107
	Explanation of wording in this specification.....	114
	List of quoted standards	115
	Addition: Explanation of provisions	115

1 总 则

1.0.1 为在工业和民用建筑工程中规范和促进装配式排钢管混凝土结构的应用，做到安全可靠、技术先进、经济合理、方便施工，制定本规程。

【条文说明】装配式排钢管混凝土结构充分利用了钢结构和混凝土结构的各自优点，可正向设计，具有优异的抗震性能和耐久性；建筑平面布局更灵活、户内使用空间更佳。与装配式混凝土结构相比，模数化程度高，节点连接简便，施工快捷，抗震性能优异，可降低工程综合成本、节约材料、减少能耗；与装配式钢结构相比，防腐、防火性能优异，耐久性及舒适度好，材料成本低，可广泛应用于工业与民用建筑领域。

装配式排钢管混凝土结构竖向构件可采用圆钢管混凝土叠合柱、排钢管混凝土异形柱、排钢管混凝土剪力墙，水平构件可采用混合梁、钢连梁等；构件可以全部或部分预制，预制构件的吊装和连接方式与钢结构类似，现场只需少量现浇混凝土，即可达到较高的预制化、装配化水平。

国内高等院校、设计单位、研究单位对排钢管混凝土结构进行了大量的试验研究，包括浇筑试验、拼装和焊接工艺试验、构件抗震性能试验、轴压性能试验、节点抗震性能试验等，并进行了大量的数值模拟分析。这些研究成果为本规程的制定提供了依据。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为6度至8度地区的工业和民用建筑装配式排钢管混凝土结构的设计、制作、施工及验收。

【条文说明】国家现行标准限制装配式混凝土结构应用于9度抗震设防区，为统一起见，未将抗震设防烈度9度列入本规程适用范围。国内9度抗震设防区的建筑可结合隔震技术降低上部结构地震作用之后，按本规程及国家相关现行标准设计、施工及验收；也可通过抗震专项审查论证会的方式来实现上述地区装配式排钢管混凝土结构的设计、制作、施工及验收。

1.0.3 装配式排钢管混凝土结构的设计、制作、施工与验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】本规程编制原则是列入必要的或国家现行有关标准中没有包含的条文。本规程与相关标准规范间有一定的分工和衔接；因此，除了本规程明确

规定外，在设计、制作、施工与验收时还必须遵守国家现行的有关标准。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 装配式排钢管混凝土结构 assembled array circular steel tube-reinforced concrete structures (AACC)

通过预制圆钢管混凝土叠合柱、预制排钢管混凝土异形柱或者预制排钢管混凝土剪力墙与预制混合梁、钢连梁等通过可靠连接装配而成的框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构等；其中预制圆钢管混凝土叠合柱、预制排钢管混凝土异形柱、预制排钢管混凝土剪力墙、预制混合梁及钢连梁等均应在工厂或现场预制。

【条文说明】可用钢梁代替预制混合梁，设计可参考本规程。

本规程涉及的预制构件，是指不在现场原位支模浇筑的构件。它们不仅包括在工厂制作的预制构件，还包括由于受到施工场地或运输等条件限制，而又有必要采用装配式结构时，在现场制作的预制构件。

装配式排钢管混凝土结构的设计应遵循标准化、模数化、大空间的原则；宜优先进行部品化正向设计。部品部件明确了装配式排钢管混凝土构件的标准化尺寸，用于指导生产单位开展标准化批量生产，从而逐步降低生产成本，推进新型建筑工业化可持续发展。

本规程中，预制圆钢管混凝土叠合柱、预制排钢管混凝土异形柱和预制排钢管混凝土剪力墙统称为预制排钢管混凝土构件。

2.1.2 预制圆钢管混凝土叠合柱 precast circular steel tube-reinforced concrete columns

中部内置单根圆钢管混凝土柱的预制混凝土柱，简称叠合柱。

【条文说明】叠合柱由中部内置单根圆钢管混凝土柱及管外混凝土组成，管外混凝土内设竖向纵筋、箍筋、拉筋等（图 1）。叠合柱管外混凝土应在工厂或现场预制；管内混凝土可在工厂或现场预制，也可在施工现场浇筑。

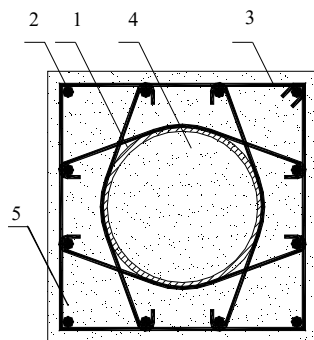


图 1 典型叠合柱示意图

1—圆钢管；2—竖向纵筋；3—箍筋、拉筋；4—管内混凝土；5—管外混凝土

2.1.3 预制排钢管混凝土异形柱 precast array circular steel tube-reinforced concrete specially shaped columns

成排内置多根圆钢管混凝土柱的预制混凝土异形柱，形式有 L 型、T 型、工字型、十字型和 Z 字型等，截面厚度不大于 300mm、且截面各肢的肢高与肢厚之比不大于 4，简称异形柱。

【条文说明】异形柱由成排内置多根圆钢管混凝土柱及管外混凝土组成，内置钢管宜均匀排列，管外混凝土内设竖向纵筋、箍筋、拉筋等（图 2）。异形柱管外混凝土应在工厂或现场预制；管内混凝土可在工厂或现场预制，也可在施工现场浇筑。

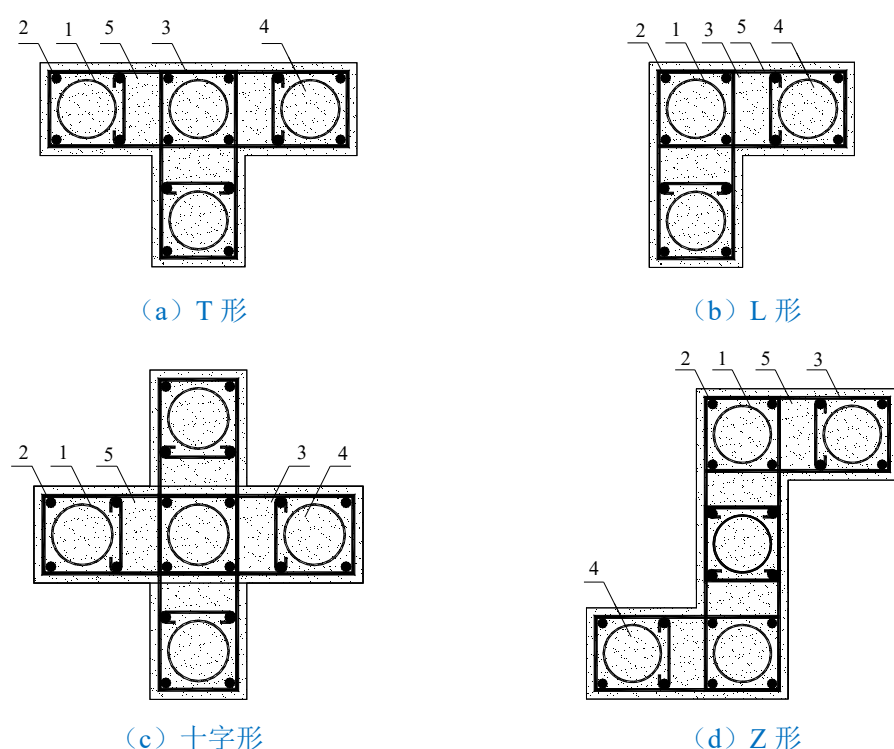


图 2 典型异形柱示意图

1—圆钢管；2—竖向纵筋；3—箍筋、拉筋；4—管内混凝土；5—管外混凝土

2.1.4 预制排钢管混凝土剪力墙 precast array circular steel tube-reinforced concrete shear walls

成排内置多根圆钢管混凝土柱的预制混凝土剪力墙，由一字形、L形、T形、工字形、十字形等预制墙段+一字形现浇墙段组合而成，简称剪力墙。其中截面厚度不大于 300mm、各肢截面高度与厚度之比的最大值大于 4 但小于 8 为短肢剪力墙；各肢截面高度与厚度之比的最大值不小于 8 为普通剪力墙。

【条文说明】排钢管混凝土剪力墙由部品化预制墙段+现浇墙段组合构成。剪力墙的总长度可通过现浇混凝土墙段来调整，预制墙段可为“L形”、“一字形”、“T形”和“方块形”等形状。剪力墙管外混凝土应在工厂或现场预制；管内混凝土可在工厂或现场预制，也可在施工现场浇筑。

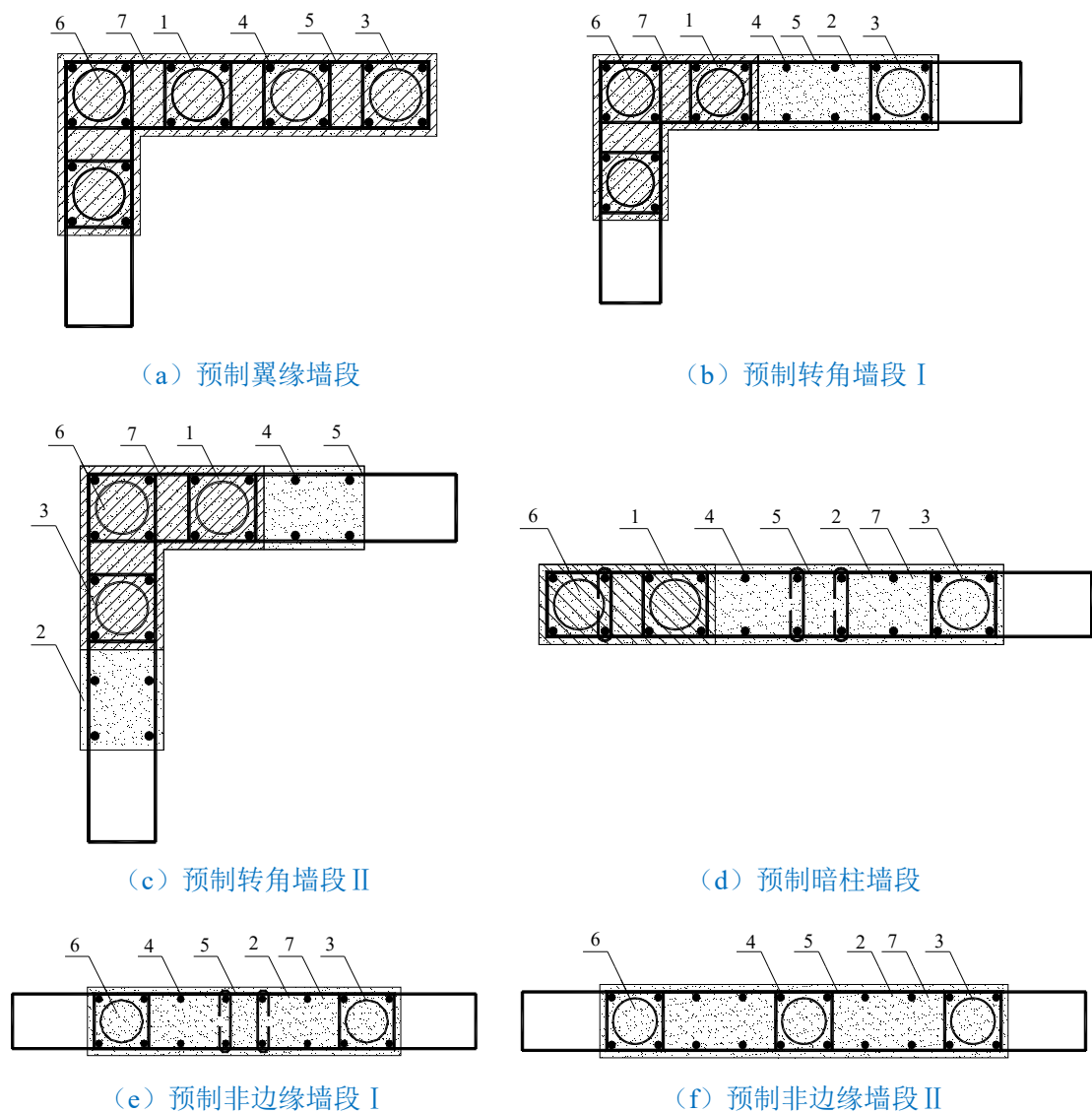
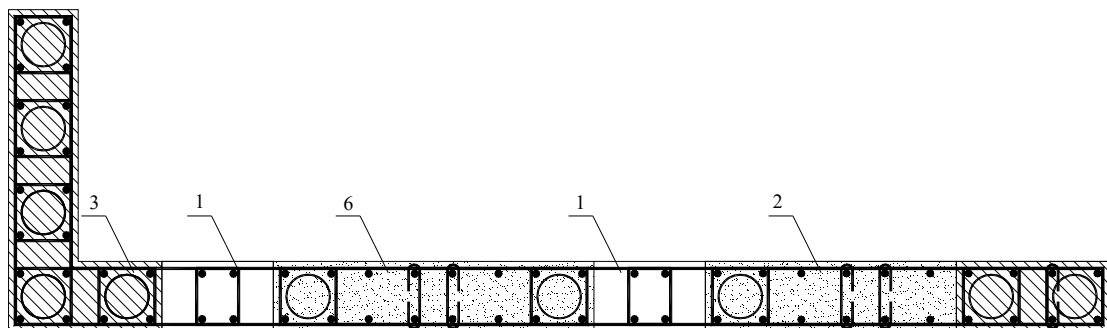


图 3 典型预制墙段示意图

1—边缘构件；2—非边缘构件；3—圆钢管；4—竖向纵筋；5—箍筋、拉筋；

6—管内混凝土；7—管外混凝土



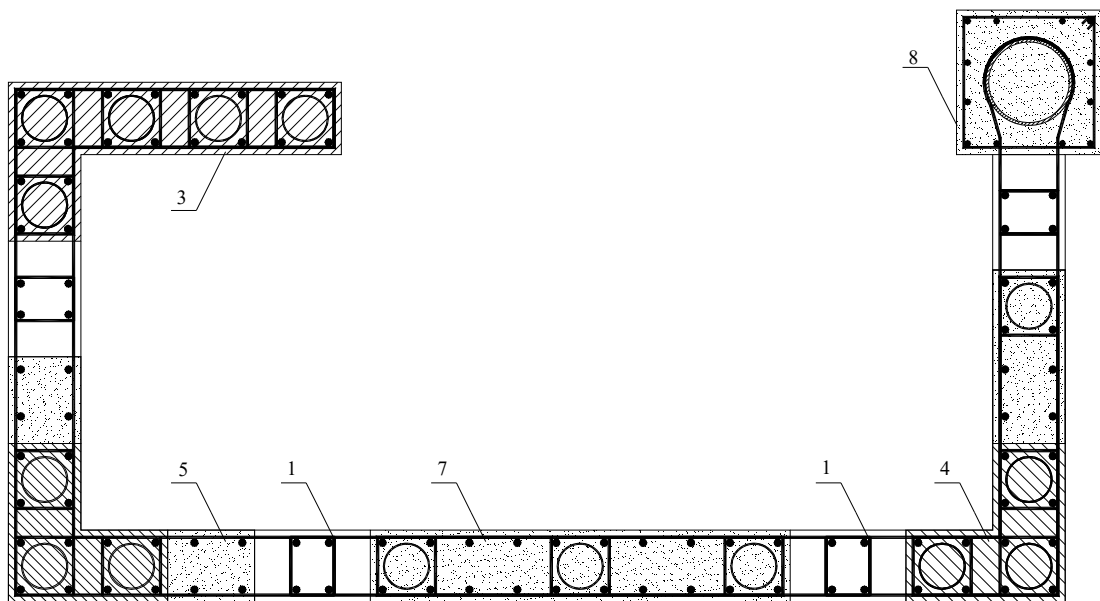


图 4 典型剪力墙构成示意图

1—后浇混凝土墙段；2—预制暗柱墙段；3—预制翼墙墙段；4—预制转角墙段 I；5-预制转角墙段 II；
6-预制非边缘墙段 I；7-预制非边缘墙段 II；8—预制端柱

2.1.5 预制混合梁 precast hybrid-beams

由预制混凝土梁身及其两端型钢接头组成的共同受力的预制梁。

【条文说明】本规程推荐框架梁、次梁使用预制混合梁。预制混合梁中间段为预制混凝土梁身，两端设有一定长度的型钢接头；预制混凝土梁身纵向受力钢筋与型钢接头可靠连接；设计者可根据结构受力、跨度以及施工条件改变混合梁中间段的构造。

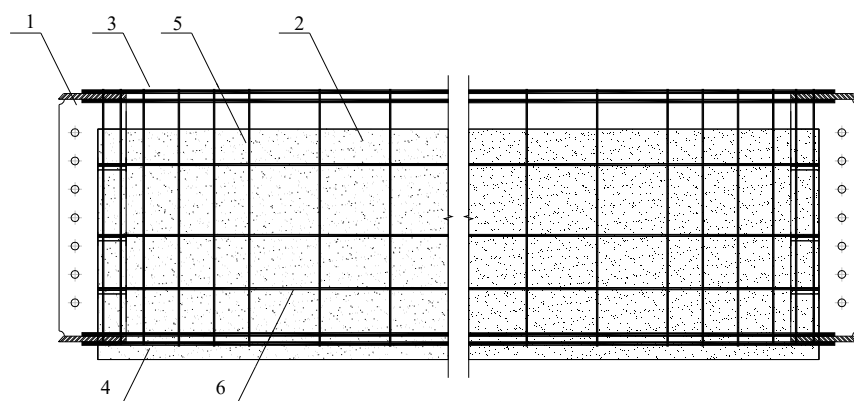


图 5 典型预制混合梁构成示意图

1—型钢接头；2—预制混凝土梁身；3—上部纵筋；4—下部纵筋；5—箍筋；6—腰筋

2.1.6 钢连梁 steel coupling beams

钢连梁是两端与剪力墙相连，且跨度与高度的比值小于 5 的钢梁。

【条文说明】连梁跨度较小，且为结构主要耗能构件，为增强装配式排钢管混凝土结构的抗震性能，本规程推荐与剪力墙连接的连梁采用钢连梁。

2.2 符号

2.2.1 材料性能和抗力

E_a —— 钢管弹性模量；
 E_c —— 混凝土弹性模量；
 E_{ci} —— 钢管内混凝土弹性模量；
 E_{co} —— 钢管外混凝土弹性模量；
 E_s —— 钢筋弹性模量；
 f_a —— 钢管钢材的抗拉强度设计值；
 f'_a —— 钢管钢材的抗压强度设计值；
 f_{ci} —— 钢管内混凝土的轴心抗压强度设计值；
 f_{co} —— 钢管外混凝土的轴心抗压强度设计值；
 f_y —— 纵向钢筋抗拉强度设计值；
 f'_y —— 纵向钢筋抗压强度设计值；
 f_{yb} —— 梁的钢材屈服强度；
 f_{yw} —— 剪力墙竖向分布钢筋抗拉强度设计值；
 f'_{yw} —— 剪力墙竖向分布钢筋抗压强度设计值。

2.2.2 作用与作用效应

M_{aw} —— 沿墙肢配置的分布钢管轴力对受拉区端部钢管及竖向钢筋合力点的力矩；
 M_{sw} —— 沿墙肢均匀配置的竖向分布钢筋对受拉区端部钢管及竖向钢筋合力点的力矩；
 M_v —— 梁塑性铰剪力对梁端产生的附加弯矩；
 $N'_{a,i}$ —— 单根钢管混凝土承受的轴压力设计值；
 N_{aw} —— 沿墙肢配置的分布钢管所承担的轴力；
 $N_{0,j}$ —— 相邻钢管之间墙体承受的轴压力或轴拉力；
 N_{sw} —— 沿墙肢均匀配置的竖向分布钢筋所承担的轴力；

$V_{a,i}$ —— 单根钢管混凝土柱受剪承载力;

$V_{c,j}$ —— 相邻钢管之间墙体受剪承载力;

V_{pb} —— 梁塑性铰剪力;

V_{sh} —— 水平分布钢筋受剪承载力;

σ_{ak} —— 第 k 个钢管单元的应力;

σ_{sj} —— 第 j 个钢筋单元的应力;

ΣM_c —— 节点上下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和。

2.2.3 几何参数

a —— 受拉区端部竖向钢筋及钢管合力点至截面受拉边缘的距离;

a' —— 受压区端部竖向钢筋及钢管合力点至截面受压边缘的距离;

a'_a —— 受压端端部钢管混凝土合力点至截面受压边缘的距离;

a'_s —— 受压端端部钢筋合力点至截面受压边缘的距离;

$A_{a,j}$ —— 单根钢管截面面积;

A_{ak} —— 第 k 个钢管单元的面积;

A_{ca} —— 由钢管换算得到的混凝土截面面积;

$A_{ci,j}$ —— 单根钢管混凝土截面面积;

$A_{co,j}$ —— 相邻钢管之间墙体截面面积;

A_{cs} —— 由钢筋换算得到的混凝土截面面积;

A_{sj} —— 第 j 个钢筋单元的面积;

A_{sw} —— 剪力墙竖向分布钢筋截面面积;

A_w —— T形、I形排钢管混凝土异形柱腹板截面面积;

A_{yh} —— 同一截面内的全部箍筋截面面积;

b_c —— 验算方向柱肢的肢厚;

b_w —— 剪力墙截面厚度;

e_{ax} —— x 轴方向上的附加偏心距;

e_{ay} —— y 轴方向上的附加偏心距;

e_{ix} —— 轴向压力对截面形心轴 y 的初始偏心距;

e_{iy} —— 轴向压力对截面形心轴 x 的初始偏心距;

e_0 —— 轴向压力对截面重心的偏心距;

e_{0x} —— 轴向压力对截面重心轴 y 的偏心距;
 e_{0y} —— 轴向压力对截面重心轴 x 的偏心距;
 h_{c0} —— 验算方向柱肢的截面有效高度;
 h_j —— 相邻钢管净距;
 h_{sw} —— 均匀配置竖向分布钢筋、分布钢管区段的剪力墙截面长度;
 h_w —— 剪力墙截面高度;
 h_{w0} —— 剪力墙截面有效高度;
 $I_{a\alpha}$ —— 钢管截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩;
 $I_{c\alpha}$ —— 混凝土截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩;
 $I_{s\alpha}$ —— 钢筋截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩;
 I_α —— 柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩;
 l_c —— 柱的计算长度;
 r_α —— 柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的回转半径;
 s —— 箍筋间距;
 W_{pb} —— 梁的塑性截面模量;
 W_{pbl} —— 梁塑性铰所在截面的梁塑性截面模量。

2.2.4 计算系数及其他

a —— 各钢管内、外直径的比值;
 k —— 钢管内混凝土强度提高系数;
 β_{co} —— 钢管外混凝土强度影响系数;
 ε_{cu} —— 混凝土极限压应变;
 η_s —— 强柱系数;
 η_α —— 考虑杆件挠曲的偏心距增大系数;
 θ —— 钢管混凝土套箍指标;
 λ_v —— 最小配箍特征值;
 μ_N —— 框架柱考虑地震作用组合的轴压比;
 ρ_a —— 异形柱含管率;
 ρ_v —— 箍筋加密区的体积配箍率;

φ —— 轴心受压构件的稳定系数；

ψ —— 钢管外混凝土轴压刚度折减系数；

$[\theta_e]$ —— 弹性层间位移角限值；

$[\theta_p]$ —— 弹塑性层间位移角限值。

3 材料

3.1 钢材

3.1.1 钢材的选用及相关力学性能应按国家现行标准《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 钢材宜采用 Q355、Q390、Q420、Q460 和 Q345GJ 低合金高强度结构钢和 Q235 碳素结构钢，质量等级不宜低于 B 级。

【条文说明】钢材需选用按国家现行标准所规定的性能、技术与质量要求生产的钢材。本条增列了近年来使用日益广泛的 GJ 系列钢材，现行国家标准《建筑结构用钢板》GB/T 19879 中的 Q345GJ 钢与《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中的 Q355 钢的力学性能指标接近，二者在各厚度组别的强度设计值十分接近。但 Q345GJ 钢中微合金元素含量得到了控制，塑性性能较好，屈服强度变化范围小，有抗震要求时优先采用。

3.1.3 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 圆钢管可采用直缝焊接钢管、螺旋缝焊接钢管或热轧无缝钢管，不宜采用输送流体用的螺旋焊管；钢管的直焊缝或螺旋焊缝应为对接熔透焊缝，焊缝强度不应低于管材强度，工厂焊接时焊缝质量等级应为一级。

3.1.5 抗震结构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。

3.2 钢筋

3.2.1 构件钢筋的选用，以及钢筋的屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉强度设计值、抗压强度设计值和弹性模量取值，应符合国家现行标准《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 抗震构件的纵向受力钢筋应符合国家现行标准《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 装配式排钢管混凝土结构中，预制构件的箍筋宜优先选用焊接箍筋，焊接箍筋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。

【条文说明】焊接箍筋在力学性能方面可完全替代传统箍筋，甚至更优。由于焊接箍筋较传统绑扎箍筋节省了弯钩锚固段和复合重复段，大大的提高了钢筋使用率，并避免了传统绑扎箍筋弯钩与叠合柱、异形柱、剪力墙的内置钢管及混合梁型钢接头位置冲突的问题，因此装配式排钢管混凝土结构中构件的箍筋宜优先采用焊接箍筋。

3.3 混凝土

3.3.1 排钢管混凝土构件的混凝土强度等级、力学性能和质量标准应按国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定执行，并应符合下列规定：

- 1 异形柱的管外混凝土强度等级不应低于 C30，不宜高于 C50；
- 2 叠合柱、剪力墙的管外混凝土强度等级不应低于 C30，不宜高于 C60；
- 3 排钢管混凝土构件的管内混凝土宜采用强度等级高的混凝土，强度等级不应低于管外混凝土强度等级；对 Q235 钢管，不宜低于 C40；对 Q355 钢管，不宜低于 C50；对 Q390、Q420、Q460 钢管，不应低于 C50；
- 4 当混凝土强度等级不高于 C80 时，其强度标准值和设计值应按表 3.3.1-1 采用；当混凝土强度等级高于 C80 时，强度标准值和设计值可按表 3.3.1-1 采用，也可根据试验确定；
- 5 当混凝土强度等级不高于 C80 时，其弹性模量 E_c 应按表 3.3.1-2 采用；当混凝土强度等级高于 C80 时，其弹性模量可按表 3.3.1-2 采用，也可根据试验确定。混凝土的剪切变形模量可按混凝土弹性模量的 40%采用，混凝土泊松比可按 0.2 采用；
- 6 钢管内混凝土可采用超高性能混凝土（UHPC），其力学参数可根据试验确定。

表 3.3.1-1 混凝土强度标准值和设计值 (N/mm²)

强度种类		混凝土强度等级										
		C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90	C100
标准值	f_{ck}	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	44.5	50.2	55.9	61.5
	f_{tk}	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.99	3.11	3.21	3.29
设计值	f_c	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	31.8	35.9	39.9	43.9
	f_t	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.14	2.22	2.29	2.35

表 3.3.1-2 混凝土弹性模量 (x10⁴N/mm²)

混凝土强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C70	C80	C90	C100
E_c	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00

【条文说明】为了发挥装配式排钢管混凝土构件工厂预制质量可控的优势，混凝土强度等级不宜过低；考虑到高强度混凝土脆性及施工性能，管外混凝土强度等级不宜过高。

超高性能混凝土（UHPC）由于其超高耐久性及力学性能，在桥梁工程、建筑装饰墙板中已开始应用，在民用建筑结构构件中应用较少；装配式排钢管混凝土结构中，钢管的径厚比在 10~30 之间，可对超高性能混凝土（UHPC）提供可靠的套箍约束作用，确保超高强度圆钢管混凝土柱的延性，具有优越的抗震性能。

3.3.2 叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁的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及以上。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。

【条文说明】叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁的连接后浇区浇筑试验表明，施工现场后浇混凝土采用普通混凝土是可行的，但需采取施工措施保证浇筑质量；可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。

鉴于施工现场浇筑的不确定性，后浇混凝土提倡采用自密实混凝土或对工艺试验提出严格要求。

3.3.3 叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁的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 连接后浇区材料的主要性能指标

最大骨料粒径（mm）		>4.75 且 ≤ 25
截锥流动度（mm）	初始值	$\geq 650^*$
	30min	$\geq 550^*$
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	≥ 20
	3d	≥ 40
	28d	≥ 60
氯离子含量（%）		< 0.1
泌水率（%）		0

注：*表示塌落扩展度数值。

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国家现行标准《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 锚栓可采用国家现行标准《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。

3.4.3 焊接材料选择和焊缝强度指标应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构通用规范》GB 55006 的有关规定。

3.4.4 预制构件的连接用预埋件，应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

4 结构设计基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 装配式排钢管混凝土结构可用于框架结构、剪力墙结构和框架-剪力墙结构等结构体系中。

4.1.2 装配式排钢管混凝土结构应有明确的竖向及水平力传递路径，其平面和竖向布置及规则性要求应符合国家现行标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《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 装配式排钢管混凝土结构标准设防类房屋适用的最大高度应符合表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 装配式排钢管混凝土结构的最大适用高度 (m)

结构体系	抗震设防烈度				
	6 度	7 度		8 度	
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
异形柱框架	36	30	21	18	15
叠合柱框架	60	50		40	30
异形柱框架-剪力墙	80	70	60	50	36
叠合柱框架-剪力墙	130	120		100	80
剪力墙	140	120		100	80

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2 重点设防类房屋可按本地区抗震设防烈度确定其适用的最大高度；

3 甲类建筑，抗震设防烈度为6、7度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表的要求，抗震设防烈度为8度时应专门研究；

4 平面和竖向均不规则的结构，最大高度宜适当降低；

5 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。

【条文说明】异形柱框架和异形柱框架-剪力墙结构的最大适用高度参考现行团体标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中实腹式型钢混凝土异形柱的相关规定。叠合柱框架、叠合柱框架-剪力墙和剪力墙结构参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中最大适用高度的规定，其中框架适用高度降低了10m，框架-剪力墙和剪力墙结构适用高度降低了20～30m。

4.1.4 装配式排钢管混凝土结构的高宽比不宜超过表 4.1.4 的数值。

表 4.1.4 装配式排钢管混凝土结构适用的最大高宽比

结构类型	抗震设防烈度				
	6 度	7 度		8 度	
	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
异形柱框架	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
叠合柱框架	4.0	4.0		3.0	
异形柱框架-剪力墙	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
叠合柱框架-剪力墙、剪力墙	6.0	6.0		5.0	

注：1 计算高宽比的高度从室外地面算起；

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。

【条文说明】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，装配式排钢管混凝土结构刚度、整体稳定、承载能力等优于钢筋混凝土结构。偏保守的，异形柱框架和异形柱框架-剪力墙结构的最大高宽比参考现行团体标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中相关规定；叠合柱框架、叠合柱框架-剪力墙和剪力墙结构参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1的相关规定。

