

钢筋混凝土柱—钢梁组合框架 结构受力性能与抗震设计方法

门进杰 著◎



科学出版社

钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构 受力性能与抗震设计方法

门进杰 著

常州大学图书馆
藏书章

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者近年来对钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构有关受力机理、抗震性能和设计方法研究工作及成果的总结,并对国内外相关研究进行了总结。

全书共9章,主要内容包括绪论,RCS组合节点抗震试验研究,RCS组合节点抗剪承载力计算方法,RCS组合节点恢复力模型研究,RCS空间组合节点抗震性能有限元分析,RCS空间梁、柱组合件抗震性能试验研究,考虑楼板影响的RCS组合框架有效翼缘宽度分析,RCS组合框架结构抗震性能试验研究,RCS组合框架结构抗震设计方法等。此外,还对RCS组合节点的典型构造和作用,以及破坏模式等也做了较深入的阐述和分析。

本书可供结构工程专业的研究人员、工程技术人员和相关院校的师生阅读,也可供相近专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构受力性能与抗震设计方法 / 门进杰著.
—北京:科学出版社,2018.2

ISBN 978-7-03-056581-5

I. ①钢… II. ①门… III. ①钢筋混凝土柱-钢梁-组合结构-受力性能-研究 ②钢筋混凝土柱-钢梁-组合结构-防震设计-研究 IV. ①TU398

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第029995号

责任编辑:童安齐 陈将浪 / 责任校对:陶丽荣

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华设计部

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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年2月第一版 开本:B5(720×1000)

2018年2月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:250 000

定价:90.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135927-2014

版权所有,侵权必究

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

前 言

我国的城镇建设正处于快速发展期,各种大跨、重载和高层建筑层出不穷,对结构性能的要求也越来越高,在这个大环境下,钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构因为既具有良好的受力性能,又在耐久性、耐火性和建筑使用空间等方面具有明显的优势,所以在我国是一种具有广阔发展前景的高性能结构体系。

本书以前人的研究成果为基础,提出一种新型钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构组合节点及组合框架,从系列节点的地震破坏机理、抗震性能和抗剪承载力计算方法、节点恢复力模型、组合框架的地震破坏机理和抗震性能,以及基于延性破坏、基于性能的抗震设计准则和设计方法等方面,开展了较为系统的研究,并取得了一系列研究成果,可供相关科技人员参考。

感谢国家自然科学基金“钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构抗震性能及其设计理论研究”(项目编号:51008244)、“高层建筑钢管混凝土斜交网格筒混合结构体系地震损伤机制与设计理论研究”(项目编号:51478382)和陕西省2015年度留学人员科技活动择优资助项目对作者所进行研究工作的资助;同时,也感谢西部绿色建筑国家重点实验室(西安建筑科技大学),以及教育部创新团队发展计划“现代混凝土结构安全性与耐久性”(项目编号:IRT_17R84)对本书的支持。

感谢西安建筑科技大学史庆轩教授在本书写作过程中的指导;感谢研究生郭智峰、熊礼全、管润润、李慧娟、李鹏、李欢、周婷婷、任如月等,他们对本书个别章节的内容进行了深入研究。

全书共9章,由门进杰撰写和统稿。

钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构组合节点连接构造多样,本书只是针对其中一种类型的节点和框架进行研究;此外,由于节点受力的复杂性,并限于作者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批

评指正；同时也欢迎广大读者就书中相关内容和资料进行交流。

作者联系邮箱：jjmen@xauat.edu.cn。

作 者

2017年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外相关研究现状	2
1.2.1 RCS 组合节点的研究	2
1.2.2 RCS 组合框架结构的研究	6
1.3 本书的主要工作	9
参考文献	10
第 2 章 RCS 组合节点抗震试验研究	13
2.1 节点形式的提出	13
2.2 试件设计与制作	14
2.3 材料性能	16
2.4 试验加载装置和测试方案	17
2.4.1 试验加载装置	17
2.4.2 加载制度	18
2.4.3 量测内容和数据采集	18
2.5 试验破坏过程及破坏形式	20
2.5.1 试验破坏过程	20
2.5.2 破坏形式	24
2.6 试验结果与分析	26
2.6.1 滞回曲线	26
2.6.2 骨架曲线	27
2.6.3 节点层间位移延性	29
2.6.4 应变分析	30
2.6.5 承载力退化规律	35
2.6.6 刚度退化规律	36
2.6.7 耗能能力	37
2.7 本章小结	40
参考文献	40

