

土木工程系列

高等学校“十一五”规划教材

砌体结构设计

张洪学 主编

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材 土木工程系列

砌体结构设计

张洪学 主编

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书是根据砌体结构课程的教学基本要求及《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)编写的。结合我国近年来砌体结构的新发展,主要介绍了砌体材料及砌体的力学性能,砌体结构和构件以概率理论为基础的极限状态设计方法,构件的受压、局部受压、受拉、受弯和受剪承载力计算,配筋砌体和配筋砌块砌体剪力墙承载力计算及墙体设计,混合结构房屋墙体设计,过梁、圈梁、墙梁、挑梁及墙体的构造措施以及砌体结构房屋抗震设计。

本书可作为高等学校土木工程专业的砌体结构课程教材,也可供土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

砌体结构设计/张洪学主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.9

ISBN 978 - 7 - 5603 - 2280 - 3

I. 砌… II. 张… III. 砌块结构 IV. TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 087880 号

策划编辑 郝庆多

责任编辑 郝庆多 张 瑞

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 13.5 插页 1 字数 337 千字

版 次 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数 1 ~ 3 000 册

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2280 - 3

定 价 29.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

砌体结构在我国历史悠久,大量的房屋是用砌体建造的。随着我国墙体材料的不断改革和发展,砌体结构的使用范围也在不断扩大,同时对砌体材料提出了更新、更高的要求。配筋砌块砌体结构的研究和实践取得了许多新的成果和进展,使得砌体结构房屋由多层向中高层发展。砌体结构在土木工程学科中占有重要位置,是高等学校土木工程专业学生必修的课程。

本书是根据土木工程专业“砌体结构”教学大纲和新修订的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)编写的。在保证全书必要系统性的同时,又保证了其内容的先进性,简要介绍了砌体结构的发展历史和今后的发展趋势;对砌体结构材料的力学性能作了较详细的阐述;简要介绍了砌体结构的设计方法;详细地讨论了无筋砌体受压构件及砌体房屋的受力性能和设计方法;重点介绍了配筋砌块砌体剪力墙的结构布置与设计方法,集中反映了在砌体结构研究方面的最新成果;按照《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)编写了圈梁、过梁、墙梁、跳梁的设计方法;针对砌体结构的抗震要求,介绍了砌体结构房屋的抗震设计内容。本书可作为高等学校土木工程专业的专业课教材,同时也可供有关的工程设计人员参考。

为了便于学生自学和进一步理解本书内容,各主要章节编写了较多的习题、思考题及典型的设计例题。本书第1、2章由张洪学编写;第3、4、5章由曹宏涛、金殿玉编写;第6、7、8章由张洪学、金殿玉、赵传华编写;李明家、刘辉、逯琳琳、刘长宇、藤学峰为本书各章节的部分内容及例题与习题的编写做了很多工作;全书由张洪学、金殿玉统稿,张洪学任主编。书稿承蒙张维信教授审稿并提出许多宝贵意见,作者谨致衷心感谢。

书中错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

张洪学
2007年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 我国砌体结构历史悠久、量大面广	1
1.2 新材料、新技术、新结构的研究与应用	2
1.3 砌体结构理论研究与计算方法	5
1.4 展望	6
本章小结	8
思考题	8
第 2 章 砌体的基本力学性能	9
2.1 砌体的材料及种类	9
2.2 材料的强度等级及砌体强度设计值	13
2.3 砌体的受压性能	18
2.4 砌体的受拉、受弯、受剪性能	21
2.5 砌体的变形性能	23
本章小结	27
思考题	28
习题	28
第 3 章 无筋砌体结构构件的承载力计算	29
3.1 砌体结构可靠度设计	29
3.2 无筋砌体受压构件	33
3.3 无筋砌体局部受压	42
3.4 轴心受拉、受弯与受剪构件承载力计算	50
本章小结	52
思考题	53
习题	53
第 4 章 配筋砌体结构构件的承载力计算	55
4.1 网状配筋砖砌体受压构件	55
4.2 组合砖砌体受压构件	58
4.3 配筋砌块砌体受压构件	63
本章小结	67
思考题	67
习题	68
第 5 章 混合结构房屋墙、柱设计	69
5.1 砌体结构的布置	69
5.2 墙、柱的允许高厚比与构造措施	72

5.3 砌体房屋的静力计算方案	82
5.4 房屋墙、柱内力分析及计算	85
5.5 设计实例	92
本章小结	104
思考题	105
习题	105
第 6 章 配筋砌块砌体剪力墙结构设计	107
6.1 配筋砌块砌体剪力墙体系	107
6.2 配筋砌块砌体剪力墙正截面受压承载力	121
6.3 配筋砌块砌体剪力墙斜截面受剪承载力	124
6.4 配筋砌块砌体剪力墙连系梁的承载力	129
6.5 配筋混凝土砌块砌体剪力墙构造措施	131
本章小结	136
思考题	137
习题	137
第 7 章 过梁、圈梁、墙梁、挑梁设计	139
7.1 过梁	139
7.2 圈梁	144
7.3 墙梁	145
7.4 挑梁	159
本章小结	164
思考题	165
习题	165
第 8 章 砌体结构抗震设计	166
8.1 震害概况	166
8.2 混合结构房屋	169
8.3 底部框架 - 抗震墙房屋	182
8.4 配筋砌块砌体剪力墙房屋	195
本章小结	208
思考题	208
参考文献	209

