

土木工程专业研究生系列教材

砌体结构理论与设计

(第三版)

施楚贤 主编

Master of Civil Engineering

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

土木工程专业研究生系列教材

砌体结构理论与设计

(第三版)

施楚贤 主编

施楚贤 钱义良 吴明舜 编著
杨伟军 程才渊

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

砌体结构理论与设计/施楚贤主编. —3 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2013. 12
土木工程专业研究生系列教材
ISBN 978-7-112-15815-7

I. ①砌… II. ①施… III. ①砌体结构-结构设计-研究生-教材 IV. ①TU360.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 210068 号

本书在第二版的基础上修订而成, 论述现代砌体结构的基本概念、基本理论和设计方法。主要内容有砌体结构的发展与展望, 砌体的物理力学性能, 砌体结构的可靠度, 无筋及配筋砌体结构构件的承载力, 砌体结构房屋墙、柱内力分析与设计, 墙梁和挑梁设计, 砌体结构的构造措施, 以及多层、高层砌体结构房屋的抗震设计。

本书为土木工程结构专业研究生教材, 也可供土木工程结构设计、科研和施工人员参考。

* * *

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 李志立

责任校对: 肖 剑 陈晶晶

土木工程专业研究生系列教材

砌体结构理论与设计

(第三版)

施楚贤 主编

施楚贤 钱义良 吴明舜 编著
杨伟军 程才渊

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30 字数: 730 千字

2014 年 1 月第三版 2014 年 1 月第三次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-15815-7

(24581)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

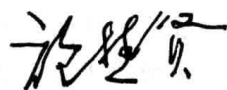
(邮政编码 100037)

第三版前言

本书在第二版的基础上，按照《砌体结构设计规范》GB 50003—2011、《建筑抗震设计规范》GB 50010—2010 等新颁布的国家标准作了全面的修订；为适应土木工程结构专业研究生的教学，对砌体结构的研究现状及在砌体结构理论和设计方法方面新的重要成果作了补充。全书保持了论述较为系统、深入和实用的特点。

本书第一、二、三、五、八章和第十章 10.9 节由施楚贤编著，第四、六章由施楚贤和杨伟军编著，第七、九章由钱义良、程才渊和吴明舜编著，第十章 10.1~10.8 节由吴明舜和程才渊编著。全书由施楚贤主编并审定。

长期以来，本书得到读者的厚爱，此次修订中吸纳了读者的宝贵建议，在此深致谢意！并希望继续得到读者的批评和指正。



二〇一三年六月

第二版前言

《砌体结构理论与设计》(第一版)自1992年出版以来在工程和学术界产生了一定的反响。中国工程建设标准化协会砌体结构委员会第三届会议(1995年)工作报告指出,“我国的砌体结构设计规范颁布后,在总结多年砌体结构研究成果和国外标准规范经验的基础上,已形成具有自己特点的砌体结构理论,这可在湖南大学施楚贤教授主编的《砌体结构理论与设计》中反映出来”;该书被国内多所高等院校指定为结构工程专业砌体结构研究方面的硕士、博士研究生教材或主要参考书;2000年被全国注册工程师管理委员会(结构)选定为全国一级注册结构工程师考试参考书目。

为了反映该书出版后10年间国内外在砌体结构理论和设计方法方面所取得的新进展和新成果,我们对该书作了较为全面的修订。《砌体结构理论与设计》(第二版)保持了原书论述较为系统和深入的特点,并增加了新型砌体材料的性能与强度,结构可靠度与砌体施工质量控制等级,配筋砖砌体构件的承载力及抗震受剪承载力,基于组合受力构件强度理论的连续墙梁和框支墙梁的设计方法,以及高层配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构的静力与抗震设计方法,使全书内容、质量有进一步的完善和提高。

本书第一、二、三、五、八章由施楚贤编著,第四、六章由施楚贤和杨伟军编著,第七、九章由钱义良编著,第十章由吴明舜和程才渊编著。全书由施楚贤主编。

因作者水平有限,恳请读者批评和指正。

编著者
2003年11月

第一版前言

砌体是一种有悠久历史的建筑材料，具有较强的生命力。在我国，砌体结构得到广泛应用，目前建筑中仍有百分之九十以上的墙体采用砌体材料。近 20 年来，砌体结构在欧、美许多国家中也有很大的发展。它已成为世界上受重视的一种建筑结构体系。

