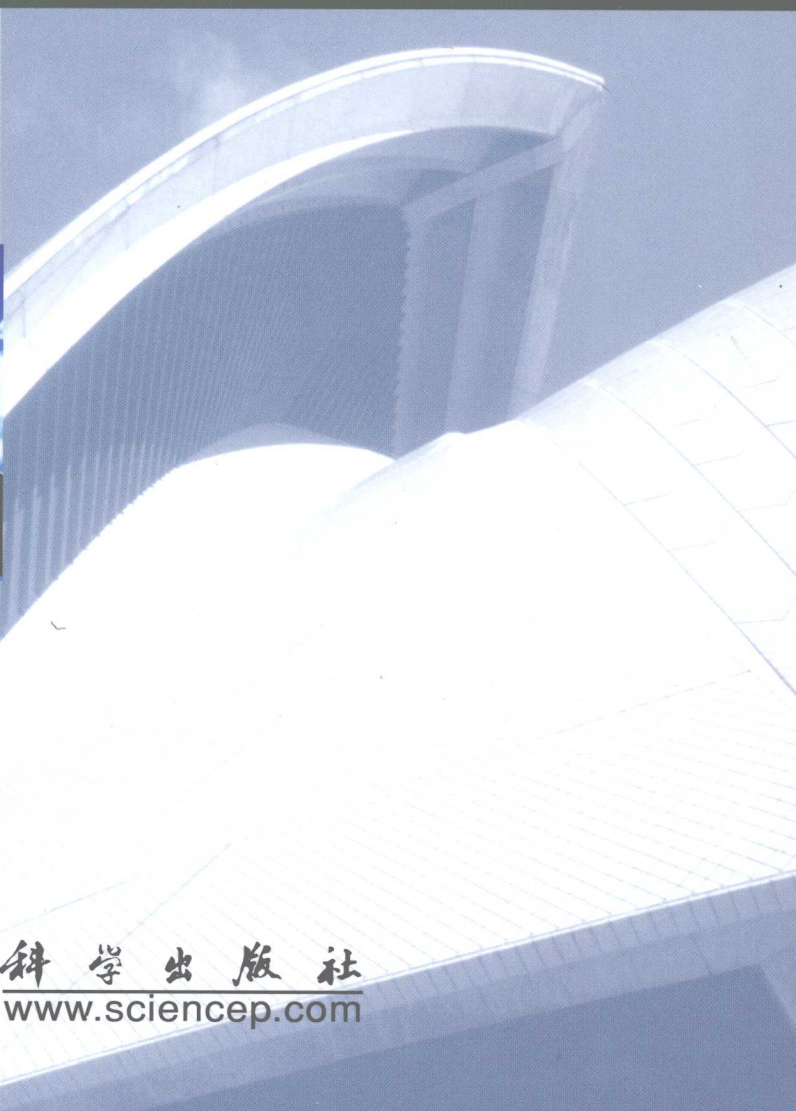




绿色节能 建筑结构新体系

万国良 万龙涛 刘泳霞 李 平 吕文彰/编著



科学出版社
www.sciencep.com

绿色节能建筑结构新体系

万国良 万龙涛 刘泳霞 编著
李 平 吕文彰

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从建筑结构研究的角度出发,围绕建筑的结构主体,结合理论分析,系统地阐述了绿色节能建筑的概念,以及以轻骨料混凝土模壳构件为主的绿色节能墙体材料的生产和绿色节能房屋建筑的结构体系。从材料的生产组织到建筑结构设计、节能设计和施工整个过程做了详细介绍。希望能为建筑设计研究人员、工程技术人员提供不同强度和容重的多种规格的绿色节能墙体材料以及绿色节能建筑结构的技术数据参考和理论依据,使其能更得心应手地在广阔的建筑领域中驰骋,为人类创造出完美的、多姿多彩的、无愧于时代的绿色节能建筑作品。

本书可供建筑设计、土木工程等专业的科研人员、工程技术人员参考,也可作为建筑学、工民建、建筑规划等相关专业的高校教材。

图书在版编目(CIP)数据

绿色节能建筑结构新体系/万国良等编著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-023383-7

I. 绿… II. 万… III. 节能-建筑工程-结构体系 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 176916 号

责任编辑:沈 建 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者

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>

北京佳信达艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 1 月第一次印刷 印张:24 3/4 插页:12

印数:1—3 000 字数:544 000

定价:80.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

前 言

推广绿色节能建筑技术是建立资源节约型、环境友好型和谐社会及可持续发展的重大举措。北京率先成为我国第一个进入建筑节能达 65% 标准的城市。绿色节能建筑在中国的兴起必将成为时代的潮流,引领中国建筑业迈上一个发展的新台阶。

绿色节能建筑结构新体系是我国自有知识产权、世界高科技前沿的综合性新技术,是跨领域的新材料、新工艺、新技术、新结构、新方法的集成,是国内外广大科技工作者和工程技术人员长期努力所取得的一系列重大科技成果的综合。绿色节能建筑结构新体系采用绿色节能建筑材料,构件现场组装,一体化浇筑,整体性能良好,其建筑具有保温、隔热、隔声、环保、节能、耐火、耐水、抗震、抗冲击、耐久等优良性能。绿色节能建筑结构新体系应是集目前可采用的最合理建筑结构形式、最适宜的建筑材料、最佳施工方式为一体的建材与建筑科学体系。

绿色节能建筑,从“节材、节地、节能、节水”的理念出发,使人类的有限资源达到合理的循环利用,它体现了人类文明传承和社会的健康发展。自 2005 年以来,国家颁布了《公共建筑节能标准》、《民用建筑节能管理规定》、《建筑节能工程质量验收规范》、《节能建筑评价标准》等一系列标准、规范。但是,这些绿色节能建筑相关政策法规的推行面临很大困难,一个重要原因就是缺乏具体的从材料生产、建筑结构设计、节能设计到施工的协调配套的科技支撑。

