

土木建筑工程继续教育丛书

钢管混凝土结构的 计算与应用

蔡绍怀 编著

中国建筑工业出版社

φ_e ——考虑偏心率影响的钢管混凝土单肢柱承载力折减系数；

φ^* ——同上，格构柱；

φ_1 ——考虑长细比影响的钢管混凝土单肢柱承载力折减系数；

φ_1^* ——同上，格构柱；

ν ——侧向变形系数。

本书主要介绍钢管混凝土基本构件的工作性能、破坏机理和计算方法,同时也收入了国内外一些新的设计和施工经验及工程实例。

本书可供在职的具有大专文化程度的科技人员使用,亦可作为进修自学教材,或短期培训使用。

土木工程继续教育丛书
钢管混凝土结构的计算与应用
蔡绍怀 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 4½ 字数: 118 千字

1989年8月第一版 1989年8月第一次印刷

印数: 1—7,260 册 定价: 2.75 元

ISBN7—112—00724—0/TU·515

(5828)

出 版 说 明

社会的进步、经济的振兴和科技的发展，都依赖于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。为此，必须努力通过各种途径，加强对劳动者的职业教育和在职继续教育。

为满足土木建筑界科技工作者补充新知识的需要，在中国建筑学会及中国土木工程学会的倡导和参与下，我社拟编辑一套《土木建筑工程继续教育丛书》，由两个学会各专业委员会协助，按专题约请有关专家执笔，陆续出版。

本丛书以在职的具有大专文化程度的中青年科技工作者为主要对象，可作为进修自学材料，也可供短期培训之用。

中国建筑工业出版社

前 言

本书为“土木建筑工程继续教育丛书”——建筑结构与抗震专业中的选题之一。

钢管混凝土结构的应用，虽然已有多年的历史，但直到本世纪六十年代在国外才有较大发展。我国对钢管混凝土结构的研究和应用，在近几年也取得了较大成绩，在节约钢材、水泥、木材，减轻结构自重、缩短施工周期以及改善建筑使用功能等方面，起到了良好的作用。

本书着重通过试验数据，讲述钢管混凝土的基本性能和工作机理，以便读者较全面地认识钢管混凝土力学行为的特点；应用极限平衡理论的基本定理和方法，求解钢管混凝土单肢柱和格构柱在轴压力和端弯矩共同作用下的承载能力问题，为读者提供简明实用的计算公式和设计方法；结合工程实例，讲述钢管混凝土结构的连接构造和合理的应用范围。

本书内容简明扼要，理论联系实际，并重在应用，可供从事土建专业的工程技术人员自学和短期专业培训之用。

本书在编写过程中，曾得到何广乾、陆长庚等同志的热情支持，作者谨向他们表示衷心的感谢。

书中存在的缺点和错误，尚祈读者指正。

作者于中国建筑科学研究院

一九八八年三月

基 本 符 号

- A ——面积, 钢管混凝土柱横截面的自然面积($= A_s + A_c$);
 A_b ——局部承压面积;
 A_c ——核心混凝土横截面面积;
 A_{cor} ——螺旋套箍内的混凝土横截面面积;
 A_s ——钢管横截面面积;
 D ——钢管外径;
 d_c ——核心混凝土直径或钢管内径;
 E ——弹性模量, 钢管混凝土的综合弹性模量;
 E_c ——混凝土的弹模量;
 E_s ——钢材的弹性模量;
 e_o ——柱端荷载作用点的偏心距;
 f_c ——混凝土的抗压设计强度, 结构混凝土的单轴抗压强度
 $f_c = 0.85f'_c = 0.67f_{cu} = 0.7R_{20}$;
 f'_c ——混凝土 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ 圆柱体试块的抗压强度;
 f_c^* ——等侧压下的混凝土(套箍混凝土)抗压强度, 钢管混凝土的名义强度 $f_c^* = N_u/A_c$;
 f_{cu} ——混凝土 15cm 立方体试块的抗压强度;
 f_s ——钢材的抗拉、抗压设计强度, 钢材的屈服极限;
 f_{sp} ——螺旋箍筋的抗拉设计强度;
 H ——钢管混凝土悬臂柱的长度;
 H^* ——同上, 格构柱;
 h ——格构柱柱肢轴线间的距离;
 I ——惯性矩, 钢管混凝土横截面自然面积对其重心轴的惯性矩, 格构柱横截面自然面积对其强度中心轴的惯性矩;