第 3 章	RCS 组合节点抗剪承载力计算方法	42
3.1	RCS 组合节点的典型构造及作用分析	42
3.1.1	RCS 组合节点的常见构造措施	42
3.1.2	RCS 组合节点构造措施的作用分析	43
3.2	RCS 组合节点的破坏模式分析	47
3.2.1	腹板剪切破坏	47
3.2.2	混凝土承压破坏	49
3.3	本书所提 RCS 组合节点的破坏模式分析	49
3.3.1	部分剪切破坏模式	49
3.3.2	节点-梁混合破坏模式	51
3.4	RCS 组合节点受力机理分析	52
3.4.1	RCS 组合节点的受力假定	52
3.4.2	RCS 组合节点内外单元之间力的传递	52
3.4.3	RCS 组合节点的受力机理分析	53
3.5	RCS 组合节点抗剪承载力计算分析	57
3.5.1	RCS 组合节点抗剪承载力公式简介和分析	57
3.5.2	RCS 组合节点抗剪承载力计算分析	60
3.5.3	RCS 组合节点抗剪承载力公式的改进	62
3.5.4	公式的验证和分析	65
3.5.5	节点区各组成部分对节点抗剪承载力的贡献	67
3.6	本章小结	68
	参考文献	68
第 4 章	RCS 组合节点恢复力模型研究	70
4.1	恢复力模型简介	70
4.1.1	恢复力模型的相关概念	70
4.1.2	典型的恢复力模型简介	71
4.2	不同类型节点的恢复力模型与分析	73
4.2.1	钢筋混凝土框架节点恢复力模型	73
4.2.2	钢框架节点恢复力模型	75
4.2.3	组合结构节点恢复力模型	76
4.2.4	不同类型构件恢复力模型的比较分析	77
4.3	RCS 组合框架节点恢复力模型的建立	78
4.3.1	恢复力特性分析	78
4.3.2	骨架曲线模型的建立	80

4.3.3 刚度退化规律的确定	81
4.3.4 恢复力模型的描述	84
4.3.5 计算结果与试验结果比较分析	85
4.4 本章小结	86
参考文献	87
第 5 章 RCS 空间组合节点抗震性能有限元分析	88
5.1 RCS 空间组合节点和平面组合节点有限元分析与对比	88
5.1.1 试件设计	88
5.1.2 有限元建模	89
5.1.3 与试验结果的对比分析	91
5.1.4 与平面组合节点的对比分析	92
5.2 RCS 空间组合节点抗剪承载力公式的提出	97
5.2.1 平面节点承载力公式	97
5.2.2 改进公式的提出	98
5.3 改进公式中待定参数的确定及公式验证	98
5.3.1 待定参数的确定	99
5.3.2 改进公式与有限元模拟结果验证	100
5.4 本章小结	101
参考文献	101
第 6 章 RCS 空间梁、柱组合件抗震性能试验研究	103
6.1 试件的设计与制作	103
6.1.1 试件设计	103
6.1.2 试件制作	108
6.1.3 材料性能	109
6.2 试验加载和测试方案	110
6.2.1 试验加载装置	110
6.2.2 加载制度	111
6.2.3 试验测试方案	112
6.2.4 加载控制及数据采集	116
6.3 试件破坏过程及破坏模式	116
6.3.1 试件破坏过程	116
6.3.2 破坏模式分析	123
6.4 抗震性能试验结果及分析	124
6.4.1 滞回曲线	124

