**ICS**

中国工程建设标准化协会标准

**CECS XXX-2022**

──────────────────────────────────────────────────

**钢管钢渣混凝土结构设计标准**

Design specification for steel slag concrete filled steel tubular structures

**2022-X-X 发布 2022-X-X 实施**

**─────────────────────────**

**中国工程建设标准化协会 发 布**

# 前 言

为缓解天然砂石骨料资源短缺的现状，发挥现代结构材料的优势，充分利用钢管、钢渣混凝土的优点，提高大宗量钢渣固废资源化利用效率，节约自然资源、降低工程造价，实现环境保护与可持续发展的方针政策，根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建协[2020]014号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，采纳最新研究成果，参考国内外相关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.材料；4.基本规定；5.构件承载力计算；6.防火设计；7.制作与施工。

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

本规程由中国工程建设标准化协会轻钢结构专业委员会归口管理（CECS/TC28），由主编单位负责具体技术内容解释，执行过程中如有意见或建议，请反馈给安徽工业大学建筑工程学院（地址：安徽省马鞍山马向路新城东区，邮政编码：243032，邮箱：yufeng2007@126.com）。

**主编单位：**安徽工业大学

中国十七冶集团有限公司

**参编单位：**哈尔滨工业大学、马鞍山钢铁建设集团有限公司、同济大学、中国建筑科学研究院有限公司、广州大学、安徽理工大学、宁波大学、东华理工大学、西安建筑科技大学、合肥工业大学设计院（集团）有限公司、杭萧钢构（安徽）有限公司、马钢集团有限公司、马鞍山十七冶工程科技有限责任公司等。

**主要起草人：**

**主要审查人：**

**目 次**

**1 [总则 1](#_Toc80195694)**

**2 术语和符号 [2](#_Toc80195718)**

[2.1术语 2](#_Toc80195719)

[2.2符号 3](#_Toc80195720)

**[3 材料 8](#_Toc80195721)**

[3.1钢管 8](#_Toc80195722)

[3.2钢渣 9](#_Toc80195723)

[3.3钢渣混凝土 1](#_Toc80195724)2

[3.4连接材料 1](#_Toc80195725)4

[4 基本规定 1](#_Toc80195773)5

[4.1 一般规定 1](#_Toc80195775)5

[4.2 构造要求 1](#_Toc80195776)7

[4.3 设计指标 1](#_Toc80195777)9

**[5 构件承载力设计 2](#_Toc80195782)1**

[5.1一般规定 2](#_Toc80195783)1

5.2 轴心受力构件承载力计算 [2](#_Toc80195699)1

[5.3受弯、压弯及拉弯构件承载力计算 2](#_Toc80195700)5

[5.4受剪、受扭及压扭构件承载力计算 29](#_Toc80195706)

[5.5局部受压构件承载力计算 3](#_Toc80195701)1

[5.6 考虑长期荷载作用影响的构件承载力计算 3](#_Toc80195704)3

[5.7 冻融荷载作用下构件承载力计算 3](#_Toc80195702)4

[5.8 腐蚀环境作用下构件承载力计算 3](#_Toc80195705)5

**[6 防火设计 3](#_Toc80195705)6**

**[7 制作与施工 41](#_Toc80195705)**

[7.1 一般规定](#_Toc80195705) 41

[7.2 钢管的制作与施工](#_Toc80195705) 41

[7.3 钢渣混凝土施工](#_Toc80195705) 42

[7.4 检测与验收](#_Toc80195705) 44

**[附录A 钢渣浸水膨胀率测试方法 4](#_Toc80195705)5**

**[附录B 钢渣活性指数测试方法 4](#_Toc80195705)7**

**[附录C 钢渣混凝土基本力学性能指标和应力-应变关系 4](#_Toc80195705)9**

**[附录D 钢渣混凝土抗压强度 54](#_Toc80195705)**

**[附录E 钢渣混凝土线膨胀系数测试方法](#_Toc80195705) 59**

**[附录F 钢渣混凝土膨胀率 6](#_Toc80195705)2**

**[附录G 钢渣混凝土吸水率测试方法 6](#_Toc80195705)7**

**[附录H 钢渣混凝土耐磨性测试方法 6](#_Toc80195705)9**

**[附录I 钢管钢渣混凝土自应力计算方法 7](#_Toc80195705)4**

**[附录J](#_Toc80195705)** [钢管钢渣混凝土构件截面组合弹性模量计算方法](#_Toc80195705) **[7](#_Toc80195705)8**

**[附录K 钢管钢渣混凝土弹性模量计算方法 7](#_Toc80195705)9**

**[附录L 钢管钢渣混凝土耐火时间和防火保护层厚度](#_Toc80195705) 80**

**[本规程用词说明 8](#_Toc80195705)6**

**[引用标准名录 8](#_Toc80195705)7**

**[附：条文说明](#_Toc80195705) 90**

**Contents**

**1 General Provisions [1](#_Toc80195718)**

**2 Terms and Symbols [1](#_Toc80195718)**

[2.1 Terms 2](#_Toc80195719)

[2.2 Symbols 3](#_Toc80195720)

**[3 Materials 4](#_Toc80195721)**

[3.1 Steel Tube 5](#_Toc80195722)

[3.2 Steel Slag 6](#_Toc80195723)

[3.3 Steel Slag Concrete 7](#_Toc80195724)

[3.5 Connection materials 9](#_Toc80195726)

[4](#_Toc80195773) **[Basis Requirements](#_Toc80195773)** [11](#_Toc80195773)

[4.1 General Requirements 1](#_Toc80195775)2

[4.2 Structural Requirements 1](#_Toc80195776)3

[4.3 Design Index 1](#_Toc80195777)4

**[5 Design of Bearing Capacity of the Members 1](#_Toc80195782)9**

[5.1 General Requirements 2](#_Toc80195783)0

5.2 Calculation of Bearing Capacity of Axially Loaded Members [3](#_Toc80195699)2

[5.3Calculation of Bearing Capacity of Members in Flexural, Compression-Flexure and Tension-Flexure 3](#_Toc80195700)2

[5.4 Calculation of Bearing Capacity of Members in Shear, Torsion and Compression-Flexure 3](#_Toc80195706)3

[5.5 Calculation of Bearing Capacity of Members under Local Compression 3](#_Toc80195701)4

[5.6 Calculation of Bearing Capacity of Members Considering the Effect of Long-Term Load 3](#_Toc80195704)5

[5.7Calculation of Bearing Capacity of Members under Freeze-Thaw Load 3](#_Toc80195702)6

[5.8 Calculation of Bearing Capacity of Members under Corrosive Environment 3](#_Toc80195705)7

**[6 Fire Resistance Design 3](#_Toc80195705)8**

**[7 Manufacture and Fabrication 3](#_Toc80195705)9**

[7.1 General Requirements 4](#_Toc80195705)0

[7.2 Manufacture and Construction of Steel Tube 4](#_Toc80195705)0

[7.3 Construction of Steel Slag Concrete 4](#_Toc80195705)0

[7.4 Inspection and Acceptance 4](#_Toc80195705)0

**[Appendix A Test Method for Expansion Rate of Steel Slag Immersed in Water 4](#_Toc80195705)5**

**[Appendix B Test Method for Activity Index of Steel Slag](#_Toc80195705)****[4](#_Toc80195705)7**

**[Appendix C Basic Mechanical Properties and Stress-Strain Relationship of Steel Slag Concrete](#_Toc80195705)****[4](#_Toc80195705)9**

**[Appendix D Compressive Strength of Steel Slag Concrete 54](#_Toc80195705)**

**[Appendix E Test Method for Linear Expansion Coefficient of Steel Slag Concrete](#_Toc80195705) 59**

**[Appendix F Expansion Rate of Steel Slag Concrete](#_Toc80195705) 62**

**[Appendix G Test Method for Water Absorption of Steel Slag Concrete 6](#_Toc80195705)7**

**[Appendix H Test Method for Abrasion Resistance of Steel Slag Concrete 6](#_Toc80195705)9**

**[Appendix I Self-Stress Calculation Method of Steel Slag Concrete Filled in Steel Tubes 7](#_Toc80195705)4**

**[Appendix J Composite Elastic Modulus Calculation Method of Steel Slag Concrete Filled in Steel Tubes 7](#_Toc80195705)9**

**[Appendix K Elastic Modulus Calculation Method of Steel Slag Concrete Filled in Steel Tubes 7](#_Toc80195705)9**

**[Appendix L Fire Resistance Time and Fire Protection Layer Thickness of Steel Slag Concrete Filled in Steel Tubes 7](#_Toc80195705)9**

**[Explanation of Wording in This Specification 8](#_Toc80195705)6**

**[List of Quoted Standards 8](#_Toc80195705)7**

**[Addition: Explanation of Provisions](#_Toc80195705) 90**

**1 总 则**

**1.0.1** 为了在工程结构中推广和应用钢管钢渣混凝土构件，贯彻执行国家现有的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、确保质量、经济合理、绿色环保，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于采用钢管钢渣混凝土构件的工业与民用建筑和一般构筑物的设计、施工及验收，且钢管钢渣混凝土构件不直接承受动力荷载。

**1.0.3** 本规程适用于圆形和矩形（含方形）截面钢管内浇筑钢渣混凝土的钢管钢渣混凝土构件。

**1.0.4** 钢管钢渣混凝土构件的设计、施工及验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

**1.0.5** 特殊环境下以及有特殊设计要求的钢管钢渣混凝土构件设计，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**1.0.6** 本规程使用的计量单位、符号以及基本术语按国家现行标准《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083的规定采用。

**2 术语与符号**

**2.1** 术 语

**2.1.1** 钢管钢渣混凝土构件steel slag concrete-filled steel tubular member

钢管内填充钢渣混凝土形成钢管与钢渣混凝土共同受力的组合构件。

**2.1.2** 钢管钢渣混凝土结构 steel slag concrete-filled steel tubular structures

以钢管钢渣混凝土构件为主要受力单元的结构。

**2.1.3** 钢渣粗骨料steel slag coarse aggregate (SSCA)

由炼钢过程产生的块状钢渣经破碎、风化、筛分而得，公称粒径大于4.75 mm的钢渣颗粒。

**2.1.4** 钢渣细骨料steel slag fine aggregate (SSFA)

钢渣经机械破碎、风化、筛分而得的，公称粒径小于4.75 mm的钢渣颗粒。

**2.1.5** 针、片状颗粒needle and flake particles

钢渣粗骨料颗粒的最大一维尺寸大于该颗粒所属粒级的平均粒径的2.4倍或者为针状颗粒；最小一维尺寸小于该颗粒所属粒级的平均粒径0.4倍或者为片状颗粒。

**2.1.6** 不规则颗粒irregular particles

钢渣粗骨料颗粒的最小一维尺寸小于该颗粒所属粒级的平均粒径0.5倍的颗粒。

**2.1.7** 钢渣浸水膨胀率expansion rate of steel slag immersed in water

钢渣在规定条件下，浸水后的体积变化率。

**2.1.8** 钢渣压蒸粉化率 autoclave chalked ratio of steel slag

钢渣在规定时间和压力作用下，粉化后小于1.18 mm的颗粒质量所占的比率。

**2.1.9** 钢渣混凝土 steel slag concrete (SSC)

掺用钢渣粗骨料或钢渣细骨料制备而成的混凝土。

**2.1.10** 钢渣混凝土膨胀率expansion rate of SSC

在规定试验条件下，钢渣混凝土试样的纵向伸长率。

**2.1.11** 钢管钢渣混凝土组合轴压强度composite compressive strength of SSC

钢管钢渣混凝土组合截面所能承受的最大名义压应力。

**2.1.12** 钢管钢渣混凝土组合轴压弹性模量composite compressive elasticity modulus of SSC

综合反映钢管及核心钢渣混凝土影响的钢管钢渣混凝土轴压弹性模量，当组合截面单向受压，其纵向名义应力与应变近似呈线性关系时，截面上名义正应力与对应的正应变的比值。

**2.1.13** 钢管钢渣混凝土组合弹性抗弯刚度 composite flexural elasticity stiffness of SSC

综合反映钢管及核心钢渣混凝土影响的钢管钢渣混凝土弹性抗弯刚度，当组合构件的曲率与截面弯矩近似呈线性关系时，截面弯矩与截面曲率的比值。

**2.1.14** 钢管钢渣混凝土组合弹性剪切模量 composite shear elasticity modulus of SSC

综合反映钢管及核心钢渣混凝土影响的钢管钢渣混凝土剪切变形刚度，当组合构件的扭转角与截面扭矩近似呈线性关系时，截面扭矩与扭转角的比值。

**2.1.15** 约束效应系数 confinement coefficient

构件截面中钢材强度设计值（标准值）和钢管面积的乘积与钢渣混凝土强度设计值（标准值）和钢渣混凝土面积的乘积的比值，反映钢管钢渣混凝土组合截面几何特征和组成材料物理特性的综合参数。

**2.1.16** 含钢率 steel ratio

钢管钢渣混凝土构件截面中钢管面积与钢渣混凝土面积之比。

**2.2** 符 号

**2.2.1** 作用、作用效应和抗力

 —— 作用于构件的弯矩设计值；

 —— 作用于构件的轴心压力设计值；

 —— 作用于构件的扭矩设计值；

 —— 作用于构件的剪力设计值；

 —— 作用于构件的轴心拉力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土轴心受压构件的强度承载力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件轴心受拉承载力设计值；

 —— 作用于构件的局压承载力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土轴心受压构件的局压承载力设计值；

——火灾下钢管钢渣混凝土构件的轴心压力设计值；

*N*1 —— 考虑地震组合作用的钢管钢渣混凝土构件轴压力设计值；

——作用于钢管钢渣混凝土构件的长期轴压荷载；

—— 钢管钢渣混凝土构件受弯承载力设计值；

 —— 所计算构件段范围内的最大弯矩设计值；

 —— 构件绕强轴和弱轴的的受弯承载力设计值；

——钢管钢渣混凝土构件抗剪承载力设计值；

——钢管钢渣混凝土构件的抗扭承载力设计值；

 —— 欧拉临界力。

**2.2.2** 材料性能和抗力

 —— 钢材的钢材的屈服强度；

 —— 钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

 —— 钢渣混凝土的轴心抗压强度标准值；

 —— 钢渣混凝土的轴心抗压强度设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件组合截面轴心抗压强度设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件截面的组合剪切强度设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土抗剪强度设计值；

、——钢渣混凝土抗压强度平均值、标准值；

、——钢渣混凝土抗拉强度平均值、标准值；

——钢渣混凝土的单轴抗拉强度代表值；

——钢渣混凝土的单轴抗压强度代表值；

——全钢渣砂混凝土的抗压强度；

 ——钢管钢渣混凝土构件组合比例极限；

 —— 钢管的弹性模量；

 ——钢管钢渣混凝土的弹性模量；

—— 钢管钢渣混凝土构件的组合截面弹性模量；

——钢管钢渣混凝土折算轴压弹性模量；

——受压钢渣混凝土卸载/再加载的变形模量；

——端板的弹性模量；

——钢管钢渣混凝土泊松比；

——钢管的截面惯性矩；

 ——钢渣混凝土的截面惯性矩；

 ——钢管钢渣混凝土构件的组合截面惯性矩；

—— 分别为单根柱肢的截面惯性矩；

 —— 钢材的剪切模量；

 —— 钢管钢渣混凝土的剪切模量；

 —— 钢管钢渣混凝土构件截面的组合剪切模量；

 —— 钢管钢渣混凝土构件组合截面抗弯模量；

 —— 格构式构件组合截面抗弯模量；

——钢管再钢渣混凝土构件组合截面的受扭模量。

**2.2.3**  几何参数

——钢管的截面面积；

——钢渣混凝土的截面面积；

 —— 钢管钢渣混凝土构件的组合截面面积；

 —— 局压荷载作用面积；

** —— 钢管钢渣混凝土构件的实际长度；

 —— 钢管钢渣混凝土构件长度；

——钢管钢渣混凝土构件等效计算长度；

 —— 钢管钢渣混凝土构件圆形截面直径或矩形截面长边长度；

 —— 矩形截面短边长度；

——整个构件绕轴和轴的计算长度；

—— 柱肢节间距离；

 —— 各钢管混凝土柱肢的截面面积；

 —— 腹杆（缀板或缀条）截面面积；

 —— 分别是柱肢中心到虚轴和的距离；

——相对刚度半径；

——端板厚度；

 —— 钢管壁厚；

 —— 腐蚀后外钢管管壁厚度；

 —— 外钢管管壁在腐蚀环境作用下的平均壁厚损失；

 —— 腐蚀后外钢管外直径或矩形钢管长边长度；

 —— 腐蚀后外矩形钢管短边长度；

 —— 腐蚀后外钢管的截面面积；

*e*——构件端部轴向压力偏心距之较大者。

**2.2.4** 计算系数

 —— 结构重要性系数；

 —— 作用组合的效应设计值；

 —— 构件承载力设计值；

 —— 构件承载力抗震调整系数；

 —— 钢管钢渣混凝土构件的含钢率；

 —— 轴压比；

—— 名义约束效应系数标准值；

 —— 名义约束效应系数设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土有效约束效应系数；

 —— 钢渣混凝土强度增强系数；

—— 试验实测确定的侧压系数；

—— 钢渣混凝土与钢管之间产生的自应力；

 —— 钢渣混凝土刚度折减系数；

 —— 核心钢渣混凝土自应力水平；

 —— 钢管轴心受拉强度提高系数；

 —— 轴心受压构件稳定系数；

 —— 构件截面抗弯塑性发展系数；

 —— 等效弯矩系数；

——钢管钢渣混凝土抗剪承载力计算系数；

——钢管钢渣混凝土抗扭承载力计算系数；

 —— 钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数；

——长期荷载比；

 —— 考虑冻融循环作用影响下的轴压承载力折减系数；

 —— 考虑偏心率对钢管钢渣混凝土构件承载力影响的折减系数；

 —— 考虑长细比影响的承载力折减系数；

 —— 考虑构件端部约束条件的计算长度系数；

** —— 考虑构件弯矩分布梯度影响的等效长度系数；

 —— 腐蚀后名义截面含钢率；

 —— 腐蚀后名义约束效应系数标准值；

 —— 腐蚀后名义约束效应系数设计值；

——火灾荷载比。

**3 材 料**

**3.1** 钢 管

**3.1.1** 钢管钢渣混凝土构件管材的选取应综合考虑结构的重要性、受力特征、应力状态、连接方式、钢管厚度以及环境条件等因素，合理选取钢材牌号与质量等级。钢管应采用碳素结构钢或低合金高强度钢，其性能与质量要求应符合现行国家标准《碳素钢结构》GB/T 700和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定。当采用其它牌号钢材时，尚应符合相关标准的规定。

**3.1.2** 钢管的选用与设计参数的选取应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936和《建筑抗震设计规范》 GB 50011的有关规定。高层建筑结构中钢管的选用还应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的有关规定。

**3.1.3** 不锈钢材料的选用应符合现行国家标准《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237、《结构用不锈钢无缝钢管》GB/T 14975中的有关规定。耐候钢材料的选用应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171的有关规定。

**3.1.4** 矩形钢管宜采用直缝焊接管、热轧管或冷弯成型钢管。当采用冷弯成型矩形钢管时，应符合现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178中I级产品的规定。低温环境或直接承受动荷载的外露结构，不宜采用冷弯成型矩形钢管。承重结构的圆钢管宜采用热轧无缝钢、直缝焊接管或螺旋焊接管。焊缝应采用全熔透对接焊缝并符合二级质量检验标准，焊缝强度不低于管材强度。

**3.1.5** 对焊接承重结构，当采用可防止层状撕裂的Z向钢时，其材质应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313的规定。

**3.1.6** 抗震设计时，钢管钢渣混凝土构件的管材应符合下列规定：钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于20%；钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于0.85；钢材应具有良好的可焊性与合格的冲击韧性。

**3.2** 钢 渣

**3.2.1** 钢渣预处理

钢渣预处理可采用热闷、滚筒、风碎以及水碎等工艺技术，相应的工艺流程和技术要求应符合《钢渣处理工艺技术规范》GB/T 29514的相关规定，预处理（稳定化）后的钢渣骨料颗粒应保持干燥、洁净、无杂质。

**3.2.2** 钢渣骨料通用技术要求

依据粒径不同，可将钢渣骨料划分为钢渣粗骨料（粗钢渣）与钢渣细骨料（钢渣砂），钢渣粗与细骨料有着不同的技术要求，但均应满足表3.2.2所示的钢渣骨料通用技术要求。

**表3.2.2 钢渣骨料通用技术要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | | | **技术指标** | **检验依据（试验方法）** |
| 浸水膨胀率 | | | ≤2.0 | GB/T 24175 (附录A) |
| 活性指数/% | | 7d活性 | ≥60 | DB31/T 858 (附录B) |
| 28d活性 | ≥70 |
| 碱度系数 | | | ≥2.5 | YB/T 140 |
| 金属铁含量/% | | | ≤2.0 | YB/T 4188 |
| 流动度比/% | | | ≥90 | GB/T 20491 |
| 含水量/% | | | ≤1.0 | GB/T 18046 |
| 硫化物及硫酸盐含量（折算成SO3按质量计）/% | | | ≤1.0 | JGJ 52 |
| 安定性 | 沸煮法 | | 合格 | GB/T 750 |
| 压蒸法 | | 当钢渣中MgO含量大于13%时须检验合格；  6h压蒸膨胀率≤0.5% |
| 放射性 | | | 内照射指数≤1.0 | GB 6566 |
| 外照射指数≤1.0 |
| 如果钢渣中氧化镁含量不大于5%时，可不检验压蒸安定性。 | | | | |

