



CECS *** : 2021

中国工程建设标准化协会标准

异形钢管混凝土结构设计规程

Technical specification for structures with concrete-filled
special-shaped steel tube columns

(征求意见稿)

中国计划出版社

2021 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发2013年第二批工程建设协会标准制定、修订计划的通知》（建标协字[2013]14号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程共分9章和2个附录，主要技术内容包括：总则、术语、材料、基本设计规定、结构体系与结构分析、承重构件设计、连接节点设计、防腐及防火、施工和验收。

本规程由中国工程建设标准化协会轻型钢结构专业委员会归口管理，由同济大学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：上海市四平路1239号同济大学建筑工程系，邮编：200092）。

主编单位： 同济大学、江苏中南建筑产业集团有限公司

参编单位（排名不分先后）：

武汉大学

天津大学

华南理工大学

西南交通大学

长江大学

武汉科技大学

中国建筑标准设计研究院有限公司

华东建筑设计研究院有限公司

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

上海同济绿建土建结构预制装配化工程技术有限公司

上海浦东建筑设计研究院有限公司

上海宝钢建筑工程设计有限公司

上海宝冶集团有限公司

杭萧钢构股份有限公司

山东经典重工集团股份有限公司

北京毅铭兴源集成房屋研究院有限公司

美联钢结构建筑系统（上海）股份有限公司

山东锦城钢结构有限责任公司
四川仁铭住宅工业技术有限公司
北京汇筑建筑科技有限公司
武钢集团汉口轧钢厂

主要起草人： 沈祖炎、李元齐、张 军

（按姓氏拼音排序） 包联进、蔡 健、陈志华、崔清树、方鸿强、何志军、胡立黎、黄彬辉、雷 敏、罗金辉、罗兴隆、苗树文、王 鹏、王彦博、王 喆、魏桂顺、吴三桂、孙绪东、许成祥、徐礼华、余 敏、张继承、张跃峰、赵敦实、郑华海、周 铭、朱少文

主要审查人员：

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 材 料	7
3.1 钢 材	7
3.2 连接材料	7
3.3 混凝土材料	8
4 基本设计规定	9
4.1 一般规定	9
4.2 设计指标	10
4.3 结构变形	11
4.4 构造的一般规定	12
5 结构体系和结构分析	15
5.1 结构体系	15
5.2 结构分析	17
6 异形钢管混凝土柱设计	19
6.1 一般规定	19
6.2 轴心受力构件的计算	20
6.3 压弯构件的计算	22
6.4 框架柱的设计要求	26
7 异形钢管混凝土柱连接设计	29
7.1 梁柱连接	29
7.2 柱子拼接	39
7.3 柱脚	42
8 防火及防腐	43
8.1 防火	43
8.2 防腐	45

9 施工与验收	47
9.1 异形钢管施工与验收	47
9.2 混凝土施工与验收	51
附录 A	53
A.1 异形钢管混凝土轴心受压构件稳定承载力计算	53
A.2 异形钢管混凝土压弯构件承载力计算	55
A.3 采用纤维模型法计算异形钢管混凝土构件承载力	56
附录 B 侵蚀作用分类和防腐涂料底、面漆配套及维护年限	58
本规程用词说明	59
引用标准名录	60
附：条文说明	

Contents

1. General provisions.....	1
2. Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	3
3. Materials.....	7
3.1 Steel materials.....	7
3.2 connections materials.....	7
3.3 Concrete materials.....	8
4. Basic requirements of design.....	9
4.1 General requirements.....	9
4.2 Design indices.....	10
4.3 Allowable deformation of structure.....	11
4.4 Detailing requirements.....	12
5. Structural system and structural analysis.....	15
5.1 Structural system.....	15
5.2 Structural analysis.....	17
6. Design of concrete-filled special-shaped steel tube columns.....	19
6.1 General requirements.....	19
6.2 Calculation of members under axial compression	20
6.3 Calculation of members under compression and bending.....	22
6.4 Design requirements for columns of frame.....	26
7. Design of connections with concrete-filled special-shaped steel tube columns.....	29
7.1 Connections between beams and columns	29
7.2 Connections between columns and columns.....	39
7.3 Base Connections of columns	42
8. Coating and fireproofing.....	43
8.1 Coating.....	43
8.2 Fireproofing.....	45
9. Construction and acceptance.....	47
9.1 Construction and acceptance of Concrete-filled special-shaped steel tube columns..	47
9.2 Construction and acceptance of Concrete.....	51
Appendix A.....	53

A.1 Calculation of stability capacity of concrete-filled special-shaped steel tube columns under axial compression	53
A.2 Calculation of load-bearing capacity of concrete-filled special-shaped steel tube columns under compression and bending.....	55
A.3 Load-bearing capacity Calculation of concrete-filled special-shaped steel tube columns using fiber-based model method.....	56
Appendix B Classification of corrosive effect, and matching base and finish coating and corresponding duration limit of maintenance.....	58
Explanation of wording in this specification.....	59
List of quoted standards.....	60
Addition: Explanation of Provisions	

1 总 则

1.0.1 为使异形钢管混凝土柱结构的设计及施工贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业与民用房屋和一般构筑物的异形钢管混凝土柱结构,主要包括由 L 形、T 形、十字形钢管混凝土柱形成的建筑结构设计、施工与验收。本规程未考虑直接承受动力荷载的承重结构的特殊要求。

1.0.3 本规程的设计原则是根据现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068 的规定制定的。按本规程设计、施工和验收时,除本规程有明确规定外,荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定执行;设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯型钢结构技术标准》GB50018、《混凝土结构设计规范》GB50010 和《建筑抗震设计规范》GB50011 的要求;材料和施工的质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的要求。

1.0.4 对有特殊设计要求和在特殊情况下的异形钢管混凝土柱结构设计,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 异形钢管 Special-shaped steel tube

冷弯或焊接成型的 L 形、T 形、十字形闭合钢管

2.1.2 异形钢管混凝土柱 Concrete-filled special-shaped steel tube column

在闭合异形钢管内浇筑混凝土，并由异形钢管和管内混凝土共同承担荷载的柱。不包括由矩形钢管混凝土柱组成的格构式异形柱。

2.1.3 异形钢管混凝土结构 Structure with concrete-filled special-shaped steel tube member

主要由异形钢管混凝土柱组成的结构。

2.1.4 混凝土工作承担系数 Percentage of load-carrying capacity shared by concrete

在异形钢管混凝土轴心受压构件中，管内混凝土的抗压承载力占全部抗压承载力的百分数。

2.1.5 工程轴 Engineering axis

过形心平行于肢长或肢宽的截面形心轴

2.1.6 肢长-肢宽比 Ratio of length-width of limber for special-shaped member

异形截面肢长与肢宽的比例。

2.1.7 贯通隔板式连接 Connection between column and beam connected with through diaphragms

节点处柱被贯穿隔板分割，梁翼缘与贯穿隔板采用对接焊缝或螺栓连接。

2.1.8 外环板式连接 Connection between column and beam with external diaphragms

节点处柱贯穿，外环板与钢管柱外壁采用全熔焊缝连接，上下外环板间设置加劲肋的连接。

2.1.9 侧板式连接 Joint with vertical stiffener

节点处柱贯通，在梁翼缘侧面焊接竖向肋板，竖向肋板延伸至两侧柱壁并与柱壁焊接。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_c — 混凝土的弹性模量；

E_s — 钢材的弹性模量；

f — 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_v — 钢材的抗剪强度设计值；

f_{ce} — 钢材的端面承压强度设计值；

f_c — 混凝土的抗压强度设计值；

f_t — 混凝土的抗拉强度设计值；

f_y — 钢材的屈服强度；

f_{ck} — 混凝土的抗压强度标准值；

f_{tk} — 混凝土的抗拉强度标准值；

f_w — 焊缝的抗拉强度设计值；

f_j — 内隔板或贯穿隔板钢材的抗拉强度设计值；

G — 钢材的剪变模量；

t_f — 构件的设计耐火极限；

α — 钢材的线膨胀系数；

ρ — 钢材的质量密度；

2.2.2 作用、作用效应及承载力

M — 弯矩设计值；

M_u — 截面纯弯承载力设计值；

M_{uc} — 框架柱在轴力作用下的受弯承载力设计值；

M_{ub} — 框架梁的受弯承载力设计值；

M_{jl} —节点的抗弯承载力；

N —轴心压（拉）力设计值；

$N_p N_u$ —截面抗压承载力设计值；

N_E —欧拉临界力；

$N_c^p N_{uk}$ —框架柱的轴心受压承载力标准值；

N_f —火灾时作用于柱子的轴力设计值；

N_f^p —火灾时柱子承载力设计值；

R —承载力设计值；

S —不考虑地震作用时的荷载效应组合设计值；

S_E —考虑多遇地震作用时，荷载和地震作用效应组合的设计值；

V —剪力设计值；

V_j —环梁与柱联结面处剪力设计值；

V_{js} —环梁与柱联结面的直剪承载力设计值；

V_{jb} —环梁与柱联结面处肋钢筋上混凝土的局部承压力设计值；

V_{su} —环梁的抗剪承载力设计值；

V_{jl} —节点抗剪承载力设计值。

τ —剪应力设计值；

τ_{cr} —临界剪应力；

τ_{crt} —带肋钢板剪力墙的整体临界剪应力；

τ_{crp} —带肋钢板剪力墙的区格临界剪应力。

2.2.3 几何参数

A_c —管内混凝土的截面面积；

A_s —钢管的截面面积；

A_n —净截面面积；

a —焊缝厚度；

B_b —梁宽；

c_1, c_2 —带肋钢板剪力墙区格的长边和短边尺寸；

h_c, b_w —异形钢管的肢长，肢宽尺寸；

h_b —钢梁截面的高度；

d_n —管内混凝土受压区高度；

e —偏心距；

I_s —钢管截面绕主轴的惯性矩；

I_c —管内混凝土截面绕主轴的惯性矩；

I_{sEA} —钢管截面绕工程轴的惯性矩；

I_{cEA} —管内混凝土截面绕工程轴的惯性矩；

l_0 —轴心受压构件的计算长度；

r_0 —异形钢管混凝土轴心受压构件截面绕主轴的当量回转半径；

\bar{r} —异形钢管混凝土轴心受压构件截面绕工程轴的当量回转半径；

t —厚度；

t_{bf} —梁翼缘厚度；

t_j —贯穿隔板厚度。

2.2.4 计算系数及其他

α_c —受压构件中混凝土的工作承担系数；

β —等效弯矩系数；

β_m —弯矩放大系数；

β_v —剪力放大系数；

φ —轴心受压构件的稳定系数；

γ_0 —结构重要性系数；

γ_R — 抗力分项系数；

γ_{RE} — 结构构件承载力的抗震调整系数；

η — 设计强度的降低系数；

η_c — 强柱系数；

η_m —— 环梁的弯矩放大系数；

η_v —— 环梁的剪力放大系数；

λ —— 长细比；

$\bar{\lambda}$ —— 相对长细比。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 异形钢管混凝土柱的钢管，可采用牌号为 Q235、Q355、Q345GJ、Q390、Q420 的钢材，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 及《低合金高强度结构钢》GB/T1591 的规定。当有可靠根据时，可采用其他牌号的钢材。

3.1.2 异形钢管混凝土柱的钢管材料，应根据结构的重要性、荷载特征、应力状态、钢材厚度、连接方式、环境条件等因素合理选取其钢材牌号及质量等级。Q235A 级钢不应用于焊接结构，各类牌号的 A 级钢不宜用于多高层钢结构。

3.1.3 异形钢管可采用冷弯成型的钢管，也可采用冷弯型钢或热轧板、型钢焊接成型的异形钢管。焊缝采用高频焊、自动焊或半自动及手工对接焊缝。

3.1.4 结构中钢筋混凝土构件的钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

3.2 连接材料

3.2.1 用于异形钢管混凝土柱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《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 或《热强钢焊条》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一种钢材相适应的焊条或焊丝。

3.2.2 用于异形钢管混凝土柱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/T5780 及《六角头螺栓—A 级和 B 级》GB/T5782 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、大六角螺母、垫圈技术条件》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》GB50017 选用。

3 采用单向高强螺栓应符合中国钢结构协会标准《钢结构用自锁式单向高强螺栓连接副技术条件》T/CSCS TC01-01 的规定。

4 组合结构所用圆柱头焊钉（栓钉）连接件的材料应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433 的规定。其屈服强度不应小于 320N/mm^2 ，抗拉强度不应小于 400N/mm^2 ，伸长率不应小于 14%。

5 用于连接薄钢板或其他金属板件的自攻螺钉应符合现行国家标准《十字槽盘头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1、《十字槽沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.2、《十字槽半沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.3、《六角法兰面自钻自攻螺钉》GB/T 15856.4、《紧固件机械性能自钻自攻螺钉》GB/T 3098.11 或《开槽盘头自攻螺钉》GB/T 5282、《开槽沉头自攻螺钉》GB/T 5283、《开槽半沉头自攻螺钉》GB/T 5284、《六角头自攻螺钉》GB/T 5285。

6 锚栓钢材可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定的 Q235 钢，《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q345 钢、Q390 钢或强度更高的钢材。

3.3 混凝土材料

3.3.1 异形钢管混凝土柱内的混凝土可采用普通混凝土和自密实混凝土，其强度等级应不低于 C30，构造复杂区域宜采用自密实混凝土。

3.3.2 混凝土的强度等级、力学性能指标和质量标准应分别符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和《混凝土强度检验评定标准》GB50107 的规定。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计法,用分项系数的设计表达式进行计算。

4.1.2 设计异形钢管混凝土柱结构时,荷载组合、荷载标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数等除本规程规定外,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的规定采用;在抗震设防区还应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定。

4.1.3 异形钢管混凝土柱结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

1 承载能力极限状态设计应考虑荷载效应的基本组合,必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合。荷载及材料强度均采用设计值。结构的承载能力应包括构件和连接的强度、结构和构件的稳定性。处于地震区的结构,尚应参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011和其它有关规范的规定进行结构构件的抗震承载能力计算。

承载能力计算应满足下列公式要求:

$$\text{当不考虑地震作用时:} \quad \gamma_0 S \leq R \quad (4.1.3-1)$$

$$\text{当考虑多遇地震作用时:} \quad S_E \leq R/\gamma_{RE} \quad (4.1.3-2)$$

式中, γ_0 —结构重要性系数,按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》

GB50068的规定选取,一般工业与民用建筑异形钢管混凝土结构的安全等级可取为二级,设计使用年限为50年;

S —不考虑地震作用时的荷载效应组合设计值;

S_E —考虑多遇地震作用时,荷载和地震作用效应组合的设计值;

R —承载力设计值;

γ_{RE} —承载力抗震调整系数,对异形钢管混凝土构件,按表4.1.3的规定选用。

表 4.1.3 承载力抗震调整系数

构件名称	梁	柱	支撑	节点板件	连接焊缝	连接螺栓
γ_{RE}	0.75	0.75	0.80	0.85	0.9	0.85

注:当仅计算竖向地震作用时,承载力抗震调整系数 γ_{RE} 宜取 1.0。

2 正常使用极限状态设计应考虑荷载效应的标准组合，采用荷载标准值、组合值和变形容许值进行计算；对于钢-混凝土组合梁尚应考虑荷载效应的准永久组合。

4.1.4 异形钢管混凝土柱尚应按空异形钢管进行施工阶段的强度、稳定性和变形验算。施工阶段的荷载主要为湿混凝土重和实际可能作用的施工荷载。

4.1.5 异形钢管混凝土柱在施工阶段的轴向应力不应大于其抗压承载力设计值的60%，并应满足强度和稳定性的要求。

4.1.6 中心支撑和偏心支撑的布置和设计应满足《建筑抗震设计规范》GB50011 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的相关规定。

4.2 设计指标

4.2.1 热轧成型或由热轧钢板焊接组成的异形钢管的钢材强度指标及物理性能指标应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 采用。

4.2.2 冷弯成型或由冷弯型钢焊接组成的异形钢管的钢材强度指标及物理性能指标应按现行国家标准《冷弯型钢结构技术标准》GB50018 采用。

4.2.3 焊缝的强度、C 级普通螺栓连接的强度设计值和有关规定应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 采用。

4.2.4 单向螺栓连接的强度设计值和有关规定应按《矩形钢管构件自锁式单向高强螺栓连接设计标准》T/CECS 605 取值。

4.2.5 电阻点焊每个焊点的抗剪承载力设计值应按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 电阻点焊的抗剪承载力设计值

相焊板件中外层较薄板件的厚度 t (mm)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
每个焊点的抗剪承载力设计值 N_v^s (kN)	0.6	1.1	1.7	2.3	4.0	5.9	8.0	10.2	12.6

4.2.6 计算下列情况的结构构件和连接时，本规范 4.2.1 至 4.2.3 条规定的强度设计值，应乘以下列相应的折减系数。

- 1 无垫板的单面对接焊缝：0.85；
- 2 施工条件较差的高空安装焊缝：0.90；

3 两构件的连接采用搭接或其间填有垫板的连接以及单盖板的不对称连接：
0.90。

上述几种情况同时存在时，其折减系数应连乘。

4. 2. 7 混凝土的强度设计值和弹性模量应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 采用。

4.3 结构变形

4. 3. 1 不同类型受弯构件的变形，应符合下列规定：

1 钢结构受弯构件的最大挠度的计算及其容许值，应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定。

2 钢-混凝土组合梁、压型钢板混凝土组合楼板的最大挠度、负弯矩区裂缝宽度计算及其容许值，应参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的规定。

4. 3. 2 多高层异形钢管混凝土框架结构或主要抗侧力结构为钢结构的多高层异形钢管混凝土柱结构房屋，在风荷载作用下的最大层间位移角不宜大于 $1/400$ 。如采用有较高变形限制的非结构构件和装饰材料时，最大层间位移角宜适当减小；无隔墙时，则可适当增大。

4. 3. 3 抗侧力体系为钢结构的多高层异形钢管混凝土柱结构房屋，在地震作用下的最大层间位移角不宜大于下列数值：

1 在多遇地震作用下（按弹性计算）： $1/300$ ；

2 在罕遇地震作用下（按弹塑性计算）： $1/50$ 。

如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最大层间位移角不宜大于 $1/400$ 。

4. 3. 4 异形钢管混凝土柱结构的风振舒适度验算及楼盖结构舒适度验算应符合现行国家行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的相关规定。

4.4 构造的一般规定

4.4.1 异形钢管混凝土柱的截面最小边尺寸不宜小于 130mm，钢管壁厚不宜小于 6mm，L 形截面的肢长-肢宽比 (b/b_1) 不宜大于 3，T 形截面的肢长-肢宽比 (h_w/b_w) 不宜大于 3、(b_1/h_f) 不宜大于 1.5，十字形截面肢长-肢宽比 (b_1/h_w 、 h_1/b_w) 不宜大于 1.5。当异形钢管混凝土柱截面最大边尺寸大于或等于 800mm 时，宜采取在钢管内壁焊接栓钉、纵向加劲等构造措施。

4.4.2 异形钢管混凝土柱中混凝土的工作承担系数 α_c 应控制在 0.1~0.65 之间， α_c 按下式计算：

$$\alpha_c = \frac{f_c A_c}{f A_s + f_c A_c} \quad (4.4.2)$$

式中， f 、 f_c —钢材和混凝土的抗压强度设计值；

A_s 、 A_c —钢管和管内混凝土的截面面积。

4.4.3 异形钢管混凝土柱的钢管管壁板件的宽厚比 b/t (L 形、T 形)、 h_w/t (T 形)、 b_1/t 、 b_w/t 、 h_1/t 、 h_w/t (十字形)的限值应不大于表 4.4.3 的规定。

表 4.4.3 异形钢管管壁板件宽厚比 b/t 、 h/t 的限值

构件类型	b/t	h/t
轴压	60ε	60ε
受弯	60ε	150ε
压弯	60ε	当 $1 \geq \psi > 0$ 时 $30(0.9\psi^2 - 1.7\psi + 2.8)\varepsilon$ 当 $0 \geq \psi \geq -1$ 时 $30(0.74\psi^2 - 1.44\psi + 2.8)\varepsilon$

注：1. $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ ； f_y —钢材的屈服强度，对 Q235 钢 $f_y=235 \text{ N/mm}^2$ ，Q345 钢 $f_y=345 \text{ N/mm}^2$ ，Q390 钢

$f_y=390 \text{ N/mm}^2$ ，Q420 钢 $f_y=420 \text{ N/mm}^2$ 。

2. $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ ； σ_1 、 σ_2 —分别为板件最外边缘的最大和最小应力 (N/mm^2)，压应力为正，拉应力为负。

(图 4.4.3)

3. 施工阶段验算时，表 4.4.3 中的限值应除以 1.5，但 $\varepsilon = \sqrt{235/\sigma_0}$ ， $\varepsilon = \sqrt{235/1.1\sigma_0}$ ， σ_0 应按第 4.1.5 条的