第1章 绪 论

砌体结构是用各种块材(普通黏土砖、空心砖、各种砌块和石材)和砂浆砌筑而成的结构。砌体按照所采用块材的不同,可分为砖砌体、石砌体和砌块砌体3大类,因此在没有砌块之前砌体结构也称为砖石结构。砌体结构构件可分为无筋砌体和配筋砌体,无筋砌体的块材随着国家“禁实”政策在大中城市的逐步落实,黏土实心砖将被非烧结砖和各种空心砌块取代;而配筋砌体已经从应用越来越少的配筋砖砌体发展成为配筋砌块砌体。

1.1 我国砌体结构历史悠久、量大面广

我国的砌体结构历史上有举世闻名的万里长城,它是在2000多年前用“秦砖汉瓦”建造的世界上最伟大的砌体工程之一;我国早在春秋战国时期就已兴修水利,如仍在起灌溉作用的秦代李冰父子修建的都江堰水利工程;还有1400年前用料石修建的现存河北赵县的安济桥,这是世界上最早的敞肩式拱桥,该桥已被美国土木工程学会选入世界第12个土木工程里程碑,由此可见,我国应用砌体结构的历史悠久,值得我们自豪和继承。

解放后我国在砖石结构方面有了很大的发展,砖的产量逐年增长。据统计,1980年的全国年产量为1600亿块,1996年增至6200亿块,为世界其他各国每年砖产量的总和。全国基本建设中采用砌体作墙体材料约占90%左右,在办公、住宅等民用建筑中大量采用砖墙承重。20世纪50年代这类房屋一般为3~4层,现在已为5~6层,不少城市一般建到7~8层。现在每年兴建的城市住宅建筑面积几亿平方米以上,在中小型单层工业厂房和多层轻工业厂房,以及影剧院、食堂、仓库等建筑中也广泛采用砖墙、柱承重结构。

砖石结构还用于建造各种构筑物,如镇江市建成的顶部外径2.18 m、底部外径4.78 m、高60 m的砖烟囱,用料石建成的80 m排气塔;在湖南建造的高12.4 m、直径6.3 m、壁厚240 mm的砖砌粮仓群;福建用毛石建造的横跨云霄—东山两县的大型引水工程——向东渠,其中陈岱渡槽全长4400 m、高20 m,槽支墩共258座,工程规模宏大。此外,我国在古代建桥技术的基础上,于1959年建成跨度60 m、高52 m的石拱桥,接着又建成了敞肩式现代公路桥,最大跨度达120 m的湖南鸟巢河大桥。我国建成的跨度在100 m以上的石拱桥有10座(包括鸟巢河桥),每座都创下了新的纪录。

砌体结构材料有极强的地方性,具有取材容易、加工简单(挖地烧砖)、砌筑工艺容易掌握等优点,并且经过长时间的改进和发展,形成了具有各地特色的传统制作方式和砌筑方法,至今砌体材料仍在我国墙体材料中占有绝对优势,可谓量大面广。据统计,全国墙体材料中以砌体为承重和非承重(填充、围护)材料约占85%左右,因此,砌体材料可以说是我国的主要墙体材料。但是砌体结构也有一个致命伤——“挖地烧砖”,即破坏环境、消耗能源。全国有砖、瓦企业约12万个,占地600多万亩。每年烧制6000多亿块标准砖,取土14.3亿立方米,相当于毁坏土地120万亩,其生产每年要消耗约9000万吨标准煤。在这种形势下,国家实行了“禁

实”政策,“禁实”工作的范围从城市扩展到城镇、从公共建筑扩展到民用住宅及工业建筑,“禁实”工作力度从“禁实”深入至“禁黏”。2003年6月30日“十五”规划提出,170个大中城市实现“禁实”,2005年年底所有省会城市禁实。目前全国累计实现“禁实”的城市已多达239个,部分城市实现了由“禁实”到“禁黏”,如北京市提出的2004年10月1日起禁止生产黏土类制品。因此,量大面广的黏土实心砖就将逐步被禁用而退出历史舞台。

砌块生产和应用的历史只有100多年,其中以混凝土砌块生产最早,自1824年发明波特兰水泥后,最早的混凝土砌块于1882年问世,美国于1897年建成第一幢砌块建筑。1933年美国加利福尼亚长滩大地震中无筋砌体震害严重,之后推出了配筋混凝土砌块结构体系,建造了大量的多层和高层配筋砌体建筑,如1952年建成的26幢6~13层的美国退伍军人医院,1966年在圣地亚哥建成的8层海纳雷旅馆(位于9度区)和洛杉矶19层公寓等,这些砌块建筑大部分都经受了强烈地震的考验。1958年我国建成采用混凝土空心砌块做墙体的房屋。

砌体结构之所以不断发展,成为我国应用最广泛的结构形式之一,其重要原因在于砌体结构具有很多优点:易于就地取材,降低工程造价;有很好的耐火性和较好的耐久性;保温、隔热性能好,节能效果明显;节约水泥、钢材和木材。当然砌体结构也存在许多缺点:自重大,强度较低,材料用量较多;砌筑砂浆和砖、石、砌块之间的黏结力较弱,因此无筋砌体的抗拉、抗弯及抗剪强度低,抗震及抗裂性能较差;砌筑工作繁重,劳动量大,生产效率低;黏土砖生产占用农田。

因此砌体结构主要应用于如下范围:

(1) 砌体主要用于承受压力的构件,如房屋的基础、内外墙、柱等。无筋砌体房屋一般可建5~7层,配筋砌块剪力墙结构房屋可建8~18层。此外,过梁、屋盖、地沟等构件也可使用砌体结构。