**3.2.3** 钢渣细骨料（砂）技术要求

3.2.3.1 规格与类别

（1）规格

钢渣细骨料（砂）按细度模数应分为粗、中、细和特细四种规格，其细度模数分别为：

粗钢渣砂：3.7~3.1；

中钢渣砂：3.0~2.3；

细钢渣砂：2.2~1.6；

特细钢渣砂：1.5~0.7。

钢渣砂细度模数的计算按《建设用砂》GB/T 14684的规定进行。

1. 类别

钢渣细骨料（砂）按颗粒级配、片状颗粒含量、压碎指标以及坚固性等技术要求划分为I类、II类、III类。

3.2.3.2 技术指标与检验方法

（1）颗粒级配

钢渣细骨料（砂）的颗粒级配应符合表3.2.3.2-1的规定。钢渣细骨料（钢渣砂）的实际颗粒级与表中所列数字相比，除4.75 mm筛孔外，可以略有超出，但超出量应小于5%。颗粒级配试验方法参照《建设用砂》GB/T 14684的有关规定。当钢渣细骨料（砂）的颗粒级配不符合要求时，宜采取相应的技术措施，并经试验确保工程质量后，方允许使用。

**表3.2.3.2-1 钢渣细骨料（钢渣砂）的颗粒级配**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 筛孔尺寸/mm | 通过各筛孔的质量百分比/% | | |
| 粗钢渣砂/级配区I | 中钢渣砂/级配区II | 细钢渣砂/级配区IIII |
| 4.75 | 95~100 | 95~100 | 95~100 |
| 2.36 | 65~95 | 75~100 | 85~100 |
| 1.18 | 35~65 | 50~90 | 75~100 |
| 0.6 | 15~29 | 30~59 | 60~84 |
| 0.3 | 5~20 | 8~30 | 15~45 |
| 0.15 | 0~15 | 0~20 | 0~25 |

（2）钢渣细骨料（砂）的技术要求与检验方法应符合表3.2.3.2-2的有关规定。

**表3.2.3.2-2 钢渣细骨料（钢渣砂）技术指标与检验方法**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 技术指标 | | | 检验方法 |
| I | II | III |
| 单级最大压碎指标/% | ≤20 | ≤25 | ≤30 | GB/T 14684 |
| 质量损失率/%（坚固性） | ≤8 | | ≤10 | GB/T 14684 |
| 片状颗粒含量/% | ≤10 | - | | GB/T 14684 |
| 表观相对密度/(kg/m3) | ≥2900 | | | GB/T 14684 |
| 松散堆积密度/(kg/m3) | ≥1600 | | | GB/T 14684 |
| 空隙率/% | ≤47 | | | GB/T 14684 |
| 压蒸粉化率/% | ≤5.90 | | | GB/T 24175 |
| 棱角性（流动时间）/s | ≥40 | | | GB/T 24765 |

（3）钢渣细骨料（砂）取样方法、试样处理、试验环境、试验用筛以及钢渣细骨料（砂）中的有害物质含量应符合《建设用砂》GB/T 14684的有关规定。

（4）钢渣细骨料（砂）在加工、运输、堆放和使用过程中不允许混入其他杂质。

**3.2.4** 钢渣粗骨料（粗钢渣）技术要求

3.2.4.1 类别

钢渣粗骨料（粗钢渣）按不规则颗粒含量、针片状颗粒含量、压碎指标以及坚固性等技术要求分为I类、II类、III类。

3.2.4.2 技术指标与检验方法

（1）颗粒级配

钢渣粗骨料（粗钢渣）的颗粒级配应符合表3.2.4.2-1的规定。

**表3.2.4.2-1 钢渣粗骨料（粗钢渣）的颗粒级配颗粒级配**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称粒径/mm | | 累计筛余/% | | | | | | | | | | | |
| 方孔筛孔径/mm | | | | | | | | | | | |
| 2.36 | 4.75 | 9.50 | 16.0 | 19.0 | 26.5 | 31.5 | 37.5 | 53.0 | 63.0 | 75.0 | 90 |
| 连续级配 | 5~16 | 95~100 | 85~100 | 30~60 | 0~10 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 5~20 | 95~100 | 90~100 | 40~80 | - | 0~10 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 5~25 | 95~100 | 90~100 | - | 30~70 | - | 0~5 | 0 | - | - | - | - | - |
| 5~31.5 | 95~100 | 90~100 | 70~90 | - | 15~45 | - | 0~5 | 0 | - | - | - | - |
| 5~40 | - | 95~100 | 70~90 | - | 30~65 | - | - | 0~5 | 0 | - | - | - |
| 单粒粒级 | 5~10 | 95~100 | 80~100 | 0~15 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10~16 | - | 95~100 | 80~100 | 0~15 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 10~20 | - | 95~100 | 85~100 | - | 0~15 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 16~25 | - | - | 95~100 | 55~70 | 25~40 | 0~10 | 0 | - | - | - | - | - |
| 16~31.5 | - | 95~100 | - | 85~100 | - | - | 0~10 | 0 | - | - | - | - |
| 20~40 | - | - | 95~100 | - | 80~100 | - | - | 0~10 | 0 | - | - | - |
| 25~31.5 | - | - | - | 95~100 | - | 80~100 | 0~10 | 0 | - | - | - | - |
| 40~80 | - | - | - | - | 95~100 | - | - | 70~100 | - | 30~60 | 0~10 | 0 |
| 注：“-”表示该孔径累计筛余不做要求；“0”表示该孔径累计筛余为0。 | | | | | | | | | | | | | |

（2）钢渣粗骨料（粗钢渣）的技术要求与检验方法应符合表3.2.4.2-2相关规定。

**表3.2.4.2-2 钢渣粗骨料（粗钢渣）的技术要求与检验方法**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 技术指标 | | | | 检验方法 |
| I | II | | III |
| 压碎指标/% | ≤10 | ≤20 | | ≤30 | GB/T 14685 |
| 质量损失率/%（坚固性） | ≤5 | | ≤8 | ≤12 | GB/T 14685 |
| 针片状颗粒含量/% | ≤5 | ≤8 | | ≤15 | GB/T 14685 |
| 不规则颗粒含量/% | ≤10 | - | | - | GB/T 14685 |
| 吸水率/% | ≤1.0 | ≤2.0 | | ≤2.5 | GB/T 14685 |
| 表观相对密度/(kg/m3) | ≥2900 | | | | GB/T 14685 |

**3.3** 钢渣混凝土

**3.3.1** 钢渣混凝土用钢渣粗骨料、钢渣细骨料的技术要求除应满足本规程的规定外，还应符合现行国家标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685、《建设用砂》GB/T 14684和现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的有关规定。

**3.3.2** 钢渣混凝土用水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。当采用其他品种水泥时，应进行工程性能试验。

**3.3.3** 钢渣混凝土用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的有关规定。

**3.3.4** 钢渣混凝土中的粉煤灰、粒化高炉矿渣、硅灰以及石灰石粉等矿物掺合料应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003的规定，同时还应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690、《石灰石粉混凝土》GB/T 30190和现行行业标准《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318的有关规定。

**3.3.5** 钢渣混凝土用外加剂的选择应通过试配试验确定，同时还应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119的有关规定。

**3.3.6** 钢渣混凝土的配合比应根据混凝土的强度等级，强度标准值保证率、混凝土的工作性能以及耐久性等要求，基于实际工程采用的原材料进行合理设计。配合比设计可按重量法或绝对体积法计算，通过试配试验确定合理配合比，基于系统配合比试验建立钢渣混凝土强度与水胶比的经验关系式。钢渣混凝土施工、质量检验和验收应符合现行标准《钢渣粉混凝土应用技术规程》DG/T J08的有关规定。

**3.3.7** 钢渣混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，本规程适用的钢渣混凝土强度等级不应高于SSC60，且不宜低于SSC30，适用的强度等级为SSC30、SSC35、SSC40、SSC45、SSC50、SSC55和SSC60。

**3.3.8** 钢管内填充的钢渣混凝土宜采用微膨胀钢渣混凝土，钢管钢渣混凝土构件中的钢渣混凝土强度与钢管材料强度的组合关系可参照表3.3.8采用。

**表3.3.8 钢渣混凝土与钢管材料组合关系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 钢材牌号 | Q235 | Q345和Q390 | Q420和Q460 |
| 钢渣混凝土  强度等级 | SSC30、SSC35 | SSC40、SSC45、SSC50 | SSC50、SSC55、SSC60 |

# **3.3.9** 钢渣混凝土最小胶凝材料用量与最大水胶比应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的有关规定。

**3.3.10** 钢渣混凝土的设计龄期应根据建筑物和构筑物类型与实际承载时间确定，宜采用较长的设计龄期，按设计要求可选用60d，90d或120d的龄期强度。

# **3.3.11** 钢渣混凝土抗压、劈裂抗拉以及抗折强度等基本力学性能指标宜通过现行国家标准《混凝土物理性能力学试验方法标准》GB/T 50081规定的方法试验确定；当缺乏试验条件或技术资料时，钢渣混凝土应力-应变关系可按附录C确定，钢渣混凝土抗压强度可按附录D计算。

**3.3.12** 钢渣混凝土静力受拉、受压弹性模量，剪切变形模量和泊松比宜通过试验确定。

**3.3.13** 钢渣混凝土膨胀率可按附录E建议的方法通过试验确定；当缺乏试验条件或技术资料时，钢渣混凝土膨胀率可附录F计算。

**3.3.14** 钢渣混凝土的导温系数、导热系数以及比热容宜通过试验确定。

**3.3.15** 钢渣混凝土的吸水率、耐磨性可按附录G和附录H建议的方法试验确定。

**3.3.16** 钢渣混凝土在高温下和高温后的轴心抗压强度、峰值应变、弹性模量等力学性能指标宜通过试验确定。

**3.4** 连接材料

**3.4.1** 用于钢管钢渣混凝土构件的焊接材料应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定。两种级别的钢材焊接连接时，可采用与强度较低钢材相适应的焊接材料。

**3.4.2** 手工焊接选用的焊条型号应与被焊钢材的力学性能相适应，且应符合现行国家标准《热强钢焊条》GB/T 5118 和《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 的有关规定；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 的有关规定；埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 17493的有关规定；自动或半自动焊接用的焊丝和焊剂应与被焊钢材相适应，且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、《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045以及《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493的规定。

**3.4.3** 焊缝材料的力学性能应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

**3.4.4** 当采用螺栓等紧固件连接钢管钢渣混凝土构件时，连接紧固件的材料性能应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的有关规定。

**3.4.5** 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》GB/T 5782 的有关规定。普通螺栓连接可采用4.6级和4.8级的C级螺栓。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 的规定。当高强度螺栓需热镀锌防腐时，宜采用6.8和8.8级C级螺栓。

**3.4.6** 栓钉应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定。

**3.4.7** 锚栓钢材宜采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中规定的Q235钢或《低合金高强度结构钢》GB/T1591中规定的Q345钢。

**4 基本规定**

4.1 一般规定

**4.1.1** 钢管钢渣混凝土结构的安全等级和结构使用年限按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 确定。钢管钢渣混凝土结构设计必须贯彻国家技术经济政策，充分考虑工程情况、材料供应、构件运输、安装和施工的具体条件，合理选用结构方案，做到安全、经济和适用，同时应注意结构的抗腐蚀和抗火性能。

**4.1.2** 钢管钢渣混凝土结构应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223确定其抗震设防类别与抗震设防标准，其抗震等级应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的有关规定。

**4.1.3** 采用钢管钢渣混凝土结构的多层和高层建筑的平面和竖向布置、规则性要求和高宽比限值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规范》JGJ 3和《高层民用建筑钢结构技术规范》JGJ 99的有关规定。

**4.1.4** 钢管钢渣混凝土结构的作用及作用组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009和《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。采用钢管钢渣混凝土构件的杆塔结构的内力及位移计算应符合现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135和《构筑物抗震设计规范》GB 50191等的有关规定。

**4.1.5** 钢管钢渣混凝土构件可用于框架、框架-支撑、框架-剪力墙、部分框支-剪力墙、框架-核心筒、筒中筒以及杆塔等结构体系。

**4.1.6** 钢管钢渣混凝土宜用作轴心受压或小偏心受压构件，当大偏心受压采用单根构件不够经济合理时，宜采用格构式构件。厂房柱和构架柱常用截面形式有单肢、双肢、三肢和四肢等，设计时应根据厂房规模、荷载情况、结构形式和使用要求确定。

**4.1.7** 钢管钢渣混凝土构件应按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，对使用上需控制变形的结构构件，应进行变形验算。钢管钢渣混凝土构件的承载力（包括压屈及失稳）计算和倾覆、滑移验算均应采用荷载的基本组合或偶然组合。正常使用极限状态的变形验算应采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合。预制钢管钢渣混凝土构件尚应按制作、运输及安装的荷载设计值进行施工阶段的验算，预制构件自身吊装的验算，应将构件自重乘以动力系数1.5。有抗震设防要求的结构构件尚应进行抗震承载力验算。

**4.1.8** 钢管钢渣混凝土构件的承载力应按下列公式验算：

无地震作用组合：

 （4.1.8-1）

有地震作用组合：

 （4.1.8-2）

式中： —— 结构重要性系数，对安全等级为一级的结构构件，不应小于1.1；

对于安全等级为二级的结构构件，不应小于1.0；

 —— 作用组合的效应设计值；

 —— 构件承载力设计值；

 —— 构件承载力抗震调整系数。

**4.1.9** 抗震设计时，钢管钢渣混凝土构件的抗震调整系数应按表4.1.9采用。

**表4.1.9 承载力抗震调整系数**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 正截面承载力验算 | | 斜截面承载力验算 | 节点板件、连接螺栓、连接焊缝 | |
| 钢管钢渣混凝土柱 | 支撑 | 强度验算 | 稳定验算 |
| 0.80 | 0.80 | 0.85 | 0.75 | 0.80 |

**4.1.10** 钢管钢渣混凝土构件应按空钢管构件进行施工阶段的强度、稳定性和变形验算，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666和《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901的有关规定。

**4.1.11** 钢管钢渣混凝土构件的管材在浇筑钢渣混凝土前，其轴向应力不应大于钢管抗压强度设计值的60%，并应满足强度与稳定性的要求。

**4.2 构造要求**

**4.2.1** 矩形钢管钢渣混凝土构件的钢管边长不宜小于150 mm，壁厚不应小于3 mm。圆形钢管钢渣混凝土构件的截面直径不宜小于180 mm，壁厚不应小于3 mm。**4.2.2** 以受压为主的钢管钢渣混凝土构件，矩形截面边长与壁厚之比不应大于，圆形截面的钢管外径与壁厚之比不应大于；以受弯为主的钢管钢渣混凝土构件，矩形截面边长与壁厚之比不应大于，圆形截面的钢管外径与壁厚之比不应大于。钢管的外径或最大外边长与壁厚之比不得大于无钢渣混凝土时相应限值的1.5倍，若超过此限值，应采取必要的构造措施来提高构件的局部稳定性。

**4.2.3** 矩形钢管钢渣混凝土构件的截面长边与短边尺寸之比不宜大于2.0，直径大于2 m的圆形钢管钢渣混凝土构件及边长大于1.5 m的矩形钢管钢渣混凝土构件，应采取有效措施确保钢管与大体积钢渣混凝土之间良好协同工作。

**4.2.4** 钢管钢渣混凝土构件的容许长细比可参照现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936和《钢结构设计规范》GB 50017的有关规定确定。

**4.2.5** 矩形钢管钢渣混凝土构件的约束效应系数标准值 ，不应小于1.0，且不应大于4.0；圆钢管钢渣混凝土构件的约束效应系数标准值，不应小于0.6，且不应大于4.0。名义约束效应系数标准值和设计值可分别按式（4.2.5-1）和式（4.2.5-2）计算：

 （4.2.5-1）

 （4.2.5-2）

式中：、 —— 钢管和钢渣混凝土的截面面积；

 —— 钢材的屈服强度；

 —— 钢渣混凝土的轴心抗压强度标准值；

 —— 钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

 —— 钢渣混凝土的轴心抗压强度设计值。

**4.2.6** 矩形钢管钢渣混凝土构件截面含钢率（）不应小于0.1，不应大于0.2；圆钢管钢渣混凝土构件的截面含钢率不应小于0.06，不应大于0.2。

**4.2.7** 抗震设计时，钢管钢渣混凝土构件的轴压比可按式4.2.6计算，且轴压比限值不宜大于表4.2.6规定的限值。

 （4.2.7）

式中： —— 轴压比；

 —— 考虑地震组合作用的钢管钢渣混凝土构件轴压力设计值。

**表4.2.6 矩形钢管钢渣混凝土柱轴压比限值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构体系 | 抗震等级 | | | |
| 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 框架结构 | 0.60 | 0.70 | 0.85 | 0.90 |
| 框架-剪力墙结构、筒体结构 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 0.95 |
| 部分框支剪力墙结构 | 0.55 | 0.65 | - | - |

注：对IV类场地上较高的高层建筑，钢管钢渣混凝土构件轴压比限值宜适当减小。

4.3 设计指标

**4.3.1** 钢管钢渣混凝土构件截面的组合轴压强度设计值，按式（4.3.1-1）和（4.3.1-2）计算：

矩形钢管钢渣混凝土：

 （4.3.1-1）

圆形钢管钢渣混凝土：

 （4.3.1-2）

式中： —— 钢管钢渣混凝土组合截面轴心抗压强度设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土有效约束效应系数，；

 —— 钢渣混凝土强度增强系数，，为试验实测确定的侧压系数，为钢渣混凝土与钢管之间产生的自应力，圆形和矩形截面钢管钢渣混凝土的自应力可按附录I建议方法的确定。

**4.3.2** 钢管钢渣混凝土构件截面的组合轴压刚度按式（4.3.2）计算：

 （4.3.2）

式中： —— 钢管钢渣混凝土构件的组合截面面积，；

 —— 钢管钢渣混凝土构件截面的组合弹性模量，宜通过试验确定。当缺乏试验条件或技术资料时，可按附录J计算；

**4.3.3** 钢管钢渣混凝土构件截面的组合弹性抗弯刚度可按式（4.3.3）计算：

 （4.3.3）

式中： —— 为钢管弹性模量；

 —— 为钢管钢渣混凝土弹性模量，宜通过试验确定，当缺乏试验条件或技术资料时，可按附录K确定；

 —— 钢管钢渣混凝土组合截面惯性矩；

、 —— 分别为钢管和钢渣混凝土的截面惯性矩；

 —— 钢渣混凝土刚度折减系数，对于矩形钢管钢渣混凝土，；

对于圆形钢管钢渣混凝土，；

**4.3.4** 钢管钢渣混凝土构件截面的组合抗剪强度设计值可按下式（4.3.4-1）

和（4.3.4-2）计算：

矩形钢管钢渣混凝土：

 （4.3.4-1）

圆形钢管钢渣混凝土：

 （4.3.4-2）

式中： —— 钢管钢渣混凝土构件截面的组合剪切强度设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件长度；

 —— 钢管钢渣混凝土构件圆形截面直径或矩形截面长边长度；

 —— 核心钢渣混凝土自应力水平，为初始自应力与钢渣混凝土轴心抗压强度的比值。

**4.3.5** 钢管钢渣混凝土构件截面的组合弹性剪切刚度可按下式（4.3.5）计算：

 （4.3.5）

式中： —— 钢管钢渣混凝土构件截面的组合剪切模量；

 —— 为钢管的剪切模量；

 —— 为钢管钢渣混凝土的剪切模量，，为钢管钢渣混凝土泊松比，宜通过试验确定，当缺乏试验条件或技术资料时，可取0.2~0.4。

**4.3.6** 钢管钢渣混凝土构件在长期荷载作用下应考虑构件变形（膨胀、收缩、徐变）对其组合轴压刚度与组合抗弯刚度的影响，宜通过试验方法确定。钢管钢渣混凝土构件在长期荷载作用下的正常使用极限状态验算应采用荷载的准永久组合。

**5** 构件承载力计算

**5.1** 一般规定

**5.1.1** 本章适用于承受静力荷载或拟静力荷载作用的钢管钢渣混凝土构件的承载力计算，不适用于直接承受动力荷载作用下钢管钢渣混凝土构件的承载力计算。

**5.2** 轴心受力构件承载力计算

**5.2.1** 单肢钢管钢渣混凝土轴心受拉构件承载力应符合如下规定：

 （5.2.1-1）

 （5.2.1-2）

式中：

 —— 作用于构件的轴心拉力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件轴心受拉承载力设计值；

 —— 钢管轴心受拉强度提高系数，对矩形钢管钢渣混凝土构件取1.05；圆形钢管钢渣混凝土构件取1.1。

**5.2.2** 单肢钢管钢渣混凝土轴心受压构件承载力应符合如下规定：

 （5.2.2-1）

 （5.2.2-2）

式中：

 —— 作用于构件的轴心压力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土轴心受压构件的强度承载力设计值；

 —— 轴心受压构件稳定系数，可按表5.2.2计算。

表5.2.2 轴压构件稳定系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 值 |  | 值 |
| 0 | 1.000 | 130 | 0.440 |
| 10 | 0.975 | 140 | 0.394 |
| 20 | 0.951 | 150 | 0.353 |
| 30 | 0.924 | 160 | 0.318 |
| 40 | 0.895 | 170 | 0.287 |
| 50 | 0.863 | 180 | 0.260 |
| 60 | 0.824 | 190 | 0.236 |
| 70 | 0.779 | 200 | 0.216 |
| 80 | 0.728 | 210 | 0.198 |
| 90 | 0.670 | 220 | 0.181 |
| 100 | 0.610 | 230 | 0.167 |
| 110 | 0.549 | 240 | 0.155 |
| 120 | 0.492 | 250 | 0.143 |

注： 表示钢管钢渣混凝土构件的长细比，等于构件的计算长度除以截面回转半径。矩形钢管钢渣混凝土构件绕强轴弯曲：，绕弱轴弯曲： （其中B为矩形钢管短边长度）；圆钢管钢渣混凝土构件：。

