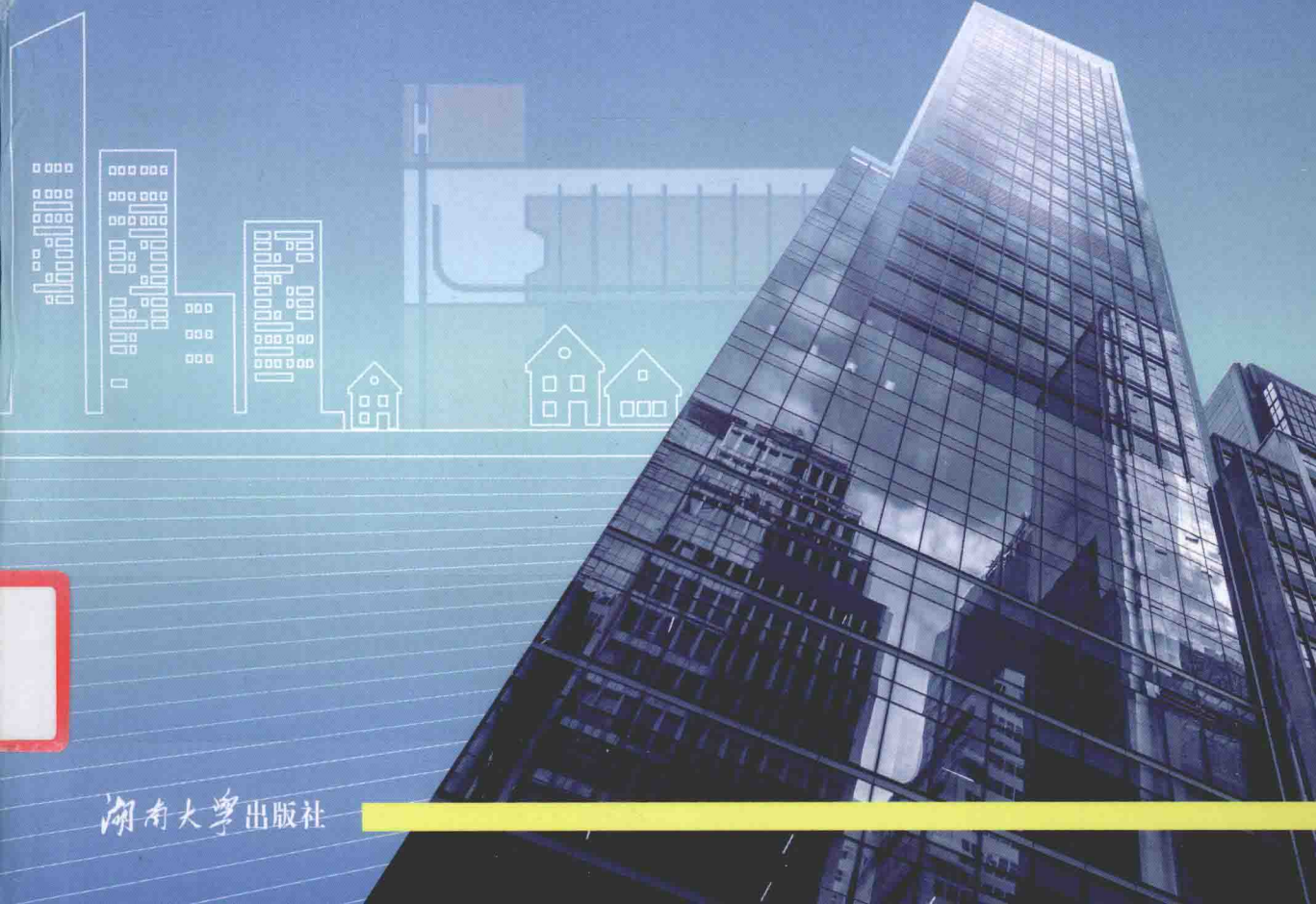


装配整体式混凝土框架 实用设计方法

Applied Design Method
of Monolithic Precast Concrete Frame

卢家森 著



湖南大学出版社

装配整体式混凝土框架 实用设计方法

Applied Design Method
of Monolithic Precast Concrete Frame

卢家森 著

湖南大学出版社



内容简介

本书基于 JGJ 1—2014《装配式混凝土结构技术规程》从材料选取、结构体系及分析方法、预制构件设计、连接设计、深化设计等五个方面系统阐述了预制混凝土装配整体式框架结构设计过程和要点。本书结合新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构体系研究,详细介绍了该体系的试验研究成果及结构分析设计方法;结合具体工程进行了实例解析,详细介绍了装配整体式混凝土框架结构的完整设计过程,可为类似工程设计提供参考。