4.1.5 装配式排钢管混凝土结构应符合下列规定：

1 高层建筑结构宜设置地下室。计算嵌固端在基础或地下室底板时，上部排钢管混凝土构件应延伸至基础或地下室底板；计算嵌固端不在基础或地下室底板时，上部排钢管混凝土构件宜至少延伸至计算嵌固端以下一层。

2 剪力墙底部加强部位不应设置上下拼接区，应采用竖向整体预制方式。

3 首层框架柱不应设置上下拼接区，应采用竖向整体预制方式。

【条文说明】排钢管混凝土剪力墙具有较好的抗震性能，边缘构件采用钢管混凝土柱，性能优于混凝土结构，结构可全部采用预制构件；考虑到底部加强区的重要性，建议底部加强区不设置上下拼接区，采用竖向整体预制形式。

4.1.6 叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁的耐火极限可分别与钢筋混凝土构件的耐火极限相同。

4.1.7 装配式排钢管混凝土结构体系中的楼盖结构应符合下列规定：

1 宜采用压型钢板组合楼板、钢筋桁架楼承板、免拆/可拆底模钢筋桁架楼承板或现浇钢筋混凝土楼板，楼板应与叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁等有可靠连接；

2 抗震设防烈度 6、7 度时，房屋高度不超过 50m 的民用建筑，可采用装配整体式钢筋混凝土楼板或装配式楼板，但应采取措施保证楼板的整体性。

4.1.8 非结构构件与排钢管混凝土结构的连接应符合国家现行标准《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 装配式排钢管混凝土结构安全等级和设计工作年限应符合国家现行标准《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国家现行标准《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 装配式排钢管混凝土结构构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.3。

4.2.3 装配式排钢管混凝土结构构件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数后与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

- 1 动力系数不宜小于 1.3；
- 2 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于 1.5kN/m^2 。

4.2.4 装配式排钢管混凝土结构构件及节点的承载力应符合下列规定：

- 1 持久设计状况、短暂设计状况应按下列式验算：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.4-1)$$

- 2 地震设计状况应按下列式验算：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (4.2.4-2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，安全等级为一级时不应小于 1.1，安全等级为二级时不应小于 1.0；

S ——作用组合的效应设计值，应按国家现行标准《工程结构通用规范》GB 55001 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 执行；

R —— 构件及节点承载力设计值；

γ_{RE} —— 构件及节点承载力抗震调整系数，按表 4.2.4 采用，其它情况按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定取值。

表 4.2.4 排钢管混凝土结构构件承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	钢连梁、型钢接头、钢板、螺栓、焊缝	强度	0.75
		稳定	0.80
混凝土	预制混凝土梁身	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的叠合柱和异形柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的叠合柱和异形柱	偏压	0.80
	叠合柱和异形柱	轴压	0.80
	剪力墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪，偏拉	0.85

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

4.2.5 各抗震设防类别的装配式排钢管混凝土结构的抗震措施应符合本规程及国家现行标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定。

4.2.6 装配式排钢管混凝土结构的抗震等级应根据其抗震设防类别、烈度、结构类型和房屋高度确定，并应符合本规程规定的相应计算和构造措施要求；本规程未作规定时，应符合国家现行标准《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《组合结构设计规范》JGJ 138 有关钢筋混凝土结构的规定。装配式排钢管混凝土结构标准设防类房屋的抗震等级应按表 4.2.6 确定，并应符合下列规定：

1 特殊设防类、重点设防类建筑应按设防烈度提高一度确定其抗震等级，当建筑高度超过本规程表 4.2.6 规定的上界时，应采取更严格的抗震构造措施；

2 确定装配式排钢管混凝土结构房屋抗震等级的其他要求，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 有关现浇钢筋混凝土房屋的规定。

表 4.2.6 装配式排钢管混凝土结构构件的抗震等级

结构类型		抗震设防烈度										
		6 度			7 度				8 度			
异形柱 框架	高度	≤21	>21		≤21		>21		≤21		>21	
	框架	四	三		三 (二)		二(二)		二 (一)		一	
叠合柱 框架	高度	≤24	>24		≤24		>24		≤24		>24	
	框架	四	三		三		二		二		一	
	大跨度 框架	三			二				一			
异形柱 框架-剪 力墙	高度	≤45		>45	≤21	>21, ≤45		>45	≤21	>21, ≤45	>45	
	框架	四		三	四 (三)	三 (二)		二 (二)	二 (二)	二 (一)	一 (一)	
	剪力墙	三		三	三 (二)	二 (二)		二 (一)	二 (一)	一 (一)	一 (一)	
叠合柱 框架-剪 力墙	高度	≤60	>60, ≤100	>100	≤24	>24, ≤60	>60, ≤90	>90	≤24	>24, ≤60	>60, ≤80	>80
	框架	四	三	二	四	三	二	一	三	二	一	一
	剪力墙	三		二	三	二		一	二	一		特 一
剪力墙	高度	≤80	>80, ≤110	>110	≤80	>80, ≤100		>100	≤60	>60, ≤80		>80
	剪力墙	四	三	二	三	二		一	二	一		一

注：对7度（0.15g）、8度（0.3g）时建于Ⅲ、Ⅳ类场地的异形柱框架结构和异形柱框架-剪力墙结构，应按表中括号内所示的抗震等级采取抗震构造措施。

【条文说明】异形柱框架和异形柱框架-剪力墙的构件抗震等级参考现行团体标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中的相关规定。叠合柱框架、叠合柱框架-剪力墙和剪力墙的构件抗震等级参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中的相关规定。

4.3 结构变形

4.3.1 在风荷载或多遇地震标准作用下，装配式排钢管混凝土结构按弹性方法计算的楼层内最大层间水平位移应满足下式要求：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e]h \quad (4.3.1)$$

式中： Δu_e —— 风荷载或多遇地震作用标准值产生的楼层内最大弹性层间水平位移（mm）；

h —— 计算楼层层高（mm）；

$[\theta_e]$ —— 弹性层间位移角限值，可按表 4.3.1 采用。

表 4.3.1 装配式排钢管混凝土结构的弹性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
框架	1/550
框架-剪力墙	1/800
剪力墙	1/1000

【条文说明】限制结构弹性层间位移角的主要目的为：1）避免非结构构件，如玻璃幕墙、内隔墙等，因层间位移角过大而破坏；2）避免结构过大的侧向变形加大 $P - \Delta$ 效应，不利于结构受力；3）避免在较大风荷载作用下产生令人不舒服的低频振动；4）避免结构过大的变形影响设备的正常运行。考虑到排钢管混凝土结构为装配式结构，且其弹性刚度以混凝土材料为主，不宜对其弹性层间位移角限值放松，偏安全的，按照钢筋混凝土结构对其弹性位移角进行限值。

4.3.2 在罕遇地震作用下，装配式排钢管混凝土结构的弹塑性层间位移应满足下式要求：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p]h \quad (4.3.2)$$

式中： Δu_p —— 弹塑性层间水平位移（mm）；

$[\theta_p]$ —— 弹塑性层间位移角限值，可按表 4.3.2 采用。

表 4.3.2 装配式排钢管混凝土结构的弹塑性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_p]$
框架	1/50
框架-剪力墙	1/100
剪力墙	1/120

【条文说明】排钢管混凝土构件在主抗侧方向的受力性能和破坏模式优于混凝土构件，圆钢管混凝土柱截面的承载力和刚度贡献占比较高。在已有试验中，排钢管混凝土剪力墙试验构件的最终破坏形式均表现为典型的压弯破坏，特点为：往复荷载下，受拉侧出现多条水平裂缝，随着屈服位移倍数的增加，构件两侧角部混凝土压碎，圆钢管混凝土柱外鼓，试件破坏，与传统混凝土剪力墙有明显区

别。国内排钢管混凝土剪力墙的抗震试验资料表明:1)轴压比0.45、含管率2.88%、剪跨比2.08的排钢管混凝土剪力墙,屈服层间位移角约为 $1/210\sim 1/320$,峰值位移角为 $1/100\sim 1/75$,极限位移角基本达到 $1/50$ (杨光、赵作周、钱稼茹等.新型钢管混凝土组合剪力墙抗震性能试验研究[J], 建筑结构, 2014, 44(7): 93~98); 2)即使在高轴压比($n_d=0.65$)的条件下,钢管高强混凝土剪力墙在承载力较高的同时,仍具有良好的延性及耗能能力,位移延性系数远大于3,极限位移角可达 $1/49\sim 1/37$,远大于抗震设计规范要求的 $1/120$ (方晓丹等.钢管高强混凝土剪力墙压弯性能试验研究[J], 建筑结构学报, 2013, 34(8): 72~81)。

考虑到排钢管混凝土结构均采用装配式建造,适当从严要求,按照钢筋混凝土结构对其弹塑性位移角进行限制。

4.3.3 装配式排钢管混凝土结构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。

【条文说明】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柔性连接做法。

5 结构计算分析

5.1 一般规定

5.1.1 装配式排钢管混凝土结构的荷载及荷载组合，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《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

5.1.2 装配式排钢管混凝土结构在竖向荷载、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 装配式排钢管混凝土结构进行内力和位移计算时，对于现浇楼盖或装配整体式楼盖，可假定楼盖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 楼面梁的刚度可计入翼缘作用予以增大；梁刚度增大系数可根据翼缘情况近似取为 1.3~2.0。

【条文说明】叠合楼盖和现浇楼盖对梁刚度均有增大作用；装配整体式楼盖可仅考虑节点区现浇混凝土对梁刚度增大作用。

对于叠合楼盖，边梁与中梁刚度增大系数可取为 1.3 和 1.8；对于现浇楼盖，边梁和中梁的刚度增大系数可取 1.5 和 2.0。

5.1.5 装配式排钢管混凝土结构的计算自振周期，可根据填充墙的刚度和数量予以折减。当非承重墙体为砌体墙时，框架结构计算周期折减系数可取为 0.6~0.7，剪力墙结构计算周期折减系数可取为 0.8~1.0，框架-剪力墙结构的计算周期折减系数可取为 0.7~0.8；当非承重墙体为轻质墙板或外挂墙板时，自振周期的折减系数可取 0.9~1.0。在结构承载力和刚度计算时不应计入非结构构件的有利作用。

【条文说明】装配式排钢管混凝土结构自振周期折减系数，可参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定采用。

5.1.6 结构的整体稳定性应满足下式要求：

1 剪力墙结构、框架-剪力墙结构应满足下式要求：

$$EJ_d \geq 1.4H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (5.1.6-1)$$

2 框架结构应满足下式要求：

$$D_i \geq 10 \sum_{j=i}^n \frac{G_j}{h_i} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.1.6-2)$$

式中： EJ_d ——结构一个主轴方向的弹性等效侧向刚度（ $\text{kN} \cdot \text{mm}^2$ ），可按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；

H ——房屋高度（mm）；

h_i ——第*i*楼层层高（mm）；

G_i 、 G_j ——第*i*、*j*楼层重力荷载设计值（kN），取 1.3 倍的永久荷载标准值与 1.5 倍的楼面可变荷载标准值的组合值；

D_i ——第*i*楼层的抗侧刚度（kN/mm），可取该层剪力与层间位移的比值。

【条文说明】对装配式排钢管混凝土结构而言，其构件由管外混凝土和圆钢管混凝土柱两部分组成，管外混凝土能够提供较大刚度，圆钢管混凝土柱提供较大承载力；偏保守的，按照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 取值。

5.1.7 装配式排钢管混凝土结构的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 装配式排钢管混凝土结构的弹性计算模型应根据结构的实际情况确定，应能反映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 装配式排钢管混凝土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，以及剪力墙的弹性弯曲及剪切变形。

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

5.2.3 装配式排钢管混凝土结构弹性阶段的内力和位移计算时，构件的截面刚度取值应符合下列规定：

1 叠合柱截面刚度可按下列公式计算：

$$EA = E_{co}A_{co} + E_{ci}A_{ci} + E_aA_a \quad (5.2.3-1)$$

$$EI = E_{co}I_{co} + E_{ci}I_{ci} + E_aI_a \quad (5.2.3-2)$$

$$GA = G_{co}A_{co} + G_{ci}A_{ci} + G_aA_a \quad (5.2.3-3)$$

式中：\$EA\$、\$EI\$、\$GA\$ ——截面的轴向刚度（N）、抗弯刚度（N·mm²）和抗剪刚度（N）；

\$E_{co}\$、\$E_{ci}\$、\$E_a\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管钢材的弹性模量（N/mm²）；

\$G_{co}\$、\$G_{ci}\$、\$G_a\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管钢材的剪切变形模量（N/mm²）；

\$A_{co}\$、\$A_{ci}\$、\$A_a\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管的截面面积（mm²）；

\$I_{co}\$、\$I_{ci}\$、\$I_a\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管截面所在计算方向对柱截面形心轴的惯性矩（mm⁴）。

2 异形柱截面刚度可按下列公式计算：

$$EA = \sum_{i=1}^m (E_{ci}A_{ci,i} + E_aA_{a,i}) + E_{co}A_{co} \quad (5.2.3-4)$$

$$EI = E_{co}I_{co,sc} + E_{ci}I_{ci,sc} + E_aI_{a,sc} \quad (5.2.3-5)$$

$$GA = \sum_{i=1}^m (G_{ci}A_{ci,i} + G_aA_{a,i}) + G_{co}A_{co} \quad (5.2.3-6)$$

式中：\$EA\$、\$EI\$、\$GA\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管的截面面积（mm²）；

\$I_{co,sc}\$、\$I_{ci,sc}\$、\$I_{a,sc}\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管截面所在计算方向对异形柱截面形心轴的惯性矩（mm⁴）。

3 剪力墙截面刚度可按下列公式计算：

$$EA = \sum_{i=1}^m (E_{ci}A_{ci,i} + E_aA_{a,i}) + E_{co}A_{co} \quad (5.2.3-7)$$

$$EI = E_{co}I_{co,w} + E_{ci}I_{ci,w} + E_aI_{a,w} \quad (5.2.3-8)$$

$$GA = \sum_{i=1}^m (G_{ci}A_{ci,i} + G_aA_{a,i}) + G_{co}A_{co} \quad (5.2.3-9)$$

式中：\$I_{co,w}\$、\$I_{ci,w}\$、\$I_{a,w}\$ ——钢管外混凝土、钢管内混凝土和钢管截面所在计算方

向对剪力墙截面形心轴的惯性矩 (mm^4)。

5.2.4 装配式排钢管混凝土结构的阻尼比应按以下原则采用：

1 多遇地震作用下，可取为 0.045；

2 风荷载作用下内力和变形计算时，阻尼比可取 0.02~0.03；风振舒适度验算时，阻尼比可取 0.01~0.02。

5.2.5 体型复杂、结构布置复杂的装配式排钢管混凝土结构，应采用至少两个不同力学模型的结构分析软件进行整体计算。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依据。

5.2.6 装配式排钢管混凝土结构地震作用效应计算时，可对剪力墙钢连梁刚度予以折减，折减系数不宜小于 0.5。

5.2.7 装配式排钢管混凝土结构楼面梁受扭计算时应考虑楼盖对梁的约束作用。当计算中未考虑楼盖对梁扭转的约束作用时，可对梁的计算扭矩予以折减。梁扭矩折减系数应根据梁周围楼盖的约束情况确定。

5.3 弹塑性分析

5.3.1 装配式排钢管混凝土结构弹塑性分析时，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以及剪力墙的弹塑性弯曲及剪切变形。

5.3.2 钢材、钢筋的恢复力模型和骨架曲线可采用二折线模型，其滞回模型可不考虑刚度退化。钢管混凝土柱宜考虑钢管对管内混凝土的约束作用，可采用纤维模型或分层壳模型，材料的恢复力模型可按现行国家标准《钢管混凝土混合结构技术标准》GB/T 51446 附录 A 的规定采用。

【条文说明】钢管混凝土柱轴心受压时，管内混凝土和钢管都侧向膨胀。压力不大时，由于混凝土的泊松比小于钢材的泊松比，钢管与管内混凝土之间没有挤压力。随着压力增大，管内混凝土出现微裂缝，混凝土侧向变形超过钢管侧向变形，混凝土与钢管之间产生径向压力，钢管壁受到环向拉力。管内混凝土受到钢管径向紧箍力的作用，处于三向受压应力状态。三向受压的管内混凝土，除了轴心抗压强度大于非约束混凝土，塑性变形能力也强于非约束混凝土。排钢管混凝土结构弹塑性分析时，忽略钢管对管内混凝土的约束作用，将低估圆钢管混凝土柱的弹塑性变形能力。

5.3.3 罕遇地震作用下，弹塑性时程分析时阻尼比可取为 0.05；推覆分析或等效弹性分析时，阻尼比可取为 0.05~0.07，也可根据结构构件屈服情况确定。

5.3.4 采用静力弹塑性分析方法进行结构弹塑性分析时，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；水平力可作用在各层楼盖的质心位置，不考虑偶然偏心的影响；

2 结构的每个主轴方向宜采用不少于两种水平力分布模式，其中一种宜与振型分解反应谱法得到的水平力分布模式相同。

5.3.5 采用弹塑性时程分析方法进行结构弹塑性分析时，应符合下列规定：

1 一般情况下，可采用单向水平地震输入，对体型复杂或特别不规则的结构，宜采用双向或三向水平地震输入；

2 地震波的选取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。

6 构件设计

6.1 叠合柱

I 一般规定

6.1.1 混合梁-叠合柱节点处，除框架顶层、柱轴压比小于 0.15 者的节点外，柱端组合的弯矩设计值应符合下列规定：

$$\sum M_c \geq \sum (\eta_c M_{bua} + M_v) \quad (6.1.1-1)$$

$$M_v = V_{pb} \cdot x \quad (6.1.1-2)$$

式中： M_v ——梁塑性铰剪力对梁端产生的附加弯矩（N·mm）；

V_{pb} ——梁塑性铰剪力（N）；

M_{bua} ——节点左、右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和（N·mm），根据实配钢筋面积（计入梁受压筋和有效翼缘范围内的楼板钢筋）和材料强度标准值确定；

x ——塑性铰至柱面的距离（mm），塑性铰可取可取混合梁型钢接头的长度加四分之一混凝土梁身高度；

η_c ——强柱系数，框架结构不应小于 1.2，其他结构不应小于 1.1；

$\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和，上、下柱端的弯矩设计值（N·mm）可按弹性分析的节点上、下柱端弯矩之比分配。

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。混合梁型钢接头区域为刚域，塑性铰区为混凝土梁身端部。

6.1.2 叠合柱框架结构底层柱的下端，其组合的弯矩设计值应乘以增大系数，一、二、三、四级分别不应小于 1.7、1.5、1.3 和 1.2；底层柱纵向钢筋、圆钢管混凝土柱应按上下端的不利情况配置。框支层顶层叠合柱上端和底层叠合柱下端，其组合的弯矩设计值应分别乘以增大系数 1.5 和 1.25，框支层中间节点叠合柱组合的弯矩设计值应满足本规程第 6.1.1 条的规定。

6.1.3 对于角部叠合柱，其弯矩设计值和剪力设计值应取调整后的设计值再乘以不小于 1.1 的增大系数。

6.1.4 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，地下一层柱截面每侧的纵向钢筋面积除应符合计算要求外，不应小于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积的 1.1 倍，地下一层梁端顶面及底面的纵向钢筋应比计算值增大 10%。

【条文说明】参考现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 中关于型钢混凝土框架柱的设计要求。

II 承载力计算

6.1.5 叠合柱受剪截面应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V_c \leq 0.25\beta_{co}f_{co}bh_{co} \quad (6.1.5-1)$$

$$V_c = V - \frac{1+a^2}{8\lambda_1}f_aA_a \quad (6.1.5-2)$$

2 地震设计状况

1) 剪跨比大于 2 时

$$V_c \leq (0.20\beta_{co}f_{co}bh_{co})/\gamma_{RE} \quad (6.1.5-3)$$

2) 剪跨比不大于 2 时

$$V_c \leq (0.15\beta_{co}f_{co}bh_{co})/\gamma_{RE} \quad (6.1.5-4)$$

$$V_c = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \frac{1+a^2}{8\lambda_1}f_aA_a \quad (6.1.5-5)$$

式中： V_c ——验算叠合柱受剪截面时采用的剪力设计值(N)；

V ——叠合柱组合的剪力设计值 (N)；

β_{co} ——钢管外混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_{co} 取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时， β_{co} 取 0.8，其间按线性内插法确定；

f_{co} ——钢管外混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²)；

b ——叠合柱截面厚度 (mm)；

h_{co} ——叠合柱计算方向的截面有效高度 (mm)；

a ——钢管内、外直径的比值；

λ_1 ——计算钢管对叠合柱受剪承载力贡献时采用的叠合柱剪跨比，

$\lambda_1 = M/Vh_0$ ， M 为未经本规程 6.1.1 条~6.1.3 条调整的柱端截面组合的弯矩计算值，可取柱上下端的较大值， V 为与 M 对应的组合剪力计算值， $\lambda_1 \leq 0.5$ 时取 $\lambda_1 = 0.5$ ， $\lambda_1 \geq 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$ 。

6.1.6 叠合柱的轴心受压承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N \leq \varphi[0.9(f_{co}A_{co} + f'_y A_{ss}) + N_0] \quad (6.1.6-1)$$

2 地震设计状况

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \varphi[0.9(f_{co}A_{co} + f'_y A_{ss}) + N_0] \quad (6.1.6-2)$$

式中：\$N\$——叠合柱轴心压力设计值（N）；

\$\varphi\$——钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数，可按表 6.1.6 采用。

\$f'_y\$——纵向钢筋抗压强度设计值（N/mm²）；

\$A_{co}\$——钢管外混凝土截面面积（mm²）；

\$A_{ss}\$——全部纵向钢筋截面面积（mm²）；

\$N_0\$——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值（N），可按本规程第 6.1.7 条计算；

\$\gamma_{RE}\$——承载力抗震调整系数，可按本规程表 4.2.4 采用。

表 6.1.6 叠合柱轴心受压构件的稳定系数

\$l_0/b\$	\$\leq 8\$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
\$\varphi\$	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

注：表中 \$l_0\$ 为构件的计算长度，可按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 对钢筋混凝土柱的规定取用；\$b\$ 为方形截面边长或矩形截面短边尺寸。

6.1.7 钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值 \$N_0\$ 可按下列公式计算：

1 当 \$\theta \leq 1/(\alpha - 1)^2\$ 时：

$$N_0 = 0.9f_{ci}A_{ci}(1 + \alpha\theta) \quad (6.1.7-1)$$

2 当 \$\theta > 1/(\alpha - 1)^2\$ 时：

$$N_0 = 0.9f_{ci}A_{ci}(1 + \sqrt{\theta} + \theta) \quad (6.1.7-2)$$

式中：\$f_{ci}\$——钢管内混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

\$A_{ci}\$——钢管内混凝土截面面积（mm²）；

\$\theta\$——钢管混凝土套箍系数，\$\theta = f_a A_a / (f_{ci} A_{ci})\$；

\$\alpha\$——与混凝土强度等级有关的系数，可按表 6.1.7 采用。

表 6.1.7 系数 α

混凝土强度等级	$\leq C50$	$> C50$
α	2.0	1.8

注：钢管内混凝土采用超高性能混凝土（UHPC），圆钢管混凝土柱轴心受压承载力宜根据试验确定。

6.1.8 矩形截面偏心受压叠合柱正截面受压承载力计算应符合下列规定：

1 可采用管外钢筋混凝土的轴力设计值和弯矩设计值、管外混凝土强度等级，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 钢筋混凝土柱正截面受压承载力公式进行计算；

2 管外钢筋混凝土的轴力设计值 N_{co} 和弯矩设计值 M_{co} 可采用下列 2 种组合，叠合柱纵向钢筋面积的计算值可取 2 种组合所得纵向钢筋面积的较小值：

1) 组合 1：

$$N_{co} = N \quad (6.1.8-1)$$

$$M_{co} = M \quad (6.1.8-2)$$

2) 组合 2：

$$N_{co} = \frac{f_{co}A_{co}}{f_{co}A_{co} + N_0} N \quad (6.1.8-3)$$

$$M_{co} = M \quad (6.1.8-4)$$

$$\text{当 } N_{ci} \leq 0.255N_0 \text{ 时, } M_{co} = M - \left(\frac{1.3N_{ci} + N_0}{N_0}\right)M_0 \quad (6.1.8-5)$$

$$\text{当 } N_{ci} > 0.255N_0 \text{ 时, } M_{co} = M - 1.79\left(\frac{N_0 - N_{ci}}{N_0}\right)M_0 \quad (6.1.8-6)$$

$$N_{ci} = N - N_{co} \quad (6.1.8-7)$$

$$M_0 = 0.3N_0r_c \quad (6.1.8-8)$$

式中： M 、 N ——偏心受压叠合柱组合的弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）和轴力设计值（ N ）；

M_{co} 、 N_{co} ——管外钢筋混凝土组合的弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）和轴力设计值（ N ）；

N_{ci} ——钢管混凝土柱组合的轴力设计值（ N ）；

M_0 ——钢管混凝土短柱受弯承载力（ $N \cdot mm$ ）；

N_0 ——钢管混凝土短柱轴心受压承载力（ N ），可按本规程 6.1.7 条的规定计算；

r_c ——钢管内混凝土半径（ mm ）。

3 对于组合 1，应采用全截面钢筋混凝土柱进行承载力计算；对于组合 2，方形及矩形截面叠合柱可采用等效工字型截面钢筋混凝土柱〔图 6.1.8〕进行承载力计算。

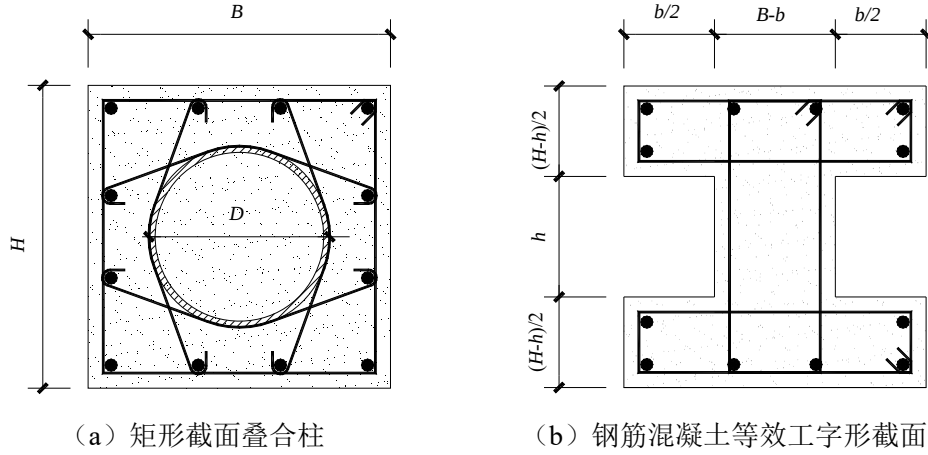


图 6.1.8 叠合柱管外钢筋混凝土等效工字形截面

注： $b = \sqrt{3}\pi D/6$ ， $h = \sqrt{3}D/2$

6.1.9 对于截面具有两个互相垂直的对称轴的双向偏心受压叠合柱，其正截面受压承载力可采用平截面假定进行计算，钢筋和混凝土的单轴应力-应变关系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，钢管钢材的单轴应力-应变关系可采用理想弹塑性模型，钢管内混凝土可采用合理考虑钢管约束效应的单轴应力-应变关系模型。

6.1.10 矩形截面偏心受拉（包括双向偏心受拉）叠合柱的正截面受拉承载力可采用平截面假定进行计算，材料单轴应力-应变关系可按本规程第 6.1.9 条规定采用。

6.1.11 矩形截面偏心受压叠合柱斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2 + 1} f_{to} b h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \frac{1 + a^2}{8\lambda_1} f_a A_a + 0.07N \quad (6.1.11-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda_2 + 1} f_{to} b h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \frac{1 + a^2}{8\lambda_1} f_a A_a + 0.056N \right) \quad (6.1.11-2)$$

式中： V —— 叠合柱剪力设计值（N）；

N —— 叠合柱轴力设计值（N），当 $N > 0.3f_{co}A$ 时，取 $N = 0.3f_{co}A$ ；

f_{to} —— 管外混凝土抗拉强度设计值（N/mm²）；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值 (N/mm²);

A_{sv} ——同一截面内各肢箍筋、拉筋的全部截面面积 (mm²);

s ——箍筋间距 (mm);

a ——钢管内外直径的比值;

λ_1 、 λ_2 ——分别为计算钢管及混凝土对叠合柱受剪承载力贡献时采用的叠合柱剪跨比, $\lambda_1 = \lambda_2 = M/(Vh_0)$, M 为柱端截面未经本规程第 6.1.1 条~6.1.3 条调整的组合弯矩计算值, 可取柱上下端的较大值, V 为与 M 对应的组合剪力计算值, $\lambda_1 < 0.5$ 时取 $\lambda_1 = 0.5$, $\lambda_1 > 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$; $\lambda_2 < 1$ 时取 $\lambda_2 = 1$, $\lambda_2 > 3$ 时取 $\lambda_2 = 3$ 。

6.1.12 矩形截面偏心受拉叠合柱斜截面受剪承载力应符合下列规定:

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2 + 1} f_{to} b h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \frac{1 + a^2}{8\lambda_1} f_a A_a - 0.2N \quad (6.1.12-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda_2 + 1} f_{to} b h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \frac{1 + a^2}{8\lambda_1} f_a A_a - 0.2N \right) \quad (6.1.12-2)$$

当式 (6.1.12-1) 右端计算值或式 (6.1.12-2) 右端括号内计算值小于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + \frac{1+a^2}{8\lambda_1} f_a A_a$ 时, 应取 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + \frac{1+a^2}{8\lambda_1} f_a A_a$, 且 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 值不应小于 $0.36f_{to} b h_{c0}$ 。

式中: N ——叠合柱轴向拉力设计值 (N), 取正值;

λ_1 、 λ_2 ——叠合柱剪跨比, 可按本规程第 6.1.5 条的规定确定。

【条文说明】第 6.1.5 条~第 6.1.12 条均参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

6.1.13 在地震设计状况下, 叠合柱水平接缝的受剪承载力设计值应符合下式要求:

当叠合柱受压时:

$$V_{cj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.65A_{sd} \sqrt{f_{co} f_y} + 0.33f_a A_a + 0.8N) \quad (6.1.13-1)$$

当叠合柱受拉时:

$$V_{cj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.65A_{sd} \sqrt{f_{co}f_y [1 - (\frac{N}{A_{sd}f_y})^2]} + 0.33f_a A_a) \quad (6.1.13-2)$$

式中：\$V_{cj}\$ —— 叠合柱水平缝处剪力设计值；

\$A_{sd}\$ —— 垂直穿过结合面所有钢筋的面积；

\$N\$ —— 与剪力设计值\$V_{cj}\$相应的垂直于结合面的轴向力设计值，取绝对值进行计算。

【条文说明】本条参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中预制柱的相关规定。

III 构造要求

6.1.14 叠合柱的截面尺寸应符合下列规定：

1 叠合柱宜采用方形截面，其截面的宽度和高度不宜小于 400mm，不宜大于 800mm；

2 剪跨比宜大于 2。

【条文说明】叠合柱最小截面加大，可统一规格，减小配筋，减小施工难度。叠合柱最大尺寸超过 800mm 时，构件重量重，吊装难度大，建议采用现浇形式。

6.1.15 叠合柱的构造应符合下列规定：

1 钢管外的混凝土厚度不宜小于 100mm；

2 钢管直径不宜小于 168mm，钢管壁厚不宜小于 4.5mm；

3 钢管混凝土柱套箍指标不宜小于 0.4 且不宜大于 3.0；套箍指标大于 3.0 时，其超过部分不应计入对钢管内混凝土的约束作用，可计入其作为型钢对叠合柱刚度和承载力的贡献；

