



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪建筑工程系列规划教材

第2版

建筑结构 (下册)

—— 砌体结构、钢结构、建筑抗震部分

宋群 宗兰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪建筑工程系列规划教材

建 筑 结 构

下 册

第 2 版

(砌体结构、钢结构、建筑抗震部分)

主 编 宋 群 宗 兰
副主编 谷传德 王 娜
参 编 邢 英 赵金龙 王国安
主 审 窦立君



机 械 工 业 出 版 社

本书参照高职高专和应用型本科教育土建类专业建筑结构的基本要求,打破了原混凝土结构、砌体结构、钢结构、多层高层建筑结构、建筑抗震设计的界限,对其内容进行了精选和整合,按照贯通型建筑结构的体系来编写。

全书分上下两册,下册为砌体结构、钢结构和建筑结构抗震部分。本书的内容在组织上按必需、够用的原则,取材注意反映基本概念、基本原理和基本方法,删去了一些繁琐的理论推导,尽可能做到理论与工程实际相联系,力求反映职业教育的特点。

本书是按照我国建筑结构相关最新规范编写的,适用于土建类高职高专和应用型本科,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构. 下册/宋群, 宗兰主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2008. 1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21世纪建筑工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-13509-8

I. 建… II. ①宋…②宗… III. 建筑结构—高等学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第182619号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 李俊玲 季顺利 责任编辑: 李 莉 责任校对: 陈延翔

封面设计: 王伟光 责任印制: 李 妍

三河市汇鑫印务有限公司印刷

2008年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·1插页·524千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-13509-8

定价: 31.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379540

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《建筑结构》是教育部认定的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

《建筑结构》下册作为21世纪建筑工程系列规划教材之一，是根据高等职业教育建筑类专业教学工作委员会确定的建筑工程技术专业教学计划和《建筑结构》教学大纲以及相关现行规范编写而成。其主要内容包括砌体结构、钢结构和建筑结构抗震三部分。本书第2版是在第1版的基础上修订而成，增加了门式刚架轻型房屋钢结构的内容，并对建筑结构抗震部分的内容作了删减。

本书立足于建筑工程技术专业对建筑结构课程的基本要求，注意反映基本概念、基本原理和基本方法，注重适应高等职业教育的特点，同时考虑到社会的进步和科技的发展。本书在编写过程中力求体现应用型人才培养目标的要求。对教材内容的取舍和组织注意突出应用性和岗位针对性的特点，使学生掌握构件及连接的受力特点、计算方法和基本构造要求，对理论性较强的问题，按照强化概念、突出应用的原则，淡化推导过程，做到深入浅出，便于学生理解和接受。

本书由宋群、宗兰任主编，谷传德、王娜任副主编。具体参加编写工作的人员有：山西大同大学工学院宋群（第十九章、第二十章、第二十一章、附录）；内蒙古建筑职业技术学院谷传德（第二十二章、第二十四章、第二十五章）；石家庄职业技术学院王娜（第十七章、第十八章）；山西大同大学工学院邢英（第十四章）；内蒙古建筑职业技术学院赵金龙（第十五章、第十六章）；华北科技学院王国安（第二十三章）。《建筑结构》下册由宋群负责统稿定稿工作。

本书经长春工程学院窦立君教授详细审阅，并提出许多宝贵的意见，谨此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到山西大同大学出版基金的资助。

限于编者编写水平，书中错误和不妥之处恳请读者指正。

编 者

第1版前言

《建筑结构》下册为高职高专建筑工程技术专业系列规划教材之一，是根据高等职业教育建筑类专业教学工作委员会确定的建筑工程技术专业教学计划和《建筑结构》教学大纲，以及有关建筑结构设计新规范编写而成。其主要内容包括砌体结构、钢结构和建筑结构抗震三部分。

本书立足于建筑工程技术专业对建筑结构课程的基本要求，注意反映基本概念、基本原理和基本方法，注重适应高等职业教育的特点，同时考虑到社会的进步和科技的发展。本书在编写过程中力求体现应用型人才培养目标的要求。对教材内容的取舍和组织注意突出应用性和岗位针对性的特点，使学生掌握构件及连接的受力特点、计算方法和基本构造要求，对理论性较强的问题，按照强化概念、突出应用的原则，淡化推导过程，做到深入浅出，便于学生理解和接受。

本书由宋群、宗兰主编，谷传德、王娜为副主编。具体参加下册编写工作的人员有：山西工业职业技术学院宋群(第十九章、第二十章、附录)，内蒙古建筑职业技术学院谷传德(第二十一章、第二十二章、第二十四章、第二十五章)，石家庄职业技术学院王娜(第十七章、第十八章)，山西工业职业技术学院郭兴明(第十四章)，内蒙古建筑职业技术学院赵金龙(第十五章、第十六章)，华北科技学院王国安(第二十三章)。下册由宋群负责统稿定稿工作。

本书由长春工程学院窦立君教授详细审阅，并提出了许多宝贵的意见，谨此表示衷心感谢。

限于编者水平，书中错误和不妥之处恳请读者指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第十四章 砌体结构 1

