



CECS 254:2009

中国工程建设协会标准

空心钢管混凝土结构 技术规程

Technical specification of hollow
concrete-filled steel tubular structures

2009 北 京

中国工程建设协会标准

空心钢管混凝土结构
技术规程

Technical specification of hollow
concrete-filled steel tubular structures

CECS 254 : 2009

主编单位：哈 尔 滨 工 业 大 学
山东齐星铁塔科技股份有限公司
批准单位：中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会
施行日期：2 0 0 9 年 9 月 1 日

中国建筑工业出版社

2009 北 京

中国工程建设协会标准
空心钢管混凝土结构
技术规程

Technical specification of hollow
concrete-filled steel tubular structures

CECS 254 : 2009

☆

哈 尔 滨 工 业 大 学 主 编
山东齐星铁塔科技股份有限公司

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
廊坊市海涛印刷有限公司 印刷

850×1168 毫米 1/32 4印张 108千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数1 5050册

☆

统一书号:15112·17655

定价:32.00元

中国工程建设标准化协会公告

第 42 号

关于发布《空心钢管混凝土结构 技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会建标协字[2007]81号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2007 年第二批标准制、修订项目计划的通知》的要求,由哈尔滨工业大学和山东齐星铁塔科技股份有限公司等单位编制的《空心钢管混凝土结构技术规程》,经轻型钢结构专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 254 : 2009,自 2009 年 9 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇〇九年七月八日

前 言

根据中国工程建设标准化协会建标协字[2007]81号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2007 年第二批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

为了适应工程建设发展的需要,哈尔滨工业大学(土木工程学院和深圳研究生院)与山东齐星铁塔科技股份有限公司、大连骏翔电力器材有限公司及徐州三元杆塔有限公司等单位合作,完成了大量的空心钢管试验和研究工作,包括:圆形、十六边形和正方形截面,轴心受压、受弯和压弯构件的试验和研究工作。获得了大量的试验数据,验证了理论分析的正确,为制定本规程提供了充分的理论依据。本规程内容比较全面,除构件的设计外,还加入组合可靠度指标的计算,以满足安全的要求。此外,还包含产品的加工制作和质量的检验、施工及防火等。可满足设计、制造和施工的要求。

本规程技术内容主要包括总则、术语和符号、材料、设计基本规定、结构类型和结构设计原则、承重构件设计和刚度计算、构造要求和节点设计。空心钢管混凝土构件的加工制作与施工、防火等。

根据国家计委计标[1986]1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程建设、设计、施工等使用单位和工程技术人员采用。

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 CECS/TC28(武汉市武昌中南二路 10 号,中南建筑设计院,邮编:

400071)归口管理并负责解释。在使用过程中如发现需修改或补充之处,请将意见和资料径寄归口单位。

主 编 单 位: 哈尔滨工业大学

山东齐星铁塔科技股份有限公司

参 编 单 位: 大连骏翔电力器材有限公司

徐州三元杆塔有限公司

中南建筑设计院

厦门中福元建筑设计研究院

中海建筑有限公司

中船第九设计研究院有限公司

中铁工程设计咨询有限公司建筑工程设计院

主要起草人: 钟善桐 徐国林 查晓雄

(以下按姓氏笔画为序)

王 海 吕清明 刘鲁丽 孙耀强 李海滨

吴中岳 陈天华 陈礼建 陈企奋 陈志强

金君沂 单庆威 夏继文 徐厚军 郭 笑

审 查 人: 周绪红 樊小卿 肖从真 白国良 韩林海

韦灼彬 鲍广鉴

中国工程建设标准化协会

2009 年 7 月 8 日

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	混凝土	(7)
3.3	连接材料	(7)
4	设计基本规定	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	构件的容许长细比	(9)
5	结构类型和结构设计原则	(11)
5.1	结构类型与布置	(11)
5.2	结构设计原则	(11)
6	承重构件设计和刚度计算	(16)
6.1	单肢柱的承载力与刚度计算	(16)
6.2	格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的承载力计算	(22)
6.3	空心钢管混凝土构件在复杂应力状态下的承载力计算	(25)
6.4	单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力计算	(27)
7	构造要求和节点设计	(28)
7.1	一般规定	(28)
7.2	结构构件	(28)
7.3	现场安装连接	(32)
7.4	梁柱连接节点	(42)

7.5	柱和基础的连接	(46)
7.6	空心钢管混凝土桩	(48)
8	空心钢管混凝土构件的加工制作与施工	(51)
8.1	钢管的加工制作	(51)
8.2	空心钢管混凝土构件的防腐涂装	(53)
8.3	混凝土采用离心法成型的技术要求	(55)
8.4	空心钢管混凝土构件的检验、标志和保管	(56)
8.5	空心钢管混凝土结构的施工	(58)
9	防火	(60)
9.1	防火涂层保护	(60)
9.2	防火板保护	(60)
附录 A	各种截面的形常数	(61)
附录 B	组合强度设计值、剪变模量和换算系数	(62)
	本规程用词说明	(71)
	引用标准名录	(72)
	附:条文说明	(75)

Contents

1	General Provisions	(1)
2	Terms and Symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Material	(7)
3.1	Steel	(7)
3.2	Concrete	(7)
3.3	Connection Materials	(7)
4	Basic Design Requirements	(9)
4.1	General Requirements	(9)
4.2	Allowable Slenderness of Members	(9)
5	Structure Types and Structural Design Principle	(11)
5.1	Structure Types and Arrangements	(11)
5.2	Structural Design Principle	(11)
6	Design of Load-carrying Members and Rigidity Calculations	(16)
6.1	Carrying Capacity and Rigidity Calculations of Single Column	(16)
6.2	Carrying Capacity Calculation of Axial Compressive H-CFST Latticed Members	(22)
6.3	Carrying Capacity Calculation of H-CFST Members Under Complex Stresses Conditions	(25)
6.4	Carrying Capacity Calculation of Single H-CFST Members Under Tension and Bending	(27)

7	Detailing Requirement and Design of Connections	(28)
7.1	General Requirements	(28)
7.2	Members of Structures	(28)
7.3	Install Connections Between Members in Site	(32)
7.4	Connections Between Beams and Columns	(42)
7.5	Connections Between Column and Foundation	(46)
7.6	H-CFST Piles	(48)
8	Manufacture and Construction of H-CFST Members	(51)
8.1	Manufacture of Steel Pipe Columns	(51)
8.2	Preservative Coating of Steel Pipe Columns	(53)
8.3	Technical Specification of Centrifugal Pouring Concrete ...	(55)
8.4	Inspection, Mark and Storage of H-CFST Products	(56)
8.5	Construction of H-CFST Columns	(58)
9	Fireproofing	(60)
9.1	Fireproofing Coating	(60)
9.2	Fireproofing Plate	(60)
	Appendix A Shape Constants for Various Cross-sections	(61)
	Appendix B Composite Design Values of Strength, Shearing Modulus and Equivalent Coefficients	(62)
	Explanation of Wording in This Specification	(71)
	Normative Standards	(72)
	Explanation of Provisions	(75)

1 总 则

1.0.1 为了使空心钢管混凝土结构的设计、加工与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结构、送变电塔架结构、各类通信塔及基础桩等的设计、加工制造及施工。

1.0.3 本规程采用现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 制定。符号、计量单位和基本术语符合国家现行标准《建筑结构术语和符号标准》GB/T 50083 的规定。

1.0.4 除本规程有明确规定外,应执行现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《钢结构设计规范》GB 50017、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 以及现行行业标准《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》DL/T 5154、《变电所建筑设计技术规范》NDGJ 96 和现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 的规定。

对有防火和防腐蚀要求的结构,应按有关的专门规定,作防火和防腐蚀处理。对有特殊设计要求和在特殊环境条件下的空心钢管混凝土结构的设计,尚应符合国家现行有关标准的要求。

1.0.5 空心钢管混凝土工程,除应符合本规程要求外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 空心钢管混凝土构件 centrifugal hollow-concrete filled steel tubular members, 简写 H-CFST members

在空钢管中灌入需要量的混凝土,并在离心机上高速旋转,用离心力将混凝土密贴于钢管内壁,然后通过高压蒸汽养护,从而制成的中部空心的钢管混凝土构件。

2.1.2 圆形和十六边形空心钢管混凝土构件 circular H-CFST members, 16-sides H-CFST members

外形为圆形和十六边形的空心钢管混凝土构件。

2.1.3 八边形空心钢管混凝土构件 octagonal H-CFST members

外形为八边形的空心钢管混凝土构件。

2.1.4 正方形空心钢管混凝土构件 square H-CFST members

外形为正方形的空心钢管混凝土构件。

2.1.5 矩形空心钢管混凝土构件 rectangular H-CFST members

外形为矩形的空心钢管混凝土构件。

2.1.6 等效截面构件 equal-effective members

钢材和混凝土型号相同,钢管和混凝土的面积皆相等,只是截面形状不同的构件。

2.1.7 含钢率和空心率 steel ratio and hollow ratio

含钢率是构件截面中钢管的面积与混凝土的面积之比。空心率是构件截面中空心部分的面积与混凝土加空心部分面积之比。

2.1.8 组合抗压强度标准值和组合抗压强度设计值 composite compressive standard strength and composite compressive design strength

把钢管混凝土构件视为统一体,钢管和混凝土合成为单一的组合材料,这种组合材料的抗压强度标准值和抗压强度设计值。

2.1.9 组合截面面积 composite area of cross-section

把钢管混凝土构件视为统一体,钢管和混凝土的截面总面积。

2.1.10 组合惯性矩 composite moment of inertia

把钢管混凝土构件视为统一体,钢管和混凝土组合截面对中和轴的惯性矩。

2.1.11 组合轴压刚度 composite compression rigidity

把钢管混凝土构件视为统一体,组合弹性模量和组合截面面积的乘积。

2.1.12 组合抗弯刚度 composite bending rigidity

把钢管混凝土构件视为统一体,钢管和混凝土组合截面对中和轴的抗弯刚度,即组合抗弯弹性模量和组合惯性矩的乘积。

2.1.13 格构式空心钢管混凝土构件 latticed H-CFST members

两个、三个、四个或更多的空心钢管混凝土构件,用缀条或缀板连接而组成的构件。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应:

N ——轴心压力设计值;

N_t ——轴心拉力设计值;

N_{0k} ——截面受压承载力标准值;

N_0 ——截面受压承载力设计值;

N_E ——欧拉临界力;

M ——弯矩设计值;

M_{0k} ——截面受弯承载力标准值；
 M_0 ——截面受弯承载力设计值；
 V ——剪力设计值；
 V_{0k} ——截面受剪承载力标准值；
 V_0 ——截面受剪承载力设计值；
 T ——扭矩设计值；
 T_{0k} ——截面受扭承载力标准值；
 T_0 ——截面受扭承载力设计值；
 N_t^b ——一个普通螺栓的抗拉强度设计值；
 N_c^b ——一个普通螺栓的承压强度设计值；
 N_v^b ——一个普通螺栓的抗剪强度设计值。

2.2.2 材料性能和抗力

E_s ——钢材的弹性模量；
 E_s^t ——钢材的切线模量；
 E_c ——混凝土的弹性模量；
 E_h ——空心钢管混凝土的组合轴压弹性模量；
 E_{hm} ——空心钢管混凝土的组合抗弯弹性模量；
 G_s ——钢材的剪变模量；
 f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
 f_y ——钢材的屈服点，钢材的抗拉、抗压和抗弯强度标准值；
 f_{ck} ——混凝土的(棱柱体)抗压强度标准值；
 f_c ——混凝土的抗压强度设计值；
 f_h ——空心钢管混凝土的组合抗压强度标准值；
 f_{ht} ——空心钢管混凝土的组合抗压强度设计值；
 f_{hv} ——空心钢管混凝土的组合抗剪强度标准值；
 f_{hv} ——空心钢管混凝土的组合抗剪强度设计值；
 f_c^w ——对接焊缝的抗压强度设计值；
 f_v^w ——对接焊缝的抗剪强度设计值；
 f_t^w ——角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值；

f_t^p ——普通螺栓的抗拉强度设计值；

f_v^p ——普通螺栓的抗剪强度设计值；

f_c^p ——普通螺栓的承压强度设计值；

σ ——正应力；

τ ——剪应力。

2.2.3 几何参数

A_s ——钢管的截面面积；

A_c ——管内混凝土的截面面积；

A_{ho} ——空心钢管混凝土构件的组合截面面积，即钢管面积和管内混凝土面积之和；

A_h ——管内空心截面的面积；

I_s ——钢管的截面惯性矩；

I_c ——管内混凝土的截面惯性矩；

I_h ——空心钢管混凝土构件的截面组合惯性矩；

I_b^p ——空心钢管混凝土受弯构件考虑受拉区混凝土开裂时的截面组合惯性矩；

W_s ——钢管的截面模量；

W_c ——管内混凝土的截面模量；

W_h ——空心钢管混凝土构件的截面组合模量；

i_h ——空心钢管混凝土构件的截面组合回转半径；

D ——圆形截面的直径，多边形截面二对应外边至外边的距离；

d ——混凝土内衬管的内直径，承压挡浆板上的圆孔直径；

B ——方形和多边形截面的边长；

r_o ——圆钢管混凝土构件的截面半径；

r_{so} ——管内混凝土的外半径；

r_{ci} ——管内混凝土的内半径；

L_o ——受压构件的计算长度；

e ——作用荷载的偏心距；

- t ——钢管的厚度；
- λ_c ——构件的组合长细比，构件的计算长度与组合截面的回转半径之比 $\lambda_c = L_{01}/i_h$ ；
- λ_x ——构件绕 x 轴的长细比；
- λ_y ——构件绕 y 轴的长细比；
- λ_{ox} ——格构式构件绕 x 轴的换算长细比；
- λ_{oy} ——格构式构件绕 y 轴的换算长细比；
- λ_1 ——格构式构件的单肢长细比。

2.2.4 计算系数

- α ——实心截面的含钢率；
- α_0 ——空心截面的含钢率；
- Ψ ——空心率，空心部分的面积与混凝土的面积加空心部分的面积之和的比值；
- θ_{h0} ——套箍系数设计值；
- φ ——轴心受压构件稳定系数；
- k_1 ——由于截面形状不同的紧箍效应折减系数；
- k_c ——混凝土徐变影响系数；
- k_2 ——可靠度修正系数；
- γ_{RE} ——抗震调正系数；
- k_v ——组合抗剪强度设计值换算系数；
- k_{Φ} ——轴压构件长细比修正系数；
- n ——混凝土和钢材的弹性模量比；格构式柱的柱肢数；
- β ——钢材和混凝土截面惯性矩之比，拔梢杆计算长度修正系数，冲击系数；
- β_0 ——多边形截面的截面模量和惯性矩的等效系数；
- β_m ——弯矩等效系数。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 钢管可采用 Q235 和 Q345 钢材,也可采用 Q390 和 Q420 钢材。一般构件可采用 B 级钢,高层建筑的柱和在 -20°C 以上工作的塔架,可采用 B 级钢;在低于 -30°C 工作的塔架结构,应采用 C 级钢。钢材质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。当有可靠根据时,可采用其他牌号的钢材。

经过比较而经济合理时,钢管可采用耐候钢,其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》GB/T 4172 的要求。

3.1.2 钢管宜采用直缝焊接管和螺旋焊接管,也可采用无缝钢管。焊接管必须采用对接熔透焊缝,达到焊缝强度不低于管材强度的要求。

3.1.3 钢材的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 采用。其弹性模量为 $E_s=2.06\times 10^5\text{N/mm}^2$,剪变模量为 $G_s=79\times 10^3\text{N/mm}^2$ 。

3.2 混 凝 土

3.2.1 钢管内的混凝土强度等级不应低于 C30。混凝土的抗压、抗拉强度和弹性模量应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用。

3.3 连 接 材 料

3.3.1 用于钢管混凝土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 和《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定。选择的焊条型号应与被焊钢材的力学性能相适应。

2 自动或半自动焊接用的焊丝和焊剂应与被焊钢材相适应,并应符合国家现行有关标准的规定。

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 不同种类钢材相焊接时,宜采用与强度较低的钢材相适应的焊条或焊丝。

3.3.2 焊缝的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 采用。

3.3.3 用于钢管混凝土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 和《六角头螺栓—A级和B级》GB/T 5782 的规定。一般宜采用 4.6 级和 4.8 级的 C 级螺栓。

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 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》GB/T 3633 的规定。高强度螺栓的预应力和摩擦面的抗滑移系数应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 选用。

3 栓钉应符合现行国家标准《圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。用于栓钉的钢材屈服强度不应低于 235N/mm^2 。

3.3.4 钢管混凝土结构中的普通螺栓连接和高强度螺栓连接的强度设计值,应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

4 设计基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 结构计算采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数设计表达式进行计算。

4.1.2 结构的极限状态包括承载能力极限状态和正常使用极限状态。计算中采用的荷载及其组合,应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。

4.1.3 等截面钢管外径(圆管直径、多边形和正方形的外接圆直径)不宜小于 168mm,壁厚不宜小于 3mm。变截面杆小端外径不宜小于 130mm。壁厚不宜小于 3mm。

轴心受压和小偏心受压构件:圆形和十六边形的钢管外径与壁厚之比 D/t 不应大于 $135 \sqrt{235/f_y}$,八边形和正方形的边长和壁厚比 B/t 不应大于 $60 \sqrt{235/f_y}$ 。构架中的受弯构件:圆形和十六边形的钢管外径与壁厚之比 D/t 不应大于 $177 \sqrt{235/f_y}$,八边形和正方形的边长和壁厚比 B/t 不应大于 $135 \sqrt{235/f_y}$ 。

4.1.4 空心率 Ψ 不宜小于 0.25,且不宜大于 0.75。

4.2 构件的容许长细比

4.2.1 构件的容许长细比 $[\lambda]$ 不宜超过表 4.2.1 的限值。

表 4.2.1 构件的容许长细比 $[\lambda]$

序号	构件名称	$[\lambda]$
1	房屋框架柱	80
2	格构式柱受压腹杆	150
3	受拉构件	200

续表 4.2.1

序号	构 件 名 称		[λ]
4	送变电格构式构架	主材	120
		斜材	200
		辅助材	250
		受拉材	400

5 结构类型和结构设计原则

5.1 结构类型与布置

5.1.1 空心钢管混凝土结构适用于下列结构类型:

- 1 空心钢管混凝土塔架和构筑物结构,含单肢柱及格构柱。
- 2 空心钢管混凝土框架结构,即柱采用空心钢管混凝土构件,梁采用钢梁、钢筋混凝土梁或钢—混凝土组合梁。
- 3 空心钢管混凝土框架—钢支撑结构。
- 4 空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙结构。
- 5 空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土核心筒结构。
- 6 空心钢管混凝土管桩。

5.1.2 多、高层工业与民用建筑采用空心钢管混凝土结构时,框架梁宜采用钢梁,楼板宜采用现浇钢筋混凝土组合楼盖。采用装配整体式钢筋混凝土楼板、预制板或其他轻型楼板时,应将楼板预埋件与钢梁焊接,或采取其他保证楼盖整体性的连接措施。

5.1.3 多、高层工业与民用建筑采用空心钢管混凝土结构时,其结构布置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 及《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 结构布置的有关规定。

5.2 结构设计原则

5.2.1 对有抗震设防要求的空心钢管混凝土结构,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定进行抗震验算,并应符合相应的抗震措施。其中空心钢管混凝土构件部分,尚应满足本规程有关抗震措施的要求。

5.2.2 多、高层工业与民用建筑采用空心钢管混凝土结构时,最

大适用高度宜符合表 5.2.2 的要求。

表 5.2.2 空心钢管混凝土结构的最大适用高度 (m)

结 构 类 型	非抗震 设计	抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度	9 度
空心钢管混凝土框架	60	55	50	45	25
框架—钢支撑	100	90	80	70	40
框架—钢筋混凝土剪力墙	100	90	80	70	40
框架—钢筋混凝土核心筒	110	100	90	80	50

注:1 建筑物高度指室外地面至主要屋面高度,不包括局部突出屋面的电梯机房、水箱、构架等的高度;

2 楼盖采用现浇钢筋混凝土梁板时,最大适用高度宜适当降低;

3 对于平面和竖向不规则的结构或Ⅳ类场地上上的结构,最大适用高度可适当降低;

4 乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定适用最大高度;

5 甲类建筑可按本地区抗震设防烈度提高一度后符合本表规定;

6 9 度抗震设防,房屋高度超过本表高度数值时,结构设计应有可靠依据并采取有效措施;

7 表中框架均指空心钢管混凝土框架(余同)。

5.2.3 多、高层工业与民用建筑采用空心钢管混凝土结构体系时,其适用的最大高宽比不宜超过表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 空心钢管混凝土结构适用的最大高宽比

结 构 类 型	非抗震 设计	抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度	9 度
空心钢管混凝土框架	5	5	4	3	2
框架—钢支撑	5	5	5	4	3
框架—钢筋混凝土剪力墙	5	5	5	4	3
框架—钢筋混凝土核心筒	6	6	6	5	4

注:当塔形建筑的底部有大底盘时,高宽比采用的高度应从大底盘顶部算起。

5.2.4 按有地震作用组合内力设计的空心钢管混凝土构件,其承载力抗震调整系数 γ_{RE} 可按表 5.2.4 选用。其余构件承载力抗震

调整系数 γ_{RE} 参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定采用。

表 5.2.4 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

构件的承载力计算		节点计算	连 接
柱	支撑	各类节点	焊缝与高强螺栓
0.8	0.85	0.85	0.9

5.2.5 多、高层空心钢管混凝土结构及相关混合结构抗震设计中,构件抗震等级应按表 5.2.5 确定,并应符合相应计算和抗震措施要求。

表 5.2.5 空心钢管混凝土结构抗震等级

结 构 体 系		烈 度							
		6		7		8		9	
空心钢管 混凝土框架	高度	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 25	
	空心钢管混凝土框架	四	三	三	二	二	一	一	
框架— 钢支撑	高度	≤ 50	> 50	≤ 50	> 50	≤ 50	> 50	≤ 40	
	空心钢管混凝土框架	四	三	二	二	二	一	一	
框架— 剪力墙	高度	≤ 50	> 50	≤ 50	> 50	≤ 50	> 50	≤ 40	
	空心钢管混凝土框架	四	三	二	二	二	一	一	
	钢筋混凝土剪力墙	三	三	二	二	一	一	一	
框架— 核心筒	高度	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60	≤ 50	
	空心钢管混凝土框架	三	二	二	二	二	一	一	
	钢筋混凝土核心筒	三	二	二	二	一	一	一	

注:1 框架抗震等级适用于空心钢管混凝土柱、钢梁或钢筋混凝土梁;

2 接近或等于高度分界时,允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

5.2.6 抗震设计时,空心钢管混凝土柱的空心率 ψ 不宜大于表 5.2.6 限值。

表 5.2.6 空心钢管混凝土柱的空心率 ψ 限值

钢管形状	抗 震 等 级		
	一	二	三
圆形和十六边形	0.5	0.55	0.6
八边形	0.4	0.45	0.5
方形	0.3	0.35	0.4

5.2.7 抗震设计时,空心钢管混凝土柱的轴压比不宜超过表 5.2.7 限值。

表 5.2.7 空心钢管混凝土柱的轴压比限值

结构类型	抗 震 等 级		
	一	二	三
空心钢管混凝土框架	0.8	0.85	0.9
框架—钢支撑	0.8	0.9	0.95
框架—剪力墙 框架—核心筒	0.85	0.9	0.95

注:轴压比指柱考虑地震作用组合的轴压力设计值与空心钢管混凝土构件面积与其组合抗压强度设计值乘积的比值。

5.2.8 抗震设计时,在多遇地震作用下,空心钢管混凝土框架及空心钢管混凝土框架—钢支撑结构,结构阻尼比可取 0.03。空心钢管混凝土框架与钢筋混凝土剪力墙(筒)组成的混合结构,其结构阻尼比可取 0.04。当有可靠依据时,具体结构也可依据实际情况确定阻尼比。

5.2.9 结构内力及位移分析的一般原理和基本假定、抗风及抗震验算,对于主要抗侧力构件为钢结构的建筑时,宜采用现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定进行;对于主要抗侧力构件为钢筋混凝土结构的建筑,宜采用现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的规定进行。

5.2.10 抗震设计时,采用空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙(筒)结构,其空心钢管混凝土框架所承担的地震剪力,不应小

于结构底部总剪力的 25% 和框架部分地震剪力最大值的 1.8 倍二者的较小值。

5.2.11 抗震设计时,空心钢管混凝土框架角柱的组合弯矩设计值和剪力设计值,应乘以不小于 1.1 的增大系数。

5.2.12 空心钢管混凝土结构及相关混合结构在风荷载及地震荷载作用下,按弹性方法计算的最大楼层层间位移与层高之比 $\Delta u/h$,不宜大于表 5.2.12 的限值。

表 5.2.12 楼层层间最大位移与层高之比的限值

结 构 类 型	$\Delta u/h$ 限 值
空心钢管混凝土框架	1/500
空心钢管混凝土框架—钢支撑	1/450
空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土墙(筒)	1/800

5.2.13 空心钢管混凝土结构及相关混合结构薄弱层弹塑性层间位移与层高之比 $\Delta u_p/h$,不宜大于表 5.2.13 中弹塑性层间位移角限值 $[\theta_p]$ 。

