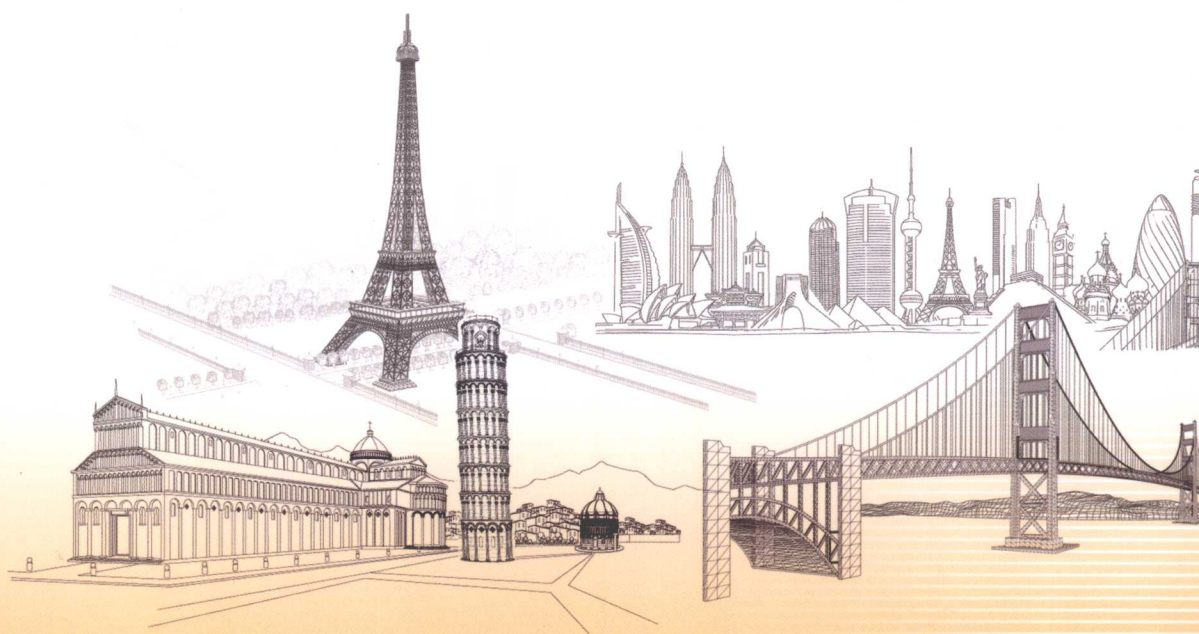




高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材

砌体结构

■ 主 编 蒋建清 郭光玲



武汉理工大学出版社

014035471

TU36

28

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材

砌体结构

主 编 蒋建清 郭光玲
副主编 王 赞 夏多田



武汉理工大学出版社



北航

01722870

TU 36

28

内 容 简 介

本书结合我国近年来砌体结构和墙体材料改革的发展方向,主要依据《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)及高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写。全书共8章,主要包括绪论,砌体结构的设计方法,砌体材料及其力学性能,混合结构房屋的结构分析及其墙体设计,无筋砌体构件,配筋砌体构件,砌体结构墙体中的圈梁、过梁、挑梁及墙梁,以及多层砌体结构房屋抗震设计简述等内容。各章均附有小结、思考题和习题。

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

图书在版编目(CIP) 数据

砌体结构/蒋建清,郭光玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2014.1
ISBN 978-7-5629-4220-7

I. ①砌… II. ①蒋… ②郭… 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(2014)第 014801 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:陈 平

责任校对:向玉露

装帧设计:牛 力

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.5

字 数:359 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版

印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:28.00 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:027-87785758 87384729 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

前 言

本书为“卓越工程师”教育“十二五”规划系列教材之一,以高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》为引领,主要参照《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《砌体结构工程施工质量验收规范》(GB 50203—2011)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等新规范和新标准编写。

本书结合我国近年来砌体结构和墙体材料改革的发展方向,着重阐述现行《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)的相关内容和实际工程中经常遇到的问题,主要介绍了砌体结构的设计方法,砌体材料及其力学性能,混合结构房屋的结构分析及其墙体设计,无筋砌体构件,配筋砌体构件,砌体结构墙体中的圈梁、过梁、挑梁及墙梁,以及多层砌体结构房屋抗震设计简述等内容。并适当对接一级注册结构工程师考试中关于砌体结构部分的要求,重视对工程设计能力的培养,满足卓越工程师的培养要求。本书各章均配套有各类设计例题、思考题和习题,以便于学生加深对本书内容的理解,提高学生的学习兴趣和解决实际问题的能力。

本书由蒋建清和郭光玲任主编,王赟、夏多田任副主编。各章编写分工如下:湖南城市学院蒋建清编写第1章和第2章;陕西理工学院郭光玲编写第4章;石河子大学夏多田编写第3章和第8章;陕西理工学院王赟编写第6章;石河子大学高丽编写第7章;石家庄铁道大学刘杰编写第5章。全书由蒋建清博士统一修订定稿。