在 JGJ 1—2014《装配式混凝土结构技术规程》提供的设计方法的基础上,本书对实际工程中遇到而规程中未涉及的内容,如叠合楼板、预制外挂墙板及相关连接节点的设计方法进行了系统研究归纳,为读者提供了可供选择的途径。

本书可供建筑结构设计人员参考使用,也可供高等院校结构工程专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

装配整体式混凝土框架实用设计方法/卢家森著. —长沙:湖南大学出版社, 2016. 7

ISBN978-7-5667-1107-6

I. ①预… II. ①卢… III. ①装配式混凝土结构—混凝土框架—结构设计 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 101523 号

装配整体式混凝土框架实用设计方法

ZHUANGPEI ZHENG TISHI HUNNINGTU KUANGJIA

SHIYONG SHEJI FANGFA

作 者: 卢家森 (著)

策划编辑: 祝世英

责任编辑: 黄 旺 金红艳 责任校对: 全 健 责任印制: 陈 燕

印 装: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787×1092 16 开 印张: 16 字数: 380 千

版 次: 2016 年 7 月第 1 版 印次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN978-7-5667-1107-6

定 价: 48.00 元

出 版 人: 雷 鸣

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-88822559(发行部), 88821343(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731-88649312(发行部), 88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: presszhusy@hnu.edu.cn

版权所有, 盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

序

装配式混凝土结构的建造是采用起重设备及其他运输设备将工业化生产的预制混凝土构件进行装配施工的一种施工方法。装配式混凝土结构具有很多优点,如工业化生产方式有利于提高预制构件质量,减小现场湿作业有利于环境保护,建造速度快,工期短、投资回收快,技术经济效益明显,现行规范采用的装配式结构具有更好的安全性、适用性、耐久性及抗震性。

最近十年,随着我国建筑业的转型发展,建筑产业现代化成为装配式混凝土建筑发展的内在动力。目前中华人民共和国住房和城乡建设部及相关各行业主管部门均明确在未来5~10年乃至更长时间内将大力发展装配式混凝土结构,这给我国装配式混凝土建筑产业的发展提供了良好的政策环境及前所未有的发展机遇,各地装配式建筑正迅猛发展。

本书作者卢家森博士是国内较早从事装配式结构设计的大型设计院的一线结构工程师,有十多年从事结构设计的实践经历。作者具有扎实的理论功底和丰富的实践经验,在长期从事结构设计尤其是装配式混凝土结构设计过程中,对应用最为广泛的装配整体式框架开展了较为深入的研究。本书结合JGJ 1—2014《装配式混凝土结构技术规程》相关内容,详细介绍了装配整体式混凝土框架的实用设计方法,其中包括作者在近年来取得的一些研究成果,如新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构、桁架钢筋混凝土叠合楼板、预制外挂墙板、H型钢抗剪键、栓钉抗剪键等设计分析方法,可以作为现行规程的有益补充,并为读者提供可供选择的设计途径。

目前国内用于指导装配整体式混凝土框架设计的参考用书较为匮乏,本书作为一本详细论述装配整体式混凝土框架设计方法的专业用书正逢其时。本书简要回顾了国内外装配式混凝土建筑的发展概况,系统总结了装配整体式混凝土框架的设计方法,并结合具体工程实例,详细给出了预制框架结构设计中遇到的重难点问题的解决方法。本书理论联系实际,贴近工程实际,具有很强的可操作性与实用性,是一本颇有价值的装配整体式框架设计参考书。

本书值得准备从事装配式结构设计的建筑结构设计人员阅读,也可供高等院校结构工程专业的师生作为学习参考用书。相信本书的出版会对我国装配式建筑的推广应用起到一定的推动作用。

张其林

2016年4月于同济园

前言

近年来,随着我国建筑业的转型发展,建筑产业现代化为装配式混凝土建筑的发展提供了难得的机遇,各地结合国家保障房建设,掀起了一轮预制混凝土结构研究和应用的热潮。上海城建(集团)公司在2011年6月邀请中国台湾润泰集团为公司内部的设计人员开设了为期数周的装配式住宅设计的培训课程,作者有幸参加了这一培训,对预制结构有了初步认识。