第一节 砌体材料及砌体的力学性能 1

第二节 砌体结构构件的承载力计算 14

第三节 混合结构房屋墙体设计 29

第四节 过梁、圈梁及墙体的构造
措施 48

本章小结 54

思考题 55

习题 55

第十五章 钢结构的材料和计算方法 ... 57

第一节 钢材的力学性能 57

第二节 钢材的选用及规格 64

第三节 钢结构的计算及设计指标 67

本章小结 70

思考题 71

第十六章 钢结构的连接 72

第一节 钢结构的连接方法 72

第二节 焊接方法、焊缝形式和
质量级别 73

第三节 焊缝连接 77

第四节 螺栓连接 91

本章小结 102

思考题 102

习题 102

第十七章 轴心受力构件 105

第一节 概述 105

第二节 轴心受力构件的强度、刚度
和稳定性 106

第三节 实腹式轴心受压柱 116

第四节 格构式轴心受压柱 120

第五节 柱头和柱脚 124

本章小结 129

思考题 129

习题 130

第十八章 受弯构件 131

第一节 概述 131

第二节 梁的强度、刚度和整体稳定 ... 132

第三节 型钢梁设计 142

第四节 组合梁设计 144

第五节 梁的局部稳定 149

第六节 梁的拼接和主、次梁连接 154

本章小结 156

思考题 156

习题 156

第十九章 拉弯构件和压弯构件 158

第一节 概述 158

第二节 拉弯构件和压弯构件的
强度和刚度 159

第三节 压弯构件的稳定性 160

本章小结 165

思考题 165

习题 165

第二十章 门式刚架轻型房屋钢结构 ... 166

第一节 门式刚架轻型房屋钢结构的
特点与应用 166

第二节 门式刚架轻型房屋钢结构的
结构形式与布置 167

第三节 门式刚架轻型房屋钢结构的
计算特点 169

第四节 门式刚架轻型房屋钢结构的
节点构造 170

本章小结 173

思考题 173

第二十一章 钢屋盖 174

第一节 钢屋盖结构的组成 174

第二节 普通钢屋架的杆件设计 181

第三节 普通钢屋架的节点设计 187

第四节 钢屋架施工图 194

第五节 钢屋架设计实例 195

第六节 轻型钢屋架 207

第七节 网架结构 213

本章小结 217



思考题	217	第一节 震害及其分析	257
第二十二章 建筑结构抗震概述	218	第二节 结构布置的基本原则	258
第一节 基本概念	218	第三节 多层砌体结构房屋的	
第二节 地震震害	223	抗震验算	261
第三节 建筑物抗震设防	226	第四节 多层砌体结构房屋的抗震	
第四节 场地、地基与基础	228	构造措施	277
第五节 建筑抗震设计的基本要求	234	第五节 底层框架—抗震墙及多层内框	
本章小结	235	架房屋抗震构造措施	284
思考题	236	本章小结	287
第二十三章 结构地震反应分析与		思考题	287
抗震验算	237	习题	287
第一节 概述	237	第二十五章 多层框架结构抗震	
第二节 单质点弹性体系的地震		设计一般要求	289
反应分析	237	第一节 抗震设计的一般规定	289
第三节 单质点弹性体系水平		第二节 抗震构造措施	293
地震作用计算	240	本章小结	297
第四节 多质点弹性体系水平		思考题	297
地震作用计算	245	附录	298
第五节 竖向地震作用	250	附录 A 影响系数 φ	298
第六节 结构抗震验算	251	附录 B 轴心受压构件稳定系数	300
本章小结	254	附录 C 各种截面回转半径的近似值	303
思考题	255	附录 D 型钢规格	305
习题	255	附录 E 我国主要城市和地区的抗震	
第二十四章 多层砌体结构房屋的		设防烈度与地震分组	323
抗震设计	257	参考文献	324

第十四章 砌体结构

学习目标: 了解砌体材料及砌体的力学性能; 掌握砌体结构的受压、受拉、受弯和受剪构件的计算方法; 掌握砌体结构房屋墙体的设计步骤和计算方法, 熟悉圈梁及墙体的构造要求。

砌体结构是由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱, 作为建筑物主要受力构件的结构。根据组成砌体结构的块体不同, 砌体结构可分为砖砌体、石砌体、砌块砌体等。其受力特点是抗压能力较强而抗拉、抗弯、抗剪能力较差。因此, 砌体结构常用作轴心和偏心受压构件, 只在个别情况下才作为受弯、受剪和受拉构件。

第一节 砌体材料及砌体的力学性能

构成砌体结构的材料包括块体(砖、石、砌块)与砂浆。各类砌体材料抗压强度设计值是以龄期为 28d 的毛截面, 按施工质量等级为 B 级时标准试验方法所得到的材料抗压极限强度的平均值来表示的。块体强度等级的符号为 MU, 砂浆强度等级符号为 M, 单位均为 MPa。

一、块体材料和砂浆

(一) 块体材料

1. 砖类材料

(1) 烧结普通砖 烧结普通砖是指以粘土、页岩、煤矸石或粉煤灰为主要原料, 经过焙烧而成的实心或孔洞率 δ 不大于 15% 且外形尺寸符合规定的砖, 可分为烧结粘土砖、烧结页岩砖、烧结煤矸石砖和烧结粉煤灰砖等。目前我国生产的烧结普通砖的统一尺寸规格为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ 。由于烧结普通砖取材容易, 生产工艺简单, 便于手工砌筑, 保温、隔热及耐久性、耐火性良好, 强度能满足一般要求, 因此, 烧结普通砖既可作为房屋的承重材料和围护材料, 又可用于砌筑房屋条形基础、地下室墙及挡土墙、管沟、储液池和受高温作用的构筑物(如烟囱)等。但因实心粘土砖自重大、粘土用量及能量消耗多, 已在逐步淘汰。