本书编写过程中,得到湖南城市学院、武汉理工大学出版社、陕西理工学院、石河子大学、石家庄铁道大学等单位的关心和大力支持,并参考和引用了一些书刊和文献。谨此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限和编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者和同行专家批评指正,以便不断修订完善。

编 者

2013年10月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 砌体结构的优缺点	(1)
1.1.1 砌体结构的优点	(1)
1.1.2 砌体结构的缺点	(1)
1.2 砌体结构的国内外应用和发展方向	(2)
1.2.1 砌体结构发展简史	(2)
1.2.2 砌体结构在国内的应用	(3)
1.2.3 砌体结构在国外的应用	(6)
1.2.4 砌体结构的发展方向	(7)
1.3 本课程的主要内容和学习要求	(8)
1.3.1 本课程的主要内容	(8)
1.3.2 本课程的学习要求	(9)
本章小结	(10)
思考题	(10)
2 砌体结构的设计方法	(11)
2.1 砌体结构设计标准的历史回顾	(11)
2.1.1 第一阶段	(11)
2.1.2 第二阶段	(11)
2.1.3 第三阶段	(12)
2.1.4 第四阶段	(12)
2.2 极限状态设计法	(13)
2.2.1 砌体结构承载能力极限状态设计	(13)
2.2.2 砌体结构作为刚体时的整体稳定性验算	(17)
本章小结	(17)
思考题	(17)
3 砌体材料及其力学性能	(18)
3.1 砌体材料及其强度等级	(18)
3.1.1 砖及其强度等级	(18)
3.1.2 砌块及其强度等级	(21)
3.1.3 石材及其强度等级	(22)
3.1.4 砂浆及其强度等级	(23)
3.2 砌体的力学性能	(25)
3.2.1 砌体的种类	(25)

3.2.2	砌体的受压性能	(28)
3.2.3	砌体的受拉性能	(33)
3.2.4	砌体的受弯性能	(34)
3.2.5	砌体的受剪性能	(35)
3.3	砌体的计算指标	(37)
3.3.1	砌体的抗压强度设计值	(38)
3.3.2	砌体的抗拉强度设计值	(41)
3.3.3	砌体的抗剪强度设计值	(42)
3.3.4	砌体的强度设计值调整	(42)
3.4	砌体的其他性能	(42)
3.4.1	砌体的弹性模量与剪变模量	(43)
3.4.2	砌体的线膨胀系数和干缩变形	(45)
3.4.3	砌体的摩擦系数	(45)
	本章小结	(46)
	思考题	(46)
4	混合结构房屋的结构分析及其墙体设计	(48)
4.1	混合结构房屋的组成及其结构布置方案	(48)
4.1.1	混合结构房屋的组成	(48)
4.1.2	混合结构房屋的结构布置	(48)
4.2	房屋的静力计算方案	(50)
4.2.1	混合结构房屋的空间工作性能	(50)
4.2.2	房屋静力计算方案的分类	(52)
4.2.3	刚性方案和刚弹性方案的横墙	(53)
4.3	墙、柱的高厚比验算	(55)
4.3.1	允许高厚比	(55)
4.3.2	高厚比验算	(56)
4.3.3	高厚比验算实例	(59)
4.4	单层房屋墙体的静力计算	(62)
4.4.1	单层刚性方案房屋承重纵墙的计算	(62)
4.4.2	单层弹性方案房屋承重纵墙的计算	(64)
4.4.3	单层刚弹性方案房屋承重纵墙的计算	(65)
4.4.4	计算实例	(67)
4.5	多层房屋墙体计算	(71)
4.5.1	多层刚性方案房屋承重纵墙的计算	(71)
4.5.2	多层刚性方案房屋承重横墙的计算	(74)
4.5.3	多层弹性方案房屋的计算	(75)
4.5.4	多层刚弹性方案房屋的计算	(75)
4.5.5	计算实例	(76)

4.6	上柔下刚和上刚下柔的多层房屋计算	(82)
4.6.1	上柔下刚多层房屋的计算	(82)
4.6.2	上刚下柔多层房屋的计算	(82)
4.7	地下室墙体计算	(82)
4.7.1	地下室墙体的荷载	(83)
4.7.2	地下室墙体的计算简图	(84)
4.7.3	地下室墙体的内力计算及截面验算	(85)
4.7.4	地下室墙体施工阶段抗滑移验算	(85)
4.7.5	计算实例	(85)
4.8	墙体的一般构造要求	(89)
4.8.1	一般构造要求	(89)
4.8.2	防止或减轻墙体开裂的主要措施	(94)
	本章小结	(104)
	思考题	(105)
	习题	(105)
5	无筋砌体构件	(106)
5.1	受压构件的承载力	(106)
5.1.1	受压短柱的承载力	(106)
5.1.2	受压长柱的承载力	(109)
5.1.3	单(双)向偏心受压构件的承载力	(114)
5.1.4	计算实例	(117)
5.2	局部受压构件的承载力	(120)
5.2.1	砌体局部均匀受压承载力	(120)
5.2.2	梁端支承处砌体的局部受压承载力	(124)
5.2.3	梁端设有刚性垫块的砌体局部受压承载力	(127)
5.2.4	梁端设有长度大于 πh_0 垫梁时的砌体局部受压承载力	(129)
5.2.5	计算实例	(131)
5.3	轴心受拉、受弯和受剪构件	(134)
5.3.1	轴心受拉构件的承载力	(134)
5.3.2	受弯构件的承载力	(135)
5.3.3	受剪构件的承载力	(135)
5.3.4	计算实例	(136)
	本章小结	(137)
	思考题	(138)
	习题	(139)
6	配筋砌体构件	(141)
6.1	网状配筋砖砌体受压构件	(141)
6.1.1	适用范围和受压性能	(141)

