

施楚贤 主编

砌体结构 理论与设计



中国建筑工业出版社

砌体结构理论与设计

施楚贤 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书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和展望,砌体的物理力学性质,砌体结构的可靠度,无筋及配筋砌体结构构件的承载力,混合结构房屋墙、柱设计,墙梁和挑梁设计,砌体结构的构造措施,以及多层混合结构房屋的抗震设计。本书对理解和应用新规范将大有裨益。

本书可供土建工程技术人员和大专院校师生参考。

责任编辑 夏英超

技术设计 黄 燕

责任校对 王 莉

砌体结构理论与设计

施楚贤 主编

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 18^{1/4} 字数: 443 千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

印数: 1—5,600册 定价: 9.45元

ISBN7-112-01585-5/TU·1191

(6620)

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。近二十年来，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，主要取材于近二十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》（GBJ3—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。

目 录

第一章 砌体结构的发展	1	3.3.2 砌体抗剪强度的试验方法	53
1.1 古代砌体结构的发展	1	3.3.3 影响砌体抗剪强度的因素	56
1.2 解放以来我国砌体结构的 发展	2	3.3.4 砌体抗剪强度理论	59
1.3 国外60年代以来砌体结构的 发展	5	3.3.5 砌体抗剪强度取值	62
1.4 展望	8	3.4 砌体的变形模量、泊松比和剪 变模量	62
参考文献	10	3.4.1 砌体的变形模量	62
第二章 砌体材料及种类	13	3.4.2 砌体的泊松比	65
2.1 砌体材料	13	3.4.3 砌体的剪变模量	66
2.1.1 砖	13	3.5 砌体的徐变	66
2.1.2 砌块	16	3.6 砌体的其他物理性能	69
2.1.3 石材	17	3.6.1 砌体的热性能	69
2.1.4 砂浆	17	3.6.2 砌体的干缩变形	70
2.1.5 钢筋、混凝土和灌筑用浆	21	3.6.3 砌体和常用材料的 摩擦系数	71
2.2 砌体种类	21	参考文献	71
2.2.1 砖砌体	21	第四章 砌体结构的设计方法	74
2.2.2 石砌体	22	4.1 砌体结构设计方法的发展	74
2.2.3 砌块砌体	23	4.2 砌体结构半概率、半经验的极 限状态设计方法	77
2.2.4 配筋砌体	23	4.3 砌体结构以概率理论为基础的 极限状态设计	79
2.2.5 墙板	24	4.3.1 可靠指标	79
参考文献	27	4.3.2 JCSS方法	81
第三章 砌体的物理力学性能	28	4.3.3 砌体结构设计规范的设计 表达式	84
3.1 砌体的受压性能	28	参考文献	97
3.1.1 砌体受压应力状态	28	第五章 无筋砌体结构构件的 承载力	98
3.1.2 影响砌体抗压强度的因素	29	5.1 受压构件	98
3.1.3 对砌体抗压强度表达式的 研究	35	5.1.1 短柱	98
3.1.4 砌体抗压强度取值	41	5.1.2 对砌体偏心影响系数的进 一步研究	101
3.1.5 砌体受压应力-应变曲线	45	5.1.3 轴心受压长柱	103
3.2 砌体的受拉和受弯性能	48	5.1.4 偏心受压长柱	106
3.2.1 轴心受拉	48		
3.2.2 弯曲受拉	51		
3.3 砌体的受剪性能	53		
3.3.1 概述	53		

