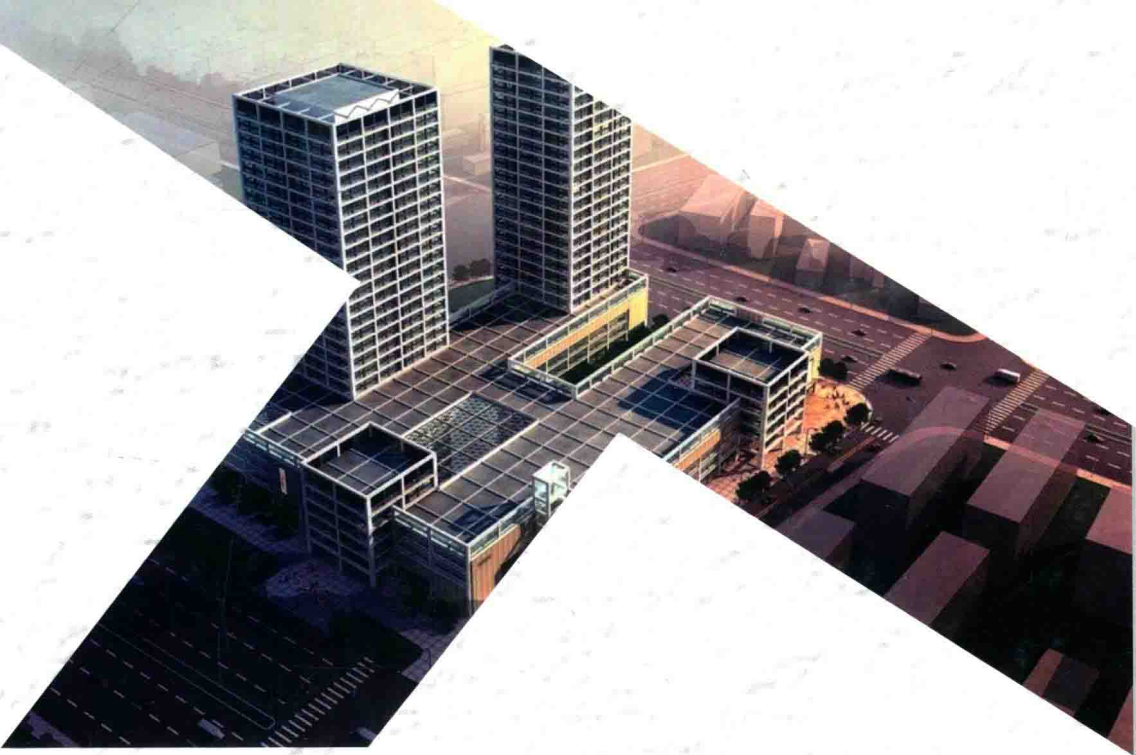




钢—混凝土组合结构

抗震及稳定性

余志武 蒋丽忠 著



科学出版社

钢-混凝土组合结构抗震 及稳定性

余志武 蒋丽忠 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在作者完成了大量的钢-混凝土组合梁、组合柱及其构成的组合框架结构的抗震性能及其稳定性试验研究的基础上,提出了经济合理的组合梁、单肢钢管混凝土柱、钢管混凝土格构柱和全组合框架结构的整体稳定及局部稳定的计算理论与设计方法,完善和发展了组合梁、钢管混凝土单肢柱及格构柱和组合框架结构体系的抗震分析理论与设计方法,为我国完善组合结构设计规程奠定了理论基础。

本书可供从事组合结构设计、教学和科研人员借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢-混凝土组合结构抗震及稳定性/余志武,蒋丽忠著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-044026-6

I. ①钢… II. ①余… ②蒋 III. ①钢筋混凝土结构-抗震结构②钢筋混凝土结构-结构稳定性 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 064691 号

责任编辑:任加林 / 责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉 / 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>

北京中科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 33 1/2

字数: 634 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈中科〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62135517 (BA08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