6.1.2	承载力计算	(142)
6.1.3	构造要求	(144)
6.1.4	计算实例	(145)
6.2	组合砖砌体受压构件	(146)
6.2.1	适用范围和受压性能	(147)
6.2.2	承载力计算	(147)
6.2.3	构造要求	(149)
6.2.4	计算实例	(150)
6.3	砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	(152)
6.3.1	适用范围和受压性能	(152)
6.3.2	轴心受压承载力计算	(153)
6.3.3	构造要求	(153)
6.3.4	计算实例	(154)
6.4	配筋砌块砌体构件	(154)
6.4.1	适用范围	(154)
6.4.2	正截面受压承载力	(155)
6.4.3	斜截面受剪承载力	(157)
6.4.4	构造要求	(158)
6.4.5	计算实例	(161)
本章小结		(161)
思考题		(162)
习题		(162)
7	砌体结构墙体中的圈梁、过梁、挑梁及墙梁	(163)
7.1	圈梁	(163)
7.1.1	圈梁的设置要求	(163)
7.1.2	圈梁的构造要求	(163)
7.2	过梁	(164)
7.2.1	过梁的荷载	(165)
7.2.2	砖砌过梁设计	(166)
7.2.3	钢筋混凝土过梁设计	(169)
7.3	挑梁	(171)
7.3.1	挑梁的受力性能	(171)
7.3.2	挑梁的计算	(172)
7.3.3	挑梁的构造要求	(175)
7.3.4	计算实例	(175)
7.4	墙梁	(176)
7.4.1	墙梁的类型及其受力性能	(178)
7.4.2	墙梁的计算	(182)

7.4.3 墙梁的构造要求	(185)
7.4.4 计算实例	(186)
本章小结	(194)
思考题	(194)
习题	(195)
8 多层砌体结构房屋抗震设计简述	(197)
8.1 混合结构房屋的震害及抗震构造措施	(197)
8.1.1 混合结构房屋的震害	(197)
8.1.2 多层砖砌体房屋的抗震构造措施	(200)
8.1.3 多层砌块砌体房屋的抗震构造措施	(203)
8.2 多层混合结构房屋的抗震验算	(205)
8.2.1 确定结构计算简图	(205)
8.2.2 水平地震作用的计算	(206)
8.2.3 楼层地震剪力在各墙体间的分配	(208)
8.2.4 墙体抗震抗剪强度验算	(212)
8.2.5 计算实例	(215)
本章小结	(220)
思考题	(220)
参考文献	(221)

1 绪 论

采用砂浆将砖、石或砌块等块体砌筑而成的整体称为砌体。由砌体组成的墙、柱等构件作为建筑物或构筑物主要受力构件的结构称为砌体结构,它包括砖结构、石结构和其他材料的砌块结构。砌体结构常分为无筋砌体结构和配筋砌体结构。由于过去大量应用的是砖砌体和石砌体,所以习惯上称之为砖石结构。

1.1 砌体结构的优缺点

1.1.1 砌体结构的优点

砌体结构在我国应用很广泛,其广泛应用与其具有下列主要优点是分不开的。

(1) 取材方便

砌体结构材料来源广泛,易于就地取材。对于砌体的块材而言,石材、黏土、页岩和砂等天然材料,在我国各地分布广泛,取材方便。此外,煤矸石、矿渣和粉煤灰等工业废料都是制作块材的原料,均可就近取得,用来生产砌体块材有利于节能环保。对于砂浆而言,石灰、水泥、砂和黏土等原料亦来源方便,价格低廉。

(2) 性能良好

砖、石或砌块砌体具有良好的耐火性,一般而言,砌体可以耐受 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的高温。砌体结构具有很好的耐久性、较好的化学稳定性和大气稳定性,使用年限长。砖墙和砌块墙体的隔热和保温性能好,节能效果明显。砌体结构既是较好的承重结构,也是较好的围护结构。