表 5.2.13 弹塑性层间位移角限值

结 构 类 型	$[\theta_p]$ 限 值
空心钢管混凝土框架	1/50
空心钢管混凝土框架—钢支撑	1/50
空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙(筒)	1/100

5.2.14 在采用空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土核心筒的结构体系中,外围框架平面内空心钢管混凝土柱与梁的连接,在抗震设防烈度 7 度及以上地区应采用刚接,楼面梁与钢筋混凝土筒体的连接可采用刚接或铰接。

5.2.15 采用空心钢管混凝土结构的多、高层建筑,无地下室时,空心钢管混凝土柱应采用埋入式柱脚。当设置地下室且空心钢管混凝土框架柱伸至地下一层时,宜采用埋入式柱脚,也可采用外包式柱脚(空心钢管混凝土柱外包混凝土并配一些钢筋加以包裹)或外露式地脚螺栓锚固式柱脚。当有根据时,也可采用其他形式的柱脚。

6 承重构件设计和刚度计算

6.1 单肢柱的承载力与刚度计算

6.1.1 单肢柱轴心受压时的组合强度设计值应按下列公式计算:

$$f_b = (1.212 + Bk_1\theta_{h0} + Ck_1^2\theta_{h0}^2)(1.1f_c) \quad (6.1.1-1)$$

$$B = 0.1759 \frac{f_y}{235} + 0.974 \quad (6.1.1-2)$$

$$C = -0.1038 \frac{f_{ck}}{20.1} + 0.0309 \quad (6.1.1-3)$$

$$\theta_{h0} = \frac{\alpha_0 f}{1.1f_c} \quad (6.1.1-4)$$

$$\alpha_0 = \frac{A_s}{A_c} = \frac{\alpha}{1 - \Psi} \quad (6.1.1-5)$$

$$\Psi = A_h / (A_h + A_c) \quad (6.1.1-6)$$

式中 θ_{h0} ——空心钢管混凝土构件的套箍系数设计值;

α_0 ——空心钢管混凝土构件的含钢率,等于钢管面积 A_s 和管内混凝土面积 A_c 之比;

α ——对应的实心钢管混凝土截面的含钢率;

Ψ ——空心率;等于空心部分面积 A_h 和混凝土面积 A_c 与空心部分面积 A_h 之和之比;

f_y, f ——分别为钢材的屈服点和抗压强度设计值;

f_{ck}, f_c ——分别为管内混凝土的抗压强度标准值和设计值;

k_1 ——由于截面形状不同的紧箍效应折减系数;圆形和十六边形截面取 0.6,八边形截面取 0.32,四边形截面取 0.225;矩形截面应换算成等效正方形截面进行计算,等效正方形截面的边长为矩形截面的长边。

长之乘积的平方根;对各种钢材和各种混凝土强度等级时, k_1 值皆同。

各种截面的组合抗压强度设计值 f_h (钢材厚度 $t \leq 16\text{mm}$) 列入本规程附录 B 表 B-1、表 B-2 和表 B-3。当采用 $t > 16\text{mm}$ 钢材时, 需乘以换算系数 k_h ; 换算系数 k_h 见本规程附录 B 表 B-4。

空心钢管混凝土轴压构件的承载力设计值 N_0 应按下列公式计算:

$$N_0 = k_c k_2 A_{h0} f_h \quad (6.1.1-7)$$

$$k_2 = \frac{3.2A_1 + 3.7A_2}{3.7} \quad (6.1.1-8)$$

$$A_1 = \frac{\alpha_0 f_y}{\alpha_0 f_y + (1 - \alpha_0) f_{ck}} \quad (6.1.1-9)$$

$$A_2 = \frac{(1 - \alpha_0) f_{ck}}{\alpha_0 f_y + (1 - \alpha_0) f_{ck}} \quad (6.1.1-10)$$

抗震设计时, 空心钢管混凝土构件轴心受压构件的承载力应按下列公式验算:

$$N \leq N_0 / \gamma_{RE} \quad (6.1.1-11)$$

式中 A_{h0} ——空心钢管混凝土构件的组合截面面积, 等于钢管和管内混凝土面积之和;

k_c ——混凝土徐变折减系数, 见表 6.1.1;

k_2 ——可靠度修正系数, 按公式 (6.1.1-8) 计算;

γ_{RE} ——抗震调整系数, 柱子取 0.8; 其他构件和节点的抗震调整系数见表 5.2.4;

N ——考虑地震作用组合的轴心压力设计值。

对轴压构件和偏心率 $e/r_0 \leq 0.3$ 的偏心受压构件, 当承受永久荷载引起的轴心压力占全部轴心压力的 30% 及以上时, 应考虑混凝土徐变的影响, 可将承载力乘以徐变折减系数 k_c 。其中, e 是荷载作用的偏心距, r_0 是圆构件的截面半径, 非圆截面时, 是等效

圆截面的半径。

表 6.1.1 徐变折减系数 k_c

空心 率 ψ	长细比 λ	永久荷载 占比例(%)	Q235		Q345		Q390		Q420	
			混凝土 A	混凝土 B	混凝土 A	混凝土 B	混凝土 A	混凝土 B	混凝土 A	混凝土 B
0.3	55~85	30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		50	0.96	0.94	0.94	0.93	0.97	0.94	0.94	0.93
		70	0.94	0.93	0.92	0.91	0.96	0.92	0.92	0.92
	85~105	30	0.93	0.86	0.95	0.88	0.96	0.90	0.94	0.90
		50	0.87	0.80	0.89	0.81	0.90	0.84	0.89	0.83
		70	0.83	0.78	0.85	0.78	0.87	0.81	0.84	0.80
0.5	50~85	30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		50	0.96	0.96	0.96	0.95	1.00	0.96	0.96	0.96
		70	0.96	0.95	0.96	0.94	0.98	0.94	0.94	0.94
	85~105	30	0.97	0.87	0.97	0.90	0.98	0.93	0.96	0.91
		50	0.89	0.81	0.90	0.81	0.92	0.86	0.90	0.85
		70	0.85	0.78	0.84	0.78	0.89	0.82	0.86	0.82
0.75	40~75	30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		50	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
		70	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00	0.97	0.98	0.98
	75~105	30	0.98	0.91	1.00	0.94	1.00	0.96	1.00	0.95
		50	0.93	0.86	0.95	0.88	0.95	0.90	0.94	0.89
		70	0.88	0.84	0.91	0.85	0.93	0.85	0.91	0.89

注：混凝土 A 是 C30 和 C40，混凝土 B 是 C50、C60、C70 和 C80。

6.1.2 空心钢管混凝土构件的组合抗剪强度设计值和承载力设计值应按下列公式计算：

组合抗剪强度设计值：

$$f_{hv} = k_v f_h \quad (6.1.2-1)$$

组合抗剪承载力设计值：

$$V_0 = 0.85 A_{h0} f_{hv} \quad (6.1.2-2)$$

组合抗扭承载力设计值：

$$T_0 = W_T f_{hv} \quad (6.1.2-3)$$

式中 W_T ——构件的组合截面抗扭模量；

k_v ——组合抗剪强度设计值换算系数,各种厚度的钢材和各种含钢率时的 k_v 值列入本规程附录 B 表 B-5。

抗震设计时,空心钢管混凝土构件的抗剪和抗扭承载力应分别按下列公式验算:

$$V \leq \frac{V_0}{\gamma_{RE}} \quad (6.1.2-4)$$

$$T \leq \frac{T_0}{\gamma_{RE}} \quad (6.1.2-5)$$

式中 V 、 T ——考虑地震作用组合的剪力和扭矩。

6.1.3 空心钢管混凝土构件的组合刚度应符合下列规定。

空心钢管混凝土轴心受压构件的组合轴压弹性刚度应按下列公式计算:

$$B = A_{b0} E_h \quad (6.1.3-1)$$

$$E_h = 1.3 k_E f_h \quad (6.1.3-2)$$

式中 E_h ——空心钢管混凝土构件的组合轴压弹性模量;

k_E ——空心钢管混凝土构件的轴压弹性模量换算系数,见表 6.1.3。

公式(6.1.3-2)中的 $1.3 f_h = f_h^*$ 是空心钢管混凝土构件的轴压强度标准值 f_h^* 的近似值。

表 6.1.3 轴压弹性模量换算系数 k_E 及长细比修正系数 k_σ 值

钢材	Q235	Q235	Q235	Q345	Q345	Q345	Q390	Q390	Q390	Q420	Q420	Q420
厚度 (mm)	≤16	16~ 40	40~ 60	≤16	16~ 35	35~ 50	≤16	16~ 35	35~ 50	≤16	16~ 35	35~ 50
屈服 点 f_y	235	225	215	345	325	315	390	375	355	420	400	380
k_E	889.7	918.1	949.1	686.1	712.9	727.5	635.9	651.3	673.9	608.4	626.3	646.1
k_σ	0.993	1.000	1.005	0.933	0.943	0.948	0.911	0.918	0.928	0.898	0.907	0.916

空心钢管混凝土轴压构件的组合弹性抗弯刚度应按下列公式计算:

$$B_m = E_{hm} I_h \quad (6.1.3-3)$$

$$E_{hm} = \frac{(1 + \frac{\beta}{n})(1 + \alpha_0)}{(1 + \frac{\alpha_0}{n})(1 + \beta)} E_h \quad (6.1.3-4)$$

$$n = E_c / E_s \quad (6.1.3-5)$$

$$\beta = I_s / I_c \quad (6.1.3-6)$$

$$\alpha_0 = A_s / A_c \quad (6.1.3-7)$$

式中 E_{hm} ——组合抗弯弹性模量；

A_s, A_c ——分别是空心钢管混凝土构件的钢管面积和混凝土的面积；

I_s, I_c ——空心钢管混凝土构件的钢管部分的惯性矩和混凝土部分的惯性矩；

I_h ——空心钢管混凝土构件的组合截面惯性矩；取钢管截面的惯性矩和管内混凝土截面的惯性矩之和；

E_s, E_c ——分别是钢材和混凝土的弹性模量。

当构件截面出现受拉区时，组合截面惯性矩应按式(6.1.3-8)计算：

$$I_h^s = (0.66 + 0.94\alpha_0) I_h \quad (6.1.3-8)$$

6.1.4 空心钢管混凝土构件的组合剪变刚度应按式(6.1.4)计算：

$$B_G = G_h A_{h0} \quad (6.1.4)$$

式中 A_{h0} ——构件的组合截面面积；

G_h ——空心钢管混凝土构件的组合剪变模量。当钢材厚度 $t \leq 16\text{mm}$ 时，见本规程附录 B 表 B.6、B.7、B.8；当钢材厚度大于 16mm 时，应乘以组合剪变模量换算系数 k_G, k_G 见本规程附录 B 表 B.9。

6.1.5 空心钢管混凝土构件轴心受拉时的组合承载力设计值应按式(6.1.5-1)计算：

$$N_t = A_s f \quad (6.1.5-1)$$

式中 f ——钢管钢材的抗拉强度设计值；

A_n ——钢管的净截面面积。

抗震设计时，空心钢管混凝土构件的轴心受拉承载力应按下式计算：

$$N \leq N_t / \gamma_{RE} \quad (6.1.5-2)$$

式中 N ——考虑地震作用组合的轴心拉力设计值。

6.1.6 空心钢管混凝土单肢柱轴心受压稳定承载力应按式(6.1.6-1)计算：

$$N_c = \varphi f_b A_{10} \quad (6.1.6-1)$$

式中 φ ——轴心受压构件稳定系数，见表 6.1.6-1。表中 $\lambda' = k_\varphi \lambda$ ，长细比修正系数 k_φ 见表 6.1.3， λ 是空心钢管混凝土构件的长细比。

抗震设计时，空心钢管混凝土单肢柱轴心受压构件的稳定承载力应按下式计算：

$$N \leq N_c / \gamma_{RE} \quad (6.1.6-2)$$

式中 N ——考虑地震作用组合的轴心压力。

表 6.1.6-1 轴心受压构件稳定系数 φ

$\lambda' \sqrt{\frac{f_y}{235}}$	圆形或 十六边形	八边形	四边形	$\lambda' \sqrt{\frac{f_y}{235}}$	圆形或 十六边形	八边形	四边形
0	1.0000	1.0000	1.0000	130	0.4766	0.4735	0.4297
10	0.9939	0.9933	0.9833	140	0.4155	0.4132	0.3794
20	0.9875	0.9863	0.9665	150	0.3649	0.3631	0.3364
30	0.9802	0.9783	0.9478	160	0.3226	0.3212	0.2998
40	0.9715	0.9688	0.9262	170	0.2871	0.2860	0.2686
50	0.9603	0.9566	0.8998	180	0.2571	0.2561	0.2418
60	0.9449	0.9399	0.8664	190	0.2314	0.2307	0.2186
70	0.9219	0.9153	0.8232	200	0.2094	0.2088	0.1986
80	0.8855	0.8770	0.7680	210	0.1904	0.1898	0.1811
90	0.8258	0.8159	0.7012	220	0.1738	0.1733	0.1658
100	0.7354	0.7271	0.6277	230	0.1593	0.1588	0.1524
110	0.6374	0.6315	0.5550	240	0.1465	0.1461	0.1405
120	0.5501	0.5459	0.4883	250	0.1352	0.1349	0.1299

对于拔梢杆,计算稳定承载力时,构件的长细比可按式(6.1.6-3)计算:

$$\lambda = \beta \lambda_{\max} \quad (6.1.6-3)$$

式中 $\lambda_{\max}$ ——按大端截面的回转半径和二端铰接杆计算的长细

$$\text{比 } \lambda_{\max} = L_0 / \sqrt{I_h / A_{h0}};$$

β ——修正系数,见表 6.1.6-2;

I_h ——大端截面的惯性矩;

A_{h0} ——大端截面的全截面面积;

L_0 ——拔梢杆的计算长度。

根据长细比 λ 查得轴心受压稳定系数 φ ,可按式(6.1.6-4)计算承载力:

$$N_0 = A_h f_h \quad (6.1.6-4)$$

式中 A_h ——是拔梢杆的等效截面面积;取距离小端 0.4L 处的截面面积。

表 6.1.6-2 修正系数 β

$I_{\min} / I_{\max}$	0.0001	0.0016	0.0081	0.0256	0.0625	0.1296	0.2401	0.4096	0.6561	0.8281	1.000
一端固定 一端自由	5.46	4.06	3.34	3.00	2.70	2.48	2.34	2.22	2.10	2.05	2.00
二端铰接	4.97	3.14	2.34	1.89	1.61	1.43	1.28	1.19	1.09	1.05	1.00
一端固定 一端铰接	3.86	2.22	1.57	1.31	1.14	0.99	0.91	0.83	0.76	0.73	0.70
二端固定	2.49	1.57	1.15	0.94	0.81	0.73	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50

注: $I_{\min}$ 和 $I_{\max}$ 分别是小端截面和大端截面的惯性矩。

6.2 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的承载力计算

6.2.1 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的整体稳定承载力应按式(6.2.1-1)计算:

$$N_0 = \varphi f_h \sum A_{h0} \quad (6.2.1-1)$$

式中 ΣA_{w0} ——格构式柱各柱肢的组合截面面积之和。

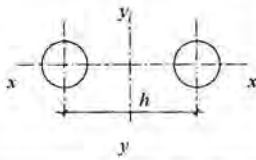
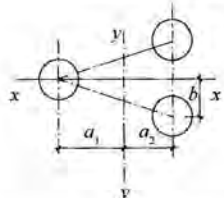
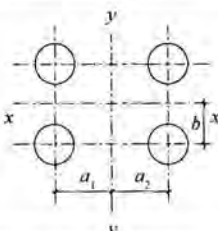
稳定系数 φ 值应根据构件的换算长细比 λ_{0x} 或 λ_{0y} 乘以长细比修正系数 k_φ 得 λ' , 查本规程表 6.1.6-1。构件的换算长细比见表 6.2.1。

抗震设计时, 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的稳定承载力应按式(6.2.1-2)计算:

$$N \leq N_0 / \gamma_{RE} \quad (6.2.1-2)$$

式中 N ——考虑地震作用组合的轴心压力。

表 6.2.1 格构式构件的换算长细比

项 目	截 面 形 式	腹杆类别	计 算 公 式
双肢柱		平腹杆 斜腹杆	$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 17\lambda_1^2}$ $\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 67.5 \frac{A_s}{A_w}}$
三肢柱		斜腹杆	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 200 \frac{A_s}{A_w}}$
四肢柱		斜腹杆	$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 135 \frac{A_s}{A_w}}$ $\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 135 \frac{A_s}{A_w}}$

注: λ_y 和 λ_x 是整个截面对 y - y 轴和对 x - x 轴的长细比, λ_1 是单肢一个节间的长细比, A_s 是一根柱肢的钢管截面面积, A_w 是一根腹杆空钢管的截面面积。

当四肢斜腹杆柱的内外肢截面不同时, 可按下列公式计算换

算长细比:

$$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_y^2 + 13.5 \times 2.5 \sum \frac{A_{si}}{A_w}} \quad (6.2.1-3)$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_x^2 + 13.5 \times 2.5 \sum \frac{A_{si}}{A_w}} \quad (6.2.1-4)$$

式中 A_{si} ——各柱肢钢管截面的面积,分别为: $A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}, A_{s4}$;
 A_w ——是一根斜腹杆空钢管的面积。

双肢斜腹杆柱的内外肢截面不同时,可按公式(6.2.1-5)计算换算长细比。

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 13.5 \times 2.5 \sum \frac{A_{s1} + A_{s2}}{A_w}} \quad (6.2.1-5)$$

三肢柱的内外肢截面不同时,可按式(6.2.1-6)计算换算长细比。

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 27 \times 2.5 \sum \frac{A_{si}}{A_w}} \quad (6.2.1-6)$$

以上各式以及表 6.2.1 中的构件长细比:

$$\lambda_x = L_{0x} / \sqrt{\frac{I_x}{\sum A_{hi}}}; \lambda_y = L_{0y} / \sqrt{\frac{I_y}{\sum A_{hi}}}$$

$$\text{单肢长细比: } \lambda_i = L_i / \sqrt{\frac{I_h}{\sum A_{hi}}}$$

$$\text{惯性矩: } I_x = \sum (I_h + a_i^2 A_h); \quad I_y = \sum (I_h + b^2 A_h)。$$

式中 $\sum A_{hi}$ ——各根柱肢的组合截面面积之和;

I_h ——单根柱肢的组合截面惯性矩;

a_i, b ——分别是柱肢中心到虚轴 $y-y$ 和 $x-x$ 的距离,见表 6.2.1;

L_i ——柱肢的节间距离。

腹杆及其与柱肢的连接的计算按钢结构相关规定设计。

6.2.2 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的单肢稳定承载力
 应符合下列规定:

格构式空心钢管混凝土轴心受压构件单肢尚应按式(6.1.6-1)验算单肢柱的稳定承载力。当符合下列条件时,可不验算:

平腹杆格构式构件: $\lambda_1 \leq 40$ 且 $\lambda_1 \leq 0.5\lambda_{\max}$;

斜腹杆格构式构件: $\lambda_1 \leq 0.7\lambda_{\max}$ 。

式中 λ_1 ——单肢一个节间的长细比;

$\lambda_{\max}$ ——构件在 $x-x$ 和 $y-y$ 方向换算长细比的较大值。

6.2.3 格构式轴心受压构件所受剪力应按式(6.2.3)计算:

$$V = \frac{\sum A_{ho} f_h}{85} \quad (6.2.3)$$

式中 $\sum A_{ho}$ ——各柱肢的组合截面面积之和。

6.3 空心钢管混凝土构件在复杂应力状态下的承载力计算

6.3.1 单肢空心钢管混凝土构件承受压、弯、扭、剪共同作用时,构件的承载力应按下列公式计算。

$$1 \quad \text{当 } \frac{N}{\varphi A_{ho}} \geq 0.2 \sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2} f_h \text{ 时}$$

$$\left[\frac{N}{\varphi N_0} + \frac{\beta_m M}{1.071 M_0 \left(1 - 0.4 \frac{N}{N_E}\right)} \right]^{1.4} + \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \leq 1 \quad (6.3.1-1)$$

$$2 \quad \text{当 } \frac{N}{\varphi A_{ho}} < 0.2 \sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2} f_h \text{ 时}$$

$$\left[\frac{N}{1.4 \varphi N_0} + \frac{\beta_m M}{M_0 \left(1 - 0.4 \frac{N}{N_E}\right)} \right]^{1.4} + \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \leq 1 \quad (6.3.1-2)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 E_{hm} A_{ho}}{\lambda^2} \quad (6.3.1-3)$$

$$M_0 = \gamma_m W_h f_h \quad (6.3.1-4)$$

$$\gamma_m = (1 - 0.5\psi)(-0.4832\theta_{b0} + 1.9264 \sqrt{\theta_{b0}}) \quad (6.3.1-5)$$

式中 N 、 M 、 T 和 V ——分别为作用于构件的轴心压力、弯矩、扭矩和剪力的设计值；

β_m ——等效弯矩系数，按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用；

W_b ——受弯构件的组合截面模量；

γ_m ——塑性发展系数。

计算单层厂房框架柱时，柱的计算长度按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用；计算高层建筑的框架柱时，柱的计算长度按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定采用。

公式(6.3.1-3)中的组合抗弯弹性模量 E_{bm} 可近似地用组合弹性模量 E_b 计算。

当只有轴心压力和弯矩作用的压弯构件，应按下列公式计算：

1 当 $\frac{N}{\varphi A_{b0}} \geq 0.2f_b$ 时

$$\frac{N}{\varphi N_0} + \frac{\beta_m M}{1.071 M_0 (1 - 0.4 \frac{N}{N_E})} \leq 1 \quad (6.3.1-6)$$

2 当 $\frac{N}{\varphi A_{b0}} < 0.2f_b$ 时

$$\frac{N}{1.4\varphi N_0} + \frac{\beta_m M}{M_0 (1 - 0.4 \frac{N}{N_E})} \leq 1 \quad (6.3.1-7)$$

6.3.2 格构式空心钢管混凝土构件承受压、弯、扭、剪共同作用时，应按下列公式验算平面内的整体稳定承载力：

$$\left[\frac{N}{\varphi N_0} + \frac{\beta_m M}{M_0 (1 - \varphi \frac{N}{N_E})} \right]^{1.4} + \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 + \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \leq 1 \quad (6.3.2-1)$$

$$M_0 = W_b f_b \quad (6.3.2-2)$$

式中 φ ——轴压稳定系数,按换算长细比及长细比修正系数计算 λ' ,查稳定系数(表 6.1.6-1);

W_b ——格构式柱截面至最大受压肢外边缘的组合截面模量,不考虑截面的塑性发展。

抗震设计时,公式(6.3.1-1)、(6.3.1-2)、(6.3.1-6)、(6.3.1-7)和(6.3.2-1)中的 N 、 M 、 T 和 V 都是考虑地震作用组合的内力,且均应除以 γ_{RE} 。

对斜腹杆格构式柱的单肢,可按桁架的弦杆计算单肢的稳定承载力。对平腹杆格构式柱的单肢,应考虑由剪力引起的局部弯矩的影响,可按压弯构件计算。

腹杆所受的剪力取实际剪力和按式(6.2.3)计算剪力中的较大值。

6.4 单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力计算

6.4.1 单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力应按式(6.4.1)计算:

$$\frac{N}{A_s} + \frac{Mf}{W_b f_b} \leq f \quad (6.4.1)$$

式中 N 、 M ——作用于构件的轴心拉力和弯矩;

f ——钢管钢材的抗拉强度设计值。

抗震设计时, N 和 M 是考虑地震作用组合的内力,且不等号右侧的 f 应乘以 γ_{RE} 。

7 构造要求和节点设计

7.1 一般规定

7.1.1 节点承载力应大于构件承载力,并满足刚度要求。构造力求简单,传力明确,整体性好。

7.1.2 节点设计应尽量减少连接偏心,避免应力集中和产生次应力,方便加工和安装。

7.1.3 在钢管构件内不宜设置横向穿管、加劲板(环)和其他附件。

7.1.4 所有焊在钢管上的连接件和金属附件,宜在混凝土离心成型之前完成。若需要在混凝土离心成型之后进行时,则必须在混凝土的强度达到 28d 标准强度的 70%后,方能进行焊接。

7.1.5 当采用焊接钢管时,必须保证所有对接熔透焊缝的质量,达到与母材等强,焊缝质量为一、二级,检验等级为 B 级,角焊缝外观质量标准均为三级。

7.1.6 杆段与杆段之间的连接方式,应根据具体工程的建筑及结构设计要求、构件运输、施工安装及运行维护条件等因素,综合考虑确定。

7.2 结构构件

7.2.1 空心钢管混凝土构件根据工程需要,可做成圆形、多边形或四边形截面的构件(图 7.2.1)。钢管柱直径很大,需采用纵向焊缝拼接,或需沿长度接长时,应采用纵向和环向熔透的对接焊缝进行对接,并应 100%进行超声波检验。

