



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

砌体结构

施楚贤 主编
施楚贤 刘桂秋 黄靓 编著

(第四版)

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

砌 体 结 构

(第四版)

施楚贤 主编
施楚贤 刘桂秋 黄 靓 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

砌体结构/施楚贤主编. —4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材 高校土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-112-21505-8

I. ①砌… II. ①施… 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 (2017) 第 274722 号

本书为住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材、高校土木工程专业规划教材, 按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》及《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 (2016 年版) 编著, 重点论述现代砌体结构的基本原理和设计方法。全书内容有: 绪论, 砌体力学及物理性能, 砌体结构可靠度设计原理, 无筋砌体结构构件, 砌体结构房屋墙体, 墙梁、挑梁及过梁, 配筋砌体结构, 砌体结构房屋抗震。

本书为土木工程专业本科教材, 也可作为土木工程技术人员参考用书。

为更好地支持本课程教学, 本书作者制作了配套的多媒体教学课件, 有需要的老师可登陆“中国建筑出版在线(www.cabplink.com)”网站, 注册后免费下载使用。

* * *

责任编辑: 吉万旺 王 跃

责任校对: 焦 乐 姜小莲

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

砌 体 结 构

(第四版)

施楚贤 主编

施楚贤 刘桂秋 黄 靓 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 351 千字

2017 年 12 月第四版 2017 年 12 月第二十七次印刷

定价: 32.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21505-8

(31166)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第四版前言

本书在普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材、高等学校土木工程专业规划教材《砌体结构》（第三版）的基础上进行修订。为与时俱进，提升本书的特色与质量，本次修订有如下主要内容。

（1）针对本书第三版出版以来，国家颁布的有关标准、规范及新的研究进展，对书中涉及材料及设计等方面的相关内容，一一作了更新。

（2）随着我国经济实力的增强和砌体材料质量的提高，并基于对工程实践的总结，强调了应用广泛的多层砌体结构房屋应采用刚性方案，删除了对刚弹性方案房屋的论述与计算内容。

（3）在砌体结构基本理论的学习和融会贯通方面，加深了对砌体结构基本理论中相关影响因素的综合分析与应用的论述。

（4）加强了对砌体结构设计中常见实际问题的归纳、补充及解决方法的讨论。

（5）编制了配合本教材教学的多媒体课件，可供参考（由中国建筑工业出版社赠送）。

本书由湖南大学施楚贤（负责绪论、第1、2、6章）、刘桂秋（负责第4、5章）、黄靓（负责第3、7章）编著。全书由施楚贤主编。

本书基本上每五年修订一次，自“十五”以来均被评为各届规划教材，我们对中国建筑工业出版社的鼎力支持和广大读者的厚爱及批评与建议深致谢意！让我们为提高我国高等教育教学质量继续努力。



2017年9月

第三版前言

本书在普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材《砌体结构》(第二版)的基础上,并遵照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(2011年9月颁布)的要求进行编著。按该指导性专业规范在土木工程本科的专业知识体系中对结构基本原理与方法知识领域规定的核心知识单元、知识点和推荐选修的知识单元,经综合分析整合,并结合我们长期的教学实践与经验,本教材由“砌体力学及物理性能”、“砌体结构基本原理与设计方法”和“砌体结构抗震基本原理与设计方法”三大部分有机组成,其设计与计算符合我国新颁布的《砌体结构设计规范》GB 50003—2011和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010的规定。力求本书体系合理、视野宽阔、重点突出、论述准确、内容精炼、图文并茂、实用性强。

《高等学校土木工程本科指导性专业规范》指出:不要求学生同时学习两个课群组的专业课程。为此,删除了本书第二版第8章的内容。第3、7章由于作者的变更,作了重新编写。在此向为本书第一、二版作出贡献的赵均、董宏英同志致以敬意。

《砌体结构》是一门推荐选修的专业课程,本教材适用于16~32学时的教学,便于各校灵活选择教学内容。

本书由湖南大学施楚贤(负责绪论、第1、2、6章)、刘桂秋(负责第4、5章)、黄靓(负责第3、7章)编著。全书由施楚贤主编和修改、定稿。

本书虽先后被评为“十五”、“十一五”和“十二五”规划教材,得到读者厚爱,但由于作者水平有限,敬请各位师生和读者对本书提出批评与指正,在此深致谢意!我们诚愿为提高我国高等教育教学质量而不懈努力。

湖南大学土木工程学院

施楚贤

2012年8月

第二版前言

本书在普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材《砌体结构》（第一版）的基础上，并按照普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材《砌体结构》申请书的立项目标和建设部教材选题通知的要求进行编著，保持了原书体系合理、重点突出、内容精练、实用性强的特点，并作了以下改进。

1. 突出现代砌体材料的性能和应用，加强了对符合我国墙体材料革新和产业政策要求的砌体材料的论述，改变了以黏土实心砖砌体材料为主线的编写方式，并为了解墙体节能增写砌体的热工性能。

2. 融入《砌体结构设计规范》（GB 50003—2001）和《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）施行以来的实践经验和反馈的信息，使本书砌体结构基本原理和设计的论述更为准确、全面。第8章按照新颁布的公路桥涵规范进行编写和修改。

3. 为有利于学生加强创新能力的学习，书中增加了基本知识的信息量；我们尝试从现有砌体结构理论与设计方法中选择一些重要问题，论述对其提高和改进的思考，或点评；修改了书中部分例题，使之更加具有代表性和符合工程实际；各章、节、小节标题后增写相应的英文。

4. 对书中插图作了一次全面的校核、挑选和细节上的修改，插图质量有进一步提高。本书采用了较多的砌体及构件受力性能的试验照片和典型工程图像，这些图片大多系作者自己进行的试验研究和拍摄的，有助于提高读者对砌体结构的学习兴趣和感性认识，亦为本书版面增色。

本书由湖南大学施楚贤、刘桂秋、黄靓和北京工业大学赵均、董宏英编著，具体分工如下：绪论、第1章，施楚贤、黄靓；第2章，施楚贤；第3章，赵均、董宏英、施楚贤；第4、5章，刘桂秋；第6章，施楚贤；第7、8章，赵均、董宏英。全书由施楚贤主编。

本书第一版得到广大读者的厚爱，这次修订中我们特地就读者对原书提出的存在问题进行了认真分析和改正。还望读者继续提出宝贵意见，在此深致谢意！我们诚愿为提高我国高等教育教学质量而不断努力。



2007年10月

第一版前言

“砌体结构”为土木工程专业的一门必修专业课。本书根据我国土木工程专业本科的培养目标和新修订的“砌体结构”课程教学大纲编写，以适应 21 世纪土木工程人才的培育要求。

