

西安交通大学“十一五”规划教材
土木工程专业系列教材

砌体结构设计原理

董明海 宋丽 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

西安交通大学“十一五”规划教材

土木工程专业系列教材

砌体结构设计原理

董明海 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是“西安交通大学本科“十一五”教材建设规划”的土木工程教材系列之一。

本书结合我国近年来砌体结构在诸多方面的新发展,阐述了砌体结构的基本理论和设计方法,以及最新科研成果的应用。全书共八章,分别为绪论,砌体的物理力学性能,砌体结构设计方法,无筋砌体结构构件的计算,配筋砌体结构构件的计算,混合结构房屋墙体的设计,墙梁、挑梁及过梁的设计和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“砌体结构”课程的教学用书或参考书,也可供土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

砌体结构设计原理/董明海,宋丽编著. —西安:西安交通大学出版社,2010.2
ISBN 978-7-5605-3436-7

I. ①砌… II. ①董…②宋… III. ①砌块结构-结构设计 IV. ①TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 020418 号

书 名 砌体结构设计原理
编 著 董明海 宋丽
责任编辑 毛帆 桂亮

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西江源印刷科技有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 22.5 字数 413 千字
版次印次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3436-7/TU·39
定 价 35.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

“砌体结构设计原理”是土木工程专业的主要专业课程之一。本教材是根据多年的教学和工程实践经验,按国家现行《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)编写,系统地介绍了砌体结构的基本理论和设计方法,以及最新科研成果的应用。该教材将原理、设计和计算紧密结合,吸收工程实践经验,注重理论联系实际,附以较多实例,培养学生设计、计算等实际应用能力。本教材可作为高等学校土木工程专业“砌体结构”课程的教学用书或参考书。

当学生从材料力学、结构力学等力学课程的学习转到砌体结构等结构课程的学习时,普遍的反应是不适应,感到“内容多、概念多、公式多、构造规定多”,在复习时抓不住要领,不知如何深入。针对上述问题,为了能让在学习本课程时更好地熟悉砌体结构的特点,抓住要点,掌握各章节的基本知识和重点内容,学会分析问题、解决问题的方法和思路,该书在各章中安排了以下几方面的内容:

1. 学习要点。每章前面提出本章学习要点,明确每章的学习目标,以便学生学习该章内容时,清楚学习要求,在全面学习教学内容的基础上,能抓住要点。

2. 本章小结。每章后面给出本章小结,总结、归纳了本章的基本知识和主要内容,以便学生复习和掌握各章的主要知识和重点内容。

3. 计算框图。由于砌体结构计算公式的判别情况多、适用条件多,计算时容易出现判别错误,或遗漏了必要的校核。该书在本章小结中以计算框图的方式说明计算步骤、各种计算情况之间的联系以及控制条件的应用,目的是让学生对计算方法有较全面、系统、形象的了解。该书在每个计算例题中也以计算框图的方式分析解题的方法和思路,引导和培养学生分析、解决问题的能力,并掌握各类砌体结构和构件的设计步骤以及设计方法。

4. 思考题和习题。围绕每章的基本概念和基本内容提出的思考题,目的在于帮助学生加深对基本知识的理解,同时启发学生积极思考,更确切地掌握重点和难点内容。书中给出的各种不同类型结构或构件的计算和设计习题,促使学生熟练应用计算框图分析解题方法和思路,熟练掌握各种类型结构和构件的计算、设计步骤和方法,提高实际应用能力。

董明海负责本书第1、5、6、7、8章的编写,宋丽负责本书第2、3、4章的编写。全书由董明海负责统稿。在本书的编写过程中,齐欢、李明涛、黄东、王琪、徐竟雄、徐宏艳等同学帮助完成了计算框图和计算例题等内容,在此表示感谢,也衷心地感谢童岳生教授对本书的审阅。