**5.2.3** 格构式钢管钢渣混凝土轴心受压构件稳定承载力设计值按公式（5.2.2-1）计算，其轴心受压构件稳定系数应根据换算长细比按表5.2.2确定，其中换算长细比应按本规范5.2.4条计算。

**5.2.4** 格构式钢管钢渣混凝土构件的换算长细比应按表5.2.4计算：

**表5.2.4 格构式构件的换算长细比**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 截面形式 |  | 计算公式 |
| 双肢柱 | IMG_256 | 当各肢截面相同且为缀板时  当各肢截面相同且为缀条时  当双肢缀条的内外截面不同时 |  |
| 三肢柱 | IMG_256 | 当各肢截面相同且为缀板时  当各肢截面不同且为缀条时 |  |
| 四肢柱 | IMG_256 | 当各肢截面相同且为缀条时  当各肢截面不同且为缀条时 |  |

**注：**为整个构件对轴和轴的换算长细比；为整个截面对轴和轴的长细比；为单肢一个节间的长细比；为各钢管混凝土柱肢的截面面积，；为腹杆（缀板或缀条）截面面积。

**表5.2.4**中构件长细比按下式计算：

 （5.2.4-1）

 （5.2.4-2）

 （5.2.4-3）

 （5.2.4-4）

 （5.2.4-5）

式中：

—— 分别为整个构件绕轴和轴的计算长度；

—— 为柱肢节间距离；

—— 分别为单根柱肢的截面惯性矩；

 —— 分别是柱肢中心到虚轴和的距离，如表5.2.4所示。

**5.2.5** 格构式钢管钢渣混凝土轴心受压构件除按公式（5.2.2-1）验算整体稳定承载力外，尚应验算单肢构件稳定承载力。当单肢构件长细比符合下列条件时，可不验算单肢构件稳定承载力：

缀板格构式构件：及；

缀条格构式构件：；

其中，是构件在和方向换算长细比的较大值。

**5.2.6** 格构式钢管钢渣混凝土轴心受压构件用于缀材设计时所受剪力设计值应按式（5.2.6）计算：

 （5.2.6）

式中： —— 构件各肢的截面面积。

**5.3** 受弯、压弯和拉弯构件承载力计算

**5.3.1** 单肢钢管钢渣混凝土受弯构件的承载力应符合下列规定：

 （5.3.1-1）

 （5.3.1-2）

式中：

 —— 作用于构件的弯矩设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土构件受弯承载力设计值；

 —— 构件截面抗弯塑性发展系数，；

 —— 钢管钢渣混凝土构件组合截面抗弯模量，矩形钢管钢渣混凝土截面绕强轴弯曲，绕弱轴弯曲；圆形钢管钢渣混凝土截面。

**5.3.2** 格构式钢管钢渣混凝土构件的受弯承载力应按式（5.3.1-1）计算，取格构式构件截面至最大受压肢外边缘的截面模量，不考虑截面塑性发展，取1.0。

**5.3.3** 矩形钢管钢渣混凝土双向受弯构件的承载力应符合下列规定：

 （5.3.3）

式中：

 —— 所计算构件段范围内的最大弯矩设计值；

 —— 构件绕强轴和弱轴的的受弯承载力设计值，可按式（5.3.1-2）计算。

**5.3.4** 钢管钢渣混凝土构件在一个平面内承受压弯荷载共同作用时，强度承载力应符合下列规定：

当时

 （5.3.4-1）

当时

 （5.3.4-2）

式中：均为系数，分别由式（5.3.4-3）、（5.3.4-4）、（5.3.4-5）进行计算：

 （5.3.4-3）

 （5.3.4-4）

 （5.3.4-5）

对于矩形截面钢管钢渣混凝土构件：

 （5.3.4-6）

  （5.3.4-7）

对于圆钢截面管钢渣混凝土构件：

 （5.3.4-8）

  （5.3.4-9）

**5.3.5** 钢管钢渣混凝土构件在一个平面内承受压弯荷载共同作用时，稳定承载力应符合下列规定：

当时

 （5.3.5-1）

当时

 （5.3.5-2）

式中：、、和均为系数，可按照式（5.3.5-3）、（5.3.5-4）、（5.3.5-5）、（5.3.5-6）和（5.3.5-7）进行计算：

 （5.3.5-3）

 （5.3.5-4）

 （5.3.5-5）

对于矩形钢管钢渣混凝土构件：

 （5.3.5-6）

对于圆形截面钢管钢渣混凝土构件：

 （5.3.5-7）

式中：

 —— 欧拉临界力，；

 —— 等效弯矩系数，参照《钢结构设计标准》GB50017的规定取值；

 —— 弯矩作用平面内的轴心受压构件稳定系数，可按本规程中表5.2.2确定。

**5.3.6** 对于绕强轴弯曲的矩形钢管钢渣混凝土压弯构件，除按式（5.3.4-1）和（5.3.4-2）验算弯矩作用平面内的稳定性外，还需按下式验算弯矩作用平面外的稳定性：

 （5.3.6）

式中：

 —— 弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数，可按本规程中表5.2.2确定。

**5.3.7** 钢管钢渣混凝土拉弯构件承载力应符合下列规定：

 （5.3.7）

**5.3.8** 对于承受双向压弯或双向拉弯的矩形钢管钢渣混凝土构件，可以将式（5.3.4-1）、（5.3.4-2）、（5.3.4-1）、（5.3.4-2）和（5.3.7）中的“”项以“”代入进行验算。

**5.3.9** 格构式钢管钢渣混凝土构件承受压、弯共同作用时，应按下式验算弯矩作用平面内的整体稳定承载力：

 （5.3.9）

式中：

 —— 格构式构件组合截面抗弯模量。

对缀条格构式的单肢，应按桁架的弦杆计算单肢的稳定承载力。对缀板格构式构件的单肢，尚应考虑由剪力引起的局部弯矩的影响，按压弯构件计算。腹杆所受的剪力应取实际剪力和按本规范公式（5.2.6）计算剪力中的较大值。

5.4 受剪、受扭和压扭构件承载力计算

**5.4.1** 钢管钢渣混凝土受剪构件的承载力应符合下列规定:

 （5.4.1-1）

 （5.4.1-2）

式中：

 —— 作用于构件的剪力设计值；

——钢管钢渣混凝土构件抗剪承载力设计值；

——钢管钢渣混凝土抗剪承载力计算系数：

矩形钢管钢渣混凝土：；

圆钢管钢渣混凝土：。

**5.4.2** 钢管钢渣混凝土受扭构件的承载力应符合下列规定：

 （5.4.2-1）

 （5.4.2-2）

式中：

 —— 作用于构件的扭矩设计值；

——钢管钢渣混凝土构件的抗扭承载力设计值；

——钢管钢渣混凝土抗扭承载力计算系数：

矩形钢管钢渣混凝土：；

圆钢管钢渣混凝土：；

——钢管再钢渣混凝土构件组合截面的受扭模量；

矩形钢管钢渣混凝土，；

圆形钢管钢渣混凝土，。

**5.4.3** 矩形钢管钢渣混凝土和圆形钢管钢渣混凝土压扭构件均应符合下列规定：

强度承载力：

 （5.4.3-1）

稳定承载力：

 （5.4.3-2）

**5.4.4** 矩形钢管钢渣混凝土和圆形钢管钢渣混凝土压弯扭构件承载力应符合下列规定：

当时：

 （5.4.4-1）

当时：

 （5.4.4-2）

式中：、、和均为系数，可按照下式（5.4.4-3）、（5.4.4-4）、（5.4.4-5）、（5.4.4-6）和（5.4.4-7）进行计算：

 （5.4.4-3）

 （5.4.4-4）

 （5.4.4-5）

对于矩形钢管钢渣混凝土构件：

 （5.4.4-6）

对于圆形钢管钢渣混凝土构件：

 （5.4.4-7）

 （5.4.4-8）

 （5.4.4-9）

 （5.4.4-10）

式中，系数和的计算按式（5.3.4-6）~（5.3.4-9）确定。

**5.4.5** 矩形钢管钢渣混凝土和圆形钢管钢渣混凝土压弯剪构件的承载力应符合下列规定：

当时：

 （5.4.5-1）

当时：

 （5.4.5-2）

式中系数、、和按本规程第5.4.4条的规定确定。

5.5 局部受压构件承载力计算

**5.5.1** 钢管钢渣混凝土轴向局部受压构件的局压面积比可按下式计算：

 （5.5.1-1）

式中：

 —— 局压荷载作用面积。

**5.5.2** 无端板和带端板的钢管钢渣混凝土轴向局部受压构件的承载力应符合下列规定：

 （5.5.2-1）

 （5.5.2-2）

式中：

 —— 作用于构件的局压承载力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土轴心受压构件的局压承载力设计值；

 —— 钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数。

**5.5.3** 无端板矩形钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数应按下式计算：

 （5.5.3）

式中系数、值见表5.5.3：

**表 5.5.3 系数、值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
| 系数 |  | 1.050 | 1.043 | 1.036 | 1.029 | 1.022 | 1.016 | 1.009 | 1.002 | 0.995 |
|  | -0.052 | -0.045 | -0.037 | -0.030 | -0.022 | -0.015 | -0.007 | 0.000 | 0.008 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

**5.5.4** 无端板圆形钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数应按下式计算：

 （5.5.3）

其中，系数、、值见表5.5.4：

**表 5.5.3 系数、、值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
| 系数 |  | 0.07 | 0.040 | 0.018 | 0.004 | -0.005 | -0.009 | -0.010 | -0.010 | -0.009 |
|  | -0.61 | -0.410 | -0.273 | -0.186 | -0.138 | -0.119 | -0.118 | -0.126 | -0.132 |
|  | 1.5 | 1.358 | 1.258 | 1.193 | 1.156 | 1.139 | 1.134 | 1.134 | 1.132 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

**5.5.5** 带端板矩形钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数应按下式计算：

 （5.5.5-1）

其中，系数、、、、值分别按表5.5.5-1a、5.5.5-1b取值：

**表5.5.5-1a 系数、、值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
| 系数 |  | 0.263 | 0.440 | 0.617 | 0.795 | 0.972 | 1.149 | 1.326 | 1.504 | 1.681 |
|  | 0.746 | 0.543 | 0.340 | 0.137 | -0.067 | -0.270 | -0.473 | -0.676 | -0.879 |
|  | -0.0093 | 0.017 | 0.043 | 0.069 | 0.095 | 0.121 | 0.147 | 0.173 | 0.199 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

**表5.5.5-1b 系数值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 系数 |  | 1.533 | 1.997 | 2.388 | 2.732 | 3.044 | 3.330 | 2.388 | 3.597 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

**5.5.6** 带端板圆钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数应按下式计算：

 （5.5.6-1）

 （5.5.6-2）

式中：

——相对刚度半径；

——端板的弹性模量；

——钢管钢渣混凝土折算轴压弹性模量，；

——端板厚度。

其中，系数、、、、值分别按表5.5.6-1a、5.5.6-1b取值：

**表5.5.6-1a 系数、、值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 0 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
| 系数 |  | 0.070 | 0.040 | 0.019 | 0.004 | -0.004 | -0.009 | -0.010 | -0.010 | -0.008 |
|  | -0.608 | -0.410 | -0.275 | -0.187 | -0.140 | -0.122 | -0.124 | -0.134 | -0.144 |
|  | 1.509 | 1.360 | 1.257 | 1.192 | 1.159 | 1.147 | 1.150 | 1.159 | 1.166 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

表5.5.6-1b 系数、值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 系数 |  | -0.641 | -0.895 | -0.110 | -1.301 | -1.474 | -1.635 | -0.110 | -1.785 |
|  | 0.810 | 1.209 | 1.564 | 1.891 | 2.198 | 2.490 | 1.564 | 2.770 |

注：表内中间值可采用插值法计算。

5.6 考虑长期荷载作用影响的构件承载力计算

**5.6.1** 对长细比大于40的钢管钢渣混凝土构件，当永久荷载引起的轴压力占全部轴压力的50%及以上时，应考虑长期荷载对其稳定承载力的影响，对钢管钢渣混凝土构件的轴心受压稳定承载力设计值乘以折减系数，折减系数可按式（5.6.1-1）~（5.6.1-4）计算。对长细比不超过40的钢管钢渣混凝土构件，取1.0。

 （5.6.1-1）

 （5.6.1-2）

 （5.6.1-3）

式中：

——长期荷载比，，为作用于钢管钢渣混凝土构件的长期轴压荷载，按照准永久荷载组合确定。

5.7 冻融环境作用下构件承载力计算

**5.7.1** 冻融环境作用下钢管钢渣混凝土构件的轴压承载力应符合下列规定：

 （5.7.1-1）

 （5.7.1-2）

式中： —— 考虑冻融循环作用影响下的轴压承载力折减系数；

 —— 考虑偏心率对钢管钢渣混凝土构件承载力影响的折减系数，按本规程5.7.3确定；

 —— 考虑长细比影响的承载力折减系数，按本规程5.7.4确定。

**5.7.3** 钢管钢渣混凝土构件考虑偏心率影响的承载力折减系数应按式（5.7.3）计算：

 （5.7.3）

式中：*e*——构件端部轴向压力偏心距之较大者。

**5.7.4** 钢管钢渣混凝土构件考虑长细比影响的承载力折减系数应按式（5.7.4）计算：

 （5.7.4）

式中：——构件等效计算长度。

**5.7.5** 钢管钢渣混凝土构件的等效计算长度应按式（5.7.5）计算：

 （5.7.5）

式中：

 —— 考虑构件端部约束条件的计算长度系数，根据梁柱刚度的比值，按《钢结构设计规范》GB 50017确定；

** —— 考虑构件弯矩分布梯度影响的等效长度系数，按《钢管混凝土结构设计与施工规范》CECS 28；

** —— 构件的实际长度。

5.8 腐蚀环境作用下构件承载力计算

**5.8.1** 在腐蚀环境作用下，钢管钢渣混凝土构件外钢管壁发生腐蚀，应以腐蚀后钢管的有效截面计算腐蚀后钢管钢渣混凝土构件的承载力，腐蚀后构件的计算参数可按式（5.8.1-1）、（5.8.1-2）和（5.8.1-3）计算：

 （5.8.1-1）

 （5.8.1-2）

 （5.8.1-3）

矩形钢管钢渣混凝土构件：

 （5.8.1-4）

圆形钢管钢渣混凝土构件：

 （5.8.1-5）

 （5.8.1-6）

 （5.8.1-7）

 （5.8.1-8）

式中：

 —— 钢管壁厚；

 —— 外钢管管壁在腐蚀环境作用下的平均壁厚损失；

 —— 腐蚀后外钢管管壁厚度；

 —— 腐蚀后外钢管外直径或矩形钢管长边长度；

 —— 腐蚀后外矩形钢管短边长度；

 —— 腐蚀后外钢管的截面面积；

 —— 腐蚀后名义截面含钢率；

 —— 腐蚀后名义约束效应系数标准值；

 —— 腐蚀后名义约束效应系数设计值。

**6 抗火设计**

**6.1.1** 钢管钢渣混凝土结构的耐火等级、构件耐火极限和燃烧性能应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定。

**6.1.2** 火灾下柱构件承载力和耐火极限的验算，宜对构件的有效长度进行相应折减，可按下列规定执行：

1 有支撑框架中间层柱构件的有效长度可取柱高的0.5倍；

2 顶层柱构件的有效长度可取柱高的0.7倍。

**6.1.3** 钢管钢渣混凝土结构在进行抗火设计时，排气孔宜在每个楼层柱与楼板相交位置的上、下各布置1个，排气孔与楼板的间距应为100 mm~200 mm；排气孔直径不应小于20 mm，并宜沿柱身反对称布置。排气孔的设置应保证钢管内核心混凝土与外部空气连通，保证火灾下钢管内部水蒸气可顺利排出。

**6.1.4** 钢管钢渣混凝土构件的火灾荷载比应按下式计算：

 （6.1.4-1）

式中：—火灾荷载比；

—火灾下钢管钢渣混凝土构件的轴心压力设计值（N）。

**6.1.5** 钢管钢渣混凝土构件在标准升温火灾作用下的耐火时间应通过本规程附录K表K-1确定。采用非膨胀型防火涂料或水泥砂浆作为防火保护时，其厚度可按附录K-2~K-5表查得。

**6.1.6** 经过充分试验验证，在保证火灾下构件安全性的前提下，可采用膨胀型防火涂料作为防火保护。

**6.1.7** 金属网抹水泥砂浆的钢管钢渣混凝土构件防火保护构造如图6.1.7-1所示，外包混凝土的钢管钢渣混凝土构件防火保护构造如图6.1.7-2所示，防火涂料的防火保护构造如图6.1.7-3所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 1-钢渣混凝土； 2-砂浆保护层； 3-金属网； 4-定位钢筋 | |
| 图6.1.7-1 采用金属网抹水泥砂浆的钢管钢渣混凝土构件防火保护构造 | |
|  |  |
| 1-钢渣混凝土；2-混凝土保护层；3-构造钢筋 | |
| 图6.1.7-2采用外包混凝土的钢管钢渣混凝土构件防火保护构造 | |
|  |  |
| 1-钢渣混凝土；2-防火涂料 | |
| 图6.1.7-3 采用防火涂料的钢管钢渣混凝土构件防火保护构造 | |

**6.1.8** 选用防火板作为钢管钢渣混凝土构件的防火保护材料时（图6.1.8所示）,需符合以下要求：

**1** 防火板的包覆构造应根据构件形状、所处部位，在满足耐火性能的条件下，充分考虑牢固稳定，进行包覆构造设计；

**2** 固定防火板的龙骨及粘结剂应为不燃材料，龙骨材料应能方便与构件、防火板连接，粘接剂在高温下仍能保持一定的强度，确保结构的稳定和完整；

**3** 防火板的燃烧性能和物理化学性能应符合有关规范的规定。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 1-钢渣混凝土；2-钢龙骨或防火板支撑件；3-防火板； 4-钢钉  (a) 圆钢管钢渣混凝土构件包矩形防火板 | 1-钢渣混凝土；2-钢龙骨；3-弧形防火板；4-自攻螺钉  (b)圆钢管钢渣混凝土构件包圆弧形防火板 |
|  |  |
| 1-钢渣混凝土；2-钢龙骨；3-弧形防火板；4-自攻螺钉； 5-防火板  (c)靠墙圆钢管钢渣混凝土构件包弧形防火板 | 1-钢渣混凝土；2-钢龙骨或防火板支撑件；3-圆弧形防火板； 4-自攻螺钉  (d)矩形钢管钢渣混凝土柱包圆弧形防火板 |
| 图6.1.8钢管钢渣混凝土构件用钢龙骨固定的防火板构造 | |

**6.1.9** 当钢管钢渣混凝土构件采用复合防火保护时，如图6.1.9所示，应符合下列要求：

**1** 根据构件形状及所处部位，在满足耐火性能的条件下，充分考虑结构的牢固稳定，进行包覆构造设计；

**2** 在包覆构造设计时，外层包覆施工不应对内层防火层造成结构损失或破坏。

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\admin\Desktop\方图\图a.png图a | C:\Users\admin\Desktop\方图\图b.png图b |
| （a）  1-矩形钢管钢渣混凝土柱； 2-防火板龙骨；3-防火涂料； 4-高温粘结剂固定； 5-防火板； 6-钢钉 | (b)  1-矩形钢管钢渣混凝土柱； 2-防火板龙骨； 3-防火涂料； 4-高温粘结剂固定； 5-防火板； 6-钢钉；7-自攻螺钉；8-墙体；9-点焊 |
|  | C:\Users\admin\Desktop\方图\图c.png图c |
| 剖面A-A   1. 圆钢管钢渣混凝土柱； 2-凹形支撑板；   3- 防火板；4-防火涂料； 5-钢钉；6-空气腔 | (c)  1-圆钢管混凝土柱； 2-凹形支撑板； 3-防火板；4-钢钉；5-高温粘结剂固定 |
|  | C:\Users\admin\Desktop\方图\图e.png图e |
| (d)  1-矩形钢管钢渣混凝土柱； 2-钢龙骨或防火板支撑件；3-柔性毡状隔热  材料；4-圆弧形防火板；5-自攻螺钉；6-支撑固定件(点焊) | (e)  1-矩形钢管钢渣混凝土柱； 2-防火板 3-龙骨；4-高温粘结剂固定； |
| C:\Users\admin\Desktop\方图\图f.png图f | |
| (f)  1-矩形钢管钢渣混凝土柱； 2-防火板龙骨；4-柔性毡状隔热材料；高温粘结剂固定；5-防火板；6-钢钉 7-自攻螺钉；8-墙体；9-点焊 | |
| 图6.1.9采用复合防火保护的钢管钢渣混凝土柱构造图 | |

**6.1.10** 当钢管钢渣混凝土构件采用柔性毡状隔热材料防火保护时，如图6.1.10所示，应符合下列要求：

**1** 本方法仅适用于平时不受机械伤害和不易被人为破坏，且应避免水湿的部位；

**2** 包覆构造的外层应设金属保护壳；

包覆构造应满足在材料自重下，不应使毡状材料发生体积压缩不均的现象。金属保护壳应固定在支撑构件上，支撑构件应固定在钢构件上，支撑构件为不燃材料。

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| （a）用钢龙骨支撑 | |
|  |  |
| 部面A-A | (b)用圆弧形防火板支撑 |
| 1-圆钢管钢渣混凝土柱；2-钢龙骨或防火板龙骨；3-自攻螺钉；4-包裹柔性毡状隔热材料；5-点焊或高温粘结剂固定；6-金属保护板 | |
| 图6.1.10柔性毡状隔热材料防火构造图 | |

