

GANGGU HUNNINGTU YIXINGZHU

钢骨混凝土异形柱

李 哲 等著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

钢骨混凝土异形柱

李 哲 等著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书系统地介绍了钢筋混凝土异形柱的力学性能及承载力和延性的计算方法。全书共分8章, 主要内容包括: 钢筋混凝土异形柱的基本概念、轴压性能、正截面承载力计算、轴压力系数限值、抗剪承载力、抗震性能、延性性能的数值计算方法及钢筋混凝土异形截面压弯柱延性性能研究等。

本书可供从事钢筋混凝土异形柱研究和设计的人员以及建筑行业相关技术人员阅读参考, 也可供土木工程专业高年级本科生和研究生学习使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢筋混凝土异形柱/李哲等著. —北京: 冶金工业出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-5024-5655-9

I. ①钢… II. ①李… III. ①钢筋混凝土—异形柱
IV. ①TU375. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 163791 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 廖 丹 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5655-9

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2011 年 8 月第 1 版, 2011 年 8 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 11.25 印张; 219 千字; 171 页

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100010) 电话: (010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



前 言

随着城市化进程的加快,节约土地、节约能源、保护环境迫在眉睫。钢筋混凝土异形柱框架结构可以实现大开间住宅结构,异形柱的柱肢厚度与填充墙厚度相等,保证了在房间内不出现柱楞,使家具摆放更灵活自由,增加了房间的美观,提高了房间的使用质量,同时也便于装修,因此受到使用者的青睐。但钢筋混凝土异形柱结构由于抗震性能差,在抗震区的使用受到了很大限制。近年来,广大研究者开始对钢骨异形柱展开研究,要将钢骨混凝土异形柱框架结构进行推广使用,还需要工程技术人员对钢骨混凝土异形柱的力学性能 and 设计方法有所了解。本书将钢骨混凝土异形柱的力学性能 and 设计方法加以系统介绍,供广大建筑工程技术人员、科研人员和相关专业研究生参考。

西安理工大学钢骨混凝土异形柱课题组(本书统称本课题组)近年来对钢骨混凝土异形柱的轴压性能、抗剪性能、抗震性能、承载力计算、轴压力系数限值、延性等方面展开了一系列的研究。本书是在上述研究工作的基础上,结合钢骨混凝土基本理论和近年的发展状况编写的。

本书共分8章,第1章主要介绍钢骨异形柱的概念及发展;第2章主要介绍钢骨异形柱的轴压性能;第3章介绍钢骨混凝土异形柱正截面承载力计算方法和影响承载力的因素;第4章介绍钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值;第5章介绍钢骨混凝土异形柱抗剪承载力及计算方法;第6章介绍钢骨混凝土异形柱的抗震性能;第7、8章介绍钢骨混凝土异形柱延性性能的数值计算方法和延性性能研究。

本书撰写分工为:李哲、张率撰写第1章,李哲、阙良刚撰写第2章,李哲、赵岩峰撰写第3、4章,李哲、张小锋、党辉撰写第5章,李哲、张小锋、李辉撰写第6章,陈绍基、李哲撰写第7、8章。全书最后由李哲统一定稿。

本书中的研究工作得到“陕西省自然科学基金项目(2011JM7008)”、“西安市自然科学基金项目(CXY1020(6))”、“陕西省教育厅自然科学基金项目(11JK0960)”的支持,特此致谢。

由于作者水平有限,钢筋混凝土异形柱的发展又非常迅速,故本书中肯定存在很多不足之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2011年5月于西安



目 录

第1章 绪论	1
1.1 异形柱的产生	1
1.2 钢筋混凝土异形柱的发展和研究现状	2
1.2.1 国外的研究成果	3
1.2.2 国内的研究成果	3
1.2.3 钢筋混凝土异形柱框架结构所面临的问题	4
1.3 钢与混凝土组合结构	5
1.3.1 钢骨混凝土结构	5
1.3.2 钢骨混凝土结构的特点	6
1.3.3 钢骨混凝土结构在国内外的研究现状	6
1.4 钢骨混凝土异形柱	9
第2章 钢骨混凝土异形柱轴心受压	11
2.1 试验研究	11
2.1.1 试验概况	11
2.1.2 试验结果分析	12
2.2 钢骨混凝土异形柱的轴心受压承载力计算公式	14
2.3 钢骨混凝土异形柱的破坏机理分析	15
第3章 钢骨混凝土异形柱正截面承载力	16
3.1 程序原理	16
3.1.1 计算假定	16
3.1.2 坐标系的建立	17
3.1.3 计算公式	18
3.1.4 截面形心的确定	19
3.1.5 计算框图	19