因编者水平有限,书中错误和欠妥之处敬请读者批评指正。

编者

2010年2月

第1章 绪论	(1)
1.1 砌体结构发展概况	(1)
1.1.1 古代砌体结构的发展	(1)
1.1.2 近、现代砌体结构的发展	(3)
1.2 砌体结构的特点及应用	(6)
1.2.1 砌体结构的特点	(6)
1.2.2 砌体结构的主要应用范围	(7)
1.3 砌体结构发展展望	(7)
1.4 本章小结	(9)
思考题	(10)
第2章 砌体的物理力学性能	(11)
2.1 砌体材料及其强度等级	(11)
2.1.1 块体材料及其强度等级	(11)
2.1.2 砂浆及其强度等级	(15)
2.1.3 混凝土小型空心砌块砌体砂浆和灌孔混凝土	(16)
2.1.4 材料最低强度等级的要求	(17)
2.2 砌体的类型	(18)
2.2.1 无筋砌体	(18)
2.2.2 配筋砌体	(20)
2.3 砌体的受压性能	(22)
2.3.1 砌体受压破坏特征	(22)
2.3.2 砌体抗压强度的影响因素	(25)
2.3.3 砌体抗压强度表达式	(28)
2.4 砌体的受拉、受弯和受剪性能	(29)
2.4.1 砌体轴心受拉性能	(29)
2.4.2 砌体弯曲受拉性能	(31)
2.4.3 砌体的受剪性能	(32)
2.5 砌体的变形及有关性能	(37)
2.5.1 砌体受压应力—应变关系	(37)

2.5.2 砌体的弹性模量·····	(38)
2.5.3 砌体的剪变模量·····	(40)
2.5.4 砌体的线膨胀系数和收缩率·····	(41)
2.5.5 砌体的摩擦系数·····	(41)
2.6 本章小结·····	(42)
思考题·····	(45)
第3章 砌体结构设计方法 ·····	(46)
3.1 砌体结构设计方法的发展概况·····	(46)
3.2 以概率理论为基础的极限状态设计法·····	(48)
3.2.1 基本概念·····	(48)
3.2.2 设计表达式·····	(52)
3.3 各类砌体的强度标准值和设计值·····	(53)
3.4 本章小结·····	(58)
思考题·····	(60)
第4章 无筋砌体结构构件的计算 ·····	(61)
4.1 受压构件·····	(61)
4.1.1 受压短柱的受力分析·····	(61)
4.1.2 轴心受压长柱的受力分析·····	(64)
4.1.3 偏心受压长柱的受力分析·····	(65)
4.1.4 受压构件承载力计算·····	(69)
4.1.5 双向偏心受压构件·····	(71)
4.1.6 计算例题·····	(73)
4.2 局部受压·····	(77)
4.2.1 砌体局部均匀受压·····	(78)
4.2.2 梁端支承处砌体的局部受压·····	(82)
4.2.3 梁端下设有刚性垫块时砌体的局部受压·····	(85)
4.2.4 梁下设有长度大于 πh_0 的钢筋混凝土垫梁·····	(86)
4.2.5 计算例题·····	(89)
4.3 受拉、受弯和受剪构件·····	(92)
4.3.1 轴心受拉构件·····	(92)

4.3.2 受弯构件	(93)
4.3.3 受剪构件	(93)
4.3.4 计算例题	(94)
4.4 本章小结	(97)
思考题	(102)
习题	(102)
第5章 配筋砌体结构构件的计算	(104)
5.1 横向配筋砖砌体构件	(104)
5.1.1 受压性能	(105)
5.1.2 受压承载力	(106)
5.1.3 构造措施	(108)
5.1.4 计算例题	(108)
5.2 外包式组合砖砌体构件	(112)
5.2.1 外包式组合砖砌体轴心受压构件	(113)
5.2.2 外包式组合砖砌体偏心受压构件	(115)
5.2.3 外包式组合砖砌体构件的构造措施	(117)
5.2.4 计算例题	(118)
5.3 内嵌式组合砖墙	(126)
5.3.1 受压性能与有限元分析	(127)
5.3.2 受压承载力	(129)
5.3.3 构造措施	(129)
5.3.4 计算例题	(130)
5.4 配筋混凝土砌块砌体构件	(131)
5.4.1 配筋混凝土砌块砌体剪力墙、柱轴心受压承载力	(131)
5.4.2 配筋混凝土砌块砌体剪力墙偏心受压正截面承载力	(132)
5.4.3 配筋混凝土砌块砌体剪力墙斜截面受剪承载力	(136)