(2) 烧结多孔砖 烧结多孔砖是指以粘土、页岩、煤矸石或粉煤灰为主要原料, 经焙烧而成的孔洞率 δ 不小于 25% 的砖。其孔的尺寸小而数量多, 主要用于承重部位。目前多孔砖分为 P 型砖和 M 型砖。我国烧结多孔砖的规格尺寸为 $190\text{mm} \times 190\text{mm} \times 90\text{mm}$ (代号为 M) 和 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 90\text{mm}$ (代号为 P), 图 14-1 所示是南京新型材料总厂按《烧结多孔砖》(GB 13544—2000) 生产的几种不同规格、不同孔洞率的多孔砖。

承重烧结多孔砖自重轻, 保温隔热性能好, 并且厚度较烧结普通砖大, 因此抗弯、抗剪强度高, 砌筑时可节省砂浆, 减少砌筑工作量, 加快施工速度, 降低工程造价。

用于承重的烧结多孔砖, 孔洞竖向布置, 为避免砖强度降低过多, 孔洞率不宜超过

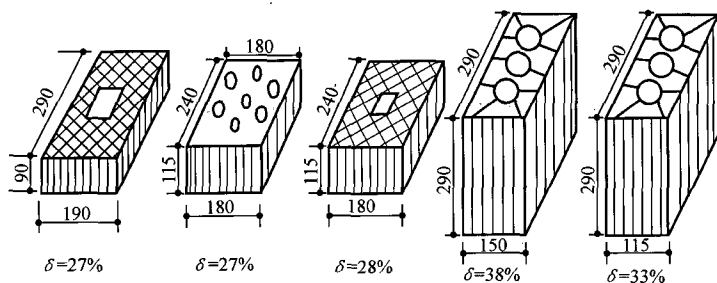


图 14-1 烧结多孔砖

40%；用于骨架填充墙及隔墙时，孔洞水平布置，以利砂浆铺砌，孔洞率可采用 40% ~ 60% 或更大。

以上两类烧结砖，《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)规定采用的强度等级有 MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10 五级。

(3) 非烧结硅酸盐砖 非烧结硅酸盐砖是硅酸盐材料压制成型，在蒸压釜中于蒸气压力下养护而成的实心砖，主要有粉煤灰砖、矿渣硅酸盐砖、灰砂砖及煤矸石砖等。其强度等级分 MU25、MU20、MU15 和 MU10 四级，其规格尺寸与标准砖相同。近年来的工程实践经验表明，硅酸盐类砖可以与烧结砖一样用于房屋墙体和处于潮湿环境下的墙体和基础。根据建材指标，蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖不得用于长期受热 200℃ 以上、受急冷急热和有酸性物质侵蚀的建筑部位。

2. 石材

在砌体结构中，常用的天然石材有花岗岩、砂岩和石灰岩等。天然石材具有抗压强度高及抗冻性强的优点，多用于房屋的基础和勒脚。天然石材常用于砌筑墙体和挡土墙，但由于石材的导热性较高，保温隔热性较差，故不适宜作寒冷地区房屋的墙体材料。

石材按其外形和加工程度的不同，可分为料石(细料石、半细料石、粗料石、毛料石)和毛石两种。石材共分为 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30 和 MU20 七个强度等级，是根据边长为 70mm 的立方体试块的抗压强度来划分的。试件也可采用表 14-1 所列边长尺寸的立方体，但应对其试验结果乘以相应的换算系数后方可作为石材的强度等级。

3. 砌块

砖类块体和石材以外的块体都可称为砌块，常见的砌块是用普通混凝土或轻骨料混凝土以及硅酸盐材料制作的实心、空心块体。高度为 180 ~ 350mm 的块体称为小型砌块；高度为 360 ~ 900mm 的块体称为中型砌块；高度大于 900mm 的块体称为大型砌块。我国生产的空心砌块中大多为单排孔混凝土和轻骨料混凝土空心砌块。混凝土小型空心砌块的主要规格尺寸为 390mm × 190mm × 190mm(图 14-2)；混凝土中型空心砌块高一般为 850mm，截面形状有如图 14-3 所示几种。《砌体结构设计规范》规定砌块的强度等级分为 MU20、MU15、MU10、MU7.5 和 MU5 五级。

表 14-1 石材强度等级的换算系数

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

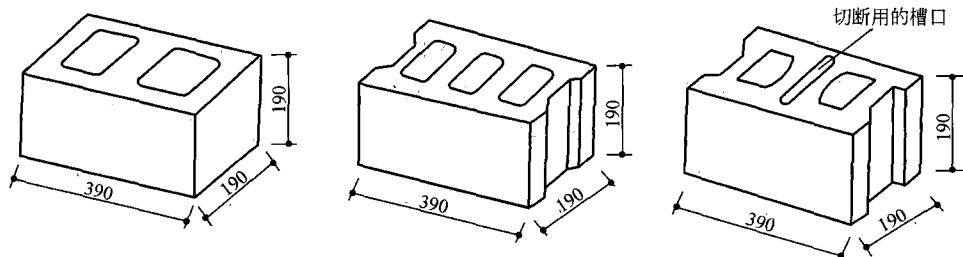


图 14-2 混凝土小型空心砌块

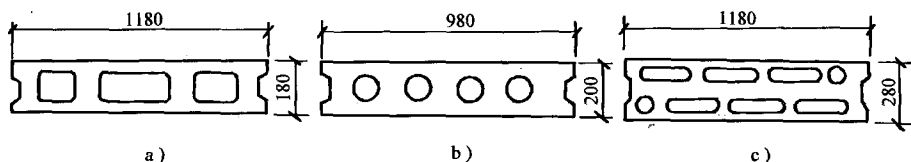


图 14-3 混凝土中型空心砌块

a) 单排方孔 b) 单排圆孔 c) 多排孔

随着砌体建筑的发展,单排孔且对孔砌筑的混凝土砌块灌孔砌体得到更广泛的应用,而且孔洞率不大于 35% 的双排孔或多排孔轻骨料混凝土砌块应用也较多,特别是我国寒冷地区如吉林、黑龙江已开始推广应用这类砌块材料。多排孔砌块主要考虑节能要求,排数有二排、三排、四排,孔洞率较小,块体强度一般不超过 MU10。目前我国常用的砌块强度不高,故只限于在低层建筑中使用。