当时一方面我国相关国家标准和地方标准的制定明显滞后于工程实践,另一方面由于设计标准体系的差异,其他国家或地区的设计方法和规定并不能直接应用于我国的结构设计,存在设计方法的适用性问题,这就给当时从事装配式混凝土结构设计的人员提出了挑战。

从那时开始作者对装配式混凝土结构的设计产生了浓厚的兴趣,在从事一线结构设计的过程中,理论联系实际,对装配整体式混凝土框架的设计方法开展了一系列的研究,提出了一种新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构体系,并开展了相关试验研究。本书正是这几年研究成果的一个系统总结。

目前虽然相关国家标准和地方标准陆续出台,但新的技术标准和结构体系尚有很多不完善之处,市场上面向结构设计人员的较为系统阐述装配整体式框架设计方法和实例解析的参考用书较少,这在很大程度上阻碍了其工程应用。希望本书能够帮助设计人员理解装配整体式框架基于等同现浇的设计理念,叠合构件的受力特性,预制构件连接的传力机理,建立装配整体式框架设计的基本概念,并能够利用现行规范及本书所提供的设计方法进行装配整体式框架的结构设计,完成从方案提出阶段、初步设计阶段、施工图阶段及深化设计阶段的结构设计内容,让有志于从事装配式混凝土结构设计的工程师快速成长为一名合格的结构专业负责人。

本书基于JGJ 1—2014《装配式混凝土结构技术规程》,围绕设计人员关心的重点,从设计人员的实际需要出发,分析、解释了现行规范所采用的等同现浇的基本概念及目前我国规范所处的技术理论水平,较为系统地给出了采用整浇湿式连接的装配整体式混凝土框架的实用设计方法,包括材料选取、结构体系及分析方法、预制构件设计方法、连接设计方法,为结构设计人员明确了包括深化设计在内的各个设计阶段的内容及深度。本书最后一章结合一个具体工程详细介绍了装配整体式框架的设计过程和步骤,该工程采用预制柱、叠合梁、叠合楼板、预制

外挂墙板等,具有很强的代表性,作者负责完成了该工程的结构设计和深化设计工作。

感谢同济大学杨彬副教授、吕佳博士、李晗博士、贾斌博士、李兆杨博士对本书试验所作的卓越贡献,感谢上海市城市建设设计研究总院PC工作组全体同事的帮助,特别感谢郑振鹏副总工程师、吴金虎硕士、徐海兵工程师、胡国恩工程师、张俊杰工程师等为本书的工程实例所做的贡献以及上海电力设计院有限公司许菁工程师、沛丰建筑工程(上海)有限公司黄绸辉先生所提供的帮助。

湖南大学沈蒲生教授主审书稿,同济大学张其林教授审阅书稿并欣然赐序,吴金虎硕士对全书做了校对工作,湖南大学出版社编辑祝世英和金红艳对本书进行了策划和编辑工作,他们对本人的支持和鼓励令人充满敬意。

本书能够获得上海市城建设计研究总院科研基金的资助出版,特别要感谢周良总工程师的建议和张衡汇科研主管的工作。最后要特别感谢我的家人,正是由于他们无私的支持和鼓励,让我有不断前行的勇气和动力,能够让这本书如期面世。

在本书编著过程中,引用了部分同行专家的相关文献资料,对此谨向所引用文献资料的所有作者表示衷心感谢。由于时间所限,书中难免有引用同行专家论著或资料中的某些内容而未能详细说明出处,敬请谅解。