5.4.4 配钢筋混凝土砌块砌体剪力墙中连梁的承载力	(137)
5.4.5 配钢筋混凝土砌块砌体剪力墙构造措施	(138)
5.4.6 计算例题	(143)
5.5 本章小结	(149)
思考题	(157)
习题	(157)
第6章 混合结构房屋墙体的设计	(159)
6.1 混合结构房屋的组成及结构布置方案	(159)
6.1.1 混合结构房屋的组成	(159)
6.1.2 混合结构房屋的结构布置	(162)
6.2 混合结构房屋的空间受力性能和静力计算方案	(168)
6.2.1 混合结构房屋的空间受力性能	(168)
6.2.2 房屋静力计算方案	(171)
6.2.3 刚性和刚弹性方案房屋的横墙	(173)
6.3 混合结构房屋墙、柱高厚比的要求	(175)
6.3.1 墙、柱的计算高度 H_0	(175)
6.3.2 允许高厚比及高厚比的影响因素	(176)
6.3.3 墙、柱高厚比验算	(177)
6.3.4 计算例题	(180)
6.4 混合结构房屋墙、柱的计算	(184)
6.4.1 计算单元、控制截面和荷载	(184)
6.4.2 刚性方案房屋墙、柱的计算	(188)
6.4.3 弹性方案房屋墙、柱的计算	(193)
6.4.4 刚弹性方案房屋墙、柱的计算	(195)
6.4.5 计算例题	(198)
6.5 混合结构房屋地下室墙体的计算	(209)
6.5.1 计算简图	(210)
6.5.2 荷载计算	(211)
6.5.3 内力计算和控制截面内力组合	(212)



6.5.4	截面承载力验算	(213)
6.5.5	计算例题	(213)
6.6	混合结构房屋墙、柱的构造要求	(216)
6.6.1	墙、柱的一般构造要求	(217)
6.6.2	防止或减轻墙体开裂的主要措施	(221)
6.7	本章小结	(232)
	思考题	(239)
	习题	(240)
第7章	墙梁、过梁及挑梁的设计	(244)
7.1	墙 梁	(244)
7.1.1	概述	(244)
7.1.2	墙梁的受力性能及破坏形态	(245)
7.1.3	墙梁的一般规定	(253)
7.1.4	墙梁的计算简图及荷载	(254)
7.1.5	使用阶段墙梁承载力计算	(256)
7.1.6	施工阶段墙梁承载力验算	(259)
7.1.7	墙梁的构造要求	(259)
7.1.8	计算例题	(260)
7.2	过 梁	(266)
7.2.1	过梁的类型及其适用范围	(266)
7.2.2	过梁的破坏特征	(267)
7.2.3	过梁上的荷载	(268)
7.2.4	过梁的承载力计算	(269)
7.2.5	过梁的构造要求	(270)
7.2.6	计算例题	(270)
7.3	挑 梁	(273)
7.3.1	挑梁的分类	(274)
7.3.2	挑梁的受力性能及破坏形态	(274)
7.3.3	挑梁的设计计算	(276)
7.3.4	挑梁的构造要求	(279)