I_c ——核心混凝土横截面面积对其重心轴的惯性矩;
 I_s ——钢管横截面面积对其重心轴的惯性矩;
 K ——侧压系数,安全系数,非标准单元柱的等效长度系数;
 L ——钢管混凝土单肢柱的自然长度;
 L^* ——同上,格构柱;
 L_e ——钢管混凝土单肢柱的等效计算长度;
 L_e^* ——同上,格构柱;
 L_0 ——钢管混凝土单肢柱的计算长度;
 L_0^* ——同上,格构柱;
 M ——弯矩;
 M_1 ——作用于柱端的较小弯矩;
 M_2 ——作用于柱端的较大弯矩;
 M_0 ——钢管混凝土单肢柱纯弯曲下的极限弯矩;
 M_0^* ——同上,格构柱;
 M_u ——极限弯矩;
 N ——纵向荷载;
 N_0 ——钢管混凝土单肢柱轴心受压短柱 ($L/D \leq 4$) 的极限承载能力;
 N_0^* ——同上,格构柱;
 N_0^c ——格构柱受压区各柱肢短柱轴压承载能力总和;
 N_0^t ——同上,拉区或较小受压区;
 N_0^t ——格构柱拉区各柱肢钢管极限抗拉能力之总和;
 N_u ——钢管混凝土单肢柱的极限承载能力;
 N_u^* ——同上,格构柱;
 N_w ——格构柱斜腹杆的内力;
 P ——侧向压力;
 R_{20} ——混凝土20cm立方体试块的抗压强度;
 r ——回转半径;
 r_c ——核心混凝土横截面的半径;
 t ——厚度,钢管壁厚度;

- V ——横剪力;
 V_u ——剪切极限抗力;
 α ——系数;
 β ——柱端弯矩的较小者与较大者之比值, $\beta = M_1/M_2$, 钢管混凝土局压强度提高系数;
 β_{sp} ——螺旋套箍混凝土局压强度提高系数;
 γ ——比值, $\gamma = N_c/N_0^t$;
 δ ——挠度;
 δ_m ——最大荷载下的挠度;
 e_1 ——纵向应变;
 e_c ——核心混凝土的纵向应变;
 e_c^* ——对应于最大荷载下的核心混凝土纵向应变;
 e_s ——钢管的纵向应变;
 e ——格构柱的界限偏心率;
 η ——比值, $\eta = N_0^t/N_s^t$;
 λ ——长细比, 钢管混凝土单肢柱的长细比;
 λ^* ——同上, 格构柱;
 μ ——柱的计算长度系数;
 μ_t ——体积配筋率, 钢管横截面面积与核心混凝土横截面面积之比值;
 μ_{sp} ——螺旋箍筋的体积配筋率;
 σ ——应力;
 σ_1 ——钢管的纵向压应力, 纵向应力;
 σ_2 ——钢管的环向拉应力;
 σ_1^* ——对应于最大荷载下的钢管纵向压应力;
 σ_2^* ——同上, 环向拉应力;
 σ_c ——核心混凝土的纵向压应力;
 Φ ——钢管混凝土的套箍指标, $\Phi = A_s f_s / (A_c f_c)$;
 Φ_{sp} ——螺旋箍筋混凝土的套箍指标, $\Phi_{sp} = \mu_{sp} f_{sp} / f_c$;
 $\bar{\phi}$ ——承载能力总折减系数;