4 钢管含管率不宜小于 3%、不宜大于 15%；当圆钢管混凝土柱的轴心受压承载力设计值\$N_0\$大于叠合柱轴力设计值时，含管率不应小于 1.5%。含管率可按下式计算：

$$\rho_a = A_a/A \quad (6.1.15)$$

式中：\$\rho_a\$ —— 叠合柱钢管含管率；

\$A_a\$ —— 钢管截面面积（mm²）；

\$A\$ —— 叠合柱全截面面积（mm²）。

5 圆钢管混凝土柱的钢管外径（\$D\$）与结构外截面宽度（\$B\$）的比值不宜小于 0.5，且不宜大于 0.75。

【条文说明】叠合柱管外混凝土采用预制方式，管外混凝土浇筑质量有保证，可适当减小管外混凝土厚度。

限制钢管外径与结构外截面宽度的比值，钢管受弯占比增加，可减小纵筋数量，便于纵筋的现场连接。具体参考现行国家标准《钢管混凝土混合结构技术标准》GB/T 51446。

6.1.16 叠合柱的轴压比限值可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 规定的钢筋混凝土柱轴压比限值采用。叠合柱的轴压比可按下式计算：

$$n_c = N / (f_{co} A_{co} + N_0) \quad (6.1.16)$$

式中： n_c ——叠合柱的轴压比；

N ——叠合柱组合的轴力设计值（N）；

N_0 ——钢管混凝土短柱轴心受压承载力设计值（N），可按本规程第 6.1.7 条的规定计算。

6.1.17 叠合柱纵向钢筋最小总配筋率应按表 6.1.17 的规定采用，且每一侧纵向钢筋配筋率不应小于 0.2%。建造于 IV 类场地且较高的高层建筑，表 6.1.17 中的数值应增加 0.1。叠合柱纵向钢筋总配筋率及每一侧纵向钢筋配筋率可按下式计算：

$$\rho_s = A_s / A_{co} \quad (6.1.17)$$

式中： ρ_s ——叠合柱纵向钢筋总配筋率或每一侧纵向钢筋配筋率；

A_s ——叠合柱全部纵向钢筋截面面积或每一侧纵向钢筋截面面积（mm²）；

A_{co} ——叠合柱钢管外钢筋混凝土截面面积（mm²）。

表 6.1.17 叠合柱纵向钢筋的最小总配筋率（%）

类别	抗震设防烈度			
	一	二	三	四
中柱、边柱	0.9(1.0)	0.7(0.8)	0.6(0.7)	0.5(0.6)
角柱	1.1	0.9	0.8	0.7

注：1 括号内数值用于框架结构叠合柱；

2 钢筋强度屈服标准值为 400N/mm² 时，表中数值应增加 0.05；

3 管外混凝土强度等级高于 C60 时，表中数值应增加 0.1。

6.1.18 叠合柱纵向钢筋配置应符合下列规定：

1 宜对称配筋；

2 纵向受力钢筋总配筋率不应大于 5%，剪跨比不大于 2 的一级叠合柱，每侧纵向受力钢筋配筋率不宜大于 1.2%，计算配筋率时，式（6.1.17）的分母可取叠合柱全截面面积；

3 小偏心受拉的边柱、角柱及剪力墙的端柱，纵向受力钢筋的截面面积应比计算值增加 25%；

4 纵向钢筋净距不宜小于 50mm；一、二、三级抗震设计时其纵向钢筋间距不宜大于 200mm；抗震等级为四级时，柱纵向钢筋间距不宜大于 300mm；

5 纵向钢筋与钢管的净距不宜小于 30mm。

6.1.19 叠合柱应设置箍筋加密区，并应符合下列规定：

1 箍筋加密区范围应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 有关钢筋混凝土柱箍筋加密区范围的规定；

2 叠合柱的加密区箍筋的最大间距和最小直径应按表 6.1.19-1 采用；框架结构叠合柱的箍筋直径大于 12mm 且箍筋肢距不大于 150mm、其他结构框架叠合柱的箍筋直径大于 10mm 且箍筋肢距不大于 200mm 时，除底层柱下端外，箍筋最大间距应允许采用 150mm。

表 6.1.19-1 叠合柱箍筋加密区的箍筋最大间距和最小直径

结构类型	箍筋最大间距（采用较小值）（mm）	箍筋最小直径（mm）
框架结构	6d, 100	10
其他结构框架	8d, 150	8

注：d 为柱纵向钢筋最小直径（mm）。

3 叠合柱箍筋加密区的体积配箍率，应按下列规定采用：

1) 叠合柱箍筋加密区的体积配箍率应满足下式要求：

$$\rho_v \geq \lambda_v \frac{f_{yv}}{f_{co}} \quad (6.1.19)$$

式中： ρ_v ——叠合柱箍筋加密区的体积配箍率，一级框架柱不应小于 0.8%，二、三、四级框架柱不应小于 0.6%；

f_{co} ——管外混凝土轴心抗压强度设计值（ mm^2 ），强度等级低于 C35 时，按 C35 计算；

f_{yv} ——箍筋或拉筋抗拉强度设计值（ mm^2 ）；

λ_v ——“叠合柱箍筋加密区的最小配箍特征值”，宜按表 6.1.19-2 采用。

2) 剪跨比不大于 2 的叠合柱体积配箍率不应小于 1.2%；

- 3) 计算箍筋体积配箍率时，混凝土体积可取外围箍筋中心线所围混凝土体积扣除圆钢管混凝土柱的体积，扣除的体积不应大于外围箍筋中心线所围体积的 30%；
- 4) 计算复合箍的体积配箍率时，可不扣除重叠部分的箍筋体积。

表 6.1.19-2 叠合柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值 λ_v

结构类型	箍筋形式	轴压比							
		≤ 0.3	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
框架结构	普通箍、复合箍	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23	—
其他框架结构	普通箍、复合箍	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21

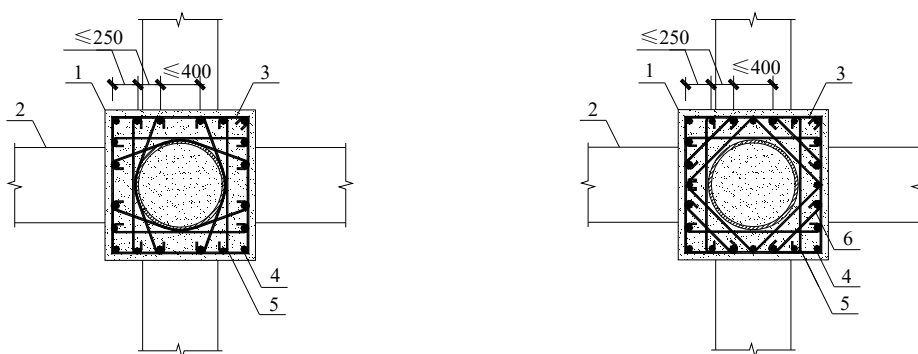
注：普通箍指单个矩形箍和单个圆形箍，复合箍指由矩形箍、多边形箍、圆形箍或拉筋组成的箍筋。

6.1.20 叠合柱非箍筋加密区的箍筋配置，应符合下列规定：

- 1 体积配箍率不宜小于加密区的 50%；
- 2 箍筋间距不应大于 200mm，且框架结构叠合柱不应大于 10 倍纵向钢筋直径、其他结构叠合柱不应大于 15 倍纵向钢筋直径。

6.1.21 叠合柱的箍筋配置方式宜符合下列规定：

- 1 宜采用复合箍。复合可由外围矩（方）形封闭与拉筋组成[图 6.1.21(a)]，或由外围矩（方）形封闭箍和八边形封闭箍与拉筋组成 [图 6.1.21 (b)]；拉筋可紧靠箍筋并钩住纵向钢筋；
- 2 绕过钢管的拉筋与钢管相交部分的圆弧宜与钢管同心，不相交部分宜为直段；
- 3 箍筋加密区绕过钢管的拉筋肢距不宜大于 400mm，角区箍筋及拉筋的肢距不宜大于 250mm；
- 4 截面周边纵向受力钢筋宜至少每隔一根位于箍筋的角部或拉筋的弯钩内。



(a) 外围封闭箍与拉筋复合箍 (b) 外围封闭箍和八边形封闭箍与拉筋复合箍

图 6.1.21 叠合柱箍筋配置方式示意

1—叠合柱；2—梁；3—封闭箍；4—纵向钢筋；5—拉筋；6—八边形封闭箍

6.1.22 叠合柱宜在钢管壁外表面贴焊闭合的环筋，并应符合下列规定：

- 1 首层叠合柱及最上层叠合柱宜沿全高贴焊环筋，两端箍筋加密区范围内环筋间距不宜大于 400mm，其他范围内环筋间距不宜大于 800mm；
- 2 除本条 1 款以外的叠合柱，宜在两端箍筋加密区分别贴焊不少于两道环筋；
- 3 钢管直径不大于 250mm 时，环筋直径不宜小于 6mm；钢管直径大于 250mm、不大于 400mm 时，环筋直径不宜小于 8mm；钢管直径大于 400mm 时，环筋直径不宜小于 10mm；
- 4 环筋与钢管之间采用双面角焊缝满焊，焊缝高度不宜小于 5mm 和 0.5d 的较大者，d 为环筋直径。

6.2 异形柱

I 一般规定

6.2.1 混合梁-异形柱节点处，除框架顶层、柱轴压比小于 0.15 者的节点外，异形柱柱端组合的弯矩设计值应符合下列规定：

$$\sum M_c \geq \sum (\eta_c M_{bua} + M_v) \quad (6.2.1-1)$$

$$M_v = V_{pb} \cdot x \quad (6.2.1-2)$$

式中： M_v —— 梁塑性铰剪力对梁端产生的附加弯矩 (N · mm)；

V_{pb} —— 梁塑性铰剪力 (N)；

M_{bua} —— 节点左、右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和 (N · mm)，根据实配钢筋面积（计入梁受压筋和有效翼缘范围内的楼板钢筋）和材料强度标

准值确定；

x —— 塑性铰至柱面的距离 (mm)，塑性铰可取可取混合梁型钢接头的长度加四分之一混凝土梁身高度；

η_c —— 强柱系数，框架结构不应小于 1.2，其他结构不应小于 1.1；

$\sum M_c$ —— 节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和，上、下柱端的弯矩设计值 (N·mm) 可按弹性分析的节点上、下柱端弯矩之比分配。

6.2.2 考虑地震作用组合的异形柱框架结构，底层柱下端截面的弯矩设计值，对一、二、三、四级抗震等级应分别乘以弯矩增大系数 1.7、1.5、1.3 和 1.2；底层柱纵向钢筋、钢管应按上、下端的不利情况设置。

【条文说明】参考现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 及《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014 中相关规定。

6.2.3 抗震等级为一、二、三、四级异形柱框架的角柱，其弯矩设计值和剪力设计值应取调整后的设计值再乘以不小于 1.1 的增大系数。

【条文说明】参考现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 及《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014 中相关规定。

6.2.4 地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，地下一层柱截面每侧的纵向钢筋及钢管除应符合计算要求外，不应小于地上一层对应柱每侧纵向钢筋面积及钢管承载力的 1.1 倍，地下一层梁端顶面及底面的纵向钢筋应比计算值增大 10%。

II 承载力计算

6.2.5 异形柱双向偏心受压的正截面承载力可按下列方法计算：

1 将柱截面划分为有限个混凝土单元、钢管单元和钢筋单元（图 6.2.5-1），近似取单元内的应变和应力为均匀分布，合力点在单元形心处；

2 截面达到承载能力极限状态时各单元的应变按截面应变保持平面的假定确定；

3 混凝土单元、钢筋单元及钢管单元的应力-应变关系应按国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定取用。

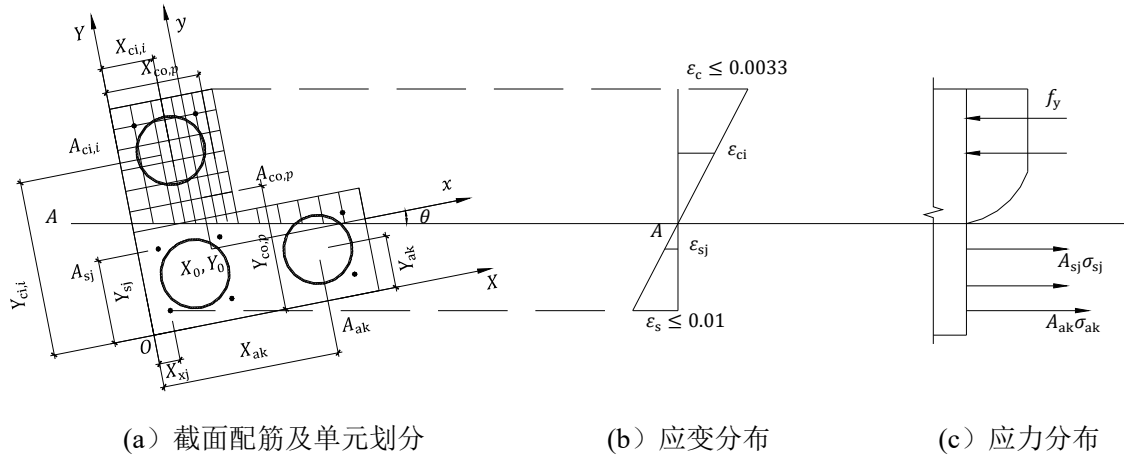


图 6.2.5-1 异形柱双向偏心受压正截面承载力计算

3 持久、短暂设计状况时排钢管混凝土异形柱双向偏心受压的正截面承载力应按下列公式计算(图 6.2.5-1、6.2.5-2):

$$N \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak}) \quad (6.2.5-1)$$

$$N \eta_{\alpha} e_{iy} \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} (Y_{ci,i} - Y_0) + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} (Y_{co,p} - Y_0) + \quad (6.2.5-2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (Y_{sj} - Y_0) + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak} (Y_{ak} - Y_0))$$

$$N \eta_{\alpha} e_{ix} \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} (X_{ci,i} - X_0) + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} (X_{co,p} - X_0) + \quad (6.2.5-1)$$

$$\sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (X_{sj} - X_0) + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak} (X_{ak} - X_0))$$

$$e_{ix} = e_{0x} + e_{ax} \quad (6.2.5-4)$$

$$e_{iy} = e_{0y} + e_{ay} \quad (6.2.5-5)$$

$$e_{0x} = e_0 \cos \alpha \quad (6.2.5-6)$$

$$e_{0y} = e_0 \sin \alpha \quad (6.2.5-7)$$

$$e_0 = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{N} \quad (6.2.5-8)$$

$$\alpha = \arctan \frac{M_x}{M_y} + n\pi \quad (6.2.5-9)$$

式中: N —— 轴向压力设计值;

η_{α} —— 考虑杆件挠曲的偏心距增大系数, 按本规程第 6.2.7 条的规定计算;

e_{ix} 、 e_{iy} —— 轴向压力对截面形心轴 y 、 x 的初始偏心距;

- e_{ax} 、 e_{ay} —— x 轴、 y 轴方向上的附加偏心距；取 20 和 $1/30$ 肢长的较大值；
- e_{0x} 、 e_{0y} —— 轴向压力对截面重心轴 y 、 x 的偏心距，即 M_x/N 、 M_y/N （图 6.2.5-2）；
- e_0 —— 轴向压力对截面重心的偏心距；
- M_x 、 M_y —— 偏心受压构件截面 x 轴、 y 轴方向的弯矩设计值，由压力产生的偏心在 x 轴上侧时 M_x 取正值，由压力产生的偏心在 y 轴右侧时 M_y 取正值；
- α —— 弯矩作用方向角（图 6.2.5-2），为轴向压力作用点至截面重心的连线与截面重心轴 x 正向的夹角，逆时针方向为正；
- n —— 角度参数，当 M_x 、 M_y 均为正值时， $n = 0$ ；当 M_y 为负值、 M_x 为正或负值时 $n = 1$ ；当 M_x 为负值、 M_y 为正值时 $n = 2$ ；
- $\sigma_{ci,i}$ 、 $A_{ci,i}$ —— 钢管内第 i 个混凝土单元的应力及面积， $\sigma_{ci,i}$ 为压应力时取正值且不超过混凝土的抗压强度设计值，为拉应力时取 0；
- $\sigma_{co,p}$ 、 $A_{co,p}$ —— 钢管外第 p 个混凝土单元的应力及面积， $\sigma_{co,p}$ 为压应力时取正值且不超过混凝土的抗压强度设计值，为拉应力时取 0；
- σ_{sj} 、 A_{sj} —— 第 j 个钢筋单元的应力及面积， σ_{sj} 为压应力时取正值，拉应力时取负值，且不超过钢筋的强度设计值；
- σ_{ak} 、 A_{ak} —— 第 k 个钢管单元的应力及面积， σ_{ak} 为压应力时取正值，拉应力时取负值，且不超过钢管的强度设计值；
- X_0 、 Y_0 —— 截面重心坐标；
- $X_{ci,i}$ 、 $Y_{ci,i}$ —— 钢管内第 i 个混凝土单元的重心坐标；
- $X_{co,p}$ 、 $Y_{co,p}$ —— 钢管外第 p 个混凝土单元的重心坐标；
- X_{sj} 、 Y_{sj} —— 第 j 个钢筋单元的重心坐标；
- X_{ak} 、 Y_{ak} —— 第 k 个钢管单元的重心坐标；
- n_c 、 n_p —— 钢管内混凝土、钢管外混凝土单元总数。
- n_s 、 n_a —— 钢筋、钢管单元总数。

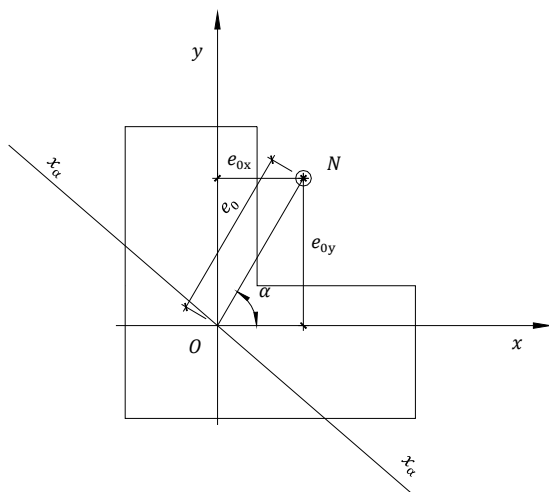


图 6.2.5-2 双向偏心受压异形柱截面

5 地震设计状况时，排钢管混凝土异形柱双向偏心受压正截面承载力应按式（6.2.5-1）～式（6.2.5-9）计算，但在式（6.2.5-1）～式（6.2.5-3）右边应除以相应的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 。

【条文说明】排钢管混凝土异形柱的截面不规则，在双向偏心受压时难以给出正截面承载力计算公式。因此，本规程采用数值积分法对排钢管混凝土异形柱双向偏心受压的正截面承载力进行迭代计算。

试验表明，排钢管混凝土构件中管外混凝土体积配箍率达到 4%以上时，构件轴心受压屈服后钢管可对管内混凝土发挥一定程度的套箍作用。本条偏于安全考虑，计算排钢管混凝土构件轴心受压承载力时，不考虑钢管的套箍作用，钢管作为型钢承担竖向力。

6.2.6 异形柱双向偏心受拉正截面承载力应按本规程式（6.2.5-1）～式（6.2.5-3）计算，式中 $N\eta_{\alpha}e_{iy}$ 、 $N\eta_{\alpha}e_{ix}$ 分别以 M_x 、 M_y 替代， N 为轴向拉力设计值。

6.2.7 异形柱偏心受压正截面承载力计算应考虑构件挠曲二阶效应（ $P-\delta$ 效应）引起的附加内力，可将初始偏心距 e_i 乘以偏心距增大系数 η_{α} 。 η_{α} 应按下列公式计算：

$$\eta_{\alpha} = 1 + \frac{1}{e_i/r_{\alpha}} (l_c/r_{\alpha})^2 C \quad (6.2.7-1)$$

$$C = \frac{1}{6000} [0.232 + 0.604(e_i/r_{\alpha}) - 0.106(e_i/r_{\alpha})^2] \quad (6.2.7-2)$$

$$r_{\alpha} = \sqrt{I_{\alpha}/A} \quad (6.2.7-3)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (6.2.7-4)$$

式中： l_c ——异形柱的计算长度，取偏心受压构件相应主轴方向上下支撑点之间的距离；

r_α ——异形柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的回转半径；

I_α ——异形柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩，按本规程第 6.2.8 条计算；

A ——异形柱的换算截面面积，按本规程第 6.2.9 条计算；

e_i ——初始偏心距；

e_a ——附加偏心距；取 e_{ax} 与 e_{ay} 的较大值。

6.2.8 异形柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴的换算惯性矩应按下列公式计算：

$$I_\alpha = I_c + \mu_s I_{s\alpha} + \mu_a I_{a\alpha} \quad (6.2.8-1)$$

$$\mu_s = \frac{E_s}{E_c} \quad (6.2.8-2)$$

$$\mu_a = \frac{E_a}{E_c} \quad (6.2.8-3)$$

式中： I_α ——异形柱截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩；

$I_{c\alpha}$ ——混凝土截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩；

$I_{s\alpha}$ ——钢筋截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩；

$I_{a\alpha}$ ——钢管截面对垂直于弯矩作用方向重心轴 $x_\alpha - x_\alpha$ 的换算惯性矩；

E_s 、 E_a ——钢筋、钢管弹性模量；

E_c ——混凝土弹性模量；

μ_s 、 μ_a ——钢筋、钢管弹性模量与混凝土弹性模量的比值。

6.2.9 异形柱换算截面面积计算时，应将钢管和钢筋换算为等效截面面积的混凝土，按下列公式计算：

$$A = A_c + A_{cs} + A_{ca} \quad (6.2.9-1)$$

$$A_{cs} = \mu_s A_s \quad (6.2.9-2)$$

$$A_{ca} = \mu_a A_a \quad (6.2.9-3)$$

式中： A ——排钢管混凝土异形柱换算截面面积；

A_c ——混凝土的截面面积；

A_{cs} ——由钢筋换算得到的混凝土截面面积；

A_{ca} ——由钢管换算得到的混凝土截面面积；

式中： A —— 排钢管混凝土异形柱换算截面面积；

A_s 、 A_a —— 钢筋、钢管的截面面积。

【条文说明】异形柱因截面内配置较多的钢材(包括钢管和钢筋)，在计算截面几何特性时，需将钢材截面按照钢与混凝土的弹性模量之比转换为混凝土截面，以便计算构件的内力和变形。钢管内外混凝土弹性模量接近，钢管内混凝土可等同于钢管外混凝土。

6.2.10 排钢管混凝土异形柱的受剪截面应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V_c \leq 0.25\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0} \quad (6.2.10-1)$$

$$V_c = V - \sum_{i=1}^m \left(\frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right) \quad (6.2.10-2)$$

2 地震设计状况

1) 剪跨比大于 2 时

$$V_c \leq (0.20\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0}) / \gamma_{RE} \quad (6.2.10-3)$$

2) 剪跨比不大于 2 时

$$V_c \leq (0.15\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0}) / \gamma_{RE} \quad (6.2.10-4)$$

$$V_c = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad (6.2.10-5)$$

式中： V_c —— 验算异形柱受剪截面时采用的剪力设计值；

V —— 异形柱组合的剪力设计值；

f_{co} —— 钢管外混凝土轴心抗压强度设计值；

b_c —— 验算方向柱肢的肢厚；

h_{c0} —— 验算方向柱肢的截面有效高度，对 Z 形截面柱，当验算方向为翼缘方向时，取 $h_{c0} = h_c + h_c' - h_f - a_s$ ，其中 h_c 和 h_c' 分别为两侧翼缘的截面高度， h_f 为腹板截面厚度， a_s 为受拉钢筋合力点至截面近边的距离；

m —— 与剪力 V_c 方向一致的柱肢截面配置的钢管数量；

β_{co} —— 钢管外混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，

β_{co} 取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时， β_{co} 取 0.8，其间按线性

内插法确定；

a_i ——各钢管内、外直径的比值；

λ_1 ——计算钢管对钢管混凝土异形柱受剪承载力贡献时采用的异形柱剪跨比， $\lambda_1 = M/Vh_{c0}$ ， M 为异形柱端截面组合弯矩计算值，可取异形柱上下端的较大值， V 为与 M 对应的组合剪力计算值， $\lambda_1 \leq 0.5$ 时取 $\lambda_1 = 0.5$ ， $\lambda_1 \geq 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$ 。

6.2.11 偏心受压排钢管混凝土异形柱的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2 + 1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1 + a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} + 0.07N \quad (6.2.11-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda_2 + 1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1 + a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} + 0.056N \right) \quad (6.2.11-2)$$

式中： N ——与剪力设计值 V_c 相应的轴向压力设计值， N 大于 $0.3f_{co}A$ 时取

$$N = 0.3f_{co}A;$$

A ——异形柱截面面积；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值，按《混凝土结构设计标准》GB/T 50010取值；

A_{sv} ——验算方向柱肢肢厚 b_c 范围内同一截面箍筋各肢的全部截面面积；

λ_1 、 λ_2 ——分别为计算钢管及混凝土对钢管混凝土异形柱受剪承载力贡献时采用的异形柱剪跨比， $\lambda_1 = \lambda_2 = M/(Vh_{c0})$ ， M 为柱端截面组合弯矩计算值，可取柱上下端的较大值， V 为与 M 对应的组合剪力计算值， $\lambda_1 < 0.5$ 时取 $\lambda_1 = 0.5$ ， $\lambda_1 > 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$ ； $\lambda_2 < 1$ 时取 $\lambda_2 = 1$ ， $\lambda_2 > 3$ 时取 $\lambda_2 = 3$ 。

6.2.12 偏心受拉异形柱的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2 + 1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1 + a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} - 0.2N \quad (6.2.12-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda_2 + 1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1 + a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} - 0.2N \right) \quad (6.2.12-2)$$

当式 (6.2.12-1) 右端计算值或式 (6.2.12-2) 右端括号内计算值小于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i}$ 时, 应取 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i}$, 且 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0}$ 值不应小于 $0.36 f_{to} b_c h_{c0}$ 。

式中: N —— 与剪力设计值 V_c 相应的轴向拉力设计值;

λ_1 、 λ_2 —— 异形柱剪跨比, 可按本规程第 6.2.11 条的规定确定。

【条文说明】第 6.2.5 条~第 6.2.12 条均参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

6.2.13 在地震设计状况下, 异形柱水平接缝的受剪承载力设计值应符合下式要求:

当异形柱受压时:

$$V_{cj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.65 A_{sd} \sqrt{f_{co} f_y} + 0.33 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + 0.8N) \quad (6.2.13-1)$$

当异形柱受拉时:

$$V_{cj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.65 A_{sd} \sqrt{f_{co} f_y} \left[1 - \left(\frac{N}{A_{sd} f_y} \right)^2 \right] + 0.33 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i}) \quad (6.2.13-2)$$

式中: V_{cj} —— 异形柱水平缝处剪力设计值;

A_{sd} —— 验算方向柱肢内竖向钢筋面积;

$A_{a,i}$ —— 验算方向柱肢内第 i 根钢管的截面面积;

N —— 与剪力设计值 V_{cj} 相应的垂直于结合面的轴向力设计值, 取绝对值进行计算。

f_a —— 验算方向柱肢内钢管抗压强度设计值;

【条文说明】本条参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中预制柱的相关规定。

III 构造要求

6.2.14 排钢管混凝土异形柱的截面尺寸, 应符合下列规定:

1 异形柱截面的肢厚不应小于 200mm, 不宜大于 300mm, 肢高不应小于 450mm; Z 形截面柱腹板净高不应小于 200mm;

- 2 剪跨比不宜小于 2，不应小于 1.5；
- 3 抗震设计时宜采用等肢异形柱；当采用不等肢异形柱时，两肢肢高比不宜超过 1.6，且肢厚相差不大于 50mm。

【条文说明】本规程适用的异形柱柱肢截面最小厚度为 200mm，最大厚度应小于 300mm，与《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 要求相同。异形柱柱肢厚度小于 200mm 时，圆钢管混凝土柱截面偏小，不能有效发挥排钢管混凝土异形柱抗震性能优异的优势，且其耐火时间较低；异形柱柱肢厚度大于 300mm 时，装配式构件重量重，吊装困难，且异形柱室内凸出，建筑效果差。

6.2.15 排钢管混凝土异形柱的构造要求，应符合下列规定：

- 1 钢管直径不宜小于 108mm，钢管壁厚不宜小于 3mm，钢管混凝土套箍指标不应小于 0.4；钢管外混凝土厚度不宜小于表 6.2.15-1 规定的限值。

表 6.2.15-1 钢管外混凝土厚度

柱肢厚度 (mm)	钢管外混凝土厚度 (mm)
200	40
250	45
300	50

注：柱肢肢厚介于表中数值之间时，钢管外混凝土厚度按较大柱肢肢厚对应钢管外混凝土厚度取值。

- 2 柱肢端部第一根钢管中心线至截面近端面的距离不宜大于 $(100+r_{a1})$ (mm)， r_{a1} 为该钢管半径；柱肢内钢管宜均匀布置，钢管中心距不宜大于 3 倍肢厚，钢管净距不宜小于 100mm。
- 3 异形柱含管率不宜小于 3%、不宜大于 15%；当异形柱内圆钢管混凝土柱的轴心受压承载力设计值 $\sum_{i=1}^m N_i$ 大于异形柱轴力设计值时，含管率不应小于 1.5%。圆钢管混凝土柱轴心受压承载力设计值 N_i 可按本规程 6.1.7 条的规定计算。
- 4 圆钢管混凝土柱的钢管外径 (D) 与柱肢厚度 (B) 的比值不宜小于 0.5，且不宜大于 0.75。
- 5 异形柱肢端(转角处)应设圆钢管混凝土柱及纵向受力钢筋；在同一截面内，圆钢管混凝土柱及纵向受力钢筋宜采用相同直径；钢筋直径不应小于 14mm，且不应大于肢厚的 1/10；全部纵向受力钢筋的总配筋率不宜小于 0.8%，不应大于 5%。

