

# 钢骨—钢管 混凝土结构技术

徐亚丰 贾连光 著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 钢骨-钢管混凝土结构技术

徐亚丰 贾连光 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书较系统地介绍了钢筋-钢管混凝土柱的提出缘由及其设计思想、理论和方法,建立了钢筋-钢管混凝土承载力的计算框架。本书着重介绍了作者多年来的相关研究成果,主要包括钢筋-钢管混凝土柱的轴压、偏压试验研究及其抗震性能试验研究,分别基于钢筋混凝土构件计算方法和钢筋混凝土构件叠加法两种思路讨论了钢筋-钢管混凝土柱的正截面强度计算方法,提出了供设计用的轴压比限值的简化计算公式,分析了钢筋-钢管混凝土的抗震性能,并分析了影响延性的主要因素。

本书可供土木工程等专业的科学研究人员、工程技术人员、研究生以及高等学校的教师和本科生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢筋-钢管混凝土结构技术/徐亚丰,贾连光著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025688-1

I. 钢… II. ①徐…②贾… III. 钢筋混凝土结构;柱(结构)  
IV. TU375.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 174565 号

责任编辑:沈 建 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

信浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年9月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:1—2 500 字数:218 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

# 前 言

组合结构,一般而言包括钢骨混凝土和钢管混凝土,自从其诞生之日起,即显示了突出的优点而被广泛应用。我国组合结构的研究和应用主要始于20世纪80年代,随着大型复杂结构的出现,高层、超高层的越来越多,人们利用“组合”的概念,不断研究出新的结构形式。

本书的研究主要启发于钢管混凝土组合柱结构的出现,在研究中发现,目前应用的组合柱结构存在着钢管内外混凝土破坏不同步的可能,即外侧混凝土先于内侧混凝土而破坏。我国地处世界上的两个地震带之间,地震频繁,更重要的是近来地震活动加剧,由于钢管混凝土组合柱结构的先天不足,震后极易受到损坏。

本书针对这一问题,结合钢筋混凝土柱加固的方法,以及外包钢柱的研究成果,提出了“钢骨-钢管混凝土柱”的概念,并获得专利。研究成果能够对受损后的钢管混凝土组合柱结构的加固理论和方法提供极大的帮助,并延长受损后的工程使用寿命。本书是我们多年的研究成果。全书共分为10章,主要内容安排如下:

第1章,回顾了钢管混凝土柱、钢管混凝土组合柱的发展概况,并指出了钢管混凝土组合柱的不足。

第2章,介绍了钢骨-钢管混凝土柱的工作机理。

第3章,进行了钢骨-钢管混凝土短柱的偏心受压试验,并对其受力过程进行了分析,讨论了各种因素对其受力性能的影响。

第4章,进行了钢骨-钢管混凝土柱的轴心受压试验,并对其受力过程进行了分析,讨论了各种因素对其受力性能的影响。

第5章,进行了钢骨-钢管混凝土柱的抗震性能试验,并结合试验结果分析了其抗震性能及其影响因素。

第6章,介绍了钢骨-钢管混凝土柱承载力的计算方法。

第7章,结合试验现象和过程,分析了钢骨-钢管混凝土柱的组合刚度的计算方法,并与试验值进行了比较。

第8章,分析了钢骨-钢管混凝土柱的轴压比限值的概念和计算方法。

第9章,应用有限元软件模拟了钢骨-钢管混凝土轴压短柱,并与试验结果进行了比较。

第10章,结合试验结果分析了钢骨-钢管混凝土柱的抗震性能。

在本书的撰写过程中,作者的研究生贺芳、向常艳、赵敬义付出了很多辛苦,在此深表感谢!

感谢辽宁省教育厅科学技术研究项目的资助!

