

### 装配式排钢管混凝土结构技术规程

2022 - 10 - 06 发布

2022 - 11 - 06 实施

## 目 次

前言 .....	III
1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 主要符号 .....	2
3 基本规定 .....	5
3.1 一般规定 .....	5
3.2 材料 .....	6
3.3 结构计算 .....	7
4 异形柱设计 .....	10
4.1 一般规定 .....	10
4.2 承载力计算 .....	10
4.3 构造要求 .....	16
5 剪力墙设计 .....	20
5.1 一般规定 .....	20
5.2 承载力计算 .....	20
5.3 构造要求 .....	27
6 节点设计 .....	33
6.1 一般规定 .....	33
6.2 构件拼接节点设计 .....	33
6.3 构件脚部节点设计 .....	35
6.4 框架梁和构件连接节点设计 .....	37
6.5 楼板和构件连接节点设计 .....	38
7 制作、运输和安装 .....	42
7.1 制作 .....	42
7.2 运输 .....	43
7.3 安装 .....	44
8 施工验收 .....	46
8.1 一般规定 .....	46
8.2 构件验收 .....	46
8.3 安装验收 .....	47
本规程用词说明 .....	49
引用标准名录 .....	50
附：条文说明 .....	51

# C o n t e n t s

Foreword.....	III
1 General Provisions.....	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	2
3 Basic requirements of design.....	5
3.1 General requirements.....	5
3.2 Materials.....	6
3.3 Structural calculation.....	7
4 Specially shaped column frame design.....	10
4.1 General requirements.....	10
4.2 Design on strength.....	10
4.3 Detailing requirements.....	16
5 Shear wall design.....	20
5.1 General requirements.....	20
5.2 Design on strength.....	20
5.3 Detailing requirements.....	27
6 Design of connection.....	33
6.1 General requirements.....	33
6.2 Splice of AASC.....	33
6.3 Base of AASC.....	35
6.4 Frame beam to AASC connections.....	37
6.5 Slab to AASC connections.....	38
7 Fabrication, transportation and erection.....	42
7.1 Fabrication.....	42
7.2 Transportation.....	43
7.3 Erection.....	44
8 Construction acceptance.....	46
8.1 General requirements.....	46
8.2 Member acceptance.....	46
8.3 Erection acceptance.....	47
Explanation of wording in this specification.....	49
List of quoted standards.....	50
Addition: Explanation of provisions.....	51

## 前 言

根据西藏自治区市场监督管理局（函）《西藏自治区市场监督管理局关于2020年第二批推荐性地方标准制定计划的函》，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，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8章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、异形柱设计、剪力墙设计、节点设计、制作运输和安装、施工验收。

本规程的某些内容涉及专利，涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本规程主编单位协商处理，本规程的发布机构不承担识别专利的责任。

本规程由西藏自治区住房和城乡建设厅负责管理，由西藏涛扬集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至解释单位（地址：西藏自治区拉萨市城关区格桑林卡，邮政编码：850030）。

本 规 程 主 编 单 位： 西藏涛扬集团有限公司

西藏自治区建筑勘察设计院

本 规 程 参 编 单 位： 中国航空规划设计研究总院有限公司

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

上海建筑设计研究院有限公司

中车建设工程有限公司

成都理工大学

北京兴油工程项目管理有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

中国城市建设研究院有限公司

北京构力科技有限公司

本规程主要起草人员： 王东方 刘明辉 杨 涛 邹剑强 边巴旺堆 蒙乃庆

刘小荣 卢国安 张 坚 顾绍义 祁 勇 刘 冶

李俊梅 成 波 曾庆华 冯 燕 郭雅静 王军芳

# 装配式排钢管混凝土结构技术规程

## 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。
- 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。
- 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。

## 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 steel tube-reinforced concrete structures

采用排钢管混凝土异形柱、排钢管混凝土短肢剪力墙、或者排钢管混凝土剪力墙与钢梁、钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁等组成的异形柱框架结构、异形柱框架-支撑/内填墙板/剪力墙结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构；其中排钢管混凝土异形柱、排钢管混凝土短肢剪力墙、排钢管混凝土剪力墙、钢梁、钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁均工厂预制，混凝土可在工厂全部或部分浇筑。

2.1.2 排钢管混凝土异形柱 array steel tube-reinforced concrete specially shaped columns

成排内置圆钢管混凝土芯柱的混凝土异形柱，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。

2.1.3 排钢管混凝土短肢剪力墙 array steel tube-reinforced concrete limb shear walls

成排内置圆钢管混凝土芯柱的混凝土剪力墙，形式有一字型、L型、T型、工字型、十字型等，且各肢截面高度与厚度之比的最大值大于4但小于8。

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

成排内置圆钢管混凝土芯柱的混凝土剪力墙，形式有一字型、L型、T型、工字型、十字型等，且各肢截面高度与厚度之比的最大值不小于8。

2.1.5 圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数 percentage of load-carrying capacity shared by array steel tube-reinforced concrete columns

圆钢管混凝土芯柱轴心受压承载力（短柱，考虑钢管套箍作用）与异形柱、剪力墙边缘构件阴影部分全部截面轴心受压承载力（不考虑钢管套箍作用）的比值。

2.1.6 混合梁 hybrid-beams

在两端埋入有效长度的型钢接头，与排钢管异形柱、排钢管剪力墙进行连接的钢-混凝土组合梁。

### 2.2 主要符号

2.2.1 作用效应和抗力

$M_{aw}$	——	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；
$\sigma_{ak}$	——	第 $k$ 个钢管单元的应力；
$\sigma_{sj}$	——	第 $j$ 个钢筋单元的应力；
$\Sigma M_c$	——	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。

2.2.2 材料力学性能

$E_a$	——	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。

### 2.2.3 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；
$A_{aj}$	——	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；
$I_\alpha$	——	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；
$r_\alpha$	——	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

$a_i$	——	各钢管内、外直径的比值；
$k$	——	钢管内混凝土强度提高系数；
$\alpha_{asc}$	——	圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数；
$\beta_{co}$	——	钢管外混凝土强度影响系数；
$\varepsilon_{cu}$	——	混凝土极限压应变；
$\eta_s$	——	强柱系数；
$\eta_\alpha$	——	考虑杆件挠曲的偏心距增大系数；
$\theta$	——	钢管混凝土套箍指标；
$\lambda_v$	——	最小配箍特征值；
$\mu_N$	——	异形柱考虑地震作用组合的轴压比；
$\rho_a$	——	异形柱含管率；
$\rho_v$	——	箍筋加密区的体积配箍率；
$\varphi$	——	轴心受压构件的稳定系数；
$\Psi$	——	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 基本规定

#### 3.1 一般规定

3.1.1 装配式排钢管混凝土结构建筑应按国家现行标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别及抗震设防标准。

3.1.2 装配式排钢管混凝土结构的建筑设计、结构布置要求、结构规则性要求、不规则类型判别和不规则结构设计要求，应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定。

3.1.3 装配式排钢管混凝土结构可采用异形柱框架、异形柱框架-支撑/内填墙板/剪力墙、框架-剪力墙、剪力墙等结构类型。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 3.1.3 的规定，并应符合下列规定：

1 异形柱框架结构、异形柱框架-支撑/内填墙板/剪力墙结构中，框架柱可全部采用排钢管混凝土异形柱，也可部分采用钢管混凝土柱或钢管混凝土叠合柱；剪力墙应全部采用排钢管混凝土剪力墙；框架梁应沿结构全高采用钢梁、钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁等；

2 框架-剪力墙结构、剪力墙结构中，剪力墙应全部采用排钢管混凝土剪力墙，框架柱全部采用钢管混凝土柱或钢管混凝土叠合柱；框架梁应沿结构全高采用钢梁、钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁等。

表 3.1.3 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	42	36	30	27	15
异形柱框架-支撑/内填墙板/剪力墙	80	70	60	50	36
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。

3.1.4 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《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 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 3.1.4 确定，并应符合下列规定：

1 钢梁、钢支撑的抗震等级应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关钢结构房屋抗震等级的规定，当某个部位各构件的承载力均满足2倍地震作用组合下的内力要求时，7度、8度钢梁、钢支撑的抗震等级应允许按降低一度确定；

2 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 3.1.4 规定的上界时，应采取更严格的抗震构造措施；

3 确定排钢管混凝土结构房屋抗震等级的其他要求，应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关现浇钢筋混凝土房屋的规定。

表 3.1.4 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		
异形柱框架- 支撑/内填墙 板/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)		
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-支撑/内填墙板/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。

3.1.5 抗震设计时，剪力墙底部加强部位不应设置水平拼接区，可采用整体预制形式或现浇形式。

3.1.6 结构底部的异形柱、剪力墙宜延伸至基础顶面或埋入基础内，并按本规程第 6.3 节的规定设置柱脚、墙脚。

3.1.7 异形柱及剪力墙的耐火极限可分别与钢筋混凝土异形柱及钢筋混凝土剪力墙的耐火极限相同；每个楼层的圆钢管混凝土芯柱均应设置直径为 15mm 的排气孔，其位置宜在柱与楼板相交处的上方和下方各 100mm 处，并沿柱身反对称布置，排气孔竖向间距不宜超过 6m。

3.1.8 装配式排钢管混凝土结构中的楼盖结构应符合下列规定：

1 宜采用免支模、少支撑或免支撑的做法；可选用预制空心楼板、预制混凝土叠合楼板、钢筋桁架楼承板、压型钢板组合楼板等，楼板应与主体结构可靠连接；

2 抗震烈度为6、7度且房屋高度不超过50m或抗震烈度为8度且房屋高度不超过24m时，可采用装配整体式楼盖，应采取措施保证楼盖的整体性。

3.1.9 当抗震设防烈度为 8 度及以上或抗震设防类别为重点设防类（乙类）及以上时，装配式排钢管混凝土结构宜采用隔震或消能减震技术，并按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的规定执行。

### 3.2 材料

3.2.1 钢管、钢板等的选用及相关力学性能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 的有关规定。

3.2.2 钢筋材料及加工等应符合国家现行规范《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土结构设计

规范》GB 50010、《混凝土结构成型钢筋应用技术规程》JGJ 366 的有关规定。

**3.2.3** 混凝土强度等级、力学性能和质量标准应按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行，并应符合下列规定：

- 1 排钢管混凝土异形柱的管外混凝土强度等级不应低于C30，不宜高于C50；
- 2 排钢管混凝土剪力墙的管外混凝土强度等级不应低于C30，不宜高于C60；
- 3 钢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C40，不宜低于管外混凝土的1.5倍；
- 4 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；
- 5 施工现场后浇混凝土宜采用自密实混凝土，也可采用普通混凝土；自密实混凝土应符合国家现行标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283的有关规定；当采用普通混凝土时，混凝土粗骨料最大粒径不宜大于钢筋最小净间距的3/4，且不宜大于20mm，并宜通过现场的工艺试验确定混凝土工作性能要求及施工方法。

**3.2.4** 圆钢管混凝土芯柱内采用强度等级高的混凝土时，钢管宜采用强度等级高的钢材；高强钢应符合国家现行标准《高强钢结构设计标准》JGJ/T 483 的有关规定。

### 3.3 结构计算

**3.3.1** 荷载、地震作用及荷载效应组合应按国家现行标准《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、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定进行计算。

**3.3.2** 预制构件在翻转、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。

**3.3.3** 预制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<sup>2</sup>。

**3.3.4** 结构弹性阶段的内力和位移计算时，排钢管混凝土异形柱、剪力墙的截面轴向刚度取值可按下列公式计算：

$$EA = E_{co}A_{co} + E_{ci}A_{ci} + E_aA_a \dots\dots\dots (3.3.4)$$

- 式中：
- $EA$  —— 排钢管混凝土异形柱、剪力墙的轴向刚度；
  - $E_aA_a$  —— 排钢管混凝土异形柱、剪力墙钢管的轴向刚度；
  - $E_{ci}A_{ci}$  —— 排钢管混凝土异形柱、剪力墙管内混凝土的轴向刚度；
  - $E_{co}A_{co}$  —— 排钢管混凝土异形柱、剪力墙管外混凝土的轴向刚度。

**3.3.5** 弹性分析时，宜考虑框架梁与楼板的共同作用，同时构造上应保证框架梁与楼板有可靠连接；可计入楼板对框架梁惯性矩的增大作用，可按《组合结构通用规范》GB 55004、《组合结构设计规范》JGJ 138 有关规定计算混凝土翼板对框架梁惯性矩的增大作用，刚度放大系数不宜大于 2.0；弹塑性分析时，不应计入楼板对框架梁惯性矩的增大作用。

**3.3.6** 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，采用钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁时可取为0.05，采用钢梁时可取为0.045；设防地震和罕遇地震作用下，弹塑性时程分析时可采用与多遇地震作用下相同的阻尼比，推覆分析或等效弹性分析时，可分别取为0.05~0.06和0.06~0.07，也可根据结构构件屈服情况确定。

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。

3.3.7 排钢管混凝土异形柱、剪力墙的承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}$ 应按表 3.3.7 采用。

表 3.3.7 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	$\gamma_{RE}$
钢	梁、螺栓、焊缝	强度	0.75
		稳定	0.80
混凝土	排钢管混凝土异形柱	偏压	0.80
	排钢管混凝土剪力墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪，偏拉	0.85

3.3.8 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：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e]h \quad (3.3.8)$$

式中： $\Delta u_e$  —— 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3.3.8采用。

表 3.3.8 排钢管混凝土结构的弹性层间位移角限值

结构类型		$[\theta_e]$
异形柱框架	钢筋混凝土梁	1/500
	钢梁	1/400
异形柱框架-支撑，异形柱框架-内填墙板	钢筋混凝土梁	1/500
	钢梁	1/400
异形柱框架-剪力墙，框架-剪力墙	钢筋混凝土梁	1/650
	钢梁	1/500
剪力墙	钢筋混凝土梁	1/800
	钢梁	1/650

注：采用型钢混凝土梁及混合梁的结构，其层间位移角限值与采用钢筋混凝土梁的结构相同。

3.3.9 排钢管混凝土结构弹塑性时程分析及推覆分析时，应考虑钢管对管内混凝土的约束作用。

3.3.10 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：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p]h \quad (3.3.10)$$

式中： $\Delta u_p$  —— 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 3.3.10 采用。

表 3.3.10 排钢管混凝土结构的弹塑性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_p]$
异形柱框架	1/50
异形柱框架-支撑, 异形柱框架-内填(竖缝)墙板	1/50
异形柱框架-内填墙板, 异形柱框架-剪力墙, 框架-剪力墙	1/70

续表3.3.10

结构类型	$[\theta_p]$
剪力墙	1/100

3.3.11 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。

## 4 异形柱设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 排钢管混凝土异形柱可用于异形柱框架结构、异形柱框架-支撑结构、异形柱框架-内填墙板、异形柱框架-剪力墙结构等结构类型。

