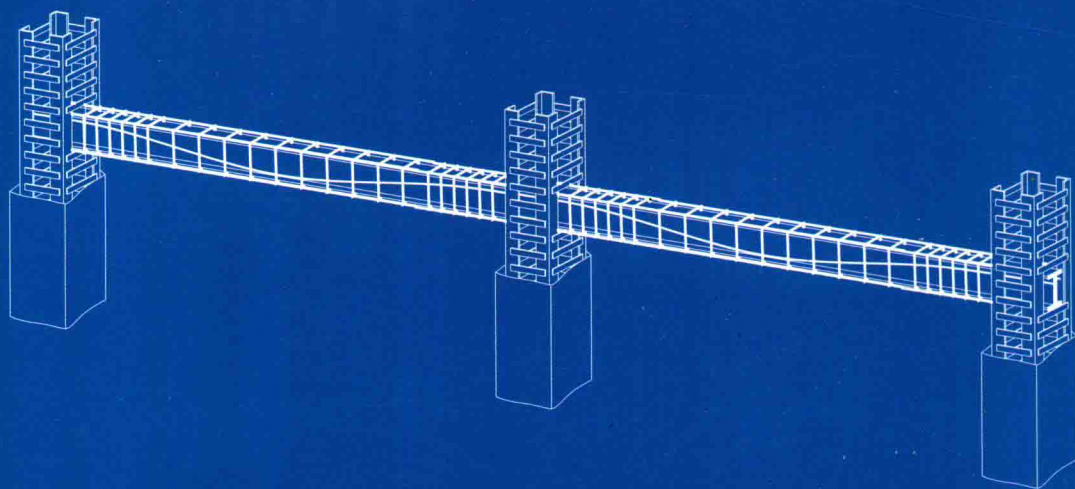


内置型钢混凝土组合结构 受力性能及设计方法

郑文忠 王 琨 著



科学出版社

内置型钢混凝土组合结构 受力性能及设计方法

郑文忠 王 琨 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了内置型钢混凝土简支梁和连续梁及角钢混凝土柱的受力性能与设计计算方法,阐述了由角钢混凝土柱和型钢混凝土梁通过节点所组成的框架的抗震性能,分析了这种新型框架用于套建增层时的抗地震倒塌性能,构建了这种框架用于抗震设防区套建增层的决策系统,并辅以实例。

本书共分9章。第1章介绍了内置型钢混凝土梁、角钢混凝土柱及由二者通过节点所组成框架的概念。第2~5章为内置型钢混凝土简支梁及连续梁的受力性能与设计。第6章为角钢混凝土柱受力性能与设计。第7章为由内置型钢混凝土梁和角钢混凝土柱通过节点所组成新型框架的抗震性能。第8、9章为这种新型框架用于套建增层时的抗地震倒塌性能、决策系统及工程实例。

本书可供土木工程技术人员和高等院校土建类专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

内置型钢混凝土组合结构受力性能及设计方法/郑文忠,王琨著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-046024-0

I. ①内… II. ①郑…②王… III. ①型钢混凝土—组合结构—受力性能—研究 IV. ①TU398

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第246348号

责任编辑: 王钰 / 责任校对: 王万红

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 一克米工作室

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>

新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11月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张: 13 1/2

字数: 303 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新科〉)

销售部电话 010-62134988

编辑部电话 010-62130750

版权所有, 侵权必究

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

序

内置型钢混凝土结构是在混凝土及预应力混凝土结构构件内部配置型钢,以增大截面的刚度和承载力,有效控制裂缝,在跨度和作用荷载不变时可明显减小结构构件截面尺寸,在结构构件截面尺寸和荷载不变时跨度可明显增大的一种新型结构。

本书旨在介绍内置 H 型钢混凝土简支梁和连续梁、内置钢箱混凝土简支梁和连续梁、内置角钢混凝土柱的受力性能与设计计算方法,阐述由内置角钢混凝土柱和内置型钢混凝土梁通过节点所组成的框架具有良好的抗震性能,研发这种框架可用于抗震设防区套建增层的决策系统。

本书具有如下特点:

1. 发现内置型钢混凝土结构构件的正截面从加荷到破坏符合平截面假定,并按此假定建立了内置型钢混凝土结构构件承载力简化计算公式。考虑到钢筋混凝土构件刚度会随使用时间延长而减小,而型钢刚度不随使用时间延长而变化,提出了使用阶段对称内置型钢混凝土梁抗弯刚度取型钢刚度与外围钢筋混凝土梁在其分担弯矩下刚度之和的简化计算方法。针对受拉翼缘和受拉区腹板对裂缝分布与开展的影响不同于受拉钢筋这一客观事实,提出了合理考虑内置型钢的受拉翼缘和受拉区腹板对裂缝分布与开展影响的内置型钢混凝土梁裂缝分布与开展的计算方法。

2. 提出了内置型钢混凝土连续梁等效塑性铰区长度和塑性转角计算公式,建立了以达到承载能力极限状态时支座控制截面外载作用下弹性弯矩计算值与内置型钢实际承担的弯矩之差为调幅对象、以相对塑性转角为自变量的弯矩调幅系数计算公式。不但为内置型钢混凝土连续梁弯矩调幅设计提供了依据,而且为结束长期以来连续梁和框架弯矩调幅系数取单一固定值的不合理局面提供了思路。

3. 提出了以内置型钢混凝土梁作框架梁、以内置角钢混凝土柱作框架柱的新型框架结构。这种新型框架可实现施工阶段由框架梁的内置型钢承担流态混凝土自重及施工荷载,在使用阶段由内置型钢混凝土梁与内置角钢混凝土柱通过节点连接形成的框架承担高于施工阶段所承受荷载的新增荷载,可有效保证套建增层过程中原建筑的正常运营。所研发的这种框架用于抗震设防区套建增层的决策系统,可为设计方案选择和建设单位决策提供技术支持。

本书作者郑文忠同志是教育部长江学者奖励计划特聘教授、国家百千万人才工程入选者、享受国务院政府特殊津贴专家。他长期从事混凝土及预应力混凝土结构的研究工作,合作起草/审查《混凝土结构设计规范》、《无粘结预应力混凝土结构技术规程》、《混凝土结构工程施工规范》、《建筑结构荷载规范》等多部工程建设标准,完成多项典型工

程的结构设计，合作完成多项试点工程的设计方案和施工方案的论证。相信本书的出版可为内置型钢混凝土结构在工程中的合理应用提供一定参考。



谢礼立

2015年11月10日

前 言

随着国民经济的快速发展,我国每年约有 15000 栋既有建筑被拆除重建。为避免拆除重建带来的原建筑使用功能中断、建筑垃圾污染环境以及由此造成的经济损失等问题,套建增层技术受到重视。

套建增层是指在基本不触动原建筑及其基础的前提下,通过外套结构增加若干新楼层的既有建筑改造技术。套建增层具有结构受力明确、新增层数多、增层施工过程中原建筑可正常使用等优点,同时可避免拆除重建带来的系列问题。

在“施工阶段自承重混凝土楼盖结构”设计思想的指导下,基于套建增层需要,作者提出了一种以内置型钢混凝土梁作框架梁、以角钢混凝土柱作框架柱的新型框架结构。

该套建增层框架结构,在施工阶段由框架梁的内置型钢承担该梁流态混凝土自重及施工荷载,在使用阶段由内置型钢混凝土梁与角钢混凝土柱通过节点连接成整体,形成外套框架共同承担新增荷载。此外,对于巨型框架梁或大型转换梁,为减少施工阶段密布钢管支撑,采用内置型钢混凝土转换梁,通过其内置型钢实现挂模施工,也是较合理的选择之一。还有些房屋,需跨越地下人防、地铁、河流、山涧来建造,采用常规支模施工方案过于困难,也可通过内置型钢实现挂模施工。

本书介绍了内置型钢混凝土简支梁和连续梁及角钢混凝土柱的受力性能与设计计算方法,阐述了由角钢混凝土柱和型钢混凝土梁通过节点所组成的框架的抗震性能,分析了这种新型框架用于套建增层时的抗地震倒塌性能,构建了这种框架用于抗震设防区套建增层的决策系统,并辅以实例。