本书旨在较全面阐述现代砌体结构的基本概念、基本理论和设计方法，为具有一般砌体结构知识的土建工程技术人员和大专院校师生，提供一本较深入而系统的参考书。

本书在内容上，力求论据充分、实用性强。为此，主要取材于近 20 年来国内外对砌体结构的理论分析、试验研究和设计方法方面的重要成果。对于砌体的基本力学性能、无筋和配筋砌体结构及其构件的承载力分析和设计等方面，还介绍了多种观点和方法，有一定的深度。但又立足于帮助广大技术人员加深理解和熟练应用我国新颁行的《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)。我们在长期从事工程结构研究、设计和教学中所积累的经验，也在本书中得到较好的反映。

全书主要内容有：砌体结构的发展和展望，砌体的物理力学性能，砌体结构的可靠度，无筋及配筋砌体结构构件的承载力，混合结构房屋的静力计算及墙、柱设计，墙梁和挑梁的设计，砌体结构的构造措施，以及多层混合结构房屋的抗震设计。

本书第一章至第六章和第八章由施楚贤编著，第七章和第九章由钱义良编著，第十章由吴明舜编著。全书由施楚贤主编。

我们恳请读者对本书中的缺点与错误提出批评指正。

编著者
1992 年 9 月

目 录

第一章 砌体结构的发展	1
1.1 古代砌体结构的发展	1
1.2 20 世纪 50 年代以来我国砌体结构的发展	3
1.3 国外 20 世纪 60 年代以来砌体结构的发展	9
1.4 展望	13
参考文献	15
第二章 砌体材料、种类及砌体结构类型	20
2.1 砌体材料	20
2.1.1 砖	20
2.1.2 砌块	22
2.1.3 石材	23
2.1.4 砌筑砂浆、专用砌筑砂浆	24
2.1.5 钢筋、混凝土及混凝土砌块砌体的灌孔混凝土	29
2.2 砌体及砌体结构类型	29
2.2.1 砖砌体	29
2.2.2 石砌体	30
2.2.3 砌块砌体	31
2.2.4 砌体结构类型的划分	35
2.2.5 墙板	38
参考文献	40
第三章 砌体的力学及物理性能	42
3.1 砌体的受压性能	42
3.1.1 砌体受压应力状态	42
3.1.2 影响砌体抗压强度的因素	44
3.1.3 对砌体抗压强度表达式的研究	52
3.1.4 砌体受压应力-应变曲线	60
3.2 砌体的受拉和受弯性能	64
3.2.1 轴心受拉	65
3.2.2 弯曲受拉	66
3.3 砌体的受剪性能	67
3.3.1 概述	67
3.3.2 砌体抗剪强度的试验方法	68
3.3.3 影响砌体抗剪强度的因素	71
3.3.4 砌体抗剪强度理论	73

3.3.5 砌体抗剪强度表达式	76
3.4 砌体强度标准值和设计值	78
3.4.1 砌体抗压强度标准值和设计值	78
3.4.2 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉、抗剪强度标准值和设计值	83
3.4.3 砌体强度设计值的调整	85
3.5 砌体的变形模量、泊松比和剪变模量	86
3.5.1 砌体的变形模量	86
3.5.2 砌体的泊松比	89
3.5.3 砌体的剪变模量	90
3.6 砌体的徐变	90
3.7 砌体的其他物理性能	92
3.7.1 砌体的热性能	92
3.7.2 砌体的干缩变形	94
3.7.3 砌体的摩擦系数	95
3.8 砌体的破坏准则	95
附录：块体、砂浆本构关系的研究	98
参考文献	99
第四章 砌体结构可靠度设计	105
4.1 砌体结构可靠度设计方法的发展	105
4.2 砌体结构半概率、半经验的极限状态设计方法	108
4.3 砌体结构以概率理论为基础的极限状态设计	110
4.3.1 可靠指标	111
4.3.2 JCSS 方法	112
4.3.3 《砌体结构设计规范》GBJ 3—88 的设计表达式	115
4.4 《砌体结构设计规范》GB 50003—2001 的可靠度设计调整及其设计表达式	127
4.4.1 设计表达式	128
4.4.2 施工质量控制等级	129
4.4.3 本规范的砌体结构设计可靠指标	129
4.4.4 配筋混凝土砌块砌体构件可靠度分析	132
4.5 《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 对砌体结构设计调整与耐久性设计	136
4.5.1 基本设计规定的补充与简化	136
4.5.2 砌体结构耐久性设计	138
参考文献	144
第五章 无筋砌体结构构件的承载力	146
5.1 受压构件	146
5.1.1 短柱	146
5.1.2 对砌体偏心影响系数的进一步研究	149
5.1.3 轴心受压长柱	152
5.1.4 偏心受压长柱	155