感谢我的老师、同事、朋友、家人,没有他们的鼓励和帮助,我很难坚持到今天,也走不上科学研究的道路。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 技术背景 .....	1
1.2 钢管混凝土结构 .....	1
1.2.1 钢管混凝土结构特点 .....	2
1.2.2 钢管混凝土结构的工程应用 .....	3
1.2.3 钢管混凝土的理论发展 .....	3
1.3 钢管混凝土结构 .....	5
1.3.1 钢管混凝土的特点 .....	5
1.3.2 钢管混凝土发展和研究 .....	5
1.4 钢管混凝土组合柱 .....	7
1.4.1 钢管混凝土组合柱的研究现状 .....	8
1.4.2 钢管混凝土组合柱的不足 .....	8
1.4.3 钢管-钢管混凝土柱的提出 .....	10
1.5 本书组成结构.....	11
<b>第 2 章 钢管-钢管混凝土柱的工作机理</b> .....	12
2.1 混凝土的套箍强化.....	12
2.2 三向受压混凝土的破坏机理.....	12
2.3 三向受压混凝土的强度极限条件.....	14
2.4 钢材的应力-应变关系模型 .....	15
2.5 钢管-钢管混凝土柱的工作机理浅析 .....	15
<b>第 3 章 钢管-钢管混凝土短柱的偏压试验研究</b> .....	19
3.1 试件概况.....	19
3.1.1 试件设计.....	19
3.1.2 试件制作.....	20
3.2 试验材料.....	21
3.2.1 钢材试验取样位置 .....	21
3.2.2 试样形状及尺寸 .....	22
3.2.3 材料力学性能指标 .....	23

3.2.4	材料弹性模量的测定 .....	23
3.3	试验设备与加载制度 .....	23
3.3.1	试验加载装置和量测方法 .....	23
3.3.2	加载方式和加载制度 .....	25
3.4	试验全过程分析 .....	25
3.4.1	试验现象简述及分析 .....	26
3.4.2	主要测试内容 .....	27
3.4.3	小偏心验证 .....	28
3.4.4	荷载与位移关系分析 .....	28
3.4.5	纵向应变分析 .....	29
3.4.6	环向应变分析 .....	30
3.5	各种因素对钢骨-钢管混凝土短柱偏压性能的影响 .....	31
3.5.1	纵向钢筋配筋率 .....	31
3.5.2	体积配箍率 .....	32
<b>第4章</b>	<b>钢骨-钢管混凝土柱轴压试验研究 .....</b>	<b>33</b>
4.1	概述 .....	33
4.2	试件概况 .....	33
4.2.1	试件设计 .....	33
4.2.2	试件制作 .....	34
4.2.3	测试系统及数据采集系统和加载方法 .....	36
4.3	材料性能试验 .....	37
4.4	试验现象及分析 .....	38
4.4.1	试验现象描述 .....	38
4.4.2	荷载与纵向位移关系 .....	40
4.4.3	纵向应变比较 .....	41
4.4.4	横向应变比较 .....	41
<b>第5章</b>	<b>钢骨-钢管混凝土柱抗震性能试验研究 .....</b>	<b>44</b>
5.1	概述 .....	44
5.2	试验设计及试件制作 .....	46
5.2.1	试验设计原理 .....	46
5.2.2	正交试验设计 .....	46
5.2.3	试件制作 .....	47
5.2.4	材性指标 .....	48
5.2.5	试件的设计参数 .....	50
5.3	试验装置及试验方法 .....	50
5.3.1	试验材料 .....	50

5.3.2	试验装置	50
5.3.3	试验加载	51
5.4	试验量测及仪器布置	52
5.5	试验结果分析	54
5.5.1	R3-0.6	54
5.5.2	R4-0.6	55
5.5.3	R5-0.6	55
5.5.4	R5-0.4	56
5.5.5	R5-0.8	57
5.5.6	试验结果分析	58
5.6	应变分析	59
<b>第6章</b>	<b>钢管-钢管混凝土柱的正截面承载力计算</b>	<b>70</b>
6.1	正截面受弯承载力计算方法	70
6.1.1	理论计算方法	70
6.1.2	规范计算方法	70
6.2	钢管-钢管混凝土柱正截面承载力的计算	75
6.2.1	钢筋混凝土柱的计算方法	75
6.2.2	钢管混凝土构件叠加的计算方法	82
6.3	基于叠加计算方法的设计算例	89
<b>第7章</b>	<b>钢管-钢管混凝土柱轴压组合刚度分析</b>	<b>92</b>
7.1	概述	92
7.2	轴压刚度的计算理论	92
7.2.1	钢管混凝土相关方法	92
7.2.2	钢管混凝土相关方法	92
7.2.3	钢管混凝土核心柱相关方法	94
7.2.4	钢管-钢管混凝土柱轴压组合刚度的提出	94
7.2.5	钢管-钢管混凝土柱轴压组合刚度的计算方法	95
7.3	试验过程及结果分析	96
7.4	轴压组合刚度的计算	98
7.4.1	轴压组合刚度试验值	98
7.4.2	轴压组合刚度理论值与试验值比较	98
<b>第8章</b>	<b>钢管-钢管混凝土柱轴压比限值研究</b>	<b>100</b>
8.1	轴压比限值的含义	100
8.1.1	基本概念	100
8.1.2	框架柱轴压比限值标准值	100