由于作者水平有限,书中可能有许多不足甚至错误之处,恳请专家和读者批评指正,作者先诚表谢意。作者电子邮箱:lujiasen99@sina.com。

卢家森
2016年3月于上海

目 次

第1章 绪 论	(1)
1.1 国内外装配式混凝土建筑的发展概况	(1)
1.1.1 国外装配式混凝土建筑的发展状况	(1)
1.1.2 我国装配式混凝土建筑的发展状况	(4)
1.2 装配式混凝土结构体系	(5)
1.2.1 通用结构体系	(5)
1.2.2 专用结构体系	(6)
1.3 装配式混凝土框架结构	(7)
1.3.1 等同现浇型和非等同现浇型	(7)
1.3.2 装配式混凝土框架抗震性能研究	(8)
1.3.3 装配式混凝土框架的连接方式	(9)
1.4 装配整体式混凝土框架结构	(14)
1.4.1 关键技术	(15)
1.4.2 设计理论与技术标准	(15)
1.4.3 应用实例	(16)
第2章 材 料	(19)
2.1 混凝土、钢筋和钢材	(19)
2.2 连接材料	(20)
2.2.1 灌浆套筒和套筒灌浆料	(20)
2.2.2 浆锚搭接连接用灌浆料	(21)
2.2.3 锚固板	(22)
2.2.4 受力预埋件的锚板及锚筋	(22)
2.2.5 连接用焊接材料和紧固件	(23)

2.2.6 金属波纹管	(23)
2.2.7 纤维增强塑料和不锈钢	(23)
2.3 其他材料	(24)
2.3.1 防水材料	(24)
2.3.2 保温材料	(26)
第3章 结构体系及结构分析方法	(27)
3.1 结构体系概述	(27)
3.2 结构体系的一般规定	(29)
3.2.1 适用高度	(29)
3.2.2 高宽比	(30)
3.2.3 抗震等级	(30)
3.2.4 平面规则性和竖向规则性	(31)
3.2.5 其他规定	(32)
3.3 作用及作用组合	(32)
3.3.1 结构整体分析的作用及作用组合	(32)
3.3.2 施工阶段的作用	(32)
3.4 结构计算与分析	(33)
3.4.1 一般规定	(33)
3.4.2 重要计算参数	(34)
3.4.3 抗震变形验算	(37)
3.5 结构体系的选择	(37)
第4章 新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构	(39)
4.1 新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构的概念	(39)
4.1.1 研究现状	(39)
4.1.2 一种新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构	(40)
4.2 高强度混凝土带竖缝剪力墙板的工作性能研究	(43)
4.2.1 试验概况	(43)
4.2.2 试验过程与破坏机理分析	(48)
4.2.3 试验结果分析	(50)
4.2.4 结论	(53)
4.3 预制框架内嵌带竖缝剪力墙板结构的工作性能研究	(54)
4.3.1 试验概况	(54)

4.3.2	试验破坏过程	(60)
4.3.3	试验结果分析	(65)
4.3.4	结论	(68)
4.4	新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构分析方法	(69)
4.4.1	分析方法的研究现状	(69)
4.4.2	新型装配整体式混凝土框架-内嵌带竖缝剪力墙板结构分析方法	(69)
第5章	预制构件设计方法	(72)
5.1	预制构件设计的基本原则	(72)
5.1.1	一般规定	(72)
5.1.2	施工验算	(72)
5.2	预制柱设计方法	(74)
5.2.1	预制柱设计的一般规定	(74)
5.2.2	预制柱截面承载力计算	(74)
5.2.3	预制柱的构造要求	(76)
5.3	叠合梁设计方法	(80)
5.3.1	叠合梁简述	(80)
5.3.2	施工阶段有可靠支撑的叠合梁计算	(81)
5.3.3	施工阶段不加支撑的叠合梁计算	(83)
5.3.4	叠合梁的构造要求	(91)
5.4	叠合楼板设计方法	(97)
5.4.1	叠合楼板的分类	(97)
5.4.2	叠合楼板的一般规定	(99)
5.4.3	桁架钢筋混凝土叠合楼板	(99)
5.5	预制外挂墙板设计方法	(105)
5.5.1	概述	(105)
5.5.2	预制外挂墙板的类型	(107)
5.5.3	预制外挂墙板的板型设计	(109)
5.5.4	荷载工况及荷载组合	(113)
5.5.5	墙板的设计弯矩和挠度计算	(115)
5.5.6	墙板的配筋设计	(116)
5.5.7	构造要求	(117)
第6章	连接设计方法	(118)