本书在编著中力求反映砌体结构的新成果和新技术；突出砌体结构的特点及其与建筑材料、建筑力学和其他建筑结构的内在联系，并紧密结合工程实际；努力做到“少而精”，并写有一定数量的计算例题、思考题和习题，以有利于学生创造性的学习，亦便于自学。书内配有较珍贵的试验和工程应用图片，力求版面较为生动、新颖。

鉴于各校在本课程的学时和内容上有所不同，且根据《砌体结构》课程教学大纲，在该课程完成后安排有 2 周混合结构课程设计，建议第 1 章至第 4 章为重点教学内容，其他各章可根据各校的情况适当讲授，或结合课程设计或其他课程进行讲授，或指定学生自学。

本书绪论、第 1、2、6 章由湖南大学施楚贤编著，第 4、5 章由湖南大学刘桂秋编著，第 3、7、8 章由北京工业大学赵均和董宏英编著。全书由施楚贤主编。

因作者水平有限，敬请广大读者对书中错误和欠妥之处提出批评和指正。此外，我们将公路、桥梁中的砌体结构设计原理编入本书是一个尝试，亦有待进一步改进。



2003 年 3 月

目 录

绪论	1
0.1 砌体结构发展简史	1
0.2 砌体结构类型	5
0.3 现代砌体结构的特点及展望	8
思考题与习题	9
第 1 章 砌体力学及物理性能	10
1.1 材料强度等级	10
1.2 砌体的受压性能	16
1.3 砌体的局部受压性能	24
1.4 砌体的受剪性能	26
1.5 砌体的受拉、受弯性能	31
1.6 砌体的变形性能	33
1.7 砌体的热工性能	38
思考题与习题	41
第 2 章 砌体结构可靠度设计原理	42
2.1 砌体结构可靠度设计方法的沿革	42
2.2 我国砌体结构设计的发展	43
2.3 以概率理论为基础的极限状态设计	46
2.4 砌体的强度设计值	49
2.5 砌体结构的耐久性	55
思考题与习题	59
第 3 章 无筋砌体结构构件	60
3.1 受压构件	60
3.2 局部受压	68
3.3 轴心受拉、受弯和受剪构件	74
3.4 计算例题	76
思考题与习题	81
第 4 章 砌体结构房屋墙体	83
4.1 房屋墙柱内力分析方法	83
4.2 墙、柱计算高度及计算截面	88
4.3 房屋墙柱构造要求	89
4.4 刚性方案房屋墙、柱的计算	98
4.5 弹性方案房屋墙、柱的计算	104

4.6	刚性基础计算	105
4.7	计算例题	108
	思考题与习题	124
第5章	墙梁、挑梁及过梁	125
5.1	墙梁	125
5.2	挑梁	137
5.3	过梁	140
5.4	计算例题	143
	思考题与习题	158
第6章	配筋砌体结构	160
6.1	网状配筋砖砌体构件	160
6.2	组合砖砌体构件	163
6.3	配筋混凝土砌块砌体剪力墙	171
6.4	计算例题	181
	思考题与习题	190
第7章	砌体结构房屋抗震	192
7.1	地震作用下砌体结构房屋的震害	192
7.2	结构体系与布置	195
7.3	砌体结构房屋抗震计算	199
7.4	砌体结构房屋抗震构造措施	207
7.5	计算例题	212
	思考题与习题	223
	参考文献	224

绪 论

Introduction

学习提要 在土木工程中砌体和砌体结构是一种主要的建筑材料和承重结构，被广泛使用。应了解砌体结构的发展简史、砌体结构的种类、现代砌体结构的特点及我国对墙体材料革新的要求。

0.1 砌体结构发展简史

Historical Background of Masonry Structures

由砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构，称为砌体结构。它在铁路、公路、桥涵等工程中又称为圬工结构。

石材和砖是两种古老的土木工程材料，因而石结构和砖结构的历史悠久。如我国早在 5000 年前就建造有石砌祭坛和石砌围墙。公元前约 3000 年在埃及吉萨采用块石建成三座大金字塔，工程浩大。公元 72~80 年在罗马采用石结构建成罗马大斗兽场，至今仍供人们参观。我国隋代开皇十五年至大业元年，即公元 595~605 年由李春建造的河北赵县安济桥（赵州桥），是世界上现存最早、跨度最大的空腹式单孔圆弧石拱桥。长城是中华民族的精神象征，人类历史上最宏伟壮丽的建筑奇迹。据记载我国长城始建于公元前 7 世纪春秋时期的楚国，秦代将燕、赵、秦三国的北部长城连为一体，“延袤万余里”。国家文物局 2016 年发布《中国长城保护报告》，我国各时代长城资源分布于北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 15 个省、自治区、直辖市，404 个县（市、区）。各类长城资源遗存总数为 43721 处（座/段），其中墙体 10051 段，壕堑/界壕 1764 段，单体建筑 29510 座，关、堡 2211 座，其他遗存 185 处，墙壕遗存总长 21196.18km。其中，春秋战国长城长度 3080.14km，多以土石或夯土构筑为主；秦汉长城长度 3680.26km，以土筑、砌为主；明长城（图 1）保存比较完整，主线东起辽宁虎山，西至甘肃嘉峪关，长度 8851.8km，东部地区以石砌包砖、黄土包砖或石砌为主，西部地区则多以夯土构筑。人们生产和使用烧结砖也有 3000 年以上的历史。我国在战国时期（公元前 475 年~前 221 年）已能烧制大尺寸空心砖。南北朝以后砖的应用更为普遍。建于公元 523 年（北魏时期）的河南登封嵩岳寺塔（图 2），平面为十二边形，共 15 层，总高 43.5m，为砖砌单筒体结构，是中国最古密檐式砖塔。公元 6 世纪在君士坦丁堡建成的圣索菲亚大教堂，为砖砌大跨结构，具有很高的技术水平。

砌块中以混凝土砌块的应用较早，混凝土砌块于 1882 年问世，因此砌块的生产和应用仅百余年的历史。混凝土小型空心砌块起源于美国，第二次世界大战后混凝土砌块的生产和应用技术传至美洲和欧洲的一些国家，继而又传至亚洲、非洲及大洋洲，成为在世界范围广为应用的墙体材料。

