



普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

砌体结构 (第4版)

Q

T

J

G

刘立新 主编



WUTP

武汉理工大学出版社



普通高等教育“十二五”住建部规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等学校土木工程专业新编系列教材

中国土木工程学会教育工作委员会 审订

砌体结构

(第4版)

主 编	刘立新	
副主编	谢丽丽	
参 编	王新玲	管品武
	郝 彤	赵文兰
	于秋波	杜朝华

武汉理工大学出版社

【内 容 提 要】

本书结合我国近年来砌体结构和墙体材料革新的新发展,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,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。全书依据《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)编写。

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

【主 编 简 介】

刘立新 男,1947年10月出生,郑州大学教授,博士生导师。长期从事土木工程专业教学和科研工作,主要研究方向为混凝土结构、砌体结构基本理论及工程应用。曾荣获省级教学成果特等奖1项,部(省)级科技进步一等奖1项、二等奖4项、三等奖5项,出版学术专著、教材10余本,在国内外学术刊物上发表论文70余篇。1997年被国务院批准为享受政府特殊津贴专家,1998年被评为全国优秀教师,2007年被评为河南省教学名师。主要社会兼职有全国混凝土结构标准技术委员会委员、全国砌体结构标准技术委员会委员等。

E-mail:liuli_xin@126.com

图书在版编目(CIP)数据

砌体结构/刘立新主编. —4版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.8
ISBN 7-978-5629-3795-1

I. ①砌… II. ①刘… III. ①砌体结构-高等学校-教材 IV. ①TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 188464 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全 责任编辑:于应魁
责任校对:夏冬琴 封面设计:湖北语新文化书籍设计工作室
出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)
<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网
印刷者:武汉理工大印刷厂
发 行 者:各地新华书店
开 本:880×1230 1/16
印 张:9
字 数:291千字
版 次:2012年8月第4版
印 次:2012年8月第1次印刷 总第22次印刷
印 数:177001—187000册
定 价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

第 4 版前言

《砌体结构》第 1 版、第 2 版和第 3 版分别于 2001 年 8 月、2003 年 5 月和 2007 年 12 月出版后,受到了广大师生和读者的欢迎。近年来为适应我国经济建设的可持续发展和墙体材料革新、建筑节能、环境保护以及提高建筑物抵御自然灾害能力的需要,在调查了汶川、玉树地震中砌体结构的震害,总结了砌体结构研究应用的新成果和新经验的基础上,我国陆续颁布了《墙体材料应用统一技术规范》(GB 50574—2010)和《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011),以及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)等新一轮结构设计规范。新规范的颁布实施使《砌体结构》第 3 版中的部分内容已显得不适应当前墙体材料革新和砌体结构发展的新形势,有必要进行修订。

《砌体结构》第 4 版在编写时,除了反映《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)等的最新内容外,还依据我国高等学校土木工程学科专业指导委员会《高等学校土木工程本科指导性专业规范》制定的培养目标和培养规格的要求,涵盖了相关的知识领域和知识点,并注重了贯彻培养“卓越工程师”的指导思想。增加了适应墙体材料革新要求,成熟可行的新的砌体材料,以及提高砌体材料耐久性的有关规定,并完善了砌体结构抗震的内容。为了适应新型墙体材料的应用,对教材中的例题进行了修改。各章仍保留内容提要、本章小结、思考题和习题,并给出了部分习题答案,以便于学生学习时归纳总结。

《砌体结构》第 4 版仍分为 6 章,第 1 章由刘立新编写,第 2 章由管品武、郝彤编写,第 3 章由刘立新、管品武、赵文兰编写,第 4 章由王新玲、刘立新编写,第 5 章和第 6 章由谢丽丽、于秋波、杜朝华编写。由刘立新任主编,谢丽丽任副主编。全书的思考题和习题由郝彤、赵文兰修改,并给出了部分习题答案。

尽管本书已进行多次修订,但由于编者水平有限,对新颁布的规范学习理解尚不很深入,书中难免存在错误与缺点,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 砌体结构发展概况	(1)
1.1.1 砌体结构发展简史	(1)
1.1.2 我国砌体结构发展概况	(2)
1.1.3 国外砌体结构发展简介	(4)
1.2 砌体结构的优缺点及其应用范围	(4)
1.2.1 砌体结构的优缺点	(4)
1.2.2 砌体结构的应用范围	(5)
1.3 砌体结构发展展望	(5)
本章小结	(6)
思考题	(6)
2 砌体及其基本材料力学性能	(7)
2.1 砌体材料及其强度等级	(7)
2.1.1 砖	(7)
2.1.2 砌块	(9)
2.1.3 石材	(9)
2.1.4 砂浆	(10)
2.1.5 对砌体材料的耐久性要求	(10)
2.2 砌体的种类	(11)
2.2.1 砖砌体	(11)
2.2.2 砌块砌体	(11)
2.2.3 石砌体	(11)
2.2.4 配筋砌体	(11)
2.2.5 墙板	(12)
2.3 砌体的受压性能	(12)
2.3.1 砌体的受压破坏特征	(12)
2.3.2 砌体的受压应力状态	(13)
2.3.3 影响砌体抗压强度的因素	(13)
2.3.4 砌体抗压强度计算公式	(14)
2.4 砌体的受拉、受弯、受剪性能	(15)
2.4.1 砌体的轴心受拉性能	(15)
2.4.2 砌体的受弯性能	(15)
2.4.3 砌体的受剪性能	(16)
2.5 砌体的变形和其他性能	(17)
2.5.1 砌体的弹性模量	(17)
2.5.2 砌体的剪变模量	(19)
2.5.3 砌体的干缩变形和线膨胀系数	(19)
2.5.4 摩擦系数	(19)
本章小结	(20)
思考题	(20)