8.1.3	框架柱轴压比限值设计值 .....	101
8.2	钢筋混凝土柱轴压比限值 .....	102
8.2.1	与钢筋混凝土柱的轴压比表达式相同 .....	102
8.2.2	与钢筋含量相联系的轴压比计算式 .....	103
8.2.3	采用控制轴压力限值的方法 .....	103
8.2.4	采用轴压比和轴力比限值双控原则进行分析 .....	105
8.3	钢筋-钢管混凝土柱轴压比限值的确定 .....	105
8.3.1	基本假设 .....	106
8.3.2	按钢筋混凝土柱轴压比限值的概念进行分析 .....	106
8.3.3	与钢筋含量相联系的轴压比计算方法 .....	114
8.3.4	采用控制轴压力限值的方法 .....	115
8.3.5	采用轴压比限值和轴力比限值双控原则进行分析 .....	120
<b>第9章</b>	<b>钢筋-钢管混凝土短柱轴压数值模拟分析 .....</b>	<b>128</b>
9.1	概述 .....	128
9.2	混凝土材料模拟 .....	128
9.2.1	混凝土的本构关系 .....	128
9.2.2	混凝土材料的有限元模拟 .....	131
9.3	钢管和钢骨的模拟 .....	132
9.4	钢筋的模拟 .....	133
9.5	钢管、钢筋、混凝土之间的粘结 .....	134
9.6	有限元模型的建立与求解 .....	134
9.6.1	模型的建立 .....	134
9.6.2	模型的求解 .....	135
9.7	有限元模型模拟结果分析 .....	135
9.7.1	柱混凝土的开裂模拟 .....	135
9.7.2	有限元模型破坏形态分析 .....	136
9.7.3	钢筋-钢管混凝土柱与素混凝土柱的模拟比较 .....	138
9.7.4	荷载-位移曲线比较 .....	139
9.7.5	正截面承载力结果与数值计算结果比较 .....	140
<b>第10章</b>	<b>钢筋-钢管混凝土柱抗震性能分析 .....</b>	<b>143</b>
10.1	滞回曲线及骨架曲线 .....	143
10.1.1	试验的滞回曲线 .....	144
10.1.2	本试验的骨架曲线 .....	145
10.2	耗能能力 .....	149
10.3	强度退化 .....	154

---

10.4	刚度退化	157
10.5	延性分析	161
10.5.1	延性系数	161
10.5.2	屈服位移 $\Delta_y$	161
10.5.3	极限位移 $\Delta_u$	162
10.5.4	试验结果	163
10.5.5	延性的主要影响因素	163
10.5.6	钢管-钢管混凝土柱的极限位移角	165
10.6	轴压比对组合柱力学性能影响的原因	166
10.7	轴压比限值的讨论	168
	参考文献	170

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 技术背景

混凝土和钢是构成现代建筑结构的两种最重要的建筑材料,这两种材料本身性能的不断改善以及两者之间相互组合方式的研究提高,促进了建筑结构从构件到体系的不断创新。高强混凝土(high strength concrete, HSC)作为混凝土材料的重要发展方向,以其耐久性好、强度高、变形小等特点,已被广泛应用于高层建筑、桥梁、地下工程等土木工程领域<sup>[1]</sup>。但是高强混凝土在实际应用中尚有许多亟待解决的问题,其中最大的缺陷就是高强混凝土属脆性材料<sup>[2]</sup>,严重影响了高强混凝土结构的延性。在地震作用下,柱外围混凝土会突然崩落而造成破坏。目前国内外研究成果及应用经验表明,采用钢骨混凝土(steel reinforced HSC)和钢管混凝土(steel tube filled with HSC)等组合结构是解决高强混凝土在结构中推广应用的有效途径。

