

建筑工程教学辅导丛书

# 砌体结构

王庆霖 白国良 编著  
王宗哲 易文宗  
王庆霖 主编

中国建筑工业出版社

建筑工程教学辅导丛书

# 砌体结构

王庆霖 白国良 编著  
王宗哲 易文宗  
王庆霖 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书对《砌体结构》教科书的重点内容进行了比较深入的阐述和扩充,依据我国现行《砌体结构设计规范》(GBJ3-88),并结合砌体结构的特点,对各类构件的设计计算公式都作了详尽的论述,对国内外有关理论也以相当篇幅作了介绍,对教科书中没有涉及或论述不多的砌体剪力墙结构、砌体结构房屋抗震设计等内容也作了较深入的阐述。本书对帮助读者更好地理解教科书,掌握砌体结构的设计理论,并在工程中正确应用,将大有裨益。

本书是供建筑工程专业师生阅读的教学参考书,也可供从事砌体结构设计和施工的技术人员参考。

建筑工程教学辅导丛书

砌体结构

王庆霖 白国良

王宗哲 易文宗

编著

王庆霖 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

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

\*

开本: 787 × 1092毫米1/16 印张: 15<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数: 383千字

1995年9月第一版 1995年9月第一次印刷

印数: 1—4,200册 定价: 13.50元

ISBN 7-112-02562-1

TU·1966(7647)

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)

# 目 录

1	砌体结构的应用与发展 .....	1
1.1	砌体结构的优越性 .....	1
1.2	近代砌体的发展 .....	3
1.3	我国砌体结构发展面临的任务 .....	5
2	砌体材料 .....	7
2.1	各类块材的性能及应用特点 .....	7
2.2	砂浆 .....	12
2.3	各类砌体的性能和应用特点 .....	15
3	砌体的强度与变形性能 .....	19
3.1	砌体的抗压强度 .....	19
3.2	砌体抗剪强度 .....	27
3.3	砌体的变形性能 .....	33
4	砌体结构构件设计方法 .....	39
4.1	概述 .....	39
4.2	以概率为基础的极限状态设计方法 .....	43
5	无筋砌体受压构件 .....	51
5.1	短柱 .....	51
5.2	轴心受压长柱 .....	56
5.3	偏心受压长柱 .....	58
5.4	受压构件的设计步骤 .....	66
5.5	受压构件计算例题 .....	68
5.6	双向偏心受压构件计算 .....	71
6	无筋砌体局部受压 .....	79
6.1	局部均匀受压 .....	79
6.2	梁端有效支承长度 $a_0$ .....	83
6.3	梁端砌体局部受压计算 .....	86
6.4	垫块下砌体局压计算 .....	88
6.5	局压计算例题 .....	90
7	配筋砌体受压构件 .....	94
7.1	网状配筋砖砌体构件 .....	94
7.2	组合砖柱 .....	99
7.3	组合砖砌体墙 .....	106
8	砌体剪力墙 .....	109
8.1	无筋砌体剪力墙 .....	109
8.2	水平配筋砌体墙 .....	110
8.3	约束型组合砌体墙 .....	112

8.4	复合配筋剪力墙 .....	115
9	墙、柱计算高度和高厚比验算 .....	118
9.1	墙、柱高厚比要求 .....	118
9.2	墙、柱的计算高度 .....	119
9.3	墙、柱允许高厚比的修正 .....	125
9.4	墙、柱高厚比验算的方法 .....	131
10	砌体结构房屋的静力计算 .....	138
10.1	砌体结构房屋的空间工作与静力计算方案 .....	138
10.2	单层房屋的空间性能影响系数和静力计算方法 .....	143
10.3	多层房屋的空间作用及静力计算 .....	148
10.4	多层砌体房屋的计算简图 .....	155
10.5	半刚性节点多层房屋的计算——弹性地基梁计算理论 .....	160
11	组合墙梁和挑梁 .....	167
11.1	组合墙梁结构 .....	167
11.2	挑梁 .....	179
12	砌体结构房屋的抗震性能和抗震验算 .....	186
12.1	砌体房屋的地震破坏 .....	186
12.2	砌体结构房屋的模型试验 .....	192
12.3	地震作用计算原理 .....	198
12.4	多层砌体结构房屋的抗震验算 .....	208
13	砌体结构房屋的概念设计与构造要求 .....	222
13.1	基本构造要求 .....	222
13.2	防止墙体开裂的构造措施 .....	225
13.3	多层砌体房屋的抗震概念设计 .....	230
13.4	多层砌体房屋的抗震构造措施 .....	239