本书从建筑结构研究的角度出发,围绕房屋建筑的结构主体,结合理论分析,系统地阐述了绿色节能建筑的概念、以轻骨料混凝土模壳构件为主的绿色节能墙体材料的生产和绿色节能建筑的结构体系。从材料的生产组织到建筑结构设计、节能设计和施工整个过程做了详细介绍。希望能为广大的建筑大师、建筑设计研究人员、科技工作者、工程技术人员提供不同强度和容重的多种规格的绿色节能墙体材料以及绿色节能建筑结构的技术数据参考和理论依据,使其更能得心应手地在广阔的建筑领域中驰骋,为人类创造出完美的、多姿多彩的、无愧于时代的绿色节能建筑作品。

希望本书的面世,能为绿色节能建筑新体系奠定坚实的理论基础,进而在绿色节能建筑技术起步的过程中,起一个加速作用,使绿色节能建筑更快的健康发展,推动我国的绿色节能建筑早日进入世界建筑的先进行列。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请广大读者指导、指正。

万国良 刘泳霞
2008 年 10 月于北京

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 中国房屋建筑发展的历史和现状	1
第二节 我国房屋建筑结构的理论研究状况	7
第三节 房屋建筑结构体系概述	11
第四节 绿色节能建筑产生的时代背景和基本概念	15
第五节 绿色节能建筑结构新体系	22
第二章 绿色节能建筑材料及建筑规划设计	24
第一节 我国建筑节能标准、规范	24
第二节 国内外房屋建筑节能及节能技术发展概况	30
第三节 绿色节能墙体材料	50
第四节 绿色节能房屋建筑规划设计的有关规定	59
第三章 绿色节能建筑的节能设计	73
第一节 我国建筑热工设计分区	73
第二节 绿色节能建筑节能设计计算指标	77
第三节 绿色节能建筑的施工及验收	128
第四章 绿色节能建筑的结构设计	134
第一节 绿色节能建筑结构设计的政策与法规	134
第二节 我国混凝土结构设计的有关规定	139
第三节 绿色节能建筑的墙体设计规则	226
第四节 各具特色的绿色节能建筑	256
第五章 轻骨料混凝土模壳墙体构件	269
第一节 轻骨料混凝土模壳墙体构件的基本类型	269
第二节 轻骨料混凝土模壳墙体构件的技术要求和性能	274
第三节 轻骨料混凝土模壳墙体构件的企业标准	282
第四节 轻骨料混凝土模壳墙体构件的生产工艺	289
第五节 原材料配合比设计	311
第六节 生产轻骨料混凝土模壳墙体构件的砂浆拌制和设备	322

第七节 坯件成型工艺和设备·····	324
第八节 养护工艺、养护车间及配套设备 ·····	332
第六章 绿色节能建筑的屋顶及楼板·····	341
第一节 屋顶、楼板概述及分类 ·····	341
第二节 现浇轻骨料钢筋混凝土复合楼板及其技术要求·····	343
第三节 现浇轻骨料钢筋混凝土复合(叠合式)楼板案例(摘录)·····	344
参考文献·····	385

第一章 绪 论

人类社会进入 21 世纪,随着科技进步和社会的发展,绿色节能建筑已列入世界各国的议事日程,绿色节能建筑新体系正在形成。本章仅从房屋建筑材料和房屋建筑结构的角度,研究论述我国建筑的发展历史及绿色节能建筑结构新体系的发展、传承和现状。

第一节 中国房屋建筑发展的历史和现状

“安得广厦千万间,大庇天下寒士俱欢颜”。

房屋建筑是人类赖以生存的必要条件。早在几十万年前,人类从旧石器时代进化过程中,就以自然形成的山洞和专门依山挖凿的人工洞穴作为栖息、居住地。正如在对北京周口店“北京猿人”和北京房山、延庆等地大量“人工山洞”的考古研究发现,人类在走出山洞生活之前,就已经形成了“房屋”、“楼宇”的概念。同时还发现了二层甚至三层的“山洞楼”和“石门”、“石窗”、“石桌”、“石凳”、“石床”等设施,这是人类“房屋建筑”的雏形(见图 1.1.1)。

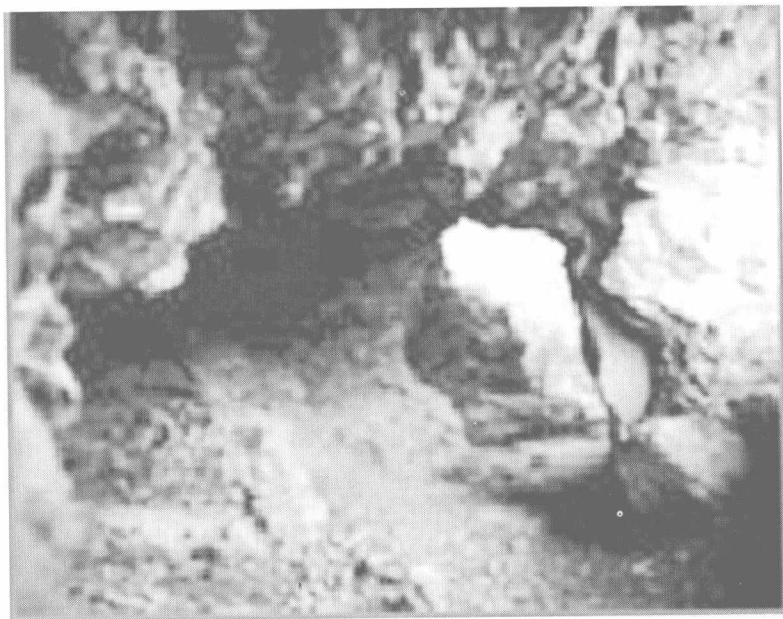


图 1.1.1 北京周口店遗址

房屋建筑作为人类文明和文化的载体,如同一座座里程碑,镌刻着人类社会发展的成就,成为一个民族对人类文明贡献的标志。有着几千年发展历史的中国传统建筑,是世界

建筑发展史中的辉煌篇章。中国房屋建筑的发展历史源远流长,可大体划分为以下几个时期:

(1) 自上古以至先秦(从几十万年之前到公元前 200 年),为中国房屋建筑的创始阶段。这一时期包括原始社会新石器时代的中、晚期和整个奴隶社会的夏、商、周。以定居为基础的新石器时代,是我国古代建筑的萌生时期。由于自然条件的不同,黄河流域及北方地区流行穴居、半穴居及地面建筑;长江流域及南方地区流行地面建筑及干栏式建筑。先秦的建筑又有了较大的发展。在河南偃师二里头发现了商代早期宫殿遗址。商代末年,商纣王大兴土木:“南距朝歌,北距邯郸及沙丘,皆为离宫别馆”。这一历史记载也已为现代考古发掘所证实。周朝的建筑较之殷商更为发达,尤其技术进步很大,开始用瓦盖屋顶。此时建筑以版筑法为主,木柱架构,庭院平整,已具一定法则。在陕西岐山凤雏村发现了西周早期宫殿遗址,在扶风召陈村有西周中晚期的建筑遗址。房屋建筑是随着人类生产力的不断提高和经济的发展而不断发展的。

(2) 秦汉时期(公元前 204 年至公元 220 年),秦汉统一促进了建筑的发展,出现了黏土砖、瓦的烧制技术,是延续至今的“秦砖汉瓦”的诞生时期。取土制砖这在人类建筑和建筑材料史上曾经是一次革命。此四百余年间的中国建筑开始走向成熟。考古发现的阿房宫遗址、秦代万里长城等宏大的建筑工程,反映了秦汉时期建筑的发展。

(3) 魏晋隋唐宋时期(公元 220 年至公元 1280 年),是中国房屋建筑的发展与高峰阶段,以隋唐的宫殿寺观为代表。宋代出现了《营造法式》一书,这是中国建筑史上第一部关于建筑结构的著作,是研究中国古代建筑的重要资料。

(4) 元明清时期(公元 1280 年至 1912 年),元明清三代,建都北京(北平),宫殿规模和民居建筑空前发展。此期间的房屋建筑一直沿用历代制式。至明清之交,西洋建筑开始传入中国。

(5) 民国时期(公元 1912 年至 1949 年),人类社会生产力的发展,尤其是科学技术的发展,中西方文化技术交流活动的加强,我国的现代建筑开始起步。

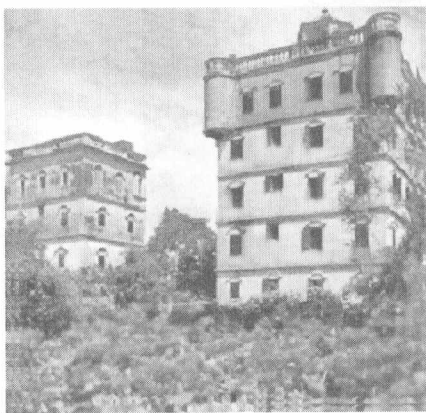


图 1.1.2 广东侨乡的开平碉楼

人类社会进入 20 世纪 30 年代之后,世界发达国家的先进建筑材料和建筑科学技术打破了中国传统的建筑局面。开始使中国的建筑呈现出现代建筑的多元化格局。耶稣教堂、基督教堂、中西合璧的建筑在中国的大地上星罗棋布。广东侨乡的开平碉楼就是中外交融的民居建筑典型代表作,可称为近代世界建筑的艺术长廊,是一个近代建筑博物馆(见图 1.1.2)。

在人类社会的发展史上,中国的建筑曾经创造了历史的辉煌,留下如:万里长城、故宫、孔庙、避暑山庄、滕王阁、黄鹤楼、大雁塔等无数壮丽的历史篇章。早在五千年前中国就出现了石砌建筑,两千多年前的

秦代就出现了烧制的黏土砖,即众所周知的“秦砖汉瓦”。取土制砖这在人类建筑和建筑材料史上曾经是一次革命。

中国幅员辽阔,历史悠久,中国的房屋建筑历史可以说是人类建筑史的缩影和概括。中华五千年的发展,形成了博大精深的建筑文化、建筑艺术体系,我国五十六个民族的建筑既有融合而又风格各异,在世界文化发展和交流中又融入了外来文化,欧洲的教堂、印度的佛教建筑都曾遍及中华大地。

据历史记载,从“红山文化”时期开始,中国西北部的黄土高原就出现了大量人类居住的“窑洞”,有“土窑洞”、“石窑洞”依山傍水而建。时至今日,陕西北部的窑洞已成为黄土地区人特有的居住形式,其内部设施随着时代的发展而变化,出现了现代的室内装修、电灯、电视机、电冰箱、沙发、席梦思等设施,形成了一道现代人居环境和房屋建筑的特色风景线(见图 1.1.3、图 1.1.4)。

