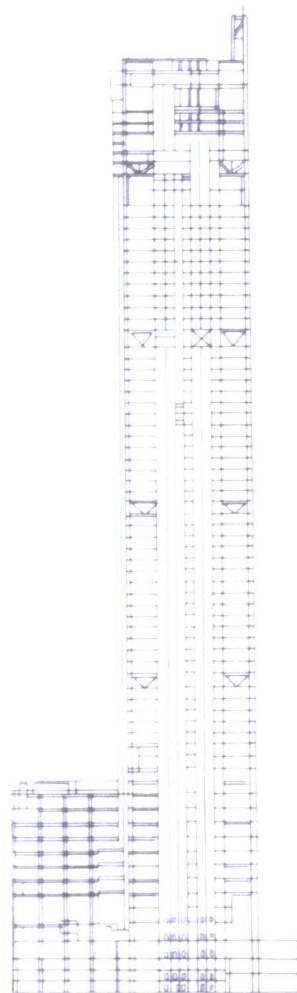




Modern Steel Tube Confined Concrete Structures

现代钢管混凝土结构

◎ 蔡绍怀(Cai Shao-Huai) 著



人民交通出版社

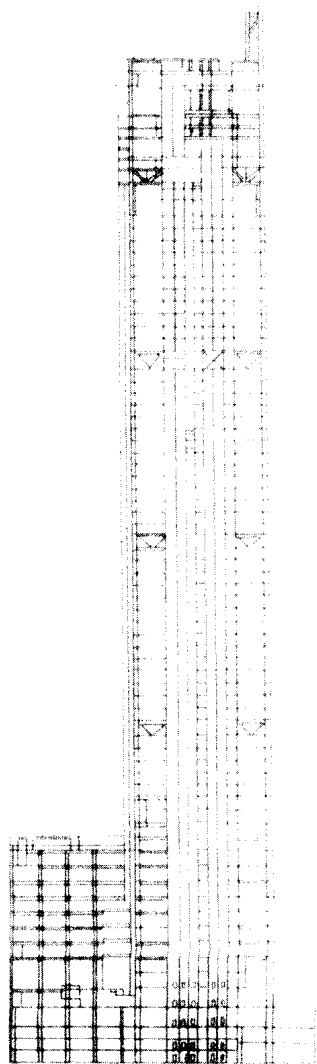
China Communications Press



Modern Steel Tube Confined Concrete Structures

现代钢管混凝土结构

◎ 蔡绍怀(Cai Shao-Huai) 著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书积作者几十年科研与实践经验,对钢管混凝土结构技术的理论与应用进行了系统总结,特别是形式多样的柱/梁结点设计以及许多新增内容。本书分上下两篇,上篇讲述钢管混凝土的基本性能和极限分析,下篇介绍其设计、施工和工程应用。

本书内容简明扼要,理论联系实际,且重在应用,可供钢管混凝土结构工程设计与施工技术人员、科研人员使用。同时本书亦可作为教材,供相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代钢管混凝土结构/蔡绍怀著. —北京:人民交通出版社, 2003.3
ISBN 7-114-04583-2

I. 现... II. 蔡... III. 钢管结构:混凝土结构
IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 005430 号

现代钢管混凝土结构

蔡绍怀 著

正文设计:姚亚妮 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:380 千

2003 年 4 月 第 1 版

2003 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:38.00 元

ISBN 7-114-04583-2



21世纪结构工程领域重要著作书系

序言

在过去的几十年乃至未来很长一段时间,我国已经进行并将继续进行着有史以来最大规模的基本建设,其中最引人注目的如大跨度桥梁、大型体育场馆、高层建筑、深埋地下空间结构、大坝结构以及新型结构等等,代表了我国结构工程学科的蓬勃发展和巨大成就。作为土木工程领域中一个重要学科体系,结构工程学科涉及面广、发展迅速、从业人员众多,在21世纪中,为开创具有中国特色、具有国际一流水平的土木工程领域的新纪元,结构工程学科必将在其中起到决定性作用。

