

装配式方钢管混凝土组合异形柱

l-shaped columns
tubes

– 03 – 01 实施

联合发布

山东省工程建设标准

装配式方钢管混凝土组合异形 柱结构技术规程

Technical code for assembled structure with special-shaped
columns comprising square concrete-filled steel tubes

DB37/T 5023—2021

主编单位：山东萌山钢构工程有限公司

山东建筑大学

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

施行日期：2022 年 03 月 01 日

中国建材工业出版社

2021 济 南

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局关于印发《2018 年第二批山东省工程建设标准制修订计划》的通知（鲁建标字〔2018〕17 号）的要求，由山东萌山钢构工程有限公司、山东建筑大学会同有关单位开展了山东省地方标准《装配式方钢管混凝土组合异形柱结构技术规程》的编制工作。

本规程在编制过程中，经过广泛调查研究，参考国内外先进标准和相关技术指南，结合山东省装配式钢结构建筑发展的需要，总结并吸收了国内外有关装配式方钢管混凝土组合异形柱结构的理论研究成果和成熟工程应用经验，经认真讨论和修改编制了本规程。

本规程共分 9 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、结构计算分析、构件设计、节点设计、防护设计、制作和施工、验收。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理。由山东建筑大学、山东萌山钢构工程有限公司负责具体技术内容的解释。请各单位和个人在本规程执行过程中及时总结经验、积累资料，并将有关经验和建议反馈给编制组，以便进一步修订完善。意见或建议请寄交：山东建筑大学省级绿色建筑钢结构工程技术研究中心（地址：济南市临港开发区凤鸣路山东建筑大学土木工程学院，邮编：250101，邮箱：xuejunzhou@126.com 电话：18653168789）。

主 编 单 位：山东萌山钢构工程有限公司

山东建筑大学

参 编 单 位：西安建筑科技大学

山东宁大建设集团有限公司

山东金宇杭萧装配建筑有限公司

山东宏跃网架钢结构有限公司

山东华亿钢机股份有限公司

青岛义和钢构有限公司

本规程主要起草人员：周学军 郝际平 张 军 李黎明

刘 哲 王 振 薛 强 徐顺平

辛举升 徐玉平 张 猛 刘 杰

解文博 何化荣 李 成 牟春晖

李 平 于风波 王周泰 李明洋

魏方帅 李 泉 马 强 常连翠

本规程主要审查人员：陈志华 张守峰 崔士起 王有志

范 涛 黄启政 彭晓彤 王 健

张海宾

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
3.1	材料	7
3.2	结构体系	9
3.3	构件承载力设计	11
3.4	水平位移限值和舒适度要求	11
4	结构计算分析	13
4.1	一般规定	13
4.2	弹性分析	15
4.3	弹塑性分析	16
5	构件设计	18
5.1	框架柱	18
5.2	框架梁	23
6	节点设计	27
6.1	一般规定	27
6.2	梁柱节点设计	27
6.3	梁、柱的拼接	29
6.4	柱脚设计	30
7	防护设计	32

7.1	一般规定	32
7.2	防腐蚀设计	32
7.3	防火设计	35
8	制作和施工	38
8.1	一般规定	38
8.2	构件制作	38
8.3	构件安装	40
8.4	方钢管内混凝土浇筑	41
9	验收	42
9.1	一般规定	42
9.2	原材料及成品进场	42
9.3	构件制作	45
9.4	安装工程	49
9.5	混凝土工程	55
附录 A	方钢管混凝土组合异形柱抗侧刚度的计算	57
本规范用词说明		59
引用标准名录		60
条文说明		63

1 总 则

1.0.1 为在多、高层装配式民用建筑工程中规范方钢管混凝土组合异形柱结构的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于多、高层民用建筑中由方钢管混凝土组合异形柱组成的钢框架结构、钢框架－支撑结构、钢框架－延性墙板结构的设计、施工与验收。

1.0.3 多、高层民用建筑方钢管混凝土组合异形柱结构的设计、施工与验收，除应符合本规程外，尚应符合国家、行业和山东省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 方钢管混凝土组合异形柱 Special-shaped columns comprising square concrete-filled steel tubes (SC-CFST)

由冷弯成型或热轧成型的方钢管相互焊接组合而成的肢厚比为1的异形构件（一般有T形、L形和十字形等形式），在钢管内浇筑混凝土后形成的以受压为主的组合受力构件。

2.1.2 方钢管混凝土组合异形柱框架结构 SC-CFST Structure

由方钢管混凝土组合异形柱和钢梁为主要构件组成的具有抗剪和抗弯能力的结构。

2.1.3 方钢管混凝土组合异形柱框架－支撑结构 SC-CFST Frame-support structure

在方钢管混凝土组合异形柱框架结构中的适当位置加设钢支撑（中心支撑、偏心支撑、屈曲约束支撑）而形成的结构体系。

2.1.4 方钢管混凝土组合异形柱框架－延性墙板结构 SC-CFST Frame-ductile wallboard structure

在方钢管混凝土组合异形柱框架结构中的适当位置加设延性墙板（钢板剪力墙、屈曲约束钢板剪力墙）而形成的结构体系。

2.1.5 混凝土工作承担系数 Percentage of loading carrying capacity by concrete

在方钢管混凝土组合异形柱构件中，方钢管内混凝土提供的承载力与全部截面的承载力的比值。

2.1.6 外套管式节点 Out-shell connection

在方钢管混凝土组合异形柱外侧加设异形套管，套管与钢管柱通过塞焊和上下角焊缝连接，与钢梁通过螺栓连接、焊接连接或栓焊混合连接而形成的一种梁柱节点形式。

2.1.7 轻质抹灰石膏 Lightweight underlying plaster

以半水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 作为主要胶凝材料，加入轻集料（玻化微珠）和外加剂制成的主要起防火作用的抹灰材料。

2.1.8 无机轻集料保温砂浆 Inorganic light aggregate insulation mortar

以玻化微珠或闭孔珍珠岩等无机轻集料为保温骨料，水泥等无机胶凝材料为主要胶结料并掺加高分子聚合物及其它功能性添加剂制成的主要起防火作用的砂浆。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应设计值

M ——弯矩设计值；

M_x 、 M_y ——绕 x 轴、 y 轴向弯矩设计值；

N ——轴心拉（压）力设计值；

F ——集中荷载；

S_d ——作用组合的荷载效应组合设计值；

G ——重力荷载设计值；

V ——剪力设计值。

2.2.2 计算指标

M'_x 、 M'_y ——单向偏心荷载作用下方钢管混凝土组合异形柱的绕 x 轴、 y 轴受弯承载力；

M_u ——截面受弯承载力；

N_u ——截面受压承载力；

M_u^j ——基于极限强度最小值的节点连接最大受弯承载力；

V_u^j ——基于极限强度最小值的节点连接最大受剪承载力；

M_p ——梁构件的全塑性受弯承载力；

V_{Gb} ——梁在竖向荷载代表值下所受剪力；

M_p 、 M_{pc} ——分别为梁的塑性受弯承载力和考虑轴力影响时柱的塑性受弯承载力；

$M_{ub,sp}^j$ 、 $M_{uc,sp}^j$ ——分别为梁、柱拼接的极限受压（拉）、受弯承载力；

N_f ——火灾下方钢管混凝土组合异形柱构件的轴心受压承载力；

N_{uk} ——常温下方钢管混凝土组合异形柱构件的轴心受压承载力；

σ ——正应力；

σ_c ——局部压应力；

τ ——剪应力；

E_s 、 E_c ——钢材、混凝土的弹性模量；

f 、 f_v ——钢材的抗拉强度设计值、抗剪强度设计值；

G_s 、 G_c ——钢材、混凝土的剪变模量；

f_y 、 f_c' ——钢材的屈服强度和混凝土圆柱体强度设计值；

f_{scy} ——钢管混凝土轴心受压时强度指标。

2.2.3 几何参数

I_s 、 I_c ——组合构件外围钢管、内部区域的截面惯性矩；

A_s 、 A_c ——组合构件外围钢管、内部区域的截面面积；

W_{scm} ——截面模量；

h ——弯矩作用方向的截面高度；

S ——计算剪应力处以上（或以下）毛截面对中和轴的
面积矩；

I ——为弯矩作用方向构件的毛截面惯性矩；

t_w ——构件的腹板厚度；

I_R ——轨道绕自身形心轴的惯性矩；

I_f ——梁上翼缘绕翼缘中面的惯性矩；

a ——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度；

l_n ——梁的净跨；

h_y ——自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离；

h_R ——轨道的高度；

I_n ——梁净截面惯性矩；

y_1 ——所计算点至梁中和轴的距离；

H ——房屋高度。

2.2.4 计算系数及其他

φ ——方钢管混凝土组合异形轴心受压构件的稳定系数；

l ——轴心受压构件计算长细比；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

- b ——方钢管混凝土组合异形轴心受压构件约束增强系数；
- x ——为构件的约束效应系数；
- α_1 ——方钢管混凝土组合异形偏压构件折减系数；
- γ_m ——为方钢管混凝土组合异形构件抗弯承载力计算系数；
- α_c ——混凝土工作承担系数；
- γ_x 、 γ_y ——截面塑性发展系数；
- y ——集中荷载增大系数；
- β_1 ——强度增大系数；
- α ——连接系数；
- n_f ——方钢管混凝土组合异形柱构件火灾下的荷载比。

3 基本规定

3.1 材 料

3.1.1 钢材的选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，高层建筑结构钢材的选用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。

3.1.2 方钢管混凝土组合异形柱构件中的钢管钢材强度等级宜采用 Q235、Q355、Q390、Q420、Q460，其质量等级应不低于 B 级，并应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定，当有可靠依据时也可采用其它强度等级的钢材。

3.1.3 方钢管混凝土组合异形柱构件中钢管可采用冷弯成型的钢管或热轧成型的钢管。焊缝可采用高频焊、自动或半自动焊和手工对接焊缝。当采用冷弯成型的钢管时应满足现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178 中 I 级产品的规定。

3.1.4 方钢管混凝土组合异形柱结构中采用的钢支撑、屈曲约束支撑的材质与性能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。

3.1.5 结构中钢筋混凝土构件的混凝土和钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.1.6 方钢管混凝土组合异形柱中的混凝土强度等级应不低于 C30。对 Q235 钢管，宜配 C30 或 C40 级混凝土；对 Q355 钢管，

宜配 C40 或 C50 级以上的混凝土；对 Q390、Q420 钢管，宜配 C50 级以上的混凝土。当采用 C60（不包含）以上高强混凝土时，应有可靠的依据。

3.1.7 钢管内混凝土宜采用自密实混凝土。自密实混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定。

3.1.8 用于方钢管混凝土组合异形柱构件的焊接材料应符合下列要求：

1 手工焊接用的焊条，应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 或《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定。选择的焊条型号应与主体金属的力学性能相适应；

2 自动或半自动焊接用的焊丝及焊剂应与主体金属的力学性能相适应，并应符合现行有关国家标准的规定；

3 二氧化碳气体保护焊接用的焊丝，应符合现行国家标准《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定；

4 当两种不同钢材相焊接时，宜采用与主体金属强度较低的钢材相适应的焊条或焊丝。

3.1.9 用于方钢管混凝土组合异形柱构件的连接紧固件应符合下列规定：

1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 及《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

2 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角头螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈与技术条件》GB/T 1231 或《钢结构用扭

剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。高强度螺栓的预拉力和摩擦抗滑移系数按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 选用。

3.1.10 焊钉（栓钉）应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

3.2 结构体系

3.2.1 多、高层民用建筑方钢管混凝土组合异形柱结构应注重概念设计，综合考虑建筑的使用功能、环境条件、材料供应、制作安装、施工条件因素，择优选用抗震和抗风性能好且经济合理的结构体系、构件形式和连接构造。应保证结构的整体抗震性能，使结构具有必要的承载能力、刚度和延性。

3.2.2 多、高层民用建筑方钢管混凝土组合异形柱结构应有明确的竖向及水平传力路径，其平面和竖向布置及规则性要求，应符合现行国家和行业标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