## 1.2 钢骨混凝土结构

钢骨混凝土结构(steel reinforced concrete, SRC)是指在钢筋混凝土内部配置钢骨的结构。这种结构在各国有不同的名称,在英国、美国等西方国家将这种结构叫做混凝土包钢结构(steel encased concrete)<sup>[3~10]</sup>;在日本则称为钢骨混凝土<sup>[11~16]</sup>;在前苏联则被称作劲性钢筋混凝土<sup>[17]</sup>。后两个名称我国也沿用过<sup>[18]</sup>。建设部 2001 年 10 月 23 日发布的《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ138—2001)则将该种结构称作型钢混凝土组合结构<sup>[19]</sup>。

所配置钢骨的形式有多种,主要有格构式钢骨、H 形钢骨、十字形钢骨、圆钢管等。

钢骨混凝土柱可分为实腹式[图 1.1(a)]和空腹式[图 1.1(b)]两大类:实腹式钢骨混凝土柱比较普遍的是在柱中设置十字形钢的方式,这种结构形式虽然能提高结构的延性和承载力,但是由于钢骨混凝土柱大多处于偏心受压状态,因此在实腹式的钢骨混凝土中有一部分钢骨未能屈服,材料强度得不到充分发挥;空腹式钢骨混凝土柱的钢骨一般由大角钢(可以焊接而成)经过水平和斜向缀板焊接而成整体,当钢骨设置于混凝土外边缘或靠近外边缘时,即成为外包钢骨混凝土柱,此时

柱中也可以不设置钢筋。空腹式钢骨比较节约钢材,但制作费用较高,抗震性能相对于实腹式钢骨较差。

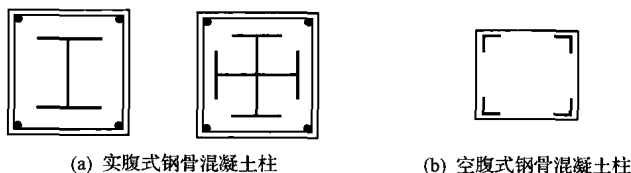


图 1.1 钢筋混凝土柱

### 1.2.1 钢筋混凝土结构特点

钢筋混凝土结构中,钢筋与混凝土共同作用,可以充分发挥两种材料的优点。与钢结构相比,钢筋混凝土具有如下优点:

(1) 良好的耐久性和耐火性:钢筋外包裹的混凝土具有抵抗有害介质侵蚀、防止钢材锈蚀等作用;同时,钢筋外混凝土的保护层厚度,也决定结构构件的耐火性能比钢结构要好。

(2) 节约钢材:由于以混凝土和钢筋共同承担荷载,使钢筋混凝土成为节约钢材的一个重要手段。

(3) 受力性能好:普通的钢结构构件常具有受压失稳的弱点,而钢筋混凝土结构构件内的钢筋因周围混凝土的约束,钢筋受压失稳的弱点得到了克服。

与钢筋混凝土结构相比,钢筋混凝土结构优越性体现在以下几方面:

(1) 截面小,承载力高:随着建筑物高度和跨度的增加,柱的轴向压力设计值越来越大,为了满足轴压比限值的要求,钢筋混凝土柱的截面尺寸必然很大,形成“胖柱”,采用钢筋混凝土柱后,由于钢筋的配置,可以提高柱的承载力,进而减小柱截面大小。

(2) 抗震性能好:钢筋混凝土柱的延性明显比钢筋混凝土柱的好。由于钢筋混凝土柱在达到最大承载力后,钢筋的强化使得承载力下降平缓,从而提高混凝土的变形能力。

(3) 改善混凝土性能:在大跨、高耸、重载结构中,高强混凝土由于耐久性好、强度高、变形小而广泛采用。采用钢筋混凝土柱,特别是圆钢管作为钢筋的混凝土柱,由于钢管对于内芯混凝土的约束作用,可以显著提高混凝土延性和承载力,使得高强混凝土的优点能充分发挥。