5.1.5 受压构件的承载力计算	110	7.1 承重墙体的布置	170
5.1.6 计算例题	115	7.2 混合结构房屋的静力计算方案	171
5.2 局部受压	121	7.3 刚性方案房屋的静力计算	173
5.2.1 局部受压的工作机理	121	7.4 弹性方案房屋的静力计算	177
5.2.2 砌体局部均匀受压	123	7.5 刚弹性方案房屋的静力计算	178
5.2.3 梁端支承处砌体的局部受压	125	7.5.1 单层刚弹性方案房屋的静力计算	178
5.2.4 梁端下设有垫块或垫梁时支承处砌体的局部受压	127	7.5.2 多层刚弹性方案房屋的静力计算	184
5.2.5 计算例题	130	7.5.3 上柔下刚和上刚下柔房屋的静力计算	186
5.3 双向偏心受压构件	133	7.6 横墙在侧向荷载作用下的分析	187
5.4 轴心受拉、受弯和受剪构件	136	7.7 墙、柱的计算高度	189
5.4.1 轴心受拉构件	136	7.8 墙-梁(板)的连接和约束	191
5.4.2 受弯构件	137	参考文献	193
5.4.3 受剪构件	138	第八章 圈梁、过梁、墙梁和挑梁	194
5.4.4 计算例题	138	8.1 圈梁	194
参考文献	139	8.1.1 房屋中圈梁设置的部位	194
第六章 配筋砌体结构	142	8.1.2 圈梁的构造要求	195
6.1 网状配筋砖砌体受压构件	142	8.2 过梁	195
6.1.1 网状配筋砖砌体的受压性能	142	8.2.1 过梁上的荷载	195
6.1.2 网状配筋砖砌体受压构件的承载力计算	144	8.2.2 过梁的承载力计算	197
6.1.3 网状配筋砖砌体的构造要求	149	8.2.3 过梁的构造要求	198
6.1.4 计算例题	149	8.3 墙梁	198
6.2 组合砖砌体受压构件	150	8.3.1 概述	198
6.2.1 组合砖砌体的受压性能	151	8.3.2 墙梁的几种计算方法	199
6.2.2 组合砖砌体构件轴心受压时的承载力计算	151	8.3.3 墙梁的受力性能	204
6.2.3 组合砖砌体偏心受压时的承载力计算	153	8.3.4 墙梁按组合结构的计算方法	208
6.2.4 组合砖砌体构件的构造要求	157	8.3.5 墙梁的基本构造要求	217
6.2.5 计算例题	158	8.3.6 计算例题	218
6.3 国外配筋砌体结构	162	8.4 挑梁	227
6.3.1 类型	162	8.4.1 挑梁的破坏特征	227
6.3.2 承载力计算	164	8.4.2 挑梁倾覆时的受力性能	228
6.3.3 计算例题	165	8.4.3 挑梁的设计计算	231
参考文献	168	8.4.4 计算例题	234
第七章 混合结构房屋的静力计算和设计	170	参考文献	236
		第九章 砌体结构的构造措施	239
		9.1 墙、柱的高厚比要求	239
		9.2 一般构造要求	243
		9.3 防止墙体裂缝出现的措施和墙体伸缩缝	246

参考文献	250	10.4.2 多层砌体结构房屋的计算	
第十章 多层砌体结构房屋的抗震		简图与地震作用的简化计	
设计	251	算方法	266
10.1 概述	251	10.4.3 墙体抗震承载力验算	273
10.2 震害及其分析	251	10.5 多层砌体结构房屋的抗震	
10.3 结构布置原则	255	构造措施	274
10.4 多层砌体结构房屋的抗震验算	261	10.6 计算例题	279
10.4.1 地震作用的计算	261	参考文献	285

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。1949年以来，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。本章从国内外砌体结构的发展及现状入手，进一步论述了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。如我国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。1983年以后，又在相距五十公里的建平、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家群，以及一座类似城堡或方型广场的石砌围墙遗址。经碳十四测定和树轮校正，这些遗址距今已有五千多年历史”（人民日报1986年7月25日）。又如公元前2723年~前2563年间在尼罗河三角洲的吉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146.6m，底边长230.60m，约用重25kN的石块230万块砌成。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。如公元70~82年建成的罗马大斗兽场，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安济桥，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2000kN。

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，据记载它始建于公元前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，西起甘肃嘉峪关，东到鸭绿江，长达12700余里。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粘土薄砖、大型空心砖和断面成八字形的花砖等。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，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、穹窿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。

砌块的生产和应用时期很短，只有百来年历史。其中以混凝土砌块生产最早，这与水泥的出现有关，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做墙体的房屋。

1.2 解放以来我国砌体结构的发展

1949年中华人民共和国成立后，砌体结构得到迅速的发展，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

解放以来，我国砖的产量逐年增长，据1980年统计，全国砖的年产量为1566亿块，近几年已达2100亿块，为世界其他国家砖年产量的总和，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。50年代这类房屋一般为3~4层，现在已大量建造5~6层，不少城市一般建到7~8层。现在每年兴建的城市住宅，建筑面积多达1亿平方米以上。如重庆市，1980~1983年新建住宅建筑面积为503万平方米，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。在我国南方，不少三层及三层以下的民用房屋采用传统的空斗砌体作承重墙。湖南大学于1958年曾建成4层无眠空斗墙学生宿舍。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，相应壁厚为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，我国在1959年建成跨度为60m、高52m的石拱桥，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，地震烈度在六度及六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，还在七度和八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

60年代以来,我国空心砖的生产和应用有较大的发展。在南京市建成采用空心砖墙承重的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的空心砖代替240mm×115mm×53mm的实心砖来砌筑砖墙,前者墙厚190mm,后者墙厚240mm,由于采用空心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。