20 世纪上半叶我国砌体结构的发展缓慢，新中国成立以来，砌体结构得到迅速发展，



图1 长城



图2 嵩岳寺塔

取得了显著的成绩。我国砖的年产量曾达到世界其他各国砖年产量的总和，90%以上的墙体均采用砌体材料。我国已从过去用砖石建造低矮的民房，发展到现在建造大量的多层住宅、办公楼等民用建筑和中、小型单层工业厂房、多层轻工业厂房以及影剧院、食堂、仓库等建筑，此外还可用砖石建造各种砖石构筑物，如烟囱、筒仓、拱桥、挡土墙等。20世纪60年代以来，我国小型空心砌块和多孔砖的生产及应用有较大发展，近二十余年砌块与砌块建筑的年递增量均在20%左右。2006年我国房屋建筑用普通混凝土砌块的产量为1000万 m^3 、自承重混凝土砌块（包括轻集料混凝土砌块）为6300万 m^3 、混凝土多孔砖为1300万 m^3 、混凝土实心砖为1000万 m^3 ，混凝土路面砖为2.2亿 m^2 ，混凝土水工、护坡砌块为700万 m^3 。20世纪60年代末我国已提出

墙体材料革新，1989年至今我国墙体材料革新已取得显著成绩。2000年我国新型墙体材料占墙体材料总量的28%，超过“九五”计划20%的目标，新型墙体材料产量达到2100亿块标准砖，共完成新型墙体材料建筑面积3.3亿 m^2 ，完成节能建筑7470万 m^2 ，累计节约耕地4万 hm^2 ，节约燃煤6000万t标准煤，利用工业废渣3.2亿t，减少了二氧化硫和氮氧化物等有害气体排放，并淘汰了一批小型砖瓦企业。截至2010年年底，全国600多个城市已基本实现城市（城区）禁止使用黏土实心砖，其中还有16个省（区、市）的487个县城也得到实现；新型墙体材料产量占墙体材料总量的比重达到55%。20世纪90年代以来，在吸收和消化国外配筋砌体结构成果的基础上，建立了具有我国特点的配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构体系，大大拓宽了砌体结构在高层房屋及其在抗震设防地区的应

用。在辽宁盘锦、上海、黑龙江哈尔滨与大庆、北京、吉林长春以及湖南株洲、长沙等城市先后建成许多幢配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构的高层房屋，如图 3 所示。图 3 (a)

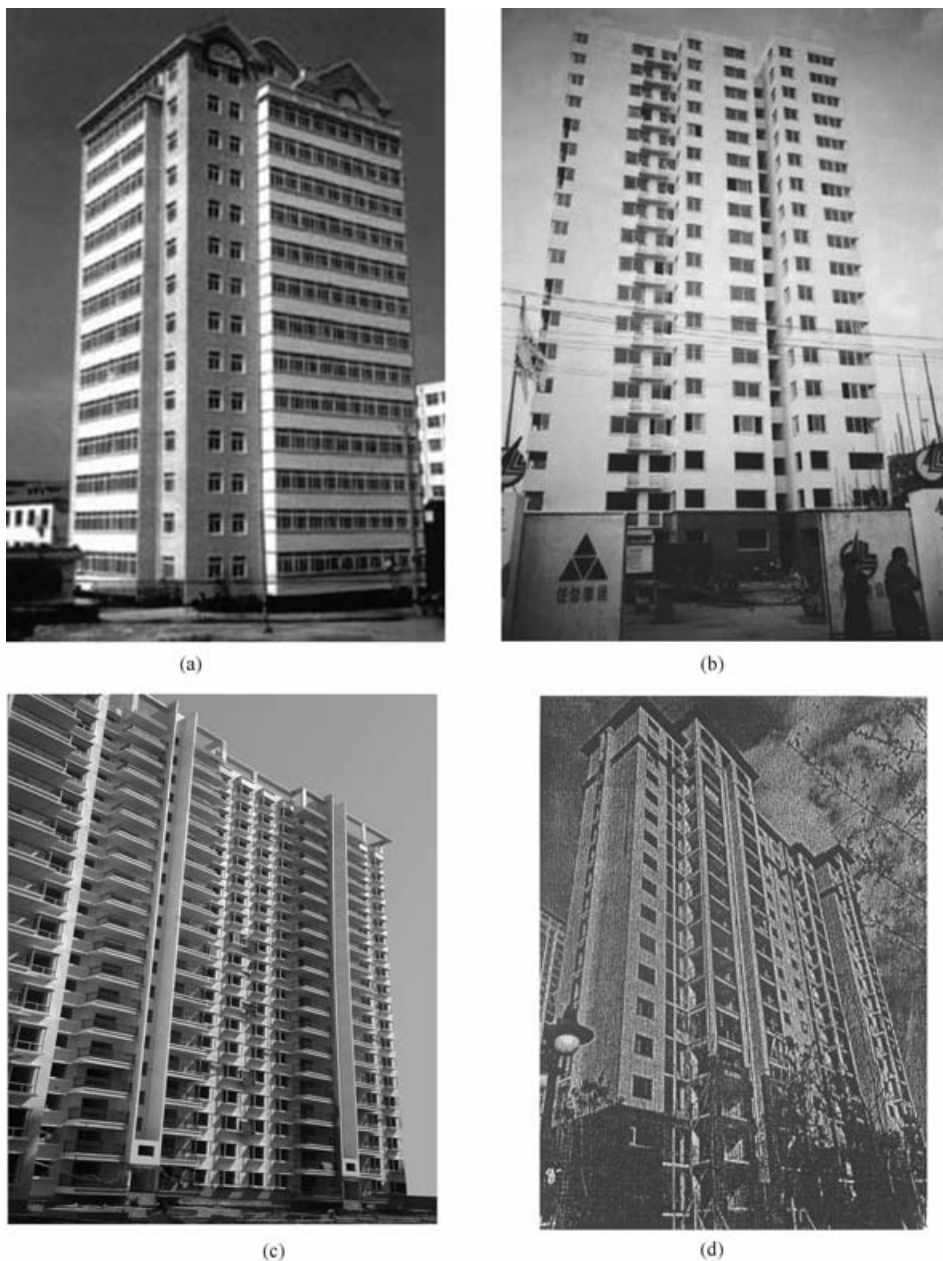


图 3 配筋砌块砌体剪力墙结构高层房屋

为 1997 年建成的辽宁盘锦国税局 15 层住宅，图 3 (b) 为 1998 年建成的上海园南四街坊 18 层住宅，2003 年在哈尔滨建成 18 层（其中 1~5 层为钢筋混凝土框剪结构，6 层为钢筋混凝土剪力墙结构，7~18 层为配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构）阿继科技园。2013 年在哈尔滨，采用 290mm 厚及 190mm 厚配筋混凝土砌块砌体剪力墙建成地下 1 层、地上 28 层的科盛科技大厦办公楼。图 3 (c) 为 2007 年建成的湖南株洲地上 19 层、地下 2 层