构件两端设承压挡浆板(圈),以形成混凝土内衬管。

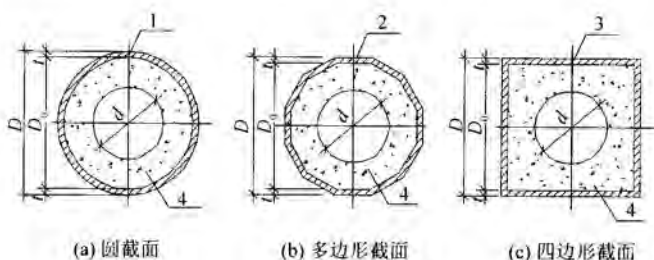


图 7.2.1 空心钢管混凝土构件截面形式

1—圆截面钢管；2—多边形截面钢管；

3— 四边形截面钢管；4— 混凝土内衬管

7.2.2 构件端部无混凝土部分应予以加强,可采用内加强管的方式或外加强管的方式(图 7.2.2-1)。

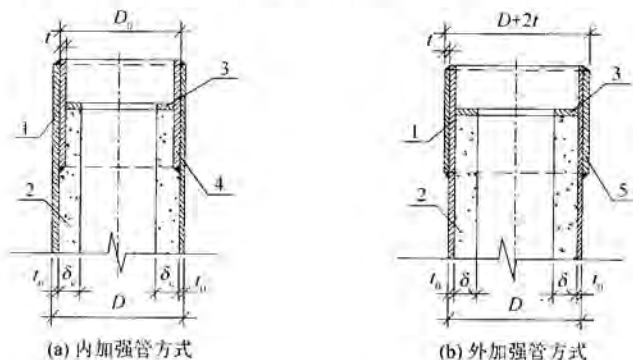


图 7.2.2-1 加强管方式

1— 主钢管；2—混凝土内衬管；3—承压挡浆圈；

4— 内加强管；5— 外加强管

7.2.3 加强管的壁厚,可按下列公式计算确定:

1 满足轴心受压极限承载力的要求:

$$t \geq \frac{1.5\delta_c f_{ck}}{\nu f_y} \left(\frac{D_c}{D_s} \right) \quad (7.2.3-1)$$

2 满足抗弯极限承载力的要求:

$$t \geq \frac{1.96W_h f_b}{\gamma_s \beta_0 D^2 f_y} - t_0 \quad (7.2.3-2)$$

3 满足抗弯刚度的要求:

$$t \geq \frac{n\delta_c}{\beta_0} \left(\frac{D_c}{D_s} \right)^3 \quad (7.2.3-3)$$

其中:

$$D_c = \frac{\nu D_0 + d}{2} \quad (7.2.3-4)$$

$$\delta_c = \frac{\nu D_0 - d}{2} \quad (7.2.3-5)$$

$$D_s = D - t_0 \quad (7.2.3-6)$$

$$D_0 = D - 2t_0 \quad (7.2.3-7)$$

式中 D ——圆钢管的外直径,或多边形截面两对应外边至外边的距离;

D_0 ——圆钢管的内直径,或多边形截面两对应内边至内边的距离;

D_s ——加强管的平均直径;

D_c ——混凝土管的等效平均直径;

d ——混凝土管的内直径;

δ_c ——混凝土管的等效厚度;

t_0 ——空心钢管混凝土构件的钢管厚度;

t ——加强管的厚度;

n ——混凝土和钢材弹性模量之比, $n = E_c/E_s$;

ν ——多边形截面的等效直径系数,按表 7.2.3 的规定确定;

β_0 ——多边形截面的截面模量及惯性矩等效系数,按表 7.2.3 的规定确定;

γ_s ——钢管截面的塑性区发展系数,按表 7.2.3 的规定确定;

f_{ck} ——混凝土的抗压强度标准值;

f_h ——空心钢管混凝土的组合抗压强度设计值；

f_s ——加强管钢材的屈服强度；

W_h ——空心钢管混凝土构件的截面组合模量。

表 7.2.3 系数 β_0 、 ν 和 γ_s 值

系数	圆截面	多 边 形 截 面 边 数				
		16	12	8	6	4
β_0	1.000	1.026	1.047	1.115	1.225	1.694
ν	1.000	1.006	1.012	1.027	1.050	1.130
γ_s	1.15	1.15	1.15	1.10	1.10	1.05

注：16 边以上的多边形截面按圆截面取值。

7.2.4 构件构造要求应符合下列规定：

1 加强管的最小壁厚不宜小于 5mm，其高度不宜小于 0.3 倍主管直径，并不宜小于 150mm，伸入混凝土部分的搭接长度不宜小于两倍混凝土管的等效厚度($2\delta_e$)。

2 构件两端应设置承压挡浆板(圈)，厚度不宜小于 1/10 混凝土管的壁厚，并不小于 5mm，承压挡浆板的宽度为混凝土管的壁厚，其距离杆端的距离不宜小于 50mm。

3 承压挡浆板应与主钢管或内加强管满焊。

4 加强管下端应与主管满焊。当主管直径小于 300mm 时，内加强管下端宜切割成如图 7.2.4 所示锯齿形，便于伸入管内焊接。

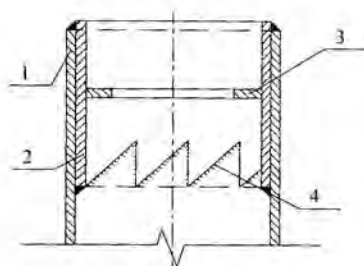


图 7.2.4 内加强管焊接构造

1—主钢管；2—内加强管；3—承压挡浆圈；4—角焊缝

7.3 现场安装连接

7.3.1 杆段间的现场安装连接有直接对接焊接、套接、剪力板螺栓连接和法兰盘螺栓连接等多种形式。现场连接焊缝必须 100% 进行超声波检验。

7.3.2 直接对接焊接连接宜符合下列规定：

上下柱管径不变时，宜采用等强度的坡口焊缝焊接连接(图 7.3.2-1)，也可采用法兰板焊接连接(图 7.3.2-3)。若管径改变，可采用法兰板焊接连接(图 7.3.2-2)。

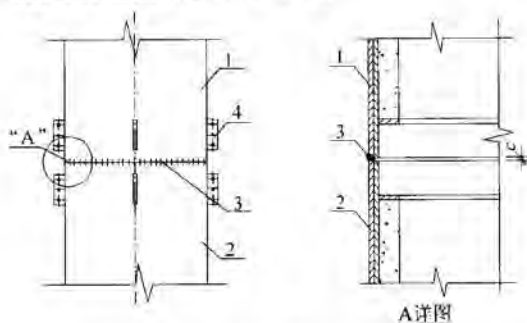


图 7.3.2-1 直接对接坡口焊接连接

1—上节柱；2—下节柱；3—安装坡口焊；4—安装用耳板

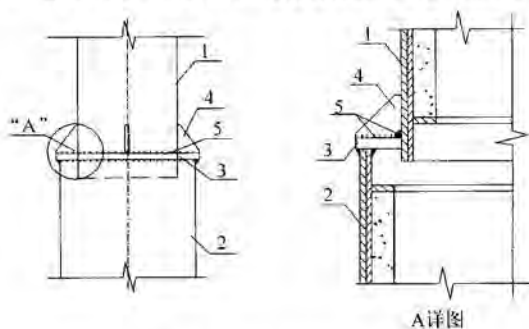


图 7.3.2-2 法兰板焊接连接(变直径)

1—上节柱；2—下节柱；3—连接法兰板；

4—加劲板；5—现场安装角焊缝

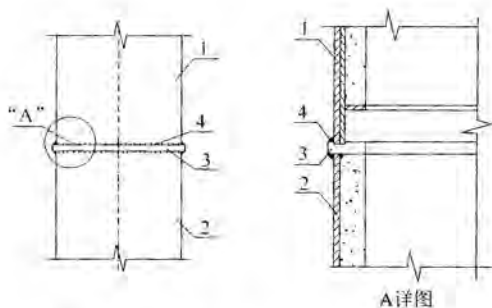


图 7.3.2-3 法兰板焊接连接(等直径)

1—上节柱；2—下节柱；3—连接法兰板；4—现场安装角焊缝

1 直接对接焊接的圆截面构件，可在上下杆端设置安装耳板，供安装定位之用(图 7.3.2-1)。

2 法兰板连接方式，将法兰板在工厂内焊在下节柱上，现场安装定位后，上节柱与法兰板用角焊缝焊牢。

3 变直径柱的法兰板孔径应比上柱直径大 3~5mm，可用加劲板作为定位装置。

4 等直径柱的法兰板上应开 2mm 深槽，保证上下柱的对中定位。

7.3.3 套接连接应符合下列规定：

套接连接仅适用于锥形受弯构件。套接连接构造简单，只需将锥形套接管用对接熔透焊缝焊接在上节柱的下端柱头上(图 7.3.3)。便于施工安装。

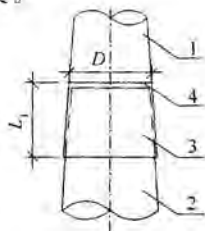


图 7.3.3 套接连接

1—上节柱；2—下节柱；3—锥形套接管；4—对接熔透焊缝

套接管的长度 L_1 不宜小于 $1.5D$, D 为下段柱锥形管的最小直径。

套接钢管的厚度可按下式计算:

$$t \geq 1.96 \bar{W} f_b / (\gamma_s \beta_0 D^2 f_y) \quad (7.3.3)$$

式中 D ——锥形套接管的最小外直径;

$\bar{W}$ ——上节柱下端最大截面处的构件的组合截面模量;

β_0 ——多边形截面的截面模量及惯性矩等效系数,按表 7.2.3 的规定确定;

γ_s ——钢管截面的塑性发展系数,按表 7.2.3 的规定确定。

7.3.4 剪力板螺栓连接可按下列规定设计:

剪力板螺栓连接(图 7.3.4)由连接板、剪力螺栓板(沿圆周均匀分布)和内钢管组成的上下一对阴阳螺栓连接接头。

1 剪力螺栓

最外一排每个螺栓所承受的最大剪力可按公式(7.3.4-1)计算:

$$N_{\max}^v = \left(\frac{M}{0.375 n_0 d_0} \pm \frac{N}{n_0} \right) / m \leq N_v^b \quad (7.3.4-1)$$

式中 M ——接头处所作用的外弯矩设计值;

N ——接头处所作用的轴心拉(压)力设计值;

d_0 ——螺栓所在位置中心的直径;

n_0 ——剪力板的组数;

m ——每一排剪力板螺栓的数量;

N_v^b ——一个螺栓抗剪承载力设计值; $N_v^b = n_v (\pi d^2 / 4) f_v^b$;

n_v ——螺栓受剪面数目,单剪时 $n_v = 1$,双剪时 $n_v = 2$;

d ——螺栓杆直径;

f_v^b ——普通螺栓的抗剪强度设计值。

除满足计算要求外,螺栓直径不宜小于 16mm。

2 剪力板

剪力板的厚度可按下列公式计算,并不宜小于 6mm。

$$t_0 \geq \frac{mN_{\max}^v}{\mu(b_0 - d)f} \quad (7.3.4-2)$$

剪力板孔壁承压强度:

$$N_c^h = \mu t_0 f_c^h \geq N_{\max}^v \quad (7.3.4-3)$$

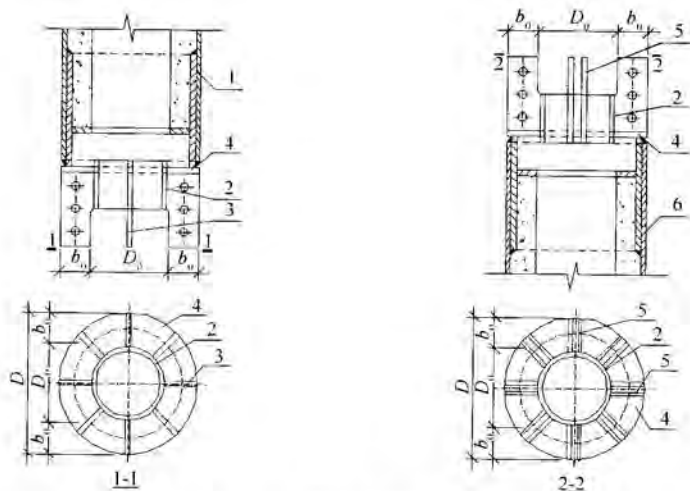


图 7.3.4 剪力板螺栓连接

1—上节柱；2—内短钢管；3—单剪力板；4—连接板；

5—双剪力板；6—下节柱

式中 t_0 ——剪力板厚度；

b_0 ——剪力板的最小宽度；

d ——剪力螺栓的直径；

f_c^h ——钢材的孔壁承压强度设计值；

N_c^h ——螺栓的承压承载力设计值；

μ ——单剪力板 $\mu=1$ ，双剪力板 $\mu=2$ 。

3 内钢管

内钢管的强度可按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{M}{W_0} \pm \frac{N}{A_0} \leq f \quad (7.3.4-4)$$

$$A_0 = \pi D_0 t + n_0 b t_0 \quad (7.3.4-5)$$

$$W_0 = \frac{\pi (D_0 - t)^3 + n_0 b (D_0 - b)^2}{4D} \quad (7.3.4-6)$$

式中 t ——内钢管的厚度；

D_0 ——内钢管的直径；

b ——剪力板的宽度；

n_0 ——剪力板的组数。

内钢管的径厚比 $D_0/t \leq 1/60$ ，厚度不宜小于 5mm。

4 连接板

与主柱连接的环板厚度，可按公式(7.3.4-7)计算：

$$t \geq \sqrt{\frac{5M_0}{sf}} \quad (7.3.4-7)$$

其中：

$$M_0 = m N_{\max}^v e_0 \quad (7.3.4-8)$$

$$s = \pi D / n_0 \quad (7.3.4-9)$$

式中 e_0 ——剪力板螺栓中心至主钢管外壁的距离；

m ——最外排螺栓数。

7.3.5 法兰盘螺栓连接可按下列规定设计：

法兰盘螺栓连接分有加劲板(刚性法兰)和无加劲板(柔性法兰)两种连接方式(图 7.3.5-1)。

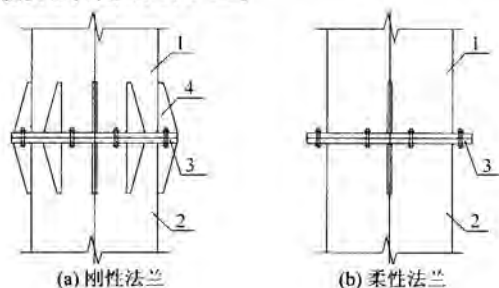


图 7.3.5-1 法兰盘螺栓连接

1—上节柱；2—下节柱；3—法兰盘；4—加劲板

法兰盘与杆段的连接,可采用杆段与法兰盘平接连接,也可采用插接连接,其构造如图(7.3.5-2)所示。连接法兰盘的杆端应加强,加强方式可采用内加强管,也可采用外加强管。平接式法兰盘宜设置加劲板,加强管的高宜大于加劲板高度 100mm。

1 有加劲板法兰盘连接的计算。

1) 法兰螺栓的计算:

法兰螺栓的受力简图如图 7.3.5-3 所示,螺栓可按下列公式计算:

轴心受拉作用时

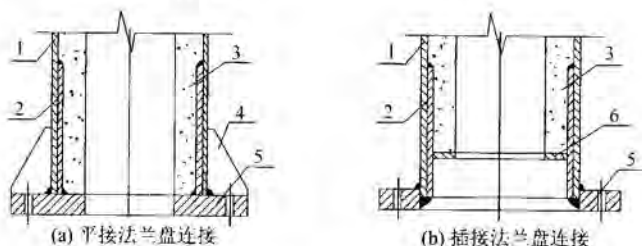


图 7.3.5-2 法兰连接构造

1—主钢管; 2—内加强管; 3—混凝土管; 4—加劲板;

5—法兰盘; 6—承压挡浆板

$$N_{\max}^b = \frac{N}{n} \leqslant N_t^b \quad (7.3.5-1)$$

只受弯矩作用时:

$$N_{\max}^b = \frac{M}{B_0} \leqslant N_t^b \quad (7.3.5-2)$$

其中:

$$B_0 = \frac{nD(0.75D + b)}{2(D + b)} \quad (7.3.5-3)$$

受拉(压)及受弯共同作用时:

当 $\frac{M}{|N|} \leqslant \frac{D}{2}$ 时,按下式计算:

$$N_{\max}^b = \frac{M}{B_0} + \frac{N}{n} \leq N_t^b \quad (7.3.5-4)$$

当 $\frac{M}{|N|} < \frac{D}{2}$ 时, 用公式(7.3.5-2)计算, 式中 B_0 按下式计算:

$$B_0 = \frac{n}{4} \left(\frac{d}{2} + b \right) \quad (7.3.5-5)$$

式中 M ——法兰盘所承受的弯矩设计值;

N ——法兰盘所承受的轴拉(压)力设计值, N 为压力时取负值;

D ——主钢管的外直径;

b ——钢管外壁至螺栓中心的距离;

n ——法兰盘上螺栓的数量;

$N_{\max}^b$ ——受力最大的一个螺栓的拉力;

N_t^b ——每个螺栓的受拉承载力设计值; $N_t^b = (\pi d_e^2/4) f_t^b$;

d_e ——螺栓在螺纹处的有效直径;

f_t^b ——螺栓的抗拉强度设计值。

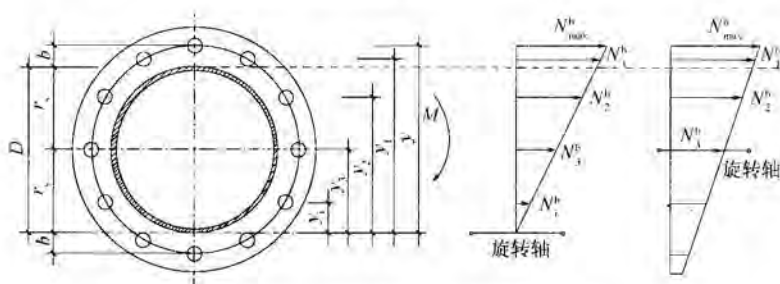


图 7.3.5-3 有加劲板法兰螺栓受力简图

2) 法兰盘计算: 法兰盘受力简图如图(7.3.5-4)所示, 可按下列公式计算:

板上的均布荷载:

$$q = \frac{N_{\max}^b}{L_x l_y} \quad (7.3.5-6)$$

板跨中的弯矩：

$$M_{0x} = \beta l L_s^2 \quad (7.3.5-7)$$

式中弯矩系数 β 见表 7.3.5。

表 7.3.5 弯矩系数 β

L_y/L_x	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
系数 β	0.0273	0.0355	0.0439	0.0522	0.0602	0.0677	0.0747	0.0812
L_y/L_x	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	
系数 β	0.0871	0.0924	0.0972	0.1015	0.1053	0.1087	0.1117	
L_y/L_x	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.75	2.00	
系数 β	0.1167	0.1205	0.1235	0.1258	0.1275	0.1302	0.1316	

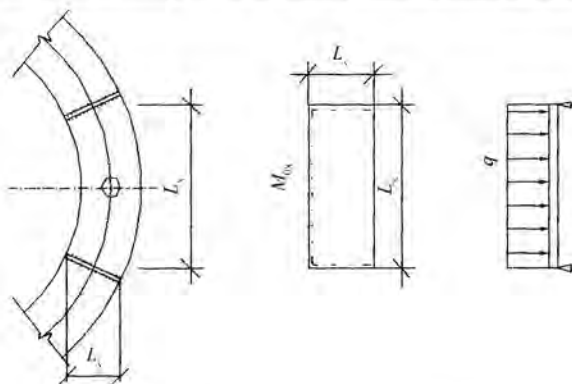


图 7.3.5-4 有加劲板法兰盘受力简图
法兰盘厚度：

$$t \geq \sqrt{\frac{5M_{0x}}{f}} \quad (7.3.5-8)$$

3) 加劲板计算 加劲板可按下列公式计算：

$$\text{剪应力:} \quad \tau = \frac{N^b}{hl} \leq f_v \quad (7.3.5-9)$$

$$\text{正应力:} \quad \sigma = \frac{5bN_{\max}^b}{th^2} \leq f \quad (7.3.5-10)$$

式中 f_v ——钢材的抗剪强度设计值；

f ——钢材的抗拉强度设计值；

b ——加劲板螺栓中心至钢管外壁的距离；

t, h ——分别为加劲板的厚度和高度。

加劲板竖向角焊缝，可按公式(7.3.5-11)计算：

$$\frac{N_{\max}^b}{1.4h_f l_w} \sqrt{1 + \left(\frac{6b}{\beta_f}\right)^2} \leq f_t^w \quad (7.3.5-11)$$

式中 l_w ——焊缝的计算长度；

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸；

β_f ——正面角焊缝的强度设计值增大系数，取 1.22；

f_t^w ——角焊缝的强度设计值。

加劲板除满足计算要求外，其厚度不应小于加劲板高的1/15，并不宜小于 5mm。

2 无加劲板法兰盘连接的计算：

无加劲板时，法兰盘螺栓受力简图如图 7.3.5-5 和 7.3.5-6 所示，可按下列公式计算：

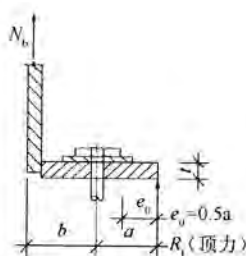
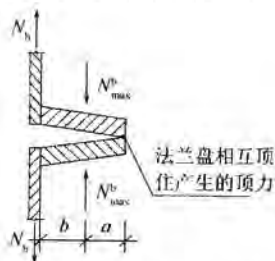


图 7.3.5-5 无加劲板法兰螺栓受力图 图 7.3.5-6 无加劲板法兰盘受力图

1) 轴心受拉作用时：

$$N_b = \frac{N}{n} \quad (7.3.5-12)$$

2) 受拉(压)、弯共同作用时:

一个螺栓对应的管壁段中的拉力:

$$N_b = \frac{1}{n} \left(\frac{M}{0.5r_2} + N \right) \quad (7.3.5-13)$$

式中 M ——法兰盘所受的弯矩;

N ——法兰盘所受的轴心力, N 为压力时取负值;

r_2 ——钢管的半径(参见图 7.3.5-3);

n ——螺栓数。

有了一个螺栓所受的拉力 N_b , 一个螺栓应满足抗拉强度要求:

$$N_{\max}^b = m N_b \frac{a+b}{a} \leq N_t^b \quad (7.3.5-14)$$

式中 $N_{\max}^b$ ——按式(7.3.5-12)和(7.3.5-13)中 N_b 的较大值计算;

m ——法兰螺栓受力修正系数, $m=0.65$;

N_t^b ——一个螺栓的抗拉强度设计值, $N_t^b = (\pi d_e^2/4) f_t^b$;

f_t^b ——螺栓抗拉强度设计值;

d_e ——位于螺栓中心线处螺栓的有效直径。

3) 法兰盘计算: 法兰盘可按下列公式计算:

$$\text{顶力:} \quad R_t = N_b \frac{b}{a} \quad (7.3.5-15)$$

$$\text{剪应力:} \quad \tau = 1.5 \frac{R_t}{ts} \leq f_v \quad (7.3.5-16)$$

$$\text{正应力:} \quad \sigma = \frac{5R_t e_0}{st^2} \leq f \quad (7.3.5-17)$$

式中 s ——螺栓的间距, $s = \pi d_0/n$;

R_t ——法兰盘之间的顶力;

d_0 ——螺栓中心线的直径。

无加劲板法兰盘的厚度 t 除满足计算要求外,对于主柱不宜小于 16mm;腹杆不宜小于 12mm,且不宜小于螺栓的直径。

7.4 梁柱连接节点

7.4.1 空心钢管混凝土柱与梁的连接可分为刚接连接和铰接连接。梁可采用钢梁、钢筋混凝土梁和组合结构梁。

7.4.2 空心钢管混凝土柱与钢梁的刚接节点(图 7.4.2-1)应符合下列规定:

焊接在主管上的连接短梁(牛腿)应设计成上下加强环板和腹板。和梁连接时,翼缘可采用高强螺栓连接,也可采用对接焊缝焊接。腹板宜采用高强螺栓连接,也可采用对接焊接。

短梁与主柱的焊接应采用坡口对接熔透焊缝。

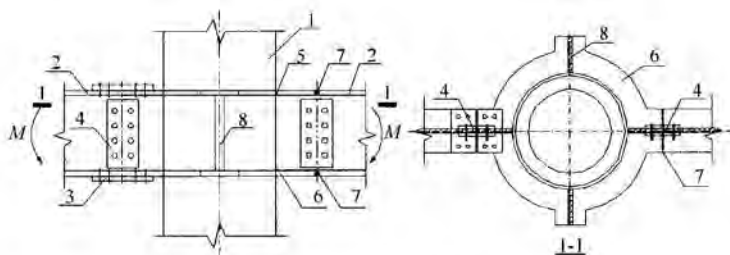


图 7.4.2-1 钢梁—柱刚性节点

1—空心钢管混凝土柱; 2—工字钢梁; 3—翼缘连接板; 4—腹板连接板;