(3) 节省材料,工程造价低

砌体砌筑时通常不需要模板和特殊的施工设备,可以节省木材。较钢筋混凝土结构能节约水泥和钢材,因而,工程造价较低。

1.1.2 砌体结构的缺点

(1) 强度低,自重大,延性差

与钢和混凝土相比,砌体的强度较低。因而砌体结构墙、柱构件的截面尺寸较大,材料用量多,结构自重大。这也致使地震作用下在砌体结构中引起的惯性力增大,不利于结构抗震。建议采用高强轻质的块体材料,可有效减少砌体结构构件的截面尺寸和自重。

砌筑砂浆和砖、石及砌块等块体之间的黏结力较弱,因此,无筋砌体的抗拉、抗剪和抗弯强度都很低,因而结构的延性差,其抗震及抗裂性能不良,使砌体结构的应用受到限制。需采用配筋砌体,增加构造柱、圈梁及其他拉结等构造措施以提高砌体结构延性和抗倒塌

能力。

(2) 砌体结构砌筑工作量繁重

一般民用砖混结构住宅楼,砌筑工作量要占整个施工工作量的 25% 以上。而且,砌体结构的砌筑基本上是手工方式,施工劳动量大,生产效率低,砌筑工人十分辛苦。因此,有必要发展大型砌块、振动砖墙板、混凝土空心墙板以及大型预制板材,通过采取工业化生产和机械化施工方式,以减少砌筑劳动量。

(3) 黏土砖生产占地多

砖砌体结构所用的黏土砖用量大,往往占用农田土地,使我国人口多、耕地少的矛盾更加突出,影响农业生产,不利于“节地和环境保护”。因此,要加大利用工业废料生产砌块(如粉煤灰砖、煤矸石砖和煤渣砖)的发展力度或者用混凝土空心砌块代替黏土红砖,以缓解砌块生产占用耕地的问题。

1.2 砌体结构的国内外应用和发展方向

1.2.1 砌体结构发展简史

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石块和土块等块材。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利用乱石发展为加工块石,从土坯发展为烧结砖瓦,出现了最早的砌体结构。

砌体结构的发展大致分为三个阶段:

(1) 19 世纪中叶以前,砖石结构主要为城墙、佛塔、神庙、教堂、石桥及砖石砌穹拱。

考古资料表明,我国在新石器时代末期(距今 4 500~6 000 年)已有木构架和木骨泥墙建筑。公元前约 2 000 年的夏代已有夯土的城墙建筑。商代(公元前 1600—公元前 1046 年)以后逐渐开始使用黏土做成的板筑墙。我国生产和使用烧结砖瓦也有 3 000 多年的历史。在西周时期(公元前 1046—公元前 771 年)已能烧制砖瓦,在战国时期(公元前 475—公元前 221 年)已能烧制大尺寸空心砖。秦朝(公元前 221—公元前 206 年)修筑的万里长城,盘山越岭,气势磅礴,在砌体结构史上写下了光辉的一页,为人类在地球上留下一大奇观。到了西汉时期(公元前 206—公元 25 年),人们已能砌筑空斗墙壁、角拱券顶及砖穹窿顶等。到了南北朝时期,砖的使用已经较为普遍了。北魏时期(公元 386—534 年)出现了完全用砖砌筑的塔,如河南登封的嵩岳寺塔,是我国现存最古老的砖塔之一。始建于北齐(公元 550—577 年)的河南开封铁塔,采用异型琉璃砖砌筑,该塔经历数次地震、冰灾和雨灾,至今依然耸立。隋朝(公元 581—618 年)李春建造的河北赵县安济桥,距今约有 1400 年的历史,是世界上最早的一座空腹式石拱桥,1991 年安济桥被美国土木工程师学会(ASCE)选为国际历史上第 12 个土木工程里程碑。始建于唐代(公元 618—907 年)的大雁塔现今已成为西安市的标志性建筑和著名古迹,是古城西安的象征,是中国楼阁式砖塔的优秀典型。明代(公元 1368—1644 年)建造的南京灵谷寺和苏州开元寺中的无梁

殿,都是我国应用砖砌穹拱结构的经典工程案例。

世界上许多文明古国应用砌体结构的历史也相当久远。公元前 2723—公元前 2563 年间,在尼罗河三角洲的古萨建成的三座大金字塔,为精确的正方锥体,其中最大的胡夫金字塔,塔高 146.6 m,底边长 230.60 m,用重 25 kN 的石块约 230 万块砌成。公元前 447—公元前 438 年建造的帕提农神庙是古希腊最著名的石建筑,世界七大奇迹之一,古典艺术的巅峰,被认为是多立克式建筑艺术的典范。公元 70—82 年建成的古罗马大斗兽场,采用块石结构,平面为椭圆形,可容纳观众 5 万~8 万人。公元 120—124 年兴建的古罗马万神庙,其砖砌穹顶直径 43 m 的记录直到 20 世纪还未被打破。兴建于 1163 年、正式完工于 1345 年的巴黎圣母院是石砌哥特式大教堂,中央尖塔高 90 m,正面为立方形,是欧洲建筑史上一个具有划时代意义的标志。