7.3.5 计算例题	(279)
7.4 本章小结	(282)
思考题	(286)
习题	(287)
第8章 砌体结构房屋抗震设计	(289)
8.1 砌体结构房屋的主要震害	(289)
8.1.1 概述	(289)
8.1.2 震害及分析	(290)
8.1.3 震害特点	(291)
8.2 砌体结构房屋抗震设计的一般规定和构造措施	(292)
8.2.1 抗震设计的一般规定	(292)
8.2.2 抗震构造措施	(296)
8.3 砌体结构房屋抗震计算	(303)
8.3.1 计算简图	(304)
8.3.2 水平地震作用计算	(305)
8.3.3 楼层水平地震剪力在各墙体间的分配	(306)
8.3.4 墙体抗震承载力验算	(311)
8.3.5 计算例题	(313)
8.4 配筋砌块砌体剪力墙抗震设计	(321)
8.4.1 配筋砌块砌体剪力墙房屋抗震设计的一般规定	(321)
8.4.2 配筋砌块砌体剪力墙抗震计算	(323)
8.4.3 配筋砌块砌体剪力墙房屋抗震构造措施	(326)
8.4.4 计算例题	(329)
8.5 底部框架多层砌体结构房屋抗震设计要点	(334)
8.5.1 抗震设计的一般规定	(334)
8.5.2 计算要点	(335)
8.5.3 构造要求	(337)
8.6 多层多排柱内框架房屋抗震设计要点	(338)
8.6.1 抗震设计的一般规定	(339)

8.6.2 计算要点	(339)
8.6.3 构造要求	(340)
8.7 本章小结	(340)
思考题.....	(344)
习题.....	(345)
参考文献	(346)

第①章

绪 论

学习要点:

- (1) 了解砌体结构的发展概况和展望;
- (2) 掌握砌体结构的特点和应用。

1.1 砌体结构发展概况

由各种砖、砌块和石材用砂浆砌筑形成的砖砌体、砌块砌体或石砌体建造的结构,统称为砌体结构。

1.1.1 古代砌体结构的发展

砖和石材是两种古老的土木工程材料,因而砌体结构具有悠久的历史。古代的砌体结构主要用于城墙、拱桥、寺院、佛塔和教堂等。

在我国,砌体结构的应用源远流长。早在五千年前我们的祖先就建造有石砌祭坛和石砌围墙,三千年前(西周时期)就有烧制的黏土瓦和铺地砖,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。秦朝(公元前 221~前 206 年)建造了驰名中外的万里长城(图 1-1),盘山越岭,气势磅礴。建于北魏(公元 523 年)的河南登封嵩岳寺塔,平面为十二边形,共 15 层,总高 43.5 m,为砖砌单筒体结构,是我国最早的密檐式砖塔(图 1-2)。隋代(公元 595~605 年)李春建造的河北赵县的安济桥(赵州桥)(图 1-3),净跨度为 37.37 m,高 7 m 多,宽约 9 m,结构受力合理,造型美观,至今仍完好无损。据考证,它是世界上最早的空腹式单孔圆弧石拱桥;西安大雁塔(图 1-4)、小雁塔(图 1-5)建于唐代。一大批古代建造的佛塔、城墙、砖砌穹拱、石桥和殿堂楼阁等砌体结构,充分展示了中华民族悠久的文明历史。

在国外,砌体结构应用也比较早而且很广泛。埃及在公元前约 3000 年采用块石建成三座大金字塔,工程浩大,气势恢宏。罗马在公元 75~80 年采用石结构建成罗马大角斗场,至今仍供人们参观。公元 532~637 年建于君士坦丁堡的