近十年来,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蒸养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,经过三十年来的实践,砌块墙体已成为我国墙体革新的有效途径之一。砌块种类、规格较多,其中以中、小型砌块应用较为普遍。目前我国砌块的年产量已达200多万立方米,用砌块作墙体的房屋面积已达1800万平方米。至1983年,在上海市采用粉煤灰砌块作墙体的房屋面积达850万平方米,贵州省采用小型混凝土砌块作墙体的房屋达200万平方米,在广西南宁已建成用小型砌块作墙体的10层住宅。

在我国大型板材墙体也有发展。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11.5万平方米的住宅,节约普通粘土砖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,解放以来,又向新的结构型式和大跨度的方向发展。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10.5×11.3m的扁球型砖壳,16m×16m的双曲扁球型砖薄壳和40m直径的圆球型砖壳。湖南大学于1958年采用蒸养粉煤灰硅酸盐砖和砌块建成18m跨的大厅。60年代在南京采用带钩空心砖建成14m×10m的双曲扁壳屋盖的实验室,10m×10m两跨双曲扁壳屋盖的车间,16m×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。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。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36万平方米,使用情况良好。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,积极探讨在中、高层砖混组合墙体结构房屋中应用,并取得了许多成果,所总结的实践经验也相当丰富。1984年中国建筑西北设计院等单位,首次在西安按八度设防要求建成一幢六层住宅,建筑面积4356m²,采用配竖向钢筋空心砖承重墙,墙厚240mm。最近,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“砖混组合墙体系”。1987年在沈阳(七度区)共完成34幢八层住宅的设计和施工,共17万平方米。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×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。

三、计算理论的深入研究和计算方法的逐步完善

解放前,我国所建造的砌体结构房屋主要是住宅等民用建筑,不但层数低,且只凭经验设计而不作计算,在有的城市(如上海)也只是参照某些规定,由房屋的层数来选定墙的厚度因,而直到50年代在我国还谈不上有什么砌体结构的设计理论。国家建委于1956年批准在我国推广使用苏联的《砖石及钢筋砖石结构设计标准及技术规范》(HuTy120—55)。这本规范采用的是属于定值的极限状态设计法。50年代后期,我国才开始对砌体结构作一些试验和研究,同时原建筑工程部组织有关单位着手制订我国的设计规范,先后编写过三个初稿,即“砖石及钢筋砖石结构设计规范”(初稿)(1963,北京)、“砖石结构设计规范”(草稿)(1960,沈阳)及“砖石结构的设计和计算”(草案)(1970,沈阳)。它们均因种种原因未能得到批准和出版。直至60年代我国的砌体结构设计基本上仍按照上述苏联规范的方法进行。但自60年代初至70年代初,在有关部门的领导和组织下,在全国范围内对砖石结构进行了比较大规模的试验研究和调查,总结出一套符合我国实际、比较先进的砖石结构理论、计算方法和经验。在砌体强度计算公式、无筋砌体受压构件的承载力计算、按刚性方案考虑房屋空间工作,以及有关构造措施等方面具有我国特色。从而于1973年颁布国家标准《砖石结构设计规范》(GBJ3—73)。它是我国制订的第一本砖石结构设计规范,从此使我国的砌体结构设计进入了一个崭新的阶段。70年代中期至今,在我国对砌体结构进行了第二次比较大规模的试验和研究。在砌体结构的设计方法、多层房屋的空间工作性能、墙梁的共同工作,以及砌块砌体的力学性能和砌块房屋的设计等方面取得了新的成绩。此外,对配筋砌体、构造柱和砌体结构房屋的抗震性能方面也进行了许多试验和研究。近年来,先后出版了《中型砌块建筑设计与施工规程》(JGJ5—80)、《混凝土空心小型砌块建筑设计与施工规程》(JGJ14—82)、《冶金工业厂房钢筋混凝土墙梁设计规程》(YS07—79)、《多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程》(JGJ13—82)等。特别是由中国建筑东北设计院主编、经建设部批准的国家标准《砌体结构设计规范》(GBJ3—88),使我国砌体结构理论和设计方法更趋完善。我国砌体结构可靠度设计方法已提高到当前的国际水平(采用以概率理论为基础的极限状态设计法),对于多层砌体结构房屋的空间工作,以及在墙梁中考虑墙和梁的共同工作等专题的研究成果在世界上处于领先地位。

近十余年来,在我国不但发表了许多关于砌体结构理论和计算的论文,还出版了许多教材和著作,如由丁大钧教授主编的《砖石结构》,由辽宁工业建筑设计院和浙江大学主编的《砖石结构设计手册》、由杨玉成等编著的《多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计》以及由钱义良、施楚贤主编的《砌体结构研究论文集》等,对促进我国砌体结构的发展有一定作用。