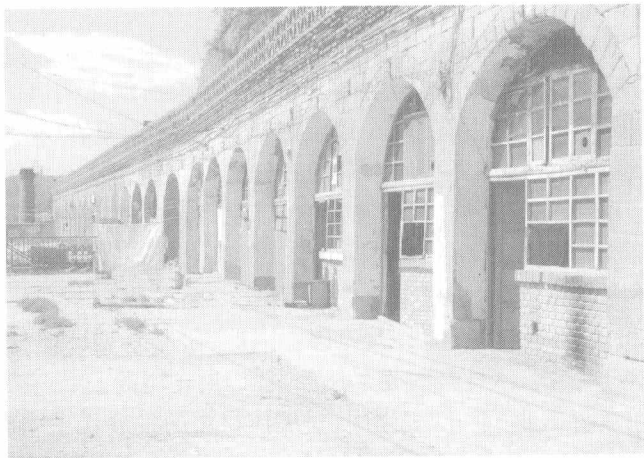


图 1.1.3 昔日延安的窑洞

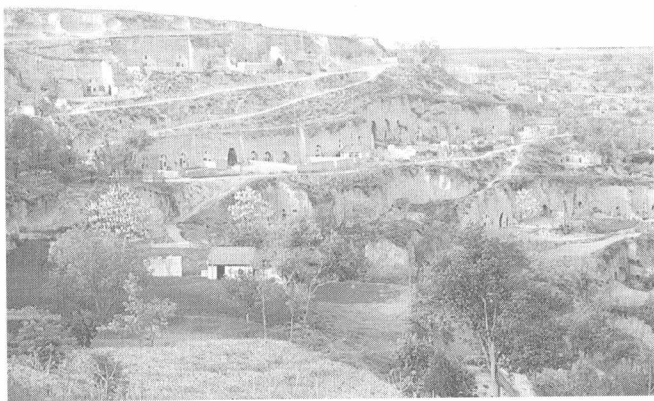


图 1.1.4 今日陕北的窑洞

黏土砖的出现和不断发展,几经改进形成了在房屋建筑中以砖类小砌体、砌块为主的砌体结构体系。取土制砖的传统工艺在中国已沿用了几千年,其工艺技术日趋完美和成熟。自 20 世纪 80 年代改革开放以来,以砖类小砌体、砌块为主的砌体结构的房屋建筑在

中国得到了飞速发展,城乡的现代化建筑鳞次栉比,一片片居民住宅楼、豪华别墅、现代化大厦,拔地而起。这段时期,北京的变化是颇具代表性的。改革开放以后,北京的房屋建筑进入飞速发展时期,1980年前后新建建筑竣工面积达400万 m^2 ,1990年达到551万 m^2 ;1995年达到760万 m^2 ,到2000年,房屋建筑竣工连续三年超过1000万 m^2 ,2000年当年竣工面积达到了1365.6万 m^2 ,2001年建筑竣工面积1804.85万 m^2 ,其中住宅建筑占总建筑的比重达60%~70%。住宅也呈多样化形式。20世纪80年代以后兴建的居住区呈多层、高层以至出现超高层的错落有致的建筑群体。1991年以后,又开始建设花园式别墅住宅区。在北京地区出现了一大批无论在居住环境和居住面积方面都享有盛名的居住区,成为北京当代民居建设的代表之作。其中慧苑、方庄、望京、天通苑、亦庄等住宅区可称佳作。

这是中国改革开放的巨大成就,是中国社会发展的一个里程碑。

墙体材料是房屋建筑、建筑材料的主体。在中国目前所使用的墙体材料中,实心黏土砖和空心黏土砖等砖类砌体仍占有90%以上的比例,年生产量在8000亿块以上。中国人多地少,人均耕地面积仅占世界平均水平的五分之一。烧制这么多块黏土砖,每年毁掉可耕种土地达几十万亩。另外,烧制黏土砖和由于用黏土砖建造的房屋保温性能差,冬季取暖,夏季空调降温,其耗能每年占总能耗的20%以上。不仅如此,黏土砖的生产破坏土地资源和生态环境,同时造成了严重的空气污染。目前,黏土砖的烧制已成为中国建筑业、墙体材料发展和社会经济发展的一大障碍。因此,研制新型墙体材料,替代黏土砖的生产势在必行,刻不容缓;墙体材料的改革任务艰巨,迫在眉睫。

2001年中国在建材工业“十五”规划中,对墙体材料的发展作了明确规定,即“重点发展新型墙体材料,促进经济与资源、环境保护协调发展”,“十五”规划中要求:“建材工业的发展,要以政策法规为导向,以科技创新为动力,以环境保护、生态建设和提高生活质量为目标,以提高产品质量、减少能耗、保护土地资源,可回收利废为重点,加速新型墙体材料的改革、研发和生产应用。到2005年,新型墙体材料占墙体材料的比例达40%以上,每年节约土地20万亩,减少二氧化碳排放量2000万t。重点抓好全国170个大中城市,用3年时间逐步过渡到完全禁止使用实心黏土砖。重点发展非黏土类空心制品、混凝土砌块、各类轻质复合板等新型墙体材料。发展单班生产50000 m^3 以上规模的混凝土砌块生产线,着力解决混凝土砌块的配套施工技术;发展加气混凝土板材和生产10万~20万 m^3 的加气混凝土砌块生产线;发展年产6000万块以上规模的烧结空心砖生产线,推广利用废渣和煤矸石制砖新工艺”等。

2006年3月17日发布的中国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要中指出:落实节约资源和保护环境基本国策,建设低投入、高产出,低消耗、少排放,能循环、可持续发展的国民经济体系和资源节约型、环境友好型社会。