规定，取施工阶段荷载作用下的板件实际应力设计值，压弯时 σ_0 取 σ_1 。

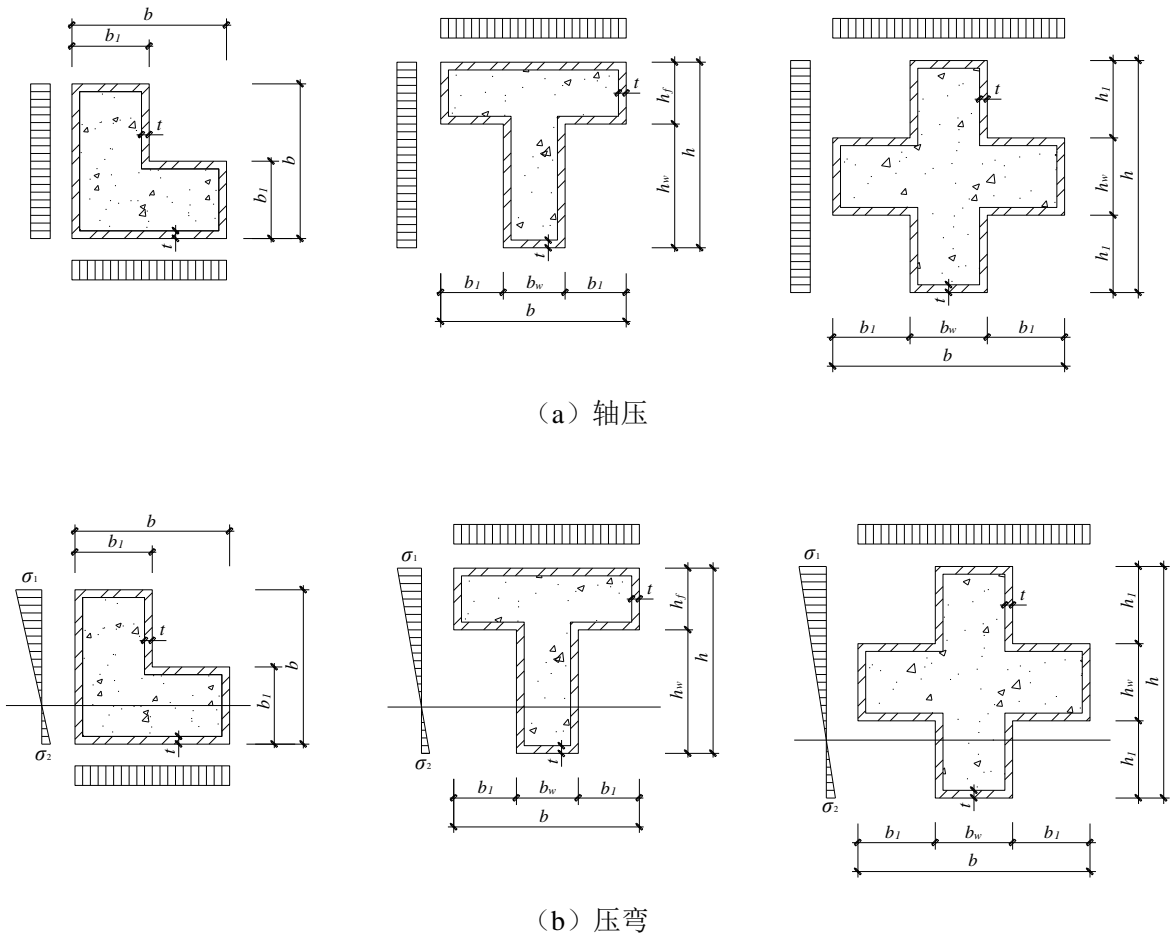
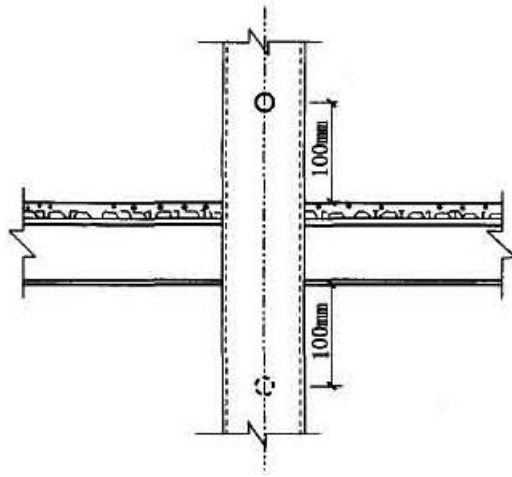


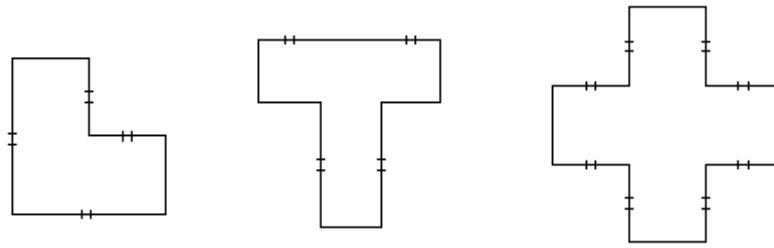
图 4.4.3 异形钢管截面板件应力分布示意图

4.4.4 L形钢管混凝土柱的计算长细比容许值不应超过 100，T形钢管混凝土柱绕对称轴的计算长细比容许值不应超过 80。

4.4.5 在每层异形钢管混凝土柱下部的钢管壁宽面上应对称设置排气孔，孔径不宜小于 12mm，每个封闭腔至少设置 1 个（图 4.4.5）。



(a) 柱身开孔立面示意图



(b) 柱身开孔截面位置示意图

图 4.4.5 柱身排气孔设置位置图

5 结构体系和结构分析

5.1 结构体系

5.1.1 异形钢管混凝土柱结构可采用框架体系、框架-支撑体系、框架-剪力墙体系和框架-核心筒体系。

5.1.2 异形钢管混凝土柱可与钢结构柱、混凝土结构柱、型钢混凝土结构柱、矩形或圆形钢管混凝土结构柱同时使用。

5.1.3 本规程适用的异形钢管混凝土柱结构的最大高度应符合表 5.1.3 的规定。对平面和竖向均不规则的结构或IV类场地上的结构，适用的最大高度应适当降低。

表 5.1.3 异形钢管混凝土柱结构的最大高度 (m)

结构体系	抗震设防烈度				
	6、7 度 (0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度		9 度 (0.40g)
			(0.20g)	(0.30g)	
框架	70	60	50	40	24
框架-钢支撑(嵌入式 钢板剪力墙)	160	140	120	90	60
框架-混凝土剪力墙	140	120	100	80	50
框架-核心筒	150	120	100	75	50

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

2 超过表 5.1.3 规定高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施

5.1.4 异形钢管混凝土柱结构民用房屋适用的最大高宽比，不宜大于表 5.1.4 的规定。

表 5.1.4 异形钢管混凝土柱结构民用房屋适用的最大高宽比

结构体系	抗震设防烈度				
	6、7 度 (0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度		9 度 (0.40g)
			(0.20g)	(0.30g)	
框架体系、框架-支撑(嵌入式 钢板剪力墙)	7	6.5	6	5.5	5
框架-混凝土剪力墙(核心筒)	8	7	6	5	4

5.1.5 异形钢管混凝土柱结构体系，其布置宜规则，楼层刚度分布宜均匀。结构布置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的要求，并应使结构受力明确，能满足对承载力、稳定性和刚度的设计要求。

5.1.6 异形钢管混凝土柱用于多、高层建筑结构的框架时，框架梁宜采用钢梁。抗侧力构件可采用钢支撑、内嵌式剪力墙，其截面宽度不宜大于异形钢管混凝土柱的肢宽。楼盖可采用钢-混凝土组合梁，楼板可采用压型钢板现浇钢筋混凝土组合楼板或非组合楼板，也可采用装配整体式钢筋混凝土楼板、钢筋桁架楼板、预制板或其它轻型楼板。采用装配整体式钢筋混凝土楼板、预制板或其它轻型楼板时，应将楼板预埋件与钢梁焊接，或采取其它保证楼盖整体性的措施。

5.1.7 在采用框架-核心筒结构体系中，周边异形钢管混凝土柱框架的梁与柱连接，在抗震设防烈度为 7 度及以上地区应采用刚接；在 6 度地区，可采用部分铰接。

5.1.8 采用框架-支撑结构体系时，支撑在竖向宜连续布置。必要时，可设置结构加强层。

5.1.9 采用框架-混凝土剪力墙结构体系时，混凝土剪力墙宜采用带翼墙或有端柱的剪力墙。

5.2 结构分析

5.2.1 异形钢管混凝土柱结构的结构计算模型应符合以下规定：

1 结构弹性分析模型应根据结构实际情况确定，所选取的分析模型以及必要的简化计算处理，应能较准确的反映结构的实际工作状况，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017 与现行国家行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 以及现行协会标准《高层建筑钢—混凝土混合结构设计规程》CECS 230 的有关规定。

2 楼面梁与竖向构件的偏心以及上、下层竖向构件之间的偏心宜按实际情况计入结构的整体计算。当结构整体计算中未考虑上述偏心时，应采用柱、墙端附加弯矩的方法予以近似考虑。

3 结构整体分析时，对于截面尺寸较大的异形钢管混凝土柱，一般宜考虑节点区的刚域影响。组合楼盖楼板在平面内的刚度可假定为无限刚性，但当楼板因刚度削弱（如环形楼面、开有大洞口、狭长外伸段或局部变窄等）较大时，宜按弹性楼板进行计算。

4 抗震设计时，计算多（高）层结构内力和位移时，结构自振周期，宜考虑非结构构件的影响按 0.7~1.0 的系数进行折减。当轻质墙板与框架为柔性连接或结构体系为框架-剪力墙、框架-核心筒结构时，宜取较大值。

5.2.2 异形钢管混凝土构件的刚度，可按下列规定取值：

轴向刚度

$$EA = E_s A_s + E_c A_c \quad (5.2.2-1)$$

弯曲刚度

$$EI = E_s I_s + 0.8 E_c I_c \quad (5.2.2-2)$$

式中， A_s 、 I_s —钢管截面的面积和在所计算方向对其形心轴的惯性矩；

A_c 、 I_c —管内混凝土截面的面积和在所计算方向对其形心轴的惯性矩；

E_s 、 E_c —钢材和混凝土的弹性模量。

5.2.3 异形钢管混凝土柱结构分析应符合下列规定：

1 抗震设计时，异形钢管混凝土房屋建筑结构，应根据抗震设防类别、设防烈度、

结构类型和房屋高度按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、行业标准《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 等确定抗震等级，并应符合相应的计算与构造措施要求。

2 抗震设计时，在多遇地震作用下，当异形钢管混凝土柱结构主要抗侧力体系为混凝土结构时阻尼比可取 0.04；其他情况的阻尼比可取 0.035；在罕遇地震作用下，阻尼比可取 0.05。在风荷载作用下，阻尼比可取 0.02~0.04。

3 内力和变形的计算，应按第 5.2.2 条规定的刚度对结构进行弹性分析。

4 对钢-混凝土组合梁，进行混凝土硬结后承载力计算时，可不计入混凝土的抗拉强度，但结构分析时，构件刚度计算可计入混凝土受拉区，并按等截面构件计算。

5 当进行框架弹性分析时，压型钢板组合楼盖中梁的惯性矩宜按下列规定取值：对两侧有楼板的梁，取 $1.5I_b$ ，对仅一侧有楼板的梁，取 $1.2I_b$ ， I_b 为钢梁的截面惯性矩。

6 当钢-混凝土组合梁按塑性理论进行设计，考虑连续梁跨间的内力重分布，进行弯矩调幅。计算时，将混凝土设计截面按弹性模量比换算成等效的钢截面。

7 钢-混凝土组合结构进行施工阶段（混凝土浇灌前和混凝土硬结前）的结构分析和验算，此时不考虑混凝土的承载作用，应按钢结构进行设计。

5.2.4 在抗震设防烈度为 7 度及以上地区，采用异形钢管混凝土柱框架与抗侧力构件（支撑框架、剪力墙等）组成的双重结构体系，其框架部分按刚度分配计算得到的地震剪力应乘以调整系数，达到结转构总地震剪力的 25% 和框架部分计算最大层剪力 1.8 倍二者的较小值。

5.2.5 抗震设计时，框架角柱的组合弯矩设计值、剪力设计值应乘以不小于 1.1 的增大系数。

6 异形钢管混凝土柱设计

6.1 一般规定

6.1.1 本章规定适用于单轴对称异形钢管混凝土柱，对非等肢异形钢管混凝土柱的承载力计算宜采用附录 A.3 规定的纤维模型分析确定。

6.1.2 异形钢管混凝土柱承载力分析时，构件的初始缺陷代表值（图 6.1.2）可按式 (6.1.2-1)~式 (6.1.2-2) 计算确定。

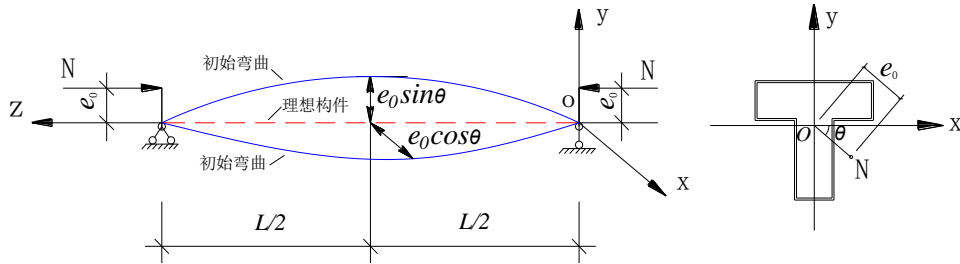


图 6.1.2 构件的初始缺陷

$$\delta_{0x} = e_0 \cos \theta \sin \frac{\pi z}{l} \quad (6.1.2-1)$$

$$\delta_{0y} = e_0 \sin \theta \sin \frac{\pi z}{l} \quad (6.1.2-1)$$

式中： δ_{0x} —离构件端部 z 处的沿 x 轴的初始变形值；

δ_{0y} —离构件端部 z 处的沿 y 轴的初始变形值；

z —离构件端部的距离；

l —构件的总长度；

e_0 —构件中点处的初始变形值，取 $l/1000$ ；

θ —构件受荷角（荷载作用点与形心连线和主轴 X 轴的夹角），见本规程附录

A.1 中图 A.1.1。

6.2 轴心受力构件的计算

6.2.1 异形钢管混凝土轴心受压构件的承载力应满足下式的要求：

$$N \leq \frac{1}{\gamma} N_u \quad (6.2.1-1)$$

$$N_u = fA_s + f_c A_c \quad (6.2.1-2)$$

式中， N —轴心压力设计值；

N_u —轴心受压时截面强度承载力设计值；

f —钢材的抗拉强度设计值；

f_c —混凝土的抗压强度设计值；

A_s —钢管横截面面积；

A_c —混凝土横截面面积；

γ —系数，无地震作用组合时， $\gamma = \gamma_0$ ；有地震作用组合时， $\gamma = \gamma_{RE}$ ； γ_0 和 γ_{RE}

按本规程第 4.1.3 条取用。

当钢管截面有削弱时，应按下式计算净截面强度：

$$N \leq N_{un} \quad (6.2.1-3)$$

$$N_{un} = fA_{sn} + f_c A_c \quad (6.2.1-4)$$

式中， N_{sn} —轴心受压时净截面受压承载力设计值；

A_{sn} —钢管的净截面面积。

6.2.2 轴心受压构件的稳定性应满足下式的要求：

$$N \leq \frac{1}{\gamma} \varphi N_u \quad (6.2.2-1)$$

$$\varphi = \min(\varphi_x, \varphi_y) \quad (6.2.2-2)$$

当 $\lambda_0 < 0.2$ 时,

$$\varphi_x = 1 - \frac{\lambda_0}{0.2} (1 - \varphi_{x0.2}) \quad (6.2.2-3)$$

当 $\lambda_0 \geq 0.2$ 时,

$$\varphi_x = \frac{1}{2\lambda_0^2} \left[(a + b\lambda_0 + \lambda_0^2) - \sqrt{(a + b\lambda_0 + \lambda_0^2)^2 - 4\lambda_0^2} \right] \quad (6.2.2-4)$$

$$\varphi_y = g(\lambda_0)\varphi_{y0} \quad (6.2.2-5)$$

式中, φ —轴心受压构件的稳定系数;

φ_x —L形、T形截面柱绕非对称轴 (x 轴) 的稳定系数;

φ_y —L形、T形截面柱绕对称轴 (y 轴) 的等效稳定系数;

φ_{y0} —以 L形、T形截面柱绕对称轴 (y 轴) 的截面性质, 按公式 (6.2.2-3~6.2.2-4)

计算得到的初始稳定系数;

φ —轴心受压构件的稳定系数;

λ_0 —相对长细比, 应按本规程第 6.2.3 条计算;

a, b —系数, 可按本规程附录 A 中式 (A.1.2-1) - (A.1.2-10) 计算;

$g(\lambda_0)$ —考虑相对长细比及肢长-肢宽比的稳定系数修正系数, 可按本规程附录 A 中式 (A.1.2-1) - (A.1.2-10) 计算。

6.2.3 轴心受压构件的相对长细比应按下式计算:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{f_y/E_s} \quad (6.2.3-1)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\bar{r}_0} \quad (6.2.3-2)$$

$$\bar{r}_0 = \sqrt{(I_s + I_c E_c/E_s)/(A_s + A_c f_{ck}/f_y)} \quad (6.2.3-3)$$

式中, f_y —钢材的屈服强度;

f_{ck} —混凝土的棱柱体抗压强度标准值；

λ —异形钢管混凝土轴心受压构件的长细比；

l_0 —异形钢管混凝土轴心受压构件的计算长度；

\bar{r}_0 —异形钢管混凝土轴心受压构件截面的当量回转半径。

6.2.4 异形钢管混凝土轴心受拉构件的承载力应满足下式要求：

$$N \leq \frac{1}{\gamma} A_{sn} f \quad (6.2.4)$$

式中， N —轴心拉力设计值。

6.2.5 异形钢管混凝土轴心受压构件的稳定承载力也可参考本规程附录 A.3，使用纤维模型计算得到。

6.3 压弯构件的计算

6.3.1 弯矩作用在一个主平面内的 L 形、T 形钢管混凝土压弯构件，其强度承载力应满足下式的要求：

当 $\eta_1 < \frac{N}{N_u} \leq 1$ 时：

$$\frac{N}{N_u} + \frac{1-\eta_1}{\zeta_1} \times \frac{M}{M_u} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.1-1)$$

当 $0 < \frac{N}{N_u} < \eta_1$ 时：

$$\frac{1-\zeta_1}{\eta_1} \frac{N}{N_u} + \frac{M}{M_u} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.1-2)$$

式中， ζ_1 — $M-N$ 双线性相关曲线上分段点的横坐标， $\zeta_1 = M_1/M_u$ ；

η_1 — $M-N$ 双线性相关曲线上分段点的纵坐标， $\eta_1 = N_1/N_u$ 。

ζ_1 可按式计算：

(1) 当轴力荷载 N 作用在 y 轴正向或负向时， $\zeta_1 = M_1/M_u$ 中的 M_1 、 M_u 可由下式计算：

截面轴力：

$$N = f_y(\sum A_{sci} - \sum A_{sti}) + f_c \sum A_{cci} \quad (6.3.1-3)$$

截面弯矩：

$$M_1 = f_y(\sum A_{sci} h_{sci} - \sum A_{sti} h_{sti}) + f_c \sum A_{cci} h_{cci} \quad (6.3.1-4)$$

式中， A_{sci} 、 A_{sti} —分别为受压区、受拉区钢管面积；

h_{sci} 、 h_{sti} —分别为受压区、受拉区钢管面积中心至截面形心的距离；

A_{cci} —受压区混凝土面积；

h_{cci} —受压区混凝土面积中心至截面形心的距离。

M_u —截面的纯弯强度，当 $N=0$ 时，按式 (6.3.1-3)-(6.3.1-4) 计算得到的 M_1 。

(2) 对于只有轴力 N 和单向弯矩 M_y 时， $\zeta_1 = M_1/M_u$ 可由下式计算：

$$\zeta_1 = M_1/M_{uy} = b_1 \alpha_c^2 + b_2 \alpha_c + b_3 \quad (6.3.1-5)$$

式中， M_{uy} —只产生 y 向弯矩时的纯弯强度，可按绕 y 轴弯曲的式(6.3.1-3)-(6.3.1-4) 计算确定；

b_i —系数，可按表 6.3.1-1 取值。

表 6.3.1-1 T 形、L 形截面参数 b_i 取值

参数	b_1	b_2	b_3
取值	1.268	-0.162	0.805

η_1 可按表 6.3.1-2 取值。

表 6.3.1-2 T 形、L 截面沿不同方向挠曲时 η_1 取值

纵坐标	沿 y 轴正向挠曲 (-90 度加载)	沿 x 轴偏心 (0 度加载)	沿 y 轴负向挠曲 (+90 度加载)
η_1	0.4	0.4	0.5

6.3.2 弯矩作用在一个主平面内的 L 形、T 形钢管混凝土压弯构件，其弯矩作用平面内的稳定承载力应满足下列要求：

当 $\frac{N}{\varphi N_u} \geq \eta_1$ 时：

$$\frac{N}{\varphi N_u} + \frac{1-\eta_1}{d \cdot g_1(\varphi) \cdot \zeta_1} \times \frac{\beta M}{M_u} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.2-1)$$

当 $\frac{N}{\varphi N_u} \leq \eta_1$ 时：

$$\frac{1-g_1(\varphi)\zeta_1}{\eta_1} \frac{N}{\varphi N_u} + \frac{1}{d} \frac{\beta M}{M_u} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.2-2)$$

$$N_E = N_u \pi^2 E_s / (\lambda^2 f_y) \quad (6.3.2-3)$$

$$d = 1 - k \frac{N}{N_E} \quad (6.3.2-4)$$

$$g_1(\varphi) = a_1 (\varphi^b - 1) + 1 \quad (6.3.2-5)$$

式中， N_E —欧拉临界力；

a_1 ， b_1 ， k —可按表 6.3.2 取值；

M_u —单向受弯矩强度，应按式（6.3.1）计算。

表 6.3.2 T 形、L 截面构件沿不同方向挠曲时参数 a_1 ， b_1 ， k 值

$g_1(\varphi)$	沿 y 轴正向挠曲 (-90 度加载)	沿 x 轴偏心 (0 度加载)	沿 y 轴负向挠曲 (+90 度加载)
a_1	0.327	0.325	0.414
b_1	4	3	4
k	0.9	0.9	0.9

6.3.3 等效弯矩系数应根据稳定性的计算方向按下列规定采用：

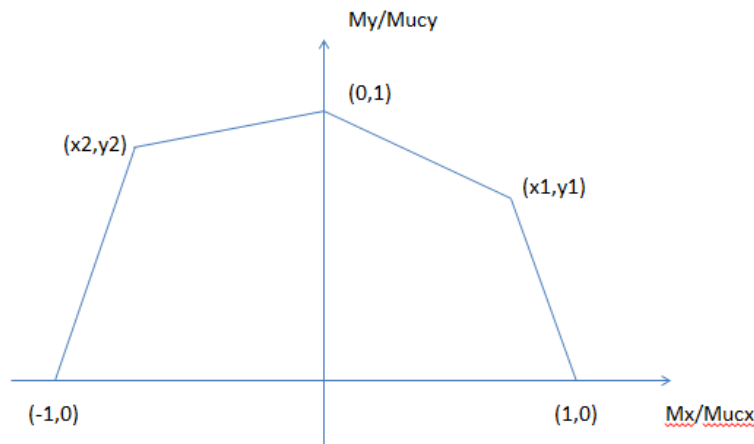
1 在计算方向内有侧移的框架柱和悬臂构件， $\beta = 1.0$ ；

2 在计算方向内无侧移的框架柱和两端支承的构件，无横向荷载作用时， $\beta = 0.65 + 0.35 \frac{M_2}{M_1}$ ， M_1 ， M_2 为端弯矩，使构件产生相同曲率时取同号，使构件产生反向曲率时取异号， $|M_1| \geq |M_2|$ ；