6.4.2	骨架曲线	126
6.4.3	承载力退化	127
6.4.4	刚度退化	128
6.4.5	位移延性	130
6.4.6	耗能特性	131
6.5	本章小结	132
	参考文献	134
第7章	考虑楼板影响的 RCS 组合框架有效翼缘宽度分析	135
7.1	有效翼缘宽度的取值	135
7.1.1	有效翼缘宽度的计算公式	135
7.1.2	基于试验结果的有效翼缘宽度计算	136
7.1.3	基于应力等效的有效翼缘宽度计算	138
7.1.4	基于有限元分析的有效翼缘宽度计算	141
7.1.5	有效翼缘宽度的建议取值	142
7.2	有效翼缘宽度计算公式的验证	143
7.2.1	正常使用阶段取值	143
7.2.2	承载能力极限阶段取值	144
7.2.3	验证分析	145
7.3	考虑楼板影响的 RCS 组合框架刚度计算方法	147
7.3.1	刚度计算	147
7.3.2	抗弯承载力计算	148
7.4	本章小结	149
	参考文献	149
第8章	RCS 组合框架结构抗震性能试验研究	151
8.1	试验概况	151
8.1.1	试件设计与制作	151
8.1.2	材料性能	153
8.1.3	试验装置和加载制度	153
8.1.4	测量内容和数据采集	154
8.2	试件破坏过程和破坏模式分析	155
8.2.1	试件破坏过程	155
8.2.2	破坏模式分析	156
8.3	试验结果与分析	157
8.3.1	滞回曲线	157

8.3.2 骨架曲线	158
8.3.3 应变分析	160
8.3.4 承载力退化规律	161
8.3.5 刚度退化规律	162
8.3.6 耗能能力	162
8.4 本章小结	163
参考文献	164
第 9 章 RCS 组合框架结构抗震设计方法	165
9.1 RCS 组合框架结构“强柱弱梁”破坏机制的相关分析	165
9.1.1 RCS 框架结构“强柱弱梁”破坏机制的有限元分析	165
9.1.2 基于“强柱弱梁”破坏机制的 RCS 组合框架结构设计方法	170
9.2 RCS 组合框架结构基于性能的抗震设计方法	174
9.2.1 RCS 组合框架结构的性能水平和性能目标	174
9.2.2 RCS 组合框架结构性能指标的量化	176
9.2.3 RCS 组合框架结构基于性能的抗震设计方法和步骤	178
9.2.4 RCS 组合框架结构性能指标和方法的验证	178
9.3 本章小结	182
参考文献	183

第1章 绪 论

1.1 研究背景和意义

钢-混凝土组合结构是在钢结构和混凝土结构的基础上发展起来的一类重要结构形式,它可以综合两者的各自特点,为结构工程的创新和超高、大跨、重载、复杂结构的设计、施工提供新的选择,并能产生显著的综合效益^[1]。我国对组合结构开展系统而深入的研究主要是 20 世纪 80 年代以后,至今已取得了较丰富的成果^[2~5]。随着建筑材料、设计理论和设计方法的不断发展,“组合结构”的概念已经由构件层次拓展到结构体系的层次。“组合”不仅局限于材料层次上钢与混凝土的组合,近年来,通过对不同结构构件及体系之间的相互组合,形成了一系列新型而高效的结构形式,这有力地促进了高性能结构体系的创新和发展。

钢筋混凝土柱-钢梁组合框架结构(composite frame consisting of reinforced concrete column and steel beam, RCS)充分地利用和发挥了钢与钢筋混凝土构件各自的优点,是一种低成本、高效率的结构形式^[6,7],在美国、日本等发达国家已得到广泛应用,在我国也是一种具有广阔发展前景的新型结构体系。

钢筋混凝土柱-钢梁结构体系是纯钢结构和钢筋混凝土结构的一种继承和发展。一般而言,与纯钢结构相比,钢筋混凝土柱的抗压性能更好,刚度更大,耐久性和耐火性更好,从而可节约钢材,增加结构的稳定性;与钢筋混凝土结构相比,钢梁的抗弯性能更好,质量更小,施工更方便,构件截面尺寸相对较小,从而可以增大有效使用空间,加快施工速度。

20 世纪 80 年代初,美国工程界开始在中高层建筑中采用 RCS 组合结构^[8,9]。如休斯顿市中心的“First City Tower”大厦,共 49 层,高 207m,采用框-筒体系,内筒为组合剪力墙,外框架为 RCS 组合框架;得克萨斯州的“The Three Houston Center Gulf Tower Building”,共 52 层,3 层以下为钢框架,3 层以上为由 RCS 构成的框架。这两座建筑是按照美国的钢结构和钢筋混凝土结构规范设计的。