3.1.6 程序验证	20
3.2 钢骨混凝土异形柱正截面承载力的影响因素	21
3.2.1 加载角的影响	21
3.2.2 不同轴压力系数的影响	23
3.2.3 混凝土强度的影响	24
3.2.4 配筋率的影响	25
3.2.5 钢骨位置的影响	26
3.2.6 偏心距的影响	27
3.2.7 含钢率的影响	29
3.2.8 不同钢骨形式的影响	29
3.2.9 计算结果分析	33
第4章 钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值	35
4.1 加载角对钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值的影响	36
4.1.1 加载角对T形截面柱的影响	36
4.1.2 加载角对L形截面柱的影响	37
4.1.3 加载角对十字形截面柱的影响	38
4.2 混凝土强度对钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值的影响	38
4.3 钢骨位置不同对钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值的影响	38
4.4 不同截面形状对钢骨混凝土异形柱轴压力系数限值的影响	40
4.4.1 改变柱肢厚度的影响	40
4.4.2 改变肢长的影响	41
4.5 计算结果分析	43
第5章 钢骨混凝土异形柱的抗剪承载力	44
5.1 概述	44
5.2 T形截面柱抗剪承载力试验研究	45
5.2.1 试验概况	45
5.2.2 试件的设计	46
5.2.3 钢骨混凝土T形截面短柱的破坏形态分析	47
5.2.4 影响钢骨混凝土T形截面短柱抗剪承载力的因素	49
5.2.5 钢骨混凝土T形截面短柱抗剪承载力的计算方法	52

5.3 L形截面柱抗剪承载力试验研究	63
5.3.1 试验概况	63
5.3.2 试验材料力学性能参数	64
5.3.3 钢骨混凝土 L形截面短柱破坏形态分析	65
5.3.4 影响钢骨混凝土 L形截面短柱抗剪承载力的因素	68
5.3.5 影响钢骨混凝土 L形截面短柱抗剪承载力的计算公式	70
5.3.6 计算结果及试件破坏形态分析	71
5.4 钢骨混凝土 T形、L形截面短柱抗剪承载力受力机理分析	72
第 6 章 钢骨混凝土异形柱的抗震性能	73
6.1 引言	73
6.2 T形截面短柱抗震性能试验研究	73
6.2.1 试验概况	73
6.2.2 试验结果分析	74
6.2.3 钢骨混凝土 T形截面短柱延性的影响因素	77
6.3 L形截面短柱抗震性能试验研究	85
6.3.1 试验概况	85
6.3.2 试验过程分析	86
6.3.3 试验结果分析	89
6.3.4 钢骨混凝土 L形截面短柱延性的影响因素	94
6.3.5 不同参数对骨架曲线的影响	98
6.4 钢骨混凝土 T形、L形柱轴压力系数限值	101
6.4.1 位移延性比限值	101
6.4.2 轴压力系数限值	102
6.5 钢骨混凝土 T形、L形柱的延性性能	104
第 7 章 钢骨混凝土异形柱延性性能研究的数值方法	106
7.1 钢骨混凝土异形柱延性性能数值分析研究理论	106
7.1.1 基本假定	106
7.1.2 单元划分	108
7.1.3 求解基本单元的内力	110
7.1.4 全截面内力计算	112