坚持开发节约并重、节约优先,按照减量化、再利用、资源化的原则,在资源开采、生产消耗、废物产生、消费等环节,逐步建立全社会的资源循环利用体系。

强化能源节约和高效利用的政策导向,加大节能力度。通过优化产业结构特别是降低高耗能产业比重,实现结构节能;通过开发推广节能技术,实现技术节能;通过加强能源生产、运输、消费各环节的制度建设和监管,实现管理节能。突出抓好钢铁、有色、煤炭、电

力、化工、建材等行业和耗能大户的节能工作。加大汽车燃油经济性标准实施力度,加快淘汰老旧运输设备。制定替代液体燃料标准,积极发展石油替代产品。鼓励生产使用高效节能产品。建筑节能要严格执行建筑节能设计标准,推动既有建筑节能改造,推广新型墙体材料和节能产品等。

落实保护耕地基本国策。管住总量、严控增量、盘活存量,控制农用地转为建设用地的规模。建立健全用地定额标准,推行多层标准厂房。开展农村土地整理,调整居民点布局,控制农村居民点占地,推进废弃土地复垦。控制城市大广场建设,发展节能省地型公共建筑和住宅。到 2010 年实现所有城市禁用实心黏土砖。

中国建材工业“十一五”发展规划纲要中明确规定:

一是要统筹建材生产节能与建筑节能,大力发展保温隔热功能材料,加快发展新型墙体材料及节能门窗等建筑围护材料,继续推进墙体材料革新和建筑节能工作,到“十一五”末,使新型墙体材料的应用比重达到 60% 以上,所有城市禁止使用实心黏土砖。

二是不断适应建筑现代化的发展要求,延伸产业链,大力发展建材加工制品业。大力发展和推广应用干粉砂浆、预拌混凝土等水泥深加工制品,积极发展水泥制品业,加快发展高质量加工玻璃,提高玻璃加工深度。重点研究开发集结构、保温、装饰为一体的内外墙复合板材,满足建筑节能的需要。并适应建筑施工机械化和现代化以及住宅产业化的要求。

三是加大建筑装饰装修材料的发展力度,不断满足人们日益增长的对装饰装修材料的需求,建筑装饰装修材料应朝着系列配套、绿色环保、健康促进、复合多功能方向发展,使之继续成为建材工业的重要的经济增长点。

从世界范围看,自 1824 年英国建筑工人约瑟夫·阿斯匹丁(Joseph Aspdin)发明了波特兰水泥(Portland cement),水泥的生产和应用至今已有 180 多年的历史了。1938 年法国工程师,弗耐西涅(E. Freyssinet)发明了“预应力混凝土”,1940 年比利时的门格尔(G. Magnel)发明了“门格尔”预应力混凝土体系之后,预应力混凝土得以广泛的应用。

1890 年,美国首次使用钢筋混凝土建造了旧金山美术馆。人类社会进入 20 世纪之后,钢筋混凝土结构在世界各国得到了迅速的发展。20 世纪 30 年代各国所使用的混凝土平均强度为 10MPa,20 世纪 50 年代为 20MPa,20 世纪 60 年代为 30MPa,到 20 世纪 70 年代已提高到 40MPa,20 世纪 80 年代 60MPa 级的混凝土已得到广泛的应用。

自 20 世纪 50 年代以来,随着水泥工业和钢铁工业的发展,钢筋混凝土成为现代建筑和高层建筑的主要材料。世界各国对钢筋混凝土从材料使用、结构形式、施工方法等方面进行了大量的研究和试验,使钢筋混凝土结构的计算方法和设计理论日益完善。钢筋混凝土结构进入了普及应用的新阶段。

20 世纪 80 年代以来,以钢筋混凝土作为主要承重墙体材料的框架混合结构体系在中国迅速发展,建成了一大批高度达 100m 以上的框架混合结构建筑,如:北京当代 MO-MA、北京京广中心、北京昆仑饭店、上海世界金融中心、上海森满大厦、上海金茂大厦、深圳发展中心、地王大厦、陕西信息大厦、新金桥大厦等。同时,世界各地不同风格的建筑汇集到中国,美式的摩天大楼、日式别墅、欧式建筑小区、“巴黎风情苑”等,纷纷在中国建筑市场这个大舞台上登场亮相,一展风采(见图 1.1.5、图 1.1.6)。

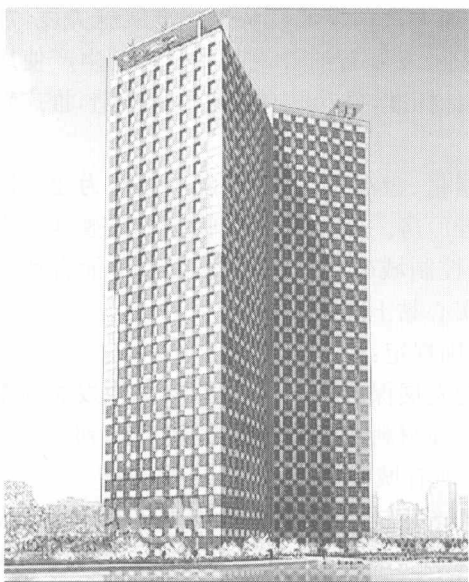


图 1.1.5 北京当代 MOMA



图 1.1.6 上海世界金融中心

随着现代建筑对高层、大跨度的要求,墙体材料正向高强度、轻质方向发展。从 20 世纪 70 年代开始,随着人们环保和节能意识的加强,社会对于建筑材料的多种物理性能提出更高要求,轻骨料混凝土、加气混凝土、多孔混凝土等轻质混凝土得到迅速发展。用膨胀珍珠岩、浮石、陶粒、轻沙、粉煤灰颗粒、矿渣珠、发泡塑料、刨花、植物秸秆等作骨料,制成的混凝土砌体,其干燥密度为 $350 \sim 1950 \text{ kg/m}^3$,而普通混凝土的干燥密度在 2500 kg/m^3 左右。用轻骨料混凝土作为墙体材料不仅满足了建筑的强度、承重要求,而使建筑的隔音、保温等物理性能得到改善。随着科技进步和建筑业的发展,近年来出现了多种类型的新型墙体材料。如:各种水泥砌体、加气混凝土砌块、空心砖、非烧结砖、石膏板、水泥刨花板、硅钙板、玻璃纤维混凝土墙板(GRC)、“纳士塔”轻型墙体构件(RASTRA)、加芯混凝土墙板、钢丝网混凝土墙体、轻骨料混凝土墙体构件等新型墙体材料。墙体材料向高强度、轻质方向发展,这是人类在适应和改造大自然实践活动中的经验积累和智慧结晶,这是今后墙体材料的发展方向。