在本书出版之际,要特别感谢各位前辈和同仁,是您们的文献资料给我以参考和启发;要衷心感谢我的研究生刘铁、解恒燕、计静、张昊宇、王琨等,是你们用默默的劳动协助我完成具体工作;要真诚感谢科技部、教育部、黑龙江省科技厅、哈尔滨市科技局和一直给予我大力支持的哈尔滨工业大学,是国家科技支撑计划、教育部长江学者奖励计划、省市科技计划和哈尔滨工业大学优秀科技创新团队支持计划提供的资助,支持我和团队完成了相关的研究工作。

限于作者水平,本书如有不妥之处,恳请读者批评指正。



2015 年 9 月

目 录

序 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 内置型钢混凝土梁	3
1.3 内置钢箱混凝土梁	4
1.4 内置空腹式型钢混凝土柱	5
1.5 组合框架结构	5
1.6 存在问题	7
参考文献	7
第 2 章 内置 H 型钢预应力混凝土简支梁	10
2.1 引言	10
2.2 试验概况	10
2.2.1 试件设计与制作	10
2.2.2 材料性能	11
2.2.3 试验装置及测点布置	11
2.2.4 加载制度	13
2.3 试验现象	13
2.4 试验结果及分析	14
2.5 正截面计算方法	18
2.5.1 正截面受弯承载力	18
2.5.2 裂缝宽度	20
2.5.3 刚度计算	23
2.6 本章小结	24
参考文献	24
第 3 章 内置 H 型钢预应力混凝土连续梁	26
3.1 引言	26
3.2 试验概况	26
3.2.1 试件设计与制作	26
3.2.2 材料性能	28

3.2.3	试验装置及测点布置	29
3.2.4	连续梁形成与支座沉降差控制	30
3.2.5	加载制度	31
3.3	试验现象	31
3.3.1	试验梁 YL-1	31
3.3.2	试验梁 YL-2	32
3.3.3	试验梁 YL-3	33
3.4	所得启示	35
3.5	试验结果及验证	35
3.6	数值分析	36
3.6.1	材料的本构模型	36
3.6.2	截面弯矩-曲率分析	37
3.6.3	参数分析	39
3.7	连续梁内力重分布性能	41
3.8	连续梁塑性铰性能	43
3.8.1	塑性铰的形成和发展	43
3.8.2	等效塑性铰长度	44
3.8.3	等效塑性铰区长度的取值	45
3.9	连续梁弯矩调幅分析	45
3.9.1	分析思路	45
3.9.2	以中支座相对塑性转角为自变量的弯矩调幅系数计算公式	46
3.9.3	基于中支座相对受压区高度的弯矩调幅系数计算公式	47
3.10	本章小结	48
	参考文献	48
第4章	内置钢箱混凝土筒支梁	50
4.1	引言	50
4.2	试验概况	50
4.2.1	试件设计与制作	50
4.2.2	材料性能	51
4.2.3	试验装置及测点布置	52
4.2.4	加载制度	53
4.3	试验现象	54
4.4	试验结果与分析	55
4.5	正截面计算方法	57
4.5.1	正截面受弯承载力	57
4.5.2	裂缝宽度	58
4.5.3	刚度	62

4.6 本章小结	64
参考文献	64
第 5 章 内置钢箱混凝土连续梁	65
5.1 引言	65
5.2 试验概况	65
5.2.1 试验梁设计与制作	65
5.2.2 材料性能	69
5.2.3 试验装置及测点布置	71
5.2.4 连续梁的形成及支座沉降差的控制	74
5.2.5 加载制度	75
5.3 试验现象	75
5.3.1 梁 L-1	75
5.3.2 梁 YL	77
5.4 所得启示	81
5.5 连续梁破坏标志	81
5.6 试验结果及验证	82
5.6.1 试验梁开裂弯矩及极限弯矩实测结果	82
5.6.2 跨中变形实测结果	83
5.6.3 无粘结筋应力增量实测结果	86
5.6.4 内置钢箱残余变形	87
5.7 连续梁内力重分布现象	87
5.8 连续梁塑性铰性能	90
5.8.1 塑性铰的形成和发展	90
5.8.2 等效塑性铰区长度的确定	91
5.8.3 等效塑性铰区长度的取值	94
5.9 连续梁弯矩调幅分析	94
5.9.1 分析思路	94
5.9.2 基于中支座塑性转角的弯矩调幅系数计算公式	95
5.9.3 基于中支座混凝土相对受压区高度的弯矩调幅系数计算公式	97
5.10 本章小结	98
参考文献	98
第 6 章 角钢混凝土柱	99
6.1 引言	99
6.2 试验概况	99
6.2.1 试件设计与制作	99
6.2.2 试验装置与加载制度	101