# 1 砌体结构的应用与发展

砌体结构教材的第一章主要论述了砌体结构的发展简史、砌体结构的优缺点及其应用范围,砌体结构的发展等。使学生对砌体结构有一个总的了解,便于以后各章的学习。

本章是对教材第一章的进一步阐述和补充。着重说明砌体结构与其它结构材料相比所具有的优势,帮助读者深入了解砌体结构具有取材容易、施工简便和造价低廉的特点,以及砌体结构今后的发展。

## 1.1 砌体结构的优越性

砌体是人们所应用的最古老的建筑材料,至今已有数千年的历史。尽管自20世纪以来,钢筋混凝土结构问世,并迅速在结构工程中得到广泛的应用,但砌体结构这一古老的结构类型在我国及世界各国仍然占据着十分重要的地位。在我国砖的年产量已由80年代初的两千多亿块猛增至近年来的四千多亿块,1988年仅实心粘土砖年产量已为4365亿块<sup>[1.8]</sup>,年人均约350块。在全国的建筑工程中采用砌体作为墙体材料的占全部墙体的95%以上,在住宅建筑中,采用砌体作为竖向承重结构的也在90%以上。国外砌体结构的应用也很普遍,据1979年的统计资料,粘土砖的年人均产量,前苏联为170块,东欧各国为146块,西欧各国为137块<sup>[1.6]</sup>。西方国家五六十年代曾一度在住宅建筑中推广混凝土大板建筑,但自70年代以来,砖混住宅建筑的比例又不断增加,在住宅承重墙体中,砖砌体目前约占50%~80%。砌体结构得到如此广泛的应用,与其所具有的优越性是分不开的。

### 1.1.1 砌体材料所具有的优越性

砌体材料与钢材、钢筋混凝土材料相比,具有一系列的优点。

1. 砌体由块材和砂浆砌筑而成,生产块材和砂浆所用的粘土、砂、石灰等都属于地方材料,而各种粉煤灰砖、粉煤灰砌块、砂渣砖等则主要采用工业废料,因而砌体材料取材容易、成本低廉,这是钢结构和耗用钢材及大量水泥的钢筋混凝土结构所不能比的。根据我国1980年部分城市的统计资料,在住宅建筑中,各类混凝土墙体的工程费用是砖墙体工程费用的1.6倍。

### 2. 砌体具有承重和围护的双重功能

砌体除具有承重功能以外,砖砌体还具有稳定的建筑物理性能,使其有良好的围护功能,其保温、隔热、隔音性能都优于普通钢筋混凝土。除寒冷地区外,按承载力或构造要求确定的墙体厚度一般均能满足热功要求,而不需要采取附加的保温、隔热措施。粘土砖的蓄湿性、透气性好,有利于调节室内的空气湿度,使人感到舒适,因而特别适用于建造民用建筑。

### 3. 砌体有良好的耐久性和耐火性

工程实践表明,砖砌体有良好的耐腐蚀和耐冻融的大气稳定性,合理的设计足以使砌

体结构使用到预期的耐久年限。砖砌体可耐受 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的高温,其耐火性能均可满足防火规范规定的非燃烧体的要求。

#### 4. 维护费用低, 节省能源

由于砌体具有良好的耐久性能,砌体结构房屋一般不需要或仅需要很少的维修费用。采用保温隔热性能好的空心砖砌体还可以有效地节省房屋使用期间的能耗。根据西方国家的统计资料,在房屋的总能耗中,基建耗能仅占 $10\%\sim 15\%$  [1.3],大部分能量用于采暖,其次为照明、电梯运行等,根据我国哈尔滨地区的资料,使用能耗为建造能耗的 $16\sim 23$ 倍,因此推广节能墙体,对能源短缺的我国具有特别重要的意义。

#### 1.1.2 砌体结构体系的优越性

砌体结构除了应用于少量的单层或多层空旷房屋建筑外,大量应用于民用多层房屋建筑,采用由纵墙和横墙相互咬槎拉结的全墙承重体系。此类体系使砌体结构具有下列优点:

1. 由于采用纵、横墙体来承受各种荷载,承载面积大,即使砌体强度不是很高,也能具有较高的结构承载力。建国以来,我国大量采用的砖砌体强度都不高,平均抗压强度一般为 $2\sim 3\text{MPa}$ ,仅为常用混凝土抗压强度的 $1/7\sim 1/10$ 左右。即使如此,1972年在北京已建成九层公寓建筑,是当时最高的砖砌体结构房屋。70年代以后,在重庆建成一批十~十二层的砌体承重民用建筑。在西方国家也已建成大批的十~二十层的砌体结构房屋。就承受重力荷载而言,砌体结构具有建造中高层,乃至高层建筑的承载力。