6.1 连接的传力机理.....	(118)
6.1.1 混凝土和混凝土之间的传力机理	(118)
6.1.2 钢筋和混凝土之间的传力机理	(122)
6.1.3 钢筋和钢筋之间的传力机理	(123)
6.1.4 H型钢抗剪键和混凝土之间的传力机理	(127)
6.1.5 栓钉抗剪键和混凝土之间的传力机理	(129)
6.1.6 钢板和钢板之间的传力机理	(130)
6.2 连接设计的一般规定.....	(131)
6.2.1 连接接缝的正截面承载力验算	(131)
6.2.2 连接接缝的受剪承载力验算	(131)
6.3 预制柱和叠合梁连接节点.....	(132)
6.3.1 预制柱的连接	(133)
6.3.2 叠合梁的连接	(137)
6.3.3 梁柱节点	(139)
6.4 主次梁连接节点.....	(146)
6.4.1 主次梁连接节点构造	(146)
6.4.2 抗剪钢板企口连接设计方法	(148)
6.4.3 缺口梁方式连接设计方法	(154)
6.5 叠合楼板连接节点设计方法.....	(156)
6.5.1 叠合面受剪承载力验算	(156)
6.5.2 叠合楼板连接构造	(156)
6.6 外挂墙板连接节点设计方法.....	(159)
6.6.1 点支承式连接节点的设计方法	(159)
6.6.2 线支承式连接节点的设计方法	(163)
6.6.3 外挂墙板的板缝设计方法	(165)
6.7 预埋件节点的设计方法.....	(167)
6.7.1 圆锚筋预埋件的设计方法	(167)
6.7.2 栓钉抗剪预埋件的设计方法	(168)
6.7.3 H型钢抗剪键的设计方法	(169)
第7章 深化设计概述.....	(171)
7.1 设计阶段及其深度.....	(171)
7.1.1 方案阶段	(171)

7.1.2	初步设计	(171)
7.1.3	施工图设计	(173)
7.1.4	深化设计	(175)
7.2	深化图表达方法	(176)
7.2.1	预制构件位置及数量	(176)
7.2.2	细部节点	(187)
7.2.3	构件制作图	(191)
7.3	深化设计计算	(201)
7.3.1	预埋吊件及临时支撑设计要求	(201)
7.3.2	预埋吊件的承载力	(201)
第8章	装配整体式框架设计实例	(203)
8.1	工程概况	(203)
8.2	结构整体计算分析	(205)
8.3	构件设计	(206)
8.3.1	预制柱	(206)
8.3.2	叠合主梁	(207)
8.3.3	叠合次梁	(208)
8.3.4	钢筋桁架叠合楼板	(208)
8.3.5	预制外挂墙板	(211)
8.4	构件连接设计	(213)
8.4.1	预制柱连接	(214)
8.4.2	梁柱连接节点	(214)
8.4.3	叠合次梁与叠合主梁连接	(217)
8.4.4	叠合楼板与梁连接	(221)
8.4.5	预制外挂墙板与混凝土框架连接及板缝设计	(221)
8.4.6	现浇楼梯梯梁与预制梁、柱连接	(234)
8.5	施工阶段验算	(235)
8.5.1	钢绞线吊钩承载力计算	(235)
8.5.2	暗螺母预埋件承载力计算	(236)
	参考文献	(238)

第1章 绪论

由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构,包括装配整体式混凝土结构、全装配式混凝土结构等,其在建筑工程中,简称装配式建筑;在结构工程中,简称装配式结构^[1]。装配式建筑的历史和混凝土建筑本身一样久远,然而,从20世纪50年代开始,其施工才采用工业化的方式,这主要是由于起重设备的发展和钢模板的应用,特别是最近用于预制楼板单元生产的自动化生产系统的普及^[2]。本章首先回顾了国内外装配式混凝土建筑的发展概况,对预制混凝土装配式结构体系的种类进行了归纳,然后详细介绍了装配式混凝土框架结构的连接方式和几种比较典型的装配式混凝土框架结构体系研究及其工程应用,最后针对本书重点论述的装配整体式混凝土框架结构的实用设计方法的相关内容进行了说明。

1.1 国内外装配式混凝土建筑的发展概况

自从首次在建筑中采用预制混凝土梁到现在为止,预制混凝土结构已经经历了120多年的发展历程。预制混凝土结构在欧洲、北美、日本等地的应用较为广泛,这些发达国家的预制混凝土结构在土木工程中的应用比例通常都在35%以上^[3],相比之下,我国的预制混凝土技术较为落后,多种因素制约了预制混凝土结构的发展和应用。

