

钢管约束混凝土柱的 性能与设计

周绪红 刘界鹏 著



科学出版社
www.sciencep.com

钢管约束混凝土柱的 性能与设计

周绪红 刘界鹏 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了作者在钢管约束混凝土柱, 钢管约束钢筋混凝土柱, 钢管约束型钢混凝土柱的理论、试验方法和设计方法方面的创新性研究成果, 并给出了这种新型构件的典型工程应用实例. 内容主要包括: 钢管约束混凝土轴压短柱的力学性能; 钢管约束钢筋混凝土框架柱和钢管约束型钢混凝土框架柱的滞回性能; 各类钢管约束混凝土柱的承载力计算方法、构造与设计方法; 钢管约束混凝土柱的五个典型工程应用情况.

本书可供土木工程专业的高年级本科生、研究生、教师、科研人员和工程技术人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

钢管约束混凝土柱的性能与设计/周绪红, 刘界鹏著. —北京: 科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-028508-9

I. 钢… II. ①周… ②刘… III. ①钢管结构: 混凝土结构-性能 ②钢管结构: 混凝土结构-结构设计 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 150174 号

策划编辑: 樊 捷/责任编辑: 赵彦超/责任校对: 陈玉凤
责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2010 年 9 月第一次印刷 印张: 20 3/4

印数: 1—2 500 字数: 394 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

近二十年来,我国进行了建国以来最大规模的土木工程建设,钢-混凝土组合结构在高层建筑、大跨度公共建筑、大跨度桥梁、高耸结构、大型重载工业厂房中得到广泛应用。其中,钢管混凝土柱与型钢混凝土柱是钢-混凝土组合结构的两种主要形式,具有承载力高、抗震和抗火性能好、造价适中的特点,为结构工程师所青睐,成为超高层建筑框架柱的首选构件形式之一;当高层结构或重载结构采用钢筋混凝土框架柱导致截面尺寸过大甚至形成短柱时,结构工程师常采用钢管混凝土柱或型钢混凝土柱。但钢管混凝土柱和型钢混凝土柱与钢筋混凝土梁连接时,节点复杂,设计和施工难度大。与钢梁或钢-混凝土组合梁连接时,虽然节点相对简单,施工也较方便,且承载力和抗火性能均优于纯钢结构柱,但钢管混凝土柱仍需设防火保护层;型钢混凝土柱中则需设钢筋笼,致使截面型钢和钢筋分布密集,混凝土浇筑和振捣困难,且型钢混凝土柱中混凝土受约束不足,导致轴压比限值偏低,不能充分利用钢材和混凝土的承载能力。然而,近年发展起来的钢管约束钢筋混凝土柱及作者提出的钢管约束型钢混凝土柱继承了普通钢管混凝土柱与型钢混凝土柱的优点,克服了它们的缺点。钢管约束钢筋混凝土柱和钢管约束型钢混凝土柱的外包钢管在梁柱节点处断开,不通过节点核心区,因此其钢管不直接承担纵向荷载,只对核心混凝土起约束作用;而钢管混凝土中的钢管在整个框架柱中不断开,既承担纵向荷载,又在横向约束混凝土的变形。作者对钢管约束钢筋混凝土柱和钢管约束型钢混凝土柱的静力和抗震性能进行了系统的理论分析和大量的试验研究,建立了这两类新型组合构件的设计理论,提出了设计方法、设计建议和抗震构造措施,并在工程中推广应用。

本书是作者多年来创新性研究成果的总结。全书分为9章,内容包括:圆(方)钢管约束混凝土轴压短柱的力学性能、圆(方)钢管约束钢筋混凝土框架柱的滞回性能、圆(方)钢管约束型钢混凝土框架柱的滞回性能、圆(方)钢管约束钢筋混凝土柱的设计方法、圆(方)钢管约束型钢混凝土柱的设计方法、钢管约束混凝土柱典型工程应用。本书内容可供土木工程专业的高年级本科生、研究生、教师、科研人员和工程技术人员参考。