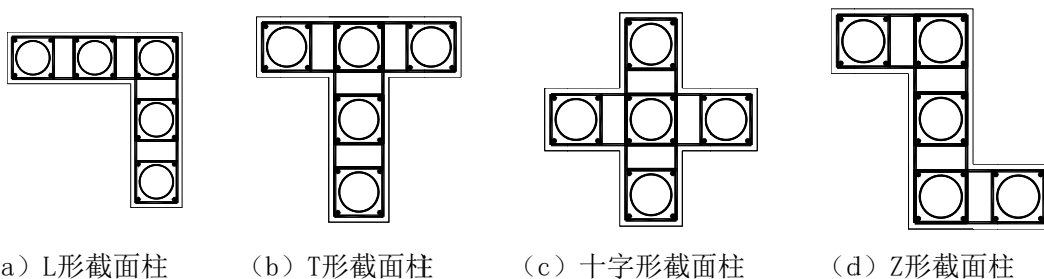


图 6.2.15-1 异形柱内钢管、钢筋布置形式

6 纵向钢筋间距：一、二、三级抗震等级不宜大于 200mm；四级抗震等级不宜大于 250mm。当纵向受力钢筋的间距不能满足上述要求时，应设置纵向构造钢筋，其直径不应小于 12mm，并应设置拉筋，拉筋间距应与箍筋间距相同。

7 异形柱应采用复合箍筋，严禁采用有内折角的箍筋。箍筋应做成封闭式焊接箍筋，也可采用绑扎箍筋，其末端应做成 135° 的弯钩，弯钩长度不应小于 10d，且不应小于 75mm；当采用拉筋形成复合箍筋时，拉筋应紧靠纵向钢筋并钩住箍筋。

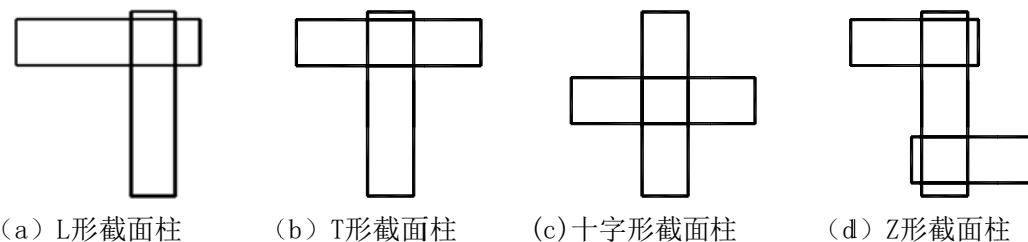


图 6.2.15-2 箍筋形式

8 柱肢内钢管两侧应配置水平拉筋，水平拉筋与钢管的净距不宜大于 50mm，水平拉筋间距宜与水平分布钢筋间距相同，直径不应小于 8mm。

【条文说明】

第 1 款：

根据《型钢混凝土异形柱的混凝土保护层厚度》（陈宗平等.型钢混凝土异形柱的混凝土保护层厚度[J]，哈尔滨工业大学学报，Vol 37 Sup.: 181~184）研究成果，型钢混凝土保护层厚度确定原则如下：

1) 保护层混凝土不发生失稳的最小保护层厚度：把 SRC 异形柱中型钢翼缘外侧的混凝土保护层视作一块宽度 b_f 、长度为 l_c 、厚度为 c_s 的混凝土薄板，根据柱的受力状态，可将此混凝土板简化为三边简支、一边自由的单向均匀受压板。推导出，确保混凝土板在达到受压强度之前，不发生失稳破坏的最小保护层厚度

的计算式为 $(c_s)_{\min}=b_f/(0.6\sqrt[4]{\eta\sqrt{E_c}/f_c})$ ，其中 η 为板的弹塑性屈曲系数， $\eta=E_t/E_c$ ； E_t 为混凝土的切线模量。

表 1 混凝土保护层厚度与翼缘宽度的临界相对值

临界保护层厚度 $(b_f/c_s)_{\text{cr}}$	C30	C40	C50	C60
板弹塑性稳定理论	3.45	3.05	2.81	2.60

2) 混凝土保护层开裂的临界保护层厚度：

为了能求出最小开裂混凝土保护层厚度，做了以下假定：

①开裂面混凝土达到抗拉强度；②翼缘对混凝土挤压力均匀分布在翼缘上；③粘结力失效前，型钢向混凝土中扩散力的角度是 45° ；④混凝土沿翼缘肢尖 45° 方向开裂。

得出 $(c_{\min})_{\text{cr}}=0.28b_f$ 。

3) 防火角度

SRC 异形柱，当混凝土保护层厚为 60mm 时，可耐火 3h，当混凝土保护层厚为 50mm 时，可耐火 2h；钢筋混凝土墙，墙体厚度 180mm 耐火极限 3.5h，墙体厚度 240mm 耐火极限 5.5h。

此外，根据现行国家标准《钢管混凝土混合结构技术标准》GB/T 51446 的规定，为保证单肢钢管混凝土加劲混合结构中其钢管混凝土部分对结构强度和延性的贡献，钢管的外径与结构外截面宽度的比值 D/B 不宜小于 0.5；同时为保证钢管外包混凝土的浇筑质量以及防火和防腐要求，并结合工程实践经验， D/B 不宜大于 0.75。

对于排钢管混凝土异形柱、剪力墙，为提高构件的竖向承载力和延性，充分发挥钢管混凝土柱高延性、高承载力的优势，钢管外混凝土保护层越薄越好。根据圆钢管外混凝土保护层厚度不均匀且平均有效厚度优于普通型钢的特点并根据理论、试验、工艺等研究成果，初步确定圆钢管外混凝土保护层厚度不宜小于表 6.2.15-1。

第 3 款：

参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

第 5 款：

考虑到异形柱受力以圆钢管混凝土柱为主的特点，并参考现行团体标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014 中相关规定，取消纵向钢筋按不同抗震等级进行分类的要求。

6.2.16 排钢管混凝土异形柱在考虑地震作用组合下的轴压比不宜超过表 6.2.16 规定的限值。该轴压比可按下式计算：

$$\mu_N = N / [f_{co}A_{co} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_aA_{a,i})] \quad (6.2.16)$$

式中： μ_N ——异形柱考虑地震作用组合的轴压比；

N ——异形柱轴力设计值。

表 6.2.16 异形柱的轴压比限值

结构体系	截面形式	抗震等级			
		一级	二级	三级	四级
框架结构	L形、Z形、T形	0.40	0.50	0.60	0.70
	十字形	0.60	0.70	0.80	0.85
框架-剪力墙结构	L形、Z形、T形	0.50	0.65	0.75	0.85
	十字形	0.65	0.75	0.85	0.90

注：1 计算钢管混凝土异形柱的轴压比时，考虑钢管的作用，不考虑钢管对管内混凝土的约束作用；

2 剪跨比不大于2的异形柱，轴压比限值应按表内相应的数值减小0.05。

【条文说明】排钢管混凝土异形柱轴心抗压承载力由圆钢管混凝土柱控制，轴压比对其延性影响不明显；偏安全的，轴压比限值取值与现行标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中型钢混凝土异形柱相同。

6.2.17 异形柱最外层钢筋和纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度应符合《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。处于一类环境且混凝土强度等级不低于 C40 时，异形柱的混凝土保护层最小厚度可减小 5mm，但纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于其直径。

【条文说明】参考现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 及中相关规定。

6.2.18 异形柱箍筋加密区的体积配箍率应符合下列规定：

1 加密区的体积配箍率应满足下式要求：

$$\rho_v \geq \lambda_v \frac{f_{yv}}{f_{co}} \quad (6.2.18)$$

式中： ρ_v ——箍筋加密区的体积配箍率，计算复合箍筋的体积配箍率时，不应计入重叠部分的箍筋体积；

f_{co} ——管外混凝土轴心抗压强度设计值，强度等级低于 C35 时，按 C35 计算；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值；

λ_v ——最小配箍特征值，按表 6.2.18 采用。

2 对抗震等级为一、二、三、四级的框架柱，箍筋加密区的体积配箍率分别不应小于 1.0%、0.8%、0.6%、0.5%。

3 当剪跨比 $\lambda \leq 2$ 时，抗震等级为一、二、三、四级的框架柱，体积配箍率不应小于 1.2%。

4 计算箍筋体积配箍率时，混凝土体积可取外围箍筋中心线所围混凝土体积扣除钢管混凝土的体积，扣除的体积不应大于外围箍筋中心线所围体积的 30%。

表 6.2.18 异形柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值 λ_v

抗震等级	轴压比						
	≤ 0.3	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
一级	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	—	—
二级	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	—
三级、四级	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17

6.2.19 异形柱箍筋加密区的箍筋最大间距和箍筋最小直径应符合表 6.2.19 的规定。

表 6.2.19 异形柱箍筋加密区箍筋的构造要求

抗震等级	箍筋最大间距(mm)	箍筋最小直径(mm)
一级	100	10
二级	100	8
三级、四级	150(柱根100)	8

注：1 柱根指底层柱下端箍筋加密区范围；

2 当剪跨比 λ 不大于2时，箍筋间距不应大于100mm。

【条文说明】参考国家现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149及《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中相关规定。

三级、四级异形柱箍筋最小直径加大到8，增强异形柱的延性。

6.2.20 异形柱箍筋加密区箍筋的肢距：一、二级抗震等级不宜大于 200mm，三级、四级抗震等级不宜大于 250mm。此外，每根纵向钢筋宜在两个方向均有箍筋或拉筋约束。

【条文说明】参考国家现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149及《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中相关规定。

6.2.21 异形柱箍筋加密区范围应按下列规定采用：

- 1 柱端取截面长边尺寸、柱净高的 1/6 和 500mm 三者中的最大值；
- 2 底层柱柱根不应小于柱净高的 1/3；当有刚性地面时，除柱端外尚应取刚性地面上、下各 500mm；
- 3 因设置填充墙等形成柱净高与柱肢截面高度之比不大于 4 的柱取柱全高；
- 4 角柱及 Z 形柱取柱全高。

6.2.22 异形柱非加密区箍筋的体积配箍率不宜小于箍筋加密区的 50%。箍筋间距不应大于柱肢截面厚度，且一、二级抗震等级不应大于 $10d$ (d 为纵向受力钢筋直径)；三、四级抗震等级不应大于 $15d$ 和 250mm。

6.2.23 异形柱宜在钢管壁外表面贴焊闭合的环筋，并应符合下列规定：

- 1 首层异形柱及最上层异形柱宜沿全高贴焊环筋，两端箍筋加密区范围内环筋间距不宜大于 400mm，其他范围内环筋间距不宜大于 800mm。
- 2 除本条 1 款以外的异形柱，宜在两端箍筋加密区分别贴焊不少于两道环筋；
- 3 环筋直径不宜小于 6mm；
- 4 环筋与钢管之间采用双面角焊缝满焊，焊缝高度不宜小于 5mm 和 $0.5d$ 的较大者， d 为环筋直径。

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中相关规定；钢管壁外表面焊接钢筋环，目的是增加钢管与管外混凝土之间的粘接力，提高钢管混凝土与管外混凝土共同工作的能力。

6.3 剪力墙

I 一般规定

6.3.1 剪力墙墙肢截面长度不宜过长，较长剪力墙宜设置钢连梁将其分成长度较均匀的若干墙段，各墙段的高度与墙段长度之比不宜小于 3，墙段长度不宜大

于 8m，单片剪力墙底部承担的水平剪力不宜超过结构底部总水平剪力的 30%；剪力墙宜自下到上连续布置，避免刚度突变。

【条文说明】参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定。

6.3.2 剪力墙底部加强部位的范围，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 相关规定。

6.3.3 装配式排钢管混凝土结构不应全部采用短肢剪力墙。当采用具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构时，应符合下列规定：

1 在规定的水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不宜大于结构底部总地震倾覆力矩的 50%；

2 房屋适用高度应比本规程表 4.1.3 规定的剪力墙结构的最大适用高度适当降低，7 度、8 度（0.2g）和 8 度（0.3g）时分别不应大于 100m、80m 和 60m。

【条文说明】参考国家现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定，排钢管短肢剪力墙的最大适用高度相应降低。

6.3.4 剪力墙墙肢截面组合的弯矩设计值及剪力设计值应按下列规定采用：

1 特一级剪力墙底部加强部位，其截面组合的弯矩设计值应乘以增大系数 1.1，剪力设计值应按组合的剪力计算值的 1.9 倍采用；底部加强部位以上部位，其截面组合的弯矩设计值应乘以增大系数 1.3，剪力设计值应按组合的剪力计算值的 1.4 倍采用；

2 一、二、三级剪力墙底部加强部位，其截面组合的剪力设计值应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 有关钢筋混凝土剪力墙的规定；

3 一级剪力墙底部加强部位以上部位，墙肢截面组合的弯矩设计值和剪力设计值应分别乘以增大系数 1.2 和 1.3。

【条文说明】参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定。排钢管混凝土剪力墙墙肢截面组合的弯矩设计值和剪力设计值调整，与现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 钢筋混凝土剪力墙的相关规定一致；调整的目的在于使剪力墙屈服尽可能发生在弹塑性变形能力大的底部加强部位。

6.3.5 开洞剪力墙洞口宜居中布置；洞口上方连梁宜采用钢连梁，钢连梁高度不宜小于 250mm。

【条文说明】为加强结构的抗震性能及变形能力，连梁宜采用耗能能力较强的钢连梁。

II 承载力计算

6.3.6 L 形、T 形、工形等的剪力墙的强度和稳定性，可取每片一字形墙肢的内力和支承条件分别验算；剪力墙的整体稳定性和墙肢稳定性应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 附录 D 的规定。

【条文说明】排钢管混凝土剪力墙在轴向压力作用下，具有较好的延性和后屈曲承载力；管外混凝土压溃后，圆钢管混凝土柱可继续承担轴向压力而不失稳，其稳定性优于钢筋混凝土剪力墙；偏安全的，其稳定性参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 附录 D 进行验算。

6.3.7 剪力墙的受剪截面应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V_w \leq 0.25\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0} \quad (6.3.7-1)$$

$$V_w = V - \sum_{i=1}^m \left(\frac{1+a_i^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \right) \quad (6.3.7-2)$$

2 地震设计状况

剪跨比大于 2 时

$$V_w \leq (0.20\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0})/\gamma_{RE} \quad (6.3.7-3)$$

剪跨比不大于 2 时

$$V_w \leq (0.15\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0})/\gamma_{RE} \quad (6.3.7-4)$$

$$V_w = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \quad (6.3.7-5)$$

式中： V_w ——验算剪力墙受剪截面时采用的剪力设计值；

V ——剪力墙组合的剪力设计值；

f_{co} ——钢管外混凝土轴心抗压强度设计值；

b_w ——剪力墙截面厚度；

h_{w0} ——剪力墙截面有效高度， $h_{w0} = h_w - a$ ， a 为受拉区端部竖向钢筋及钢管合力点至截面受拉边缘的距离；

m ——剪力墙边缘构件内配置的钢管数量；

β_{co} ——钢管外混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，

β_{co} 取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时， β_{co} 取 0.8，其间按线性内插法确定；

α_i ——各钢管内、外直径的比值；

λ ——计算钢管对钢管混凝土剪力墙受剪承载力贡献时采用的剪力墙计算截面剪跨比， $\lambda = M/Vh_{w0}$ ， M 为墙端截面组合弯矩计算值，可取墙上下端的较大值， V 为与 M 对应的组合剪力计算值， $\lambda \leq 0.5$ 时取 $\lambda = 0.5$ ， $\lambda \geq 2$ 时取 $\lambda = 2$ 。

6.3.8 剪力墙轴心受压承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N_c \leq \varphi [f_{co} A_{co} + f'_y (A_s + A'_s) + f'_{yw} A_{sw} + \sum_{i=1}^m (f_{ci} A_{ci,i} + f_a A_{a,i})] \quad (6.3.8-1)$$

2 地震设计状况

$$N_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \varphi [f_{co} A_{co} + f'_y (A_s + A'_s) + f'_{yw} A_{sw} + \sum_{i=1}^m (f_{ci} A_{ci,i} + f_a A_{a,i})] \quad (6.3.8-2)$$

式中： N_c —— 剪力墙轴心压力设计值；

f_{ci} —— 钢管内混凝土的轴心抗压强度设计值；

f'_y —— 剪力墙两端边缘构件竖向钢筋抗压强度设计值；

f'_{yw} —— 剪力墙竖向分布钢筋抗压强度设计值；

A_s 、 A'_s —— 分别为墙肢受拉、受压端边缘构件内竖向钢筋截面面积；

A_{sw} —— 剪力墙竖向分布钢筋截面面积；

A_{co} —— 钢管外混凝土截面面积；

$A_{ci,i}$ —— 单根钢管内混凝土截面面积；

$A_{a,i}$ —— 单根钢管截面面积；

φ —— 剪力墙轴心受压构件的稳定系数，可按本规程表 6.1.6 采用。

6.3.9 剪力墙轴心受拉承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N_t \leq 1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y (A_s + A'_s) + f_{yw} A_{sw} \quad (6.3.9-1)$$

2 地震设计状况

$$N_t \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y (A_s + A'_s) + f_{yw} A_{sw}] \quad (6.3.9-2)$$

式中：\$N_t\$——剪力墙轴心拉力设计值；

\$f_y\$——剪力墙两端边缘构件内竖向钢筋抗拉强度设计值；

\$f_{yw}\$——剪力墙竖向分布钢筋抗拉强度设计值；

\$\gamma_{RE}\$——轴心受拉承载力抗震调整系数，可取为 0.8。

6.3.10 偏心受压剪力墙的正截面受压承载力应符合下列规定：

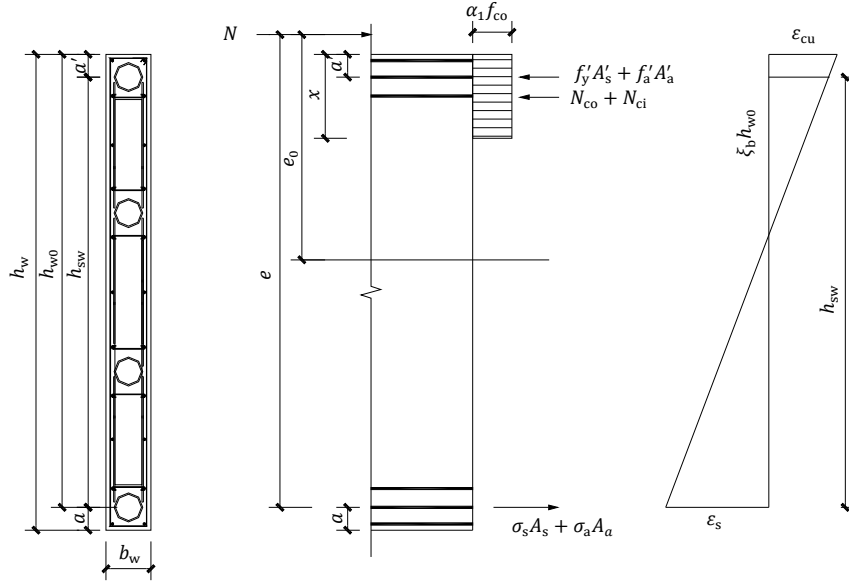


图 6.3.10 矩形截面偏心受压剪力墙正截面受压承载力计算示意图

1 持久、短暂设计状况

$$N \leq N_{co} + N_{ci} + f'_y A'_s + f'_a A'_a - \sigma_s A_s - \sigma_a A_a + N_{sw} + N_{aw} \quad (6.3.10-1)$$

$$Ne \leq M_{co} + M_{ci} + (f'_y A'_s + f'_a A'_a)(h_{w0} - a') + M_{sw} + M_{aw} \quad (6.3.10-2)$$

$$e = e_0 + \frac{h_w}{2} - a \quad (6.3.10-3)$$

受压区钢管外混凝土轴力\$N_{co}\$、弯矩\$M_{co}\$：

$$N_{co} = \alpha_1 f_{co} (b_w x - A'_{ao}) \quad (6.3.10-4)$$

$$M_{co} = \alpha_1 f_{co} b_w x \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) - \alpha_1 f_{co} A'_{ao} (h_{w0} - a') \quad (6.3.10-5)$$

受压区钢管内混凝土轴力\$N_{ci}\$、弯矩\$M_{ci}\$：

$$N_{ci} = k f_{ci} A'_{ai} \quad (6.3.10-6)$$

$$M_{ci} = k f_{ci} A'_{ai} (h_{w0} - a') \quad (6.3.10-7)$$

$$ek = 1 + (1 - 0.009 f_{ci}) \theta \quad (6.3.10-8)$$

竖向分布钢筋承担的轴向压力 N_{sw} 、弯矩 M_{sw} ：

$$N_{sw} = (1 + \frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{0.5 h_{sw}}) f_{yw} A_{sw} \quad (6.3.10-9)$$

$$M_{sw} = [0.5 - (\frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{h_{sw}})^2] f_{yw} A_{sw} h_{sw} \quad (6.3.10-10)$$

剪力墙分布钢管承担的轴力 N_{aw} 、弯矩 M_{aw} ：

$$N_{aw} = (1 + \frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{0.5 h_{sw}}) f_{aw} A_{aw} \quad (6.3.10-11)$$

$$M_{aw} = [0.5 - (\frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{h_{sw}})^2] f_{aw} A_{aw} h_{sw} \quad (6.3.10-12)$$

当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时，

$$\sigma_s = f_y \quad (6.3.10-13)$$

$$\sigma_a = f_a \quad (6.3.10-14)$$

当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时，

$$-f'_y \leq \sigma_s = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1 h_{w0}}{x} - 1) \leq f_y \quad (6.3.10-15)$$

$$-f'_a \leq \sigma_a = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1 h_{w0}}{x} - 1) \leq f_a \quad (6.3.10-16)$$

式中： N_{co} 、 N_{ci} ——分别为受压区钢管外、钢管内混凝土承担的轴力；

M_{co} 、 M_{ci} ——分别为受压区钢管外、钢管内混凝土合力对受拉区端部钢管及竖向钢筋合力点的力矩；

N_{sw} 、 N_{aw} ——分别为除两端外沿墙肢均匀配置的竖向分布钢筋、分布钢管所承担的轴力，当 $x/\beta_1 > h_{w0}$ 时，取 $x/\beta_1 = h_{w0}$ 进行计算；

M_{sw} 、 M_{aw} ——分别为除两端外沿墙肢均匀配置的竖向分布钢筋、分布钢管轴力对受拉区端部钢管及竖向钢筋合力点的力矩，当 $x/\beta_1 > h_{w0}$ 时，取 $x/\beta_1 = h_{w0}$ 进行计算；

σ_s 、 σ_a ——分别为受拉区端部竖向钢筋、钢管的应力；

f_y 、 f_a ——分别为受拉区端部竖向钢筋、钢管钢材的抗拉强度设计值；

f'_y 、 f'_a ——分别为受压区端部竖向钢筋、钢管钢材的抗压强度设计值；

f_{co} 、 f_{ci} ——分别为受压区钢管外、钢管内混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{yw} 、 f_{aw} ——分别为墙内均匀配置的竖向分布钢筋、分布钢管的强度设计值；

A_s 、 A_a ——分别为受拉区端部竖向钢筋、钢管的截面面积；

A'_s 、 A'_a ——分别为受压区端部竖向钢筋、钢管的截面面积；

A'_{ao} 、 A'_{ai} ——分别为受压区端部钢管外径、内径围合圆形截面面积；

A_{sw} 、 A_{aw} ——分别为剪力墙内均匀配置的竖向分布钢筋、分布钢管的总截面面积；

k ——钢管内混凝土强度提高系数；

θ ——钢管混凝土套箍指标；

a 、 a' ——分别为受拉区、受压区端部竖向钢筋及钢管合力点至截面受拉、受压边缘的距离；

h_w 、 h_{w0} ——分别为剪力墙截面高度、截面有效高度，其中 $h_{w0} = h_w - a$ ；

h_{sw} ——均匀配置竖向分布钢筋、分布钢管区段的剪力墙截面长度，
宜取 $h_{sw} = h_{w0} - a'$ ；

b_w ——剪力墙截面厚度；

x ——受压区混凝土等效矩形应力图高度；

e_0 ——偏心距， $e_0 = M/N$ ；

α_1 、 β_1 ——混凝土受压等效矩形应力图图形系数，可按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定采用；

E_s ——钢材弹性模量；

ε_{cu} ——混凝土极限压应变，可按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定采用。

2 地震设计状况：

公式(6.3.10-1)、(6.3.10-2)右端均应除以承载力抗震调整系数 γ_{RE} ， γ_{RE} 可取为0.85。

6.3.11 偏心受拉剪力墙的正截面受拉承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \quad (6.3.11-1)$$

2 地震设计状况

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \right] \quad (6.3.11-2)$$

3 N_{0u} 、 M_{wu} 应按下列公式计算

$$N_{0u} = 1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y (A_s + A'_s) + f_{yw} A_{sw} \quad (6.3.11-3)$$

$$M_{wu} = f_y A_s (h_{w0} - a'_s) + f_a A_{ab} (h_{w0} - a'_a) + f_{yw} A_{sw} \left(\frac{h_{w0} - a'_s}{2} \right) \quad (6.3.11-4)$$

式中： e_0 —— 轴向拉力对截面重心的偏心距；

N —— 剪力墙轴向拉力设计值；

N_{0u} —— 剪力墙轴心受拉承载力；

M_{wu} —— 剪力墙受弯承载力；

a'_s —— 受压端端部钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

a'_a —— 受压端端部钢管混凝土合力点至截面受压边缘的距离；

A_{ab} —— 受拉端端部钢管截面面积；

A_s —— 受拉端端部钢筋截面面积。

6.3.12 剪跨比不大于 1.0 的偏心受压排剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh} \quad (6.3.12-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} (\sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh}) \quad (6.3.12-2)$$

$$V_{a,i} = \frac{1 + \alpha^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} + 0.1 N'_{a,i} \quad (6.3.12-3)$$

$$V_{c,j} = \frac{1.1}{\lambda} (0.7 f_{to} b_w h_j + 0.1 N_{0,j}) \quad (6.3.12-4)$$

$$V_{sh} = f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} \quad (6.3.12-5)$$

$$N'_{a,i} = \frac{E_{ci} A_{ci,i} + E_a A_{a,i}}{\psi \sum E_{co} A_{co,i} + \sum_{i=1}^m (E_{ci} A_{ci,i} + E_a A_{a,i})} N \quad (6.3.12-6)$$

$$N_{0,j} = \frac{b_w h_j (N - \sum_{i=1}^m N'_{a,i})}{A - \sum_{i=1}^m (A_{ci,i} + A_{a,i})} \quad (6.3.12-7)$$

式中： $V_{a,i}$ —— 单根钢管混凝土柱受剪承载力；

$V_{c,j}$ —— 相邻钢管之间墙体受剪承载力；

V_{sh} —— 水平分布钢筋受剪承载力；

N —— 剪力墙轴压力设计值；

$N'_{a,i}$ —— 单根钢管混凝土承受的轴压力设计值；

$N_{0,j}$ —— 相邻钢管之间墙体承受的轴压力， $N_{0,j} > 0.2f_{co}b_w h_j$ 时取 $0.2f_{co}b_w h_j$ ；

λ —— 剪力墙计算截面剪跨比， $0.3 \leq \lambda \leq 1.0$ ， $\lambda < 0.3$ 时取 $\lambda = 0.3$ ；

Ψ —— 钢管外混凝土轴压刚度折减系数，取 0.85；

b_w —— 剪力墙截面厚度；

h_j —— 相邻钢管净距；

f_{yh} —— 水平分布钢筋抗拉强度设计值；

A_{yh} —— 配置在同一截面内的全部水平分布钢筋截面面积；

s —— 水平钢筋间距；

f_{to} —— 钢管外混凝土轴心抗拉强度设计值；

E_{co} 、 E_{ci} —— 分别为钢管外混凝土弹性模量和钢管内混凝土弹性模量；

$A_{co,j}$ 、 $A_{ci,j}$ 、 $A_{a,j}$ —— 分别为相邻钢管之间墙体截面面积、单根钢管混凝土截面面积和单根钢管截面面积。

6.3.13 剪跨比大于 1.0 的偏心受压剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.5f_{to}b_w h_{w0} + 0.13N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad (6.3.13-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.4f_{to}b_w h_{w0} + 0.1N \frac{A_w}{A} \right) + 0.8f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + 0.8 \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \quad (6.3.13-2)$$

式中： N —— 与剪力设计值 V 对应的轴压力设计值， N 大于 $0.2f_{co}b_w h_w$ 时取

$0.2f_{co}b_w h_w$ ；

A ——剪力墙截面面积；

A_w ——T形、I形排钢管混凝土剪力墙腹板截面面积，对矩形截面剪力墙，取为 A ；

λ_1 、 λ_2 ——分别为计算钢管、混凝土和轴力对钢管混凝土剪力墙受剪承载力贡献时采用的剪力墙计算截面剪跨比， $\lambda_1 = \lambda_2 = M/(Vh_{w0})$ ， M 为墙端截面组合弯矩计算值，可取墙上下端的较大值， V 为与 M 对应的组合剪力计算值， $\lambda_1 > 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$ ， $\lambda_2 < 1.5$ 时取 $\lambda_2 = 1.5$ ， $\lambda_2 > 2.2$ 时取 $\lambda_2 = 2.2$ 。

6.3.14 剪跨比不大于 1.0 的偏心受拉剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh} \quad (6.3.14-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} (\sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh}) \quad (6.3.14-2)$$

$$V_{a,i} = \frac{1 + \alpha^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \quad (6.3.14-3)$$

$$V_{c,j} = \frac{1.05}{\lambda} f_{to} b_w h_j - 0.2 N_{0,j} \quad (6.3.14-4)$$

$$V_{sh} = f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} \quad (6.3.14-5)$$

$$N_{0,j} = \frac{b_w h_j N}{A - \sum_{i=1}^m (A_{ci,i} + A_{a,i})} \quad (6.3.14-6)$$

式中： N ——轴拉力设计值；

V ——剪力设计值；

$N_{0,j}$ ——相邻钢管之间剪力墙承受的轴拉力；

λ ——计算截面的剪跨比， $0.3 \leq \lambda \leq 1$ ， $\lambda < 0.3$ 时取 $\lambda = 0.3$ 。

式（6.3.14-4）的 $V_{c,j}$ 计算值小于 0 时，取 $V_{c,j} = 0$ 。

6.3.15 剪跨比大于 1.0 的偏心受拉剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.5 f_{t0} b_w h_{w0} - 0.2 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad (6.3.15-1)$$

上式右端的计算值小于 $f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i}$ 时，应取 $f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i}$ 。

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.5 f_{t0} b_w h_{w0} - 0.2 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \quad (6.3.15-2)$$

上式右端计算值小于 $\frac{0.8}{\gamma_{RE}} (f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i})$ 时，应取 $\frac{0.8}{\gamma_{RE}} (f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i})$ 。

式中： N ——剪力墙轴向拉力设计值；

λ_1 、 λ_2 ——计算截面的剪跨比，可按本规程第 6.3.13 条的规定确定。

6.3.16 墙肢两端为端柱的偏心受压剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.5 \beta_r f_{t0} b_w h_{w0} + 0.13 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad (6.3.16-1)$$

2 地震设计状况

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left(0.4 \beta_r f_{t0} b_w h_{w0} + 0.1 N \frac{A_w}{A} \right) + 0.8 f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + 0.8 \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \quad (6.3.16-2)$$