**7 制作与施工**

**7.1** 一般规定

**7.1.1** 钢管钢渣混凝士构件的制作与施工除符合本规程的规定外，尚应符合现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的有关规定。

**7.1.2** 钢管钢渣混凝土构件制作与安装的施工单位应具有相应的资质，施工单位应根据获批的施工图设计文件编制施工详图，对于构造复杂的构件应进行工艺试验评定，根据试验评定制定相应的施工工艺或方案。当设计需要修改时，应按有关规定办理设计变更手续。设计单位应对施工组织方案进行技术审查。

**7.1.3** 钢管钢渣混凝土构件的防腐应按照现行钢结构的有关规定进行处理。构件的除锈和涂装应在钢管制作检验合格后进行，构件表面的除锈方法和除锈等级应符合设计规定，其质量要求应符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB/T 8923的规定。

**7.1.4** 钢管钢渣混凝土构件防火涂料涂装应在构件表面完成除锈及防锈处理后进行。钢管钢渣混凝土构件防火涂料的粘结强度、抗压强度等性能指标应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907和中国工程建设标准化协会标准《钢结构防火涂料应用技术规范》CECS 24的相关规定。相应的检测方法应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法》GB/T 9978.1 的有关规定。

**7.2** 钢管的制作与施工

**7.2.1** 钢管在制作前，应根据施工图设计文件与施工详图的要求编制钢管制作工艺。制作工艺至少应包括：制作所依据的标准，施工操作要点，成品质量保证措施等。

**7.2.2**钢管应根据绘制的钢结构施工详图进行放样。放样与号料应预留焊接收缩量和切割、 端铣等加工余量。对于高层框架柱尚应预留弹性压缩量，弹性压缩量可由制作单位通过计算并结合已有工程经验确定。

**7.2.3** 直缝焊接以及采用板材焊接的矩形钢管，其焊缝宜采用坡口熔透焊缝。焊接管焊缝的坡口形式和尺寸，应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1和《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2的有关规定。

**7.2.4** 需边缘加工的零件，宜采用精密切割，焊接坡口宜采用自动切割、半自动切割、创边机、坡口机等方法加工，并应采用样板控制坡口角度和尺寸。

**7.2.5** 钢管构件拼装、开槽、开孔与节点组装，宜在专业钢结构工厂或工地的钢结构车间内进行。构件组装前，各零部件应经检查合格，组装的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

**7.2.6** 钢管构件的焊接（包括施工现场焊接）应严格按照所编工艺文件规定的焊接方法、工艺参数、施焊顺序进行，并应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定。

**7.2.7** 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，其外形尺寸的允许偏差应符合规范的规定。

**7.2.8** 钢管制作完成后，应仔细清除钢管内的杂物，钢管内表面必须保持干净，不得有油渍等污物，应采取有效措施保持管内清洁。

**7.2.9** 钢管的吊装质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质晕验收规范》 GB50205的有关规定。吊装时应控制吊装荷载作用下的变形，吊点的设置应根据钢管本身的承载力和稳定性经验算后确定，必要时，应采取临时加固措施。

**7.2.10** 吊装钢管时，应将其管口包封，防止异物落入管内。当采用预制钢管钢渣混凝士构件时，应待管内混凝士强度达到设计值的75％以后，方可进行吊装。

**7.2.11** 钢管吊装就位后，应立即进行校正，采取可靠固定措施以保证构件的稳定性。

**7.2.12** 钢管采用现场焊接拼接时，应采取可靠的施焊工艺，尽可能减少焊接残余应力和残余变形。

**7.3** 钢渣混凝土施工

**7.3.1** 用于钢管中的钢渣混凝士强度等级、力学性能指标和质量标准应符合设计要求和本规程第3章的有关规定。

**7.3.2** 钢管内钢渣混凝士的浇筑方式可采用泵送顶升浇灌法、高位抛落免振捣法和手工逐段浇捣法。

**7.3.3** 当采用泵送顶升浇灌法时，钢管的尺寸宜大于或等于进料管的两倍，钢渣混凝士应满足可泵性的要求。对泵送顶升浇灌的构件下部入口处的管壁应进行强度验算。

**7.3.4** 高位抛落免振捣法适用于管截面最小边长或管径大于350 mm，高度不小于4 m的清况。当采用高位抛落免振捣法时，对于抛落高度低于4 m的区段，应用内部振捣器振实，一次抛落的混凝士量宜在0.7 m3左右，用料斗装填，料斗的下口尺寸应比钢管截面最小边长或管径小100 mm~200 mm，以便于管内空气的排出，减少钢渣混凝土泌水和离析现象。

**7.3.5** 当采用手工逐段浇捣法时，钢渣混凝土自钢管上口灌入，用振捣器振实，管截面最小边长或管径大于350 mm时，采用内部振捣器进行振捣，每次振捣时间不宜少于30s，一次浇灌高度不宜大于l.5 m。当管截面最小边长或管径小于350 mm 时，可采用附着在钢管外部的振捣器进行振捣，外部振捣的位置应随钢渣混凝土浇灌进展加以调整。手工逐段浇捣法一次浇灌的高度不应大于振捣器的有效工作范围和2 m~3 m柱长。

**7.3.6** 钢渣混凝土配合比应根据混凝土设计等级计算，并通过试验后确定，除满足强度指标外，尚应满足钢渣混凝士的新拌工作性能。对于泵送顶升浇灌法，钢渣混凝土的配合比尚应满足可泵性要求。

**7.3.7** 钢管内钢渣混凝土浇灌工作宜连续进行，若需间歇，时间不应超过钢渣混凝土的终凝时间。需留施工缝时，应将管口封闭，防止水、油和异物等落入钢管内。

**7.3.8** 每次采用高抛法浇灌钢渣混凝土前（包括施工缝），应先浇灌一层厚度为100 mm~200 mm的与钢渣混凝土等级相同的水泥砂浆，以免自由下落的钢渣混凝士产生骨料弹跳现象。

**7.3.9** 当钢渣混凝士浇灌到钢管顶端时，可以使钢渣混凝士稍微溢出后再将留有排气孔的层间横隔板或封顶板紧压在管端，随即进行点焊，待钢渣混凝土强度达到设计值的50％以后，再将横隔板或封顶板按设计要求进行补焊，也可将钢渣混凝士浇灌到稍低于管口的位置，待钢渣混凝士强度达到设计值的50％后再用相同等级的水泥砂浆添至管口，并按上述方法将横隔板或封顶板一次封焊到位。

**7.3.10** 当进行冬季施工时，应采取有效措施防止钢渣混凝土发生冻涨，同时应确保钢渣混凝土的强度发展要求。

**7.4** 检测与验收

**7.4.1** 钢管钢渣混凝土构件的质量验收应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204和《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的有关规定执行。

**7.4.2** 钢管钢渣混凝土子分部工程验收时应提供下列文件和记录：设计变更文件及原材料代用证件；原材料出厂质量合格证件及性能检测报告；焊接材料产品证明书、焊接工艺文件及烘焙记录；焊工合格证书及施焊范围；焊缝超声波探伤或射线探伤检测报告及记录；连接节点检查记录；钢筋接头试验报告；钢渣混凝土工程施工记录；钢渣混凝土试件性能试验报告；隐蔽工程验收记录；各检验批验收记录；工程重大质量、技术问题的技术资料、 处理方案和验收记录；竣工图及相关设计文件；其它必要文件和记录。

**7.4.3** 钢管钢渣混凝士构件内部钢渣混凝士浇灌质量一般可采用敲击钢管的方法来检查其密实度，对于重要构件或部位宜采用超声波或冲击回波进行检测。钢渣混凝士不密实的部位，应采用局部钻孔压浆法进行补强，并将钻孔补焊封固。

**7.4.4** 钢管钢渣混凝土构件防火保护工程消防验收由建设单位组织设计、施工、监理单位及公安消防机构，依据《建设工程消防监督管理规定》（公安部第119号令）的有关规定进行专项验收。

**附录A 钢渣浸水膨胀率测试方法**

**A.1 原理**

采用90℃水浴养护的方法，经过一定时间后使钢渣中的游离氧化钙和游离氧化镁消解，进而产生体积膨胀，通过测定钢渣的体积变化率评定其稳定性。

**A.2 试样的制备**

1. 取具有代表性的样品100 kg烘干，破碎至全部通过31.5 mm方孔筛备用。
2. 将破碎后的样品经过31.5 mm、26.5 mm、13.2 mm、4.75 mm、2.36 mm、0.3 mm及0.075 mm的方孔筛，将套筛置于振筛机上，振动10 min；取下套筛，按筛孔大小顺序再逐个用手筛，筛至每分钟通过量小于试样总量0.1％为止，通过的试样并入下一号筛中，并和下一号筛中的试样一起过筛。按照这样的顺序重复进行，直至各号筛全部筛完为止。
3. 对粒度进行调整使其满足表A.2中的粒度分布。若钢渣样品最大自然粒度小于表A.2中所规定的值，粒度分布应满足表A.2中钢渣试样最大粒径以下粒度分布的要求。

表A.2 粒度分布

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 筛孔尺寸/mm | 31.5 | 26.5 | 13.2 | 4.75 | 2.36 | 0.3 | 0.075 |
| 累计筛余/% | 0 | 2.5 | 30 | 52.7 | 65 | 80 | 94 |

**A.3 试验步骤**

1. 按照《土工试验方法标准》GB/T 50123中的击实试验方法进行重型击实试验，确定最佳含水率和最大干密度。
2. 按表A.1中的粒度分布要求称取钢渣（每份7 kg），按最佳含水率加水，充分拌和均匀，配制3个钢渣试样放在密闭的容器内。
3. 在试模内装入垫块，铺上滤纸，按照《土工试验方法标准》GB/T 50123中的击实试验方法进行重型击实成型，击实完成后取下套筒，用直尺刮刀刮出多余钢渣，用细料补齐找平试件表面，铺上滤纸，盖上多孔底座。将试模连同多孔底座一起倒置，取走垫块。再次垫上滤纸，装上多孔顶板，擦净试模外部。
4. 在多孔顶板上压4块半圆形荷载板，共重5 kg。而后，在荷载板上安装百分表架及百分表以测定浸水膨胀率，该百分表应准确对准中央触点并保持竖直状态。
5. 将试模放进恒温水浴槽中，试模应全部浸没水中时，立即读取百分表的初始读数，精确至0.01 mm。
6. 水浴加热，待水浴槽内温度达到（90 ± 3）℃后保持6 h，停止加热，等待其自然冷却。此后，按上述步骤重复进行，并在每天升温前记录百分表读数，如此持续进行10天。

**A.4 结果与计算**

钢渣的浸水膨胀率取3次试验的平均值作为试验结果，试验结果需精确至0.1％，数值修正可按照《数值修约规则与极限数值的表示和判定》GB/T 8170进行。钢渣的浸水膨胀率可按下式计算：

 （A.4）

式中：——浸水膨胀率（％）；

120——试件原始高度，单位为毫米（mm）；

——百分表的终读数，单位为毫米（mm）；

——百分表的初读数，单位为毫米（mm）。

**附录B 钢渣粉活性指数试验方法**

**B.1 一般规定**

仪器的选取应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中有关规定。

**B.2 试验材料**

1. 试验应采用基准水泥或合同约定水泥。
2. 钢渣砂应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中有关规定。
3. 试验应采用自来水或蒸馏水。
4. 试验应采用受检的钢渣粉。

**B.3 试验条件及方法**

1. 试验室应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中有关规定，试验使用的各种材料和用具应预先放在试验室内，使其与试验室达到相同温度。
2. 进行活性指数试验时，其胶砂配合比应按表B.3选用。

表**B.3** 胶砂配合比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 水泥（g） | 钢渣粉（g） | ISO砂（g） | 水（mL） |
| 315 ± 1 | 135 ± 1 | 1350 ± 5 | 225 ± 1 |

注：表中所示为一次搅拌量。

1. 试验时，应先将水加入搅拌锅里，再加入预先混匀的水泥和钢渣粉，把锅放置在固定架上，上升至固定位置，然后按《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中6.3节的相关规定进行搅拌。开动机器，低速搅拌30 s后，均匀地将砂子加入。当各级砂是分装时，从最初粒级开始，依次将所需的每级砂量加完。把机器转至高速再搅拌30 s，此后停拌90 s，在第一个15 s内用一个胶皮刮具将叶片和锅具上的胶砂刮入锅中间，再在高速下继续搅拌60 s。各个搅拌阶段的时间误差应在±1 s以内。
2. 试件应按《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中有关规定进行制备。
3. 试件脱模前的养护、脱模和水中养护应按《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671中有关规定进行。
4. 试件龄期从水泥加水开始搅拌时算起，不同龄期强度试验应在下列时间里进行：

72 h ± 45 min；

7 d ± 2 h；

28 d ± 8 h。

**B.4 结果与计算**

在测得对比胶砂和受检胶砂的抗压强度后，按下式计算钢渣粉相应龄期的活性指数，计算结果取整数。

 (B.4)

式中：——钢渣粉的活性指数（%）；

——受检砂浆相应龄期的强度（MPa）；

——对比砂浆相应龄期的强度（MPa）。

**附录C 钢渣混凝土基本力学性能指标和应力-应变关系**

**C.1** 钢渣混凝土抗压强度和抗拉强度的平均值可按下列公式计算：

 (C.1-1)

 (C.1-2)

式中：、——钢渣混凝土抗压强度平均值、标准值；

、——钢渣混凝土抗拉强度平均值、标准值；

——钢渣混凝土强度变异系数，宜根据试验统计确定。

**C.2** 本附录规定的钢渣混凝土应力-应变关系模型应适用于下列条件：

1. 强度等级C20~C80；
2. 质量密度2200 kg/m3~2400 kg/m3；
3. 正常温度和湿度环境；
4. 正常加载速度。

**C.3** 钢渣混凝土单轴受拉应力-应变曲线（图C.3）可按下列公式确定：

 (C.3-1)

 (C.3-2)

 (C.3-3)

 (C.3-4)

式中：——钢渣混凝土单轴受拉应力-应变曲线下降段参数，按表C.3取值；

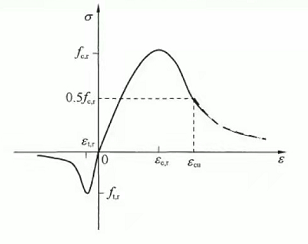
——钢渣混凝土的单轴抗拉强度代表值，其值可根据实际结构分析需要分别取、和，按表C.3取值；

——钢渣混凝土的峰值拉应变，按表C.3取用；

——钢渣混凝土单轴受拉损伤演化参数。

表C.3 钢渣混凝土单轴受拉应力-应变曲线的参数取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|  | 65 | 81 | 95 | 107 | 118 | 128 | 137 |
|  | 0.31 | 0.70 | 1.25 | 1.95 | 2.81 | 3.82 | 5.00 |



图C.3 钢渣混凝土单轴受拉应力-应变曲线

注：混凝土受拉、受压的应力-应变曲线示意图绘于同一坐标系中，但取不同的比例，符号取“受拉为负，受压为正”。

**C.4** 钢渣混凝土单轴受压应力-应变曲线，可按下列公式确定：

 (C.4-1)

 (C.4-2)

 (C.4-3)

 (C.4-4)

 (C.4-5)

式中：——钢渣混凝土单轴受压应力-应变曲线下降段参数，按表C.4取值；

——钢渣混凝土的单轴抗压强度代表值，其值可根据实际结构分析的需要分别取、和，按表C.4取值；

——钢渣混凝土的峰值压应变，按表C.4取值；

——钢渣混凝土单轴受压损伤演化参数。

表**C.4** 钢渣混凝土单轴受压应力-应变曲线的参数取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
|  | 1560 | 1640 | 1720 | 1790 | 1850 | 1920 | 1980 | 2030 | 2080 | 2130 | 2190 |
|  | 1.06 | 1.36 | 1.65 | 1.94 | 2.21 | 2.48 | 2.74 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
|  | 2.6 | 2.3 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |

注：为应力-应变曲线下降段应力等于0.5时的混凝土压应变。

**C.5** 在重复荷载作用下，受压钢渣混凝土卸载及再加载应力路径（图C.5），可按下列公式确定：

 (C.5-1)

 (C.5-2)

 (C.5-3)

 (C.5-4)

式中：——受压钢渣混凝土的压应力；

——受压钢渣混凝土的压应变；

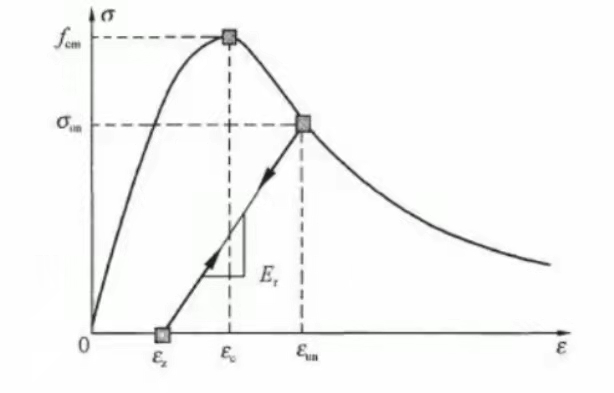
——受压钢渣混凝土卸载至零应力点时的残余应变；

——受压钢渣混凝土卸载/再加载的变形模量；

、——分别为受压钢渣混凝土从骨架线开始卸载时的应力和应变；

——附加应变；

——钢渣混凝土受压峰值应力对应的应变。



图C.5 重复荷载作用下钢渣混凝土应力-应变曲线

**C.6** 钢渣混凝土在双轴加载、卸载条件下的本构关系可采用损伤模型或弹塑性模型。弹塑性本构关系可采用弹塑性增量本构理论，损伤本构关系可按下列公式确定：

1. 双轴受拉区

1）加载方程

 (C.6-1)

 (C.6-2)

 (C.6-3)

式中：——受拉损伤演化参数，可由式（C.3-2）计算，其中；

——受拉能量等效应变；

——有效应力；

——混凝土泊松比，可取0.18~0.22。

2）卸载方程

 (C.6-4)

式中：、、、——二维卸载点处的应力、应变。

在加载方程中，损伤演化参数应采用即时应变换算得到的能量等效应变计算；卸载方程中的损伤演化参数应采用卸载点处的应变换算的能量等效应变计算，并且在整个卸载和再加载过程中保持不变。

1. 双轴受压区

1）加载方程

 (C.6-5)

(C.6-6)

 (C.6-7)

式中：——受压损伤演化参数，可由公式（C.4-2）计算，其中；

——受压能量等效应变；

——受剪屈服参数；

——双轴受压强度提高系数，取值范围1.15~1.30，可根据试验数据确定，在缺乏试验数据时可取1.2。

2）卸载方程

 (C.6-8)

 (C.6-9)

式中：——塑性因子；

——附加应变，按公式（C.6-6）计算。

**附录D 钢渣混凝土抗压强度**

**D.1全钢渣砂混凝土力学性能**

安徽工业大学于峰课题组开展全钢渣砂混凝土力学性能试验研究，分析不同粒径钢渣砂（如0.15 mm~0.3 mm、0.3 mm~0.6 mm、0.6 mm~1.18 mm和1.18 mm~2.36 mm）对钢渣混凝土抗压强度的影响，如图D.1-1所示。随着钢渣砂取代粒径的增大，全钢渣砂混凝土的抗压强度逐渐提高。钢渣砂取代粒径为0.15 mm~0.6 mm时，全钢渣砂混凝土的抗压强度低于基准混凝土（混凝土中细骨料未采用钢渣砂，而全部采用普通河砂）的抗压强度，当钢渣砂取代粒径大于0.6 mm时，钢渣混凝土的抗压强度均高于基准混凝土的抗压强度。这是因为钢渣砂的粒径在0.6 mm以下时，钢渣的掺入改变混凝土的内部结构，弱化混凝土中集料与水泥浆体之间的界面过渡区，全钢渣砂混凝土的断裂面基本上是集料与水泥石的粘结面，其抗压强度减小。而当钢渣砂粒径大于0.6 mm时，全钢渣砂混凝土的断裂面发生在集料本身，随着钢渣砂取代粒径的增大，混凝土集料的骨架作用充分发挥，全钢渣砂混凝土的界面粘结强度逐渐提高，其抗压强度增大。

图D.1-2为全粒径钢渣砂对钢渣混凝土抗压强度的影响。从图中可以看出，全粒径钢渣砂混凝土的抗压强度低于基准混凝土。这主要是因为试验采用的钢渣砂细度模数小于普通砂的细度模数，在胶凝材料用量相同的情况下，细度模数越小，单位重量的比表面越小，钢渣混凝土的抗压强度越低。全粒径钢渣砂的细度模数介于粒径0.3 mm~0.6 mm与0.6 mm~1.18 mm之间，因此全粒径钢渣砂混凝土的抗压强度也介于二者之间，这与图D.1-1给出的试验结果吻合。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图D.1-1不同粒径钢渣砂对抗压强度影响 | 图D.1-2 全粒径钢渣砂对抗压强度影响 |

试验结果表明，全钢渣砂混凝土的抗压强度随着取代粒径的增大而增大，全钢渣砂混凝土的抗压强度与平均粒径的关系如图D.1-3所示，通过对试验数据拟合分析，得到全钢渣砂混凝土的抗压强度与平均粒径关系为：

 (D.1)

式中：——全钢渣砂混凝土的抗压强度；

——钢渣砂取代粒径的平均值。

因此，利用钢渣配置钢管膨胀混凝土时，可根据钢管膨胀混凝土要求的混凝土抗压强度计算平均粒径，调整钢渣混凝土配合比。



图D.1-3 全钢渣砂混凝土抗压强度与平均粒径关系

**D.2全集料钢渣混凝土力学性能**

安徽工业大学于峰课题组开展全集料钢渣混凝土力学性能试验研究，分析砂率A、水灰比B、钢渣砂掺量C、钢渣砂取代粒径D、粗钢渣掺量E、粗钢渣取代粒径F对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响。由极差分析结果可知，水灰比B对全集料钢渣混凝土抗压强度影响最为显著，其次是粗钢渣取代粒径F、钢渣砂掺量C、粗钢渣掺量E、钢渣砂取代粒径D和砂率A对全集料钢渣混凝土抗压强度影响最小。