3.2.3 抗震设防的结构，其抗震措施应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

3.2.4 方钢管混凝土组合异形柱结构构件应根据抗震设防分类、烈度、结构类型和房屋高度按照《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。

3.2.5 抗震设防烈度为 6 度至 8 度的方钢管混凝土组合异形柱结构的最大适用高度应符合表 3.2.5 的规定。平面和竖向均不规则的结构，其最大适用高度宜适当降低。

表 3.2.5 方钢管混凝土组合异形柱结构的最大适用高度 (m)

结构体系	抗震设防烈度			
	7 度 (0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
方钢管混凝土组合异形柱框架结构	70	50	30	12
方钢管混凝土组合异形柱框架 - 支撑结构	90	70	50	24
方钢管混凝土组合异形柱框架 - 延性墙板	120	100	80	50

- 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 超过本表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效加强措施；
 3 甲类建筑，6、7、8 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。

3.2.6 方钢管混凝土组合异形柱结构的高宽比不宜超过表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 方钢管混凝土组合异形柱结构的最大适用高宽比

烈度	7 度	8 度
最大高宽比	6	5

- 注：1 计算高宽比的高度一般从室外地面算起；
 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。

3.2.7 方钢管混凝土组合异形柱结构体系中的楼盖结构应符合下列规定：

1 宜采用钢筋桁架混凝土叠合板、预应力混凝土叠合板、钢筋桁架楼承板混凝土板，也可采用压型钢板现浇钢筋混凝土楼板，楼板应与钢梁有可靠连接；

2 7 度时房屋高度不超过 50m 的多高层民用建筑，可采用装配整体式钢筋混凝土楼盖，也可采用装配式楼板或其他轻型楼盖，应将楼板预埋件与钢梁焊接，或采取其他措施保证楼板的整体性；

3 楼板有大洞口等情况时,应采取加强楼板水平刚度的措施。

3.2.8 当在适当部位设置防震缝时,宜形成多个较规则的抗侧力结构单元。方钢管混凝土组合异形柱结构防震缝设置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。

3.3 构件承载力设计

3.3.1 方钢管混凝土组合异形柱结构构件的承载力应按下列公式验算:

持久设计状况、短暂设计状况:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.3.1-1)$$

地震设计状况:

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (3.3.1-2)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1,对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0;

S_d ——作用组合的效应设计值;

R_d ——构件承载力设计值;

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数

3.3.2 方钢管混凝土组合异形柱的承载力抗震调整系数,强度验算时取 0.75,稳定验算时取 0.80,当仅计算竖向地震作用时取 1.0。

3.4 水平位移限值和舒适度要求

3.4.1 按照弹性方法计算时,方钢管混凝土组合异形柱框架结构、框架-支撑结构、框架-延性墙板结构在风荷载作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比对于居住建筑不宜大于 1/400,

公共建筑不宜大于 $1/300$ ；当采用有较高变形限制的非结构构件和装饰材料时，层间相对位移与层高之比宜适当减小；当非结构构件和装饰材料采用延性材料或柔性连接时，则可适当增大。

3.4.2 方钢管混凝土组合异形柱框架结构、框架－支撑结构、框架－延性墙板结构在地震作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比不宜大于下列数值：

- 1 在多遇地震作用下（按弹性计算）： $1/400$ ；
- 2 在罕遇地震作用下（按弹塑性计算）： $1/50$ ；

当采用有较高变形限制的非结构构件和装饰材料时，在多遇地震作用下的层间相对位移与层高之比宜适当减小。

3.4.3 方钢管混凝土组合异形柱结构的楼盖结构舒适度验算及风振舒适度验算除应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 外，尚应符合山东省地方标准《装配式钢结构建筑技术规程》DB 37/T5115 的相关规定。

4 结构计算分析

4.1 一般规定

4.1.1 荷载、地震作用及荷载效应组合应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行计算。

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

4.1.3 弹性分析时，可将方钢管混凝土组合异形柱按抗弯刚度等效为方钢管混凝土柱，亦可按本规程附录 A 的规定计算柱的抗侧刚度。

4.1.4 不规则且具有明显薄弱部位可能导致重大地震破坏的建筑结构，应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行罕遇地震作用下的弹塑性变形分析。此时，可根据结构特点采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法。

4.1.5 计算结构内力与变形时，可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性，设计时应采取相应的措施保证楼盖平面内的整体刚度。当楼盖可能产生较明显的面内变形时，计算时应考虑楼盖平面内的实际刚度，考虑楼盖的面内变形影响。

4.1.6 弹性分析时，当钢梁与楼板在构造上有可靠连接时，宜考虑钢梁与楼板的共同作用，可计入楼板对钢梁惯性矩的增大作用。梁两侧均有楼板时，梁的惯性矩可取钢梁惯性矩的 1.5 倍；

仅一侧有楼板时,梁的惯性矩可取钢梁惯性矩的 1.2 倍;弹塑性分析时,不考虑楼板与钢梁的共同作用。

4.1.7 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期,应考虑非承重填充墙的刚度影响予以折减。折减系数可取 0.7~0.9,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。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。

4.1.8 方钢管混凝土组合异形柱结构的整体稳定应符合下列规定:

1 方钢管混凝土组合异形柱框架结构应满足下列要求:

$$D_i \geq 5 \sum_{j=i}^n G_j / h_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4.1.8-1)$$

2 对方钢管混凝土组合异形柱框架-支撑结构、方钢管混凝土组合异形柱框架-延性墙板结构,结构的整体稳定性应符合下列规定:

$$EJ_d \geq 0.7H^2 \sum_{i=1}^n G_i \quad (4.1.8-2)$$

式中: 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;

h_i ——第 i 楼层层高 (mm);

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

H ——房屋高度 (mm);

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

4.1.9 罕遇地震作用下进行结构的弹塑性变形计算时，可不计入风荷载的效应。

4.1.10 方钢管混凝土组合异形柱结构中，构件及节点连接设计应符合相关现行国家、行业标准的规定，其简化计算模型应与实际构造相吻合。

4.2 弹性分析

4.2.1 结构弹性计算模型应根据结构实际情况确定，应能准确地反映结构中各构件的实际受力情况，并应考虑重力二阶效应的影响。当采用二阶弹性分析方法时，假想水平荷载的取值宜符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，也可按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用直接分析法。

4.2.2 结构弹性分析时，应考虑下列变形：

1 梁的弯曲、剪切、扭转变形，必要时考虑轴向变形；

2 柱、墙的弯曲、剪切、扭转、轴向变形，其中，延性墙板仅考虑剪切变形；

3 钢结构梁、柱节点域剪切变形对结构侧移的影响，宜符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

4.2.3 结构弹性阶段的内力和位移计算时，方钢管混凝土组合异形柱的截面刚度取值应符合下列规定：

$$\text{组合轴向刚度: } EA = E_s A_s + E_c A_c \quad (4.2.3-1)$$

$$\text{组合抗弯刚度: } EI = E_s I_s + E_c I_c \quad (4.2.3-2)$$

$$\text{组合剪切刚度: } GA = G_s A_s + G_c A_c \quad (4.2.3-3)$$

式中： E_s 、 E_c ——钢材、混凝土的弹性模量；

G_s 、 G_c ——钢材、混凝土的剪变模量；

I_s 、 I_c ——组合构件外围钢管、内部混凝土区域的截面惯性矩；

A_s 、 A_c ——组合构件外围钢管、内部混凝土区域的截面积。

4.2.4 方钢管混凝土组合异形柱框架结构的阻尼比应按以下原则采用：

1 多遇地震作用下，房屋高度不大于 50m 时宜取 0.04；房屋高度大于 50m 且小于 100m 时宜取 0.03；房屋高度大于 100m 时宜取 0.02；罕遇地震作用下宜取 0.05。

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

4.2.5 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。体型复杂、结构布置复杂的高层建筑结构，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。

4.3 弹塑性分析

4.3.1 结构弹塑性分析时，应考虑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柱的弹塑性剪切变形。

4.3.2 钢柱、钢梁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；方钢管混凝土组合异形柱可采用纤维模型或分层壳模型。

4.3.3 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。

4.3.4 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，宜采用双向或多向水平地震输入；

2 地震波的选取应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

5 构件设计

5.1 框架柱

5.1.1 轴心受压构件承载力应满足下式要求：

$$\frac{N}{\varphi\beta(fA_s + 0.85f'_c A_c)} \leq 1.0 \quad (5.1.1)$$

式中：\$N\$——轴心压力设计值（N）；

\$\varphi\$——方钢管混凝土组合异形轴心受压构件稳定系数，应按公式 5.1.3 计算；

\$\beta\$——方钢管混凝土组合异形轴心受压构件约束增强系数，\$\beta=0.95(1.16-0.015\xi)\$；

\$\xi\$——为构件的约束效应系数，\$\xi=\frac{f_y A_s}{f_c A_c}\$；

\$f\$、\$f'_c\$——钢材、混凝土圆柱体强度设计值（N/mm²）；

\$A_s\$、\$A_c\$——钢管、混凝土截面面积（mm²）。

5.1.2 混凝土立方体抗压强度标准值与圆柱体抗压强度标准值的对应关系如表 5.1.2 所示。

表 5.1.2 轴压强度值不同表示值之间的对应关系（MPa）

强度等级	C30	C40	C50	C60	C70	C80	C90
f_{ck}	20	26.8	33.5	41	48	56	64
f_c	24	33	41	51	60	70	80

5.1.3 轴心受压构件的稳定系数应按下式计算：

$$\varphi = \begin{cases} 1 & (\lambda \leq 12) \\ 1.08 - 0.6 \frac{\lambda}{100} & (\lambda > 12) \end{cases} \quad (5.1.3)$$

式中： λ ——构件长细比， $\lambda = \frac{l}{i}$ ；

$$i \text{——构件回转半径，} i = \sqrt{\frac{E_s I_s + 0.2 E_c I_c}{E_s A_s + 0.2 E_c A_c}} \quad (\text{mm})；$$

I_s 、 I_c ——分别为钢管与混凝土对弱轴的截面惯性矩（ mm^4 ）。

5.1.4 弯矩作用在一个主平面内的方钢管混凝土组合异形柱承载力应满足下式要求：

1 对于 L 形截面方钢管混凝土组合异形柱应满足下式要求：

$$\frac{N}{\varphi N_u} + \alpha_1 \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (5.1.4-1)$$

$$\frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (5.1.4-2)$$

$$N_u = \beta (f A_s + 0.85 f_c' A_c) \quad (5.1.4-3)$$

$$M_u = \gamma_m W_{scm} f_{scy} \quad (5.1.4-4)$$

2 对于 T 形截面方钢管混凝土组合异形柱

1) 非对称轴平面内弯曲：

$$1.18 \frac{N}{N_u} + 1.25 \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (5.1.4-5)$$

2) 对称轴平面内弯曲：

$$1.18 \frac{N}{N_u} + 1.67 \frac{M}{M_u} \leq 1 \quad (5.1.4-6)$$

式中： N ——轴心压力设计值（N）；

N_u ——方钢管混凝土组合异形柱的轴心受压承载力，应按公式（5.1.4-3）计算（N）；

φ ——方钢管混凝土组合异形柱轴心受压的稳定系数，应按公式（5.1.2）计算； φ_x 、 φ_y 分别表示绕截面强轴和弱轴弯曲时方钢管混凝土组合异形柱轴心受压的稳定系数；

a_1 ——L 形方钢管混凝土组合异形偏压构件折减系数，当弯矩方向沿非对称轴且 $\lambda < 48$ 时 a_1 取 0.85，其它情况下 a_1 取 1；

