



钢管混凝土结构

——理论与实践

韩林海 著



科学出版社
www.sciencep.com

钢管混凝土结构

——理论与实践

韩林海 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统介绍了钢管混凝土构件在静力、动力、火灾下和火灾作用后等情况下的最新系列研究成果,以及基于这些成果推导出的钢管混凝土构件实用设计方法,还介绍了钢管混凝土工程的一些典型实例,旨在帮助读者具体地理解这种新型结构的发展、特点和可能形式。

本书内容丰富,理论体系完整,可供土建类专业教师、研究生、本科生和工程科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土结构:理论与实践/韩林海著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012871-0

I. 钢… II. 韩… III. 钢管结构;混凝土结构 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 007445 号

责任编辑:杨家福 吴伶伶/责任校对:宋玲玲

责任印制:吕春珉/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年3月第一版 开本:B5(720×1000)

2004年3月第一次印刷 印张:30 3/4

印数:1—3 000 字数:601 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

钢管混凝土是发展前景广阔的一种结构形式,它能适应现代工程结构向大跨、高耸、重载发展和承受恶劣条件的需要,符合现代施工技术的工业化要求,正被越来越广泛地应用于工业厂房、高层和超高层建筑、桥梁和地下等结构中,取得了良好的经济效益和建筑效果,已成为结构工程科学的一个重要发展方向。

随着我国经济和建设事业的迅猛发展,近十几年来钢管混凝土的应用日益增多,发展速度之快惊人,寻求更为合理和完善的钢管混凝土结构分析理论和设计方法显得尤为突出和重要。为了实现这一目标,作者及其课题组的成员对工程中常用的圆形和方、矩形钢管混凝土的如下关键问题进行了探索和研究:

- 1) 静力荷载作用下的性能。
- 2) 长期荷载作用的影响。
- 3) 往复荷载作用下的性能。
- 4) 耐火性能和抗火设计方法。
- 5) 火灾后的力学性能。
- 6) 钢管初应力的影响。
- 7) 混凝土浇筑质量的影响。
- 8) 薄壁钢管混凝土的力学性能。
- 9) 采用高性能材料的钢管混凝土的力学性能等。

钢管混凝土构件的工作实质在于钢管及其核心混凝土间的相互作用和协同互补,这种相互作用,使钢管混凝土具有一系列优越的力学性能,同时也导致其力学性能的复杂性,因此,如何合理地估计这种相互作用的“效应”成为迫切需要解决的钢管混凝土理论研究热点课题。从广大设计部门的角度考虑,不仅希望这一问题在理论上取得较透彻的解决,而且更希望能进一步提供便于工程设计人员使用的实用设计方法。从研究者的角度来说,在工程技术领域从事科学研究,其最终目的也应该是更好地为实际应用服务。

按照这一指导原则,作者及其课题组成员在进行上述钢管混凝土若干方面问题的研究时,大都经历了如下三个阶段:

- 1) 在系统总结和考察目前国内外有关钢管混凝土理论分析和实验研究结果的基础上,提出能够进行钢管混凝土构件荷载-变形全过程分析的理论和方法。
- 2) 根据研究的需要有针对性地进行一系列钢管混凝土构件的实验研究,从而更加全面地验证全过程分析结果的准确性。
- 3) 利用理论分析模型,对影响钢管混凝土性能的基本参数(包括物理参数、几

何参数和荷载参数等)进行系统的分析,并考虑各种可能的影响因素,然后对所得大量计算结果进行统计分析和归纳,考察钢管混凝土力学性能的变化规律,最后从理论高度进行概括,提出钢管混凝土构件在各种荷载作用下的设计方法。

课题组取得的研究成果最近几年陆续在国内外著名学术期刊和学术会议上发表,受到国内外同行的广泛关注。这些成果还受到了国内工程界的重视。有关钢管混凝土静力和动力性能方面的成果被国家电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》(DL/T 5085-1999)(1999)、国家军用标准《战时军港抢修早强型组合结构技术规程》(GJB 4142-2000)(2001)和福建省工程建设地方标准《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ 13-51-2003)(2003)系统采用;有关钢管混凝土耐火性能方面的成果已在高度为 291.6m 的深圳赛格广场大厦圆钢管混凝土柱以及国家经贸委产业化重点项目杭州瑞丰国际商务大厦方钢管混凝土柱的防火设计中应用,取得了良好的经济效益和建筑效果。该项成果随后被福建省工程建设地方标准《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ 13-51-2003)(2003)、中国工程建设标准化协会标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》和浙江省工程建设地方标准《建筑钢结构防火技术规范》(2003)等规程采用。