本书的第二作者刘界鹏副研究员曾经是哈尔滨工业大学张素梅教授的博士研究生,他在张素梅教授悉心指导下完成的研究工作为本项目的顺利进行奠定了良好的基础;张素梅教授还参与了本项目研究方案的制定和部分研究工作,对本书初稿进行了详细审查,提出了修改意见。在此,作者谨向张素梅教授致以特别的谢意!哈

哈尔滨工业大学建筑设计研究院的张小冬教授、白福波教授和刘景云教授对本书中的设计方法提出了宝贵建议,并与作者合作完成了典型工程的推广应用工作;哈尔滨工业大学的王玉银副教授对本书的研究工作提出了宝贵的建议;长安大学的狄谨教授、石宇博士也对本书的研究工作提供了帮助;我们的研究生国建飞、乔建刚、王国兴、叶家喜、刘占科、甘丹、李江、张曦、肖良才等均参与了试验研究工作.没有他们的辛勤付出,本书不可能最终成稿.本书的研究工作还得到了“十一五”科技支撑计划(2006BAJ18B06; 2006BAJ01B02)、国家自然科学基金(50708027)的资助.在此,作者谨向对本书研究工作提供无私帮助的各位教授、研究生、科技部和国家自然科学基金委员会表示诚挚的感谢!

需要指出的是,作为一种新型的组合结构形式,钢管约束混凝土结构的研究工作还只刚刚起步,对其力学性能还需继续进行深入系统的研究,其设计理论和设计方法还需进一步完善,作者期待本书的出版对推动我国钢管约束混凝土结构的发展起到一定的作用.由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正.

周绪红 刘界鹏

2010年5月1日

几何量、物理量常用符号和单位约定

几何量、物理量常用符号

a	纵筋合力点至截面近边的距离
A_a	型钢面积
A_b	钢筋面积
A_c	混凝土面积
A_{bi}	钢筋单元面积
A_{ci}	混凝土单元面积
A_i	单元面积
A_t	钢管两侧腹板总面积
A_{sv}	箍筋各肢的全部截面面积
A_g	毛截面面积
B_a	型钢翼缘宽度
D	截面直径或边长
D_a	型钢高度
E_c	混凝土的弹性模量
E_{sec}	约束混凝土峰值应变点的割线模量
E_s	钢材的弹性模量
E_u	混凝土初始卸载刚度
$(EI)_e$	柱弹性刚度
$(EI)_h$	柱硬化刚度
$(EI)_{un}$	卸载刚度
f_{cc}	混凝土抗压强度设计值
f_{cc}	约束混凝土的轴心抗压强度
f_{co}	非约束混凝土的轴心抗压强度
f_{cu}^{10}	100mm 立方体试块抗压强度
f_{un}	混凝土卸载点应力
f_{ro}	混凝土重新加载点应力

f_{re}	混凝土重新加载返回骨架曲线点应力
f_r	约束应力
f'_r	有效约束应力
f_y	钢管屈服强度
f_a	型钢屈服强度
f_b	钢筋屈服强度
f_{yv}	箍筋屈服强度;
f_p	钢材的比较极限
f_{new}	混凝土重新加载至卸载应变时所对应的应力
f_{215}	Q235 钢材的强度设计值, $f_{215} = 215\text{MPa}$
f_{aw}	型钢腹板强度设计值
G	剪切模量
h_0	钢筋混凝土柱的截面有效高度
h_n	纯弯状态下截面中和轴与型心轴的距离
I_s	钢材惯性矩
I_c	混凝土惯性矩
I_a	型钢惯性矩
k	截面剪切形状系数
k_e	有效约束系数
K_e	弹性阶段刚度
K_{un}	卸载刚度
L	柱子长度
l	反弯点至柱端距离
M	弯矩
M_u	极限抗弯承载力
M_s	卸载软化点的弯矩
M_{un}	卸载点的弯矩
M_p	截面塑性纯弯承载力
M_{pmax}	截面塑性最大抗弯承载力
M_n	截面最大抗弯承载力与纯弯承载力的差值
N	轴力
N_u	轴压承载力