式中： β_r ——墙端叠合柱对剪力墙的约束系数，可取 1.2；

λ_1 、 λ_2 —— $\lambda_1 < 0.5$ 时取 $\lambda_1 = 0.5$ ， $\lambda_1 > 2$ 时取 $\lambda_1 = 2$ ， $\lambda_2 < 1.5$ 时取 $\lambda_2 = 1.5$ ， $\lambda_2 > 2.2$ 时取 $\lambda_2 = 2.2$ 。

【条文说明】第 6.3.7 条～第 6.3.16 条均参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

6.3.17 剪力墙水平接缝的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

$$V_{wj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6 f_y A_{sd} + 0.33 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + 0.8 N) \quad (6.3.17)$$

式中： V_{wj} ——剪力墙水平缝处剪力设计值；

A_{sd} —— 验算方向墙肢内竖向钢筋面积；

N —— 与剪力设计值 V_{wj} 相应的轴向压力设计值，压力为正值，拉力为负值；

f_a —— 验算方向墙肢内钢管抗压强度设计值；

$A_{a,i}$ —— 验算方向墙肢内第 i 根钢管的截面面积。

【条文说明】本条参考现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中预制剪力墙的相关规定。

III 构造要求

6.3.18 剪力墙厚度不宜小于 200mm，不宜大于 300mm；剪力墙底部加强部位不宜小于层高的 1/16，其他部位不宜小于层高的 1/20；一字形独立剪力墙底部加强部位不应小于 220mm。

【条文说明】参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定。

6.3.19 短肢剪力墙应符合下列规定：

- 1 一、二、三级短肢剪力墙的轴压比，分别不宜大于 0.55、0.60、0.65，一字形截面短肢剪力墙的轴压比限值应相应减少 0.1；
- 2 短肢剪力墙的底部加强部位应按本节 6.3.4 条调整剪力设计值，其他各层一、二、三级时剪力设计值应分别乘以增大系数 1.4、1.2 和 1.1；
- 3 短肢剪力墙的边缘构件的设置应符合本规程 6.3.22～6.3.24 条的规定；
- 4 短肢剪力墙的全部竖向钢筋的配筋率，底部加强部位一、二级不宜小于 1.2%，三、四级不宜小于 1.0%；其他部位一、二级不宜小于 1.0%，三、四级不宜小于 0.8%。

【条文说明】参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定，轴压比相对于普通混凝土短肢剪力墙放松 0.1。

6.3.20 剪力墙的钢管配置应符合下列规定：

- 1 钢管直径不宜小于 108mm，钢管壁厚不宜小于 3mm，钢管混凝土套箍指标不应小于 0.4，钢管外混凝土厚度应符合表 6.3.20 要求；

表 6.3.20 钢管外混凝土厚度 (mm)

墙肢肢厚	钢管外混凝土厚度
200	40

墙肢肢厚	钢管外混凝土厚度
250	45
300	50

注：墙肢肢厚介于表中数值之间时，钢管外混凝土厚度按较大墙肢肢厚对应钢管外混凝土厚度取值。

2 剪力墙边缘构件端部第一根钢管中心线至截面近端面的距离不宜大于 $(100+r_{a1})$ (mm), r_{a1} 为该钢管半径；边缘构件内钢管宜均匀布置，钢管中心距不宜大于 3 倍肢厚，钢管净距不宜小于 100mm；

3 剪力墙约束边缘构件阴影部分（图 6.3.23）内含管率不宜小于 4%。剪力墙构造边缘构件阴影部分（图 6.3.24）内含管率不宜小于 3%；当剪力墙轴压比不大于 0.3 时，剪力墙构造边缘构件阴影部分（图 6.3.24）内含管率不应小于 1.5%。

4 剪力墙非边缘构件范围内钢管宜均匀布置，钢管中心距不宜大于 4 倍墙厚，也不宜大于 1000mm；

4 圆钢管混凝土柱的钢管外径（ D ）与墙肢厚度（ B ）的比值不宜小于 0.5，且不宜大于 0.75。

5 钢管壁外表面应贴焊闭合环筋，环筋直径不宜小于 6mm；环筋间距在剪力墙底部加强区不应大于 600mm，其他区域不应大于 1000mm；环筋与钢管之间采用双面角焊缝满焊，焊接长度不应小于钢管周长，焊缝高度不宜小于 5mm。

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定。

钢管壁外表面焊接钢筋环，目的是增加钢管与混凝土之间的粘结力，提高钢管混凝土与管外混凝土共同工作的能力；环筋在排钢管混凝土剪力墙底部加强区加密，确保剪力墙塑性铰的充分发展。

6.3.21 剪力墙在重力荷载代表值作用下的轴压比不宜超过表 6.3.21 规定的限值。该轴压比可按式计算：

$$n_w = N / [f_{co}A_{co} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_aA_{a,i})] \quad (6.3.21)$$

式中： n_w —— 剪力墙在重力荷载代表值作用下的轴压比；

N —— 重力荷载代表值作用下剪力墙组合的轴力设计值；

f_{co} 、 f_{ci} —— 钢管外、钢管内混凝土轴心抗压强度设计值；

f_a —— 钢管钢材抗压强度设计值；

$A_{a,i}$ 、 $A_{ci,i}$ ——分别为单根钢管的截面面积和单根钢管内混凝土的截面面积。

表 6.3.21 排钢管混凝土剪力墙轴压比限值

抗震等级	特一级，一级（7度、8度）	一级（6度），二、三、四级
无端柱	0.6	0.7
有端柱	0.65	0.75

【条文说明】参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188 中相关规定，轴压比相对于普通混凝土剪力墙放松 0.1。

排钢管混凝土剪力墙拟静力试验表明：轴压比（按钢管内外混凝土强度分别计算，不计入钢管）为 0.55、含管率为 2.25%的试件，其极限位移角为 0.013，为钢筋混凝土剪力墙试件的 1.3 倍；轴压比为 0.73、含管率为 4.49%的试件，其极限位移角为 0.014，为轴压比 0.7、含管率 2.25%试件的 1.4 倍；有端柱、轴压比为 0.76、含管率为 1.5%的试件，其极限位移角为 0.02，大于无端柱排钢管混凝土剪力墙试件。可见，高轴压比排钢管混凝土剪力墙具有良好的弹塑性变形能力。因此，排钢管混凝土剪力墙的轴压比限值可高于钢筋混凝土剪力墙。计算钢管混凝土剪力墙的轴压比时，计入钢管作为型钢的作用，不考虑钢管对管内混凝土的约束作用。

6.3.22 剪力墙两端应设置边缘构件，并应符合下列规定：

1 特一级、一、二、三级剪力墙底层墙肢底截面的轴压比大于表 6.3.22 的规定时，应在底部加强部位及相邻的上一层设置约束边缘构件，约束边缘构件应符合本规程 6.3.22 条的规定；

2 除本条第 1 款所列部位外，剪力墙应按本规程第 6.3.24 条设置构造边缘构件。

表 6.3.22 排钢管混凝土剪力墙可不设约束边缘构件的最大轴压比

抗震等级	特一级、一级（6、7、8度）	二级、三级
轴压比限值	0.4	0.5

【条文说明】参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定，轴压比相对于普通混凝土放松 0.1。

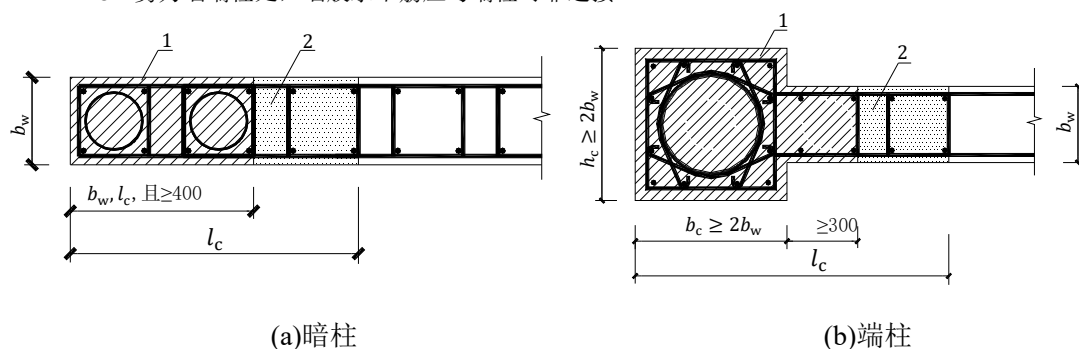
6.3.23 排钢管混凝土剪力墙墙肢两端应设置约束边缘构件，约束边缘构件包括暗柱、翼墙和端柱，约束边缘构件沿墙肢的长度 l_c 、配箍特征值 λ_v 、竖向钢筋最小配筋量及最小直径、箍筋或拉筋沿竖向最大间距应符合表 6.3.23 的规定。约束

边缘构件的箍筋体积配箍率可按本规程 6.3.24 款计算, 计算体积配箍率时, 混凝土体积可扣除排钢管混凝土的体积, 也可不扣除钢管混凝土的体积、而适当计入符合构造要求的水平分布钢筋, 计入的水平分布筋的体积配箍率不应大于总体积配箍率的 30%。

表 6.3.23 剪力墙约束边缘构件的范围及配筋要求

项 目	特一级、一级 (6、7、8度)		二级、三级、四级	
	$n_w \leq 0.4$	$n_w > 0.4$	$n_w \leq 0.5$	$n_w > 0.5$
l_c (暗柱)	$0.15h_w$	$0.20h_w$	$0.15h_w$	$0.20h_w$
l_c (翼墙或端柱)	$0.10h_w$	$0.15h_w$	$0.10h_w$	$0.15h_w$
λ_v	0.12 (0.14)	0.20 (0.24)	0.12	0.20
竖向钢筋 (取较大值)	0.012 ($A_c - A_{CFST}$) 0.014 ($A_c - A_{CFST}$), $8\phi 16$		0.01 ($A_c - A_{CFST}$) $8\phi 16$ (三级 $8\phi 14$)	
箍筋或拉筋沿竖向最大间距(mm)	100		150	

- 注：1** 剪力墙的翼墙长度小于其 3 倍厚度或端柱截面边长小于 2 倍墙厚时, 按无翼墙、无端柱查表;
- 2** l_c 为约束边缘构件沿墙肢的长度, 不应小于墙厚和 400mm; 有翼墙或端柱时, 不应小于翼墙厚度加 300mm 或端柱沿墙肢方向截面高度加 300mm;
- 3** λ_v 为约束边缘构件的最小配箍特征值, 图 6.3.23 中约束边缘构件阴影部分应配置箍筋; 非阴影部分的最小配箍特征值可为 $\lambda_v/2$, 可配置箍筋或拉筋; 阴影部分和非阴影部分长度均宜取值到钢管暗柱外侧拉筋处; 箍筋直径不应小于 $\phi 8$;
- 4** h_w 为墙肢长度;
- 5** n_w 为重力荷载代表值作用下墙肢轴压比;
- 6** A_c 为图 6.3.23 所示约束边缘构件阴影部分的截面面积, A_{CFST} 为约束边缘构件内排钢管混凝土 (包括钢管) 的截面面积;
- 7** λ_v 及竖向钢筋括号内数值适用于特一级钢管混凝土剪力墙;
- 8** 剪力墙端柱处, 墙肢水平筋应与端柱可靠连接。



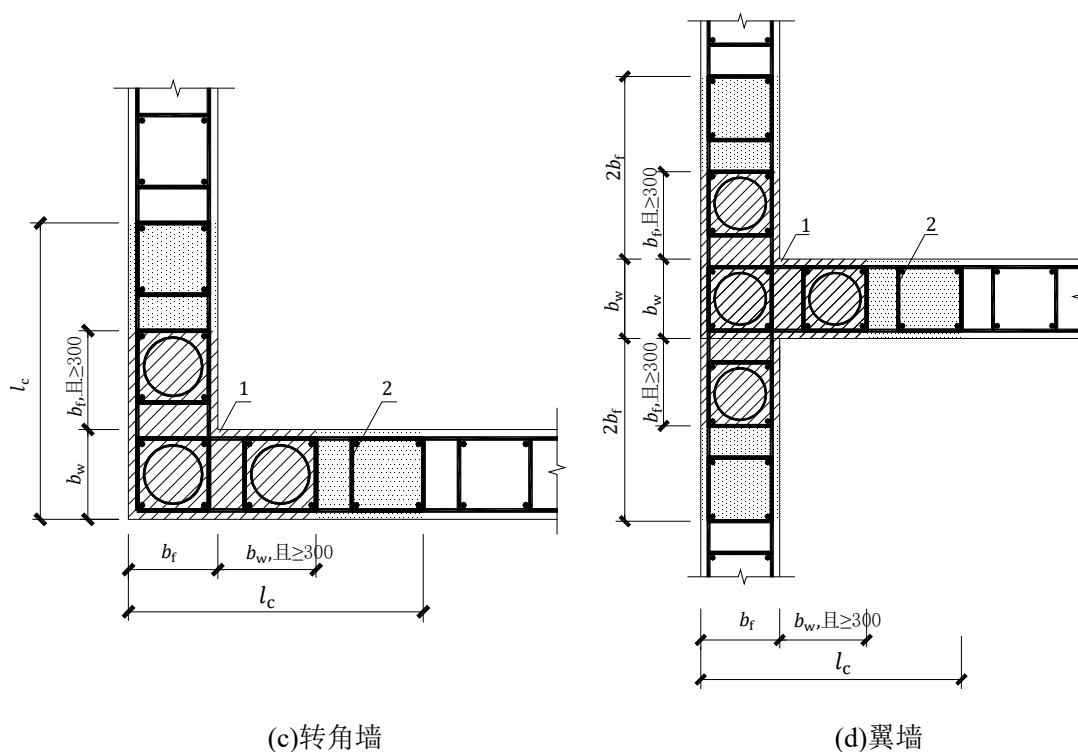


图 6.3.23 剪力墙的约束边缘构件范围

1-阴影部分；2-非阴影部分

【条文说明】为增强排钢管混凝土剪力墙的抗震性能，边缘构件范围宜根据排钢管排列模数适当扩大；圆钢管混凝土柱两侧均配置竖向钢筋，竖向钢筋根据构造数量最少值为 8 根；箍筋直径不应小于 $\phi 8$ ，提高箍筋对管外混凝土的约束作用。

6.3.24 剪力墙构造边缘构件范围宜按图 6.3.24 中阴影部分采用，其最小配筋应满足表 6.3.24 的规定，并应符合下列规定：

- 1 竖向钢管、配筋应满足正截面受压（受拉）承载力的要求；
- 2 箍筋、拉筋沿水平方向的肢距不宜大于 300mm，且不应大于竖向钢筋间距的 2 倍。

表 6.3.24 排钢管混凝土剪力墙构造边缘构件的最小配筋要求

抗震等级	底部加强部位		
	竖向钢筋最小量 (取较大值)	箍筋	
		最小直径 (mm)	沿竖向最大间距 (mm)
特一、一	$0.010A_c$ ， $8\phi 16$	8	100
二	$0.008A_c$ ， $8\phi 14$	8	150

抗震等级	底部加强部位		
	竖向钢筋最小量 (取较大值)	箍筋	
		最小直径 (mm)	沿竖向最大间距 (mm)
三	$0.006A_c$, $8\phi 12$	8	150
四	$0.005A_c$, $8\phi 10$	8	200
抗震等级	其他部位		
	竖向钢筋最小量 (取较大值)	拉筋	
		最小直径 (mm)	沿竖向最大间距 (mm)
特一、一	$0.008A_c$, $8\phi 14$	8	150
二	$0.006A_c$, $8\phi 12$	8	200
三	$0.005A_c$, $8\phi 10$	8	200
四	$0.004A_c$, $8\phi 8$	8	250

注：1 A_c 为构造边缘构件的截面面积，即图 6.3.24 剪力墙截面的阴影部分；

- 2 符号 ϕ 表示钢筋直径；
- 3 其他部位的转角处宜采用箍筋；
- 4 阴影部分长度宜取值到钢管暗柱外侧拉筋处。

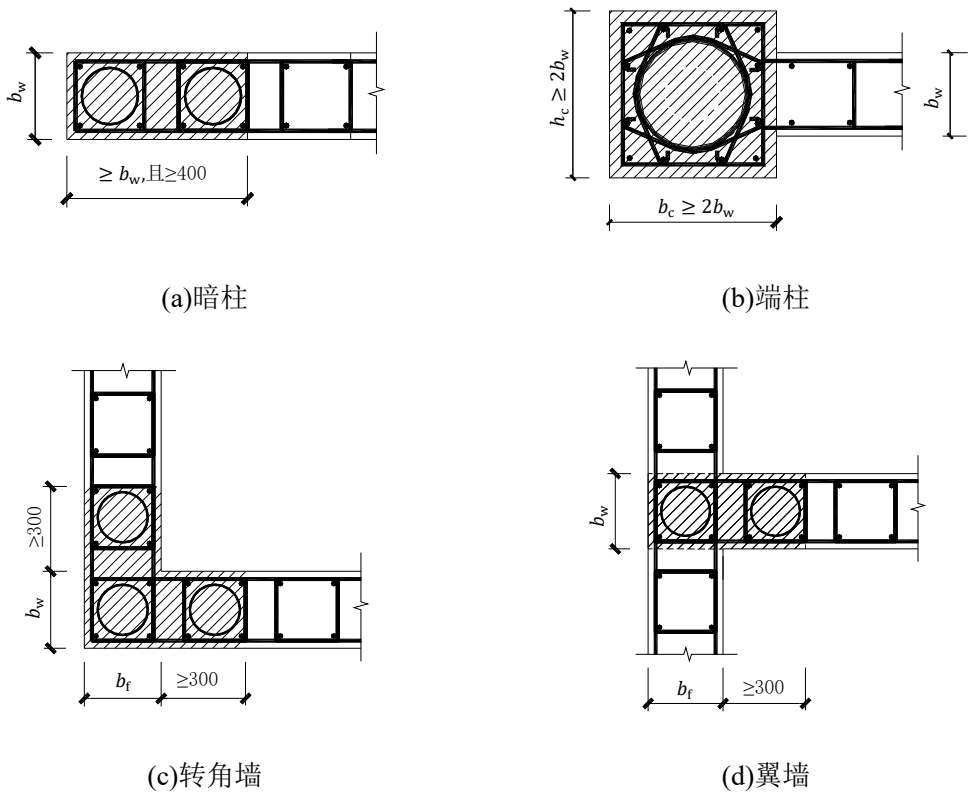


图 6.3.24 剪力墙的构造边缘构件范围

【条文说明】为增强排钢管混凝土剪力墙的抗震性能，边缘构件范围宜根据排钢管排列模数适当扩大；圆钢管混凝土柱两侧均配置竖向钢筋，竖向钢筋根据构造数量最少值为 8 根；箍筋直径不应小于 $\phi 8$ ，提高箍筋对管外混凝土的约束作用。

6.3.25 排钢管混凝土剪力墙竖向和水平分布钢筋的配筋应符合下列规定：

- 1 特一级剪力墙底部加强部位的竖向和水平分布钢筋配筋率不应小于 0.40%，其他部位的竖向和水平分布钢筋配筋率不应小于 0.35%；
- 2 一、二、三级剪力墙的竖向和水平分布钢筋配筋率不应小于 0.25%，四级剪力墙的竖向和水平分布钢筋配筋率不应小于 0.2%；
- 3 剪力墙的竖向和水平分布钢筋间距不宜大于 200mm，不应大于 300mm；
- 4 竖向和水平分布钢筋直径不应小于 8mm，且不宜大于墙厚的 1/10；
- 5 竖向和水平分布钢筋不应少于双排配筋，双排及多排分布钢筋间应配置水平拉筋，水平拉筋宜梅花形布置，间距不宜大于 400mm，直径不应小于 8mm；
- 6 墙肢内钢管两侧应配置水平拉筋，水平拉筋与钢管的净距不宜大于 50mm，水平拉筋间距宜与水平分布钢筋间距相同，直径不应小于 8mm；
- 7 水平分布钢筋应锚固于两端边缘构件内。

【条文说明】排钢管混凝土剪力墙竖向和水平分布钢筋最小配筋率、最小直径及最大间距，与国家及行业现行标准钢筋混凝土剪力墙的相关规定一致。计算水平分布钢筋和竖向分布钢筋配筋率时不扣除钢管截面面积。分布钢筋间配置的水平拉筋可以在一定程度上对相邻钢管之间的混凝土起到约束作用，避免大震作用下混凝土过早压溃；墙肢内钢管两侧配置水平拉筋的目的是约束钢管周边的混凝土，使钢管混凝土能发挥较大的变形能力。

6.3.26 屋面、立面收进的楼层及剪力墙上下拼接高度处，应在剪力墙顶部或楼层处设置封闭的暗梁，并应符合下列规定：

- 1 暗梁截面宽度不应小于剪力墙的厚度，截面高度不宜小于楼板厚度及 250mm 的较大值；楼层处梁应与楼板、屋盖浇筑成整体。
- 2 暗梁内配置的纵向钢筋不应少于 $4\phi 12$ ，且按全截面计算的配筋率不应小于 0.5%和水平分布筋配筋率的较大值，纵向钢筋竖向间距不应大于 200mm；箍筋平均间距不应大于 200mm，且直径不应小于 8mm。

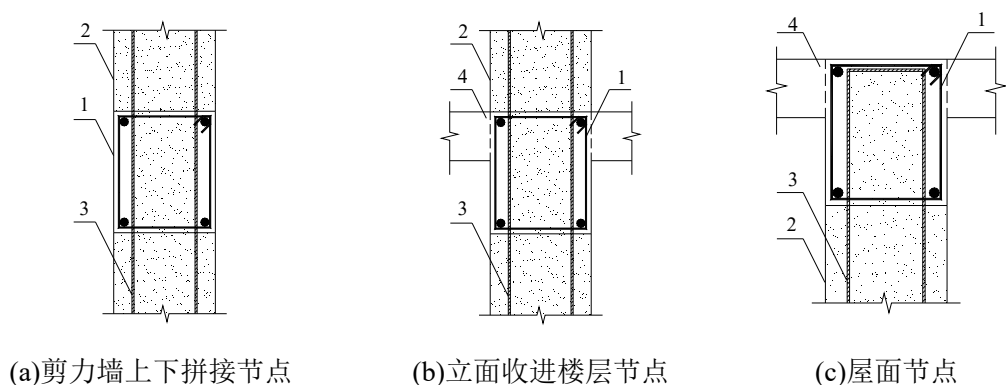


图 6.3.26 钢筋混凝土暗梁构造示意

1-后浇圈梁；2-预制剪力墙；3-圆钢管混凝土柱；4-楼板

6.3.27 各层楼面与剪力墙连接处应设置连续的水平后浇带（图 6.3.27），水平后浇带应符合下列规定：

- 1 水平后浇带宽度应取剪力墙的厚度、高度不应小于楼板厚度；水平后浇带应与现浇或者叠合楼、屋盖浇筑成整体。
- 2 水平后浇带内应配置不少于 2 根连续纵向钢筋，其直径不宜小于 12mm。

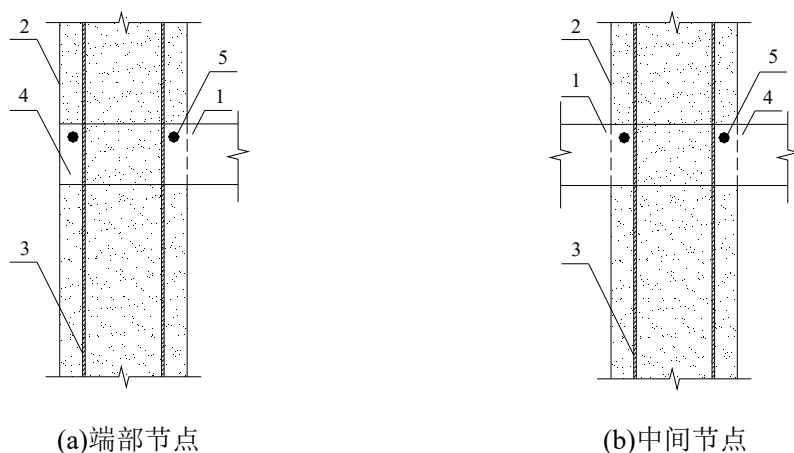


图 6.3.27 水平后浇带构造示意

1-楼板；2-预制剪力墙；3-圆钢管混凝土柱；4-水平后浇带；5-纵向钢筋

【条文说明】封闭连续的圈梁是保证结构整体性和稳定性、连接楼盖结构与预制剪力墙的关键构件，应在楼层收进及屋面处设置。在不设置圈梁的楼面处，水平后浇带及在其内设置的纵向钢筋也可起到保证结构整体性和稳定性、连接楼盖结构与预制剪力墙的作用。

6.3.28 框架-剪力墙结构的端柱设置，应符合下列要求：

- 1 有端柱时，墙体在楼盖处宜设置暗梁，暗梁的截面高度不宜小于墙厚和 400mm 的较大值；

2 端柱截面宜与同层框架柱相同，并应满足本规程第 6.1 节对框架柱的要求；

3 剪力墙底部加强部位的端柱和紧靠剪力墙洞口的端柱宜按柱箍筋加密区的要求沿全高加密箍筋。

【条文说明】参考现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 对端柱设置进行上述规定。

6.3.29 剪力墙上应尽量避免开设洞口；当无法避免时，洞口宜设置在墙肢长度方向的钢管之间混凝土部分，且洞口沿墙肢长度方向尺寸小于钢管间混凝土相应方向尺寸。剪力墙开有边长小于 800mm 的洞口且在结构整体计算中不考虑其影响时，应沿洞口周边配置补强钢筋；补强钢筋的直径不应小于 12mm，截面面积不应小于同方向被洞口截断的钢筋面积；该钢筋自孔洞边角算起伸入墙内的长度，不应小于 l_{aE} (图 6.3.29)。

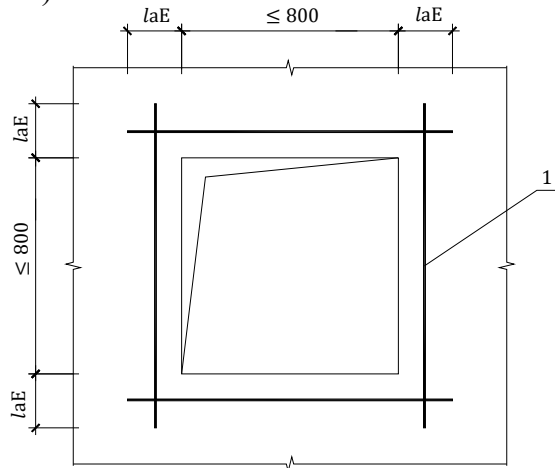


图 6.3.29 剪力墙洞口补强钢筋配置示意

1-洞口补强钢筋

6.3.30 钢连梁当满足下列公式的要求时，为剪切屈服型钢连梁，此时应符合本条第 1 款～第 4 款的计算和构造要求：

$$2.6M_p/l_n \geq 0.58A_w f_y \quad (6.3.30-1)$$

$$M_p = W_p f \quad (6.3.30-2)$$

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 ）。

1 地震作用效应计算时，可对剪切屈服型钢连梁刚度予以折减，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 355N/mm^2 ，屈强比不应大于 0.8，且屈服强度波动范围不应大于 100N/mm^2 ，板件的宽厚比不大于表 6.3.30-1 的限值：

表 6.3.30-1 剪切屈服型钢连梁的板件宽厚比限值

板件名称	宽厚比限值
翼缘外伸部分	$8\varepsilon_k$
加劲肋腹板	$90\varepsilon_k$
波形腹板	$200\varepsilon_k$

3 剪切屈服型钢连梁的腹板不得贴焊补强板，也不得开洞；

4 剪切屈服型钢连梁应按以下原则设置中间加劲肋：

1) 当 $1.6M_p/l_n \geq 0.58A_w f_y$ 时：

$$a_s \leq 30t_{wb} - h_b/5 \quad (6.3.30-3)$$

式中： a_s ——加劲肋间距（mm）；

t_{wb} ——钢梁腹板厚度（mm）；

h_b ——钢梁高（mm）。

2) 当 $2.6M_p/l_n \geq 0.58A_w f_y > 1.6M_p/l_n$ 时：

$$a_s \leq (30t_{wb} - h_b/5) + 22t_{wb}(0.58A_w f_y l_n / M_p - 1.6) \quad (6.3.30-4)$$

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 $(0.5b_f - t_{wb})$ 。

6.4 混合梁

I 一般规定

6.4.1 混合梁作为框架梁与排钢管混凝土构件刚性连接时，在竖向荷载作用下，可考虑框架梁端塑性变形内力重分布对梁端负弯矩乘以调幅系数进行调幅，并应符合下列规定：

1 框架梁施工阶段宜采用竖向支撑，或采取措施保证梁端负弯矩区上筋参与施工阶段受力；

2 框架梁端负弯矩调幅系数可取为 0.6~0.8；框架梁端负弯矩调幅后，梁跨中弯矩应按平衡条件相应增大；应先对竖向荷载作用下框架梁的弯矩进行调幅，再与水平作用产生的框架梁弯矩进行组合；截面设计时，框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 50%。

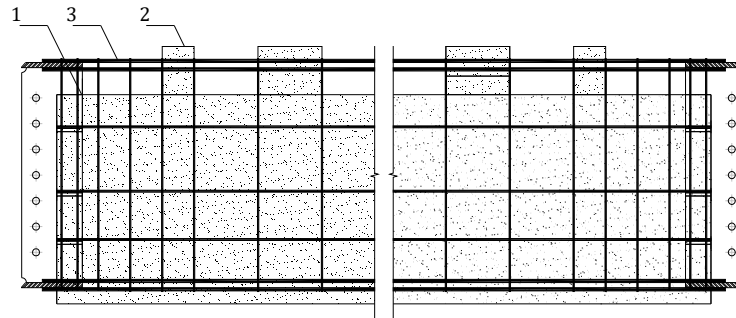


图 6.4.1 梁端负弯矩区钢筋参与施工阶段受力的构造示意

1-梁端负弯矩区；2-先浇混凝土；3-通长上筋

【条文说明】框架梁端部负弯矩区，可在工厂或现场局部分段先行浇筑混凝土或局部上筋通长设置，框架梁端负弯矩区纵向钢筋参与施工受力，控制施工阶段混合梁的承载力和挠度。

6.4.2 混合梁作为框架梁使用时，应满足下列要求：

1 框架梁上部钢筋较多时，宜将上部部分纵向钢筋布置在楼板内，按照 T 型梁设计，并符合下列规定：

- 1) 钢筋布置范围不宜超过梁侧面 2 倍板厚；
- 2) 钢筋面积可为梁端上部钢筋总面积的 20%~40%；
- 3) 梁侧楼板的箍筋直径、间距等设置同梁肋；
- 4) 纵向钢筋锚固宜采用直锚或在钢筋端头设置端锚板的方式，并应符合国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的有关规定。