(4) 施工方便:钢筋混凝土柱中的钢筋能够承担一部分的施工荷载,可作为施工时的支架结构,加快施工进度。

### 1.2.2 钢筋混凝土结构的工程应用<sup>[20]</sup>

钢筋混凝土结构具有良好的力学性能,其工程应用早就得到了广大结构工程师的重视,特别是在一些多震的发达国家和地区。

日本在经历关东地震、十胜冲大地震和宫城县冲大地震后,诸多的钢筋混凝土结构经受了地震的考验,更加促进了钢筋混凝土结构在日本的研究和发展。据统计,1981~1985年之间日本所建造的6层以上的建筑,采用钢筋混凝土结构的占45.2%,建筑面积占总面积的62.8%,其中10~15层的高层建筑中,钢筋混凝土结构占90%。在美国,钢筋混凝土结构应用的代表性工程有:达拉斯第一国际大厦,72层高,钢筋混凝土框架结构;休斯敦第一城市大楼,49层,207m高;休斯敦得克斯商业中心大厦,79层,305m高,均采用钢筋混凝土外框架-钢筋混凝土内筒结构;休斯敦海湾大楼,52层,221m高,采用钢筋混凝土柱-钢梁框架结构。在其他地区的代表性工程有:香港中银大厦,72层,363m高,下部为钢筋混凝土结构,上部为钢结构;悉尼恺特斯中心,198m高,采用钢筋混凝土内筒,型钢混凝土刚性悬挂内部楼层,型钢混凝土外柱结构;新加坡财政部大楼,55层,242m高,型钢混凝土核心筒结构。苏联在二战后的恢复建设时期大量地在工业厂房及桥梁设计中采用钢筋混凝土结构,并相应出版了“设计指南”。

我国从20世纪50年代开始应用钢筋混凝土结构,主要在工业厂房方面。80年代后较多地利用在高层和超高层建筑中,北京的国际贸易中心大厦、上海的金茂大厦、深圳的鸿昌大厦等都部分或者全部采用了钢筋混凝土结构。随着我国社会与经济的发展,钢筋混凝土在我国的应用将越来越广泛。

### 1.2.3 钢筋混凝土的理论发展

钢筋混凝土的研究始于20世纪初的欧美,至今已有近100年的历史。1904年在英国,设计人员为了满足钢结构的防火要求,在钢柱表面包裹一层混凝土,形成包钢结构(steel encased concrete),是SRC柱的雏形<sup>[3]</sup>,包钢结构的计算参照钢结构设计。1908年Burr完成了空腹式钢筋混凝土柱的试验,发现型钢在外包了混凝土后强度和刚度大大提高,取得了许多成果<sup>[4~7]</sup>。

Burr后的30多年中,欧美学者的研究工作形成了早期的钢筋混凝土柱设计方法,称为Case-Strut法,但这种设计方法较为保守。从1960年起,英国开始改进组合柱设计方法的研究,做了一系列试验,并以此为基础形成了英国规范B55400: part5(1979)<sup>[8,9]</sup>。1981年德国制定了DIN 18806的第一部分,形成了SRC柱设计草案,1984年形成正式版本。1985年英、德、法、荷兰四国共同制定了欧洲组合结构设计规范,该规范假定型钢与混凝土完全交互作用,构成的截面仅有一个对称轴,将型钢和混凝土均按照矩形应力块理论考虑,采用极限强度设计方法进行

设计。

1989年的美国混凝土规范 ACI-318 中将型钢视为等值的钢筋,然后再以钢筋混凝土结构的设计方法进行 SRC 构件的设计;1993年,钢结构设计规范 AISC-LRFD 则采用了极限强度的设计方法来设计 SRC 结构,将钢筋混凝土部分转换成等值型钢,按照钢结构的设计方法进行设计;1994年 NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) 建筑业抗震设计规则的建议草案中设置了专章讨论组合结构的设计,综合了 ACI 与 AISC-LRFD 设计方法,并增加了组合结构的设计内容<sup>[10]</sup>。