20 世纪 80 年代,由于受到相关规范条文的阻碍,日本发展 RCS 组合结构起步稍晚。到 20 世纪 80 年代末,日本学者逐渐认识到 RCS 组合结构的优越性,并研制开发出能满足钢梁和混凝土柱之间复杂应力传递的梁、柱节点构造,使 RCS 组合结构在日本逐渐得到重视和发展^[10,11]。与美国把 RCS 组合框架作为高层钢框架的一种延伸不同,日本工程界将 RCS 组合框架作为低层 RC 框架的一种变革,用钢梁来取代 RC 梁。因为能够以较低的成本实现大跨度,所以在商业中心等有

大空间要求的多层建筑中常采用 RCS 组合框架结构。

然而, 因为 RCS 组合节点具有连接构造多样、节点受力复杂等缺点, 所以对其性能尤其是抗震性能的研究远滞后于其工程应用, 目前国外仅美国和日本对该种结构形式进行了相对系统的研究; 国内对于该种组合结构体系的研究还不完善, 现行规范对于这种结构形式节点的设计方法也不明确, 而对于 RCS 组合框架整体受力性能和抗震性能的研究更是十分缺乏, 目前仅有数量有限的几榀框架的试验研究见于公开报道。基于上述分析, 本书针对 RCS 组合节点及组合框架的基本受力性能、抗震性能和设计方法开展系统的研究, 既为在我国实际工程中推广应用 RCS 组合框架结构, 也为我国有关规范的制定或修订提供基础资料和技术支撑。

1.2 国内外相关研究现状

1.2.1 RCS 组合节点的研究

对于 RCS 组合节点, 不同学者提出的节点构造措施是多样的, 其连接构造也可简可繁, 因此导致 RCS 组合节点的受力十分复杂, 受力机理也不尽相同, 相应的承载力计算模型和计算思路也不统一。

在美国, RCS 组合框架结构被视为传统的中高层建筑钢结构的一种延伸, 它用钢筋混凝土柱来替代钢框架中的钢柱, 且在柱的中心设置小截面的用于施工架立的型钢 (小截面架立钢柱); 在节点处采用钢梁贯通 (through beam) 的方式, 即钢梁连续穿过钢筋混凝土柱, 柱中型钢不进入节点, 而是焊接在钢梁的上下翼缘上, 如图 1.1 所示。

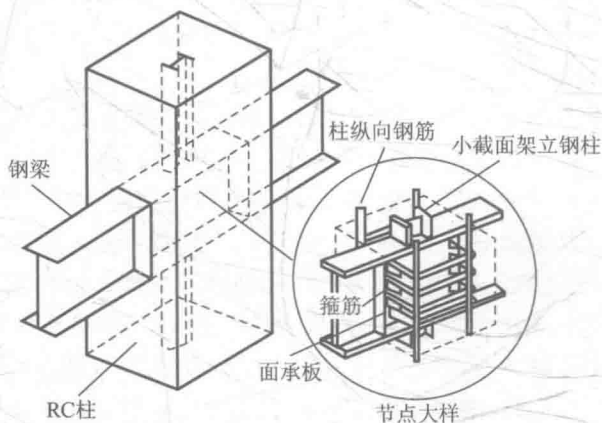


图 1.1 典型的美国 RCS 组合节点

随着 RCS 组合结构在实际工程中的应用越来越多, 美国学者 Griffis、Iyengar 等深感 RCS 组合结构的理论研究工作已严重滞后于工程实践, 纷纷要求研究 RCS 组合结构中钢和混凝土之间的相互作用, 以及 RCS 组合框架梁、柱节点的性能^[8]。从 1985 年开始, 得克萨斯州立大学的 Sheikh、Deierlein 等先后进行了 15 个比例为 2:3 的 RCS 框架梁、柱节点组合体试验, 考察了节点组合体试件在静载 (7 个试件) 和低周反复荷载 (8 个试件) 作用下的弹性受力性能^[10~12]。研究了节点的破坏形式、抗剪承载力组成和钢梁贯穿型节点的构造措施。这批试验研究的多数结论都在 1994 年被美国土木工程师协会 (ASCE) 收录入 “RCS 框架中间层中节点和中间层边节点设计指南”^[13] (以下简称 “指南”)。但因为这批试验并未深入研究节点在反复循环荷载作用下的非弹性变形性能, 所以 “指南” 只允许在低烈度和中等烈度地区使用 RCS 框架结构。