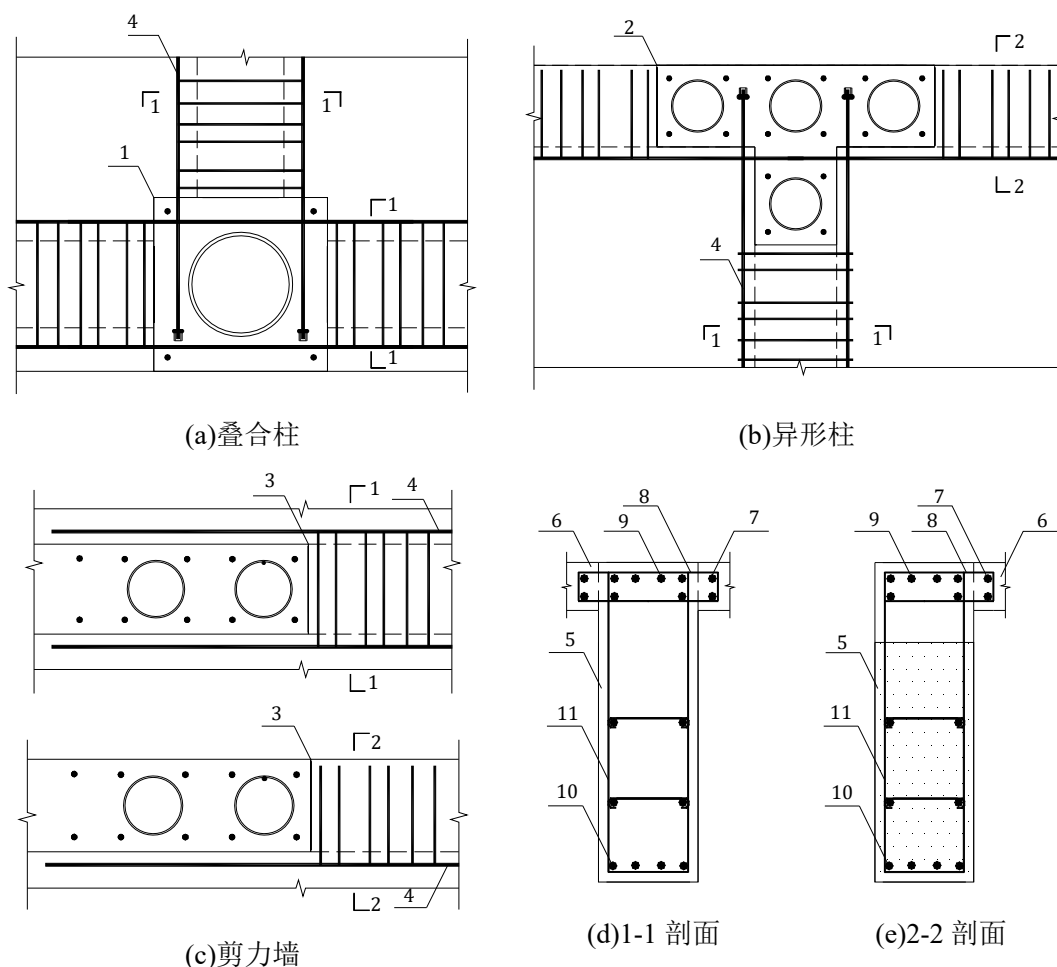


图 6.4.2-1 框架梁部分纵筋布置于楼板内构造示意

1-叠合柱；2-异形柱；3-剪力墙；4-框架梁；5-梁肋；6-梁侧楼板；7-梁侧楼板纵筋；
8-梁侧楼板箍筋；9-梁肋顶部纵筋；10-梁肋底部纵筋；11-梁肋箍筋

2 梁端截面的底面和顶面连接于型钢接头的纵向钢筋截面面积的比值，除按计算确定外，一级不小于 0.7，二、三级不小于 0.5，四级不小于 0.3。

3 混合梁端部的正截面受弯承载力应符合下式要求：

$$M_{bsuk} \geq \eta_b M_{bcuk} \quad (6.4.2)$$

式中： M_{bcuk} ——按实际配钢筋计算的混凝土梁身端部截面（图 6.4.2-2 中 II-II 截面）的极限受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值；

M_{bsuk} ——型钢接头端部截面（图 6.4.2-2 中 I-I 截面）的全塑性受弯承载力，计算时不考虑承载力抗震调整系数，材料强度取标准值；

η_b ——梁端型钢接头连接系数，一、二、三、四级可分别取为 1.4、1.3、1.2 和 1.2。

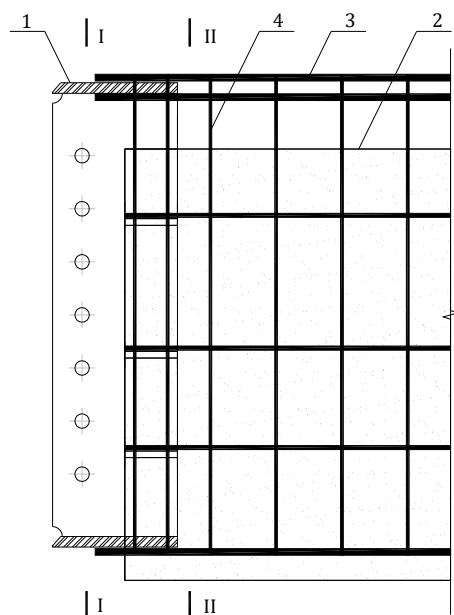


图 6.4.2-2 框架梁端部正截面受弯承载力验算截面示意

1—型钢接头；2—混凝土梁身；3—纵筋；4—箍筋

【条文说明】抗震分析和模拟计算表明，目前的工程做法将梁端截面上部纵筋全部配置在梁肋内，梁侧楼板再另行配筋，实际上增大了梁的受弯承载力，是造成地震时柱先于梁破坏的主要原因之一。因此，要求对于楼板与梁整体浇筑的结构，通过增大梁弯曲刚度考虑楼板作用，计算得到梁端上部纵筋不要全部配置在梁肋内，应将部分梁端上部纵筋配置在梁侧有效翼缘范围的楼板内，该部分钢筋也当作楼板抗弯钢筋使用。此外，考虑到混合梁端部顶面纵筋钢筋 100%连接，为增加梁端抗震设计的可靠性，宜将混合梁构造按照 T 形截面梁设计，并将上部钢筋的 20%~40%在节点区连续布置。

梁端截面的底面和顶面纵向钢筋截面面积的比值，除按计算确定外，一级不应小于 0.5，二、三级不应小于 0.3；考虑到混合梁底面钢筋 100%连接的冗余度，底面钢筋连接数量增加 0.2。

为了实现梁端塑性铰在混凝土梁身端部区域发展，需保证混凝土梁身的截面承载力要低于型钢接头的截面承载力；通过对型钢接头内力进行调整放大，保证梁端塑性铰发生在混凝土梁身端部位置。

II 极限状态设计

6.4.3 混合梁的正截面受弯承载力应按下列规定计算：

1 混凝土梁身的正截面受弯承载力计算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，混凝土梁身端部截面受弯承载力计算时不考虑型钢接头的作用；

2 梁端型钢接头的正截面受弯承载力计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，可按型钢接头的实际截面计算，不考虑后浇混凝土和楼板的作用，同时可不进行整体稳定性验算。

【条文说明】本条给出混合梁的正截面受弯承载力计算相关规定。

混合梁的混凝土梁身的受力和普通钢筋混凝土梁并无不同，所以此部分的正截面受弯承载力计算按照现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定进行即可。

梁端型钢接头的正截面受弯承载力计算应按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定进行。型钢接头长度相对较短，埋入预制混凝土的部分和埋入后浇混凝土部分均在纵向受力钢筋、加密箍筋和混凝土的包裹下形成可靠的约束，因此计算时可不进行整体稳定性验算。

6.4.4 混合梁的受剪承载力应按下列规定计算：

1 混凝土梁身的斜截面受剪承载力计算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；混凝土梁身端部截面受剪承载力计算时不考虑型钢接头的作用。

2 梁端型钢接头的受剪承载力计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

3 型钢接头与混凝土梁身连接截面的受剪承载力可按下列公式计算：

$$V_u = \min\{V_{u1}, V_{u2}, V_{u3}\} \quad (6.4.4-1)$$

$$V_{u1} = l_s \sum b_{fi} f_c \quad (6.4.4-2)$$

$$V_{u2} = h_w t_w f_v \quad (6.4.4-3)$$

$$V_{u3} = bh \cdot 2f_t \quad (6.4.4-4)$$

式中： V_{u1} ——由型钢接头支承面上的混凝土局部承压强度决定的受剪承载力（N）；

V_{u2} ——由型钢接头腹板抗剪强度决定的受剪承载力（N）；

V_{u3} ——型钢接头与混凝土梁身相交界面混凝土的直剪强度决定的受剪承

载力 (N);

l_s —— 型钢接头埋入混凝土梁身的长度 (mm);

h —— 混凝土梁身的高度 (mm);

b —— 混凝土梁身的宽度 (mm);

$\sum b_{fi}$ —— 型钢接头水平板的总宽度, 包括下翼缘及腰筋水平板宽度 (mm);

h_w —— 型钢接头腹板的高度 (mm);

t_w —— 型钢接头腹板的厚度 (mm)。

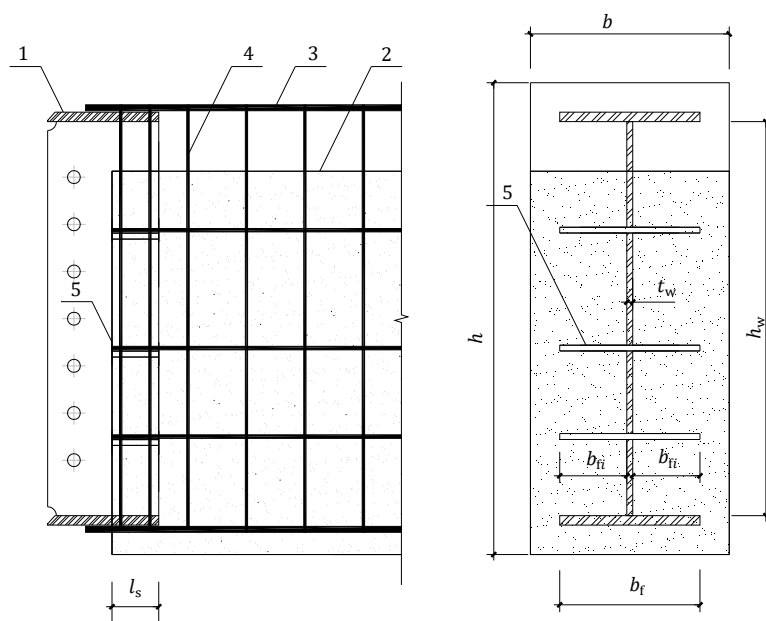


图 6.4.2 型钢接头和混凝土梁身连接示意

1—型钢接头; 2—混凝土梁身; 3—纵筋; 4—箍筋; 5—腰筋水平板

6.4.5 施工阶段, 叠合混合梁应根据其边界条件进行二阶段受力计算和变形、抗裂验算。

6.4.6 混合梁的正常使用极限状态计算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, 计算时不考虑型钢接头的作用。

III 构造要求

6.4.7 混合梁可采用全预制形式或叠合形式, 并应符合下列要求:

- 1 框架梁截面宽度不宜小于 200mm, 次梁截面宽度不宜小于 200mm;
- 2 截面高宽比不宜大于 4;
- 3 净跨与截面高度之比不宜小于 5;
- 4 对于叠合混合梁, 框架梁的叠合层厚度不宜小于 150mm, 次梁的叠合层厚度不宜小于 120mm;

5 叠合框架梁及全预制混合梁宜选用工字形型钢接头，叠合次梁宜选用倒T形型钢接头。

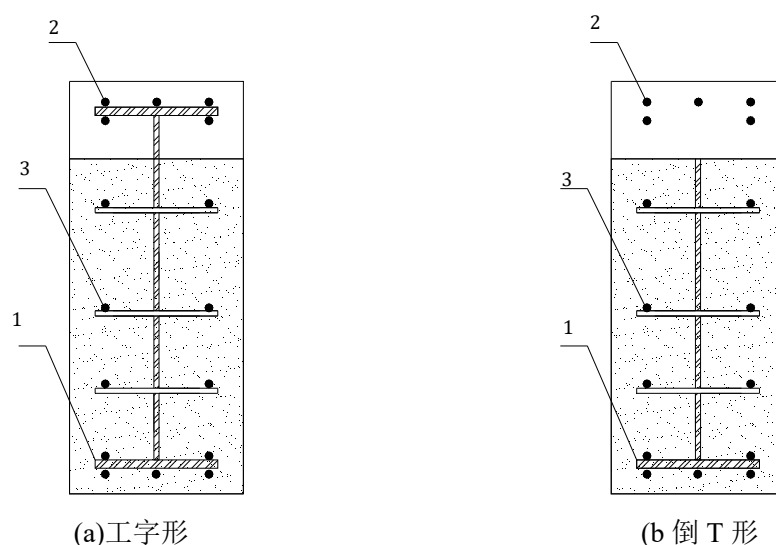


图 6.4.2-1 混合梁型钢接头构造示意

1-型钢接头；2-纵筋；3-腰筋

【条文说明】由于混合梁端部需预埋型钢接头，截面尺寸不宜过小，同时考虑构件加工便利性，混凝土梁身的最小截面尺寸以及高宽比限值比现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 中的相关要求要严；对于叠合混合梁，尚需参照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 进行设计。当叠合框架梁后浇混凝土叠合层厚度小于 150mm 时，宜采用凹口截面预制梁，凹口深度不宜小于 50mm，凹口边厚度不宜小于 60mm。

6.4.8 型钢接头与混凝土梁身的连接应满足下列要求：

1 型钢接头翼缘塑性承载力不应低于与之连接的梁纵向钢筋承载力的 1.3 倍；纵向钢筋宜对称于型钢接头翼缘焊接，或机械连接于型钢接头翼缘中部。

2 采用焊接连接时，型钢接头的翼缘厚度不宜小于 $0.6d$ ；钢筋宜采用双面焊接，连接长度 L 不应小于 $8d$ ；焊缝高度不应小于 $0.35d$ ，焊缝宽度不应小于 $0.6d$ ， d 为纵向受力钢筋直径。

3 采用机械连接时，型钢接头翼缘厚度不应小于 $d + 5.0$ ，连接长度 L 不应小于 $2d$ ，且沿长度方向贯通翼缘；其余要求应满足现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的相关要求。

4 型钢接头外伸长度 L_m 不应小于型钢接头腹板螺栓的安装要求；埋入混凝土梁身的长度 L_s 应满足截面受剪承载力要求，且不宜小于 50mm。

5 型钢接头范围内，箍筋间距不宜大于 50mm，直径同混凝土梁身箍筋。

6 混凝土梁身的钢筋配置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；混凝土梁身箍筋加密区长度 L_d 应从型钢接头埋入端部开始起算；次梁混凝土梁身端部 1.5 倍梁高范围内，箍筋间距不应大于 100mm。

7 型钢接头埋入混凝土梁身内的腹板上宜设置抗剪连接板，并与腰筋焊接；抗剪连接板长度宜与型钢接头的埋入长度相同。

8 混合梁端部应设置粗糙面。

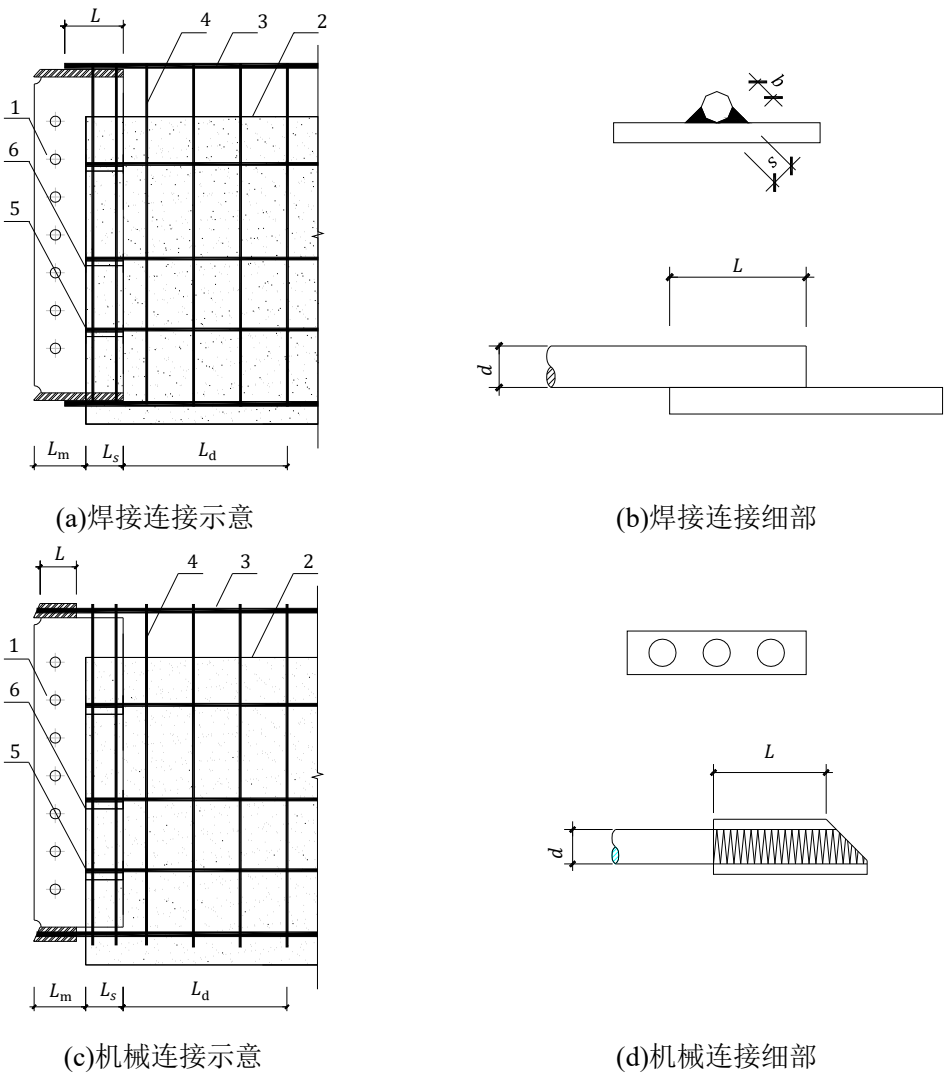


图 6.4.8 型钢接头与混凝土梁身连接示意

1—型钢接头；2—混凝土梁身；3—纵筋；4—箍筋；5—腰筋；6—抗剪连接板

d —钢筋直径； L —连接长度； b —焊缝宽度； s —焊缝高度

【条文说明】为保证型钢接头承载力高于混凝土梁身处承载力，要求型钢接头翼缘塑性承载力不应低于与之连接的梁纵向钢筋承载力的 1.30 倍。为保证钢筋焊接的可靠性，钢筋焊接长度增大至规范要求的 1.6 倍。

7 节点设计

7.1 一般规定

7.1.1 连接焊缝的设计应符合下列规定：

1 叠合柱、异形柱、剪力墙及混合梁、钢连梁中钢结构部分的连接焊缝质量等级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《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定，高层建筑尚应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定；

2 混合梁、钢连梁与叠合柱、异形柱、剪力墙的连接焊缝质量等级可参照钢框架梁与钢柱的连接焊缝确定，按本条第 1 款确定；

3 叠合柱、异形柱和剪力墙的上下节钢管的对接拼接、墙脚柱脚与底板的连接，焊缝应全熔透，焊缝质量等级不低于二级；

4 叠合柱、异形柱和剪力墙的纵向受力钢筋的连接承载力不应低于钢筋塑性抗拉承载力；

5 焊缝的坡口形式和尺寸，宜根据板厚和施工条件按现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求选用。

7.1.2 排钢管混凝土结构承重构件的螺栓连接，应采用高强螺栓摩擦型连接，并按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定计算。

7.1.3 装配式排钢管混凝土结构构件与后浇混凝土等的结合面应设置粗糙面、键槽，并应符合下列规定：

1 混合梁与后浇混凝土叠合层之间的结合面、混合梁端应设置粗糙面；

2 叠合柱、异形柱、剪力墙在楼板高度范围内，钢管外混凝土宜镂空设置并设置粗糙面；

3 叠合柱、异形柱和剪力墙的顶部、底部与后浇混凝土的结合面应设置粗糙面。端柱、剪力墙的侧面与后浇混凝土的结合面应设置粗糙面，也可设置键槽；键槽深度 t 不宜小于 20mm，宽度 w 不宜小于深度的 3 倍且不宜大于深度的 10 倍，键槽间距宜等于键槽宽度，键槽端部斜面倾角不宜大于 30°；

4 粗糙面的面积不宜小于结合面的 80%，叠合柱、异形柱、剪力墙和混合梁的端部粗糙面的凹凸深度不应小于 6mm。

7.1.4 除采用本规程推荐的节点外，也可采用其他安全可靠的连接方法；新型节点应通过有限元分析确定其承载力，并宜进行试验验证。

【条文说明】本规程列出了经编制组研究验证的节点连接方式，可根据实际情况选用。采用其他连接方式时宜有可靠的试验数据支撑。

7.2 墙与墙、柱与柱拼接节点

7.2.1 排钢管混凝土构件的拆分应符合下列要求：

1 叠合柱、异形柱、剪力墙可按多个楼层高度分段预制，上下相邻段接头宜设在楼面以上 1.2m~1.3m 或墙、柱净高的一半，取二者的较小值；

2 剪力墙可拆分为多个标准墙段，标准墙段宜采取边缘构件整体预制方式；标准墙段内置钢管不宜少于 2 根。

【条文说明】排钢管混凝土构件安装与钢结构类似，均可多层连接，安装效率高；剪力墙边缘构件宜整体预制，侧向接缝设置在非边缘构件部位，确保边缘构件的整体性；标准墙段侧向拼接节点为水平段，施工方便；标准墙段内置钢管不宜少于 2 根，可保证施工过程中墙段上下拼接的可靠性。

为降低预制构件的生产成本和提高产能，装配式排钢管混凝土构件宜采用标准产品库，产品库由“L 形”、“Z 形”、“一字形”、“T 形”和“方块形”构成。设计宜采用“正向设计”方式，即“先有构件、部品库，加工单位可以随时加工库内的构件、部品，并完成检验认证，投放市场；设计单位基于构件、部品库选定构件、部品，不用担心采购问题；施工安装单位随时到市场上去挑选构件、部品”。

7.2.2 管内混凝土预制时，排钢管混凝土构件可采用钢管内插座浆节点，并应符合下列规定：

1 环形隔板厚度不宜小于下节钢管壁厚+2mm，且不应小于 16mm；上下节钢管与环形隔板均采用全熔透焊缝连接，焊接等级不低于二级；

2 内缩钢管壁厚不宜小于 4mm，内缩钢管内混凝土宜与上预制件钢管内混凝土强度等级相同；

3 内缩钢管与下预制件之间采用灌浆料填充密实，宜采用座浆方式施工；灌浆料强度标号应不低于下预制件钢管内混凝土一个等级；内缩钢管与下预制

件钢管侧向间距宜为 5~10mm，与下预制件钢管内混凝土顶部间距为 10~30mm；

4 上预制件与下预制件拼缝的纵向钢筋可采用灌浆套筒、机械连接或焊接连接。当采用搭接焊接时，钢筋直径不宜大于 20mm，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；

5 构件节点区应设置箍筋和拉筋，箍筋、拉筋的平面布置同非节点区，竖向间距不宜大于 75mm；抗震等级为一、二级时，箍筋直径不应小于 10mm，抗震等级为三、四级时，箍筋直径不应小于 8mm；

6 构件节点区应采用提高不低于一级强度等级的后浇筑材料包覆。

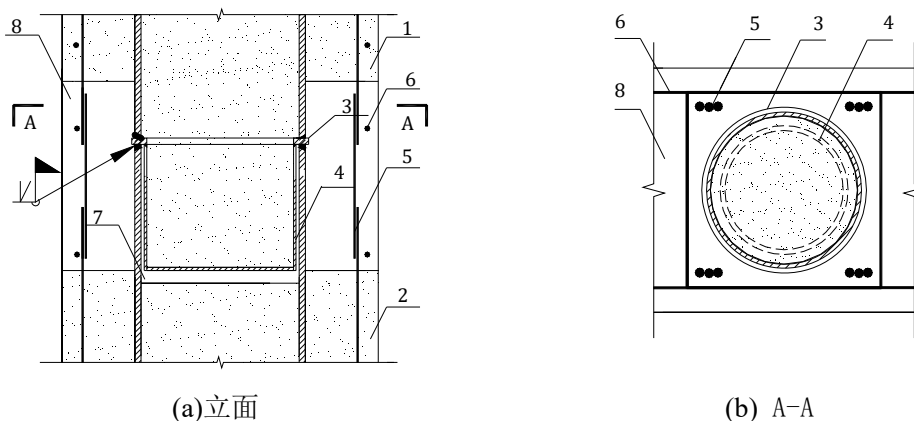


图 7.2.2 排钢管构件上下拼接连接示意 1——钢管内插座浆

1—上预制件；2—下预制件；3—环形隔板；4—内缩钢管；5—纵筋；6—箍筋、拉筋；

7—灌浆料；8—后浇混凝土

【条文说明】钢管内混凝土强度较高，为保证浇筑质量，管内混凝土宜工厂预制；钢管混凝土柱上下拼接连接面为面面硬接触，普通灌浆很难浇筑密实；鉴于钢管混凝土柱的重要性，钢管混凝土柱上下拼接连接宜采用座浆方式施工。

拼接节点焊接时会造成节点区混凝土热损伤；为减少损伤，规定环形隔板厚度不应小于 16mm。

7.2.3 管内混凝土现场浇筑时，排钢管混凝土构件可采用钢管对接焊接节点，并应符合下列规定：

1 对接接缝处宜设置内衬钢管；内衬钢管高度宜为 50mm，外径宜比钢管内径小 2mm，其壁厚宜为 4~6mm。

2 钢管对接应采用对接熔透焊缝；直焊缝钢管对接时，应错开上、下段钢管焊缝。

3 钢管壁厚小于 6mm 时，钢管外宜焊接外套钢管；外套钢管高度不宜小于 100mm，厚度不宜小于 4mm，并通过塞焊、角焊缝等与钢管等强连接；外套钢管兼做抗剪连接件时，需高出预制构件接缝不少于 50mm。

4 其余要求同本规程第 7.2.2 条第 4~6 款。

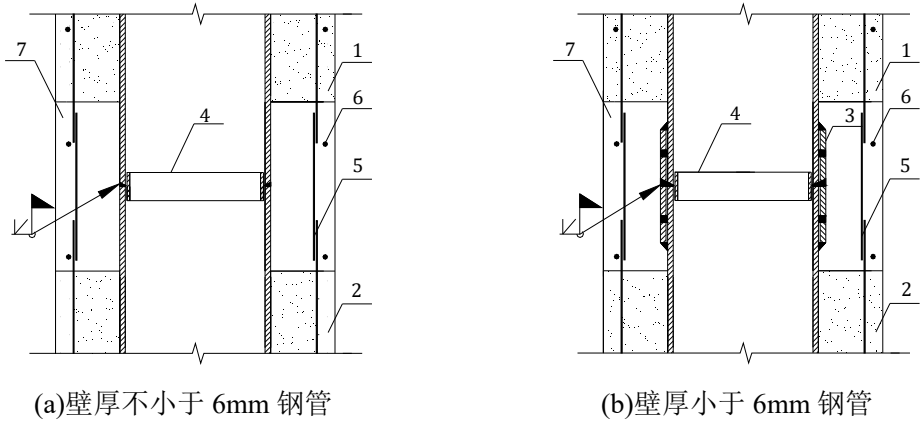


图 7.2.3 排钢管构件上下拼接连接示意 2——钢管对接焊接

1—上预制件；2—下预制件；3—外套钢管；4—内衬钢管；5—纵筋；6—箍筋、拉筋；7—后浇混凝土

7.2.4 剪力墙墙段之间及剪力墙墙段与端柱的侧面拼接应符合下列规定：

- 1 墙段和端柱的侧面拼缝均应采用提高不低于一级强度等级的后浇筑材料进行浇筑；
- 2 相邻墙段之间、墙段与端柱之间后浇段的长度不宜小于墙厚，且不宜大于 600mm；后浇段内应设置不少于 4 根竖向钢筋，钢筋直径不应小于墙体竖向分布钢筋直径且不应小于 8mm；两侧墙段/端柱的水平分布钢筋在后浇段内的连接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。

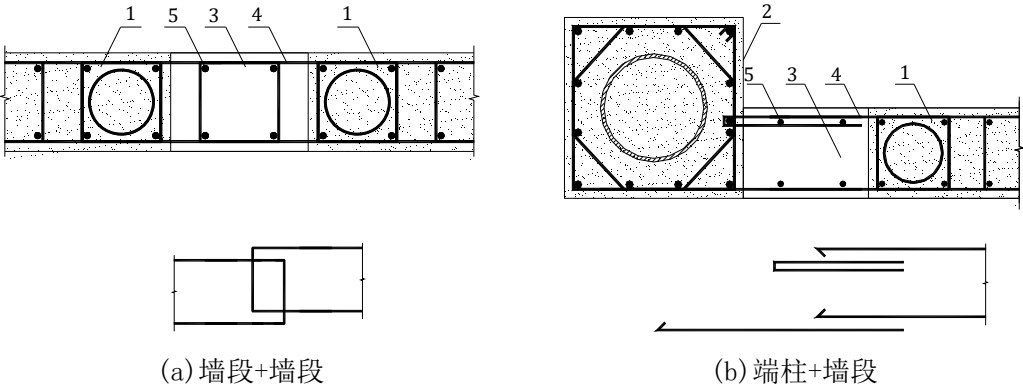


图 7.2.4 剪力墙墙段、端柱的侧面接缝做法

1—墙段；2—端柱；3—后浇段；4—水平分布筋；5—竖向钢筋

【条文说明】排钢管混凝土剪力墙墙段、端柱的侧向接缝与预制混凝土剪力墙构造相同，均采用水平钢筋搭接连接的方式；此外，由于排钢管混凝土剪力墙拆分构件侧向接缝区域均为一字形平面，无异形浇筑区，现场施工更为方便。

7.3 墙脚、柱脚节点

7.3.1 叠合柱、异形柱、剪力墙等构件与基础的连接，应符合下列规定：

- 1 抗弯承载力设计值不应小于构件的弯矩设计值；
- 2 极限抗弯承载力不应小于构件的塑性抗弯承载力与连接系数 η_j 之积。

表 7.3.1 墙脚、柱脚抗震设计的连接系数

嵌固端以下地下室层数	6度、7度 (0.1g)	7度 (0.15g)、8度 (0.20g)	8度 (0.30g)
无	1.2	1.2	1.2
一层	1.0	1.2	1.2
二层及以上	—	1.0	1.2

【条文说明】本条参考现行团体标准《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546 的有关规定。6度及7度 (0.1g) 时，嵌固端以下地下室层数若不少于2层，可不进行连接的极限抗弯承载力验算。

7.3.2 当墙脚、柱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、柱脚节点。设计时轴力、弯矩、剪力取墙、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、柱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，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、框架柱的要求；