2. 由于纵、横墙相互拉结,形成一个具有很大抗侧刚度的箱形构件,纵、横墙体既是承受重力荷载的构件,又是房屋的抗侧力构件,具有较强的抗风能力。当前我国砌体强度不高,致使砌体结构自重较大,但由此产生的较大压应力对于抵消风荷力矩在墙体中产生的竖向拉应力起着有利的作用,进一步增强了砌体结构楼房的抗风能力。

3. 由于纵、横墙相互拉结,使砌体结构房屋具有良好的整体工作性能和抵抗爆炸、撞击等偶然作用的能力。局部的破坏不致引起相邻构件或房屋的整体坍塌。根据英国伦敦第二次世界大战后的统计分析,与其它结构材料相比,砌体结构房屋受战争的破坏损伤最小。

#### 1.1.3 砌体结构在施工上具有的优势

与钢结构和混凝土结构相比,砌体结构的施工具有以下优点:

1. 施工工艺简单。不论是无筋还是配筋砌体,施工时一般均不需要模板或仅需少量模板,也不需要特殊的施工设备。

2. 施工工序简便,施工迅速。墙体砌至层高后,即可承受楼板荷载,进行后继作业,使整体施工进度加快。采用大尺寸的空心砖或空心砌块时,砌筑效率可大大提高。当砖的外观质量良好时,可不作贴面或粉刷,简化施工工序。所有这些,使砌体结构可以做到快速施工。如美国加州一幢十三层建筑面积为 $1.4$ 万平方米的配筋砌体建筑——希尔顿旅馆,采用高强混凝土砌块和预应力空心楼板,每层只需 $4.5$ 个工作日,全部施工期仅为五个半月。

#### 1.1.4 砌体结构的造价优势

由于砌体结构在材料性能、结构体系、施工速度方面所具有的一系列优点,使砌体结构在一定的使用范围内,房屋的工程造价最低。在瑞典,高层砖墙承重结构在十几年前就被认为是经济合理的,二十层高度是经济的界限。在美国,经过分析对比,对六至十四层的房屋建筑,采用砖墙承重,其平均造价比混凝土结构低 $11\%\sim 17\%$ ,比钢结构低 $12\%\sim$

30%。根据我国部分地区的统计资料,对于住宅建筑,采用砖混结构比各种混凝土结构体系每平方米造价低2%~30%。

## 1.2 近代砌体的发展

### 1.2.1 传统砌体的缺点

传统的砖砌体存在一系列缺点。与其它结构材料相比,砌体的强度较低,其抗压强度一般仅为混凝土抗压强度的 $1/2 \sim 1/7$ ,因而需采用较大截面的墙、柱构件。如美国芝加哥于1889~1891年建造的十六层Mona dnock大楼,其底层墙厚达1.8m,占用了大量使用面积,也使结构自重大大增加,材料用量大,运输、施工工作量也随之增加。粘土砖大量生产要占用很多农田,目前我国粘土砖生产与农田争地的矛盾已十分突出。块体和砂浆的粘结力较弱,使砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度很低,加之结构自重大及材料的脆性性质,使传统砌体的抗震性能很差。传统砌体的上述缺点,限制了砌体结构在高层建筑和地震区建筑中的应用。

1931年新西兰那匹尔大地震使许多砌体结构房屋遭到严重破坏。1976年我国的唐山大地震在10度和11度区的大量砖混结构房屋,几乎全部一塌到底,使人们对传统的无筋砌体的弱点有了更进一步的认识。工业发达国家在五六十年代就已开始新型砌体的研究,块体向高强、多孔、薄壁、大块方向发展,具有良好抗震性能的以配筋砌体为代表的近代砌体得到了迅速发展。

### 1.2.2 生产高强、轻质块材和高强度砂浆

生产高强度、大尺寸、高孔洞率的块材(包括粘土空心砖),不仅可节省原材料,减轻结构自重,提高施工效率,还可以使砌体在保温、隔音、防火和建筑节能等方面优于其它结构材料。目前,欧美国家生产的砖,其抗压强度一般均为35~60MPa,有的高达140~230MPa;孔洞率一般为20%~40%,有的高达60%;重力密度一般为 $13 \text{ kN/m}^3$ ,轻质的仅为 $0.6 \text{ kN/m}^3$ ;空心砖的产量占总产量的60%~90%以上。