(二) 砂浆

砂浆是由胶凝材料(石灰、水泥)和细骨料(砂)加水搅拌而成的混合材料。

砂浆的作用是将块体连成整体并使应力均匀分布,同时因砂浆填满了块体间的缝隙,也减少了透气性,提高了砌体的隔热性以及抗冻性等。

砂浆按其配合成分可分为以下三种:

(1) 水泥砂浆 水泥砂浆为不加塑性掺合料的纯水泥砂浆,这种砂浆可以具有较高的强度,但流动性(或称和易性、可塑性)和保水性较差。

(2) 混合砂浆 混合砂浆为有塑性掺合料的水泥砂浆,如水泥石灰砂浆、水泥粘土砂浆等。混合砂浆具有一定的强度和较好的流动性、保水性。

(3) 非水泥砂浆 非水泥砂浆为不含水泥的砂浆,如石灰砂浆、粘土砂浆等,这类砂浆的强度较低、耐久性差。

灰缝的质量主要与砂浆的流动性、保水性和强度三项指标有关。流动性好的砂浆便于施工操作,使灰缝平整、密实,从而提高砌筑工作效率,保证砌筑质量。保水性是指砂浆保持水分的性能。缺乏足够保水性的砂浆,在运输及施工过程中容易发生泌水、分层、离析现象,以致影响砌体的强度。因此,《砌体结构设计规范》中明确指出:各类砌体,当用水泥砂浆砌筑时,砌体的各种强度设计值均应乘以小于 1.0 的调整系数。

《砌体结构设计规范》规定砂浆的强度等级为 M15、M10、M7.5、M5 和 M2.5 五级。在验算施工阶段砂浆尚未硬化的砌体强度时,可按砂浆强度为零确定其砌体强度。

(三) 块体及砂浆的选择



在进行砌体结构设计时应合理选择块体和砂浆。选择时应本着因地制宜、就地取材的原则,按照砌体结构的重要性、施工质量控制等级、使用年限、结构的受力特点、工作环境等因素考虑选用。在抗震设防地区,砌体所用材料还应符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)中的有关规定。从材料使用功能要求出发,主要应遵循强度和耐久性的要求。

1) 五层及五层以上房屋的墙,以及受振动或层高大于6m的墙、柱所用材料的最低强度等级应符合:砖采用 MU10、砌块采用 MU7.5、石材采用 MU30、砂浆采用 M5 的要求。对安全等级为一级或设计使用年限大于50年的房屋,墙、柱所用材料的最低强度等级应至少提高一级。

2) 地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间的墙,所用材料的最低强度等应符合表 14-2 的规定。对于严寒地区(-10°C 以下),为保证结构的耐久性,块体还必须满足抗冻性要求。

表 14-2 地面以下或防潮层以下、潮湿房间墙所用砌体材料的最低强度等级

基土的潮湿程度	烧结普通砖、蒸压灰砂砖		混凝土砌块	石 材	水 泥 砂 浆
	严寒地区	一般地区			
稍潮湿	MU10	MU10	MU7.5	MU30	M5
很潮湿	MU15	MU10	MU7.5	MU30	M7.5
含水饱和	MU20	MU15	MU10	MU40	M10

注:1. 在冻胀地区,地面以下或防潮层以下的砌体,不宜采用多孔砖,如采用时,其孔洞应用水泥砂浆灌实。当采用混凝土砌块砌体时,其孔洞应采用强度等级不低于 Cb20 的混凝土灌实。

2. 对安全等级为一级或设计使用年限大于50年的房屋,表中材料强度应至少提高一级。

二、砌体种类

根据块体种类的不同,砌体可分为砖砌体、砌块砌体、石砌体三大类。砖砌体包括普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖无筋和配筋砌体;砌块砌体包括混凝土、轻骨料混凝土砌块无筋和配筋砌体;石砌体包括各种料石和毛石砌体。

(一) 无筋砌体

1. 砖砌体

砖砌体是由砖和砂浆砌筑而成的整体构件,在房屋建筑中,用作内外承重墙或围护墙及隔墙,包括实砌砖砌体墙和空斗墙。

实砌砖砌体的厚度有 240mm(1 砖)、370mm(1 砖半)、490mm(2 砖)、620mm(2 砖半)等,也可把一侧砖侧砌而构成 180mm、300mm、420mm 等厚度。按照砖的搭砌方式,有一顺一丁、梅花丁和三顺一丁等砌法(图 14-4)。