3 砌体结构构件承载力的计算	(21)
3.1 以概率理论为基础的极限状态设计方法	(21)
3.1.1 极限状态设计方法的基本概念	(21)
3.1.2 砌体的强度标准值和设计值	(24)
3.2 受压构件	(27)
3.2.1 受压短柱的承载力分析	(27)
3.2.2 轴心受压长柱的受力分析	(29)
3.2.3 偏心受压长柱的受力分析	(29)
3.2.4 受压构件承载力的计算	(32)
3.2.5 计算例题	(33)
3.3 局部受压	(35)
3.3.1 砌体局部受压的特点	(35)
3.3.2 砌体局部均匀受压	(36)
3.3.3 梁端局部受压	(36)
3.3.4 梁下设有刚性垫块	(38)
3.3.5 梁下设有长度大于 πh_0 的钢筋混凝土垫梁	(39)
3.3.6 计算例题	(40)
3.4 轴心受拉、受弯和受剪构件	(42)
3.4.1 轴心受拉构件	(42)
3.4.2 受弯构件	(42)
3.4.3 受剪构件	(43)
3.4.4 计算例题	(43)
3.5 配筋砖砌体构件	(44)
3.5.1 网状配筋砖砌体受压构件	(44)
3.5.2 组合砖砌体构件	(46)
3.5.3 砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	(49)
3.5.4 计算例题	(50)
3.6 配筋砌块砌体构件	(52)
3.6.1 正截面受压承载力计算	(52)
3.6.2 斜截面受剪承载力计算	(53)
本章小结	(54)
思考题	(55)
习题	(55)
4 混合结构房屋墙体设计	(57)
4.1 混合结构房屋的组成及结构布置方案	(57)
4.1.1 混合结构房屋的组成	(57)
4.1.2 混合结构房屋的结构布置方案	(57)
4.2 房屋的静力计算方案	(59)
4.2.1 混合结构房屋的空间工作性能	(59)
4.2.2 房屋静力计算方案的分类	(60)
4.2.3 刚性方案和刚弹性方案的横墙	(61)
4.3 墙柱高厚比验算	(62)
4.3.1 允许高厚比及影响高厚比的因素	(62)
4.3.2 高厚比验算	(63)
4.4 单层房屋墙体计算	(67)

4.4.1	单层刚性方案房屋承重纵墙的计算	(67)
4.4.2	单层弹性方案房屋承重纵墙的计算	(68)
4.4.3	单层刚弹性方案房屋承重纵墙的计算	(69)
4.4.4	计算例题	(70)
4.5	多层房屋墙体计算	(73)
4.5.1	多层刚性方案房屋承重纵墙的计算	(73)
4.5.2	多层刚性方案房屋承重横墙的计算	(76)
4.5.3	多层刚性方案房屋计算例题	(76)
4.5.4	多层刚弹性方案房屋的计算	(81)
4.6	地下室墙	(81)
4.6.1	概述	(81)
4.6.2	地下室墙体的荷载	(82)
4.6.3	地下室墙体的计算简图和截面验算	(82)
4.6.4	地下室墙计算示例	(84)
本章小结		(86)
思考题		(87)
习题		(87)
5	过梁、圈梁、墙梁、悬挑构件及墙体的构造措施	(89)
5.1	过梁	(89)
5.1.1	过梁的分类及应用范围	(89)
5.1.2	过梁上的荷载	(89)
5.1.3	过梁的计算	(90)
5.2	圈梁	(91)
5.2.1	圈梁的设置	(91)
5.2.2	圈梁的构造要求	(92)
5.3	墙梁	(92)
5.3.1	概述	(92)
5.3.2	墙梁的受力特点和破坏形态	(93)
5.3.3	墙梁的计算	(97)
5.3.4	墙梁的构造要求	(99)
5.3.5	计算例题	(100)
5.4	悬挑构件	(106)
5.4.1	悬挑构件的受力性能	(106)
5.4.2	挑梁的计算	(107)
5.4.3	挑梁的构造要求	(109)
5.5	墙体的构造措施	(109)
5.5.1	墙、柱的一般构造要求	(109)
5.5.2	防止或减轻墙体开裂的措施	(111)
本章小结		(112)
思考题		(113)
习题		(113)
6	砌体结构房屋抗震设计	(115)
6.1	砌体结构房屋的震害	(115)
6.2	多层砌体结构房屋抗震设计的一般规定	(115)
6.2.1	房屋总高度和层数的限制	(115)

6.2.2 房屋高宽比的限制 (116)

6.2.3 墙体的布置 (116)

6.2.4 平、立面布置和防震缝的设置 (117)

6.2.5 材料要求 (118)

6.3 多层砌体结构房屋抗震计算要点 (118)

6.3.1 计算简图和地震作用 (118)

6.3.2 水平地震剪力的分配 (119)

6.3.3 墙体抗震承载力的验算 (120)

6.3.4 计算例题 (122)

6.4 多层砌体结构房屋抗震构造措施 (125)

6.4.1 多层砖房屋构造措施 (125)

6.4.2 多层砌块房屋构造措施 (127)

6.5 配筋砌块砌体剪力墙抗震设计 (129)

6.5.1 配筋砌块砌体剪力墙房屋抗震设计的一般规定 (129)

6.5.2 配筋砌块砌体剪力墙抗震计算要点 (130)

6.5.3 配筋砌块砌体剪力墙房屋抗震构造措施 (132)

本章小结..... (134)

思考题..... (134)

主要参考文献..... (135)