课题组取得的初步研究成果曾于 2000 年在科学出版社出版的《钢管混凝土结构》一书中发表,自那以来,这些成果一直得到研究者和工程技术人员的广泛关注。

本书内容的研究工作先后得到过国家自然科学基金、霍英东教育基金、国家教育部优秀青年教师资助计划项目、国家地震科学联合基金、辽宁省自然科学基金、福建省自然科学基金重点项目、福建省科技计划重点和重大项目以及澳大利亚 ARC 基金重点项目等的资助。

钢管混凝土结构作为一种新兴学科,其内容应该十分丰富多彩。科学是不断发展的,人们对科学问题的认识也将不断深入。虽然作者已进行了艰苦的努力和辛勤工作,但本书的一些论点也仅代表作者当前对这些问题的认识。鉴于所探讨问题本身的复杂性,某些论点定会随着研究工作的深化和扩大而得到改进,这是必然的,也是应当的。因而,对本书存在的不足之处,谨请读者批评指正。

我诚挚感谢所有为本书面世做出贡献的朋友:中国工程院院士王光远教授、赵国藩教授和沈世钊教授在作者从事科学研究的过程中给予了许多鼓励和帮助;国家电力公司电力规划设计总院的阎善章高级工程师、福建省建筑设计院的龚昌基高级工程师、福州大学的陈宝春教授、郑州铁路局和济南铁路局的乔景川和于连波高级工程师、深圳市赛格广场投资有限公司的蔡延义和陈立祖高级工程师、铁道部第一勘测设计院的孙忠飞高级工程师、上海宝山钢铁公司的王怀忠高级工程师、中建二局深圳南方公司的程宝坪总工等工程界同仁们曾为作者提供了非常有价值的实际工程资料;博士后杨有福和姜绍飞,博士生陶忠、徐蕾、冯九斌、毛小勇、贺军利、杨华、霍静思、刘威、卢辉、尧国皇、林晓康、黄宏和王文达,硕士生闫维波、邱明广、程树良、游经团、张铮、冯斌、郑永乾、高献和廖飞宇等

均协助作者完成了大量计算或实验工作，他们均对本书做出了重要贡献。最后，特别感谢钟善桐教授，在从事钢管混凝土结构的研究过程中，一直得到恩师的关注和支持，使我受益匪浅。

这本书其实是大家的，我将永远心存感激。

主要符号

| | |
|------------|---|
| a | 防火保护层厚度 |
| A_c | 核心混凝土横截面面积 |
| A_s | 钢管横截面面积 |
| A_{sc} | 钢管混凝土横截面面积, $A_{sc} = A_s + A_c$ |
| b_e | 钢管截面的有效计算长度 |
| B | 方钢管横截面外边长或矩形钢管横截面短边的外边长 |
| c | 材料的比热容 |
| C | 钢管混凝土构件横截面周长。对于圆钢管混凝土, $C = \pi D$; 对于方钢管混凝土, $C = 4B$; 对于矩形钢管混凝土, $C = 2(D + B)$ |
| COV | 均方差 |
| D | 圆钢管横截面外直径或矩形钢管横截面长边的外边长 |
| D/B | 矩形钢管混凝土横截面的高宽比 |
| e | 轴向荷载偏心距 |
| e_0 | 轴向荷载初始偏心距 |
| e/r | 荷载偏心率。对于圆钢管混凝土, $r = D/2$; 对于方钢管混凝土 $r = B/2$; 对于矩形钢管混凝土, 当构件绕强轴($x-x$)弯曲时, $r = D/2$; 当绕弱轴($y-y$)弯曲时, $r = B/2$ |
| E_c | 混凝土弹性模量 |
| E_s | 钢材弹性模量 |
| E_{sc} | 钢管混凝土轴压弹性模量 |
| E_{sch} | 钢管混凝土轴压强化模量 |
| E_{sct} | 钢管混凝土轴压切线模量 |
| E_{scm} | 钢管混凝土抗弯弹性模量 |
| E_{sctm} | 钢管混凝土抗弯切线模量 |
| E_{scmh} | 钢管混凝土抗弯强化模量 |
| f_{au} | 钢管与混凝土间的平均粘结强度 |
| f_{bu} | 钢管与混凝土间的极限粘结强度 |
| f_c | 混凝土圆柱体抗压强度 |
| f_{ck} | 混凝土抗压强度标准值 |
| f_{cu} | 混凝土立方体抗压强度 |