国脉家园小区住宅。图 3 (d) 为 2014 年采用自保温配筋砌块墙体建成的湖南长沙望城 18 层商域·自然城(商品房)。配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构以其比现浇钢筋混凝土剪力墙结构造价低、施工速度快、节约钢材和良好的抗震性能等优势,已为中高层住宅开发商和业主青睐。还应指出 20 世纪 60 年代初至今,在有关部门的领导和组织下,在全国范围内对砌体结构作了较为系统的试验研究和理论探讨,总结了一套具有我国特色、比较先进的砌体结构理论、计算方法和应用经验。《砖石结构设计规范》GBJ 3—73 是我国根据自己研究的成果而制定的第一部砌体结构设计规范。《砌体结构设计规范》GBJ 3—88 在采用以概率理论为基础的极限状态设计方法、多层砌体结构中考虑房屋的空间工作以及考虑墙和梁的共同工作设计墙梁等方面已达世界先进水平。《砌体结构设计规范》GB 50003—2001 标志着我国建立了较为完整的砌体结构设计的理论体系和应用体系。这部标准既适用于砌体结构的静力设计又适用于抗震设计,既适用于无筋砌体结构的设计又适用于较多类型的配筋砌体结构设计,既适用于多层砌体结构房屋的设计又适用于高层砌体结构房屋的设计。在此基础上,遵照“增补、简化、完善”的原则,经修订颁布了现行《砌体结构设计规范》GB 50003—2011,反映了我国砌体结构研究的新成果和应用的新经验。



图 4 采用砌体承重墙建于瑞士的高层房屋

苏联是世界上最先较完整地建立砌体结构理论和设计方法的国家。20 世纪 60 年代以来欧美等许多国家加强了对砌体材料的研究和生产,在砌体结构理论、计算方法以及应用上也取得了许多成果,推动了砌体结构的发展。如在意大利全国有 800 多个生产性能好、强度高的砖和砌块的工厂。在瑞士,空心砖的产量占砖总产量的 97%。美国商品砖的抗压强度为 17.2~140MPa,最高可达 230MPa。在国外砌块的发展相当迅速,如在美国、法国和加拿大,砌块的产量已远远超过普通黏土砖的产量。世界上发达国家 20 世纪 60 年代已完成了从黏土实心砖向各种轻板、高效高功能墙材的转变,形成以新型墙体材料为主、传统墙体材料为辅的产品结构,走上现代化、产业化和绿色化的发展道路。在国外还采用砌体作承重墙建造了许多高层房屋,在瑞士这种房屋一般可达 20 层(图 4)。引人注目的是在美国和新西兰等国,采用配筋砌体在震区建造高层房屋,层数达 13~28 层(图 5)。许多国家正在改变长期沿用的按弹性理论的允许应力设计法的传统,积极采用极限状态设计法。从国际建筑研究与文献委员会承重墙工作委员会 GIB·W23 于 1980 年编写的《砌体结构设计和施工的国际建议》CIB58、国际标准化组织砌体结构技术委员会 ISO/TC179 编制的国际砌体结构设计规范以及 2000 年以来美国、英国、欧洲发布的砌体结构标准来看,世界上砌体结构的设计方法正跃进到一个新的水平。

纵观历史,尤其是 20 世纪 60 年代以来,砌体结构在不断发展,成为世界上非常重要的一种建筑结构体系。



图5 采用配筋砌体承重墙建于美国的高层房屋
 (a) Marina Condominiums, Marina, Delaware; (b) Park Lane Tower, Denver, Colorado;
 (c) Excalibur Hotel, Las Vegas, Nevada

0.2 砌体结构类型 Types of Masonry Structures

由块体和砂浆砌筑而成的整体材料称为砌体。根据砌体的受力性能分为无筋砌体结构、约束砌体结构和配筋砌体结构。

0.2.1 无筋砌体结构

Unreinforced Masonry Structures

由无筋或配置非受力钢筋的砌体结构，称为无筋砌体结构，又称为没有足够配筋的砌体结构。常用的无筋砌体结构有砖砌体、砌块砌体和石砌体结构。

1. 砖砌体结构

它是由砖砌体制成的结构，视砖的不同分为烧结普通砖、烧结多孔砖、混凝土砖、混凝土多孔砖和非烧结硅酸盐砖砌体结构。

砖砌体结构的使用面广。根据现阶段我国墙体材料革新的要求，实行限时、限地禁止

使用黏土实心砖。对于烧结黏土多孔砖，应认识到它是墙体材料革新中的一个过渡产品，其生产和使用亦将逐步受到限制。

2. 砌块砌体结构

它是由砌块砌体制成的结构。我国主要采用普通混凝土小型空心砌块砌体和轻骨料混凝土小型空心砌块砌体，是替代黏土实心砖砌体的主要承重砌体材料。当其采用混凝土灌孔后，又称为灌孔混凝土砌块砌体。在我国，混凝土砌块砌体结构有较大的应用空间和发展前途。

3. 石砌体结构

它是由石砌体制成的结构，根据石材的规格和砌体的施工方法的不同分为料石砌体、毛石砌体和毛石混凝土砌体。石砌体结构主要在石材资源丰富的地区采用。

0.2.2 配筋砌体结构

Reinforced Masonry Structures

它是由配置钢筋的砌体作为主要受力构件的结构，即通过配筋使钢筋在受力过程中强度达到流限的砌体结构。预先用张拉钢筋在内部施加压应力的砌体结构，即预应力砌体结构，亦属配筋砌体结构。国内外普遍认为配筋砌体结构构件的竖向和水平方向的配筋率均不应小于 0.07%。如配筋混凝土砌块砌体剪力墙，具有和钢筋混凝土剪力墙类似的受力性能。有的还提出竖向和水平方向配筋率之和不小于 0.2%，可称为全配筋砌体结构。配筋砌体结构具有较高的承载力和延性，改善了无筋砌体结构的受力性能，扩大了砌体结构的应用范围。

0.2.3 约束砌体结构

Confined Masonry Structures

在竖向和水平方向有钢筋混凝土或配筋砌体约束部件的砌体结构，称为约束砌体结构。最为典型的是在我国广为应用的钢筋混凝土构造柱-圈梁形成的砌体结构体系。它在抵抗水平作用时墙体的极限水平位移增大，从而提高墙的延性，使墙体裂而不倒。其受力性能介于无筋砌体结构和配筋砌体结构之间。对于这种结构，如果按照提高墙体的抗压强度或抗剪强度要求设置加密的钢筋混凝土构造柱，则属配筋砌体结构，这是我国对构造柱作用的一种新发展。