为了在烈度较高的地区推广使用 RCS 组合框架结构, 美国康奈尔大学的 Kanno 等于 1993 年起先后进行了 11 个大比例的组合节点试件抗震性能试验研究^[14,15], 深入探讨了 RCS 框架梁、柱节点的失效模式, 包括以下内容: ①钢梁弯曲破坏引起节点组合体试件失效; ②节点区的破坏引起组合体试件的失效; ③梁和节点混合破坏引起组合体试件失效; ④节点上下钢筋混凝土柱端出现塑性铰引起节点组合体试件失效。研究结果表明, 试件的延性系数为 3~4, 经过合理设计的 RCS 组合框架可用于设防烈度较高的地区。

2000 年, 美国密歇根大学的 Parra Montesinos 和 Weight 对 9 个比例为 3:4 的 RCS 组合框架中间层边节点进行了循环荷载作用下的试验研究^[16], 主要研究了节点构造 (包括钢梁腹板的 U 形箍筋, 节点区上下的扁钢箍) 和改性材料 (节点区使用钢纤维混凝土、高强胶凝组合材料) 对节点抗震性能的影响。研究表明, 构造措施合理的 RCS 组合框架中间层边节点组合体试件具有较好的延性, 可用于高烈度设防地区; 扁钢箍、钢纤维混凝土或高强胶凝组合材料可提高节点的抗剪能力, 增大延性。2001 年, Parra Montesinos 和 Weight 认为这次试验结果和 “指南” 的计算结果相差较大^[17], 提出了新的设计模型, 并在此基础上给出了确定中柱节点和边柱节点的抗剪承载力计算公式。

在美国, 除了进行 RCS 平面节点的试验研究外, 还进行了一些考虑混凝土板空间作用的 RCS 节点试验研究。1999 年, 得克萨斯农业机械大学完成了 6 个柱贯通型中柱节点试验研究^[18], 考虑混凝土板和双向梁系, 以研究混凝土板对节点性能的影响。同年, Bracci 等通过 6 个 2:3 比例的空间节点 (5 个中柱节点, 1 个边柱节点) 的拟静力试验, 研制出了适用于中低层建筑的三维 RCS 节点 (在节点区设柱面钢板代替箍筋), 同时研究了混凝土对节点性能的影响^[19,20]。但这种节

点仅适用于等高的正交梁系。2004 年, Xuemei 和 Gustavo 等进行了 4 个空间节点试验(2 个中节点, 2 个边节点)^[21], 试件设计依照“强柱弱梁”的原则, 并以变形控制节点破坏。研究内容包括: 节点的破坏模式、滞回性能、变形、梁端的转动、节点各组成部分的应变和楼层侧移的组成等。研究表明, 两种节点均有良好的滞回性能, 中节点的节点变形(节点剪切变形和节点承压变形)约占总侧移变形的 40%。

在日本, 对 RCS 组合节点的研究始于一些私人的建筑公司。到 20 世纪末, 各建筑公司研制的 RCS 组合结构的梁、柱节点构造技术获准专利并用于实践的已超过 30 余项^[22]。日本建筑学会(AIJ)从 1988 年开始在钢骨混凝土结构运营委员会下设置了“组合、混合结构小委员会”, 于 1994 年 12 月整理出了“RCS 组合节点设计准则”, 将上述梁、柱节点归类总结为 12 种标准类型, 包括柱面钢板型、面承板型、扩大的面承板型、内镶或外露横隔板型及局部钢骨混凝土梁型等, 典型的日本 RCS 组合节点如图 1.2 所示。日本早期的 RCS 组合框架梁、柱节点通常采用的都是柱贯通型构造方案, 这一方案将钢筋混凝土柱的纵向钢筋贯穿通过节点, 钢梁采取适当的措施连接于节点上。为了便于柱的纵向钢筋贯穿节点, 常要将进入节点范围后的钢梁翼缘切断, 而通过较厚的面承板时将翼缘置换成竖直设置的中板, 这一节点形式同时兼顾了混凝土的浇捣方便和钢板对核心混凝土的约束效应。但是, 这种柱贯通型的方案构造较复杂, 施工难度较大。

