

大连理工大学博士学术丛书

钢管混凝土力学

GANGGUAN
HUNNINGTU LIXUE

韩林海 钟善桐 著

大连理工大学出版社

大连理工大学博士学术丛书

钢管混凝土力学

韩林海 著
徐震桐

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土力学/韩林海,钟善桐著. —大连:大连理工大学出版社,1996.1

ISBN 7-5611-1071-5

I. 钢… I. ①韩… ②钟… III. ①钢管结构:混凝土结构-结构力学②钢筋混凝土结构,钢管结构-结构力学 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21402 号

钢管混凝土力学

韩林海 钟善桐

大连理工大学出版社出版
(大连市凌水河 邮政编码 116021)
大连海事大学印刷厂印刷



开本:850×1168 1/32 印张:8.375 字数:208千字
插页:4

1996年1月第1版 1996年1月第1次印刷
印数:1—3000册

责任编辑:水舟 杨泳 责任校对:寸土
封面设计:孙宝福

ISBN 7-5611-1071-5

TU·24

定价:12.00元

本书由

国家自然科学基金

地震科学联合基金

资助

序

钢管混凝土是在劲性钢筋混凝土结构、螺旋配筋混凝土结构及钢管结构的基础上演变和发展起来的一种新型结构。它利用钢管和混凝土两种材料在受力过程中的相互制约,使其具备了优异的性能。这是因为,一方面,钢管对混凝土的约束作用,使混凝土在三向受力情况下,不仅强度得到提高,还增强了其塑性和延性;另一方面,由于混凝土的存在,又提高了钢管的稳定性。通过两种材料的组合,使钢管混凝土具有承载力高、韧性和塑性好、抗震和防火性能优越、节约材料和施工方便等优点。但是,也正是由于两种材料间的相互作用,构成了钢管混凝土力学性能的复杂性。

近几十年来,电子计算机技术得到高速发展,相应的数值计算方法也在不断趋于成熟和完善。在这种浪潮的冲击下,古老的结构工程学科不可避免地出现了变化。这种变化集中表现在:这个由理论和试验二极构成的学科变为由理论、试验和计算三极构成的学科。人们利用计算机加强了对结构的计算分析、模拟和抽象的能力,从而可以掌握其工作机理,提高设计的可靠性和科学性。

本书作者的研究工作体现了上述思想。作者针对钢管混凝土的固有特点,提出了将钢管混凝土视为一种“组合材料”来研究其综合力学性能的新观点,确定了这种“组合材料”在轴压、轴拉、纯扭转和纯剪切及纯弯曲荷载作用下的一系列力学性能指标。在对构件的荷载-变形关系曲线全过程分析结果的基础上,提出了构件在压、弯、扭、剪及其复合荷载作用下的统一计算公式,计算结果得

到大量试验结果的验证,并最终形成钢管混凝土统一理论,取得的成果具有理论性、科学性和实用性。

钢管混凝土结构能较好地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,因而目前正被越来越广泛地应用于工业厂房、多层和高层建筑、拱桥和地下结构中,已取得明显的经济效果和建筑效果,是结构工程科学的一个重要发展方向。希望本书能对钢管混凝土这一新型结构的研究和应用起到推动作用,使这一新兴学科能不断取得丰硕的成果。

王光远

1995年10月10日

前 言

钢管混凝土结构以其特有的优点受到工程界的重视,在我国得到令人瞩目的发展。尤其是近 20 年来,无论在工程应用方面,还是理论研究方面,都取得了显著的成就,受到国外同行们的青睐和赞许。

目前,工程技术界广泛应用了计算机技术,对复杂的结构内力和变形进行了较精确的数值分析,从而把结构分析推向了新阶段。钢管混凝土由于钢管的约束作用,材料处于三向复杂应力状态,如果不依靠计算机技术,就很难对其受力状态和工作机理进行准确的分析,更不可能全面地掌握其力学性能。

哈尔滨建筑大学(原哈尔滨建筑工程学院)自 80 年代初,提出了把钢管混凝土视为一种组合材料的统一体进行研究的新思路,开始了对钢管混凝土基本构件的全过程分析,并据此得到了构件的组合设计指标以及构件承载力计算的整套新公式,称为组合指标设计法。从而使钢管混凝土构件在各种参数变化下的设计形成系列,这一研究成果刷新了沿用几十年的设计方法,初步形成了新学派。

近年来,作者在上述成就的基础上,进一步深入研究,分析了复杂受力状态下钢管混凝土构件的工作性能与机理以及设计方法,提出新的理论体系“钢管混凝土统一理论”。这一创新的科研成果,荣获国家教育委员会 1994 年度科技进步一等奖。

为了系统地介绍钢管混凝土构件在各种受力状态下的力学性

能,作者写成本书,以应从事这一结构的研究工作的同事们的需要。全书由韩林海撰写,最后由钟善桐统一定稿。由于作者学识水平所限,片面性,甚至错误在所难免,谨请读者批评指正。