国外砌块的发展也十分迅速,欧美国家砌块的产量在70年代就已接近或超过了粘土砖的产量。

国外采用的砂浆强度也较高。如美国ASTMC270规定的M、S、N三类水泥石灰混合砂浆,其抗压强度分别为25.5、20、13.8MPa,原联邦德国采用的水泥石灰砂浆的抗压强度为13.7~41.1MPa,一些国家还致力于研究高粘结砂浆,掺加聚氯乙烯乳胶的砂浆强度可超过55MPa。由于块材和砂浆性能的改善,使砌体强度大大提高,在西欧及美国一些国家,早在70年代,砖砌体的抗压强度就已在20MPa以上,已相当于普通强度等级的混凝土的强度。

砌体强度的提高,可大大减轻结构自重,为建造高层房屋和地震区的应用创造了条件。1958年在瑞士苏黎士建成的十九层公寓,采用强度为60MPa,空心率为28%的空心砖砌体承重,墙厚为380mm。在美国丹佛市建成的五幢二十层塔式公寓,采用配筋砖砌体承重,墙厚为250mm,其中一幢采用振动砖墙板承重,墙厚仅150mm。

在我国,强度较高的新型空心砖也已开始生产,抗压强度一般均在25MPa以上。大连引进国外生产线,已可生产强度为100MPa的粘土砖。近十年来,采用混凝土以及利用工



业废料制成的粉煤灰硅酸盐砌块等新型块材在我国有较大发展,砌块产量已由80年代初的200多万立方米增加到目前的600多万立方米。

### 1.2.3 配筋砌体的研究与应用

无筋砌体与混凝土一样,有良好的抗压性能,但由于砂浆与块材的粘结力较弱,砌体的抗弯、抗拉和抗剪强度要大大低于其抗压强度,因而无筋砌体主要适用于承受压力为主的墙、柱构件,除了砖砌拱、穹以外,很难用于承受很大弯矩和剪力的梁式构件和抗侧力构件,这在很大程度上限制了砌体结构的应用范围。为此,美国和新西兰等国多年来致力于配筋砌体的研究,并已取得了很大进展。在**高强空心砖或空心砌块内配置竖向和水平钢筋,并灌注砂浆或混凝土,或在墙中间设置钢筋砂浆或钢筋混凝土夹层,可以大大提高墙体的抗弯、抗剪能力和延性,为砌体在高层建筑和地震区建筑中的应用开辟了新的途径。**

美国早在1966年在地震4区(相当于我国的9度区)的圣地亚哥就建造了八层配筋砌体建筑——海纳雷旅馆,此后在地震区陆续建造了许多配筋砌体高层建筑,包括住宅、公寓、办公楼和医院等。1990年落成的拉斯维加斯二十八层配筋砌体结构——爱斯凯利堡旅馆,位于地震2区(相当于我国的7度区),是目前最高的配筋砌体建筑,十九层以下砌块墙体的厚度为300mm,二十至二十八层墙厚为190mm。除此之外,在美国配筋砌体还用于挡土墙、体育馆、游泳池等建、构筑物<sup>[1.5]</sup>。

我国自70年代末以来,在总结唐山地震工程经验的基础上,大力开展抗震砌体的研究工作,在墙中设置构造柱的约束砌体已在地震区的房屋建筑中得到了极为广泛的应用。

用作墙体材料的各种形式的砌块和空心砖配筋砌体以及中、高层配筋砌体房屋的研究工作正在积极进行,并已在工程实践中得到应用,在广西南宁、辽宁本溪等地已建成数十万平方米的以配筋砌块作为承重墙体的八至十一层住宅建筑。

### 1.2.4 砌体的抗震性能

无筋砌体的抗震性能很差,而配筋砌体的抗震性能则大为提高<sup>[1.2]</sup>。图1-1为无筋砌体墙片与配筋砌体墙片的平均骨架曲线对比试验结果,图中 $F_0$ 为墙片B,即仅设墙端柱和圈梁的墙片的极限荷载最大值, $F$ 为试验墙片A、B、C的极限荷载,其中墙片A为无筋墙片,墙片C为除端柱和圈梁外再增设两道配筋带的墙片, $\Delta$ 为各墙片在水平荷载作用下的顶点位移, $h$ 为试验墙片的高度。由图可见,配筋墙片的变形能力大大增强。随着配筋量的增加,配筋墙体的延性系数可以达到无筋墙体的10~12倍。因而配筋砌体有足够的变形能力来吸收地震能量,防止建筑物倒塌。