目 录

前言

基本符号

第一章 绪论	1
1.1 钢管混凝土原理	1
1.2 钢管混凝土的特点和技术经济效益	2
1.3 钢管混凝土结构的沿革和前景	4
第二章 钢管混凝土的基本性能	5
2.1 应力路径和加载方式	5
2.2 变形特点	6
2.3 轴压短柱的 $N-e_0$ 曲线和极限承载能力	8
2.4 体积应变	13
2.5 细长柱和偏压柱	13
2.6 局部承压	14
第三章 钢管混凝土的工作机理	16
3.1 三向受压混凝土的破坏机理	16
3.2 三向受压混凝土的强度极限条件	18
3.3 钢管的屈服条件	21
3.4 钢管混凝土的工作机理	22
3.5 钢管混凝土的塑流特点	24
3.6 关于极限承载能力的定义	25
第四章 钢管混凝土柱的极限分析(一)	26
4.1 极限平衡理论	26
4.2 钢管混凝土极限分析的基本假设	29
4.3 公式推导	30
4.4 实验校核	34
第五章 钢管混凝土柱的极限分析(二)	37

5.1	单元柱及其分类	37
5.2	标准单元柱的强度计算	39
5.3	无侧移非标准单元柱的强度计算	48
5.4	悬臂柱的强度计算	51
5.5	有侧移框架柱的强度计算	52
第六章	钢管混凝土单肢柱的强度计算	53
6.1	计算规则	53
6.2	计算流程图	56
6.3	计算示例	56
第七章	钢管混凝土格构柱的强度计算	65
7.1	计算规则	65
7.2	计算示例(格构式站台柱)	72
7.3	公式由来	75
第八章	钢管混凝土结构设计的基本原则	81
8.1	一般要求	81
8.2	承载能力极限状态设计	82
8.3	使用极限状态设计	85
第九章	钢管混凝土结构的连接	86
9.1	连接力的外部传递	86
9.2	连接力的内部传递	88
9.3	加强环	91
9.4	局部承压	91
9.5	局部承压计算示例	94
第十章	钢管混凝土结构应用实例	95
10.1	重载柱	95
10.2	大跨度结构	99
10.3	多层及高层建筑	102
10.4	格构柱	108
附录	柱的计算长度系数	112
	参考文献	125

第一章 绪 论

在工程建设中，最大限度地节约钢、木、水泥，是建筑工作者长期的重要任务。过去我国的建筑结构改革，多着重于：（1）改进结构形式，减轻结构自重；（2）研制新的结构材料，以满足现代建筑对设计与施工所提出的一系列新的要求。今后虽然还可在这方面继续努力，但尚可利用现有的建筑材料，创造出性能更优越、具有更多功能的组合材料和结构构件，以达到进一步减轻结构自重、节约材料和简化施工安装工艺的目的。钢管混凝土就是这样一种由普通混凝土填入薄壁圆形钢管内而形成的组合材料（图1-1）。

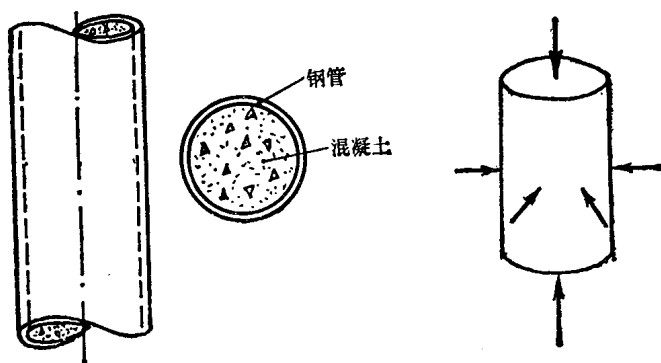


图 1-1 钢管混凝土

1.1 钢管混凝土原理

钢管混凝土的基本原理有二：（1）借助内填混凝土 增强钢管壁的稳定性；（2）借助钢管对核心混凝土的套箍（约束）作用，使

核心混凝土处于三向受压状态，从而使核心混凝土具有更高的抗压强度和变形能力，就象日常生活中将散砂装在铁桶或木箱里面，使散砂具有相当的承载能力一样。钢管混凝土就是由钢管对混凝土实行套箍强化的一种套箍混凝土。其它形式的套箍混凝土如图 1-2 所示。它们是借助密排的螺旋形箍筋、方格钢筋网和复合方形箍筋等来实现混凝土的套箍强化的。(1)(2)