1 绪 论

本章提要

本章叙述了砌体结构的类型、砌体结构的发展简史以及砌体结构在我国及国外发展的概况,介绍了砌体结构的优缺点及其应用范围,结合我国国情讨论了砌体结构的发展与展望。

1.1 砌体结构发展概况

1.1.1 砌体结构发展简史

砌体结构是指用砖、石或砌块为块材,用砂浆砌筑的结构。砌体按照所采用块材的不同,可分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三大类。

砌体结构有悠久的历史。人类自巢居、穴居进化到室居以后,最早发现的建筑材料就是块材,如石块、土块等。人类利用这些原始材料垒筑洞穴和房屋,并在此基础上逐步从乱石发展为加工成块石,从土坯发展为烧结砖瓦,出现了最早的砌体结构。例如,我国早在 5000 年前就建造有石砌祭坛和石砌围墙;在秦代用乱石和土将秦、燕、赵北面的城墙连成一体,建成了闻名于世的万里长城;在隋代由李春所建造的河北赵县安济桥,距今已有约 1400 年,净跨为 37.02m,宽约 9m,外形十分美观,是世界上最早建造的敞肩式单孔圆弧石拱桥;古埃及在公元前约 3000 年在尼罗河三角洲的吉萨采用块石建成三座大金字塔,工程十分浩大;古罗马在公元 75—80 年采用石结构建成了罗马大角斗场,至今仍供人们参观。

我国在新石器时代末期(距今 4500~6000 年)已有地面木架建筑 and 木骨泥墙建筑,在公元前约 2000 年的夏代已有夯土的城墙,商代(公元前 1783 年—公元前 1135 年)以后逐渐采用黏土做成的板筑墙。人们生产和使用烧结砖瓦也有 3000 多年的历史。在西周时期(公元前 1134 年—公元前 771 年)已有烧制的瓦,在战国时期(公元前 475 年—公元前 221 年)已能烧制成大尺寸空心砖,南北朝时砖的使用已很普遍。北魏(公元 386—534 年)孝文帝建于河南登封的嵩岳寺塔是一座平面为十二边形的密檐式砖塔,共 15 层,总高 43.5m,为单筒体结构,塔底直径 8.4m、墙厚 2.1m、高 3.4m,塔内建有真、假门 504 个,是我国现存最古老的砖塔之一,在世界上也是独一无二的。始建于北齐(公元 550—577 年)天保十年的河南开封铁塔,大量采用异型琉璃砖砌成(因琉璃砖呈褐色,清代时百姓称为铁塔,流传至今),该塔平面为八角形,共 13 层,塔高 55.08m,地下尚有 5~6m;该塔已经受地震 38 次、冰雹 19 次、河患 6 次、雨患 17 次,至今依然耸立。明代建造的南京灵谷寺无梁殿后面走廊的砖砌穹隆,体现出我国古代对砖石结构的重要应用。中世纪的欧洲用砖砌筑的拱、券、穹隆和圆顶等结构也得到了很大发展,如公元 532—637 年建于君士坦丁堡的圣索菲亚教堂,东西向长 77m,南北向长 71.7m,正中是直径为 32.6m 的穹顶,全部用砖砌成。

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历了强烈地震的考验。1958 年我国建成了采用混凝土空心砌块做墙体的房屋。

1.1.2 我国砌体结构发展概况

我国自新中国成立以来,砌体结构得到了迅速发展,取得了显著的成就。其主要特点是:

(1) 应用范围扩大

新中国成立以来,我国的砖产量逐年增加,近几年已为世界各国砖产量的总和,全国以砌体材料为主要建筑材料建造的各类房屋仍占相当大的比例。20 世纪 50 年代砌体结构房屋一般为 3~4 层,现在已大量建造 5~6 层的房屋,有的城市建到 7~8 层。20 世纪 60—70 年代,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,曾广泛采用砖墙、柱承重结构。我国还逐步积累了在地震区建造砌体结构房屋的经验。唐山地震以后,按照抗震规范设计的在砌体墙中带有构造柱做法的房屋,已在多次地震中得到了考验。

砌体结构还用于建造小型水池、料仓、渡槽、水塔等各种构筑物。如在镇江市建成顶部外径为 2.14m、底部外径为 4.78m、高 60m 的砖砌烟囱;我国曾建造成用料石砌筑而成的高达 80m 的排气塔;在湖南建成储粮用的砖砌筒仓,高 12.4m、直径 6.3m、壁厚 240mm;在福建用石砌体建成横跨云霄、东山两县的大型引水工程,其中陈岱渡槽全长超过 4400m,高 20m,渡槽支墩共 258 座,工程规模宏大;著名的河南林州市红旗渠也大量采用石砌渡槽。

桥梁工程中也广泛采用了砌体结构,1971 年建成的四川丰都九溪沟变截面敞肩式公路石拱桥,跨度为 116m;2000 年建成的位于山西省晋城—焦作高速公路上的丹河石拱桥,净跨度达 146m,是目前世界上跨度最大的石拱桥。