中华人民共和国成立以来,在党的正确路线、方针和政策的指引下,砌体结构得到了迅速的发展。它对我国国民经济建设和四化建设已经并将继续发挥重大作用。

1.3 国外60年代以来砌体结构的发展

就世界范围来说,原苏联是最早较完整建立砌体结构理论和设计方法的国家。1939年原苏联颁布了《砖石结构设计标准及技术规范》(OCT—90038—39)。40年代~50年代,原苏联对砌体结构作了一系列的试验和研究,50年代提出了按极限状态设计方法。东欧一些国家,如捷克、波兰等国也采用这一设计方法。此时,欧、美其他国家还只是按经验或采用按弹性理论的容许应力设计法。早在1889~1891年,在美国芝加哥建造了一幢16层高的房屋,其底层承重墙厚1.8m。但自1958年在瑞士苏黎世采用抗压强度为58.8MPa、空心率为28%的空心砖作墙体建成一幢19层塔式住宅(墙厚380mm)(随后在瑞士还建成24层塔式住宅)以来,已引起世界上许多国家对砌体结构研究及应用的兴趣和重视。据联合国1980年的统计,在70年代中,世界上五十多个国家每年粘土砖总产量为1000亿块左右(不包括我国的产量)。1979年,欧洲各国产量为409亿块、原苏联为470亿块,亚洲各国为132亿块,美国为85亿块。按年人均产量计算,苏联为170块,东欧各国为146块,西欧各国为137块。不少专家、学者对此古老的砖石结构相继重新作出评价,认为:“值得重视粘土砖的抗压强度高于普通混凝土的抗压强度”,“古老的砖结构是在与其他材料结构的竞争中重新出世的承重墙体结构”,“粘土砖、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”。因而自60年代以来欧、美及世界许多国家加强了对砌体的研究,在砌体结构理论、设计方法、材料性能,以及应用上取得了许多成果。原苏联在60年代对砌体结构研究的进展不大,至70年代中期重点研究承重砌体房屋的抗震性能、配筋及组合砌体的受力性能等课题。

60年代以来,欧、美许多国家还改变了他们对长期沿用的按弹性理论的容许应力设计法的看法。1970年加拿大D.E.Allen较全面指出了这种方法的缺点,他认为:1.容许应力法不能直接反映结构破坏的状态,必然使设计结果产生错误或经济;2.不能适应新的结构和不同的砌筑质量的影响;3.以材料强度和单一安全系数为依据的容许应力,这个指标是对结构实际安全性的误解;4.不是所有构件都应有相同的安全度。不少学者也认为,“采用极限状态设计的目的是使设计、施工和使用都很经济”。英国标准协会于1978年编制了砌体结构实施规范,意大利砖瓦工业联合会于1980年编制承重砖砌体结构设计计算的建议,均采用极限状态设计方法。不少国家正在为采用极限状态设计方法作准备工作。自60年代末至70年代国际上提出近似概率法以来,许多国家也抱积极态度。国际建筑研究与文献委员会承重墙工作委员会(CIB·W23)于1980年颁发《砌体结构设计和施工的国际建议》(CIB58),采用了以近似概率理论为基础的安全度准则。该建议的工作组成员由比利时、英国、苏格兰、法国、意大利和原联邦德国等国的专家组成,自1974年开始拟稿并经过8次正式会议讨论。目前国际标准化组织砌体结构技术委员会(ISO/TC179)正在编制国际砌体结构设计规范,也采用上述安全度准则。由此可见,从国际上来说,砌体结构的设计方法将提高到一个新的水平。

60年代以来,国外研究、生产了许多性能好、质量高的砌体材料,无疑推动了砌体结构的迅速发展。在意大利,5层及5层以下的居住建筑中有55%是采用砖墙承重。意大利全国有800多个生产砖和砌块的工厂,1979年粘土砖的人均产量为133块,砖的抗压强度一