5.1.5 受压构件的承载力计算	160
5.1.6 双向偏心受压构件	163
5.1.7 计算例题	169
5.2 局部受压	175
5.2.1 局部受压的工作机理	175
5.2.2 砌体局部均匀受压	178
5.2.3 梁端支承处砌体的局部受压	180
5.2.4 梁端下设有垫块或垫梁时支承处砌体的局部受压	182
5.2.5 计算例题	186
5.2.6 对砌体局部受压计算的改进建议	190
5.3 轴心受拉、受弯和受剪构件	192
5.3.1 轴心受拉构件	192
5.3.2 受弯构件	192
5.3.3 受剪构件	193
5.3.4 计算例题	194
参考文献	196
第六章 配筋砌体结构	199
6.1 网状配筋砖砌体受压构件	199
6.1.1 网状配筋砖砌体的受压性能	199
6.1.2 网状配筋砖砌体受压构件的承载力	201
6.1.3 网状配筋砖砌体构件的构造要求	206
6.1.4 计算例题	207
6.1.5 关于受剪承载力	209
6.2 组合砖砌体受压构件	209
6.2.1 砖砌体和钢筋混凝土面层或钢筋砂浆面层的组合砌体构件	209
6.2.2 计算例题	217
6.2.3 砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	221
6.2.4 计算例题	225
6.2.5 有必要建立完善、配套的承载力设计计算方法	228
6.3 配筋混凝土砌块砌体构件	229
6.3.1 配筋砌块砌体剪力墙轴心受压承载力	229
6.3.2 配筋砌块砌体剪力墙偏心受压正截面承载力	231
6.3.3 配筋砌块砌体剪力墙斜截面受剪承载力	237
6.3.4 配筋砌块砌体剪力墙连梁的计算	244
6.3.5 配筋砌块砌体剪力墙的构造	244
6.3.6 计算例题	248
参考文献	250

第七章 砌体结构房屋的静力计算和设计..... 252

7.1 承重墙体的布置 252

7.2 砌体结构房屋的静力计算方案 254

7.3 刚性方案房屋的静力计算 256

7.4 弹性方案房屋的静力计算 259

7.5 刚弹性方案房屋的静力计算 260

7.5.1 单层刚弹性方案房屋的静力计算 260

7.5.2 多层刚弹性方案房屋的静力计算 267

7.5.3 上柔下刚和上刚下柔房屋的静力计算 270

7.5.4 底部框架结构房屋的静力计算 270

7.6 横墙在侧向荷载作用下的分析 271

7.7 墙、柱的计算高度 273

7.8 墙-梁（板）的连接和约束 275

参考文献..... 279

第八章 圈梁、过梁、墙梁和挑梁..... 281

8.1 圈梁 281

8.1.1 房屋中圈梁设置的部位 281

8.1.2 圈梁的构造要求 281

8.2 过梁 282

8.2.1 过梁上的荷载 282

8.2.2 过梁的承载力计算 283

8.2.3 过梁的构造要求 285

8.3 墙梁 285

8.3.1 概述 285

8.3.2 墙梁的几种计算方法 286

8.3.3 墙梁的受力性能 290

8.3.4 墙梁按组合结构的计算方法 296

8.3.5 墙梁的基本构造要求 309

8.3.6 计算例题 310

8.4 挑梁 322

8.4.1 挑梁的破坏特征 322

8.4.2 挑梁倾覆时的受力性能 323

8.4.3 挑梁的设计计算 326

8.4.4 计算例题 328

参考文献..... 331

第九章 砌体结构的构造措施..... 334

9.1 墙、柱的高厚比要求 334

9.2 一般构造要求 339

9.3 防止墙体裂缝出现的措施和墙体伸缩缝 343

参考文献..... 350

第十章 砌体结构房屋的抗震性能与设计..... 352

10.1 概述..... 352

10.2 震害及其分析..... 354

10.3 结构布置原则..... 359

10.4 砌体结构房屋的抗震验算..... 370

10.4.1 地震作用的计算 371

10.4.2 多层砌体结构房屋的计算简图与地震作用的简化计算方法 376

10.4.3 墙体抗震承载力验算 385

10.5 配筋砌块砌体房屋的抗震验算..... 387

10.6 多层砌体房屋的抗震构造措施..... 398

10.7 配筋砌块砌体房屋的抗震构造措施..... 403

10.8 计算例题..... 406

10.9 配筋砌块砌体结构的抗震性能..... 425

10.9.1 框支配筋砌块砌体剪力墙的抗震性能 425

10.9.2 框支配筋砌块砌体剪力墙房屋的抗震性能 438

10.9.3 配筋砌块砌体剪力墙的位移延性分析 448

10.9.4 配筋砌块砌体剪力墙房屋的最大适用高度 452

10.9.5 配筋砌块砌体复合节能墙体 459

参考文献..... 467

第一章 砌体结构的发展

砌体结构是指用砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构。其中石砌体和砖砌体结构的历史尤为悠久，自古至今经历了一个漫长的发展过程。20 世纪 50 年代以来，我国在砌体结构的研究、设计和计算及应用上取得了巨大的成绩。本章论述砌体结构的发展简史及砌体结构的发展方向。