1.1.1 国外装配式混凝土建筑的发展状况

(1) 欧洲

预制混凝土技术起源于欧洲,其首项专利于1875年在英国诞生。1903年,世界著名的巴黎“富兰克林大街的公寓”就是运用了预制混凝土技术。预制混凝土技术真正得以运用和发展的时期是第二次世界大战以后,多层集合住宅的大量建设促使各国选择了在标准设计基础上

的预制混凝土大板工法,如图1-1、图1-2所示。



图 1-1 法国预制住宅现场

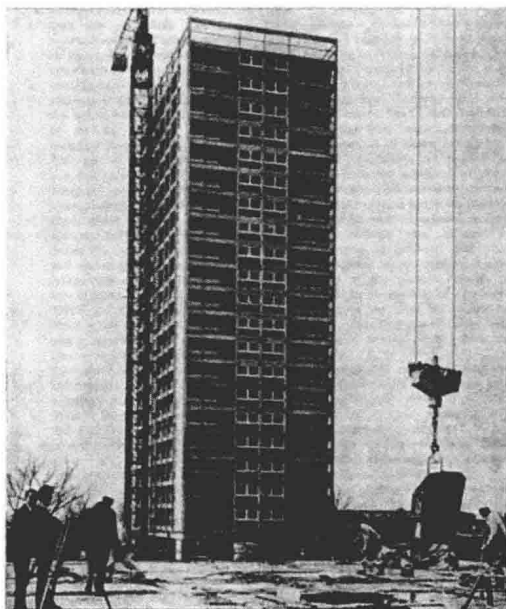


图 1-2 英国预制住宅现场

各国分别开发出各种装配式建筑通用体系和专用体系^[4],如丹麦开放体系、芬兰工业化部品通用系统、英国的大板体系、法国的预应力装配框架体系、德国的预制空心模板墙体系等,并编制了一系列预制混凝土规范,有力地推动了预制混凝土技术的发展。

20 世纪 70 年代,法国对卫星城建设的批判和英国大板高层住宅 Ronan Point 连续倒塌事件成为预制混凝土技术发展的一个转折点,此后以大型板式预制混凝土工法为基础的产业趋于瓦解。20 世纪 80 年代以后,预制混凝土住宅出现了多元化趋势,并带有地域性技术特色。

从 20 世纪 90 年代中期到 21 世纪初,随着劳动力的锐减和公司破产的增加,预制混凝土应用经历长达 10 年的衰退。然而直到最近 10 年,预制混凝土应用才开始一个新的发展期^[2]。

(2)北美地区

北美地区开始应用预制混凝土技术的标志性事件是 1950 年 Walnut Lane 纪念刚架桥的建设,从此预制混凝土技术在北美地区快速发展。20 世纪 60 年代早期,出现了高层预制住宅,通过相关试验的研究,北美地区逐步形成了比较完善的预制混凝土的相关标准规范。20 世纪 70 年代末,低松弛钢绞线的出现,使得建设更大跨度、更小截面的预制构件成为可能。20 世纪 80 年代,出现了预制混凝土双 T 板楼盖体系,如图 1-3 所示为一典型的双 T 板

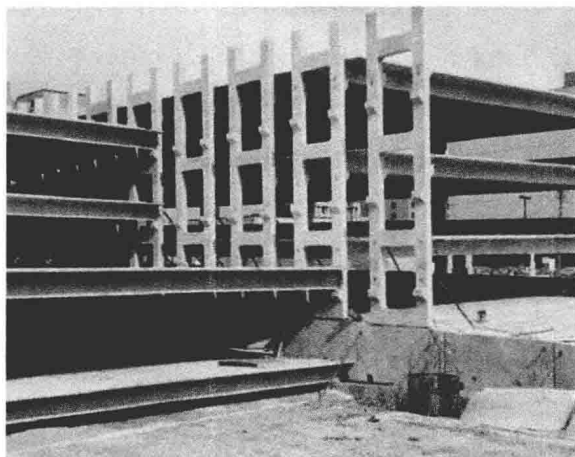


图 1-3 典型的双 T 板预制混凝土结构^[5]