7.1.5 迭代方法	113
7.1.6 弯矩-曲率关系计算步骤	114
7.2 程序准确性的精度评价	116
7.2.1 算例一	116
7.2.2 算例二	117
7.3 前处理程序	118
第8章 钢筋混凝土异形截面压弯柱延性性能研究	119
8.1 钢筋混凝土异形柱试件设计	119
8.2 钢筋混凝土异形柱正截面承载力研究方法	121
8.2.1 钢筋混凝土L形截面双向压弯构件正截面承载力	122
8.2.2 钢筋混凝土T形截面双向压弯构件正截面承载力	124
8.2.3 钢筋混凝土十字形截面双向压弯构件正截面承载力	126
8.3 钢筋混凝土L形截面双向压弯柱延性性能研究	127
8.3.1 各参数对钢筋混凝土L形截面双向压弯柱延性性能的影响	127
8.3.2 钢筋混凝土L形截面双向压弯柱截面曲率延性系数计算公式	137
8.4 钢筋混凝土T形截面双向压弯柱延性性能研究	141
8.4.1 各参数对钢筋混凝土T形截面双向压弯柱延性性能的影响	141
8.4.2 钢筋混凝土T形截面双向压弯柱截面曲率延性系数计算公式	148
8.5 钢筋混凝土十字形截面双向压弯柱延性性能研究	152
8.5.1 各参数对钢筋混凝土十字形截面双向压弯柱延性性能的影响	152
8.5.2 钢筋混凝土十字形截面双向压弯柱截面曲率延性系数计算公式	158
参考文献	163

第1章 绪论

1.1 异形柱的产生

随着城市化进程的加快,节约土地、节约能源、保护环境迫在眉睫。用高新技术加快传统建筑业的技术进步和优化升级,积极探索新技术、新材料、新工艺在住宅建筑中的应用,发展轻质高强、抗震性能好、节能保温效果佳、施工简便、经济实用、绿色环保且适宜于产业化发展的新型住宅结构体系已成为住宅建筑业全新的发展方向。

从结构体系上来看,当前我国的住宅主要可分为两大类:一类是多层住宅,一般为5~7层,主要采用砌体结构;另一类是高层住宅,一般在20层左右,主要采用剪力墙结构。砌体结构的抗震性能是比较差的,在历次强烈地震中,砖房都遭到不同程度的破坏甚至倒塌。一方面,这是由于砖墙本身的抗拉、抗剪强度都比较低,地震到来很快就出现裂缝,结构的延性也十分低,往往呈脆性破坏;另一方面,砌体结构的自重相对较大,由此引起的地震力也相对较大,对结构抗震很不利。近年来,各地已经开始禁止使用实心黏土砖,积极推广各种轻质空心砌块,在一定程度上改善了这一缺陷。

高层住宅一般采用剪力墙体系。由于住宅墙体很多,不要求室内大空间,而且剪力墙施工起来也非常方便,所以剪力墙结构在高层住宅中得到了广泛的应用。剪力墙结构是一种抗侧刚度较大的结构体系,如果设计得当,其抗震性能也是比较好的,但剪力墙自重一般都较大,基础费用较为可观。因此从经济角度来看,剪力墙住宅的层数不能太低,目前剪力墙住宅一般都在18层以上。

砌体结构的抗震性能差与高层剪力墙结构的造价高这一对矛盾产生的调和产物就是采用轻质隔墙的框架结构体系。框架体系的抗震性能要比砌体结构好得多,造价又比剪力墙结构低,应该是建造多层及小高层住宅理想的结构体系。但由于传统的框架结构的柱子截面一般为矩形,在住宅及办公室的小开间房间内的四角会露出棱角,直接影响空间视觉和家具布置,导致建筑不美观,而且使用起来也十分不方便,这也是住宅使用框架结构体系不多的原因之一。

为了解决这一问题,工程界开始引入异形柱。所谓异形柱就是指柱子截面不是常规的矩形截面,而是在满足结构刚度和强度的前提下,根据房间布置情况以及柱子具体位置需要,采用L形、T形和十字形柱截面。异形柱肢宽度与砌体墙厚度相同,从而使柱子不露出棱角,便于家具布置,具有良好的建筑使用功能。

建设部于1996年11月发布了《住宅产业现代化试点技术发展要点》(试行)文件,在其中技术发展要点之三的“住宅结构体系”中列出了钢筋混凝土异形柱体系及其结构特点:

- (1) 由T形边柱、十字形中柱和L形角柱组成的框架;
- (2) 填充墙与柱壁等厚,室内不出现棱角;
- (3) 因墙体减薄,与砖墙结构相比,可增加使用面积8%~10%;
- (4) 填充墙的墙体材料可根据当地保温隔热要求,因地制宜,就地取材。