与时俱进,一直是结构工程学科的主旋律。

首先是社会需求的变化,随着经济的发展和功能要求的提高,从最初的低层建筑、小型结构,发展到现在的高层建筑、跨河跨海桥梁、大型体育场馆与会展中心、越江隧道、巨型拱坝,这些都为结构工程提供了新的要求和发展契机,正是在大规模基础建设的推动下,结构工程学科取得了巨大进步。

在新世纪里,社会需求必将会对结构工程学科提出新的挑战,学科本身更将在不断创新和满足社会需求中获得进步。从传统的砌体结构、混凝土结构、钢结构,到现在的预应力混凝土结构、大跨空间结构,乃至预应力钢结构、钢—混凝土组合结构,实现了我们以前不能想象的建筑形式,优化了工程技术本身,为我

们展现了结构工程学科广泛深入的应用空间。而且随着各个学科的不断深入研究,随着新材料、新技术、新理论不断发展,各种结构体系还将有新的发展。

21世纪的结构工程领域,对人才的要求有了更高的标准,专业技术人员应该具备完整的知识结构以适应现代工程科技发展的需要,在工程实践、理论修养和计算能力等方面继续学习新知识、掌握新技术,加强分析问题、解决问题的能力,同时具备较强的创新能力。

科研工作者除了本身的科研与实践工作外,还应该努力介绍老一辈专家的成果和经验总结及新一代中青年专家的创新成就。图书出版就是其中的一个纽带,编著一本好书用以影响一个领域,影响几代人,这也是作为学者的使命和历史责任。

欣闻人民交通出版社将组织出版“21世纪结构工程领域重要著作书系”,并已经在过去两年中做了许多工作,甚感欣慰。他们的想法总结起来有以下几点:

(1)面向21世纪百年时间,收录这期间结构工程各专业领域中具有较大影响的重要著作,将其做成品牌书系,为专家学者和读者搭建一个写好书读好书的平台。

(2)面向最广泛的结构工程科研、技术人员及师生,面向工程应用,为科研实践与工程实践服务。

(3)倡导严谨务实,推动技术应用和学科进步,保证书系中各图书均为各领域研究与实践中的经典图书。

(4)本书系既包括国内专家的图书,又关注国外本领域重要著作,以达到提高与交流的目的。

这个书系的想法非常好,我相信会在土木工程领域产生重大影响,对结构工程学科的进步起到很大的推动作用,会为广大技术人员提供一批好书,帮助他们在工程实践中继续取得更大的成就。

中国工程院院士 大连理工大学

赵国藩

2003年4月13日

代 副

近 20 年来,钢管混凝土结构在我国得到了广泛的应用,在高层建筑、桥梁、地下结构及港口工程等建设中取得了重大的效益。钢管混凝土的结构型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最完美的结合,堪称充分发挥各自特色的典范。现代钢管混凝土能在我国迅速发展,其根本原因固然在于这种结构自身的优异特点和当今大规模基础设施工程建设的客观需求,但如果国内没有众多的科技人员能够长期潜心于研究、开发、宣传并推广这一技术,恐怕也不会有今天这样的可喜成绩。本书作者蔡绍怀教授作为我国钢管混凝土结构领域的开拓者和领头人,多年来为现代钢管混凝土在我国的应用和发展、推广作出了最杰出的贡献。本书出版肯定将进一步促进钢管混凝土结构的应用和普及。

我国在钢管混凝土结构领域取得了很大的技术成就,比如在结构承载力设计理论与设计方法上建立了完整的设计计算方法体系;在构造和连接方法上发展了不少新颖的节点型式;在大型钢管混凝土桥梁的吊装就位技术上也创造了独特的工法。中国是发展中国家,在土建工程领域中真正能与发达国家抗衡的先进技术还很少,但钢管混凝土应是其中之一。在现代化建设的大好形势下,钢管混凝土结构一定会迎来更为灿烂的明天。

我有幸与蔡绍怀教授相识,并在交往中深受教益。他年青时留学苏联,在结构极限平衡分析理论的创始人之一、著名混凝土结构学者格沃兹杰夫教授指导下从事研究,回国后在设计院工作,后又长期在中国建筑科学研究院从事混凝土结构研究,尤其在约束混凝土、钢筋混凝土极限荷载分析、混凝土局部承压等领域有精辟造诣。本书在理论上深入浅出,重在应用并易于理解,给我们的启发是,要写出这样的著作,如果缺乏作者那样兼有的丰厚理论功底与工程设计实践,是很难做到的。我们从本书中不仅可以获得