0.2.4 我国采用的配筋砌体结构

Reinforced Masonry Structures used in China

在我国得到广泛应用的配筋砌体结构有下列三类。

1. 网状配筋砖砌体构件

在砖砌体的水平灰缝中配置钢筋网片的砌体承重构件，称为网状配筋砖砌体构件，亦称为横向配筋砖砌体构件（图 6a），主要用作承受轴心压力或偏心距较小的受压的墙、柱。

2. 组合砖砌体构件

由砖砌体和钢筋混凝土或钢筋砂浆组成的砌体承重构件，称为组合砖砌体构件。工程上有两种形式，一种是采用钢筋混凝土作面层或钢筋砂浆作面层的组合砌体构件（图 6b），可用作偏心距较大的偏心受压墙、柱。另一种是在墙体的转角、交接处并沿墙长每隔一定的距离设置钢筋混凝土构造柱而形成的组合墙（图 6c），构造柱除约束砌体，还直

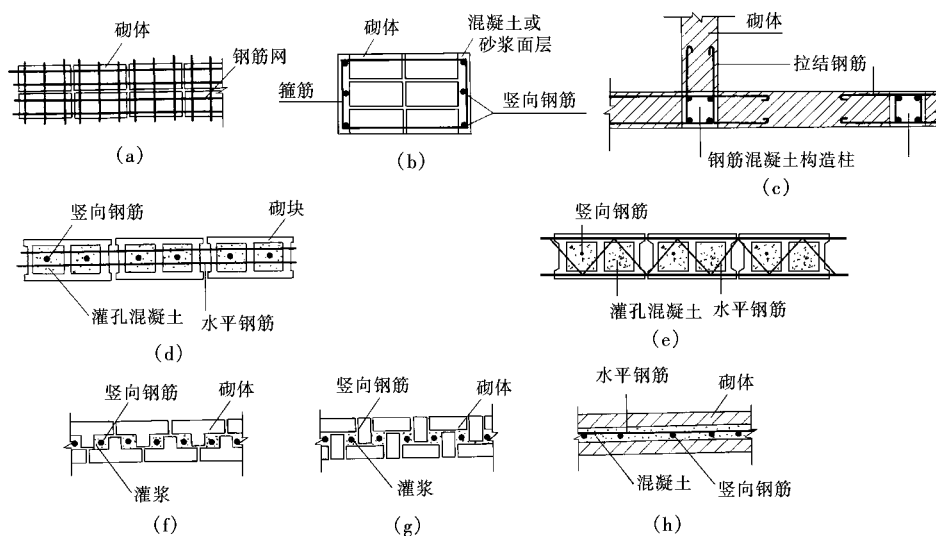


图 6 配筋砌体结构类型

接参与受力，较无筋墙体的受压、受剪承载力有一定程度的提高，可用作一般多层房屋的承重墙。

3. 配筋混凝土砌块砌体构件

在混凝土小型空心砌块砌体的孔洞内设置竖向钢筋和在水平灰缝或砌块内设置水平钢筋并用灌孔混凝土灌实的砌体承重构件，称为配筋混凝土砌块砌体构件（图 6d），对于承受竖向和水平作用的墙体，又称为配筋混凝土砌块砌体剪力墙。其砌体采用专用砂浆——混凝土小型空心砌块砌筑砂浆砌筑，在砌体的水平灰缝（水平钢筋直径较细时）或凹槽砌块内（水平钢筋直径较粗时）设置水平钢筋，在砌体的竖向孔洞内插入竖向钢筋，最后在设置钢筋处采用专用混凝土——混凝土小型空心砌块灌孔混凝土灌实。配筋混凝土砌块砌体剪力墙具有良好的静力和抗震性能，是多层和中高层房屋中一种有竞争力的承重结构。

0.2.5 国外采用的配筋砌体结构

Reinforced Masonry Structures used in foreign Countries

国外的配筋砌体结构类型较多，除用作承重墙和柱外，还在楼面梁、板中得到一定的应用。此外，对预应力砌体结构的研究和应用也取得了许多成绩。用于墙、柱的配筋砌体结构可概括为两类。由于国外空心砖和砌块的种类多、应用较普及，除采用上述配筋混凝土砌块砌体结构（图 6d）外，还可在由块体组砌的空洞内设置竖向钢筋，并灌注混凝土，如图 6（f）、（g）所示。其水平钢筋除采用直钢筋外，还有的在水平灰缝内设置桁架形状的钢筋（如图 6e 所示）。上述图 6（d）～（g）所示的配筋砌体结构可划为一类，它是在块体的孔洞内或由块体组砌成的空洞内配置竖向钢筋并灌注混凝土而形成的配筋砌体结构。另一类是组合墙结构，它由内、外页砌体墙和设在其间的砂浆或混凝土薄墙组合而成，又称为砂浆或混凝土填充夹心墙，后者通过配筋而成的配筋砌体结构（图 6h），用作高层建筑的承重墙。

0.3 现代砌体结构的特点及展望

Features and Prospects of Modern Masonry Structures

砌体材料如黏土、砂和石是天然材料，分布广，容易就地取材，且较水泥、钢材和木材的价格便宜。砌体还具有良好的耐火性和较好的耐久性能，使用期限较长。砌体中特别是砖砌体结构的保温、隔热性能好，节能效果明显。同时，采用砖、石建造的房屋既美观又舒适。此外，砌体结构的施工设备和方法较简单，能较好地连续施工，还可大量节约木材、钢材以及水泥，造价较低。正因为上述优点，国内外不少学者认为“古老的砖结构是在与其他材料相竞争中重新出世的承重墙体结构”，并预计“黏土砖、灰砂砖、混凝土砌块砌体是高层建筑中受压构件的一种有竞争力的材料”。但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，因而结构自重较大。砌体的抗拉、弯、剪的强度又较其抗压强度低，抗震性能差，砌体结构的应用受到限制。此外，砌体基本采用手工方式砌筑，劳动量大，生产率较低。还值得注意的是黏土是制造黏土砖的主要原材料，要增加砖产量，势必过多占用农田，不但严重影响农业生产，对保持生态环境平衡也是很不利。我国是一个土地资源非常紧缺的国家，人均耕地占有量只有 920m^2 ，不及世界人均水平的 40%。我国黏土实心砖的年产量曾高达 7000 亿块，不仅严重毁田，且每年生产能耗 7000 多万吨标煤，与此同时年排放 2 亿多吨煤矸石和粉煤灰，不仅占用大量土地而且严重污染环境。

今后应加强对现代砌体结构的研究和应用。现代砌体结构的特点在于：采用节能、环保、轻质、高强且品种多样的砌体材料；工程上有较广的应用领域，在高层建筑尤其是中高层建筑结构中较之其他结构有较强的竞争力；具有先进、高效的建造技术，为舒适的居住和使用环境提供良好的条件。