(2) 在工业与民用建筑中,砌体往往也被用来砌筑围护墙和填充墙,工业企业中的烟囱、料斗、管道支架、对渗水性要求不高的水池等特殊构件也可用砌体建造。农村建筑如仓库、跨度不大的加工厂房也可用砌体建造。

(3) 在交通运输方面,砌体结构可用于桥梁、隧道工程,各种地下渠道、涵洞、挡土墙等;在水利建设方面,可用石材砌筑水坝和渡槽等。

但是应该注意,砌体结构是用单块块材和砂浆砌筑的,目前大多是手工操作,质量较难保证均匀一致,加上无筋砌体抗拉强度低、抗裂抗震性能较差等缺点,在应用时应注意有关规范、规程的使用范围。在地震区采用砌体结构,应采取必要的抗震措施。

1.2 新材料、新技术、新结构的研究与应用

20世纪60年代以来,我国黏土空心砖(多孔砖)的生产和应用有较大的发展,在南京建造了6~8层的空心砖承重的旅馆,当时空心砖孔隙率为22%,与实心砖强度等效,但可减轻自重17%、减小墙厚20%、节省砂浆20%~30%、砌筑工时缩短20%~25%、墙体造价降低19%~23%。根据节能的进一步要求,近年来我国在消化吸收国外先进技术的基础上,制造出规格为380 mm×240 mm×190 mm、孔隙率为40%的烧结保温空心砖(块),这种保温砖的密度为1 012 kg/m³,抗压强度为10.5 MPa,热阻为1.649 m²·K/W。主要力学和热工性能的指标接近或达到了国际同类产品的水平。《多孔砖砌体设计与施工技术规程》行业标准,为这种砖的推

广创造了条件。

近年来,采用混凝土、轻骨料混凝土或加气混凝土,以及利用河砂、各种工业废料、粉煤灰、煤矸石等制作无热料水泥煤渣混凝土砌块或蒸压灰砂砖、粉煤灰硅酸盐砖、砌块等在我国有较大的发展。1958年建成采用砌块作墙体的房屋,经过50多年的实践,砌块墙体已成为我国墙体革新的有效途径之一。砌块种类、规格较多,其中以中、小型砌块较为普遍,在小型砌块中又开发出多种强度等级的承重砌块和装饰砌块。据不完全统计,1996年全国砌块总产量约为2500万立方米,各类砌块建筑约5000万平方米,近10年混凝土砌块与砌块建筑的年递增量都在20%左右,尤其在大中城市推广迅速,以上海推广砌块建筑为例,1994年约50万平方米,1995年约100万平方米,1996年约150万平方米,到1999年一季度累计完成的砌块建筑450万平方米。这些砌块建筑大多是多层的,至于中高层、高层砌块建筑,我国于20世纪80年代就着手和进行试点工作,如1982年建成的广西壮族自治区科委10层砌块住宅试验楼、1986年建成的广西区建二公司11层小砌块试验楼(7度设防),为我国砌块中高层建筑的发展做了开创性的工作。20世纪90年代初期,在总结国内外配筋混凝土砌块试验研究经验的基础上,我国在配筋砌块结构的配套材料、配套应用技术的研究上获得了突破,在此基础上开展了更具代表性和针对性的试点工程,如1997年建成的盘锦市国税局15层砌块住宅,1998年建成的上海18层混凝土空心砖块配筋砌体住宅。试点工程实践表明,中高层配筋砌块建筑具有明显的社会效益,盘锦15层砌块建筑,节省钢材45%、降低土建造价18%;上海18层砌块建筑节约钢材25%、降低土建造价7.4%。因此,将中高层配筋砌块结构体系纳入到我国砌体结构设计规范中是理所当然的。由此可见,作为黏土砖的主要替代材和某些功能强于黏土砖的砌块的发展前景是非常好的。

我国在20世纪50~70年代,采用预制大型墙板建造多层住宅,如采用振动砖墙板、烟灰煤渣、矿渣混凝土墙板建造了几十万平方米的建筑。近10多年来,北京等地采用内浇(混凝土)外砌的混合结构建造中高层建筑,取得了较好的经济效益。最近几年,清华大学开展了多层大开间混凝土核心筒、砌体外墙的混合结构的试验研究和小规模试点工程,在改进和扩展砌体结构的性能和应用范围方面做了有益的探索。

我国配筋砌体应用研究起步较晚,20世纪60年代衡阳和株洲一些房屋的部分墙、柱采用网状配筋砌体承重,节省了钢材和水泥。1958~1972年在徐州采用配筋砖柱建筑了12~24m、吊车起重量为50~200t的单层厂房36万平方米,使用情况良好。20世纪70年代以来,尤其是1975年海城-营口地震和1976年唐山大地震之后,对设置构造柱和圈梁的约束砌体进行了一系列的试验研究,其成果引入我国抗震设计规范。在此基础之上,通过在砖墙中加大加密构造柱形成所谓强约束砌体的中高层结构的研究取得了可喜的成果,如辽宁沈阳、江苏徐州、湖南长沙、甘肃兰州等地先后建造了8~9层上百万平方米的这类建筑,获得了较好的经济效益。这些研究成果有的已纳入到地方标准或国家标准。这是我国科研工作者在采用黏土砖砌体低强材料建造中高层建筑方面做出的贡献。利用强度如此低的砌体材料在地震区建造如此之高的建筑惟有我国。