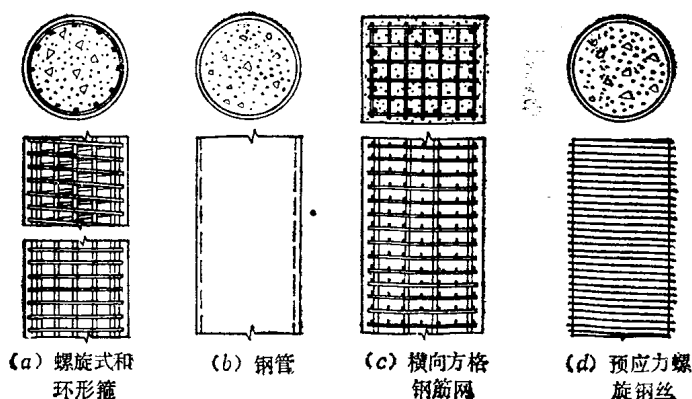


图 1-2 套箍混凝土

1.2 钢管混凝土的特点和技术经济效益

如上所述，钢管混凝土在本质上属于套箍混凝土。它除具有一般套箍混凝土的强度高、重量轻、塑性好、耐疲劳、耐冲击等优点外，还具有以下一些在施工工艺方面的独特优点：

(1) 钢管本身就是耐侧压的模板。因而浇灌混凝土时，可省去支模、拆模的工和料，并可适应先进的泵灌混凝土工艺。

(2) 钢管本身就是钢筋。它兼有纵向钢筋(受拉和受压)和横向箍筋的作用。制作钢管远比制作钢筋骨架省工省料，而且便于浇灌混凝土。

(3) 钢管本身又是劲性承重骨架。在施工阶段可起劲性钢骨架的作用,其焊接工作量远比一般型钢骨架为少,从而可简化施工安装工艺、节省脚手架、缩短工期、减少施工用地。在寒冷地区,可以冬季安装空钢管骨架,开春后再浇灌混凝土,施工不受季节的限制。

在结构的受压杆件中,采用钢管混凝土代替钢筋混凝土和结构钢,可大幅度地节省钢、木、水泥和减轻结构自重,使传统杆系结构的性能大为改善,尤其是在高层、大跨、重载和抗震抗爆的建筑物中,以及在大中城市的施工场地狭窄的建筑工程中,能更好地满足设计和施工的一系列要求。

钢管混凝土还可与预应力技术结合,提高结构的刚度和耐疲劳性能。

理论分析和工程实践都表明,钢管混凝土与钢结构相比,在保持自重相近和承载能力相同的条件下,可节省钢材约百分之五十,焊接工作量可大幅度减少;与普通钢筋混凝土相比,在保持钢材用量相近和承载能力相同的条件下,构件的横截面面积可减小约一半,从而使建筑空间得到加大,混凝土和水泥用量以及构件自重相应减少约百分之五十。

圆形钢管混凝土柱的强度,在任意方向都是相等的。这用于抵抗方向不确定的地震作用,是很有效的。在那些有任意方向交通流的地方,例如公共建筑的大厅、车站、车库等,采用圆形的钢管混凝土柱,是十分合理的。将钢管混凝土用作城市立交桥的支墩,可在任何方向都得到最佳的视野而有助于交通安全。

在露天塔架结构中,圆形杆件的曝露面积最小,阻风面积也最小。

钢管混凝土的耐火性能虽不如钢筋混凝土好,但比钢结构要强。

钢管混凝土耐腐蚀的性能和钢结构相似。

钢管混凝土耐撞击的能力,比钢结构和钢筋混凝土结构都强。

1.3 钢管混凝土结构的沿革和前景

在土木建筑工程中应用 钢管混凝土 结构已有八十多年的历史。它和螺旋箍筋混凝土结构几乎同时出现。早在本世纪初,美国就在一些单层和多层房屋建筑中采用了称为“Lally Column”的圆形钢管混凝土柱^[54]。三十年代末期,在苏联曾用钢管混凝土建造了跨度101m的公路拱桥^[71]和跨度140m的铁路拱桥^{[72][73]}。六十年代前后,钢管混凝土结构的应用,在苏联、西欧、北美和日本等工业发达的国家受到重视,曾在厂房建筑、多层和高层建筑、立交桥以及特种工程结构中加以应用,收到了良好的效果。