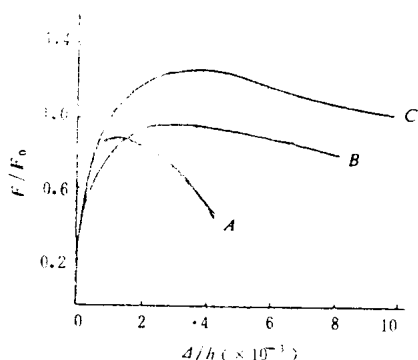


图 1-1 各类墙片骨架曲线比较图

有的配筋砌体建筑已经受过多地震的考验。前面提到过的十三层希尔顿旅馆,在1971年美国西部的圣佛尔南多大地震中,震后完整无损,而与其毗邻的一幢十层钢筋混凝土框架结构却遭到了严重的破坏。在同一次地震中,加州退伍军人医院的二十六幢配筋砌体建筑也经受了考验,而附近采用其它结构材料的五个医院却受到了严重的破坏。二十层的派克兰塔楼,成功地经受了里氏五级的地震考验。1987年和1989年先后在洛杉矶和旧金山发生了较强烈的地震,配筋砌体建筑均完好无

损。这一切表明配筋砌体结构的抗震能力完全可以满足地震区建筑的要求。

综上所述,随着高强块材和高强砂浆的发展以及配筋砌体的应用,砌体材料的力学性能已接近普通钢筋混凝土,而由于砌体结构在材料、结构体系、施工以及工程造价等方面所具有的优势,使砌体结构成为具有强大生命力和竞争力的结构。我国有关单位曾做过分析对比,配筋小砌块砌体与无筋实心粘土砖砌体相比,可减小能耗50%,节省耕地、减小占地面积、增大使用面积5%以上,减轻自重50%,灰缝砂浆可减少75%以上,承载能力与240mm厚的砖墙相比提高一倍以上。而与混凝土结构相比,具有施工简便,不需模板,不需大型起重设备,在材料消耗、结构自重、工程造价上也都较低。

### 1.3 我国砌体结构发展面临的任务

新中国成立以来,我国砌体结构虽然得到了迅速的发展,取得了显著发展,应用也十分广泛,但与先进国家相比,砌体结构的应用仍处于较落后的水平,难以满足砌体结构日益发展的需要。为使我国的砌体结构向现代砌体发展,为我国的基本建设事业和世界砌体结构的发展作出更大的贡献,还需要作巨大的努力。

#### 1.3.1 发展多品种轻质高强的块材和高强度砂浆

块材强度和砂浆强度是影响砌体强度的主要因素,采用轻质高强的块材和高强度砂浆,对于减轻结构自重,扩大砌体结构的应用范围有着重要的意义。我国目前大量生产的块材强度还很低,一般为7.5~15MPa,仅为国外块材强度的1/5~1/10。常用砂浆强度也大大低于国外常用砂浆的强度。推广粘土空心砖和各种空心砌块是节土、节能、减轻结构自重的有效途径。据江苏省的调查,生产空心砖比实心砖节约土源20%~30%,节约燃料30%~40%。采用空心砖,结构自重可减轻20%~30%,加快施工进度20%,节约运输费用20%。空心砌块砌体同样也具有很大的优越性。但我国的空心砖生产还十分落后,截止1984年的统计表明,空心砖产量最高的一年也仅占砖总产量的3.8%,近几年来,空心砖和各类砌块的生产 and 应用虽有较大发展,但仍远远落后于国外的发展水平。因此需进一步改进生产工艺,综合建筑、结构、施工等各方面的要求,生产多品种的规格齐全的轻质高强块材,逐步提高我国的砂浆质量和砂浆强度。

#### 1.3.2 加强配筋砌体结构的研究和应用

我国是一个多地震的国家,地震区域广大,烈度7度以上地区就占全国国土面积的三分之一,有一百多个大、中城市需要抗震设防。我国又是人口大国,近年来每年兴建的住宅建筑面积就有一亿多平方米,城市用地十分紧张,不少城市迫切需要建造中高层及高层建筑,以缓解建筑用地紧张的矛盾。再加上我国的财力、物力短缺,发展抗震性能良好、施工简便、造价较低的高层和中高层配筋砌体结构体系对我国具有特别重要的意义。因此应进一步加强对各种形式配筋砌体的抗震性能、设计计算方法以及构造要求的研究,逐步在中高层甚至高层房屋中推广配筋砌体的应用。

#### 1.3.3 加强对砌体结构理论的研究

砌体作为历史悠久,应用范围广泛的结构工程材料,在我国及世界各国已积累了丰富的工程经验,自本世纪四五十年代,特别是近二三十年以来,经过系统的试验和理论研究工作,逐步发展了近代砌体结构设计计算理论,足以满足当前砌体结构工程设计的需要。但由