般可达30~60MPa,空心砖的产量占砖总产量的80~90%,其空心率有的高达60%。瑞士空心砖的产量占砖总产量的97%,保加利亚则达99%。英国的卡尔柯龙多孔砖的抗压强度为35、49和70MPa,英国砖的抗压强度最高达140MPa。加拿大有80%的砖的抗压强度达55MPa,较高的达70MPa。法国、比利时和澳大利亚等国砖的抗压强度一般达60MPa,在澳大利亚高的可达130MPa。原联邦德国砖的抗压强度为20~140MPa(粘土砖)和7~140MPa(灰砂砖)。在美国,根据1964年国家鉴定检验,有75%的砖的抗压强度大于55MPa,有25%的砖的抗压强度大于93MPa。现在美国商品砖的抗压强度为17.2~140MPa,最高的达230MPa。美国有一种5孔空心砖(E型砖),尺寸为200mm×95mm×75mm,空心率为22%,强度高达170MPa。捷克空心砖的抗压强度为50~160MPa,还有的高达200MPa。由上可见,国外砖的抗压强度一般均达30~60MPa,且能生产强度高于100MPa的砖。国外空心砖的重力密度一般为13kN/m³,轻的达0.6kN/m³。

国外采用的砂浆的抗压强度也较高,如美国ASTMC270规定的M、S和N三类砂浆均为水泥石灰混合砂浆,抗压强度分别为25.5、20和13.8MPa。原联邦德国采用的水泥石灰混合砂浆的抗压强度为13.7~41.1MPa。一些国家还在研究高粘结强度砂浆。S. Sahlin指出,砖砌体强度一般为砖强度的25~50%,混凝土空心砌块砌体强度一般为砌块强度(按毛面积计)的35~55%,表明砌体强度受砂浆的影响很大。因此研究高粘结强度砂浆十分必要。美国Dow化学公司已生产“Sarabond”。它是一种掺有聚氯乙烯乳胶的砂浆,抗压强度可超过55MPa。采用这种砂浆可使砌体抗压强度提高约37%,但要求砖的抗压强度不低于41MPa。

由于砖和砂浆材料性能的改善,砌体的抗压强度大大提高。在西欧一些国家及美国等,早在70年代砖砌体的抗压强度已达20MPa以上,它接近甚至超过普通强度等级的混凝土强度。现在美国砖砌体的抗压强度为17.2~44.8MPa,当砖的抗压强度为41MPa,用Sarabond砌筑,其砌体抗压强度高达34MPa。美国得克萨斯大学试验的一种采用聚合物浸渍的砖砌体,抗压强度高达120MPa。

许多国家的砌体材料,不但强度高而且质量也好。如砖的抗压强度的变异系数,英国为0.06~0.25,美国为0.018~0.382(平均0.113),澳大利亚平均为0.085,比利时平均为0.15(普通砖)和0.24(多孔砖),法国平均为0.12(多孔砖为0.20)。许多国家的砖砌体抗压强度的变异系数平均约为0.09。美国1963年对商业性试验室的试验结果作了调查,普通砖棱柱砌体抗压强度的变异系数为0.05~0.24,平均值为0.094。

国外砌块的发展也相当迅速,一些国家在70年代的砌块产量就接近普通砖的产量。如原联邦德国1970年生产普通砖75亿块,生产74亿相当于普通砖的小砌块。英国1976年生产普通砖60亿块,生产67亿相当于普通砖的小砌块。美国、法国和加拿大等国的发展更快,砌块的产量已大大超过普通砖的产量。如美国1974年生产普通砖73亿块,生产370亿相当于普通砖的小砌块。

近二十年来欧、美许多国家对预制砖墙板和配筋砌体的研究相当重视,为砌体在高层建筑中的应用开辟了新的途径。60年代原苏联采用预制砖墙板建造的房屋面积已超过400万平方米。丹麦于1970年在考察欧、美许多国家的振动砖墙板之后,生产了11种类型的振动砖墙板,年产量达350万平方米。在美国得克萨斯州奥斯汀市曾采用76mm的预制砖墙板作

一幢27层房屋的外围护墙。近几年美国的预制装配折线形砖墙板和加拿大的预制槽形及半圆筒拱形墙板, 均已在工程上应用。在欧、美及新西兰等国, 配筋砌体结构的研究和使用取得较大进展。一种形式是采用空心砖或空心砌块, 在空洞内设置垂直及水平钢筋并灌浆或灌混凝土; 另一种形式是将墙砌筑成内、外两层, 用钢筋砂浆或钢筋混凝土作中间夹层。它们不但强度高, 抗震性能也好。N. J. N. Priestley认为, 在新西兰配筋砌体结构的抗震能力可以与混凝土结构媲美。