N_{ue}	试验测得轴压承载力
N_{uc}	公式计算得轴压承载力
N_{s+c+b}	钢管、混凝土和钢筋轴压承载力的简单叠加值
N_{s+c+a}	钢管、混凝土和型钢轴压承载力的简单叠加值
$N_{u,k}$	塑性轴压承载力标准值
N_{cr}	受压构件的弹性临界轴压力
n_0	轴压比
P	水平荷载
P_u	框架柱的极限水平承载力
P_y	框架柱的屈服水平承载力
P_s	卸载软化点荷载
r	半径
R	层间位移角
$R_{0.85}$	承载力下降至峰值荷载的 85% 时的层间位移角
s	箍筋间距
t	钢管厚度
t_w	型钢翼缘厚度
t_f	型钢腹板厚度
V	抗剪承载力
V_{max}	柱子的最大剪力设计值
W_{pa}	型钢截面的塑性模量
W_c	混凝土截面的塑性模量
W_{an}	截面上 2 倍 h_n 范围内钢材的塑性模量
W_{cn}	截面上 2 倍 h_n 范围内混凝土的塑性模量
x, y	坐标
α	钢管含钢率
α_a	型钢含钢率
β_c	混凝土强度影响系数
β	等效弯矩系数
ε	应变
ε_u	轴压构件峰值应变
ε_{cc}	约束混凝土的峰值应变

ε_{co}	非约束混凝土的峰值应变
ε_p	钢材比例极限应变
ε_y	钢材屈服应变
ε_v	钢材纵向应变
ε_h	钢材横向应变
ε_{un}	混凝土卸载点应变
ε_{pl}	混凝土卸载残余应变
ε_{ro}	混凝土重新加载点应变
ε_{re}	混凝土重新加载返回骨架曲线点应变
ε_i	单元形心应变
ε_0	截面形心应变
ε_{sh0}	轴力施加完毕而水平荷载未施加时的钢管环向应变
ε_{sh}	水平荷载施加过程中钢管的当前环向应变
$\mu\varepsilon$	微应变 ($\mu\varepsilon = \varepsilon \times 10^6$)
ζ	材料比例系数
μ_s	钢材弹性阶段泊松比
μ_{sp}	钢材弹塑性阶段泊松比
μ_Δ	位移延性系数
λ	剪跨比
$\bar{\lambda}$	相对长细比
χ	通过稳定曲线得到的与相对长细比 $\bar{\lambda}$ 相关的折减系数
σ	应力
σ_c	混凝土应力
σ_v	钢材纵向应力
σ_h	钢材横向应力
σ_{vm}	钢管跨中纵向应力
σ_{hm}	钢管跨中横向应力
σ_{he}	钢管端部横向应力
σ'_v	钢材纵向应力偏量
σ'_h	钢材横向应力偏量
σ_z	折算应力
σ_i	单元形心应力

τ	剪应力
Δ	位移
Δ_y	屈服位移
Δ_u	峰值位移
Δ_{un}	卸载点位移
$\Delta_{0.85}$	承载力下降至峰值荷载 85% 时的位移
ν_c	混凝土的横向变形系数
φ	曲率
φ_u	峰值点曲率
φ_{un}	卸载点曲率

单位约定

本书中所有几何与物理量均采用如下基本单位:

长度或位移: 毫米 (mm)

强度或应力: 兆帕 (MPa)

力或荷载: 千牛 (kN)

弯矩: 千牛·米 (kN · m)