图D.2-1为砂率A对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，随着砂率增加，全集料钢渣混凝土抗压强度逐渐下降。这主要是因为随着砂率的增加，钢渣砂用量逐渐增大。当水泥用量一定时，随着钢渣用量逐渐增加，水泥包裹的面积逐渐减小，从而导致全集料钢渣混凝土抗压强度逐渐降低。

图D.2-2为水灰比对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，随着水灰比减小，全集料钢渣混凝土抗压强度增长速率加快。这是因为随着水灰比减小，水泥用量增加，水泥包裹的面积增加，全集料钢渣混凝土抗压强度增加。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图D.2-1砂率对全集料钢渣混凝土抗压强度  的影响 | 图D.2-2 水灰比对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响 |

图D.2-3为钢渣砂掺量对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，随着钢渣砂掺量逐渐增加，全集料钢渣混凝土抗压强度逐渐降。这是因为钢渣砂的细度模数低于普通砂，随着钢渣砂掺量增加，钢渣孔隙率比增加，钢渣砂比表面增加，水泥包裹面积减小，导致钢渣混凝土抗压强度降低。

图D.2-4为钢渣砂取代粒径对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，当钢渣砂取代粒径大于0.3 mm时，随着钢渣砂取代粒径增加，全集料钢渣混凝土抗压强度增加幅度较大。这是因为随钢渣砂取代粒径增加，钢渣砂的比表面积逐渐减小，钢渣混凝土界面粘结强度逐渐提高，钢渣混凝土抗压强度逐渐增加。当钢渣取代粒径小于0.3 mm时，随着钢渣砂取代粒径增加，钢渣混凝土抗压强度略有降低，且降低幅度偏小。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图D.2-3 钢渣砂掺量对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响 | 图D.2-4钢渣砂取代粒径对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响 |

图D.2-5为粗钢渣掺量对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，随着粗钢渣掺量逐渐增加，全集料钢渣混凝土抗压强度逐渐偏低。这主要是因为粗钢渣掺量的增加，导致钢渣孔隙率比增加，钢渣压碎值低于普通石子，全集料钢渣混凝土抗压强度减小。

图D.2-6为粗钢渣取代粒径对全集料钢渣混凝土抗压强度影响曲线。从图中可以看出，当粗钢渣取代粒径大于9.5 mm时，随着粗钢渣取代粒径逐渐增加，钢渣混凝土的抗压强度逐渐降低。这主要是因为随着粗钢渣取代粒径增加，钢渣骨料的强度和内部孔隙逐渐降低，致使钢渣混凝土抗压强度降低。当粗钢渣取代粒径小于9.5 mm时，随着粗钢渣取代粒径逐渐增加，钢渣混凝土的抗压强度逐渐增大。这主要是因为随着粗钢渣取代粒径增大，钢渣骨料和混凝土界面粘结强度逐渐提高，钢渣混凝土的抗压强度逐渐提高。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图D.2-5粗钢渣掺量对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响 | 图D.2-6 粗钢渣取代粒径对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响 |

在试验研究的基础上，分析试验因素的交互作用对全集料钢渣混凝土抗压强度的影响规律，得出全集料钢渣混凝土抗压强度最优组合设计为 A2B5C1D5E2F3。

根据试验结果，通过对试验数据进行单因素加权拟合分析，可得到全集料钢渣混凝土抗压强度与上述六个影响因素之间的关系：

 (D.2-1)

式中：——砂率；

——水灰比；

——钢渣砂掺量百分比；

——粗钢渣掺量百分比；

——粗钢渣取代平均粒径。

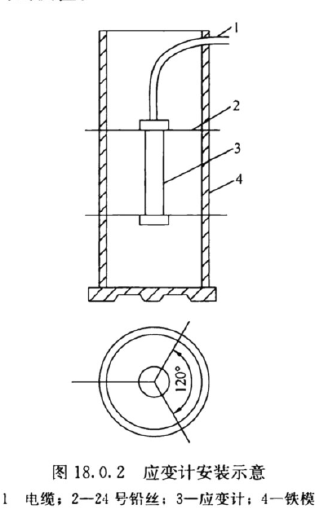
**附录E 钢渣混凝土线膨胀系数测试方法**

**E.1** 试验仪器设备应符合下列规定：

1. 带有搅拌棒的自动控制恒温水箱，大小应视一次试验试件的多少而定。要求箱内水面应没过试件筒顶50 mm左右，温度控制精度应在0.5 °C以内。
2. 量测仪器：差动式电阻应变计，测距250 mm；数字电桥；长杆温度计，测温范围应为0 °C~100 °C，精度应为0.1 °C。
3. 试模应为直径200 mm，高500 mm的带盖白铁皮筒。
4. 另外应有2 mm~3 mm厚的橡皮板或0.3 mm~0.5 mm沥青隔离层、胶布等。

**E.2** 钢渣混凝土线膨胀系数试验应按下列步骤进行：

1. 应检查和率定应变计。
2. 密封试件桶应不渗水、不透气，应在密封桶内壁衬一层厚2 mm~3 mm橡皮板或涂抹一层厚0.3 mm~0.5 mm沥青隔离层。
3. 应将应变计垂直固定在试件桶中心（图E.2），并注意在成型时不应使应变计损坏。
4. 在成型试件前后，应量测应变计的电阻及电阻比，并应做好记录。
5. 将钢渣混凝土拌合物分3层装入密封桶内，人工炕振捣或振动台振捣密实，钢渣混凝土中骨料最大粒径不应超过37.5 mm。每组试件应为2个。
6. 试件成型后，应尽快将密封桶的盖板紧贴试件端部盖好，周边及应变计电缆出口处应密封，以防止试件水分散失，并应放置于温度为20±2 °C的室内。
7. 应将养护7d后的试件放入恒温水箱内，箱中水面应没过试件顶面50 mm 以上。水的起始温度可为10 °C~20 °C。
8. 应控制水温使其恒定，相隔1 h温差不应超过0.l °C。量测应变计的电阻和电阻比，并用温度计测读水温。当试件中心温度与水温一致时记下读数，即为试验初始温度的测值。为使箱中的水温均匀，应经常开动搅拌器。
9. 调整恒温箱温度控制器，应使水温上升到60 °C左右，恒温后应记下试件中心温度与水温一致时的电阻、电阻比和水温，即为试验终止时的测值。



图E.2 应变计安装示意图

1—电缆；2—24号铅丝；3—应变计；4—铁模

**E.3** 试验结果计算及确定应按下列方法进行。

1. 试件的中心温度及应变值分别应按下列公式计算：

 (E.3-1)  (E.3-2)

式中：——试件的中心温度（°C）；

——混凝土试件的应变值（10-6）；

——试验终止时应变计的电阻（10-6）；

——试验开始时应变计的电阻（Ω）；

——应变计温度灵敏度系数（°C/Ω）；

——应变计温度补偿系数（10-6/°C）；

——应变计灵敏度（10-6/0.01%）；

——电阻比变化量，即试验终止温度的电阻比与初始温度电阻比之差值。

1. 钢渣混凝土的线膨胀系数应按下式计算：

 (E.3-3)

式中：——钢渣混凝土线膨胀系数（10-6/°C），计算结果应精确至0.1×10-6 ；

——试验终止温度与初始温度之差（°C）。

当两个试件测值之差的绝对值不大于平均值的10％时，应取两个试件测值的平均值作为线膨胀系数的测定值，应精确至1×10-6；当两个试件测值之差超过允许范围时，应重新进行试验。

**附录F 钢渣混凝土膨胀率**

**F.1** 全钢渣砂混凝土膨胀性能

安徽工业大学于峰课题组开展全钢渣砂混凝土膨胀性能试验研究，分析四种不同粒径0.15 mm~0.3 mm、0.3 mm~0.6 mm、0.6 mm~1.18 mm、1.18 mm~2.36 mm和全粒径钢渣砂对钢渣混凝土膨胀性能的影响，如图F.1.1至图F.1.6所示。从图F.1.1可以看出，基准混凝土的膨胀率为负值，说明基准混凝土（混凝土中细骨料未采用钢渣砂，而全部采用普通河砂）处于收缩状态，随着时间增加，其收缩值呈增长趋势。

由图F.1.2可以看出，全钢渣砂粒径在0.15 mm ~ 0.3 mm时，钢渣混凝土处于膨胀状态，80 d后膨胀率趋于稳定，达到3.1×10-4，符合钢管混凝土的最佳膨胀率要求。

由图F.1.3可以看出，全钢渣砂粒径在0.3 mm ~ 0.6 mm时，钢渣混凝土处于膨胀状态，80 d后膨胀率达到1.1×10-4。从图F.1.2和图F.1.3可以看出，随着钢渣砂取代粒径减小，全钢渣砂混凝土的膨胀率增大，这主要是因为钢渣粒径越小，比表面积越大，钢渣的活性发挥的越充分，碱骨料反应越明显。

图F.1.4、图F.1.5与图F.1.6分别为0.6 mm~1.18 mm、1.18 mm~2.36 mm和全粒径钢渣砂混凝土膨胀率，从图中可以看出，钢渣混凝土均处于收缩状态，80d后收缩率分别为1.1×10-4、2.4×10-4和2.8×10-4，当钢渣砂取代粒径为0.6 mm~1.18 mm、1.18 mm~2.36 mm和全粒径时，钢渣产生的膨胀不足以补偿混凝土的收缩，导致钢渣混凝土产生一定的收缩。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图F.1.1 基准混凝土膨胀率 | 图F.1.2 0.15~0.3mm全钢渣砂混凝土膨胀率 |
|  |  |
| 图F.1.3 0.3~0.6mm全钢渣砂混凝土膨胀率 | 图F.1.4 0.6~1.18mm全钢渣砂混凝土膨胀率 |
|  |  |
| 图F.1.5 1.18~2.36mm全钢渣砂混凝土膨胀率 | 图F.1.6 全粒径钢渣砂混凝土膨胀率 |

由上可知，全钢渣砂混凝土的膨胀率随着取代粒径的增大而减小。全钢渣砂混凝土膨胀率与钢渣砂取代平均粒径的关系如图F.1.7所示，通过试验数据回归分析，得到全钢渣砂混凝土膨胀率与钢渣砂取代平均粒径关系如下：

 (F.1-1)

式中：——钢渣混凝土膨胀率。

因此，利用钢渣配置钢管膨胀混凝土时，可根据钢管膨胀混凝土要求膨胀率计算平均粒径，调整钢渣混凝土配合比。



图F.1.7 全钢渣砂混凝土膨胀率与钢渣砂取代平均粒径关系

**F.2** 全集料钢渣混凝土膨胀性能

安徽工业大学于峰课题组开展全集料钢渣混凝土膨胀性能试验研究，分析砂率A、水灰比B、钢渣砂掺量C、钢渣砂取代粒径D、粗钢渣掺量E、粗钢渣取代粒径F对全集料钢渣混凝土膨胀性能的影响。由极差分析结果可知，钢渣砂掺量C对全集料钢渣混凝土膨胀性能影响最为显著，其次是钢渣砂取代粒径D、砂率A、水灰比B、粗钢渣掺量E，粗钢渣取代粒径F对全集料钢渣混凝土膨胀性能影响最小。

图F.2.1为砂率A对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响曲线。从图中可以看出，砂率对全集料钢渣混凝土膨胀率影响范围较小，随着砂率增加，全集料钢渣混凝土膨胀率先减小后增大，这主要是因为随着砂率的增大，钢渣砂用量增加，全集料钢渣混凝土膨胀率增大。

图F.2.2为水灰比对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响曲线。从图中可以看出，随着水灰比减小，全集料钢渣混凝土膨胀率先增大后减小。因为水灰比较大时，钢渣产生的膨胀内应力大于混凝土收缩力，混凝土处于膨胀状态，水灰比较小时，钢渣产生的膨胀不足以补偿混凝土收缩，全集料钢渣混凝土处于收缩状态。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图F.2.1 砂率对全集料钢渣混凝土膨胀率  的影响 | 图F.2.2 水灰比对全集料钢渣混凝土膨胀率  的影响 |

图F.2.3为钢渣砂掺量对全集料钢渣混凝土膨胀率影响曲线。从图中可以看出，钢渣砂掺量对膨胀率的影响比较明显，随着钢渣砂掺量逐渐增大，全集料钢渣混凝土膨胀率先增大后减小。这主要是因为钢渣砂掺量较小时，钢渣能充分参与混凝土中碱骨料反应，随着钢渣砂掺量的逐渐增大，过剩的钢渣砂随钢渣混凝土收缩。

图F.2.4为钢渣砂取代粒径对全集料钢渣混凝土膨胀率影响曲线，从中可以看出，随着钢渣砂取代粒径减小，全集料钢渣混凝土膨胀率逐渐增大。这主要是因为细粒径钢渣的比表面积大，晶格更容易发生重结晶，水分子更容易进入钢渣内部，且f-CaO分为单一相CaO和固溶体相，单一相CaO在常温下24 h可以完全水化成Ca(OH)2，而固溶体相需要100 ℃煮沸3 h才可以部分水化成Ca(OH)2，细粒径钢渣中单一相CaO含量高，固溶体相含量低，生成Ca(OH)2和Mg(OH)2的摩尔体积大于水化反应时失水的摩尔体积。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图F.2.3 钢渣砂掺量对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响 | 图F.2.4 钢渣砂取代粒径对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响 |

图F.2.5为粗钢渣掺量对全集料钢渣混凝土膨胀率影响曲线，从图中可以看出，随着粗钢渣掺量逐渐增大，全集料钢渣混凝土膨胀率逐渐减小。这主要是因为钢渣孔隙率比较大，钢渣压碎值低于普通石子，全集料钢渣混凝土膨胀率偏低。

图F.2.6为粗钢渣取代粒径对全集料钢渣混凝土膨胀率影响曲线，从图中可以看出，随着粗钢渣取代粒径的增大，全集料钢渣混凝土逐渐减小。这主要是因为随着粗钢渣取代粒径逐渐增大，钢渣比表面积逐渐减小，全集料钢渣混凝土膨胀率减小。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图F.2.5 粗钢渣掺量对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响 | 图F.2.6 粗钢渣取代粒径对全集料钢渣混凝土膨胀率的影响 |

在试验研究的基础上，通过试验数据进行单因素加权拟合分析，可得到全集料钢渣混凝土膨胀率与上述六个影响因素之间关系：

 (F.2-1)

式中：——砂率；

——水灰比；

——钢渣砂掺量百分比；

——粗钢渣掺量百分比；

——粗钢渣取代平均粒径。

**附录G 钢渣混凝土吸水率测试方法**

**G.1**钢渣混凝土吸水率试验的试件应符合下列规定：

1. 当试件采用试模成型或切割制作时，试模不应刷隔离剂，试件应采用立方体试件。标准试件应是边长为100 mm的立方体试件，其他尺寸的立方体试件是非标准试件；

2. 当采用钻芯试件时，标准试件是100 mm × 100 mm的圆柱体试件，其他尺寸的圆柱体试件是非标准试件；

3. 试件最小体积应大于500*D*3，*D*为粗骨料的最大粒径；

4. 每组试件应为3块。

**G.2** 试验仪器设备应符合下列规定：

1. 游标卡尺或直尺应精确至0.5 mm；

2. 电子天平的最大量程不应小于5 kg，感量不应大于0.l g；

3. 水槽应根据试件尺寸选用，水槽尺寸应能保证浸没试件，水温应保持在20°C ± 2°C；

4. 鼓风干燥箱应能控制温度不低于110 °C，最小分度值不应大于2 °C；

5. 干燥器尺寸应为A300 mm~A500 mm。

**G.3** 钢渣混凝土吸水率试验应按下列步骤进行：

1. 钢渣混凝土吸水率的试验龄期可按28d或实际需要进行确定。

2. 称量饱水试件的表干质量。将试件浸没在（20 ± 2）°C的水中，试件下部用直径10 mm的钢筋垫起，水面应至少高于试件顶面25 mm，浸泡24 h。将试件取出，用拧干的湿毛巾擦去表面水分，称量并记录试件质量；继续浸泡24 h，将试件取出，用拧干的湿毛巾擦去表面水分，称量并记录试件质量；试件浸泡时间不应小于48 h，直至两个连续的24 h间隔的质量变化小于较大值的0.2％时，停止浸泡，记录最后一次试件质量，试验结果应精确至0.l g，用表示。

3. 应称量烘干试件质量。试件达到养护龄期时，将试件从养护地点取出，随后将试件置于温度控制在（105 ± 5）°C的鼓风干燥箱中，烘干24 h，将试件取出，置于干燥器中冷却至室温，当试件表面有油污时，可采用丙酮擦拭试件表面，除去油污，称量并记录试件质量；继续烘干24 h，将试件取出，置于干燥器中冷却至室温，称量并记录试件质量；试件烘干时间不应小于48 h，直至两个连续的 24 h间隔的质量变化小于较小值的0.2%，停止烘干。记录最后一次试件质量，试验结果应精确至0.1 g，用表示。

**G.4** 试验结果计算及确定应按下列方法进行。

1. 钢渣混凝土吸水率应按下式计算：

 (G.4-1)

式中：——钢渣混凝土吸水率（％），计算结果应精确至0.1%；

——饱水试件的表干质量（g）；

——烘干试件质量（g）。

2. 吸水率值的确定应符合下列规定：

1） 应以3个试件测值的算术平均值作为该组试件的吸水率值，应精确至0.1%；

2） 当3个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的5％时，应把最大值及最小值一并剔除，应取中间值作为该组试件的吸水率值；

3） 当最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的5％时，该组试件的试验结果无效。

3.用非标准试件测得的吸水率值均应乘以修正系数，修正系数应按下式计算：

 (G.4-2)

式中：——修正系数。

——非标准试件的体积（mm3）。

——非标准试件的比表面积（mm2）。

**附录H 钢渣混凝土耐磨性测试方法**

**H.1 磨耗量法**

1. 本方法适用于测定钢渣混凝土试件磨损面上单位面积的磨耗量。
2. 磨耗量法应采用150 mm × 150 mm × 150 mm立方体试件，每组3个试件。
3. 试验仪器设备应符合下列规定：
4. 混凝土磨耗试验机由直立主轴、水平转盘、传动机构和控制系统组成。 主轴和转盘不在同一轴线上，主轴和转盘应同时向相反方向转动，主轴下端配有磨头连接装置，可以装卸磨头。同时应符合下列技术要求：

（1）主轴与水平转盘垂直度：测量长度80 mm时偏离度不应大于0.04 mm；

（2）水平转盘转速为17.5 r/min ± 0.5 r/min，主轴与转盘转速比为35：1；

（3）主轴与转盘的中心距应为40 mm ± 0.2 mm；

（4）负荷可分为 200 N、300 N和400 N三挡，误差不应大于±1%；

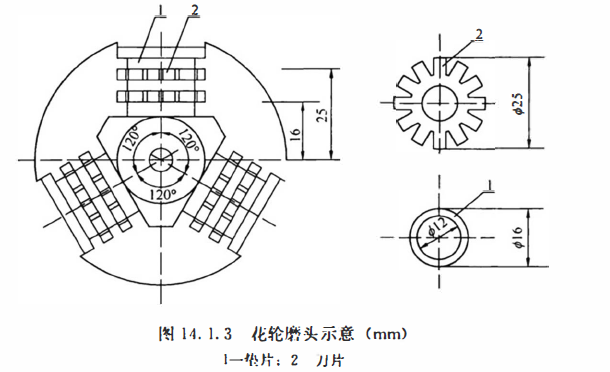
（5）主轴升降行程不应小于80 mm，磨头最低点距水平转盘工作面不应大于25 mm；

（6）水平转盘上应配有能夹紧试件的卡具，卡头单向行程应为150 mm ± 4 mm。卡夹宽度不应小于50 mm，应能卡进150 mm × 150 mm × 150 mm立方体试件，夹紧试件后应保证试件不上浮或翘起；

（7）花轮磨头（图H.1）由3组花轮组成，按星形排列成等分三角形，花轮与轴心最小距离应为16 mm，最大距离应为25 mm。每组花轮由两片花轮片装配而成，其间隔宜为2.6 mm~2.3 mm。花轮片直径应为25 mm，厚度应为3 mm。边缘上均匀分布12个矩形齿，齿宽应为3.3 mm，齿高应为3 mm，应由不小于HRC60硬质钢制成。磨头与水平转盘间有效净空宜为l60 mm~180 mm；

（8）应具有0~999 转盘数字自动控制显示装置，其转数误差应小于1/4转，并应装有电源电压监测表及自动停止报警装置；

（9）吸尘器装置应随时将磨下的粉尘吸走。



图H.1 花轮磨头示意（mm）

1—垫片；2—刀片

1. 烘箱的调温范围应为50 °C~200 °C，控制温度允许偏差应为±5 °C；
2. 电子秤的量程应大于10 kg，感量不应大于l g。
3. 磨耗量法试验应按下列步骤进行：
4. 应将试件养护至27 d龄期从养护地点取出，擦干表面水分放在实验室内空气中自然干燥12 h，再放入60 °C ± 5 °C 烘箱中，烘干12 h，磨耗面应朝上；
5. 试件烘干处理后应放至室温，刷净表面浮尘。
6. 将试件放至耐磨试验机的水平转盘，磨耗面应选用试件侧面，并用夹具将其轻轻紧固。在200 N的负荷下磨30转，取下试件刷净表面粉尘称重，并应记下相应质量*m*1，该质量作为试件的初始质量。在200 N的负荷下磨60转，取下试件刷净表面粉尘称重，并应记下相应质量*m*2。整个磨耗过程应将吸尘器对准试件磨耗面，及时吸走磨下的粉尘。当钢渣混凝土具有高耐磨性时，可再增加旋转次数，并应特别注明。
7. 每组花轮刀片只应进行一组试件的磨耗试验，当进行第二组磨耗试验时， 应更换一组新的花轮刀片。
8. 试验结果计算及确定应按下列方法进行。
9. 应按下式计算每一试件的磨耗量，以单位面积的磨耗量来表示。