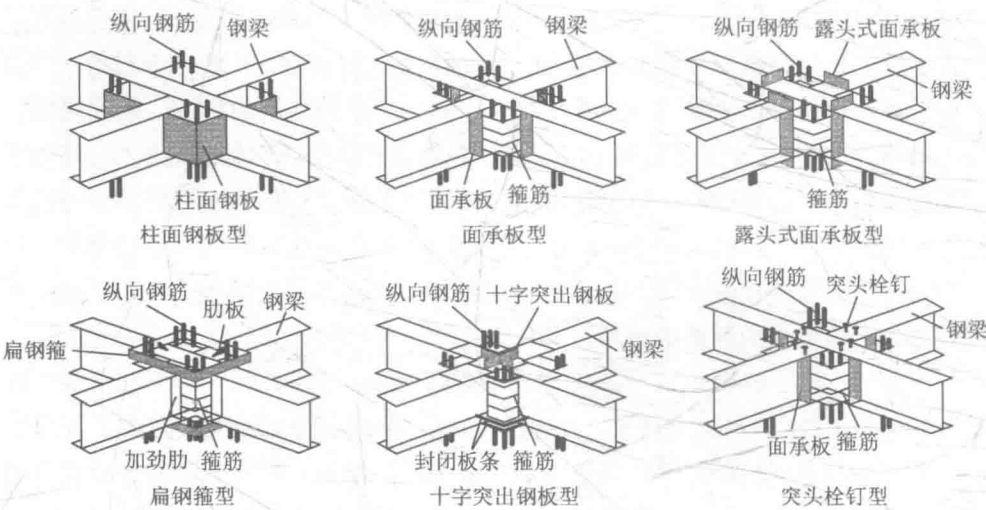


图 1.2 典型的日本 RCS 组合节点

1997年,日本建筑研究协会和建筑承包商社进行了10个柱贯通型平面中节点试验^[22],研究了节点抗剪性能及各种构造(柱面钢板、面承板、横梁、加肋板)的影响。同年,Isao Nishiyama等做了4个三维中节点(3个柱贯通型节点,1个梁贯通型节点)双向受力试验^[18],研究表明,在双向受力条件下,空间节点的强度和受力性能与平面节点相差不大,平面节点设计模型对于空间节点仍有效。1998年,日本建筑承包商协会做了6个柱贯通型空间节点试验^[19],结果表明,柱轴力提高了节点的强度和刚度。1997年,Kim和Noguchi完成了16个节点试验^[18],既有柱贯通型节点,也有梁贯通型节点,研究了节点的传力机理并进行了节点应力传递机理的有限元模拟。1998年,Nishimura做了7个中节点和5个辅助构件试验^[22],研究梁贯通型节点的抗剪和承载力机理。2004年,Hiroshi Kuramoto和Isao Nishiyama进行了3个柱贯通型梁、柱节点试验^[23],以研究节点传力机理和抗剪强度。节点区设有柱面钢板、外伸式面承板和水平加劲肋。研究表明,加厚柱面钢板和选择适当的面承板可提高混凝土水平桁架和混凝土斜压杆的抗剪能力,从而提高节点的抗剪承载力及抗震性能。

应该指出的是,虽然美日两国已对RCS组合框架梁、柱节点做了不少研究,但因为组合节点本身的复杂性,也还有许多问题有待解决,如对节点受力机理还需要进一步的认识,尤其是不同的构造措施对节点传力机理的影响;美国的RCS组合框架的钢梁贯通型方案在顶层的中节点和角节点的处理问题(目前的方法是将这两处处理成铰接)。两国给出的RCS组合节点的设计公式都过于保守和离散,与试验结果的误差在4%~35%^[12]。

进入21世纪之后,这种新型组合结构形式开始受到世界各国学者的关注,研究的重点包括节点构造^[24]、新型节点材料^[25]、节点和整体结构的抗震性能分析^[26~29]等。