钢管混凝土设计与施工的系统知识与方法,而且还能受到作者严谨科研作风的感染。

在蔡绍怀教授面前我是后学,对钢管混凝土的深入理解更不及他的万一。人民交通出版社将这一书稿送我阅读,才得以先读为快,在这里说些读后的收获与感想并热烈祝贺本书的出版。同时希望出版社能继续出好这套颇有创意的结构工程书系,因为开头的一本就是这样一部精品。

清华大学教授

陈肇元

2003年4月15日

前 言

钢管(套箍)混凝土结构在土木工程中的应用已有百年历史,但由于各种局限,其优势长期未能得到应有的发挥。然而从20世纪80年代开始,在我国,以采用高强度混凝土材料和泵灌混凝土工艺为主要特征的现代钢管(套箍)混凝土结构,却取得了飞速发展。这主要是因为这个时期,我国在高流态高强混凝土技术和钢管混凝土基本性能及其设计计算理论的研究方面取得了长足的进展。1990年我国又颁布了专门的《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)(涵盖的混凝土强度等级达到C60,1993年拓宽到C80),及时地为现代钢管混凝土结构在我国的推广应用提供了技术后盾。特别是最近10年,时逢盛世,国家经济迅猛发展,基础设施大量兴建,现代钢管混凝土结构技术在高层建筑和大跨桥梁中得到卓有成效的应用,有力地推动了该领域营造技术的进步,取得了令人瞩目的成就,而钢管混凝土结构技术自身也在工程实践中得到了新的发展。

作者有幸亲自参与了这一重大技术发展的全过程。1986年根据建设部下发文件的要求,参与主编《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)。接着应中国建筑学会和中国土木工程学会之邀,为中国建筑工业出版社策划的“土木建筑工程继续教育丛书”编写一本《钢管混凝土结构的计算与应用》,于1989年出版。其后又编写一本《钢管混凝土结构》(中国建筑科学研究院1992年印),作为学习《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)的辅导材料。这期间,作者不仅在全国各地的一些培训班、报告会上宣讲交流,并且受聘担任一些重大工程(如重庆万县长江公路大桥、广州好世界广场大厦、深圳赛格广场大厦、重庆世界贸易中心等)的钢管混凝土结构技术顾问,以及参与其他众多工程的技术咨询或技术鉴定工作,深入现场,调查研究,此外,还通过出席会议或互致信函,与国内外同行交流切磋,从这些活动中作者吸取了丰富的营养。

近10年来,我国钢管混凝土结构技术在发展中积累了宝贵的实践经

验,需要总结,特别是形式多样的钢管混凝土柱/梁节点设计,亟须优选定型和完善。考虑到现行规程的修订尚需时日,为满足土建专业有关人员的需要,作者现应人民交通出版社之约,特编写了本书。

本书分上下两篇。上篇共7章,讲述钢管混凝土的基本性能和极限分析。着重通过试验观察,讲述钢管混凝土的力学行为和工作机理;应用极限平衡理论的基本原理和方法,直接求解钢管混凝土单肢柱和格构柱在轴力和端弯矩共同作用下的承载能力,建立简明实用和准确可靠的成套计算公式。本书新增加了钢管混凝土的抗拉承载能力计算、横向受剪承载能力计算和复式钢管混凝土承载能力计算以及钢管混凝土组合界面附近的局部承压强度计算。根据现有的钢管高强混凝土试验资料进行校核,现行钢管混凝土柱承载能力计算公式的适用范围已可拓展到C110级的高强混凝土。

下篇共8章,讲述钢管混凝土结构的设计、施工和工程应用。对现行《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)和《高强混凝土结构技术规程》(CECS 104:99)有关条文的背景材料作了阐释。着重讨论了钢管混凝土结构抗震设计的特点、基于套箍混凝土性能的设计安全度校核、钢管径厚比的合理选择以及现行钢管混凝土设计规程与现行公路桥涵设计规范如何“接轨”的问题。另辟专章介绍了钢管混凝土组合界面抗剪粘结性能的试验成果。接着对钢管混凝土结构的连接,特别是柱/梁节点构造及其设计计算做了较全面深入的论述,并提出了实用的建议。最后一章以较多篇幅列举了国内近10年在高层建筑和大跨桥梁方面的典型工程实例和若干国外的典型工程实例,以展示现代钢管混凝土既是一种高强、高性能结构材料,也是一种高效施工技术。