 (H.1-1)

式中：——单位面积的磨耗量（kg/m2），计算结果应精确至0.001 kg/m2；

——试件的初始质量（kg）；

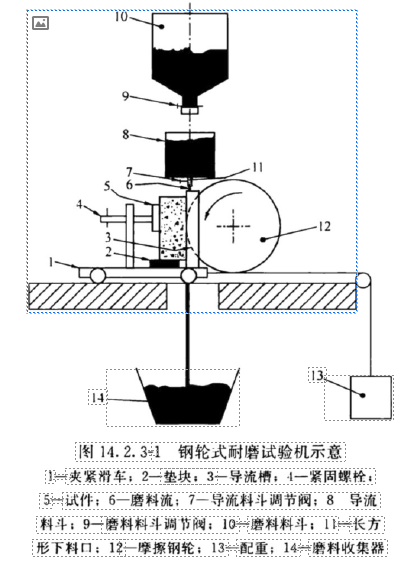
——试件磨耗后的质量（kg）；

——试件磨耗面积。

1. 试件磨耗量值的确定应符合下列规定：
2. 应以3个试件测值的算术平均值作为该组试件的磨耗量值，精确至0.001 kg/m2；
3. 当3个测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的 15％时，应同时剔除最大值和最小值，取中间值作为该组试件的磨耗量值；
4. 当最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的15%时，则该组试件的试验结果无效。

**H.2** 磨坑长度法

1. 本方法适用于测定钢渣混凝土试件在摩擦钢轮和磨料作用下的磨坑长度。
2. 磨坑长度法试验应采用不小于100 mm × 100 mm × 100 mm立方体试件，每组5个试件。
3. 试验仪器设备应符合下列规定：
4. 钢轮式耐磨试验机（图H.2）主要由摩擦钢轮、磨料料斗、导流料斗、夹紧滑车和配重等组成。



图H.2 钢轮式耐磨试验机示意图

1—夹紧滑车；2—垫块；3—导流槽；4—紧固螺栓；5—试件；6—磨料流；7——导流料斗调节阀；8—导流料斗；9—磨料料斗调节阀；10—磨料料斗；11—长方形下料斗；12—摩擦钢轮；13—配重；14—磨料收集器

1. 摩擦钢轮的材质应采用45号钢，经调质处理，硬度为HB203~HB245。摩擦钢轮直径应为200.0 mm ± 0.2 mm、厚度应为70.0 mm ± 0.1 mm。摩擦钢轮的转速应为75r/（60 ± 3）s。当摩擦钢轮直径磨损至199.0 mm时，应进行更换。
2. 夹紧滑车应安装在耐磨试验机轨道上，并设有紧固试件的装置，通过14.00 kg ± 0.01 kg配重使试件与摩擦钢轮接触，以控制试件与摩擦钢轮之间的压紧力。
3. 磨料料斗容积应大于5 L，并带有控制磨料料斗开启和停止输出的凋节阀；导流料斗容积应大于1 L，其中磨料高度不应小于25 mm，导流料斗应带有用于调节磨料流速的调节阀，使得磨料以恒定的流速通过导流料斗长方形下料口流到摩擦钢轮上，其流速可调，不应小于1 L/min。磨料料斗的调节阀应用于控制磨料的流动开启和停止。
4. 导流料斗的长方形下料口的内口长应为71.0 mm ± 0.5 mm，下料口到摩擦钢轮中心线的距离应为75 mm，磨料流与摩擦钢轮边缘距离应不超过5 mm，见图H.2.1。导流料斗调节阀可用于询节，保证磨料流速恒定。
5. 游标卡尺的量程应为0~125 mm，分度值应为0.02 mm。
6. 试验筛应为筛孔尺寸0.300 mm的方孔筛。
7. 磨料应采用符合现行国家标准《普通磨料棕刚玉》GB/T 2478规定的粒度为36#的磨料，其最大含水率不应大于1.0%。对同一试件，磨料可重复使用5次，每次使用之前应进行筛分，除去粒径小于0.300 mm的部分。
8. 混凝土磨坑长度试验应按下列步骤进行：
9. 试件养护至27 d龄期从养护地点取出，擦干表面水分放在室内空气中自然干燥12 h，再放入60 °C ± 5 °C烘箱中，烘干12 h，磨耗面应朝上。试验前应用硬毛刷清理试件表面。可在试件测试表面涂上水彩涂料。
10. 将试验用磨料装入磨料料斗中，再使其流人导流料斗，并应符合标准料斗的有关规定。
11. 将试件固定在夹紧滑车上，使试件表面平行于摩擦钢轮的轴线，且垂直于托架底座。摩擦钢轮侧面距离试样边缘的距离不应小于15 mm。
12. 检验摩擦钢轮转速是否符合摩擦钢轮的规定，调节阀门使磨料应以1 L/min的流速从导流料斗长方形下料口均匀落在摩擦钢轮上。在配重作用下，使试件表面与摩擦钢轮接触。启动电动机，打开料斗凋节阀，并开始计时。
13. 当摩擦钢轮转动2 min 后，应关闭电动机，调节阀门，移开夹紧滑车，取下试件。在试件表面上用6 H的铅笔画出磨坑的轮廓线，再用游标卡尺测量试件表面磨坑两边缘及中间的长度，应精确至0.1 mm，取其平均值。
14. 试件的磨坑长度值确定应符合下列规定：
15. 应以5个试件测值的算术平均值作为该组试件的磨坑长度值，应精确至0.1 mm；
16. 当5个测值中的最大值或最小值中有一个与平均值的差值超过中间值的15%时，应同时剔除最大值和最小值，取剩下3个试件的平均值作为该组试件的磨坑长度值；
17. 当剩余3个试件的最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的15％时，该组试件的试验结果应判为无效。

**附录I 钢管钢渣混凝土自应力计算方法**

**I.1** **圆形钢管**

在钢渣混凝土膨胀过程中，钢管与自应力钢渣混凝土之间形成侧压力，使得圆钢管环向受拉，而钢渣混凝土处于三向受压状态，如图I.1所示。假设环向应变沿钢管壁厚均匀分布，忽略径向应力。根据实测应变值计算钢管的环向应力，如式(I.1-1)所示。

 (I.1-1)

式中：——钢管的环向应力；

——实测钢管的环向应变；

——实测钢管的纵向应变；

——钢管的泊松比。

|  |
| --- |
|  |
| 图**I.1** 钢管及钢渣混凝土受力图 |

根据图I.1的受力情况，建立力的平衡关系，计算核心钢渣混凝土的初始自应力：

 (I.1-2)

 (I.1-3)

式中：——核心钢渣混凝土的自应力；

——钢管的壁厚；

——核心混凝土的内半径；

——钢渣混凝土的限制膨胀率；

——钢渣混凝土的自由膨胀率。

**I.2 矩形钢管**

在钢渣混凝土膨胀过程中，钢管与钢渣混凝土之间形成侧压力，使得矩形钢管环向受拉，钢渣混凝土处于三向受压状态。假设环向应变沿钢管壁厚均匀分布，忽略径向应力。由于矩形钢管长、短边的环向应变不同，根据实测应变值分别计算钢管长、短边方向上的环向应力。

 (I.2-1)

 (I.2-2)

式中：——矩形钢管边的环向应力；

——矩形钢管短边的环向应力；

——实测矩形钢管长边的环向应变；

——实测矩形钢管短边的环向应变；

——实测矩形钢管长边的纵向应变；

——实测矩形钢管短边的纵向应变。

由于实测应变位于矩形钢管长、短边的中部，根据矩形钢管截面受力特点，该实测应变值即为钢管长、短边的最大应变值，、即为矩形钢管长、短边的最大环向应力。初步假定该环向应力沿钢管长、短边均匀分布，如图I.2-1所示。根据图中的受力关系，建立力的平衡关系，计算矩形钢管与核心钢渣混凝土之间的自应力。

 (I.2-3)

 (I.2-4)

式中：——矩形钢管与核心钢渣混凝土之间的长边最大自应力；

——矩形钢管与核心钢渣混凝土之间的短边最大自应力。

由于矩形钢管对核心混凝土的不均匀约束，将构件截面分为有效约束区域和次级约束区域，如图I.2-2所示。

|  |
| --- |
| W0V[UCA5{0WO2(2ZW]_0R5U |
| 图I.2-1 截面受力图 |
| 8%9LYNSEMGE4(D13HM[%JST |
| 图I.2-2 核心混凝土有效约束区域 |
| Y$P_13X0Z(HK{%~Y`YS5_BV |
| 图I.2-3 自应力等效图 |

认定钢管沿截面长度方向上的自应力值大小呈二次抛物线变化，将其等效为均匀分布应力，如图I.2-3所示。

 (I.2-5)

 (I.2-6)

 (I.2-7)

钢管对钢渣混凝土膨胀性的抑制作用，相对于对核心混凝土强度的提升作用。矩形钢管长、短边的自应力大小不等，目前双向侧压力不等条件下对混凝土强度提升的研究尚未成熟。依据核心混凝土横截面面积相等的原则，将矩形截面转化为圆形截面。简化后钢管应力模型如图I.2-4所示，并将矩形钢管长边、短边有效自应力均匀分布在等效圆形截面钢管内表面，等效自应力计算式如下：

 (I.2-8)

 (I.2-9)

|  |
| --- |
| RA8[}}E9(@VZ4FGKGP3W_D4 |
| 图I.2-4 等效圆钢管受力示意图 |

## **附录J 钢管钢渣混凝土构件截面组合弹性模量计算方法**

**J.1 基本假定**

1. 钢管与核心钢渣混凝土无相对滑移；
2. 钢管与核心钢渣混凝土共同受力，且两者变形协调；
3. 自应力沿钢管与核心钢渣混凝土粘结界面均匀分布；
4. 自应力对试件承载力的提高等效为对钢渣混凝土抗压强度的提高。

**J.2 弹性模量计算公式**

考虑自应力对钢管钢渣混凝土构件弹性模量的影响，参考《钢-混凝土组合结构设计规程》（GB50901-2013），提出钢管钢渣混凝土构件截面组合弹性模量计算公式：

 （J.2-1）

 （J.2-2）  （J.2-3）  （J.2-4）

式中， ——钢管钢渣混凝土构件组合比例极限；

——钢管钢渣混凝土构件组合比例极限应变。

**附录K 钢管钢渣混凝土弹性模量计算方法**

**K.1 钢管钢渣混凝土应力-应变关系**

钢管钢渣混凝土的应力-应变关系模型表达式如下所示：

  （K.1-1）

  （K.1-2）

式中，为钢管钢渣钢渣混凝土应力，为钢管钢渣混凝土应变，，，， ，为钢管钢渣混凝土单轴峰值应力，为钢管钢渣混凝土单轴峰值应变，为钢管钢渣混凝土单轴抗压强度对应的应变，为试验数据回归分析参数。

考虑钢管与钢渣混凝土之间自应力的影响，引入钢渣混凝土强度增强系数对、、和进行修正，其表达式分别为：

 （K.1-3）

 （K.1-4）

 （K.1-5）

 （K.1-6）

 （K.1-7）

**K.2 钢管钢渣混凝土弹性模量**

钢管钢渣混凝土弹性模量可按下式计算：

 （K.2-1）

**附录L 钢管钢渣混凝土耐火时间和防火保护层厚度**

表L-1 不同荷载比下钢管钢渣混凝土构件的耐火时间*t*（min）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等效 | 长细比 | 荷载比0.3 | | | 荷载比0.4 | | | 荷载比0.5 | | | 荷载比0.6 | | | 荷载比0.7 | | |
| 外径 | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | |
| (mm) | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% |
| 400 | 12 | 53 | 50 | 47 | 38 | 36 | 35 | 30 | 29 | 29 | 25 | 24 | 24 | 11 | 13 | 11 |
| 600 | 64 | 59 | 57 | 46 | 43 | 43 | 35 | 36 | 36 | 30 | 30 | 29 | 14 | 17 | 14 |
| 800 | 74 | 68 | 66 | 53 | 50 | 50 | 42 | 42 | 42 | 35 | 35 | 34 | 17 | 20 | 17 |
| 1200 | 93 | 84 | 83 | 66 | 64 | 63 | 53 | 53 | 53 | 45 | 44 | 44 | 23 | 27 | 23 |
| 1500 | 102 | 96 | 95 | 75 | 73 | 73 | 60 | 61 | 60 | 51 | 51 | 50 | 27 | 32 | 27 |
| 1800 | 114 | 108 | 107 | 81 | 82 | 81 | 66 | 68 | 67 | 56 | 57 | 56 | 30 | 36 | 30 |
| 2000 | 121 | 114 | 114 | 86 | 88 | 87 | 80 | 72 | 72 | 60 | 60 | 60 | 32 | 39 | 33 |
| 400 | 24 | 58 | 52 | 50 | 41 | 37 | 36 | 31 | 30 | 30 | 26 | 25 | 25 | 20 | 19 | 19 |
| 600 | 70 | 61 | 59 | 49 | 45 | 44 | 38 | 37 | 37 | 32 | 31 | 31 | 25 | 24 | 24 |
| 800 | 81 | 70 | 69 | 57 | 52 | 52 | 44 | 42 | 43 | 37 | 37 | 37 | 30 | 29 | 28 |
| 1200 | 103 | 88 | 87 | 71 | 66 | 66 | 55 | 55 | 55 | 47 | 47 | 46 | 39 | 37 | 37 |
| 1500 | 119 | 100 | 99 | 80 | 76 | 76 | 63 | 64 | 63 | 54 | 54 | 53 | 44 | 43 | 42 |
| 1800 | 133 | 113 | 112 | 89 | 86 | 85 | 70 | 71 | 71 | 60 | 60 | 60 | 50 | 48 | 46 |
| 2000 | 143 | 121 | 120 | 94 | 92 | 91 | 75 | 76 | 75 | 65 | 64 | 64 | 53 | 52 | 51 |
| 400 | 36 | 51 | 46 | 43 | 35 | 33 | 32 | 29 | 28 | 28 | 24 | 24 | 22 | 17 | 13 | 12 |
| 600 | 63 | 54 | 52 | 43 | 41 | 40 | 36 | 35 | 35 | 29 | 28 | 28 | 23 | 17 | 16 |
| 800 | 72 | 64 | 64 | 50 | 48 | 49 | 42 | 41 | 41 | 35 | 35 | 34 | 27 | 21 | 20 |
| 1200 | 91 | 83 | 82 | 63 | 62 | 61 | 54 | 53 | 53 | 45 | 45 | 43 | 36 | 29 | 28 |
| 1500 | 102 | 96 | 95 | 73 | 71 | 71 | 62 | 61 | 61 | 52 | 55 | 50 | 42 | 35 | 33 |
| 1800 | 114 | 108 | 106 | 81 | 80 | 80 | 69 | 69 | 68 | 58 | 57 | 56 | 47 | 41 | 39 |
| 2000 | 121 | 116 | 114 | 87 | 86 | 85 | 73 | 73 | 73 | 62 | 61 | 60 | 51 | 44 | 42 |
| 400 | 48 | 30 | 29 | 29 | 25 | 24 | 24 | 20 | 19 | 18 | 10 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 600 | 37 | 35 | 35 | 31 | 30 | 30 | 25 | 23 | 23 | 13 | 12 | 11 | 8 | 8 | 8 |
| 800 | 43 | 42 | 41 | 37 | 35 | 35 | 29 | 28 | 28 | 15 | 14 | 14 | 10 | 10 | 9 |
| 1200 | 55 | 53 | 53 | 47 | 45 | 45 | 37 | 36 | 35 | 20 | 19 | 18 | 13 | 13 | 12 |
| 1500 | 63 | 60 | 60 | 53 | 51 | 51 | 43 | 41 | 41 | 23 | 22 | 21 | 15 | 15 | 14 |
| 1800 | 71 | 67 | 67 | 60 | 57 | 57 | 48 | 46 | 46 | 26 | 25 | 24 | 17 | 18 | 16 |
| 2000 | 75 | 72 | 72 | 64 | 61 | 61 | 51 | 49 | 49 | 28 | 28 | 25 | 19 | 19 | 18 |
| 400 | 60 | 27 | 26 | 26 | 20 | 20 | 20 | 12 | 11 | 11 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| 600 | 33 | 33 | 33 | 26 | 26 | 26 | 15 | 15 | 14 | 10 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 800 | 39 | 38 | 38 | 30 | 30 | 30 | 18 | 17 | 17 | 12 | 11 | 11 | 8 | 7 | 7 |
| 1200 | 50 | 48 | 49 | 38 | 38 | 38 | 23 | 22 | 22 | 15 | 14 | 14 | 10 | 10 | 9 |
| 1500 | 57 | 56 | 56 | 44 | 44 | 44 | 27 | 26 | 25 | 17 | 16 | 16 | 11 | 11 | 11 |
| 1800 | 64 | 62 | 62 | 49 | 50 | 49 | 30 | 29 | 29 | 19 | 18 | 18 | 13 | 13 | 12 |
| 2000 | 68 | 66 | 67 | 53 | 53 | 53 | 32 | 31 | 31 | 20 | 19 | 19 | 14 | 13 | 13 |

注：1 荷载比为构件设计值与构件承载力设计值之比；

2 等效外径对于圆形截面取钢管外径；对于多边形截面，按面积相等等效成圆形截面。

表L-2 耐火等级为2.5h（150min）时非膨胀型防火涂料厚度*d*（mm）的取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等效 | 长细比 | 荷载比0.3 | | | 荷载比0.4 | | | 荷载比0.5 | | | 荷载比0.6 | | | 荷载比0.7 | | |
| 外径 | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | |
| (mm) | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% |
| 400 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 25 | 21 | 25 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 19 | 15 | 19 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 13 | 15 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 9 | 11 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 24 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 36 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 15 | 21 | 22 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 15 | 16 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 48 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 | 27 | 30 | 30 | 46 | 46 | 46 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 21 | 22 | 25 | 34 | 34 | 34 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 18 | 19 | 19 | 27 | 27 | 30 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 | 21 | 21 | 22 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 18 | 18 | 19 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 14 | 16 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 14 | 14 |
| 400 | 60 | 10 | 10 | 10 | 13 | 13 | 13 | 22 | 25 | 25 | 39 | 39 | 39 | 56 | 56 | 56 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 18 | 18 | 19 | 27 | 30 | 30 | 46 | 46 | 46 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 15 | 15 | 22 | 25 | 25 | 34 | 39 | 39 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 18 | 19 | 19 | 27 | 27 | 30 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 14 | 14 | 21 | 21 | 22 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 | 19 | 21 | 21 |

注：1 等效外径对于圆形截面取钢管外径；对于多边形截面，按面积相等等效成圆形截面；

2 保护层导热系数W/(m·℃)，比热=1024 J/(kg·℃)，密度=400kg/m3

3若保护层厚度小于设计、施工或成品规定的最小厚度，按后者取值。

表L-3 耐火等级为3h（180min）时非膨胀型防火涂料厚度*d*（mm）的取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等效 | 长细比 | 荷载比0.3 | | | 荷载比0.4 | | | 荷载比0.5 | | | 荷载比0.6 | | | 荷载比0.7 | | |
| 外径 | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | |
| (mm) | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% |
| 400 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 30 | 25 | 30 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 23 | 19 | 23 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 19 | 16 | 19 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 11 | 13 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 10 | 11 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 24 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 16 | 17 | 17 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 36 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 13 | 13 | 14 | 19 | 25 | 27 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 13 | 19 | 20 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 15 | 16 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 400 | 48 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 16 | 17 | 18 | 33 | 37 | 37 | 56 | 56 | 56 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 25 | 27 | 30 | 41 | 41 | 41 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 21 | 23 | 23 | 33 | 33 | 37 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 17 | 18 | 25 | 25 | 27 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 15 | 21 | 21 | 23 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 13 | 19 | 18 | 20 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 12 | 17 | 17 | 18 |
| 400 | 60 | 11 | 12 | 12 | 16 | 16 | 16 | 27 | 30 | 30 | 48 | 48 | 48 | 67 | 67 | 67 |
| 600 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 21 | 21 | 23 | 33 | 37 | 37 | 56 | 56 | 56 |
| 800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 18 | 19 | 19 | 27 | 30 | 30 | 41 | 48 | 48 |
| 1200 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 | 21 | 23 | 23 | 33 | 33 | 37 |
| 1500 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 19 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 |
| 1800 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 17 | 18 | 18 | 25 | 25 | 27 |
| 2000 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 17 | 17 | 23 | 25 | 25 |