此外,建设部1995年制定了《2000年小康型城乡住宅科技产业工程项目实施方案》文件,在其中“住宅结构体系成套技术研究”专题中,列出了异形柱框架、大开间住宅体系等,并在采用框轻结构开间灵活布置的住宅体系的关键技术中提出了L形、T形和十字形截面柱框架。上海、天津、广州等地30多年的建筑实践也表明,异形柱框架结构具有良好的经济效益、环境效益和社会效益,并显示出良好的发展前景。但至今还没有规范能系统地指导异形柱框架结构的设计与施工,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)只给出T形柱的受剪承载力计算公式,而《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)中关于该部分内容仍为空白。20世纪90年代中期,天津大学、大连理工大学、华南理工大学等单位相继就异形柱课题进行了系列研究,研究成果集中反映在天津市地方标准《大开间住宅钢筋混凝土异形柱框轻结构技术规程》(DB29-16-98)、广东省地方标准《钢筋混凝土异形柱设计规程》(DBJ/T15-15-955)和安徽省地方标准《安徽省异形柱框架轻质墙结构(抗震)设计规程》(DB34/222—2001)中。2006年中华人民共和国建设部颁布了《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)(下称“规程”),自2006年8月1日起实施。至此,钢筋混凝土异形柱结构有了全国统一的行业标准。“规程”中严格限制了钢筋混凝土异形柱结构适用的房屋最大高度和最大高宽比,例如,抗震设防烈度为8度的地区,钢筋混凝土异形柱框架结构的建筑物最大高度为12m,这样在很大程度上限制了钢筋混凝土异形柱结构的推广。要想使异形柱框架结构能够进一步推广,获得更高的经济效益,对异形柱结构体系作进一步深入研究是很有必要的。

1.2 钢筋混凝土异形柱的发展和研究现状

钢筋混凝土异形柱框架结构可以实现大开间住宅结构。由于可采用全框架结构,因此上部可以获得较大空间,而且用户可以比较方便地拆除或移动墙体,最大限度地满足住户个性化要求,实现建筑多功能的特点。异形柱的柱肢厚度与填充墙厚度相等,一般情况下,边柱布置为T形、角柱布置为L形、中柱布置为十字形,保证了在房间内不出现柱楞,使家具摆放更灵活自由,增加了房间的美观,提高了房间的使用质量,同时也便于装修,因此受到使用者的青睐。异形柱

结构的维护隔墙可使用非承重的轻质隔墙,可满足业主对大开间建筑的需要。而墙体变薄,与砖混结构相比,又可增加使用面积 8% ~ 10%。因为钢筋混凝土异形柱框架结构有其他结构无法取代的优点,有良好的经济效应,所以此结构形式曾经是学术界的研究热点。异形柱结构是近 30 年发展起来的新结构形式,国内外学者对异形柱结构作了部分的试验研究和理论分析。

1.2.1 国外的研究成果

国外对异形柱的研究始于 20 世纪 70 年代,相关文献就曾对 L 形截面小偏压柱的问题进行了一定的研究,对 L 形柱的正截面承载力进行了理论分析,给出了承载力相关曲线。之后,印度学者 L. N. Ramamurthy 和 T. A. Hafeez kha 于 1982 年通过对荷载作用线的研究,提出了两种简易的计算分析 L 形柱极限承载力的方法,并在 1983 年,又分别对等肢和不等肢 L 形截面双向偏压柱进行了理论分析和试验研究。美国学者 M. D. Davister 于 1986 年对不规则形状的双向偏压柱进行了理论研究。1985 年和 1989 年,美国学者 Cheng-Tzu 和 Thomas Hsu 对 L 形柱、T 形柱进行了计算机分析,给出了决定方形、矩形、L 形截面柱极限强度、相互作用线、荷载 - 弯曲曲线、弯矩 - 曲率关系的计算机算法,又对 T 形截面柱进行了研究,通过对 12 根双偏压 T 形柱单调荷载作用进行研究,给出了荷载 - 变形曲线,并编制了计算机程序,试验结果和程序结果两者符合较好。土耳其学者 C. Dundar 和 B. Sahin 在 1992 年也对双向偏压柱进行了理论研究。1987 年至 1993 年间,美国学者 Cheng-Tzu 和 Thomas Hsu 对 L 形和 T 形双向偏压柱分别进行了全过程分析,并提出了双向偏压柱的经验计算公式。1992 年和 1993 年,印度学者 Mallikar junal 和 P. Mahadevappa 分别对 L 形和 T 形截面柱双偏压作用下的极限承载力进行了计算机分析,并给出了相应的图表和 Fortran 程序;Sinha. S. N 于 1996 年对十字形柱双偏压构件承载力相关曲线进行了研究,分析了不同柱截面尺寸对应的最优配筋形式并进行了计算,还给出了利用承载力相关曲线进行截面配筋计算的实例;K. V. G. D. Balaji 对 T 形柱双偏压构件的可靠性进行了研究。