配筋砖砌体结构和约束砖砌体的研究和应用也取得了较大进展。1984年中国西北建筑设计院等单位在西安采用配竖向钢筋空心砖墙承重建成一幢按8度设防的6层住宅。辽宁省建筑设计院设计了一种介于钢筋混凝土框架-填充墙结构与带钢筋混凝土构造柱的砖混结构体系之间的“砖混组合墙体系”,1987年在沈阳(7度区)共建成这种带钢筋混凝土约束柱和

圈梁的“砖混组合墙体系”8层住宅34幢,共17万平方米。

近10年来,采用混凝土、轻集料混凝土,以及利用各种工业废渣、粉煤灰、煤矸石等制成的混凝土砌块在我国有较大发展。混凝土砌块属于非烧结性块材,它是由胶凝材料、集料按一定比例经机械成型、养护而成的块材。在材料组成上有以砂石作骨料的混凝土承重空心砌块,以浮石、煤矸石为骨料的轻骨料混凝土砌块,近年来又研制出大掺量粉煤灰混凝土承重砌块等。混凝土砌块按尺寸可划分为小型混凝土空心砌块和中型混凝土空心砌块,其中以小型混凝土空心砌块的应用较为普遍,小型混凝土空心砌块按厚度又可划分为190 mm和290 mm两大系列。砌块结构根据配筋方式和受力情况的不同分为约束配筋砌块结构和均匀配筋砌块结构。约束配筋砌块结构系指仅在砌块墙的局部配置构造钢筋,如在墙体的转角、丁字接头、十字接头和墙体较大洞口边缘设置竖向钢筋,并在这些部位设置一定的拉结钢筋网片。约束配筋砌块结构在地震设防烈度为6度、7度和8度地区建造房屋的允许层数分别为7层、6层和5层,当采取加强构造措施后,分别可以建到8层、7层和6层。和约束配筋砌体对应的是所谓均匀配筋砌体,即国外广泛应用的配筋混凝土砌块剪力墙结构,这种砌体结构和钢筋混凝土剪力墙一样,对水平和竖向配筋有最小含钢率要求,而且在受力模式上也类同于混凝土剪力墙结构,它是利用配筋砌块剪力墙承受结构的竖向和水平作用,是结构的承重和抗侧力构件。配筋砌体的注芯率一般大于50%,由于砌体的强度高、延性好,可用于大开间和高层建筑结构。均匀配筋砌块结构在地震设防烈度为6度、7度、8度和9度地区建造房屋的允许层数分别为18层、16层、14层和8层。由混凝土砌块代替黏土砖作为承重墙体材料既保留了传统砖结构取材广泛、施工方便、造价低廉的特点,又具有强度高、延性好的钢筋混凝土结构的特性。它的最大优势在于砌块的生产不毁坏耕地,而且耗能较低,仅为生产黏土砖的一半,符合国家可持续发展的技术政策,是我国墙体材料改革的有效途径之一。

正是由于配筋砌体具有强度高、延性好等性能,和钢筋混凝土剪力墙十分类似,可以应用于大开间和高层建筑结构。发美国抗震规范规定,配筋砌体的适用范围和钢筋混凝土结构相同。我国从20世纪80年代初期主持编制国际标准《配筋砌体设计规范》起至今对其进行了较为系统的试验研究,表明用配筋砌体可建造一定高度的既经济又安全的建筑结构,如广西的10~11层、盘锦的15层、上海的18层等。目前已经建成的配筋砌块高层有首钢18层配筋砌块住宅工程(8度设防),辽宁抚顺6栋16层砌块住宅、哈尔滨2栋18层砌块住宅等。可见配筋砌体中高层的研究和应用具有十分广阔的前景。

我国有着用砖砌拱和壳的丰富经验,解放以来,又向新的结构形式和大跨度方向发展。20世纪50~60年代修建了一大批砖拱屋盖和楼盖,还建成了10.5 m×11.3 m的扁球形砖壳屋盖,16 m×16 m的双曲扁球型砖薄壳和40 m直径的圆形球砖壳。20世纪60年代南京用带勾空心砖建成14 m×10 m的双曲扁壳屋盖仓库,以及10 m直径的圆形壳屋盖油库,在西安建成了24 m双曲扁壳屋盖等。20世纪70年代我国还在闽清梅溪大桥工程中建成88 m跨的(混凝土柱)双曲砖拱桥等。

我国大型板材墙体也有发展,20世纪50年代曾用振动砖墙板建成5层住宅,承重墙板厚120 mm。1974年在南京、西安等地用空心砖做振动砖墙板建成4层住宅。1965~1972年在北京用烟灰矿渣混凝土做墙板建成11.5万平方米的住宅,节约普通黏土砖1900万块。1986年在长沙建成内墙采用混凝土空心大板,外墙采用砖砌体的8层住宅。