为此砌体结构今后首先要努力发展新材料。“十二五”期间，我国进入绿色建筑快速发展阶段，要求全国 30% 以上的城市实现限制使用黏土制品，50% 以上县城实现禁止使用黏土实心砖，全国黏土实心砖产量控制在 3000 亿块标准砖（折合）以下，新型墙体材料产量所占比重大达 65% 以上。全国城镇新建建筑实现节能 50%。到 2020 年我国北方和沿海经济发达地区和特大城市新建建筑实现节能 65%。“十三五”时期是我国工业化、城镇化进程加快的关键期，也是新型墙材提档升级、节能增效的战略机遇期。要深入推进“禁实”和“限黏”，延伸乡镇、农村墙材革新，引导墙材企业进一步节能减排。相信“十三五”期间，我国墙材革新会有跨越式发展。这表明，墙体材料革新不仅是改善建筑功能、提高住房建设质量和施工效率、满足住宅产业现代化的需要，还能达到节约能源、保护土地、有效利用资源、综合治理环境污染的目的，是促进我国经济、社会、环境、资源协调发展的大事，是实施我国可持续发展战略的一项重大举措。要坚持以节能、节地、利废、保护环境和改善建筑功能为发展方针，以提高生产技术水平、加强产品配套和应用为重点，因地制宜发展与建筑体系相适应，符合国家产业政策，能够提升房屋建筑功能，适应住宅产业化要求的优质新型墙体材料。加强对集承重和保温隔热于一体的复合节能墙体的研究和应用。在努力研究和生产轻质、高强的砌块和砖的同时，还应注重对高粘结强度砂浆的研制和开发。

要加强对抗震砌体结构体系以及深化对配筋砌体结构的研究,提高砌体结构的抗震能力,拓展配筋砌体结构应用领域。完善和创新抗震设防地区砌体结构体系以及隔震技术的应用;进一步研究配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构的抗震性能,对框支配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构进行系统研究;加强对配筋混凝土砌块砌体在挡土墙等工程结构中的应用研究。

应加强对砌体结构基本理论的研究。进一步研究砌体结构的受力性能和破坏机理,通过物理或数学模式,建立精确而完整的砌体结构理论,是世界各国所关注的课题。这其中,应关注对薄灰缝砌体、免浆砌体的性能研究。我国的研究有较好的基础,继续加强这方面的工作十分有利,对促进砌体结构的发展有着深远意义。这其中包括深入、系统的进行砌体结构可靠性鉴定与加固理论的研究。目前我国城乡既有建筑面积达 430 亿 m^2 ,其中砌体结构房屋所占比例大,使用年限长,有的已产生不同程度的损伤,建立科学、适用的砌体结构可靠性鉴定与加固理论体系,有重要指导意义。对于耗能高及未达节能要求的砌体结构,在进行可靠性鉴定、加固与改造中尚应与建筑节能的改造相结合。建立既有建筑节能改造评估体系,研发、推广针对不同地区、不同结构、不同构造既有建筑的节能改造技术的任务也十分迫切。

还应提高砌体施工技术的工业化水平。国外在砌体结构的预制、装配化方面做了许多工作,积累了不少经验,我国在这方面有较大差距。发达国家预制板材产量已占墙体材料总量的 40%,而我国目前板材产量只占墙体材料总量的 8%。我国对预应力砌体结构的研究相当薄弱,大型预制墙板和振动砖墙板的应用也极少。建筑工业化有助于实现建筑全寿命周期成本最小化、效益最大化,也有利于推动住房和城乡建设领域技术进步和产业转型升级。为此,有必要在我国较大范围内改变砌体结构传统的建造方式。研究和提高砌体结构的标准化、部品部件生产工业化、施工安装装配化的水平,有十分重要的意义。

我国幅员辽阔,砌体材料资源分布较广,在社会主义初级阶段,以及今后一个相当长的时期内,无疑在许多建筑乃至其他土木工程中砌体和砌体结构仍然是一种主要的材料和承重结构体系。

思考题与习题

Questions and Exercises

- 0-1 在你的家乡有何遗存的较早年代的砖、石结构?特点如何?
- 0-2 请结合第 3 章的学习,简述我国《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 的特点。
- 0-3 你对砌体结构的分类有何见解?
- 0-4 现代砌体结构的特点有哪些?
- 0-5 “十三五”期间我国墙体材料革新的主要目标是什么?
- 0-6 你对砌体结构今后的发展有哪些思考?

第 1 章 砌体力学及物理性能

Mechanical and Physical Properties of Masonry

学习提要 本章论述砌体的强度、变形性能及有关的物理性能。应熟悉砌体材料的种类；掌握影响砌体抗压、抗剪强度的主要因素及其强度的确定方法；了解砌体受拉和受弯的破坏特征及其强度的确定方法；在了解砌体受压应力-应变关系及砌体的温度和干缩变形的基础上，熟悉砌体的弹性模量、泊松比和剪变模量等变形性能；对砌体的热工性能有基本了解。

1.1 材料强度等级

Strength Grades of Materials

砌体是由块体和砂浆砌筑而成的整体材料。块体和砂浆的强度等级是根据其抗压强度而划分的级别，是确定砌体在各种受力状态下强度的基础数据。块体强度等级以符号“MU”（Masonry Unit）表示，砂浆强度等级以符号“M”（Mortar）表示。对于混凝土砖、混凝土砌块砌体，砌筑砂浆的强度等级以符号“Mb”（brick, block）表示，其灌孔混凝土的强度等级以符号“Cb”表示。对于蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖砌体，砌筑砂浆的强度等级以符号“Ms”（silicate）表示。上述强度等级的数值，均以“MPa”计。

1.1.1 砖

Brick

它包括烧结普通砖、烧结多孔砖、混凝土普通砖和多孔砖及非烧结硅酸盐砖，通常可简称为砖。在我国，无孔洞或孔洞率小于 25% 的砖，又称为实心砖；孔洞率等于或大于 25%、孔的尺寸小而数量多的砖，称为多孔砖。

1. 烧结普通砖

按《烧结普通砖》GB 5101—2003，以黏土、页岩、煤矸石、粉煤灰为主要原料经焙烧而成的普通砖，称为烧结普通砖。它根据抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10 五个强度等级，详见表 1-1 的规定。砖的外形尺寸为 240mm×115mm×53mm。

烧结普通砖、烧结多孔砖强度等级（MPa）

表 1-1

强度等级	抗压强度平均值 $f_m \geq$	变异系数 $\delta \leq 0.21$	变异系数 $\delta > 0.21$
		抗压强度标准值 $f_k \geq$	单块最小抗压强度值 $f_{\min} \geq$
MU30	30.0	22.0	25.0
MU25	25.0	18.0	22.0
MU20	20.0	14.0	16.0
MU15	15.0	10.0	12.0
MU10	10.0	6.5	7.5