注：1 等效外径对于圆形截面取钢管外径；对于多边形截面，按面积相等等效成圆形截面；

2 保护层导热系数W/(m·℃)，比热C=1024 J/(kg·℃)，密度=400kg/m3

3 若保护层厚度小于设计、施工或成品规定的最小厚度，按后者取值。

表L-4 耐火等级为2.5h（150min）时水泥砂浆保护层厚度*d*（mm）的取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等效 | 长细比 | 荷载比0.3 | | | 荷载比0.4 | | | 荷载比0.5 | | | 荷载比0.6 | | | 荷载比0.7 | | |
| 外径 | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | |
| (mm) | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% |
| 400 | 12 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 27 | 32 | 34 | 34 | 40 | 42 | 42 | 102 | 85 | 102 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 26 | 26 | 32 | 32 | 34 | 78 | 63 | 78 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 28 | 63 | 52 | 63 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 45 | 37 | 45 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 37 | 30 | 37 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 26 | 32 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 30 | 23 | 29 |
| 400 | 24 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 31 | 32 | 32 | 39 | 40 | 40 | 52 | 56 | 56 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 30 | 31 | 31 | 40 | 42 | 42 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 34 | 35 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 400 | 36 | 25 | 25 | 25 | 27 | 29 | 30 | 34 | 35 | 35 | 42 | 42 | 47 | 63 | 85 | 92 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 27 | 27 | 34 | 35 | 35 | 45 | 63 | 67 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 28 | 37 | 50 | 52 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 34 | 35 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 29 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 400 | 48 | 32 | 34 | 34 | 40 | 42 | 42 | 52 | 56 | 59 | 112 | 126 | 126 | 192 | 192 | 192 |
| 600 | 25 | 27 | 27 | 31 | 32 | 32 | 40 | 45 | 45 | 85 | 92 | 102 | 142 | 142 | 142 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 34 | 35 | 35 | 72 | 78 | 78 | 112 | 112 | 126 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 27 | 52 | 56 | 59 | 85 | 85 | 92 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 45 | 47 | 50 | 72 | 72 | 78 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 39 | 40 | 42 | 63 | 59 | 67 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 35 | 35 | 40 | 56 | 56 | 59 |
| 400 | 60 | 37 | 39 | 39 | 52 | 52 | 52 | 92 | 102 | 102 | 164 | 164 | 164 | 232 | 232 | 232 |
| 600 | 29 | 29 | 29 | 39 | 39 | 39 | 72 | 72 | 78 | 112 | 126 | 126 | 192 | 192 | 192 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 32 | 32 | 32 | 59 | 63 | 63 | 92 | 102 | 102 | 142 | 164 | 164 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 45 | 47 | 47 | 72 | 78 | 78 | 112 | 112 | 126 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 37 | 39 | 40 | 63 | 67 | 67 | 102 | 102 | 102 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 32 | 34 | 34 | 56 | 59 | 59 | 85 | 85 | 92 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 30 | 31 | 31 | 52 | 56 | 56 | 78 | 85 | 85 |

注： 1 等效外径对于圆形截面取钢管外径；对于多边形截面，按面积相等等效成圆形截面；

2 若保护层厚度小于设计、施工或成品规定的最小厚度，按后者取值。

表L-5 耐火等级为3h（180min）时水泥砂浆保护层厚度*d*（mm）的取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等效 | 长细比 | 荷载比0.3 | | | 荷载比0.4 | | | 荷载比0.5 | | | 荷载比0.6 | | | 荷载比0.7 | | |
| 外径 | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | | 取代率 | | |
| (mm) | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% | 0% | 50% | 100% |
| 400 | 12 | 25 | 25 | 25 | 30 | 32 | 34 | 40 | 42 | 42 | 50 | 52 | 52 | 123 | 103 | 123 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 34 | 32 | 32 | 40 | 40 | 42 | 95 | 77 | 95 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 27 | 34 | 34 | 35 | 77 | 64 | 77 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 55 | 46 | 55 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 46 | 37 | 46 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 40 | 32 | 40 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 37 | 29 | 36 |
| 400 | 24 | 25 | 25 | 25 | 28 | 31 | 32 | 39 | 40 | 40 | 48 | 50 | 50 | 64 | 68 | 68 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 30 | 31 | 31 | 37 | 39 | 39 | 50 | 52 | 52 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 26 | 31 | 31 | 31 | 40 | 42 | 44 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 29 | 31 | 31 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 27 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 400 | 36 | 25 | 25 | 26 | 34 | 36 | 37 | 42 | 44 | 44 | 52 | 52 | 58 | 77 | 103 | 112 |
| 600 | 25 | 25 | 25 | 26 | 28 | 28 | 32 | 34 | 34 | 42 | 44 | 44 | 55 | 77 | 82 |
| 800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 28 | 28 | 34 | 34 | 35 | 46 | 61 | 64 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 32 | 42 | 44 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 | 34 | 36 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 28 | 29 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 27 |
| 400 | 48 | 40 | 42 | 42 | 50 | 52 | 52 | 64 | 68 | 72 | 136 | 152 | 152 | 232 | 232 | 232 |
| 600 | 31 | 34 | 34 | 39 | 40 | 40 | 50 | 55 | 55 | 103 | 112 | 123 | 172 | 172 | 172 |
| 800 | 26 | 27 | 28 | 31 | 34 | 34 | 42 | 44 | 44 | 88 | 95 | 95 | 136 | 136 | 152 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 31 | 32 | 34 | 64 | 68 | 72 | 103 | 103 | 112 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 28 | 28 | 55 | 58 | 61 | 88 | 88 | 95 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 48 | 50 | 52 | 77 | 72 | 82 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 44 | 44 | 50 | 68 | 68 | 72 |
| 400 | 60 | 46 | 48 | 48 | 64 | 64 | 64 | 112 | 123 | 123 | 198 | 198 | 198 | 280 | 280 | 280 |
| 600 | 36 | 36 | 36 | 48 | 48 | 48 | 88 | 88 | 95 | 136 | 152 | 152 | 232 | 232 | 232 |
| 800 | 29 | 30 | 30 | 40 | 40 | 40 | 72 | 77 | 77 | 112 | 123 | 123 | 172 | 198 | 198 |
| 1200 | 25 | 25 | 25 | 30 | 30 | 30 | 55 | 58 | 58 | 88 | 95 | 95 | 136 | 136 | 152 |
| 1500 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 46 | 48 | 50 | 77 | 82 | 82 | 123 | 123 | 123 |
| 1800 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 40 | 42 | 42 | 68 | 72 | 72 | 103 | 103 | 112 |
| 2000 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 37 | 39 | 39 | 64 | 68 | 68 | 95 | 103 | 103 |

注： 1 等效外径对于圆形截面取钢管外径；对于多边形截面，按面积相等等效成圆形截面；

2 若保护层厚度小于设计、施工或成品规定的最小厚度，按后者取值。

**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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中必须按指定的标准、规范或其它有关规定执行的，其用语是“应 按……规定确定”或“应符合……规定”；非必须按照所指定的标准、规范或规定执行的，其用语是“参照……”。

**引用标准名录**

本规程参考和引用了下列现行标准：

GB 175 《通用硅酸盐水泥》

GB 5313 《厚度方向性能钢板》

GB 6566 《建筑材料放射性核素限量》

GB 8076 《混凝土外加剂》

GB 14907 《钢结构防火涂料》

GB 50009 《建筑结构荷载规范》

GB 50010 《混凝土结构设计规范》

GB 50011 《建筑抗震设计规范》

GB 50016 《建筑设计防火规范》

GB 50017 《钢结构设计规范》

GB 50068 《建筑结构可靠度设计统一标准》

GB 50119 《混凝土外加剂应用技术规程》

GB 50135 《高耸结构设计规范》

GB 50153 《工程结构可靠性设计统一标准》

GB 50191 《构筑物抗震设计规范》

GB 50204 《混凝土结构工程施工质量验收规范》

GB 50205 《钢结构工程施工质量验收规范》

GB 50223 《建筑工程抗震设防分类标准》

GB 50300 《建筑工程施工质量验收统一标准》

GB 50628 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》

GB 50661 《钢结构焊接规范》

GB 50666 《混凝土结构工程施工规范》

GB 50755 《钢结构工程施工规范》

GB 50901 《钢-混凝土组合结构施工规范》

GB 50936 《钢管混凝土结构技术规范》

GB 51249 《建筑钢结构防火技术规范》

GB/T 700 《碳素结构钢》

GB/T 750 《水泥压蒸安定性试验方法》

GB/T 985.1 《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》

GB/T 985.2 《埋弧焊的推荐坡口》

GB/T 1228 《钢结构用高强度大六角头螺栓》

GB/T 1229 《钢结构用高强度大六角螺母》

GB/T 1230 《钢结构用高强度垫圈》

GB/T 1231 《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 1591 《低合金结构钢》

GB/T 1596 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》

GB/T 3280 《不锈钢冷轧钢板和钢带》

GB/T 3632 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副

GB/T 4237 《不锈钢热轧钢板和钢带》

GB/T 4171 《耐候结构钢》

GB/T 5117 《非合金钢及细晶粒钢焊条》

GB/T 5118 《热强钢焊条》

GB/T 5293 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》

GB/T 5780 《六角头螺栓C级》

GB/T 5782 《六角头螺栓》

GB/T 8110 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》

GB/T 8923 《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等》

GB/T 9978.1 《建筑构件耐火试验方法》

GB/T 10045 《碳钢药芯焊丝》

GB/T 10433 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》

GB/T 14684 《建设用砂》

GB/T 14685 《建设用卵石、碎石》

GB/T 14957 《熔化焊用钢丝》

GB/T 14975 《结构用不锈钢无缝钢管》

GB/T 17493 《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》

GB/T 18046 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉渣粉》

GB/T 24175 《钢渣稳定性试验方法》

GB/T 24763 《泡沫混凝土砌块用钢渣》

GB/T 24765 《耐磨沥青路面用钢渣》

GB/T 27690 《砂浆和混凝土用硅灰》

GB/T 28294 《钢渣复合料》

GB/T 29514 《钢渣处理工艺技术规范》

GB/T 30190 《石灰石粉混凝土》

GB/T 50081 《混凝土物理性能力学试验方法标准》

GB/T 50083 《建筑结构设计术语和符号标准》

GB/T 50123 《土工试验方法标准》

GB/T 50205 《钢结构工程施工质量验收规范》

GB/T 51003 《矿物掺和料应用技术规程》

JGJ 3 《高层建筑混凝土结构技术规程》

JGJ 52 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》

JGJ 55 《普通混凝土配合比设计规程》

JGJ 63 《混凝土用水标准》

JGJ 81 《建筑钢结构焊接技术规程》

JGJ 99 《高层民用建筑钢结构技术规程》

JGJ 138 《组合结构设计规范》

JGJ/T 318 《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》

JGJ/T 471 《钢管约束混凝土结构技术标准》

JG/T 178 《建筑结构用冷弯矩形钢管》

CECS 24 《钢结构防火涂料应用技术规范》

CECS 28 《钢管混凝土结构设计与施工规范

DB31/T 858 《钢渣粉混凝土砌体应用技术规程》

T/CECS 625 《钢管再生混凝土结构技术规程》

YB/T 4187 《道路用钢渣砂》

YB/T 4188 《钢渣中磁性金属铁含量测定方法》

**ICS**

中国工程建设标准化协会标准

**CECS XXX-2022**

──────────────────────────────────────────────────

**钢管钢渣混凝土结构设计标准**

**条文说明**

**2022-X-X 发布 2022-X-X 实施**

**─────────────────────────**

**中国工程建设标准化协会 发 布**

**目 次**

1、**[总则](#_Toc80195694)** [91](#_Toc80195694)

**[3、材料 92](#_Toc80195721)**

[3.1钢管 9](#_Toc80195722)2

[3.2钢渣 93](#_Toc80195723)

[3.3钢渣混凝土 9](#_Toc80195724)4

[3.4连接材料 9](#_Toc80195725)5

[4、基本规定 9](#_Toc80195773)6

[4.1 一般规定 96](#_Toc80195775)

[4.2 构造要求 9](#_Toc80195776)7

[4.3 设计指标 9](#_Toc80195777)8

**[5、构件承载力计算](#_Toc80195782) 99**

[5.1一般规定 99](#_Toc80195783)

5.2 轴心受力构件承载力计算 [99](#_Toc80195699)

[5.3受弯、压弯及拉弯构件承载力计算 99](#_Toc80195700)

[5.4受剪、受扭及压扭构件承载力计算 100](#_Toc80195706)

[5.5局部受压构件承载力计算 100](#_Toc80195701)

[5.6 考虑长期荷载作用影响的构件承载力计算 100](#_Toc80195704)

[5.7 冻融荷载作用下构件承载力计算 101](#_Toc80195702)

[5.8 腐蚀环境作用下构件承载力计算 100](#_Toc80195705)

**[6、防火设计](#_Toc80195705) 102**

**[7、制作与施工 1](#_Toc80195705)04**

[7.1 一般规定 104](#_Toc80195705)

[7.2 钢管的制作与施工 104](#_Toc80195705)

[7.3 钢渣混凝土施工 104](#_Toc80195705)

[7.4 检测与验收 105](#_Toc80195705)

**1 总则**

**1.0.1** 本条说明了编制本规程的目的和要求，并提出了钢管钢渣混凝土构件必须遵循的原则。钢管钢渣混凝土构件是在钢管内填充钢渣混凝土形成的一种新型组合构件，该组合构件充分利用钢管、钢渣混凝土各自的优点，合理发挥现代结构材料的优势，具有承载力高、耐久性好、施工方便、造价经济等优点。本规程的制订，为工程中合理应用与推广钢管钢渣混凝土构件奠定基础，对于促进固体废弃物资源化利用，保护环境和自然资源，节约天然骨料，降低工程造价等方面具有重要的现实意义。

**1.0.2** 本规程针对钢管钢渣混凝土构件的适用范围、设计方法、构造措施作出规定，规程适用于采用钢管钢渣混凝土构件的工业与民用建筑和一般构筑物的设计、施工与验收。同时，规程主要涉及静力荷载（或拟静力）荷载作用下钢管钢渣混凝土构件的设计，不涉及动力荷载作用。

**1.0.3** 钢管钢渣混凝土构件由于截面形状的不同，其力学性能与设计方法不同。本条限定了本规程中钢管钢渣混凝土构件的截面形状，主要针对圆形和矩形（含方形）钢管钢渣混凝土构件。

**1.0.4** 本条规定了本规程的编制原则，是在现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628和行业标准《钢管约束混凝土结构技术标准》JGJ/T 471等基础上编制而成，因此除应符合本规程规定外，尚应符合国家与行业现行有关标准的规定。

**1.0.5** 本条规定了特殊环境下以及有特殊设计要求的钢管钢渣混凝土构件设计，除应符合本规程的规定外，尚应满足国家现行有关标准的规定。

**1.0.6** 本条说明了本规程中计量单位、符号以及基本术语的规定依据。

**3 材料**

**3.1** 钢管

**3.1.1~3.1.2** 钢管钢渣混凝土构件主要用作各类结构柱，依据现行国家标准和行业标准的规定，结合结构柱的相关要求，综合考虑结构构件的重要性、受力特征、应力状态、连接方式、钢管厚度以及环境条件等因素，提出钢管钢渣混凝土构件管材的要求。钢管应采用碳素结构钢或低合金高强度结构钢，其性能、质量要求、设计参数等均应符合现行国家标准与行业标准的有关规定。当采用其它牌号钢材或国外钢材时，亦应符合我国国家相关标准的规定。

**3.1.3** 不锈钢是指在腐蚀介质如大气、水、酸、碱和盐等溶液中具有一定化学稳定性的钢材的总称。它是在碳素钢中添加一定量的铬元素冶炼制成。不锈钢中所含铬元素的比例直接决定其耐腐蚀性能，铬元素含量不小于12%是国内对不锈钢耐锈耐腐蚀性的基本要求。不锈钢按其金相组织的不同可划分为五类：铁素体型不锈钢、奥氏体型不锈钢、双向体型不锈钢、马氏体型不锈钢和沉淀硬化型不锈钢，其中奥氏体不锈钢在土木工程中的应用最多，其原因是塑性好、有足够的强度、耐腐蚀性强，造型美观且维护方便。目前，我国关于不锈钢的设计规范主要是对材料的化学成分与构件的加工制作进行了相应规定。耐候钢是指通过添加少量的合金元素使其在金属基体表面上形成保护层，以提高耐大气腐蚀性能的钢，耐候钢可制作热轧和冷轧的钢板、钢带和型钢。

**3.1.4** 圆钢管钢渣混凝土构件常用螺旋焊接管和直缝焊接管，相比而言，螺旋焊接管较好，容易达到焊接与母材等强度的要求。无缝钢管价格相对较高且壁厚较大，因而不宜采用。当螺旋焊接管的常用规格不能满足要求时，可采用钢板卷制而成的直缝焊接钢管，应采用全熔透对接焊缝，不允许采用钢板搭接的角焊缝。焊缝应达到二级质量检验标准，且和母材等强度。低温环境或直接承受动荷载的外露结构，不宜采用冷弯成型矩形钢管。

**3.1.5** 钢管钢渣混凝土构件在制造过程中，由于钢材质量、焊接构造的影响，厚板容易出现层状撕裂，这对沿厚度方向受拉的接头来说非常不利。因此，构件需要采用厚度方向性能钢板。现行《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81和《建筑抗震设计规范》GB 50011中规定，厚度大于40 mm时应采用厚度方向性能钢板。

**3.1.6** 抗震设计时，本规程中钢管钢渣混凝土构件的管材的力学性能指标和物理性能指标，均应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017和《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。钢管钢渣混凝土构件中钢材应保证抗拉强度、屈服强度、冷弯性能、冲击韧性合格，同时还应确保硫、磷和碳含量不超限。抗拉强度是实际上决定结构安全储备的关键，伸长率反映钢材能承载残余变形量的程度及塑性变形能力，钢材的屈服强度不宜过高，同时要求有明显的屈服台阶，伸长率应大于20%，以保证构件具有足够的塑性变形能力，冲击韧性是抗震结构的要求。国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中，Q235钢分为A、B、C、D四个等级，其中A级钢不要求任何冲击试验值，只在用户要求时才进行冷弯试验，且不保证焊接要求的含碳值，故不建议采用。国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591中，Q345钢分为A、B、C、D、E五个等级，其中A级钢不保证冲击韧性要求和延性性能要求，故亦不建议采用。当选用钢材时，必须由钢材厂家提供出厂材料证明，设计单位经检验后，方可采用。

**3.2** 钢渣

**3.2.1** 本条规定了钢渣预处理的四种常见工艺技术，具体工艺流程和技术要求应符合《钢渣处理工艺技术规范》GB/T 29514的规定。热闷工艺技术是将热态钢渣倒入装置内，利用喷入水产生的蒸汽使钢渣破裂粉化、钢渣分离，包括池式热闷和罐式热闷两种处理方式；滚筒工艺技术是将高温钢渣放置在一个转动的密闭容器中进行处理，在工艺介质和冷却水的共同作用下，高温钢渣被急速冷却、固化和碎化，实现破碎和钢渣分离同步完成；风碎工艺技术是利用高速空气流对空中连续下落的液态钢渣流进行冲击切割，使其分散粒化成细小液滴，并随气流沿水平方向向前飞行，受重力作用，分散落入下方冷却水池中，迅速冷却为固态球形成碎渣；水碎工艺技术是将液态钢渣由中间包均匀流入粒化器形成的高速水幕，钢渣在高速水幕的急冷、剪切作用，淬成细小颗粒，使钢渣粒化。经过上述工艺技术处理后的钢渣骨料应保持干燥、洁净、无杂质。

**3.2.2** 本条规定了钢渣骨料通用技术要求，给出了钢渣浸水膨胀率、活性指数、安定性、放射性等项目的技术指标，同时给出了相应的检验方法和依据。

**3.2.3-3.2.4** 钢渣骨料划分为钢渣粗骨料（粗钢渣）与钢渣细骨料（钢渣砂），条文中详细规定了钢渣砂与粗钢渣的规格与类别、技术指标与检验方法，条文参照了《建设用砂》GB/T 14684和《建设用卵石、碎石》GB/T 14685中的有关规定。

**3.3** 钢渣混凝土

**3.3.1 ~3.3.6** 钢渣混凝土主要由钢渣粗骨料、钢渣细骨料、水泥、水、矿物掺合料以及外加剂等组成，各组成部分的选用应符合现行国家标准与行业标准的有关规定。钢渣混凝土的配合比设计、施工、质量检验和验收应符合现行地方标准《钢渣粉混凝土应用技术规程》DG/T J08。

**3.3.7** 本条规定将钢渣混凝土强度等级的确定方法与普通混凝土强度等级的确定方法和标准相统一。立方体抗压强度标准值指按标准方法制作并养护28d的边长为150 mm的钢渣混凝土立方体试件，以标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值。

**3.3.8** 理论分析与试验研究结果均表明，钢管对核心钢渣混凝土的约束作用，提高了钢渣混凝土强度，改善其塑性和韧性。钢渣混凝土的存在可延缓或阻止钢管发生内凹的局部屈曲，钢管和钢渣混凝土材料性质对钢管钢渣混凝土构件性能的影响很大，两者几何特性和物理特性参数如何“匹配”，将对钢管钢渣混凝土构件力学性能起着非常重要的影响。

对于目前建筑工程中常用的钢材，采用SSC30以上强度等级的钢渣混凝土比较合理。为确保钢管钢渣混凝土构件产生一定的自应力，钢管内填充的钢渣混凝土宜采用微膨胀混凝土。在常用含钢率情况下，Q235钢配SSC30~SSC35级钢渣混凝土；Q345和Q390钢配SSC40~SSC50级钢渣混凝土；Q420和Q460级钢配SSC50~SSC60级钢渣混凝土。