(2) 新材料、新技术和新结构的不断研制和使用

20 世纪 60 年代以来,我国承重空心砖的生产和应用有较大发展。南京市用承重空心砖建成的 8 层旅馆建筑,其中 1~4 层墙厚为 290mm,5~8 层墙厚为 190mm。由于墙厚减薄,墙体自重减轻,达到了较好的经济效益,同时房屋的使用面积也有所增大。在空心砖的孔洞内设置预应力钢筋而制成空心砖楼板、小梁或檩条,在工程中也有应用。我国有着用砖砌筑拱和券的丰富经验,新中国成立以来,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楼盖和屋盖,还建成用作屋盖的 10.5m×11.3m 的扁球形砖壳,16m×16m 的双曲扁球形壳和直径 40m 的圆球形砖壳。南京、西安等地还研制和生产出拱壳砖(又称带钩空心砖),构造巧妙,很有特色。20 世纪 60 年代在南京采用带钩空心砖建成 14m×10m 的双曲扁壳屋盖的实验室,10m×10m 两跨双曲扁壳屋盖的车间,16m×16m 双曲扁壳屋盖的仓库,以及直径 10m 圆形壳屋盖的油库;在西安建成了 24m 跨双曲拱屋盖。20 世纪 70 年代我国还在闽清梅溪大桥工程中建成 88m 跨的双曲砖拱(拱波之间设有钢筋混凝土小肋)。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 120mm。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 m² 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。

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。20 世纪 60 年代,在衡阳和株洲一些房屋的部分墙、柱中采用网状配筋砖砌体承重,节约了钢筋和水泥。20 世纪 50—70 年代,徐州采用配筋砖柱建造了跨度为 12~24m,吊车起重量为 50~200t 的单层厂房共 36 万 m²。1984 年中国建筑西北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 m²。

近年来,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、煤矸石为骨料的轻集料混凝土砌块,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 190mm 和 290mm 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体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、7 层和 6 层,当采取加强构造措施后,可在原允许层数上增加一层。均匀配筋砌体结构对水平和竖向配筋有最小含钢率要求,在受力模式上也类同于混凝土剪力墙结构,它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 度和 8 度地区建造房屋的允许层数分别为 18 层、15 层和 10 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。黏土砖采用优质黏土烧结而成,经计算,生产一万块黏土砖需取土毁田 0.007~0.01 亩,以沈阳为例,现有砖厂 322 个,年产约 20 亿块黏土砖,每年仅烧砖能耗约 30 万 t 标准煤,毁田 1480 亩。如果以砌块取代黏土砖,每年可节省 15 万 t 标准煤,节约耕地 1480 亩。由于砌块砌体具有上述明显的优点,1996 年全国砌块总产量已达到 2500 万 m^3 ,而且近 10 年来混凝土砌块和砌块建筑的年递增量都在 20% 左右,尤其以大中城市推广迅速。以上海推广砌块建筑为例,1994 年约 50 万 m^2 ,1995 年约 100 万 m^2 ,1996 年约 150 万 m^2 ,到 1999 年一季度累计完成砌块建筑 450 万 m^2 。大庆油田从 1976 年引进国外砌块生产线起到 2001 年年底,已建成 500 多幢砌块住宅。高层配筋砌块建筑也已进行了一些试点工程,20 世纪 80 年代广西建成 10~11 层砌块房屋,1997 年建成盘锦市国税局 15 层配筋砌块住宅楼,1998 年上海建成 18 层配筋砌块住宅,辽宁抚顺市也建成 5 幢 16 层配筋砌块住宅楼。

(3) 砌体结构计算理论和计算方法的逐步完善

新中国成立以前,我国所建造的砌体结构房屋主要是住宅等低层民用建筑,只凭经验设计而不作计算,由房屋的层数来选定墙的厚度。1956 年原国家建委批准在我国使用前苏联的《砖石及钢筋砖石结构设计标准及技术规范》(HuTy 120—55),该规范采用属于定值的极限状态设计方法。20 世纪 60—70 年代初,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计算理论和设计方法,并于 1973 年颁布了我国第一部《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73),采用的是多系数分析、单系数表达的半经验半概率极限状态设计方法,使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 年代中期,我国组织有关高校、科研和设计单位对砌体结构进行了第二次较大规模的试验和研究,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,以及砌块砌体的力学性能和砌块房屋的设计等方面取得了新的成绩,并于 1988 年颁布实施了《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)。该规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,在砌体结构可靠度设计方面已达到当时的国际水平,其中多层砌体结构房屋的空间工作,以及在墙梁中墙和梁的共同工作等专题的研究成果在国际上处于领先地位,使我国砌体结构理论和设计方法更趋完善。同时,我国还和国际标准化组织砌体技术委员会(ISO/TC 179)建立了紧密的联系和合作,并担任了配筋砌体分委员会的秘书国。

1998 年在总结新的科研成果和工程经验的基础上,在全国范围内组织有关高校、科研和设计单位对砌体结构设计规范进行了全面修订,颁布了《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)。该规范的砌体结构类别和应用范围较 GBJ 3—88 有所扩大,增加了组合砖墙、配筋砌块砌体剪力墙结构,以及地震区的无筋和配筋砌体结构构件设计等内容;引入了一些新型砌体材料,如蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖、轻集料混凝土砌块及混凝土小型空心砌块灌孔砌体等;提高了材料强度等级,适当调整了材料设计强度的取值,补充了以承受永久荷载为主的内力组合,增加了施工质量控制等级的内容,以提高结构的可靠度;补充了砖砌体和混凝土构造柱组合墙、配筋砌块砌体剪力墙的设计方法;对结构和构件承载力计算方法(如局部受压、墙梁计算等)作了进一步改进,并补充和完善了防止墙体开裂的构造措施,还明确了工程设计人员必须遵守的强制性条文。

近年来为适应我国经济建设的可持续发展和墙体材料革新、建筑节能、环境保护以及提高建筑抵抗自然灾害能力的需要,国内有关科研、设计单位和大专院校在总结了近年来砌体结构应用的新经验,调查了