自 20 世纪 70 年代起,美国、德国、日本等发达国家在节约原材料、节约能源的政策引导下,加强了对轻骨料混凝土的研究及应用,称之为“绿色节能建筑技术”。轻骨料混凝土大量进入到房屋建筑、公路桥梁、水工、海工等工程。

20 世纪 90 年代以来,中国高强度轻骨料的生产取得了突破性的发展。中国上海、宜昌、哈尔滨、天津、金坛等地已生产出质量符合国家标准的高强度陶粒,可以配制出密度等级为 1900 kg/m^3 、强度等级达 60 MPa 的高强度轻骨料混凝土,并已经在高层、大跨度的房屋建筑和桥梁工程中应用。

1990 年美国 NIST、ACI 主办的马里兰州研讨会上首次提出了“HPC”(high performance concrete,高性能混凝土)这一混凝土的新概念。“HPC”的提出,立即引起世界各国混凝土学术界和工程建筑界的极大关注。1998 年在中国召开了“东亚高性能混凝土”

研讨会,对高性能混凝土的发展及在工程中的应用,进行了研究、探讨。进入 21 世纪以来,各种高性能混凝土在建筑工程中的应用越来越广泛,高性能混凝土技术得到迅速发展。

1999 年为了在轻骨料混凝土结构设计中贯彻执行中国的技术经济政策,做到“技术先进、经济合理、节约能源、安全适用、确保质量”,中华人民共和国建设部批准,中国建筑科学研究院主编,发布了中华人民共和国行业标准《轻骨料混凝土结构设计规程》(Specification for Design of Lightweight Aggregate Concrete Structures)(JGJ 12-99),并于 1999 年 3 月 17 日以“建标 [1999] 63 号”文件下发通知,作为强制性行业标准。

2002 年建设部发布了《轻骨料混凝土技术规程》(Technical Specification for Lightweight Aggregate Concrete);发布了中华人民共和国行业标准《轻骨料混凝土结构设计规程》(Specification for Lightweight Aggregate Concrete Structures);JGJ 51-2002、J 215-2002;2004 年中国工程建设标准化协会发布了 CESC 173:2004《水泥聚苯模壳格构式混凝土墙体住宅技术规程》(Technical Specification for Dwelling Houses with EPSC Form Latticed Concrete Wall)。这都是对多年来中国大量工程实践的总结,是中国广大工程技术人员经验和智慧的结晶,是中国广大科学研究人员重大的系列科学研究成果。

第二节 我国房屋建筑结构的理论研究状况

木结构、砖和石材等砌体结构的应用,在中国已有几千年的悠久历史,并取得了无数辉煌的成就。由于长期受封建制度的束缚,使得中国建筑业的发展停滞不前,建筑材料的更新缓慢。直至 20 世纪 50 年代,新中国成立以后,除了为数不多的京、津、沪等大中城市有着外国人主持建造的钢筋水泥结构的房屋建筑外,中国广大的城乡还是用土坯、黏土砖建造房屋,即人们俗称的“土木结构”、“砖混结构”房屋。

木结构、砖和石材等砌体结构,虽然是我国发展应用了几千年的传统建筑结构,但对其进行科学理论研究的历史并不长。直至 20 世纪 50 年代,我国的房屋建筑结构设计仍然沿用古代的“经验法”,只进行粗略的估算。20 世纪 50 年代之后,在我国开展的“向苏联学习,政治、经济、军事、文化、教育、艺术等全面苏化”的热潮中,我国开始引用前苏联的“砖石结构建筑规范”作为我国房屋建筑结构设计的依据。很显然,许多方面不太适应我国传统的房屋建筑结构的具体国情。致使苏联派来的建筑专家和我们的建筑专家,在建筑结构理论研究和建筑结构设计中出现了许多分歧。自 20 世纪 60 年代开始,我国对于以砖石为主的砌体结构开展了系统的理论研究和大量的试验。提出了适合我国国情的砌体结构理论和一系列的设计计算方法。王光远先生是我国建筑结构设计研究领域的开拓者,并长期从事地震工程的研究。20 世纪 60 年代,提出建筑物整体的简化空间计算方法,此项研究成果被评定为 1964 年国家重大科研成果,被一些设计规范所采用,并在 1978 年获得全国科学大会奖。于 1984 年在国内外首先发表了《结构模糊优化设计理论》,这项成果获得了 1986 年国家教委科技进步一等奖和 1987 年国家自然科学三等奖。1989 年初步建立了比较简单的工程系统的相应理论,建立了建筑物的空间整体计算理论。

1973年4月,我国颁布了有史以来的第一个建筑标准《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73),这是我国自有的第一个在建筑结构方面的科研成果。此后,研究工作不断地深入,1988年国家颁布了修订的《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88),2001年颁布了再次修订的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)。使中国砌体结构的理论研究进入了一个新阶段。