本书内容简明扼要,理论联系实际,且重在应用,可供土建工程技术人员使用,也可供高校土建专业的师生教学参考之用。

作者十分感谢清华大学陈肇元教授在百忙中精心审阅本书原稿,提出宝贵意见并为之作序。作为学者,他一直热心现代钢管混凝土的研究,特别是在抗爆工程中的应用做出了重要贡献;作为朋友,他对作者的研究工作一直给予积极的支持和鼓励。

作者也十分感谢人民交通出版社陈志敏编辑的关心、策划和操劳,使本书得以顺利面世。

书中存在的缺点或错误,尚祈读者指正。

蔡绍怀

2002年12月于中国建筑科学研究院

主要符号

- A ——面积, 钢管混凝土柱横截面的自然面积($A = A_a + A_c$);
- A_a 、 A_s ——钢管横截面面积;
- A_c ——钢管内的混凝土横截面面积;
- A_{cor} ——螺旋套箍内的核心混凝土横截面面积;
- A_l ——局部受压面积;
- A_{sp} ——螺旋箍筋的横截面面积;
- a_c ——格构柱压肢重心至压强重心轴的距离;
- a_t ——格构柱拉肢重心至压强重心轴的距离;
- D ——钢管外径;
- d_c ——核心混凝土直径或钢管内径;
- d_{sp} ——螺旋圈的直径;
- E ——弹性模量, 钢管混凝土的综合弹性模量;
- E_a 、 E_s ——钢材弹性模量;
- E_c ——混凝土弹性模量;
- e_0 ——柱较大弯矩端的轴向压力对柱截面重心轴或压强重心轴的偏心距;
- f_a ——钢材抗拉、抗压强度设计值;
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值, 结构混凝土的单轴抗压强度;
- 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 ——钢材的屈服极限;
- f_{sp} ——螺旋箍筋的抗拉强度设计值;
- H ——钢管混凝土悬臂柱的长度;
- H^* ——钢管混凝土格构柱的长度;
- h ——格构柱在弯矩作用平面内的柱肢之间的距离;
- 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_a ——钢管横截面面积对其重心轴的惯性矩;

- I_c ——钢管内的混凝土横截面面积对其重心轴的惯性矩；
 K ——侧压系数；
 L ——钢管混凝土柱或构件的长度；
 L_e ——钢管混凝土柱或构件的等效计算长度；
 L_0 ——钢管混凝土柱或构件的计算长度；
 L^* ——钢管混凝土格构柱的长度；
 L_e^* ——钢管混凝土格构柱的等效计算长度；
 L_0^* ——钢管混凝土格构柱的计算长度；
 M ——弯矩；
 M_1 ——柱两端弯矩之较小者；
 M_2 ——柱两端弯矩之较大者；
 M_0 ——钢管混凝土单肢柱在纯弯曲下的极限弯矩；
 M_0^* ——钢管混凝土格构柱在纯弯曲下的极限弯矩；
 M_u ——构件的极限弯矩；
 N ——轴向力；
 N_0 ——钢管混凝土轴心受压短柱的极限承载力；
 N_{RC} ——钢管混凝土轴心受压短柱的名义破坏荷载， $N_{RC} = f_c A_c + f_a A_a$ ；
 N_u ——钢管混凝土构件的轴向受压极限承载力；
 N_y ——钢管混凝土轴心受压短柱的屈服荷载或弹性极限荷载；
 N_0^c ——格构柱在弯矩单独作用下的受压区各肢短柱轴心受压极限承载力之总和；
 N_0^t ——格构柱在弯矩单独作用下的受拉区各肢短柱轴心受压极限承载力之总和；
 N_0^* ——格构柱整体的轴心受压短柱极限承载力；
 N_u^* ——格构柱整体的轴向受压极限承载力；
 N_{ul} ——钢管混凝土局部受压的极限承载力；
 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 ——钢管的内半径；
 s ——螺旋圈的间距；
 t ——钢管的壁厚；