作者深深感谢中国工程院院士王光远教授在百忙中关心本书的出版,并为本书作序;同时,也衷心感谢赵国藩教授和林皋教授对本书出版的支持。正是由于他们以及本书出版者的鼓励和支持,本书才得以如期与各位读者见面。

著 者

1995年11月

主要符号

A_s	钢管截面积
A_c	混凝土截面积
A_{sc}	钢管混凝土截面积($A_{sc} = A_s + A_c$)
D	钢管混凝土外直径
E_s	钢材弹性模量
E_s^t	钢材的切线模量
E_c	混凝土初始弹性模量
E_{sc}	钢管混凝土轴压组合弹性模量
E_{sc}^t	钢管混凝土轴压组合切线模量
E_{sc}^{t1}	钢管混凝土轴拉弹性模量
E_{sc}^{t2}	钢管混凝土轴拉组合切线模量
E_{sc}^r	钢管混凝土轴压组合强化模量
E_{sc}^w	钢管混凝土抗弯组合弹性模量
E_{sc}^{w1}	钢管混凝土抗弯组合切线模量
E_{sc}^{w2}	钢管混凝土抗弯组合强化模量
e	偏心距
e_0	初始偏心距
e_{ij}	应变张量偏量($i, j = 1, 3$)
de_{ij}	应力张量偏量增量($i, j = 1, 3$)
f_y	钢材屈服极限
f_{ck}	混凝土标准强度
f_{cu}	混凝土立方试块强度

f_{sc}^p	钢管混凝土轴压比例极限
f_{sc}^y	钢管混凝土轴压屈服极限
f_{sc}^{pt}	钢管混凝土轴拉比例极限
f_{sc}^{yt}	钢管混凝土轴拉屈服极限
G_s	钢材剪切弹性模量
G_{oc}	混凝土初始剪切弹性模量
G_{sc}	钢管混凝土剪切组合弹性模量
G_{sc}^t	钢管混凝土剪切组合切线模量
G_{sc}^r	钢管混凝土剪切组合强化模量
I_c	混凝土截面抗弯惯性矩
I_{sc}	钢管混凝土抗弯惯性矩($\pi D^4/64$)
I_s	钢管截面抗弯惯性矩
I_1	第一应力张量不变量
I_2	第二应力张量不变量
I_3	第三应力张量不变量
J_1	第一应变张量偏量不变量
J_2	第二应变张量偏量不变量
J_3	第三应变张量偏量不变量
K_{oc}	混凝土体积模量
L	钢管混凝土构件长度
M	弯矩
M_u	钢管混凝土抗弯承载力
N	轴压力
N_u	钢管混凝土轴压承载力
N_E	钢管混凝土欧拉临界力($\frac{\pi^2 E_{sc} I_{sc}}{L^2}$)
p	紧箍力
r_c	核心混凝土半径

r_s	钢管混凝土外半径
S_{ij}	应力张量偏量($i, j = 1, 3$)
T	扭矩
T_u	钢管混凝土抗扭承载力
t	钢管壁厚
u_m	钢管混凝土构件最大挠度
u	沿 r 坐标方向的位移
v	沿 θ 坐标方向的位移
w	沿 z 坐标方向的位移
W_{sc}^M	钢管混凝土截面抗弯模量($W_{sc}^M = \frac{\pi}{4} r_s^3$)
W_{sc}^T	钢管混凝土截面抗扭模量($W_{sc}^T = \frac{\pi}{2} r_s^3$)
γ	剪应变
ϵ	正应变
ϵ_{ij}	应变张量($i, j = 1, 3$)
$d\epsilon_{ij}$	应变张量增量($i, j = 1, 3$)
ϵ_0	初始应变
θ	钢管混凝土构件总扭转角;极坐标变量
λ	钢管混凝土构件长细比($\lambda = 4L/D$)
σ	正应力(应力张量球量)
σ_{ij}	应力张量($i, j = 1, 3$)
$d\sigma$	应力张量球量增量
$d\sigma_{ij}$	应力张量增量($i, j = 1, 3$)
σ_0	初始正应力
σ_E	钢管混凝土欧拉临界应力($\sigma_E = \frac{E_{sc} A_{sc}}{\lambda^2}$)
τ	剪应力
τ_{sc}^p	钢管混凝土剪切组合比例极限

- τ_{ck}^y 钢管混凝土剪切组合屈服极限
- ξ 套箍系数 ($\xi = \frac{A_s f_y}{A_c f_{ck}} = \alpha \frac{f_y}{f_{ck}}$)
- α 钢管混凝土构件截面含钢率 ($\alpha = \frac{A_s}{A_c}$)
- δ_{ij} Krnoecker delta 常数 ($i, j = 1, 3$)
- μ_s 钢材弹性阶段泊松比
- μ_c 混凝土弹性阶段泊松比