| | |
|-----------|-----------------------------|
| f_p | 钢材比例极限 |
| f_{scp} | 钢管混凝土轴心受压时的比例极限 |
| f_{scy} | 钢管混凝土轴心受压时的强度指标 |
| f_u | 钢材抗拉强度极限 |
| f_y | 钢材屈服极限 |
| $f_y(T)$ | 高温下钢材的屈服极限 |
| I_c | 核心混凝土截面抗弯惯性矩 |
| I_s | 钢管截面抗弯惯性矩 |
| I_{sc} | 钢管混凝土截面抗弯惯性矩 |
| k | 钢管的屈曲系数或材料导热系数 |
| k_{cr} | 长期荷载作用影响系数 |
| K_{ie} | 钢管混凝土初始阶段的抗弯刚度 |
| k_p | 钢管初应力对钢管混凝土构件的承载力影响系数 |
| k_r | 火灾作用后钢管混凝土构件的承载力系数 |
| K_{se} | 钢管混凝土使用阶段的抗弯刚度 |
| k_r | 火灾作用对钢管混凝土构件承载力的影响系数 |
| K | 钢管混凝土构件的抗弯刚度 |
| L | 钢管混凝土构件在其弯曲平面内的计算长度 |
| M | 弯矩 |
| M_{in} | 内弯矩 |
| M_u | 钢管混凝土抗弯强度 |
| M_{uc} | 钢管混凝土抗弯强度计算值 |
| M_{ue} | 钢管混凝土抗弯强度实验值 |
| $M_{u,x}$ | 矩形钢管混凝土绕强轴($x-x$)弯曲时的抗弯强度 |
| $M_{u,y}$ | 矩形钢管混凝土绕弱轴($y-y$)弯曲时的抗弯强度 |
| M_y | 屈服弯矩 |
| n | 长期荷载比、轴压比或火灾荷载比 |
| N | 轴向压力 |
| N_c | 混凝土承受的荷载 |
| N_F | 火灾情况下作用在钢管混凝土柱上的荷载 |
| N_{in} | 内轴力 |
| N_L | 长期荷载值 |
| N_O | 作用在钢管混凝土柱上的恒定轴心压力 |
| N_p | 作用在钢管上的初始荷载 |
| N_u | 钢管混凝土轴心受压柱的强度承载力 |