M ——弯矩设计值（N·mm）；

M_u ——方钢管混凝土组合异形柱的抗弯承载力，应按公式（5.1.4-4）计算（N·mm）；

γ_m ——抗弯承载力计算系数 $\gamma_m = 1.01 + 0.65 \ln(\xi + 0.1)$ ；

W_{scm} ——构件截面抗弯模量， $W_{scm} = 2I / h$ （mm³）；

f_{scy} ——钢管混凝土轴心受压时强度指标， $f_{scy} = (1.18 + 0.64\xi) \cdot f_{ck}$ （N/mm²）；

f_{ck} ——混凝土轴心受压强度标准值（N/mm²）；

I ——弯矩作用方向的惯性矩，按照构件截面外轮廓计算（mm⁴）；

h ——弯矩作用方向的截面高度（mm）；

ξ ——约束效应系数， $\xi = \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{f_y}{f_c}$

5.1.5 弯矩作用在两个主平面内的方钢管混凝土组合异形柱，其承载力除满足本规程中 5.1.4 条中相关要求外，还应满足下

式要求:

1 对于 L 形截面方钢管混凝土组合异形柱

$$\left| \frac{M_x}{M'_x} \right| + \left| \frac{M_y}{M'_y} \right| \leq 1 \quad (5.1.5-1)$$

$$\left| \frac{M_x}{M'_x} \right| \leq 0.9 \quad (5.1.5-2)$$

$$\left| \frac{M_y}{M'_y} \right| \leq 0.9 \quad (5.1.5-3)$$

式中: M_x 、 M_y ——同一截面, 绕 x 轴和 y 轴弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M'_x 、 M'_y ——单向偏心时, 利用公式 (5.1.4-4) 计算得出的方钢管混凝土组合异形柱的极限抗弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

2 对于 T 形截面方钢管混凝土组合异形柱

$$1.25 \left| \frac{M_x}{M_{ux}} \right| + 1.67 \left| \frac{M_y}{M_{uy}} \right| = 1$$

$$\left| \frac{M_x}{M_{ux}} \right| \leq 0.8 \quad (5.1.5-4)$$

$$\left| \frac{M_y}{M_{uy}} \right| \leq 0.6$$

式中: M_x 、 M_y ——截面绕 x 轴和 y 轴弯曲的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M'_{ux} 、 M'_{uy} ——分别为绕 x 轴和 y 轴弯曲的极限抗弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

5.1.6 框架柱的稳定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 中相应规定。

5.1.7 框架柱的长细比，一级不应大于 $\sqrt{60235/f_y}$ ，二级不应大于 $\sqrt{70235/f_y}$ ，三级不应大于 $\sqrt{80235/f_y}$ ，四级不应大于 $\sqrt{100235/f_y}$ 。

5.1.8 方钢管混凝土组合异形柱的混凝土工作承担系数限值 α_c 不宜超过表 5.1.8 中规定的限值。

表 5.1.8 混凝土工作承担系数限值

长细比 λ	轴压比		
	≤ 0.4	0.5	0.6
≤ 20	0.55	0.55	0.5
30			0.45
40		0.5	0.4
50		0.45	0.35
≥ 60	0.5	0.4	0.3

注：1 $a_c = f_c A_c / N_u$

2 表中 l 取值 x 、 y 向较大长细比；

3 l 在整数之间时，混凝土工作承担系数可以按线性插值取值；

5.1.9 方钢管混凝土组合异形柱的轴压比 (N/N_u) 不宜超过表 5.1.9 规定的限值。

表 5.1.9 方钢管混凝土组合异形柱轴压比 (N/N_u) 限值

抗震等级	一级	二级、三级	四级
轴压比限值	0.5	0.55	0.6

5.1.10 方钢管的截面尺寸不应小于 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，壁厚不应小于 4mm 。

5.1.11 方钢管混凝土组合异形柱每个腔体均应设置直径不小于

12mm 的排气孔,其位置宜位于柱与楼板相交位置上方及下方 100mm 处,每个腔体各布置不少于一个排气孔,并应沿柱高度反对称布置。混凝土浇筑完成后应对排气孔进行封堵。

5.2 框架梁

5.2.1 在主平面内受弯的实腹式构件其受弯强度应按下列式计算:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (5.2.1)$$

式中: M_x 、 M_y ——同一截面处,绕 x 轴和 y 轴向弯矩设计值 (N·mm);

W_{nx} 、 W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面模量,当截面板件宽厚比等级为 S1、S2、S3 或 S4 级时,应取全截面模量,当截面板件宽厚比等级为 S5 级时,应取有效截面模量 (mm^3),均匀受压翼缘有效外伸宽度与腹板有效截面应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中的相关规定;

γ_x 、 γ_y ——截面塑性发展系数,按本规程中 5.2.2 条的规定取值;

f ——钢材的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

5.2.2 截面塑性发展系数应按下列规定取值:

1 对 H 形截面,当板件宽厚比等级为 S4 或 S5 级时,截面塑性发展系数应取 1.0,当截面板件宽厚比等级为 S1、S2 及 S3 级时,截面塑性发展系数应按下列规定取值: $\gamma_x = 1.05$, $\gamma_y = 1.20$ (x 轴为强轴、 y 轴为弱轴);

2 对其它截面可采用现行国家标准《钢结构设计标准》

GB 50017中的相关规定；

3 对需要计算疲劳的梁，宜取 $\gamma_x = \gamma_y = 1.0$ 。

5.2.3 在主平面内受弯的实腹式构件，除考虑腹板屈曲后强度外，其受剪强度应按下式计算：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad (5.2.3)$$

式中：V——计算截面沿腹板平面作用的剪力设计值（N）；

S——计算剪应力处以上（或以下）毛截面对中和轴的面积矩（mm³）

I——构件的毛截面惯性矩（mm⁴）

t_w ——构件的腹板厚度（mm）

f_v ——钢材的抗剪强度设计值（N/mm²）

5.2.4 当梁受集中荷载且该荷载处又未设置支承加劲肋时，其计算应符合下列规定：

1 当梁上翼缘受有沿腹板平面作用的集中荷载处，腹板计算高度上边缘的局部承压强度应按下列公式计算：

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} \leq f \quad (5.2.4-1)$$

$$l_z = a + 5h_y \quad (5.2.4-2)$$

式中：F——集中荷载设计值（N）；

l_z ——集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度，可采用简化式（5.2.4-2）计算（mm）；

a——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度（mm）；

h_y ——自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离；对焊接梁为上翼缘厚度，对轧制工字形截面梁，是梁顶面到腹板过渡完成点的距离（mm）；

f ——钢材的抗压强度设计值 (N / mm^2)。

2 在梁的支座处,当不设置支承加劲肋时,也应按式 (5.2.4-1) 计算腹板计算高度下边缘的局部压应力。支座集中反力的假定分布长度,应根据支座具体尺寸按式 (5.2.4-2) 计算。

5.2.5 在梁的腹板计算高度边缘处,若同时承受较大的正应力、剪应力和局部压应力,或同时承受较大的正应力和剪应力时,其折算应力应按下列公式计算:

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f \quad (5.2.5-1)$$

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_1 \quad (5.2.5-2)$$

式中: σ 、 τ 、 σ_c ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力, τ 和 σ_c 应按本规程式 (5.2.3) 和式 (5.2.4-1) 计算, σ 应按式 (5.2.5-2) 计算, σ 与 σ_c 以拉应力为正值,压应力为负值 (N / mm^2);

I_n ——梁净截面惯性矩 (mm^4);

y_1 ——所计算点至梁中和轴的距离 (mm);

β_1 ——强度增大系数;当 σ 与 σ_c 异号时,取 $\beta_1 = 1.2$;当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma\sigma_c = 0$ 时,取 $\beta_1 = 1.1$ 。

5.2.6 受弯构件的稳定性计算与构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

5.2.7 梁的支座处应采取构造措施,以防止梁端截面的扭转。当简支梁仅腹板与相邻构件相连,钢梁稳定性计算时侧向支承点距离应取实际距离的 1.2 倍。

5.2.8 支座承担负弯矩且梁顶有混凝土楼板时，框架梁下翼缘的稳定性计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

5.2.9 受弯构件的板件宽厚比限值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

6 节点设计

6.1 一般规定

6.1.1 钢框架的梁柱节点宜采用刚性连接，梁与柱的连接可采用翼缘焊接和腹板高强度螺栓连接的形式，也可采用全螺栓连接。

6.1.2 焊缝应结合连接所在部位的重要性、焊缝形式、工作环境及应力状态等情况确定其质量等级。

6.1.3 梁、柱的相关连接焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，对于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 的规定。

6.1.4 上下节方钢管组合异形柱的拼接、柱脚处钢管柱与底板的连接，其焊缝应全熔透，焊缝质量等级为一级；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。

6.1.5 承重构件的螺栓连接，宜采用高强度螺栓摩擦型连接。高强度螺栓连接受拉或受剪时的承载力，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行计算。

6.2 梁柱节点设计

6.2.1 抗震设防的多高层方钢管混凝土组合异形柱结构，其梁柱刚性连接应满足下列公式要求：

$$M_u^j \geq \alpha M_p \quad (6.2.1-1)$$

$$V_u^j \geq \alpha \left(\frac{\sum M_p}{l_n} \right) + V_{Gb} \quad (6.2.1-2)$$

式中： M_u^j ——梁与柱连接的极限受弯承载力（kN·m）；

V_u^j ——梁与柱连接的极限受剪承载力（kN）；

M_p ——梁构件的全塑性受弯承载力（kN·m）（加强型连接按未扩大的原截面计算），考虑轴力影响时按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 第 8.1.5 条的 M_{pc} 计算；

l_n ——梁的净跨（m）；

V_{Gb} ——梁在重力荷载代表值作用下，按简支梁分析的梁端截面剪力设计值（kN）；

α ——连接系数，可按表 6.2.1 采用。

表 6.2.1 抗震设计连接系数

母材牌号	梁柱连接		支撑连接，构件拼接		柱脚	
	焊接	螺栓连接	焊接	螺栓连接		
Q235	1.40	1.45	1.25	1.30	埋入式	1.20
Q355	1.30	1.35	1.20	1.25	外包式	1.20
Q355GJ	1.25	1.30	1.15	1.20	外露式	1.10

6.2.2 方钢管混凝土组合异形柱框架梁柱刚性连接可采用外套管连接（图 6.2.2），套管壁厚不应小于方钢管柱壁厚，其中与梁连接一侧的套管壁厚宜适当增大，外套管伸出梁翼缘高度不宜小于 100mm。外套管与方钢管混凝土组合异形柱上下采用角焊缝连接，侧面采用塞焊缝或槽焊缝连接，连接焊缝的计算与构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

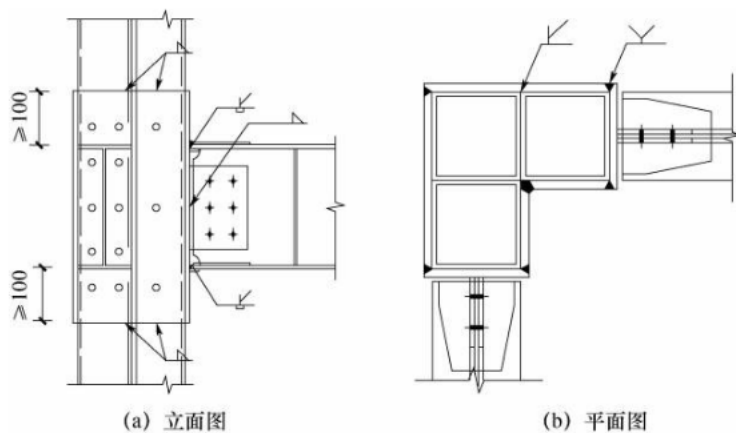


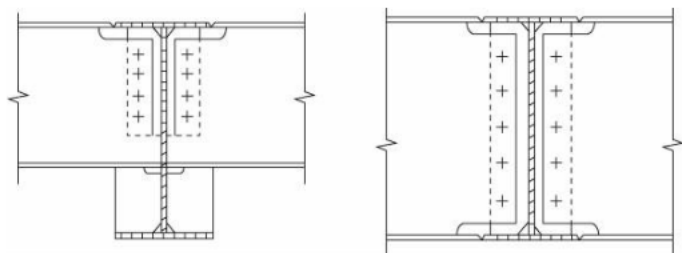
图 6.