1.1 古代砌体结构的发展

早在原始时代，人们就用天然石建造藏身之所，随后逐渐用石块建筑城堡、陵墓或神庙。我国 1979 年 5 月在辽宁西部喀喇沁左翼蒙古族自治县东山嘴村发现一处原始社会末期的大型石砌祭坛遗址（图 1-1）。1983 年以后，又在相距 50km 的建平、凌源两县交界处牛河梁村发现一座女神庙遗址和数处积石大家群，以及一座类似城堡或方形广场的石砌围墙遗址。经碳十四测定和树轮校正，这些遗址距今已有 5500 年历史。



图 1-1 东山嘴遗址

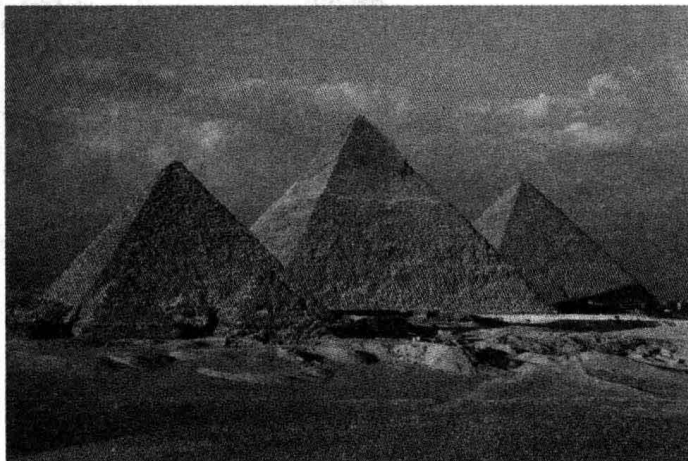


图 1-2 金字塔

公元前 2723 年～前 2563 年间在尼罗河三角洲的古萨建成的三座大金字塔（图 1-2），为精确的正方锥体，其中最大的胡夫金字塔，塔高 146.6m，底边长 230.60m，约用 230 万块每块重 2.5t 的石块砌成。随着石材加工业的不断发展，石结构的建造艺术和水平不断提高。公元 72～80 年建的罗马斗兽场（图 1-3），采用块石结构，平面为椭圆形，长轴 189m、短轴 156.4m。该建筑总高 48.5m，分四层，可容纳观众 5～8 万人。我国隋开皇十五年至大业元年（公元 595～605 年）李春建造的河北赵县赵州桥（图 1-4），为单孔空腹式石拱桥。该桥全长 50.83m，净跨 37.02m，矢高 7.23m，宽 9.6m，由 28 条纵向石拱券组成，在桥两端各建有两个小型拱券，既减轻了桥的自重，又减小了水流的阻力，使桥面较平缓。这是世界上现存最早、跨度最大的空腹式单孔圆弧石拱桥。北宋时期（公元

960~1127 年) 在福建漳州所建虎渡桥, 为简支石梁桥, 桥面为三根石梁, 最大跨径达 23m, 梁宽 1.9m, 厚约 1.7m, 每根梁重达 200t。

人们生产和使用烧结砖也有 3000 年以上的历史。我国在夏代 (约公元前 21 世纪~前 16 世纪) 用土夯筑城墙。长城是举世最宏伟的土木工程 (图1-5), 据记载它始建于公元