序

钢-混凝土组合结构综合了混凝土结构和钢结构的优点，具有“轻型大跨”、“预制装配”、“快速施工”等特点，同混凝土结构相比可以大大减轻自重、减小结构尺寸、抗震性能优良、施工方便等，同钢结构相比可以节省用钢量、提高结构整体和局部稳定性、增强耐久性等，组合结构更容易满足现代结构对功能的需求，适合我国基本建设的国情。近二十多年来，组合结构技术随着研究的深入而日趋成熟，在我国的高层与超高层建筑、市政桥梁、道路铁路大跨度桥梁和其他特殊建筑结构中得到了广泛的推广应用。

钢-混凝土组合结构中钢和混凝土之间的界面组合效应和滑移效应对组合结构的动力性能和稳定性能有着显著影响，作者带领的课题组历经十多年，从试验到理论、从构件到结构体系对组合结构抗震和稳定性开展了系列研究，建立了考虑滑移效应及组合效应的组合梁正、负弯矩区和组合框架的恢复力模型，提出了相应的抗震设计参数，构建了组合框架结构地震作用下弹塑性时程分析方法和基于位移与能量的组合框架抗震性能分析方法，发展了组合结构抗震计算与设计方法；提出了考虑组合效应的工字型、 Π 形和箱型组合梁整体和局部稳定的计算理论与设计方法，建立了钢管混凝土格构柱偏压及轴压稳定承载力和局部稳定性的理论计算公式及其设计方法，提出了考虑组合效应的组合框架屈曲荷载计算方法、计算长度法和简化塑性稳定设计方法，成果对组合结构抗震与稳定设计具有重要参考价值。



清华大学土木工程系教授
2015 年 6 月 16 日于清华园

前 言

组合结构是在钢结构和钢筋混凝土结构基础上发展起来的一种新型结构,同钢筋混凝土结构相比,可以减轻自重,减小地震作用,减小构件截面尺寸,增加有效使用空间,降低基础造价,节省支模工序和模板,缩短施工周期,增加构件和结构的延性等。同钢结构相比,可以减小用钢量,增大刚度,增加稳定性和整体性,增强结构抗火性和耐久性等。钢-混凝土组合结构在实际工程中已经得到了大量的应用,并显示出了广阔的应用前景,但对组合结构抗震及稳定性仍需要系统深入的理论分析和试验研究,目前我国组合结构现有规范规程与抗震及稳定性的相关条文已经不能满足组合结构快速发展的需求。

课题组经过近二十年的探索、研究和工程实践,将试验研究和理论分析成果总结于此书。本书共分三篇十六章,第一篇(第1~6章)主要介绍钢-混凝土组合梁的抗震及稳定研究,建立了组合梁正、负弯矩区的恢复力模型,全面分析了综合力比、剪力连接度和横向配筋率对组合梁延性和恢复力模型的影响,提出了相应的抗震设计参数,完善了简支组合梁抗震计算与设计方法,发展了连续组合梁抗震计算与设计方法;提出了经济合理的工字型组合梁和箱型组合梁的整体稳定和局部稳定的计算理论与设计方法。建立了工字型钢组合梁、II型组合梁和组合箱梁稳定性计算方法,与现行组合梁的稳定理论和计算方法进行了比较研究,提出了组合梁负弯矩区稳定设计的修正方法,建立了组合梁不设横向加劲肋时钢梁腹板的高厚比限值和加劲肋布置间距的计算方法。第二篇(第7~11章)主要介绍钢-混凝土组合柱的抗震及稳定研究,开展了钢管混凝土单肢柱和格构柱的抗震性能研究,得到不同参数对其抗震性能的影响;建立了钢管混凝土格构柱偏压及轴压稳定承载力和局部稳定性理论分析方法,提出了合理适用的钢管混凝土格构柱稳定承载力的半经验半理论计算公式及其设计方法;建立了单肢钢管混凝土轴压短柱的弹塑性全过程分析方法和偏压构件的模型柱法及非线性有限元法,完善了分层有限元计算理论,提出了单肢钢管混凝土组合柱承载力与变形实用计算公式及组合截面实用计算方法。第三篇(第12~16章)主要介绍钢-混凝土组合框架的抗震及稳定研究,提出了考虑组合效应的组合框架恢复力模型,建立了组合框架结构地震作用下弹塑性时程分析方法和基于位移与能量的组合框架抗震分析方法,并编制了相应的分析计算软件,提出了合理的组合框架的抗震设计参数范围;建立了考虑组合效应的组合框架屈曲荷载计算方法和计算长度法,提出了考虑组合效应以及半刚性连接的组合框架二阶分析方法,考虑二阶效应及半刚性连接性能对组合框架内力、位移的影响,提出了组合框架的简化塑性稳定设计方法。