3 叠合柱钢管外包混凝土厚度不宜小于 180mm；当仅有一层地下室时，外包混凝土厚度不宜小于 200mm。

4 异形柱、剪力墙钢管外包混凝土厚度不宜小于 75mm；

5 钢管表面宜设环箍；环箍数量、直径、焊接等要求同地上钢管；

6 底板尺寸和厚度应按结构安装阶段荷载作用下轴心力、底板的支承条件计算确定，其厚度不宜小于 16mm；

7 锚栓应按构造要求设置，直径不宜小于 16mm，锚固长度不宜小于其直径的 25 倍。

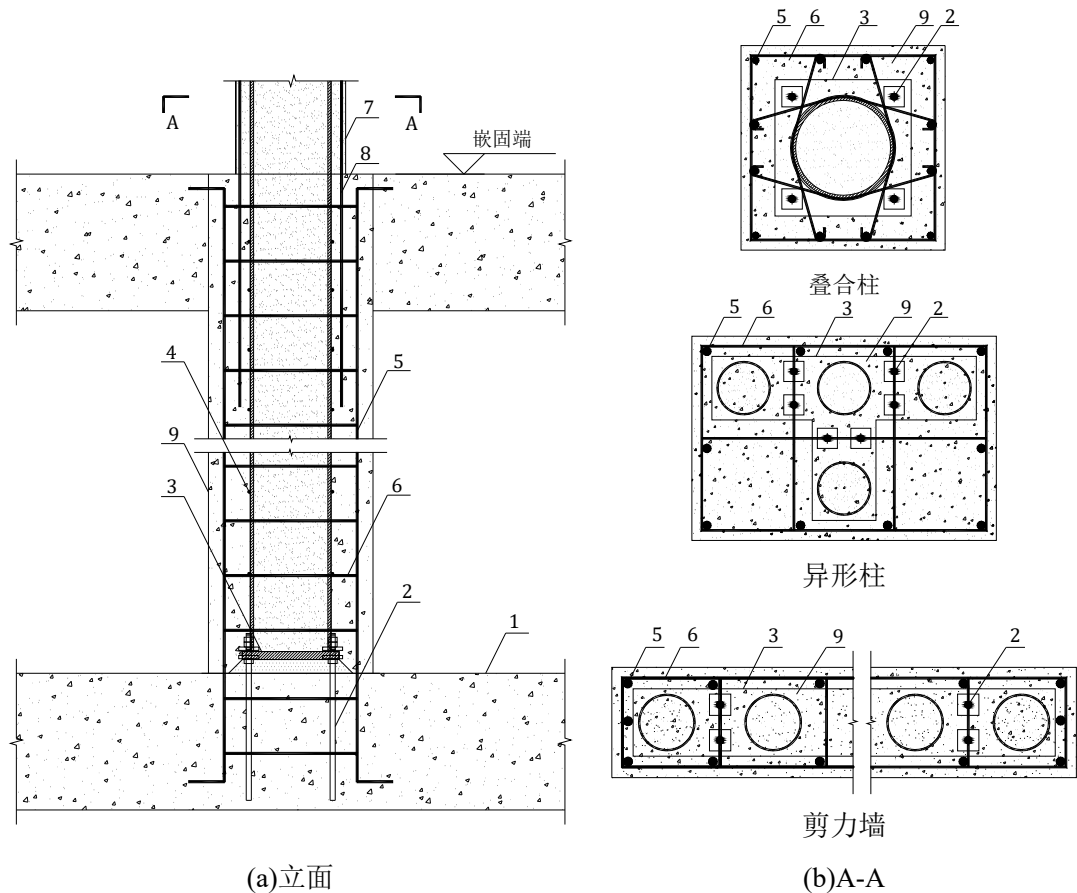


图 7.3.2 外包式墙脚、柱脚节点构造示意图

1—基础；2—锚栓；3—底板；4—环箍；5—纵筋；6—箍筋、拉筋；7—预制构件；
8—预制构件纵筋；9—现浇外包混凝土

【条文说明】叠合柱外包混凝土厚度参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定，异形柱、剪力墙参考现行团体标准《钢管混凝土叠合柱技术规程》T/CECS 188 的相关规定。

7.3.3 有地下室且墙脚、柱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、柱脚位于基础顶时，可采用插柱端承式的墙脚、柱脚节点；其中钢管下插至基础中，构件管外混凝土部位通过端承式墙脚、柱脚连接。设计尚应符合下列规定：

1 在轴力和弯矩作用下墙脚、柱脚弯矩设计值应符合下列规定：

$$M \leq M_l \quad (7.3.3-1)$$

式中： M ——墙脚、柱脚弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

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、柱脚受弯承载力（ $N \cdot mm$ ）。设计截面为底板面积，由受压区范围的钢管混凝土柱及基础混凝土承受压力，受拉区范围的钢管和锚栓承受拉力，钢管、锚栓和混凝土的强度均取设计值。

2 抗震设计时，排钢管混凝土构件可能出现塑性铰的墙脚、柱脚极限受弯承载力应大于排钢管混凝土构件的全截面塑性受弯承载力，并应符合下列公式规定：

$$M_u \geq \eta_j M_{pc} \quad (7.3.3-2)$$

$$\text{当 } N/N_y \leq 0.13 \text{ 时, } M_{pc} = M_p \quad (7.3.3-3)$$

$$\text{当 } N/N_y > 0.13 \text{ 时, } M_{pc} = 1.15(1 - N/N_y)M_p \quad (7.3.3-4)$$

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

M_u ——墙脚、柱脚的极限受弯承载力（ $N \cdot mm$ ），按本条第 3 款中计算 M 的方法计算，但钢管、锚栓和混凝土的强度均取标准值；

M_p ——全截面塑性受弯承载力（ $N \cdot mm$ ），应取材料的标准值；

η_j ——连接系数，按本规程第 7.3.1 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 ）。

3 墙脚、柱脚剪力可由钢管及底板与混凝土间的摩擦传递，摩擦系数可取为 0.4；当剪力大于上述承载力时，可在钢管外焊接套管传递剪力；套管埋入基础内的深度不宜小于 150mm，且高于底板不宜小于 50mm；套管与底板采用熔透焊缝连接，套管底部和顶部与钢管角焊缝连接，中部与钢管塞焊连接。

4 底板与基础顶面之间、钢管与杯口之间宜采用无收缩细石混凝土或铁屑砂浆浇筑密实。

5 端承式部位应符合下列规定：

- 1) 构件竖向钢筋宜穿孔双面角焊缝焊接到底板上，钢筋伸出底板 10～20mm；
- 2) 构件四周宜设置封闭立板，封闭立板高度不小于加劲肋，宽厚比应满足矩形钢管混凝土柱要求；封闭立板长宽比大于 2 时，宜设置对拉加

劲板；对拉加劲板的高度、厚度与封闭立板相同。底板的厚度不宜小于封闭立板壁厚的 1.5 倍，且不应小于 20mm；底板外伸宽度不宜小于封闭立板壁厚的 6 倍，且不应小于 100mm；加劲肋的厚度不宜小于封闭立板壁厚，肋高不宜小于底板外伸宽度的 2 倍，肋距不应大于底板厚度的 10 倍。

3) 锚栓直径和数量由计算确定。锚栓直径不宜小于 25mm，同一钢管周边锚栓间距不宜大于 200mm；锚入钢筋混凝土基础的长度不应小于 $40d$ 及 1000mm 的较大者(d 为锚栓直径)；

4) 底板下的基础混凝土内宜配置钢筋网，应验算施工阶段和使用阶段底板下基础混凝土的局部受压承载力及受冲切承载力，局部受压承载力及受冲切承载力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。计算局部受压承载力时，混凝土局部受压面积 A_1 可取构件的截面净面积（扣除钢管混凝土柱截面面积），局部受压的计算底面积 A_b 可取 $A_b=3A_1$ ，且 A_b 不应大于基础或者桩承台的顶面净面积（扣除钢管混凝土柱杯口面积）。

6 插柱式部位应符合下列规定：

- 1) 钢管混凝土柱埋入位置宜预留杯口，杯口与钢管净距不宜小于 50mm；杯口底部基础厚度由钢管混凝土柱对基础产生的向下冲切验算决定。
- 2) 当钢管混凝土柱为受压或偏心受压工况时钢管埋入基础混凝土的深度不应小于 $2D$ ， D 为钢管直径；埋入基础混凝土的范围内，钢管外壁应贴焊环筋，间距不宜大于 300mm，不宜少于 3 道；环筋直径及焊缝同上部钢管环筋要求；
- 3) 当钢管混凝土柱存在受拉或偏心受拉工况时钢管埋入基础混凝土的深度不应小于 $3D$ ，埋入深度还不应小于受拉钢管对基础产生的向上冲切承载力所需深度。埋入基础混凝土的范围内，钢管外壁应贴焊环筋，环筋抗剪承载力不应小于钢管极限抗拉承载力的 1.2 倍，且其间距不宜大于 300mm，不宜少于 3 道，环筋直径及焊缝同上部钢管环筋要求。杯口底设置锚筋，锚筋受拉承载力不应低于钢管受拉极限承载力的 1.2

倍；锚筋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 有关受拉钢筋抗震锚固长度的规定。

- 4) 伸入基础内钢管外侧的混凝土保护层的最小厚度：叠合柱中柱不应小于 250mm，边柱和角柱不应小于 400mm；异形柱和剪力墙不应小于 180mm。

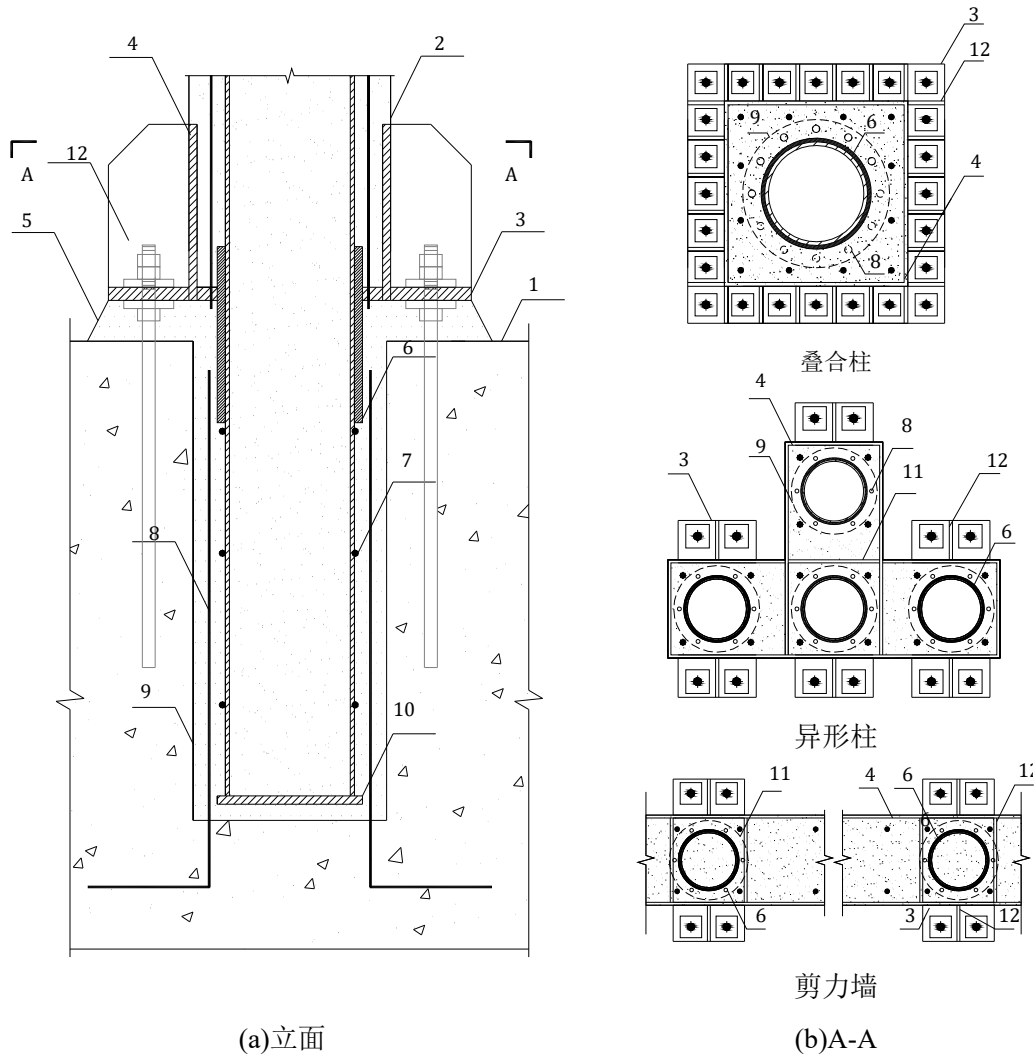


图 7.3.3 埋柱端承式墙脚、柱脚节点构造示意图

1—基础；2—预制构件；3—底板；4—立板；5—灌孔材料；6—套管；

7—环筋；8—锚筋；9—杯口；10—锚板；11—加劲板；12—加劲肋

【条文说明】鉴于日本阪神地震关于非埋入式柱脚、特别是在地面以上的非埋入式柱脚在地震中容易破坏的经验教训，叠合柱、异形柱及剪力墙宜采用埋柱端承式墙脚、柱脚，即钢管采用埋入式构造，管外纵向钢筋采用端承式墙

脚、柱脚。当埋入地下至少两层时，地震作用较小，为施工简便，也可采用外包式等非埋入式墙脚、柱脚。

受拉区或受压区各钢管距离较近时，其对基础的冲切破坏锥体可能相交，此时应验算各钢管混凝土柱对基础的联合冲切作用，并考虑各钢管轴力不同产生的影响。

叠合柱钢管传力与普通钢柱相同，依靠埋入基础的钢管上下与基础的水平挤压力形成力偶来平衡柱底弯矩，对外包混凝土有水平冲切力；异形柱和剪力墙依靠钢管混凝土柱的竖向拉压力及基础对底板的反力形成的力偶来平衡柱底、墙底弯矩，可减少钢管外包混凝土层厚度要求。

7.4 梁与墙、柱连接节点

7.4.1 混合梁与叠合柱、异形柱宜刚接；与剪力墙面内宜刚接、面外宜铰接。钢管及纵向钢筋宜贯通节点核心区，平面上混合梁的中心线宜与墙、柱的中心线对齐。

【条文说明】梁与墙、柱节点可分为铰接节点和刚接节点，两者均可用于框架结构、剪力墙结构和框架-剪力墙结构。

节点构造涉及墙、柱钢管和纵筋与梁的连接板在节点区的布置。墙、柱的钢管和纵筋宜在节点区连续布置，可采用在墙、柱水平连接板上打孔贯穿，实际构造宜结合节点域的空间尺寸进行设计。

无翼墙的一字形剪力墙不应与梁进行单侧面外刚接。

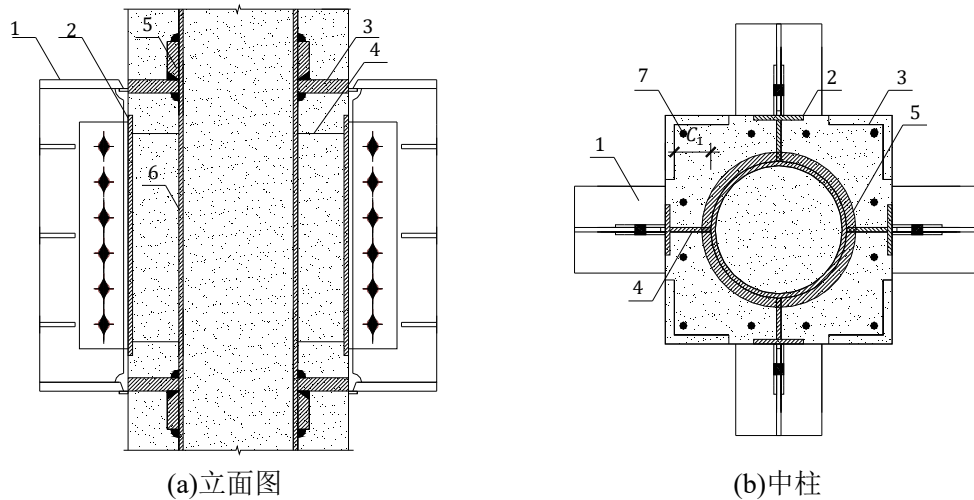
7.4.2 混合梁与墙、柱的刚性连接应符合下列规定：

1 混合梁与墙、柱的刚性连接，抗弯承载力设计值不应小于混合梁型钢接头的抗弯承载力设计值，极限抗弯承载力不应小于混合梁型钢接头的塑性抗弯能力；

2 型钢接头外包混凝土应采用不低于混凝土梁强度等级的后浇材料进行浇筑；型钢接头周边应设置箍筋，箍筋间距不宜大于 50mm，直径与混凝土梁段箍筋相同。

3 叠合柱与混合梁的刚性连接应符合下列规定：

- 1) 一、二、三级框架的节点核心区，应进行抗震验算；节点核心区截面的抗震验算方法应符合本规程附录 A 的规定；四级框架的节点核心区，可不进行抗震验算，但应符合对抗震构造措施的要求。
- 2) 箍筋最大间距和最小直径宜符合本规程表 6.1.19-1 的规定；框架结构节点核心区体积配箍率不宜小于 0.6%，配箍率特征值不宜小于 0.12，其他结构框架节点核心区体积配箍率不宜小于 0.5%，配箍特征值不宜小于 0.10；剪跨比不大于 2 的框架节点核心区，其体积配箍率不宜小于核心区上、下柱端的较大体积配箍率。
- 3) 水平板+套管节点：水平连接板与型钢接头翼缘板应采用全熔透焊缝连接，厚度宜与型钢接头翼缘板厚度相近；水平连接板与钢管角焊缝焊接，焊脚尺寸不低于钢管壁厚。在水平连接板最小宽度 C_1 处，水平连接板+套管立板承载力之和不应低于混合梁端部钢筋承载力的 0.7 倍（水平连接板承载力满足上述要求时，可取消套管）；套管高度不宜大于 100mm，一端与水平连接板全熔透焊接，一端与钢管角焊缝焊接（焊脚尺寸不宜小于钢管壁厚）。叠合柱纵向钢筋宜贯穿水平连接板预留孔洞设置。抗剪板抗剪承载力不应低于型钢接头腹板抗剪承载力。



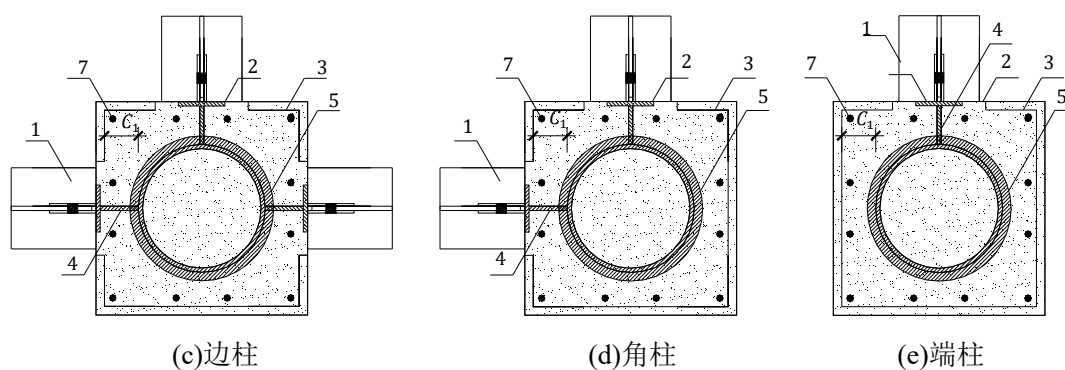


图 7.4.2-1 混合梁与叠合柱刚接节点做法 1-水平板+套管

1—型钢接头；2—腹板端板；3—水平连接板；4—抗剪板；5—套管；

6—钢管混凝土柱；7—纵向钢筋； C_1 —水平连接板最小宽度

4 异形柱框架梁柱节点核心区应符合下列规定：

- 1) 一、二、三级框架的节点核心区，应进行抗震验算；节点核心区截面的抗震验算方法应符合本规程附录 A 的规定；四级框架的节点核心区，可不进行抗震验算，但应符合对抗震构造措施的要求。
- 2) 箍筋最大间距和最小直径应符合本规程表 6.2.19 的规定；框架结构节点核心区体积配箍率不宜小于 0.6%，配箍率特征值不宜小于 0.12，其他结构框架节点核心区体积配箍率不宜小于 0.5%，配箍特征值不宜小于 0.10；剪跨比不大于 2 的框架节点核心区，其体积配箍率不宜小于核心区上、下柱端的较大体积配箍率。
- 3) 水平板+套管节点：水平连接板与型钢接头翼缘板应采用全熔透焊缝连接，厚度宜与型钢接头翼缘板厚度相近；水平连接板与钢管角焊缝焊接，焊脚尺寸不低于钢管壁厚。在水平连接板最小宽度处（钢管两侧的水平板+套管立板），水平连接板+套管立板承载力之和不应低于混合梁端部钢筋承载力的 1.3 倍（水平连接板承载力满足上述要求时，可取消套管）；套管高度不宜大于 100mm，一端与水平连接板全熔透焊接，一端与钢管角焊缝焊接（焊脚尺寸不宜小于钢管壁厚）。异形柱纵向钢筋宜贯穿水平连接板预留孔洞设置。抗剪板抗剪承载力不应低于型钢接头腹板抗剪承载力。

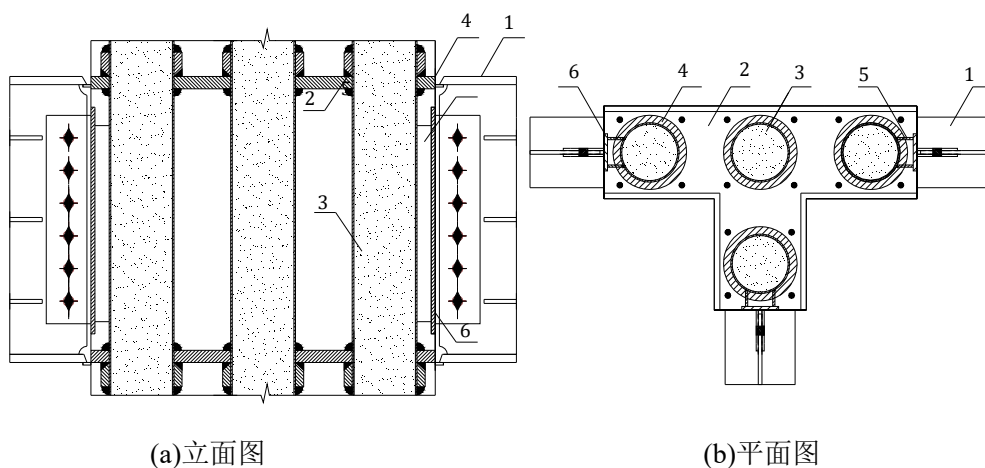


图 7.4.2-2 混合梁与异形柱刚接节点做法 1-水平板+套管

1—型钢接头；2—水平连接板；3—钢管混凝土柱；4—套管；5—抗剪板；6—腹板端板

- 4) 立板+套管节点：转换端板与竖向连接板应采用全熔透焊缝连接；转换端板不宜小于与之连接型钢接头钢板及竖向连接钢板的厚度，且不宜小于竖向连接钢板净距的 $1/6$ ；竖向连接板、套管立板承载力不应低于混合梁端部钢筋承载力的 1.3 倍；竖向连接板应与套管全熔透焊接；套管高度不宜大于 100mm ，套管径厚比不宜大于 10 ，套管上下端与钢管焊接连接，焊缝总承载力不应低于钢管抗剪承载力。抗剪板抗剪承载力不应低于型钢接头腹板抗剪承载力

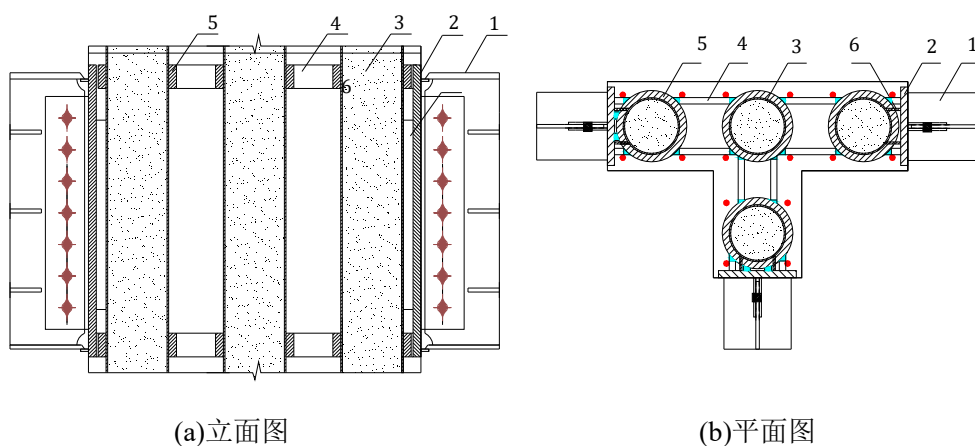


图 7.4.2-3 混合梁与异形柱刚接节点做法 2-立板+套管

1—型钢接头；2—转换端板；3—钢管混凝土柱；4—竖向连接板；5—套管；6—抗剪板

5 剪力墙节点区的应符合下列规定：

- 1) 节点可采用水平板+套管或立板+套管节点形式，具体要求同异形柱相应节点。

2) 连接板深入剪力墙内的长度不宜小于型钢接头高度, 且应与墙内混凝土可靠锚固。

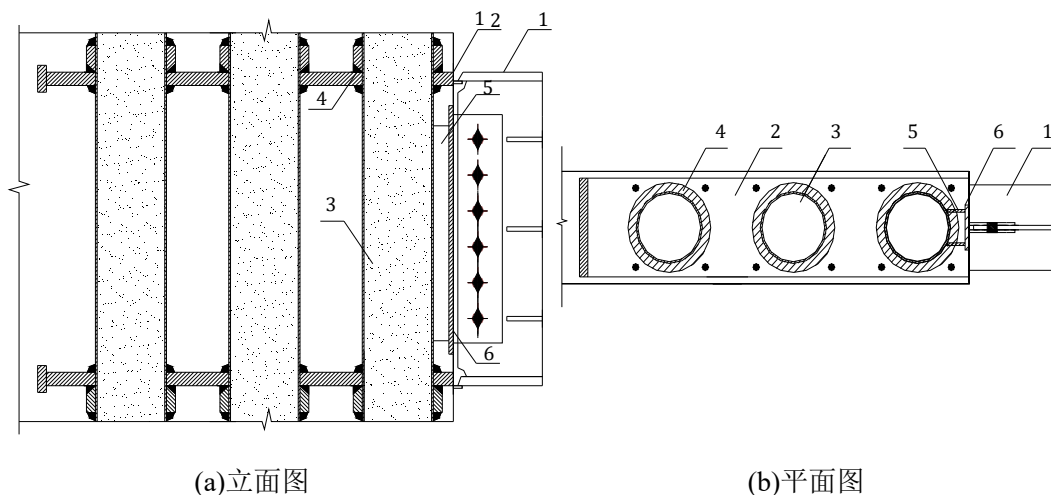


图 7.4.2-4 混合梁与剪力墙刚接节点做法 1-水平板+套筒

1—型钢接头; 2—水平连接板; 3—钢管混凝土柱; 4—套管; 5—抗剪板; 6—腹板端板

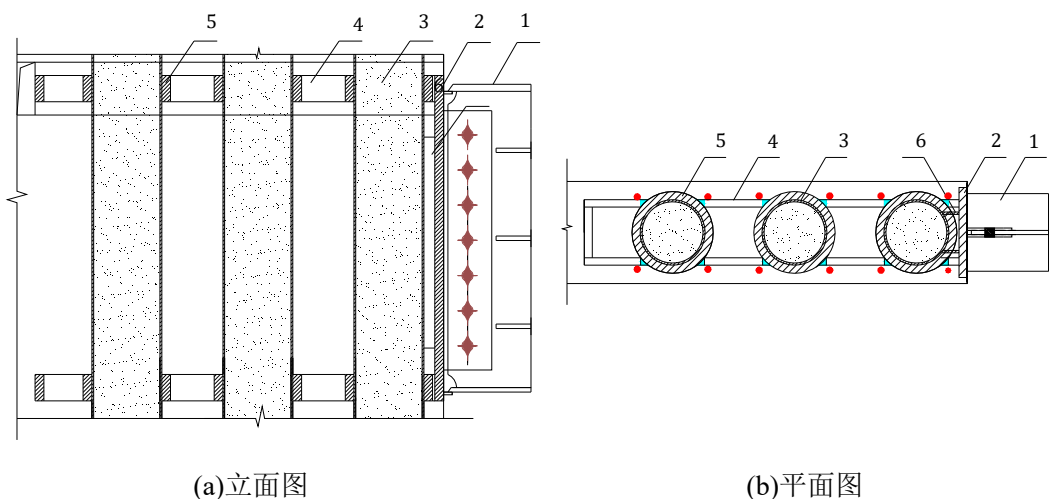


图 7.4.2-5 混合梁与剪力墙刚接节点做法 2-立板+套筒

1—型钢接头; 2—转换端板; 3—钢管混凝土柱; 4—竖向连接板; 5—套管; 6—抗剪板

【条文说明】节点不外露可以简化模板; 此外, 生产时应采取措施如局部混凝土后浇等, 以减弱焊接型钢接头对转换端板内部混凝土的热损伤。

7.4.3 混合梁与墙、柱的铰接连接应符合下列规定:

1 混合梁宜采用倒 T 形型钢接头与墙、柱埋件连接; 其中次梁下部纵筋与型钢接头翼缘焊接或机械连接, 型钢接头腹板与抗剪板采用高强度螺栓连接。

2 在端部节点处，次梁上部纵筋宜在墙、柱后浇段内锚固。当采用锚固板时，锚固直段长度不应小于 $0.6l_{ab}$ ；当钢筋应力不大于钢筋强度设计值的 50% 时，锚固直段长度不应小于 $0.35l_{ab}$ 。