5—上加强环; 6—下加强环; 7—翼缘对接焊缝; 8—短梁腹板

I 加强环常用的类型(图 7.4.2-2)。

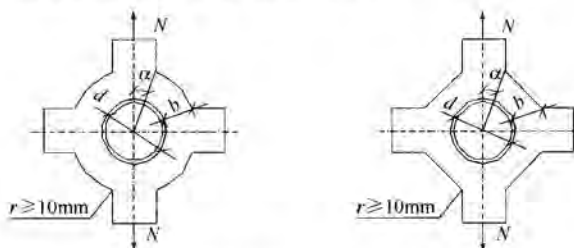


图 7.4.2-2 加强环的类型

2 加强环板承受的轴力 N 和弯矩 M 应分别按下列公式计算:

$$N = \frac{M}{h} + N_b \quad (7.4.2-1)$$

$$M = M_c - \frac{Vd}{3} \geq 0.7M_c \quad (7.4.2-2)$$

式中 N_b ——梁的轴向力对一个环板产生的拉力;

M_c ——柱轴线处的梁支座弯矩设计值;

V ——对应于柱轴线处 M_c 的梁端剪力;

h ——梁端的截面高度;

d ——柱的直径。

3 加强环板的控制宽度 b 和厚度 t_1 的计算:

1) 连接钢梁的加强环的厚度,应按梁翼缘板所承受的轴心拉力 N 计算确定。

$$t_1 = \frac{N}{b_s f} \quad (7.4.2-3)$$

式中 t_1 ——加强环板的厚度;

b_s ——加强环板的宽度(工字钢翼缘宽度)。

2) 加强环板的控制截面的宽度 b ,应按下列公式计算:

$$b \geq \frac{F_1(\alpha)N}{t_1 f_1} - \frac{F_2(\alpha)b_s t f}{t_1 f_1} \quad (7.4.2-4)$$

其中:

$$F_1(\alpha) = \frac{0.93}{\sqrt{2\sin^2\alpha + 1}} \quad (7.4.2-5)$$

$$F_2(\alpha) = \frac{1.74\sin\alpha}{\sqrt{2\sin^2\alpha + 1}} \quad (7.4.2-6)$$

$$b_c = \left(0.63 + \frac{0.88b_s}{d}\right)\sqrt{d}t + t_1 \quad (7.4.2-7)$$

式中 α ——拉力 N 作用方向与计算截面的夹角;

t ——主柱钢管的壁厚;

- d ——主柱钢管的外直径；
 f ——主柱钢管的抗拉强度设计值；
 f_1 ——加强环板的抗拉强度设计值；
 b_e ——主柱钢管管壁参与加强环受力的有效宽度(图 7.4.2-3)。

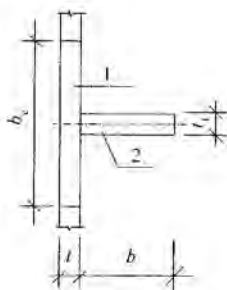


图 7.4.2-3 柱管壁有效宽度

1 主柱管壁；2 加强环板

3) 加强环板除满足计算要求外,尚应符合如下的构造要求:

$$0.25 \leq \frac{b_e}{d} \leq 0.75$$

$$0.10 \leq \frac{b}{d} \leq 0.35$$

$$\frac{b}{t_1} \leq 10$$

4 短梁(牛腿)的腹板,应按下式验算短梁腹板处管壁的剪应力(图 7.4.2-4):

$$\tau = \frac{0.6V_{\max}}{l_w t} \lg \frac{2r_{(1)}}{b_1} \leq f_v \quad (7.4.2-8)$$

$$b_1 = t_w + 1.4h_t \quad (7.4.2-9)$$

式中 $V_{\max}$ ——梁端的最大剪力设计值;

l_w ——角焊缝长度;

- r_{co} ——钢管的内半径；
 b_j ——角焊缝所包的宽度；
 h_f ——角焊缝的焊脚尺寸；
 t_w ——腹板的厚度；
 f_v ——钢材的抗剪强度设计值。

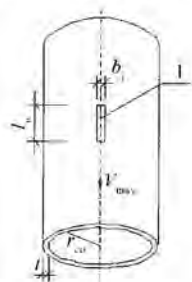


图 7.4.2-4 管壁应力计算简图

1 角焊缝

7.4.3 空心钢管混凝土柱与现浇钢筋混凝土梁的刚性节点应符合下列规定：

梁内的主筋(纵向钢筋)焊在加强环板上(图 7.4.3)。加强环板的宽度 b_s 与钢筋混凝土梁等宽。加强环板控制截面宽度 b ，可按公式(7.4.2-4)至(7.4.2-7)计算确定。

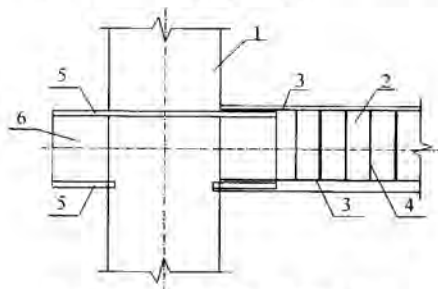


图 7.4.3 混凝土梁—柱刚性节点

- 1—空心钢管混凝土柱；2—钢筋混凝土梁；3—纵向钢筋；
 4—箍筋；5—加强环板；6—腹板

加强环板的厚度 t_1 可按下式计算：

$$t_1 = \frac{A_s f_1}{b_s f} \quad (7.4.3)$$

式中 A_s ——梁端全部负弯矩钢筋的截面面积；

f_1 ——钢筋的抗拉强度设计值；

b_s ——牛腿的宽度；

f ——钢牛腿的抗拉强度设计值。

7.4.4 凡节点弯矩使主钢管管壁产生较大拉应力时，应设置加强环板。若梁端仅有负弯矩而不可能产生正弯矩时，也可不设置下加强环板。

7.4.5 边柱和角柱与梁的连接节点可采用半个加强环板，但加强环板的圆心角必须大于 180° 。

7.5 柱和基础的连接

7.5.1 空心钢管混凝土柱脚与基础的连接根据工程的具体情况，宜采用杯口插入式或采用锚栓连接式。

7.5.2 杯口插入式属于刚接连接(图 7.5.2-1)。锚栓连接式(图 7.5.2-2)，其中，图 a 为刚接连接节点，图 b 为铰接连接节点，计算同钢结构。采用杯口插入式柱脚时，基础杯口的设计同钢筋混凝土基础。无论何种连接节点，空心钢管混凝土柱的承压挡浆板都应设在柱的底端，其厚度不应小于 14mm。

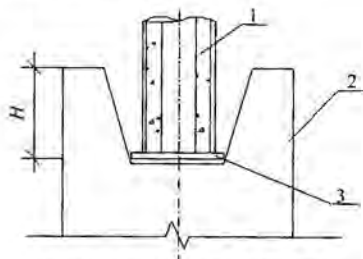


图 7.5.2-1 插入式柱脚构造

1—空心钢管混凝土柱；2—钢筋混凝土基础；3—柱底板(挡浆板)

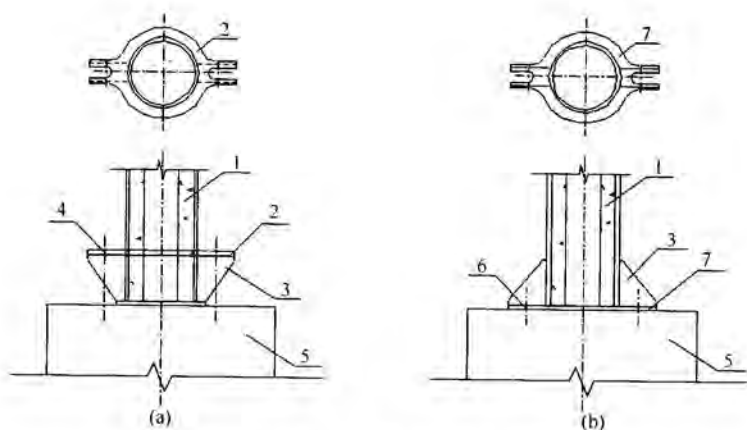


图 7.5.2-2 锚栓连接式柱脚构造

1—空心钢管混凝土柱；2—加劲环板；3—加劲肋；4—锚栓；

5—基础；6—地脚螺栓；7—柱底板（挡浆板）

柱脚插入杯口的深度，不得小于下列限值（ D 是柱的直径）

轴心受压或小偏心受压柱 1.0 D

大偏心受压柱 1.2 D

悬臂柱 1.5 D

非圆形截面 D 是外接圆的直径。

对受拉柱，其插入杯口深度（图 7.5.3-1）可按下列公式计算：

$$H = \frac{N}{\pi \nu D f_{cv}} \quad (7.5.2)$$

式中 H ——柱插入杯口的深度；

N ——柱的轴向拉力设计值；

D ——圆截面钢管柱的外直径或多边形钢管混凝土管柱的外接圆直径；

f_{cv} ——混凝土抗粘剪强度设计值；当二次灌浆细石混凝土的强度等级不低于 C20 时，可取 $f_{cv} = 0.5 \text{ N/mm}^2$ ；

ν ——等效直径系数，由本规程表 7.2.3 查得。

7.5.3 当受拉钢管混凝土柱在埋入杯口部分焊有间距不小于

200mm 的钢箍时,钢箍不应少于两道(图 7.5.3-1)。钢箍的直径不宜小于 8mm,并应与钢管双面焊接。

在柱端焊有锚板(图 7.5.3-2)时,其上拔的剪切面可按沿杯口壁进行计算,其插入深度可按下式计算:

$$H = \frac{N}{S_e f_{cv}} \quad (7.5.3)$$

式中 S_e ——杯口内壁平均周长。

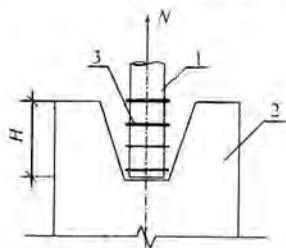


图 7.5.3-1 焊有钢箍的受拉桩

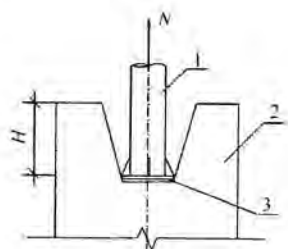


图 7.5.3-2 带锚板的受拉柱

1—受拉柱; 2—杯口基础; 3—钢箍

1—受拉柱; 2—杯口基础; 3—锚板

7.5.4 插入杯口的深度除满足计算要求外,对受拉柱不应小于 $1.5D$ 。

7.5.5 不宜将钢管柱直接埋入土中,若必要时,应根据土质和地下水腐蚀介质,进行有效的防腐处理。

7.6 空心钢管混凝土桩

7.6.1 桩身应符合下列规定:

1 空心钢管混凝土桩应采用圆截面钢管,混凝土的强度等级不应低于 C30。

2 钢管可采用螺旋焊接管,也可采用直缝焊接管。

3 桩身的分段长度应根据桩架的有效高度,制作场地的条件和吊装运输能力,以及持力层的地质条件等综合考虑确定,并不宜超过 15m。

4 桩身截面的选择应满足桩身强度的要求。桩身强度应按

桩顶荷载设计值计算确定,并满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关桩的承载力的设计要求。

7.6.2 桩头应符合下列规定:

1 桩头的强度应大于桩身的强度,其构造应满足(图 7.6.2)的要求。

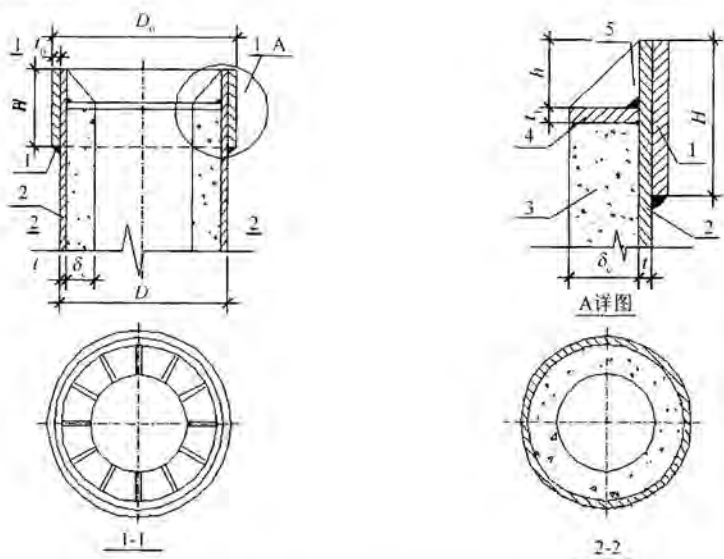


图 7.6.2 桩头构造图

1—外加强管钢管; 2—桩身钢管; 3—混凝土内衬管;

4—承压挡浆板; 5—加劲板

2 外加强管的厚度 t_0 ,可按下式计算:

$$t_0 \geq \frac{1.5\beta A_c f_c}{\pi D f} \quad (7.6.2)$$

式中 D ——外加强管的直径;

f ——外加强管的抗压强度设计值;

A_c ——桩身混凝土管的截面面积;

f_c ——桩身混凝土轴心抗压强度设计值;

β ——冲击系数；静压桩取 1.0，冲击桩取 1.3。

3 桩头应满足如下构造要求：

- 1) 外加强管的厚度除满足计算要求外，并不应小于 6mm。
- 2) 承压挡浆板的宽度 B 宜取等于内衬混凝土管的厚度 δ_c ，即 $B=\delta_c$ ；其厚度 t_1 宜取 $B/10$ ，并不应小于 6mm。
- 3) 加劲板的高度，宜取 $(1.2\sim 1.5)B$ ，并不宜小于 100mm，厚度不宜小于 5mm，加劲板间的距离可取 $(1/50\sim 1/60)D$ ；静压桩可不设置加劲板。

7.6.3 桩端的形式可采取敞口式，也可采用闭口式，闭口式可以是平底的或锥底的。其构造类同于钢管桩的端桩，仅需将其可靠地焊接在空心钢管混凝土桩的桩头上。

7.6.4 桩身的拼接接头宜采用直接对接焊接，其连接构造应满足(图 7.6.4)的要求。上节桩的外加强管必须剖口，拼接接头的强度应等于或大于桩身的强度(轴心或偏心抗压强度)。

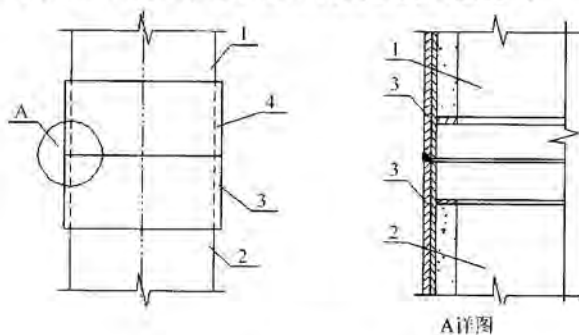


图 7.6.4 桩的拼接连接

1—上节桩；2—下节桩；3—外加强管

7.6.5 管桩表面的防腐处理应符合下列规定：

1 用于地下水有侵蚀性的地区或腐蚀性土层时，管桩的外表面应根据腐蚀介质的特性，采取有效的防腐措施。

2 在表面不作防腐处理时，应根据腐蚀介质对桩的腐蚀速率加厚钢管的壁厚。

8 空心钢管混凝土构件的加工制作与施工

8.1 钢管的加工制作

8.1.1 钢管的加工制作必须根据设计文件绘制施工详图,并应按照设计文件和施工图的要求编制制作工艺文件,保证产品达到设计要求。钢管加工制作前,对钢材及焊接材料应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定进行复验,材料必须符合设计要求和国家现行有关产品标准的规定。

8.1.2 钢管段制作的容许偏差应符合表 8.1.2 的要求。必须严格控制椭圆度和弯曲度。

表 8.1.2 管段制作容许偏差

项次	项 目	容 许 偏 差 (mm)	
		一般结构	特殊结构
1	端头直径 D 的偏差: 对接焊接连接时(D 为管端头的直径) 法兰连接时(D 为各孔眼中心的圆周直径)	$\pm 1.5D/1000$ 且不大于 5	$\pm D/1000$ 且不大于 2
2	管段弯曲矢高(L 为构件长度)	$L/1000$ 且不大于 10	$L/1500$ 且不大于 5
3	管段长度偏差	$-0.1\%L, +0.1\%L$, 且不大于 $+2\text{mm}$, 不小于 -5mm	± 2
4	法兰盘端面倾斜	$D/1000$, 且不大于 1	
5	管口倾斜度	$\phi 600$ 以下 2mm $\phi 600$ 以上 3mm	1mm
6	钢管扭曲	3°	1°
7	椭圆度	$3D/1000$	$1.5D/1000$

注:特殊结构指对结构安装精度有特殊要求的结构,如格构式高塔、建筑结构的柱等。

8.1.3 钢管下料应根据工艺要求预留制作时的焊接收缩量 and 切割、端铣等的加工余量。

8.1.4 对首次应用于钢结构工程的钢材、进口钢材、设计规定的钢材类别和焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、多层施焊、焊后热处理等工艺条件,以及施工单位首次采用各种参数的组合条件施工时,都应进行焊接工艺评定。并应根据评定报告确定焊接工艺,编写作业指导书。焊工应经过考试并取得焊工资格证后,方可从事证件认可范围内的焊接工作。

8.1.5 钢管焊缝的施工应严格按照焊接工艺文件规定的焊接方法、工艺参数及施焊顺序进行,并应符合设计文件和现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定。

8.1.6 焊缝质量检验:除应全部进行外观尺寸、表面缺陷检查外,对全熔透的一、二级焊缝必须按规定进行超声波检验,抽查数量一级焊缝全数检验,二级焊缝 50% 抽样检验。在超声波检验不能对缺陷作出判断时,应采用射线探伤。内部缺陷分级及探伤方法应分别符合国家现行标准的规定。

8.1.7 对每条焊缝按规定的百分比进行探伤时,每处长度不应小于 200mm。对工厂制作焊缝长度过长时,可将一条焊缝划分为每 300 mm 为一个检查个体计数抽样检测。

8.1.8 对于大直径钢管,当采用直缝焊接钢管时,其纵向焊缝沿圆周方向的数量不宜超过 2 道。等径钢管相邻纵缝间距不宜少于 300mm。相邻两节管段对接时,纵向焊缝应互相错开,间距不宜小于 300mm。

8.1.9 焊缝出现规范不允许的缺陷时,焊工不得擅自处理。应查明原因,制订修补工艺文件后,才能按照修补工艺文件处理。焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次。

8.1.10 钢管焊接坡口的尺寸如设计文件未注明具体要求时,可

按表 8.1.10 要求加工。

表 8.1.10 焊接坡口允许偏差

坡口名称	焊接方法	厚度 t (mm)	间隙 c (mm)	钝边 a (mm)	坡口角度 α
齐边 I 型	自动焊	6~14	0+2		
	手工焊	3~5	$(t-2)+1$		
V 型坡口	自动焊	16~22	0+1	7 ± 1	$60^\circ\pm5^\circ$
	手工焊	4~5	$1+1$	2 ± 1	$70^\circ\pm5^\circ$
		6~12	$1+1$	2 ± 1	$70^\circ\pm5^\circ$
		10~26	2 ± 1	2 ± 1	$60^\circ\pm5^\circ$

8.1.11 钢管冷校正环境温度不得低于 -12°C 。低碳钢和普通低合金钢热矫正加热温度一般为 $600^\circ\sim 900^\circ\text{C}$ ，不得超过 900°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，尺寸偏差应不超出构件的允许偏差。

8.1.12 钢管构件制作完成后，应按照施工图和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定进行验收。

8.2 空心钢管混凝土构件防腐涂装

8.2.1 构件防腐涂装可采用喷涂锌、热镀锌、涂漆等方式。可根据设计文件要求选择防腐涂装工艺。喷涂锌、热镀锌工艺顺序宜安排在离心浇筑混凝土工艺之前。

8.2.2 热镀锌涂装工艺应符合现行国家标准《金属件覆盖层、钢铁制品热镀锌层技术要求》GB/T 13912 的规定。

8.2.3 喷涂锌涂装应符合下列规定：

1 喷涂锌防腐涂装工艺应符合现行国家标准《金属件和其他无机覆盖层—热喷涂锌、铝及其合金》GB/T 9793 的规定。施工方法可采用电弧喷锌和热喷锌等方式。质量控制执行现行国家标准《热喷涂—热喷涂结构的质量要求》GB/T 19352 的规定。

2 喷涂锌防腐涂装前的基体表面必须清洁、无油污，还应做

好粗化处理。粗化处理方法宜采用喷砂工艺。处理后的构件表面应达到表面粗糙度 $R_z 40 \sim 80 \mu\text{m}$, 干燥、无灰尘、无油污、无氧化皮和无锈迹, 达到规定的除锈等级要求。

3 喷涂锌材料宜采用 99.95%~99.99% 纯度的产品。

4 经喷砂后的基体表面应尽快进行喷涂锌, 在晴天及相对湿度不大于 85% 的天气, 时间间隔不可超过 12h。雨天、湿度大或含盐雾环境下, 时间间隔不可超过 2h。由于停留时间过长或其他原因, 致使基体表面明显变质时, 应重做喷砂处理。

5 喷涂锌必须在环境相对湿度不大于 85%、环境气温高于 5℃ 及基体金属的表面温度高于空气露点 3℃ 以上时施工。在雨天、潮湿或含盐雾的环境中, 喷涂锌操作必须在室内进行, 避免湿度过大, 钢材表面和金属磨料生锈。

6 喷砂处理应针对工件壁厚选择合理的工艺, 防止钢管受热不均匀产生变形。

7 锌涂层厚度应根据环境介质对结构的腐蚀性按设计要求确定。锌涂层的最小局部厚度应按下列规定: 严重腐蚀地区大于或等于 $160 \mu\text{m}$, 较严重腐蚀地区大于或等于 $140 \mu\text{m}$, 一般地区大于或等于 $120 \mu\text{m}$, 轻腐蚀地区大于或等于 $100 \mu\text{m}$ 。

8 设计文件要求对锌涂层进行封闭处理时, 涂层的封闭材料(封闭漆)必须具备下列条件:

- 1) 封闭材料必须能与锌涂层相容;
- 2) 封闭材料必须具有对构件所处的环境要求的耐腐蚀性;
- 3) 封闭材料必须具有较低的黏度, 易渗入到锌涂层的孔隙中去。

9 锌涂层的检验方法应按照现行国家标准《金属件和其他无机覆盖层—热喷涂锌、铝及其合金》GB/T 9793 的规定执行。锌涂层的质量检查包括: 外观、涂层厚度、结合性能、耐腐蚀性能和密度等, 应满足设计要求。

8.2.4 油漆防腐涂装应符合下列规定:

1 油漆涂层材料和质量要求应根据构件使用环境、防腐涂装设计确定。

2 钢管表面应进行除锈处理,处理方法可采用抛丸、钢刷等方式,除锈等级达到 Sa2.5。处理后的基体表面应无油污、无氧化皮、无锈迹、灰尘等。一般宜在表面处理后 12h 内涂漆。

3 油漆的配制及施工应符合涂装设计的品种、涂层结构和涂层厚度的要求。

4 油漆涂层的检验应符合设计要求。涂层不应有漏涂、脱皮、皱皮等现象,油漆表面应均匀,无明显气泡、针眼和流坠等。设计无要求时,涂层干漆膜总厚度室外构件为 $150\mu\text{m}$,室内构件为 $125\mu\text{m}$ 。

8.3 混凝土采用离心法成型的技术要求

8.3.1 空心钢管混凝土构件应是混凝土采用离心法成型在工厂生产的产品。

8.3.2 混凝土所有原材料质量必须符合现行国家标准的规定,混凝土严禁使用含氯化物类的外加剂。

8.3.3 混凝土配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55) 的规定,根据离心成型法、养护方法、实际使用的原材料,及混凝土强度等级、耐久性、工作性能等进行混凝土配合比设计。首次使用的混凝土配合比应进行开盘鉴定,其性能应满足配合比设计的要求,生产时应至少留一组标准养护试件,作为验证配合比的依据。

8.3.4 混凝土浇筑前,钢管应进行复验,复验合格后方可进行混凝土浇筑。

8.3.5 混凝土的离心法成型工艺应符合现行国家标准《环形混凝土电杆》(GB/T 4623) 的规定。离心混凝土构件制作宜用钢模进行,也可直接用钢管本身作为钢模。

8.3.6 构件经离心成型后,可采用自然养护或蒸汽养护。养护前

应清除残留在管段外壁及端部的混凝土残留物。

自然养护:宜静停 1d 或蒸汽养护凝固后进行浸水养护,浸水养护的时间应不少于 7d。

蒸汽养护:宜静停 1h 后进行蒸汽养护,养护升温、恒温和降温过程程序应合理安排。

构件经养护后,其同条件养护标准试件的混凝土强度应不低于混凝土设计强度的 70%。产品出厂时,同条件养护的标准试件的混凝土强度应不低于混凝土设计强度。

8.3.7 钢管混凝土管段经离心成型后,其内表面混凝土不得有塌落,钢管内混凝土管壁厚度允许偏差为 +8mm, -5mm。养护完成后,混凝土不应有裂缝。

8.3.8 混凝土的强度等级必须符合设计要求,混凝土的强度检验评定应按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GBJ 107 的规定执行。用于检查混凝土强度的试件应随机抽取,试件的制作有条件时宜采用与生产过程相同的工艺方法,取样数量应符合下列规定:

1 同批构件拌制同一配合比的混凝土时,每工班取样不得少于一次。

2 同批构件拌制同一配合比的混凝土时,每拌制 100 盘且不超过 100m³,取样不少于一次。

3 每次取样应至少留一组标准养护试件,同条件养护试件应按实际需要确定。

8.4 空心钢管混凝土构件的检验、标志和保管

8.4.1 构件制作完成后,应按照施工图和本规程要求进行检验。构件的外观不应有严重缺陷和影响结构性能、安装、使用功能的尺寸偏差。对外观质量有严重缺陷的构件,应按技术处理方案进行处理,并重新进行检查验收。构件上的预埋件、预留孔等应符合设计要求。

8.4.2 构件应按设计要求进行结构性能检验。构件的结构性能检验应包括承载力、挠度及抗裂或裂缝宽度。房屋建筑中的构件,可不要求抗裂试验。按设计要求的试验参数及检验指标进行检验,检验方法应按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。

1 成批生产的构件,应按同一工艺正常生产的不超过 1500 件且不超过 6 个月的同类型产品为一批。每批中应随机抽取一个构件作为试件进行结构性能检验。

2 试验不合格时,应加倍抽样试验,若扩大抽检仍不合格,则该批产品评定为不合格。

3 当检验结果为不合格产品时,可由设计单位作进一步复核或采取加固补强,经再次验收后可再决定产品的使用等级或报废。

8.4.3 构件应在明显部位标明生产单位、构件型号、生产日期和质量验收标志。

8.4.4 构件生产单位应提供的产品证明文件:

- 1 生产单位资质证明文件;
- 2 构件型号、生产日期;
- 3 构件质量合格证明文件:
 - 1) 原材料的性能检验报告;
 - 2) 焊接工程质量验收记录;
 - 3) 混凝土配合比验证报告;
 - 4) 混凝土的强度等级报告;
 - 5) 构件的结构性能检验报告;

4 供需双方约定提供的其他文件。

8.4.5 产品宜采用两支点堆放,支点位置一般为离杆端 0.2 倍构件长度处,长构件在场地条件较好时可采用三支点堆放。产品应按规格类别分开堆放,堆放构件层数一般不宜超过 4 层。

8.4.6 产品起吊宜使用吊装带绑扎,采用两支点法吊装,每次吊运数量不宜超过 2 根。

8.5 空心钢管混凝土结构的施工

8.5.1 空心钢管混凝土结构的施工除符合本规程的规定外,尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 等和行业的现行有关标准的要求。

8.5.2 空心钢管混凝土结构的施工单位应具有相应的钢结构施工资质。施工现场的质量管理应有相应的技术标准、质量管理体系、质量控制及检验制度,施工现场应有经项目技术负责人审批的施工方案等技术文件。

8.5.3 构件进场后,应根据设计文件和施工详图的要求进行核对和验收。检查出厂质量证明文件及相关的质量检验报告。必要时现场可对构件进行抽样检查。构件的外形尺寸应符合本规程及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 中的预制构件尺寸允许偏差的规定。

8.5.4 构件的堆放和吊装可由施工单位设计支点,经设计单位确认后,才能进行作业。堆放场地应平整、坚实和排水良好,垫木支垫平稳、位置准确、保持在同一平面内,一般堆放不宜超过4层。

吊装作业时,全过程应平稳进行,防止碰撞、歪扭、快起和急停。严格控制吊装荷载作用下的变形,必要时应采取临时加固措施。在构件吊装就位后应立即进行校正,同时采取可靠的临时固定措施。

8.5.5 构件现场施工采用的钢材、焊接材料、连接材料等的性能应满足本规程的规定。

8.5.6 构件采用现场焊接拼接时,焊缝应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接规程》JGJ 81 的规定和设计对焊缝的要求进行施工和检测。事前应通过焊接工艺评定,确定焊接方法、工艺参数和施焊程序。施工时严格按工艺评定报告进行控制,减少焊接残余应力和残余变形。

8.5.7 构件采用法兰连接时,螺栓连接副的施工应符合节点设计的要求,施工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。

8.5.8 空心钢管混凝土桩的施工验收应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

8.5.9 空心钢管混凝土结构工程的施工验收是主体结构分部结构中的一个分项工程,应根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定,编写分项工程质量验收等施工质量验收文件。

9 防 火

9.1 防火涂层保护

9.1.1 防火涂层可采用非膨胀型防火涂料,或采用钢丝网抹 M5 普通水泥砂浆。

非膨胀型防火涂料和 M5 普通水泥砂浆需要的涂层厚度 t_1 可按公式(9.1.1)计算:

$$t_1 = t + (d - t)\Psi; \quad \text{且 } t_1 \leq t \quad (9.1.1)$$

式中 t ——实心钢管混凝土构件需要的保护层厚度,由现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 中的表 8.1.1~表 8.1.4 查得;

Ψ ——空心率;

d ——按钢柱满足耐火时间需要的厚度,可按表 9.1.1 采用。

表 9.1.1 按钢柱满足耐火时间的需要厚度 d (mm)

涂 料 和 耐火时间 (h)	非 膨 胀 型 涂 料				M5 水泥砂浆			
	1.5	2.0	2.5	3.0	1.5	2.0	2.5	3.0
需要厚度 d (mm)	24	33	42	50	50	67	83	100

查现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 中的 t 值时,多边形可等效为圆截面时的直径后,查 t 值。

9.2 防火板保护

9.2.1 防火板品种的选用、构造和安装要求均可按现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 的规定执行。

附录 A 各种截面的形常数

表 A 各种截面形常数表

截面形式		截面面积	截面惯性矩	参数说明
圆形	钢管混凝土	$A_{sc} = \pi r^2$	$I_{sc} = \pi r^4 / 4$	r 为半径 t 为钢管厚度
	混凝土	$A_c = \pi(r-t)^2$	$I_c = \pi(r-t)^4 / 4$	
	钢管	$A_s = A_{sc} - A_c$	$I_s = I_{sc} - I_c$	
四边形	钢管混凝土	$A_{sc} = a^2$	$I_{sc} = a^4 / 12$	a 为边长 t 为钢管厚度
	混凝土	$A_c = (a-2t)^2$	$I_c = (a-2t)^4 / 12$	
	钢管	$A_s = A_{sc} - A_c$	$I_s = I_{sc} - I_c$	
八边形	钢管混凝土	$A_{sc} = 4.8284a^2$	$I_{sc} = 1.8552a^4$	a 为边长 t 为钢管厚度, $r = 1.2071a$ 为形心至边的垂直距离
	混凝土	$A_c = 3.3137(r-t)^2$	$I_c = 1.2732(r-t)^4$	
	钢管	$A_s = A_{sc} - A_c$	$I_s = I_{sc} - I_c$	

注:1 十六边形截面根据等效圆截面原理计算:已知边长 a 和钢管厚度 t ,则形心至边的垂直距离 $r = 2.5137a$,形心至钢材内壁的垂直距离 $r_1 = r - t$,由此,得等效圆截面的半径 $R = 2.53a$;等效圆截面钢管的内半径 $R_{i1} = 1.0065(2.5137a - t)$,等效圆截面钢管的厚度 $t_s = R - R_{i1}$;

2 空心截面:空心部分的半径 r_0 ,空心部分的面积 $A_0 = \pi r_0^2$,空心部分的惯性矩 $I_0 = \pi r_0^4 / 4$,由此可计算各种截面的混凝土部分的面积和惯性矩。

附录 B 组合强度设计值、 剪变模量和换算系数

表 B-1 (第一组钢材)圆形和十六边形截面的
抗压强度设计值 f_b (N/mm²)

钢材	混凝土	$\alpha_0 = 0.01$	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28
Q235	C30	21.9	27.7	30.4	33.1	35.8	38.3	40.8	43.3	45.6	47.9	50.2	51.8
	C40	31.3	34.1	36.8	39.4	42.0	44.5	47.0	49.4	51.7	53.9	56.2	60.3
	C50	36.6	39.4	42.1	44.7	47.3	49.7	52.2	54.6	56.9	59.1	61.3	65.3
	C60	42.4	45.2	47.9	50.5	53.1	55.6	58.0	60.4	62.6	64.8	66.9	71.0
	C70	48.2	50.9	53.7	56.3	58.8	61.3	63.7	66.0	68.3	70.4	72.5	76.5
	C80	53.6	56.4	59.1	61.7	64.3	66.7	69.1	71.4	73.7	75.8	77.9	81.9
Q345	C30	28.0	32.2	36.4	40.4	44.3	47.9	51.6	55.1	58.5	61.7	64.8	70.7
	C40	34.3	38.5	42.7	46.6	50.4	54.0	57.6	61.0	64.2	67.3	70.3	75.8
	C50	39.7	43.8	47.9	51.8	55.6	59.2	62.7	66.0	69.2	72.2	75.1	80.1
	C60	45.5	49.7	53.8	57.6	61.4	64.9	68.4	71.7	74.8	77.7	80.6	85.8
	C70	51.2	55.3	59.4	63.3	67.1	70.6	74.0	77.3	80.4	83.3	86.1	91.1
	C80	56.7	60.8	64.9	68.7	72.5	75.9	79.1	82.4	85.7	88.5	91.3	96.1
Q390	C30	29.4	34.2	39.0	43.7	48.0	52.2	56.4	60.3	64.1	67.7	71.1	77.5
	C40	35.7	40.5	45.3	49.7	54.1	58.2	62.2	66.0	69.6	72.9	76.3	82.2
	C50	41.1	45.8	50.5	54.9	59.3	63.3	67.3	71.0	74.5	77.8	81.0	86.7
	C60	46.9	51.7	56.4	60.7	65.0	68.9	72.9	76.6	80.0	83.2	86.4	91.9
	C70	52.6	57.4	62.1	66.4	70.7	74.6	78.5	82.1	85.5	88.7	91.8	97.2
	C80	58.4	62.8	67.5	71.8	76.1	80.0	83.9	87.5	90.8	93.9	97.0	102.3
Q420	C30	30.4	35.7	40.8	45.7	50.4	54.8	59.0	63.0	66.8	70.4	73.7	79.7
	C40	36.7	42.0	47.0	51.8	56.4	60.7	64.8	68.6	72.2	75.6	78.7	84.2
	C50	42.0	47.3	52.3	57.0	61.5	65.8	69.8	73.5	77.0	80.3	83.2	88.5
	C60	47.9	53.1	58.1	62.8	67.3	71.5	75.4	79.1	82.7	85.7	88.6	93.6
	C70	53.6	58.8	63.8	68.5	72.9	77.1	81.0	84.6	88.0	91.1	93.9	98.8
	C80	59.1	64.3	69.2	73.9	78.3	82.4	86.3	89.9	93.2	96.3	99.1	103.9

注:第一组钢材是指钢材厚度 $t \leq 16\text{mm}$,第二组钢材 $t > 16 \sim 40\text{mm}$ (Q235), 和 $t > 16 \sim 35\text{mm}$ (Q345, Q390, Q420);第三组钢材 $t > 40 \sim 60$ (Q235) 和 $t > 35 \sim 50\text{mm}$ (Q345, Q390, Q420);以下同。

表 B-2 (第一组钢材)八边形截面的
抗压强度设计值 f_n (N/mm²)

钢材	混凝土	$\alpha_F=0.04$	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28
Q235	C30	22.2	23.5	25.3	26.7	28.2	29.7	31.2	32.6	34.0	35.4	36.8	39.6
	C40	28.6	30.1	31.6	33.1	34.6	36.1	37.5	38.9	40.3	41.7	43.1	45.7
	C50	33.9	35.5	37.0	38.5	39.9	41.4	42.8	44.2	45.6	46.9	48.3	50.9
	C60	39.8	41.3	42.8	44.3	45.8	47.2	48.6	50.0	51.4	52.8	54.1	56.7
	C70	45.5	47.0	48.5	50.0	51.5	52.9	54.3	55.7	57.1	58.5	59.8	62.1
	C80	51.0	52.5	54.0	55.5	56.9	58.4	59.8	61.2	62.5	63.9	65.2	67.8
Q315	C30	25.9	26.4	28.6	30.9	33.1	35.3	37.5	39.6	41.8	43.9	45.9	49.9
	C40	30.5	32.6	34.9	37.2	39.4	41.6	43.7	45.8	47.9	49.9	51.9	55.8
	C50	35.6	37.9	40.2	42.5	44.7	46.9	49.0	51.1	53.1	55.1	57.1	60.9
	C60	41.5	43.8	46.1	48.3	50.5	52.7	54.8	56.8	58.9	60.9	62.8	66.5
	C70	47.2	49.5	51.8	54.0	56.2	58.4	60.5	62.5	64.5	66.5	68.1	72.1
	C80	52.6	54.9	57.3	59.5	61.7	63.8	65.9	67.9	69.9	71.9	73.8	77.5
Q390	C30	24.6	27.3	30.0	32.7	35.3	37.8	40.3	42.8	45.2	47.5	49.9	54.1
	C40	31.0	33.7	36.4	38.9	41.5	44.0	46.5	48.9	51.3	53.6	55.8	60.2
	C50	36.4	39.1	41.7	44.2	46.8	49.2	51.7	54.1	56.4	58.7	60.9	65.2
	C60	42.2	44.9	47.5	50.0	52.6	55.1	57.5	59.9	62.2	64.4	66.6	70.8
	C70	47.9	50.6	53.3	55.8	58.3	60.8	63.2	65.5	67.8	70.0	72.2	76.4
	C80	53.4	56.1	58.7	61.2	63.8	66.2	68.6	70.9	73.2	75.4	77.6	81.7
Q420	C30	25.2	28.2	31.1	34.0	36.8	39.5	42.2	44.8	47.4	49.9	52.3	57.0
	C40	31.6	34.5	37.4	40.3	43.0	45.7	48.3	50.9	53.4	55.8	58.1	62.7
	C50	36.9	39.9	42.7	45.5	48.3	50.9	53.5	56.1	58.5	60.9	63.2	67.6
	C60	42.8	45.7	48.6	51.4	54.1	56.7	59.3	61.8	64.2	66.6	68.9	73.2
	C70	48.5	51.4	54.3	57.1	59.8	62.4	65.0	67.5	69.9	72.2	74.4	78.7
	C80	54.0	56.9	59.7	62.5	65.2	67.8	70.4	72.9	75.2	77.6	79.8	84.0

表 B-3 (第一组钢材)四边形截面的
抗压强度设计值 f_b (N/mm²)

钢材	混凝土	$\alpha_0 = 0.04$	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28
Q235	C30	21.2	22.3	23.4	24.5	25.5	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	33.6
	C40	27.6	28.7	29.8	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	39.8
	C50	33.0	34.1	35.1	36.2	37.2	38.2	39.2	40.2	41.2	42.2	43.2	45.1
	C60	38.8	39.9	41.0	42.1	43.1	44.1	45.1	46.1	47.1	48.1	49.0	50.9
	C70	44.6	45.7	46.7	47.8	48.8	49.8	50.8	51.8	52.8	53.8	54.7	56.6
	C80	50.0	51.1	52.2	53.2	54.2	55.3	56.3	57.3	58.3	59.3	60.2	62.1
Q345	C30	22.4	24.1	25.7	27.3	28.9	30.5	32.1	33.6	35.1	36.6	38.1	41.0
	C40	28.8	30.5	32.1	33.7	35.3	36.9	38.4	39.9	41.4	42.9	44.3	47.1
	C50	34.2	35.8	37.4	39.0	40.6	42.2	43.7	45.2	46.6	48.1	49.5	52.3
	C60	40.0	41.7	43.3	44.9	46.4	48.0	49.5	51.0	52.5	53.9	55.3	58.1
	C70	45.7	47.4	49.0	50.6	52.2	53.7	55.2	56.7	58.1	59.5	61.0	63.7
	C80	51.2	52.8	54.5	56.1	57.6	59.1	60.6	62.1	63.6	65.0	66.4	69.1
Q390	C30	23.0	24.9	26.8	28.7	30.5	32.3	34.1	35.8	37.6	39.3	41.0	44.3
	C40	29.4	31.3	33.1	35.0	36.8	38.6	40.4	42.1	43.8	45.5	47.1	50.4
	C50	34.7	36.6	38.5	40.3	42.1	43.9	45.6	47.4	49.0	50.7	52.3	55.5
	C60	40.5	42.4	44.3	46.1	47.9	49.7	51.5	53.2	54.8	56.5	58.1	61.2
	C70	46.3	48.2	50.0	51.9	53.7	55.5	57.2	58.9	60.5	62.2	63.8	66.9
	C80	51.7	53.6	55.5	57.3	59.1	60.9	62.6	64.3	66.0	67.6	69.2	72.3
Q420	C30	23.4	25.5	27.5	29.6	31.6	33.5	35.4	37.3	39.2	41.0	42.8	46.3
	C40	29.8	31.8	33.9	35.9	37.9	39.8	41.7	43.6	45.4	47.2	48.9	52.3
	C50	35.1	37.2	39.2	41.2	43.2	45.1	47.0	48.8	50.6	52.4	54.1	57.4
	C60	40.9	43.0	45.1	47.1	49.0	50.9	52.8	54.6	56.4	58.1	59.8	63.1
	C70	46.7	48.7	50.8	52.8	54.7	56.6	58.5	60.3	62.1	63.8	65.5	68.7
	C80	52.1	54.2	56.2	58.2	60.2	62.1	63.9	65.7	67.5	69.2	70.9	74.1

表 B-4 各种截面和钢材组别的抗压强度
设计值换算系数 k_b 值

构件种类和钢材组别	钢 号	C30, C40, C50	C60, C70, C80
圆形和十六边形, 第二组钢材	Q235	0.98	0.99
	Q345, Q390, Q420	0.97	0.98
圆形和十六边形, 第三组钢材	Q235	0.97	0.98
	Q345	0.92	0.93
	Q390	0.93	0.94
	Q420	0.94	0.95
八边形和四边形, 第二组钢材	Q235, Q345, Q390	0.98	0.99
八边形和四边形, 第二组钢材	Q420	0.95	0.96
八边形,第三组钢材	Q235	0.97	0.98
	Q345	0.94	0.95
	Q420	0.92	0.93
四边形,第三组钢材	Q235	0.98	0.99
	Q345	0.95	0.97
	Q420	0.96	0.97
八边形和四边形, 第三组钢材	Q390	0.96	0.97

表 B-5 各组钢材和各种含钢率时的
换算系数 k 值

钢材	混凝土	$a_0 = 0.06$	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28
Q235	C30	0.377	0.395	0.409	0.421	0.430	0.442	0.452	0.462	0.471	0.481	0.490	0.499
	C40	0.361	0.381	0.397	0.406	0.416	0.426	0.436	0.446	0.455	0.464	0.473	0.481
	C50	0.355	0.372	0.385	0.396	0.407	0.416	0.426	0.435	0.444	0.453	0.461	0.470
	C60	0.348	0.364	0.376	0.388	0.398	0.407	0.417	0.426	0.434	0.443	0.451	0.460
	C70	0.343	0.358	0.370	0.381	0.391	0.400	0.409	0.418	0.427	0.435	0.443	0.452
	C80	0.336	0.352	0.364	0.375	0.384	0.394	0.403	0.412	0.420	0.428	0.436	0.445
Q345	C30	0.395	0.411	0.428	0.440	0.452	0.463	0.473	0.484	0.493	0.503	0.513	0.522
	C40	0.381	0.399	0.412	0.425	0.436	0.446	0.457	0.466	0.476	0.485	0.495	0.504
	C50	0.372	0.390	0.403	0.415	0.426	0.436	0.446	0.455	0.465	0.474	0.483	0.492
	C60	0.364	0.381	0.394	0.406	0.416	0.427	0.436	0.446	0.455	0.464	0.473	0.481
	C70	0.357	0.374	0.387	0.398	0.409	0.419	0.428	0.438	0.447	0.455	0.464	0.473
	C80	0.352	0.369	0.381	0.392	0.403	0.413	0.422	0.431	0.440	0.449	0.457	0.466
Q390	C30	0.401	0.420	0.431	0.447	0.459	0.470	0.481	0.491	0.501	0.511	0.521	0.530
	C40	0.388	0.405	0.419	0.431	0.443	0.453	0.464	0.474	0.483	0.493	0.502	0.512
	C50	0.377	0.395	0.409	0.421	0.432	0.443	0.453	0.462	0.472	0.481	0.490	0.500
	C60	0.369	0.387	0.400	0.412	0.423	0.433	0.443	0.453	0.462	0.471	0.480	0.489
	C70	0.363	0.380	0.393	0.405	0.415	0.425	0.435	0.444	0.453	0.462	0.471	0.480
	C80	0.357	0.374	0.387	0.398	0.409	0.419	0.428	0.438	0.446	0.455	0.464	0.473
Q420	C30	0.403	0.424	0.439	0.452	0.464	0.475	0.486	0.496	0.507	0.518	0.526	0.536
	C40	0.391	0.409	0.423	0.436	0.447	0.458	0.468	0.478	0.488	0.498	0.507	0.517
	C50	0.382	0.400	0.413	0.425	0.437	0.447	0.457	0.467	0.477	0.486	0.495	0.505
	C60	0.375	0.391	0.408	0.420	0.431	0.442	0.452	0.461	0.471	0.480	0.490	0.499
	C70	0.367	0.384	0.397	0.409	0.420	0.430	0.439	0.449	0.458	0.467	0.476	0.485
	C80	0.360	0.378	0.391	0.403	0.413	0.423	0.433	0.442	0.451	0.460	0.469	0.478

表 B-6 (第一组钢材)圆形和十六边形的
剪变模量 G_s (N/mm²)

钢材	混凝土	$a_s = 0.06$	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28
Q235	C30	9182	10394	11560	12725	13889	15050	16219	17394	19766	22170
	C40	10885	12138	13313	14488	15645	16802	17957	19115	21440	23783
	C50	12267	13560	14752	15944	17108	18271	19428	20581	22901	25227
	C60	13732	15073	16289	17505	18682	19859	21024	22187	24510	26838
	C70	15337	16527	17769	19011	20205	21399	22578	23751	26092	28433
	C80	16441	17878	19147	20416	21629	22842	24035	25222	27586	29947
Q345	C30	8165	9776	11024	12272	13481	14696	15884	17058	19359	21596
	C40	9789	11104	12328	13552	14725	15899	17041	18163	20350	22157
	C50	10877	12206	13423	14640	15797	16954	18074	19173	21303	23351
	C60	13162	13390	14607	15852	16973	18121	19228	20311	22408	24112
	C70	14208	14536	15759	16982	18127	19272	20373	21448	23523	25503
	C80	15208	15608	16835	18070	19216	20362	21461	22532	24597	26563
Q390	C30	9477	9583	10800	12016	13158	14299	15387	16441	18440	20295
	C40	10473	10777	11954	13131	14219	15308	16337	17326	19188	20893
	C50	11542	11775	12933	14091	15153	16214	17211	18167	19956	21583
	C60	12574	12851	13998	15144	16186	17228	18201	19131	20865	22432
	C70	13540	13896	15038	16179	17208	18236	19192	20105	21799	23321
	C80	14352	14876	16016	17155	18175	19195	20140	21040	22706	24200
Q420	C30	8151	9452	10626	11800	12865	13930	14917	15851	17563	19065
	C40	9286	10563	11687	12811	13815	14818	15737	16601	18163	19507
	C50	10228	11196	12591	13691	14661	15630	16511	17335	18814	20071
	C60	11237	12506	13584	14662	15604	16546	17397	18189	19600	20787
	C70	12216	13489	14553	15618	16540	17462	18289	19057	20417	21550
	C80	13131	14411	15467	16523	17420	18337	19147	19895	21216	22306

表 B-7 (第一组钢材)八边形的
剪变模量 G_b (N/mm²)

钢材	混凝土	$\alpha_0 = 0.06$	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28
Q235	C30	8075	8887	9641	10395	11144	11893	12650	13414	14973	16579
	C40	9848	10709	11497	12286	13057	13827	14599	15375	16952	18566
	C50	11253	12181	13002	13822	14615	15408	16198	16991	18596	20233
	C60	12750	13738	14595	15452	16272	17092	17906	18720	20362	22033
	C70	14181	15228	16122	17015	17864	18712	19550	20387	22071	23780
	C80	15507	16609	17538	18467	19343	20219	21081	21941	23666	25415
Q345	C30	7093	7923	8702	9480	10245	11010	11773	12537	14070	15613
	C40	8489	9950	10135	10919	11678	12438	13189	13938	15433	16929
	C50	9621	10513	11308	12103	12866	13628	14378	15123	16606	18085
	C60	10823	11750	12561	13372	14141	14910	15663	16410	17891	19363
	C70	11977	12940	13769	14597	15376	16154	16913	17665	19151	20624
	C80	13549	14047	14894	15740	16529	17319	18086	18843	20339	21818
Q390	C30	6808	7620	8366	9112	9826	10539	11235	11921	13263	14568
	C40	8092	8919	9657	10394	11088	11782	12453	13111	14391	15625
	C50	9136	9982	10719	11456	12143	12829	13488	14132	15379	16576
	C60	10246	11115	11857	12598	13280	13962	14613	15248	16471	17640
	C70	11312	12206	12955	13703	14384	15065	15712	16341	17549	18699
	C80	12306	13224	13980	14736	15418	16100	16746	17371	18569	19706
Q445	C30	6629	7417	8121	8824	9475	10126	10742	11338	12464	13506
	C40	7844	8637	9323	10009	10627	11254	11837	12397	13446	14404
	C50	8834	9638	10316	10994	11602	12209	12774	13313	14317	15226
	C60	9888	10706	11381	12055	12651	13247	13796	14319	15286	16154
	C70	10902	11737	12411	13084	13672	14259	14798	15307	16246	17081
	C80	11846	12698	13373	14047	14630	15212	15742	16241	17156	17966