6.3.1 在抗震
其工地拼接点应
长或两倍梁高范
附近。

6.3.2 梁的拼
受剪承载力：

梁的拼接：

6.3.3 次梁与
性连接（图 6.



与 刚性 接

6.3.4 柱的拼

200mm，同时其

——

式中： $V_{ub,sp}^j$ ——

M_p 、 M_{pc} ——

$M_{ub,sp}^j$ ， $M_{uc,sp}^j$ ——

α ——

6.4.1 当建筑

柱脚底板可位于

采用铰接。

6.4.2 柱脚为刚接柱脚时，可采用外包式柱脚或埋入式柱脚；柱脚为铰接柱脚时，可采用平板式柱脚。

6.4.3 外包式、埋入式及平板式柱脚可按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定设计。

6.4.4 方钢管混凝土组合异形柱在地下室部分宜采用钢筋混凝土包覆，在地下室部分与上部钢支撑对应的位置宜设置钢筋混凝土剪力墙。

7 防护设计

7.1 一般规定

7.1.1 建筑钢结构应根据环境条件、材质、结构形式、使用要求、施工条件和维护管理条件，按现行国家标准《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 进行防腐蚀设计。

7.1.2 方钢管混凝土组合异形柱结构防火保护工程应按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 和《建筑构件用防火保护材料通用要求》XF/T 110 进行防火设计。

7.1.3 防火材料用于室内时，其有害物质限量应符合现行国家标准《室内装饰装修材料内墙涂料中有害物质限量》GB 18582 的规定；其放射性应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定。

7.1.4 方钢管混凝土组合异形柱结构防腐蚀和防火保护工程应采用绿色施工，施工组织与管理、环境保护和资源节约应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905 的有关规定。

7.2 防腐蚀设计

7.2.1 钢结构构件的防腐蚀设计应包括以下内容：

- 1 确定钢结构构件防腐蚀涂层的腐蚀环境；
- 2 确定钢结构构件防腐蚀涂层的预期寿命；
- 3 确定钢结构构件基材的表面处理方式；

4 确定漆膜厚度及涂料品种组成。

7.2.2 方钢管混凝土组合异形柱构件的防腐蚀设计和施工应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《色漆和清漆防护体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 的有关规定。

7.2.3 方钢管混凝土组合异形柱结构民用建筑的腐蚀性等级可按表 7.2.3 确定。

表 7.2.3 大气腐蚀腐蚀性等级和典型环境环境示例

腐蚀性等级	低碳钢的单位面积质量损失/厚度损失 (经过第一年暴露后)		温和气候下典型的环境示例	
	质量损失	厚度损失 um	外部	内部
C1 很低	≤10	≤1.3	-	清洁大气环境下的保温建筑物,例如办公室、商店、学校、旅馆
C2 低	>10 且 ≤200	>1.3 且 ≤25	低污染水平的大气,大多数乡村地区	可能发生凝露的不保温建筑物,例如参考、体育馆
C3 中等	>200 且 ≤400	>25 且 ≤50	城市和工业大气,中度二氧化硫污染,低盐度的沿海地区	高湿度和存在一定空气污染的生产场所,例如食品加工厂、酿酒厂、牛奶场
C4 高	>400 且 ≤650	>50 且 ≤80	工业区和盐度的沿海地区	化工厂、游泳池、沿海船舶和造船厂

注:腐蚀性等级为 C1 的构件不需要防腐蚀保护;若运输、临时贮存或安装过程中长期处于暴露条件下, C1 等级宜按 C2 等级进行防腐蚀设计。

7.2.4 钢材表面原始锈蚀等级和钢材除锈等级标准应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》GB/T 8923 的规定。

1 表面原始锈蚀等级为 D 级的钢材不应用作结构钢；

2 喷砂或抛丸用的磨料等表面处理材料应符合防腐蚀产品对表面清洁度和粗糙度的要求，并符合环保要求。

7.2.5 涂层设计预计寿命等级中级以上的钢结构构件应采用喷射或抛丸除锈，除锈等级应大于 $Sa2 \frac{1}{2}$ 。不易维修的重要构件的除锈等级不应低于 $Sa3$ ，各类富锌底漆的除锈等级不应低于 $Sa3$ 。

7.2.6 在有机富锌或无机富锌底涂料上，宜采用环氧云铁和环氧铁红的涂料。

7.2.7 防腐蚀保护层最小厚度应符合表 7.2.7 的规定。

表 7.2.7 防腐蚀保护层最小厚度 (μm)

预期寿命等级	腐蚀等级 C2	腐蚀等级 C3	腐蚀等级 C4
低	120	140	160
中	160	180	220
高	200	220	260

注：1 防腐蚀保护层厚度包括涂料层的厚度或金属层与涂料层的复合的厚度

2 室外工程的涂层厚度宜增加 20μm—40μm

7.2.8 室内湿度较大的部位如（卫生间、厨房等）不应有外露钢结构，在此部位的方钢管混凝土组合异形柱，除按防腐蚀设计进行防腐蚀外，应设置厚度不小于 30mm 的水泥砂浆进行隔护。卫生间和开水房墙面的水泥砂浆表面宜按建筑设计要求设置防水层，并应在楼层墙脚部分设置混凝土楼板翻边，翻边高度不小于 100mm，翻边厚度不小于 30mm。

7.2.9 方钢管混凝土组合异形柱位于建筑物外表面时，应按室外构件的要求确定防腐蚀涂层厚度。当外墙外表面有防火层或保温装饰层，可不涂刷面漆，但防腐蚀保护层最小厚度不宜减少。

7.2.10 方钢管混凝土组合异形柱当直接埋入土壤时，可在方钢管混凝土组合异形柱外侧包覆钢筋混凝土，每侧外包厚度不小于100mm。

7.2.11 腐蚀严重、重要部位或维护困难的部位，可采用以下任意一种方式进行加强处理：

- 1 富锌底涂料中金属锌的含量不宜小于70%；
- 2 构件涂层厚度可增加20—60 μm ；
- 3 按现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251

相关规定进行腐蚀裕量计算。

7.3 防火设计

7.3.1 方钢管混凝土组合异形柱框架，在采取防火保护措施后，构件的耐火极限应满足现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016要求。连接节点的防火保护层厚度不得小于被连接构件保护层厚度的较大值。

7.3.2 方钢管混凝土组合异形柱框架可采用喷涂防火涂料、外包不燃材料等防火保护措施。外包不燃材料可采用混凝土、砌体（加气混凝土、陶粒空心砌块）、轻质防火板、柔性毡状材料（岩棉毡等）、金属网轻质抹灰石膏、金属网抹M5砂浆等其他隔热材料。

7.3.3 采用其他防火隔热材料作为方钢管混凝土组合异形柱结构构件防火层时，生产厂家除应提供强度、耐火性能和耐候性能参数外，尚应提供导热系数或等效导热系数、密度和比热容等参数。

7.3.4 室内环境下，钢结构构件表面采用防火涂料、水泥砂浆、无机保温砂浆、轻质抹灰石膏、砌筑砌体（以界面层贴覆在钢结构构件表面时）等密封性能良好的材料进行防火保护时，可不使用面涂层。

7.3.5 设置防火保护层时应采取合适的构造措施，其中：

1 当使用水泥砂浆作为防火保护层时，应在砂浆内布置金属网。砂浆的强度不宜低于 M5；金属丝的网格不宜大于 20mm，直径不宜小于 1mm。

2 当使用加气混凝土防火板作为防火保护层时，防火板底面及防火板之间应用砂浆填缝。

3 当使用岩棉板作为防火保护层时，将岩棉板贴靠在钢管表面后，宜布置龙骨（镀锌钢板）进行卡固。

7.3.6 当采用轻质抹灰石膏作为防火保护时应满足以下要求：

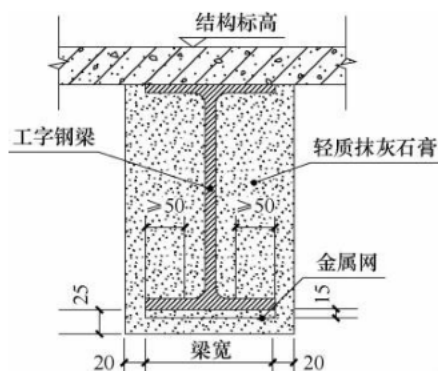
1 标准火灾下耐火极限 3.0h 时，方钢管混凝土组合异形柱防火保护层厚度为 35mm；应在保护层内布置热镀锌金属网，金属丝的网格宜 30—50mm，丝径不宜小于 1.2mm，金属网应与方钢管混凝土组合异形柱可靠连接；

2 标准火灾下耐火极限 2.0h 时，钢梁下翼缘处防火保护层厚度为 25mm，腹板内填充轻质抹灰石膏；钢梁下翼缘应设置热镀锌金属网，防止保护层脱落；保护层角部外表面宜设置网格布，如图 7.3.6 所示。

7.3.7 采用无机轻集料保温砂浆作为防火保护时，应满足以下要求：

1 标准火灾下耐火极限 3.0h 时，方钢管混凝土组合异形柱防火层厚度为 35mm；应在保护层内布置热镀锌金属网，金属丝

的网格宜 30—50mm，丝径不宜小于 1.2mm，金属网应与方钢管混凝土组合异形柱可靠连接；



2 标准火
度为 25mm，腹
机轻集料保温砂
层脱落；保护层

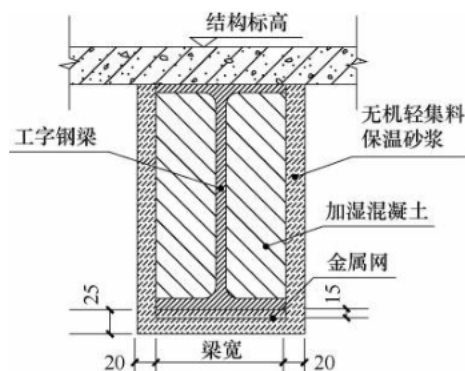


图 7

8 制作和施工

8.1 一般规定

8.1.1 方钢管混凝土组合异形柱结构中所采用的钢板、支撑、钢带、方钢管及焊接材料等的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求。

8.1.2 方钢管混凝土组合异形柱构件制作前应根据设计文件、施工方案和工厂技术条件等编制加工工艺文件。加工工艺文件应重点明确以下内容：

- 1 须明确保证焊接质量的措施；
- 2 须考虑减少薄钢板焊接变形措施；
- 3 应考虑控制出厂构件几何尺寸的保证措施；
- 4 应重点明确结构防腐蚀施工工艺及要求；
- 5 应明确构件出厂运输及成品保护措施。

8.1.3 施工前，施工单位应编制专项施工方案，应包含下列内容：

- 1 季节性施工技术措施；
- 2 受大风或其他水平荷载影响的固定措施。

8.1.4 冬季施工应符合现行行业标准《建筑工程冬季施工规程》JGJ 104 的有关规定。

8.2 构件制作

8.2.1 方钢管混凝土组合异形柱构件在制作前应根据设计文件绘制钢结构施工详图，并应经原设计单位确认。施工详图应根据

施工方案（施工组织设计）的要求、制作厂的生产条件、现场施工条件等确定方钢管混凝土组合异形柱构件的出厂分段或工地拼装节点位置。

8.2.2 方钢管混凝土组合异形柱构件应根据施工详图进行放样。放样与号料应预留焊接收缩量 and 切割、端铣等加工余量。对于高层框架柱上应预留弹性压缩量，弹性压缩量可由制作单位和设计单位协商确定。

8.2.3 钢部件拼接或对接时所采用的焊缝质量等级应符合设计要求。当设计没有要求时，应采用质量等级不低于二级的全熔透焊缝。

8.2.4 成品方钢管的进厂检验应符合设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

8.2.5 方钢管间的焊缝的应符合设计文件的规定，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

8.2.6 外套管式节点域的加工，应采取技术和工艺措施，使外贴板与柱壁贴近后再施焊。

8.2.7 钢管构件制作完成后，应按设计文件和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定进行验收，并应采取适当措施保持管内清洁。