于砌体（包括近代配筋砌体）是比宏观上较匀质的混凝土更为复杂的复合材料，随着砌合方法的不同，砌体按不同规则被竖向和水平灰缝所分割，这就使砌体不但象混凝土一样具有相差悬殊的抗压和抗拉强度，而且还有明显的各向异性的特点。当砌体的受力方向不同的时候，会有不同的抗压、抗拉和抗剪强度值，在相同的受力状态下，随着受力方向与灰缝间夹角的变化，往往会产生不同的破坏形态和强度值大幅度的变化。迄今为止，对砌体的各向异性特性，多种破坏形态发生的条件和相互转换的认识还很不够，对砌体结构在复合受力条件下的破坏机理、砌体与其它材料共同工作等方面的研究也比较薄弱。因此，运用现代化的试验装备与研究手段开展对砌体结构理论的研究，对建立完善的砌体结构计算理论，推动砌体结构、特别是抗震砌体结构的发展有着重要的意义。

#### 1.3.4 提高砌体结构的施工质量和施工的机械化水平

一般情况下，砌体是由手工劳动将块材用砂浆砌筑而成的，灰缝厚度、砂浆的饱满度、砂浆的密实性与砌筑质量密切相关，砌体的受力和变形性能在很大程度上受施工因素的影响。砌体结构因施工质量低劣而引起的工程质量事故，甚至倒塌事故屡有发生，在搜集到的44起房屋倒塌事故中（不包括屋架、悬挑结构等局部塌落），混合结构房屋就占37起，使人民生命财产遭受巨大损失。这主要是由于对砌体结构缺乏足够重视造成的，必须提倡精心设计、精心施工，切实保证砌体工程质量的监察与控制。

在我国，砌体结构的应用量大面广，进一步减轻繁重的手工劳动，加快工程建设进度是砌体结构施工战线面临的紧迫任务。在块材和结构形式上应多采用空心、大块块材和大型预制墙板，在施工工艺上则应提高砂浆及混凝土材料的运输和灌注、铺砌的机械化水平，使我国砌体结构的施工技术达到更高的现代化水平。

### 参 考 文 献

- 1.1 施楚贤等. 砌体结构理论与设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.9
- 1.2 刘大海, 杨翠如, 钟锡根. 高楼结构方案优选. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992.12
- 1.3 孙继颖. 空心砖与建筑. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.8
- 1.4 孙国栋. 国外砖石结构的应用及发展简介. 建筑结构学报, 1984,(1)
- 1.5 苑振芳. 浅谈我国砌体结构的发展方向. 中国建筑东北设计院, 1991
- 1.6 陈行之. 量大面广的砌体结构的研究. 湖南大学, 1987
- 1.7 吴昊. 国外砌块建筑工业发展概况. 砌块建筑, 1986,(3)
- 1.8 谢志国. 影响砖混住宅建筑工期、造价、质量的主要因素分析. 陕西省建筑科学研究院, 1990
- 1.9 R. R. Schneider, W. L. Dickey. Reinforced Masonry Design. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 1980
- 1.10 W. G. Curtin, G. Shaw, J. K. Beck, W. A. Bray. 砖石结构设计手册. 朱君道, 成源华译. 上海: 同济大学出版社, 1989

## 2 砌体材料

砌体材料是教材第二章前两节所介绍的内容,包括各类块材的规格,砌筑砂浆的分类、性能要求,块材及砂浆的选择和各类砌体的介绍。

这一章是对教材有关内容的进一步补充,着重介绍各类块材和砂浆的物理力学特性以及这些特性对砌体受力性能的影响。对块材和砂浆性能的进一步了解,对于理解和掌握各类砌体的性能,正确指导砌体结构的设计和施工都将有很大帮助。

### 2.1 各类块材的性能及应用特点

块材分为砖、砌块和石材三大类。砖与砌块通常是按块材的高度尺寸划分的,块材高度小于180mm者称为砖;大于180mm者称为砌块。

#### 2.1.1 砖

目前我国用作承重砌体结构的砖有:烧结普通砖、承重空心砖和非烧结硅酸盐砖。

烧结普通砖是以粘土、页岩、煤矸石、粉煤灰为主要成份经高温熔烧而成的实心或孔洞率不大于15%的砖。孔洞率大于15%的承重粘土砖则称为承重粘土空心砖(孔洞率 $>25\%$ )或多孔砖(孔洞率在25%以下)。

非烧结硅酸盐砖是用硅酸盐材料压制成坯并经高压釜蒸汽养生制成的砖。如以石英砂及熟石灰制作的灰砂砖;以粉煤灰、石灰及少量石膏制作的粉煤灰砖;以矿渣、石英砂及石灰制作的矿渣砖等。