日本是一个多震的国家,客观条件促使其在建筑中采用抗震性能较好的钢管混凝土结构形式,对于钢管混凝土结构的应用与研究也最多<sup>[11~16]</sup>。早在 1905 年,白石直野设计的和田东京仓库的柱就采用了钢管混凝土柱。1921 年东京建成的高 30m 的日本兴业银行,就是日本典型的全钢管混凝土结构,在 1923 年的东京大地震中表现出良好的抗震性能。从此钢管混凝土结构被大量采用,1951 年开始对 SRC 结构进行系统研究,1958 年制定了《钢管混凝土结构设计标准》,经过 1963 年、1975 年和 1981 年的三次修订,1987 年日本建筑学会出版了 SRC 结构设计规范第三版,形成了较为完整的设计理论和方法。日本标准以“强度叠加法”作为理论基础,没有考虑钢管与混凝土之间的相互作用,设计偏于保守。

苏联由于高层建筑的发展,也对钢管混凝土结构进行了较为广泛的研究。1949 年建筑科学技术研究所编制了《多层房屋劲性钢筋混凝土暂行设计技术条件》(BTY-03-49),1951 年苏联电力工业部出版了《劲性钢筋混凝土设计规范》,1978 年制定并颁布了《劲性钢筋混凝土结构设计指南》<sup>[17]</sup>。

我国对于钢管混凝土结构的应用开始于 20 世纪 50 年代初期<sup>[14,15,21]</sup>,刚开始是由前苏联设计、我国施工,后来陆续出现我国设计人员按照苏联规范自行设计的钢管混凝土结构。六七十年代钢管混凝土结构在我国应用较少。80 年代以后,随着我国高层建筑的发展,钢管混凝土结构越来越受到工程界人士的重视。冶金部建筑研究总院率先进行了钢管混凝土轴压短柱、偏压短柱、偏压长柱和钢管混凝土梁的试验研究。随后,西南交通大学进行了钢管混凝土柱与基础锚固试验和钢管混凝土框架的拟动力试验,西安建筑科技大学进行了钢管混凝土梁的振动台试验和梁柱节点的试验研究。除此之外,中国建筑科学研究院、清华大学、同济大学、东南大学、沈阳建筑大学等单位先后对各种形式的钢管混凝土构件进行了试验研究。在这些研究成果的基础上,1998 年冶金部建筑设计研究院主编并颁发了行业标准《钢管混凝土设计规程》(YB9082—97)<sup>[18]</sup>。2001 年,建设部又颁布了行业标准《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ138—2001),并于 2002 年 1 月 1 日实施<sup>[19]</sup>。

## 1.3 钢管混凝土结构

钢管混凝土的结构形式虽然已沿用了百年,但在近年的突起则与现代混凝土技术有关。高强、高流态、可以免除振捣的现代混凝土解决了填入钢管中的困难,而从力学性能上看,高强混凝土与钢管一起承压可以说是完美的结合。它利用钢管和混凝土两种材料在受力过程中的相互作用,即钢管对混凝土的约束作用,使混凝土处于复杂受力状态,同时,由于混凝土的变形,使钢管也处于复杂应力状态,通过两者的组合,充分发挥两种材料的优点,使承载力得以提高,延性得到改善。

### 1.3.1 钢管混凝土的特点

钢管混凝土除了具有一般套箍混凝土的强度高、质量轻、塑性好、耐疲劳、耐冲击等优越的力学性能外,还具有以下一些在施工工艺方面的独特优点:

- (1) 钢管本身就是侧压模板,因而浇混凝土时,可省去支模板。
- (2) 钢管本身就是钢筋,它兼有纵向钢筋和横向钢筋的功能。
- (3) 钢管本身又是劲性承重骨架,在施工阶段它可起劲性钢骨架的作用。

钢管混凝土也是在高层建筑和大跨度桥梁中应用高强混凝土的一种最有效和最经济的结构形式。其原因有以下几个方面:

- (1) 钢管对核心混凝土的套箍作用,能有效地克服高强混凝土的脆性。
- (2) 钢管内无钢筋骨架,便于浇灌高强混凝土,而且因有钢管分隔,与管外楼盖梁板结构的普通混凝土互不干扰,无交错浇灌的麻烦。
- (3) 钢管外面无混凝土保护层,能充分发挥高强混凝土的承载能力。