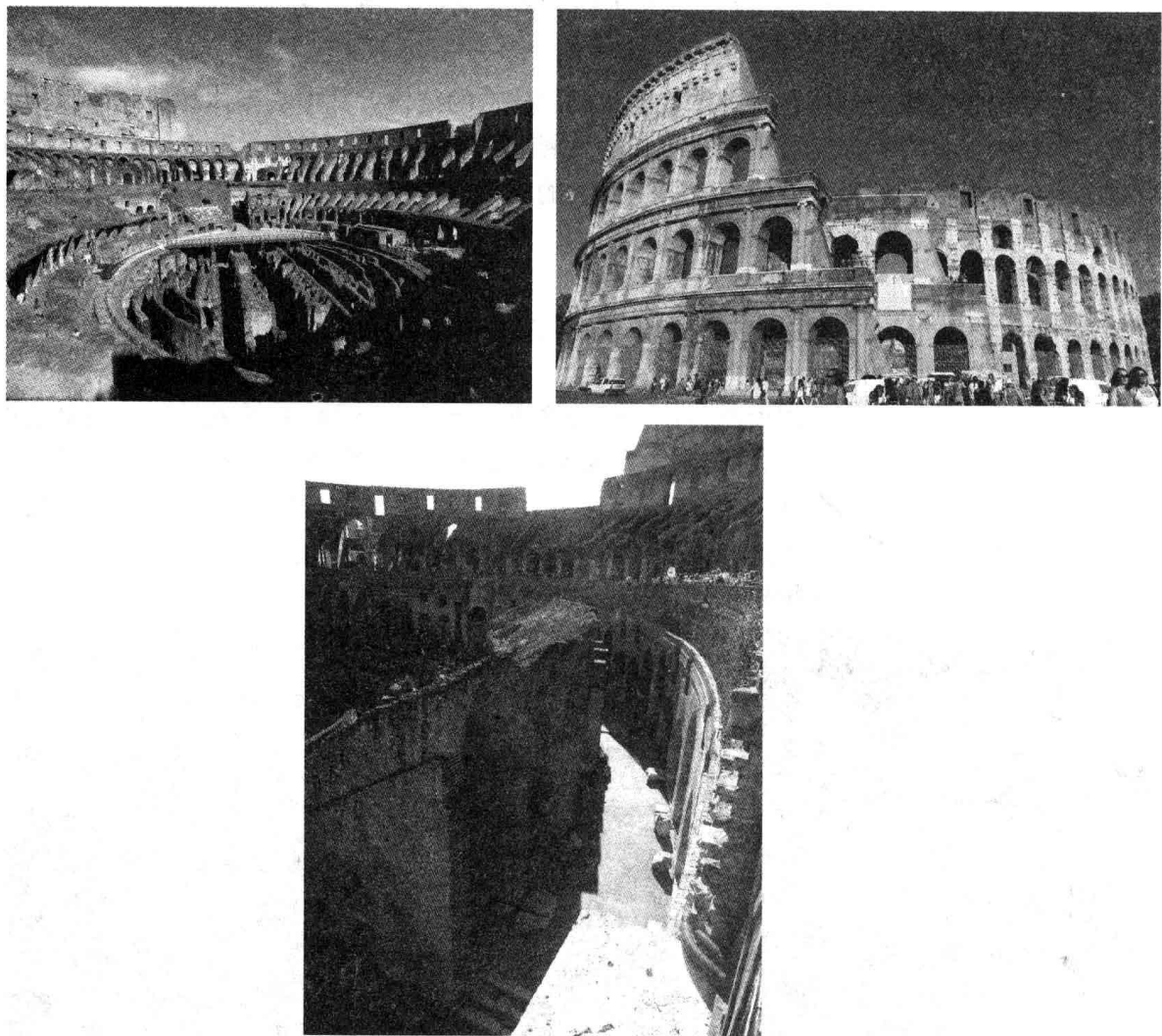


图 1-3 罗马斗兽场

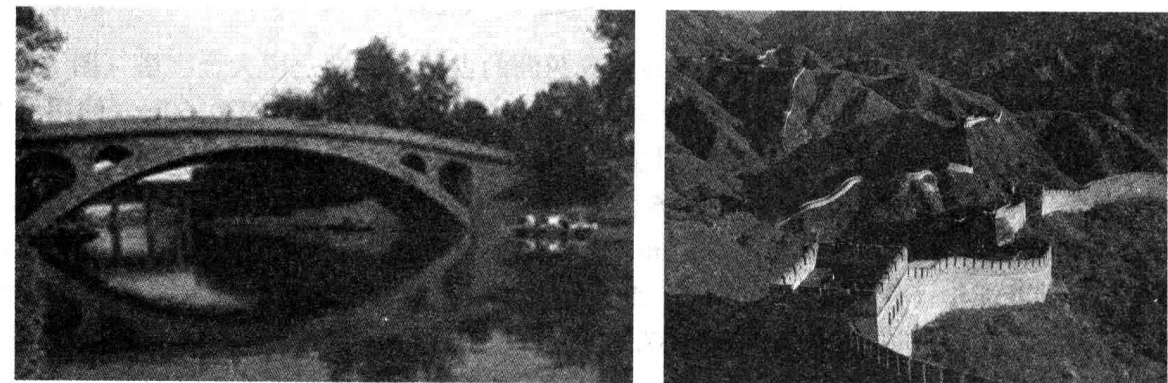


图 1-4 赵州桥

图 1-5 长城

前 7 世纪春秋时期的楚国。在秦代用乱石和土将原来秦、赵、燕北面的城墙连接起来，并增筑新的长城，西起甘肃临洮，东至辽东，长达 10000 余里。明代又大规模地修筑了大部分长城，明长城西起甘肃嘉峪关，东至辽东虎山，全长 8851.8km，其中有部分城墙用精制的大块砖重修（如现在河北、山西北部的一段城墙）。山海关至嘉峪关的万里长城至今大多完整。战国时期（公元前 475 年～前 221 年）已能烧制长方形或方形黏土薄砖、大型空心砖和断面呈几字形的花砖等。南北朝以后砖的应用比较普遍。北魏（公元 386～534 年）孝文帝建于河南登封的嵩岳寺塔（图 1-6），是一座平面为 12 边形的密檐式砖塔，共 15 层，总高 43.5m，为单筒体结构，塔底部直径 8.4m、墙厚 2.1m、高 3.4m，塔内建有真、假门 504 个。该塔是我国保存最古的砖塔，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，清代时百姓称铁塔，流传至今），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。中世纪在欧洲用砖砌筑的拱、券、穹隆和圆顶等结构也得到很大发展。如公元 532～537 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 32.6m、高 15m 的穹顶，全部用砖砌成。