6.3 试验结果与分析	102
6.3.1 试验过程及破坏形态	102
6.3.2 钢材应变	103
6.3.3 滞回曲线	104
6.3.4 耗能性能	106
6.3.5 抗力衰减	108
6.3.6 刚度退化	109
6.3.7 骨架曲线	110
6.3.8 延性	111
6.3.9 抗震构造措施	113
6.4 正截面受力性能	113
6.4.1 试验得到的角钢混凝土柱正截面承载力	113
6.4.2 大偏压角钢混凝土柱正截面承载力	114
6.4.3 小偏压角钢混凝土柱正截面承载力	116
6.5 力学性能理论分析	119
6.5.1 材料的本构模型	119
6.5.2 截面弯矩-轴力-曲率分析	121
6.5.3 荷载-位移非线性分析	122
6.5.4 参数分析	124
6.5.5 恢复力模型	127
6.6 本章小结	134
参考文献	134
 第7章 型钢混凝土梁-角钢混凝土柱框架抗震性能	 136
7.1 引言	136
7.2 试验概况	137
7.2.1 试件设计与制作	137
7.2.2 材料性能	139
7.2.3 量测内容及测点布置	139
7.2.4 试验装置及加载制度	141
7.3 试验结果与分析	142
7.3.1 试验过程及现象描述	142
7.3.2 塑性铰区型钢的应变变化	144
7.3.3 裂缝分布及破坏形态	149
7.3.4 滞回曲线及骨架曲线	150
7.3.5 耗能能力	152
7.3.6 刚度退化	152
7.3.7 变形恢复性能	152

7.3.8 与其他类型框架抗震性能的比较	153
7.4 框架滞回性能分析	153
7.4.1 基本假定	154
7.4.2 材料本构关系	154
7.4.3 数值分析模型的建立	156
7.4.4 收敛准则及负刚度处理	158
7.4.5 计算结果	158
7.4.6 参数分析	159
7.4.7 滞回曲线的特点	174
7.4.8 水平荷载-位移恢复力模型	174
7.5 本章小结	177
参考文献	177
第8章 套建增层预应力型钢混凝土框架抗倒塌性能分析	179
8.1 引言	179
8.2 模型验证	179
8.2.1 数值模型建立	179
8.2.2 材料本构关系	180
8.2.3 梁柱截面恢复力模型	180
8.2.4 计算结果	181
8.3 结构分析模型	181
8.4 地震波的选取	182
8.5 地震反应分析	182
8.5.1 8度区罕遇地震作用下时程分析	182
8.5.2 7度区罕遇地震作用下时程分析	187
8.6 本章小结	188
参考文献	189
第9章 套建增层框架抗震性能决策系统及工程实例	190
9.1 引言	190
9.2 套建增层框架抗震性能决策系统简介	190
9.2.1 分析对象	190
9.2.2 套建增层框架抗震性能决策系统编制过程	191
9.3 套建增层框架的设计建议	193
9.3.1 外套分离式预应力钢筋混凝土框架	193
9.3.2 外套分离式巨型框架	194
9.3.3 设计建议	197
9.4 应用实例	198

9.4.1 实例背景	198
9.4.2 决策系统的应用	198
9.4.3 综合评价	203
9.5 本章小结	203
参考文献	204

第1章 绪 论

1.1 概 述

型钢混凝土结构是在混凝土构件中配置型钢（如工字钢、H型钢、钢箱、钢管或角钢）以减小构件截面尺寸，增大构件刚度与承载力的一种组合结构形式，已在大跨、重荷及超高层结构中得到了广泛的应用^[1]。预应力型钢混凝土结构融合了型钢混凝土结构与预应力混凝土结构的优点：内置型钢能保证型钢混凝土结构具有良好的延性与耗能能力；对型钢混凝土梁施加预应力后，可提高型钢混凝土梁截面承载力、减小截面尺寸、控制型钢混凝土梁的挠度与裂缝宽度。因此，预应力型钢混凝土结构能非常有效地适应现代建筑高性能、集约化的发展趋势，满足现代结构对大跨度及抗震性能的需求。目前，很多学者对梁柱均采用内置H型钢的预应力型钢混凝土框架开展了相关研究，并取得了丰硕的成果^[2, 3]。由于型钢混凝土结构内置型钢截面形式的多样性及工程对结构适用性要求的多元性，作者从工程实践出发，开展了预应力内置H型钢混凝土梁、内置钢箱混凝土梁、角钢混凝土柱及相关组合框架等的受力性能的一系列研究。