(2) 19 世纪中叶到 20 世纪中叶,人们开始广泛采用黏土砖建造房屋承重墙。自 19 世纪 20 年代发明了水泥后,由于水泥砂浆的应用,砌体质量得以提高,一般的房屋结构逐渐采用砖墙承重,从而更广泛、更充分地发挥了砌体材料的作用。而且,随着混凝土的运用,人们开始制作混凝土砌块,并用于建造砌体房屋。最早的混凝土砌块于 1882 年问世,美国于 1897 年建成第一幢砌体建筑。

这一阶段对砌体结构的设计按容许应力法粗略计算,其静力分析还没有较为正确的理论依据,砌体结构的发展仍较为缓慢。

(3) 1950 年至今,人们广泛采用砖砌筑多层房屋,扩大了砖石结构的应用范围,并采用新材料和新技术(如建造砖薄壳,采用蒸压灰砂砖和粉煤灰砖、混凝土空心砖,采用各种配筋砌体和大型墙板等),砌体结构进入设计理论、材料技术及建造技术全面发展的阶段。

1.2.2 砌体结构在国内的应用

我国自新中国成立以来,砌体结构得到迅速发展,取得了显著的成就。其主要特点是:砌体结构应用范围不断扩大;砌体新材料、新技术和新结构不断研制和使用;砌体结构分析理论和计算方法逐步完善。

(1) 砌体结构应用范围不断扩大

新中国成立以来我国砖的产量逐年增长,近年来我国砖年产量已为世界其他各国砖年产量的总和,全国采用砌体作墙体材料建造的各类房屋仍占很大比例。

在办公、住宅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 3~4 层,现在已为 5~6 层,不少城市一般建到 7~8 层,配筋砌块剪力墙结构房屋可建 8~18 层。重庆市在 20 世纪 70 年代建成了高达 12 层的、以砌体承重的住宅。在福建的泉州、厦门和其他一些产石地区,建成了不少以毛石或料石作承重墙的房屋,层数达到 6 层。

20 世纪 60—70 年代,中小型单层工业厂房和多层轻工业厂房及影剧院、食堂、仓库等建筑,也曾广泛采用砖墙、柱承重结构和围护结构。

我国也积累了在地震区建造砌体结构房屋的宝贵经验。唐山地震后,按抗震规范设计的砌体结构房屋在多次地震中经受住了考验。经震害调查和研究表明:地震烈度在六度以下的地区,一般的砌体结构房屋均能经受地震的考验;若按抗震设计要求进行改进和

处理,则可在七度、八度和九度设防区建造砌体结构的房屋。

砖石结构还用于建造各种构筑物。如在镇江市建成了顶部外径 2.18 m、底部外径 4.78 m、高 60 m 的砖烟囱,用料石建成高达 80 m 的排气塔;在湖南建造了高 12.4 m、直径 6.3 m、壁厚 240 mm 的砖砌粮仓;在福建用毛石建造了横跨云霄、东山两县的大型引水工程,其中陈岱渡槽全长 440 m、高 20 m,槽支墩共 258 座,工程规模宏大。

此外,砌体结构在交通运输和水利工程中也得到了广泛应用。如我国在古代建桥技术的基础上,于 1959 年建成跨度 60 m、高 52 m 的石拱桥,接着又建成了最大跨度达 120 m 的敞肩式现代公路桥——湖南鸟巢河大桥;1964 年修建成昆铁路时,在四川大渡河畔建成了我国跨度最大的铁路石拱桥。

(2) 砌体新材料、新技术和新结构不断研制和使用

近年来,随着我国墙体材料革新和建筑节能工作的进展,原有的高耗能、施工周期长、耗费土地资源的墙体材料逐渐被新型墙体材料所代替。

20 世纪 60 年代以来,我国黏土空心砖(多孔砖)的生产和应用有了较大的发展。空心砖(多孔砖)可与实心砖强度等效,但可减轻自重、减小墙厚、节省砂浆且砌筑工时少、墙体造价降低,是当前重点推广项目的项目。此外,已生产出 DM 型模数多孔砖,在坯体改性、提高孔洞率和提高施工速度等方面已经有了成效。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。《多孔砖砌体结构技术规范》(JGJ 137—2001)和《烧结多孔砖和多孔砌块》(GB 13544—2011)等标准的相继颁布,为空心砖(多孔砖)的推广创造了条件。

混凝土小型空心砌块已有 100 多年历史,20 世纪 60 年代开始在我国南方城乡逐步得到推广应用,取得了显著的社会效益和经济效益。改革开放以来,建筑砌块不仅在广大乡镇普及,在一些大中城市也迅速推广,而且应用的项目从低层向多层甚至中高层发展,其功能也从单一功能型发展为多功能型(如承重、保温、装饰相结合)。按照有关方面的规划,21 世纪我国建筑砌块事业要逐渐进入成熟发展的阶段。近年来,采用硅、轻集料硅或加气硅,以及利用河砂、各种工业废料、粉煤灰、煤矸石等制成水泥煤渣混凝土砌块或蒸压灰砂砖、粉煤灰硅酸盐砌块等在我国有较大的发展。砌块种类、规格较多,其中以中、小型砌块较为普遍,在小型砌块中又开发出多种强度等级的承重砌块和装饰砌块。1958 年建成采用砌块作墙体的房屋,经过四十多年的实践,砌块墙体已成为我国墙体革新的重要有效途径之一。砌块作为黏土砖的主要替代材料,在某些功能上强于黏土砖,发展前景很好。