在近二十年的研究中，作者持续不断地得到了国家自然科学基金的资助，没有国家自然科学基金的资助，系统地完成本书的研究内容是不可能的。本书的出版还得到了长江学者和创新团队发展计划资助项目（IRT1296）的资助。课题组的研究生们也是完成本书研究内容的主力军，他们是博士生丁发兴、戚菁菁、周旺宝、黄志，硕士生刘仲武、曹华、邹飞、汤欲坤、谭丽芳、董立冬、王臣、张保振、孙林林、李春丹、曾丽娟、伍振宇、刘海峰、李方方、陈善、高瑞彬、罗嫒、张翠、龚万莉等。在本书出版之际一并表示感谢！

由于作者水平有限，不当及疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

目 录

序

前言

第一篇 钢-混凝土组合梁

第 1 章 绪论	3
1.1 组合梁抗震性能研究现状	3
1.2 组合梁稳定性能研究现状	4
1.3 目前研究存在的问题	5
1.4 本篇主要研究内容	5
第 2 章 简支组合梁的抗震性能	7
2.1 简支组合梁抗震性能试验研究	7
2.1.1 试验概述	7
2.1.2 试验结果及分析	12
2.2 简支组合梁延性性能	28
2.2.1 延性的概念和表达	28
2.2.2 试验研究	30
2.2.3 组合梁极限延性比	30
2.2.4 组合梁破坏延性比	32
2.2.5 组合梁与普通钢筋混凝土梁延性的比较	34
2.3 简支组合梁的恢复力模型	35
2.3.1 简支组合梁的力学性能指标	35
2.3.2 简支组合的梁骨架曲线	36
2.3.3 简支组合梁的滞回规则	37
2.4 结论	40
第 3 章 连续组合梁的抗震性能	42
3.1 连续组合梁抗震性能试验研究	42
3.1.1 试验概述	42
3.1.2 试验结果及分析	46

3.2	连续组合梁延性性能	63
3.2.1	试验研究	63
3.2.2	组合梁极限延性比	64
3.2.3	组合梁破坏延性比	66
3.3	连续组合梁的恢复力模型	67
3.3.1	荷载-位移的骨架曲线模型	67
3.3.2	荷载-位移滞回规则	70
3.4	结论	74
第4章	组合箱梁的抗震性能	75
4.1	试验概述	75
4.1.1	试件设计与制作	75
4.1.2	加载装置	77
4.1.3	应变及挠度测点布置	78
4.2	试验结果及其分析	79
4.2.1	试件破坏形态	79
4.2.2	荷载-挠度滞回曲线	81
4.2.3	荷载-应变滞回曲线	82
4.2.4	荷载-挠度骨架曲线	87
4.2.5	延性分析	88
4.2.6	耗能能力分析	89
4.2.7	刚度退化规律研究	90
4.3	组合箱梁实用弯矩-曲率恢复力模型研究	90
4.3.1	基本假定	90
4.3.2	组合箱梁组合系数研究	91
4.3.3	组合箱梁屈服弯矩	93
4.3.4	弯矩-曲率骨架曲线模型	94
4.3.5	弯矩-曲率骨架曲线模型的验证	96
4.3.6	弯矩-曲率恢复力模型及其验证	97
4.4	结论	99
第5章	工字形组合梁稳定性	101
5.1	工字形组合梁负弯矩区受压下翼缘侧向弯曲失稳	101
5.1.1	基本假定	102