国外采用砌体作承重墙建造了许多高层房屋, 推动了砌体材料和结构的发展。R. J. M. Sutherland的理论研究认为, 采用无筋砌体可建造25~30层高的房屋; 若根据经济的墙厚, 则可建15~20层以下的住宅及少数办公楼房屋; 如不考虑风力的作用(采用带有混凝土核心的组合砌体墙结构), 在英国采用225mm厚的砖墙可建25层高的房屋, 如在房屋的最下几层用340mm厚的砖墙, 则可建30层以上的房屋, 在加拿大还可将房屋层数增加到近40层。F. Khan认为, 如采用高强砌块、高强砂浆和含钢量为1%的配筋灌浆砌体, 建造60层的房屋是可能的。1970年在英国诺丁汉市建成一幢14层高的砖墙承重房屋(内墙厚230mm, 外墙厚270mm), 与该地同时建成的一幢类似的混凝土框架承重房屋相比较, 上部结构的造价降低7.7%。在英国这两类房屋的总造价, 一般前者要较后者低5~9%。1967年英国还建成一座竖向和环向施加预应力的砖水池, 池内径为12m, 高5m, 池壁厚230mm, 钢筋直径7mm。D. Foster认为, 由于砌体的徐变和收缩较混凝土的小, 因此发展预应力砌体的可能性是明显的。英国在制定配筋和预应力砌体规范方面处于领先地位。在法国和原联邦德国也相继建成8~12层的砌体墙承重房屋。现在瑞士采用砌体墙承重的高层房屋一般达20层, 内承重墙厚110mm和150mm, 外承重墙厚130mm和180mm。美国是60年代后期才开始建造砌体墙承重的高层房屋, 引人注目的是, 美国、新西兰等国采用配筋砌体在地震区建造高层房屋, 层数一般达13~20层。1970年在美国科罗拉多州丹佛市先后建成5幢20层高的塔式住宅, 其中4幢采用配筋砖墙承重, 墙厚250mm, 另1幢采用150mm厚的振动砖墙板承重。丹佛市的派克兰姆塔楼经受了里氏五级地震的考验。加利福尼亚州帕萨迪纳的希尔顿旅馆, 共13层, 264间房间, 建筑面积1.4万平方米, 采用高强混凝土砌块墙和预应力混凝土空心楼板, 每一层只用4个半工作日完成, 施工期仅五个半月, 该房屋经受1971年圣佛南多大地震后完整无损, 而与之邻近的一幢10层混凝土框架结构房屋却遭到严重的破坏。在同一次地震中, 第一层为框架结构的Olive View医院全部受到破坏, 邻近的在房屋一端设有配筋砌块剪力墙的电站却完好。在美国, 建在钢筋混凝土基础上、按悬臂梁计算的槽型配筋砖砌体挡土墙已得到应用和推广, 且用于7m高的挡土墙也是经济的。意大利和委内瑞拉等国对配筋砌体结构的研究也极为重视。在新西兰采用配筋砌体墙在C度地震区可建10层高的房屋。在加拿大, 仅仅是从1965年才开始建造高层砌体结构, 但至1984年就已建成大约300幢采用砌体作承重墙的高层房屋。如在多伦多建造的11层住宅, 采用混凝土砌块承重墙, 墙厚为190mm和240mm, 在空心砌块的40%的空洞内配筋并灌浆。在澳大利亚布里斯本建成二幢9层、二幢12层的砌体结构房屋, 其中12层房屋的内墙厚110~230mm, 外墙厚305mm, 8层以下要求砖的抗压强度不低于50MPa, 用1:0.5:4.5的砂浆砌筑; 8层以上要求砖的抗压强度不低于30MPa, 用1:1:6的砂浆砌筑。

60年代以来, 国际上在砌体结构学科方面的交流和合作也是很引人注目的, 进一步推

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粘土制品协会发起,在美国奥斯汀德克萨斯大学举行第一届国际砖砌体结构会议以来,于1970、1973、1976、1979、1982、1985和1988年分别在英国、原联邦德国、比利时、美国、意大利、澳大利亚和爱尔兰相继召开了第二~八届国际砖砌体结构会议,每次会议均有一、二十个国家、数百名专家学者出席,研究和交流的课题十分广泛。如1985年2月在澳大利亚墨尔本大学举行的第七次会议,有22个国家、250余人参加,会议出版了两卷论文集,刊载论文227篇。从会议交流和讨论的议题来看,现阶段国际上在砌体结构研究课题上的主要特点是,不仅重视对砌体、节点及砌体结构单元受力性能的试验和研究,还比较系统的探讨砌体结构的基本理论和设计方法,以及在动力荷载作用下墙体的结构分析;研究的范围不仅是砌体材料的生产、砌体结构的构造原理和细部设计,还扩大到砌体结构的经济、环境与节能,以及对砌体结构的评定、修复和加固等许多领域。第八届国际砖/砌块砌体结构会议已于1988年9月在爱尔兰都柏林召开。可见砌体结构是一项在世界上受重视和发展的建筑结构体系。