3 在计算方向内无侧移的框架柱和两端支承的构件，有端弯矩和横向荷载作用时，使构件产生同向曲率时， $\beta = 1.0$ ；使构件产生反向曲率时， $\beta = 0.85$ ；

4 在计算方向内无侧移的框架柱和两端支承的构件，无端弯矩但有横向荷载作用时， $\beta = 1.0$ 。

6.3.4 弯矩作用在两个主面内的双轴压弯 L、T 形钢管混凝土构件，在不同轴压比 N/N_u 下的 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 相关曲线可采用 4 折线简化表示， M_{ucx} 、 M_{ucy} 为轴力 N 作用下构件单向弯矩稳定承载能力，可按式 (6.3.2) 计算。其承载力应满足以下要求：



对一象限：

$$\text{当 } M_x/M_{ucx} \leq x_1 \text{ 时，} \quad \frac{1-y_1}{x_1} \frac{M_x}{M_{ucx}} + \frac{M_y}{M_{ucy}} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.4-1)$$

$$\text{当 } M_x/M_{ucx} > x_1 \text{ 时：} \quad \frac{M_x}{M_{ucx}} + \frac{1-x_1}{y_1} \frac{M_y}{M_{ucy}} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.4-2)$$

对二象限：

$$\text{当 } M_x/M_{ucx} \geq x_2 \text{ 时, } \frac{1-y_2}{x_2} \frac{M_x}{M_{ucx}} + \frac{M_y}{M_{ucy}} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.4-3)$$

$$\text{当 } M_x/M_{ucx} < x_2 \text{ 时, } -\frac{M_x}{M_{ucx}} + \frac{1+x_2}{y_2} \frac{M_y}{M_{ucy}} \leq \frac{1}{\gamma} \quad (6.3.4-4)$$

$y_1 = x_1$, $y_2 = x_2 \text{tg}125^\circ$, 纵坐标 y_i 可按下式计算:

$$y_i = k_1 + k_2 n + k_3 n^2 + k_4 n^3 \quad (6.3.4-5)$$

式中, n ——轴压比, $n = N/N_u$;

k_i ——系数, 可按表 6.3.4 取值。

表 6.3.4 系数 k_i 取值

截面	象限	参数	k_1	k_2	k_3	k_4
T 形截面	一象限	y_1	0.7182	-0.4479	-0.0874	0.3883
	二象限	y_2	0.7246	0.1077	2.1452	-1.8758
L 形截面	一象限	y_1	0.7144	-0.0003	-0.4970	0.3204
	二象限	y_2	0.7934	-0.5042	3.4513	-2.7340

6.3.5 异形钢管混凝土压弯构件的承载力也可参考附录 A.3, 使用纤维模型计算得到。

6.4 框架柱的设计要求

6.4.1 异形钢管混凝土框架柱的计算长度应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定采用。

6.4.2 抗震设防的框架柱在框架的任一节点处, 考虑轴力作用下的柱端弯矩强度设计值宜满足下式的要求:

工程轴与主轴重合的异形钢管混凝土柱 (T 形钢管混凝土柱) 在梁柱节点处:

$$\sum M_{ucx} \geq \eta_c \sum M_{ubx} \quad (6.4.2-1)$$

$$\sum M_{ucy} \geq \eta_c \sum M_{uby} \quad (6.4.2-2)$$

工程轴与主轴不重合的异形钢管混凝土柱（L形钢管混凝土柱）在梁柱节点处：

$$\sum M_{ucx1} \geq \eta_c \sum M_{ubx1} \quad (6.4.2-3)$$

$$\sum M_{ucy1} \geq \eta_c \sum M_{uby1} \quad (6.4.2-4)$$

式中， η_c —强柱系数，一般取 1.0，对于超过 6 层的框架，8 度设防时取 1.2，9 度设防时取 1.3；

M_{uc} 、 M_{ucy} —轴力 N 作用下异形钢管混凝土柱绕主轴 x 轴(正向或负向)、 y 轴的单向弯矩强度承载能力，应按式(6.31)计算；

M_{ubx} 、 M_{uby} ——异形钢管混凝土柱绕主轴 x 轴、 y 轴方向梁端的全塑性弯矩；

M_{ubx1} 、 M_{uby1} ——异形钢管混凝土柱绕工程轴 $x1$ 轴、 $y1$ 轴方向梁端的全塑性弯矩；

M_{uc1x} 、 M_{uc1y} —轴力 N 作用下异形钢管混凝土柱绕工程轴 $x1$ 轴(正向或负向)、 $y1$ 轴(正向和负向)的单向弯矩强度承载能力，可按以下两种方式之一计算；

$$1) \quad M_{uc1x} = M_{ucx} \cos \alpha + M_{ucy} \sin \alpha \quad (6.4.2-5)$$

$$M_{uc1y} = -M_{ucx} \sin \alpha + M_{ucy} \cos \alpha \quad (6.4.2-6)$$

$$2) \quad M_{uc1x} = -M_{ucx} \quad (6.4.2-7)$$

$$M_{uc1y} = M_{ucy} \quad (6.4.2-8)$$

$M_{ucx(T)}$ —轴力 N 作用下 T 形钢管混凝土柱绕主轴 x 轴(正向或负向)的单向弯矩强度承载能力，按式(6.3.1)计算。

6.4.3 当异形钢管混凝土构件用作抗震设防区的多层和高层框架结构柱时，异形钢管

混凝土柱的混凝土工作承担系数 α_c 宜符合下式要求：

$$\alpha_c \leq [\alpha_c] \quad (6.4.2-9)$$

式中， $[\alpha_c]$ ——考虑延性的混凝土工作承担系数限值，可按表 6.4.3 的规定确定。

表 6.4.3 混凝土工作承担系数限值 $[\alpha_c]$

长细比 λ	轴 压 比 (N/N_u)			
	不大于 0.6	0.7	0.8	0.9
20	0.50	0.48	0.47	0.47
30	0.45	0.43	0.42	0.42
40	0.40	0.38	0.37	0.37

7 异形钢管混凝土柱连接设计

7.1 梁柱连接

7.1.1 节点形式应做到构造简单、整体性好、传力明确、安全可靠、节约材料和施工方便。节点设计应做到构造合理，使节点具有必要的延性。

7.1.2 异形钢管混凝土柱与钢梁的刚性连接可采用下列形式：

1 贯通隔板式连接。隔板贯穿异形钢管横截面，管壁与贯穿隔板焊接，预留牛腿的腹板直接与柱子管壁焊接，牛腿翼缘与外伸的贯穿隔板宜采用全熔透对接焊，钢梁与预留牛腿的连接应采用钢结构刚性节点的方式连接，且应满足《钢结构设计标准》GB50017 的相关规定（图 7.1.2-1、图 7.1.2-2）。

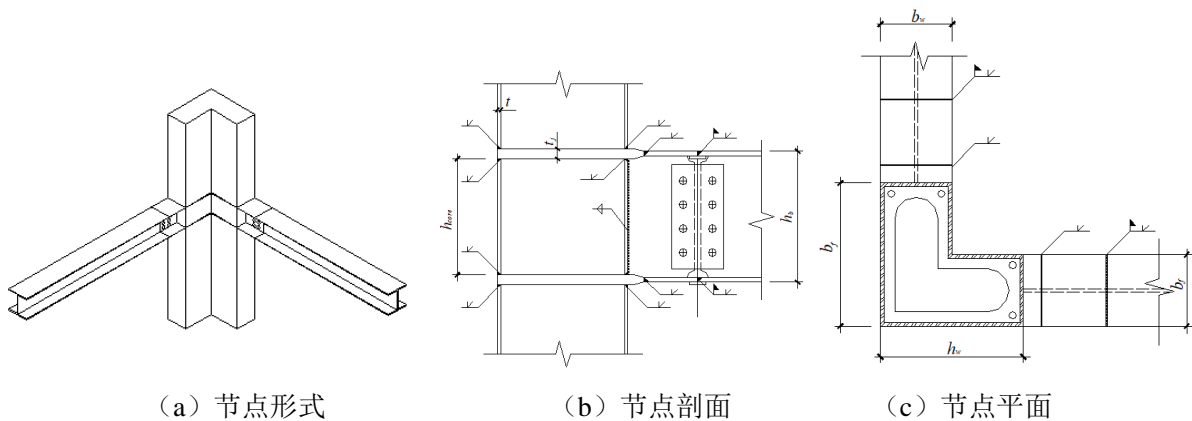


图 7.1.2-1 贯通隔板式梁柱连接形式

2 外环板式连接。节点处采用柱贯穿，柱外设水平外环板，管壁与外环板宜采用全熔焊缝连接，外环板之间焊接加劲肋，加劲肋板应与钢管壁外表面及上下加强环采用角焊缝焊接。钢梁腹板与柱外预设的连接件宜采用高强度螺栓摩擦型连接，钢梁翼缘与外环板宜焊接连接（图 7.1.2-2）。

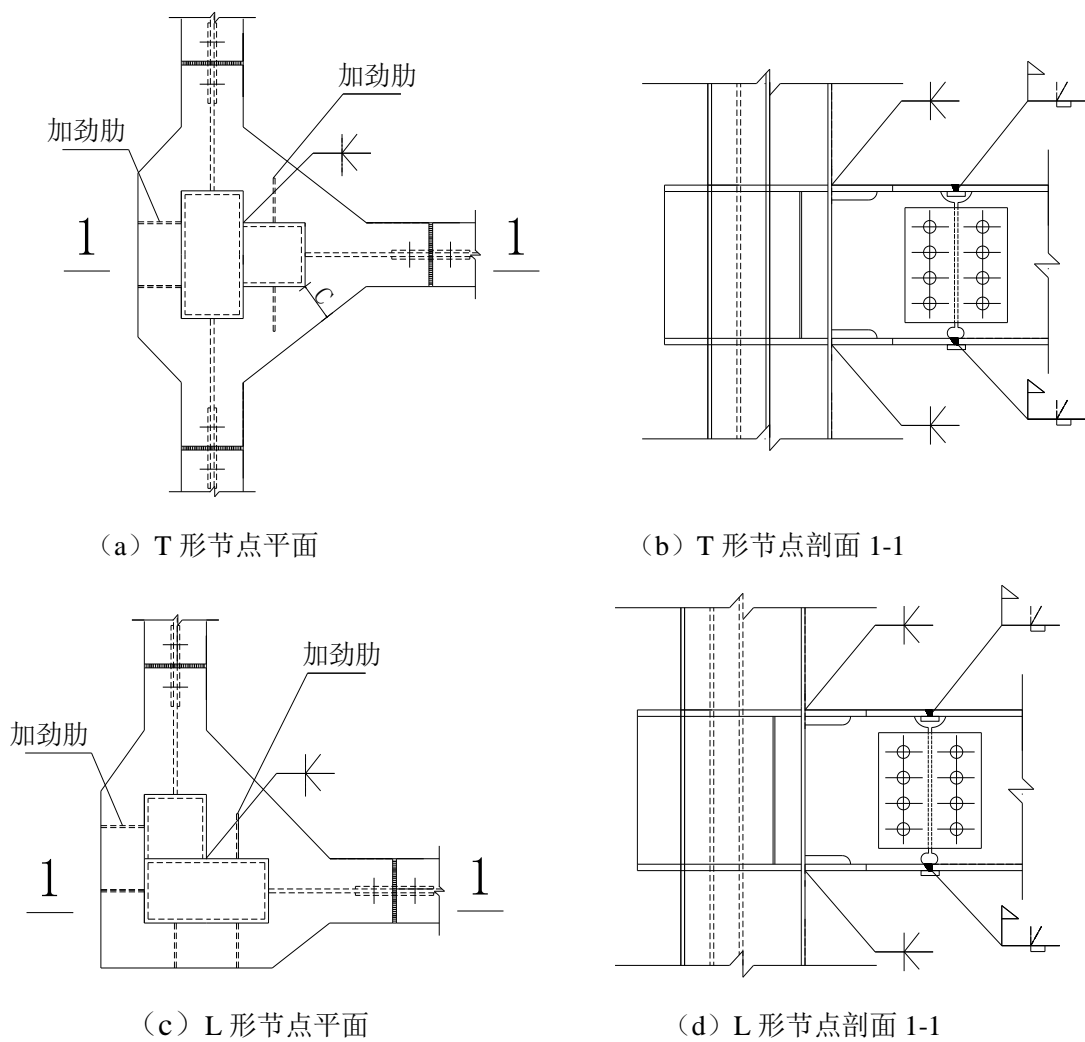


图 7.1.2-2 外环板式梁柱连接形式

3 外侧板式连接。节点处柱贯通，在梁翼缘侧面焊接竖向侧板，竖向侧板延伸至两侧柱壁并与柱壁焊接，形成柱通过外侧板与梁连接的节点形式。外侧板可与钢梁栓焊混合连接，即翼缘焊接连接，腹板可通过拼接板螺栓连接；还可采用下翼缘螺栓连接、上翼缘焊接的下栓上焊的构造形式。

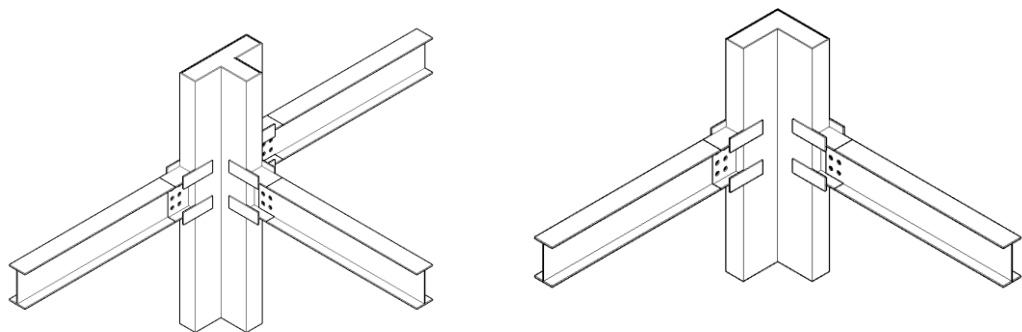


图 7.1.2-3 外肋侧板式梁柱连接形式

4 半隔板式连接。钢梁翼缘与异形柱壁板焊接连接，腹板螺栓连接 (图 6.3.5)。

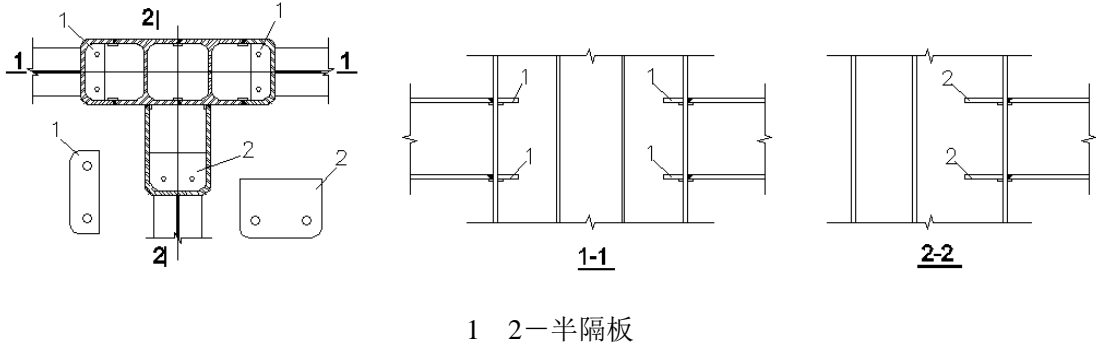


图 7.1.2-4 半隔板式梁柱连接形式

5 当为 8 度设防 III、IV 类场地和 9 度设防时，柱与钢梁的刚性连接宜采用能将塑性铰外移的狗骨形连接。

7.1.3 当钢梁与柱为铰接连接时，钢梁翼缘与钢管可不焊接。腹板连接采用贯通隔板式连接节点的腹板连接形式。

7.1.4 贯通隔板式连接节点计算及构造要求

1 抗震设计时，在钢梁与异形钢管混凝土柱连接节点处，梁端与柱连接组成的节点的抗弯承载力应不小于梁截面塑性抗弯承载力的 1.2 倍；梁端与柱连接的抗剪承载力应不小于梁塑性抗剪承载力的 1.3 倍。

2 贯通隔板式连接节点抗剪承载力计算应符合下式的要求：

$$\beta_v V \leq V_j \quad (7.1.4-1)$$

$$V_{ji} = \frac{2\sqrt{f^2 - \sigma_{sN}^2}}{\sqrt{3}} h_w t + \left(\frac{h_w}{2} \tan \theta + 4 \sqrt{\frac{M_{fp}}{(b_f - 2t)f_c}} \sin \theta \right) (b_f - 2t) f_c \quad (7.1.4-2)$$

$$\sigma_{sN} = N \frac{A_s E_s}{A_s E_s + A_c E_c} \frac{1}{A_s} \quad (7.1.4-3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \sqrt{\left(1 + \frac{h_c}{h_w} \left(\frac{e^r}{e^2} - \frac{h_c}{h_w} \right) \right)^2} \right\} \quad (7.1.4-4)$$

$$M_{fp} = (b_f - 2t)^2 t f_y / \quad (7.1.4-5)$$

式中， V —节点所承受的剪力设计值

β_v —剪力放大系数，抗震设计时取 1.3，非抗震设计时取 1.0；

V_{ji} —节点抗剪承载力设计值；

M_{fp} —柱翼缘管壁塑性弯矩；

t —柱钢管壁厚度；

n —轴压比；

f_y, f —钢柱管壁屈服强度、抗拉强度设计值；

b_w, h_w —管内混凝土截面的肢宽和肢长；

σ_{sN} —钢管承担的正应力；

h_b —钢梁高度；

θ —核心混凝土等效斜压杆倾斜角；

f_c —柱管内混凝土轴心抗压强度设计值。

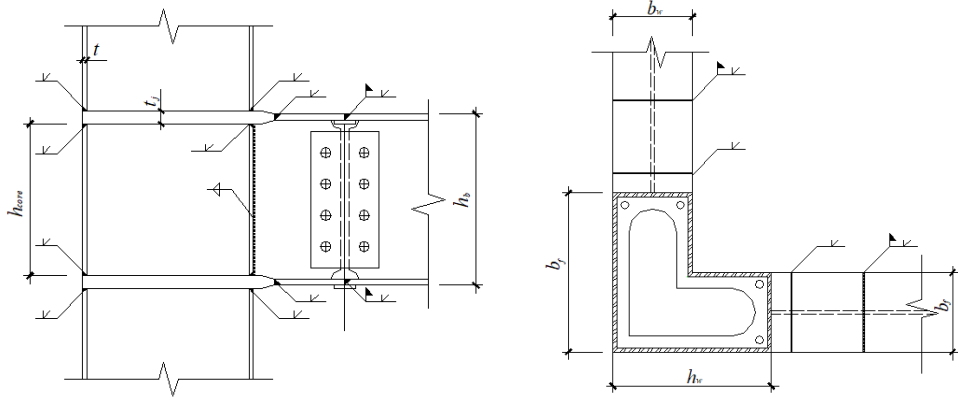


图 7.1.4-1 贯通隔板式梁柱连接节点

3 异形钢管混凝土柱的贯通板的净截面抗拉承载力应不小于所连接梁翼缘的抗拉承载力，厚度应不小于钢梁翼缘的厚度。

4 当钢梁翼缘采用全熔透焊缝与柱连接并用引弧板和引出板时，可不验算连接的受弯承载力。

5 贯穿隔板上应设置混凝土浇筑孔，其孔径按施工要求应不小于 80mm；隔板四角应设透气孔，其孔径为 25mm（图 7.1.4-2）。

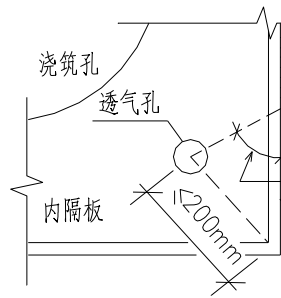


图 7.1.4 贯穿隔板透气孔位置示意图

7.1.5 外环板式连接节点计算及构造要求

1 钢梁与钢管混凝土柱之间采用外环板式连接时，外环板应是环绕钢管的封闭的满环，连接钢梁的环板宽度宜与梁翼缘等宽，外环板的厚度应不小于钢梁翼缘的厚度，外环板的挑出宽度 c 不应小于钢梁翼缘宽度的 0.7 倍。

2 节点抗剪承载力计算应符合下式的要求：

$$\beta_v V \leq V_u \quad (7.1.5-1)$$

$$V_u = \frac{2t(h_i - 2t)\sqrt{f_y^2 - \sigma_s^2}}{\sqrt{3}} + \sum_{i=1}^n \eta_i l_r t_r f_{yR} \cos\theta + \eta_i l_w t_w f_{yW} + (0.65n + 0.09)\alpha_s \beta_c \phi_j h_c b_j f_c$$

(7.1.5-2)

式中， V —节点所承受的剪力设计值；

β_v —剪力放大系数，抗震设计时取 1.3，非抗震设计时取 1.0；

V_u —节点抗剪承载力设计值；

t —钢管柱壁厚度；

h_b —梁截面高度；

h_c —柱截面高度；

h_i —核心区一侧管壁宽度；

σ_s —为钢管轴向压应力；

η_i —抗剪折减系数取 0.577；

l_r —第 i 个加劲肋宽度；

t_r —第 i 个加劲肋厚度；

f_{yr} —第 i 个加劲肋屈服强度;

θ —第 i 个加劲肋与梁轴线的夹角;

l_w —核心区上下环板间钢梁的腹板宽度;

t_w —核心区上下环板间钢梁的腹板厚度;

f_{yw} —核心区连接钢梁的腹板屈服强度;

β_c —为混凝土影响系数, 强度等级为 C50 及以下时取 1.0, C60 取 0.85, C100 时取 0.72, 其间接线性插值确定;

ϕ_j —为节点位置折减系数, 对中节点取 $\phi_j = 1.0$, 对边柱节点及顶层中节点取 $\phi_j = 0.7$, 对顶层边节点取 $\phi_j = 0.4$;

b_j —核心区的有效剪切高度 $b_j = h_b + h_c / 2$;

f_c —为混凝土抗压强度设计值;