4.1.2 框架梁-异形柱节点处，除框架顶层、柱轴压比小于 0.15 者及与支撑斜杆相连的节点外，异形柱端组合的弯矩设计值应符合下列规定：

1 等截面梁与柱连接时：

$$\sum M_c \geq \eta_s \sum f_{yb} W_{pb} \quad (4.1.2-1)$$

2 梁端加强型连接或骨式连接的端部变截面梁与柱连接时：

$$\sum M_c \geq \sum (\eta_s f_{yb} W_{pbl} + M_v) \quad (4.1.2-2)$$

$$M_v = V_{pb} \cdot x \quad (4.1.2-3)$$

式中： $f_{yb}$  —— 梁的钢材屈服强度 (N/mm<sup>2</sup>)；

$M_v$  —— 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)；

$W_{pb}$  —— 梁的塑性截面模量 (mm<sup>3</sup>)；

$W_{pbl}$  —— 梁塑性铰所在截面的梁塑性截面模量 (mm<sup>3</sup>)；

$x$  —— 塑性铰至柱面的距离 (mm)，塑性铰可取梁端部变截面翼缘的最小处，梁端加强型连接可取加强板的长度加四分之一梁高，骨式连接取  $(0.5 \sim 0.75)b_f + (0.3 \sim 0.45)h_b$ ， $b_f$  和  $h_b$  分别为梁翼缘宽度和梁截面高度，有试验依据时，也可按试验取值；

$\eta_s$  —— 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。

4.1.3 考虑地震作用组合的排钢管混凝土异形柱框架结构，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、圆钢管芯柱应按上、下端的不利情况设置。

4.1.4 抗震等级为一、二、三、四级排钢管混凝土异形柱框架的角柱，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。

### 4.2 承载力计算

4.2.1 异形柱整体稳定验算应按下列式计算，也可采用有限元分析方法。

$$N \leq 1.2E_c I / h^2 \quad (4.2.1)$$

式中： $E_c$  —— 异形柱混凝土的弹性模量；

$h$  —— 柱肢所在楼层的层高；

式中： $E_c$  —— 异形柱混凝土的弹性模量；  
 $I$  —— 异形整体截面的惯性矩，取两个方向的较小值；  
 $N$  —— 作用于柱顶组合的竖向荷载设计值。

4.2.2 排钢管混凝土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4.2.2-1)，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《混凝土结构设计规范》GB 50010和《组合结构设计规范》JGJ 138的相关规定取用。

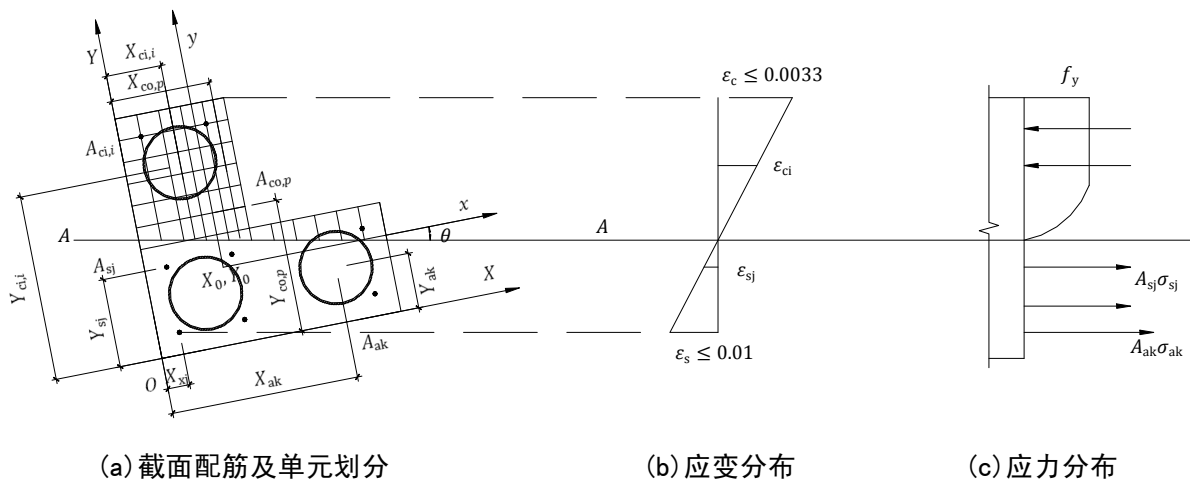


图 4.2.2-1 异形柱双向偏心受压正截面承载力计算

4 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4.2.2-1、4.2.2-2)：

$$N \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak}) \dots\dots\dots (4.2.2-1)$$

$$N \eta_\alpha e_{iy} \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} (Y_{ci,i} - Y_0) + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} (Y_{co,p} - Y_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (Y_{sj} - Y_0) + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak} (Y_{ak} - Y_0)) \dots\dots\dots (4.2.2-2)$$

$$N \eta_\alpha e_{ix} \leq (\sum_{i=1}^{n_c} A_{ci,i} \sigma_{ci,i} (X_{ci,i} - X_0) + \sum_{p=1}^{n_p} A_{co,p} \sigma_{co,p} (X_{co,p} - X_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (X_{sj} - X_0) + \sum_{k=1}^{n_a} A_{ak} \sigma_{ak} (X_{ak} - X_0)) \dots\dots\dots (4.2.2-3)$$

$$e_{ix} = e_{0x} + e_{ax} \dots\dots\dots (4.2.2-4)$$

$$e_{iy} = e_{0y} + e_{ay} \dots\dots\dots (4.2.2-5)$$

$$e_{0x} = e_0 \cos \alpha \dots\dots\dots (4.2.2-6)$$

$$e_{0y} = e_0 \sin \alpha \dots\dots\dots (4.2.2-7)$$

$$e_0 = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{N} \dots\dots\dots (4.2.2-8)$$

$$\alpha = \arctan \frac{M_x}{M_y} + n\pi \dots\dots\dots (4.2.2-9)$$

- 式中：
- $N$  —— 轴向压力设计值；
  - $\eta_\alpha$  —— 考虑杆件挠曲的偏心距增大系数，按本规程第 4.2.4 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 4.2.2-2）；
  - $e_0$  —— 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；
  - $\alpha$  —— 弯矩作用方向角（图 4.2.2-2），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；
  - $\sigma_{sj}$ 、 $A_{sj}$  —— 第  $j$  个钢筋单元的应力及面积， $\sigma_{sj}$  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；
  - $\sigma_{ak}$ 、 $A_{ak}$  —— 第  $k$  个钢管单元的应力及面积， $\sigma_{ak}$  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；
  - $n_c$ 、 $n_p$ 、 $n_s$ 、 $n_a$  —— 钢管内混凝土、钢管外混凝土、钢筋、钢管单元总数。



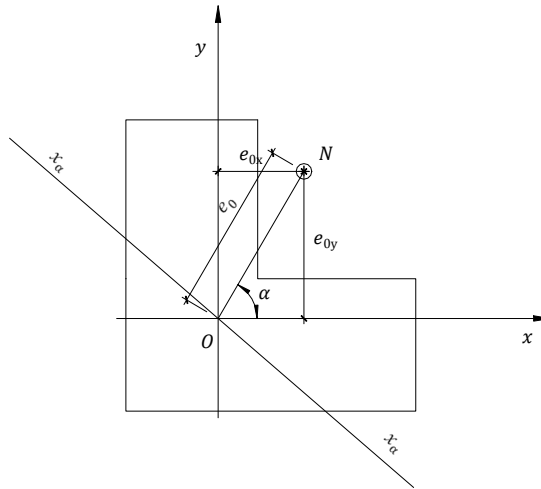


图 4.2.2-2 双向偏心受压异形柱截面

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（4.2.2-1）～式（4.2.2-9）计算，但在式（4.2.2-1）～式（4.2.2-3）右边应除以相应的承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}$ 。

4.2.3 排钢管混凝土异形柱双向偏心受拉正截面承载力应按本规程式（4.2.2-1）～式（4.2.2-3）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。

4.2.4 排钢管混凝土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 $\eta_{\alpha}$ 。 $\eta_{\alpha}$ 应按下列公式计算：

$$\eta_{\alpha} = 1 + \frac{1}{e_i/r_{\alpha}}(l_c/r_{\alpha})^2 C \quad (4.2.4-1)$$

$$C = \frac{1}{6000} [0.232 + 0.604(e_i/r_{\alpha}) - 0.106(e_i/r_{\alpha})^2] \quad (4.2.4-2)$$

$$r_{\alpha} = \sqrt{I_{\alpha}/A} \quad (4.2.4-3)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (4.2.4-4)$$

式中： $l_c$ ——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；

$r_{\alpha}$ ——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；

$I_{\alpha}$ ——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4.2.5条计算；

$A$ ——柱的换算截面面积，按本规程第4.2.6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。

4.2.5 排钢管混凝土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：

$$I_{\alpha} = I_c + \mu_s I_{s\alpha} + \mu_a I_{a\alpha} \quad (4.2.5-1)$$

$$\mu_s = \frac{E_s}{E_c} \quad (4.2.5-2)$$

$$\mu_a = \frac{E_a}{E_c} \dots\dots\dots (4.2.5-3)$$

式中：  
 $I_\alpha$  —— 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；  
 $\mu_s$ 、 $\mu_a$  —— 钢筋、钢管弹性模量与混凝土弹性模量的比值。

4.2.6 排钢管混凝土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：

$$A = A_c + A_{cs} + A_{ca} \dots\dots\dots (4.2.6-1)$$

$$A_{cs} = \mu_s A_s \dots\dots\dots (4.2.6-2)$$

$$A_{ca} = \mu_a A_a \dots\dots\dots (4.2.6-3)$$

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；  
 $A_s$ 、 $A_a$  —— 钢筋、钢管的截面面积。

4.2.7 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

$$V_c \leq 0.25\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0} \dots\dots\dots (4.2.7-1)$$

$$V_c = V - \sum_{i=1}^m \left( \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right) \dots\dots\dots (4.2.7-2)$$

2 地震设计状况

1) 剪跨比大于 2 时

$$V_c \leq (0.20\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0}) / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (4.2.7-3)$$

2) 剪跨比不大于 2 时

$$V_c \leq (0.15\beta_{co}f_{co}b_ch_{c0}) / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (4.2.7-4)$$

$$V_c = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \dots\dots\dots (4.2.7-5)$$

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；
- $\beta_{c0}$  —— 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， $\beta_{c0}$  取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时， $\beta_{c0}$  取 0.8，其间接线性内插法确定；
- $a_i$  —— 各钢管内、外直径的比值；
- $\lambda_1$  —— 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  $\lambda_1 = 2$ 。

#### 4.2.8 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：

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2+1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} + 0.07N \dots\dots\dots (4.2.8-1)$$

##### 2 地震设计状况：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left( \frac{1.05}{\lambda_2+1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} + 0.056N \right) \dots\dots\dots (4.2.8-2)$$

式中： $N$  —— 与剪力设计值  $V_c$  相应的轴向压力设计值， $N$  大于  $0.3f_{c0}A$  时取  $N = 0.3f_{c0}A$ ；

$A$  —— 异形柱截面面积；

$f_{yv}$  —— 箍筋抗拉强度设计值，按《混凝土结构设计规范》GB 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；

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  —— 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  $\lambda_2 = 3$ 。

#### 4.2.9 偏心受拉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：

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda_2+1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} - 0.2N \dots\dots\dots (4.2.9-1)$$

##### 2 地震设计状况：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left( \frac{1.05}{\lambda_2+1} f_{to} b_c h_{c0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{c0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} - 0.2N \right) \dots\dots\dots (4.2.9-2)$$

当式(4.2.9-1)右端计算值或式(4.2.9-2)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  $0.36f_{to} b_c h_{c0}$ 。

式中： $N$  —— 与剪力设计值  $V_c$  相应的轴向拉力设计值；

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  —— 异形柱剪跨比，可按本规程第 4.2.8 条的规定确定。

#### 4.2.10 装配式排钢管混凝土异形柱水平接缝的受剪承载力设计值应按下式计算：

$$V_{cj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6f_y A_{sf} + 0.6 \sum_{i=1}^m f_{aa} A_{aa,i} + 0.8N) \dots\dots\dots (4.2.10)$$

式中： $V_{cj}$  —— 异形柱水平缝处剪力设计值；  
 $A_{sf}$  —— 验算方向柱肢内竖向钢筋面积；  
 $N$  —— 与剪力设计值 $V_{cj}$ 相应的轴向压力设计值，压力为正值，拉力为负值；  
 $f_{aa}$  —— 验算方向柱肢内型钢抗压强度设计值；  
 $A_{aa,i}$  —— 验算方向柱肢内第*i*根型钢的截面面积；  
 $m$  —— 验算方向柱肢内型钢数量。

### 4.3 构造要求

4.3.1 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。

4.3.2 排钢管混凝土异形柱的构造要求，应符合下列规定：

- 1 钢管直径不应小于108mm，钢管壁厚不应小于4mm，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4.3.2-1规定的限值。

表 4.3.2-1 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%；对于多层建筑异形柱结构，当钢管混凝土全部短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%。含管率可按式计算：

$$\rho_a = A_a/A \dots\dots\dots (4.3.2-1)$$

式中： $\rho_a$  —— 异形柱含管率；  
 $A_a$  —— 全部钢管截面面积 (mm<sup>2</sup>)；  
 $A$  —— 异形柱全截面面积 (mm<sup>2</sup>)。

4 圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数不宜小于0.7；对于多层建筑异形柱结构，当钢管混凝土短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，圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数不应小于0.4。工作承担系数可按式计算：

$$\alpha_{asc} = \sum_{i=1}^m N_i / [f_{co} A_{co} + \sum_{i=1}^m (f_{ci} A_{ci,i} + f_a A_{a,i})] \dots\dots\dots (4.3.2-2)$$

式中： $\alpha_{asc}$  —— 圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数；  
 $f_{co}$ 、 $f_{ci}$  —— 分别为管外、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；  
 $A_{co}$  —— 钢管外混凝土截面面积；  
 $N_i$  —— 单根圆钢管混凝土芯柱轴心受压承载力设计值。

5 圆钢管混凝土芯柱轴心受压承载力设计值 $N_i$ 可按下列公式计算：

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

$$N_i = 0.9f_{ci}A_{ci,i}(1 + \alpha\theta) \dots\dots\dots (4.3.2-3)$$

2) 当 $\theta > 1/(\alpha - 1)^2$ 时：

$$N_i = 0.9f_{ci}A_{ci,i}(1 + \theta + \sqrt{\theta}) \dots\dots\dots (4.3.2-4)$$

式中： $f_{ci}$  —— 钢管内混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm<sup>2</sup>)；  
 $A_{ci,i}$  —— 钢管内混凝土截面面积 (mm<sup>2</sup>)；  
 $\theta$  —— 钢管混凝土套箍指标， $\theta = f_a A_{a,i} / (f_{ci} A_{ci,i})$ ；  
 $\alpha$  —— 与混凝土强度等级有关的系数，可按表 4.3.2-2 采用。