目 录

前言

几何量、物理量常用符号和单位约定

第 1 章 绪论	1
1.1 钢管约束混凝土的概念	1
1.1.1 钢管约束混凝土	1
1.1.2 钢管约束混凝土的特点	2
1.2 钢-混凝土组合柱的研究现状	6
1.2.1 钢管混凝土的研究现状	6
1.2.2 箍筋约束混凝土的研究现状	8
1.2.3 型钢混凝土柱的研究现状	12
1.2.4 钢管约束混凝土的研究现状	13
1.3 钢管约束混凝土应用与发展	15
1.3.1 钢管约束混凝土的应用	15
1.3.2 钢管约束混凝土的发展	15
1.4 本书主要内容	16
第 2 章 圆钢管约束混凝土轴压短柱的力学性能	18
2.1 引言	18
2.2 圆钢管约束素混凝土轴压短柱试验研究	18
2.2.1 试件设计与制作	18
2.2.2 反复荷载作用下圆钢管约束混凝土的轴压性能试验研究	20
2.2.3 单调荷载作用下圆钢管约束素混凝土的轴压性能试验研究	29
2.2.4 圆钢管约束素混凝土轴压构件承载力对比分析	34
2.2.5 圆钢管约束素混凝土轴压短柱的应力分析	34
2.3 圆钢管约束钢筋混凝土轴压短柱试验研究	41
2.3.1 试件基本参数	41
2.3.2 破坏模式	43
2.3.3 荷载-变形曲线	47
2.3.4 各参数对钢管约束钢筋混凝土短柱轴压力学性能的影响	51
2.3.5 圆钢管约束钢筋混凝土轴压短柱的钢管应力分析	53
2.3.6 圆钢管约束钢筋混凝土短柱轴压承载力分析	54

2.4	圆钢管约束型钢混凝土轴压短柱试验研究	55
2.4.1	试件基本参数	55
2.4.2	破坏模式	57
2.4.3	荷载-变形曲线	59
2.4.4	钢管屈服强度的影响	61
2.4.5	圆钢管约束型钢混凝土短柱的钢管应力分析	62
2.4.6	圆钢管约束型钢混凝土短柱轴压承载力分析	63
2.5	圆钢管约束混凝土短柱的轴压承载力	64
2.5.1	恒侧压下混凝土的抗压强度	64
2.5.2	圆钢管约束混凝土轴压短柱的承载力公式	65
2.6	约束混凝土的滞回模型	67
2.6.1	骨架曲线	68
2.6.2	加卸载规则	69
第3章	圆钢管约束钢筋混凝土框架柱的滞回性能	71
3.1	引言	71
3.2	圆钢管约束钢筋混凝土压弯构件的试验研究	71
3.2.1	试件设计与制作	71
3.2.2	加载装置和测量装置	73
3.2.3	加载制度	74
3.2.4	破坏模式	74
3.2.5	试验结果及分析	76
3.2.6	截面极限抗弯承载力分析	79
3.2.7	试件延性分析	80
3.3	圆钢管约束钢筋混凝土压弯构件的数值计算方法	81
3.3.1	截面的 $M-N-\phi$ 分析方法	81
3.3.2	构件的荷载 (P)-位移 (Δ) 分析方法	83
3.4	箍筋约束混凝土和圆钢管混凝土压弯构件的数值计算方法	87
3.5	三种不同压弯构件的对比分析	89
3.5.1	C40 构件对比	90
3.5.2	C60 构件对比	92
3.5.3	C80 构件对比	97
3.6	圆钢管约束钢筋混凝土压弯构件的恢复力模型	102
3.6.1	截面弯矩-曲率恢复力模型	102
3.6.2	构件的荷载-位移恢复力模型	104
3.7	圆钢管约束钢筋混凝土短柱的滞回性能试验研究	108

3.7.1	试件设计与制作	108
3.7.2	加载装置、测量装置和加载制度	109
3.7.3	破坏模式	109
3.7.4	试验结果及分析	111
3.7.5	层间变形能力与延性分析	113
3.7.6	钢管应力-应变分析	114
3.8	圆钢管约束钢筋混凝土短柱的恢复力模型	115
第 4 章	圆钢管约束型钢混凝土框架柱的滞回性能	118
4.1	引言	118
4.2	圆钢管约束型钢低强混凝土压弯构件滞回性能试验研究	118
4.2.1	试件设计与制作	118
4.2.2	破坏模式	120
4.2.3	试验结果及分析	121
4.2.4	截面极限抗弯承载力分析	123
4.2.5	试件延性分析	124
4.3	圆钢管约束型钢高强混凝土压弯构件试验研究	124
4.3.1	试件设计与制作	124
4.3.2	破坏模式	126
4.3.3	试验结果及分析	128
4.3.4	截面极限抗弯承载力分析	130
4.3.5	试件延性分析	130
4.4	圆钢管约束型钢混凝土压弯构件的数值计算方法	131
4.4.1	截面的 $M-N-\phi$ 分析方法	131
4.4.2	构件的 $P-\Delta$ 分析方法	131
4.5	圆形截面型钢混凝土压弯构件的数值计算方法	132
4.6	两种不同压弯构件的对比分析	133
4.6.1	C40 构件对比	133
4.6.2	C60 构件对比	136
4.6.3	C80 构件对比	139
4.7	圆钢管约束型钢混凝土压弯构件的恢复力模型	141
4.7.1	截面弯矩-曲率恢复力模型	141
4.7.2	构件荷载-位移恢复力模型	143
4.8	圆钢管约束型钢高强混凝土短柱滞回性能试验研究	144
4.8.1	试件设计与制作	144
4.8.2	破坏模式	146