表 B-8 (第一组钢材)四边形的
剪变模量 G_h (N/mm²)

钢材	混凝土	$\alpha_0=0.06$	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28
Q235	C30	7679	8344	8941	9537	10120	10702	11285	11873	13067	14293
	C40	9460	10195	10834	11473	12087	12700	13310	13921	15157	16418
	C50	10890	11684	12361	13037	13679	14322	14957	15591	16869	18169
	C60	12399	13257	13975	14693	15368	16042	16705	17367	18695	20041
	C70	13839	14759	15518	16277	16984	17691	18383	19072	20452	21847
	C80	15172	16150	16948	17745	18483	19221	19941	20657	22086	23529
Q345	C30	6596	7245	7835	8424	8996	9567	10134	10700	11833	12971
	C40	8017	8707	9314	9920	10498	11076	11644	12209	13333	14457
	C50	9165	9891	10516	11140	11727	12315	12890	13459	14589	15713
	C60	10381	11148	11794	12439	13040	13641	14225	14803	15945	17078
	C70	11547	12354	13000	13688	14304	14920	15516	16103	17261	18407
	C80	12628	13474	14163	14852	15483	16113	16720	17318	18495	19655
Q390	C30	6277	6898	7451	8003	8525	9046	9511	10048	11018	11959
	C40	7582	8234	8790	9346	9860	10374	10868	11351	12287	13188
	C50	8648	9320	9883	10445	10959	11472	11962	12439	13359	14240
	C60	9772	10473	11046	11619	12135	12650	13139	13612	14523	15391
	C70	10852	11582	12166	12749	13270	13790	14279	14752	15658	16517
	C80	11853	12612	13208	13804	14329	14854	15346	15820	16724	17578
Q420	C30	6083	6680	7198	7715	8189	8662	9110	9541	10359	11118
	C40	7326	7938	8449	8960	9418	9875	10302	10711	11477	12179
	C50	8333	8962	9473	9983	10432	10881	11297	11692	12429	13096
	C60	9402	10052	10564	11076	11520	11963	12370	12755	13466	14104
	C70	10429	11099	11615	12131	12572	13012	13411	13788	14480	15095
	C80	11383	12074	12595	13116	13555	13993	14387	14758	15434	16030

表 B-9 第二和第三组钢材,
剪变模量换算系数值 k_G

截面和钢材组别	$\alpha_0 = 0.04 \sim 0.15$				$\alpha_0 = 0.16 \sim 0.28$			
	Q235	Q345	Q390	Q420	Q235	Q345	Q390	Q420
圆形和十六边形, 二组	1.01				1.02			
八边形, 二组	1.02				1.03			
四边形, 二组	1.03				1.03			
圆形和十六边形, 三组	1.04				1.00	1.03	1.06	1.08
八边形, 三组	1.04				1.02	1.04	1.06	1.08
四边形, 三组	1.05				1.03	1.05	1.07	1.07

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词用“必须”,反面词用“严禁”。

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词用“应”,反面词用“不应”。

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时应这样做的:

正面词用“宜”或“可”,反面词用“不宜”。

2 本规程中指明应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……要求(或规定)”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时,写法为“可参照……执行”。

引用标准目录

- 《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
- 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB 50068
- 《建筑结构术语和符号标准》 GB/T 50083
- 《混凝土强度检验评定标准》 GBJ 107
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 《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
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 技术条件》 GB/T
3633
- 《焊接结构用耐候钢》 GB/T 4172
- 《环形混凝土电杆》 GB/T 4623
- 《碳钢焊条》 GB/T 5117
- 《低合金钢焊条》 GB/T 5118

《六角头螺栓—C级》 GB/T 5780

《六角头螺栓—A级和B级》 GB/T 5782

《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》 GB/T 8110

《金属件和其他无机覆盖层—热喷镀锌、及其合金》 GB/T

9793

《圆柱头焊钉》 GB/T 10433

《金属件覆盖层、钢铁制品热镀锌层技术要求》 GB/T 13912

《热喷涂—热喷涂结构的质量要求》 GB/T 19352

《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3

《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55

《建筑钢结构焊接技术规程》 JGJ 81

《建筑桩基技术规范》 JGJ 94

《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99

《架空送电线路杆塔结构技术设计规定》 DL/T 5154

《变电所建筑结构设计技术规定》 NDGJ 96

《建筑钢结构防火技术规范》 CECS 200

中国工程建设协会标准

空心钢管混凝土结构
技术规程

CECS 254 : 2009

条文说明

目 次

1 总 则	(79)
3 材 料	(80)
3.1 钢材	(80)
3.2 混凝土	(80)
3.3 连接材料	(80)
4 设计基本规定	(81)
4.1 一般规定	(81)
4.2 构件的容许长细比	(81)
5 结构类型和结构设计原则	(82)
5.1 结构类型与布置	(82)
5.2 结构设计原则	(82)
6 承重构件设计和刚度计算	(86)
6.1 单肢柱的承载力与刚度计算	(86)
6.2 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的承载力计算	(98)
6.3 空心钢管混凝土构件在复杂应力状态下的承载力计算	(99)
6.4 单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力计算	(101)
7 构造要求和节点设计	(102)
7.1 一般规定	(102)
7.2 结构构件	(103)
7.3 现场安装连接	(105)
7.4 梁柱连接节点	(107)
7.5 柱和基础的连接	(108)
7.6 空心钢管混凝土桩	(109)
8 空心钢管混凝土构件的加工制作与施工	(111)

8.1	钢管的加工制作	(111)
8.2	空心钢管混凝土构件的防腐涂装	(112)
8.3	混凝土采用离心法成型的技术要求	(113)
8.4	空心钢管混凝土构件的检验、标志和保管	(114)
8.5	空心钢管混凝土结构的施工	(114)
9	防 火	(116)
9.1	防火涂层保护	(116)
9.2	防火板保护	(117)

1 总 则

1.0.1~1.0.5 空心钢管混凝土是 20 世纪 80 年代在电力工业中的送变电塔架中采用的一种新型构件。工厂制造,现场安装,施工特别方便。且比全钢塔架省钢,经济效果明显。因而,得到了广泛的采用。

开始时采用的只是圆形截面。随着工业发展和使用范围的不断扩大,空心钢管混凝土构件已应用于中型工业厂房中。同时,除圆形截面外,又出现了正方形、八边形和十六边形等截面形式。为了适应发展形势的需要,特组织制定本规程。

空心钢管混凝土构件不但适用于杆塔结构、工业厂房与民用建筑中,也适用于基础桩。

在多高层房屋中,采用空心钢管混凝土柱,避免了现场浇灌混凝土,既有利于环境保护,又减轻了结构自重,还可利用柱子中部的空心部分,用作设备管线的通道。因而是一种很有发展前途的新型结构。

本规程中的很多参数,如材料和连接的强度等,都引用了国家现行有关标准的规定,因此,除本规程有明确的规定外,设计时还必须遵守国家现行有关的标准。

3 材 料

3.1 钢 材

3.1.1 空心钢管混凝土构件都用于房屋和构架中的柱子,不直接承受动力荷载,因而对钢材的选用,只提出 B 级和 C 级的要求。

对于露天采用的钢管混凝土构件,或在腐蚀性强的环境下的钢管混凝土构件,可采用耐候钢和高性能耐火耐候建筑用钢。

3.1.2 钢管混凝土柱的钢管除纵向受压外,同时承受环向拉力作用。因此,要求采用熔透的等强度对接焊缝。质量保证的螺旋焊接管是比较经济合理的选择。

无缝钢管都为厚壁管,而且价格高,不经济。只有石油工业中不合格品或废钢管,才可加以利用。

3.1.3 空心钢管混凝土构件所用钢板的厚度一般不超过 50mm,因而在以下计算章节中,只提出三种钢材厚度的强度设计值。

3.2 混凝土

3.2.1 考虑到混凝土与钢材的合理匹配,以及保证质量,提出了混凝土强度等级不低于 C30 的要求。

3.3 连接材料

3.3.1~3.3.4 根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定确定的。

4 设计基本规定

4.1 一般规定

4.1.3 钢管外径(圆管的直径,多边形和正方形时,是外接圆的直径)不小于 168mm,和变截面杆小端外径不宜小于 130mm 的规定,是采用离心法生产管柱时离心机的要求,也可减小冷弯成型时冷作硬化效应。管壁 3mm 是保证焊接质量的要求。

圆形和十六边形的 D/t 的规定是管壁局部稳定的要求,是基于空钢管轴心受压时分析的结果;对于管内存在混凝土的情况是偏于安全的。八边形和四边形的 B/t 的规定是参考澳大利亚标准 AS 4100 的规定制定的,是针对四边形钢管混凝土轴压构件的研究结果。

当 D/t 和 B/t 符合上列要求时,管壁局部稳定能保证。

4.1.4 空心率过小时,离心法生产时因离心力不大,混凝土的质量较难保证;根据生产经验,限定空心率不宜小于 0.25。

空心率过大时,管内混凝土过薄,对保证钢管的局部稳定不利,因而限定空心率不宜大于 0.75。

4.2 构件的容许长细比

4.2.1 构件的容许长细比的规定是参照房屋设计和送变电塔架设计的规定采用的。

5 结构类型和结构设计原则

5.1 结构类型与布置

5.1.1 条文明确了本规程空心钢管混凝土结构所包括的 6 种结构类型。

5.1.2 由于空心钢管混凝土构件为预制构件,在多、高层工业与民用建筑采用空心钢管混凝土结构时,框架梁采用钢梁有利于现场整体吊拼装和机械化施工,且梁柱节点简单可靠。因此,本条优先推荐框架梁采用钢梁。楼板宜采用现浇钢筋混凝土组合楼板。

5.1.3 空心钢管混凝土结构也应符合建筑结构概念设计原则,宜采用简单规则结构,即体型规则、结构平面与竖向布置均匀、结构刚度、承载力和质量分布均匀、对称,并具有良好的抗扭刚度和多道防线等。具体可参照现行国家标准《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》JGJ 99 中有关结构布置的有关规定。

5.2 结构设计原则

5.2.1 与任何类型建筑结构一样,位于国家规定的抗震设防区域内的空心钢管混凝土结构或含有空心钢管混凝土构件的混合结构,均应按现行国家标准《建筑结构抗震设计规范》GB 50011 规定的设防要求进行抗震设计,其中的空心钢管混凝土构件尚应满足本规程有关的抗震措施要求。

5.2.2 空心钢管混凝土构件轴心受压时的破坏均为脆性破坏, $N-\varepsilon$ 全过程曲线中,塑性段随空心率增大及套箍系数减小而缩短,延性较实心钢管混凝土构件差,但优于钢筋混凝土构件。考虑该

构件为工厂预制,施工需现场吊拼装以及工业与民用建筑应用经验不多等因素,本规程最大适用高度暂控制在 A 级钢筋混凝土高层建筑以下水平,相应最大空心钢管混凝土构件的截面尺寸可控制在 1m 以下(直径或边长),满足现有离心生产能力及现场吊拼装施工能力的要求。虽然理论上可以更高些,但就目前现实情况看,超高层建筑结构还是采用现浇实心钢管混凝土构件有明显优势。

5.2.3 高宽比是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制,从目前大多数常规 A 级高层建筑来看,这一限制是各方面都可以接受的,也是比较经济合理的。

5.2.4 空心钢管混凝土构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 是参照钢—混凝土组合构件系数制定的。

5.2.5 空心钢管混凝土结构构件抗震等级是参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的抗震等级划分及《高层建筑组合结构框架梁柱节点分析与设计》(人民交通出版社,钟善桐、白国良主编)中的钢管混凝土结构抗震等级划分综合考虑制定的,钢梁、钢支撑等钢构件则未划分抗震等级。

5.2.6 鉴于空心钢管混凝土构件轴心受压时的脆性破坏形态,这种构件应用于高层建筑结构时,规程应采取必要的保证构件延性及抗震性能的措施。大量实验研究表明:空心率是影响构件延性的重要指标,空心率越大,延性就越差,要求空心率不大于表 5.2.6 限值,就是为了延缓构件的脆性破坏,满足构件不同抗震等级的不同延性要求。

5.2.7 基于空心钢管混凝土构件轴心受压时的破坏形态,抗震设计时,限制空心钢管混凝土柱的轴压比也是为了保证柱的延性要求之一;对不同结构体系中的柱提出了不同的轴压比限值。

5.2.8 在多遇地震下,钢结构阻尼比 0.02,钢筋混凝土阻尼比 0.05。钢管混凝土结构一般取 0.035。本规程因此取空心钢管混凝土框架及框架—钢支撑结构阻尼比 0.03,对空心钢管混凝土框

架—钢筋混凝土墙(筒)混合结构阻尼比取 0.04,与现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 取值相同。当有可靠依据时,具体结构也可依据实际情况确定。

5.2.9 结构设计时,对结构内力、位移进行分析以及抗风、抗震验算都是在弹性范围内。可视主要抗侧力结构类型,分别参照高层钢结构或钢筋混凝土结构计算的一般原理及基本假设进行计算。

抗风及抗震验算包括下列内容:①风荷载计算;②地震作用计算;③侧向变形控制;④风振控制。其中除①项外,均与结构类型有关。关于第①项,两本现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的风荷载计算均遵循现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。

关于第②项,钢结构与混凝土结构阻尼比取值不同,设计反应谱也有所不同。

关于第③项,由于钢结构刚度小而延性好,允许侧向变形较大,而钢筋混凝土结构及空心钢管混凝土结构呈脆性破坏形态,虽然经过合理设计可成为延性结构,但其延性比钢结构要差。还由于混凝土构件裂缝控制等要求,对钢筋混凝土结构的侧向变形控制比钢结构更严。

关于第④项,高层钢结构较柔而变形大,风振可能引起不利反应。现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 要求风荷载作用下顶点最大加速度等进行验算及控制。

本规程提出,混合结构由主要抗侧力结构类型确定按哪本规程进行②、③、④项设计,这里没有给出定量界限,要求结构工程师从概念上、对抗侧力结构性能判断上进行分析,有充分依据时,允许对结构侧移限值作少许变动。一般可认为:空心钢管混凝土框架—钢支撑体系主要抗侧力构件为钢结构,空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙(筒)体系主要抗侧力构件为钢筋混凝土结构。

5.2.10 在空心钢管混凝土框架—钢筋混凝土剪力墙(筒)混合结

构体系中,由于钢筋混凝土墙(筒)抗侧刚度较空心钢管混凝土框架大很多,因而承担绝大部分地震作用,当钢筋混凝土墙开裂,地震作用在抗震墙与框架之间会实行再分配,空心钢管混凝土框架地震力会增加,因而需对空心钢管混凝土框架承受的地震力作更严格要求。这一规定体现了二道设防原则,是抗震设计的重要要求,可通过框架部分楼层剪力调整系数来实现。

5.2.11 本条采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中钢筋混凝土框架角柱的相应规定。

5.2.12 本规程层间位移 $\Delta u/h$ 的控制指标是参照比较钢结构及钢筋混凝土结构层间位移角限值后综合确定的。例:钢筋混凝土结构框架 $\Delta u/h$ 限值 1/550,钢结构 1/400。考虑空心钢管混凝土构件延性更接近钢筋混凝土构件但优于钢筋混凝土构件,因此,取空心钢管混凝土框架 $\Delta u/h$ 限值 1/500,框架—钢支撑结构则更接近于钢结构取 $\Delta u/h$ 限值 1/450。

5.2.13 弹塑性层间位移角限值与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定相同。

5.2.14 外围框架采用梁柱刚接,能提高外围框架的刚度及抵抗水平荷载的能力,也体现二道防线要求。

5.2.15 鉴于日本阪神地震关于非埋入式柱脚,特别是在地面以上的非埋入式柱脚在地震中容易破坏的经验教训,本规程规定,空心钢管混凝土柱宜采用埋入式柱脚,也可采用外包式柱脚;无地下室时应采用埋入式柱脚。在刚度较大的地下室范围内,当有可靠措施时,也可采用其他形式柱脚。

6 承重构件设计和刚度计算

6.1 单肢柱的承载力与刚度计算

6.1.1 单肢柱轴心受压时的承载力:

1 关于抗压强度设计值

1993 年原哈尔滨建筑工程学院(现哈尔滨工业大学土木工程学院)首次采用有限元法求得实心钢管混凝土轴压构件轴向压力与纵向应变的全过程曲线。确定曲线由弹塑性阶段终点进入强化阶段时为构件的抗压强度标准值,无强化阶段而极值破坏时,则以极值点的平均应力为构件的抗压强度标准值(f_k)。经分析,对各种钢材和混凝土,以及不同含钢率,如有弹塑性阶段和强化阶段时,该点均在纵向压应变约为 $3000\mu\epsilon$ 处。如无强化阶段而为极值破坏时,则在 $3000\mu\epsilon$ 前破坏。空心钢管混凝土构件也相同,由此求得空心钢管混凝土轴心受压时的抗压强度设计值,见图 1。

$$f_k = (1.212 + Bk_0\theta_{0.6} + Ck_0^2\theta_{0.6}^2)(1.1f_c) \quad (1)$$

空心钢管混凝土构件中的混凝土是采用离心法浇灌的,且用蒸汽养护,因而管中混凝土的抗压强度较高,偏于安全地提高 10%。 k_0 是套箍效应折减系数,圆形和十六边形 0.6,八边形 0.4,四边形 0.3;实心截面 $k_0=1.0$,且 f_c 也不乘 1.1。

公式中的系数 B 和 C,对不同截面形式取不同值,列入下表。

截 面 形 式	B	C
圆形和十六边形	$\frac{0.1759f_y}{235} + 0.971$	$\frac{0.1038 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0309$
八边形	$\frac{0.1401f_y}{235} + 0.7783$	$\frac{0.07 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0262$
四边形	$\frac{0.131f_y}{235} + 0.723$	$\frac{0.07 \times 1.1f_{ck}}{20.1} + 0.0262$

此公式同时适用于实心与空心钢管混凝土轴压构件,也适用于不同截面形式,如圆形、十六边形、八边形、四边形和矩形截面。规程附录 B 表 B-1, B-2, B-3 就是按上述公式计算得到的。当采用厚度 $t > 16\text{mm}$ 的第二和第三组钢材时,同样可算出抗压强度设计值,与表 B-1, B-2, B-3 中的值相比,得换算系数 k_b 值,列入本规程附录 B 表 B-4,可供设计者查用。

本规程公式(6.1.1-1)是按下列方法导得的简化式,供设计者需要手算时之用。

假设有一对应的圆形截面,其套箍系数为 $k_1 \theta_{h0}$, 它的抗压强度设计值为:

$$f_h = (1.212 + Bk_1 \theta_{h0} + Ck_1^2 \theta_{h0}^2)(1.1f_c) \quad (2)$$

令它等于本规程附录中表 B-1, B-2, B-3 中的抗压强度设计值 f_h , 由此而导得式中的系数 k_1 。列入下表。

截面形式	钢 材	C30~C70	C80
		$\alpha_0 = 0.04 \sim 0.20 \quad 0.21 \sim 0.28$	$\alpha_0 = 0.04 \sim 0.20 \quad 0.24 \sim 0.28$
圆形和十六边形	Q235	0.615	0.615 0.645
	Q345	0.60	0.63 0.73
	Q390	0.60	0.63 0.73
	Q420	0.60	0.63 0.73
八边形	Q235~Q420	0.32	0.32
四边形	Q235~Q420	0.225	0.225

为简化计,各种钢材各种混凝土统一取以下数值:圆形和十六边形 $k_1 = 0.6$, 八边形取 $k_1 = 0.32$, 四边形取 $k_1 = 0.225$ 。由上表可见,只有圆形和十六边形截面, Q345、Q390 和 Q420 钢材,且 C80 混凝土,和含钢率 $\alpha_0 = 0.24 \sim 0.28$ 的情况,偏于安全。其他情况,所得结果,和按公式(1)算得的结果完全一样。

k_1 可称为套箍效应折减系数,因参数 B 和 C 只用圆形截面的,简化了设计。这是采用统一理论获得的结果。也是可把各种

截面,无论是实心或空心,也无论是圆形、八边形、方形和矩形,可制定统一的规范的基础。

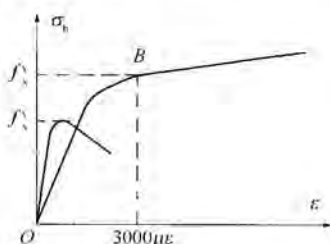
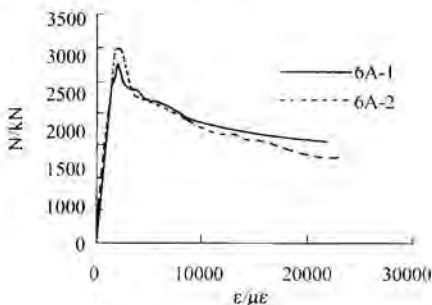


图1 轴心受压时的平均应力与纵向应变的关系全曲线及抗压强度标准值

2004年哈尔滨工业大学和徐国林高工合作,完成了大量空心钢管混凝土轴压构件的试验,证明了当空心率较大时,应力应变全过程曲线在应变小于 $3000\mu\epsilon$ 前出现峰值而破坏。图2所示试件6A-1和6A-2的套箍系数1.2464,空心率为0.511和0.510及6B-1和6B-2的套箍系数为1.869,空心率为0.387和0.386。它们的套箍系数虽都大于1,但由于存在空心,因而表现为脆性。

2004年的试验包括圆形、十六边形、八边形和正方形各种空心钢管混凝土构件,证明了本规程公式(6.1.1-1)的正确可用。同时也修正了公式中由于截面形状不同而紧箍效应不同的系数 k_1 值。使空心钢管混凝土构件和实心钢管混凝土构件的抗压强度值的计算公式统一起来。



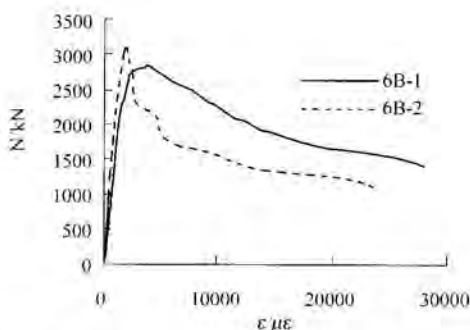


图2 空心钢管混凝土轴压破坏时的压力和应变曲线

2 关于构件的组合可靠度

对钢管混凝土构件进行了可靠度分析,提出了“组合可靠度指标分析法”。此法是按照构件中钢管和混凝土分别承担承载力的比例,求得构件的组合可靠度。此法忽略了钢管和混凝土之间的套箍效应,属于近似法。

设构件的含钢率为 α ,则钢管承担的部分内力为 αf_y

而混凝土承担的部分内力应为 $(1-\alpha)f_{ck}$

由此得钢管承担的部分内力的比例为:

$$A_1 = \alpha f_y / [\alpha f_y + (1-\alpha)f_{ck}]$$

混凝土承担的部分内力的比例为:

$$A_2 = (1-\alpha)f_{ck} / [\alpha f_y + (1-\alpha)f_{ck}]$$

钢管混凝土构件的组合可靠度指标应为:

$$\beta_0 = \beta_s A_1 + \beta_c A_2 = 3.2 A_1 + 3.7 A_2$$

式中 $\beta_s = 3.2$, $\beta_c = 3.7$ 分别是钢材和混凝土的可靠度指标。

分析结果:空心钢管混凝土构件的组合可靠度指标虽大于3.2,但却小于3.7。试验证明,空心构件轴心受压时,大都属于脆性破坏,其组合可靠度指标在现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 中并无规定。现按混凝土的要求,取 β_0 小于3.7时,将其强度设计值乘以可靠度修正系数,以保证构件的可靠

和安全。

$$k_2 = \frac{\beta_h}{3.7} = \frac{(3.2A_1 + 3.7A_2)}{3.7}$$

3 关于管内混凝土的徐变

利用有限元法计算出空心钢管混凝土构件中核心混凝土的自由徐变量、构件徐变量和核心混凝土的卸载徐变量。该有限元程序中相关的徐变参数设置是由已有混凝土试验数据得到,并经钢管混凝土构件受压试验验证是合理的。得到徐变量后,从徐变发生前后钢与混凝土切线模量的变化,引起的折算模量变化来分析计算构件的稳定承载能力的折减,得到徐变对空心钢管混凝土受压构件稳定承载力的影响,及与空心率、钢材型号、混凝土强度级别、恒载占设计荷载百分比以及长细比等因素的关系,计算出徐变后构件稳定承载力的影响系数 k_3 。