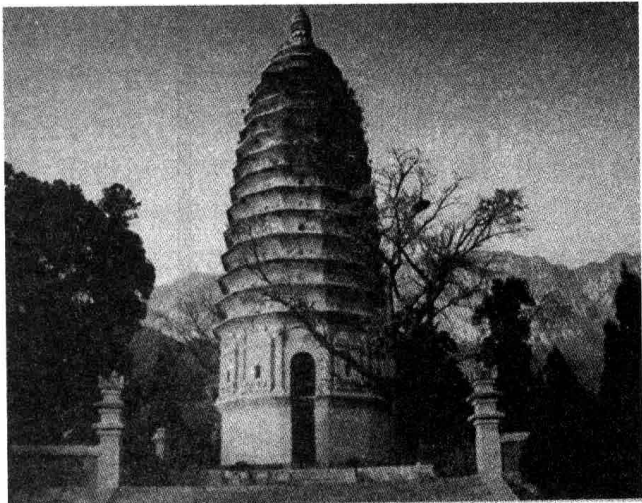


图 1-6 嵩岳寺塔

砌块的生产 and 应用时期很短，只有百来年历史。其中以混凝土砌块生产最早，这与水泥的出现密切相关，1824 年英国建筑工人阿斯普丁发明波特兰水泥，最早的混凝土砌块于 1882 年问世。1958 年我国建成采用混凝土空心砌块墙体承重的房屋。

1.2 20 世纪 50 年代以来我国砌体结构的发展

20 世纪上半叶，我国砌体结构的发展缓慢。1923 年在有“碉楼之乡”之称的广东开平锦江里建成的瑞石楼（图 1-7），共 9 层，高 25m，底层建筑面积 92m²（接近正方形），采用钢筋混凝土楼面、砖墙承重，墙厚 400mm，是 20 世纪上半叶我国最高层数的砖墙承重的住宅房屋。

1949 年中华人民共和国成立后，砌体结构得到迅速发展，取得了显著成就。概括起来，其主要特点是：应用范围广大；新材料、新技术和新结构的不断研制和使用；计算理论的深入研究和计算方法的逐步完善。

一、应用范围广大

新中国成立以来，我国砖的产量逐年增长。据统计，1980 年全国砖的年产量为 1566 亿块。1996 年增至 6200 亿块，为世界其他各国砖年产量的总和，全国基本建设中采用砌体作为墙体材料占 90% 以上。