4.8.3	试验结果及分析	148
4.8.4	层间变形能力与延性分析	149
4.8.5	钢管应力分析	150
4.9	圆钢管约束型钢混凝土短柱的恢复力模型	151
第 5 章	方钢管约束混凝土轴压短柱的力学性能	154
5.1	引言	154
5.2	方钢管约束素混凝土轴压短柱试验研究	154
5.2.1	试件设计与制作	154
5.2.2	反复荷载作用下方钢管约束素混凝土的轴压性能试验研究	156
5.2.3	单调荷载作用下方钢管约束素混凝土的轴压性能试验研究	161
5.2.4	方钢管约束素混凝土轴压构件承载力对比分析	164
5.2.5	循环加载方钢管约束素混凝土轴压短柱应力分析	166
5.2.6	单调加载方钢管约束素混凝土轴压短柱应力分析	168
5.3	方钢管约束钢筋混凝土轴压短柱试验研究	170
5.3.1	试件基本参数	170
5.3.2	破坏模式	171
5.3.3	荷载-变形曲线	175
5.3.4	混凝土强度对方钢管约束混凝土轴压短柱力学性能的影响	177
5.3.5	钢管应力分析	179
5.3.6	方钢管约束钢筋混凝土柱轴压承载力分析	180
5.4	方钢管约束型钢混凝土轴压短柱试验研究	180
5.4.1	试件基本参数	180
5.4.2	破坏模式	181
5.4.3	荷载-变形曲线	181
5.4.4	钢管应力分析	185
5.4.5	方钢管约束型钢混凝土柱轴压承载力分析	187
5.5	方钢管约束混凝土轴压短柱承载力公式	188
5.5.1	方钢管约束混凝土轴压短柱承载力分析	188
5.5.2	混凝土强度对钢管横向应力的影响	190
5.5.3	宽厚比对钢管横向应力的影响	190
5.5.4	方钢管约束混凝土构件的有效约束应力	190
5.5.5	方钢管约束混凝土短柱的轴压承载力公式	191
第 6 章	方钢管约束钢筋混凝土框架柱的滞回性能	193
6.1	引言	193
6.2	方钢管约束钢筋混凝土压弯构件滞回性能试验研究	193

6.2.1	试件设计与制作	193
6.2.2	破坏模式	194
6.2.3	试验结果及分析	197
6.2.4	截面极限抗弯承载力分析	200
6.2.5	试件延性分析	200
6.3	方钢管约束钢筋混凝土压弯构件的数值计算方法	201
6.3.1	截面的 $M-N-\phi$ 分析方法	201
6.3.2	构件的 $P-\Delta$ 分析方法	201
6.4	箍筋约束混凝土和方钢管混凝土压弯构件的计算方法	203
6.5	三种不同压弯构件的对比分析	203
6.5.1	C40 构件对比	204
6.5.2	C60 构件对比	208
6.5.3	C80 构件对比	212
6.6	方钢管约束钢筋混凝土压弯构件的恢复力模型	216
6.6.1	截面弯矩-曲率恢复力模型	216
6.6.2	构件荷载-位移恢复力模型	219
6.7	方钢管约束钢筋混凝土短柱的滞回性能试验研究	222
6.7.1	试件设计与制作	222
6.7.2	破坏模式	223
6.7.3	试验结果及分析	225
6.7.4	层间变形能力与延性分析	227
6.7.5	钢管应力分析	228
6.7.6	钢管约束钢筋混凝土柱的抗剪承载力公式	230
6.8	方钢管约束钢筋混凝土短柱的恢复力模型	234
第 7 章	方钢管约束型钢混凝土框架柱的滞回性能	236
7.1	引言	236
7.2	方钢管约束型钢低强混凝土压弯构件滞回性能试验研究	236
7.2.1	试件设计与制作	236
7.2.2	破坏模式	237
7.2.3	试验结果及分析	238
7.2.4	截面极限抗弯承载力分析	241
7.2.5	试件延性分析	241
7.3	方钢管约束型钢高强混凝土压弯构件滞回性能试验研究	242
7.3.1	试件设计与制作	242
7.3.2	破坏模式	243