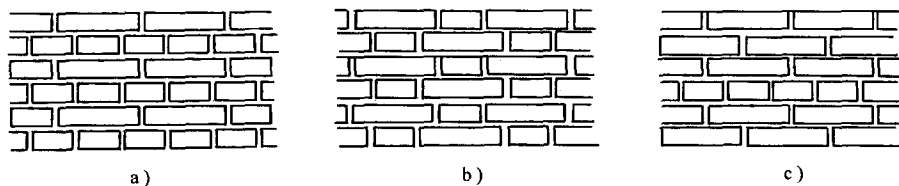


图 14-4 砖砌体的砌合方法

a) 一顺一丁 b) 梅花丁 c) 三顺一丁

空斗墙是把部分或全部砖立砌,并留有空斗(洞),其厚度一般为 240mm,分为一眠一



斗、一眠二斗、一眠多斗或无眠斗墙(图 14-5)。空斗墙较实砌墙节省砖和砂浆,还使造价降低,自重减轻。但其整体性和抗震性能较差,在非抗震设防区可用作 1~3 层的一般民用房屋墙体。

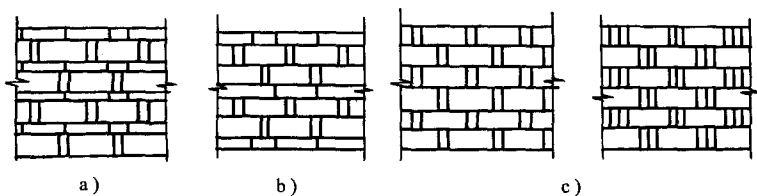


图 14-5 空斗墙

a) 一眠一斗 b) 一眠二斗 c) 无眠斗墙

2. 石材砌体

石材砌体分为料石砌体、毛石砌体。料石砌体一般用于建造房屋以及石拱桥、石坝、涵洞等构筑物。毛石砌体主要用于基础工程。

3. 砌块砌体

砌块砌体是由砌块和砂浆砌筑而成的整体构件。根据目前条件,我国采用较多的有:混凝土小型空心砌块砌体、混凝土中型空心砌块砌体和粉煤灰中型实心砌块砌体。砌块砌筑应采用 2000 年国家建材行业标准所规定的砌块专用砂浆(Mb),其强度等级有 Mb15、Mb10、Mb7.5 和 Mb5 四级。砌块砌体主要用于住宅、办公楼和学校等建筑,以及一般工业建筑的承重墙或围护墙。

(二) 配筋砌体

为了提高砌体强度和减少构件截面尺寸,可在砌块内配置适量的钢筋,构成配筋砌体。常见的配筋砌体有配筋砖砌体和配筋混凝土空心小砌块砌体。配筋砖砌体中以网状配筋砖砌体和组合砖砌体应用最广泛。

1. 网状配筋砖砌体(横向配筋砖砌体)

在砖砌体水平灰缝中,每隔几层砖配置横向钢筋网,就构成网状配筋砖砌体(图 14-6a)。钢筋网可以采用方格网或双向连弯钢筋网(图 14-6b),可用作承受轴心压力或偏心压力(偏心

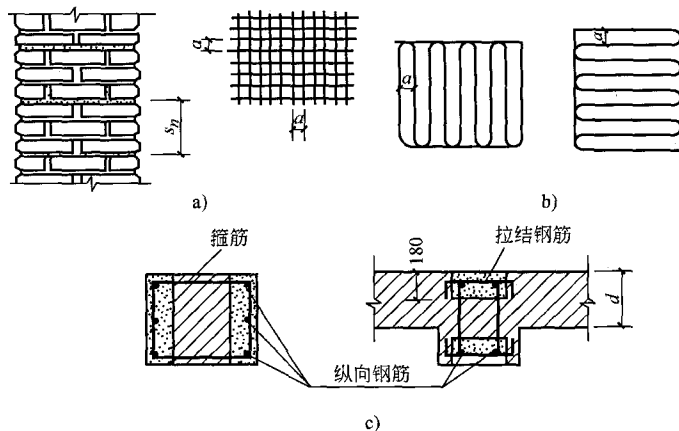


图 14-6 配筋砖砌体

a) 网状配筋砌体 b) 连弯网 c) 组合砖砌体



距较小)的墙和柱。

2. 组合砖砌体

由砖砌体和钢筋混凝土或钢筋砂浆构成的砌体称为组合砖砌体。通常将钢筋混凝土或钢筋砂浆做面层(图 14-6c), 这种砌体可用作承受偏心压力(偏心距较大)的墙和柱。在墙体的转角和交接处设置钢筋混凝土构造柱(图 14-6c), 也是一种组合砖砌体。构造柱对砌体主要起约束作用, 它能提高一般多层混合结构房屋的抗震能力。

3. 配筋混凝土空心小砌块砌体

配筋混凝土空心小砌块砌体由混凝土空心小砌块、竖向和水平钢筋、砌筑砂浆和灌孔混凝土四种基本材料组成。灌孔混凝土强度等级(用 Cb 表示, 等同于对应混凝土强度等级指标)不应低于 Cb20。砌筑时要求上下皮错缝搭接, 上下孔对准, 边砌筑砌块边铺设水平钢筋, 并与垂直钢筋绑扎, 待砂浆有一定强度后再向空心砌块内浇注灌孔混凝土以形成整体。图 14-7 ~ 图 14-9 所示是配筋砌块砌体在建筑工程中的应用实例。欧美等国已采用配筋砌块砌体建造高层房屋, 甚至在地震区建造多层或高层房屋, 我国也正在推广配筋砌块砌体的设计和施工。