圣索菲亚大教堂,东西长 77 m,南北长 71.7 m,正中是直径 32.6 m 的穹顶,为全砖砌筑的大跨结构,具有很高的技术水平。

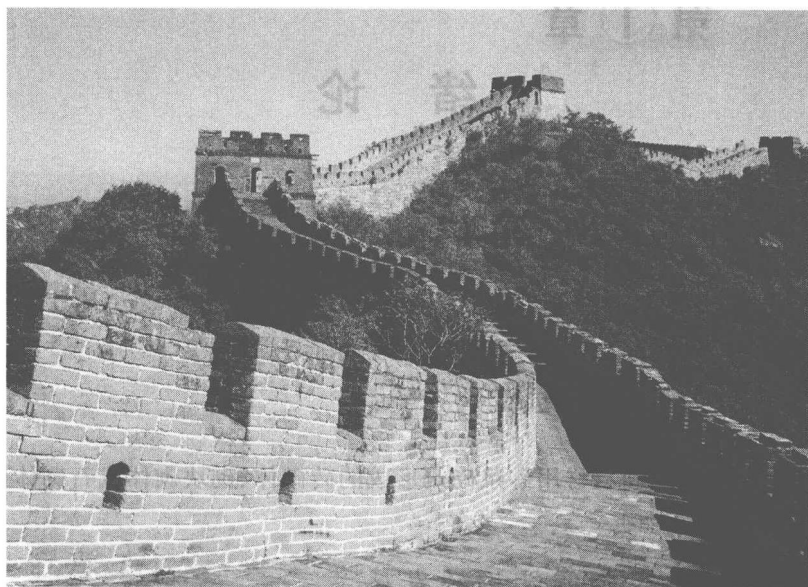


图 1-1 长城

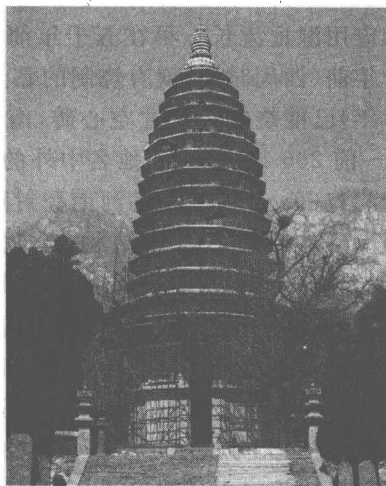


图 1-2 河南登封的嵩岳寺塔图



图 1-3 河北赵县的安济桥(赵州桥)

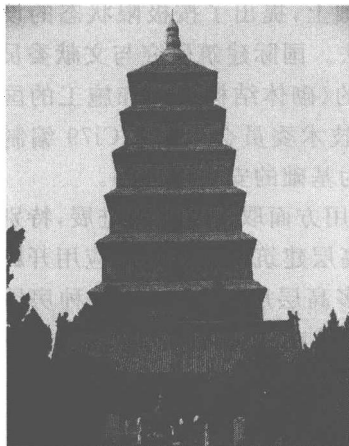


图 1-4 西安的大雁塔

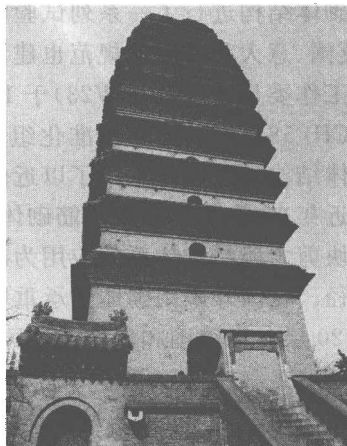


图 1-5 西安的小雁塔

1.1.2 近、现代砌体结构的发展

19 世纪 20 年代水泥的发明使砂浆强度大大提高,促进了砌体结构的发展。尤其是 20 世纪 60 年代以来,砌体结构从材料、计算理论、设计方法到工程应用都有很大发展,已成为被世人重视的一种建筑结构体系。

在国外,20 世纪 60 年代以来,欧美等许多国家研究、生产出了不少性能好、质量高的砌体材料,同时,在砌体结构的理论研究和设计方法上也取得了很多成果,推动了砌体结构的发展。在意大利 55% 的多层住宅采用砖墙承重,砖的抗压强度可达 $30 \sim 60 \text{ MPa}$,空心砖的产量占砖总产量的 $80\% \sim 90\%$,空心率可高达 60%。在瑞士和保加利亚的多层住宅也几乎全部采用空心砖。美国商品砖

的抗压强度为 17.2~140 MPa,最高可达 230 MPa。砌块在国外的发展也相当迅速,在美国、法国和加拿大等国,20 世纪 70 年代砌块的产量已接近普通粘土砖的产量。

目前,欧美及澳大利亚等国的砖的抗压强度一般均可达到 30~60 MPa,且能生产强度高于 100 MPa 的砖。国外采用的砌筑砂浆的强度也较高,美国 ASTM C270 标准规定的 M、S、N 三类水泥石灰混合砂浆抗压强度分别为 25.5 MPa、20 MPa、13.9 MPa,德国的混合砂浆抗压强度为 13.7~41.1 MPa,还可生产高粘结强度砂浆。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,美国及西欧等国 20 世纪 70 年代砖砌体的抗压强度已达 20 MPa 以上,接近或超过普通混凝土的强度。