7.3.3	试验结果及分析	245
7.3.4	截面极限抗弯承载力分析	247
7.3.5	试件延性分析	247
7.4	方钢管约束型钢混凝土压弯构件的数值计算方法	247
7.4.1	截面的 $M-N-\phi$ 分析方法	247
7.4.2	构件的 $P-\Delta$ 分析方法	248
7.5	方形截面型钢混凝土压弯构件的数值计算方法	249
7.6	两种不同压弯构件的对比分析	250
7.6.1	C40 构件对比	250
7.6.2	C60 构件对比	253
7.6.3	C80 构件对比	254
7.7	方钢管约束型钢混凝土压弯构件的恢复力模型	257
7.8	方钢管约束型钢高强混凝土短柱试验研究	258
7.8.1	试件设计与制作	258
7.8.2	破坏模式	260
7.8.3	试验结果及分析	261
7.8.4	延性与层间变形能力分析	261
7.8.5	钢管应力分析	263
7.8.6	钢管约束型钢混凝土柱的抗剪承载力公式	265
7.9	方钢管约束型钢混凝土短柱的恢复力模型	267
第 8 章	钢管约束混凝土柱的设计方法	268
8.1	引言	268
8.2	钢管约束钢筋混凝土柱的设计方法	268
8.2.1	钢管约束钢筋混凝土柱的正截面承载力计算方法	268
8.2.2	钢管约束钢筋混凝土柱的斜截面承载力计算方法	269
8.2.3	钢管约束钢筋混凝土柱的设计与构造要求	270
8.3	钢管约束型钢混凝土柱的设计方法	273
8.3.1	钢管约束型钢混凝土轴压构件承载力计算	273
8.3.2	钢管约束型钢混凝土单向压弯构件承载力计算	274
8.3.3	钢管约束型钢混凝土双向压弯构件承载力计算	281
8.3.4	钢管约束型钢混凝土斜截面抗剪承载力计算	281
8.3.5	钢管约束型钢混凝土柱的设计与构造要求	282
第 9 章	钢管约束混凝土柱典型工程应用	284
9.1	引言	284
9.2	大连市体育馆钢管约束钢筋混凝土应用	284

9.2.1	工程概况	284
9.2.2	钢管约束钢筋混凝土应用背景与设计	286
9.3	大连中国石油大厦钢管约束钢筋混凝土应用	289
9.3.1	工程概况	289
9.3.2	钢管约束钢筋混凝土应用背景与设计	291
9.3.3	钢管约束钢筋混凝土斜柱轴压力学性能研究	292
9.3.4	钢管约束钢筋混凝土竖直框架短柱抗震性能试验研究	295
9.4	黑龙江省博物馆钢管约束型钢混凝土应用	298
9.4.1	工程概况	298
9.4.2	钢管约束型钢混凝土应用背景与设计	299
9.5	丹东市体育场钢管约束钢筋混凝土应用	301
9.5.1	工程概况	301
9.5.2	钢管约束钢筋混凝土应用背景与设计	302
9.6	大连市体育场钢管约束钢筋混凝土应用	302
9.6.1	工程概况	302
9.6.2	钢管约束钢筋混凝土应用背景与设计	303
参考文献		305