| | |
|----------------------|--|
| $N_{u,cr}$ | 钢管混凝土轴心受压柱的稳定承载力 |
| N_{uc} | 钢管混凝土柱极限承载力计算值 |
| N_{ue} | 钢管混凝土柱极限承载力实验值 |
| N_{uL} | 考虑长期荷载作用影响时钢管混凝土柱的极限承载力 |
| N_s | 钢管承受的荷载 |
| P | 水平荷载 |
| P_{uc} | 钢管混凝土压弯构件计算极限水平力 |
| P_{ue} | 钢管混凝土压弯构件实测极限水平力 |
| t | 钢管壁厚度、长期荷载的持荷时间或火灾持续时间 |
| t_R | 耐火极限 |
| T | 温度 |
| T_{cr} | 钢管混凝土构件达到耐火极限时钢管表皮的温度 |
| u_m | 构件中截面挠度 |
| W_{scm} | 构件截面抗弯模量 |
| α | 钢管混凝土构件截面含钢率 $\left(\alpha = \frac{A_s}{A_c}\right)$ |
| α_c | 混凝土的热膨胀系数 |
| α_s | 钢材的热膨胀系数 |
| β | 可靠度指标或钢管初应力系数 $\left(\beta = \frac{\sigma_{so}}{\varphi_s f_y}\right)$ |
| β_m | 等效弯矩系数 |
| δ_d | 考虑混凝土浇筑质量影响时钢管混凝土构件的承载力损失系数 |
| Δ | 钢管混凝土压弯构件水平侧移值 |
| ϵ | 材料应变 |
| ϵ_{cl} | 混凝土的纵向应变 |
| ϵ_{cr} | 徐变应变 |
| $\epsilon_{elastic}$ | 弹性应变 |
| ϵ_i | 材料应变强度 |
| ϵ_{max} | 受弯构件中截面外边缘纤维最大应变 |
| ϵ_O | 受弯构件中截面形心处最大应变或长期荷载下的总纵向应变 |
| ϵ_{scy} | 钢管混凝土轴心受压时的强度指标 f_{scy} 对应的应变 |
| ϵ_{sh} | 收缩应变 |
| ϵ_{sl} | 钢材的纵向应变 |
| ϕ | 曲率 |
| φ | 钢管混凝土轴心受压柱的稳定系数 |

| | |
|----------------------|---|
| $\varphi(t, \tau_0)$ | 徐变系数 |
| φ_s | 空钢管柱的稳定系数 |
| γ_m | 抗弯强度承载力计算系数 $\left(\gamma_m = \frac{M_u}{W_{scm} f_{scy}} \right)$ |
| λ | 钢管混凝土构件长细比, 对于圆钢管混凝土, $\lambda = \frac{4L}{D}$; 对于方钢管混凝土 $\lambda = \frac{2\sqrt{3}L}{B}$; 对于矩形钢管混凝土, 当构件绕强轴($x-x$)弯曲时, $\lambda = \frac{2\sqrt{3}L}{D}$; 当绕弱轴($y-y$)弯曲时, $\lambda = \frac{2\sqrt{3}L}{B}$ |
| μ | 构件位移延性系数或平均值 |
| μ_c | 混凝土弹性阶段泊松比 |
| μ_s | 钢材弹性阶段的泊松比 |
| ρ | 材料容重 |
| θ | 夹角 |
| σ | 材料应力 |
| σ_i | 应力强度 |
| σ_{rc} | 焊接引起的残余压应力 |
| σ_{sc} | 钢管混凝土轴心受压时的名义压应力 $\left(\sigma_{sc} = \frac{N}{A_{sc}} \right)$ |
| σ_{s0} | 钢管初应力 |
| τ_0 | 加载龄期 |
| $\chi(t, \tau_0)$ | 龄期调整系数(或老化系数) |
| ξ | 约束效应系数 $\left(\xi = \frac{A_s f_y}{A_c f_{ck}} \right)$ |