##### 1. 粘土烧结普通砖及空心砖

目前我国生产的实心砖规格为 $240\times 115\times 53\text{mm}$ 。其物理力学性能如下:

1) 表观密度:实心粘土砖的表观密度为 $17\text{kN/m}^3$ 。我国生产的承重粘土空心砖(KP1、KP2、KM1等)的孔洞率一般为 $20\%\sim 30\%$ ,其表观密度为 $12.5\sim 14\text{kN/m}^3$ 。近年来西安生产的两种条孔多孔砖,外形尺寸为 $240\times 190\times 90\text{mm}$ , $240\times 115\times 90\text{mm}$ ,孔洞率分别为 $36\%$ 和 $33\%$ ,表观密度为 $12.9\sim 13.7\text{kN/m}^3$ ,比实心砖减小 $19\%\sim 24\%$ 。

2) 吸水率:砖的吸水率是指砖所能吸收水份的重量与砖自重的百分比。吸水率是砖的一项重要物理性能指标,与砖的抗冻性密切相关,吸水率越大,抗冻性越差。美国对有严格耐久性要求的砖,规定砖的吸水率不应大于 $17\%$ ,对有中等耐久性要求的砖,吸水率不应大于 $22\%$ 。

空心砖的吸水率小于实心砖,吸水速度也稍慢,这可能是因为在制坯挤压成孔时,使孔四壁的密实性有所增加造成的。根据上海所作的试验,粘土空心砖浸泡103d的吸水率为 $17.2\%$ ,试验还表明,有内燃成分的砖的吸水率比没有内燃成分的砖的吸水率约大 $25\%$ 。

3) 初始吸水速率:初始吸水速率可用单位面积砖一分钟内所吸收的水份来度量。初始吸水速率和吸水率是两项不同的物理性能,吸水率很高的砖,初始吸水速率可以很低。

初始吸水速率直接影响块材与砂浆的粘结强度，图2-1为抗拉粘结强度与初始吸水速率的关系曲线<sup>[2,4]</sup>。由图可以看出，初始吸水速率在15~20g/min时，砂浆与砖的抗拉粘结强度最高，初始吸水速率超过40g/min时，粘结强度迅速下降。过高的初始吸水速率会使砂浆很快失去水份，降低砂浆的和易性，增加砌筑困难，降低砌筑质量，并使砂浆因失水而降低强度及其与块材的粘结。粘土砖的初始吸水速率一般均高于这一上限值，因而在砌筑时，

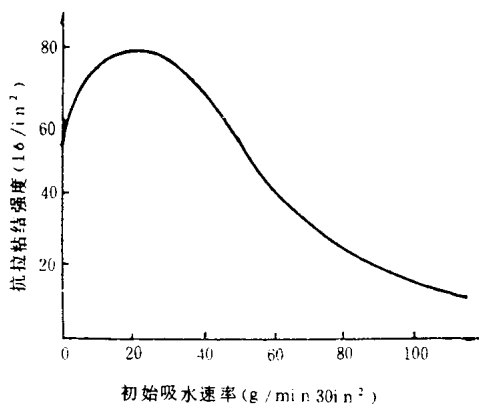


图 2-1 抗拉粘结强度与初始吸水速率的关系曲线

应对砖采取浸水措施，以降低砖的初始吸水速率。

4) 耐久性：砖的耐久性是指在使用年限内能经受自然环境的影响，保持其应有的使用性能的能力。

对于粘土砖，存在着冻融腐蚀和可溶性盐的结晶风化作用的可能，因此砖必须具有足够的耐水性和抗冻性。可溶性盐从砖表面以下析出，常常在砖表面出现白色沉淀，一般说这并不特别有害，仅影响美观，但当砖未烧透时，则会引起砖的分解和剥落。砖孔隙中的水份冻胀后产生内应力，

造成冻融腐蚀，冻融腐蚀会导致砖的分层剥落。可溶性盐的结晶风化作用对未烧透砖的影响和冻融腐蚀都会造成强度下降。我国标准对砖的耐水性和抗冻性指标都有相应的规定，正常质量的烧结砖一般均能满足这些要求，具有良好的耐久性能。

5) 耐火性：建筑材料的耐火程度由耐火极限确定，所谓耐火极限，是指在受到火力作用后，失去支持能力、稳定性或与火作用相对立表面的温度升高到150℃的时间。对于厚度为240mm的砖墙，其耐火极限应为5.5小时。试验表明，粘土砖的防火性能均满足防火规范所规定的非燃烧体的要求，空心砖由于隔热性能好，其耐火极限还高于实心粘土砖。