1.3 砌体结构理论研究与计算方法

解放前直至1950年我国尚无任何建筑结构设计理论研究。国家建委于1956年批准在我国推广应用前苏联《砖石及钢筋砖石结构设计标准和技术规范》(NUTY 120—55),直到20世纪60~70年代,在我国有关部门的领导和组织下,在全国范围内对砖石结构进行了比较大规模的试验研究和调查,总结出一套符合我国实际、比较先进的砖石结构理论、计算方法和经验。在砌体强度计算公式、无筋砌体受压构件的承载力计算、按刚弹性方案考虑房屋的空间工作,以及有关构造措施方面具有我国特色。在此基础上于1973年颁布了国家标准《砖石结构设计规范》(GBJ3—73),这是我国第一部砖石结构设计规范。从此我国的砌体结构设计进入了一个崭新的阶段。20世纪70年代中期至80年代末期,为修订(GBJ3—73)规范,我国对砌体结构进行了第二次较大规模的试验研究,其中收集我国历年来各地试验的砌体强度数据4023个,补充长柱受压试件近200个,局压试件100多个,墙梁试件200多根及2000多个有限元分析数据并进行了11栋多层的砖房空间性能实测和大量的理论分析工作等。在砌体结构的设计方法、多层房屋的空间工作性能、墙梁的共同工作,以及砌块的力学性能和砌块房屋的设计方面取得了新的研究成果。此外,对配筋砌体、构造柱和砌体房屋的抗震性能方面也进行了许多试验研究,相继发布了《中型砌块建筑设计与施工规范》(JGJ 5—80)、《混凝土小型空心砌块建筑设计与施工规程》(JGJ 14—82)、《冶金工业厂房钢筋混凝土墙梁设计规程》(YS 07—79)、《多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程》(JGJ 13—82)等,特别是《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88),使我国砌体结构设计理论和方法趋于完善。我国砌体结构可靠度的设计方法,已达到当前的国际先进水平。对于多层砌体房屋的空间工作,在墙梁中考虑墙和梁的共同工作和局压设计方法等专题的研究成果在世界上处于领先地位。近10余年来,特别是《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)发布后,进入了第三次较大规模的修订时期。如1995年发布的《混凝土小型空心砌块建筑技术规程》(JGJ/T 14—95),通过试验增强抗震构造措施,使原规范(JGJ 14—82)的适用建筑层数可增加一层,扩大了地震区的应用范围。1999年6月1日颁行的《砌体工程施工及验收规范》(GB 50203—98),取代了《砖石工程施工及验收规范》(GB 203—83)。它主要补充了近年来新型材料和配筋砌体施工技术、施工质量控制等级方面的内容。1988年修订的《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88),主要在砌体结构可靠度方面、配筋混凝土砌块砌体、墙梁的抗震方面作了调整和补充。根据我国当前国情,对砌体结构可靠度作了适当的上调。这样做主要是为了促进采用较高等级的砌体材料,提高耐久性和适当提高抗风险能力。我国主编的国际标准《配筋砌体结构设计规范》和我国近年来各地较大规模的试验研究和试点建筑的经验,使我国配筋砌体特别是配筋混凝土砌块中高层的理论更完善,应用范围和限制有了较大的扩展和突破。如其应用范围,已达到钢筋混凝土剪力墙的适用范围。配筋灌孔混凝土砌块砌体是作为一个体系纳入到砌体规范中的,它的未来的实施,对促进我国砌块结构向高档次发展具有重要作用。

我国砌体结构理论近年来有较大提高,在《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)发布以后,陆续出版了许多教材和著作,如丁大钧主编的《砌石结构》、《砌体结构学》,施楚贤主编的《砌体结构理论与设计》、《砌体结构论文集》、《砌体结构设计手册》,唐岱新主编的《砌体结构设计》等。这些对促进我国砌体结构的发展有推动作用。

新修订的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)已于2002年3月1日正式发布实施。这是根据近年来国内科研试验最新成果和大量工程实践经验,参考国际规范及国外工程经验,结合我国经济建设发展需要而修订的。新修订的规范增加了配筋砌块砌体剪力墙结构以适应城市建筑和节能省地、墙体改革的需要,使得建造中高层配筋砌块砌体结构成为可能,也反映了我国砌体结构发展已进入了现代砌体结构的发展阶段。

1.4 展 望

砌体是由包括多种材料的块体砌筑而成的,其中砖石是最古老的建筑材料,几千年来由于其良好的物理力学性能,易于取材、生产和施工,造价低廉,至今仍为我国主导的建筑材料。但是我国的砌体材料普遍存在着自重大、强度低、生产能耗高、毁田严重、施工机械化水平较低和耐久性、抗震性能较差等弊病,因此要针对这些问题开展以下方面的工作。

1. 积极开发节能省地型的新型建材

1988年第一次国际材料研究会议上首次提出“绿色建材”的概念,1992年6月联大巴西里约热内卢环境和发展世界各国首脑会议,通过了“21世纪议程”宣言,确认了“可持续发展”的战略方针,其目标是:依据环境再生、协调共生、持续自然的原则,尽量减少自然资源的消耗,尽可能对废弃物的再利用和净化。保护生态环境以确保人类社会的可持续发展。

近年来发达国家在实施《绿色建材》计划上取得了较大的进展,我国以1992年联合国环境与发展首脑会议为契机,遵照江泽民同志“经济的发展,必须与人口、环境、资源统筹考虑,决不能走浪费资源和先污染后治理的老路,更不能吃祖宗饭、断子孙路……”的指示精神,迅速行动起来,广泛研制“绿色建材”产品,取得了初步成果。

(1) 加大限制高能耗、高资源消耗、高污染低效益的产品的生产力度。如对黏土砖国家早就出台了减少和限制使用的政策。近年的限制力度越来越大,如北京、上海等城市在建筑上不准采用黏土实心砖,这间接地促进了其他新型材料的发展。

(2) 大力发展蒸压灰砂废渣制品。这包括钢渣砖、粉煤灰砖、炉渣砖及其空心砌块、粉煤灰加气混凝土墙板等。这些制品我国20世纪80年代以前的生产量曾达2.5亿块,吃掉工业废渣几百万吨,但由于种种原因大多数厂家已停产,致使黏土砖生产回潮。今后应加大科研投入、改进工艺、提高产品性能和强度等级、降低成本,向多功能化发展。