表 4.3.2-2 系数  $\alpha$

混凝土强度等级	≤C50	C50~C100
$\alpha$	2.0	1.8

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

6 异形柱肢端(转角处)应设钢管及纵向受力钢筋；在同一截面内，钢管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%。

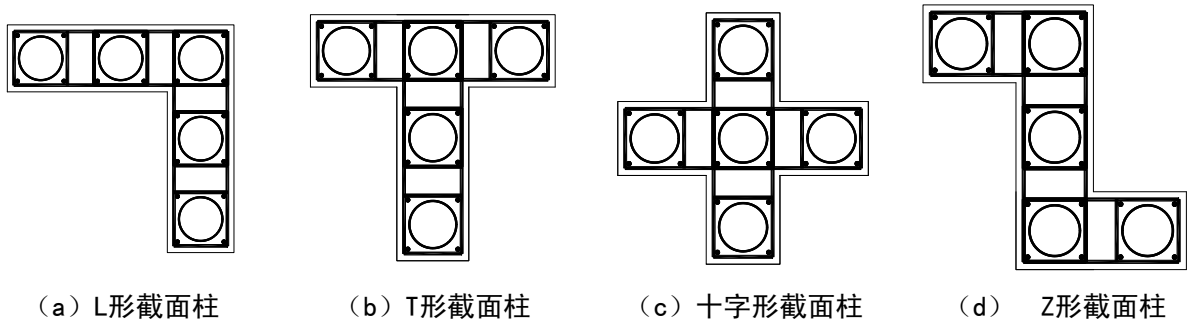


图 4.3.2-1 异形柱钢管、钢筋布置形式

7 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。

8 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。

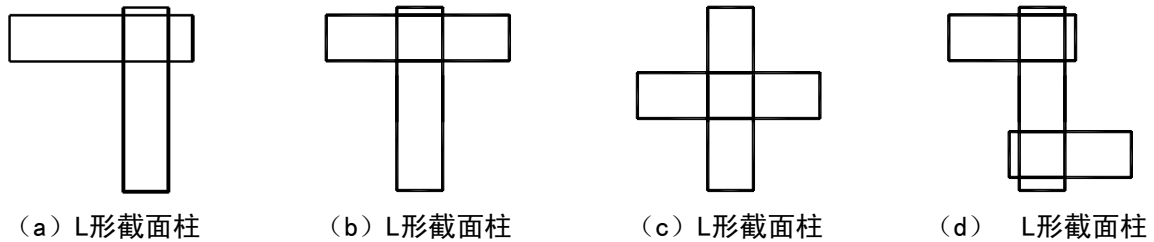


图 4.3.2-2 箍筋形式

9 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。

4.3.3 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 4.3.3 规定的限值。该轴压比可按下式计算：

$$\mu_N = N / [f_{co}A_{co} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_aA_{a,i})] \dots\dots\dots (4.3.3)$$

式中： $\mu_N$  ——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 4.3.3 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-支撑/内填墙 板/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。

4.3.4 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《混凝土结构设计规范》GB 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。

4.3.5 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：

$$\rho_v \geq \lambda_v \frac{f_{yv}}{f_{co}} \dots\dots\dots (4.3.5)$$

式中： $\rho_v$  —— 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；

$\lambda_v$  —— 最小配箍特征值，按表 4.3.5 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 4.3.5 异形柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值 $\lambda_v$

抗震等级	轴压比						
	$\leq 0.3$	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

4.3.6 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 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 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 $\lambda$ 不大于2时，箍筋间距不应大于100mm。

4.3.7 异形柱箍筋加密区箍筋的肢距：一、二抗震等级不宜大于 300mm，三级、四级抗震等级不宜大于 350mm。此外，每根纵向钢筋宜在两个方向均有箍筋或拉筋约束。

4.3.8 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。

4.3.9 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。

4.3.10 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200mm，其他范围内环筋间距不宜大于400mm。
- 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 环筋与钢管之间可采用间断的单面角焊缝焊接，焊缝可在环筋上侧或环筋上下两侧交错布置，每侧焊缝总长不宜小于环筋长度的1/2，焊缝高度不宜小于5mm和0.5d的较大者，d为环筋直径。

## 5 剪力墙设计

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 排钢管混凝土剪力墙可用于框架-剪力墙结构、剪力墙结构等结构类型。
- 5.1.2 排钢管混凝土墙墙肢截面长度不宜过长，较长剪力墙宜设置跨高比较大的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。
- 5.1.3 排钢管混凝土剪力墙底部加强部位的范围，应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 相关规定。
- 5.1.4 排钢管混凝土结构不应全部采用短肢剪力墙。当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3.1.3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。
- 5.1.5 排钢管混凝土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 特一级排钢管混凝土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、三级排钢管混凝土剪力墙底部加强部位，其截面组合的剪力设计值应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011有关钢筋混凝土剪力墙的规定；
  - 3 一级排钢管混凝土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。

### 5.2 承载力计算

- 5.2.1 L形、T形、工形等的排钢管混凝土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。
- 5.2.2 排钢管混凝土剪力墙的受剪截面应符合下列规定：
- 1 持久、短暂设计状况

$$V_w \leq 0.25\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0} \dots\dots\dots (5.2.2-1)$$

$$V_w = V - \sum_{i=1}^m \left( \frac{1+a_i^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \right) \dots\dots\dots (5.2.2-2)$$

2 地震设计状况

1) 剪跨比大于2时

$$V_w \leq (0.20\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0}) / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (5.2.2-3)$$

2) 剪跨比不大于2时

$$V_w \leq (0.15\beta_{co}f_{co}b_w h_{w0}) / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (5.2.2-4)$$

$$V_w = V - \frac{1}{\gamma_{RE}} \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \dots\dots\dots (5.2.2-5)$$

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；
- $m$  —— 剪力墙配置的钢管数量；
- $\beta_{co}$  —— 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，其间接线性内插法确定；
- $a_i$  —— 各钢管内、外直径的比值；
- $\lambda$  —— 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 $\lambda = 2$ 。

### 5.2.3 排钢管混凝土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：

$$N_c \leq \varphi [f_{co}A_{co} + f'_y(A_s + A'_s) + f'_{yw}A_{sw} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_aA_{a,i})] \dots\dots\dots (5.2.3-1)$$

#### 2 地震设计状况：

$$N_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \varphi [f_{co}A_{co} + f'_y(A_s + A'_s) + f'_{yw}A_{sw} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_aA_{a,i})] \dots\dots\dots (5.2.3-2)$$

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；
- $\varphi$  —— 剪力墙轴心受压构件的稳定系数，可按表 5.2.3 采用。

表 5.2.3 剪力墙轴心受压构件的稳定系数

$l_0/b_w$	$\leq 7$	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24	26
$\varphi$	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《高层建筑混凝土结构技术规程》附录D规定取值。

### 5.2.4 排钢管混凝土墙轴心受拉承载力应符合下列规定：

#### 1 持久、短暂设计状况：

$$N_t \leq 1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y(A_s + A'_s) + f_{yw}A_{sw} \dots\dots\dots (5.2.4-1)$$

#### 2 地震设计状况：

$$N_t \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y (A_s + A'_s) + f_{yw} A_{sw}] \quad (5.2.4-2)$$

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。

5.2.5 偏心受压排钢管混凝土剪力墙的正截面受压承载力应符合下列规定：

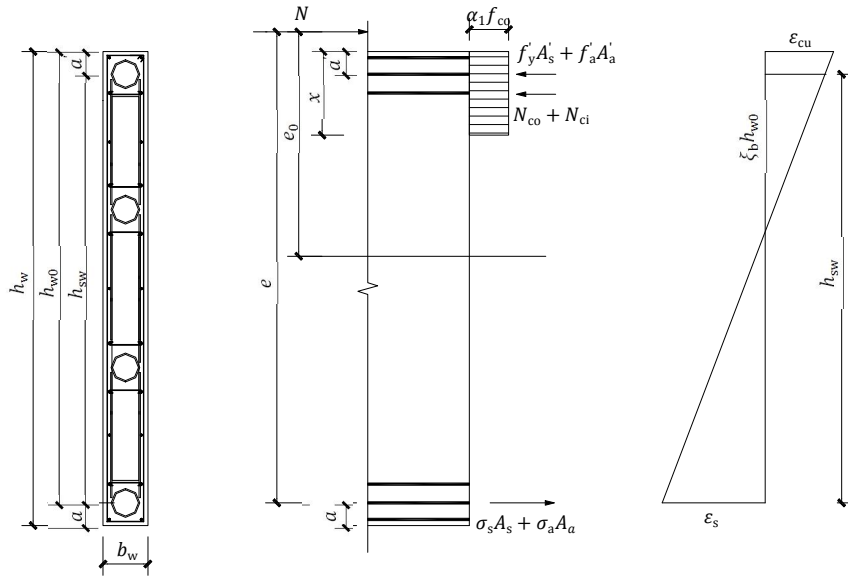


图 5.2.5 矩形截面偏心受压排钢管混凝土剪力墙正截面受压承载力计算示意图

1 持久、短暂设计状况：

$$N \leq N_{co} + N_{ci} + f'_y A'_s + f'_a A'_a - \sigma_s A_s - \sigma_a A_a + N_{sw} + N_{aw} \quad (5.2.5-1)$$

$$Ne \leq M_{co} + M_{ci} + (f'_y A'_s + f'_a A'_a)(h_{w0} - a) + M_{sw} + M_{aw} \quad (5.2.5-2)$$

$$e = e_0 + \frac{h_w}{2} - a \quad (5.2.5-3)$$

受压区钢管外混凝土轴力\$N\_{co}\$、弯矩\$M\_{co}\$：

$$N_{co} = \alpha_1 f_{co} (b_w x - A'_{a0}) \quad (5.2.5-4)$$

$$M_{co} = \alpha_1 f_{co} b_w x \left( h_{w0} - \frac{x}{2} \right) - \alpha_1 f_{co} A'_{a0} (h_{w0} - a) \quad (5.2.5-5)$$

受压区钢管内混凝土轴力\$N\_{ci}\$、弯矩\$M\_{ci}\$：

$$N_{ci} = k f_{ci} A'_{ai} \quad (5.2.5-6)$$

$$M_{ci} = k f_{ci} A'_{ai} (h_{w0} - a) \quad (5.2.5-7)$$

$$k = 1 + (1 - 0.009f_{ci})\theta \quad (5.2.5-8)$$

竖向分布钢筋承担的轴向压力 $N_{sw}$ 、弯矩 $M_{sw}$ ：

$$N_{sw} = (1 + \frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{0.5h_{sw}})f_{yw}A_{sw} \quad (5.2.5-9)$$

$$M_{sw} = [0.5 - (\frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{h_{sw}})^2]f_{yw}A_{sw}h_{sw} \quad (5.2.5-10)$$

剪力墙分布钢管承担的轴力 $N_{aw}$ 、弯矩 $M_{aw}$ ：

$$N_{aw} = (1 + \frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{0.5h_{sw}})f_{aw}A_{aw} \quad (5.2.5-11)$$

$$M_{aw} = [0.5 - (\frac{x/\beta_1 - h_{w0}}{h_{sw}})^2]f_{aw}A_{aw}h_{sw} \quad (5.2.5-12)$$

当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时，

$$\sigma_s = f_y \quad (5.2.5-13)$$

$$\sigma_a = f_a \quad (5.2.5-14)$$

当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时，

$$-f'_y \leq \sigma_s = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1 h_{w0}}{x} - 1) \leq f_y \quad (5.2.5-15)$$

$$-f'_a \leq \sigma_a = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1 h_{w0}}{x} - 1) \leq f_a \quad (5.2.5-16)$$

- 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；
  - $\sigma_s$ 、 $\sigma_a$ ——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；
  - $\theta$ ——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， $e_0 = M/N$ ；
- $\alpha_1$ 、 $\beta_1$ ——混凝土受压等效矩形应力图图形系数，可按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定采用；
- $E_s$ ——钢材弹性模量；
- $\varepsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变，可按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定采用。

## 2 地震设计状况：

公式(5.2.5-1)、(5.2.5-2)右端均应除以承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}$ ， $\gamma_{RE}$ 可取为0.85。

### 5.2.6 偏心受拉排钢管混凝土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：

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{ou}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \dots\dots\dots (5.2.6-1)$$

#### 2 地震设计状况：

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[ \frac{1}{\frac{1}{N_{ou}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \right] \dots\dots\dots (5.2.6-2)$$

#### 3 $N_{ou}$ 、 $M_{wu}$ 应按下列公式计算

$$N_{ou} = 1.05 \sum_{i=1}^m f_a A_{a,i} + f_y (A_s + A'_s) + f_{yw} A_{sw} \dots\dots\dots (5.2.6-3)$$

$$M_{wu} = f_y A_s (h_{w0} - a'_s) + f_a A_{ab} (h_{w0} - a'_a) + f_{yw} A_{sw} \left( \frac{h_{w0} - a'_s}{2} \right) \dots\dots\dots (5.2.6-4)$$

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；

$N_{ou}$ ——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。

### 5.2.7 剪跨比不大于1.0的偏心受压排钢管混凝土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：

$$V \leq \sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh} \dots\dots\dots (5.2.7-1)$$

#### 2 地震设计状况：

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} (\sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh}) \quad (5.2.7-2)$$

$$V_{a,i} = \frac{1+\alpha^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} + 0.1N'_{a,i} \quad (5.2.7-3)$$

$$V_{c,j} = \frac{1.1}{\lambda} (0.7f_{to} b_w h_j + 0.1N_{0,j}) \quad (5.2.7-4)$$

$$V_{sh} = f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} \quad (5.2.7-5)$$

$$N'_{a,i} = \frac{E_{ci} A_{ci,i} + E_a A_{a,i}}{\psi \sum E_{co} A_{co,i} + \sum_{i=1}^m (E_{ci} A_{ci,i} + E_a A_{a,i})} N \quad (5.2.7-6)$$

$$N_{0,j} = \frac{b_w h_j (N - \sum_{i=1}^m N'_{a,i})}{A - \sum_{i=1}^m (A_{ci,i} + A_{a,i})} \quad (5.2.7-7)$$

- 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  $0.2f_{co} b_w h_j$ ；
  - $\lambda$  —— 剪力墙计算截面剪跨比， $0.3 \leq \lambda \leq 1.0$ ， $\lambda < 0.3$ 时取  $\lambda = 0.3$ ；
  - $\psi$  —— 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。

### 5.2.8 剪跨比大于 1.0 的偏心受压排钢管混凝土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：

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} (0.5f_{to} b_w h_{w0} + 0.13N \frac{A_w}{A}) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+\alpha_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad (5.2.8-1)$$

#### 2 地震设计状况：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[ \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} (0.4f_{to} b_w h_{w0} + 0.1N \frac{A_w}{A}) + 0.8f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + 0.8 \sum_{i=1}^m \frac{1+\alpha_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \quad (5.2.8-2)$$

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  $A$ ；

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  —— 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  $\lambda_2 = 2.2$ 。