**3.3.9-3.3.10** 条文给出了钢渣混凝土最小胶凝材料用量、最大水胶比以及设计龄期的相关建议。

**3.3.11** 本条规定了钢渣混凝土抗压、劈裂抗拉以及抗折强度等基本力学性的基本测试方法，附录C和附录D中给出了钢渣混凝土部分基本力学性能指标的计算公式以及应力-应变关系。

**3.3.12** 本条规定了钢渣混凝土弹性模量、剪切变形模量和泊松比的确定方法。**3.3.13** 钢渣混凝土的线膨胀率可按附录E建议的方法测量。当缺乏试验资料时，本条给出了钢渣混凝土线膨胀率的取值方法，见附录F。

**3.3.14** 本条规定了钢渣混凝土导温系数、导热系数以及比热容的确定方法。

**3.3.15** 条文规定了钢渣混凝土的吸水率与耐磨性的确定方法。

**3.3.17** 条文给出了钢渣混凝土在高温下和高温后的轴心抗压强度、峰值应变、弹性模量等力学性能指标确定方法。

3.4 连接材料

**3.4.1-3.4.3** 焊缝质量的好坏直接影响钢管钢渣混凝土构件的力学性能。条文规定了焊缝材料的力学性能应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。当焊接两种不同强度等级的钢材时，宜选用与被焊钢材强度等级较低的钢材相匹配的焊条或焊丝，若选用比主体强度高的焊条或焊丝，易产生裂缝，难以保证焊缝处的质量。采用强度较低的焊缝材料，既可以得到与被焊钢材等强的焊接接头，还可以提高焊缝的塑性和韧性。与此同时，条文还规定了手工焊接选用的焊条型号以及二氧化碳气体保护焊、埋弧焊、自动或半自动焊接用的焊丝和焊剂均应与被焊钢材相适应，且符合现行国家有关标准的规定。

**3.4.4-3.4.6**常见的连接紧固件包括普通螺栓连接、高强度螺栓连接以及栓钉连接等，条文给出了用于钢管钢渣混凝土构件的连接紧固件（如普通螺栓、高强度螺栓以及栓钉）应符合相关规范的规定要求。钢管钢渣混凝土构件采用栓钉的用材和规格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小于235 MPa，抗拉强度不应小于400 MPa。栓钉的实际力学性能，应根据栓钉制造厂生产的产品（需符合国家标准）的设计指标选用。栓钉的直径宜选用19 mm~22 mm，其长度不宜小于4倍钉径。

**4 基本规定**

4.1一般规定

**4.1.1** 本条规定了钢管钢渣混凝土结构的一般设计原则及总体规定。

**4.1.2**~**4.1.4** 条文规定了钢管钢渣混凝土结构的抗震设防类别、抗震设防标准、抗震等级、平立面布置原则与规则性要求、荷载效应组合、内力和位移计算、抗风抗震验算、内力调整以及抗震构造措施等均应按照相关的现行国家标准和行业标准确定。

**4.1.5** 本条列举了一些常用的钢管钢渣混凝土结构体系，如框架结构、框架-支撑结构、框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、筒中筒结构、部分框支-剪力墙结构以及杆塔结构。

框架结构指框架柱采用钢管钢渣混凝土柱，梁采用钢梁、钢-混凝土组合梁或钢筋混凝土梁的结构；框架-支撑结构指由钢管钢渣混凝土柱、钢梁和钢支撑（或钢管钢渣混凝土支撑）组成的结构；在框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构和筒中筒结构中，柱主要采用钢管钢渣混凝土柱，剪力墙及核心筒为钢筋混凝土构件或者组合构件，梁可为钢梁、钢-混凝土组合梁或钢筋混凝土梁；部分框支-剪力墙结构中仅框支柱采用钢管钢渣混凝土构件；杆塔结构含单肢柱及格构柱，柱采用钢管钢渣混凝土构件。

结构中仅局部采用钢管钢渣混凝土构件，而其它主要采用钢结构或钢筋混凝土结构构件，不应视为钢管钢渣混凝土结构，应按钢结构或者钢筋混凝土结构的相关规范进行设计，其中钢管钢渣混凝土构件的设计可按照本规程的规定进行。

**4.1.6** 条文指出了钢管钢渣混凝土结构的一般应用范围以及截面形式的选择情况。由于厂房框架柱多为承载力高的偏压构件，宜采用格构式柱，使柱肢处于轴压或小偏压状态，可以充分发挥钢管钢渣混凝土的优越性。条文建议综合考虑厂房规模、荷载情况、结构形式和使用要求等因素来确定柱的截面形式。

**4.1.7** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件的一般设计原则。

**4.1.8**~**4.1.9** 采用钢管钢渣混凝土结构的建筑处于抗震设防地区时，均应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的规定进行地震作用下的承载能力验算。条文中提及效应的设计值都应是经过相关规范规定调整之后的设计值。承载力抗震调整系数一般在0.75~1.0之间。现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《 钢管混凝土结构技术规范》GB 50936没有给出钢管钢渣混凝土构件的值，条文中给出的钢管钢渣混凝土构件承载能力抗震调整系数  基本上是参照上述两本规范建议的系数制定的。

**4.1.10** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件在施工阶段过程中必须确保钢管的稳定性。

**4.1.11**本条参考了《 钢管混凝土结构技术规范》GB 50936的有关规定。施工过程中，钢管钢渣混凝土柱的钢管在浇筑混凝土之前，结构没有完全形成，构件也只有空钢管受力，因此需要验算此时构件的强度和稳定性。如果空钢管受力过大，将会影响浇筑钢渣混凝土后形成构件的承载力，因此本条限制了空钢管的应力。先安装空钢管然后一次性向管内浇灌钢渣混凝土，为了控制此影响在5%以内，经分析，应控制初应力不超过钢材抗压强度设计值的60%。

4.2 构造要求

**4.2.1~4.2.2** 钢管最小管径和最小壁厚的规定主要是为了保证混凝土浇灌质量和钢管焊接质量而确定的。本条规定是基于空钢管轴心受压时得出的研究结果，可保证管壁局部稳定的要求，对于管内存在钢渣混凝土的情况是偏于安全的。此外，由于存在内填钢渣混凝土，钢管钢渣混凝土管壁的稳定性有所提高，钢管的外直径或最大外边长与壁厚之比不得大于无混凝土时相应限值（按国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017确定）的1.5倍。对于格构式柱，缀材采用的钢管不灌钢渣混凝土。为了确保钢管和核心钢渣混凝土能够良好地协同工作，根据目前相关研究成果的适用范围，提出此规定。

**4.2.3** 钢管截面尺寸过大，会影响管内钢渣混凝土与钢管的共同受力，不利于整个构件的协同工作，因此本条规定大尺寸钢管钢渣混凝土构件需要采取有效措施来减小不利影响。目前工程中常用的方法包括管内设置钢筋笼、钢管分仓、钢管内设置纵向加劲肋、焊接栓钉等。

**4.2.4** 本条规定了钢管钢渣混凝土构件的容许长细比的确定方法，参照现行《钢结构设计规范》GB 50017中的有关规定确定。

**4.2.5~4.2.6** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件的截面含钢率与约束效应系数标准值的取值范围，提出名义约束效应系数标准值和设计值的计算方法。

**4.2.7** 矩形钢管钢渣混凝土构件的延性与轴压比、含钢率、长细比等因素有关，为保证其延性，本条文对钢管钢渣混凝土构件的轴压比进行了相关规定。研究结果表明（《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936），圆形截面钢管钢渣混凝土柱的延性较好，故本条未对圆形截面钢管钢渣混凝土构件的轴压比做限值要求。本条规定参考了现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB50936的有关规定，同时考虑到钢管钢渣混凝土构件的应用还处于起步阶段，工程应用相对较少，为了积极安全稳妥地推动钢管钢渣混凝土结构的应用，对钢管钢渣混凝土构件采取相对严格的轴压比限值。

4.3 设计指标

**4.3.1** 采用为设计钢管钢渣混凝土构件的强度指标时，对钢管钢渣混凝土轴心受压构件的强度进行了可靠性分析。基于大量的试验、理论与有限元模拟结果，按不同钢牌号、钢渣混凝土强度等级、含钢率以及荷载比等情况进行分析与计算，结果表明采用本规程的设计方法所确定的钢管钢渣混凝土基本构件的抗力满足《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068中规定对延性破坏构件的可靠性要求。

**4.3.2~4.3.5** 条文参考了现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936和行业标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625、《组合结构设计规范》JGJ 138的有关规定。

**4.3.6** 本条规定了长期荷载作用下钢管钢渣混凝土构件组合轴压刚度与组合抗弯刚度的确定方法。通过试验确定钢管钢渣混凝土构件在长期荷载作用下构件变形的影响，得出相应的徐变系数（指在时刻所施加荷载持荷至时刻所产生的构件徐变变形与加载初期弹性变形的比值），将本规程第4.3.2、4.3.3条中的改用进行相应计算。

**5 构件承载力计算**

**5.1** 一般规定

**5.1.1** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件承载力计算的适用范围。对钢管钢渣混凝土构件的抗震验算可参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50010对钢结构的有关规定进行。

5.2 轴心受力构件承载力计算

**5.2.1** 钢管钢渣混凝土轴心受拉时，钢管的径向变形受到管内核心钢渣混凝土的影响。由于外部钢管与核心钢渣混凝土之间的相互作用使钢管处于纵向和环向受拉、径向受压的复杂应力状态，同时由于径向压力不大，简化为双向受拉工作，而管内钢渣混凝土由于纵向开裂而处于双向受压应力状态。计算时以钢管钢渣混凝土轴心受拉时荷载-变形关系曲线上钢管达到屈服强度为受拉极限状态。通过计算机分析得到钢管钢渣混凝土轴心受拉时，名义平均拉应力和纵向拉应变的关系曲线，以该关系曲线转入塑性阶段时的应力作为钢管钢渣混凝土抗拉组合强度标准值。

**5.2.2** 条文参考了国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936的取值建议。

考虑初始偏心，按偏心受压构件的方法计算钢管钢渣混凝土构件轴心受压时的临界应力，计算临界应力与钢管钢渣混凝土组合截面轴心抗压强度的比值得到稳定系数，经回归分析，给出值计算方法，规范给出轴压构件稳定系数取值表格。

**5.2.3~5.2.4** 条文参考了国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936的相关规定。格构式轴心受压构件临界状态时，缀材的变形不能忽略，尤其是采用平腹杆格构式钢管钢渣混凝土轴心受压构件，平腹杆的刚度远比柱肢刚度小，因而计入缀材剪切变形的影响，推导了构件的换算长细比（参见钟善桐著. 钢管混凝土结构，哈尔滨：黑龙江科学技术出版设计，1994）。公式中直接采用柱肢的钢管面积，方便与简化了设计，同时还提供了三肢柱和四肢柱（截面不对称时）的计算公式。

**5.2.5** 格构式钢管钢渣混凝土轴心受压构件不仅要验算整体稳定承载力，还需验算单至构件稳定承载力。单柱肢稳定承载力验算以及格构式轴心受压构件用于缀材设计时所受剪力设计值计算均直接参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936的有关规定。

5.3 受弯、压弯和拉弯构件承载力计算

**5.3.1~5.3.2** 单肢钢管钢渣混凝土构件单向受弯时应考虑截面的塑性发展，格构式钢管钢渣混凝土构件单向受弯时可不考虑截面塑性发展。

**5.3.3** 条文规定参考了行业标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625的有关规定，钢管钢渣混凝土构件双向受弯时应考虑两个方向弯矩之间的相互作用。

**5.3.4~5.3.6** 条文参考了行业标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625的有关规定。通过数值计算，得到了轴力、弯矩（*N*、*M*）共同作用下的相关曲线。由于矩形钢管钢渣混凝土压弯构件在平面内、平面外的长细比不一定相同，因此有必要进行弯矩作用平面外的稳定计算。

**5.3.8** 条文规定对于矩形钢管钢渣混凝土双向压弯构件或双向拉弯构件，考虑轴力和两个方向弯矩之间的相互作用，可将单轴压弯构件或拉弯构件承载力验算公式（（5.3.4-1）、（5.3.4-2）、（5.3.5-1）、（5.3.5-2）、（5.3.6）和（5.3.7））加以推广可得到其承载力验算公式。

5.4 受剪、受扭和压扭构件承载力计算

**5.4.1~5.4.5** 条文参考了行业标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625的有关规定。基于合理的材料本构关系，利用有限元法建立钢管钢渣混凝土构件压、弯、扭、剪及其复合受力状态下力学模型。对受剪、受扭、压扭、压弯扭以及压弯剪构件的荷载-变形关系曲线进行了全过程分析，研究了各阶段钢管和核心钢渣混凝土截面的应力状态，揭示其相互作用机理以及构件受力破坏特征。基于验证的有限元模型，开展钢管钢渣混凝土构件不同受力状态下的参数研究，分析各影响因素对构件力学性能的影响，推导了钢管钢渣混凝土构件在不同受力状态下的承载力实用计算公式。

5.5 局部受压构件承载力计算

**5.5.1~5.5.6** 利用有限元法建立局部受压钢管钢渣混凝土构件力学模型，分析了有效约束效应系数（0.1~5）、钢材屈服强度（Q235~Q460）、局压面积比（1~20）、钢渣混凝土强度（SSC30~SSC60）等因素的影响，综合各因素的影响规律，推导无端板和带端板钢管钢渣混凝土局压承载力折减系数的计算公式，其中矩形钢管钢渣混凝土含钢率适应范围为0.10~0.20，圆形钢管钢渣混凝土含钢率适用范围为0.06~0.20。

5.6 考虑长期荷载作用影响的构件承载力计算

**5.6.1** 条文参考了行业标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625的有关规定，给出了钢管钢渣混凝土构件工程常用范围内长期荷载作用影响系数。在长期荷载作用下，由于管内钢渣混凝土发生徐变和膨胀变形，产生内力重分布现象，导致钢管和核心钢渣混凝土应力发生改变，两者的弹性模量发生变化，导致构件的临界应力有所下降。承载力降低程度与有效约束效应系数、长期荷载的大小、荷载偏心率以及长细比有关。公式中各参数宜选用：钢渣混凝土SSC30~SSC60、钢材屈服强度Q235~460、长细比8~150、荷载偏心率0~1、矩形和圆形钢管钢渣混凝土含钢率适应范围分别为0.10~0.20、0.06~0.20，矩形钢管截面长边长度与短边长度之比1~2。

5.7 冻融环境作用下构件承载力计算

**5.7.1~5.7.5** 条文建议了冻融环境作用下钢管钢渣混凝土构件的轴压承载力计算公式，综合考虑冻融循环作用的影响，引入冻融循环作用影响下的轴向受压承载力折减系数，同时还建议了偏心率与长细比影响的承载力折减系数和。

5.8 腐蚀环境作用下构件承载力计算

**5.8.1** 在腐蚀环境作用下，钢管钢渣混凝土构件外钢管壁将发生腐蚀，计算腐蚀后钢管钢渣混凝土构件的承载力应采用腐蚀后钢管的有效截面，条文建议了腐蚀后构件的计算参数。条文适用于钢管钢渣混凝土构件表面遭受均匀腐蚀或近似均腐蚀的工况，钢管腐蚀表明无明显的局部坑蚀。

**6 抗火设计**

**6.1.1** 根据现行国家标准《建筑构件耐火试验方法》GB/T 9978.1和《建筑设计防火规范》GB 50016中对于耐火极限的定义:“在标准耐火试验条件下，建筑构件、配件或结构从受到火的作用时起，至失去承载能力、完整性或隔热性时止所用时间”。这里的“标准耐火试验条件”所用的火灾标准温度-时间曲线为升温曲线，与ISO-834标准升温火灾曲线一致。

**6.1.2** 常温下，无侧移框架中钢管钢渣混凝土柱构件两端的边界条件并非理想铰接，存在相邻梁、柱构件和节点的约束作用，因而柱构件的有效长度系数小于1.0。火灾下，直接受火的钢管钢渣混凝土柱构件材性严重退化、刚度明显降低，而周围约束构件和节点间接受火或不受火，整体温度水平相对较低，材料劣化和刚度折减显著低于受火柱构件，对于柱构件的约束程度较于常温下相对提高，因此柱构件的计算长度将进一步折减。对于有支撑框架的中间层柱，可认为其端部约束条件近似于两端固接，有效长度取柱高的0.5倍；对于顶层柱，可偏于保守地认为其端部约束条件为底端固接、上端铰接，有效长度取柱高的0.7倍。相同的火灾下柱构件有效长度取值建议同样为欧洲规范EC4中钢-混凝土组合柱的抗火设计方法所采用。

**6.1.3** 火灾下钢管内核心混凝土会产生一定的水蒸气。为保证钢管和混凝土之间具有良好的协同工作能力，保证结构的安全，应设置排气孔，保证排气通畅。

**6.1.4** 钢管钢渣混凝土构件的火灾荷载比（）表征受火过程中作用在构件上的轴心受压荷载水平。火灾下钢管钢渣混凝土构件的轴心压力设计值（）可按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249等规范的有关规定计算。

**6.1.5** 哈尔滨工业大学刘发起等人对钢管钢渣混凝土构件的抗火性能进行了系统研究，采用Campbell-Allen and Thorne模型和Harmathy公式，基于试验测得的钢渣粗骨料的导热系数与比热，结合欧洲规范EN 1992-1-2:2004中建议的高温下钙质骨料混凝土导热系数与比热公式，提出了高温下钢渣混凝土的导热系数与比热计算公式，并采用试验结果进行了验证。

由于尚缺乏高温下钢渣混凝土力学性能的相关研究，故高温下偏于安全的取高温后钢渣混凝土峰值应变和抗压强度。搜集了国内外高温后钢渣混凝土峰值应变和抗压强度试验数据，拟合得到了二者与温度的关系。结合TT.Lie建议的高温下普通混凝土本构关系模型，提出了高温下钢渣混凝土应力-应变关系表达式。

分析了钢渣替代率、荷载比、长细比、含钢率、混凝土强度、钢管强度等参数对钢管钢渣混凝土构件耐火极限的影响规律，发现荷载比与长细比影响较大，据此绘制了附录表L-1。

参照《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936，防火保护层厚度可按式（6.1.5-1）和（6.1.5-2）计算：

1）当防火涂料为非膨胀型防火涂料时，保护层厚度可按下式6.1.5-1计算；

2） 当防火涂料为钢丝网抹M5普通水泥砂浆时，保护层厚度可按下式6.1.5-2计算。

 （6.1.5-1）

 （6.1.5-2）

式中： —— 构件保护层；

 —— 保护层的导热系数，[W/(m·℃)]；

 —— 没有保护层时，构件的耐火时间，（min）；

 —— 涂保护层后希望达到的时间（min）。

经过与有限元结果对比，上述公式计算结果偏于安全。计算得到的防火保护层厚度如表L-2-0~L-5-0所示。多数情况下非膨胀型防火涂料厚度仅有几毫米，考虑到施工的可行性，非膨胀型防火涂料厚度不足10 mm的值，取为10 mm；与此类似，水泥砂浆保护层厚度不足25 mm时，取为25 mm，因此得到附录表L-2~L-5。应当注意的是，当长细比与荷载比均较大时，无论非膨胀型防火涂料还是水泥砂浆作为防火保护其厚度均很大，有可靠依据的前提下，应采用更为有效的防护措施。

**6.1.6** 考虑钢渣混凝土柱相比钢结构具有更好的抗火性能，且膨胀型比非膨胀型防火涂料更薄更美观，因此在有可靠依据的情况下，可采用膨胀型防火涂料作为钢管钢渣混凝土构件的防火

**6.1.7~6.1.10** 条文主要参考实际工程实践中的防火保护做法以及欧洲国家所采用的钢管混凝土构件防火保护构造。

**7 制作与施工**

**7.1** 一般规定

**7.1.1** 钢管钢渣混凝土构件与常规的钢管混凝土构件相比，有不同之处也有许多相似之处，故在执行本规程时，还应遵守现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的有关规定。

**7.1.2** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件制作与安装的施工单位应具有相应的资质，设计单位应对施工组织方案进行详细技术审查。施工单位根据已批准的设计文件编制施工详图，可较好地把制作工艺、施工条件、安装技术等与获批的设计文件结合起来，确保设计、施工更加完善、合理。针对构造复杂的构件，应进行工艺试验评定，根据工程特点，结合现场条件编制详细施工工艺或方案。

**7.1.3** 为了防止钢管腐蚀，确保构件的安全性与耐久性，钢管钢渣混凝土构件表面应进行除锈及防锈处理。构件的除锈和涂装应在钢管制作检验合格后进行，构件表面的除锈方法和除锈等级应满足设计规定和现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB/T 8923的规定。

**7.1.4** 条文规定了钢管钢渣混凝土构件防火涂料涂装前应对构件表面进行除锈及防锈处理，不进行相应的除锈处理，将影响构件的防火性能。同时指出，钢管钢渣混凝土构件防火涂料性能及检测方法应满足现行国家与行业标准的有关规定。

7.2 钢管的制作与施工

**7.2.1~7.2.12** 本节条文根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205和现行国家行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的相关内容制订。

7.3 钢渣混凝土施工

**7.3.2~7.3.9** 条文给出的泵送顶升浇灌、导管法及手工逐段浇捣等三种较为成熟的钢管混凝土浇筑方法，具体工艺如下：①泵送顶升浇灌法：在钢管柱适当的位置开设并安装顶升口，顶升口上安装一个带有防回流装置的截止阀，进料管，直接用导流管将顶升口与泵车的输送管项连，将混凝土连续不断、自下而上地灌顶入钢管内，无需振捣。②高位抛落免振捣法：混凝土从钢管的上部抛入，利用混凝土下落时产生的动能达到混凝土振动密实的目的。③手工逐段浇捣法：混凝土自钢管上口灌入，并用振捣器捣密实。

上述三种方法均适用于钢渣混凝土的浇筑，相比而言，泵送顶升浇灌法的质量最易控制。实际工程中，不管采用哪种方法，都要保证内部钢渣混凝土的强度与密实度。适当的配合比、合理的浇筑工艺以及良好的浇筑质量检验措施（合理有效的过程控制）对保证钢管钢渣混凝土施工质量至关重要。

**7.3.10** 实践表明，以室外日平均气温连续5d稳定低于5℃划定为冬期施工的界限，但如果当日气温低于0℃时也要采取冬期施工措施。

7.4 检测与验收

**7.4.1~7.4.4** 本节条文根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 、《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 和《建设工程消防监督管理规定》（公安部第119号令）的有关内容制订。