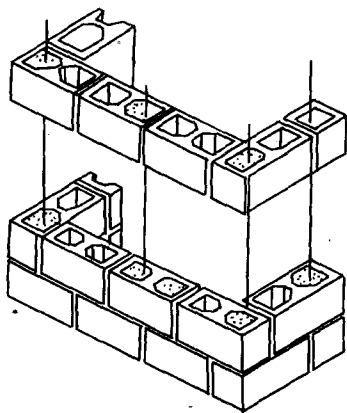


图 14-7 配筋砌块砌体墙

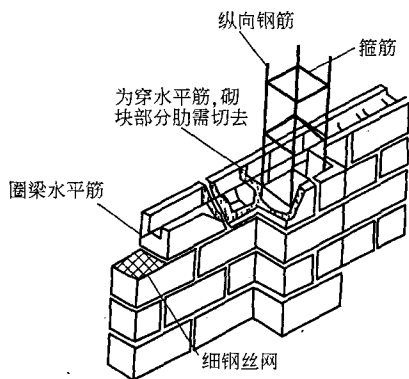


图 14-8 配筋砌块砌体壁柱

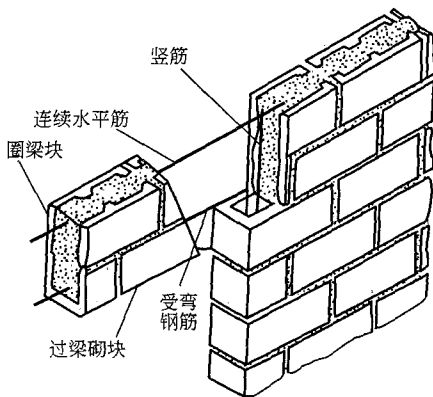


图 14-9 配筋砌块砌体过梁和圈梁

三、砌体抗压强度

(一) 砌体轴心受压时的破坏特征

现以一个由 MU10 的砖和 M5 的砂浆砌成的 $370\text{mm} \times 490\text{mm} \times 1000\text{mm}$ (截面的面积 $A = 370\text{mm} \times 490\text{mm} = 181300\text{mm}^2$) 砖砌体的轴心受压试验为例, 说明其受压过程和破坏特征。如图 14-10 所示, 从开始对砌体施加荷载到砌体发生破坏, 大致经历三个阶段:

(1) 第一阶段 从开始加载到个别砖块出现裂缝。在此阶段, 当轴心压力 $N < N_{cr}$ (N_{cr} 为裂缝出现时的压力) 时, 砌体尚无肉眼可见的裂缝; 在此阶段末, 砌体的个别砖块出现第一批裂缝。这时, $N_{cr} = 381.0\text{kN}$ (相当于破坏荷载的 50% ~ 70%), 截面压应力 $\sigma = (381.0 / 181300)\text{kN/mm}^2 = 2.1\text{N/mm}^2$ 。若此时荷载不继续增加, 裂缝不会扩展(图 14-10a、b)。

(2) 第二阶段 继续增加荷载, 裂缝不断扩展并产生新的裂缝。单块砖上的个别裂缝

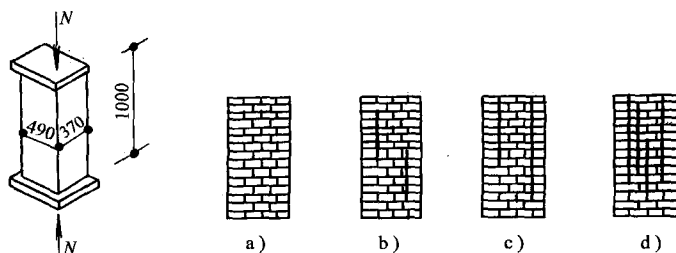


图 14-10 轴心受压砖砌体受压的三个阶段

a) 第一阶段 $N < N_{cr}$ b) 第一阶段末 $N = N_{cr}$ c) 第二阶段形成贯通几皮砖的条缝 d) 第三阶段 $N = N_u$

彼此连接且与竖向灰缝连成上下贯通几皮砖的垂直裂缝,并逐渐将砌体分成一个个单独的半砖小柱,使砌体全截面的整体工作受到破坏(图 14-10c)。此时压力 N 约为 500kN 左右,相当于破坏荷载的 80%~90%,即使荷载不再增加,裂缝也将继续缓慢扩展。

(3) 第三阶段 荷载再略为增加,裂缝会迅速加长加宽,被裂缝分成的半砖小柱会侧向凸出,砌体发生明显的横向变形而处于松散状态,最后终因被压碎或失稳而破坏(图 14-10d)。此时,极限压力 $N_u = 560.0\text{kN}$,砌体破坏时抗压强度 $f = N_u/A = (560.0/181300)\text{kN/mm}^2 = 3.09\text{N/mm}^2$ 。

从上面试验可知,砌体抗压强度($f = 3.09\text{MPa}$)远小于砖块的抗压强度($f = 10\text{MPa}$),即单块砖抗压强度在砌体中不能得到充分发挥。

(二) 砌体受压的应力状态分析

轴心受压的砖砌体总体上虽然为均匀受压状态,若试验时仔细测量砌体中砖的变形,就会发现砖块在砌体内不仅受压,同时还受剪、受弯和受拉,处于复杂应力状态。产生这种现象的主要原因是:

(1) 砂浆层的不均匀性 砖砌体中,由于砂浆层铺抹不匀,有厚有薄,致使砖块只能局部地支承在凹凸不平的砂浆垫层上(图 14-11a),从而使砖块不能均匀受压,处于受弯、受剪和局部受压的复杂应力状态。当弯曲时拉应力超过砖的抗拉强度,砖就会开裂。