1866年美国出现了混凝土空心砌块,钢筋混凝土结构得到迅速地发展,确立了钢筋混凝土结构设计理论。自19世纪至20世纪初的近百年的时期内,钢筋混凝土结构设计一直采用以弹性理论为基础的容许应力计算法。这种方法是在规定的标准荷载作用下,按弹性理论计算的应力不大于规定的容许应力。而容许应力是由材料强度除以安全系数求得的,安全系数则根据经验和主观判断来确定。但由于钢筋混凝土并不是一种纯弹性材料,而有着明显的塑性,因此,这种以弹性理论为基础的计算方法,无法如实地反映构件截面的应力状态。20世纪30年代后出现了考虑钢筋混凝土塑性的破坏阶段设计方法。这种方法以考虑了材料塑性结构或构件承载力为基础,按材料平均强度计算的承载力必须大于计算的最大荷载产生的内力。计算最大荷载是根据规定的标准荷载和安全系数而得出的,安全系数仍然根据经验和主观判断来确定,仍不能准确地反映构件截面的应力状态。20世纪50年代出现的极限状态设计法是破坏阶段设计法的发展,它是以结构的极限状态为基本条件,把单一安全系数改为三个分项系数,即荷载系数、材料系数和状态系数,故又称谓“三相系数法”。我国1966年颁布的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—66)和1974年颁布的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)都采用了极限状态设计方法。

随着水泥工业的迅速发展,20世纪80年代,各种类型的混凝土砌体在世界一百多个国家得到广泛的应用和发展,成为全世界主要的墙体建筑材料。自20世纪50年代开始,世界对墙体材料和建筑结构,主要是对混凝土砌体结构进行了大量试验和系统的理论研究。直至20世纪70年代,世界各国逐步采用半经验半概率的极限状态设计理论。以概率数理统计方法为基础的设计理论,至20世纪90年代,形成了以结构可靠度为核心的、以概率数理统计方法为基础的建筑结构设计理论。

在人类进入20世纪70年代以后,随着科学技术的进步,建筑业的迅速发展和水泥的广泛应用,世界各国相继出现了“轻骨料混凝土”、“泡沫混凝土”、“模壳结构”等新材料、新概念、新结构、新理论。建筑理论的研究促进了建筑业的发展,建筑业的迅速发展又为我国建筑结构的理论研究提供了大量的试验数据和依据。

1971年中国的科研人员和工程技术人员在天津首次创建了世界上第一座轻骨料混凝土模壳格构式住宅楼,并经受住了1976年唐山大地震的考验。此后,天津南开大学、中国科学院、北京建筑设计研究院、天津建筑设计研究院等科研部门和建筑部门的科研人员,开始对“模壳墙体”结构进行了设计和理论研究工作,并与国内外一些专家学者进行了广泛的交流和探讨,曾得到世界著名的设计大师彼得·爱森曼(Peter Eisenman)等先生的赞同(见图1.2.1)。

1975年在英国召开了聚合物混凝土首届国际会议(International Congress on Polymers in Concrete)。1990年在中国上海同济大学召开了第六届国际会议(6th ICPIC)。



图 1.2.1 中国天津的世界第一座轻骨料混凝土模壳格构式住宅楼

1983 年,奥地利维也纳高等技术学院和研究所对于“水泥聚苯乙烯模壳格构式混凝土墙体”进行了试验和研究。1984 年,美国 RASTRA 公司根据 1980 年 6 月出版的德国工业标准《建材、构件和体系一般规则》DIN18200 的试验检测结果,将“水泥聚苯乙烯模壳格构式混凝土墙体”用于民用建筑。

1976 年中国唐山发生了大地震,在短短的几分钟之内,整个唐山市夷为平地,中国开始从建筑材料和建筑结构两个方面对房屋防震、抗震进行了大量的试验和研究。中华人民共和国建设部颁布了《建筑抗震设计规范》(GB 50011)。

1986 年国家颁布了《建筑模数协调统一标准》(GBJ2—86)。

1999 年,中华人民共和国建设部将中国建筑科学研究院主编的《轻骨料混凝土结构设计规程》(JGJ 12—99)批准为强制性行业标准。

自 20 世纪 90 年代以来,中国工业、民用建筑工程进行了大量实践。中国的建筑设计理论研究取得了很大的成就。2001 年中国颁布了《建筑结构可靠度计算统一标准》(GB 50068—2001)、《砌体规范》(GB 50003—2001),明确了概率极限状态设计方法,使建筑工程结构的安全性、适用性、耐久性、经济合理性,更为科学合理和可靠。

1999 年中华人民共和国建设部发布了行业标准《轻骨料混凝土结构设计规程》(Specification for lightweight Aggregate Concrete Structures)(JGJ 12—99)。

进入 21 世纪以来,中国加强了对建筑材料、建筑体系,尤其是对钢筋混凝土技术的理论研究和规范管理。2002 年国家颁布了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。采用了以概率论为基础的极限状态设计法,使我国的建筑结构设计基本原则更趋合理。

2000 年,中国建设部科技司召开了《纳土塔》建筑体系研讨会,研讨如何在我国推广“水泥聚苯乙烯模壳格构式混凝土墙体”体系。

2002年,中华人民共和国建设部发布了行业标准《轻骨料混凝土技术规程》(Technical Specification for Lightweight Aggregate Concrete) JGJ 51—2002、J 215—2002。