目 录

前言

主要符号

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪言 | 1 |
| 1.1 钢管混凝土的特点 | 1 |
| 1.2 钢管混凝土的发展和研究 | 5 |
| 1.2.1 钢管混凝土构件的静力性能 | 8 |
| 1.2.2 长期荷载作用对钢管混凝土构件力学性能的影响 | 17 |
| 1.2.3 钢管混凝土构件的滞回性能 | 19 |
| 1.2.4 钢管混凝土构件的耐火性能 | 22 |
| 1.3 本书的目的、研究方法和主要内容 | 24 |
| 第 2 章 钢管混凝土工程实践 | 28 |
| 2.1 引言 | 28 |
| 2.2 钢管混凝土的应用实例 | 28 |
| 2.2.1 单层和多层厂房柱 | 28 |
| 2.2.2 设备构架柱、各种支架柱和栈桥柱 | 31 |
| 2.2.3 地铁站台柱 | 32 |
| 2.2.4 送变电杆塔 | 32 |
| 2.2.5 桁架压杆 | 33 |
| 2.2.6 桩 | 33 |
| 2.2.7 空间结构 | 33 |
| 2.2.8 高层和超高层建筑 | 34 |
| 2.2.9 桥梁结构 | 48 |
| 第 3 章 钢管混凝土构件的静力性能 | 64 |
| 3.1 引言 | 64 |
| 3.2 压弯构件荷载-变形关系的理论分析 | 64 |
| 3.2.1 纤维模型法 | 64 |
| 3.2.2 有限元法 | 99 |
| 3.2.3 计算结果比较与讨论 | 116 |
| 3.3 实验研究 | 118 |
| 3.3.1 轴心受压短试件 | 118 |
| 3.3.2 轴心受压长柱 | 130 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 3.3.3 | 纯弯构件 | 134 |
| 3.3.4 | 压弯构件 | 143 |
| 3.4 | 实用计算方法研究 | 152 |
| 3.5 | 钢管混凝土构件设计公式及可靠度分析 | 183 |
| 3.5.1 | 钢管混凝土构件承载力设计方法 | 183 |
| 3.5.2 | 钢管混凝土构件可靠度分析 | 185 |
| 3.6 | 世界规程比较 | 193 |
| 3.7 | 小结 | 219 |
| 第4章 | 长期荷载作用对钢管混凝土构件力学性能的影响 | 221 |
| 4.1 | 引言 | 221 |
| 4.2 | 实验研究 | 221 |
| 4.2.1 | 实验概况 | 221 |
| 4.2.2 | 变形测试 | 223 |
| 4.2.3 | 承载力实验 | 226 |
| 4.3 | 长期荷载作用下变形的计算 | 227 |
| 4.3.1 | 徐变和收缩模型 | 228 |
| 4.3.2 | 计算方法 | 229 |
| 4.3.3 | 参数分析 | 232 |
| 4.4 | 考虑长期荷载作用影响时荷载-变形关系的计算 | 235 |
| 4.4.1 | 混凝土的应力-应变关系模型 | 235 |
| 4.4.2 | 荷载-变形关系和承载力的计算 | 236 |
| 4.4.3 | 影响承载力的因素分析 | 238 |
| 4.5 | 承载力影响系数计算 | 241 |
| 4.6 | 小结 | 242 |
| 第5章 | 钢管混凝土构件的滞回性能 | 244 |
| 5.1 | 引言 | 244 |
| 5.2 | 弯矩-曲率滞回性能 | 244 |
| 5.2.1 | 往复应力下钢材和混凝土的应力-应变关系模型 | 244 |
| 5.2.2 | 弯矩-曲率滞回关系曲线的计算 | 248 |
| 5.2.3 | 弯矩-曲率滞回关系骨架线的特点 | 255 |
| 5.2.4 | 弯矩-曲率滞回模型 | 260 |
| 5.3 | 水平荷载-水平位移滞回性能 | 268 |
| 5.3.1 | 实验研究 | 268 |
| 5.3.2 | $P-\Delta$ 滞回关系曲线计算 | 281 |
| 5.3.3 | $P-\Delta$ 滞回关系骨架线特点 | 292 |
| 5.3.4 | $P-\Delta$ 滞回模型 | 300 |