RCS组合结构在我国的应用和研究都还处于起步阶段,但已引起我国科技工作者的重视。鉴于对RCS组合节点的工作性能认识得不够,目前我国仅在一些工业厂房和轻型房屋中采用RCS组合结构。如华北电力设计院在1988年设计完成的山西神头第二发电厂框架结构厂房,柱子采用现浇钢筋混凝土平腹杆双肢柱,梁为焊接工字型钢梁,节点处采用钢梁通过柱竖肢并采用空腹式角钢辅助桁架加强节点核心区约束作用的刚性连接方案^[30]。1999年,郑州粮油食品工程建筑设计院设计的粮仓-房式仓CB-30^[31],采用门式刚架,柱子为钢筋混凝土矩形截面柱,梁为焊接工字型钢梁。在我国的民用建筑结构中还没有采用RCS组合框架结构的工程实例。因此,为了更好地推广RCS组合结构在我国的应用,结合我国的工程实际,对RCS组合框架节点、组合框架结构开展抗震性能和设计方法研究,是21世纪我国结构工程领域的重要科研问题。

2001年,杨建江等对4个RCS框架中节点进行了低周反复试验^[32],研究了

节点的强度和变形性能,给出了承载力计算公式。2005年,肖岩等提出了一种用螺栓端板连接的 RCS 组合节点构造,并对两组足尺节点试件进行了低周反复试验^[33]。结果表明,两组试件均具有较高的承载能力,良好的延性和耗能能力。2005年,易勇和崔佳对3个梁贯通型 RCS 组合框架中间层中节点试件进行了低周反复试验^[34],分析了不同节点构造和轴压比对节点抗震性能的影响,给出了节点受剪承载力建议计算式。2008年,戴绍斌等对3个柱贯通型 RCS 节点进行了低周反复试验和有限元分析^[35],研究不同节点构造对节点抗震性能的影响。结果表明,设置小型钢柱并在节点核心区内配置箍筋的节点具有较高的承载力和良好的耗能性能。2012年,郭子雄^[36,37]、刘阳^[36]等提出了一种装配式 RCS 节点,并研究了节点连接构造的受力性能和抗震性能。

1.2.2 RCS 组合框架结构的研究

2000年,在日本大阪技术学院^[18]完成了一榀缩尺比为1:3的两层两跨 RCS 框架试验,该榀框架采用梁贯通型节点,节点构造措施采用的是面承板,在试件顶层施加低周反复水平荷载。试件设计时梁端塑性承载力和节点抗剪承载力相接近,以研究框架和节点的相互作用,柱端施加恒定轴压力使轴压比稳定在0.2,柱端名义抗弯强度是梁端的1.24倍,以期望实现“强柱弱梁”破坏机制;但试验过程中该榀框架并没有发生“强柱弱梁”破坏机制,其主要破坏机制是节点钢梁腹板发生剪切屈服和柱端形成塑性铰。图1.3是该试验的试验试件,图1.4与图1.5是该试验的破坏过程与滞回曲线,结果表明,即便是发生普通混凝土框架不能接受的节点剪切破坏和柱端塑性铰破坏, RCS 组合框架结构的滞回性能依然良好,具有很高的延性和耗能能力;同时,该次试验也存在不足,即没能实现“强柱弱梁”破坏机制。

2002年,中美两国学者^[38]对一个平面足尺的3层3跨 RCS 组合框架进行了反复荷载与地震波的加载试验,该榀框架的钢梁是根据 AISC-LRFD Specification (1999)设计的,钢筋混凝土柱是依据 ACI-318 (2002)的“强柱弱梁”设计的,柱端名义弯矩之和大于梁端的1.2倍,楼板及其他常规抗震措施依据 IBC (ICC 2000)的最低标准设计。此次试验主要是为了验证 RCS 组合框架是否可以运用于高设防烈度地区,以及对已有的 RCS 混合结构规范条文的合理性进行验证。试验结果表明,该榀 RCS 组合框架在不同受力阶段的位移值完全符合“小震不坏、中震可修、大震不倒”的要求,但是对于“强柱弱梁”的设计准则,试验过程中梁端和柱端均出现了塑性铰,并没有完全实现“强柱弱梁”。图1.6是框架试件图片,图1.7是框架破坏部分图片。