1.2.2 国内的研究成果

钢筋混凝土异形柱结构在我国天津、广东、上海等地震设防烈度较低的地区得到了迅速发展。这些地区对异形柱进行了深入研究,各地相继颁布了钢筋混凝土异形柱地方标准,其中以天津的《钢筋混凝土异形柱结构技术规程》和广东的《钢筋混凝土异形柱设计规范》较为成熟。2006 年中华人民共和国建设部颁布了《混凝土异形柱结构技术规程》。

在 20 世纪 80 年代中期,华南理工大学首先开始了钢筋混凝土异形柱构件的

试验研究和理论研究工作,研究成果通过条文编制说明,纳入广东省标准《钢筋混凝土异形柱设计规范》的有关条文。天津大学在20世纪90年代进行了钢筋混凝土异形柱的研究工作,研究成果编入天津市标准《大开间住宅钢筋混凝土异形柱框架结构技术规程》的有关条文中。同时,河北工学院也先后完成了异形截面柱的抗震性能研究。中国建筑科学研究院总结国内外已有的资料,分析了L形柱的正截面工作机理,给出了L形截面钢筋混凝土双向偏压柱的直接设计方法。

以上研究成果表明,钢筋混凝土异形柱的延性通常低于矩形截面柱。异形柱由于多肢的存在,其剪力中心与截面形心往往不重合,各肢产生翘曲正应力和剪应力。由于剪应力使柱肢混凝土先于普通矩形压剪构件出现裂缝(腹剪裂缝),导致异形柱脆性明显,使异形柱比普通矩形柱变形能力降低。以上研究成果使得钢筋混凝土异形柱的使用受到了限制,但从2004年以来,国内有许多学者又开始对钢骨混凝土异形柱展开研究。

1.2.3 钢筋混凝土异形柱框架结构所面临的问题

随着研究的深入和实际工程中经验的积累,异形截面柱框架结构作为一个结构体系正逐步形成,其结构整体的抗震性能比砌体结构好也得到了认可,但是无论在理论还是试验研究方面仍然存在有待进一步解决的问题。

(1) 作为构件的单根柱和结构整体中的柱的受力机理不尽相同。现有的试验条件还没有完成准确地模拟单根柱在结构中的受力机理。例如L形柱,在刚度对称的框架整体中,发生沿 x 方向或 y 方向的弯曲,但进行单根构件试验时,不可避免会发生双向偏压。因此,如何将构件的性能拟合到结构整体中是一个有待研究的问题。

(2) 目前对于异形柱框架的研究很少涉及材料的非线性。而要充分认识这种结构体系,并且充分利用材料,对非线性阶段的研究必不可少。

(3) 针对异形柱框架结构节点的研究很少。由于异形柱截面形式复杂,柱肢相对矩形柱单薄,因此节点的不确定因素可能更多,这无论在理论研究还是工程实际中都是必须要解决的问题。

(4) 在异形柱框架轻型结构中,砌块填充墙的使用相当普遍,它对结构抗侧刚度的贡献很大,在结构抗震中也起到了很大的作用,但在结构计算时,为了简单起见,通常不考虑填充墙的作用,因此造成了材料的浪费。这个问题也有待解决。