### 5.2.9 剪跨比不大于 1.0 的偏心受拉排钢管混凝土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:

$$V \leq \sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh} \quad \text{..... (5.2.9-1)}$$

#### 2 地震设计状况:

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} (\sum_{i=1}^m V_{a,i} + \sum_{j=1}^n V_{c,j} + V_{sh}) \quad \text{..... (5.2.9-2)}$$

$$V_{a,i} = \frac{1+\alpha^2}{8\lambda} f_a A_{a,i} \quad \text{..... (5.2.9-3)}$$

$$V_{c,j} = \frac{1.05}{\lambda} f_{to} b_w h_j - 0.2N_{0,j} \quad \text{..... (5.2.9-4)}$$

$$V_{sh} = f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} \quad \text{..... (5.2.9-5)}$$

$$N_{0,j} = \frac{b_w h_j N}{A - \sum_{i=1}^m (A_{c,i} + A_{a,i})} \quad \text{..... (5.2.9-6)}$$

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;

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

式 (5.2.9-4) 的  $V_{c,j}$  计算值小于 0 时, 取  $V_{c,j} = 0$ 。

### 5.2.10 剪跨比大于 1.0 的偏心受拉排钢管混凝土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:

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left( 0.5 f_{to} b_w h_{w0} - 0.2 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+\alpha_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad \text{..... (5.2.10-1)}$$

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

#### 2 地震设计状况:

$$V \leq \frac{0.8}{\gamma_{RE}} \left[ \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left( 0.5 f_{to} b_w h_{w0} - 0.2 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+\alpha_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \quad \text{..... (5.2.10-2)}$$

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

式中:  $N$  —— 排钢管混凝土剪力墙轴向拉力设计值;

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  —— 计算截面的剪跨比, 可按本规程第 5.2.8 条的规定确定。

### 5.2.11 墙肢两端为端柱的偏心受压钢管混凝土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:

$$V \leq \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} \left( 0.5 \beta_r f_{to} b_w h_{w0} + 0.13 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + \sum_{i=1}^m \frac{1+\alpha_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \quad \text{..... (5.2.11-1)}$$

#### 2 地震设计状况:

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[ \frac{1}{\lambda_2 - 0.5} (0.4\beta_r f_{t0} b_w h_{w0} + 0.1N \frac{A_w}{A}) + 0.8f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} + 0.8 \sum_{i=1}^m \frac{1+a_i^2}{8\lambda_1} f_a A_{a,i} \right] \dots\dots\dots (5.2.11-2)$$

式中： $\beta_r$ ——墙端叠合柱对剪力墙的约束系数，可取 1.2；

$\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ —— $\lambda_1 < 0.5$  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  $\lambda_2 = 2.2$ 。

5.2.12 剪力墙水平接缝的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

$$V_{wj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6f_y A_{sf} + 0.6 \sum_{i=1}^m f_{aa} A_{aa,i} + 0.8N) \dots\dots\dots (5.2.12)$$

式中： $V_{wj}$ ——剪力墙水平缝处剪力设计值；

$A_{sf}$ ——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；

$f_{aa}$ ——验算方向墙肢内型钢抗压强度设计值；

$A_{aa,i}$ ——验算方向墙肢内第  $i$  根型钢的截面面积；

$m$ ——验算方向墙肢内型钢数量。

### 5.3 构造要求

5.3.1 排钢管混凝土剪力墙厚度不宜小于 200mm；排钢管混凝土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。

5.3.2 排钢管混凝土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 5.1.5 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 5.3.5~5.3.7 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%。

5.3.3 排钢管混凝土剪力墙的钢管配置应符合下列规定：

1 钢管直径不应小于 108mm，钢管壁厚不应小于 4mm，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 5.3.3 要求；

表 5.3.3 钢管外混凝土厚度

墙肢肢厚 (mm)	钢管外混凝土厚度 (mm)
200	40
250	45
300	50
>300	60

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柱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5.3.6）内排钢管含管率不宜小于4%，圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数不宜小于0.8；剪力墙构造边缘构件阴影部分（图5.3.7）内排钢管含管率不宜小于3%，圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数不宜小于0.7；

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；

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300mm，其他区域不应大于500mm；环筋与钢管之间可采用单面角焊缝间断焊接，焊接长度不应小于钢管周长的一半，焊缝高度不宜小于5mm。

5.3.4 排钢管混凝土剪力墙在重力荷载代表值作用下的轴压比不宜超过表 5.3.4 规定的限值。该轴压比可按下式计算：

$$n_w = N/[f_{co}A_{co} + \sum_{i=1}^m (f_{ci}A_{ci,i} + f_a A_{a,i})] \quad (5.3.4)$$

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；  
 $f_a$  —— 钢管钢材抗压屈服强度设计值；  
 $A_{a,i}$ 、 $A_{ci,i}$  —— 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；  
 $A_{co}$  —— 钢管外混凝土截面面积。

表 5.3.4 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

5.3.5 排钢管混凝土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5.3.5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5.3.6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5.3.7条设置构造边缘构件。

表 5.3.5 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

5.3.6 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 $\lambda_v$ 、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 5.3.6 的规定。约束边缘构件的箍筋体积配箍率可按本规程 4.3.5 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 5.3.6 排钢管混凝土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)	$0.10h_w$	$0.15h_w$	$0.10h_w$	$0.15h_w$
$\lambda_v$	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；

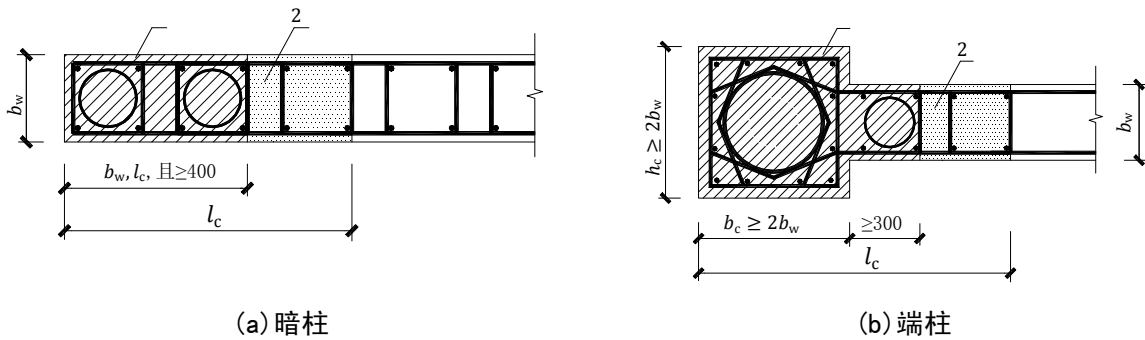
3  $\lambda_v$ 为约束边缘构件的最小配箍特征值，图5.3.6中约束边缘构件阴影部分应配置箍筋；非阴影部分的最小配箍特征值可为 $\lambda_v/2$ ，可配置箍筋或拉筋；阴影部分和非阴影部分长度均宜取值到钢管暗柱外侧拉筋处；箍筋直径不应小于 $\phi 8$ ；

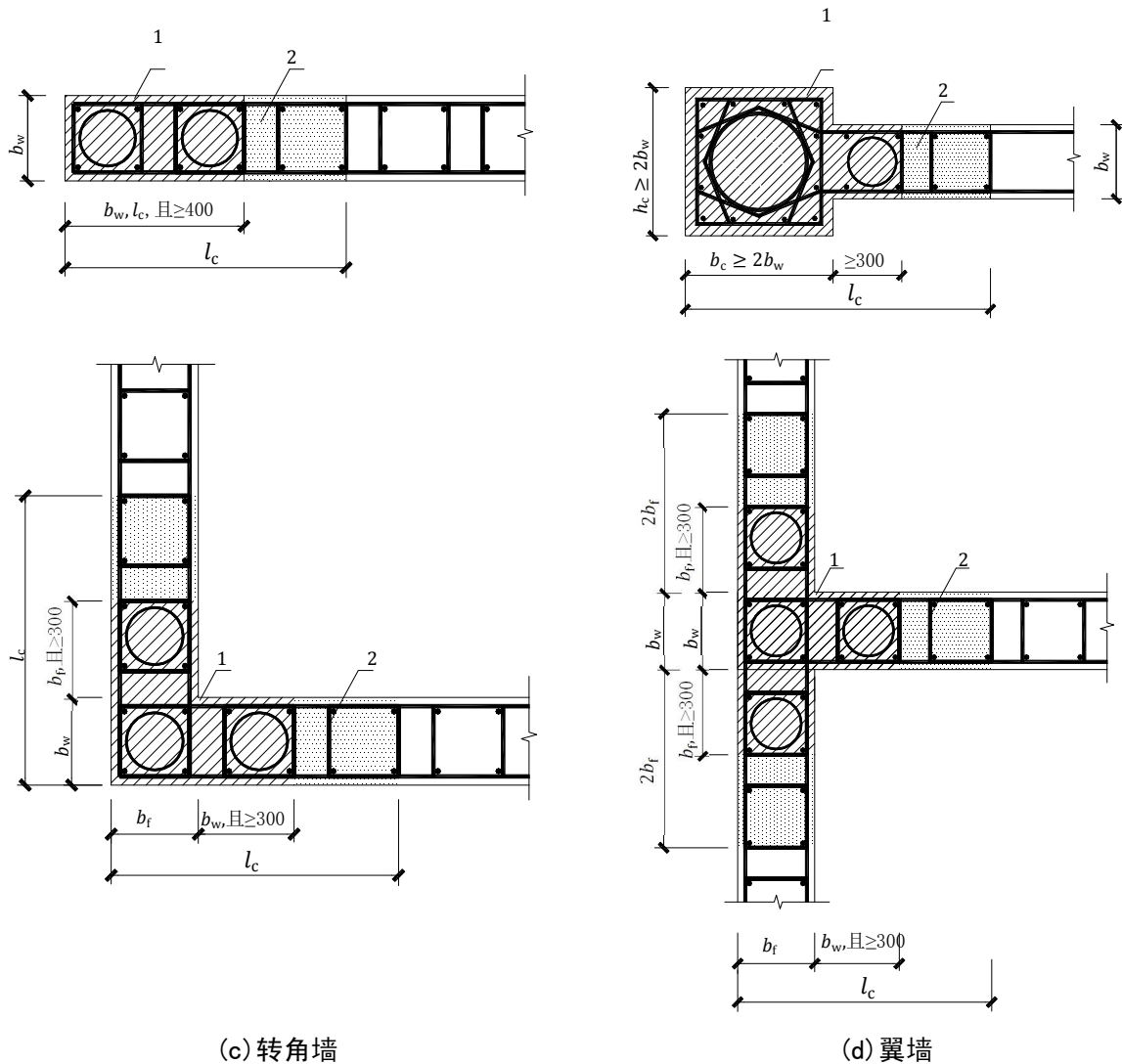
4  $h_w$ 为墙肢长度；

5  $n_w$ 为重力荷载代表值作用下墙肢轴压比；

6  $A_c$ 为图5.3.6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  $\lambda_v$ 及竖向钢筋括号内数值适用于特一级钢管混凝土剪力墙。





(c) 转角墙

(d) 翼墙

图 5.3.6 剪力墙的约束边缘构件范围

1-阴影部分；2-非阴影部分

5.3.7 排钢管混凝土剪力墙构造边缘构件范围宜按图 5.3.7 中阴影部分采用，其最小配筋应满足表 5.3.7 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 5.3.7 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
三	$0.006A_c$ , 8 $\phi$ 12	8	150

续表 5.3.7

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)
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5.3.7剪力墙截面的阴影部分；

2 符号 $\phi$ 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。

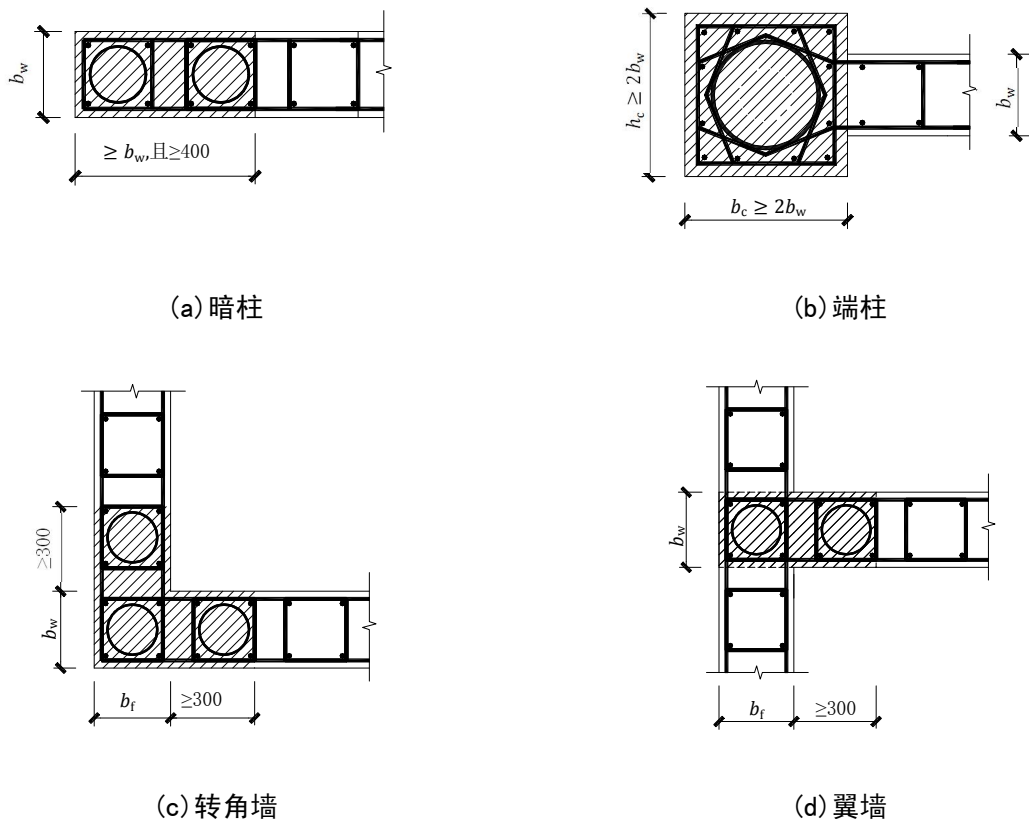


图 5.3.7 剪力墙的构造边缘构件范围

5.3.8 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0.4%，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。

5.3.9 排钢管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。

## 6 节点设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 排钢管混凝土结构节点设计应满足承载力极限状态要求，防止节点因强度破坏、板件局部失稳、焊缝及其周边开裂等引起节点失效；节点构造应便于制作、运输、安装和维护，局部外露板件应采取可靠的防腐与防火措施；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。

6.1.2 连接焊缝的设计应符合下列规定：

1 钢梁、钢牛腿与排钢管混凝土构件的连接焊缝质量等级应符合国家现行标准《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标准《高层民用建筑钢结构技术规程》GJ 99的有关规定；