我国从1959年开始研究钢管混凝土的基本性能和应用^[29]。1963年成功地将钢管混凝土柱用于北京地铁车站工程。七十年代又相继在冶金、造船、电力等部门的单层厂房和重型构架中得到成功的应用。八十年代进一步在多层建筑的框架结构中采用钢管混凝土柱。目前正致力于探索在高层建筑中加以应用。钢管混凝土在未来土建工程中的作用已愈益受到工程界的重视^[17],有着广阔的应用前景。

第二章 钢管混凝土的基本性能

前面一章已经提到, 钢管混凝土的基本特征是它的核心混凝土受到钢管的约束, 因而具有比普通钢筋混凝土大得多的承载能力和变形能力。本章将根据试验观察对钢管混凝土在荷载作用下的基本力学行为作重点介绍, 为以后的极限分析提供物理依据。

2.1 应力路径和加载方式

钢管混凝土柱在荷载作用下的应力状态和应力路径十分复杂。最简单的情况是荷载仅仅施加于核心混凝土上, 钢管不直接承担纵向压力, 尤如螺旋箍筋一样。一般情况下是钢管与核心混凝土同时共同承担荷载。更多的情况则是钢管先于核心混凝土承受预压应力。例如, 空钢管骨架在浇灌混凝土以前即受到施工安装荷载所引起的预压应力; 混凝土干缩会使钢管端头高出混凝土端面; 在荷载长期作用下, 因混凝土徐变而在钢管和核心混凝土之间产生内力重分布, 使钢管的纵向压力增大。

上述复杂多变的应力路径, 可分解模拟为图 2-1 所示的三种加载方式:

(1) A 式加载: 荷载直接施加于核心混凝土上, 钢管不直接承受纵向荷载。

(2) B 式加载: 试件端面齐平, 荷载同时施加于钢管和核心混凝土上。

(3) C 式加载: 试件的钢管预先单独承受荷载, 直至钢管被压缩 (应变限制在弹性范围内) 到与核心混凝土齐平后, 方与核心混凝土共同承受荷载。

Липатов^[69]、Маренин^[70]、Gardner^[49]、陈肇元^[15]和本书作者^[11]的试验结果都表明，上述不同加载方式对钢管混凝土的极限承载能力没有影响或者影响不甚明显。^①

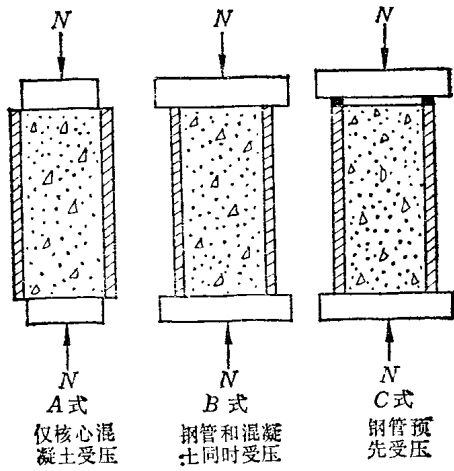


图 2-1 钢管混凝土柱的加载方式

2.2 变形特点

钢管混凝土在荷载作用下变形的一个特点是钢管的纵向应变与核心混凝土的纵向应变并不协调一致。如图 2-2 所示^[41]，用电阻应变片测得的钢管表面的 $N-\epsilon_s$ 曲线与用千分表量测的核心混凝土的 $N-\epsilon_c$ 曲线有明显的差异。钢管的纵向应变值 ϵ_s 明显小于核心混凝土的纵向应变值 ϵ_c 。产生这一现象的原因：对于 A 式加载，主要是钢管和核心混凝土之间发生错位；对于 B 式加载，则主要是“弓弦效应”。所谓弓弦效应，就是一薄片形的直杆经压弯后，沿其弓弧的应变总是小于沿弦长方向的应变（图 2-3）。钢

① Стороженко^[74]报导 C 式加载会降低极限承载能力约 36%。由于试件构造和加载细节不详，例如钢管的预压应力是否超过屈服极限等，故对此存疑。