在住宅、办公楼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

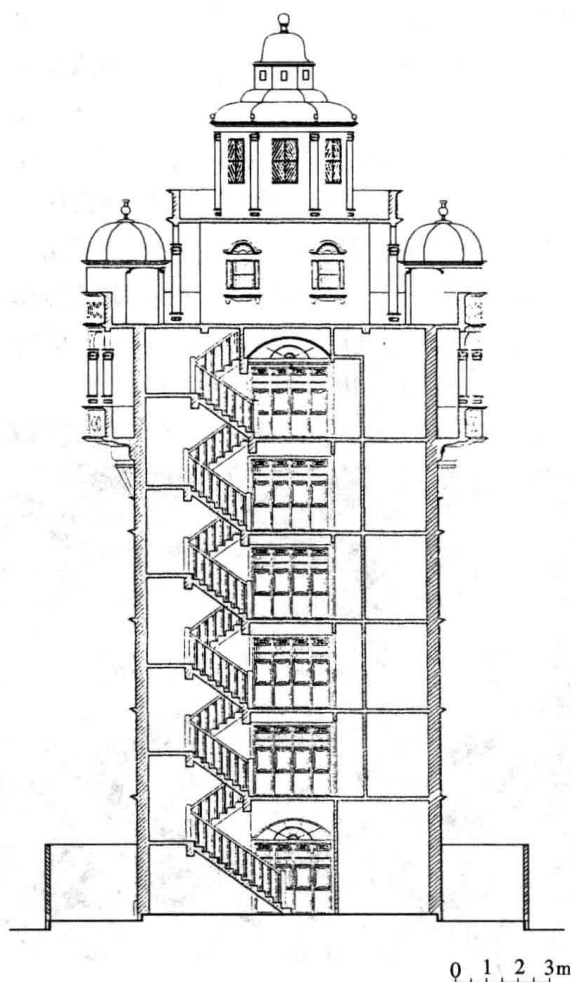


图 1-7 锦江里瑞石楼（剖面图）

~4 层，现在已大量建造 7~8 层。现在每年兴建的城市住宅，建筑面积多达数亿平方米。如重庆市，1980~1983 年新建住宅建筑面积为 503 万 m^2 ，其中采用砖石墙体承重的占 98%，7 层及 7 层以上的占 50%，1972 年还建成 12 层住宅。我国在产石地区用毛石砌体作承重墙的房屋高达 6 层。

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。

砖石砌体还用于建造各种构筑物，如在镇江市建成顶部外径为 2.18m、底部外径为 4.78m、高 60m 的砖烟囱。该烟囱分为四段，自上至下每段高度为 10、17、17 和 16m，相应囱壁厚度为 240、370、490 和 620mm。小型水池、料仓、渡槽等也采用砖石建造。我国曾建成用料石砌筑高达 80m 的排气塔。在湖南建成储粮用的砖砌筒群仓，每个筒仓高 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——向东渠，其中陈岱渡槽全长超过 4400m，高

20m，槽的支墩共有 258 座，工程规模宏大。此外，在湖南石门黄龙港 1959 年建成跨度为 60m、高 52m 的空腹式石拱桥。目前采用料石建成跨度为 112.46m 的变截面空腹式石拱桥。我国还积累了在地震区建造砌体结构房屋的宝贵经验，抗震设防烈度在 6 度及 6 度以下地区的砌体结构房屋经受了地震的考验。经过设计与构造上的改进和处理，还在 7 度和 8 度区建造了砌体结构房屋。上述情况表明，在我国砌体结构的应用范围十分广泛。

二、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，我国多孔砖、空心砖的生产和应用有较大的发展。在南京市建成采用多孔砖墙承重的 6~8 层旅馆，其中 8 层旅馆的下部 4 层墙厚为 290mm，上部 4 层墙厚为 190mm，经济效益比较明显。如以 190mm×190mm×90mm 的多孔砖代替 240mm×115mm×53mm 的实心砖来砌筑砖墙，前者墙厚 190mm，后者墙厚 240mm，由于采用多孔砖不但墙体自重减轻 17%，墙厚减小 20%，还节约砂浆 20%~30%，砌筑工时少 20%~25%，墙体造价降低 19%~23%。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，在工程上也有应用。值得指出，南京、西安等地研制和生产的拱壳砖，构造巧妙，很有特色。每块空心砖上都带有可以相互搭接的槽和挂钩（又称带钩空心砖），适宜于建造拱和薄壳结构的屋盖，不需支承模板（或仅设活动的局部模架支承），施

工简便, 节省劳力且施工速度快。

采用混凝土、轻骨料混凝土或加气混凝土, 以及利用各用工业废渣、粉煤灰、煤矸石等制成的无熟料水泥煤渣混凝土砌块或粉煤灰硅酸盐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, 20 世纪 80 年代在广西南宁建成 10 层住宅和 11 层办公楼, 90 年代在辽宁本溪建成 12 万 m^2 的 8~10 层住宅。近十余年来, 混凝土砖的产量迅增, 它与混凝土小型空心砌块成为我国墙体材料革新的主要产品之一。2006 年我国房屋建筑用普通混凝土砌块的产量为 1000 万 m^2 , 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 。

在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 年在北京市用烟灰矿渣混凝土作墙板建成 11.5 万 m^2 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。