2 上下节排钢管的对接拼接、排钢管与端板的连接，焊缝应全熔透，焊缝质量等级不低于二级；

3 焊缝的坡口形式和尺寸，宜根据板厚和施工条件按国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661的要求选用；

4 排钢管构件内纵向受力钢筋与端板的连接节点承载力不应低于钢筋塑性抗拉承载力。

6.1.3 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，并按国家现行标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的有关规定计算。

### 6.2 构件拼接节点设计

6.2.1 装配式排钢管混凝土构件的拆分应符合下列要求：

1 异形柱、剪力墙可按1~4个楼层高度分段预制，相邻段接头宜设在楼面上1.0~1.3m处；

2 异形柱应整体预制；

3 剪力墙边缘构件宜整体预制；

4 剪力墙非边缘构件应根据吊装、运输能力进行拆分，拆分单元内应设置不少于1根圆钢管混凝土芯柱。

6.2.2 排钢管混凝土预制件上下端部均设置连续端板；上下拼接节点可采用灌浆套管连接或十字板连接等形式。

6.2.3 灌浆套管连接节点应符合下列规定：

1 灌浆套管连接节点的极限承载力不应小于圆钢管混凝土芯柱塑性承载力的1.2倍。

2 节点芯柱、套管之间应用灌浆料填充密实；灌浆料强度标号应不低于圆钢管混凝土芯柱混凝土一个等级；节点芯柱与套管间净距以及节点芯柱底部与下端板净距均不宜小于5mm。

3 端板厚度不宜小于6mm及套管壁厚；端板与节点芯柱、套管均采用剖口熔透焊缝焊接。

4 纵筋对应位置可设置转换型钢连接，转换型钢可采用剖口熔透焊缝等强连接，其抗拉承载力不应低于纵筋抗拉承载力。

5 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100mm。

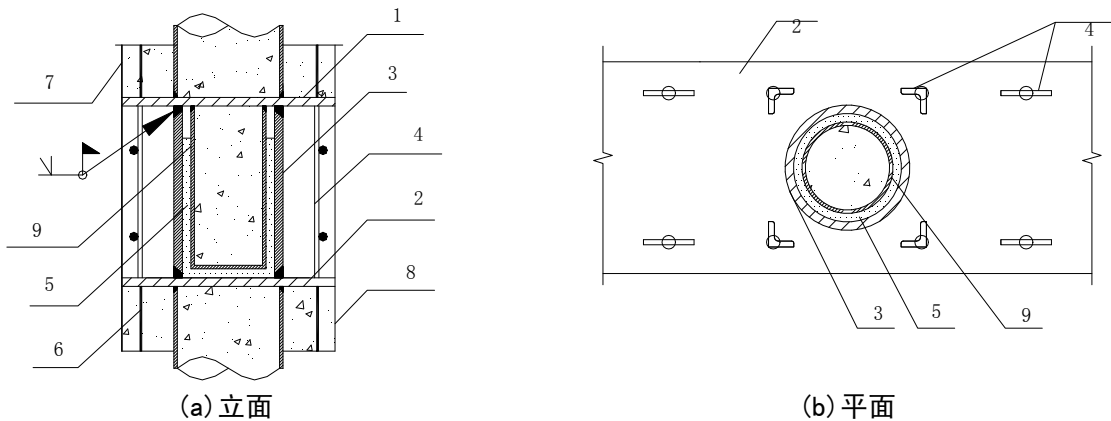


图 6.2.3 灌浆套管连接节点做法

1——上端板；2——下端板；3——套管；4——转换型钢；5——灌浆料；6——纵筋；7——上节预制件  
8——下节预制件；9——节点芯柱

#### 6.2.4 十字板连接节点应符合下列规定：

- 1 十字板连接节点的极限承载力不应小于圆钢管混凝土芯柱与芯柱周边纵向钢筋塑性承载力之和的1.2倍。
- 2 十字板宜45°放置，十字板上下拼接节点可采用焊接连接或栓接连接。
- 3 端板厚度不宜小于8mm及十字板厚的0.6倍，端板与十字板采用剖口熔透焊缝焊接。
- 4 圆钢管混凝土芯柱与端板连接处应设置翼板；翼板沿芯柱外围布置，与十字板位置中心对齐；芯柱周边纵向钢筋与翼板等强焊接；翼板厚度不低于芯柱钢管壁厚，高度宜为翼板宽度2倍，且与芯柱钢管、端板采用坡口熔透焊缝焊接。
- 5 其余构造要求同6.2.3条相关规定。

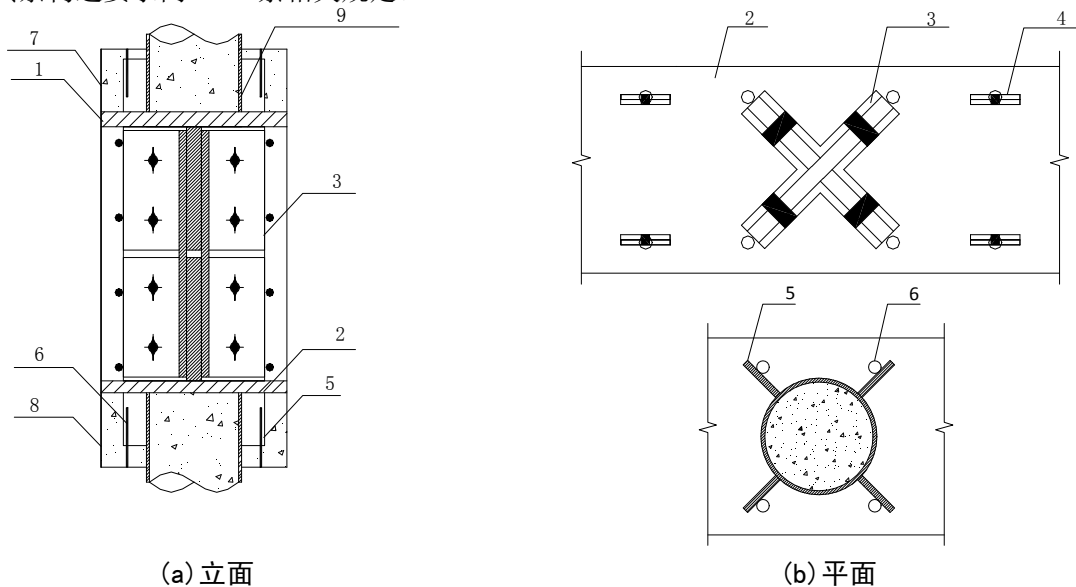


图 6.2.4 十字板连接节点做法

1——上端板；2——下端板；3——十字板；4——转换型钢；5——翼板；6——纵筋；7——上节预制件  
8——下节预制件；9——圆钢管混凝土芯柱

6.2.5 排钢管混凝土剪力墙进行现场竖向接缝拼接时，宜选择非圆钢管混凝土芯柱位置拼接；墙肢侧面与后浇混凝土的结合面应设置粗糙面，也可设置键槽；箍筋锚固长度满足《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。

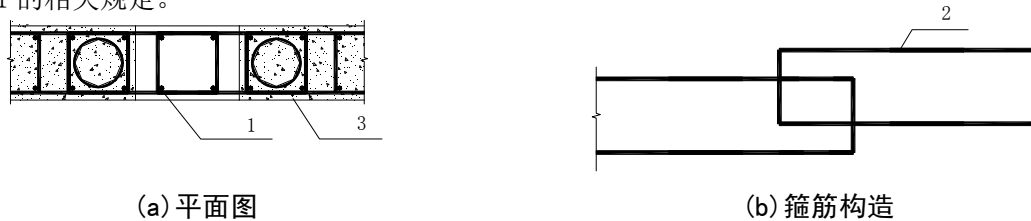


图 6.2.5 排钢管混凝土构件竖向接缝做法

1——纵向钢筋；2——箍筋；3——预制墙

### 6.3 构件脚部节点设计

6.3.1 排钢管混凝土构件与基础的连接，应符合下列规定：

- 1 抗弯承载力设计值不应小于排钢管混凝土构件的弯矩设计值；
- 2 极限抗弯承载力不应小于排钢管混凝土构件的塑性抗弯承载力与连接系数 $\eta_j$ 之积；
- 3 极限抗拉承载力不应小于排钢管混凝土构件的塑性抗拉承载力。

表 6.3.1 脚部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

6.3.2 排钢管混凝土构件与基础的连接应符合下列规定：

- 1 异形柱柱脚宜采用埋柱式连接，多层结构也可采用端承式连接；
- 2 剪力墙墙脚可采用埋柱式或端承式连接。

6.3.3 排钢管混凝土构件端承式脚部节点应符合下列规定：

1 脚部剪力可由底板与混凝土间的摩擦传递，摩擦系数可取为0.4；当剪力大于摩擦力时，可在底板下设置抗剪件传递剪力；抗剪件可采用型钢或钢板，埋入基础内的深度不宜小于150mm。

2 圆钢管混凝土芯柱底部宜采用套管加强，套管及钢管与底板采用熔透焊缝连接；套管厚度不应小于4mm，高度不宜小于钢管外径；套管与钢管宜用塞焊+角焊缝连接的方式，焊缝承载力不宜低于套管轴向承载力。

3 底板厚度不应小于钢管+套管壁厚之和的1.5倍，且不应小于20mm；底板与基础顶面之间宜设置垫层，垫层宜采用无收缩细石混凝土或铁屑砂浆。

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国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 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 $A_1$ 可取构件的截面面积，局部受压的计算底面积 $A_b$ 可取 $A_b=3A_1$ ，且 $A_1$ 不应大于基础或者桩承台的顶面面积。

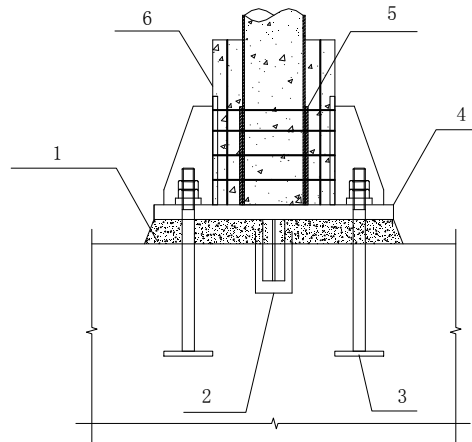


图 6.3.3 端承式连接节点做法

1——细石混凝土；2——抗剪键；3——锚栓；4——底板；5——套管；6——预制件

#### 6.3.4 排钢管混凝土构件埋柱式脚部节点应符合下列规定：

1 圆钢管混凝土芯柱埋入基础混凝土的深度不应小于 $2D$ ， $D$ 为钢管直径；埋入深度还不应小于受拉芯柱对基础产生的向上冲切承载力所需深度。

2 埋入基础混凝土的范围内，圆钢管混凝土芯柱外壁应贴焊环筋；环筋间距不宜大于300mm，且不宜少于3道；环筋极限抗剪承载力应不小于钢管极限抗拉承载力1.2倍。

3 纵筋应焊接到底板上或锚固在基础混凝土内，且应设置箍筋及水平分布钢筋；锚固在基础混凝土内时，锚固长度应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010有关受拉钢筋抗震锚固长度的规定。

#### 4 构造要求：

- 1) 构件可采用整体预制、埋入部分管外混凝土现浇的方式，其中整体预制部分埋入基础深度不宜小于50mm，并宜设置端板局部加强；
- 2) 基础或筏板水平钢筋宜绕过圆钢管混凝土芯柱；
- 3) 安装调节需要时，可在两端和中间部分圆钢管混凝土芯柱的底部设置地脚螺栓，地脚螺栓的数量和规格应根据施工节点的实际荷载情况计算确定，并采用现浇混凝土层或支架固定。

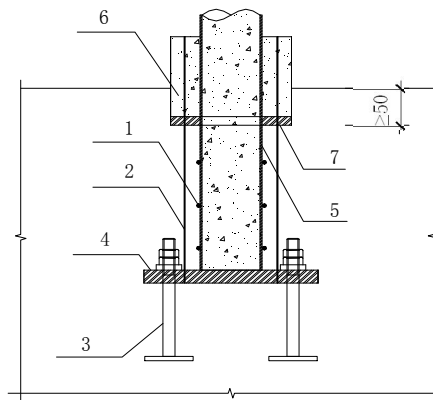


图6.3.4 埋柱式连接节点做法

1——环箍；2——纵筋；3——锚栓；4——底板；5——芯柱；6——预制件；7——端板



## 6.4 框架梁和构件连接节点设计

6.4.1 框架梁与排钢管混凝土构件的刚性连接，抗弯承载力设计值不应小于框架梁的抗弯承载力设计值，极限抗弯承载力应大于框架梁的塑性抗弯能力。

6.4.2 框架梁与排钢管混凝土构件的刚性连接应符合下列规定：

1 节点可按照H型钢柱或箱型柱与框架梁连接节点设计，圆钢管混凝土芯柱等效为H型钢或箱型柱翼缘板，抗剪板按剪切域腹板设计，水平翼缘板按横向加劲肋或水平隔板设计；节点域应按《建筑抗震设计规范》GB 50011的要求验算。

2 水平翼缘板极限承载力不应小于钢梁、钢牛腿的翼缘塑性承载力和连接系数 $\eta_j$ 之积；当钢梁材质为Q235时， $\eta_j$ 取1.4；当钢梁材质为Q345时， $\eta_j$ 取1.3。

3 钢梁、钢牛腿伸入异形柱、剪力墙长度不宜小于梁高。

4 构造要求：

- 1) 水平翼缘板厚度不宜小于钢梁、钢牛腿翼缘厚度；圆钢管混凝土芯柱采用坡口熔透焊缝焊接于水平翼缘板上；
- 2) 抗剪板宜采用双板，位置设置在芯柱两侧，与芯柱钢管搭接等强焊接；
- 3) 端部第一根圆钢管混凝土芯柱节点区域钢管宜加厚；加厚钢管壁厚不宜小于10mm，高度宜比钢梁高200mm；
- 4) 端板厚度不宜小于钢梁翼缘的0.8倍，高度宜比钢梁高度高40mm；水平翼缘板、抗剪板、钢梁或钢牛腿等与端板连接宜采用剖口熔透焊缝；
- 5) 水平翼缘板上下钢管处宜分别贴焊不少于一道环筋；
- 6) 抗震等级为一、二级的框架梁，与排钢管混凝土构件刚接时宜采用端部扩大连接、梁端加盖板或骨形连接；
- 7) 节点区应采用封闭复合箍筋、拉筋；可将箍筋、拉筋穿过型钢腹板搭接焊形成封闭箍筋，相邻箍筋的焊接位置宜错开。