- 1) 考虑了混凝土强度和模量随龄期的增长而提高,及混凝土在蒸汽养护条件下强度和模量提高等有利因素,得到徐变影响系数。
- 2) 此结果是水灰比为 0.3 时的情况,其他情况也可借鉴。
- 3) 管内混凝土的徐变主要发生在 1~3 个月内,超过 6 个月变化很小,并在 1 年左右几乎完全停止。在外荷载作用下,由于管内混凝土发生徐变变形,产生内力重分布现象,导致钢管和管中混凝土应力的改变,二者的模量发生变化,因而使构件的稳定承载力发生变化,稳定承载力下降。对于偏压构件,只在小偏心率($e/r_0 \leq 0.3$)时,徐变对构件稳定承载力才有影响。此条规定可用于炉架柱和高层建筑的钢管混凝土柱的设计。此处 e 和 r_0 分别是荷载的偏心距和管柱的半径。

计算结果列入下表。

表 1 Q235 钢空心钢管混凝土徐变影响系数 k_c

Q235	空心率 0.3			空心率 0.5			空心率 0.75		
	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%
C30	$55 \leq \lambda \leq 85$	0.96	0.94	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.98	0.96	$35 \leq \lambda \leq 70$	1	1
	$85 \leq \lambda \leq 105$	0.89	0.83	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.91	0.85	$70 \leq \lambda \leq 105$	0.94	0.89
C40	$65 \leq \lambda \leq 85$	0.95	0.94	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.97	0.96	$40 \leq \lambda \leq 70$	1	1
	$85 \leq \lambda \leq 105$	0.85	0.81	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.87	0.83	$70 \leq \lambda \leq 105$	0.9	0.87
C50	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.94	0.93	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.96	0.95	$45 \leq \lambda \leq 75$	0.99	0.99
	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.8	0.76	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.82	0.78	$75 \leq \lambda \leq 105$	0.85	0.82
C60	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.93	0.92	$60 \leq \lambda \leq 85$	0.95	0.94	$50 \leq \lambda \leq 75$	0.98	0.98
	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.78	0.75	$85 \leq \lambda \leq 105$	0.8	0.77	$75 \leq \lambda \leq 105$	0.83	0.81
C70	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.93	0.91	$65 \leq \lambda \leq 85$	0.95	0.93	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.98	0.97
C80	$80 \leq \lambda \leq 105$	0.78	0.74	$85 \leq \lambda \leq 105$	0.8	0.76	$80 \leq \lambda \leq 100$	0.83	0.8

注:50%和70%指恒载占设计荷载的比例。

表 2 Q345 钢空心钢管混凝土徐变影响系数 k_c

Q345	空心率 0.3			空心率 0.5			空心率 0.75		
	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%
C30	$45 \leq \lambda \leq 70$	0.94	0.91	$40 \leq \lambda \leq 70$	0.96	0.93	$25 \leq \lambda \leq 55$	1	0.97
	$70 \leq \lambda \leq 90$	0.89	0.84	$70 \leq \lambda \leq 85$	0.91	0.86	$55 \leq \lambda \leq 90$	0.95	0.9
C40	$55 \leq \lambda \leq 75$	0.93	0.93	$45 \leq \lambda \leq 70$	0.95	0.95	$30 \leq \lambda \leq 60$	0.99	0.99
	$75 \leq \lambda \leq 90$	0.88	0.86	$70 \leq \lambda \leq 85$	0.9	0.88	$60 \leq \lambda \leq 90$	0.94	0.92
C50	$50 \leq \lambda \leq 70$	0.93	0.93	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.95	0.95	$35 \leq \lambda \leq 60$	0.99	0.99
	$70 \leq \lambda \leq 90$	0.81	0.78	$65 \leq \lambda \leq 85$	0.83	0.8	$60 \leq \lambda \leq 85$	0.87	0.84
C60	$50 \leq \lambda \leq 70$	0.93	0.93	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.95	0.95	$35 \leq \lambda \leq 60$	0.99	0.99
	$70 \leq \lambda \leq 90$	0.82	0.78	$65 \leq \lambda \leq 85$	0.84	0.8	$60 \leq \lambda \leq 85$	0.88	0.84
C70	$55 \leq \lambda \leq 70$	0.92	0.89	$50 \leq \lambda \leq 70$	0.94	0.91	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.98	0.95
C80	$70 \leq \lambda \leq 85$	0.79	0.74	$70 \leq \lambda \leq 85$	0.81	0.76	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.85	0.8

表 3 Q390 钢空心钢管混凝土徐变影响系数 k_c

Q390	空心率 0.3			空心率 0.5			空心率 0.75		
	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%
C30	$40 \leq \lambda \leq 65$	0.96	0.95	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.98	0.97	$25 \leq \lambda \leq 50$	1.01	1
	$65 \leq \lambda \leq 85$	0.9	0.87	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.92	0.89	$50 \leq \lambda \leq 80$	0.95	0.93
C40	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.98	0.96	$45 \leq \lambda \leq 65$	1	0.98	$30 \leq \lambda \leq 60$	1	1
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.9	0.87	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.92	0.89	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.95	0.93
C50	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.94	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.96	0.94	$30 \leq \lambda \leq 55$	0.99	0.97
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.85	0.8	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.87	0.82	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.91	0.86
C60	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.94	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.96	0.94	$30 \leq \lambda \leq 55$	0.99	0.97
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.84	0.81	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.86	0.83	$55 \leq \lambda \leq 80$	0.9	0.87
C70,	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.93	0.91	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.95	0.93	$35 \leq \lambda \leq 60$	0.98	0.96
C80	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.82	0.76	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.84	0.78	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.88	0.82

表 4 Q420 钢空心钢管混凝土徐变影响系数 k_c

Q420	空心率 0.3			空心率 0.5			空心率 0.75		
	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%	长细比	50%	70%
C30	$40 \leq \lambda \leq 65$	0.94	0.91	$35 \leq \lambda \leq 60$	0.96	0.93	$25 \leq \lambda \leq 50$	1	0.97
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.89	0.84	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.91	0.86	$50 \leq \lambda \leq 75$	0.95	0.91
C40	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.94	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.96	0.94	$30 \leq \lambda \leq 55$	1	0.98
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.87	0.84	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.89	0.86	$55 \leq \lambda \leq 75$	0.93	0.91
C50	$40 \leq \lambda \leq 65$	0.91	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.93	0.94	$30 \leq \lambda \leq 55$	0.98	0.99
	$65 \leq \lambda \leq 80$	0.82	0.79	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.84	0.81	$55 \leq \lambda \leq 75$	0.89	0.87
C60	$45 \leq \lambda \leq 60$	0.93	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.95	0.94	$35 \leq \lambda \leq 55$	0.99	0.98
	$60 \leq \lambda \leq 80$	0.84	0.8	$60 \leq \lambda \leq 75$	0.86	0.82	$55 \leq \lambda \leq 75$	0.9	0.87
C70,	$45 \leq \lambda \leq 65$	0.93	0.92	$40 \leq \lambda \leq 60$	0.95	0.94	$35 \leq \lambda \leq 55$	0.99	0.98
C80	$65 \leq \lambda \leq 75$	0.81	0.78	$60 \leq \lambda \leq 75$	0.83	0.8	$55 \leq \lambda \leq 75$	0.87	0.85

经整理,得规程中的 k_c 值。

4 管内混凝土的收缩问题,由于空心钢管混凝土构件的混凝土

土是由高速旋转产生的离心力浇灌而成,且用蒸气养护;因而,成型后的收缩可忽略不计。

5 抗震调整系数 γ_{RE} 取自现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》(GJ 99)。

6.1.2 1986 年采用有限元法求得实心圆钢管混凝土构件受纯扭作用时的全过程曲线,并经实验验证。得到了组合抗剪强度,是取对应于最大剪应变为 $3500\mu\epsilon$ 处的平均剪应力,它直接和构件的轴压强度有关。对空心截面,同样采用这种关系(图 3)。由此得到空心钢管混凝土构件的组合抗剪强度设计值:

$$f_{hv} = (0.385 + 0.25\alpha_w^{1.5})\theta_{w0}^{0.127}f_b$$

公式中的含钢率 α_w 和套箍系数 θ_{w0} 是空心构件的, f_b 是空心构件的组合轴压强度设计值。

由公式可见,构件的组合抗剪强度和抗压强度 f_b 成正比。

上式可写成下列形式:

$$f_{hv} = k_v f_b$$

$$k_v = (0.385 + 0.25)\alpha_w^{1.5})\theta_{w0}^{0.127}$$

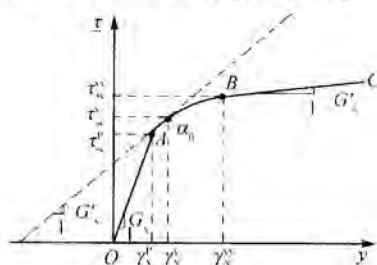


图 3 钢管混凝土构件受纯扭时最大剪应力
与剪应变全过程曲线

组合抗剪强度设计值换算系数 k_v , 经计算钢材厚度大于 16mm 时, k_v 值与钢材厚度 $\leq 16\text{mm}$ 时的 k_v 值相差只有 1%~2%, 因而取同一值。

上列公式是根据纯扭作用下的剪应力分布导得的, 截面最外

边的剪应力最大。对于受横向荷载产生的剪应力,在截面上的剪应力分布则是外边缘为零,而中性轴处最大。因而计算抗剪强度时,应取系数 0.85。由于是空心截面,截面受扭时不考虑塑性的发展。

6.1.3 由实心钢管混凝土轴压构件短试件($\frac{L}{D}=3.5\sim 4.0$)的平均压应力和纵向压应变的全过程曲线,可得抗压的组合弹性模量 E_h ,它和组合抗压强度标准值 f_h^y 及钢材的弹性模量 E_s 有关。对空心构件也相同。由此得下列公式:

$$E_h = \frac{f_h^y}{\epsilon_h^y}$$

这里: f_h^y 和 ϵ_h^y 分别是空心截面的组合比例极限和组合比例应变。

$$\text{因为: } f_h^y = \left(\frac{0.192f_y}{235} + 0.488 \right) f_h^y; \quad \epsilon_h^y = \frac{0.67f_y}{E_s}$$

$$\text{代入上式,得: } E_h = \frac{\frac{0.192f_y}{235} + 0.488}{0.67f_y} f_h^y E_s$$

式中 E_s ——钢材的弹性模量, $E_s = 206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$;

f_y ——钢材的屈服点应力。

由上列公式可见,组合弹性模量 E_h 和轴压强度标准值 f_h^y 成正比,因而上式可写成下列形式:

$$E_h = k_E f_h^y$$

$$\text{而} \quad k_E = \frac{\frac{0.192f_y}{235} + 0.488}{0.67f_y} E_s$$

组合强度标准值和组合强度设计值的比值都接近 1.3,为了设计方便,可取 $f_h^y = 1.3f_h$ 。

空心钢管混凝土轴压构件的组合轴压弹性刚度:

$$B = A_{\text{in}} E_h$$

组合抗弯弹性模量推导如下:

$$\text{组合轴压刚度 } E_h A_h = E_s A_s + E_c A_c$$

$$\text{组合抗弯刚度 } E_{hm} I_h = E_s I_s + E_c I_c$$

$$\text{二式相比,得: } \frac{E_{hm}}{E_h} = \frac{E_s I_s + E_c I_c}{E_s A_s + E_c A_c} \frac{I_h}{A_h}$$

$$\text{因为: } A_h = A_s + A_c; I_h = I_s + I_c; \text{取 } n = \frac{E_c}{E_s}; \beta = \frac{I_s}{I_c}; \alpha_0 = \frac{A_s}{A_c};$$

代入上式,整理后,得:

$$E_{hm} = \frac{\left(1 + \frac{\beta}{n}\right)(1 + \alpha_0)}{\left(1 + \frac{\alpha_0}{n}\right)(1 + \beta)} E_h$$

因为 E_{hm} 和 E_h 有关,而 E_h 又和 f_h^2 有关,故不同截面的抗弯弹性模量也不同。当为第二或第三组钢材时,应按第二或第三组钢材的 f_h^2 求得。

当受弯构件截面出现受拉区时,由于受拉区的混凝土开裂,截面的刚度减小,因此截面的惯性矩减小;因此,抗弯刚度为 $E_h I_h^0$ 。

6.1.4 由实心圆钢管混凝土构件受扭时得到的平均剪应力与最大剪应变的全过程曲线,可得弹性剪变模量。对于空心构件,关系也一样。

$$G_h = \frac{\tau_h^0}{\gamma_h^0}; \text{参见图 3。}$$

$$\tau_h^0 = \left\{ \left(0.149 \frac{f_y}{235} + 0.322 \right) - \left[0.842 \left(\frac{f_y}{235} \right)^2 - 1.755 \frac{f_y}{235} + 0.933 \right] \alpha^{0.1037} \right\} \left(\frac{20.1}{f_{yk}} \right)^{0.1062} f_{yk}^{\sqrt{y}}$$

$$\gamma_h^0 = \frac{0.595 f_y}{E_s} + 0.07 \left(\frac{f_{yk} - 20.1}{E_s} \right)$$

按上式算得的 G_h 值(第一组钢材)列入本规程附录 B 表 B-6、B-7 和 B-8。当采用第二和第三组钢材时,可乘以换算系数 k_G ,见本规程附录 B 表 B-9。

6.1.5 钢管混凝土构件受拉力作用时,管内混凝土将开裂,不承受拉力作用,只有钢管承担全部拉力。不过,钢管受拉力作用而伸长时,径向将收缩;但却受到管内混凝土的阻碍,而成为纵向受拉而环向也受拉的双向拉应力状态,其抗拉强度将提高。提高值和所受来自混凝土的阻力大小有关。对于空心截面,由于管内混凝土较少,偏于安全计,不考虑钢管抗拉强度的提高。

6.1.6 统一理论把钢管混凝土视为单一材料,因而在钢结构设计规范稳定系数计算公式的基础上,将稳定系数的公式扩展到钢管混凝土受压构件上,得实心和空心钢管混凝土的稳定系数的统一计算公式。

$$\varphi = \frac{1}{2\bar{\lambda}_h^2} \left[\bar{\lambda}_h^2 + (1 + \epsilon_h) - \sqrt{(\bar{\lambda}_h^2 + (1 + \epsilon_h))^2 - 4\bar{\lambda}_h^2} \right]$$

其中正则长细比定义为: $\bar{\lambda}_h^2 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_h}{E_h}}$ 。 E_h 是钢管混凝土组合弹性模量。 λ 是构件的长细比。 $\lambda = \frac{L_0}{i_h}$, L_0 为构件的计算长度, 回转半径 $i_h = \sqrt{\frac{I_h}{A_h}}$ 。为了避免用分段函数来计算稳定系数, 假设钢管混凝土的等效初始偏心率为: $\epsilon_h = K\bar{\lambda}_h$ 。其中, K 为等效初始偏心率系数, 用来综合考虑不同含钢率和形状对稳定系数的影响。

经过分析计算, 最后给出钢管混凝土构件的等效初始偏心率系数为: $K = 0.25\alpha^N$ 其中:

α ——含钢率, 等于钢材面积与混凝土的面积比 A_s/A_c ;

N ——截面形状系数, $N = \frac{n^2 - 14}{n^2 - 9}$, n 为截面的边数, 对于圆

形则 $N=1$ 。

最后给出钢管混凝土构件的稳定系数计算公式为:

$$\varphi = \frac{1}{2\bar{\lambda}_h^2} \left[\bar{\lambda}_h^2 + (1 + K\bar{\lambda}_h) - \sqrt{(\bar{\lambda}_h^2 + (1 + K\bar{\lambda}_h))^2 - 4\bar{\lambda}_h^2} \right]$$

通过大量的试验对比,证明公式正确可行。

为了在形式上和钢结构规范保持一致,根据正则长细比相等,引进一个变量折算长细比 λ' ,将钢管混凝土的长细比等效成钢材的,即:

$$\bar{\lambda}_h = \frac{\lambda'}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{yh}^y}{E_h}}$$

由上式得:

$$\lambda' = \lambda \sqrt{\frac{f_{yh}^y E_s}{E_h f_y}}$$

因为 $E_h = k_E f_{yh}^y$,代入上式,得:

$$\lambda' = \lambda \sqrt{\frac{E_s}{k_E f_y}} = k_\varphi \lambda$$

由 $\lambda' \sqrt{\frac{f_y}{235}}$ 即可从规程表 6.1.6-1 查得稳定系数 φ 。此系数同时适用于圆形、十六边形、八边形、四边形和矩形等截面的实心 and 空心钢管混凝土。

与 80 个实验结果相比,试验值与 $k_\varphi \varphi$ 计算值之比,平均值为 1.124,均方差为 0.02,符合良好。

对于拔梢杆,截面沿长度变化,因而刚度沿长度而变化。按照日本柱子研究委员会 1973 年编辑出版的结构稳定手册《Handbook of Structural Stability》,列出了四种边界条件的拔梢杆在轴心受压时的临界力公式:

$$P_{cr} = m E_h \frac{I_0}{L^2}$$

将上式乘以 $\frac{A_0 \mu^2 \pi^2}{A_0 \mu^2 \pi^2}$,整理后,得:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_0} = m \pi^2 \frac{E_h}{\left(\frac{\pi \lambda_{max}}{\mu} \right)^2}$$

令 $\beta = \frac{\pi}{\mu \sqrt{m}}$,上式变为下式:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_0} = \pi^2 \frac{E_b}{(\beta \lambda_{max})^2}$$

即,拔梢杆应按长细比 $\lambda = \beta \lambda_{max}$ 查稳定系数。

式中 $E_b I_0$ ——拔梢杆下端最大截面的抗弯刚度;

A_0 ——拔梢杆下端最大截面的面积;

λ_{max} ——拔梢杆按下端截面的回转半径和二端铰接杆计算的最大长细比;

L ——柱子的长度;

m ——稳定系数;

μ ——柱子的计算长度系数;二端固定时, $\mu=0.5$;二端铰接时,为 1.0;一端固定一端铰接时,为 0.7;一端固定一端自由时,为 2.0。

本规程表 6.1.6-2 给出了四种情况的 β 值,由此可计算拔梢杆的长细比,并查稳定系数 φ 。最后计算构件的稳定承载力:

$$N_b = \varphi A_b f_b$$

这里, A_b 是拔梢杆的换算等效截面面积,取距离小端 0.4L 处的截面面积。因为在推导临界力时,采用的是等效截面的概念。

6.2 格构式空心钢管混凝土轴心受压构件的承载力计算

6.2.1 格构式柱由柱肢和腹杆组成。腹杆分平腹杆和斜腹杆,又称缀板和缀条。确定格构式柱在轴心压力作用下的稳定承载力时,必须考虑腹杆产生变形的影响。因此,临界应力应按下列公式计算:

$$N_{cr} = \pi^2 \frac{(EI)_b}{(\mu l_{sy})^2}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A_{bo}} = \pi^2 \frac{E_b}{(\mu \lambda_y)^2} = \pi^2 \frac{E_b}{\lambda_{oy}^2}$$

$$\mu = \sqrt{1 + \gamma_1 \pi^2 \frac{(EI)_b}{I_{xy}^2}}$$

$$\lambda_{ay} = \mu \lambda_y$$

式中 λ_{ay} ——考虑腹杆变形的换算长细比；

μ ——换算长细比系数，决定于腹杆变形产生的单位剪切角；

γ_1 ——单位剪力作用下，格构式柱产生的剪切角变形。

双肢、三肢和四肢格构式柱，在单位剪力作用下，可导出单位剪切角 γ_1 ，由上列 μ 式得换算长细比系数 μ ，再由式 $\lambda_{ay} = \mu \lambda_y$ 即可得换算长细比。不同的柱子截面和不同的腹杆体系， γ_1 不同。对于双肢柱有时采用平腹杆，有时采用斜腹杆，因而列出了分别采用平腹杆和斜腹杆时的换算长细比公式。对于三肢和四肢柱，一般都采用斜腹杆体系，因此，只列出了采用斜腹杆时的换算长细比公式。

6.2.2 格构式柱除应验算整体稳定承载力外，尚应验算单肢稳定。本条规定的不需验算单肢稳定的条件是采用了现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的规定。

对于三肢和四肢柱，其组成的双肢在平面外的稳定验算，就是双肢柱的稳定。按双肢柱稳定公式验算。三肢柱中的单肢，平面外的稳定性很差，应依靠平面外的支撑和构件来减少其计算长度来保证。对于单跨房屋，采用三肢组合柱时，其单肢应套入墙内，以保证其平面外的稳定。

6.2.3 轴心受压钢管混凝土柱所受的剪力 V ，采用了现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的规定。

6.3 空心钢管混凝土构件在复杂应力状态下的承载力计算

6.3.1 空心钢管混凝土构件在压、弯、扭、剪共同作用下，恒决定于稳定，因而只给出了验算稳定的公式。这是一个包含 N 、 M 、 T 和 V 的三维方程。当 $T=0$ 时，为 N 、 M 和 V 的三维方程。

当 $T=V=0$ 时，得偏心受压的相关曲线，如图 4 所示。稳定承载力按两项式进行验算，见规程公式 (6.3.1-5) 和 (6.3.1-6)。

在计算受弯的公式中,分母中的 $\left(1 - 0.4 \frac{N}{N_E}\right)$, $N_E = \pi^2 E_{lm} A_{l0} / \lambda^2$, 这里的 E_{lm} 为简化设计,允许按 E_h 计算,误差极小;也可近似地取 $E_{lm} = k_E 1.3 f_h$ 计算,只有在计算结构变形时,应采用 E_{lm} 。

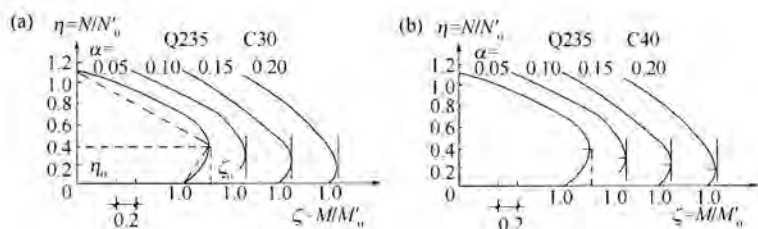


图4 压弯(偏心受压)构件的相关曲线

计算公式中的抗弯承载力(本规程公式 6.3.1-4)是采用有限元法导得实心钢管混凝土受弯时的弯矩与纵向纤维应变的全过程曲线,定义最大拉应变为 $10000 \mu\epsilon$ 时的弯矩为抗弯极限(图 5)。空心钢管混凝土构件与此相同,由此得本规程公式(6.3.1-4)。同时考虑了截面的塑性发展。

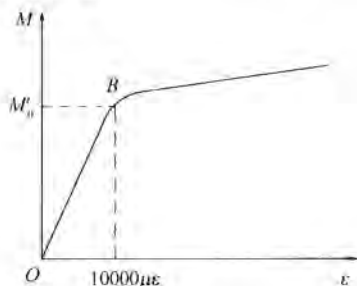


图5 受弯构件的弯矩和最大纵向拉应变的全过程关系曲线

6.3.2 格构式构件偏心受压时不考虑截面的塑性发展。本规程公式(6.3.2-1)是未考虑截面发展塑性的验算公式。

6.4 单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力计算

6.4.1 单肢空心钢管混凝土拉弯构件的承载力只考虑钢管受拉。因此给出规程公式(6.4.1)。

7 构造要求和节点设计

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.6 这是根据节点构造设计的基本原则提出的。从大量的结构试验和工程实践发现,结构的破坏有相当一部分是由于构造设计不合理造成的。因此,在节点的构造设计中,必须予以十分重视。

空心钢管混凝土构件的节点构造设计中,应特别注意以下几方面:

1 必须保证钢管与管内混凝土能共同工作,使作用力均匀地传到整个截面,避免局部应力集中,因而降低整个结构的承载力。

2 构件在长度方向的连接一般都采用把外钢管连接起来,在节点的连接部分没有混凝土。因此,节点部分必须加设加强管来加强,加强后的承载力必须大于空心钢管混凝土构件的强度和刚度。

3 外钢管的连接类似管结构,应具有可组装性,故应设置一些必要的连接部件,如加劲板和安装用的耳板等。这些附件应在浇灌混凝土之前焊好。如在混凝土浇灌后加焊附件时,必须在混凝土强度达到 70% 时,并采用合理的施焊次序才能进行,以防损伤混凝土。

4 对接焊缝一般宜两面施焊或单面施焊后再补焊缝根。若受条件限制只能单面施焊时,则应在剖口处留足间隙,用二氧化碳气体保护焊打底,100% 进行超声波检测。

当钢管壁厚 $t \leq 8\text{mm}$ 时,超声波检测对接焊缝的可靠性较差,若必须单面施焊时,接缝处必须留足间隙,并在管内加设环形垫圈,以保证施焊时焊条熔液不向管内流淌;或两端分别设置环形垫

圈。垫圈的板厚不宜小于主管厚度的 30%，并不得小于 3mm。其伸入主管的宽度不宜小于 50mm。

对连接节点进行抗震设计时，各种节点承载力设计公式中的 N 、 M 和 V ，是考虑地震作用组合的内力，并各除以抗震调整系数 γ_{RE} 。

7.2 结构构件

7.2.1 由于受板材尺寸的限制，钢板做成钢管时，需进行拼接。一般宜两面施焊或单面施焊后再补焊焊根。若受条件限制只能单面施焊时，应在剖口处留足间隙，用二氧化碳气体保护焊打底，100% 进行超声波检测。以确保焊接质量，达到与母材等强的要求。