α_s —异形柱截面影响系数。

7.1.6 外侧板式连接节点计算及构造要求

1 异形钢管混凝土柱与钢梁的刚性连接, 应符合下列规定:

1) 刚性连接的受弯承载力应由梁翼缘与柱的连接提供, 连接的受剪承载力应由梁腹板与柱的连接提供。

2) 抗震设计时, 尚应对连接焊缝和高强螺栓的强度按下列公式验算:

$$M_u \geq \alpha M_p \quad (7.1.6-1)$$

$$V_u \geq 1.2(2M_p/l_n) + V_{Gb} \quad (7.1.6-2)$$

式中: M_u ——连接焊缝与高强螺栓连接处的极限受弯承载力设计值, 应采用现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ-99 规定执行;

V_u ——连接焊缝与高强螺栓连接处的极限受剪承载力设计值, 应采用现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ-99 规定执行;

M_p ——梁端全截面塑性受弯承载力;

V_{Gb} ——梁在重力荷载代表值（9度时尚应包括竖向地震作用标准值）作用下，应按简支梁分析的梁端截面剪力设计值；

l_n ——梁的净跨；

α ——连接系数，按表 7.1.6 采用。

表 7.1.6 钢梁与异形钢管混凝土柱刚性连接抗震设计的连接系数 α

母材牌号	焊接	高强螺栓连接
Q235	1.40	1.45
Q355	1.35	1.40
Q345GJ	1.25	1.30

2 外肋环板连接的异形钢管混凝土柱-钢梁节点的抗弯强度应符合下式的要求:

$$\beta_m M \leq \frac{1}{\gamma} M_u^j \quad (7.1.6-3)$$

$$M_u^j = P_1 (H_b - t_{bf}) \quad (7.1.6.4)$$

$$P_1 = \partial (P_{mcf1} + P_{vs}) \quad (7.1.6-5)$$

$$P_{vs} = 2t_{vs} b_{vs} f_{vsy} \quad (7.1.6-6)$$

$$P_{mcf1} = t_{mc} (t_{bf} + \sqrt{D_0 t_{mc}}) f_{mcy} + 4D_0 M_p \frac{1}{\sqrt{D_0 t_{mc}}} \quad (7.1.6-7)$$

$$M_p = \frac{1}{4} f_{mcy} t_{mc}^2 \quad (7.1.6-8)$$

$$D_0 = B_{mc} - 2t_{mc} \quad (7.1.6-9)$$

式中: M ——节点所承受的弯矩设计值;

β_m ——弯矩放大系数, 抗震设计时取 1.2, 非抗震设计时取 1.0;

M_u^j ——节点弯矩承载力设计值;

γ ——分项系数, 按现行行业标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS159

的规定选用;

P_{vs} ——竖向肋板受拉承载力设计值;

P_{mcf1} ——钢管翼缘受拉承载力设计值;

f_{mcy} 、 f_{vsy} ——钢管管壁和竖向肋板钢材的抗拉强度设计值;

H_b ——钢梁高度;

B_{mc} ——钢管截面宽度；

t_{mc} 、 t_{vs} 、 t_{bf} ——钢管壁，竖向肋板和钢梁翼缘的厚度；

b_{vs} ——竖向肋板宽度。

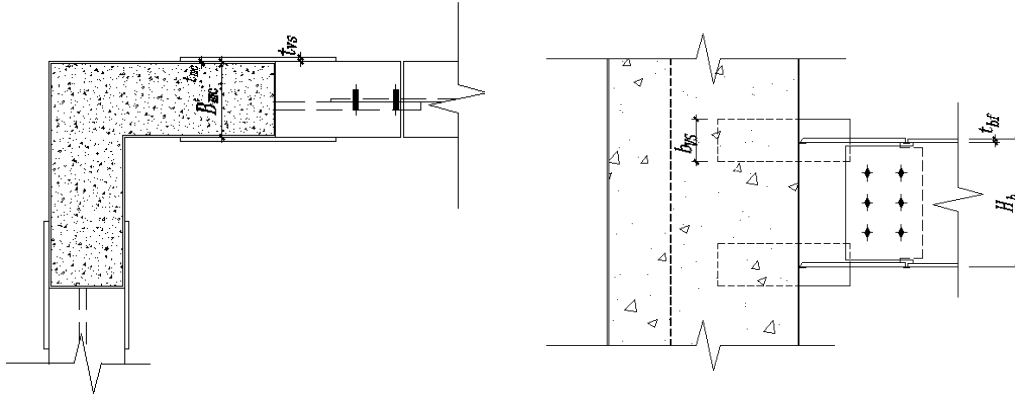


图 7.1.6 外肋环板节点尺寸图

3 竖向肋板伸入柱翼缘与柱腹板焊接的内伸长度宜不小于按下式计算的长度。

$$L_{mc} = \frac{b_{vs} t_{vs} f_{vs}}{2 f_v^w a_e} + 2t \quad (7.1.6-10)$$

式中：

f_v^w ——竖向加肋板与钢管腹板间角焊缝抗剪强度设计值；

t ——加劲肋板和钢管两者厚度的较小值；

a_e ——有效焊缝厚度。

4 竖向肋板与外侧钢梁焊接长度宜满足下式要求：

$$l_1 \geq \frac{b_{vs} t_{vs} f_{vs}}{2 f_v^w a_e} + 2t \quad (7.1.6-11)$$

式中： f_v^w ——钢梁翼缘连接板与竖向肋板的抗剪强度设计值；

5 对于钢梁翼缘连接板的厚度的规定，其应大于钢梁翼缘厚度，且与钢梁翼缘厚度的差值不宜小于 2mm，不宜大于 4mm。

7.1.7 半隔板式连接节点计算及构造要求

1 隔板厚度不小于钢梁翼缘厚度。

2 钢梁翼缘中心应与隔板中心对齐。

3 半隔板式连接节点计算应符合现行行业标准《波形钢板组合结构技术规程》T/CECS 624 的相关规定。

4 当隔板厚度大于 14mm 时，隔板与异形柱壁板采用全熔透焊接连接；当隔板厚度小于或等于 14mm 时，隔板与异形柱壁板采用角焊缝连接。

7.1.8 节点设计时宜尽量减少现场焊接。当确实需要现场焊接时，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GBJ 50205 相应级别的要求。当焊缝用作传递剪力或拉力时，宜采用全熔透焊缝，且要求焊缝至少与连接件等强。焊缝应避免交叉，减少应力集中。

7.2 柱子拼接

7.2.1 一般要求

1 根据构造和运输要求，框架柱可按多个楼层下料分段制作，分段接头宜设在楼面以上 1.0~1.3m 处，当有可靠依据或采用贯穿隔板式连接节点时，分段接头可设置在楼层或其他位置。

2 框架柱拼接可采用焊接连接或高强螺栓法兰盘连接。对于抗震框架柱，为保证 100% 传力，不宜采用高强螺栓连接。

3 柱拼接接头上下 100mm 范围内，柱角部壁板间的焊缝应采用全熔透焊缝。

4 柱截面内部最小尺寸不小于 400mm 时，框架柱现场焊接上下柱应设置带孔内隔板。下节柱横隔板与底面平齐，采用单面坡口焊接，拼接端面磨平。上节柱内隔板宜设在距离端面 100~150mm，采用单面坡口焊缝焊接或单面角焊缝焊接。

7.2.2 异形钢管混凝土柱采用对接拼接方式时，应符合以下规定：

1 对内壁平齐的对接拼接，当两钢管壁厚相差不大于 4mm 时，可按图 7.2.2-1a 的方式焊接；当两钢管壁厚相差大于 4mm 时，较厚钢管的管壁应按图 7.2.2-1b 所示加工成斜坡后连接。

2 对外壁平齐的对接拼接，当较薄钢管的公称壁厚不大于 5mm 时，两钢管壁厚相差应小于 1.5mm；当较薄钢管的公称壁厚大于 5mm 时，壁厚相差不应大于 1mm 加公称壁厚的 0.1 倍，且不大于 3mm；当两钢管的壁厚相差较大而不满足以上规定时，应采用图 7.2.2-1 (c)。所示的有厚度差的内衬板，或按图 7.2.2-1 (d) 所示将较厚钢管内壁加工成有一定坡度的过渡段。当采用图 7.2.2-1 (b)、(d) 所示连接方式时，下柱顶端管壁厚度宜与上柱底端管壁厚度相等或相差不大于 4mm。内衬板的厚度不宜小于 5mm。

3 钢管在现场焊接时宜采用图 7.2.2-2 所示的连接方式。下节柱的上端应设置开孔隔板或环状隔板，隔板顶面与柱口平齐或略低。接口应采用坡口全熔透焊接，管内应设衬管或衬板。钢管的现场焊接也可以采用图 7.2.2-3 所示的贯穿隔板连接方式，顶板在工厂与下节柱焊接在一起，现场安装定位后，上节柱宜与顶板采用坡口全熔透焊缝连接。

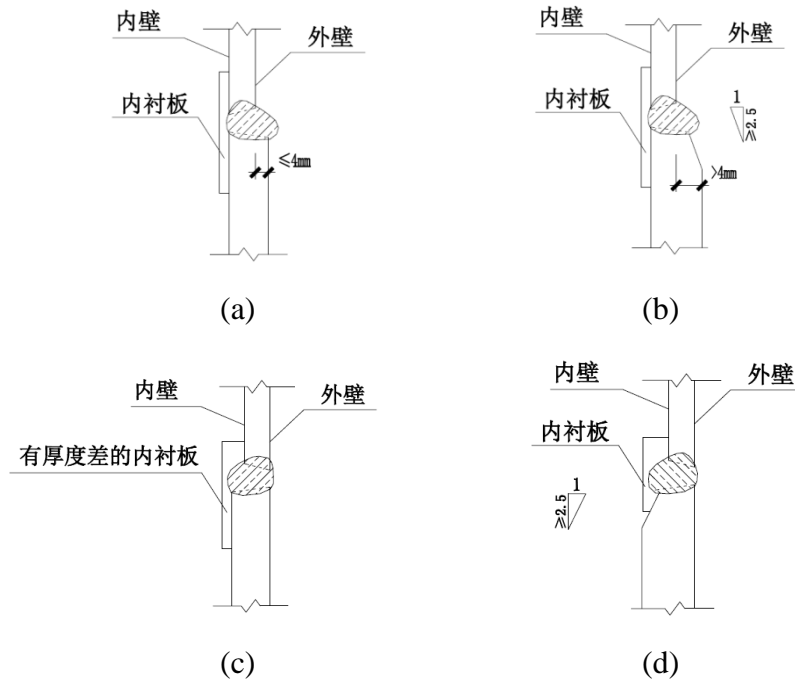


图 7.2.2-1 不同壁厚钢管的工厂焊接

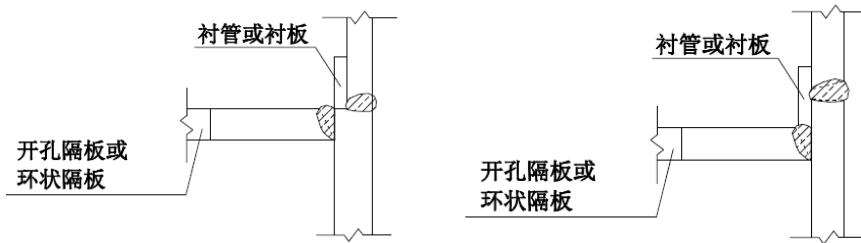


图 7.2.2-2 钢管的现场焊接(内隔板)

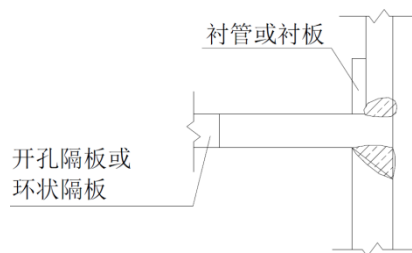


图 7.2.2-3 钢管的现场焊接（贯穿隔板）

7.2.3 异形钢管混凝土柱需要变截面时，宜在楼层处变化，且该楼层的钢梁与异形钢管混凝土柱间的节点应采用隔板贯通式节点。当两钢管混凝土柱的截面高度明显不同时，可采用下列方式拼接：

1 在连接处，当上节柱外壁与下节柱外壁间的差距 s 不大于 50mm 时，可采用顶板拼接方式（图 7.2.3-1）。此时，顶板厚度不宜小于 16mm，且不小于柱下段壁厚

加 2mm。

2 当上节往外壁与下节往外壁间的差距 s 大于 50mm 时, 钢管宜采用锥形拼接方式 (图 7.2.3-2)。在下节柱顶面和锥形拼接钢管顶面应设开孔隔板。

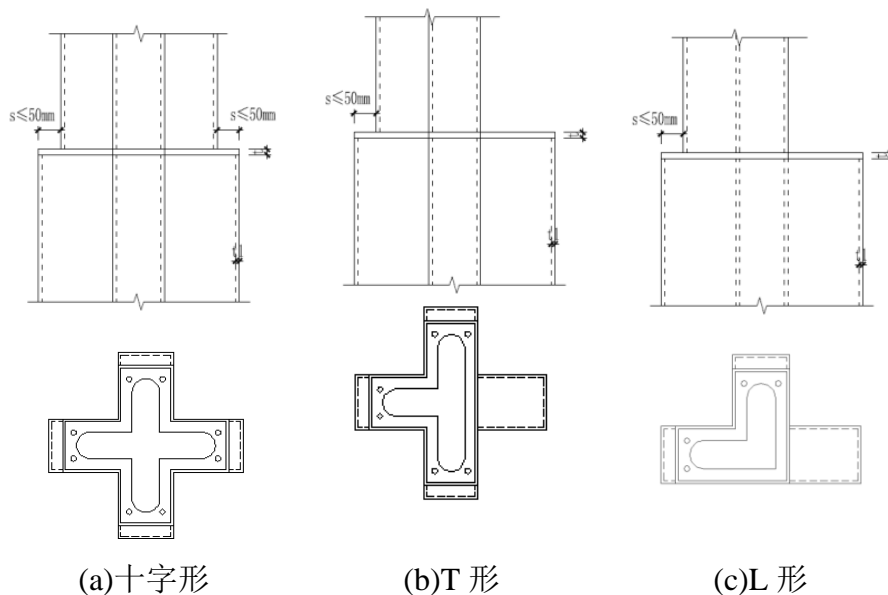


图 7.2.3-1 钢管柱的顶板拼接方式

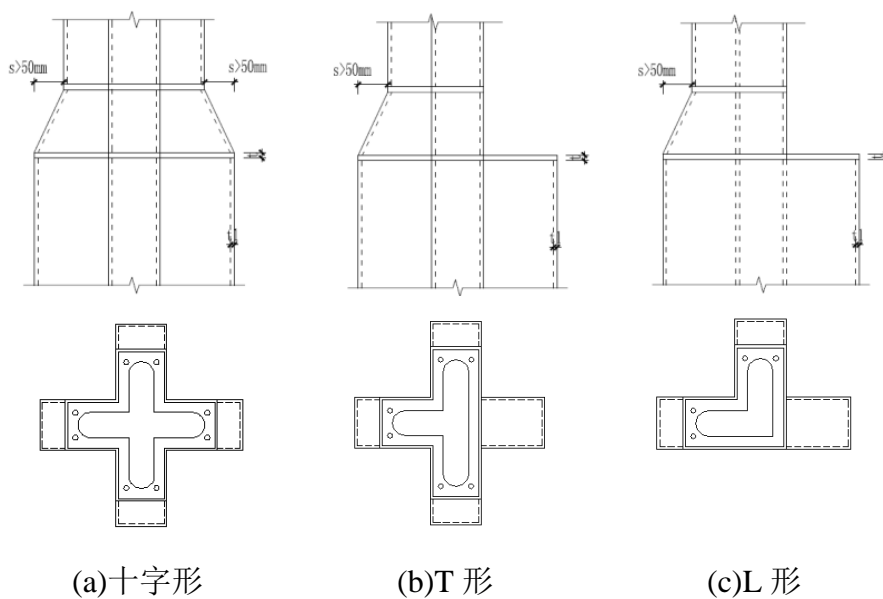
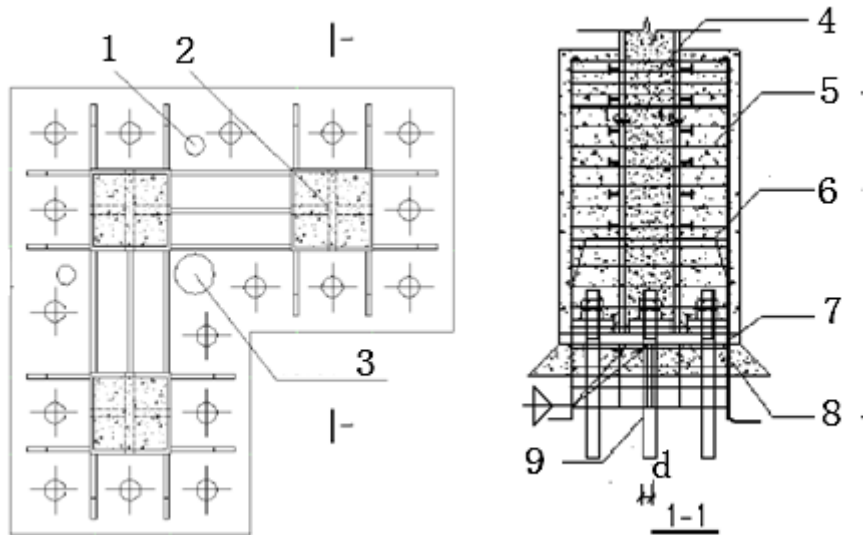


图 7.2.3-2 钢管柱的锥形拼接方式

7.3 柱脚

7.3.1 异形钢管混凝土柱宜采用外包式柱脚。外包混凝土内应设置钢筋网片，且在每个柱脚下宜设置抗剪键，柱底板开锚栓孔，与基础用锚栓连接（图 7.3.1）。



1-排气孔 ($\phi 25$) 2-抗剪键 3-浇筑孔 ($\phi 50$) 4-自密实混凝土 5-外包混凝土 6-加劲肋板
7-底板 8-垫层 9-锚栓

图 7.3.1 异形钢管混凝土柱外包式柱脚

7.3.2 异形钢管混凝土柱的部分轴力、弯矩和剪力可由外包钢筋混凝土承担，且计算方法和构造措施应符合现行行业标准《高层民用钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

7.3.3 外露式柱脚由外露式柱脚底部传递至混凝土基础部分的轴向压力，应验算混凝土局部承载力，当不满足要求时应采取相关构造措施。

7.3.4 当异形钢管混凝土柱用于高层建筑时宜设置地下室，当设置地下室时应满足以下规定：

1 地下室为两层及以上时，组合异形柱宜延伸至地下一层，下部采用型钢混凝土柱，且应设置过渡层，不应采用组合柱与钢筋混凝土柱直接相连的形式；

2 当采用支撑（或抗震墙）时，竖向连续布置的支撑（或抗震墙）应延伸至基础，从地下室二层开始的支撑（或抗震墙）可改用钢筋混凝土剪力墙延伸至基础。

8 防火及防腐

8.1 防火

8.1.1 一般规定

1 本章规定适用于以异形钢管混凝土柱为主要承载结构的、按现行防火规范的规定耐火等级在三级以上的不施加防火涂层和施加防火涂层的矩形钢管混凝土柱的柱身。

2 采用不施加防火涂层的异形钢管混凝土柱进行结构的耐火设计时，原则上同一层建筑应有二个以上的防火分区，或同一层内设有部分带防火保护的柱。

3 异形钢管混凝土柱的防火涂层宜采用厚涂型钢结构防火涂料或金属网 50#水泥砂浆；当有可靠试验依据时，亦可采用其他方法对矩形钢管混凝土柱进行防火保护。

4 当进行耐火设计时，可仅考虑永久荷载、可变荷载及火灾变温的作用。永久荷载应采用标准值；可变荷载应采用组合值；钢梁温度变化可按火灾温度、构件尺寸及构件表面防火涂层的特性确定。

5 对承载能力极限状态，应采用荷载效应的偶然组合进行设计。

8.1.2 耐火极限

1 各类构建的耐火极限应按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016、《高层民用建筑设计防火规范》GB50045、《建筑钢结构防火技术规程》GB51249 的规定采用。

2 无防火涂层的异形钢管混凝土柱耐火计算，应按《建筑钢结构防火技术规程》GB51249 计算矩形钢管混凝土柱的有关规定采用。

8.1.3 防火涂层

1 异形钢管混凝土柱结构的防火涂装应按设计要求的耐火极限选用适当的防火涂装，防火涂料应符合现行国家标准《钢结构防火涂料通用技术条件》GB14907。

2 异形钢管混凝土柱结构的防火涂装施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755 的规定。

3 防火涂料涂装基层不应有油污、灰尘、泥沙等污垢，防火涂料涂装前，钢构件的表面处理及防锈底漆应符合现行国家相关标准的规定。

4 异形钢管结构防火涂料的粘结强度、抗压强度检验方法应符合现行国家标准

《建筑构件防火喷涂材料性能试验方法》GB9978 的规定。

5 对于采用涂装防腐的构件使用防火涂料时，应采用与防腐涂料具有相容性的防火涂料，其相容性可通过模拟工程施工试验样品确定。

6 防火涂料目测涂装质量不应有误涂、漏涂，涂层应闭合无脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散、浮浆和乳突等外观缺陷。

7 薄涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 0.5mm；厚涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 1.0mm。

8 薄涂型防火涂料的涂层厚度应符合有关耐火极限的设计要求。厚涂型防火涂料涂层的厚度，80%及以上面积应符合有关耐火极限的设计要求，且最薄处厚度不应低于设计要求的 85%。厚度的测量方法应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 附录 F 的规定执行。

9 防火涂装的质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

10 异形钢管混凝土柱结构在使用期间应定期对防火涂料进行检查与维护。维护年限可根据结构的使用条件、表面处理方法、涂料品种及厚度考虑。

11 当采用金属网抹 M5 砂浆防火时，可按表 8.1.3 的规定执行。

表 8.1.3 金属网抹 M5 水泥砂浆防火保护层厚度

保护层厚度 (mm)	截面最小尺寸(mm)	耐火极限 (h)	燃烧性能
50	200	1.00	不燃烧体
35		1.00	不燃烧体
40	600	1.15	不燃烧体
50		1.50	不燃烧体
30		1.00	不燃烧体
40	1000	1.50	不燃烧体
50		2.00	不燃烧体
30		1.00	不燃烧体
40	1400	1.65	不燃烧体
50		2.25	不燃烧体