(3) 利用页岩生产多孔砖。我国页岩资源丰富,分布地域较广。烧结页岩砖具有能耗低、强度高、外观规则等优点,其强度等级可达MU15~MU30,可砌筑清水墙和中高层建筑。页岩砖在四川、湖北和大连等地已得到初步应用,如成都的绵城苑小区16万平方米的建筑均采用这种砖。

(4) 大力发展废渣轻型混凝土墙板。这种轻板利用粉煤灰代替部分水泥,骨料为陶粒、矿渣或炉渣等轻骨料,加入玻璃纤维或其他纤维,以及其他轻材料,提高砌体施工技术的工业化水平。

(5) GRC板的改进与提高。这种板自重轻、防火、防水、施工安装方便。GRC空心条板是大力发展的一种墙体制品,需用先进的生产工艺和装配方式,以提高板的产量和质量。

(6) 推广使用蒸压纤维水泥板。我国是世界上第三大粉煤灰生产国,仅电力工业年排灰量达上亿吨,目前的利用率仅为38%。其实粉煤灰经处理后可生产价值更高的墙体材料,如

高性能混凝土砌块、蒸压纤维增强粉煤灰墙板等。它具有体积质量(容重)低、导热系数小、可加工性强、颜色白净的特点,目前全国的产量已达700万平方米。

(7) 大力推广复合墙板和复合砌块。目前国内外没有单一材料,既满足建筑节能保温隔热,又满足外墙的防水、强度的技术要求,因此只能用复合技术来满足墙体的多功能要求,如钢丝网水泥夹芯板。目前看来,现场湿作业,抹灰后难以克服的龟裂现象有待改进。复合砌块墙体材料,也是今后的发展方向,如采用矿渣空心砖、灰砂砖砌块、混凝土空心砌块中的任意一种与绝缘材料相复合都可满足外墙的要求,目前已有少量生产。我国在复合墙体材料的应用方面已有一定基础,宜进一步改善和完善配套技术,大力推广,这是墙体材料“绿色化”的主要出路。

2. 发展高强砌体材料

目前我国的砌体材料和发达国家相比,强度低、耐久性差。如黏土砖的抗压强度一般为7.5~15 MPa,承重空心砖的孔隙率不到25%。而发达国家的砌体材料抗压强度一般均达到30~60 MPa,且能达到100 MPa,承重空心砖的孔隙率可达到40%,体积质量一般为13 kN/m³,最轻可达0.6 kN/m³。根据国外经验和我国的条件,只要在配料、成型、烧结工艺上进行改进,是可以显著提高烧结砖的强度和质量的,如在中美合资的大连太平洋砖厂可生产出抗压强度为20~100 MPa的页岩砖。由于强度高、耐久性和耐磨性好及独特的色彩,可做清水墙和装饰材料,已出口和广泛用于高档建筑。高强块材具有比低强材料高得多的价格优势。

根据我国对黏土砖的限制政策,可就地取材、因地制宜,在黏土较多的地区(如西北高原),发展高强黏土制品、高孔隙率的保温砖和外墙装饰砖、块材等;在少黏土的地区发展高强混凝土砌块、承重装饰砌块和利用废材料制成的砌块等。

在发展高强块材的同时,研制高强度等级的砌筑砂浆。目前的砂浆强度等级最高为M15。当与高强块材匹配时需开发大于M15以上的高性能砂浆。我国已经实施的《混凝土小型空心砌块砂浆和灌孔混凝土》行业标准中砂浆的强度等级为M5~M30,灌孔混凝土的强度等级为C20~C40,这是混凝土砌块配套材料方面的重要进展,对推动高强砌体材料结构的发展有重要作用。

根据发展趋势,为确保质量,发展干拌砂浆和商品砂浆具有很好的前景。干拌砂浆是把所有配料在干燥状态下混合装包供应现场按要求加水搅拌即可,天津舒布洛克水泥砌块公司已供应这种干拌砂浆。商品砂浆的优点同商品混凝土,这类砂浆的发展一旦取代传统砂浆,将是一个巨大的变革。

3. 继续加强配筋砌体和预应力砌体的研究

我国虽已初步建立了配筋砌体结构体系,但需研制和定型生产砌块建筑施工用的机具,如铺砂浆器、小直径振捣棒(直径不大于25 mm)、小型灌孔混凝土浇注泵、小型钢筋焊机、灌孔混凝土检测仪等。这些机具对配筋砌块结构的质量至关重要。

预应力砌体其原理同预应力混凝土,能明显地改善砌体的受力性能和抗震能力。国外,特别是英国在配筋砌体和预应力砌体方面的水平很高。我国20世纪80年代初期曾有过研究,但直至最近才有少数专家对预应力砖墙的抗震设计提出了建议。

4. 加强砌体结构理论的研究

进一步研究砌体结构的破坏机理和受力性能,通过物理和数学模式,建立精确而完整的砌体结构理论,是世界各国关心的课题。我国在这方面的研究具有较好的基础,研究课题有一定

的深度,对继续加强这方面的工作十分有利,对促进砌体结构发展也有深远意义。为此,还必须加强对砌体结构的试验技术和数据处理的研究,使测试自动化,以得到更精确的试验结果。

正如一位资深砌体结构学者 E. A. James 指出的“砌体结构经历了一次中古欧洲的文艺复兴,其有吸引力的功能特性和经济性,是它获得新生的关键。我们不能停留在这里,我们正在进一步赋予砌体结构的新的概念和用途”。坚持科学态度,敢于创新,不断努力,我们对砌体结构的未来充满信心。