8.2.8 钢管构件应根据设计文件要求选择除锈、防腐涂装工艺。当设计未提出具体内外表面处理方法时，内表面处理应无可见油污、无附着不牢的氧化皮、铁锈或污染物；外表面可根据涂料的除锈匹配要求，采用适当处理方法，涂装材料附着力应达到相关规定。

8.2.9 钢管构件防腐涂装可采用喷刷涂料方式，涂料防腐涂装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

当设计文件无涂层厚度具体要求时，涂层干漆膜总厚度室外构件可为 $150\mu\text{m}$ ，室内构件可为 $125\mu\text{m}$ 。

8.3 构件安装

8.3.1 方钢管混凝土组合异形柱的安装应在各零、部件检查合格后进行。钢管的防锈与涂装应在制作质量检验合格后进行。钢管柱制作完成后应进行质量验收，外形尺寸的允许偏差应符合要求。

8.3.2 安装现场应设置构件堆场，并应采取防止构件变形及表面污染的保护措施。

8.3.3 构件吊装作业时，全过程应平稳进行，不得碰撞、歪扭、快起和急停。应控制吊装时的构件变形，在构件吊装就位后宜同步进行校正。

8.3.4 安装时，每节方钢管混凝土组合异形柱的定位轴线应从地面控制轴线直接引上，不得从下层的轴线引上。竖向投测宜每 $50\text{m} \sim 80\text{m}$ 设一转点。

8.3.5 当天安装完成的结构应形成稳固的空间刚度单元，必要时应增加临时支撑结构或临时措施。

8.3.6 下节方钢管混凝土组合异形柱内混凝土达到设计强度 50% 后，再进行上节方钢管混凝土异形柱的安装。

8.3.7 方钢管混凝土组合异形柱上下节柱的焊接应在主体结构校正完成后进行。

8.3.8 上下节方钢管混凝土组合异形柱现场拼接时，可采用可拆卸耳板临时固定方钢管混凝土组合异形柱，并应符合下列规定：

- 1 应进行安装耳板的设计，设计风压不应低于 $0.2\text{kN}/\text{m}^2$ ；
- 2 布置耳板时，异形柱每个柱肢至少布置一对耳板。

8.3.9 方钢管混凝土组合异形柱的安装、焊接经检验合格后应补漆。

8.4 方钢管内混凝土浇筑

8.4.1 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土应采用自密实混凝土，并采取减少收缩的技术措施，扩展度宜控制在 550 ~ 655mm。施工前应进行配合比设计，并应进行现场浇筑工艺试验，浇筑方法应与结构形式相适应。

8.4.2 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土应符合现行国家现行标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的有关规定。

8.4.3 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑应待本段钢结构构件全部施工完成后进行。

8.4.4 每节方钢管混凝土组合异形柱构件内混凝土应连续浇筑，浇筑面距方钢管混凝土组合异形柱顶端 300mm ~ 500mm。结构最后一节方钢管混凝土组合异形柱浇筑完毕后，间隔 24 小时后应检查，当发现混凝土下沉时，应进行补浆。

8.4.5 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土的浇筑应从钢管顶部向下浇筑。最大倾落高度不宜大于 9m；当倾落高度大于 9m 时，应采用必要的辅助装置进行浇筑。

8.4.6 混凝土浇筑完毕后应对方钢管混凝土组合异形柱管口进行临时封闭。

8.4.7 方钢管内混凝土的浇筑质量，应加强全过程监控，可采用敲击钢管的方法进行初步检查，当有异常，可采用超声波等方法进行检测。对浇筑不密实部位，可采用钻孔压浆法进行补浆，然后将钻孔进行补焊封固。

9 验 收

9.1 一般规定

9.1.1 方钢管混凝土组合异形柱结构工程的验收，除应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定外，还应符合本节的相关规定。

9.1.2 焊接技术人员应持证上岗。焊工应按所从事钢结构的钢材种类、焊接节点形式、焊接方法、焊接位置等要求进行作业，其施焊范围不得超越资格证书的规定。

9.1.3 方钢管混凝土组合异形柱结构各分项工程可按楼层或施工段划分为一个或若干个检验批。

9.1.4 钢结构涂装工程的验收应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中的内容执行。

9.2 原材料及成品进场

I 主控项目

9.2.1 钢板、钢带、方钢管及焊接材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量合格证明文件，中文标志及出厂检验

报告等。

9.2.2 钢材进厂后应按照现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755第 5.2.3 条至第 5.2.5 条的规定进行抽样复验。

检查数量：按照《钢结构工程施工规范》GB 50755 第 5.2.5 条的规定频次进行抽样复验。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

9.2.4 焊接材料应按照《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准和设计要求。

检查数量：按照《钢结构施工规范》GB 50755 第 5.3.2 条规定的频次。

检验方法：见证取样、送样，检查复验报告。

9.2.5 防火防腐的验收。钢结构防腐涂料、稀释剂和固化剂等材料的品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。钢结构防火涂料的品种和技术性能应满足设计要求，并应经法定的检测机构检测，检测结果应符合国家现行标准的规定。

II 一般项目

9.2.6 钢板和钢带的厚度及允许偏差应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 产品标准要求，方钢管混凝土组合异形柱原材料应按较高精度（PT. B）选取。

检查数量：每批同一品种、规格的钢板抽检 10%（每批钢卷均 100% 检查），且不少于 3 张（卷），每张（卷）检测

5 处。

检验方法：用游标卡尺量测或超声波测厚仪量测。

9.2.7 钢板不平度应符合其产品标准的要求。

检查数量：每一品种、规格的钢板抽检 10%，且不少于 3 张，每张检测 3 处。

检验方法：拉线、钢尺和游标卡尺。

9.2.8 钢材的表面外观质量除应符合国家现行有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

1 当钢材的表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得大于该钢材厚度负允许偏差值的 1/2；

2 钢材表面锈蚀等级应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第 1 部分未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 规定的 C 级及 C 级以上；

3 钢材端部或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查、观察检查。

9.2.9 矩形钢管截面尺寸、厚度及允许偏差应符合其产品标准的要求。

检查数量：每批同一品种、规格的钢管抽检 10%，且不少于 3 根，每根检测 3 处。

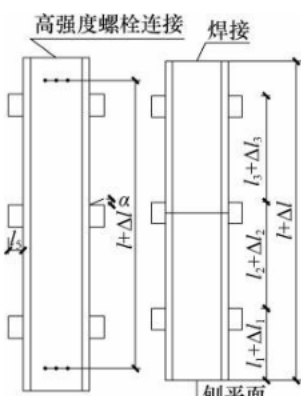
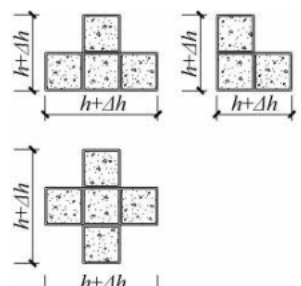
检验方法：用钢尺、游标卡尺及超声波测厚仪量测。

9.2.10 防火防腐的验收。防腐涂料和防火涂料的型号、名称、颜色及有效期应与其质量证明文件相符。开启后，不应存在结皮、结块、凝胶等现象。

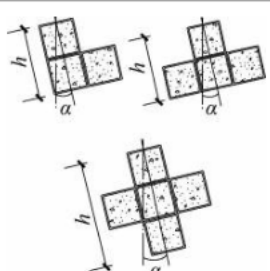
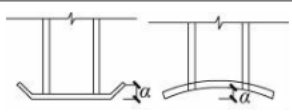
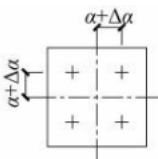
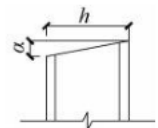
9.3 构件制作

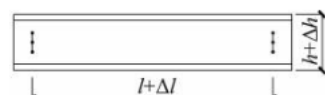
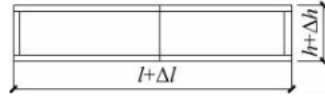
I 主控项目

9.3.1 构件制作完成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。成品的外形和几何尺寸的偏差应符合表 9.3.1-1 ~ 表 9.3.1-2 的规定

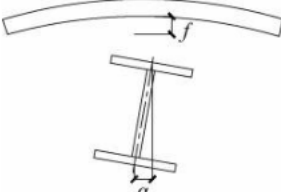
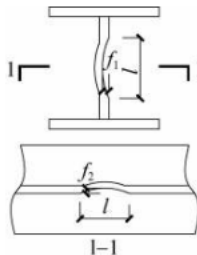
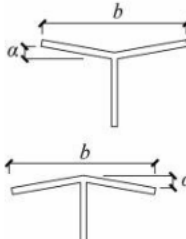
项目		
一节柱长度的偏差 Δl_1		
柱底刨平面到支撑面距离的偏差		
楼面间距离的 Δl_2 或 Δl_3		
牛腿的翘曲或扭曲 α	$l_5 \leq 6$	
	$l_5 > 6$	
柱身挠曲矢高		
柱截面尺寸偏差	$h \leq 4$	
	$400 \leq h$	
	$h \geq 8$	

续表 9.3.1.1

项目	允许偏差 (mm)	图例
每节柱身的扭曲	$6h/1000$ 且不大于 5.0	
柱脚底板的翘弯折		
柱脚螺栓孔对中心线的偏移		
柱端连接处的斜度		

项目		
梁的长度偏差		
焊接梁端部高度偏差	$h \leq 8$	
	$h > 8$	
两端最外侧孔离偏差		

续表 9.3.1.2

项目	允许偏差 (mm)		图例
梁的弯曲矢高	$l/1000$ 且不大于 10		
梁的扭曲 (梁高 h)	$h/200$ 且不大于 8		
腹板局部不平直度	$t < 14$	$3l/1000$	
	$t \geq 14$	$2l/1000$	
梁翼缘板弯曲偏差	2.0		

9.3.2 碳素结构钢在环境温度低于 -16°C ，低合金结构钢在环境温度低于 -12°C 时，不应进行冷矫正和冷弯曲。

检验数量：全数检查。

检验方法：检查制作工艺报告和施工记录。

9.3.3 钢部件拼接或对接时所采用的焊缝质量等级应符合设计要求。当设计没有要求时，应采用质量等级不低于二级的全熔透

焊缝。超声波探伤的质量等级、缺陷分级、探伤比例按照《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 中表 5.2.4 和《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203 执行。

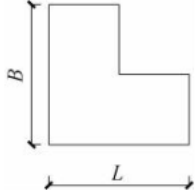
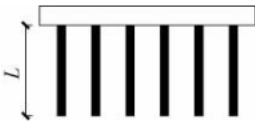
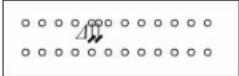
检查数量：全数检查。

检验方法：检查超声波探伤报告。

9.3.4 预埋件尺寸的制作允许偏差应符合表 9.3.4 的规定。

检查数量：抽检数量 10% 且不应小于 3 个。

检验方法：

项目		
预埋件外形尺		
锚筋长度 L		
锚筋位置 Δ		

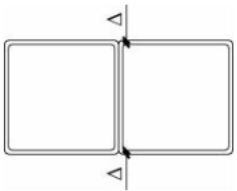
9.3.5 焊接工

构焊接规范》G

9.3.6 方钢管

9.3.6 的规定

表 9.3.6 方钢管混凝土组合异形柱纵向焊缝尺寸允许偏差

项目	图例	允许偏差 (mm)
连接焊缝有效厚度 h		0 ~ 1

检查数量：
查构件中，每一
条抽查 2 处，总
检验方法：

9.4.1 方钢管 制作质量应符合

检查数量：
检验方法：

9.4.2 方钢管 查构件、配件的

检查数量：
检验方法：

9.4.3 方钢管 加劲肋、钢筋孔

检查数量：同批构件抽查 10%，且不少于 3 件。

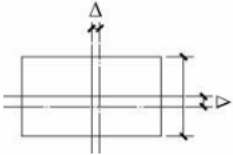
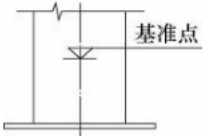
检验方法：尺量检查、观察检查及检查出厂验收记录。