理论分析和工程实践都表明,钢管混凝土与结构钢相比,在保持自重相近和承载能力相同的条件下,可节省钢材约50%,焊接工作量可大幅度减少;与钢骨混凝土柱相比,在保持构件横截面积相近和承载能力相同的条件下,可节省钢材约50%,施工更为简便;与普通钢筋混凝土柱相比,在保持钢材用量相近和承载能力相同的条件下,构件截面面积可减小约一半,从而使建筑的有效面积得以加大,混凝土和水泥用量以及构件自重相应减小约50%。

### 1.3.2 钢管混凝土发展和研究

从1897年美国John Lally发明在圆钢管中填充混凝土作为房屋建筑的承重柱(称为Lally柱)算起,钢管混凝土结构在土木工程中的应用已有百年历史。钢管混凝土优越的力学性能,一开始就受到欧美各国土木工程界的重视,竞相开发利用。20世纪20年代前后,在美国的波士顿、纽约和芝加哥等地,曾将其用于单层和多层建筑(最高到6层)的承重柱<sup>[22]</sup>。1930年在法国巴黎郊区的Ibis用以建造一座9m跨度的上承式拱桥。1937年在苏联列宁格勒用集束的小直径钢管混

凝土作为拱柱,建造了横跨涅瓦河的 101m 跨度的下承式拱桥。1939 年又在西伯利亚谢季河建成了 140m 跨度的上承式钢管混凝土铁路拱桥,与钢拱桥相比,节约钢材 53%,降低造价 20%。但其施工方法是在现场将钢管拱架分段预制并浇灌混凝土以后,在“满堂红”的支架上拼装成桥,因而钢管混凝土在施工安装方面的优越性能未得到发挥。值得注意的是,在这期间,苏联展开了钢管混凝土基本力学性能的试验研究,Gvozdev 阐明了钢管套箍混凝土的工作机理,并成功地用极限平衡法推导出钢管混凝土轴压短柱极限承载能力的理论计算公式,为现代钢管混凝土结构的设计计算理论奠定了坚实的基础。

20 世纪 60 年代前后,钢管混凝土结构技术在苏联、西欧、北美和日本等工业发达国家受到重视,开展了大量的试验研究工作,曾在一些厂房建筑、个别的多层建筑和立交桥以及特种结构工程中加以应用。但因管内混凝土的现场浇灌工艺显得繁琐的问题未得到很好的解决,而使钢管混凝土在施工性能方面的潜在优势未能得到应有的发挥。相比之下,人们仍愿采用操作简单、质检直观的普通钢筋混凝土结构或工厂化程度高、现场劳动量少、吊装轻便、施工快速的钢结构。

20 世纪 80 年代后期,由于先进的泵灌混凝土工艺的发展,解决了现场管内混凝土浇灌工艺问题,加之现代高强混凝土的迅速发展,需要用钢管套箍克服其脆性,因此在美国、日本和澳大利亚等国的若干高层建筑工程中,钢管混凝土结构技术又悄然兴起,传统的钢柱被钢管高强混凝土柱所取代,并被认为是高层建筑营造技术的一次重大突破。

钢管混凝土结构技术在我国开发利用已有 40 多年的历史<sup>[23,24]</sup>。1959 年中国科学院土木建筑研究所最先开展了钢管混凝土基本性能的试验研究。1966 年成功地将钢管混凝土柱用于北京地铁中的“北京站”和“前门站”站台柱。20 世纪 70 年代,钢管混凝土结构技术又在冶金、造船、电力等行业的单层厂房和重型构架中得到成功的应用。为适应北京地铁建设的需要,1963 年建筑材料工业部建筑材料科学研究院水泥制品研究室(现建材局苏州混凝土水泥制品研究院)与北京地下铁道工程局(现北京市城建设计研究院)合作,对钢管混凝土短柱的基本静力性能进行了试验研究。1970 年清华大学抗震抗暴工程研究室与北京地下铁道工程局合作,对钢管混凝土短柱的抗暴性能进行了试验研究。1980 年,根据建设部科技发展计划,中国建筑科学研究院结构所、哈尔滨建筑工程学院等单位为建立一套能满足设计需要的钢管混凝土结构计算理论和设计方法,开展了较系统的试验研究。我国对现代钢管高强混凝土技术的研究开发给予了高度重视。1984 年中国建筑科学研究院结构所与海军工程设计研究局协作,开始了 C75~C85 级钢管高强混凝土基本性能的试验研究。最近 10 年,在国家自然科学基金委员会和建设部、铁道部、国家建材局等联合资助的“七五”重点科技项目“高强混凝土结构性能、设计方法及施工工艺的研究”中和“八五”重点科技项目“高强高性能混凝土材料的结构与力学性能研究”中,都有关于钢管高强混凝土的研究子项,先后由中国建筑科学