5.1.2	失稳模型	103
5.1.3	组合梁屈曲前横截面上工字钢的应力分布	104
5.1.4	组合梁在等端弯矩作用下侧向弯曲失稳的总势能	106
5.1.5	组合梁在等端弯矩作用下侧向弯曲失稳的临界弯矩	108
5.2	工字形组合梁负弯矩区受压下翼缘侧向弯扭失稳	110
5.2.1	失稳模型	110
5.2.2	组合梁在等端弯矩作用下侧向弯扭失稳的总势能	111
5.2.3	组合梁在等端弯矩作用下侧向弯扭失稳的临界弯矩	113
5.2.4	算例分析	116
5.3	Π 形组合梁的侧向屈曲失稳	118
5.3.1	Π 形组合梁弯扭屈曲	119
5.3.2	Π 形组合梁弯扭屈曲简化计算方法	127
5.3.3	算例分析	132
5.4	组合梁的局部稳定	139
5.4.1	简支组合梁腹板的稳定分析	140
5.4.2	连续组合梁腹板的稳定分析	142
5.5	结论	152
第 6 章	组合箱梁畸变屈曲分析	154
6.1	基本假定	154
6.2	腹板约束系数	155
6.2.1	转动约束刚度	155
6.2.2	侧向约束刚度	158
6.2.3	关于 k_x 与 k_ϕ 的讨论	159
6.3	屈曲弯矩临界荷载	160
6.3.1	中性平衡微分方程	160
6.3.2	钢箱梁反对称弯曲失稳临界弯矩	163
6.3.3	钢箱梁正对称弯曲失稳临界弯矩	163
6.4	算例分析	164
6.4.1	其他侧向失稳模型和计算方法	164
6.4.2	算例分析	165
6.5	结论	166
参考文献		167

第二篇 钢管混凝土组合柱

第 7 章 绪论	173
7.1 钢管混凝土组合柱抗震性能研究现状	173
7.2 钢管混凝土组合柱稳定承载力研究现状	174
7.2.1 单肢钢管混凝土组合柱	174
7.2.2 钢管混凝土组合格构柱	174
7.3 目前研究存在的问题	175
7.4 本篇主要研究内容	176
第 8 章 单肢钢管混凝土组合柱的抗震性能	177
8.1 单肢钢管混凝土组合柱抗震性能试验概况	177
8.2 单肢钢管混凝土组合柱抗震性能试验结果	178
8.2.1 试验现象描述	178
8.2.2 滞回曲线特征	180
8.3 单肢钢管混凝土组合柱抗震性能分析	181
8.3.1 极限层间相对位移	181
8.3.2 位移延性比	181
8.3.3 极限承载力	181
8.4 结论	182
第 9 章 钢管混凝土格构柱的抗震性能	183
9.1 钢管混凝土格构柱抗震性能试验概况	183
9.2 试验结果及分析	185
9.2.1 试验现象	185
9.2.2 荷载-位移滞回曲线	186
9.2.3 荷载-位移骨架曲线	187
9.2.4 荷载-应变曲线	188
9.2.5 变形恢复能力	190
9.2.6 延性	191
9.2.7 刚度退化	191
9.3 四肢钢管混凝土格构柱抗震性能参数分析	192
9.3.1 轴压比	193
9.3.2 长细比	195
9.3.3 混凝土强度	196