8.2 防腐

8.2.1 一般规定

1 防腐设计应考虑环保节能的要求。

2 异形钢管混凝土柱结构应采取有效的防腐蚀措施，构造上应考虑便于检查、清刷、油漆及避免积水，闭口截面构件沿全长和端部均应焊接封闭。

8.2.2 腐蚀环境级别应根据其使用条件和所处环境，按照侵蚀作用分类选择相应的表面处理方法和防腐措施。其侵蚀作用分类可参见本规范附录表 B.0-1。

8.2.3 异形钢管应根据具体情况选用下列相适应的防腐措施：

1 金属保护层（表面合金化镀锌、镀铝锌等）。

2 防腐涂料。无侵蚀性或弱侵蚀性条件下，可采用油性漆、酚醛漆或醇酸漆等；中等侵蚀性条件下，宜采用环氧漆、环氧脂漆、过氧乙烯漆、氯化橡胶漆或氯醋漆等；防腐涂料的底漆和面漆应相互配套，具有相容性。

3 复合保护。用镀锌钢板制作的构件，涂装前应进行除油、磷化、钝化处理（或除油后涂磷化底漆）；表面合金化镀锌钢板、镀铝锌钢板的表面不宜涂红丹防锈漆，宜涂 H06-2 锌黄环氧脂底漆或其他专用涂料进行防护。

8.2.4 当采用防腐涂料时，应按设计要求进行表面处理。除锈方法和除锈等级应符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923 的规定。

8.2.5 当采用化学除锈方法时，应选用具备除锈、磷化、钝化两个以上功能的处理液，其质量应符合现行国家标准《多功能钢铁表面处理液通用技术条件》GB/T12612 的规定。

8.2.6 采用的涂装材料，应具有出厂质量证明书，并应符合设计要求。涂覆方法可采用手刷或机械喷涂。

8.2.7 在设计涂料、涂装遍数、涂层厚度时应符合工程招标要求，当工程招标或工程承包合同无明确要求时，一般油漆宜考虑涂 4~5 遍，干漆膜总厚度室外构件应大于 150 μm ，室内构件应大于 125 μm ，允许偏差为 -25 μm ，每遍涂层干漆膜厚度的容许偏差为 -5 μm 。

8.2.8 对喷涂防火涂料的构件可以只做底漆不做面漆。

8.2.9 涂装时的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明书的要求，当产品说明书无要求时，环境温度宜在 5~38 $^{\circ}\text{C}$ 之间，相对湿度不应大于 85%，结构表面有结露时不

得涂装，涂装后 4 小时内不得搬运，不得淋雨。

8.2.10 构件涂装的目测质量应均匀、细致、无明显色差、无流挂、失光、起皱、针孔、气饱、裂纹、脱落、脏物粘附、漏涂等，必须附着良好（用划痕法或粘力计检查）。漆膜干透后，应用干膜测厚仪测出干膜厚度，不符合厚度的应补涂。涂装质量不合格的应重新处理。

8.2.11 构件的防腐处理应符合下列要求：

1 钢材表面处理后宜 4 小时内及时涂刷防腐涂料，在室内或湿度较低的晴天不应超过 12 小时，以免再度生锈。

2 施工图中注明不涂装的部位不得涂装，安装焊缝处应留出 30~50mm 暂不涂装。

3 构件安装就位后，应对在运输、吊装过程中漆膜脱落部位以及安装焊缝两侧未油漆部位补涂油漆，使之不低于相邻部位的防护等级。

4 凡构件外包、埋入混凝土的部位可不作涂装。

5 易淋雨或积水的构件且不易再次油漆维护的部位，应采取措施密封。

8.2.12 异形钢管混凝土柱结构在使用期间应对防腐涂料定期进行检查与维护。维护年限可根据结构的使用条件、表面处理方法、涂料品种及漆膜厚度分别按本规范附录表 A.0-2 采用。

8.2.13 异形钢管管混凝土柱结构的防腐涂装和维修时重新涂装的质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。

9 施工与验收

9.1 异形钢管施工与验收

9.1.1 一般规定

1 异形钢管构件的制作，除符合本规程的规定外，尚应遵守现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755的有关规定，其中冷弯成形的构件制作应符合现行国家标准《冷弯型钢结构技术标准》GB50018的规定。

2 制作构件所选用材料，包括焊接材料的机械性能和化学成分应符合国家有关结构用材的技术标准及本规范第3章的规定，其中冷弯型钢构件和冷弯高频焊构件的制作应保证材料具有良好的延展性能，在辊压弯曲或折弯过程中不产生细微的裂纹。

3 异形钢管构件宜采用冷弯型钢构件或冷弯高频焊钢构件组合焊接而成，也可采用热轧型钢或钢板组合焊接而成。

4 异形钢管的组合焊缝可采用常规的焊接方式：自动焊、半自动焊和手工焊，当为热轧型钢或钢板时，其壁间焊缝应采用坡口全熔透焊缝，应尽量减少纵向焊缝数量。对于冷弯技术成形的钢管，其纵向焊缝也可采用高频焊方式。钢管的所有焊缝应符合与母材等强度条件。

5 加工制作应按照设计文件和施工图的要求编制制作工艺文件，根据制作厂的生产条件、运输要求、吊装能力和安装技术，确定钢管的分段制作或拼焊。对于构造复杂的构件尚应进行工艺试验评定，并锁定工艺技术措施和工艺参数方可进行批量生产。

6 钢管混凝土材料的性能应符合本规程第3章的规定。

9.1.2 冷弯型钢管的制作

1 冷弯构件的制作宜采用机械辊压方式，辊压制作应保证工作环境温度符合以下条件：材料为碳素结构钢时，环境温度不得低于 -16°C ；材料为低合金钢时，环境温度不得低于 -12°C 。

2 确定制作冷弯构件的卷材宽度应考虑构件辊压制作过程中因延展性带来的板宽度增加量，用于组合的构件或板件应预留必要的焊接加工收缩余量和切割、端洗等加工余量。

3 冷弯构件的切割面和剪切面应无裂纹、锯齿和大于5mm的非设计缺角。

4 冷弯异形钢管构件的拼接，错边允许偏差不应超过本规程表9.1.4的规定，冷

弯成形的矩形钢管的焊缝宜布置在腹板的中央处，各分段钢管的焊缝可不考虑交错布置方式。

5 钢管焊缝坡口形式和尺寸如设计文件未注明具体要求时，应按照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。

9.1.3 高频焊钢管的制作

1 首次应用高频焊技术的，应进行焊接力学性能试验和工艺评定，根据工艺评定报告确定焊接工艺，并锁定工艺技术措施和工艺参数方可进行批量生产。

2 高频焊技术适宜用于冷弯成形的钢管，构件的纵向焊缝为钢管的封闭焊缝，纵向焊缝不宜超过一条，应符合与母材等强度条件，焊缝宜布置在钢管腹板的中央处。

3 相邻两节管段对接时，纵向焊缝宜对齐，当管壁厚度不小于 6mm 时，应采用坡口对接焊缝，坡口形式和尺寸应符合《钢结构焊接规范》GB50661 的规定。焊缝质量等级加工厂制作应为一级；现场焊接不应低于二级，每个吊装单元接头不宜超过一个，接头距梁-柱节点不宜小于 800mm。

9.1.4 异形钢管构件的组合加工及验收

1 将矩形钢管组合焊接成异形钢管柱，应符合下列要求：

a 构件组装应在合适的工作平台及装备胎模上进行，工作平台及胎模应测平，并加以固定，其水平面的平整度误差不宜大于 3mm；

b 应按施工图严格控制几何尺寸，结构的工作线与构件的重心线应交汇于节点中心，两者误差不宜大于 3mm；

c 下料时应考虑焊接收缩量，组合构件的焊缝应根据施工图，采用连续焊缝，构件的几何尺寸应依据焊缝的收缩变形预留余量；

d 对矩形钢管端头角部进行施焊前，应先对该部位打磨，用放大镜或磁粉探伤检查，确认无表面裂缝后方可进行焊接；

e 构件的定位焊位置应在正式焊缝部位内，不得将钢材烧穿，定位焊采用的焊接材料型号应与正式焊接用的型号相同；

f 构件对接焊的错边不得大于表 9.1.4 的规定；

g 构件的全熔透对接焊应根据具体情况采用适宜的焊接措施（如预留空隙、垫衬板单面焊、双面焊等），以保证焊透。焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次；

h 应采取可靠的焊接工艺，尽可能采用对称焊接顺序，减少焊接应力和焊接变形；

i 对接焊缝的余高应不大于 3.0mm，超高部分可打磨修整。

2 焊缝外形应均匀规整、过渡平缓，不得有裂纹、断弧、烧穿和弧坑等缺陷，对接焊缝的超声波检测应按《钢结构焊接规范》GB50661 的规定进行，超声波检测应在焊接完成 24 小时之后进行。

3 冷矫正的工作环境温度，对碳素结构钢材不得低于 -16° ；对低合金钢材不得低于 -12° 。热矫正加热温度应控制在 $600^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，低合金钢热矫正后应自然冷却。矫正表面不应有明显的凹面或损伤。

4 异形钢管柱制作完成后，其质量的检验应符合现行国家标准《钢结构工程施工验收规范》GB50205 及表 9.1.4 的规定。

5 异形钢管柱制作完成后，应仔细清除管内杂物，并将管口包封，防止异物落入管内。

表 9.1.4 异形钢管构件的容许偏差 (mm)

项 目	符 号	容 许 偏 差
截面高度或宽度	h, B, b	± 3.0
板面不平度	δ	$b/100, B/100$
截面相交角度	θ	$\pm 3^{\circ}$
钢管扭曲	θ	3°
端面对轴线的垂直度		$B/500, h/500$, 且不大于 3.0
板的对接错边	Δ	2.0, 且不大于 $0.1t$
构件连接螺栓孔间距	$a1, a2$	± 1.5
两端螺栓群中心距离	$s1, s2$	± 3.0
构件长度	l	$\leq 9\text{m}$ 时 ± 3.0
		$> 9\text{m}$ 时 ± 4.0
构件弯曲度	c	$\leq 1/1000$
板厚度	t	按所用钢带的相应标准规定
注：(1) 各符号定义见图 9.1.4。		

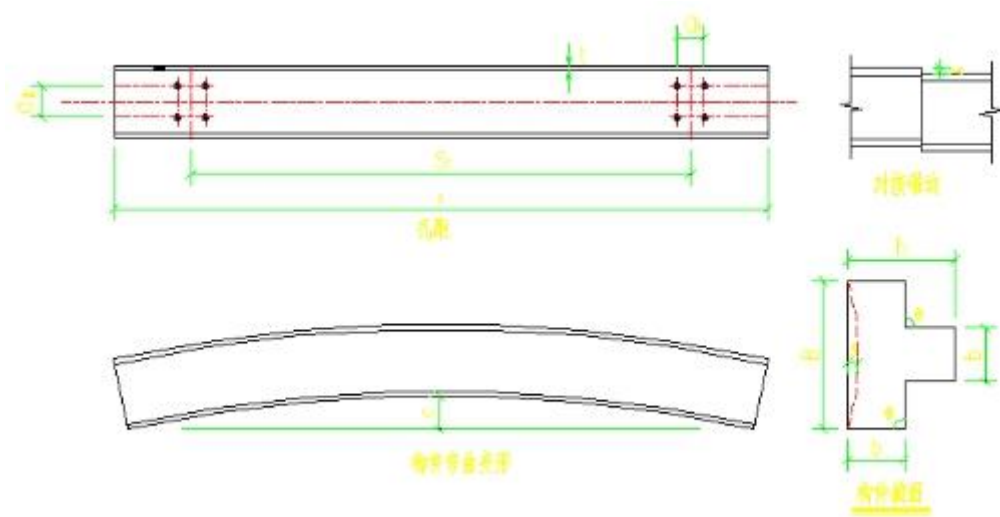


图 9.1.4 构件偏差图

9.1.5 异形钢管柱的安装及验收

- 1 异形钢管柱吊装时，应根据构件的形状特点确定吊点位置，保证起吊的稳定性，必要时，应采取临时加固措施。
- 2 吊装定位后，应立即进行校正，并利用结构支撑或设置临时支撑以保证柱子的稳定性。
- 3 异形钢管柱安装的容许偏差应符合表 9.1.5 的规定。

表 9.1.5 异形钢管柱安装的容许偏差

项次	项 目	容 许 偏 差
1	立柱中心与基础中心	±5
2	立柱顶面标高与设计标高	±10, 中间层±20
3	立柱顶面平整度	5
4	立柱垂直度	高度的1/1000, 最大不大于15
5	各柱之间距离	间距的±1/1000
6	各立柱上平面对角线差、下平面对角线差	长度的1/1000, 最大不大于20

(mm)

9.2 混凝土施工与验收

9.2.1 管内混凝土的浇筑方法

1 应根据建筑结构的类型和施工组织设计选择合适的混凝土浇筑方法。

2 有以下浇筑方法可供选择：

a 泵送顶升浇筑法，在钢管柱下部适当位置开孔，安装一个带有防回流装置的进料支管，直接与泵车的输送管相连，将混凝土连续地之下而上灌入钢管，无需振捣。此浇筑法适用于较大型的钢管柱，对钢管柱壁有较大的膨胀力，钢管柱的纵向焊缝抗拉强度不得低于母材强度。

b 导管浇筑法，在钢管柱内插入上端装有混凝土料斗的钢导管，自下而上边浇边退完成混凝土浇筑，导管下口离浇筑底部不宜小于 300mm，导管与柱壁每边留有不小于 100mm 的间隙，导管与柱内水平隔板浇筑孔的侧隙不宜小于 50mm，以方便插入振捣棒。当管柱最小边长小于 400mm 时，宜采用外壁附着式振捣器进行振捣。

c 手工逐段浇筑法，混凝土自钢管上口灌入，用振捣器捣实。当管柱最小边长大于 350mm 时，可采用内部振捣器振捣，每次振捣时间不宜少于 30s，一次浇灌高度不宜大于 1.5m。当管柱最小边长小于 350mm 时，可采用附在钢管外部的振捣器振捣，外部振捣器的位置应跟随混凝土的浇筑位置移动。

9.2.2 混凝土的配置

1 应根据结构部位、形状、配筋等确定合适的浇筑方案，宜采用自密实混凝土，其粗骨料最大颗粒直径不宜大于 20mm；也可采用高流态混凝土，其粗骨料最大颗粒直径不宜大于 25mm。

2 自密实混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T240 的规定。对于泵送顶升浇筑法，混凝土配合尚应满足可泵性要求。

3 混凝土浇筑时的塌落度不应小于 30mm，采用泵送混凝土浇筑时的塌落度不宜小于 80mm。

9.2.3 混凝土性能的选择

1 当钢管柱材料为 Q235 时，混凝土强度等级可选 C30 或 C40；

2 当钢管柱材料为 Q345 时，混凝土强度等级可选 C40、C50 或 C60；

3 当钢管柱材料屈服强度超过 Q345 时，混凝土强度等级可选 C50 及以上；

并在管壁上留有不小于 20mm 的排气孔

9.2.4 异形钢管混凝土柱结构的安装施工，除符合本规程的规定外，尚应遵守现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的有关规定。

9.2.5 钢管构件在制作完成后应清除管内杂物，并采取措施保持管内清洁，在运输、吊装时，应将管口包封，防止异物和雨水进入管内。当采用预制钢管混凝土构件时，应待管内混凝土强度达到 50% 后，方可进行吊运。

9.2.6 异形钢管构件安装前，应对构件的质量进行检查。构件的变形、缺陷超出允许偏差时，应进行必要的处理。

9.2.7 异形钢管结构施工中应及时安装支撑，保证结构的稳定性，必要时应加设揽风绳充分固定。

9.2.8 浇筑混凝土时在钢管上的进料孔宜开圆孔，其直径宜小于管边长度的二分之一，孔边与节点焊缝之间的净距不宜小于 300mm。混凝土初凝后应将进料孔焊接封固。

9.2.9 异形钢管内混凝土的浇筑宜采用导管浇筑法，也可采用泵送顶升或手工逐段浇筑法。当异形钢管各空腔相分隔不连通时，各空腔宜同步浇筑。宜选用无收缩混凝土浇筑，混凝土浇筑前，应根据设计要求进行混凝土配合比设计和必要的浇筑工艺试验以确定浇筑工艺和各项技术措施。

9.2.10 除泵送顶升法浇筑外，钢管混凝土浇筑时宜采用插入式振捣棒，当构件截面尺寸过小不便采用插入式振捣棒时，宜采用外壁附着式振捣器进行振捣。

9.2.11 异形钢管混凝土柱结构内混凝土的浇筑质量，宜采用敲击钢管法来检查其密实度；对于重要构件或部位，宜采用超声波进行检测。对于混凝土不密实部位，应采用局部钻孔压浆法进行补强，灌浆完成后将钻孔补焊封固。

9.2.12 异形钢管混凝土柱结构施工完成后，其质量验收应符合《钢结构工程施工验收规范》GB50205 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的有关规定。

附录 A

A.1 异形钢管混凝土轴心受压构件稳定承载力计算

A.1.1 L形、T形截面几何尺寸及主轴命名规则可按图 A.1.1 规定。

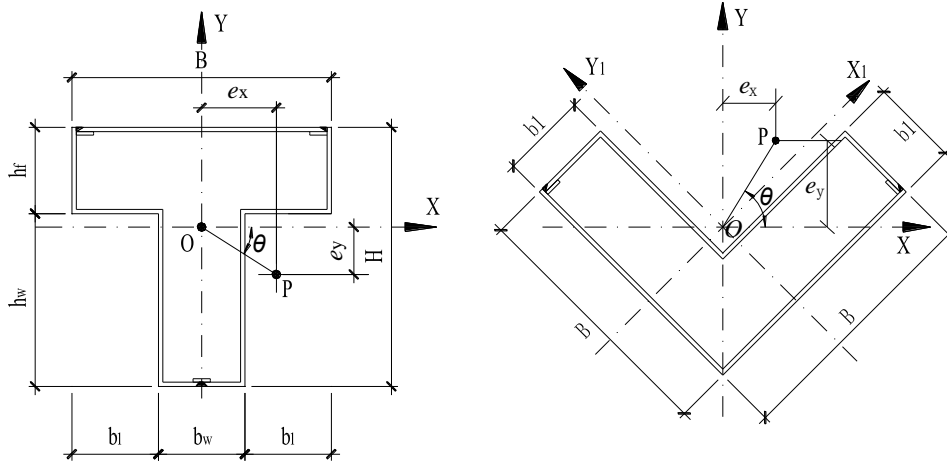


图 A.1.1 L形、T形截面几何尺寸及主轴和工程轴

截面的形心 o 的位置 (x_c, y_c) 可按下式计算：

$$x_c = \frac{n \sum A_{si} x_{si} + \sum A_{ci} x_{ci}}{n \sum A_{si} + \sum A_{ci}} \quad (\text{A.1.1-1})$$

$$y_c = \frac{n \sum A_{si} y_{si} + \sum A_{ci} y_{ci}}{n \sum A_{si} + \sum A_{ci}} \quad (\text{A.1.1-2})$$