目前，我国的房屋建设已从“新建为主”过渡至“新建与维修、加固、改造相结合”的阶段。在这个阶段，采用增层技术与拆除重建相比，在达到增加同样建筑面积的目的下，房屋增层可以避免拆除重建带来的重要房屋使用功能中断、建筑垃圾污染环境及经济损失等问题^[4, 5]。分离式套建增层是指在基本不触动既有建筑及其基础的前提下，通过套结构越过既有建筑，在其上增加若干层新建筑物的技术。其与直接增层相比具有如下优点：首先，新增楼层与既有建筑是基本分离的，由外套结构独立承担新增楼层荷载，结构受力较为明确，可完全按新建建筑进行设计；其次，增层层数不会受到既有建筑情况的影响，可增加数层至数十层；此外，套建增层还可避免因拆除重建而带来的其他棘手问题。作者开展了罕遇地震下套建增层结构倒塌分析，丰富了套建增层技术^[6~8]。

对已有套建增层工程实践进行总结和思考，我们发现，原房屋屋盖一般难以承受新增套建结构首层传来的自重及施工荷载，为此在哈尔滨医科大学第一临床医院套建增层改造中，采用钢桁架围托预应力钢筋混凝土梁以承担新增一层楼盖流态混凝土自重和施工荷载^[9]。这样将施工措施和结构受力分开考虑，建完后围托用的钢桁架需切割掉，造成一定浪费。为避免这种浪费，在绥芬河工程实践中，我们提出了“施工阶段自承重混凝土楼盖结构”的设计思想^[10]，即在施工阶段由预应力钢桁架承担框架梁自重及施工荷载，在使用阶段由内置预应力钢桁架混凝土组合梁与外套钢筋混凝土柱通过节点连接成整体，形成外套框架共同承担新增荷载。但实践表明采用钢桁架仍存在以下问题：钢桁架采用角钢作为弦杆，角钢在通过节点柱时占据空间太大，造成柱的纵筋布置不太方

便；若采用圆（矩形）钢管作为桁架弦杆，则存在弦管压陷承载力太低的问题，需要给弦杆内注浆^[11]，从而导致施工复杂。

为构建合理的能够实现施工阶段新增第一层楼盖自承重的套建增层结构型式，我们提出了一种以内置 H 型钢预应力混凝土梁作框架梁、以配置角钢的角钢混凝土柱作框架柱的型钢混凝土框架，可用于套建增层结构，如图 1-1 所示^[12]。若柱配置 4 个角钢，其截面如图 1-2（a）所示；若柱配置 8 个角钢，其截面如图 1-2（b）所示。由于 4 个边长为 200mm，厚度为 24mm 的角钢面积大致相当于 76 Φ 25 的钢筋面积，故采用配置大角钢的混凝土柱作为套建结构框架柱是可行的。当然，由内置 H 型钢预应力混凝土梁和角钢混凝土柱通过节点构成的框架，也适用于对大跨度和重型荷载有特殊要求的一般新建工程。