随着砌体结构的广泛应用,新结构形式也有较快发展,从过去单一的墙砌体承重结构发展为大型墙板、内框架结构、底层框架结构、内浇外砌及挂板等结构形式。我国在 20 世纪 50—70 年代,采用预制大型墙板建造多层住宅,如采用振动砖墙板,烟灰煤渣、矿渣混凝土墙板建造了几十万平方米的建筑。近年来,清华大学开展了采用混凝土核心筒进行砌体外墙的多层大开间混合结构的试验研究和小规模试点工程,在改进和扩展砌体结构的性能和应用范围方面作了有益的探索。

在大跨度的砌体结构方面,近几十年来也有新的发展,出现了以砖砌体建造的屋面、

楼面结构。20 世纪五六十年代曾建造一大批砖拱楼盖和屋盖,有双曲扁球形砖壳屋盖、双曲砖扁壳楼盖,还有采用带钩的空心砖建成的双曲扁壳屋盖,其跨度达到 16 m。

我国在配筋砖砌体和约束砖砌体结构方面的研究和应用也取得了一定的成绩。20 世纪 60 年代衡阳和株洲一些房屋的部分墙、柱采用网状配筋砌体承重,节省了钢材和水泥。1958—1972 年期间,徐州采用配筋砖柱建造了一批 12~24 m 的单层厂房,使用情况良好。20 世纪 70 年代以来,我国对设置构造柱和圈梁的约束砌体进行了一系列的试验研究,其成果已列入我国抗震设计规范。在此基础之上,通过在砖墙中加大、加密构造柱形成强约束砌体的中高层结构的研究取得了可喜的成果,获得了较好的经济效益。

我国还逐步开展了配筋混凝土砌块剪力墙结构的研究与工程应用。配筋混凝土砌块剪力墙结构利用配筋砌块剪力墙承受结构的竖向和水平荷载作用,是结构的承重和抗侧力构件,可以用于大开间和高层建筑结构。我国自 20 世纪 80 年代初期主持编制国际标准《配筋砌体结构设计规范》时,就开始对配筋砌块砌体进行较为系统的试验研究,结果表明用配筋砌块砌体可建造一定高度的、既经济又安全的建筑结构。如配筋砌块高层建筑有首钢 18 层配筋砌块住宅、辽宁抚顺 16 层配筋砌块住宅、哈尔滨 18 层配筋砌块住宅等。可见,配筋混凝土砌块砌体中高层建筑的研究和应用具有十分广阔的前景,砌块中高层结构将是经济可靠的首选结构体系。为满足我国建设需要,配筋砌块砌体剪力墙中高层、高层结构体系已经被列入《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011),并明确其设计方法、计算公式及构造要求。

针对砌体材料抗压强度高而受拉、受弯性能弱的特点,在砌体中加入一定数量钢筋以承受拉力或约束作用,逐步形成了预应力砌体结构技术。这种结构形式具有强度高、抗震耗能性好、抗裂性好、施工便捷、性价比高的优点。国内直到 20 世纪 90 年代,才开始预应力砌体结构的研究。近年来,国内许多研究人员对预应力砌体结构的抗震性能、抗裂性能、预应力损失、预应力砌体施工构造、承载力计算等问题进行了试验和理论研究,为预应力砌体的设计、施工提供了理论基础。

随着“十一五”规划中建设节约型社会目标的提出,建筑墙体节能技术也成为建筑行业的发展热点。我国砌体结构节能墙体模式主要有外墙外保温、外墙内保温、复合保温夹芯墙以及自保温体系。目前,我国在砌体结构节能技术方面的研究取得了一定成绩,如:逐步建立符合建筑墙体节能要求的规范标准体系;框架结构外墙保温体系中冷热桥的处理技术;砌体外墙各种保温形式的热工性能研究;自保温体系砌块墙体的力学性能研究;复合夹芯墙体拉结件的连接强度及耐久性研究;新型保温墙材的力学性能及热工性能分析;保温节能措施与防墙体“裂、漏”一体化技术。

(3) 砌体结构分析理论和计算方法逐步完善

新中国成立以前,我国建造的砌体结构房屋主要是住宅和办公楼等低层民用建筑,基本是凭经验设计,缺乏可靠的理论计算与分析,往往根据房屋的层数选定砌体墙的厚度。新中国成立以后,经过长期的工程实践和科学研究,我国逐步建立了一套较完整的砌体结构计算理论和设计方法,制定了符合我国国情的砌体结构设计和施工规范。