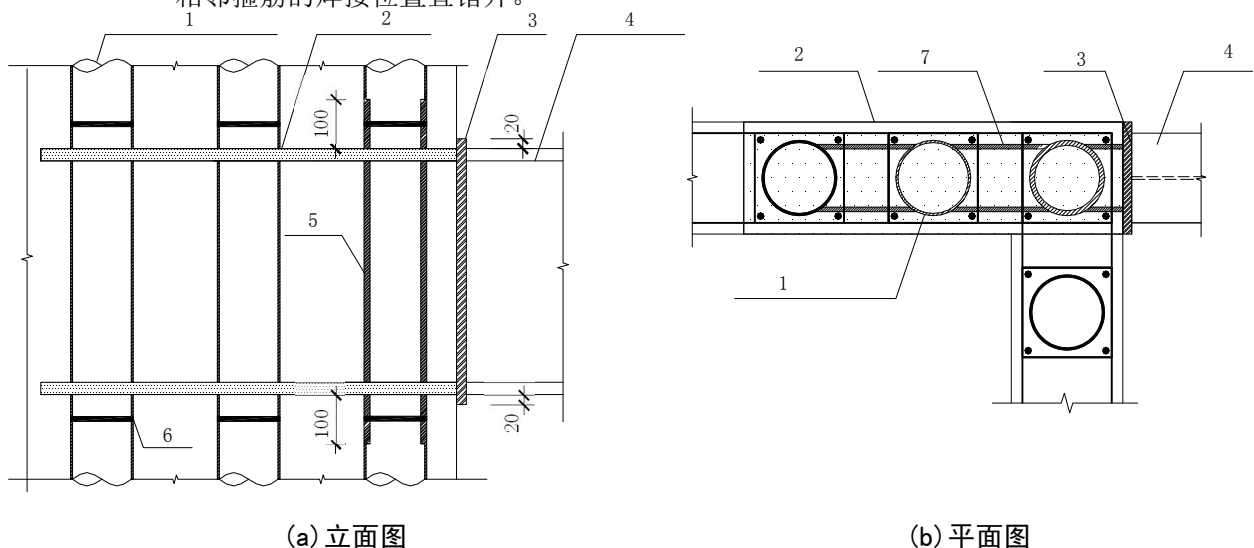


图 6.4.2 框架梁与排钢管混凝土构件刚接节点做法

- 1——圆钢管混凝土芯柱；2——水平翼缘板；3——端板；4——钢梁、钢牛腿；5——钢管加厚段  
6——环筋；7——抗剪板

## 6.5 楼板和构件连接节点设计

6.5.1 叠合楼板与排钢管混凝土构件连接时，应符合下列规定：

1 排钢管混凝土构件作为楼板边支座时，应按简支边考虑楼板的计算边界条件；作为楼板中间支座时，可按固定边考虑楼板的计算边界条件。

2 楼板位置处，圆钢管混凝土芯柱之间宜设置预留孔，预留孔间距不宜大于300mm，高度不宜低于楼板厚度，宽度不宜小于50mm。预留孔内宜设置预埋件，预埋件承载力不宜低于预留孔削弱排钢管混凝土构件的承载力；预埋件内外可设置穿孔钢筋，以满足楼板钢筋锚固要求；预埋件底板支承预制板，外伸长度不宜小于70mm。

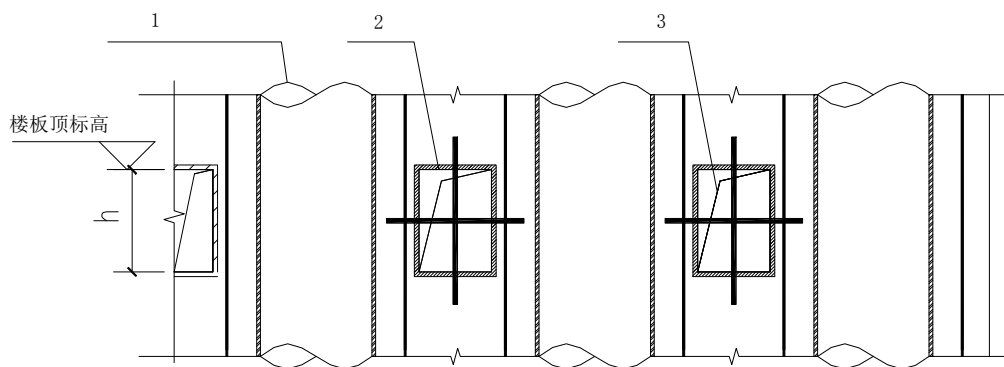


图 6.5.1-1 排钢管混凝土构件预埋件构造

1——圆钢管混凝土芯柱；2——预埋件；3——预留孔

3 预制板端部支承长度不应小于50mm，预制板端部距排钢管混凝土构件距离不宜小于10mm。

4 支座负筋、附加钢筋、分布钢筋的设计、构造等均应满足国家现行标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1的有关要求。

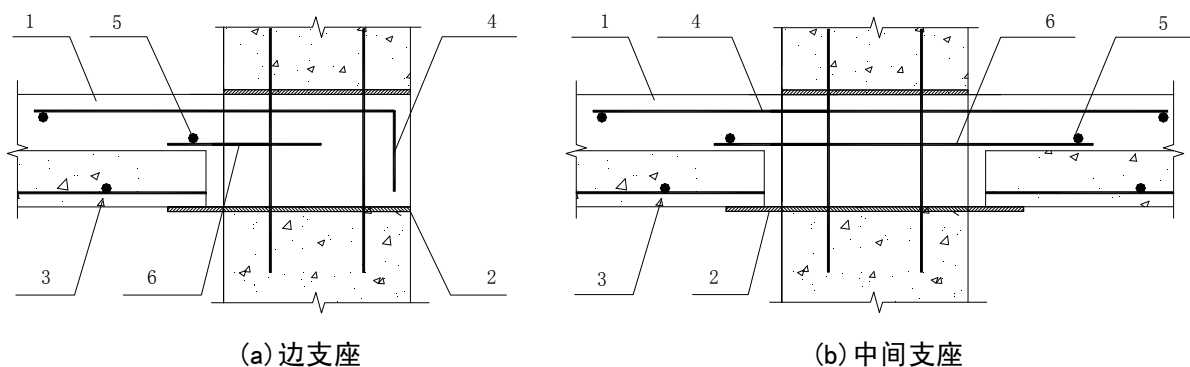


图 6.5.1-2 叠合楼板与排钢管混凝土构件连接节点

1——叠合层；2——预埋件；3——预制层；4——支座负筋；5——分布钢筋；6——附加钢筋

6.5.2 全预制楼板与排钢管混凝土构件连接时，应符合下列规定：

1 排钢管混凝土构件作为楼板支座时，应按简支边考虑楼板的计算边界条件。

2 楼板位置处，排钢管混凝土构件宜设置T形楼板支承；楼板支承高度不宜小于楼板厚度，底部宽度不应小于预制板支承长度、U形筋锚固长度及安装误差之和，楼板支承腹板间距不宜大于300mm，高度

不宜小于楼板厚度，腹板预留孔洞供穿孔筋穿过；穿孔筋数量不应少于2根，直径不宜小于8mm，且抗剪承载力不宜低于U形筋抗拉承载力。

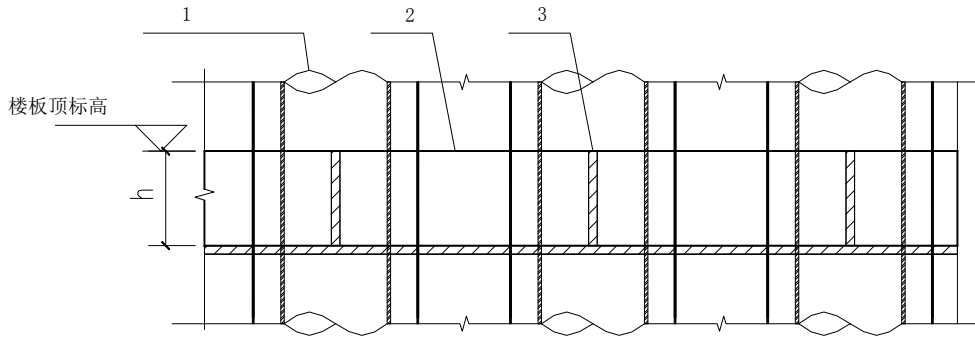
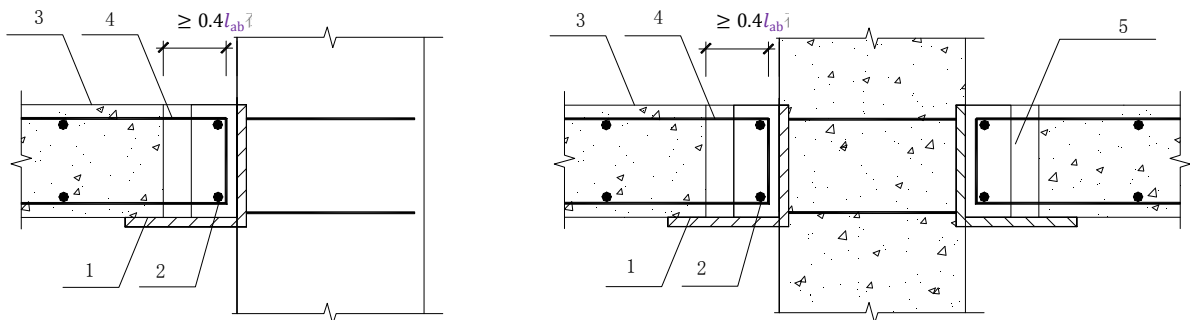


图 6.5.2-1 排钢管混凝土构件预埋件构造

1——圆钢管混凝土芯柱；2——抗剪键；3——加劲板

3 预制板端部支承长度不应小于50mm；预制板外伸钢筋宜U形设置，从板端伸出并锚入后浇混凝土中，锚固长度不应小于 $0.4l_{ab}$ 。

4 节点区混凝土宜采用自密实混凝土，强度等级不应低于C30。



(a) 边支座

(b) 中间支座

图 6.5.2-2 全预制楼板与排钢管混凝土构件连接节点

1——楼板支承；2——穿孔筋；3——预制板；4——U型筋；5——节点区现浇

6.5.3 叠合楼板与梁之间的连接应符合下列规定：

1 边梁作为楼板边支座时，应按简支边考虑楼板的计算边界条件；中间梁作为楼板支座时，可按固定边考虑楼板的计算边界条件。

2 预制板端部支承长度不应小于50mm；预制板内的板底钢筋宜从板端伸出并锚入后浇混凝土中，锚固长度不应小于 $5d$  ( $d$ 为板底钢筋直径)，且宜伸过支座中心线，末端宜采用弯钩或机械锚固措施。

3 支座负筋、分布钢筋的设计、构造等均应满足国家现行标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1的有关要求。

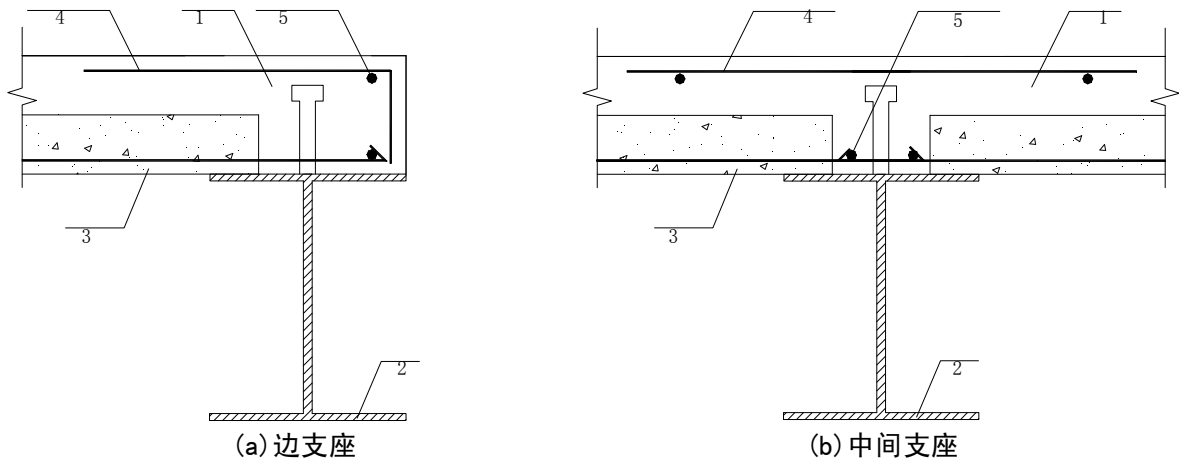


图 6.5.3 叠合楼板与梁连接节点

1——叠合层；2——梁；3——预制层；4——支座负筋；5——分布钢筋

#### 6.5.4 全预制楼板与梁之间的连接应符合下列规定：

1 边梁作为楼板边支座时，应按简支边考虑楼板的计算边界条件；中间梁作为楼板支座时，可按固定边考虑楼板的计算边界条件。

2 预制板端部支承长度不应小于50mm；预制板内的钢筋宜U形设置，从板端伸出并锚入后浇混凝土中。对于边梁支座，锚固长度不应小于 $0.4l_{ab}$ ；对于中间梁支座，U形钢筋搭接长度不应小于 $l_a$ 。

3 构造钢筋直径不宜小于8mm，且抗剪承载力不宜低于U形筋抗拉承载力。

4 节点区宽度不宜小于100mm；节点区混凝土宜采用自密实混凝土和高强混凝土，采用超高性能混凝土（UHPC）时应有可靠依据。

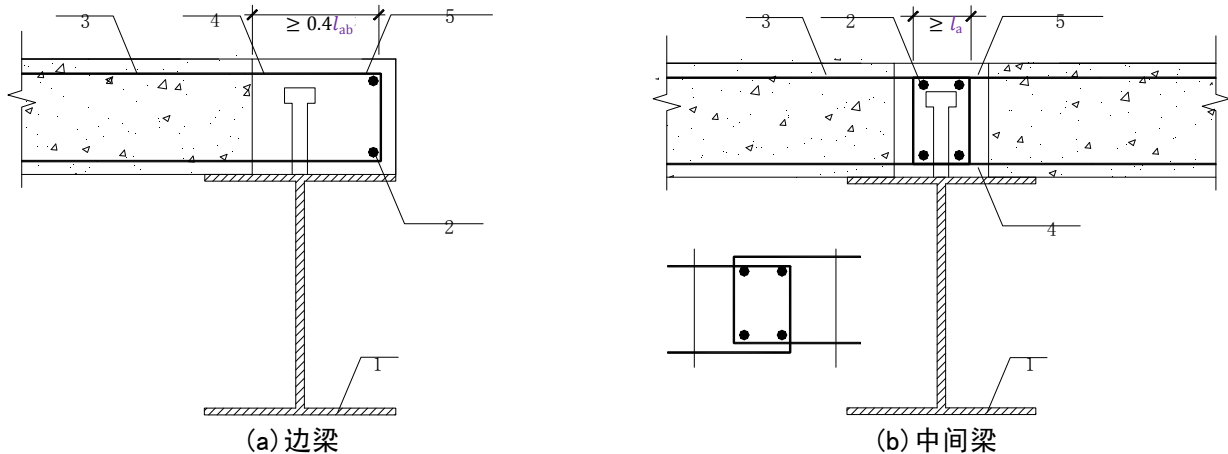


图 6.5.4 全预制楼板梁连接节点

1——梁；2——构造钢筋；3——预制板；4——U型筋；5——节点区现浇

#### 6.5.5 钢筋混凝土框架梁上部钢筋较多时，可将上部纵向钢筋布置在楼板内，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 钢筋面积不宜超过梁端上部钢筋总面积的20%；
- 3 钢筋直径不宜小于16mm；