预制混凝土结构。近 20 年来,更有效的结构截面、更复杂的建筑外形和表面处理得到迅速发展。总体来说,北美的预制构件趋于大型化和预应力化^[5]。



图 1-4 旧金山 39 层预制预应力混凝土框架结构

20 世纪,北美的预制建筑主要用于低层非抗震设防地区。近 10 年,根据美国房屋建筑混凝土结构规范(ACI318)的授权条款,预制混凝土结构可以建造在高烈度地区,如加利福尼亚。美国的多本设计规范已经能够满足高烈度区预制混凝土结构的设计要求,最新的国家地震减灾计划规范(national earthquake hazards reduction program,简称 NEHRP)(2009 版)代表了从 20 世纪 80 年代以来所有努力的最高水平,之后的国际建筑规范(international building code,简称 IBC)等关于抗震的设计条款均以此为基础^[6]。如图 1-4 所示的 2001 年竣工的旧金山 39 层高层为北美高烈度地震区最高的预应力预制混凝土框架结构^[5]。

(3)日本

日本的装配式混凝土建筑从 20 世纪 50 年代以后持续发展,先后开发了预制板住宅、壁式预制构件住宅。20

世纪 90 年代初,日本和美国共同研究的预制抗震结构体系等项目,研究开发了各种各样的工法,确立了现代预制工法,并逐步被广泛应用于体育场、立体停车库、物流仓库及超高层预制公共住宅的建设^[7]。

日本借鉴了欧美的成功经验,结合等同现浇的要求,在预制结构体系整体性抗震和隔震等设计方面取得了显著进展,如图 1-5 为日本 2008 年建成的具有代表性的两栋 58 层装配式结构。日本的预制混凝土建筑体系具有完善的标准规范系统,为了进一步控制预制混凝土结构的质量,日本预制建筑协会还制定了相应的认定制度,如 PC 工法焊接技术资格认定制度、装配住宅装潢设计师资格认定制度、PC 构件质量认定制度、PC 结构审查制度,并编写了“预制建筑技术集成”丛书^[7]。

日本的预制混凝土结构经历了几次大地震的检验,震后调查发现,只要预制构件的连接部位能够保持结构的整体性,预制混凝土结构就会有较好的抗震性能,特别是按照新的抗震规范设计的房屋有着良好的抗震性能。

1.1.2 我国装配式混凝土建筑的发展状况

(1) 中国大陆地区

我国装配式混凝土结构的研究和应用始于 20 世纪 50 年代,直到 20 世纪 80 年代,在工业与民用建筑中一直有着较为广泛的应用。装配式混凝土建筑及采用空心楼板的应用普及率曾达到 70% 以上^[4]。但总体来说我国预制混凝土技术比较落后,其建筑设计和施工技术水平未能跟上社会发展的要求,其建筑功能和物理性能存在许多问题,唐山大地震中大量预制混凝土结构遭到破坏说明当时所采用预制混凝土结构抗震性能较差。到了 20 世纪 90 年代中期,除装配式单层工业厂房外,装配式混凝土建筑已逐渐被全现浇混凝土建筑所替代。

近 10 年来,随着我国建筑业的转型发展,建筑产业现代化为装配式混凝土建筑的发展提供了难得的机遇。目前预制混凝土结构的国家标准和行业标准已基本齐备,地方标准也陆续推出,主要涵盖预制混凝土结构的设计、生产、施工、验收等方面的内容。但目前许多专业设计人员缺乏预制工程实践经验,对标准的理解和应用存在不足,专业素养亟待提高,否则会影响整个行业的发展。



图 1-5 前田公司 58 层装配式结构

(2)中国香港地区

从 20 世纪 80 年代末开始,香港房屋委员会提出建造和谐式公屋的计划,为中国香港地区装配式混凝土建筑发展奠定了可靠的基础,经过 20 多年的发展,香港住宅建筑的预制率由最初的 17%逐步增加到 30%以上,目前最新的和谐式公屋由于剪力墙部位、核心筒和梁柱节点也采用预制构件,其预制率达 60%左右^[8]。香港房屋署负责制订了较为完善的预制建筑设计和施工规范,高层住宅多采用叠合楼板、预制楼梯和预制外墙等方式建造,通常采用内浇外挂方式,但不考虑抗震设计。

(3)中国台湾地区

我国台湾地区的装配式混凝土建筑起源于 20 世纪 70 年代,至 20 世纪 90 年代中期,润泰集团通过引进欧洲、日本的技术,经过数十年的消化吸收、研发,逐步形成了较为完善的装配式结构体系,包括高度自动化的生产技术、灌浆套筒梁柱连接技术、多螺箍框架柱技术等,预制混凝土结构才开始在中国台湾较为普遍应用^[9]。目前,中国台湾的装配式结构的节点连接构造和抗震、隔震技术的研究和应用都很成熟,装配框架梁柱、预制外墙挂板等构件应用较广泛,预制建筑专业化施工管理水平较高,装配式建筑质量好、工期短的优势得到了充分体现。