3 型钢接头外包混凝土宜采用不低于混合梁强度等级的后浇材料进行浇筑，梁端头 1.5 倍梁高范围内箍筋间距不应大于 100mm。

4 墙、柱埋件优先采用钢筋埋件形式，并符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 有关规定。

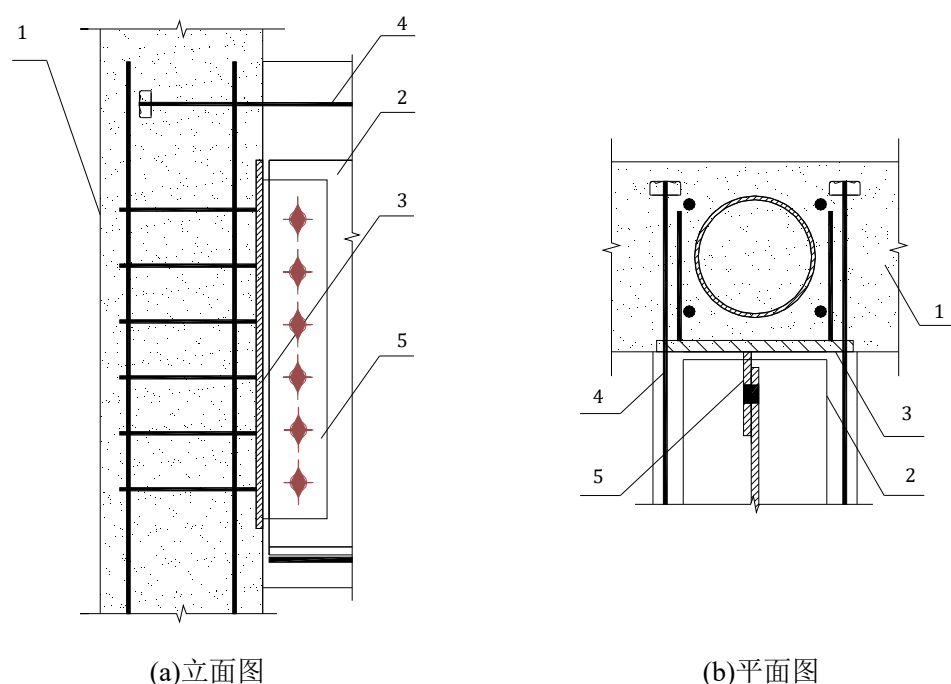


图 7.4.3 混合梁与墙、柱铰接节点做法

1—墙、柱；2—型钢接头；3—墙、柱埋件；4—上部纵筋；5—抗剪板

7.5 梁与梁连接节点

7.5.1 次梁与边梁的连接宜采用铰接连接；次梁与中梁的连接宜采用刚性连接。

7.5.2 梁与梁连接节点采用铰接连接时，连接设计应符合下列规定：

1 次梁宜采用倒 T 形型钢接头与主梁埋件连接；其中次梁下部纵筋与型钢接头翼缘焊接或机械连接，型钢接头腹板与抗剪板采用高强度螺栓连接；

2 在端部节点处，次梁上部纵筋宜在主梁后浇段内锚固。当采用锚固板时，锚固直段长度不应小于 $0.6l_{ab}$ ；当钢筋应力不大于钢筋强度设计值的 50% 时，锚固直段长度不应小于 $0.35l_{ab}$ 。

3 型钢接头外包混凝土应采用不低于混凝土梁强度等级的后浇材料进行浇筑；次梁端头 1.5 倍梁高范围内箍筋间距不应大于 100mm。

4 主梁埋件优先采用钢筋埋件形式，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 有关规定。

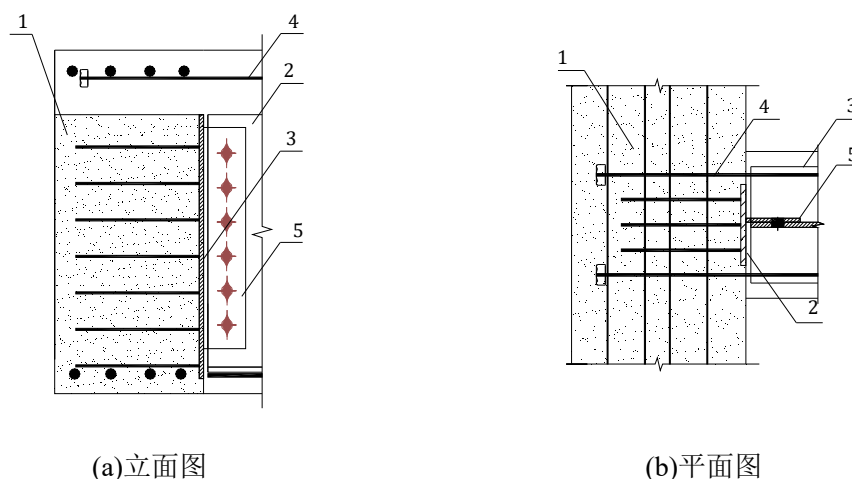


图 7.5.2 主次梁铰接节点做法

1—主梁；2—型钢接头；3—主梁埋件；4—上部纵筋；5—抗剪板

7.5.3 主次梁连接节点采用刚接连接时，连接设计应符合下列规定：

1 次梁宜采用倒 T 形型钢接头与主梁埋件连接；其中次梁下部纵筋与型钢接头翼缘焊接或机械连接，型钢接头腹板与抗剪板采用高强度螺栓连接；

2 在中间节点处，两侧次梁上部纵筋应在主梁后浇段内贯通；

3 型钢接头外包混凝土应采用不低于混凝土梁强度等级的后浇材料进行浇筑；次梁端头 1.5 倍梁高范围内，箍筋间距不应大于 100mm。

4 主梁埋件宜采用对拉钢筋埋件形式，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 有关规定。

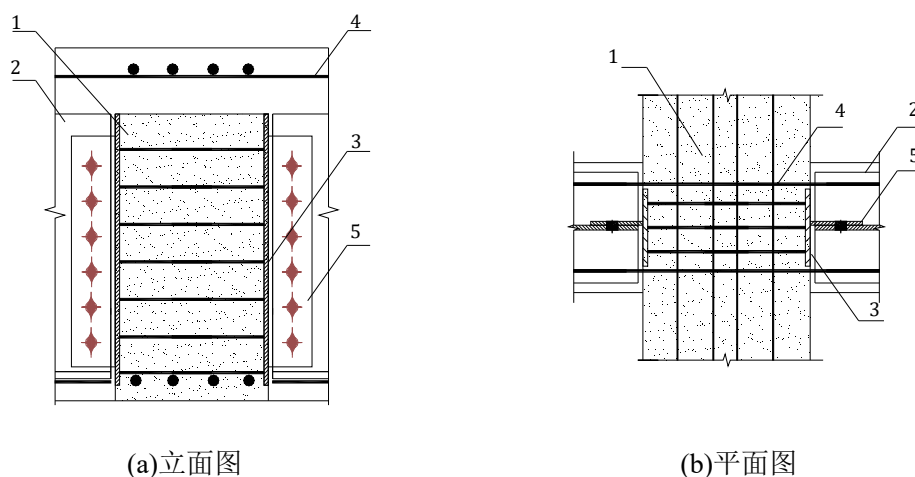


图 7.5.3 主次梁刚接节点做法

1—主梁；2—型钢接头；3—主梁埋件； 4—上部纵筋；5—抗剪板

7.6 楼板与墙、柱连接节点

7.6.1 装配式排钢管混凝土结构的楼盖宜采用现浇楼板或钢筋桁架楼承板等边缘不出筋楼板。

【条文说明】装配式排钢管混凝土结构楼盖如采用出筋预制楼板，需采取措施避免预制楼板外露钢筋与预制排钢管混凝土构件及预制混合梁安装时位置冲突。预制排钢管混凝土构件钢管在楼层处不断开，预制混合梁上筋在工厂提前安装，以上均影响出筋预制楼板的安装。

7.6.2 叠合柱、异形柱、剪力墙在楼板高度范围内，管外混凝土宜镂空设置，并应符合下列规定：

- 1 楼板钢筋宜绕过钢管混凝土柱；
- 2 管外混凝土不高于楼板混凝土强度一个等级时，镂空处可与楼板混凝土整体浇筑；高于一个等级时，需与楼板混凝土分别浇筑。

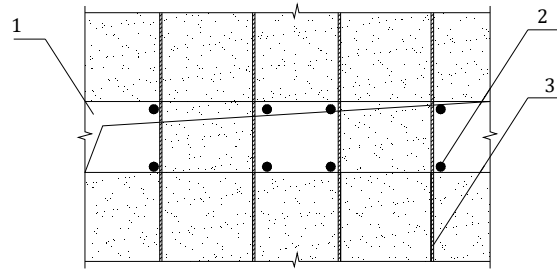


图 7.6.2 楼板与墙、柱连接示意图

1—预留洞口；2—楼板钢筋；3—钢管混凝土柱

【条文说明】管外混凝土镂空设置，楼板钢筋与排钢管混凝土构件的连接方式与普通现浇结构相同，构造简单，且抗震性能优异。

8 制作、运输和安装

8.1 制作

8.1.1 制作单位应具备相应的生产工艺设施和设备设施，并应有完善的质量管理体系和必要的试验检测设备和检测人员。

8.1.2 预制构件制作前，应对其技术要求和质量标准进行技术交底，并应制定生产方案；生产方案应包括生产工艺、模具方案、生产计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

8.1.3 预制构件应采取工厂或现场专用场地预制的方式，管内混凝土也可采取现场浇筑的方式。

【条文说明】管内采用高强或超高强混凝土时，为保证浇筑质量，管内混凝土宜采用预制方式。

8.1.4 预制构件制作前应进行深化设计，深化设计包括以下内容：

- 1 预制构件外形尺寸图、配筋图、吊件、型钢、线盒、预留洞口及埋件的细部构造图等；
- 2 预制构件脱模、翻转、运输等过程中混凝土强度、构件承载力、构件变形及预埋吊件承载力验算；
- 3 预制构件外轮廓尺寸应考虑运输车辆的尺寸和装载高度，进行构件合理拆分。

【条文说明】预制构件尺寸标准化、模数化，模板可多次重复利用；可采用平模或立模、生产场地等综合确定。

8.1.5 预制构件模具除应满足承载力、刚度和整体稳定性要求外，尚应符合下列规定：

- 1 应满足预制构件质量、生产工艺、模具组装与拆卸、周转次数等要求。
- 2 应满足预制构件预留孔洞、插筋、预埋件的安装定位要求。
- 3 模具的拆装应遵循先装后拆、先拆后装的原则，按顺序拆装；模具需预留安装缝隙，浇注前采取封闭措施，防止漏浆；模具拆除严禁重锤敲打，损伤构件。
- 4 脱模剂的选用和涂刷应不影响构件结构性能和施工。

8.1.6 预制构件模具尺寸、预埋件、模具预留孔洞中心位置的允许偏差和检验方法应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的规定。当设计有要求时，模具尺寸的允许偏差应按设计要求确定。

8.1.7 预制构件中的钢结构部分的制作应符合国家现行标准《钢结构施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定；混凝土部分的制作应符合《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

【条文说明】钢管拼接加长时，宜分段反向施焊，并保持对称，钢管对接间隙宜为 0.5mm~2.0mm，具体取值可经试焊确定。应采取有效措施避免或减少焊接残余变形，焊后钢管应保持平直。

当设计无要求时，裹入混凝土内的钢结构表面可不作处理。

8.1.8 钢筋宜采用自动化加工设备加工；钢筋半成品、钢筋网片、圆钢管和型钢构件应进行质量检查合格后方可安装，并应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232 的相关规定；圆钢管、型钢构件、钢筋网片及钢筋等加工的允许偏差应符合表 8.1.8 的规定。

表 8.1.8 圆钢管、型钢构件、钢筋网片及钢筋加工允许偏差

项次	检验项目及内容	允许偏差 (mm)	检验方法
圆钢管	壁厚	0, 0.5	卡尺
	长度	2, -2	用钢尺量
	直径	1, -1	用钢尺量
	中心定位	1, -1	用钢尺量
型钢构件	厚度	0, 0.5	卡尺
	长度	2, -2	用钢尺量
	中心定位	1, -1	用钢尺量
钢筋网片、钢筋	直径	0, 0.5	卡尺
	长度	2, -2	用钢尺量
	中心定位	1, -1	用钢尺量

8.1.9 预制构件的混凝土在浇筑前应进行构件的隐蔽工程验收，验收的项目包括但不限于以下内容：

- 1 钢管、型钢构件和钢筋的牌号、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 钢筋、钢管、型钢构件的混凝土保护层厚度；
- 4 预埋件、吊环、纵筋连接件的规格、数量、位置等；
- 5 预留孔洞的规格、数量、位置等；
- 6 预埋管线、线盒的规格、数量、位置及固定措施。

8.1.10 构件中的预制混凝土应满足以下要求：

1 应根据混凝土的品种、工作特性、预制构件的规格形状等因素，制定合理的振捣成型操作流程。混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，并宜采用机械振捣。

2 混凝土浇筑时应连续均匀浇筑，并采取措施保证模具、钢筋、预埋件、钢管及型钢构件等不发生变形或移位、外露钢连接件外露部分不被沾污。

3 预制构件采用洒水、覆盖等方式进行常温养护时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的要求。预制构件采用加热养护时，应制定养护制度对静停、升温、恒温和降温时间进行控制，宜在常温下静停 2h～6h，升温、降温速度不应超过 20℃/h，最高养护温度不宜超过 70℃，预制构件出池的表面温度与环境温度的差值不宜超过 25℃。

4 若设计无要求，构件脱模、起吊、翻转时的混凝土强度不应小于 15MPa，且应达到设计标准值的 50%；构件出厂时的混凝土强度不应低于设计强度等级值的 75%。

5 采用后浇混凝土连接的预制构件结合面，制作时应按设计要求进行粗糙面或键槽处理。设计无具体要求时，可采用化学处理、拉毛或凿毛等方法制作粗糙面。

8.1.11 预制构件的尺寸偏差及检验方法应符合国家现行标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。

【条文说明】钢管内混凝土的浇注质量，一般构件或部位可采用敲击钢管法进行检查，重要构件或部位宜采用超声波法进行检测。对于混凝土不密实的部位，应采用局部钻孔压浆法进行补强，并应将钻孔补焊封闭。

8.1.12 预制构件的制作应执行首件验收制度，首件验收合格后方可批量生产。

8.1.13 预制构件检查合格后，应在构件上设置表面标识，标识内容宜包括构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等信息。

8.1.14 预制构件制作完毕后，检查部门应按施工详图的要求和本节的规定，对成品进行检查验收，检查合格后方可出厂。

8.2 运输

8.2.1 预制构件的运输与堆放应制定专项方案，其内容应包括运输车辆、装车方式和次序、固定要求和运输架体、运输路线和运输时间、堆放场地和堆放支垫以及成品保护措施等。对于超高、超宽、形状特殊的大型构件的运输和堆放应有专门的质量安全保证措施。

8.2.2 预制构件的运输车辆应满足构件尺寸和载重要求，装卸与运输时应符合下列规定：

- 1 装卸构件时，应采取保证车体平衡的措施；
- 2 运输构件时，应采取防止构件移动、倾倒、变形等的固定措施；
- 3 运输构件时，应采取防止构件损坏的措施，对构件边角部或链索接触处的混凝土，宜设置保护衬垫。

8.2.3 预制构件堆放应符合下列规定：

- 1 堆放场地应平整、坚实，并应有排水措施；
- 2 预埋吊件应朝上，标识宜朝向堆垛间的通道；
- 3 构件支垫应坚实，垫块在构件下的位置宜与脱模、吊装时的起吊位置一致；
- 4 重叠堆放构件时，每层构件间的垫块应上下对齐，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。

8.2.4 预制构件的运输与堆放应符合下列规定：

- 1 宜采用叠层平放的方式堆放或运输构件，并采取防止构件产生裂缝的措施；
- 2 运输和存放时应采用有效措施保护外露型钢构件。

8.3 安装

8.3.1 预制构件的安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755的有关规定；现浇部位的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

【条文说明】预制构件连接节点与纯钢结构类似，因此构件安装时可参考钢结构构件的安装方法。

8.3.2 排钢管混凝土结构施工过程中应采取安全措施，并应符合国家现行标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 等的有关规定。

8.3.3 预制构件安装前应进行施工组织方案设计，施工组织方案应符合现行国家标准《建筑工程施工组织设计规范》GB/T 50502 的相关规定，其内容包括但不限于：

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

8.3.4 预制构件在安装前应进行施工验算，施工验算内容包括但不限于：

- 1 构件吊装过程中的变形验算和预制混凝土开裂验算；
- 2 吊装及安装措施的承载力验算；
- 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。

【条文说明】预制构件由于混凝土的存在，重量相对纯钢构件有较大提高，且构件长度在 5~12m 左右，在安装过程中存在开裂风险，因此需进行变形验算和裂缝宽度验算。

8.3.5 预制构件在安装施工前，应做下列准备工作：

- 1 应根据构件重量情况确定吊机型号和布置位置。
- 2 施工前应对相关施工人员进行技术交底和培训，技术交底问题明确且培训合格后方可进行安装施工。
- 3 应进行测量放线、设置构件安装定位标识。
- 4 应合理规划构件现场运输通道和临时堆放场地，防止场地不均匀沉降，并应采取成品堆放保护措施。
- 5 应选择有代表性的单元进行预制构件试安装，并应根据试安装结果及时调整完善施工方案和施工工艺。

8.3.6 预制构件的安装，应符合下列要求：

1 应根据结构特点合理安排组装顺序，应形成稳固的空间刚度单元，必要时采取临时支承措施；构件校正完成后及时进行永久性的固定连接。

2 预制构件安装的临时固定设施应安全可靠，具有足够的刚度、强度和稳定性，且能进行相应的调整。

3 预制构件的吊装宜单独设置吊件，应进行吊装受力及重心位置验算。

4 预制构件型钢、钢筋定位应对齐，保证传力直接可靠。

8.3.7 预制构件采用焊接连接时，焊接连接的施工应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定，焊缝应按照国家现行标准进行检测；预制构件采用栓接连接时，栓接连接的施工应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.3.8 节点后浇区域在现场进行补浇之前，应进行隐蔽工程验收，验收内容除满足 9.1.9 条内容外，尚应额外增加以下验收内容：

1 钢构件焊缝连接及焊接需符合设计图纸及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关要求；

2 高强螺栓连接需符合设计图纸及现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 有关要求。

8.3.9 后浇混凝土的施工应符合下列规定：

1 应先浇筑墙、柱的竖向拼接区域，再浇筑混合梁的两端拼接区域，后浇时间应依据主体结构施工验算而确定；拼接区混凝土后浇工序的组织安排应根据主体结构的施工验算确定，集中后浇作业不宜超过 3 层。

2 后浇混凝土时宜采用标准化模板，模板应表面平整，并应具有足够刚度；模板应保证后浇混凝土部分尺寸和位置准确，加固牢固密实，防止漏浆；宜设置排气孔，排气孔间距宜为 400mm~800mm。

3 后浇混凝土应采用补偿收缩混凝土，应具备自密实性、微膨胀性、高流动性，扩展度试验初始值不宜小于 300mm，强度等级应等同或高于构件中混凝土的强度等级，其他性能应符合现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 相关要求。

4 在浇筑混凝土前应洒水润湿结合面，混凝土应振捣密实。

5 同一配合比的混凝土，每工作班且建筑面积不超过 1000m^2 应制作一组标准养护试件，同一楼层应制作不少于 3 组标准养护试件。

【条文说明】连接区域后浇混凝土之前，无混凝土包覆截面仅计钢构件承重，施工验算时钢构件的正应力不宜大于 $0.4f_y$ 。

8.3.10 钢管内混凝土的采用现场施工的方式时应符合下列规定：

1 钢管内浇筑的混凝土除应满足强度、弹性模量、低收缩、低徐变、早强、后期强度有一定增长等力学性能要求外，还应具有良好的和易性。

2 混凝土的原材料、配合比设计、拌制、运输、浇筑，应符合国家现行标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281、《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283、《高抛免振捣混凝土应用技术规程》JGJ/T 296 的有关规定。

3 当采用高强混凝土时，应在施工前进行配合比设计，通过充分试配并经包括现场试验在内的混凝土性能试验，确认满足要求后方可使用。所采用外加剂和掺合料的性能和组成应具有相容性。混凝土生产单位应掌握所生产的高强混凝土的配合比，可根据具体情况及时调整。

4 钢管内混凝土宜分楼层浇筑，且宜与钢管安装高度相一致，可每楼层一次浇筑，也可多楼层一次浇筑。

5 钢管内混凝土可采用高位抛落免振捣法、人工浇捣法或泵送顶升浇筑法进行浇筑，应根据工程的具体施工条件确定管内混凝土的浇筑方法。

6 采用高位抛落免振捣法时，料斗的下口直径应比钢管内径小 $100\sim 200\text{mm}$ ，混凝土下落时管内空气应能顺利排出。在抛落混凝土的同时，宜用粗钢筋棒插捣，特别是上部 2m 范围内应仔细插捣，使混凝土充填密实。抛落高度不足 4m 时，应辅以插入式振动器振实。

7 采用人工浇捣法时，应采用振捣器振实混凝土。管径小于 400mm 时，可采用附着在预制构件外壁上的外部振捣器进行振捣，振动器位置应随管内混凝土面的升高而调整，每次升高宜为 $1\text{m}\sim 1.5\text{m}$ ，每次振捣时间不应少于 1min ；振捣器的工作范围，以预制构件横向振幅不小于 0.3mm 为有效，振幅可采用百分表实测。可采用插入式振动器振捣，插点应均匀，每点振捣时间约 $15\text{s}\sim 30\text{s}$ ，一次浇筑高度不宜大于 2m 。

8 多层一次浇筑钢管内混凝土时，可采用泵送顶升浇筑法，钢管直径不宜小于泵径的 2 倍。

9 钢管内的混凝土宜连续浇筑完成，间歇时间不应超过混凝土的初凝时间。需留施工缝时，应封闭钢管，防止水、油和异物落入。

10 钢管内混凝土浇筑后，应覆盖上部外露部分并浇水养护。

11 在冬期浇筑钢管内混凝土时，入管混凝土的温度应高于 15℃。当室外气温低于 5℃、高于-10℃时，浇筑混凝土前应加热钢管并包裹覆盖；当室外气温低于-10℃时，钢管外应包裹电热毯保温或在混凝土浇筑时掺入无氯盐防冻剂。

8.3.11 钢连梁等局部无混凝土保护部位钢构件，应进行底漆涂装和防火涂料施工。防腐涂装部位的除锈等级、防腐涂料品种和厚度，应符合设计文件要求和现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定；防火涂装施工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。

9 施工验收

9.1 一般规定

9.1.1 装配式排钢管混凝土结构应按型钢混凝土结构子分部工程进行验收，排钢管混凝土结构各部分可作为型钢混凝土结构子分部工程的分项工程进行验收，型钢混凝土子分部工程中的分项工程应符合国家现行标准《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宜从严执行。

9.1.2 预制构件与现场焊接、螺栓等连接用材料的进场验收应符合国家现行标准《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。

9.1.3 装配式排钢管混凝土结构的外观质量除设计有专门的规定外，尚应符合国家现行标准《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。

9.1.4 装配式排钢管混凝土结构的制作和安装工程可按楼层或施工段等划分为一个或若干个检验批。

9.1.5 装配式排钢管混凝土结构检验批合格质量标准应符合下列规定：

1 主控项目应符合国家现行标准《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 中合格质量标准的要求；

2 一般项目结果应有 80%及以上的检验点符合国家现行标准《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 中合格质量标准的要求，且允许偏差项目中最大偏差值不应超过其允许偏差限值的 1.2 倍；

3 质量检查记录、质量证明文件等资料应完整。

9.1.6 装配式排钢管混凝土结构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 的规定。

9.1.7 外露钢结构的防腐蚀涂装工程应按国家现行标准《钢结构工程质量验收规范》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 50224 及《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 的有关规定进行验收。

9.1.8 外露钢结构的防火保护工程验收应满足现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249。外露钢结构防火涂料的厚度应满足设计要求，且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。防火涂料的粘结强度、抗压强度应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；试验方法应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第 1 部分：通用要求》GB/T 9978.1、《建筑构件耐火试验方法 第 6 部分：梁的特殊要求》GB/T 9978.6、《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7 的有关规定。

9.1.9 装配式排钢管混凝土结构验收时，除应按国家现行标准《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 的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 预制构件、主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录、抽样复检报告；
- 3 预制构件安装施工记录；
- 4 后浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件；
- 5 后浇混凝土强度等级检测报告；
- 6 装配式排钢管混凝土结构分项工程质量验收文件；
- 7 装配式排钢管混凝土结构的重大质量问题的处理方案和验收记录；
- 8 混凝土工程的其他文件和记录。

9.2 构件验收

9.2.1 预制构件进场时，应检查质量证明文件，满足要求后方可进场。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明文件或质量验收记录。

9.2.2 预制构件制作单位应分别提交产品质量证明及下列技术文件：

- 1 预制构件加工图纸；
- 2 制作中对问题处理的协议文件；
- 3 所用钢材、焊接材料、混凝土材料的质量证明书及必要的试验报告；
- 4 高强度螺栓抗滑系数的实测报告；
- 5 焊缝的无损检验记录；
- 6 发运构件的清单。

9.2.3 预制构件的外形和几何尺寸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 的规定及其他相关标准的规定，混凝土外观质量不应有严重缺陷，对出现的一般缺陷应要求构件生产单位按技术处理方案进行处理，并应重新检查验收。

9.2.4 预制构件的焊缝外观质量、超声波探伤检查及焊接质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

9.2.5 预制构件中的混凝土施工前应进行隐蔽工程验收，并应做好隐蔽工程质量验收记录。

9.2.6 预制构件的外观质量一般缺陷应按产品标准规定全数检验；当构件没有产品标准或现场制作时，应按现浇结构构件的外观质量要求检查和处理。

9.2.7 制作单位生产的预制构件进场时，构件的结构性能检验应符合下列规定：

1 梁、板类简支受弯的预制构件进场前应进行结构性能检验，并应符合下列规定：

- 1) 结构性能检验应符合国家现行有关标准的规定及设计要求，检验要求和试验方法应符合国家现行标准的规定。
- 2) 钢筋混凝土构件应进行承载力、挠度和裂缝宽度检验。
- 3) 对大型构件及有可靠应用经验的构件，可只进行裂缝宽度和挠度检验。

2 对于不可单独使用的叠合板预制底板，可不进行结构性能检验。

3 对本条第 1、2 款之外的其他预制构件，除设计有专门要求外，进场时可不作结构性能检验。

4 对进场时不作结构性能检验的预制构件，应采取下列措施：

- 1) 施工单位或监理单位代表应驻场监督生产过程。

- 2) 当无驻厂监督时, 预制构件进场时应对其型钢和钢筋的数量、规格、间距、保护层厚度及混凝土强度等进行实体检验。

检查数量: 同一类型预制构件不超过 1000 个为一批, 每批随机抽取 1 个构件进行结构性能检验。

检验方法: 检查结构性能检验报告或实体检验报告。

9.3 安装验收

9.3.1 装配式排钢管混凝土结构分项工程的外观质量不应有严重缺陷, 且不得有影响结构性能和使用功能的尺寸偏差, 应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定; 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。

9.3.2 装配式排钢管混凝土结构节点区的型钢采用焊接连接时, 钢材焊接的焊缝尺寸应满足设计要求, 焊缝质量应符合国家现行标准《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。

9.3.3 装配式排钢管混凝土结构节点区的型钢采用螺栓连接时, 螺栓的材质、规格、拧紧力矩应符合设计要求及国家现行标准《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。施工时应分批逐个检查螺栓的拧紧力矩, 并做好施工记录。

9.3.4 装配式排钢管混凝土结构节点区的钢筋采用焊接连接时, 其接头质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定。

9.3.5 装配式排钢管混凝土结构后浇部分所含的模板、型钢、钢筋、混凝土和现浇结构应按国家现行标准《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 的有关规定进行质量验收。

9.3.6 装配式排钢管混凝土结构连接部位浇筑混凝土之前, 应进行隐蔽工程验收。隐蔽工程验收应包括下列主要内容:

- 1 混凝土粗糙面的质量, 键槽的尺寸、数量、位置;
- 2 钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距, 箍筋弯钩的弯折角度及平直段长度;
- 3 钢筋的连接方式、接头位置、接头数量、接头面积百分率、搭接长度、锚固方式及锚固长度;

- 4 钢管、型钢构件、预埋件、预留管线的规格、数量、位置；
- 5 钢管、型钢构件的焊接；
- 6 其他隐蔽项目。

9.3.7 钢管内混凝土采用现场浇筑的方式时，宜采用超声波法进行检测；钢管截面较小时，可在钢管壁适当位置留有足够的排气孔，排气孔孔径不应小于 20mm；浇筑混凝土应加强排气孔观察，并应确认浆体流出和浇筑密实后再封堵排气孔。对于混凝土不密实的部位，应采用局部钻孔压浆法进行补强。

附录 A 框架梁柱节点核心区截面抗震验算

A.0.1 框架梁柱节点核心区截面的剪力设计值应符合下列公式的规定：

$$V_{jw} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.30\eta_j \beta_{co} f_{co} b_j h_j) \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$V_{jw} = V_j - \sum_{i=1}^m 0.33 f_a A_{a,i} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中：\$V_{jw}\$——验算框架节点核心区最小受剪截面采用的剪力设计值（N）；

\$V_j\$——框架节点核心区的剪力设计值（N），可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定计算；

\$\eta_j\$——正交梁的约束影响系数，可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定采用；

\$b_j\$——节点核心区的截面有效验算宽度（mm），可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定计算；

\$h_j\$——节点核心区的截面高度（mm），可采用验算方向的柱截面高度；

\$f_{co}\$——钢管外混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

\$f_a\$——钢材抗拉强度设计值（N/mm²）；

\$A_{a,i}\$——单根钢管截面面积（mm²）；

\$\beta_{co}\$——钢管外混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，\$\beta_{co}\$ 取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，\$\beta_{co}\$ 取 0.8，其间按线性内插法确定；

\$\gamma_{RE}\$——节点受剪承载力抗震调整系数，可取为 0.85。

A.0.2 框架梁柱节点核心区截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(1.1\eta_j f_{to} b_j h_j + \frac{0.05\eta_j N b_j}{b_c} + \frac{f_{yv} A_{svj} (h_{b0} - a'_s)}{s} + \sum_{i=1}^m 0.33 f_a A_{a,i} \right) \quad (\text{A.0.1-3})$$

式中：\$N\$——对应于组合剪力设计值的上柱组合轴压力较小值（N），其值不应大于柱截面面积与管外混凝土轴心抗压强度设计值乘积的 50%，当 \$N\$ 为拉力时，取 \$N = 0\$；

\$h_{b0}\$——梁截面有效高度（mm），节点两侧梁截面有效高度不等时可采用

平均值；

A_{svj} —— 核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋的总截面面积
(mm^2)；

f_{yv} —— 箍筋抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

f_{to} —— 管外混凝土抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

b_c —— 验算方向框架柱截面宽度 (mm)；

s —— 箍筋间距 (mm)；

a'_s —— 梁受压钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm)。

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，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

《工程结构通用规范》	GB 55001
《建筑与市政工程抗震通用规范》	GB 55002
《组合结构通用规范》	GB 55004
《钢结构通用规范》	GB 55006
《混凝土结构通用规范》	GB 55008
《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
《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
《建筑工程抗震设防分类标准》	GB 50223
《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》	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
《钢结构施工规范》	GB 50755
《建筑钢结构防火技术规范》	GB 51249
《高层建筑混凝土结构技术规程》	JGJ 3
《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
《混凝土异形柱结构技术规程》	JGJ 149

《钢结构超声波探伤及质量分级法》	JG/T 203
《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
《型钢混凝土异形柱结构技术标准》	T/CSCS 014
《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》	T/CECS 188