式中， n —钢和混凝土的弹性模量之比， $n = E_s/E_c$ ；

A_{si}, A_{ci} —分别为任一块钢单元、混凝土单元的面积。

A.1.2 轴心受压构件稳定承载力计算公式中的相关系数可按下式计算：

1 系数 a 、 b 可按下式确定：

$$a = k_1 \alpha_c^2 + k_2 \alpha_c + k \quad (\text{A.1.2-1})$$

$$b = m_1 \alpha_c^2 + m_2 \alpha_c + m \quad (\text{A.1.2-2})$$

式中，参数 $k_1 \sim k_3$ ， $m_1 \sim m_3$ 可按表 A.1.1 确定。

表 A.1.1 T 形、L 形截面参数 $k_1 \sim k_3$ ， $m_1 \sim m_3$ 取值

参数	k_1	k_2	k_3	m_1	m_2	m_3
取值	-0.1269	0.0962	0.9336	0.4761	0.2020	0.2422

2 T 形截面柱绕 y 轴失稳时， $g(\lambda_0)$ 应按下式计算：

$$\text{当 } p \geq 1 \text{ 时， } g(\lambda_0) = 1$$

当 $p < 1$ 时， $g(\lambda_0)$ 按下式计算：

$$\text{当 } 0 \leq \lambda_0 \leq 0.6 \text{ 时， } g(\lambda_0) = 1 + \frac{g_1(p) - 1}{0.6} \lambda_0 \quad (\text{A.1.2-3})$$

$$\text{当 } 0.6 \leq \lambda_0 \leq 1.108 \text{ 时， } g(\lambda_0) = g_1(p) + \frac{g_2(p) - g_1(p)}{1.108 - 0.6} (\lambda_0 - 0.6) \quad (\text{A.1.2-4})$$

$$g_1(p) = 0.287(p - 0.667) + 0.942 \leq 1 \quad (\text{A.1.2-5})$$

$$g_2(p) = 2.037(p - 0.667) + 0.642 \leq 1 \quad (\text{A.1.2-6})$$

式中， p —截面长 (H) 与宽 (B) 的比值。

3 L 形截面柱绕 y 轴失稳时， $g(\lambda_0)$ 应按下式计算：

$$\text{当 } 0 \leq \lambda_n \leq 0.6 \text{ 时， } g(\lambda_0) = 1 + \frac{g_1(q) - 1}{0.6} \lambda_0 \quad (\text{A.1.2-7})$$

$$\text{当 } 0.6 \leq \lambda_n \leq 0.831 \text{ 时， } g(\lambda_0) = g_1(q) + \frac{g_2(q) - g_1(q)}{0.831 - 0.6} (\lambda_0 - 0.6) \quad (\text{A.1.2-8})$$

$$g_1(q) = 0.493(q - 0.333) + 0.898 \leq 1 \quad (\text{A.1.2-9})$$

$$g_2(q) = 1.448(q - 0.333) + 0.646 \leq 1 \quad (\text{A.1.2-10})$$

式中， q —截面肢宽高比， $q = b_1/B$ 。

A.2 异形钢管混凝土压弯构件承载力计算

A.2.1 异形钢管混凝土柱正截面强度计算应符合以下基本假定：

1 构件变形后符合平截面假定，即 T 形钢管混凝土柱截面上任一点的应变大小与该点到中性轴的距离成正比；

2 当荷载达到构件极限承载力时，钢管受拉区及受压区应力均达到其设计强度 f ；

3 当荷载达到构件极限承载力时，受拉区混凝土退出工作，受压区混凝土应力达到抗压设计混凝土强度 f_c 。

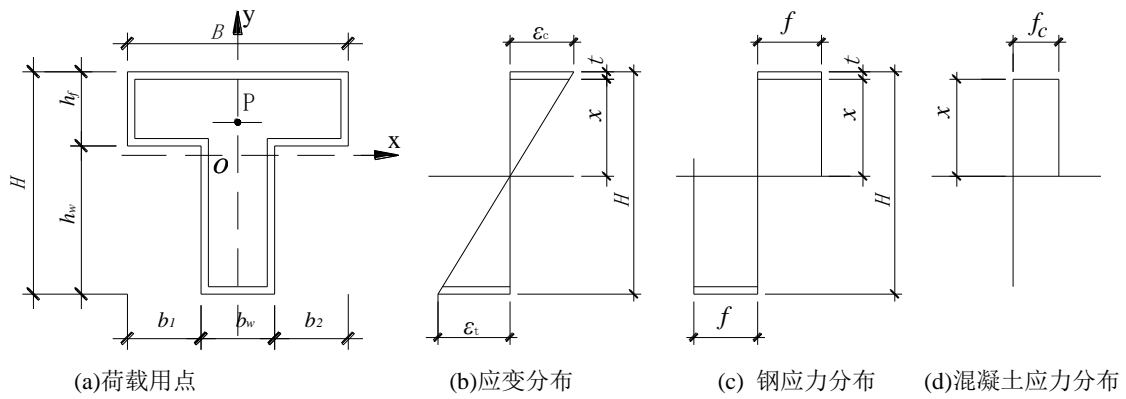


图 A.2.1 荷载作用位置及应力应变分布假定

A.2.2 对 L 形、T 形钢管混凝土压弯构件，其轴力与弯矩的截面强度及构件稳定承载力的相关方程均可按两段折(曲)线方程简化表示 (图 A.2.2)。

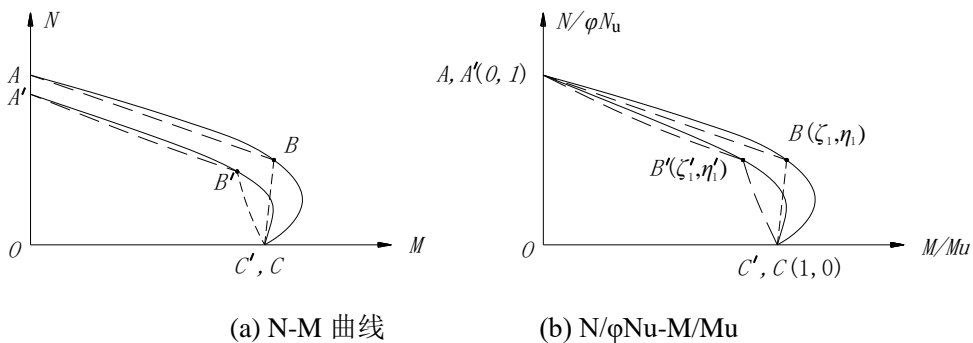


图 A.2.2 简化的 $N-M$ 相关曲线

A. 3 采用纤维模型法计算异形钢管混凝土构件承载力

A. 3. 1 异形钢管混凝土构件在不同受力状态的承载力计算除了可按第 6 章的相关条文进行计算外，也可根据异形钢管混凝土构件的不同截面构造措施，考虑钢管对混凝土的约束效应，采用纤维模型计算方法进行计算。

A. 3. 2 异形钢管混凝土构件采用纤维模型方法计算承载力时，应符合下列规定：

1 不同截面构造措施下，应采用合理的异形钢管混凝土构件核心混凝土的约束本构模型：

$$\sigma_c = f_c(\varepsilon_c) \quad (\text{A.3.2-1})$$

2 应采用合理的钢材的应力—应变本构模型：

$$\sigma_s = f_s(\varepsilon_s) \quad (\text{A.3.2-2})$$

A. 3. 3 异形钢管混凝土构件采用纤维模型方法计算时，应符合下列基本假定：

1 构件在受力变形过程中其横截面始终保持为平截面，可只考虑跨中截面的内外力平稳关系，并把其当作一个零长度单元；

2 构件在主轴的两个方向上其挠曲变形呈正弦半波状；

3 可不考虑构件截面扭转的影响。

4 可不考虑钢和混凝土之间相对滑移；

5 可忽略剪力对构件变形的影响。

A. 3. 4 构件截面离散划分成若干单元后，混凝土单元 j 和钢单元 j 形心处的应变值

ε_{cj} 和 ε_{sj} 与构件截面形心处的应变 ε_0 及两个方向的曲率 ϕ_x 、 ϕ_y 的关系可按下列式计算：

$$\varepsilon_{cj} = \varepsilon_0 + \phi_x x_j + \phi_y y_j \quad (\text{A.3.4-1})$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_0 + \phi_x x_j + \phi_y y_j \quad (\text{A.3.4-2})$$

混凝土和钢材第 i 单元的应力可按下列式计算：

$$\sigma_{cj} = f_c(\varepsilon_{cj}) \quad (\text{A.3.4-3})$$

$$\sigma_{sj} = f_s(\varepsilon_{sj}) \quad (\text{A.3.4-4})$$

构件在两个主轴平面内弯矩 M_{inx} 、 M_{iny} 和内力 N_{in} 可按下列式计算：

$$M_{inx} = \sum_{j=1}^k \sigma_{cj} A_{cj} y_{cj} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} y_{sj} \quad (\text{A.3.4-5})$$

$$M_{iny} = \sum_{j=1}^k \sigma_{cj} A_{cj} x_{cj} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} x_{sj} \quad (\text{A.3.4-6})$$

$$N_{in} = \sum_{j=1}^k \sigma_{cj} A_{cj} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} \quad (\text{A.3.4-7})$$

在外荷载作用下构件应满足内外力平衡条件：

$$\begin{cases} M_{inx} = M_x + Nu_y \\ M_{iny} = M_y + Nu_x \\ N_{in} = N \end{cases} \quad (\text{A.3.4-8})$$

构件的极限承载力 N 、 M_x 、 M_y 随着变形的增加可以求出。

附录 B 侵蚀作用分类和防腐涂料底、面漆配套及维护年限

B.0.1 环境条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类可按表 B.0.1 采用。

表 B.0.1 环境条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类

序号	地区	相对湿度 (%)	对结构的侵蚀作用分类		
			采暖房屋室内	非采暖房屋室内	露天
1	农村、一般	干燥, <60	无侵蚀性	无侵蚀性	弱侵蚀性
2	城市的商业	普通, 60~75	无侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
3	区及住宅区	潮湿, >75	弱侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
4	工业区、沿海地区	干燥, <60	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
5		普通, 60~75	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
6		潮湿, >75	中等侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性

注:

(1) 表中的相对湿度系指当地的年平均相对湿度, 对于恒温恒湿或有相对湿度指标的建筑物, 则按室内相对湿度采用;

(2) 一般城市的商业区及住宅区泛指无侵蚀性介质的地区, 工业区是包括受侵蚀介质影响及散发轻微侵蚀性介质的地区。

B.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限可按表 B.0.2 采用。

表 B.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限

侵蚀作用类别	表面处理	涂料类别	底漆		面漆品种	面漆		维护年限(年)							
			道数	厚度(μm)		道数	厚度(μm)								
室内	无侵蚀性	喷砂(丸)除锈, 酸洗除锈, 手工或半机械化除锈	第一类	2	60	C04-2各色醇酸磁漆 C04-45灰醇酸磁漆 C04-5灰云铁醇酸磁漆	2	60	15~20						
	弱侵蚀性			2	60		2	60	10~15						
	室外			弱侵蚀性	2		60	2	60	8~10					
室内	中等侵蚀性	酸洗磷化处理, 喷砂(丸)除锈	第二类	2	60	灰醇酸改性过氯乙烯磁漆 醇酸改性氯化橡胶磁漆 醇酸改性氯醋磁漆 聚氨酯改性氯醋磁漆	2	60	10~15						
										室外	2	60	2	60	5~7

注: 表中所列第一类或第二类中任何一种底漆(氯磺化聚乙烯防腐底漆除外)可和同一类别中的任一种面漆配套使用。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 标准中指明应按其它有关标准执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《建筑结构荷载规范》 GB 50009
《混凝土结构设计规范》 GB 50010
《建筑抗震设计规范》 GB 50011
《建筑设计防火规范》 GB50016
《钢结构设计标准》 GB 50017
《冷弯型钢结构技术标准》 GB 50018
《高层民用建筑设计防火规范》 GB50045
《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
《混凝土强度检验评定标准》 GB50107
《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
《钢结构焊接规范》 GB50661
《钢结构工程施工规范》 GB 50755
《建筑钢结构防火技术规程》 GB51249
《建筑构件防火喷涂材料性能试验方法》 GB 9978
《钢结构防火涂料通用技术条件》 GB 14907
《碳素结构钢》 GB/T 700
《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、大六角螺母、垫圈技术条件》 GB/T 1231
《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
《紧固件机械性能自钻自攻螺钉》 GB/T 3098.11
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117
《热强钢焊条》 GB/T 5118

《开槽盘头自攻螺钉》 GB/T 5282
《开槽沉头自攻螺钉》 GB/T 5283
《开槽半沉头自攻螺钉》 GB/T 5284
《六角头自攻螺钉》 GB/T 5285
《六角头螺栓—C 级》 GB/T 5780
《六角头螺栓—A 级和 B 级》 GB/T 5782
《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》 GB/T10433
《多功能钢铁表面处理液通用技术条件》 GB/T 12612
《十字槽盘头自钻自攻螺钉》 GB/ T 15856.1
《十字槽沉头自钻自攻螺钉》 GB/ T 15856.2
《十字槽半沉头自钻自攻螺钉》 GB/ T 15856.3
《六角法兰面自钻自攻螺钉》 GB/ T 15856.4
《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ99
《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T240
《矩形钢管混凝土结构技术规程》 CECS159
《高层建筑钢—混凝土混合结构设计规程》 CECS 230
《矩形钢管构件自锁式单向高强螺栓连接设计标准》 T/CECS 605
《波形钢板组合结构技术规程》 T/CECS 624



CECS *** : 2021

中国工程建设协会标准

异形钢管混凝土结构设计规程

Technical specification for structures with concrete-filled
special-shaped steel tube columns

条文说明

(征求意见稿)

目 次

1 总 则	64
3 材 料	65
3.1 钢 材	65
3.2 连接材料	66
3.3 混凝土材料	66
4 基本设计规定	67
4.1 一般规定	67
4.2 设计指标	67
4.3 结构变形	68
4.4 构造的一般规定	68
5 结构体系和结构分析	71
5.1 结构体系	71
5.2 结构分析	72
6 异形钢钢管混凝土柱设计	73
6.1 一般规定	73
6.2 轴心受力构件的计算	74
6.3 压弯构件的计算	75
6.4 框架柱的设计要求	76
7 异形钢管混凝土柱连接设计	77
7.1 梁柱连接	77
7.2 柱子拼接	81
7.3 柱脚	82
8 防腐及防火	84
8.1 防火	84
8.2 防腐	85
9 施工与验收	87
9.1 异形钢管施工与验收	87
9.2 混凝土施工与验收	88
附录 A	89
A.1 异形钢管混凝土轴心受压构件稳定承载力计算	89
A.2 异形钢管混凝土压弯构件承载力计算	89

总 则

1.0.1 异形钢管混凝土柱结构是指采用闭合异形钢管内浇筑混凝土,并由异形钢管和管内混凝土共同承担荷载的异形柱的结构,但不包括由矩形钢管混凝土柱组成的格构式异形柱。采用异形钢管混凝土柱主要是为了解决传统钢管柱使用中房间出现凸柱的问题,同时充分利用了钢结构和混凝土结构的优点,更适合装配化建造。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。异形钢管混凝土柱结构中不同的结构体系适宜于不同的高度的建筑。为方便工程实际应用,标准包含了施工和验收部分。

1.0.3 为了使本规程和我国其它规范及规程相对应,本规程所采用的符号、计量单位及技术术语等是参照现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068和《建筑设计术语和符号标准》GB/T50083而定的。

1.0.4 本规程编制过程中,许多参数(如荷载、材料等)引用了现行有关国家标准的规定。因此,除本规程有明确规定外,在设计时还必须严格遵守其他有关的现行国家标准。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 本规程对异形钢管混凝土构件的钢管规定采用 Q235、Q345、Q390 和 Q420 四种牌号的钢材，这是依据现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 的规定和我国多年来钢管混凝土结构实践经验提出的。根据现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 的规定，厚壁的冷弯型钢构件主要采用 Q235、Q345 和 Q390 三种牌号钢材。因此，冷弯成型的异形钢管目前主要采用上述三种钢材。但条文还规定“当有可靠依据时，可采用其它牌号的钢材”，所谓“可靠依据”是指所取用的钢材力学性能和化学成分应符合我国有关结构用钢的标准要求。

3.1.2 结构用钢除了应具有合格的力学性能指标外，还应对一些化学成分含量加以限制，以确保构件的可焊性等加工和维护要求。因此，各类牌号的 A 级钢一般不应用于直接承受动力作用、要求保证冲击韧性性能的结构，也不能用于有抗震设防的结构，设计者应根据结构的重要性、荷载特征、应力状态、钢材厚度、连接及加工方法和环境温度等不同情况，合理地选用钢材的牌号和级别。

根据现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 和《低合金高强度结构钢》GB/T1591 的规定，每一牌号的钢材依据其质量又分为不同等级，如 Q235 分为 A、B、C、D 四个等级，Q345、Q390 和 Q420 钢分为 A、B、C、D、E 五个等级。各类牌号的 A 级钢不提供任一温度量级的冲击韧性试验，且只有当用户提出要求时才进行冷弯试验，Q235A 级钢还不保证焊接要求的含碳量。Q235B、C、D 级和 Q345、Q390、Q420 的 B、C、D、E 级钢之间除所含化学成分限量不同外，各级钢材分别保证+20°C、0°C、-20°C 和-40°C 时应具有的冲击韧性要求。如在-40°C 以下要求保证冲击韧性的钢材，则应选取相应钢材牌号的 E 级钢。

用于主要承重结构的钢管材料应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度、和硫、磷、碳含量的合格保证，对于一些重要的结构和承载动力作用的结构还应有冷弯试验合格和冲击韧性的要求。因此，各类牌号的 A 级钢一般不宜用于直接承受动力作用的结构，Q235A 级钢还不能用于焊接结构。

条文中未给出异形钢管混凝土结构钢材抗拉强度和屈服强度的比值，但一般强屈比不应小于 1.2。用于抗震结构的钢材的伸长率应大于 20%，以保证构件具有足够的

塑性变形能力。

3.1.3 对于先将钢板冷弯成一定形状后焊接而成的异形钢管，或通过矩形钢管和 C 形钢焊接形成的异形钢管，焊缝强度宜与母材等强；对于高层、超高层钢管混凝土结构，采用四块厚钢板焊接成型的矩形钢管，可采用 V 型坡口部分熔透焊缝，其有效熔深不宜小于板厚的 1/3，且保证浇注混凝土时焊缝不开裂。柱在主梁上下各 600mm 范围内应与母材等强，即应采用全熔透焊缝。

3.2 连接材料

3.2.1 当焊接两种不同强度等级的钢材时，宜选用与主体金属强度较低一种钢材相匹配的焊条或焊丝。这是因为若焊缝金属强度比主体金属强度高，焊缝接头质量难以保证，容易产生裂缝。采用强度较低的焊缝材料，既可得到与主体金属等强的焊缝接头，还可提高焊缝的塑性和韧性。

3.2.2 异形钢管混凝土结构采用的栓钉用材和规格应符合国家现行标准《圆柱头焊钉》GB/T10433 的规定。用于栓钉的钢材屈服强度不应小于 235N/mm^2 ，抗拉强度不低于 400N/mm^2 。栓钉的实际力学性能应依据栓钉制造厂生产符合国家标准的产品规格确定的设计指标取用。栓钉的直径宜选用 19~22mm，其长度不应小于 4 倍钉径。

3.3 混凝土材料

3.3.1 根据钢管混凝土结构的工程实践经验，混凝土的强度等级不宜低于 C30 级。按常用的钢管和混凝土面积比值范围，采用 Q235 钢管配置 C30~C40 级混凝土，Q345 钢管配置 C40 或 C50 级及以上混凝土，Q390、Q420 钢管配置 C50 级及以上的混凝土较为匹配和合理。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.3 采用异形钢管混凝土结构的建筑处于地震区时，均应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定进行地震作用下的承载能力验算。本条还提出可参考其它有关规范是指：凡结构体系的主要抗侧力结构为钢筋混凝土结构时，尚可参考现行国家标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的规定；主要抗侧力结构为钢结构时，尚可参考现行国家标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 的规定。

承载力抗震调整系数 γ_{RE} 是根据可靠度指标概率统计理论确定的，一般在 0.7~1.0 之间，现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 没有给出钢管混凝土结构构件的 γ_{RE} 值，本条表 4.1.5 给出的钢管混凝土结构承载能力抗震调整系数 γ_{RE} 是基本参照钢结构的系数制定的。

4.1.4 本条文中，施工阶段验算时的混凝土的湿重在现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 中未作规定，设计者可根据经验参照《建筑结构荷载规范》GB50009 给出的素混凝土重为 22~24kN/m³ 的值取用。施工阶段若设施工支撑，一般不做验算。

4.2 设计指标

4.2.1~4.2.2 同一种牌号钢材的强度设计值，现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 和《冷弯薄壁型钢结构技术标准》GB50018 在有些指标的规定上略有不同。因此，本规程规定，凡是由热轧成型或由热轧型钢组成的异形钢管按 GB50017 规范取用；由冷弯成型或由冷弯型钢组成的异形钢管按 GB50018 规范的规定取用。

钢板经过冷弯成型加工后，钢板弯角部分的强度将有不同程度的提高，但其塑性性能略有降低，这种现象称之为冷弯效应。因此，冷弯成型的异形钢管弯角部分的钢材强度将高于钢管平板部分，弯角部分冷弯提高后的强度值以及异形钢管考虑冷弯效应后整个截面加权平均强度设计值的计算公式，可参考现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术标准》GB50018 附录 C 规定计算取用。根据国内外设计实践表明，异形钢管按考虑冷弯效应后的强度设计值设计，比不考虑冷弯效应的设计可节省钢材约 10~15%。GB50018 规范第 4.2.2 条规定，考虑冷弯效应的构件截面必须全截面有效。要确保全截面有效，应限制截面板件的宽厚比，本规程 4.4.3 条给出了全截面有效的宽

厚比限值。

4.3 结构变形

4.3.1 对钢管混凝土结构中的受弯构件的变形,可根据不同类型的构件分别参照现行国家标准《钢筋混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计规范》GB50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 等的有关规定进行验算。

4.3.2~4.3.3 本规程对多高层异形钢管混凝土框架结构或主要抗侧力结构为钢结构的多高层异形钢管混凝土结构房屋,在风荷载或地震作用下的层间相对位移与层高比值限值的规定,主要是参照现行国家标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99、《建筑抗震设计规范》GB50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的规定,并考虑了异形钢管混凝土结构的抗震性能。本规程对层间相对位移与层高比值的規定取为:在风荷载作用下不宜大于 1/400,在多遇地震作用下不宜大于 1/300,在罕遇地震作用下不宜大于 1/50。

4.4 构造的一般规定

4.4.1 为了方便向钢管内浇筑混凝土,本规程规定异形钢管的截面最小边尺寸不应小于 100mm。规程还规定钢管壁厚不宜小于 6mm,这是为了避免钢管在浇筑混凝土时出现局部外鼓现象。如果浇筑混凝土工艺能确保管内混凝土施工质量和不发生钢管管壁外鼓现象,上列限值尚可适当放宽。截面高宽比 (h_c/b_w),即肢长与肢宽比值大于 4 的异形钢管混凝土柱,其整体稳定承载力与本规程相关公式的计算误差较大,不适用。此外,当异形钢管混凝土构件截面最大边长大于等于 800mm 时,为防止钢管内混凝土收缩过大、浇注混凝土时管壁外鼓等因素,宜在柱内壁上焊接栓钉、纵向加劲板等构造措施。由于目前这方面的资料很少,本规程中难以提出栓钉、加劲板等构造措施的具体尺寸和设置要求,设计时可借鉴已有的工程经验处理。

4.4.3 异形钢管混凝土钢管板件的宽厚比不宜过大,因为板件的局部屈曲承载力是与板件宽厚比平方成反比,若板件宽厚比过大,则板件在远低于钢材强度设计值之前发生局部屈曲。虽然由于异形钢管板组相互制约和板件的薄膜效应,板件出现局部屈曲并不意味板件承载能力的耗尽,还可利用板件的屈曲后强度,但若要利用板件的屈曲后强度,通常板件只能取其部分有效截面作为计算截面。

本规程第 6 章的所有构件计算和规定,都是在异形钢管全截面有效的前提下建立

的。因此，异形钢管混凝土构件的钢管截面板件的宽厚比必须给予限制，以确保构件在丧失整体承载能力之前，钢管不出现局部屈曲，全截面有效。本规程表 4.4.3 给出了异形钢管板件在各种受力状态下的宽厚比的限值。该宽厚比限值是参照《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS159 的取值，若设计的构件符合表 4.4.3 的规定，异形钢管混凝土柱的钢管板件即认为可保证全截面有效。

表 4.4.3 给出的板件宽厚比限值是根据 Winter 有效宽度 b_e 计算公式确定的。令 Winter 公式中 $b_e = b$ 即全截面有效可得到板件宽厚比限值 $(b/t)_{\text{lim}}$ 的通式为：

$$(b/t)_{\text{lim}} \cong 19.1\sqrt{k} \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{C4.4.3-1})$$

式中， k 为空钢管板件稳定系数，如：四边简支板，均匀受压 $k = 4.0$ ，纯弯曲 $k = 23.9$ ，非均匀受压板件稳定系数 k 与应力梯度 $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ 有关（ σ_1 ， σ_2 分别为板件最外边缘的最大和最小应力，并取压力为正、拉力为负），GB50018 设计规范给出了非均匀受压板件稳定系数 k 的计算公式为：

$$\text{当 } 1 \geq \psi \geq 0 \text{ 时 } k = 7.8 - 8.15\psi + 4.35\psi^2 \quad (\text{C4.4.3-2})$$

$$0 \geq \psi \geq -1 \quad k = 7.8 - 6.29\psi + 9.78\psi^2 \quad (\text{C4.4.3-3})$$