| | | |
|------------|---------------------------------|------------|
| 5.3.5 | 位移延性系数简化计算 | 305 |
| 5.4 | 小结 | 307 |
| 第6章 | 钢管混凝土柱的耐火性能和抗火设计方法 | 309 |
| 6.1 | 引言 | 309 |
| 6.2 | 钢管混凝土柱耐火极限的实验研究 | 309 |
| 6.2.1 | 实验概况 | 309 |
| 6.2.2 | 实验方法 | 313 |
| 6.2.3 | 实验结果 | 315 |
| 6.2.4 | 实验结果分析 | 322 |
| 6.3 | 钢管混凝土柱截面温度场的计算 | 324 |
| 6.3.1 | 钢材和混凝土的热工性能 | 325 |
| 6.3.2 | 钢管混凝土截面温度场的计算 | 328 |
| 6.3.3 | 实验研究 | 335 |
| 6.4 | 钢管混凝土柱耐火极限的理论计算 | 340 |
| 6.4.1 | 高温下钢材和混凝土的应力-应变关系模型 | 340 |
| 6.4.2 | 耐火极限的计算方法 | 344 |
| 6.5 | 参数分析 | 346 |
| 6.5.1 | “火灾有效荷载”的确定 | 346 |
| 6.5.2 | 耐火极限影响因素分析 | 348 |
| 6.6 | 火灾下构件承载力的计算 | 353 |
| 6.6.1 | 火灾下构件承载力影响系数及参数分析 | 353 |
| 6.6.2 | 承载力影响系数实用计算 | 356 |
| 6.7 | 防火保护层厚度实用计算方法 | 360 |
| 6.7.1 | 火灾有效荷载作用下的防火保护层厚度 | 360 |
| 6.7.2 | 不同火灾荷载比下的防火保护层厚度 | 364 |
| 6.8 | 工程实践 | 368 |
| 6.9 | 小结 | 371 |
| 第7章 | 火灾作用后钢管混凝土构件的力学性能 | 373 |
| 7.1 | 引言 | 373 |
| 7.2 | 恒高温后钢管混凝土的轴压力学性能 | 373 |
| 7.2.1 | 实验研究 | 373 |
| 7.2.2 | 理论分析 | 381 |
| 7.2.3 | 结论 | 386 |
| 7.3 | 标准火灾作用后钢管混凝土构件实验研究 | 386 |
| 7.3.1 | 实验概况 | 387 |
| 7.3.2 | 实验结果与分析 | 390 |

| | | |
|-------------|------------------------------|------------|
| 7.4 | 火灾作用后构件荷载-变形关系的计算 | 395 |
| 7.5 | 火灾后承载力实用计算方法 | 399 |
| 7.5.1 | 参数分析 | 399 |
| 7.5.2 | 承载力简化计算 | 403 |
| 7.5.3 | 结论 | 405 |
| 7.6 | 火灾后钢管混凝土柱的滞回性能 | 407 |
| 7.6.1 | 试件设计与制作 | 407 |
| 7.6.2 | 实验方法 | 408 |
| 7.6.3 | 实验结果 | 409 |
| 7.6.4 | 实验结果分析 | 409 |
| 7.7 | 小结 | 422 |
| 第8章 | 钢管初应力对钢管混凝土柱力学性能的影响 | 423 |
| 8.1 | 引言 | 423 |
| 8.2 | 实验研究 | 424 |
| 8.2.1 | 实验概况 | 424 |
| 8.2.2 | 试件制作 | 425 |
| 8.2.3 | 实验结果 | 426 |
| 8.3 | 考虑钢管初应力影响时压弯构件荷载-变形关系的计算 | 431 |
| 8.4 | 参数分析 | 433 |
| 8.5 | 承载力实用验算方法 | 437 |
| 8.5.1 | 承载力影响系数 | 437 |
| 8.5.2 | 承载力计算方法 | 438 |
| 8.6 | 小结 | 439 |
| 第9章 | 混凝土浇筑质量对钢管混凝土柱力学性能的影响 | 440 |
| 9.1 | 问题的提出 | 440 |
| 9.2 | 钢与混凝土间的粘结问题 | 440 |
| 9.2.1 | 粘结强度 | 440 |
| 9.2.2 | 粘结强度的影响因素 | 441 |
| 9.3 | 混凝土浇筑质量对钢管混凝土力学性能的影响 | 444 |
| 9.3.1 | 圆钢管混凝土构件实验研究 | 445 |
| 9.3.2 | 方、矩形钢管混凝土构件实验研究 | 449 |
| 9.3.3 | 讨论 | 458 |
| 9.4 | 工程常用混凝土浇筑方式及质量检测方法 | 459 |
| 9.4.1 | 常用混凝土浇筑方式 | 459 |
| 9.4.2 | 混凝土质量检测方法 | 461 |
| 9.5 | 小结 | 462 |
| 参考文献 | | 463 |

第 1 章 绪 言

1.1 钢管混凝土的特点

钢管混凝土是指在钢管中填充混凝土而形成的构件,按截面形式不同,可分为圆钢管混凝土,方、矩形钢管混凝土和多边形钢管混凝土等。目前,研究和工程应用最多的几种钢管混凝土构件横截面形式如图 1.1 所示。