9.4.4 建筑物的定位轴线、基础上方钢管混凝土组合异形柱构件的定位轴线和标高应符合设计要求。当设计无要求时，应符合表 9.4.4 的规定。

检查数量：按方钢管混凝土组合异形柱构件基础数抽查 10%，且不少于 3 处

检验方法：

表 9.4.4 建筑

项目		
建筑物定位轴线		
基础上方钢管混凝土组合异形柱构件轴线		
基础上方钢管混凝土组合异形柱构件标高		

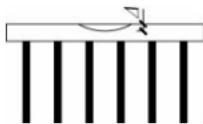
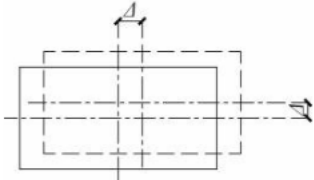
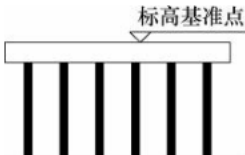
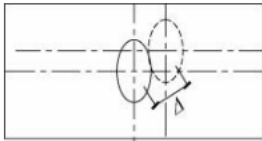
9.4.5 方钢管

表 9.4.5 的规定

检查数量：抽检数量 10%，且不应小于 3 个。

检验方法：采用经纬仪、水准仪、全站仪、水平尺和钢尺检查。

表 9.4.5 预埋件安装的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	图例
平整度	每米内不大于 3.0	
预埋件定位		
预埋件标高		
预留孔中心偏移		

9.4.6 方钢管

9.4.6 的规定。

检查数量

10%，且不少于

检验方法：

表 9.4.6 方钢管混凝土组合异形柱构件安装的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	图例
方钢管混凝土组合异形柱构件定位轴线		
方钢管混凝土组合异形柱构件的直度		

9.4.7 方钢管

和整体平面弯曲

检查数量:

两列角部构件外

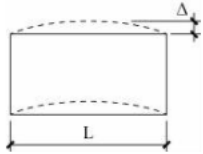
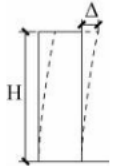
检验方法:

量,也可根据各

允许偏差累计

的允许偏差累计

表 9.4.7 整体垂直度和整体平面弯曲的允许偏差 (mm)

项目	允许偏差 (mm)	图例
主体结构的整体平面弯曲	$L/1500$, 且不应大于 25.0	
主体结构的整体垂直度		

9.4.8 方钢管

变形、脱漆等现

检查数量:

检验方法:

9.4.9 方钢管

应有疤痕、泥沙

检查数量:

检验方法:

9.4.10 方钢管

准点等标记应齐

检查数量:

检验方法:

9.4.11 方钢管

9.4.11 的规定

项目	允许偏差 (mm)	图例
同一层各方钢管 土组合异形柱构件 高差 Δ		
上下方钢管混凝土 异形柱构件对 的 Δ		
同一根梁两端顶 高差 Δ		
主次梁表明的高		
梁的跨中垂直度		

表 9.4.11 方钢管混凝土组合异形柱构件安装的允许误差

检查数量：按同类构件或节点数抽查 10%，其中方钢管混凝土组合异形柱构件和梁各不应少于 3 件，主梁与次梁连接节点不应少于 3 个，支承压型金属板的钢梁长度不应少于 5m。

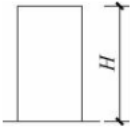
检验方法：用水准仪、全站仪、激光经纬仪、直尺和钢尺检查。

9.4.12 主体结构总高度的允许偏差应符合表 9.4.12 的规定。

检查数量：按标准方钢管混凝土组合异形柱构件列数抽查 10%，且不应少于 4 列。

检验方法：采用全站仪、水准仪和钢尺实测。

表 9.4.12 方钢管混凝土组合异形柱框架结构主体总高度的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	图例
用设计标高控制 安装	$\pm H/1000$ ，且不应大于 ± 30.0	

9.5 混凝土工程

I 主控项目

9.5.1 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土的强度等级应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查试件强度试验报告。

9.5.2 每节方钢管混凝土组合异形柱构件内混凝土应连续浇筑，当必须间歇时，间歇时间不得超过混凝土的初凝时间。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

9.5.3 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑应密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查钢管内混凝土浇筑工艺试验报告和混凝土浇筑施工记录。

II 一般项目

9.5.4 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑面与对接接口距离应不小于 300mm，以防方钢管混凝土组合异形柱焊接时高温影响方钢管内混凝土质量。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、尺量检查，检查施工记录。

9.5.5 方钢管混凝土组合异形柱内的混凝土浇筑方法及浇灌孔、排气孔的留置应符合设计及专项施工方案的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

9.5.6 方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑前，应对方钢管混凝土组合异形柱安装质量检查确认；混凝土浇筑后应对管口进行临时封闭。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查、检查施工记录。

附录 A 方钢管混凝土组合异形柱 抗侧刚度的计算

A.0.1 对称等肢厚 T 形与十字形截面方钢管混凝土组合异形柱，可以按照弯曲刚度等效的原则等效为矩形柱以进行结构弹性位移的计算，其等效后计算结果与通过抗侧刚度计算所得结果相同。对称等肢厚 T 形与十字形截面钢管混凝土异形柱抗侧刚度也可按下式计算：

$$D_x = \frac{12(E_s I_{sy} + E_c I_{cy})}{l^3} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$D_y = \frac{12(E_s I_{sx} + E_c I_{cx})}{l^3} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中：\$D_x\$、\$D_y\$——分别为方钢管混凝土组合异形柱在 \$x\$ 向、\$y\$ 向的抗侧刚度（N/mm）；

\$E_s\$、\$E_c\$——分别为钢管、混凝土的弹性模量（N/mm²）；

\$I_s\$、\$I_c\$——分别为钢管、管内混凝土的截面惯性矩（mm⁴）；

\$l\$——试件长度（mm）。

A.0.2 对称等肢 L 形截面方钢管混凝土组合异形柱抗侧刚度可按下式计算：

$$D_x = 12 \times \frac{E_s I_{sy} + E_c I_{cy} - (E_s I_{sxy}^2 + E_c I_{cxy}^2) / (I_{sx} + I_{cx})}{l^3} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$D_y = 12 \times \frac{E_s I_{sx} + E_c I_{cx} - (E_s I_{sxy}^2 + E_c I_{cxy}^2) / (I_{sy} + I_{cy})}{l^3} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： D_x 、 D_y ——分别为方钢管混凝土组合异形柱在 x 向、 y 向的抗侧刚度（N/mm）；

E_s 、 E_c ——分别为钢管、混凝土的弹性模量（N/mm²）；

I_s 、 I_c ——分别为钢管、管内混凝土的截面惯性矩（mm⁴）；

l ——试件长度（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：

表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规程中指明应按其他有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 4 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 5 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 6 《混凝土强度检验评定等级》 GB 50107
- 7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 8 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 9 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223
- 10 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 11 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 12 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 13 《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51249
- 14 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 15 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》
GB/T 709
- 16 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
- 17 《钢结构用高强度大六角头螺母》 GB/T 1229
- 18 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
- 19 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈
技术条件》 GB/T 1231
- 20 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591

- 21 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
- 22 《碳钢焊条》 GB/T 5117
- 23 《低合金钢焊条》 GB/T 5118
- 24 《六角头螺栓 – C 级》 GB/T 5780
- 25 《六角头螺栓 – A 级和 B 级》 GB/T 5782
- 26 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》 GB/T 8110
- 27 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》
GB/T 8923
- 28 《建筑构件耐火试验方法》 GB/T 9978
- 29 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T 10433
- 30 《色漆和清漆防护体系对钢结构的防腐蚀保护》 GB/
T 30790
- 31 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 32 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
- 33 《建筑工程冬季施工规程》 JGJ 104
- 34 《建筑结构用冷弯矩形钢管》 JG/T 178
- 35 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 JGJ/T 251
- 36 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283
- 37 《钢结构超声波探伤及质量分级法》 JG/T 203

山东省工程建设标准

装配式方钢管混凝土组合异形柱
结构技术规程

Technical code for assembled structure with special-shaped
columns comprising square concrete-filled steel tubes

DB 37XXX — 20XX

条文说明

制订说明

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局关于印发《2018年第二批山东省工程建设标准制修订计划》的通知（鲁建标字〔2018〕17号）的要求，由山东萌山钢构工程有限公司、山东建筑大学会同有关单位开展了山东省地方标准《装配式方钢管混凝土组合异形柱结构技术规程》的编制工作。

本规程在编制过程中，经过广泛的调查研究，参考国内外先进标准和相关技术指南，结合山东省装配式钢结构建筑发展的需要，总结并吸收了国内外有关装配式方钢管混凝土组合异形柱结构的理论研究成果和成熟的工程应用经验，经认真讨论和修改编制了本规程。

为了便于广大工程技术人员、科研和高校的相关人员在执行本规程时，能准确理解条文规定，《装配式方钢管混凝土组合异形柱结构技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定时的参考。

目 录

1	总则	67
2	术语和符号	68
3	基本规定	69
3.1	材料	69
3.2	结构体系	69
3.3	构件承载力设计	70
3.4	水平位移限值和舒适度要求	70
4	结构计算分析	71
4.1	一般规定	71
4.2	弹性分析	72
4.3	弹塑性分析	72
5	构件设计	73
5.1	框架柱	73
5.2	框架梁	80
6	节点设计	81
6.1	一般规定	81
6.2	梁柱节点设计	81
6.3	梁、柱的拼接	81
6.4	柱脚设计	82
7	防护设计	83
7.1	一般规定	83
7.2	防腐蚀设计	83

7.3	防火保护设计	83
8	制作和施工	85
8.1	一般规定	85
8.2	构件制作	85
8.3	构件安装	86
8.4	方钢管内混凝土浇筑	86
9	验收	87
9.1	一般规定	87
9.2	原材料及成品进场	88
9.3	构件制作	88
9.4	安装工程	89
9.6	混凝土工程	89
附录 A	方钢管混凝土异形柱抗侧刚度的计算	91

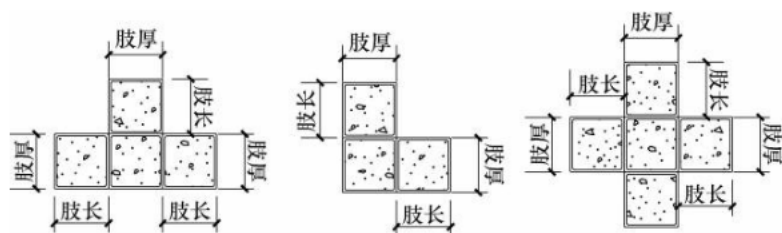
1 总 则

1.0.1 方钢管混凝土组合异形柱结构已在山东、山西等地建有多幢多、高层民用建筑示范工程，取得了良好的技术和经济效益，为方钢管混凝土组合异形柱结构的设计、施工积累了经验。同时，编制组进行了大量的试验研究，包括 L 形、T 形方钢管混凝土组合异形柱轴压、偏压试验，并进行了大量的理论分析和数值模拟。这些工程经验和理论研究成果为标准的制定提供了坚实基础。

1.0.2 ~ 1.0.3 这两条规定了本规程的编制目的、适用范围和与其他相关标准的关系。

2 术语和符号

2.1.1 本条款对方钢管混凝土组合异形柱的组成进行了解释和说明。



2.1.2 ~ 2.1.8

释，说明其作用

3 基本规定

3.1 材 料

3.1.1 ~ 3.1.2 条款是对方钢管混凝土异形柱中使用的钢材作出的规定。

3.1.3 本条直接引用了《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 第 3.1.2 条中对可用于高层民用建筑钢结构的冷弯型钢要求。对制作钢带的质量要求主要考虑控制钢带厚度误差。