对于送变电塔架结构，必须保证环向焊缝与母材等强的要求。对于其他建筑结构，无论是环向焊缝或纵向焊缝，都必须满足熔透，达到与母材等强的要求。

7.2.2、7.2.3 离心法生产的空心钢管混凝土构件在组装成柱时，为了不使焊接钢管时损坏内部混凝土，在构件端部留出一段无混凝土的部分。这部分必须在管内加一段加强管来加强，使这一段无混凝土部分的强度与刚度不小于有混凝土时的强度和刚度。根据大量的试验和工程实践，按规程公式 (7.2.3-1)、(7.2.3-2) 和 (7.2.3-3) 计算确定的加强管厚度是合适的。这些公式的推导如下：

1 轴心受压极限承载力的要求：

要求加强管的抗压强度不低于管内混凝土抗压强度的 130%。

$$A_s f_y = 1.3 A_c (1.1 f_{ck}) = 1.43 A_c f_{ck}$$

各种形状截面的面积表示为： $A_s = \pi D_s t$ ； $A_c = \pi D_c \delta_c$ ；代入上式，且 1.43 取为 1.5，即得：

$$t \geq [1.5 \delta_c f_{ck} / (\nu f_y)] (D_c / D_s)$$

2 抗弯极限承载力的要求:

要求加强管和钢管的抗弯强度不低于钢管混凝土抗弯强度的110%。

$\gamma_s W_s f_y = 1.1 M_u$; 各种形状截面的截面模量表示为:

$$W_h = \beta_0 (\pi/4) D_s^3 t / D$$

而 $M_u = W_h f_h = 1.3 W_h f_h$; 代入上式, 并取 $D_s/D = 0.975$, 最后的常系数取 1.96, 得:

$$t \geq 1.96 W_h f_h / (\gamma_s \beta_0 D^2 f_y) - t_c$$

3 抗弯刚度要求:

要求加强管的抗弯刚度不低于管内混凝土的抗弯刚度, 以保证构件受弯时, 钢管不先于混凝土而破坏。

要求: $E_s I_s \geq E_c I_c$, 即 $I_s \geq n I_c$, $n = E_c/E_s$ 。

对各种截面构件钢管部分和混凝土部分的惯性矩分别为:

$$I_s = \beta_0 0.393 D_s^4 t; \quad I_c = 0.393 D_c^4 \delta_c$$

代入上式, 得:

$$t \geq (n/\beta_0) (D_c/D_s)^4 \delta_c$$

系数 ν 和 β_0 分别是多边形截面直径等效系数和多边形截面的截面模量及惯性矩等效系数, 是以圆截面作为标准截面而导出的(表 5)。可用来计算除圆截面以外的各种多边形截面的截面特性。

表 5 各种截面的截面特性及相应的等效系数

内 容		系数	圆截面	多边形截面边数				
				16	12	8	6	4
截面 面积	$A = a_0 D^2$	a_0	0.7854	0.7956	0.8039	0.8284	0.8660	1.000
	面积等效系数	ω	1.0000	1.0130	1.0236	1.0548	1.1026	1.2732
	直径等效系数	ν	1.0000	1.0065	1.0117	1.0270	1.0500	1.1284

续表 5

内 容		系数	圆截面	多边形截面边数				
				16	12	8	6	4
截面模量	$W = \alpha_c D^2 l$	α_c	0.728	0.747	0.762	0.812	0.898	1.236
	截面模量 等效系数	β_w	1.000	1.026	1.047	1.115	1.225	1.698
截面惯性矩	$I = \alpha_3 D^4 l$	α_3	0.393	0.403	0.411	0.438	0.481	0.667
	惯性矩 等效系数	β_I	1.000	1.026	1.046	1.114	1.223	1.698

由于 $\beta_w \approx \beta_I$, 因而取截面模量和惯性矩的等效系数均为 β_I , 见本规程表 7.2.3。

7.2.4 加强管长度的确定, 主要考虑两个因素: 第一, 要使作用力通过加强管均匀地传递到混凝土截面上。第二, 杆端在进行高温焊接时, 不损伤内部混凝土。通过试验和产品质量检验, 要保证加强管能把内力均匀地传给混凝土, 其长度应为混凝土厚度的 2 倍。根据钢管在进行 1/2 环焊时, 在距焊缝中心 40mm 处, 钢管表面的温度已降至 300℃ 以下, 对内部混凝土强度无任何影响。因此, 建议混凝土挡浆板离杆端的距离不宜小于 50mm, 已足够安全。

一般情况下, 加强管的外伸长度建议按下式确定:

$$S = d + 2\delta_c + c \geq 150\text{mm}$$

式中 d ——焊缝损伤影响区, $d \geq 50\text{mm}$;

δ_c ——混凝土管厚度(mm);

c ——其他构造要求。

采用内加强管时, 当混凝土厚度较大时, 承压挡浆板的内孔小, 内加强管与外钢管相连的焊缝焊接困难, 质量难以保证, 采取把加强管下端切成锯齿形, 用加长焊缝长度来补偿。

7.3 现场安装连接

7.3.1 杆段间的现场安装连接的节点构造是在原行业标准《薄壁离心钢管混凝土结构技术规程》DL/T 5030—1996 的基础上, 总

结近十多年的设计、加工、施工、安装和运行经验与试验研究的成果,提出了一些具有代表性的连接方式。

7.3.2 直接对接焊接连接,不仅构造简单,传力可靠,而且节省材料;但在分段垂直组装时,固定找正比较困难。

本规程图 7.3.2-1 中,上下节构件焊接时应校正垂直度,其错口当钢管外径小于 700mm,不得大于 2mm;外径大于 700mm,不得大于 3mm。对口间隙 c 为 3~5mm。焊接应采用对称施焊,当焊缝较厚时,应采用分段多层焊。

为了起吊安装方便,可在杆端设置安装耳板(本规程图 7.3.2-1),其他连接节点同此。若杆段在地面焊接,整体起吊时,也可不设安装耳板。有了安装耳板,安装时很方便,只要校正位置后,加上连接板和上下耳板连接起来即可。

7.3.3 套接连接的规定:

套接段的长度一般不宜小于 $1.5D$ 。但可根据塔架结构的不同用途,适当增减。例如,用于送电线路的直线塔上,套接长度可取 $L_1 \geq 1.3D$,对受力较大的转角塔,可加大到 $L_1 \geq 1.7D$;这样可减小使用过程中塔架结构的变形。

套接管的抗弯承载力应大于该截面处空心钢管混凝土构件的极限抗弯承载力。它和加强管满足抗弯极限承载力的要求相同,见本规程公式(7.3.3)。

和本规程公式(7.2.3-2)计算加强管时的区别在于:计算加强管时,是加强管的厚度加主管的厚度之和,因此,本规程公式(7.2.3-2)中要减去主管的厚度 t_0 ;在计算套接管时,只是套接管的厚度,因而不必减去主管的厚度。

7.3.4、7.3.5 剪力板螺栓和法兰盘螺栓连接

剪力板螺栓连接(本规程图 7.3.4)是在上、下柱柱端分别焊一个由连接板、剪力螺栓板(沿圆周均匀布置)和内短钢管所组成的一对阴阳螺栓连接接头,到现场用螺栓相连。一般都采用法兰盘螺栓连接,如本规程图 7.3.5-1 所示。但对连接部位要求平整

不外凸时,可采用剪力板螺栓连接。螺栓连接不仅安装方便,还可大大缩短施工周期。

剪力板螺栓连接的构造和计算同普通钢结构。法兰盘螺栓连接分设有加劲肋的法兰(刚性法兰)和无加劲肋的法兰(柔性法兰)两种。其连接构造和计算方法,基本上是按照现行行业标准《架空送电线路杆塔结构设计规定》DL/T 5154 中的有关规定提出的,只对其法兰盘螺栓的计算公式进行了简化。

剪力板螺栓连接属于内法兰的一种连接形式,在实际工程中,尚有多种内法兰的连接方式。

设有外法兰的空心钢管混凝土构件的加强管的长度,要求超过加劲肋的高度,且不宜小于 100mm,以承受由加劲肋顶部产生的局部压应力。

7.4 梁柱连接节点

7.4.1~7.4.3 加强环式的刚接节点(本规程图 7.4.2-1),在正对钢梁的上下翼缘位置,在管柱上用坡口对接熔透焊缝焊接带短梁(也称牛腿)的加强环。牛腿的尺寸和所连接的钢梁相同。其翼缘的连接可用高强度螺栓,也可用对接焊缝,腹板的连接常采用高强度螺栓。

加强环式连接有关加强环板的计算主要是根据钟善桐、白国良主编的《高层建筑组合结构框架梁柱节点分析与设计》(人民交通出版社,2006),结合空心钢管混凝土结构的特点提出的。

通常空心钢管混凝土柱采用的钢管较薄,因此,当梁柱节点中使管柱表面产生很大拉力时,会导致钢管发生局部塑性变形而破坏。试验证明,环绕管柱设置加强环板,可把局部拉应力均匀地传给整个管柱。对于角柱和边柱,为避免和围护结构冲突,可采用大于半环的环板,范围应超过 180°,以免在拉力作用下,把钢管拉裂。对受力较小的连接节点,也可不设加强环板。但应适当的局部加强,防止局部应力过大。

柱和钢梁、钢筋混凝土梁或钢—混凝土组合梁的连接节点的计算可参照有关技术规范执行。

本规程图 7.4.2-1 表示了加强环与钢梁的连接有两种方法。即和梁翼缘的连接采用加连接板用高强螺栓连接(图中柱和左侧梁相连接),也可采用对接焊缝连接(图中柱和右侧梁相连接),设计时可任取。

7.4.4、7.4.5 这两条对钢梁和混凝土梁都适用。

7.5 柱和基础的连接

7.5.2 框架柱都为小偏心受压柱,它与基础的连接可采用杯口插入式,也可采用地脚螺栓锚固式。

插入式柱脚(本规程图 7.5.2-1 和图 7.5.2-2 a)为地脚螺栓锚固式,属刚接节点,后者由加劲环板、加劲肋和锚栓构成。本规程图(7.5.2-2)b 为铰接连接节点,只有锚栓和加劲肋。地脚螺栓锚固式柱脚的计算同钢结构。采用杯口插入式柱脚时,基础杯口的设计同钢筋混凝土基础。

杯口插入式基础的有关规定是根据《杯口上板计算的试验研究》(东北电力设计院)和《插入式基础杯口基础的抗拔试验》(浙江省电力设计院)的试验研究成果确定的。

采用现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 推荐的埋入式和外包式与基础刚接的柱脚时,一般情况下,可不加栓钉。因为和实心钢管混凝土柱相比,空心钢管混凝土柱的内力较小。

7.5.3 在送变电构架中,由于风荷载和水平导(地)线张力的作用,钢管混凝土立柱将受拉力作用,规程图 7.5.3-1 和图 7.5.3-2 是受拉柱与基础常用的两种连接方式。

无论是偏心受压的框架柱与基础的连接,或送电和变电构架中的受拉柱与基础的连接,当柱下端受力较大时,都应把柱埋入基础的一段空心部分灌满混凝土,以提高这部分的刚度。

7.6 空心钢管混凝土桩

空心钢管混凝土桩既具有钢管桩和混凝土桩所具有的优点,又可避免这两种桩在单独使用条件下的弱点。空心钢管混凝土桩由于内部存在混凝土,大大提高了它的抗压承载力,也提高了抗震、抗冲击变形的能力。同时还解决了钢管内壁的防腐问题。与混凝土桩相比,因不需要模板,不受钢模板规格的限制;可根据工程需要,生产任意规格和长度的管桩。与钢管桩相比,可节约钢材30%~50%,相应降低工程造价20%~40%。

7.6.1 和 7.6.5 这两条是根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定提出的。

桩身的轴心抗压和弯曲抗压的承载力除按本规程有关规定进行计算外,尚应遵照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

由于空心钢管混凝土桩的钢管内存在混凝土内衬管的支撑,外钢管不可能产生局部压屈失稳;因此,对于打入式空心钢管混凝土桩不必进行外钢管的局部稳定验算。

表6的管桩截面规格仅供参考。可根据实际工程的条件及材料,采用不同的截面规格。

表6 管桩截面规格表

截面外径 (mm)	混凝土壁厚 (mm)	钢 管 壁 厚 (mm)		
300 (299)	50	4	6	
400 (426)	60	5	7	
500 (529)	70	5	7	9
600 (636)	80	5	7	9
700	90	6	8	10
800	100	6	8	10
900	110	7	9	12
1000	120	8	10	12

7.6.2 桩头的规定:

桩头采用外加强管的方式,以加强桩头承受冲击力的能力。加强管的极限抗压承载力主要考虑以下三方面的因素:

- 1 离心混凝土抗压强度提高 10%,取提高系数 1.1;
- 2 钢管对混凝土的紧箍效应使混凝土的抗压强度得以提高,取提高系数 1.3;
- 3 考虑桩头受冲击力的影响。

据此,根据加强管的极限承载力大于桩身混凝土的极限抗压承载力的条件,得下列公式:

$$A_s f = \pi D t_0 f \geq 1.1 \times 1.3 A_c f_c = 1.43 \beta A_c f_c$$

1.43 取整为 1.5,由此得本规程公式(7.6.2)。此式是指圆形截面桩,因钢管混凝土桩常用圆形。

A_s 和 A_c 分别是加强管和混凝土管的截面面积; f 和 f_c 分别是钢材和混凝土的抗压强度设计值, β 是冲击系数。这里 D 值取加强管的外直径。

7.6.3 和 7.6.4 桩头构造要求:

为使槌击产生的作用力能均匀地传到桩头的混凝土截面上,应在档浆板与管壁间设置相当数量的加劲板。

桩的拼接可采用现场对接焊接,也可采用内法兰盘螺栓连接。

管桩的端部形式,应根据桩所穿越土层、桩端持力层性质、桩的尺寸、挤土效应等因素,综合考虑确定。其构造要求和计算方法与钢管桩完全相同,只要将它可靠地焊接在空心钢管混凝土桩的桩端即可。

8 空心钢管混凝土构件的加工制作与施工

8.1 钢管的加工制作

8.1.1 设计文件是加工制作的直接依据。对于设计文件中没有明确要求的,应符合现行相关国家标准和行业标准的规定。加工工艺设计应结合生产厂的设备、技术条件等来制定。主要原材料必须符合本规程和现行的国家标准和行业标准的规定。

8.1.2 钢管加工精度应满足本规程要求。本规程特别强调钢管椭圆度和弯曲度,钢管椭圆度直接影响离心浇筑混凝土壁厚的均匀性。钢管弯曲度对构件受压承载能力有直接影响,因此必须严格限制。

8.1.3 焊接收缩量 and 加工余量的预留,主要是为了对制作过程中的偏差进行预控,必须保证产品成型后的构件尺寸要求。

8.1.4~8.1.7 焊缝的施工和质量检验都应符合设计文件和现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定。

8.1.8 直缝焊接钢管应尽可能减少纵缝数量。纵缝的数量取决于钢板材料的宽度,对于大直径的钢管可能有多道纵缝,考虑焊接会对钢材性能产生影响,因此规定等直径钢管相邻纵缝间距不宜少于 300mm。规定管段对接焊缝应错开的原因是考虑复杂受力构件在构件组装后的质量会受影响。对于简单受力构件或有美观要求时,采取相应措施后,对接焊缝可不错开。

8.1.9 超出规范允许范围的缺陷属质量事故,必须查明缺陷产生的原因,不得随便处理。必须制定修补工艺指导以处理施工。返修会影响钢材性能,增加局部应力,严重影响构件的质量,所以应限制返修次数。

8.1.10 坡口的规定是为了保证构件能焊透,坡口形式应与焊接

工艺相匹配。

8.1.11 校正方法应根据实际需要选用,温度控制是为了避免焊接可能改变钢材的性能。

8.1.12 需要对钢管加工质量进行过程验收。

8.2 空心钢管混凝土构件防腐涂装

8.2.1 本规程的构件防腐涂装工艺是常用的方式,设计人员可根据具体工程情况进行涂装设计。防腐涂装的热镀锌、喷涂锌、涂漆等工艺、技术规程及涂层质量检测标准等应符合相应的现行国家标准和行业标准。建议防腐施工在混凝土离心浇筑前进行,因为混凝土离心浇筑后进行防腐施工除锈时,容易造成钢板热膨胀,致使钢板与混凝土产生间隙,养护后会有局部“空鼓声”。

8.2.2 热镀锌防腐涂装对工件经酸洗除锈后,浸入 500℃ 左右的热浸镀锌熔池数分钟,使工件沾满锌液,再提出工件浸入常温水中冷却形成热镀锌层。热镀锌防腐涂装的问题是:构件尺寸受熔池限制,浸入温度高时,对长的薄壁工件易产生变形,酸洗除锈残存酸液会腐蚀镀锌层,镀层缺陷难以修复。热镀锌防腐的防护寿命在 10~15 年左右。热镀锌防腐只能在工厂施工。当钢管壁厚度大于 12mm 时,可在离心浇筑混凝土前采用热镀锌工艺。

8.2.3 喷涂锌可以现场施工,甚至可以高空作业。镀层厚度可控,对工件热影响很小,缺陷易修复,防护寿命在 30~50 年左右。应注意下列要求:

1 喷涂锌防护设计、施工、验收的现行规范依据。

2 喷砂工艺的选择可根据具体情况确定,工厂生产可选择喷河砂、喷铁砂、流水抛丸等多种方式。现场受条件影响时,可以选用人工喷河砂或设备磨削的方式。工件基体表面必须达到除锈等级要求。

3 喷涂锌材料无论锌丝还是粉末,必须具有高纯度,才能保证锌涂层质量。

4 对喷砂后的时间间隔及环境的约束是为了保证基体表面的质量,从而保证喷锌涂层的结合能力。当基体表面出现二次污染时,必须重新处理。

5 喷涂锌的环境条件要求是保证喷涂锌层质量的前提,必须保证基本的环境条件要求。

6 薄壁钢管在喷砂时会发热,容易产生变形。因此,应考虑工装或调整喷砂流量的合理性,减少因发热造成的钢管变形。

7 锌涂层厚度与构件的防护年限有关。锌涂层越厚,防护年限越长,但喷涂锌时易脱皮。锌涂层越薄,防腐年限越短,但喷涂锌结合力强。锌涂层厚度的要求应考虑环境、用途等因素确定。锌涂层厚度的要求是根据环境介质对结构的腐蚀性而按 50 年防护寿命规定的。锌涂层厚度最低不得小于 $100\mu\text{m}$ 。

8 封闭漆一般选用渗透力强的油漆,能更好地渗入喷锌后的微细孔中,起到隔离封闭作用,封闭漆可以提高防护能力 3~5 年。

9 锌涂层施工验收的现行规范依据。

8.2.4 油漆防腐涂装根据使用环境和工程要求确定其材料及工艺,工艺的编排应根据防护设计要求确定。

8.3 混凝土采用离心法成型的技术要求

8.3.2 氯盐对钢管有腐蚀作用,易造成构件强度的损失,因此禁止使用。

8.3.3 指出混凝土配合比的设计和确定原则。

8.3.4 工序间的验收根据工程实际情况确定验收内容。因为混凝土浇筑后产品不易返修,因此过程验收十分必要。

8.3.5 钢模刚度大,混凝土离心时比较容易保证质量。钢管在满足离心生产条件时,可用钢管、跑轮代替钢模,直接在离心机上进行离心浇灌混凝土。但必须采取措施,确保构件在离心生产及搬运过程中有足够的刚度。

8.3.6 养护方式可根据环境和工艺要求确定,亦可以采用几种方

法组合。

8.3.7、8.3.8 混凝土厚度的允许偏差及混凝土强度等级应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。试件制作可采取同步取样、人工振捣、平台振捣等方法。

8.4 空心钢管混凝土构件的检验、标志和保管

8.4.1 构件的检验是产品出厂前的最后检验,构件最终质量检验资料一般应保存 3 年。

8.4.2 当采取了加强材料和制作质量检验的措施,并有可靠实践经验时,可不作构件的结构性能试验。在一般情况下,只要不是钢管的质量原因(包括原材料、制作及焊接质量),采取加固补强措施、经验收合格后还可以利用。

8.4.3 构件永久标志便于构件质量的追溯,标志位置可按企业标准执行。例如:电力塔架标志可在构件的下端以上 200mm 处。产品临时标志应考虑方便施工等因素,可标志工程名称、规格代号。例如:电力杆塔 呼 15 米双回 240 转 60 度上段。

8.4.4 出厂证明文件应以《产品质量合格证》为主,其他根据合同约定提供。

8.4.5、8.4.6 堆放的要求是为了避免重力弯曲和受压损伤。在构件混凝土强度还没有达到混凝土的设计强度情况下,堆放不当极易造成质量事故。产品的绑扎、吊运,必须保护涂层不受损坏。

8.5 空心钢管混凝土结构的施工

8.5.1 对空心钢管混凝土结构施工的建筑企业资质要求。可按国家现行规定具备相应的承包钢结构(或电力工程)的施工资质执行。

8.5.2 施工现场质量管理应具有相应的施工技术标准,施工技术标准指与施工有关的各种技术标准,包括工艺标准、验收标准以及工程有关材料标准、检验标准等,也包括与工程有关的企业标

准、施工方案及作业指导书等。

8.5.3 构件进场验收除应符合本规程的规定外,还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 及各专业工程施工质量验收规范的规定。构件进场检查,首先对质量证明文件及型号、规格、外观和尺寸等进行检查验收,经监理工程师或建设单位代表核准,形成相应的记录。对质量证明文件的核查,主要包括构件质量合格证及相关性能检测报告等,质量证明文件应纳入工程技术档案。

8.5.4~8.5.8 是对空心钢管混凝土结构的施工要求。

8.5.9 鉴于目前尚未有空心钢管混凝土工程的施工质量验收规范,为落实《建设工程质量管理条例》,确保工程质量,落实竣工验收备案制度,提出本条要求。质量验收方法、程序和工程技术档案的建立,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

9 防 火

9.1 防火涂层保护

9.1.1 空心钢管混凝土需要的防火涂层比实心截面的要厚些,因为管内的混凝土较少。

防火涂层可采用非膨胀型防火涂料,或用钢丝网抹 M5 普通水泥砂浆。在地下车库,柱子受撞击的机会较多,宜采用水泥砂浆防火,易于修复;其他情况可采用非膨胀型防火涂料。用有限元法求出了空心钢管混凝土构件耐火 3h 所需非膨胀型防火涂料的厚度,其值较小,但尚无抗火试验的验证。因而暂时采用近似法确定涂层厚度,如本规程公式(9.1.1)。 t_1 是按照管内混凝土的体积大小,由无涂料时钢柱要求的涂料厚度考虑空心影响确定的。

$$t_1 = t + (d - t)\Psi; \quad \text{且 } t_1 \geq t$$

钢柱要求耐火 3h,采用非膨胀型涂料时,涂料厚度需要 $d=50\text{mm}$;要求 2h 时,需要 $d=33\text{mm}$ 。采用水泥砂浆时,耐火 3h,需要 $d=100\text{mm}$;耐火 2h 时,需要 $d=67\text{mm}$ 。这是根据:李国强等著《钢结构抗火计算与设计》中国建筑工业出版社,1999 年第一版数据推算得到。

例如:采用非膨胀型涂料,钢柱要求耐火时间 3h 时, $D=800\text{mm}$ 需要厚度 50mm 。当为圆钢管混凝土柱时, $\lambda=40$ 时,查现行协会标准《建筑钢结构技术》CECS 200 表 8.1.1,要求耐火 3h 时, $t=14\text{mm}$ 。设 $\Psi=0.5$,由规程公式(9.1.1),得空心截面时的涂料厚度为 $t_1=32\text{mm}$ 。 $\Psi=0.4$,得 $t_1=28.4\text{mm}$ 。

又如:采用 M5 水泥砂浆,钢柱要求耐火时间 2.5h 时,砂浆厚度需要 $d=83\text{mm}$, $D=800\text{mm}$ 的圆钢管混凝土柱 $\lambda=40$ 时,查现行协会标准《建筑钢结构技术》CECS 200 表 8.1.3,要求耐火 2.5h

时, $t=43\text{mm}$ 。设 $\Psi=0.5$, 由上式得空心截面时的砂浆层厚度为 $t_1=63\text{mm}$ 。 $\Psi=0.4$ 时, $t_1=59\text{mm}$ 。

现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 中表 8.1.1 和表 8.1.3 的规定, 表中所列的长细比是指实心钢管混凝土构件。查 t 值时, 应把空心构件的长细比 $\lambda_h=L/i_{sc}$, 换算成表中的长细比。对圆形和十六边形 $\lambda=(4i_{sc}/D)\lambda_h$; 对八边形和矩形(包括正方形), $\lambda=[2\times 31/((2/B))]\lambda_h$ 。这里 D 是圆形截面的直径, B 是正方形的边长或矩形的短边之长, λ_h 是空心截面的长细比。

上面计算例中已把空心构件的长细比换成规范表中的长细比, 直接查表, 得 t_1 值。

9.2 防火板保护

9.2.1 防火板品种的选用, 构造和安装要求按现行协会标准《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200 的规定执行。