9.3.4	肢管钢材屈服强度	198
9.3.5	缀管截面尺寸	200
9.3.6	缀管钢材屈服强度	201
9.4	钢管混凝土格构柱恢复力模型	202
9.4.1	$P-\Delta$ 骨架曲线	202
9.4.2	$P-\Delta$ 滞回曲线	207
9.5	结论	210
第 10 章	单肢钢管混凝土组合柱的稳定承载力	211
10.1	单肢钢管混凝土组合柱稳定承载力试验研究	211
10.1.1	试验概述	211
10.1.2	试验结果及分析	215
10.2	单肢钢管混凝土组合柱稳定承载力理论分析	226
10.2.1	基本假设	226
10.2.2	轴压短柱弹塑性全过程分析	229
10.2.3	偏压构件、截面全过程分析	239
10.3	单肢钢管混凝土组合柱稳定承载力和变形实用计算公式	247
10.3.1	承载力主要参数影响因素分析	247
10.3.2	承载力实用计算公式	252
10.3.3	截面刚度实用计算公式	258
10.4	单肢钢管混凝土组合截面实用计算方法	260
10.4.1	轴力(组合应力)-应变关系实用计算方法	260
10.4.2	轴力-弯矩-曲率关系实用计算方法	262
10.4.3	组合截面实用计算方法在有限元法中的应用	266
10.5	单肢钢管混凝土组合柱钢管局部屈曲分析	269
10.5.1	钢管线性小挠度屈曲理论分析	269
10.5.2	非线性大挠度屈曲理论分析	272
10.5.3	非轴对称变形的线性大挠度屈曲理论分析	274
10.5.4	算列分析	275
10.6	结论	276
第 11 章	钢管混凝土格构柱的稳定承载力	278
11.1	钢管混凝土格构柱稳定承载力试验研究	278
11.1.1	试验概况	278
11.1.2	试验结果分析	280

11.1.3	试验结果与 CECS 28:90 规程计算结果的比较	283
11.2	钢管混凝土格构柱偏压极限承载力分段合成法	284
11.2.1	基本假设	284
11.2.2	钢管的应力与应变关系	284
11.2.3	核心混凝土的应力与应变关系	285
11.2.4	考虑剪切变形的钢管混凝土格构柱平衡方程	286
11.2.5	数值算法的实现	289
11.2.6	数值算例	290
11.3	钢管混凝土格构柱偏压极限承载力模型柱法	292
11.3.1	基本假设	292
11.3.2	中截面平衡方程的推导	292
11.3.3	数值算法的实现	293
11.3.4	数值算例	293
11.4	钢管混凝土格构柱轴压极限承载力的数值计算方法	295
11.4.1	基本假设	295
11.4.2	考虑初弯曲和剪切变形的中截面平衡关系	296
11.4.3	有初弯曲轴压杆极限荷载数值算法的实现	298
11.4.4	计算结果	299
11.5	钢管混凝土格构柱稳定承载力影响因素分析	300
11.5.1	偏心折减系数与换算长细比关系	300
11.5.2	偏心折减系数分析	301
11.5.3	长细比折减系数分析	304
11.6	钢管混凝土格构柱稳定承载力设计计算方法	308
11.6.1	偏心折减系数	308
11.6.2	长细比折减系数公式原型	309
11.6.3	混凝土强度对长细比折减系数的影响分析	312
11.6.4	钢材强度对长细比折减系数的影响分析	313
11.6.5	等效长细比关于钢材及混凝土强度的修正分析	313
11.6.6	缀条壁厚对长细比折减系数影响分析	315
11.6.7	长细比折减系数半理论半经验公式	315
11.7	格构柱缀条钢管的稳定性分析	317
11.7.1	缀条钢管轴压整体屈曲荷载的计算	317
11.7.2	缀条钢管轴压整体稳定计算	319
11.7.3	格构柱缀条钢管的局部屈曲分析	319

11.8 结论	320
参考文献	322
第三篇 钢-混凝土组合结构	
第 12 章 绪论	329
12.1 组合结构抗震性能研究现状	329
12.2 组合结构稳定性研究现状	330
12.3 目前研究存在的问题	331
12.4 本篇主要研究内容	331
第 13 章 组合框架结构抗震性能	333
13.1 组合框架抗震性能试验研究	333
13.1.1 试验概述	333
13.1.2 试验结果及分析	340
13.2 组合框架抗震性能分析	346
13.2.1 组合框架的延性	346
13.2.2 组合框架的强度退化	347
13.2.3 组合框架的刚度退化	349
13.2.4 组合框架的耗能能力	350
13.3 组合框架的恢复力模型	351
13.3.1 组合框架 $P-\Delta$ 骨架曲线影响参数分析	351
13.3.2 组合框架二阶弹性分析	353
13.3.3 组合框架 $P-\Delta$ 骨架曲线模型	356
13.4 结论	365
第 14 章 组合框架结构地震弹塑性时程分析	366
14.1 组合框架结构分析模型	366
14.2 组合框架构件的简化弯矩-曲率恢复力模型	367
14.2.1 组合梁恢复力模型参数确定	368
14.2.2 钢管混凝土柱恢复力模型参数确定	370
14.3 组合框架动力有限元计算理论	370
14.3.1 单元瞬时质量矩阵	370
14.3.2 单元瞬时刚度矩阵	371
14.3.3 单元瞬时阻尼矩阵	373