2. 烧结多孔砖

按《烧结多孔砖和多孔砌块》GB 13544—2011，以黏土、页岩、煤矸石、粉煤灰为主要原料，经焙烧而成主要用于承重部位的多孔砖，称为烧结多孔砖。这种砖的特点在于孔洞率应等于或大于 25%，孔的尺寸小而数量多，且孔型、孔的大小和排列有规定，为提高产品等级宜采用矩形条孔或矩形孔的多孔砖（图 1-1a）。砖的外形尺寸应符合 290，240，190，180，140，115，90（mm）的要求。主要尺寸有 290mm×140mm×90mm，240mm×115mm×90mm 和 190mm×140mm×90mm。它根据抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10 五个强度等级，应符合表 1-1 中 f_m 和 f_k 的规定及表 1-2 的规定。此外，在我国，以黏土、页岩、煤矸石、粉煤灰为主要原料，经焙烧而成，孔洞率等于或大于 40%，且主要用于非承重部位的砖或砌块，分别称为烧结空心砖、烧结空心砌块（《烧结空心砖和空心砌块》GB/T 13545—2014）。

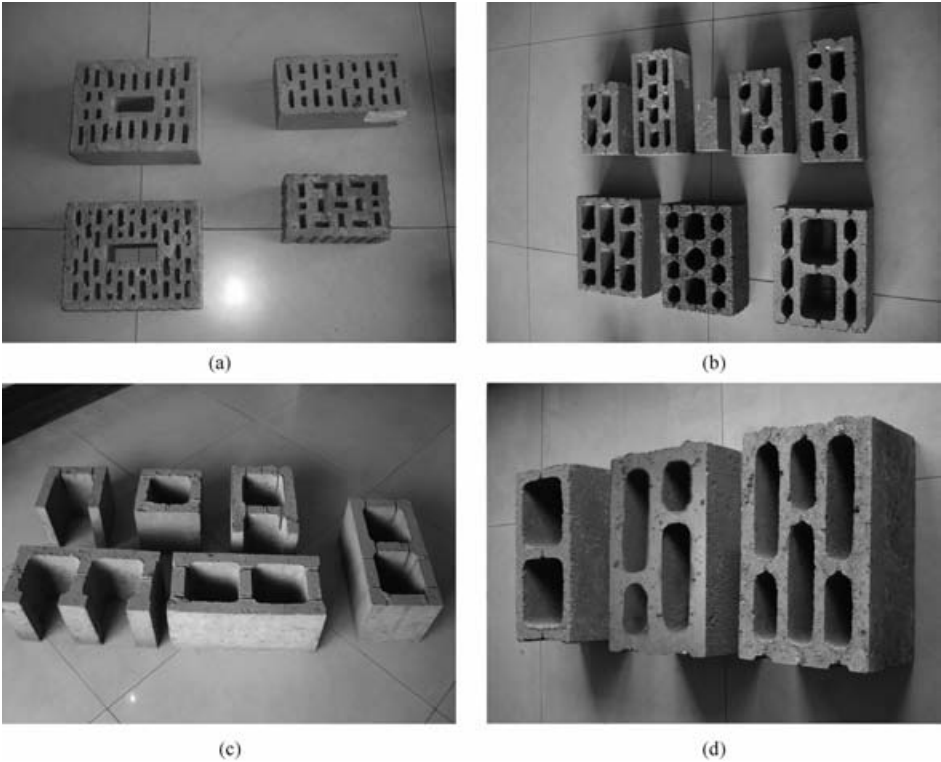


图 1-1 块体形式

(a) 烧结多孔砖；(b) 混凝土多孔砖；
(c) 普通混凝土小型空心砌块；(d) 轻集料混凝土小型空心砌块

承重砖的折压比

表 1-2

砖 种 类	砖高度 (mm)	砖强度等级				
		MU30	MU25	MU20	MU15	MU10
		最小折压比				
蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖	53	0.16	0.18	0.20	0.25	—
烧结多孔砖 混凝土多孔砖	90	0.21	0.23	0.24	0.27	0.32

3. 混凝土普通砖、混凝土多孔砖

近几年来，混凝土砖，尤其是混凝土多孔砖在我国得到迅速推广应用。

(1) 混凝土普通砖

按《混凝土实心砖》GB/T 21144—2007，以水泥、骨料，以及根据需要加入的掺合料、外加剂等，经加水搅拌、成型、养护制成的实心砖，称为混凝土实心砖。其主规格尺寸为 240mm×115mm×53mm，又称混凝土普通砖。强度等级有 MU30、MU25、MU20 和 MU15，应符合表 1-3 的要求。

混凝土普通砖强度等级 (MPa) 表 1-3

强度等级	抗压强度	
	平均值, $f_m \geq$	单块最小值, $f_{min} \geq$
MU30	30.0	26.0
MU25	25.0	21.0
MU20	20.0	16.0
MU15	15.0	12.0

(2) 混凝土多孔砖

按《承重混凝土多孔砖》GB 25779—2010，以水泥、砂、石为主要原材料，经配料、搅拌、成型、养护制成，用于承重的多排孔混凝土砖，称为混凝土多孔砖（图 1-1b）。其孔洞率应等于或大于 30%。砖的主规格尺寸为 240mm×115mm×90mm、190mm×190mm×90mm，其他规格尺寸的长度、宽度、高度应符合 360、290、240，190，140；240，190，115，90；115，90（mm）的要求，砖的铺浆面宜为盲孔或半盲孔。强度等级有 MU25、MU20 和 MU15。应符合表 1-2、表 1-4、表 1-5 的要求。

混凝土多孔砖强度等级 (MPa) 表 1-4

强度等级	抗压强度	
	平均值, $f_m \geq$	单块最小值, $f_{min} \geq$
MU25	25.0	20.0
MU20	20.0	16.0
MU15	15.0	12.0

非烧结块材的孔洞率、壁及肋厚度要求 表 1-5

块材类型及用途		孔洞率 (%)	最小外壁 (mm)	最小肋厚 (mm)	其他要求
多孔砖	承重	$\leq 35\%$	15	15	孔的长度与宽度比应小于 2
	自承重	—	10	10	—
砌块	承重	$\leq 47\%$	30	25	孔的圆角半径不应小于 20mm
	自承重	—	15	15	—

注：1. 用于承重的混凝土多孔砖的孔洞应垂直于铺浆面；当孔的长度与宽度比大于 2 时，外壁的厚度不应小于 18mm；当孔的长度与宽度比小于 2 时，壁的厚度不应小于 15mm；
2. 用于承重的多孔砖和砌块，其长度方向中部不得设孔，中肋厚度不宜小于 20mm。