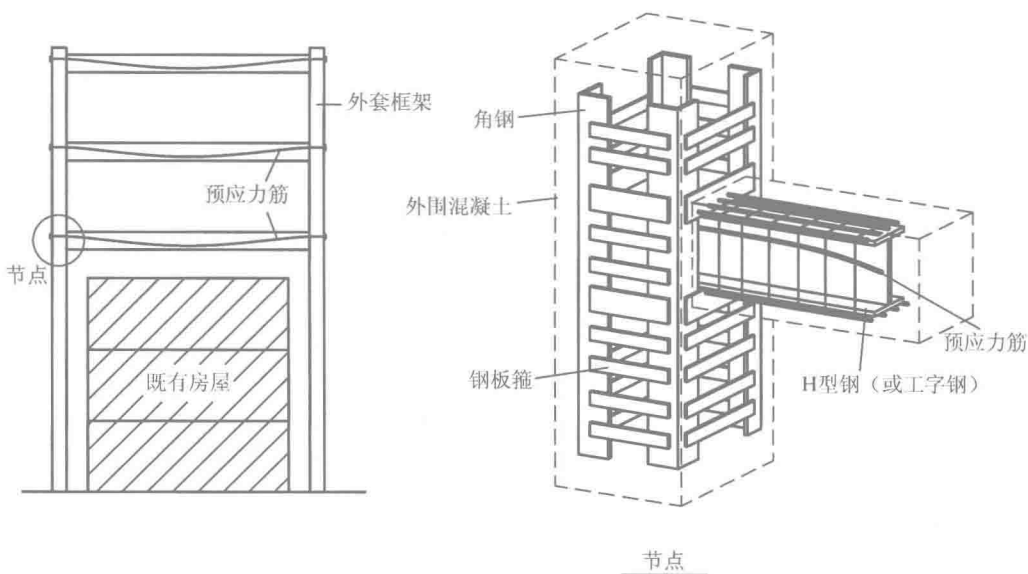


图 1-1 套建增层预应力钢骨混凝土框架和节点示意图

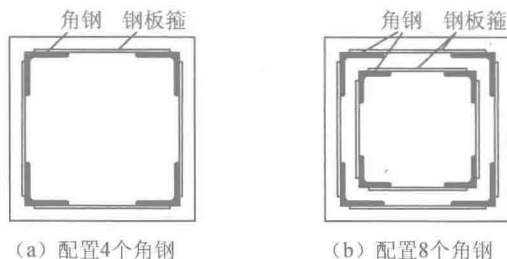


图 1-2 角钢混凝土柱截面

内置钢箱混凝土梁是指采用槽钢或钢板焊接成钢箱，然后在钢箱外围绑扎钢筋骨架并浇筑混凝土而形成的由混凝土、内置钢箱及钢筋骨架组合而成的梁。内置钢箱混凝土梁既可用于常规新建工程，也可用于既有房屋的套建增层结构新增第一层楼盖的主梁或次梁，还可用于巨型框架房屋巨型结构层的框架梁或次梁。用于常规新建结构

可明显降低结构自重。因可在钢箱下挂底模,并以底模为支承设置侧模,在施工阶段钢箱可承受流态混凝土自重及施工荷载,故内置钢箱混凝土梁在用于既有房屋的套建增层结构新增第一层楼盖和巨型框架结构房屋建造时,可实现施工阶段楼盖的自承重,以保障在套建增层施工中既有建筑的安全和降低巨型框架结构房屋施工的支撑费用,并缩短施工工期。

1.2 内置型钢混凝土梁

在混凝土梁的内置 H 型钢上、下翼缘之间合理布置并张拉预应力筋,产生预定量值的等效荷载,使得控制截面实际受到的净荷载效应明显减小的新型梁称为内置 H 型钢预应力混凝土梁。内置 H 型钢预应力混凝土梁截面如图 1-3 所示。这类梁兼具钢梁与预应力混凝土梁的双重优点,有广阔的应用空间。

自 20 世纪 80 年代以来,我国型钢混凝土组合结构发展迅猛。近年来,人们意识到预应力型钢混凝土 (prestressed steel reinforced concrete, PSRC) 梁融合了预应力混凝土梁和型钢混凝土 (简称 SRC) 梁的优点,如承载力高、截面刚度大、挠度容易控制、能显著减小梁高以及有较大的跨高比等,各科研单位先后对预应力型钢混凝土梁进行了较为系统的试验及理论研究。

刘军进、吕志涛等^[13]最早对 PSRC 梁进行了理论分析和试验研究,按临界受压区高度系数所处范围的不同采用不同的计算公式,提出了 PSRC 梁受弯承载力计算方法。

傅传国^[14]进行了 13 根 PSRC 和 SRC 简支梁受弯性能试验研究,结果表明 PSRC 梁比 SRC 梁具有更大的刚度和更好的抗裂性能,并采用改进的综合内力法建立了 PSRC 简支梁正截面受弯承载力及裂缝宽度计算公式。