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
1.1 钢管混凝土的特点	1
1.2 钢管混凝土的发展及应用范围.....	11
1.3 钢管混凝土力学性能分析现状.....	15
1.4 本书的主要内容.....	21
第二章 钢材和混凝土的本构关系模型	23
2.1 概述.....	23
2.2 钢材的本构关系模型.....	23
2.3 混凝土的本构关系模型.....	29
2.3.1 基于数学函数法的应力-应变关系	29
2.3.2 以弹性力学为基础的模型.....	36
2.3.3 以塑性力学为基础的模型.....	37
2.3.4 塑性-断裂理论	39
2.3.5 内时理论.....	46
2.3.6 连续损伤理论.....	51
第三章 钢管混凝土轴心受力时的力学性能	54
3.1 概述.....	54
3.2 轴压构件全过程分析.....	54
3.2.1 合成法.....	55

3.2.2	有限元法	57
3.3	组合轴压力学指标	62
3.3.1	组合轴压屈服点	67
3.3.2	组合轴压模量	68
3.4	轴压构件承载力计算	73
3.4.1	轴压强度承载力	73
3.4.2	轴压稳定承载力	73
3.5	轴心受拉构件的力学性能	87
第四章	钢管混凝土剪切力学性能	91
4.1	概述	91
4.2	纯扭构件全过程分析	91
4.3	组合剪切力学指标	96
4.3.1	组合剪切屈服点	98
4.3.2	组合剪切模量和剪切刚度	99
4.4	纯扭和剪切承载力计算	107
4.4.1	抗扭承载力	107
4.4.2	剪切强度	111
第五章	钢管混凝土纯弯力学性能	114
5.1	概述	114
5.2	纯弯构件全过程分析	114
5.2.1	合成法	115
5.2.2	有限元法	118
5.2.3	内力分析	126
5.2.4	受拉区混凝土	128
5.3	抗弯承载力的计算	131
5.4	组合抗弯刚度	138
第六章	钢管混凝土压弯构件的力学性能	147
6.1	概述	147

6.2 压弯构件全过程分析	147
6.2.1 合成法	150
6.2.2 有限元法	152
6.3 压弯构件承载力相关关系	158
第七章 钢管混凝土压扭构件的力学性能	166
7.1 概述	166
7.2 压扭构件全过程分析	166
7.3 压扭构件承载力相关关系	178
第八章 钢管混凝土弯扭构件的力学性能	181
8.1 概述	181
8.2 弯扭构件全过程分析	181
8.3 弯扭构件承载力相关关系	189
第九章 钢管混凝土压弯扭和压弯扭剪构件的力学性能	191
9.1 概述	191
9.2 压弯扭构件全过程分析	192
9.3 压弯扭构件承载力相关关系	203
9.4 压弯扭剪构件承载力相关关系	212
9.4.1 压弯剪承载力相关关系	212
9.4.2 压弯扭剪承载力相关关系	213
9.5 钢管混凝土统一理论	216
9.6 钢管混凝土力学性能研究展望	217
附录 钢管混凝土构件承载力设计计算	219
参考文献	239

CONTENTS

Preface

Foreword

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Characteristics of concrete filled steel tube	1
1.2 Developments and applications of concrete filled steel tube	11
1.3 Studies on the behaviors of concrete filled steel tube —state of the art	15
1.4 Aims of the book	21
Chapter 2 Constitutive Models of Steel and Concrete	23
2.1 Introduction	23
2.2 Constitutive models of the steel	23
2.3 Constitutive models of the concrete	29
2.3.1 Stress-strain relations based on mathematics function method	29
2.3.2 Models based on mechanics of elasticity	36
2.3.3 Models based on mechanics of plasticity	37
2.3.4 Plastic-fracture theory	39
2.3.5 Endochronic theory	46
2.3.6 Continuous damage theory	51
Chapter 3 Behaviors of Concrete Filled Steel Tube Subjected	

to Axial Loadings	54
3.1 Introduction	54
3.2 Complete analysis of the compressive member	54
3.2.1 Combined method	55
3.2.2 Finite element method	57
3.3 Composite compressive mechanics indexes	62
3.3.1 Composite compressive yielding point	67
3.3.2 Composite compressive modulus	68
3.4 Calculation of bearing capacity of the axial compressive member	73
3.4.1 Compressive strength	73
3.4.2 Compressive stability	73
3.5 Behaviors of the tensile member	87
Chapter 4 Behaviors of Concrete Filled Steel Tube Subjected to Shearing	91
4.1 Introduction	91
4.2 Complete analysis of torsional member	91
4.3 Composite shearing mechanics indexes	96
4.3.1 Yielding point of shearing	98
4.3.2 Composite shearing modulus and stiffness	99
4.4 Calculations of the strength of the torsional and shearing member	107
4.4.1 Torsional strength	107
4.4.2 Shearing strength	111
Chapter 5 Behaviors of Concrete Filled Steel Tube Subjected to Bending	114
5.1 Introduction	114
5.2 Complete analysis of bending member	114