3.1.4 条款是对方钢管混凝土组合异形柱中采用的钢支撑、屈曲约束支撑的材质和性能作出的规定。

3.1.5 ~ 3.1.7 条款是对方钢管混凝土组合异形柱中使用的混凝土作出的规定。

3.1.8 ~ 3.1.10 条款是方钢管混凝土组合异形柱中使用的连接材料作出的规定。

3.2 结构体系

3.2.1 本规程仅对这些已经通过实际工程检验的结构体系的设计进行基本规定。除此之外的方钢管混凝土组合结构的设计工作，应通过试验验证或组织专家评审按照有关法规及规程进行实施。

3.2.2 ~ 3.2.4 条款对方钢管混凝土组合异形柱结构的概念设计作出了相关规定。

3.2.5 本条款中各类方钢管混凝土组合异形柱结构体系的最大适用高度主要是参考现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、

《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《矩形钢管混凝土组合异形柱结构技术规程》T/CECS 825 等标准制定的。框架抗侧力体系有支撑型和延性墙板型两类。

3.2.6 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构的高宽比作出了规定。

3.2.7 本条款直接引用《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 第 8.1.8 条第 2 款和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015 第 3.3.8 条第 2 款的规定。

3.2.8 本条款直接引用《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 第 3.3.5 条，防震缝的宽度不应小于钢筋混凝土框架结构缝宽的 1.5 倍。

3.3 构件承载力设计

3.3.1 本条款对方钢管混凝土组合异形柱框架结构构件的承载力计算作出了相关规定。

3.3.2 本条款中的抗震调整系数与现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中钢管混凝土柱的抗震调整系数保持一致。

3.4 水平位移限值和舒适度要求

3.4.1 风荷载作用下考虑到结构构件变形和人体舒适感，层间变形宜取值从严。因此风荷载作用下，对于居住建筑不宜大于 1/400，公共建筑不宜大于 1/300。

3.4.2 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构在地震作用下的最大水平位移作出了相关规定。

3.4.3 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构舒适度验算作出了相关规定。

4 结构计算分析

4.1 一般规定

4.1.1 ~ 4.1.2 条款对方钢管混凝土组合异形柱体系的荷载、地震作用、荷载效应组合及计算方法作出了相应规定。

4.1.3 本条款根据山东建筑大学课题组对方钢管混凝土组合异形柱抗侧刚度的研究，方钢管混凝土组合异形柱可以按抗弯刚度等效成方钢管混凝土柱计算。

4.1.4 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构弹塑性变形计算作出了相应规定。

4.1.6 本条直接引用《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 第 6.1.3 条中考虑混凝土楼板对钢梁惯性矩的贡献。楼板与钢梁连接可靠时，楼板可作为钢梁的翼缘，两者共同工作，计算钢梁截面的惯性矩时，可计入楼板的作用。大震时，楼板可能开裂，不计入楼板对钢梁刚度的增大作用。

4.1.7 本条款对方钢管混凝土组合异形柱体系的自振周期折减作出了相应规定。

4.1.8 本条款对方钢管混凝土组合异形柱体系的稳定性作出了相应规定。

4.1.10 本条款对方钢管混凝土组合异形柱体系的构件及节点连接设计作出了相应规定。

4.2 弹性分析

4.2.3 现行国家、行业标准对于钢－混凝土组合构件的计算刚度均取钢部分的刚度与混凝土部分的刚度之和，本规程亦采用相同原则。

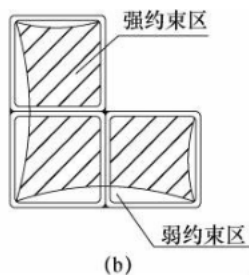
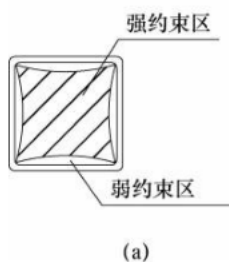
4.3 弹塑性分析

4.3.1 ~ 4.3.4 条款对方钢管混凝土组合异形柱框架结构的弹塑性分析提出了相应要求。

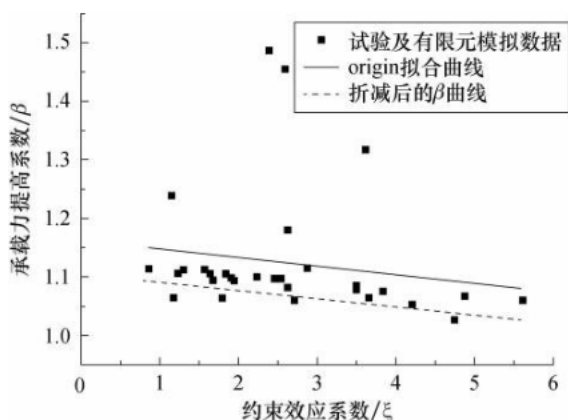
5 构件设计

5.1 框架柱

5.1.1 山东建筑大学课题组对 5 组 L 形方钢管混凝土组合异形柱和 5 组 T 形方各国规范对组合于组合结构强度钢管混凝土结构合结构技术规程际值较为接近，算方钢管混凝土础上，考虑钢管量有限元模拟，约束机理，得出（图 1）。通过计



混凝土占全部混凝土面积的 86% 左右，故公式中对混凝土面积的折减取 0.85，通过回归分析，如图 2 所示，提出了以约束效应系数 ξ 为基础的方钢管组合混凝土异形柱强度承载力提高系数 β_1 的计算公式 $\beta_1 = 1.16 - 0.015\xi$ ，为了保证公式计算结果在大部分情况均小于有限元计算结果，对承载力提高系数 β_1 乘以 0.95 的折减系数，即 $\beta = 0.95 \cdot (1.16 - 0.015\xi)$ 。

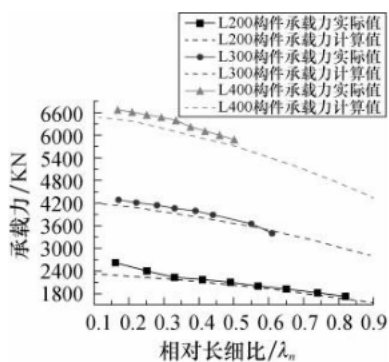
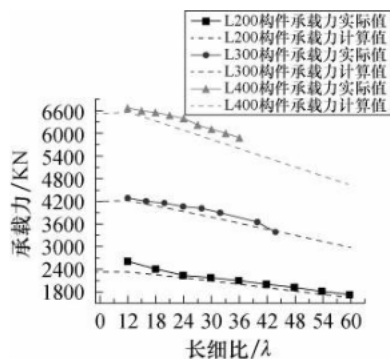


5.1.3 山

得到方钢管混凝土异形柱的长细比 λ 的计算

通过荷载比说明两种计算方稳定承载力作出到换算长细比的

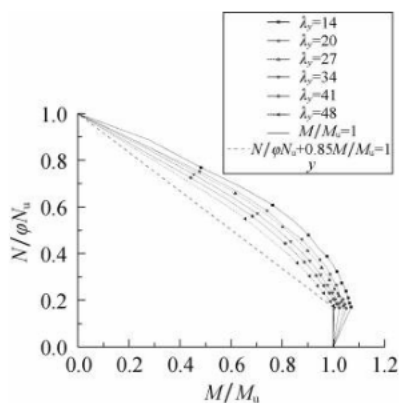
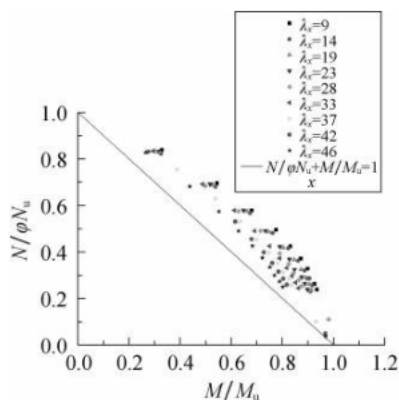
混凝土组合异形柱稳定承载力的计算。



5.1.4 山东建

柱的单向偏压承
分析，发现当构
接近于直线（图
称轴弯曲时，压

($\lambda < 48$) 接近于抛物线 (图 6), 当长细比较大时 ($\lambda \geq 48$), 接近于直线 (图 7)。故当构件沿非对称轴弯曲且 $\lambda < 48$ 时为便于设计采用两段折线进行包络, 当构件沿非对称轴弯曲且 $\lambda \geq 48$ 时为便于设计采用直线进行包络。



山东建筑大

的单向偏压承载

发现当构件绕对

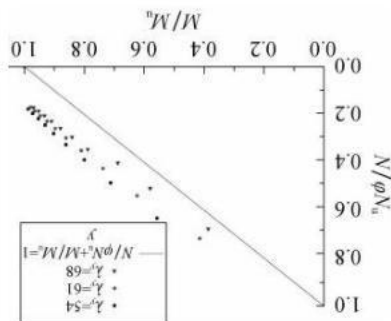
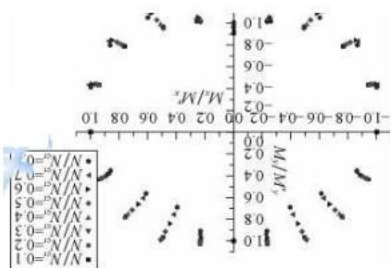
$N/N_u - M/M_u$ 曲

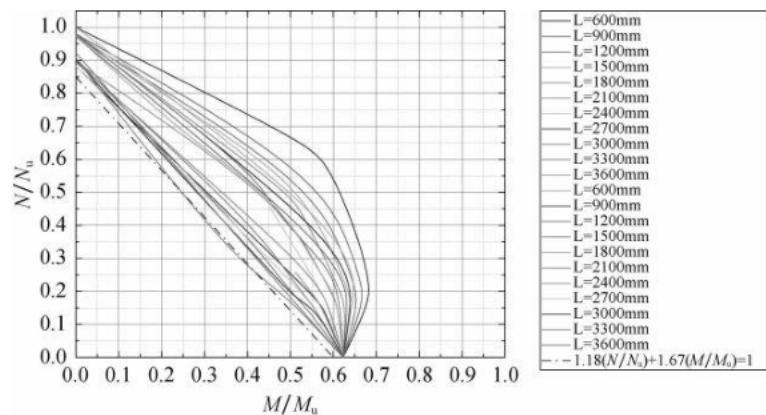
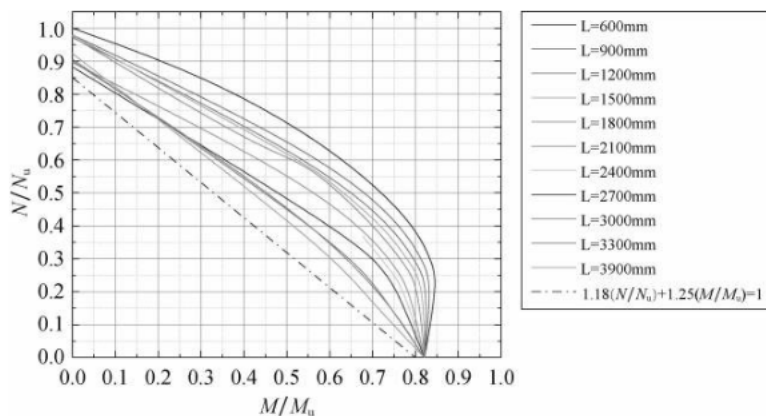
于设计，采用直

对称轴弯曲时，

近于直线，如图

进行下限包络，





5.1.5 山东建

了 L 形方钢管混

线呈椭圆形。为

基础上，将 L 形方钢管混凝土组合异形柱的 $M_y/M'_y - M_x/M'_x$ 相关曲线简化为多段折线（图 8）。

通过数值分析，绘制 T 形方钢管混凝土组合异形柱双向偏心受压试件的 $M_x/M_{ux} - M_y/M_{uy}$ 关系曲线，如图 11 所示。经数据处理和拟合，得到 T 形方钢管混凝土组合异形柱双向偏心受压承载力计算公式。通过包络数值分析和试验得到的数据，在保证 95% 以上安全概率的基础上 将 T 形方钢管混凝土组合异形柱复杂的双向偏心受压计算