我国有着用砖砌筑拱和券的丰富经验, 20 世纪 50 年代以来, 又向新的结构形式和大跨度的方向发展。20 世纪 50~60 年代修建了一大批砖拱楼盖和屋盖 (跨度一般在 3.6m 以内), 还建成用作屋盖的 10.5m $\times$ 11.3m 的扁球形砖壳, 16m $\times$ 16m 的双曲扁球形砖薄壳和 40m 直径的圆球形砖壳。湖南大学于 1958 年采用粉煤灰硅酸盐砖和砌块建成 18m 跨的大厅。20 世纪 60 年代在南京采用带钩空心砖建成 14m $\times$ 10m 的双曲扁壳屋盖的实验室, 10m $\times$ 10m 两跨双曲扁壳屋盖的车间, 16m $\times$ 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 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)。

对配筋砌体结构的试验和研究在我国起步较晚。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。1958~1972 年在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 m^2 , 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, 对配筋砌体结构开展了一系列的试验和研究。20 世纪 80 年代主要探讨砖混组合墙及设有构造柱组合砖墙在中高层房屋中的应用, 取得了一定的成果。1984 年中国建筑西北设计院等单位, 首次在西安按 8 度设防要求建成一幢六层住宅, 建筑面积 4356 m^2 , 采用配竖向钢筋空心砖承重墙, 墙厚 240mm。辽宁省建筑设计院设计了一种介于钢筋混凝土框架—填充墙结构体系与带钢筋混凝土构造柱的砖混结构体系之间的“砖混组合墙体体系”。1987 年在沈阳 (7 度区) 共完成 34 幢八层住宅的设计和施工, 共 17 万 m^2 。其墙厚均为 240mm, 1~3 层处, 在房屋外墙每开间设钢筋混凝土 T 形约束柱, 在外墙转角处设 L 形约束柱, 在内纵墙与横墙交接处设十字形约束柱, 在山墙与内纵墙交接处设 T 形约束柱, 在各横墙的中央设矩形约束柱; 在 4 层, 除横墙中央不设矩形约束柱外, 其余作法同上述 1~3 层; 在 5~8 层, 仅沿外墙每开间及内纵墙与横墙交接处设 240mm $\times$ 300mm 的约束柱。此外, 在第 3 层设钢筋混凝土分配梁, 其他层设钢筋混凝土圈梁。20 世纪 90 年代以来, 加快并深化了对配筋混凝土砌块砌体结构的研究和应用, 在吸收和消化国外成果的基础上, 建立了具有中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。图 1-8 为 1997 年在辽宁盘锦建成的 15 层



图 1-8 辽宁盘锦国税局 15 层住宅

配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构住宅房屋，墙厚 190mm，第 1、2 层为全灌孔混凝土砌块砌体，采用 MU20 砌块、Mb20 砂浆、Cb30 灌孔混凝土；第 3~15 层为部分灌孔混凝土砌块砌体，其中第 3~8 层采用 MU15 砌块、Mb15 砂浆、Cb25 灌孔混凝土，第 9~15 层采用 MU10 砌块、Mb10 砂浆、Cb20 灌孔混凝土。墙体水平钢筋配筋率为 0.1%~0.15%，竖向钢筋配筋率为 0.1%~0.35%。该房屋与钢筋混凝土

结构房屋相比节省钢材 43%，降低造价 22%，缩短施工工期三分之一。图 1-9 为 1998 年在上海建成的 18 层（局部 20 层）配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构住宅房屋，墙厚 190mm，为全灌孔混凝土砌块砌体，第 1~3 层采用 MU20 砌块、Mb30 砂浆、Cb40 灌孔混凝土；第 4~18 层采用 MU15 砌块、Mb25 砂浆、Cb35 灌孔混凝土。墙体水平钢筋配筋率为 0.2%~0.41%，竖向钢筋配筋率为 0.4%~0.52%。该房屋与钢筋混凝土结构房屋相比节省钢材 25%，降低造价 7.4%。上述试点建筑建成后，在抚顺和哈尔滨建成框支配筋混凝土砌块砌体剪力墙高层房屋。图 1-10 为 2003 年建成的哈尔滨 18 层阿继科技园，其 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。2007 年在湖南株洲国脉家园小区建成两幢配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构住宅，一幢为 17 层（图 1-11a），另一幢为地上 19 层、地下两层（图 1-11b）。近几年来，配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构在辽宁大庆得到较好的推广应用。位于哈尔滨地上 28 层、地下一层、总高度 98.8m（檐口高度）的科盛科技大厦（办公建筑），其主体于 2013 年 6 月底封顶，系我国首幢百米高的配筋砌块砌体建筑。



图 1-9 上海园南四街坊 18 层住宅



图 1-10 哈尔滨阿继科技园