4 钢筋应与垂直布置的板面钢筋绑扎，且梁端不小于500mm及 $1.5h_b$ （ $h_b$ 为梁截面高度）较大者的长度范围楼板内宜配置箍筋，箍筋直径不宜小于8mm，间距不宜大于150mm。

## 7 制作、运输和安装

### 7.1 制作

7.1.1 制作单位应具备相应的生产工艺设施，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。

7.1.2 排钢管混凝土预制构件制作前，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。

7.1.3 排钢管混凝土构件中的管外混凝土部分宜采取工厂或现场专用场地预制的方式，也可采取安装主钢构件后现场支模浇筑的方式。

7.1.4 排钢管混凝土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 排钢管混凝土预制构件外形尺寸图、配筋图、吊件、型钢及埋件的细部构造图等；
- 2 排钢管混凝土预制构件脱模、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 排钢管混凝土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。

7.1.5 排钢管混凝土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。

7.1.6 排钢管混凝土预制构件模具尺寸、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国家现行标准《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。

7.1.7 排钢管混凝土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规范》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。

7.1.8 钢筋宜采用自动化加工设备加工；钢筋半成品、钢筋网片、圆钢管和连接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 的相关规定；圆钢管、钢筋网片、钢筋及连接件加工的允许偏差应符合表 7.1.8 的规定。

表 7.1.8 圆钢管、钢筋网片、钢筋及连接件加工允许偏差

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
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

续表 7.1.8

项次	检验项目及内容	允许偏差 (mm)	检验方法
连接件	壁厚	0, 0.5	卡尺
	长度	2, -2	用钢尺量
	中心定位	1, -1	用钢尺量

7.1.9 排钢管混凝土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、连接钢板和钢筋的牌号、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。

7.1.10 排钢管混凝土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、连接件不发生变形或移位、外露钢连接件外露部分不被沾污。

3 排钢管混凝土预制构件采用洒水、覆盖等方式进行常温养护时，应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的要求。排钢管混凝土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排钢管混凝土预制构件结合面，制作时应按设计要求进行粗糙面处理。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。

7.1.11 排钢管混凝土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。

7.1.12 排钢管混凝土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。

7.1.13 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。

7.1.14 排钢管混凝土结构构件制作完毕后，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。

## 7.2 运输

7.2.1 排钢管混凝土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。

7.2.2 排钢管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。

7.2.3 排钢管混凝土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。

7.2.4 排钢管混凝土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排钢管混凝土构件的钢连接件。

### 7.3 安装

7.3.1 排钢管混凝土构件的安装应符合国家现行标准《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国家现行标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

7.3.2 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。

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

7.3.4 排钢管混凝土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 吊装及安装耳板的承载力验算；
- 3 吊装用吊具的相关验算；
- 4 构件临时固定措施的安全验算。

7.3.5 排钢管混凝土结构构件在安装施工前，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，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，应根据试安装结果及时调整完善施工方案和施工工艺。

7.3.6 排钢管混凝土预制构件的安装，应符合下列要求：

- 1 预制构件吊装就位后，应及时校准并采取临时支撑固定措施。
- 2 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环或吊钉，应进行吊装受力及重心位置验算。
- 4 上下层构件型钢、钢筋定位应上下对齐，保证传力直接可靠。



5 构件临时加固验收合格后，才能进行后续施工。

7.3.7 排钢管混凝土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规范》GB 50205 和现行行业标准《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；排钢管混凝土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规范》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

7.3.8 排钢管混凝土结构构件预留的节点后浇区域在现场进行补浇之前，应进行隐蔽工程验收，验收内容除满足 7.1.9 条内容外，尚应额外增加以下验收内容：

- 1 主钢件焊缝连接及焊接需符合设计图纸及国家现行标准《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国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 有关要求。

7.3.9 后浇混凝土的施工应符合下列规定：

- 1 排钢管混凝土结构构件拼接预留混凝土后浇区完成时间应依据主体结构施工验算而确定。
- 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<sup>2</sup>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。

7.3.10 排钢管混凝土异形柱、剪力墙竖向连接节点及梁柱、梁墙连接节点等局部无混凝土保护部位，应进行底漆涂装。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国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

## 8 施工验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 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。

8.1.2 排钢管混凝土结构构件与现场焊接、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规范》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。

8.1.3 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。

8.1.4 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。

8.1.5 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规范》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规范》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。

8.1.6 排钢管混凝土结构紧固件连接工程应按国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 规定的质量验收方法和质量验收项目执行，同时应符合现行标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。

8.1.7 钢结构防腐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及验收规范》GB 50212、《建筑防腐蚀工程质量检验评定标准》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。

8.1.8 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、排钢管混凝土预制构件制作和安装的深化设计图；

2 排钢管混凝土预制构件、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 排钢管混凝土构件安装施工记录；

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 排钢管混凝土结构分项工程质量验收文件；

7 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 排钢管混凝土工程的其他文件和记录。

### 8.2 构件验收

8.2.1 排钢管混凝土预制构件进场时，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。

8.2.2 排钢管混凝土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 排钢管混凝土结构加工图纸；
- 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实验报告；
- 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。

8.2.3 排钢管混凝土结构构件的外形和几何尺寸的允许偏差应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》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。

8.2.4 排钢管混凝土构件的焊缝外观质量、超声波探伤检查、环箍的位置及焊接质量应符合国家现行标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

8.2.5 排钢管混凝土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。

8.2.6 排钢管混凝土结构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。

8.2.7 制作单位生产的排钢管混凝土预制构件进场时，预制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、抗裂和挠度检验。
- 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，进场时可不做结构性能检验。
- 4 对进场时不做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钢管和钢筋的数量、规格、间距、保护层厚度及混凝土强度等进行实体验检。

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验检报告。

### 8.3 安装验收

8.3.1 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，应符合国家现行标准《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国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

8.3.2 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。

8.3.3 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规范》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。

8.3.4 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

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规范》GB 5025 的有关规定进行质量验收。

**8.3.5** 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、钢连接件、预埋件、预留管线的规格、数量、位置；
- 5 钢管、钢连接件焊接；
- 6 其他隐蔽项目。

## 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用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《工程结构通用规范》GB 55001
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
- 3 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003
- 4 《组合结构通用规范》GB 55004
- 5 《钢结构通用规范》GB 55006
- 6 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 7 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 8 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 9 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 10 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 11 《钢结构设计标准》GB 50017
- 12 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 13 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 14 《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》GB 50212
- 15 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 16 《建筑防腐蚀工程质量检验评定标准》GB 50224
- 17 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 18 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 19 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 20 《钢结构施工规范》GB 50755
- 21 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
- 22 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 23 《电弧螺柱焊用圆柱头栓钉》GB/T 10433
- 24 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 25 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 26 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 27 《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149
- 28 《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203
- 29 《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251
- 30 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
- 31 《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014
- 32 《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188

西藏自治区地方标准

装配式排钢管混凝土结构技术规程

DBXX

条文说明

## 目 次

1	总则	53
2	术语和符号	53
2.1	术语	53
3	基本规定	54
3.1	一般规定	54
3.2	材料	54
3.3	结构计算	55
4	异形柱设计	56
4.1	一般规定	56
4.2	承载力计算	56
4.3	构造要求	57
5	剪力墙设计	58
5.1	一般规定	58
5.2	承载力计算	58
5.3	构造要求	59
6	节点设计	59
6.1	一般规定	59
6.2	排钢管混凝土构件拼接节点	60
6.3	排钢管混凝土构件脚部节点	60
6.4	框架梁和排钢管混凝土构件连接节点	61
6.5	楼板和排钢管混凝土构件连接节点	61
7	制作、运输和安装	62
7.1	制作	62
7.3	安装	62



## 1 总则

1.0.1 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优点，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，适用于国内各种户型。

装配式排钢管混凝土结构竖向构件可采用排钢管混凝土异形柱、排钢管混凝土短肢剪力墙、或者排钢管混凝土剪力墙，水平构件可采用钢梁、钢筋混凝土梁、型钢混凝土梁或混合梁等；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，包括排钢管混凝土构件浇筑试验、排钢管混凝土构件拼装和焊接工艺试验、排钢管混凝土剪力墙抗震性能试验、排钢管混凝土异形柱轴压性能试验、排钢管混凝土构件与钢梁刚接节点抗震性能试验等，并进行了大量的数值分析。这些研究成果为规程制定提供了依据。

1.0.2 目前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。西藏自治区拉萨市当雄县、林芝市墨脱县均为9度抗震设防区，上述地区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、施工及验收。

1.0.3 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

2.1.5 排钢管混凝土剪力墙的轴心受压承载力由圆钢管混凝土芯柱和外围钢筋混凝土两部分组成，研究表明（方晓丹等. 钢管高强混凝土剪力墙轴压承载力研究[J]，建筑结构学报，2016, 37(8):11~22）：排钢管混凝土剪力墙在轴压荷载作用下破坏始于混凝土保护层的压溃，试件达到承载能力极限状态后，由钢管混凝土和钢管间箍筋约束混凝土共同提供残余承载力；随着钢管间混凝土体积配箍率的提高，钢管混凝土的套箍效应利用系数会增大；当钢管间混凝土体积配箍率达到4%时，钢管混凝土的套箍效应可得到充分发挥。

排钢管混凝土构件中，钢管间混凝土体积配箍率约在0.6%~2.0%之间，圆钢管混凝土芯柱的套箍效应不能充分发挥。为保证排钢管混凝土构件在轴心受压荷载作用下的安全度和延性，构件在管外混凝土压溃的情形下仍具有较高承载力，对圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数提出严格要求，规定其取值在0.7~0.9之间。圆钢管混凝土芯柱承载力占排钢管混凝土截面承载力比例较高，管外混凝土压溃后，圆钢管混凝土芯柱与管外混凝土残余承载力之和比原截面承载力略低、持平或略高，从而保证排钢管混凝土构件在轴心受压荷载作用下的安全度和延性。

排钢管混凝土构件中圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数在0.7~0.9之间，远高于型钢混凝土构件中型钢工作承担系数（0.3左右）；排钢管混凝土构件的延性、变形能力均较型钢混凝土构件高出较多。

2.1.6 本规程推荐用混合梁：中间段为钢筋混凝土梁，两端设有有一定长度的型钢接头，梁纵向受力钢筋与型钢接头有效焊接，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。混合梁

构造可参考《装配式劲性柱混合梁框架结构技术规程》JGJ/T 400的有关规定；为便于预制楼板支承在混合梁上，混合梁内箍筋可不伸出，另设抗剪连接件连接楼盖结构。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

3.1.3 排钢管混凝土异形柱结构的最大适用高度参考现行标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中的相关规定。

排钢管混凝土剪力墙结构参考现行标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中对钢管混凝土剪力墙结构体系最大适用高度的规定，并从严要求。

3.1.4 排钢管混凝土异形柱结构构件的抗震等级参考现行标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中的相关规定，并适当从严。

排钢管混凝土剪力墙结构构件的抗震等级参考现行标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中相关规定。

3.1.5 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芯柱，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水平拼接区，采用现浇形式或整体预制形式。

3.1.8 参考《高原装配式钢结构建筑技术标准》DBJ 540003的有关条文，本规程规定抗震烈度为8度且房屋高度不超过24m时，可采用装配整体式楼盖。

装配整体式楼盖（葛磊. 新型装配整体式楼盖平面内工作性能试验研究[D]，西安：西安建筑科技大学，2016）是指在装配式楼盖的预制板吊装就位后，在其上后浇一层钢筋混凝土，两者形成整体式楼盖共同工作；也可以在预制板侧设置配筋混凝土后浇带，并设置负弯矩钢筋，板的周边沿拼缝设置拉结钢筋与支座连接，以这种湿连接的方式加强楼盖的整体性，提高楼盖的平面内刚度和抗震性能。

3.1.9 西藏自治区均为中、高地震烈度设防地区，宜优先采用隔震或消能减震技术。在装配式排钢管混凝土结构中，可采用粘滞阻尼器、粘弹性阻尼器、金属阻尼器、内填带竖缝钢筋混凝土墙板、波纹腹板钢连梁等消能减震技术。

#### 3.2 材料

3.2.1 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类。

3.2.2 应鼓励在预制构件中采用钢筋焊接网，以提高建筑的工业化生产水平。

3.2.3 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。

圆钢管混凝土芯柱管内混凝土在工厂浇筑时，质量可控，宜进一步提高其强度等级；且管内混凝土强度等级为管外的1.5倍以上时，排钢管混凝土构件对管外混凝土的依赖性降低，排钢管异形柱、剪力墙抗震性能进一步提高。

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中，圆钢管径厚比在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芯柱的延性, 具有优越的抗震性能。

排钢管混凝土构件浇筑试验表明, 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; 鉴于施工现场浇筑的不确定性, 后浇混凝土宜采用自密实混凝土或对工艺试验提出严格要求。

**3.2.4** 钢管对管内混凝土的约束效果与混凝土强度等级、钢管钢材强度等有关, 对于强度高的混凝土, 应采用钢材强度高的钢管, 若采用钢材强度低的钢管, 为达到相同的约束效果, 则需要增加钢管壁的厚度。管内混凝土强度等级确定后, 可通过计算钢管混凝土短柱的轴心抗压强度, 优化钢管钢材强度及钢管壁厚。

### 3.3 结构计算

**3.3.5** 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。对于混合梁型钢节点区域, 可考虑型钢外包混凝土对钢牛腿的刚度增大作用。

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

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

**3.3.8** 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。表3.3.8中的弹性层间位移角限值参考了国内、国外相关标准的规定。采用型钢混凝土梁的结构, 其弹性层间位移角限值与采用钢筋混凝土梁的结构的弹性层间位移角限值相同。

**3.3.9** 参考现行标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中相关规定。钢管混凝土芯柱轴心受压时, 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芯柱的弹塑性变形能力。

**3.3.10** 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)。

结构体系的抗震性除了竖向构件因素外, 水平钢梁的影响也很大。通常情况下, 当竖向结构为钢结构时, 结构体系采用钢筋混凝土梁时, 其弹性层间位移角限制参照钢筋混凝土结构并适当放松; 当采用钢-混凝土组合梁时, 其弹性层间位移角参照纯钢结构并适当加严。

《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》中, 采用钢梁的叠合柱框架、叠合柱框架-支撑弹性层间位移角限值为 $1/350$ 、弹塑性层间位移角限值为 $1/50$ ; 采用钢梁的叠合柱框架-核心筒 (下部不少于 $1/3$ 总层数的楼层采用叠合柱及钢梁的结构) 弹性层间位移角限值为 $1/500$ 、弹塑性层间位移角限值为 $1/100$ 。