- V ——横剪力；
 α ——套箍效果系数；
 β ——柱两端弯矩的较小者 M_1 与较大者 M_2 之比值， $\beta = M_1/M_2$ ；钢管混凝土的局部受压强度提高系数；
 β_{sp} ——螺旋套箍混凝土的局部受压强度提高系数；
 γ ——比值， $\gamma = N_0^s/N_0^t$ ；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 δ ——挠度；
 δ_u ——最大荷载下的挠度；
 ϵ_1 ——纵向应变；
 ϵ_b ——界限偏心率；
 ϵ_c ——核心混凝土的纵向应变；
 ϵ_c^* ——对应于最大荷载下的核心混凝土纵向应变；
 ϵ_s ——钢管的纵向应变；
 η ——比值， $\eta = N_0^t/N_s^t$ ；
 θ ——钢管混凝土的套箍指标；
 θ_t ——格构柱拉区柱肢的套箍指标；
 θ_{sp} ——螺旋筋套箍混凝土的套箍指标；
 k ——柱的等效长度系数；
 λ ——钢管混凝土单肢柱的长细比；
 λ^* ——钢管混凝土格构柱的长细比；
 μ ——柱的计算长度系数；
 ρ_v ——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；
 ρ_{vsp} ——螺旋箍筋的体积配筋率；
 σ ——应力；
 σ_1 ——钢管的纵向压应力；
 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^* ——对应于最大荷载下的钢管环向拉应力；
 σ_c ——核心混凝土的纵向压应力；
 $\bar{\varphi}$ ——承载能力总折减系数；
 φ_e ——考虑偏心率影响的钢管混凝土单肢柱承载能力折减系数；
 φ_e^* ——考虑偏心率影响的钢管混凝土格构柱承载能力折减系数；

- φ_l ——考虑长细比影响的钢管混凝土单肢柱承载力折减系数；
- φ_l^* ——考虑长细比影响的钢管混凝土格构柱承载力折减系数；
- ν ——侧向变形系数。

作者简介



蔡绍怀 研究员,博士生导师。男,汉族,1929年4月生,重庆市南川人。1951年毕业于重庆大学土木工程系结构专业,1951~1953年在西南军政委员会办公厅工程处设计重庆市人民大礼堂穹顶钢屋架结构,1955年赴前苏联莫斯科建筑工程学院,研究钢筋混凝土结构学,获技术科学副博士学位。1959年初回国,参加核工业建设,历任二机部第二研究设计院土建设计室结构组长、主任工程师、副主任和院技术委员会委员。1979年调中国建筑科学研究院工作,任研究员、博士生导师、研究室主任和院学术委员会委员,主要研究钢管混凝土结构理论和工程应用,并先后任国家核安全专家委员会专业组成员、中国钢结构协会理事、钢-混凝土组合结构协会副理事长、《建筑结构学报》编委、美国混凝土学会 ACI 363 高强混凝土委员会国际委员。早年用“套箍理论”提出钢筋混凝土局部承压强度计算公式和设计方法,近年用极限平衡理论提出钢管混凝土结构成套计算公式和设计方法,均为国家有关规范采用。主编《钢管混凝土结构设计施工规程》(CECS 28:90),起草《高强混凝土结构技术规程》(CECS 104:99)第10章“钢管混凝土柱设计和施工”,著有《钢管混凝土结构的计算与应用》(中国建筑工业出版社,1989)和《钢管混凝土结构》(中国建筑科学研究院,1992)。合译《房屋与构筑物动力计算设计手册》(科学出版社,1990)。在国内外发表论文逾百篇。获1978年全国科学大会奖,1994年国家科技进步奖等。