研究院、清华大学和重庆建筑大学承担,混凝土强度等级已达到了 C116。

建设部于 1990 年正式颁布了国家推荐性标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)<sup>[14]</sup>, 1999 年又颁布了《高强混凝土结构技术规程》(CECS 104:99)<sup>[20]</sup>, 将钢管混凝土的混凝土强度等级从 C60 扩展到 C80, 为钢管高强混凝土结构的推广应用提供了技术后盾。建设部于 1995 年更将“钢管混凝土结构技术”列入科技成果重点推广项目, 并授权中国建筑科学研究院为其技术依托单位。

## 1.4 钢管混凝土组合柱

钢管混凝土柱在实际应用中也存在着一些问题:

(1) 节点处理比较困难, 由于我国高层建筑仍大多采用钢筋混凝土肋梁楼板, 因此造成钢筋混凝土梁与钢管混凝土柱连接节点构造复杂。

(2) 钢管混凝土柱用于高层建筑时, 由于荷载较大, 设计时多为直径较大的钢管, 所以用钢量较大, 且需要严格保证焊接质量。

(3) 在钢管表面需做进一步的防火、防锈措施, 从而提高了造价。

所以提出了以钢管混凝土为核心的组合柱, 通常称为钢管混凝土组合柱或核心柱。先浇筑钢管内混凝土, 在其承担一定的荷载后, 再浇筑钢管外测混凝土即成为叠合柱; 否则称其为钢管混凝土组合柱<sup>[21~37]</sup>。钢管混凝土组合柱的形式见图 1.2。钢管混凝土组合柱的形式在桥梁工程和建筑工程中均有应用。图 1.2(a) 为万县长江大桥 420m 的主肋拱截面, 实际上组成了钢管混凝土桁架体系, 钢管之间通过角钢或钢筋焊接成整体, 如图 1.2(b) 所示; 在建筑工程中通常在柱中只有一个钢管, 图 1.2(c) 为聂建国研究的钢管混凝土组合柱。

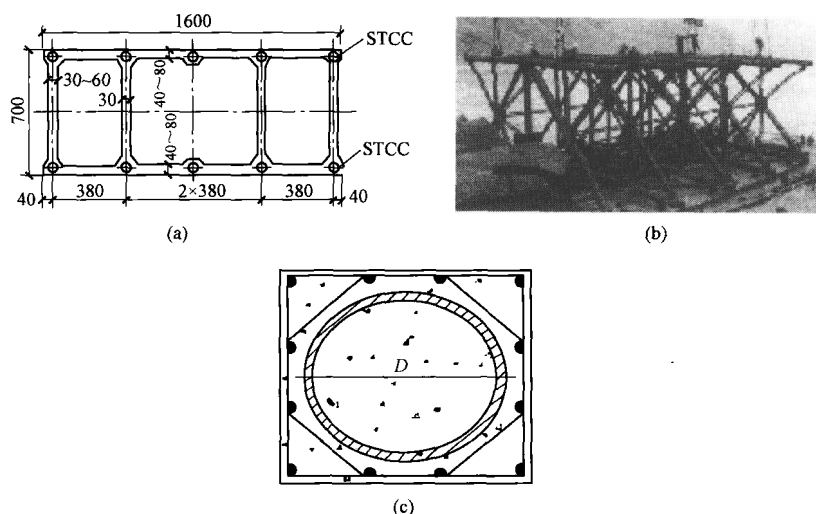


图 1.2 钢管混凝土组合柱(单位:mm)