3.3.11 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。

## 4 异形柱设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 钢筋混凝土异形柱结构是以T形、L形、十形等异形截面柱代替一般框架柱作为竖向承重构件而构成的结构，以避免框架柱在室内凸出，少占建筑空间，改善建筑观瞻，为建筑设计及使用功能带来灵活性和方便性。

为了克服装配式混凝土异形柱结构承载能力不足、轴压比限值过低、抗震性能不理想等缺陷，将圆钢管混凝土芯柱与混凝土组合结构引入异形柱结构显得尤为必要。装配式排钢管混凝土异形柱是钢筋混凝土异形柱与圆钢管混凝土芯柱相结合的产物，其结构柱采用异形截面，主要配置圆钢管混凝土芯柱并配有适量的纵向钢筋和箍筋，然后浇筑混凝土把圆钢管混凝土芯柱包裹在里面。

排钢管混凝土异形柱与常规矩形柱在截面特性、内力和变形特性、抗震性能等方面的显著差异，导致在排钢管混凝土异形柱结构的设计与施工中存在一些不容忽视的问题，在我国现行规范均未涉及。随着异形柱结构在各地逐渐推广应用，需要不断补充完善异形柱结构的国家和行业标准，提供指导异形柱结构设计施工、工程审查及质量监控的依据。国内高等院校、设计、研究单位对排钢管混凝土结构的基本性能、设计方法、构造措施及工程应用等方面进行了大量的科学研究与工程实践，这些研究成果为规程制定提供了依据。

4.1.2 参考现行标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS 188中相关规定；异形柱柱肢厚度较薄，为避免混凝土梁钢筋过多造成节点混凝土浇筑、钢筋锚固等问题，要求节点处均采用钢牛腿连接。

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

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

### 4.2 承载力计算

4.2.1 参考现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 附录D的做出上述规定。当异形柱层高较大时，其整体失稳可能先于各柱肢局部失稳，应进行异形柱的整体稳定性验算。考虑到混凝土材料的弹塑性、荷载的长期性及荷载偏心距等因素的综合影响，要求柱顶荷载设计值不大于异形柱线弹性屈曲临界荷载的1/8，做出上述规定。

4.2.2 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间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。

4.2.6 排钢管混凝土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。

4.2.10 公式与《高层建筑混凝土结构技术规程》中对一级抗震等级剪力墙水平施工缝的抗剪验算公式相同，主要采用剪摩擦的原理，考虑了钢筋、钢管和轴力的共同作用。

### 4.3 构造要求

4.3.1 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，圆钢管混凝土芯柱截面偏小，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。

#### 4.3.2

##### 第1条：

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, Vol137 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 $(c_s)_{\min} = b_f / (0.6^4 \sqrt{\eta} \sqrt{E_c} / f_c)$ ，其中 $\eta$ 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 ( $b_f/c_s$ ) <sub>cr</sub>	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 $(c_{\min})_{cr} = 0.28b_f$

#### 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4.3.2-1。

### 第3条：

参考现行标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》T/CECS188中相关规定。

### 第4条：

圆钢管混凝土芯柱外混凝土保护层厚度偏薄，且管外混凝土极限变形能力低于圆钢管混凝土芯柱；为保证管外混凝土退出工作后结构的承载力和延性，规定圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数最低值。

### 第5条：

钢管约束UHPC短柱的承载力大于钢管承载力与核心UHPC承载力之和，试件承载力提高系数介于1.2~1.4之间，其随着套箍系数的增大而增大；其承载力计算公式可参考如下： $N_i = f_{ci} A_{ci} (1.31 + 1.1\theta - 0.24\theta^2)$ （韦建刚等. 圆钢管约束超高性能混凝土短柱轴压受力性能研究[J], 建筑结构学报）。

### 第6条：

考虑到排钢管混凝土异形柱受力以圆钢管芯柱为主的特点，并参考现行标准《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。

4.3.3 排钢管混凝土异形柱轴心抗压承载力由圆钢管混凝土芯柱控制，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。

4.3.4 参考现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149及中相关规定。

4.3.6 参考现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149及现行标准《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，增强排钢管混凝土异形柱的延性。

4.3.7 参考现行标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149及现行标准《型钢混凝土异形柱结构技术标准》T/CSCS 014中相关规定。由于异形柱内圆钢管芯柱的设置，箍筋肢距略有放松；考虑到管外混凝土的延性，每根纵向钢筋均设置箍筋或拉筋。

4.3.10 参考现行标准《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。

## 5 剪力墙设计

### 5.1 一般规定

5.1.2 参考现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中相关规定；为加强结构的抗震性能及变形能力，连梁采用耗能能力较强的钢连梁，钢连梁可采用波纹腹板钢连梁等剪切耗能构件。

5.1.4 参考现行标准《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。

5.1.5 参考现行标准《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；调整的目的是使剪力墙屈服尽可能发生在弹性变形能力大的底部加强部位。

### 5.2 承载力计算

5.2.1 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,圆钢管混凝土芯柱可继续承担轴向压力而不失稳,其稳定性优于混凝土剪力墙;偏安全的,其稳定性可参考现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 附录D进行验算。

### 5.3 构造要求

5.3.1 参考现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3中相关规定。

5.3.2 参考现行标准《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。

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

相对于上述标准,本规程规定剪力墙约束边缘构件内排钢管含管率不宜小于4%,圆钢管混凝土芯柱的工作承担系数不宜小于0.8,相对于钢管混凝土剪力墙进一步提高要求,增强排钢管剪力墙塑性较区延性。

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,确保剪力墙塑性较的充分发展。

5.3.4 参考现行标准《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。

5.3.5 参考现行标准《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。

5.3.6 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;圆钢管混凝土芯柱两侧均配置竖向钢筋,竖向钢筋根据构造数量最少值增加为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。

5.3.7 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;圆钢管混凝土芯柱两侧均配置竖向钢筋,竖向钢筋根据构造数量最少值增加为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。

5.3.8 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 节点设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 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。

## 6.2 排钢管混凝土构件拼接节点

6.2.1 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；异形柱整体预制，确保异形柱整体性；剪力墙边缘构件整体预制，竖向接缝设置在非边缘构件部位，确保边缘构件的整体性；剪力墙非边缘构件预制段内设置圆钢管混凝土芯柱，可保证非边缘构件水平接缝的抗剪和抗拉能力的可靠性。

6.2.2 圆钢管混凝土芯柱内为高强混凝土和超高强混凝土，为保证浇筑质量，管内混凝土工厂预制；芯柱之间连接面为面面硬接触，普通灌浆很难浇筑密实；鉴于芯柱的重要性，排钢管混凝土构件采用灌浆套管连接或十字板连接。

6.2.3 装配式排钢管混凝土为空腹构件，圆钢管混凝土芯柱之间联系偏弱；为增强排钢管混凝土构件的整体性，采用预制件端板通长布置方式；此外，端板还可作为节点的转换钢板，以及预制件混凝土浇筑的端部模板。

节点区高度应满足施工空间要求。

6.2.4 装配式排钢管混凝土构件中，圆钢管混凝土芯柱尺寸相对较小，钢管直径在108mm~180mm之间；采用十字板承担圆钢管混凝土芯柱全部竖向承载力时，十字板厚度约为钢管壁厚的2~3倍，传力相对直接；此外，十字板转换节点占用空间小，可采用螺栓连接，作为装配式排钢管混凝土结构全螺栓连接节点使用。

十字板连接节点的极限承载力与圆钢管混凝土芯柱受压承载力相近，未考虑节点区后浇混凝土强度，是偏安全的。

6.2.5 排钢管混凝土剪力墙竖向接缝与预制混凝土剪力墙竖向接缝构造相同，竖向接缝区域均为平面，无异形浇筑区，方便现场施工；此外，除预制件上、下端板需连接外，钢结构无需现场连接，可简化现场工作量。

## 6.3 排钢管混凝土构件脚部节点

6.3.1 参考现行标准《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。

罕遇地震作用下，排钢管混凝土构件的墙肢、柱肢可能会受拉，仅取多遇地震作用下脚部组合轴力设计值或只按受弯来进行连接的极限抗弯承载力验算有时会造成连接偏弱，因此提出连接的极限抗拉承载力不应小于构件的塑性抗拉承载力的要求。

6.3.2 《钢结构设计标准》GB 50017规定多层结构框架柱尚可采用外露式柱脚，据此，本规程对排钢管混凝土构件端承式连接适用范围进行规定。

参考《钢管混凝土束结构技术标准》T/CECS 546的规定，钢管混凝土束剪力墙与基础可采用锚筋式连接或埋柱式连接，具体形式选用可根据计算结果确定。

6.3.3 圆钢管混凝土芯柱底部宜采用套管加强，一是可以加强排钢管与底板的连接焊缝，二是使构件底部的塑性铰上移。

6.3.4 排钢管混凝土埋柱式脚部节点与埋入式钢柱脚的传力方式有所不同。埋入式钢柱脚依靠埋入基础的柱段上下与基础的水平挤压力形成力偶来平衡柱底弯矩；排钢管混凝土埋柱式脚部节点则是依靠圆钢管混凝土芯柱的竖向拉压力及基础对构件底板的反力形成的力偶来平衡构件底部弯矩。



受拉区或受压区各圆钢管混凝土芯柱距离较近时，其对基础的冲切破坏锥体可能相交，此时应验算各芯柱对基础的联合冲切作用，并考虑各芯柱轴力不同产生的影响。冲切计算时，忽略芯柱上环箍的抗剪作用。

芯柱的埋深及环箍设置的构造参考了埋入式或外包式柱脚的相关要求。

#### 6.4 框架梁和排钢管混凝土构件连接节点

6.4.1 强震作用下梁端可能会出现塑性铰，除按照构件的抗弯承载力设计值验算连接的抗弯承载力设计值外，尚需按构件的塑性抗弯承载力验算连接的极限抗弯承载力。

6.4.2 传力模式与普通框架梁、剪力墙传力方式有所不同。普通框架梁依靠锚定剪力墙混凝土、钢筋或型钢的拉压力形成力偶来平衡框架梁的弯矩，传递至剪力墙远端；钢梁埋入式节点依靠埋入式钢梁与异形柱或剪力墙边缘构件拉压力形成力偶来平衡框架梁弯矩。

框架梁与异形柱、剪力墙的刚性连接采用钢梁埋入式节点原因如下：1、剪力墙边缘构件圆钢管混凝土芯柱的刚度、承载力较高，框架梁弯矩形成的拉压力直接传递至芯柱，难以传递至剪力墙远端；2、剪力墙预制件竖向高度为1~4层，剪力墙均设置竖向拆缝，框架梁型钢延伸至剪力墙远端连接复杂；3、埋入式钢梁把圆钢管混凝土芯柱连接成整体，可避免圆钢管混凝土芯柱空腹式布置整体性差的缺点。

为保证钢梁埋入式节点的传力可靠性和大震梁端塑性铰产生的可靠性，规定钢梁埋入异形柱、剪力墙长度不宜小于梁高。

端板的设置可以给予钢梁设计、施工的灵活性，端板外侧可根据设计需求采用钢牛腿或整根钢梁；此外，端板做为钢梁的转换构件，端板内侧水平翼缘板相对于外侧钢梁翼缘可加宽，端板内侧设置竖向抗剪双板，除传递钢梁剪力外，还可作为立板传递部分钢梁翼缘应力。

抗剪双板沿圆钢管混凝土芯柱设置，可减弱抗剪板对圆钢管的径向撕裂作用，保证圆钢管混凝土芯柱套箍作用的完整性；此外，抗剪板设置双板，可减少抗剪板厚度，便于与圆钢管混凝土芯柱等强焊接。

采用端部扩大形连接、梁端加盖板或骨形连接的目的是将塑性铰自梁端外移；箍筋、拉筋穿过型钢腹板时，型钢腹板孔洞可作为混凝土浇筑孔，保证腹板内混凝土浇筑密实；节点域受剪承载力计算时未考虑混凝土作用，偏安全。

#### 6.5 楼板和排钢管混凝土构件连接节点

6.5.4 对于中间支座，两侧板底纵向受力钢筋采用搭接连接（100%搭接），其搭接长度为 $1.6l_a$ ；U型互锁钢筋（锚固性能优于钢筋端部带 $90^\circ$ 或 $135^\circ$ 弯钩），其搭接长度为 $1.6l_a \times 0.6 = 0.96l_a$ 。

中间梁宽度受限，采用普通混凝土时钢筋锚固长度要求较长，中间梁宽度难以满足设计要求；采用高强混凝土可减少钢筋锚固长度，减少现场混凝土浇筑量，符合装配式建筑发展理念。

已有研究表明：钢筋与超高性能混凝土（UHPC）的粘结性能优于钢筋与普通混凝土间的粘结性能，超高性能混凝土中钢筋锚固长度可按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010执行，混凝土抗拉强度可按照超高性能混凝土轴心抗拉初裂强度设计值 $3.9\text{MPa}$ 取值。

6.5.5 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。一般情况，梁的有效翼缘宽度可取梁两侧各6倍板厚的范围。

抗震设计时，梁的有效翼缘宽度范围内配置的纵筋不宜过多，对于一、二级抗震等级框架结构，梁的有效翼缘宽度范围内纵筋占梁端截面上部纵筋总量的比例不宜超过30%（边梁15%），对三、四级抗震等级不宜超过40%（边梁20%）；对于框架-剪力墙结构的框架，该比例可适当减小。

## 7 制作、运输和安装

### 7.1 制作

7.1.3 排钢管混凝土构件中圆钢管混凝土芯柱内浇筑高强或超高强混凝土，为保证浇筑质量，管内混凝土宜采用工厂预制的方式。管外混凝土宜根据工厂情况选取最优方案。

7.1.4 排钢管混凝土构件尺寸规则、模数化，模板可多次重复利用；可采用平模或立模，可根据生产场地等综合确定。

7.1.7 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。

7.1.10 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。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。钢管内混凝土浇筑后，应覆盖上部外露部分并浇水养护。

当采用高强混凝土时，应在浇筑前进行配合比设计，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。

7.1.11 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。

### 7.3 安装

7.3.1 排钢管混凝土构件拼接节点、柱-梁节点、墙-梁节点与纯钢结构类似，因此排钢管混凝土构件安装时可参考钢结构构件的安装方法。

7.3.4 排钢管混凝土构件由于预制混凝土的存在，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。

7.3.6 上、下排钢管混凝土预制构件现场拼接时，可采用可拆卸式耳板临时固定排钢管混凝土预制构件；布置耳板时，每片排钢管混凝土构件至少布置一对耳板，异形柱、剪力墙边缘构件至少布置两对耳板。

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

7.3.10 外露的钢板表面除锈等级应符合设计要求。当设计无要求时，裹入混凝土内的钢管表面可不作处理。