原国家建设委员会(简称“建委”)于 1956 年批准在我国推广应用苏联《砖石及钢筋砖

石结构设计标准和技术规范》。20 世纪 60 年代至 70 年代初,在全国范围内对砖石结构进行了较大规模的试验研究和调查。在此基础上于 1973 年颁布了国家标准《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73),这是我国第一部砖石结构设计规范。从此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 年代末期,我国对砌体结构进行了第二次较大规模的试验研究,在砌体结构的设计方法、多层房屋的空间工作性能、墙梁的协同工作以及砌块的力学性能和砌块房屋的设计方面取得了新的成绩。此外对配筋砌体、构造柱和砌体房屋的抗震性能也进行了许多试验研究。相继颁布了《中型砌块建筑设计与施工规程》(JGJ 5—80)、《混凝土小型空心砌块建筑设计与施工规程》(JGJ 14—82)、《冶金工业厂房钢筋混凝土墙梁设计规程》(YS 07—79)、《多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程》(JGJ 13—82)等,特别是《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)的颁布使我国砌体结构设计理论和方法趋于完善。

《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)颁布后,我国进入了对砌体结构的第三次较大规模研究阶段。如 1995 年颁布实施的《混凝土小型空心砌块建筑技术规程》(JGJ/T 14—95),扩大了混凝土小型空心砌块在地震区的应用范围。1999 年颁布实施的《砌体工程施工及验收规范》(GB 50203—98)取代了《砖石工程施工及验收规范》(GBJ 203—83)。1998 年在总结新的科研成果和工程经验的基础上,对砌体结构设计规范进行全面修订,并于 2002 年颁布实施《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)。

近年来,为适应我国经济建设的可持续发展的要求,以及满足墙体材料革新、建筑节能、环境保护、提高砌体结构建筑抵抗自然灾害能力的需要,相关部门和机构针对近十年来我国砌体材料和结构体系的发展,结合我国节能减排、墙体革新、推广低碳绿色建筑的政策,及砌体结构基本理论和工程应用的新成果,对已有砌体结构设计规范进行了修订。于 2012 年颁布实施《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011),它标志着我国砌体结构领域的技术与发展进入了一个全新的层次,对推广砌体结构新材料、新技术,提高砌体结构设计水平,增强砌体结构抵御灾害的能力,保证砌体结构质量具有重大意义。

1.2.3 砌体结构在国外的应用

在国外,砌体结构和钢结构、钢筋混凝土结构一样,从砌体材料、砌体结构计算理论、设计方法到工程应用等方面都得到了一定的进展。1891 年在美国芝加哥建造了一幢 17 层砖房,由于当时的技术条件限制,底层承重墙厚 1.8 m。而于 1957 年在瑞士苏黎世采用强度为 58.8 MPa、空心率为 28% 的空心砖建成了一幢 19 层塔式住宅,墙厚才 380 mm,这一现象引起了各国结构工程师的重视。随后,欧美各国加强了对砌体结构材料的研究和生产,在砌体结构的理论研究和设计方法上取得了许多成果,推动了砌体结构的快速发展。

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 层以下的居住建筑有 55% 采用砖墙承重,砖的抗压强度一般可达 30~60 MPa,空心砖产量占砖总产量的 80%~90%,空心率有的高达 60%;瑞士和保加利亚的砌体结构几乎全部采用空心砖;英国多孔砖的抗压强度为 35~

70 MPa,抗压强度最高的达到 140 MPa;美国生产的砖抗压强度多为 17.2~140 MPa,最高的可达 230 MPa。总体来看,欧、美及澳大利亚等国砖的强度一般可达到 30~70 MPa,而且能生产高于 100 MPa 的砖。国外空心砖的表观密度一般为 13 kN/m^3 ,轻的达 6 kN/m^3 。国外砌体通常也采用高强度的砌筑砂浆。美国 ASTM C 标准规定的 M、S 和 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;德国的砂浆抗压强度为 13.7~14.1 MPa。此外,国外还研制出了高黏结强度砂浆,如美国 Dow 化学公司已生产“Sarabond”高黏结强度的砂浆(掺有聚氯乙烯乳胶),抗压强度可超过 55 MPa,用这种砂浆砌筑强度为 41 MPa 的砖,其砌体强度可达 34 MPa。国外采用高黏度黏合性高强砂浆或有机化合物树脂砂浆甚至可以对缝砌筑。早在 20 世纪 70 年代国外的砖砌体抗压强度已达 20 MPa 以上,接近或超过普通混凝土强度。因此,利用砖石结构承重修建十几层或更高的高层楼房已经不是十分困难,在一些国家已有应用。