4. 蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖

蒸压砖是一种硅酸盐制品，常用的含硅原料主要是天然砂子及工业废料粉煤灰、煤矸石、炉渣等。生产和推广应用这类砖，可大量利用工业废料，减少环境污染。蒸压灰砂砖

和蒸压粉煤灰砖的砖型和规格与烧结砖的相同，可制成普通砖与多孔砖。蒸压普通砖的强度等级有 MU25、MU20 和 MU15，且应符合表 1-2 的要求。确定蒸压粉煤灰砖的强度等级时，应考虑碳化影响，碳化系数不应小于 0.85。

5. 块材的折压比及孔洞

块材的抗折强度与抗压强度比（折压比），及块材的孔洞布置、孔洞率（大于 25% 时），对砌体的受力性能与使用功能有重要影响。

对于烧结普通砖，其抗折强度与抗压强度有一定的对应关系，相应的抗压强度下其抗折强度能满足受力要求。但对于蒸压砖，受原材料、成型设备及生产工艺的影响，其抗折强度与抗压强度的对应关系有较大差异，折压比往往较低，砌体受力后，致使结构过早开裂，并易产生脆性破坏。

块材孔洞布置不合理或壁、肋厚度过小，砌体强度降低，亦导致结构过早开裂。

上述裂缝严重的导致重大工程事故，有的虽不危及结构安全，但将直接影响结构的正常使用与耐久性。为此，我国首次颁布的《墙体材料应用统一技术规范》GB 50574—2010，提出了表 1-2 和表 1-5 的要求。

1.1.2 砌块

Concrete Block

承重用的砌块主要是普通混凝土小型空心砌块和轻集料（骨料）混凝土小型空心砌块。

1. 普通混凝土小型空心砌块

按《普通混凝土小型砌块》GB/T 8239—2014，以水泥、矿物掺合料、砂、石、水等为原材料，经搅拌，振动成型、养护等工艺制成的小型砌块，包括空心砌块和实心砌块。常用块型长度 390mm，宽度 90、120、140、190、240、290mm，高度 90、140、190mm。空心率不小于 25% 的称为空心砌块（图 1-1c），空心率小于 25% 的称为实心砌块，有用于承重和非承重的。其中承重普通混凝土小型空心砌块的强度等级有 MU25、MU20、MU15、MU10 和 MU7.5，应符合表 1-5 和表 1-6 的要求。

承重普通混凝土小型空心砌块强度等级（MPa）表 1-6

强度等级	砌块抗压强度	
	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
MU10	10.0	8.0
MU7.5	7.5	6.0

2. 轻集料混凝土小型空心砌块

按《轻集料混凝土小型空心砌块》GB/T 15229—2011，它是用轻集料混凝土制成的小型空心砌块。轻集料混凝土小型空心砌块的主规格尺寸亦为 390mm×190mm×190mm；按孔的排数有单排孔、双排孔、三排孔和四排孔等四类，如图 1-1（d）所示。砌块强度等级有 MU10、MU7.5、MU5、MU3.5 和 MU2.5，应符合表 1-5 和表 1-7 的规定。应注意，同一强度等级的抗压强度和密度等级范围应同时满足表 1-7 的规定。

轻集料混凝土小型空心砌块强度等级 (MPa)

表 1-7

强度等级	砌块抗压强度		密度等级范围 (kg/m ³)
	平均值	最小值	
MU10	≥ 10.0	8.0	$\leq 1200^*$ $\leq 1400^{**}$
MU7.5	≥ 7.5	6.0	$\leq 1200^*$ $\leq 1300^{**}$
MU5	≥ 5.0	4.0	≤ 1200
MU3.5	≥ 3.5	2.8	≤ 1000
MU2.5	≥ 2.5	2.0	≤ 800

注：当砌块的抗压强度同时满足 2 个强度等级或 2 个以上强度等级要求时，应以满足要求的最高强度等级为准。

* 除自燃煤矸石掺量不小于砌块质量 35% 以外的其他砌块。

** 自燃煤矸石掺量不小于砌块质量 35% 的砌块。

1.1.3 石材

Stone

用作承重砌体的石材主要来源于重质岩石和轻质岩石。重质岩石的抗压强度高，耐久性好，但导热系数大。轻质岩石的抗压强度低，耐久性差，但易开采和加工，导热系数小。石砌体中的石材，应选用无明显风化的石材。在产石地区充分利用这一天然资源比较经济。

石材按其加工后的外形规则程度，分为料石和毛石。料石中又分有细料石、粗料石和毛料石。毛石的形状不规则，但要求毛石的中部厚度不小于 200mm。

如上所述，石材的大小和规格不一，石材的强度等级通常用 3 个边长为 70mm 的立方体试块进行抗压试验，按其破坏强度的平均值而确定。石材的强度划分为 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30 和 MU20 七个等级。试件也可采用表 1-8 所列边长尺寸的立方体，但考虑尺寸效应的影响，应将破坏强度的平均值乘以表内相应的换算系数，以此确定石材的强度等级。

石材强度等级的换算系数

表 1-8

立方体边长 (mm)	200	150	100	70	50
换算系数	1.43	1.28	1.14	1	0.86

1.1.4 砂浆

Mortar

砂浆是由胶结料、细集料、掺合料加水搅拌而成的混合材料，在砌体中起粘结、衬垫和传递应力的作用。砌体中常用的砂浆有水泥混合砂浆和水泥砂浆，其稠度、分层度和强度均需达到规定的要求。砂浆稠度是评判砂浆施工时和易性（流动性）的主要指标，砂浆的分层度是评判砂浆施工时保水性的主要指标。为改善砂浆的和易性可加入石灰膏、电石膏、粉煤灰及黏土膏等无机材料的掺合料。为提高或改善砂浆的力学性能或物理性能，还可掺入外加剂。国外在砂浆中掺入聚合物（如聚氯乙烯乳胶）获得良好效果，如美国 DOW 化学公司研制的掺合料“Sarabond”，可使砂浆的抗压强度和粘结强度提高 3 倍以上。砂浆中掺入外加剂是一个发展方向，但为了确保砌体的质量，使用外加剂应具有法定检测机构出具的该产品的砌体强度形式检测报告，并经砂浆性能试验合格后方可采用。

责任编辑：吉万旺 王跃

封面设计：兆远书装



建工出版社微信



经销单位：各地新华书店、建筑书店

网络销售：本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

中国建筑出版在线 <http://www.cabplink.com>

中国建筑书店 <http://www.china-building.com.cn>

本社淘宝天猫商城 <http://zgjzgycbs.tmall.com>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类：高校教材(V)

ISBN 978-7-112-21505-8



9 787112 215058 >

(31166) 定价：32.00元
(赠课件)