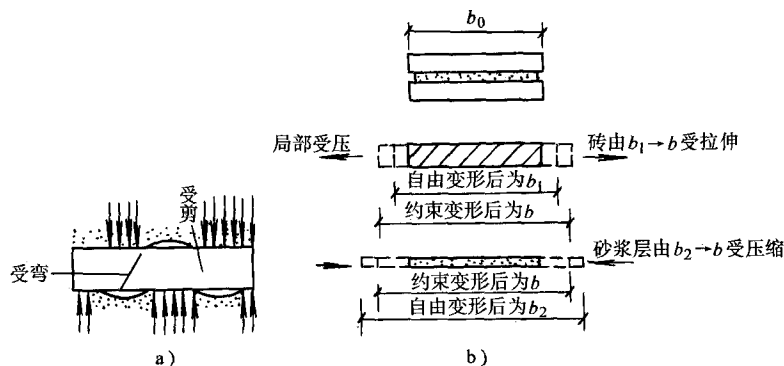


图 14-11 砖砌体中的应力分析

a) 砌体中砖块的受力分析 b) 砖和砂浆横向变形的差异

(2) 砖与砂浆横向变形的差异 砖砌体中,由于砖和砂浆的弹性模量及横向变形系数不同,当砂浆强度等级较低时,砖的横向变形小于砂浆层的横向变形,由于砖和砂浆之间存



在粘结力和摩擦作用,砖与砂浆层的横向变形在砌体中又必须协调,因此受砂浆层横向变形的影响,砖的横向变形必然增大而产生附加水平拉应力,相应地使砂浆横向变形减小而产生附加压应力。图 14-11b 为砖与砂浆在压应力作用下其自由变形与约束变形之间的关系。由图可见由于二者之间的相互制约作用,使砂浆的自由变形减少了 $(b_2 - b)$,而砖的自由变形增加了 $(b - b_1)$,使砖内出现附加拉应力,从而加快了砖的裂缝的出现和发展。

(3) 竖向灰缝处的应力集中 由于砌体中竖向灰缝不可能完全饱满以及砂浆收缩等原因,竖向灰缝影响了砌体的连续性,形成竖向灰缝处的应力集中,在竖向灰缝上、下端的砖内产生较大的横向拉应力和切应力,从而引起砖过早开裂,降低了砌体强度,使砖块的抗压强度不能充分发挥。

(三) 影响砌体抗压强度的主要因素

1. 块体和砂浆的强度

块体和砂浆的强度是影响砌体抗压强度的主要因素。从图 14-12 和图 14-13 可以看出,块体和砂浆的强度高,砌体的抗压强度亦高。试验表明,提高砖的强度等级比提高砂浆强度等级对增大砌体的抗压强度的效果好。一般情况下,当块体强度等级不变,砂浆等级提高一级,砌体抗压强度只提高 15%,而当砂浆强度等级不变,块体强度等级提高一级,砌体抗压强度可提高约 20%。因此在块体的强度等级一定时,过高地提高砂浆强度等级并不适宜。

2. 块体的尺寸和形状

砌体强度随块体高度增加而增加,块体高度越大,抵抗弯矩和剪力等不利内力的能力就越强,加之水平灰缝数量随之减少,砂浆层横向变形的不利影响也相应减弱,从而使砌体抗压强度得到相应提高。从图 14-12 中也可以看出,当砂浆强度相同时,块体高度大的砌体不但有较高的砌体强度,而且随块体强度提高,砌体强度提高也很快。

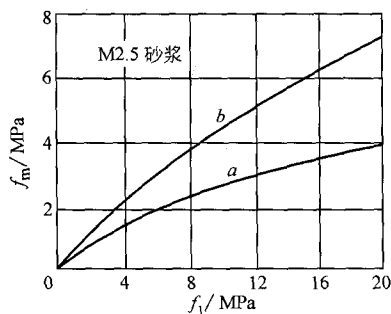


图 14-12 块体强度和高度对砌体抗压强度的影响

a—砖砌体 b—块体高为 400mm 的砌块砌体

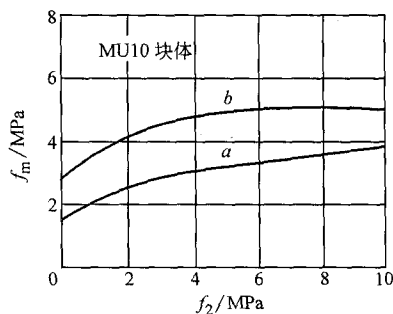


图 14-13 砂浆强度对砌体抗压强度的影响

a—砖砌体 b—块体高为 400mm 的砌块砌体

块体的形状也直接影响砌体的抗压强度,如果块体表面不平、形状不整,在压力作用下其弯曲应力和切应力都将增大,从而使砌体的抗压强度降低。

3. 砂浆的流动性和保水性

砂浆具有较明显的弹塑性性质,在砌体内采用流动性大的砂浆,容易铺砌成均匀、密实的灰缝,这样可以减少块体的弯曲应力和切应力而提高砌体强度。但当砂浆流动性过大,其硬化受力后的横向变形也将随之增大,反而会降低砌体强度。另外,保水性差的砂浆,砂浆