汶川、玉树地震中砌体结构的震害,进行了必要的试验研究并借鉴了砌体结构领域科研的成熟成果基础上,又对砌体结构设计规范进行了全面修订,颁布了新的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)。新的砌体结构设计规范增加了适应节能减排、墙材革新要求,成熟可行的新型砌体材料,并提出了相应的设计方法;增加了提高砌体耐久性的有关规定;增补了防止或减轻因材料变形而引起墙体开裂的措施;根据地震震害,结合砌体结构的特点,完善了砌体结构的抗震设计方法。新砌体结构设计规范的颁布实施将进一步促进我国砌体结构设计和应用水平的提高。

1.1.3 国外砌体结构发展简介

前苏联是最早建立较完整的砌体结构理论和设计方法的国家,1939 年颁布了《砖石结构设计标准及技术规范》(OCT—90038—39),20 世纪 50 年代在对砌体结构进行了一系列试验和研究的基础上,提出了按极限状态的设计方法,原东欧一些国家如捷克、波兰等国也相继采用这一方法。自 1958 年在瑞士苏黎世采用抗压强度为 58.8MPa、空心率为 28% 的空心砖做墙体建成一幢 19 层塔式住宅(墙厚 380mm),随后又建成一幢 24 层塔式住宅之后,欧、美及世界上许多国家加强了对砌体结构的研究。

20 世纪 60 年代以来,国外研究、生产出了许多性能好、质量高的砌体材料,推动了砌体结构的迅速发展。在意大利,5 层及 5 层以下的居住建筑中有 55% 是采用砖墙承重,砖的抗压强度一般可达 30~60MPa,空心砖产量占砖总产量的 80%~90%,空心率有的高达 60%;瑞士、保加利亚则几乎全部采用空心砖;英国多孔砖的抗压强度为 35~70MPa,抗压强度最高的达到 140MPa;美国商品砖的抗压强度为 17.2~140MPa,最高的达 230MPa。目前欧、美及澳大利亚等国砖的抗压强度一般可达到 30~69MPa,且能生产强度高于 100MPa 的砖;空心砖的重力密度一般为 13kN/m³,轻的则达 6kN/m³。国外采用的砌筑砂浆强度也较高,美国 ASTM C270 规定的 M、S 和 N 三类水泥石灰混合砂浆的抗压强度分别为 25.5MPa、20MPa 和 13.8MPa;德国采用的水泥石灰混合砂浆抗压强度为 13.7~41.1MPa;此外,还研制出高粘结强度砂浆。由于砖和砂浆材料性能的改善,砌体的抗压强度也大大提高,欧、美等国 20 世纪 70 年代砖砌体的抗压强度已达 20MPa 以上,接近甚至超过了普通混凝土的强度。国外砌块的发展也相当迅速,一些国家在 20 世纪 70 年代砌块的产量就已接近普通砖的产量。

近年来,许多国家在预制砖墙板和配筋砌体的研究和应用方面取得了较大进展,为砌体结构在高层建筑中的应用开辟了新的途径。20 世纪 60 年代,前苏联采用预制砖墙板的房屋面积已超过 400 万 m²;丹麦生产了 11 种类型的振动砖墙板,年产量达 350 万 m²;美国的预制装配折线形砖墙板和加拿大的预制槽形及半圆筒拱形墙板均已在工程中应用。为了适应中高层建筑(8~20 层)的需要,配筋砌块剪力墙结构体系应运而生,与钢筋混凝土框架剪力墙结构体系相比,采用配筋砌块剪力墙可缩短工期约 20%,降低工程总造价 10% 以上。配筋砌块剪力墙既可采用墙体全部落地的方式,又可采用底层框架的方式,有很强的适应性。美国是配筋砌块建筑应用最广泛的国家,从 20 世纪 60 年代至今已建立了完善的配筋砌体结构系列标准,1990 年 5 月在内华达州拉斯维加斯(7 度区)建成了 4 幢 28 层配筋砌块旅馆。新西兰等国也采用配筋砌体在地震区建造高层房屋。英国在制定配筋和预应力砌体规范方面处于领先地位,1967 年建成一座竖向和环向施加预应力,内径为 12m 的砖水池,近年来还将预应力砌体结构用于单层厂房和大型仓库,取得了很好的效果。近年来,国际上在砌体结构学科方面的交流与合作也很频繁,进一步推动了砌体结构的发展。

1.2 砌体结构的优缺点及其应用范围

1.2.1 砌体结构的优缺点

砌体结构之所以不断发展,成为世界上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以下优点:

(1) 砌体结构材料来源广泛,易于就地取材。石材、黏土、砂等是天然材料,分布广,易于就地取材,价格也较水泥、钢材、木材便宜。此外,工业废料如煤矸石、粉煤灰、页岩等都是制作块材的原料,用来生产砖

或砌块不仅可以降低造价,也有利于保护环境。

(2) 砌体结构有很好的耐火性和较好的耐久性,使用年限长。

(3) 砌体特别是砖砌体的保温、隔热性能好,节能效果明显。

(4) 采用砌体结构较钢筋混凝土结构可以节约水泥和钢材,并且砌体砌筑时不需要模板及特殊的设备,可以节省木材。新砌筑的砌体上即可承受一定荷载,因而可以连续施工。

(5) 当采用砌块或大型板材作墙体时,可以减轻结构自重,加快施工进度,进行工业化生产和施工。

除上述优点外,砌体结构也有下述一些缺点:

(1) 砌体结构自重大。一般砌体的强度较低,建筑物中墙、柱的截面尺寸较大,材料用量较多,因而结构的自重大。因此,应加强轻质高强砌体材料的研究,以减小截面尺寸,减轻结构自重。

(2) 砌筑砂浆和砖、石、砌块之间的粘结力较弱,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。因此,应研制推广高粘结性砂浆,必要时采用配筋砌体,并加强抗震抗裂的构造措施。