在砌体材料生产方面,20 世纪 70 年代,世界上 50 多个国家黏土砖总产量约为 1 000 亿块(不包括中国)。国外砌块应用也比较广泛,产量也比较大,一些发达国家在 20 世纪 70 年代其砌块产量就已接近普通砖产量。国外采用砌块作为承重墙建造了许多代表性的高层房屋,如 1970 年在英国诺丁汉市建成一幢 14 层房屋(内墙 230 mm 厚,外墙 270 mm 厚),与钢筋混凝土框架结构相比上部结构造价降低 7.7%;美国、新西兰等国采用配筋砌体在地震区建造的高层房屋可达 13~20 层;美国丹佛市建有 17 层的“五月市场”公寓和 20 层的派克兰姆塔楼等;英国利物浦皇家教学医院的 10 层职工住宅具有欧洲最高的半砖厚(102.5 mm)薄壁墙;美国帕萨迪纳市的希尔顿饭店为 13 层高强混凝土砌块结构,经受圣佛南多大地震后完好无损,而毗邻的一幢 10 层钢筋混凝土结构却遭受严重破坏。

在设计理论方面,前苏联是最先建立砌体结构理论和设计方法的国家,20 世纪 40 年代之后进行了较系统的试验研究,20 世纪 50 年代前苏联提出了砌体结构按极限状态来设计的方法。20 世纪 60 年代以来,欧美许多国家逐渐改变了长期沿用基于弹性理论的容许应力设计法。英国标准协会于 1978 年编制的《砌体结构实施规范》,意大利砖瓦工业联合会于 1980 年编制的《承重砖砌体结构设计计算的建议》等均采用极限状态设计法;国际建筑研究与文献委员会承重墙委员会(CIB W23)于 1980 年颁发了《砌体结构设计施工的国际建议》(CIB58),采用了以近似概率理论为基础的安全度准则;国际标准化协会砌体结构委员会 IOS/TC179 编制的国际砌体结构设计规范也采用了上述相关的原则。

与此同时,世界各国在砌体结构学科方面的交流和合作也逐渐加强,推动了砌体结构的发展。自 1967 年由美国国家科学基金会和美国结构黏土制品协会发起,在美国奥斯汀得克萨斯大学举行的第一届(国际)砌体结构会议以来,每 3 年举行一次砌体结构国际会议,其中 1997 年第 11 届国际砌体结构会议在中国上海召开。ISO/TC179 于 1981 年成立,下设 SC1、SC2 和 SC3 三个分技术委员会,我国在 1981 年被推选为配筋砌体分技术委员会(SC2)的秘书国。由我国负责主编的国际标准《配筋砌体结构设计规范》(ISO 9652—3)已经完成,并于 2000 年通过各成员国的审查。

1.2.4 砌体结构的发展方向

砌体结构作为一种传统结构形式,在今后相当长的时期内仍将占有重要地位,在我国

砌体结构势必将继续发展和完善。今后我国砌体结构的发展将着重在以下几个方面:

(1) 积极发展砌体新材料,使砌体结构适应可持续性发展的要求

目前我国的砌体材料和发达国家相比,强度低、耐久性差。必须发展高强、轻质的空心块体,使墙体自重减轻,生产效率提高,保温性能良好,且受力更加合理,抗震性能也得到提高。同时发展高强度、高黏结力的砌筑砂浆,能有效地提高砌体的强度、整体性和抗震性能。

传统的小块黏土砖因其耗能大、毁田多和运输量大的缺点,越来越不适应可持续发展和环境保护的要求,对其改革势在必行。其发展趋势是充分利用工业废料和地方性材料,积极发展黏土砖的替代产品,尽可能对废物再利用和净化,广泛研制“绿色建材产品”。例如,蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖、煤渣砖、矿渣砖、建筑废渣砖、轻集料混凝土砌块、混凝土小型空心砌块及混凝土多孔砖等。

(2) 积极推广应用配筋砌体结构,发展中高层砌体建筑

国外的经验和我国的研究成果及试点工程都已表明,在中高层建筑(8~18层)中,采用配筋砌体结构尤其是配筋砌块剪力墙结构,可提高结构的强度和抗裂性,能有效提高砌体结构的整体性和抗震性能,且能节约钢筋和木材,施工速度快,经济效益明显。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。配筋砌块砌体结构房屋将在我国未来的建筑结构中占据重要地位。

(3) 加强砌体结构的理论和试验研究

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,是结构工程界关心的课题。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。但是,目前在砌体的各项力学性能、破坏机理及砌体与其他结构材料共同工作机制等方面还有许多未能很好解决的课题亟待研究,砌体结构的动力响应、抗震性能及砌体结构的耐久性和砌体结构加固技术也有待进一步深入研究。

(4) 提高砌体结构的建造技术和建筑质量

目前,我国砌体建筑基本采用手工方式砌筑,劳动量和劳动强度大,生产效率低下,施工质量不易保证。因此,根据我国的实际情况,应推广采用砌块建筑或墙板建筑,提高生产的工业化、机械化水平,以减少繁重的体力劳动、加快工程建设进度。也应加强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建筑质量。

1.3 本课程的主要内容和学习要求

1.3.1 本课程的主要内容

“砌体结构”课程为土木工程专业的一门主干专业课。它的任务在于使学生掌握砌体结构设计的基本理论、基本知识和基本技能,从而能在工作中正确处理和解决有关设计、施工、管理和科研等方面的问题。