(5) 钢筋混凝土异形柱结构的抗震性能较差和承载力较低,一般只适用于多层和抗震设防烈度比较低的地区,这使其使用范围受到一定限制。如何提高这种结构的承载力和延性也是亟待解决的问题。

1.3 钢与混凝土组合结构

用型钢或钢板焊（或冷压）成的钢截面，并在其周围配置钢筋，再在其四周或内部浇灌混凝土，使混凝土与型钢形成整体共同受力，通称为钢与混凝土组合结构。钢—混凝土组合结构是钢结构和混凝土结构之间的一种新型结构形式，它通过钢、混凝土的协同工作使得钢材卓越的抗拉性能和混凝土的抗压性能得以充分发挥，因此有效地解决了钢筋混凝土结构中受拉区混凝土开裂后退出工作的问题；另外混凝土包住型钢可以防止型钢压曲，增强型钢的稳定性；同时可以利用混凝土代替钢材受压，经济效果显著。工程实践证明，钢筋混凝土组合结构和钢结构相比可节约钢材 50% 左右，每平方米造价可降低 10% ~ 40%，同时因为截面刚度的增加，可以减少结构挠度 $1/3 \sim 1/2$ ；与钢筋混凝土结构相比，在钢筋用量相当的情况下可节省混凝土 60% 左右，减轻自重约 20%，且对延性有很大的改善。由于钢—混凝土组合结构的诸多优点，它正受到越来越多的关注。

1.3.1 钢骨混凝土结构

目前，国内外常用的钢—混凝土组合结构有：压型钢板与混凝土组合楼板、钢与混凝土组合梁、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构、外包钢混凝土等五大类。其中，通常又将在钢筋混凝土中埋置型钢的组合结构称为钢骨混凝土（Steel Reinforced Concrete，以下简称 SRC）结构（见图 1-1）。这种结构形式在英美等国称为 Concrete-Encased Steelwork，前苏联称为劲性钢筋混凝土结构，日本则称为钢骨混凝土。钢骨分为实腹式和空腹式。实腹式 SRC 构件具有较好的抗震性能，而空腹式 SRC 构件的抗震性能与普通钢筋混凝土（Reinforced Concrete，以下简称 RC）构件基本相同。因此，目前在抗震结构中多采用实腹式 SRC 构件。实腹式钢骨可由钢板焊接拼制成或直接采用轧制型钢。当用型钢作钢骨时，也称为型钢混凝土结构。常用的 SRC 柱构件的截面形式见图 1-2。

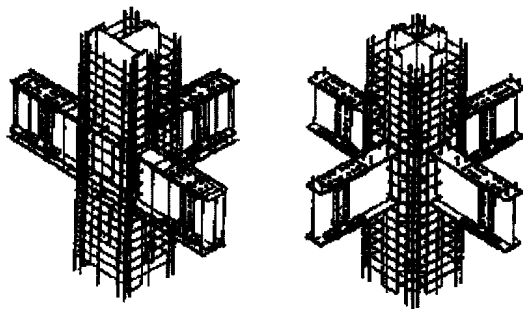


图 1-1 钢骨混凝土结构

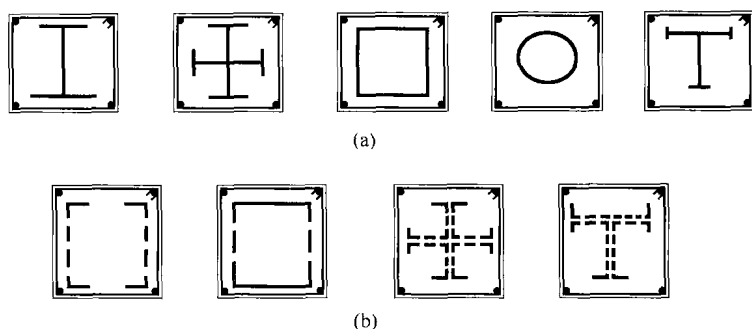


图 1-2 钢骨混凝土柱截面的基本类型

(a) 实腹式钢骨混凝土柱；(b) 空腹式钢骨混凝土柱

1.3.2 钢骨混凝土结构的特点

钢骨混凝土结构作为一种新型的建筑结构，与钢筋混凝土结构和钢结构相比有下列一些不同特性。

(1) 与钢筋混凝土结构相比：

- 1) 变形能力强，抗震性能好。
- 2) 在截面尺寸相同的条件下，可以配置较多的钢材。
- 3) 当基础采用钢筋混凝土结构，上部为钢结构时，采用钢骨混凝土结构作为过渡层可以使结构的内力传递更为合理。