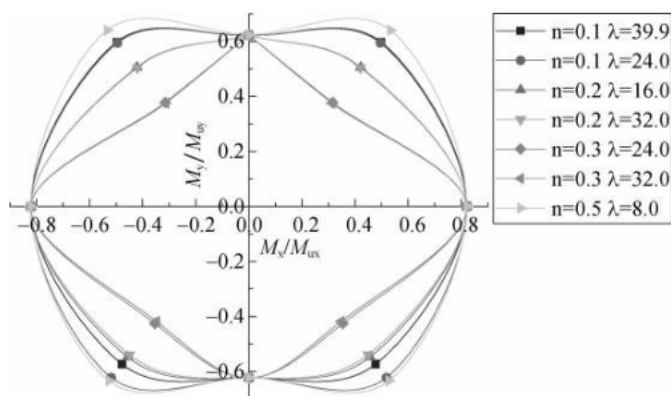


图 11

5.1.6 本条款

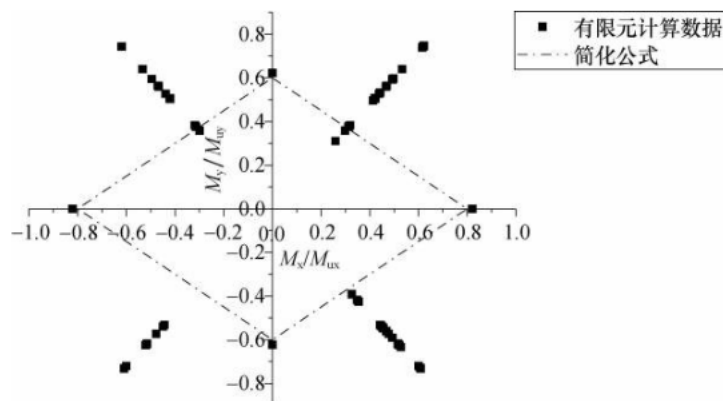
关规定。

5.1.7 本条款

规定。

5.1.9 本条款

规定。



5.1.11 本条款
作出了规定。

5.2.1 ~ 5.2.9
中对受弯构件的

6 节点设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条款对钢管混凝土异形柱结构的连接设计作出了一般规定。

6.1.2 ~ 6.1.3 焊缝作为构件间相互连接的重要方式之一，应对其进行严格的质量等级控制。

6.1.4 本条款对钢管混凝土异形柱结构各构件连接、拼接的焊缝作出了规定。梁与柱刚性连接时，弯矩由梁翼缘和腹板受弯区的连接承受，剪力由腹板受剪区的连接承受，与实际受力状态较为吻合。

6.1.5 本条款对承重构件的螺栓连接作出了规定。

6.2 梁柱节点设计

6.2.1 本条款对多高层方钢管混凝土组合异形柱结构的梁柱刚性连接节点的受力性能提出了要求。

6.2.2 提出方钢管混凝土组合异形柱框架梁柱刚性连接可采用外套管连接，且给出了外套管连接构造。

6.3 梁、柱的拼接

6.3.1 本条款对梁柱工地拼接节点作出了规定。

6.3.2 ~ 6.3.4 本条款对梁柱拼接节点受弯、受剪承载能力作出了规定。

6.4 柱脚设计

6.4.1 ~ 6.4.4 对方钢管混凝土组合异形柱结构柱脚形式的选用、柱脚承载能力的计算等作出了规定。

7 防护设计

7.1 一般规定

7.1.3 脱硫石膏等工业副产石膏越来越多地用于轻质抹灰石膏，固废及有机外加剂的使用等，易导致轻质抹灰石膏中挥发性有机物、游离甲醛、重金属等有害物质及放射性超标，对人体和环境不利，因此需对其有害物质含量及放射性进行控制。

7.2 防腐蚀设计

7.2.1 ~ 7.2.2 对钢结构构件防腐蚀设计和施工作出了一般规定。

7.2.3 本条为方钢管混凝土组合异形柱框架结构民用建筑腐蚀性等级的规定。

7.2.4 对钢材表面原始锈蚀等级和钢材除锈等级标准作出了规定。

7.2.5 ~ 7.2.6 对钢结构构件除锈等级及涂料类型进行了规定。

7.2.7 钢材作为一种易腐材料，防腐蚀尤为重要，本条对不同预期寿命等级的钢材防腐蚀保护层最小厚度作出了规定。

7.3 防火设计

7.3.1 对方钢管混凝土组合异形柱结构构件的耐火极限、连接节点防火保护层厚度作出了规定。

7.3.2 ~ 7.3.4 本条款对方钢管混凝土组合异形柱框架的防火材料作出了规定。

7.3.5 本条款规定了设置防火保护层时应采取的构造措施。

7.3.6 ~ 7.3.7 条款分别对采用轻质抹灰石膏、无机轻集料保温砂浆作为防火保护材料时应满足的要求作出了规定。

8 制作和施工

8.1 一般规定

8.1.1 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构中所采用的钢板、钢带、矩形管及焊接材料等的品种、规格、性能作出了相关规定。

8.1.2 本条款对方钢管混凝土组合异形柱构件制作的加工工艺文件作出了相关要求。

8.1.3 本条款对施工前，施工单位应编制的专项施工方案的内容作出了相关要求。

8.1.4 本条款对钢管内混凝土的冬季施工作出了相关规定。

8.2 构件制作

8.2.1 方钢管混凝土组合异形柱构件在制作前应根据设计文件绘制钢结构施工详图，并且本条款对施工详图作出了相关要求。

8.2.2 方钢管混凝土组合异形柱构件应根据施工详图进行放样。本条款对放样与号料作出了相关要求。

8.2.3 本条款对钢部件拼接或对接时所采用的焊缝质量作出了相关要求。

8.2.6 本条款对外套管式节点域的加工作出了相关规定。

8.2.7 保持方钢管内部清洁是保证混凝土浇筑质量的重要措施，应在出厂前，安装前进行检查。

8.3 构件安装

8.3.1 方钢管混凝土组合异形柱的制作需要经过构件组装、焊接、涂装等多道工序，每一步关键工序前均应检查合格后，方可进入下一道工序。

8.3.2~8.3.9 条款对方钢管混凝土组合异形柱的吊装、安装作出了相关规定。

8.4 方钢管内混凝土浇筑

8.4.1 自密实混凝土施工工艺目前已经很成熟，适用于方钢管内混凝土的施工。由于项目条件的不同，为保证方钢管内混凝土的浇筑质量，应结合各方面的条件进行现场浇筑工艺试验，确定好施工工艺参数后方可大面积施工。

8.4.3~8.4.7 条款对方钢管混凝土组合异形柱内混凝土的浇筑作出了相关规定。

9 验 收

9.1 一般规定

9.1.1 方钢管混凝土组合异形柱结构中既含有钢结构又含有混凝土，除本章规定外，还应符合的现行国家标准和行业标准有《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、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 等。

方钢管混凝土组合异形柱是钢结构工程子分部的一部分，其分项工程的划分和验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 及《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。各分项工程中方钢管混凝土组合异形柱结构的内容应按本规程的相关规定进行检查验收，其余检查项应按照国家现行规范标准执行。

9.1.2 焊接工程是所有钢结构工程施工中重要的一环，本条对焊接作业相关人员的资格做了规定，是保证构件焊接质量的基本条件。具体的相关要求可参考《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定。

9.1.3 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构各分项工程的检验方式给出了规定。

9.1.4 对轻质抹灰石膏、混凝土、无机轻集料保温砂浆、水泥砂浆和加气混凝土砌块防火保护工程的验收应按照符合现行国家

标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 中混凝土、砂浆和砌体防火保护工程验收内容执行的有关规定。

9.2 原材料及成品进场

9.2.1 本条款对钢板、钢带、矩形管及焊接材料的品种、规格、性能的验收作出了相关规定。

9.2.2 本条款对钢材进厂后的检验作出了相关规定。

9.2.4 本条款对焊接材料的复验作出了相关规定。

9.2.5 本条款对防火防腐的验收作出了相关规定。

9.2.6 ~ 9.2.8 条款对钢板的各项质量指标作出了相关规定。

9.2.9 本条款对矩形钢管截面尺寸、厚度及允许偏差作出了相关要求。

9.2.10 本条款对防火防腐的验收作出了相关规定。

9.3 构件制作

9.3.1 本条款所指验收，是构件出厂验收，即对具备出厂条件的构件按照工程标准要求检查验收。

表 9.3.1-1 与表 9.3.1-2 的允许偏差，是参考了现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和日本《建筑工程钢结构施工验收规范》编制的，根据我国民用建筑钢结构施工情况，对其中各项做了补充和修改，补充和修改的依据参考了现行国家标准《高层民用钢结构技术规程》JGJ 99。

9.3.2 本条款对碳素结构钢、低合金结构钢是否进行冷矫正和冷弯曲的温度作出了规定。

9.3.3 本条款对钢部件拼接或对接时所采用的焊缝质量等级作

出了相关规定。

9.3.4 本条款对预埋件尺寸的制作允许偏差作出了详细规定。

9.3.5 ~ 9.3.6 条款对焊接工程作出了相关规定。

9.4 安装工程

9.4.1 ~ 9.4.2 条款对方钢管混凝土组合异形柱构件的进场验收及检验作出了规定。

9.4.3 本条款对方钢管混凝土组合异形柱构件上的连接板、吊装耳板、加劲肋、钢筋孔的规格、位置和数量作出了要求。

9.4.4 本条款对建筑物的定位轴线、基础上方钢管混凝土组合异形柱构件的定位轴线和标高作出了相关规定。

9.4.5 本条款对方钢管混凝土组合异形柱预埋件的安装允许偏差作出了详细规定。

9.4.6 本条款对方钢管混凝土组合异形柱构件按安装的允许偏差作出了详细规定。

9.4.7 本条款对方钢管混凝土组合异形柱结构主体结构整体垂直度和整体平面弯曲的允许偏差作出了详细规定。

9.4.8 ~ 9.4.10 条款对方钢管混凝土组合异形柱构件的各项质量指标作出了要求。

9.4.11 本条款对方钢管混凝土组合异形柱构件安装的允许偏差作出了详细规定。

9.4.12 本条款对主体结构总高度的允许偏差作出了详细规定。

9.5 混凝土工程

9.5.1 本条款对方钢管混凝土组合异形柱内混凝土的强度等级作出了设计要求。

9.5.2 本条款对每节方钢管混凝土组合异形柱构件内混凝土的浇筑方式作出了规定。

9.5.3 方钢管混凝土组合异形柱内的混凝土密实性指标，通过敲击检查方式，是方便可行的检查方法。敲击检查密实性也是在混凝土浇筑施工中采取的主要控制手段。初步检查如有异常，可采用超声波或钻孔等方法进行检测。对不迷失部位，应采用钻孔压浆法进行补强，然后将钻孔补焊封固。

9.5.4 本条款对方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑面与对接接口距离作出了规定。

9.5.5 本条款对方钢管混凝土组合异形柱内的混凝土浇筑方法及浇灌孔、排气孔的留置提出了设计要求。

9.5.6 本条款对方钢管混凝土组合异形柱内混凝土浇筑前、浇筑后应采取的措施作出了规定。

附录 A 方钢管混凝土异形柱抗侧刚度的计算

A.0.1 本条款的公式推导在不考虑柱剪切变形的条件下进行，直接利用平截面假定，引入横向位移与横截面转角的关系进行推导，当剪切变形不可忽略时，依照 Timoshenko 理论的假定，中面与法线不再保持垂直，则截面转角与横向位移的斜率也不再相等。所以，公式并无法用来计算柱子的剪切变形，而对于实际工程中需要计算剪切变形的短柱，则需另行考虑。