1.2 装配式混凝土结构体系

装配式混凝土建筑结构体系可归纳为通用结构体系和专用结构体系两大类,其中专用结构体系一般在通用结构体系的基础上结合具体建筑功能和性能要求发展完善而来。目前的装配式建筑已向现浇和预制相结合的装配整体式混凝土建筑结构体系方向发展。

1.2.1 通用结构体系

目前所发展的装配式混凝土结构,是完全满足现行国家标准(包括抗震规范)的要求,具有较好的安全性、适用性和耐久性。从国内外的研究和应用经验来看,装配式混凝土结构和现浇结构一样可概括为框架结构体系、剪力墙结构体系及框架-现浇剪力墙(核心筒)结构体系三大类。各种结构体系的选择可根据具体工程的高度、平面、体型、抗震等级、设防烈度及功能特点来确定,结构中承重构件可以全部为预制构件或为预制与现浇构件相结合。

装配式框架结构与装配式框架-现浇剪力墙(核心筒)结构中的框架、梁、柱全部或部分采用预制构件,承重构件之间的节点、拼缝连接设计均按照等同现浇结构要求进行设计和施工。该结构体系具有和现浇结构等同的性能,结构的适用高度、抗震等级与设计方法与现浇结构基

本相同,目前在上海城建集团开发的保障性住房中已广泛应用,预制率达 70%,成为国内预制化率最高的高层住宅。装配式框架结构可以结合预制外挂墙板应用,实现主要结构接近 100%的预制化率,尽量减少现场的湿作业。

装配式剪力墙结构可以分为全预制剪力墙结构、部分预制剪力墙结构和适当降低结构性能要求的多层剪力墙结构(以下简称为装配式大板结构)。

全预制剪力墙结构指全部剪力墙采用预制构件装配。预制墙体之间的拼缝基本等同于现浇结构或者略低于现浇结构,需要通过设计与计算满足拼缝的承载力、变形要求,并在整体结构分析中考虑拼缝的影响。该结构体系的预制率高,但拼缝的连接构造比较复杂、施工难度较大,难以保证完全等同于现浇剪力墙结构,目前的研究和工程实践还不充分,其在地震区的推广应用还需要今后进一步的研究。

部分预制剪力墙结构主要指内墙现浇、外墙预制的结构。由于内墙现浇,结构性能和现浇结构类似,适用高度较大、适用性好;采用预制外墙可以与保温、饰面、防水、门窗、阳台等一体化预制,充分发挥预制结构的优势。该体系的适用高度可参照现行现浇结构的有关标准并适当降低,是目前阶段较为实用的一种结构体系。在以上全预制和部分预制剪力墙结构体系中,预制剪力墙可采用整块预制墙板和预制叠合墙板,其中在抗震设防地区应优先采用预制叠合板。

1.2.2 专用结构体系

装配式混凝土结构可结合各地区不同的抗震设防烈度、建筑节能要求、自然条件和结构特点,来研究开发专用结构体系,这样不但可以提高装配结构模数定型的标准化要求,还可提高建筑的预制率,从而提高施工效率,对缩短工期和降低成本具有非常重要的意义。

国外许多工业化程度高的发达国家都曾开发出各种装配式建筑专用体系(表 1-1),例如英国的 L 板体系、法国的预应力装配框架体系、德国的预制空心模板墙体系、美国的预制混凝土双 T 板楼盖体系和预制混合型抗弯框架体系、日本的 R-PC 抗震框架体系、WR-PC 壁式框架体系、W-PC 预制墙板体系以及中国台湾的润泰预制框架体系等。我国的装配式混凝土单层工业厂房及住宅用多层装配剪力墙结构体系即装配式大板建筑体系等也都属于专用结构体系范畴。最近 10 年,我国学者开发了一系列新型的预制混凝土结构体系,如预制混凝土框架内嵌带竖缝预制混凝土墙板结构体系^[15]、钢支撑-预制混凝土框架结构体系^[16]等。通常装配式混凝土建筑专用体系具有非常好的适用性和经济性(见表 1-1)。