2003年美国 Lady of Peace Foundation, New York、美国 State of California Keyin Shelley Secretary of State 公司(集团)在中国共同组织了 CTW 设计研究中心,即轻骨料混凝土模壳墙体设计研究中心;2005年5月在香港注册成立了 TW 墙体构件有限公司;2005年8月在唐山注册成立了“唐山万平新型承重墙体构件有限公司”;2006年8月在北京中关村高科技园区注册成立了“北京国平新型墙体材料技术开发中心”,对轻质墙体材料和模壳墙体建筑结构开展了大量的试验和研究工作。进行了模壳墙体、楼板和梁柱一体化的轻质混凝土结构体系和以正截面重力负荷、斜截面剪力负荷和局部受力的理论研究,形成了以轻骨料混凝土模壳墙体的房屋建筑结构新体系,以采用轻骨料混凝土模壳墙体材料为主的绿色节能房屋建筑结构体系,目前正在形成独立的规范和标准。

2004年中国建筑科学研究院建材所与中国云南建工混凝土有限公司合作,利用地方材料研究应用绿色高性能混凝土,包括了以下几个方面的研究内容:

- (1) 最高强度等级达 C80 的机制砂高性能混凝土。
- (2) 低水泥用量 C60 机制砂高性能混凝土。
- (3) 高性能混凝土,早期开裂规律及抑制措施。
- (4) 高性能混凝土脆性及抑制措施。
- (5) 高性能混凝土,耐火性及其抑制措施。
- (6) 低品质掺和料在混凝土中有效利用的深入研究。
- (7) 大掺料复合掺和料机制砂高性能混凝土,早期力学性能和耐久性研究。
- (8) 复合掺和料取代水泥比例对胶凝材料水化热的影响规律研究。
- (9) 搅拌站循环水利用研究。

2005年4月《公共建筑节能设计标准》国家标准在北京发布。

《居住建筑节能检验标准》修订工作正式启动,2006年8月完成报批稿。

现代化钢筋加工配送中心项目在中国济南落成(2005年4月投产),由中国建筑科学研究院北京建筑机械化研究所设计。

中国建筑工程行业标准《组合结构设计规范》(JG J3—138)编制工作,2005年4月开始进行,于2006年底完成。

中华人民共和国建设部令第143号《民用建筑节能管理规定》,2005年10月28日予以发布,自2006年1月1日起施行。

当前我国的房屋建筑结构的理论研究已经接近和达到了世界先进水平。

在砌体结构房屋建筑的设计中,墙体的承重一般是指墙体承受竖向荷载的能力。根据墙体的不同受力情况,通常分为横墙承重、纵墙承重、纵横墙联合承重、内框架承重等几种墙体承重体系。砌体结构按其承载力极限状态设计表达式一般为

$$\gamma_0 (1.2S_{G_k} + 1.4S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Q_{ik}}) \leq R(f, \alpha_k, \dots) \quad (1.2.1)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数(对安全等级或设计使用年限为50年的结构构件,不应小于1.0);

S_{G_k} ——永久荷载标准值;

$S_{Q_{1k}}$ ——在基本组合中起控制作用的一个可变荷载标准值;

$S_{Q_{ik}}$ ——第 i 个可变荷载标准值;

1.2, 1.4——永久荷载和可变荷载分项系数;

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数(一般情况下应取 0.7);

f ——砌体的强度设计值;

α_k ——几何参数的标准值。

从式(1.2.1)不难看出,在砌体结构设计中,作为主要永久荷载的结构自重是一个很重要的决定因素。

轻骨料混凝土墙体构件可以由不同强度和密度等级的系列产品适应各种不同墙体承重体系及特殊结构的需求。轻骨料混凝土墙体的设计思想是以自然楼层划分计算层面,自最上一层作为设计的参照基数,逐层向下推算,直到地面或地下基础层。如:对轻骨料混凝土格构式墙体的结构可靠度设计可采用以下简算经验公式:

$$f_q = \gamma(f_1 + f_2 + f_3 + \cdots + f_n) \quad (1.2.2)$$

式中: f_q ——墙体轴心抗压强度设计值;

f_1 ——最上面一层顶面活荷载和墙体结构自重设计值;

f_2, f_3 ——自上而下第 2、第 3 层楼面活荷载和墙体结构自重设计值;

f_n ——自上而下第 n 层楼面活荷载和墙体结构自重设计值;

γ ——质量等级控制系数,可以根据工程的具体要求插值选用。

用以上简算公式计算的数据,经我国长期的实践检验,符合我国《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)的要求。

轻骨料混凝土模壳格构式墙体构件正是为了形成这种结构自重和荷载分布“上小下大”,其稳固性呈“金字塔状”的承重结构设计,所提供的不同密度、不同强度的系列墙体材料。

轻骨料混凝土模壳墙体建筑体系的理论核心是,减轻整个建筑物的重力荷载,将结构一体化的建筑分成若干个层面,使之从最底层到最上面一层的结构及承载力呈递减状态。各层面墙体材料的抗压强度和其容重的设计,最底层为最大,最上面一层为最轻型结构,这将把整个建筑物的重心降到最低限度,从结构的自重和荷载的分布角度而言,形成一个稳固的“金字塔”式的结构模式。正是为了满足这种墙体结构的需要,轻骨料混凝土模壳墙体构件的系列产品连续性划分为 11 个等级,其密度范围为 $390 \sim 1950 \text{ kg/m}^3$,轴心抗压强度范围为 $0.4 \sim 39.5 \text{ MPa}$ 。

第三节 房屋建筑结构体系概述

建筑是人类适应和征服大自然所进行的建造活动的产物。建筑就像人类社会发展历史的一面镜子,每个历史时代的建筑,能反映出这个时代的经济、政治、文化、艺术,尤其是科技发展的水平。如果我们以时代和地区来划分建筑的种类,可以分为古代建筑 and 现代建筑;又可以分为中式建筑、欧式建筑、日式建筑、伊斯兰建筑、古罗马、古希腊、古埃及、古