14.4	地震波的选择与输入	373
14.5	组合结构弹塑性地震响应的数值分析以及程序设计	374
14.6	算例分析	377
14.6.1	算例一	377
14.6.2	算例二	380
14.7	结论	382
第 15 章	基于性能的组合框架结构抗震分析	383
15.1	组合框架结构改进的静力弹塑性反应分析	383
15.1.1	等效单自由度体系	384
15.1.2	弹塑性需求谱	386
15.1.3	算例分析	388
15.2	组合框架结构目标位移的计算方法	391
15.2.1	组合框架结构侧移的近似计算	391
15.2.2	钢管混凝土柱的组合剪切刚度和组合轴向刚度	395
15.2.3	组合框架结构的延性系数	398
15.2.4	组合框架结构层间屈服位移	400
15.2.5	相同抗弯刚度下组合框架结构梁柱承载力验算方法	407
15.2.6	算例分析	409
15.3	组合框架结构基于能量的地震反应分析	415
15.3.1	能量定义及方程求解	416
15.3.2	能量方程求解	421
15.3.3	组合框架单自由度体系能量地震反应分析	422
15.3.4	组合框架多自由度体系能量地震反应分析	425
15.3.5	组合结构能量地震反应分析	430
15.3.6	组合框架能量分析方法与有限元分析对比	432
15.4	地震作用下组合框架结构能量分配规律分析	435
15.4.1	地震波的选用	435
15.4.2	组合框架有限元计算模型	438
15.4.3	组合框架总输入能量分配规律	441
15.4.4	组合框架楼层间能量分配	447
15.4.5	组合框架中柱、梁板间能量分配规律	453
15.5	组合框架结构抗震性能评价	457
15.5.1	RC 框架与组合框架抗震性能对比分析	457
15.5.2	组合框架结构抗震性能评价	462

15.5.3 基于能量的组合框架结构抗震性能评价方法	464
15.6 结论	465
第 16 章 组合框架结构的稳定性	467
16.1 考虑组合效应的组合框架弹性稳定分析	467
16.1.1 组合框架的屈曲模态	467
16.1.2 弹性屈曲荷载的求解原理	467
16.1.3 梁柱单元的几何刚度矩阵	468
16.1.4 考虑组合效应的组合框架弹性屈曲荷载	471
16.1.5 算例分析	473
16.2 考虑组合效应的组合框架计算长度法	475
16.2.1 对传统方法基本假设的修正	475
16.2.2 组合框架节点的初始转动刚度	478
16.2.3 组合框架梁、柱的转角位移方程	479
16.2.4 考虑组合效应的柱计算长度系数的求解方程	481
16.2.5 算例分析	486
16.3 考虑二阶效应的组合框架稳定分析	487
16.3.1 组合框架二阶弹性分析方法	488
16.3.2 二阶效应对组合框架内力和位移的影响	491
16.3.3 半刚性连接对组合框架的二阶内力、位移的影响	494
16.3.4 半刚性组合框架的二阶分析方法	499
16.3.5 算例分析	501
16.4 组合框架的简化稳定设计方法	503
16.4.1 组合框架简化稳定设计方法	503
16.4.2 节点塑性极限转角	505
16.4.3 钢柱稳定设计	508
16.4.4 算例分析	511
16.5 结论	513
参考文献	515

第一篇

钢-混凝土组合梁