不能正常硬化，其强度和粘结能力都会下降，影响砌体抗压强度。

4. 砌筑质量

提高砌体施工质量等级是保证砌筑质量的根本，但灰缝质量也不容忽视，尤其是水平灰缝的均匀、饱满程度对砌体强度的影响较大。《砌体工程施工质量验收规范》(GB 50203—2002)规定：砌体水平灰缝的砂浆饱满度，按净面积计算不得低于 90%，灰缝厚度宜为 10mm，但不应小于 8mm，也不应大于 12mm。除此之外，快速砌筑对砌体抗压强度是有利的，因为砂浆在结硬之前就受压，可以减轻灰缝中砂浆不密实、不均匀的影响。

(四) 砌体的抗压强度

1. 砌体轴心抗压强度的平均值 f_m

根据近年来我国对各类砌体抗压强度所做的较为广泛的系统试验和对大量试验结果的分析，并考虑到影响砌体抗压强度的主要因素，参照国际标准，《砌体结构设计规范》给出了各类砌体都适用的抗压强度平均值 f_m 的通用公式：

$$f_m = k_1 f_1^\alpha (1 + 0.07 f_2) k_2 \tag{14-1}$$

式中 f_1 、 f_2 ——块体和砂浆的抗压强度平均值 (MPa)；

k_1 ——与块体类别及砌体砌筑方法有关的参数，见表 14-3；

α ——与块体高度及砌体类别有关的参数，见表 14-3；

k_2 ——砂浆强度影响的修正系数，见表 14-3。

表 14-3 轴心抗压强度平均值 f_m (单位:MPa)

砌体种类	$f_m = k_1 f_1^\alpha (1 + 0.07 f_2) k_2$		
	k_1	α	k_2
烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖	0.78	0.5	当 $f_2 < 1$ 时, $k_2 = 0.6 + 0.4 f_2$
混凝土砌块	0.46	0.9	当 $f_2 = 0$ 时, $k_2 = 0.8$
毛料石	0.79	0.5	当 $f_2 < 1$ 时, $k_2 = 0.6 + 0.4 f_2$
毛石	0.22	0.5	当 $f_2 < 2.5$ 时, $k_2 = 0.4 + 0.24 f_2$

注：1. k_2 在表列条件以外时均等于 1。

2. 式中 f_1 为块体 (砖、石、砌块) 的抗压强度等级值或平均值， f_2 为砂浆抗压强度平均值，单位均以 MPa 计。

3. 混凝土砌块砌体的轴心抗压强度平均值，当 $f_2 > 10\text{MPa}$ 时，应乘系数 $1.1 \sim 0.01 f_2$ ，MU20 的砌体应乘系数 0.95，且满足 $f_1 \geq f_2$ ， $f_1 \leq 20\text{MPa}$ 。

2. 砌体抗压强度标准值 f_k

各类砌体抗压强度标准值 f_k 与平均值 f_m 之间的关系为

$$f_k = f_m (1 - 1.645 \delta_f) \tag{14-2}$$

式中 δ_f ——砌体强度变异系数，见表 14-4。

表 14-4 砌体强度的变异系数 δ_f

砌体类别	砌体抗压强度	砌体抗拉、弯、剪强度
各种砖、砌块、毛料石	0.17	0.20
毛石	0.24	0.26



3. 砌体抗压强度设计值 f

砌体抗压强度设计值是砌体结构计算中常用的计算指标,它等于砌体抗压强度标准值除以砌体结构材料性能分项系数 γ_f (γ_f 取 1.6)。

$$f = \frac{f_k}{\gamma_f} \quad (14-3)$$

当块体和砂浆的强度等级确定之后,龄期为 28d 的以毛截面计算的各类砌体抗压强度设计值,当施工质量控制等级为 B 级时,应根据块体和砂浆的强度等级分别按表 14-5 ~ 表 14-10 采用。

表 14-5 烧结普通砖和烧结多孔砖砌体的抗压强度设计值 (单位:MPa)

砖强度等级	砂浆强度等级					砂浆强度
	M15	M10	M7.5	M5	M2.5	0
MU30	3.94	3.27	2.93	2.59	2.26	1.15
MU25	3.60	2.98	2.68	2.37	2.06	1.05
MU20	3.22	2.67	2.39	2.12	1.84	0.94
MU15	2.79	2.31	2.07	1.83	1.60	0.82
MU10	—	1.89	1.69	1.50	1.30	0.67

表 14-6 蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖砌体的抗压强度设计值 (单位:MPa)

砖强度等级	砂浆强度等级				砂浆强度
	M15	M10	M7.5	M5	0
MU25	3.60	2.98	2.68	2.37	1.05
MU20	3.22	2.67	2.39	2.12	0.94
MU15	2.79	2.31	2.07	1.83	0.82
MU10	—	1.89	1.69	1.50	0.67

表 14-7 单排孔混凝土和轻骨料混凝土砌块砌体的抗压强度设计值 (单位:MPa)

砌块强度等级	砂浆强度等级				砂浆强度
	Mb15	Mb10	Mb7.5	Mb5	0
MU20	5.68	4.95	4.44	3.94	2.33
MU15	4.61	4.02	3.61	3.20	1.89
MU10	—	2.79	2.50	2.22	1.31
MU7.5	—	—	1.93	1.71	1.01
MU5	—	—	—	1.19	0.70

注:1. 对错孔砌筑的砌体,应按表中数值乘以 0.8。

2. 对独立柱或厚度为双排组砌的砌块砌体,应按表中数值乘以 0.7。

3. 对 T 形截面砌体,应按表中数值乘以 0.85。

4. 表中轻骨料混凝土砌块为煤矸石和水泥煤渣混凝土砌块。