4) 在施工时，型钢骨架有较大的承载力，可以作为脚手架使用，如果再利用压型钢板作为混凝土楼板模板的话，可以大大节省模板工作量。

5) 由于构件中存在钢骨与钢筋，浇筑混凝土比较困难。

6) 钢材较费，建设费用高。钢骨混凝土结构用钢量为 $80 \sim 180 \text{kg/m}^2$ ，其中钢骨占总用钢量 $20\% \sim 50\%$ 。

(2) 与纯钢结构相比：

- 1) 混凝土兼有参与构件受力与保护层功能，经济效果好。
- 2) 结构刚度大，外力作用下变形小。
- 3) 混凝土有利于提高型钢的整体稳定性。
- 4) 使用的型钢规格较小，钢板厚度较薄，比较符合我国钢材轧制的实际情况。
- 5) 结构自重重大，施工复杂程度高。

1.3.3 钢骨混凝土结构在国内外的研究现状

1.3.3.1 SRC 在国外的研究和应用

SRC 结构的使用始于 20 世纪初期的欧美，但当时仅仅是利用混凝土对钢骨

进行保护,起到耐久、耐火的作用。对 SRC 构件的性能进行大量的研究是从 20 世纪 50 年代开始的。很多学者在计算模型、计算和分析方法及简化计算等方面做了大量的工作,提出了许多适合本国实情的理论和方法,概括起来主要有以下三种:

(1) 前苏联的计算理论是基于钢筋混凝土结构的计算方法,以极限强度理论为设计依据,认为钢骨与混凝土是完全共同工作的,这与实际情况略有出入,试验证明前苏联的计算方法在某些方面偏于不安全;

(2) 欧美的计算理论是基于钢结构的计算方法,以允许应力强度理论为设计依据,考虑混凝土的作用,在试验基础上将试验曲线进行修正,突出反映在组合柱的计算上;

(3) 日本的计算理论是建立在叠加理论基础上的方法,是以允许应力强度理论为设计依据,认为 SRC 结构的承载能力是钢骨与钢筋混凝土两者承载能力的叠加,经过比较,日本的计算方法偏于安全。

钢骨混凝土结构最早出现在欧洲。1904 年,在英国,为了提高建筑物的耐火性能而将钢骨埋于混凝土中,这是最早的钢骨混凝土柱。因此,最早的钢骨混凝土结构也在欧美等国开始研究。1908 年, Burr 通过空腹式钢骨混凝土柱试验发现外壳使柱的强度显著提高,1923 年,加拿大首先开始了空腹式钢骨混凝土梁的试验研究,随后在英国、美国和其他西欧国家也进行了试验研究。从 20 世纪 50 年代开始,欧美许多国家对钢骨混凝土构件的性能进行了大量的试验研究,在计算模型、分析方法及简化计算等方面做了大量的工作,提出了各种适合本国国情的计算理论。

日本是多地震国家,特别重视 SRC 结构抗震性能的研究和工程应用。1921 年建成的 30m 高的兴业银行是日本早期典型的全 SRC 结构,它在关东大地震中几乎没有受到什么损害,引起了日本工程界的重视。内藤多仲在 1924 年发表的“钢结构震害调查”一文中指出,层数较多的 SRC 结构具有良好的抗震性能且震害极小。自此,在日本 6 层以上的建筑物开始广泛采用 SRC 结构并逐渐发展成为日本独特的一种结构体系。1950 年公布的日本建筑基本法,作为建筑行政指导方针,要求 6 层以上的建筑物采用 SRC 结构。1953 年要求 7 层以上、1970 年要求 8 层以上建筑物采用 SRC 结构。在日本, SRC 结构和木结构、钢结构及钢筋混凝土结构并列为四大结构。到 1985 年, SRC 结构的建筑面积占总建筑面积的 62.8%, 10~15 层高层建筑中, SRC 结构的建筑物栋数占总数的 90% 左右。