梁晶^[15]采用有限元软件 ANSYS 对 PSRC 梁建立了有限元模型,从梁的受力过程、变形发展、混凝土、钢筋、型钢的应力分布进行非线性有限元分析,对 PSRC 梁的控制设计参数如预应力度、型钢配钢率和普通钢筋的配置进行研究。

李峰等^[16]进行了 2 根 SRC 梁和 2 根 PSRC 梁的受力性能试验,描述了梁的受弯破坏过程,分析了不同型钢布置下梁的受力性能和工作状态。结果表明,预应力能提高型钢混凝土梁的承载力和抗裂性能,但降低了延性;PSRC 和 SRC 梁均以型钢受拉翼缘受拉屈服作为截面屈服的标志;型钢偏向受拉区布置对改善梁的受力性能和控制变形更为有利;预应力型钢混凝土梁截面配置合理,其受弯破坏过程与普通钢筋混凝土适筋梁类似,以受压区混凝土压溃为破坏标志。

薛伟辰^[17]完成了 4 根 PSRC 和 SRC 梁的低周往复荷载试验,结果表明 PSRC 梁的滞回曲线呈明显的梭形,表现出较大的位移延性,具有良好的耗能能力和变形恢复性能,并基于试验结果建立了 PSRC 梁截面弯矩-曲率 $M-\phi$ 恢复力模型。

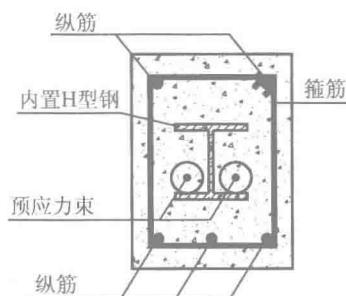


图 1-3 组合梁截面

各国学者还对预应力组合梁进行了一系列研究。Nie^[18]对预应力组合梁的粘结滑移进行了试验研究。Regan 等人^[19]对一系列简支组合梁进行了研究,基于力的平衡和变形条件,对试验加载到破坏的全过程进行分析,并与试验结果进行比较。Saadatmanesh^[20]对两根预应力简支组合梁进行全过程试验研究,提出在负弯矩区施加预应力可防止使用荷载下混凝土开裂。

作者将钢箱直接内置于混凝土构件中,形成中空的截面形式,对于这类梁的受力性能进行了相关的试验研究^[30~33]

可以看出,预应力型钢混凝土梁抗震性能较好,其截面受弯承载力及裂缝计算已趋于成熟,在实际工程中的应用已成为可能。

1.3 内置钢箱混凝土梁

钢箱组合梁一般多用在桥梁结构中,在建筑工程中应用还相对较少。目前,相关单位对钢箱混凝土组合梁有较多的研究,表现在试验研究、理论分析和设计施工建议等多方面。

申新凯等^[24]从抗弯性能、延性以及极限承载力等3个方面对钢箱-环氧混凝土组合梁及钢箱-普通混凝土组合梁进行对比试验。试验结果表明,钢箱-环氧混凝土组合梁具有更好的弯曲性能、延性以及极限承载力。

周安等^[25]进行5根简支组合梁负弯矩作用下的静力试验,钢梁为开口钢箱梁,混凝土翼板内配置有黏结预应力钢绞线。试验表明:体内预应力能有效控制连续组合梁负弯矩段的抗裂性;钢箱梁底板沿宽度方向应力应变分布明显不均;在完全剪力连接条件下,考虑混凝土翼板贡献的换算截面剪应力分布的计算值与实测值基本吻合。

张药^[26]等选用国内外不同的温度荷载分布模式,运用大型通用有限元软件 ANSYS 对某拟建高速铁路钢箱-混凝土组合试验梁进行了温度变形分析。

周春利^[27]提出了一种新型预应力钢箱-混凝土组合梁。分别通过理论计算和试验研究该组合梁的极限承载力,并分析钢板厚度、混凝土强度、钢绞线用量、隔板位置等参数对3种跨度的组合梁极限承载力的影响,建议这类梁应用在12m以上跨度的房屋和桥梁结构中。