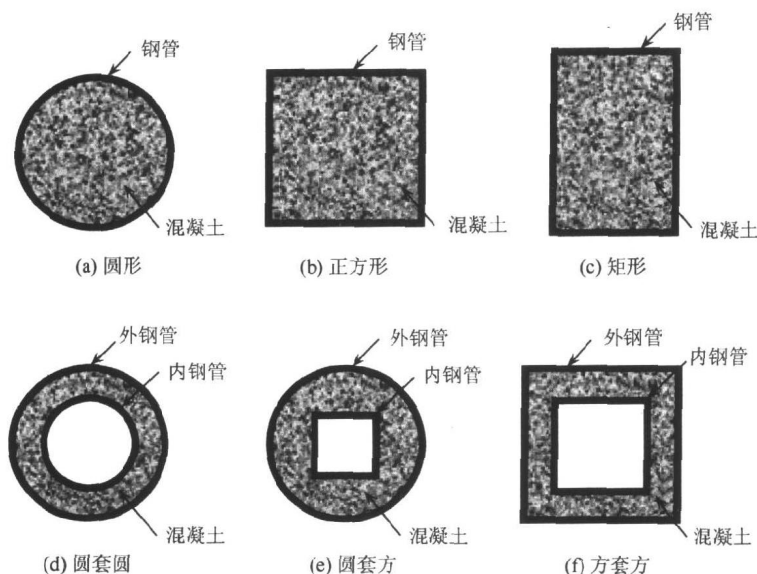


图 1.1 常见的钢管混凝土构件截面形式

实际结构中,根据钢管作用的差异,钢管混凝土构件又可分为两种形式:一是组成钢管混凝土的钢管和混凝土在受荷初期就共同受力,如图 1.2(a) 所示;二是外加荷载仅作用在核心混凝土上,钢管只起对其核心混凝土的约束作用,即所谓的钢管约束混凝土柱,如图 1.2(b) 所示。

本书主要论述实际工程中常用的圆形截面钢管混凝土[如图 1.1(a)所示,以下简称圆钢管混凝土]和方、矩形截面钢管混凝土[图 1.1(b)和图 1.1(c),以下简称方、矩形钢管混凝土]结构,且钢管和混凝土在受荷初期就能共同承受外荷载的情况[图 1.2(a)]。

钢管混凝土利用钢管和混凝土两种材料在受力过程中的相互作用,即钢管对

其核心混凝土的约束作用,使混凝土处于复杂应力状态之下,从而使混凝土的强度得以提高,塑性和韧性性能得到改善。同时,由于混凝土的存在,可以延缓或避免钢管过早地发生局部屈曲,从而可以保证其材料性能的充分发挥。此外,在钢管混凝土的施工过程中,钢管还可以作为浇筑其核心混凝土的模板,与钢筋混凝土相比,可节省模板费用,加快施工速度。总之,通过钢管和混凝土组合而成为钢管混凝土,不仅可以弥补两种材料各自的缺点,而且能够充分发挥二者的优点,这也正是钢管混凝土组合结构的优势所在。

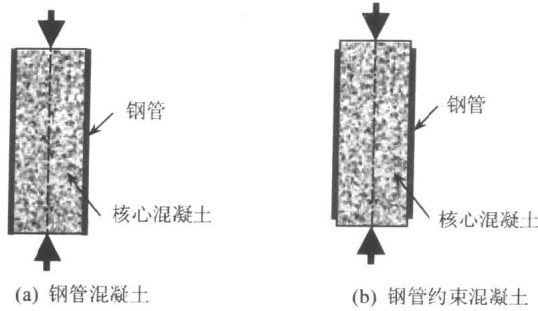


图 1.2 钢管混凝土和钢管约束混凝土

图 1.3 所示为圆钢管混凝土在轴心受压荷载作用下时其钢管和核心混凝土的受力状态示意图。

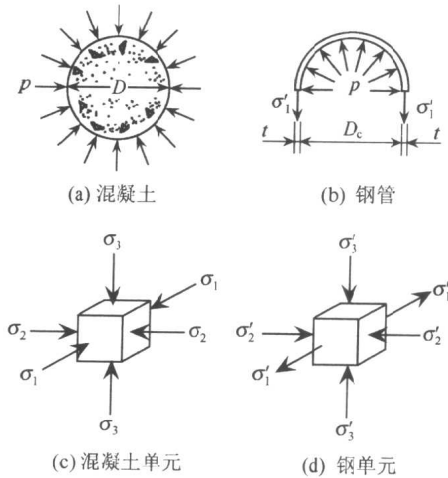


图 1.3 钢管和混凝土的受力状态示意图

钢管混凝土具有如下特点:

1) 承载力高。

对于薄壁钢管来说,其临界承载力很不稳定,因为它对局部缺陷很敏感。实验证明:薄壁钢管的实际承载力往往只有理论计算值的 1/3~1/5,当有焊接残余应

力存在时,影响将可能更大。在钢管中填充混凝土形成钢管混凝土后,钢管约束了混凝土,在轴心受压荷载作用下,混凝土三向受压[图 1.3(c)],可延缓其受压时的纵向开裂。同时混凝土可以延缓或避免薄壁钢管过早地发生局部屈曲。两种材料相互弥补了彼此的弱点,可以充分发挥彼此的长处,从而使钢管混凝土具有较高的承载能力,一般都高于组成钢管混凝土的钢管和核心混凝土单独承载力之和。

哈尔滨锅炉厂的技术人员于 1976 年曾进行过一次轴心受压试件的对比实验(钟善桐,1994),实验的对象分别是:①钢管柱。圆钢管截面直径为 400mm,壁厚为 6mm,长度为 3180mm,采用了 Q235 钢材;②混凝土柱。截面直径为 388mm,长度为 3180mm,C30 混凝土内配置构造钢筋;③钢管混凝土柱。截面外直径为 400mm,钢管壁厚为 6mm,构件长度为 3180mm, Q235 钢材,钢管内填 C30 素混凝土。该次实验获得的承载力结果如下:钢管柱, $N_s = 1392\text{kN}$;混凝土柱, $N_c = 2607\text{kN}$;钢管混凝土柱, $N_{sc} = 6938\text{kN}$ 。承载力结果的比较情况见图 1.4。可见钢管混凝土具有很高的承载力, $N_{sc}/(N_s + N_c) = 1.735$,高于组成钢管混凝土的钢管和核心混凝土单独承载力之和,产生了所谓“1+1>2”的“组合”效果。

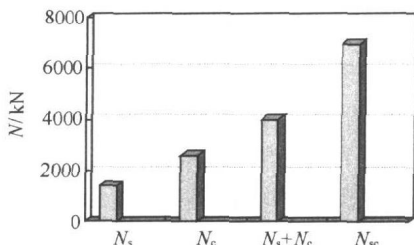


图 1.4 轴心受压短试件承载力比较

方、矩形钢管对其核心混凝土也有较好的约束效果,构件也具有较好的延性。图 1.5 所示为 Nakai 等(1998)报道的一方钢管混凝土轴心受压试件与其钢管和核心混凝土单独受力时荷载-变形关系的对比情况,可见方钢管混凝土组合构件的承载能力和延性都明显高于空钢管和混凝土单独承受外荷载时的情况。

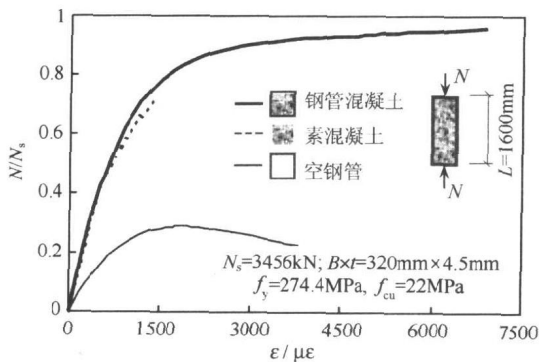


图 1.5 方钢管混凝土 $N/N_s - \epsilon$ 关系

2) 塑性和韧性好。

混凝土脆性较大,对于高强度混凝土(各国对高强混凝土的定义有所不同,在