(3) 砌体结构砌筑工作繁重。砌体基本采用手工方式砌筑,劳动量大,生产效率低。因此,有必要进一步推广砌块、振动砖墙板和混凝土空心墙板等工业化施工方法,以逐步克服这一缺点。

(4) 砖砌体结构的黏土砖用量很大,往往占用农田,影响农业生产。据统计,全国每年生产黏土砖上千亿块,毁坏农田近 10 万亩,使我国人口多、耕地少的矛盾更突出。因此,必须大力发展砌块、煤矸石砖、粉煤灰砖、混凝土多孔砖等黏土砖的替代产品。

1.2.2 砌体结构的应用范围

由于砌体结构具有很多明显的优点,因此应用范围广泛。但是,砌体结构存在的缺点也限制了它在某些场合下的应用。

砌体主要用于承受压力的构件,房屋的基础、内外墙、柱等都可用砌体结构建造。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 10~18 层。此外,过梁、屋盖、地沟等构件也可用砌体结构建造。

在某些产石材的地区,也可以用毛石或料石建造房屋,目前已有建到 5 层的。

在工业与民用建筑中,砌体往往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结构建造。

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、挡土墙等也常用石材砌筑。在水利建设方面,可用石材砌筑坝、堰和渡槽等。

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。唐山地震以来的经验表明,在多层砌体房屋中加设钢筋混凝土构造柱是提高房屋抗震能力的一项有效措施。

1.3 砌体结构发展展望

砌体结构作为一种应用量大和应用范围广的传统结构形式,在我国势必将继续发展、完善。今后砌体结构的发展主要在于如何进一步发挥其优点并克服其缺点,并结合我国国情,使砌体结构的应用范围扩大,性能更好。

(1) 积极发展新材料

主要应加强对轻质、高强的砖和砌块以及高粘结强度的砂浆的研究和应用,积极发展黏土砖的替代产品。和国外相比,我国砖和砌块的强度普遍较低,有必要采取有力措施迅速提高砖和砌块的强度。我国地域辽阔,西北等地区黏土资源丰富,可推广应用空心黏土砖,这对节省能源、节约黏土资源、减轻结构自重、加快施工进度都有明显作用。在广大人口多、耕地少的地区,要限制使用或取消黏土砖,积极发展黏土砖的替代产品,如蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖、轻集料混凝土砌块、混凝土小型空心砌块以及混凝土多孔砖

等,以节省耕地、保护环境。此外,还应大力研制和推广与新型墙体材料配套的高粘结强度砂浆,以提高砌体结构房屋的整体性和抗裂能力。

(2) 积极推广应用配筋砌体结构

国外的经验和我国的研究结果及试点工程都已表明,在中高层建筑(10~18层)中,采用配筋砌体结构尤其是配筋砌块剪力墙结构,可节约钢筋和木材、施工速度快、经济效益显著,且结构的抗震和抗裂性能良好。今后应在中高层建筑尤其是住宅建筑中积极推广应用配筋砌体结构,扩大砌体结构的应用范围。

(3) 加强对防止和减轻墙体裂缝构造措施的研究

砌体结构是由单块砖或砌块用砂浆砌筑而成的,抗拉强度和抗剪强度较低,墙体在温度变化或地基发生不均匀沉降的情况下容易产生裂缝,尤其是一些非烧制的块材收缩变形较大,更容易出现裂缝。随着我国人民生活水平的提高,对房屋建筑质量的要求也不断提高,墙体开裂的问题已日益引起重视。今后应加强对砌体裂缝的产生机理和防止、减轻墙体裂缝措施的研究,以进一步提高砌体结构房屋的质量。

(4) 加强对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,建立精确而完整的砌体结构理论,积极探索新的砌体结构形式,是世界各国所关心的课题。新中国成立以来,我国对砌体结构理论、设计方法的研究取得了很大成绩,有较好的基础。今后应继续加强这一领域的研究,并进一步改进实验技术,使测试和数据处理自动化,得到更精确的实验和分析结果。此外,还应重视砌体结构的耐久性以及对砌体结构修复补强的研究。

(5) 提高砌体结构的施工技术水平和施工质量

目前我国砌体基本采用手工方式砌筑,劳动量大,生产效率低,且施工质量不易保证。有必要在我国较大范围内改变传统的砌体结构建造方式,提高生产的工业化、机械化水平,从而减少繁重的体力劳动,加快工程建设速度。根据我国目前的实际情况,应推广采用砌块建筑或墙板建筑。还应注意对砌体结构施工质量控制体系和质量检测技术的研究,进一步提高砌体结构的施工质量。

砌体结构是在我国应用广泛的结构形式之一,大量的低层、多层、中高层建筑以及交通、水利工程的构筑物都可采用砌体结构。随着我国基本建设规模的扩大和人们居住条件的不断改善,砌体结构必将在现代化建设中发挥更大的作用。砌体结构是大有发展前途的。

本章小结

(1) 砌体结构是指用砖、石或砌块为块材,用砂浆砌筑的结构。砌体按照所采用块材的不同可分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三大类。

(2) 砌体结构的主要优点有:砌体结构材料来源广泛,易于就地取材;砌体结构有很好的耐火性和较好的耐久性,使用年限长;砌体特别是砖砌体的保温、隔热性能好,节能效果明显;砌体结构较钢筋混凝土结构可以节约水泥、钢材和木材,造价低廉,可以连续施工等。砌体结构的主要缺点有:自重大,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,黏土砖用量很大,占用农田等。由于砌体结构具有很多明显的优点,因此应用范围广泛。但由于砌体结构存在的缺点,也限制了它在某些场合下的应用。

(3) 今后砌体结构的发展,主要在于如何进一步发挥其优点并克服其缺点,并结合我国国情,使砌体结构的应用范围扩大,性能更好。

思 考 题

- 1.1 什么是砌体结构?砌体按所采用材料的不同可以分为哪几类?
- 1.2 砌体结构有哪些优点和缺点?有哪些应用范围?
- 1.3 为节约耕地,限制或取消黏土砖,应大力发展哪些新型墙体材料?