周凌宇等^[28]进行3个不同设计参数的组合箱梁单调荷载作用下抗弯性能试验研究。对组合箱梁的破坏形态、混凝土面板与钢箱梁间滑移、截面整体工作性能、正截面受弯承载力与剪力滞后等进行研究。

周远智等^[29]还讨论了钢箱-混凝土组合拱桥对3种不同的流态混凝土自重荷载的简化处理方式和不同的混凝土浇筑顺序,分析了在不同简化方式和混凝土浇筑顺序下钢箱的力学行为。分析结果表明:采用先对称浇筑两侧的满填混凝土,再对称浇筑底板混凝土,然后一次性浇筑横系梁和箱内隔板混凝土,最后一次性浇筑顶板混凝土的浇筑顺序时,钢箱的力学行为更为理想。

作者将钢箱直接内置于混凝土构件中,形成中空的截面形式,对于这类梁的受力性能进行了相关的试验研究^[30~33]。

1.4 内置空腹式型钢混凝土柱

国外对空腹式型钢混凝土结构构件的承载力和抗震性能研究较早,取得了较多的成果。1908年 Burr 进行了配角钢空间桁架的型钢混凝土柱试验;加拿大学者 Stephen 于 1923 年对配置空腹式型钢的混凝土梁进行了相关研究^[2]。在此基础上,欧美的 Johnson^[34]、Furlong^[35] 和 Lee^[36] 等人也进行了大量的试验研究工作。

近年来国内对内置空腹式角钢混凝土柱的受力性能也展开了一定数量的研究。

赵鸿铁^[1] 完成了 9 根剪跨比为 2、采用角钢箍或钢板箍的角钢混凝土柱在水平低周往复荷载下的试验,建立了为工程界所接受的斜截面受剪承载力计算公式,由于剪跨比较小,试验柱在加载的中后期滞回曲线呈现出“捏缩”现象,耗能能力和延性较差,刚度退化较快。结果表明,在角钢混凝土柱中既配置了水平腹杆又配置了斜腹杆,既能保证施工阶段的稳定性,又能满足双向水平力作用时(如地震、风荷载等)的抗剪要求。

白国良^[37, 38] 完成了 6 根配置角钢的空腹式型钢混凝土柱试验,研究了该类框架柱在低周往复荷载下的破坏形态和滞回性能,提出了反映空腹式型钢混凝土框架柱性能的退化三线型恢复力模型及其特征点的计算方法。由试验结果可知,空腹式型钢混凝土框架柱由于型钢骨架对核心混凝土的约束作用和其本身的抗剪作用,改变了柱内临界区域的应力状态,使得该类柱的抗震性能优于钢筋混凝土框架柱,特别是变形能力的改善更为明显。

赵世春^[39] 对 5 根空腹桁架式型钢混凝土框架柱和 2 根普通钢筋混凝土框架柱进行了低周往复加载的对比试验。空腹桁架式型钢混凝土框架柱内的角钢骨架仅采用斜腹杆相连。试验结果表明,空腹桁架式型钢混凝土框架柱的抗震性能不低于相同轴压比下的普通钢筋混凝土柱,并建议空腹桁架式框架柱可采用《型钢混凝土技术规程》(JGJ 138—2001)中的实腹式型钢混凝土柱的轴压比计算式和相同的轴压比限值;建议箍筋沿构件通长配置,体积配箍率应满足《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)的抗震构造要求。

周颖和吕西林^[40] 完成了 5 根空腹式劲性钢筋混凝土柱的低周往复荷载试验。试件中的角钢骨架仅配置了与角钢纵向相垂直的腹杆,未配置斜腹杆。在分析了此类柱的试验现象和破坏机理后,建立了与该类柱相适应的斜截面抗剪承载力、峰值位移和延性系数等的计算公式,形成了考虑轴压比影响的骨架曲线;同时,在统计强度退化、刚度退化和滑移现象的规律的基础上建立了该类柱的恢复力模型。

在相关研究的基础上,作者对角钢和钢板箍组成骨架的空腹式型钢混凝土柱抗震性能进行了研究^[41~45]。

1.5 组合框架结构

近年来,很多学者对由组合梁和组合柱通过节点连接而成的框架结构进行了相关试验及理论研究,探索了由不同类型截面的梁柱构件组成的框架的受力性能。