此外,国际建筑研究与文献委员会承重墙工作委员会已主持召开了三届国际墙体结构学术讨论会。英国、加拿大和北美等国还相继邀请外国代表参加他们本国召开的砌体结构会议。国际标准化组织砌体结构技术委员会(ISO/TC179)于1981年成立,下设无筋砌体(SC1)、配筋砌体(SC2)和试验方法(SC3)三个分技术委员会。我国在砌体结构方面的研究成果和发展,受到国际上的注视,1981年我国被推选担任ISO/TC179/SC2的秘书国,近些年来我国在该学科上与国际的交流和合作愈来愈多。

1.4 展 望

砖、石是一种古老的建筑材料。它之所以生命力强而发展为现代砌体结构,并且成为世界上受重视的一种建筑结构体系,其中重要的原因是砌体结构所具有的优点。概括起来,它的优点有:1.粘土、砂、石是制成砖、砂浆及石材的原材料。它们是一种天然材料,分布较广,易于就地取材,且与水泥、钢材和木材等建筑材料相比,相当便宜。2.砖、石或砌块砌体具有良好的耐火性和较好的耐久性。在一般情况下,砌体可耐受近400℃的高温。通常建筑中的砌体,足够使用到预期的耐久年限。3.一般情况下砌体在施工时不需模板和特别的施工设备,较之混凝土结构大大节约木材,且具有较好的连续施工的性能。砌体还可采用冻结法在冬期施工,而不需采取特殊的保温措施。4.砖、砌块结构的保温、隔热性能好,节能效果好。近代又能生产多种型式和色彩的砖,其建筑尤使人感到舒适和美观。5.在砌体中设置钢筋或钢筋混凝土的配筋砌体结构,不但能提高强度,还改善了延性,具有较好的抗震性能。

砌体结构在发展中所走过的漫长道路也可以说是不断发挥其优点,并不断克服其缺点的过程。砌体结构的缺点是:1.除采用高强度的块体和砂浆外,通常砌体强度较低。因而墙、柱截面尺寸大,材料用量增多,自重加大。以采用强度等级为I级的钢筋、C20的混凝土和强度为1.94MPa的砌体为例,它们的重力密度与抗压强度之比分别相应约为3、35和50。2.砌体的砌筑基本上采用手工方式,如我国传统的“一砖三刀三弯腰”操作方法,砌筑劳动量大,工人十分辛苦。3.砌体的抗拉和抗剪强度较抗压强度更低,因而无筋砌体的

抗震性能差，砌体结构在应用上受到限制。4.粘土是制造粘土砖的主要原料，要生产大量的砖，势必过多占用农田，严重影响农业生产，对生态环境平衡也很不利。在我国平均生产1亿块砖，需毁农田约100亩。

综上所述，今后砌体结构的发展，主要在于如何进一步发挥其优点并克服其缺点。现代砌体结构的特点之一也在于采用高强度砌体，用较薄的承重墙建造较高的房屋。结合我国国情，应加强以下几方面的工作。

一、积极发展新材料

从世界范围来说，主要是加强对轻质、高强砖和砌块以及高粘结强度砂浆的研究和应用，这也是我国的发展方向之一。一方面，我国砖的强度普遍较低，有必要在发展新材料的同时，采取有力措施，迅速提高我国现有砖的抗压强度；另一方面，我国至今还只能在少数城市生产空心块体，且产量少。因此，目前还要大力推广、应用空心砖和空心砌块，使它们在砖的总产量中的比例有较大幅度的提高。此外，我国工业废料较多（尚未见到我国的具体统计数据。原苏联火力发电站每年有多达9000万吨的灰渣，而用于国民经济中的只占20%，原苏联有色冶金企业的各废料场有4.55亿吨矿渣），但浪费严重。努力利用工业废料生产更多更好的砖和砌块，变废为宝，也是当务之急。

二、加强对配筋砌体结构的研究

我国有抗震设防要求的主要城市多达一百余个，很有必要研究在这些地区采用配筋砌体作承重墙，建造8层及以上层数房屋的可能性、设计计算和施工方法。将我国配筋砌体结构的研究和应用提高到一个新的水平。

三、加强对砌体结构理论的研究

进一步研究砌体结构的破坏机理和受力性能，通过物理或数学模式，建立精确而完整的砌体结构理论，是世界各国所关心的课题。我国在这方面的研究有较好的基础，有的课题研究有一定的深度，继续加强这方面的工作十分有利，对促进砌体结构的发展也有深远意义。为此，还必须加强对砌体结构的实验技术和数据处理的研究，使测试自动化，且得到精确的实验结果。