本章小结

(1) 砌体结构是用各种块材(普通黏土砖、空心砖、各种砌块和石材)和砂浆砌筑而成的结构。

(2) 砌体按照所采用块材的不同,可分为砖砌体、石砌体和砌块砌体 3 大类,因此在没有砌块之前砌体结构也称为砖石结构。砌体结构构件可分为无筋砌体和配筋砌体。

(3) 砌体结构优缺点。

砌体结构优点:易于就地取材,降低工程造价;有很好的耐火性和较好的耐久性;保温、隔热性能好,节能效果明显;节约水泥、钢材和木材。

砌体结构缺点:自重大,强度较低,材料用量较多;砌筑砂浆和砖、石、砌块之间的黏结力较弱,因此无筋砌体的抗拉、抗弯及抗剪强度低,抗震及抗裂性能较差;砌筑工作繁重,劳动量大,生产效率低;黏土砖生产占用农田。

(4) 砌体结构主要应用范围:砌体主要用于承受压力的构件,房屋的基础、内外墙、柱等。无筋砌体房屋一般可建 5~7 层,配筋砌块剪力墙结构房屋可建 8~18 层。此外,过梁、屋盖、地沟等构件也可用砌体结构建造。

(5) 新材料、新技术、新结构的发展正在克服砌体结构的缺点,使砌体结构在满足建筑功能、节约工程造价的基础上建造起更高的建筑物。

(6) 今后在砌体结构方面我们主要应做好以下的工作:积极开发节能环保型的新型建材;发展高强砌体材料;继续加强配筋砌体和预应力砌体的研究,加强砌体结构理论的研究;结合我国的国情,扩大砌体结构的应用范围。

思考题

- 1.1 砌体、块材、砂浆三者之间的关系如何?
- 1.2 砖石结构与砌体结构有何区别?
- 1.3 砌体结构与其他结构形式相比,应用与发展有何特点?
- 1.4 为了使建筑节能省地,砌体结构材料应如何改进?
- 1.5 砌体结构的理论研究取得了哪些成果?今后的主要研究方向是什么?

第2章 砌体的基本力学性能

2.1 砌体的材料及种类

2.1.1 块体材料

1. 烧结砖

烧结砖可分为烧结普通砖和烧结多孔砖。

(1) 烧结普通砖

用塑压黏土制坯,干燥后焙烧而成的实心 and 孔隙率不大于 15% 的砖称为烧结普通砖。其中实心黏土砖是主要品种,是目前应用最广泛的块体材料。其他非黏土原料制成的砖的生产和推广应用,既能利用工业废料,又可保护土地资源,是砖瓦工业发展的方向。例如,烧结页岩砖、烧结煤矸石砖、烧结粉煤灰砖等。

烧结普通砖具有全国统一的规格,其尺寸为 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$ 。具有这种尺寸的砖通称“标准砖”。

(2) 烧结多孔砖

以黏土、页岩、煤矸石为主要原料,经焙烧而成,孔隙率不小于 15%,孔的尺寸小而数量多的砖,简称多孔砖。

我国生产的多孔砖有多种形式和规格,它们的应用尚不普遍。

2. 非烧结砖

以硅质材料和石灰为主要原料压制成坯并经高压釜蒸汽养护而成的实心砖统称硅酸盐砖。这类材料中仅有蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖被纳入新规范,其规格尺寸与实心黏土砖相同。

3. 混凝土砌块

混凝土砌块是指采用普通混凝土或利用浮石、火山渣、陶粒等为骨料的轻集料混凝土制成的实心或空心砌块。

混凝土砌块规格多样,一般将高度在 $180 \sim 350\text{ mm}$ 的砌块称为小型砌块;高度在 $360 \sim 900\text{ mm}$ 的砌块称为中型砌块;高度大于 900 mm 的砌块称为大型砌块。

小型砌块尺寸较小、自重较轻、型号多、使用灵活、便于手工操作,目前我国应用较广泛。中、大型砌块尺寸较大、自重较重,适用于机械起吊和安装,可提高施工速度、减轻劳动强度,但其型号不多,使用不够灵活,在我国很少采用。图 2.1 为常用的几种混凝土小型砌块。

4. 天然石材

石材一般采用重质天然石。当重度(重力密度)大于 18 kN/m^3 的称为重石(花岗岩、砂岩、石灰石等),重度(重力密度)小于 18 kN/m^3 的称为轻石(凝灰岩、贝壳灰岩等)。重石材由

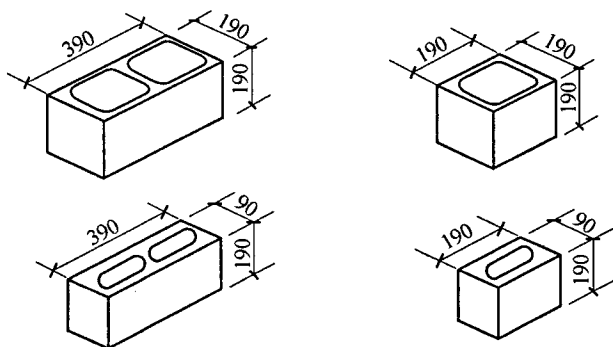


图 2.1 常用的混凝土小型砌块(单位:mm)

于强度大,抗冻性、抗水性、抗气性均较好,故通常用于建筑物的基础、挡土墙等,在石材产地也可用于砌筑承重墙体。但石材导热系数大,因此,在炎热及寒冷地区不宜用做建筑物外墙。