2 砌体及其基本材料力学性能

本章提要

本章叙述了砌体材料及其强度等级,介绍了常见砌体种类,较详细地叙述了砌体受压、受拉、受弯、受剪的性能以及影响砌体抗压强度的主要因素,给出了各种受力条件下的砌体强度计算公式。最后介绍了砌体的弹性模量、膨胀系数及摩擦系数等变形及其他基本物理力学性能。

2.1 砌体材料及其强度等级

2.1.1 砖

我国目前用于砌体结构的砖主要有烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土多孔砖和混凝土普通砖六种。烧结砖中过去以烧结黏土砖的应用最为普遍,但由于黏土砖生产要占用农田,影响社会经济的可持续发展,因此在我国广大人口多、耕地少的地区正在限制或取消黏土砖,进行墙体材料改革,积极发展黏土砖的替代产品,利用当地资源或工业废料研制生产新型墙体材料。

烧结砖一般可分为烧结普通砖与烧结多孔砖。烧结普通砖是以黏土、煤矸石、页岩或粉煤灰为主要原料,经过焙烧而成的实心或孔洞率不大于 15%,且外形尺寸符合规定的砖,烧结普通砖按其主要原料种类可分为烧结黏土砖、烧结煤矸石砖、烧结页岩砖及烧结粉煤灰砖等。烧结普通砖的规格尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ [图 2.1(a)]。

烧结多孔砖是以黏土、页岩、煤矸石为主要原料,经焙烧而成的孔洞率不大于 35%,且孔的尺寸小而数量多,主要用于承重部位的砖,简称多孔砖。多孔砖分为 P 型砖与 M 型砖,P 型砖的规格尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 90\text{mm}$ [图 2.1(b)],M 型砖的规格尺寸为 $190\text{mm} \times 190\text{mm} \times 90\text{mm}$ [图 2.1(c)]以及相应的配砖。此外,用黏土、页岩、煤矸石等原料还可经焙烧制成孔洞较大、孔洞率大于 35%的烧结空心砖[图 2.1(d)],用于围护结构。多孔砖与实心砖相比,可减轻结构自重、节省砌筑砂浆、减少砌筑工时,此外黏土用量与耗能亦可相应减少。

近年来,我国中部和东部一些地区为配合禁止或限制使用黏土砖的要求,开发生产出一种混凝土多孔砖或普通砖。这种砖以水泥、砂、石(或工业废渣、建筑垃圾骨料)为主要原料,加水搅拌,挤压成型,经自然养护或蒸气养护后而制成。混凝土多孔砖外形尺寸与 P 型烧结多孔砖相同($240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 90\text{mm}$),孔洞率不大于 35%,可替代黏土砖砌筑承重墙体[图 2.1(e)];混凝土普通砖(实心砖)外形尺寸与烧结普通砖相同,既可用于砌筑墙体,又可用于砌筑基础。

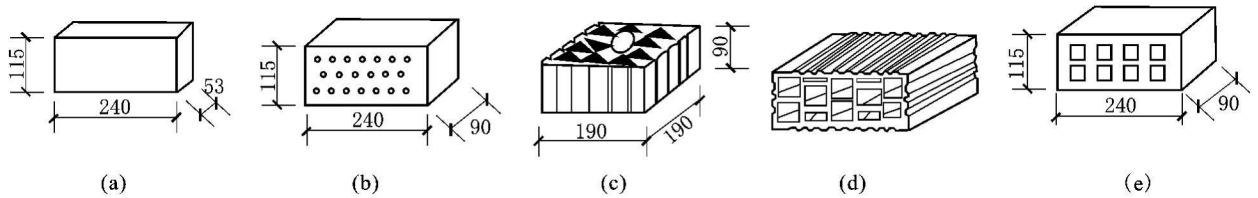


图 2.1 部分地区空心砖的规格

(a) 烧结普通砖;(b)P 型多孔砖;(c) M 型多孔砖;(d) 烧结空心砖;(e)混凝土多孔砖

蒸压灰砂普通砖是以石灰和砂为主要原料,经坯料制备、压制成型、蒸压养护而成的实心砖,简称灰砂砖。蒸压粉煤灰普通砖是以粉煤灰、石灰为主要原料,掺加适量石膏和集料,经坯料制备、压制成型、高压

蒸汽养护而成的实心砖,简称粉煤灰砖。灰砂砖与粉煤灰砖的规格尺寸与烧结普通砖相同。

利用煤矸石、粉煤灰、工业废渣以及建筑垃圾等替代黏土制砖,不仅可以减少环境污染,节约耕地,还能节省大量燃料煤,减少能源消耗。

烧结普通砖和混凝土普通砖的强度等级是根据标准试验方法所得到的砖的极限抗压强度 MPa 值来划分的,蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、烧结多孔砖以及混凝土多孔砖强度等级的划分除考虑抗压强度外,尚应考虑抗折强度与其抗压强度等级之比(折压比)的要求(GB 50574—2010)。

烧结普通砖、烧结多孔砖的强度等级为:MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10;蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖的强度等级为:MU25、MU20 和 MU15;混凝土普通砖、混凝土多孔砖的强度等级为:MU30、MU25、MU20、MU15。