目 录

上篇 基本性能与极限分析

第一章 绪论	3
1.1 钢管混凝土原理	3
1.2 钢管混凝土的特点和技术经济效益	4
1.3 钢管混凝土结构的沿革和前景	5
参考文献	7
第二章 钢管混凝土轴心受压短柱的基本性能	11
2.1 短柱的定义	11
2.2 加载方式和量测方法	11
2.3 钢管混凝土的变形特点	13
2.4 $N-\epsilon_c$ 曲线和极限荷载	15
2.5 加载方式的影响	17
2.6 长径比的影响	20
2.7 套箍指标的影响	22
2.8 厚壁钢管混凝土的特点	27
2.9 快速加载的影响	30
2.10 复式钢管混凝土	30
参考文献	33
第三章 钢管混凝土轴心受压短柱的极限分析	35
3.1 混凝土的套箍强化	35
3.1.1 三向受压混凝土的破坏机理	36
3.1.2 三向受压混凝土的强度极限条件	38
3.2 钢管混凝土的工作机理	39
3.3 钢管混凝土的塑流特点	43
3.4 极限平衡理论	43
3.4.1 结构和元件	43
3.4.2 基本假设	44
3.4.3 解题方法	44
3.4.4 塑性元件和假塑性元件	45
3.5 钢管混凝土轴心受压短柱的极限分析	45

3.5.1	基本假设	45
3.5.2	公式推导	46
3.5.3	实验校核	52
3.6	总结	54
3.7	复式钢管混凝土短柱的极限分析	54
	参考文献	57
第四章	钢管混凝土标准单元柱的性能和极限分析	59
4.1	单元柱及其分类	59
4.2	长柱试验	60
4.3	长细比对承载能力的影响	67
4.4	纯弯试验	70
4.5	偏压柱试验	73
4.6	钢管混凝土柱的广义屈服条件及偏心率对承载能力的影响	81
4.7	总结	88
4.8	钢管混凝土杆件的受拉承载能力	89
	参考文献	90
第五章	钢管混凝土非标准单元柱的性能和极限分析	94
5.1	无侧移柱的压弯试验	95
5.2	无侧移柱的等效长度	98
5.2.1	$\beta = 0$ 的情况	98
5.2.2	$\beta = -1$ 的情况	100
5.2.3	一般情况下的 k 值取法	100
5.2.4	限制条件	102
5.3	悬臂柱的压弯试验	103
5.4	悬臂柱及有侧移柱的等效长度	106
5.5	柱端约束条件的影响	109
5.6	总结	110
5.7	钢管混凝土柱的受剪承载能力	111
	参考文献	113
第六章	钢管混凝土局部承压的性能和强度计算	115
6.1	钢管混凝土中心区局部承压试验	115
6.2	中心区局部承压强度计算	124
6.2.1	普通钢管混凝土	124
6.2.2	增配螺旋箍筋的钢管混凝土	126
6.3	钢管混凝土组合界面附近的局部承压试验	127

6.4	组合界面附近的局部承压强度计算	130
6.5	总结	131
	参考文献	132
第七章	钢管高强混凝土柱的性能和极限分析	133
7.1	高强混凝土与套箍约束	133
7.2	轴压短柱	136
7.2.1	中国建筑科学研究院的试验	136
7.2.2	清华大学的试验	138
7.2.3	重庆建筑大学的试验	140
7.2.4	轴压短柱承载能力计算公式的实验校核	141
7.3	轴压长柱	146
7.3.1	中国建筑科学研究院的试验	146
7.3.2	重庆建筑大学的试验	150
7.3.3	考虑长细比影响的承载能力计算公式的实验校核	151
7.4	偏压柱	152
7.4.1	中国建筑科学研究院的试验	152
7.4.2	重庆建筑大学的试验	153
7.4.3	澳大利亚 Curtin 技术大学的试验	154
7.4.4	考虑偏心率影响的承载能力计算公式的实验校核	155
7.5	局部承压	156
7.5.1	德国 Bergmann 的试验	156
7.5.2	局压计算公式的实验校核	157
7.6	总结	158
	参考文献	159

下篇 设计施工与工程应用

第八章	钢管混凝土结构设计的基本原则	163
8.1	总的要求	163
8.2	极限状态设计	165
8.2.1	承载能力极限状态计算	165
8.2.2	材料指标设计值	166
8.2.3	正常使用极限状态计算	168
8.3	钢管混凝土结构抗震设计的若干特点	168
8.4	基于套箍混凝土性能的安全度校核	169