天然石材分为料石和毛石两种。料石按其加工后外形的规则程度又分为细料石、半细料石、粗料石和毛料石。毛石是指形状不规则,中部厚度不大于 200 mm 的块石。

石砌体中的石材应选用无明显风化的天然石材。

2.1.2 砂浆

砂浆是由砂、无机胶结料(水泥、石灰、石膏、黏土等)按一定比例加水搅拌而成的。砌体是用砂浆将单块的块体砌筑成为整体的。砂浆在砌体中的作用是使块体与砂浆接触表面产生黏结力和摩擦力,从而把散放的块体材料凝结成整体以承受荷载,并因抹平块体表面使应力分布均匀。同时,砂浆填满了块体间的缝隙,减少了砌体的透气性,从而提高砌体的隔热、防水和抗冻性能。

1. 砂浆的种类

砂浆按其配合成分可分为以下几种。

(1) 水泥砂浆

水泥砂浆为不加塑性掺和料的纯水泥砂浆,由于能在潮湿环境中硬化,一般多用于含水量较大的地基土中的地下砌体。

(2) 混合砂浆

混合砂浆为水泥石灰砂浆、水泥黏土砂浆,强度较好,施工方便,常用于地上砌体。

(3) 非水泥砂浆

非水泥砂浆为不含水泥的砂浆,如石灰砂浆,属气硬性(即只能在空气中硬化)材料,强度不高,通常用于地上砌体;黏土砂浆,强度低,用于简易建筑;石膏砂浆,硬化快,一般用于不受潮湿的地上砌体。

2. 砂浆的性能要求

砂浆除了强度要求外还应具有以下性能。

(1) 可塑性

为了在砌筑时能将砂浆很容易且很均匀地铺开,从而提高砌体强度和砌筑效率,砂浆应具有适当的可塑性(流动性),其值可通过标准锥体沉入砂浆的深度测定。例如砖砌体的沉入深度为 70~100 mm 方为合格。

(2) 保水性

砂浆的质量在很大程度上取决于其保水性,亦即在运输、砌筑过程中保持相等质量的能力。在砌筑过程中,砖将吸收一部分水分,这对于砂浆的强度和密实性是有利的,但如果砂浆保水性很小,新铺在砖面上的砂浆中水分很快被吸去,则使砂浆铺平困难,影响正常硬化作用,降低砂浆强度。砂浆的保水性由分层度试验方法确定。

纯水泥砂浆的可塑性及保水性较差,其强度等级虽然符合要求,但砌筑质量较差,所以规范规定用这种砂浆砌筑的砌体强度应予以折减。为使砂浆具有适当的可塑性和保水性,砂浆中除水泥外应另加入塑性掺和料,如黏土、石灰等组成水泥混合砂浆。但是,也不宜掺得过多,否则会增加灰缝中砂浆的横向变形,降低砌体的强度。

2.1.3 砌块砂浆与灌孔混凝土

在混凝土小型砌块建筑中,为了提高房屋的整体性、承载力和抗震性能,常在砌块孔洞中设置钢筋并浇筑灌孔混凝土,使其形成钢筋混凝土芯柱。在有些混凝土小型砌块砌体中,虽然孔内并没有配钢筋,但为了增大砌体横截面面积,或为了满足其他功能要求,也需要灌孔。灌孔混凝土是由水泥、砂、碎石、水以及根据需要掺入的掺和料和外加剂等组分按一定比例采用机械搅拌后,用于浇注混凝土砌块砌体芯柱或其他需要填实部位孔洞的混凝土,简称砌块灌孔混凝土。新规范根据《混凝土小型空心砌块灌孔混凝土》(JC 861—2000)国家建材行业标准引入了专用灌孔混凝土,其强度等级用 Cb 表示。

2.1.4 砌体的种类

砌体按其材料的不同可分为砖砌体、砌块砌体和石砌体;按其砌筑形式的不同可分为实心砌体和空心砌体;按其作用不同可分为承重砌体和非承重砌体;按配筋程度可分为无筋砌体、约束砌体和配筋砌体。配筋砌体是指配筋率较高,破坏时钢筋能充分发挥作用的砌体,如组合砖砌体、网状配筋砖砌体和配筋砌块砌体剪力墙等。

砌体能成为整体承受荷载,除了靠砂浆使块体黏结之外,还需要使块材在砌体中合理排列,即上、下皮块体必须互相搭砌,并避免出现过长的竖向通缝。

下面介绍几种按材料不同划分的砌体类别。

1. 砖砌体

砖砌体通常用作承重外墙、内墙、砖柱、围护墙及隔墙。墙体的厚度是根据强度和稳定的要求来确定的。对于房屋的外墙,还需要满足保温、隔热和不透风的要求。北方寒冷地区的外墙厚度往往是由保温条件确定的,但在截面较小、受力较大的部位(如多层房屋的窗间墙)还需进行强度校核。

砖砌体按照砖的搭砌方式,常用的有一顺一丁、梅花丁(即同一皮内,丁顺间砌)和三顺一丁砌法,而过去的五顺一丁砌法已很少采用。对于实心砖柱,用砍砖办法有可能做到严格的搭砌,完全消除竖向通缝,但由于砍砖不易整齐,往往只顾及外侧尺寸,内部形成难以密实的砂浆块,反倒降低砌体的受力性能。所以应采用不砍砖但又不让竖向通缝超过三皮的砌法。

黏土砖还可以砌成空心砌体。我国应用的轻型砌体有空斗墙、空气夹层墙、填充墙、多层墙等多种类型。

由外层半砖、里层一砖,中间形成 40 mm 空气层的 400 mm 厚夹层墙,其热工效果可相当于