将上述各种受力状态板件的稳定系数 k 代入式（C4.4.3-1）中，即可得到空钢管板件全截面有效的限值。

异形钢管内充实混凝土后，对钢管板件的局部屈曲稳定性能有很大的提高，这也是钢管混凝土构件的有利性能之一。据日本学者作的大批矩形钢管混凝土构件的试验证实，矩形钢管填充混凝土后，钢管板件局部屈曲稳定性能比空钢管大 1.5 倍。本规程表 4.4.3 中给出的限值是按空钢管求出的结果乘以 1.5 倍得出的，经与有限条法理论分析结果对比，此规定是可靠的，并略偏安全。

需要说明的是：用 Winter 有效宽度计算公式仅是计算矩形钢管板件平直段部分，矩形管弯角曲线部分高度（ $r = 2 \sim 5t$ ）总是为有效的截面，因此，对异形钢管混凝土的钢管，本规程表 4.4.3 给出的限值中也加上了弯角所包含的高度。此外，为方便计算，表 4.4.3 给出的非均匀受压板件限值表达式，是将 \sqrt{k} 值取为二次近似逼近式给出的，其误差约为 2% 左右，且偏于安全。

还应指出的是：在施工阶段，异形钢管混凝土构件不应计入管内混凝土对管壁局

部稳定性的增强效应，对此，在表 4.4.3 的注 3 中作了说明，但公式中材料强度换算系数 $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ 中的 f_y ，应取截面板件在施工荷载作用下的实际应力 σ_0 ，对压弯板件 σ_0 取板件最外边缘的最大应力 σ_1 。若按施工阶段验算得到的空钢管的宽厚比小于钢管混凝土（表 4.4.3 中规定）的限值时，宜采取措施，调整施工工艺，减小施工荷载，尽可能取用异形钢管混凝土的宽厚比限值（表 4.4.3），以确保异形钢管混凝土构件截面设计的经济合理性，否则钢管宽厚比应满足施工阶段空钢管不发生局部屈曲的要求。

4.4.4 经大量参数分析 L 形钢管混凝土柱的计算长细比超过 100，T 形钢管混凝土柱绕对称轴的计算长细比不超过 80 时，其整体稳定系数与长细比的关系曲线及 N-M 相关曲线出现反转现象，不符合本规程相关公式的计算。

5 结构体系和结构分析

5.1 结构体系

5.1.1~5.1.2 结构中仅局部采用异形钢管混凝土构件的，不应视为异形钢管混凝土柱结构，应按钢结构、钢筋混凝土结构或钢管混凝土的相关规范进行设计，其中异形钢管混凝土构件的设计可按照本规程的规定进行。

5.1.3 框架结构的抗震性能及抗倒塌能力主要取决于柱的性能，异形钢管混凝土具有良好的延性，框架结构的最大适用高度可不低于钢筋混凝土结构的适用高度，参照《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 99 中关于框架结构最大适用高度的规定。框架-支撑结构的最大适用高度参照《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 确定。框架剪力墙的最大适用高度参照《钢管混凝土结构技术规程》GB50936；对异形钢管混凝土框架与混凝土抗侧力结构组成的混合结构的适用刚度不低于型钢混凝土框架与混凝土抗侧力结构组成的混合结构的适用高度，因此参照现行《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 规定的混合结构高层建筑的适用高度确定。

5.1.4 高宽比是结构刚度、整体稳定，承载力和经济合理性的宏观控制，对异形钢管混凝土结构，这一限制是必要的。高宽比的限制参照《钢管混凝土结构技术规程》GB 50936 确定。

5.1.5 异形钢管混凝土结构的平、立面布置原则及规则性要求与其他类型的结构类似，并无特殊规定，按照本条所列国家现行标准中的有关规定执行。异形钢管混凝土与其他构件组成的结构体系，与其它类型的结构一样，应符合结构抗震设计的一般要求，即在平面上结构布置宜整齐规则，力求满足对平面布置规则性的要求；在竖向，结构的质量和刚度宜分布均匀，力求满足对竖向规则性的要求，以减小地震对建筑物的不利影响。

5.1.6 异形钢管混凝土柱用于多、高层建筑时，可采用不同形式的梁构件。钢梁具有与钢管混凝土柱连接方便、重量轻等优点，钢-混凝土组合梁与组合柱普遍同时使用，这两种形式的梁宜优先考虑。大跨梁可考虑采用钢桁架或组合桁架。混凝土梁造价虽然低于钢梁，但梁钢筋穿柱及其连接固定，在构造上带来很多困难，且施工较复杂，还可能因钢筋密集影响混凝土浇筑质量，宜逐步减少应用，梁跨度较大时更不宜采用。钢管混凝土柱组成框架时，根据抗力水平和刚度要求，可配置支撑、剪力墙等抗侧力

构件。楼板一般宜采用压型钢板组合楼板，在保证楼盖结构整体性和施工方便等方面具有明显优点。视条件也可采用预制板、带现浇层的叠合板或现浇混凝土板。

5.1.8 支撑可采用钢管、角钢或 H 型钢制成，支撑与钢管混凝土的连接常采用节点板连接。支撑与框架的连接，可采用铰接或刚接。多、高层建筑设支撑、剪力墙后仍不满足层间位移要求时，可设置结构加强层。但加强层上下端内力出现突变，强震区不宜采用。

5.1.9 带翼缘墙或端柱的剪力墙，有较好的侧向刚度。暗柱的平面外刚度有时难以保证，通常宜采用带翼缘墙或端柱的剪力墙，有根据时也可采用暗柱作边缘构件。剪力墙与其边缘构件之间应具有可靠连接。

5.2 结构分析

5.2.1 本条是进行结构计算需要符合的相关规定。进行结构内力计算以及承载力和变形验算时，其计算原则、计算假定、计算模型和计算方法等，均应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计规范》GB 50017 与现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 以及现行协会标准《高层建筑钢—混凝土混合结构设计规程》CECS 230 的有关规定。

高层建筑结构整体计算分析时，只考虑了主要结构构件（梁、柱、剪力墙合筒体等）的刚度，没有考虑非承重结构构件的刚度，因而计算的自振周期较实际的偏长，按这一周期计算的地震力偏小。为此，本条规定应考虑非承重构件的刚度影响，对计算的自振周期予以折减。

5.2.2 本条关于钢管混凝土结构在正常使用极限状态下换算刚度计算的规定，是综合参考了现行国家标准《高强度混凝土结构技术规程》CECS 104 和《钢管混凝土结构设计施工规程》CECS28 的规定，并考虑抗震设计的特点确定的。

5.2.3 异形形钢管混凝土柱在弹性阶段的刚度，应按本规程第 5.2.2 条的规定确定。组合结构的阻尼比，日本用 0.03，也有用 0.04 的，本规程取 0.035，与 GB50011 规定的 12 层以下钢结构多层钢结构阻尼比取值相同。

由于混凝土抗拉强度较低，组合结构的承载力计算不计入混凝土的抗拉强度。结构分析时，内力与构件刚度有关，混凝土受拉区对构件刚度是有贡献的，故刚度计算应计入受拉区混凝土，按等截面构件计算。

考虑弯矩调幅时，连续梁按等截面梁计算，将混凝土设计截面按弹性模量折算成

等效钢截面。按变截面梁计算时，不考虑弯矩调幅。

在施工阶段验算时，异形钢管的局部稳定性应按《钢结构设计规范》GB50017 验算。由于此时的应力一般都较小，因此规范中宽厚比计算公式中的应该用代替。为抗力分项系数，为验算板件中的最大压应力。

5.2.4 这一规定体现了二道设防的原则，是抗震设计的重要要求。抗震分析时，可通过框架部分的楼层剪力调整系数来实现，也可采用删去抗侧力构件，对框架部分单独进行计算，检验是否可满足规定的承载要求。此时将 0.25 倍地震底部剪力施于框架上，并按地震作用在楼层间的分配比例进行分配。

5.2.6 抗震设计中采用整体分析时，则框架角柱的组合弯矩设计值、剪力设计值不必考虑增大系数。

6 异形钢钢管混凝土柱设计

6.1 一般规定

6.1.1 本规程构件承载力计算公式均基于在闭合 L 形、T 形钢管内浇筑混凝土而形成的钢管混凝土柱试验和有限元分析结果提出，不适用于由矩形钢管混凝土柱组成的格构式异形柱。对非等肢的异形钢钢管混凝土柱，构件、特别是压弯构件的承载力计算甚为复杂，可采用基于纤维模型的有限元方法分析其承载力。本规程附录 A.3 给出了相应的分析原则。

6.1.2 异形钢管加工方式的不同，残余应力分布模式不同，较为复杂，这方面的研究沿为缺乏；同时与钢管混凝土柱类似，残余应力对异形钢管混凝土柱承载力的影响小于残余应力对钢柱承载力的影响，本规程在分析柱子承载力时只考虑了构件的几何初始缺陷，而未计及残余应力的影响。

6.2 轴心受力构件的计算

6.2.1 参考矩形钢管混凝土柱，根据钢管和混凝土共同工作的机制，参照现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068 的相关规定，得到轴心受压构件的强度承载力设计值的计算公式为：

$$N_p = \alpha(fA_s + f_c A_c) \quad (1)$$

式中， α 是与钢管对混凝土的约束效应和混凝土徐变对承载力影响等因素有关的系数。前者对混凝土的强度有所提高，后者则相反。考虑到 α 的影响因素比较复杂，对异形钢管混凝土轴心受压构件的强度承载力的提高有限，对于管壁较薄的构件更是如此，为了方便使用，本规程取 $\alpha=1$ （这一方法对矩形钢管混凝土柱也广为美国（AISC）、日本、英国等国家规范所采用），即得到本规程的公式(6.2.1-1)。

表 1 统计的异形钢管混凝土试验构件的截面构造形式多种多样：有普通构造、带肋加劲、带拉杆加劲、多管焊接组合、多室构造等。截面的不同构造形式，对混凝土约束大小不一样，从而导致异形钢管混凝土计算公式计算结果与试验结果比值的离散度较大，尤其是单向压弯构件和双向压弯构件在不考虑约束效应情况下，试验轴力与公式计算的截面强度比值较高，从而导致在压弯情况下的受弯承载力公式计算值相对试验值较小，以致二者比值的平均值较小。若能明确知道不同构造异形钢管混凝土的约束效应，其在轴压、纯弯、压弯受力下的截面强度的计算公式可考虑不同构造异形钢管混凝土的约束效应。

表 1 公式计算值与试验值的对比

序号	计算公式	试件数量	平均值	最小值	最大值	方差
1	轴压强度公式	65	0.898	0.672	1.101	0.087
2	轴压稳定公式	21	0.860	0.699	1.009	0.106
3	单向压弯承载力	29	0.652	0.242	1.459	0.291
4	双向压弯承载力	22	0.588	0.030	0.957	0.253

6.2.2~6.2.3 根据试验资料，T形、L形钢管混凝土轴心受压构件的受力比较接近于钢构件，因此采用与钢结构类似的计算公式(6.2.2)。理论分析表明影响 T 形、L 形钢

管混凝土柱轴压稳定承载力的主要因素是长细比，同时混凝土工作承担系数和荷载作用初始偏心方向对其有一定影响，由于初始偏心方向在正负 Y 轴上时的稳定承载力系数 φ 差别不大，为了工程应用简便，将此两个方向合并考虑，当荷载初始偏心方向在 X 轴时，即初始偏心作用在弱轴上，对于单轴对称截面钢管混凝土构件，构件的两端均为铰接时，构件会产生双向弯曲，此时的稳定承载力比绕强轴 Y 轴单向弯曲的稳定承载力有一定程度降低，降低程度与长细比，截面肢高宽比等因素有关，所以此时稳定系数需按(6.2.2-5)修正。不同参数截面 T 形钢管混凝土柱子曲线与钢结构规范柱子曲线（a、b、c、d 类）的比较表明：T 形、L 形钢管混凝土柱的轴压稳定承载力系数曲线并不是固定在某一类曲线的附近，而是在一个较宽的带宽范围内变化。因此参考钢结构规范中稳定系数的计算公式，对 324 条理论分析曲线进行了非线性拟和，得到了 T 形、L 形钢管混凝土轴压构件稳定系数 φ 的计算公式。公式中构件的长细比则按考虑钢管和管内混凝土共同工作后的公式计算。

由于目前有关 T 形、L 形钢管混凝土中长柱的轴压承载力的试验很少，不能对理论结果进行有效分析比较，有待今后在这方面做工作。

当量回转半径的计算公式(6.2.3-3)的推导过程如下：

T 形钢管混凝土柱的欧拉力

$$N = \frac{\pi^2(E_s I_s + E_c I_c)}{l_0^2} = (A_s f + A_c f_c) \frac{\pi^2 E_s}{\lambda^2 f} = N_u \frac{\pi^2 E_s}{\lambda^2 f} \quad (2)$$

即公式(6.2.3-1)。式中， $\lambda = \frac{l_0}{\bar{r}}$ ， $\bar{r} = \sqrt{\frac{I_s + I_c E_c / E_s}{A_s + A_c f_c / f}}$ ，即公式(6.2.3-2)和公式(6.2.3-3)。

6.2.4 由于混凝土的抗拉强度相对于钢材很小，在计算异形钢管混凝土轴心受拉构件时，可不计入混凝土的作用，只考虑异形钢管抵抗所有拉力，由极限状态即可得到本规程异形钢管混凝土的抗拉承载力计算公式(6.2.4)。

6.3 压弯构件的计算

6.3.1~6.3.2 由极限理论推导和数值理论分析表明：对 L 形、T 形钢管混凝土柱截面沿着不同的方向加载，其压弯构件截面强度 $N-M$ 相关曲线的外凸趋势不一致，拐点的坐标高低不同，因此单向压弯的截面强度相关方程应按三个方向考虑，详见附录 A 有

关条文说明。

6.3.3 弯矩作用在一个主平面内的 T 形、L 形钢管混凝土压弯构件的稳定性分析，是在 T 形、L 形钢管混凝土压弯构件的强度分析的基础上，结合轴心受压构件的稳定性分析与 T 形、L 形钢管混凝土压弯构件的稳定承载力相关曲线的变化特点，比照修正我国现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 的设计方法得出的。公式中的 β 是等效弯矩系数，取值与现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 相同；公式分母中的 $(1 - k \frac{N}{N_{Ex}})$ 是考虑在弹塑性阶段轴力 N 引起弯矩增大的影响。 k 的取值由理论分析结果回归分析而得。由于关于目前 T 形、L 形形钢管混凝土单向压弯构件稳定承载力的试验很少，不能对理论结果进行有效分析比较，有待今后在这方面做工作。

6.3.4 理论分析表明：T 形、L 形钢管混凝土柱双向压弯承载力相关曲线 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 曲线形状为旋转的类椭圆簇，截面肢厚宽比和轴压比对 T 形、L 形钢管混凝土柱双向压弯承载力相关曲线 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 的形状影响较大；长细比对 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 相关曲线的形状有一定影响，但在实际工程中，柱子轴压比不同时对长细比的控制，使这种影响大大减小；其它因素对 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 相关曲线的形状影响较小。为分析简化，规范公式仅考虑轴压比和截面肢厚宽比的影响，并偏于保守取四折线近似代替半个类椭圆。同时为了减小混凝土强度、钢材屈服强度、钢管管壁厚度、长细比不同产生的偏差，相关公式的回归分析时混凝土强度、钢材屈服强度、钢管管壁厚度均取适中值（混凝土强度采用 C40、钢材屈服强度 $f_y = 345\text{MPa}$ 、管壁宽厚比 37.5），长细比采用工程中常用的，当轴压比 n 为 0~0.6 时，绕弱轴的长细比为 40；轴压比 n 为 0.7~0.8 时，绕弱轴的长细比为 20；轴压比 n 为 0.9 及以上时，长细比为 0。轴压比为 0~0.9。由于关于目前 T 形、L 形钢管混凝土双向压弯构件承载力的试验很少，不能对理论结果进行有效分析比较，有待今后在这方面做工作。

6.4 框架柱的设计要求

6.4.2 抗震设防的框架，强柱弱梁是抗震设计的基本要求，因此在公式中引入了强柱系数。强柱系数的取值考虑了抗震设防的不同。

6.4.3 当异形钢管混凝土构件用作抗震设防区的多层和高层框架结构柱时，为了保证结构具有一定的抗震性能，异形钢管混凝土柱必须具有较好的延性。本规程根据相关研究结果，采用限制混凝土工作承担系数 α_c 的方法来保证钢管混凝土柱的延性，从而得到表 6.4.3。

7 异形钢管混凝土柱连接设计

7.1 梁柱连接

7.1.2 当水平构件为钢梁时，纯钢结构中的做法可以用于异形钢管混凝土结构中。常用的钢梁和柱刚性的连接形式有：全部焊接、栓焊混合连接、全部用高强度螺栓连接。全部焊接适合于工厂连接，不适用于工地连接；全部用高强度螺栓连接费用太高；我国大多数采用栓焊混合的现场连接形式。

根据试验研究成果，外环板式节点安全可靠，能适应各种异形截面柱，便于焊接和混凝土浇筑施工，由于外环板的存在，管壁受力均匀，可防止局部应力集中。当水平构件为钢梁时，宜采用栓焊混合的现场连接形式，对接焊缝必须与母材等强，腹板的连接常采用高强度螺栓，施工顺序为先拧紧腹板上的螺栓，再焊接梁翼缘板上的焊缝。异形截面钢管混凝土柱宜采用矩形钢管型材组合焊接形成，以提高对混凝土的约束作用。

外肋环板节点施工方便，避免了管内焊接工作，适用范围较广。经过理论和试验研究，证明其安全可靠，具有很好的承载力和抗震性能。

对 8 度设防Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度设防时柱与钢梁的刚性连接，宜采用能将塑性较外移的骨形连接。具体措施可参照《建筑抗震设计规范》GB50011—2010。

高层钢结构中柱与梁的典型刚性连接，是梁腹板用高强度螺栓连接，梁翼缘用焊接。这种接头的施工顺序为，先拧紧腹板上的螺栓，再焊接梁翼缘板的焊缝（或称“先栓后焊”）。当钢梁与柱铰接连接时，钢梁翼缘与柱翼缘或外隔板无须焊接或螺栓连接。

7.1.4 异形钢管混凝土柱—钢梁平面框架节点在竖向和水平力作用时产生的内力如图1所示。由图1知，核心区承受的剪力为 $V_{core} = M_b / H_b - V_{col}$ 。其中， V_{core} 为节点核心区承受的剪力； M_b 为钢梁承受的弯矩； H_b 为梁截面高度； V_{col} 为柱端水平剪力。

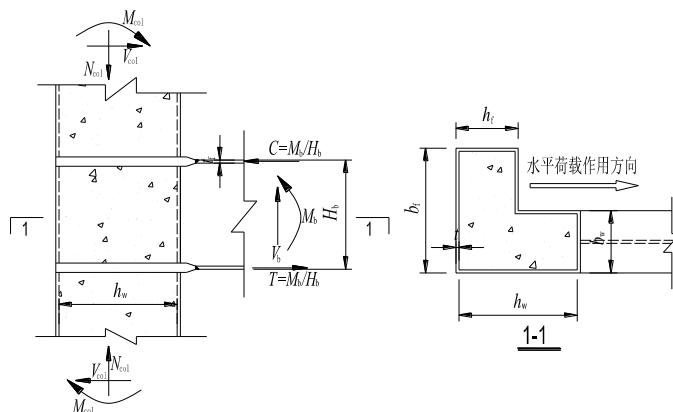


图 1 节点在竖向和水平荷载作用下的受力状态示意图

异形钢管混凝土框架节点的抗剪强度，普遍认为节点核心区的剪力应由混凝土和钢管二者组成。用公式表达可写成 $V_{core} \leq V_c + V_s$ ，其中， V_c 为核心区混凝土的抗剪承载力， V_s 为钢管的抗剪承载力。

异形钢管混凝土柱—钢梁框架节点的抗剪承载机理以“斜压杆”法为理论基础，如图2所示。

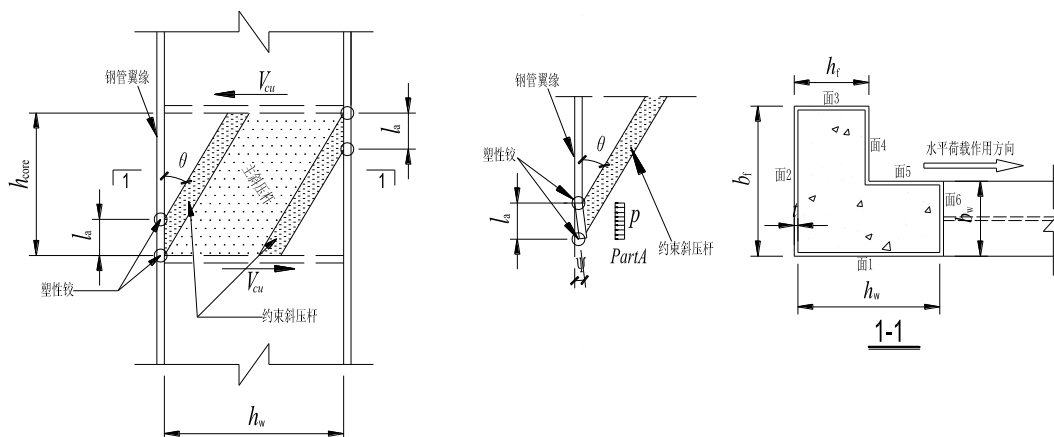


图 2 异形钢管混凝土柱—钢梁框架节点核心区抗剪机理示意图

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} = \left(\frac{h_w}{2} \tan \theta + 4 \sqrt{\frac{M_{fp}}{(b_b - 2t)\sigma_{cB}}} \sin \theta \right) (b_b - 2t) \sigma_{cB} \quad (3)$$