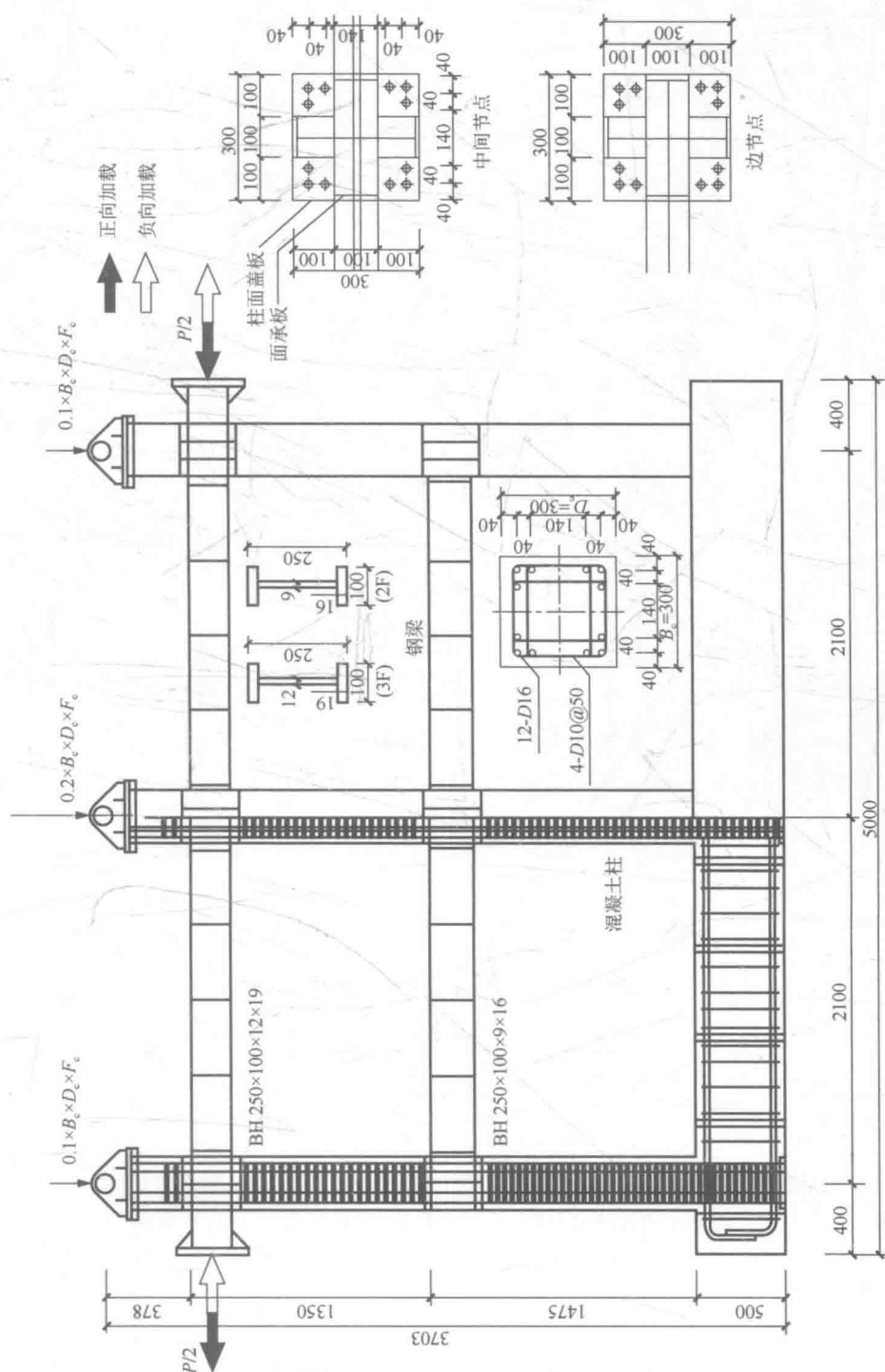


图 1.3 组合框架试件