SRC 结构在日本的广泛研究是从第二次世界大战后开始的,在战后的修复中, SRC 结构建筑物不断涌现,由于建立设计方法的需要,促进了对结构体系的系统研究。1951~1956 年,东京大学生产技术研究所的平井善胜、若林实研究小组为研究 SRC 结构承载力,进行了 SRC 梁的弯曲, SRC 柱子的偏压, SRC 梁、

SRC 柱剪切, SRC 梁柱节点以及黏结等各种试验。此外, 东京大学的仲雄尾、高田周三研究小组进行了足尺寸梁的剪切及梁柱节点试验。梅村魁研究小组进行了 SRC 柱偏压试验。以上研究基本是以空腹式 SRC 构件为主, 以这些研究成果为基础, 日本建筑学会于 1958 年制定了以累加强度为基本体系的《钢骨混凝土规范》。1958 年规范制定以后, 对 SRC 结构的研究也基本告一段落, 直到 20 世纪 60 年代, 在一次地震中发现许多钢筋混凝土柱发生了剪切破坏, 而 SRC 结构的损坏极其轻微, 由此促进了对 SRC 构件剪切性能的进一步研究, 并取得了防止剪切破坏的措施。日本从 1959 年开始生产 H 型钢, 1960 年后, 横尾义贯、若林实等进行了以 H 型钢为钢骨的 SRC 构件的弯曲、轴心及偏心受压、剪切及节点的试验研究, 证实了当时的《钢骨混凝土规范》同样适用于采用 H 型钢的 SRC 构件。1963 年, 日本对 1958 年《钢骨混凝土规范》进行了第一次修改, 修改后的内容与第一版基本相同, 只是对有关剪力计算条文给出了具体的计算公式, 并在柱子部分的说明中给出了钢骨和钢筋为非对称配置时的累加强度计算公式。1995 年, 日本关西大地震倒塌和严重破坏的建筑物中, 钢筋混凝土结构占 55%, 钢结构占 38%, 而 SRC 结构及其混合结构仅占 7%。经过分析表明, SRC 结构的破坏主要为非埋入式柱脚及 SRC 与钢筋混凝土结构的转换层等薄弱环节。目前, 日本已成为对 SRC 结构研究和应用最多的国家。

SRC 结构在前苏联的应用也比较广泛, 多数还是用于超高层建筑的框架结构中。以前苏联 SRC 结构的设计规程为代表的极限强度理论, 认为钢骨与混凝土是完全共同作用, 并且在极限荷载下钢骨完全屈服。1951 年电子建设部颁发了 SRC 结构设计规范, 主要设计空腹式 SRC 梁和柱及其形成的框架结构的设计规定。1978 年又出版了 SRC 结构的设计指南 CH3-78, 主要以实腹式为主要内容, 并强调箍筋和纵筋的作用, 对 SRC 梁的正截面计算同样根据中和轴与型钢的相对位置, 即中和轴经过型钢腹板、不经过型钢和经过型钢翼缘三种情况而定。

1.3.3.2 SRC 在国内的研究

我国于 20 世纪 50 年代从前苏联引进了 SRC 结构, 并在工业建筑中得以应用, 后来由于片面追求节约钢材, 这种结构几乎停止使用。80 年代中期, 随着我国建筑业的迅猛发展, SRC 结构又一次在我国兴起。与此同时, 我国的研究人员也全面展开了对 SRC 结构受力性能的研究。郑州工学院、西安建筑科技大学与原冶金部建筑研究总院最早开始进行研究, 继而西南交通大学、东北大学、重庆建筑大学、清华大学、哈尔滨建筑大学、东南大学、中国建筑科学院、沈阳建筑工程学院等高等院校、科研单位也展开了广泛的研究。在这一时期, 重点研究了 SRC 受弯构件的正截面和斜截面的受力性能, 并建立其正截面受弯承载力和斜截面受剪承载力的计算公式以及研究了徐变、收缩等问题; 研究了 SRC 构件的抗裂性能、刚度和裂缝等性能, 并建立其刚度和裂缝宽度计算公式; 对于 SRC