其中 MU 表示砌体中的块体(Masonry Unity),其后的数字表示块体的强度大小,单位为 MPa。
烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土普通砖和混凝土多孔砖的强度等级以及折压比指标分别见表 2.1~表 2.4。

表 2.1 烧结普通砖和烧结多孔砖强度等级指标 (MPa)		
强度等级	抗压强度平均值 $\bar{f}$ 不小于	强度标准值 f_k 不小于
MU30	30.0	22.0
MU25	25.0	18.0
MU20	20.0	14.0
MU15	15.0	10.0
MU10	10.0	6.5

表 2.2 蒸压灰砂普通砖和蒸压粉煤灰普通砖强度等级指标 (MPa)		
强度等级	抗压强度	
	平均值不小于	单块最小值不小于
MU25	25.0	20.0
MU20	20.0	16.0
MU15	15.0	12.0

表 2.3 混凝土普通砖和混凝土多孔砖强度等级指标 (MPa)		
强度等级	抗压强度	
	平均值不小于	单块最小值不小于
MU30	30.0	24.0
MU25	25.0	20.0
MU20	20.0	16.0
MU15	15.0	12.0

表 2.4 承重砖的折压比						
砖种类	高度 (mm)	砖强度等级				
		MU30	MU25	MU20	MU15	MU10
		折压比(不小于)				
蒸压普通砖	53	0.16	0.18	0.20	0.25	—
多孔砖	90	0.21	0.23	0.24	0.27	0.32

注:① 蒸压普通砖包括蒸压灰砂普通砖和蒸压粉煤灰普通砖;

② 多孔砖包括烧结多孔砖和混凝土多孔砖。

2.1.2 砌块

采用较大尺寸的砌块代替小块砖砌筑砌体,可减轻劳动量并可加快施工进度,是墙体材料改革的一个重要方向。砌块一般指混凝土空心砌块、加气混凝土砌块及硅酸盐实心砌块。此外还有用黏土、煤矸石等为原料,经焙烧而制成的烧结空心砌块(图 2.2)。

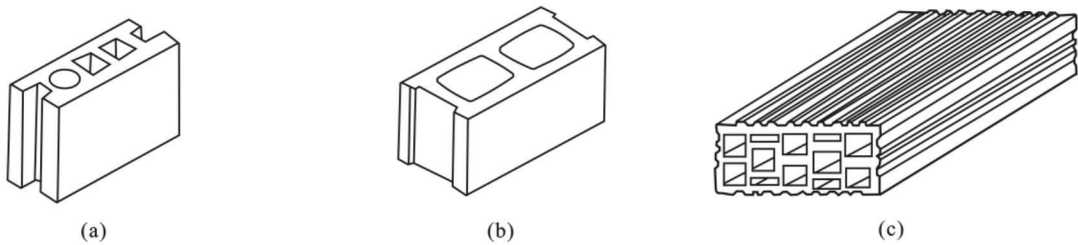


图 2.2 砌块材料

(a) 混凝土中型空心砌块;(b)混凝土小型砌块;(c) 烧结空心砌块

砌块按尺寸大小可分为小型、中型和大型三种,我国通常把砌块高度为 180~390mm 的称为小型砌块,高度为 390~900mm 的称为中型砌块,高度大于 900mm 的称为大型砌块。我国目前在承重墙体材料中使用最为普遍的是混凝土小型空心砌块,它是由普通混凝土或轻集料混凝土制成,主要规格尺寸为 390mm×190mm×190mm,空心率一般在 25%~50%之间,一般简称为混凝土砌块或砌块。

实心砌块的重力密度一般为 15~16kN/m³,以粉煤灰硅酸盐为主,其加工工艺与粉煤灰砖类似。主要规格有长 880mm、580mm,厚 190mm,高 380mm 等;加气混凝土砌块用加气混凝土和泡沫混凝土制成,其重力密度一般为 4~6kN/m³,由于自重轻,并可按使用要求制成各种尺寸,还可在工地进行锯切,因此广泛应用于工业与民用建筑的围护结构。近年来有些地区还研制了承重加气混凝土砌块,并建成了 3~4 层的试点建筑;烧结空心砌块主要用于建造围护墙。

混凝土空心砌块的强度等级是根据标准试验方法,按毛截面面积计算的极限抗压强度 MPa 值来划分的。混凝土小型空心砌块的强度等级为:MU20、MU15、MU10、MU7.5 和 MU5;轻集料混凝土小型空心砌块的强度等级为 MU10、MU7.5 和 MU5;非承重砌块的最低强度等级为 MU3.5。混凝土小型空心砌块的强度等级指标见表 2.5。

表 2.5 混凝土小型空心砌块强度等级指标

强度等级	抗压强度 (MPa)	
	平均值不小于	单块最小值不小于
MU20	20.0	16.0
MU15	15.0	12.0
MU10	10.0	8.0
MU7.5	7.5	6.0
MU5	5.0	4.0
MU3.5	3.5	2.8

对掺有粉煤灰 15%以上的混凝土砌块,在确定其强度等级时,砌块抗压强度应乘以自然碳化系数,当无自然碳化系数时,可取人工碳化系数的 1.15 倍。

2.1.3 石材

天然建筑石材在所有块体材料中应用历史最为悠久,并具有强度高、抗冻及气密性能好等优点,故在有开采和加工条件及能力的地区,可用于砌筑条形基础、承重墙及重要房屋的贴面装饰材料,但用于砌筑炎热及寒冷地区的墙体时,因其保温性能差需要较厚的墙而显得不经济。

天然石材根据其外形和加工程度可分为料石与毛石两种,料石又分为细料石、半细料石、粗料石和毛