四、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。在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，有必要在我国较大范围内改变传统的砌体结构建造方式。采用大、中型砌块和大型墙板，对提高生产工业化、施工机械化，从而减少繁重的体力劳动，加快工程建设速度，无疑有着积极意义。根据我国目前的实际情况，更应推广中、小型砌块。

正如E.A.James指出，“砌体结构经历了一次中古欧洲的文艺复兴；其有吸引力的功能特性和经济性，是它获得新生的特点。我们不应停留在这里。我们正在进一步赋予砌体结构以新的概念和用途”。这反映了国外许多学者对砌体结构的研究所持的积极态度和对它的发展所充满的希望。同样，我们对砌体结构的未来也满怀信心，相信在党的路线、方针和政策的正确指引下，敢于改革、勇于创新，坚持科学态度，一定能再接再厉，为我国及世界砌体结构的发展作出更大贡献。

参 考 文 献

- [1-1] 中国大百科全书, 土木工程, 中国大百科全书出版社, 1987
- [1-2] 南京工学院主编. 砖石结构. 中国建筑工业出版社, 1981
- [1-3] 施楚贤主编. 砌体结构. 武汉工业大学出版社, 1988
- [1-4] Подьяков с В ц фадевил, Б Н. Каменные Конструкции. Госстройиздат, 1960
- [1-5] F. A. 伦道尔等编. 中国建筑科学研究院建筑设计研究所译. 混凝土 砌块手册. 中国建筑工业出版社, 1982
- [1-6] 钱义良. 我国砖石结构发展的回顾与瞻望. 建筑结构, 1984, 5
- [1-7] 周承渭译. 砖石及钢筋砖石结构设计标准及技术规范 (ННТУ 120—55). 建筑工程出版社, 1959
- [1-8] 砖石结构设计规范 (GBJ 3—73). 中国建筑工业出版社, 1973
- [1-9] 中型砌块建筑设计与施工规程 (JGJ 5—80). 中国建筑工业出版社, 1980
- [1-10] 混凝土空心小型砌块建筑设计与施工规程 (JGJ 14—82). 中国建筑工业出版社, 1982
- [1-11] 冶金工业厂房钢筋混凝土墙梁设计规程 (YS 07—79). 冶金工业出版社, 1981
- [1-12] 陆能源、冯铭硕. 考虑组合作用的墙梁设计. 建筑结构学报, 1980 (3)
- [1-13] 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). 中国建筑工业出版社, 1982
- [1-14] 工业与民用建筑抗震加固技术措施编写组. 工业与民用建筑抗震加固技术措施. 地震出版社, 1987
- [1-15] 巴荣光等. 竖向配筋空心砖承重体系住宅结构设计简介. 住宅科技, 1985, 11
- [1-16] 刘锡荟等. 用钢筋混凝土构造柱加强砖房抗震性能的研究. 建筑结构学报, 1981, 6
- [1-17] 马宏大. 多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计方法. 建筑结构, 1982 (5)
- [1-18] 砌体结构设计规范 (GBJ 3—88). 中国建筑工业出版社, 1988
- [1-19] 砖石结构设计手册编写组. 砖石结构设计手册. 中国建筑工业出版社, 1976
- [1-20] 杨玉成等. 多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计. 地震出版社, 1981
- [1-21] 蔡君毅等. 唐山市多层砖房震害分析. 清华大学出版社, 1984
- [1-22] 孙国栋. 国外砖石结构的应用及发展简介. 建筑结构学报, 1984 (5)
- [1-23] 吴晋清. 国外几种主要墙体材料发展概况. 硅酸盐建筑制品, 1986 (6)
- [1-24] 乐百塘摘译. 加筋砌体抗震设计. 建筑结构, 1977 (4)
- [1-25] 吴昊. 国外砌块工业发展概况. 砌块建筑, 1986, 3
- [1-26] 谢苗佐夫著. 砖石及钢筋砖石结构按计算极限状态的计算. 王自然译. 中国工业出版社, 1962
- [1-27] 施楚贤. 第三届国际墙体结构会议. 对外科技活动信息通报. 科学技术文献出版社, 1985 (2)
- [1-28] Mallet R. J. Structural Behavior of Masonry Elements. Int. Conf. on Planning and Design of Tall Buildings, 1972, Vol. 3
- [1-29] Surtherland R. J. M. Structural Design of Masonry Buildings. Int. Conf. on Planing and Design of Tall Buildings, 1972, Vol. 3
- [1-30] Macchi G. Safety Considerations for a Limit State Design of Masonry. Proceedings of the SIBMaC, 1971