前苏联是世界上最先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,英国、意大利等国的规范也建议采用该方法。国际建筑研究与文献委员会承重墙工作委员会(CIB·W23)于 1980 年编写的《砌体结构设计和施工的国际建议》(CIB 58),以及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采用了以近似概率理论为基础的安全度准则。

近年来,许多国家在配筋砌体的研究和应用方面取得了较大进展,特别是配筋砌块剪力墙结构体系的应用为砌体结构在高层建筑和地震区的应用开辟了新的途径。在国外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。在美国和新西兰等国,采用配筋砌体在地震区建造的高层房屋可达 13~28 层。

在我国,20 世纪上半叶砌体结构的发展较缓慢,新中国成立以来,随着大规模的经济建设,砌体结构得到迅速发展。在砌体结构应用范围的扩大,新材料、新技术、新结构的研制和推广应用,计算理论和设计方法的逐步完善等方面取得了显著的成绩。

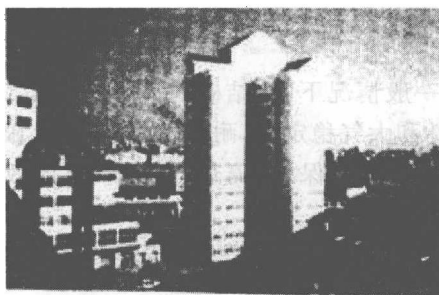
(1) 砌体结构应用范围的扩大

解放以后,我国的砖产量逐年增加,近几年砖的年产量达到世界其他各国年产量的总和,90%以上的墙体均采用砌体材料。我国已从过去用砌体结构建造低矮的民房,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、仓库等建筑和烟囱、筒仓、拱桥、挡土墙等构筑物。通过大量的试验研究和唐山地震的惨痛教训,我国逐步积累、总结出了在地震区采用圈梁和构造柱加强方法建造多层砌体结构房屋的工程经验,并已在多次地震中验证了其合理性。

(2) 新材料、新技术、新结构的研制和推广应用

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,近十年砌块与砌块建筑的年递增量均在 20% 左右。从 60 年代末提出墙体材料革新至今,我国新型墙体材料有了显著的发展。采用混凝土、轻集料混凝土,以及利用各种工业废料、粉煤灰、煤矸石等制成的非烧结混凝土砌块代替烧结粘土砖,既保留了砖结构取材广泛、施工方便、造价低廉等特点,又具有强度高、延性好、不毁坏耕地、能耗较低和环保等特性。2000 年我国新型墙体材料占墙体材料总量的 28%,产量达到 2100 亿块,共完成建筑面积 3.3 亿平方米,完成节能建筑 7470 万平方米,累计节约耕地 4 万公顷,节约能耗 6000 万吨标准煤,利用工业废渣 3.2 亿吨,减少了一氧化硫和氮氧化物等有害气体排放。

20 世纪 90 年代以来,在借鉴国外配筋砌体结构成果的基础上,通过试验研究和工程实践,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建筑及其在地区的应用。现已建成数幢配筋混凝土砌块砌体剪力墙结构的高层房屋,如辽宁盘锦国税局 15 层住宅(1997 年)和上海南四街坊 18 层住宅(1998 年),如图 1-6。



(a) 辽宁盘锦国税局 15 层住宅(1997 年)



(b) 上海南四街坊 18 层住宅(1998 年)

图 1-6 配筋砌块砌体剪力墙结构高层房屋

(3) 计算理论和设计方法的逐步完善

解放前,我国建造的砌体结构房屋多为低层民用建筑,凭经验设计不作计算。解放初,我国批准使用的是前苏联的属于定值极限状态设计法的规范《砖石与钢筋砖石结构设计标准及技术规范》(HhTy120—55)。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大量的较为系统的试验研究和理论探索,总结了一套具有我国特色、比较先进的砌体结构理论、计算方法和系列构造措施。《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,该规范采用多系数分析、单系数表达的半经验半概率极限状态设计法。《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)采用