应用上述计算公式得到的节点核心区抗剪承载力、抗剪刚度与实验结果比较见表

2。

表 2 抗剪承载力理论计算公式与试验值的比较

节点名称	试验刚度 G_{exp} (kN/rad)	叠加模型 刚度 G_{sup} (kN/rad)	简化模型 刚度 G_{simple} (kN/rad)	G_{exp} / G_{sup}	G_{exp} / G_{simple}	G_{sup} / G_{simple}
JD2T8A0-300	7.86×10^5	8.09×10^5	7.93×10^5	0.972	0.991	1.020
JD2T10A0-350	9.36×10^5	9.81×10^5	9.65×10^5	0.954	0.970	1.017
JD4T8A0-350	7.50×10^5	8.13×10^5	8.07×10^5	0.923	0.929	1.007
JD4T6A0-400	6.06×10^5	5.67×10^5	5.53×10^5	1.069	1.096	1.025
JD6T6A0-300	5.67×10^5	5.59×10^5	5.48×10^5	1.057	1.069	1.011
JD6T10A0-400	1.04×10^6	9.84×10^5	9.73×10^5	1.014	1.035	1.020
JD4T10A45-300	7.62×10^5	7.58×10^5	7.43×10^5	1.005	1.026	1.020
JD6T8A45-350	6.52×10^5	6.51×10^5	6.37×10^5	1.002	1.024	1.022

说明：叠加模型和简化模型的抗剪刚度的定义为：剪力—剪切变形关系曲线上剪力屈服点处剪力与剪切变形之间的比值。试验的抗剪刚度则为：将试验剪力—剪切变形曲线上的各点，通过最小二乘法拟合得到一条直线的斜率。

贯穿隔板的浇筑孔孔径应足够大，以方便施工。角部设透气孔以保证节点处混凝土的浇筑质量。透气孔的位置取决于两方面：一方面距离角点不宜太远，以起到足够的透气效果；另一方面使贯穿隔板在屈服状态时能满足简单传力机制。

7.1.5 外环板式连接节点的抗剪强度计算公式考虑了核心区钢管壁 V_t 、核心区加劲肋 V_r 、上下外环板间钢梁腹板 V_w 和核心区混凝土斜压受力 V_c 对节点的抗剪贡献，基于第四强度理论(形状改变比能理论)以及核心区钢管剪应力分布规律。

$$V_t = \int_0^{h_i-2t} \tau(x) 2t dx = \frac{2t(h_i - 2t) \sqrt{f_y^2 - \delta_s^2}}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

式中， h_i 为钢管壁一侧的管壁宽度，由于异形截面造型复杂，往往由不同的矩形管壁焊接成异形。虽然在抗剪计算中核心区的钢管壁不能全部区服，考虑到忽略上下环板的抗剪贡献，不对 V_t 折减。

$$V_r = \sum_{i=1}^n \eta_i l_r t_r f_{yr} \cos \alpha \quad (5)$$

$$V_w = \eta_i l_w t_w f_{yw} \quad (6)$$

根据第四强度理论， $\tau = \frac{\sqrt{f_y^2 - \sigma_s^2}}{\sqrt{3}}$ 为了计算简便，采用纯剪时剪切屈服强度

$\sigma_s = 0$ ， η_i 为抗剪折减系数取 0.577； α 为第 i 个加劲肋与梁轴线的夹角，当加劲肋方向沿梁轴线方向时， $\cos \alpha$ 为 1； t_w 取上下环板间钢梁腹板宽度。

$$V_c = (0.65n + 0.09)\alpha_s \beta_c \Phi_j h_c b_j f_c \quad (7)$$

式中， α_s 为异形柱截面影响系数，取异形截面净面积与柱高、柱宽形成的规则矩形面积之比。根据节点抗剪承载力计算公式得到的计算值与实际值的对比见表 3。

表 3 节点抗剪承载力计算值与实际值的比较

试件编号	节点类型	弯矩方向	试验值 (kN)	计算值 (kN)	试验值/计算 值	试验者
MJ-1	中节点	+	648	700	0.93	万波
MJ-2	中节点	+	778	789	0.98	
MJ-3	中节点	+	902	872	1.03	
TE1	顶层边节点	+	256	282	0.91	吴赞军
TE2	顶层边节点	+	304	306	0.99	
TE3	顶层边节点	-	349	327	1.06	

7.1.6 外侧板式连接节点计算和构造要求的说明如下：

梁截面通常由弯矩控制，因此梁的极限受剪承载力取与极限受弯承载力对应的剪力加竖向荷载产生的剪力。

节点抗弯承载力计算公式采用塑性铰线方法推导得到，并进行了试验验证，公式计算结果与试验结果符合较好。

设计时，竖向加劲板的厚度和宽度值应满足下式：

$$b_{vs} t_{vs} = \left(\frac{M_{ju2}}{\partial(H_B - t_{bf})} - t_{mc} (t_d + \sqrt{D_0 t_{mc}}) f_{mc} - 4D_0 M_p \frac{1}{\sqrt{D_0 t_{mc}}} \right) / (2f_{vs}) \quad (8)$$

$$D_0 = B_{mc} - 2t_{mc} \quad (9)$$

$$M_p = \frac{1}{4} f_{mc} t_{mc}^2 \quad (10)$$

式中， t_{mc} ——单肢钢管柱的壁厚；

t_d ——钢梁翼缘连接板的厚度；

f_{mc} ——钢管柱的抗拉强度设计值；

H_B ——钢梁的高度；

t_{bf} ——钢梁翼缘的厚度；

B_{mc} ——钢管宽度；

δ ——共同工作系数；钢管内填充混凝土时取 0.8，不填充混凝土时取 0.7。

7.1.7 《波形钢板组合结构技术规程》T/CECS 624 的第 3.1.2 条和第 6.3 节是为多腔异形钢管混凝土写的，采用了半隔板式连接节点。本规程对半隔板式连接节点的设计可参考《波形钢板组合结构技术规程》T/CECS 624 的相关规定。

7.1.8 从已有的几次地震（如美国 Northridge、日本 Kobe 地震等）看来，钢结构中的焊接是引起梁柱连接脆性断裂的主要原因，这是因为焊接会影响钢材材性，此外焊缝本身质量也具有较大的离散性。因此要求在梁柱连接中尽量减少现场焊接。当采用现场焊接时，应保证焊缝有足够的强度。

7.2 柱子拼接

7.2.2 本条规定的对接拼接，钢管的直径或壁厚虽有差别，但相连柱段的管壁仍能有一部分对接的情况。由于内衬板只起焊接垫板作用，厚度不需太大。图 7.2.2-1(c)中有高差的内衬板，其较薄部分不宜小于 4mm。

7.2.3 当相连柱段的管壁不能实现对接要求时，视钢管外壁尺寸之间的差别采用不同的拼接方式。采用单块顶板连接时，由于限定上、下柱外壁间距离最大不超过 25mm，且通常工程中上柱段壁厚小于下柱段壁厚，因此顶板厚度不会超过 25mm；按本条规定，即使在管内混凝土未达到设计强度时，上部竖向荷载往下传递时的应力扩散角接近 45°，可以不对顶板作计算。采用顶板加劲方式拼接两柱段时，如加劲肋与下段柱内壁的焊接要求不易实现，此时可以设一拼接段，即在下段柱顶部设一个两端有贯通式隔板的节段，这种节段也可与梁连接。或采用图 7.2.3-1(c)的外壁加劲方式。采用外

壁加劲方式时，斜置加劲板厚度取与上段柱管壁同厚。

柱段拼接时的横隔板，如不与梁相接，可按本条规定采用而不另计算，但其外伸应有一定长度，防止施焊时发生层状撕裂；当与梁连接时，其厚度应按第 7.2 条规定计算。

考虑到施工便捷性，异形钢管混凝土柱截面变化原则是变管截面厚度或变截面形式（比如缩短肢长或在受力减小的楼层将十字形、T 形分别变成 T 形、L 形，但上下层相应管壁外侧应对齐），而不采用整体缩小管截面尺寸的方式。

7.3 柱脚

7.3.2 外包式柱脚设计应考虑以下因素考虑柱脚部位的构造：

①外包层截面高度不宜过低，否则易发生粘结破坏，为确保刚度和承载力，外包层应有足够的截面尺寸，即厚度符合有效截面要求；

②纵筋与混凝土应保证良好的粘结力，避免发生纵筋在屈服前被拔出，导致承载力降低，因此锚固长度应符合要求，且应在下端设置弯钩；

③箍筋过少，会导致外包层产生斜裂缝，因此箍筋至少应满足普通钢筋混凝土的设计要求，此外为避免出现承压裂缝，保证剪力顺利地由纵筋传递至混凝土，柱顶宜密集配置三道箍筋，且应保证在抗震设计时，柱脚达到其最大受弯承载力前不出现剪切裂缝。

7.3.2 对于外包式柱脚的设计和计算主要参考日本的新规定，不再考虑栓钉抗剪形成力偶抵抗弯矩，栓钉主要起保证柱脚整体性的作用，抗弯主要由钢筋混凝土外包层中的受拉纵筋和外包层受压区形成对弯矩的抗力。试验表明：其破坏过程首先是钢柱本身屈服，随后外包层受拉区混凝土出现裂缝，然后外包层沿受弯方向出现斜拉裂缝，进而使外包层受拉区粘结破坏。

7.3.4 低层建筑一般不设地下室，但多层建筑常设地下室。当设置地下室时，支撑桁架或剪力墙等抗侧力构件应延伸至基础，框架柱应至少伸至地下一层，并考虑必要埋深，以保证连接可靠。

埋入式柱脚的埋入深度如太浅，可能会因柱脚弯矩引起周边混凝土的局部压溃，使得转动约束减小，对有抗震要求的结构，难以保证柱端抗弯约束大于柱子抗弯承载力。埋入式柱脚的埋置深度，根据现行国家标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99，对小型柱取 2 倍柱截面高度，对大截面柱和箱型柱取 3 倍柱截面高度。《建筑抗震设计规范》GB50011 规定单层厂房的埋入式柱脚埋深为 2 倍柱截面高度。考虑

到异形钢管混凝土截面一般不大，设计经验表明此时埋深不宜太小，故规定柱脚埋深取 2 倍截面高度。

8 防腐及防火

8.1 防火

8.1.1 钢结构防火设计有截流法和疏导法。截流法采用喷涂、包封、屏蔽等措施，使钢构件在火灾时的温度保持在临界温度以下。疏导法主要是采用水冷却法。无论采用上述何种方法都给工程设计和施工带来一定的麻烦，且增加造价。

近年来工程界在探求一种不用防火保护或减少防火保护层厚度的设计方法，其具有代表性的方法有：

1 采用室外裸露钢结构，不让结构直接承受火灾，如德国柏林建筑机械公司本部大楼，将主体结构柱放在室外，而不加防火保护。

2 采用水冷却，取消钢结构外部防火保护。如英国伦敦某办公楼，采用外露式不锈钢桁架结构，设计耐火极限为 1 小时，采用水冷却法实现防火要求。法国巴黎某展示厅，外露的支撑桁架无防火保护，柱采用水冷却法。

3 采用组合结构，取消防火保护。如法国巴黎大学校舍，外部的柱采用无保护钢管混凝土柱。德国柏林工科大学校舍，结构为钢管混凝土柱、H 型钢梁，H 型钢梁上下翼缘间填混凝土，取消防火保护。

以上事实说明，无保护钢管混凝土结构用于耐火建筑的设计是可行的，且最便于设计和施工。1994 年日本已将无保护钢管混凝土结构用于耐火极限为 2 小时的建筑，并且正在扩大其应用范围。1997 年日本社团法人，新都市ハウジソブ协会制定的《CFT（钢管混凝土）结构设计指针 同解说》中已将无保护钢管混凝土结构的耐火设计作为一章列入。本规程耐火设计一章是在借鉴国外工程经验的基础上，吸收国外规范的有关内容编制的。

钢管混凝土柱在火灾作用下，刚度下降，整个结构内力将产生重分布。为确保结构的稳定性，要求同一层建筑应有二个以上的防火分区。若同一层建筑面积较少，设计成二个以上的防火分区有困难时，同一建筑层面内，部分柱子应加防火保护。

8.1.2 出火区域内钢管混凝土柱的外包钢管退出工作，钢梁在高温作用下将伸长，因此将引起火灾室以外的结构内力变化。从结构稳定性出发，应验算在火灾作用下结构整体稳定性及火灾层的稳定性。结构在火灾荷载作用下的验算可分为三个水准：构件验算、部分结构验算、整体结构验算。

8.1.3 当钢管混凝土柱被应用于高层建筑或工业厂房等结构中时，对其进行合理的防火设计是非常重要的和必要的。在英、德、加拿大、韩国、卢森堡和澳大利亚等国，从六十年代开始，研究者们就对钢管混凝土柱在火灾下的力学性能进行了大量理论分析和试验研究，但进行的多是轴压比较小的情况。上述国家在进行钢管混凝土柱的防火设计时，由于考虑到劳动力较为昂贵等因素，大都采用在核心混凝土中配置专门考虑防火的钢筋或钢纤维，或通过降低柱子的轴压比以使构件达到所要求的耐火极限。

我国主要采用在钢管中填充素混凝土的钢管混凝土。由于进行钢管混凝土柱耐火极限试验研究时费用昂贵，我国以往在这方面的研究工作相对较少，目前尚未制定该类结构抗火设计方面的规定，不但制约了该类结构的推广，而且对已建成结构的耐火极限也缺乏必要的科学依据。在已建成的结构中，有的按照钢筋混凝土的要求外包以混凝土，有的则按钢结构的要求涂以防火涂料。这样做虽也可能保证防火要求和结构的安全性，但大都偏于保守而造成浪费，且缺乏科学性和统一性。因此，深入研究钢管混凝土柱的耐火性能，合理确定其防火设计方法具有十分迫切的理论意义和实用价值。通过对圆钢管混凝土柱的耐火极限和防火设计方法进行较系统的理论分析和试验研究，成果已在我国 76 层、高度为 291.6 米的广东深圳赛格广场大厦圆钢管混凝土柱防火保护设计中应用，较按钢结构设计方法相比，该工程取得了节省约 4/5 防火涂料用量的经济效益。本条文即是按此法计算获得的矩形钢管混凝土柱在一定耐火极限时的保护层厚度。保护层采用厚涂型钢结构防火涂料时，涂料性能应符合《钢结构防火涂料应用技术规范》CECS24 中的有关规定。

当有充分依据时，也可采用薄涂型钢结构防火涂料。

8.2 防腐

8.2.3 本条提出了在腐蚀环境下结构耐久性设计的基本原则，从材料的选择、结构的布置、选型、构造及构件更换等诸多方面提出要求，这种“概念性”设计对提高结构防腐蚀能力是十分重要的。

选材要扬长避短，充分发挥材料的特性。如混凝土耐氯气的腐蚀比钢强；密实性较高的材料抗结晶腐蚀比孔隙多的材料好。

在腐蚀条件下，设计应从布置、截面形状、连接方式及构造上力求简洁，尽量减少构件的外表面积、棱角和缝隙，以避免水和腐蚀性介质在结构表面的积聚并利于其迅速排除。

钢结构杆件放置方向不能积水；构件表面平整与否以及杆件节点和布置，要利于腐蚀性介质、灰尘和积水的排除。

设计时要考虑固定走道、升降平台等设施 and 照明，以便于防护层的施工、检查和维修，不能出现无法施工和维修的区域。

彩涂压型钢板、檩条等次要构件，往往不能与主体结构的使用年限相同，因此，当业主要求使用时，应采取便于更换的措施。

8.2.6 一般来说，手刷油漆不易均匀，质量不易保证，机械喷涂油漆均匀，质量易保证，但环境污染较严重，油漆浪费较大，故需按照工程的具体情况综合考虑。

8.2.8 防腐涂料分底漆和面漆，通常工程对于喷涂防火涂料的构件只做起漆不做面漆，是出于经济性原因，实际情况是：底漆的性能特点是附着性强，而防腐所需要的涂料的密实性主要靠面漆，防火涂料的密实性不能和面漆相比，所以，宜慎用免涂面漆的方式。

9 施工与验收

9.1 异形钢管施工与验收

9.1.1 冷弯型钢构件和冷弯高频焊构件在制作时，有可能因折弯在外径部分产生细微的裂纹，宜用放大镜观察检查，确保制作质量。如果异形钢管构件采用热轧型钢或钢板组合焊接而成，其焊接变形比较难以控制，且无法采用通用的矫正机矫正，故异形钢管构件宜优先考虑采用冷弯型钢构件或冷弯高频焊钢构件组合焊接而成，而冷弯制作的构件在弯曲处有冷作硬化现象，再加上焊缝的热脆化效应，对该部分的钢材力学性能极为不利，故不宜在冷弯构件的纵向弯折处布置纵向焊缝。尽量减少纵向焊缝数量意味减少制作变形。钢管混凝土构件的浇筑混凝土时有很大的向外涨力，故其焊缝必须满足等强度条件，以防出现钢管爆裂混凝土喷出事故。

9.1.2 规定工作环境温度是为了防止钢材在低温情况下辊压时产生脆裂。

9.1.3 冷弯构件在辊压过程中的泊松效应使得在宽度方向的尺寸会有所增加，纵向焊缝会使得构件在长度方向会略有缩短，因此，用于组合的构件或板件在下料时应考虑这种尺寸的变化，此外，尚需考虑预留必要的切割、端洗等加工余量。一般构件的拼接，对接焊缝应考虑交错布置，但对于冷弯异形钢管构件的拼接，一般不考虑焊缝交错布置方式，其原因是：冷弯型钢构件或冷弯高频焊钢构件在辊压时，即使弯曲角度相同，例如方管构件，四个角皆为 90° ；但各个角因所处位置不同，弯曲的先后顺序不同，其弯曲半径是不同的，如果使两对接的冷弯高频焊构件的纵向焊缝交错布置，就会造成构件对接处错边，尤其是弯曲的角部处错边严重，因此，为了使冷弯构件的对接形状重合，不错边，可不考虑纵向焊缝交错布置方式。

9.1.4 对批量产生的异形钢管采用装备胎模法工艺是提高功效保证质量的重要措施。对于碳素钢的热矫正可以采用浇水方法以加速矫正效果，但对低合金钢热矫正应自然冷却以避免钢材脆性化。

9.2 混凝土施工与验收

9.2.1 异形钢管内混凝土的浇筑，应根据钢管的形状、尺寸大小、梁柱节点构造等情况，选择合适的浇筑方法，应事前做好混凝土配合比设计和必要的浇筑工艺试验以确定浇筑工艺和各项技术措施。

9.2.2 钢管混凝土是一种钢与混凝土组合构件，必须保证混凝土的密实度，应根据不同的截面尺寸情况选择振捣方式。泵送顶升法和高位抛落浇筑，完全靠混凝土重力形成密实度。应注意冷弯成形的钢管，先前成形的两个弯角与后面成形的两个弯角具有一定的偏差，各分段钢管在拼接时，不应考虑高频焊错缝布置，以免产生错边问题。

附录 A

A.1 异形钢管混凝土轴心受压构件稳定承载力计算

A.1.2 公式 A.1.1-1、A.1.1-2 的适用范围为长细比 λ 在 0~150 之间。

A.2 异形钢管混凝土压弯构件承载力计算

A.2.2 由极限理论可以推导出异形钢管混凝土压弯构件截面强度的 $N-M$ 相关公式。该式为多次函数（图 3），曲线呈抛物线型，即图 3 中的曲线 ABC。对 L 形、T 形钢管混凝土柱在轴力与单向弯矩共同作用下的理论分析表明：随着长细比的增大， $N-M$ 曲线由外凸逐渐向内凹过渡，即图 3 中的曲线 A'B'C'。为便于设计，将其简化为两段式折线型即图 3 中的虚线 ABC 或 A'B'C'。

由极限理论推导和数值理论分析表明：对 L 形、T 形钢管混凝土柱截面沿着不同的方向加载，其压弯构件截面强度 $N-M$ 相关曲线的外凸趋势不一致，拐点的坐标高低不同，因此单向压弯的截面强度相关方程应按三个方向考虑，对于轴力作用在主轴 y 轴上时，B 点的横坐标 $\zeta_1 = M_1/M_u$ 可直接由极限平衡推导求得。而当只有轴力 N 和弯矩 M_y 时，即轴力 N 作用在 x 轴上，由于混凝土的拉压性能不一致及塑性的发展，轴力作用点与形心的连线并不一定与中性轴垂直，导致 B 点的横坐标 $\zeta_1 = M_1/M_u$ 不能由极限平衡推导得出，此时可由理论分析数值回归得到；同时，对于 L 形、T 形钢管混凝土柱在纯弯荷载下，只产生 y 向弯矩时的 M_{uy2}^f 和只绕 y 轴弯曲时的纤维模型计算值 M_{uy1}^f 与只绕 y 轴弯曲时塑性理论的简化公式计算值 M_u^{ult} 相差很小。所以对于只产生 y 向弯矩 M_y （ x 向弯矩 $M_x = 0$ ）时的 M_{uy2}^f 可以采用塑性理论的简化公式计算值 M_u^{ult} 近似代替。因此基于塑性理论的简化公式可用于 L 形、T 形钢管混凝土构件的单向纯弯承载力的计算。

理论分析表明：T 形、L 形钢管混凝土柱双向压弯承载力相关曲线

$M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 曲线形状为旋转的类椭圆簇，截面肢厚宽比和轴压比对 T 形、L 形钢管混凝土柱双向压弯承载力相关曲线 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 的形状影响较大；长细比对 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 相关曲线的形状有一定影响，但在实际工程中，柱子轴压比不同时对长细比的控制，使这种影响大大减小；其它因素对 $M_x/M_{ucx} - M_y/M_{ucy}$ 相关曲线的形状影响较小。为分析简化，规范公式仅考虑轴压比和截面肢厚宽比的影响，并偏于保守取四折线近似代替半个类椭圆。同时为了减小混凝土强度、钢材屈服强度、钢管管壁厚度、长细比不同产生的偏差，相关公式的回归分析时混凝土强度、钢材屈服强度、钢管管壁厚度均取适中值（混凝土强度采用 C40、钢材屈服强度 $f_y = 345\text{MPa}$ 、管壁宽厚比 37.5），长细比采用工程中常用的，当轴压比 n 为 0~0.6 时，绕弱轴的长细比为 40；轴压比 n 为 0.7~0.8 时，绕弱轴的长细比为 20；轴压比 n 为 0.9 及以上时，长细比为 0。轴压比为 0~0.9。由于关于目前 T 形、L 形钢管混凝土双向压弯构件承载力的试验不多，不能对理论结果进行有效分析比较，有待今后在这方面做工作。