6) 强度：强度是块材力学性能的基本标志，我国规范将按标准试验方法得到的、以MPa表示的块材极限抗压强度平均值作为该块材的强度等级。对于标准实心砖，因砖厚仅53mm，为防止砖在砌体中由于受拉、受弯而过早断裂，国家标准《烧结普通砖》(GB5101-85)在确定砖的强度等级时，除了依据其抗压强度外，还规定了相应的抗折强度要求，二者必须同时满足。具体规定如表2-1所示。

烧结普通砖强度等级划分

表 2-1

强度等级 (砖标号)	抗压强度MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )		抗折强度MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	五块平均值不小于	单块砖最小值不小于	五块平均值不小于	单块砖最小值不小于
MU20(200)	19.62 (200)	13.73 (140)	3.92 (40)	2.55 (26)
MU15(150)	14.72 (150)	9.81 (100)	3.01 (31)	1.96 (20)
MU10(100)	9.81 (100)	5.89 (60)	2.26 (23)	1.28 (13)
MU7.5(75)	7.36 (75)	4.41 (45)	1.77 (18)	1.08 (11)

目前我国新制定的砖标准《砌墙砖试验方法》(GB 2542)和《砌墙砖检验规则》(JC 466-92)已向国际标准靠拢,取消了对抗折强度的要求,仅用抗压强度指标评定砖的强度等级,并将检验样本从五块增加到十块。

砖强度的大小取决于粘土的物理性能、制作工艺、烧结程度;对于空心砖还与孔数、孔型和排列方式有关。对于承重粘土空心砖Schellbrach<sup>[2.1]</sup>等人的研究认为,竖向孔洞率在25%~40%时,对砖的抗压强度影响很小,这是由于在生产具有较大孔洞的砖时,成孔挤压使砖的密实性有所增加,补偿了由于孔洞造成的承压面积的削弱。当孔洞率超过40%~55%时,砖强度将降低10%~25%。小孔的空心砖,当外壁厚度在12~20mm之间变化时,其力学性能基本不变。孔大而少的空心砖则要求有一定的外壁厚度。孔洞应错开排列,以利于提高抗折强度。小孔空心砖铺砌时还可减少漏浆,而大孔空心砖则便于灌注混凝土,形成竖向配筋的芯柱。

目前我国砖的抗压强度一般为7.5~25MPa,变异系数为0.18~0.4,仅少数砖厂引进国外先进工艺,可生产高强度的实心 and 空心砖。

7) 变形性能:图2-2为同济大学<sup>[2.3]</sup>和L. Binda<sup>[2.8]</sup>对软塑实心砖(250×120×55mm)所给出的砖的应力应变曲线。由图可以看出,变形曲线有较长的直线段,达到极限强度后,很快就达到极限变形而破坏,说明砖是一种脆性材料。当砖强度在15~20MPa变化时,其极限应变在0.0011~0.0023范围内变化,弹性模量约为 $1.3 \times 10^4$ MPa。软塑砖的极限变形较大,可达0.005,弹性模量为 $4.9 \times 10^3$ MPa。

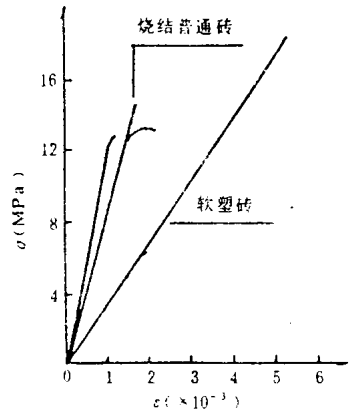


图 2-2 砖的应力应变曲线

实心粘土砖由于生产工艺简单,目前是我国砌体结构中应用最广泛的块材,它适用于各类地下和地上的砌体结构房屋和构筑物。但生产实心粘土砖要耗用大量粘土和能源,对农业生产和保持生态平衡都十分不利,我国正逐步以承重粘土空心砖和其它块材取代粘土实心砖。

空心砖的应用也很广泛,按其用途可以分为:承重空心砖和非承重空心砖。承重空心砖有国家标准《承重粘土空心砖》(TC196-75)所推荐的三种空心砖,主要型号为KM1型(190×190×90mm),KP1型(240×115×90mm)和KP2型(240×180×115mm)。近年来,在安徽、西安和大连等地又研制了新的砖型,并已投入生产。如安徽的空心模数砖DM1、DM2和DM3;西安的条形多孔砖DM4、DP1等。

国内外生产的承重空心砖,从孔型上看有圆形、椭圆形、方型、矩形和菱形孔,如图2-3所示<sup>[2.2]</sup>。表2-2为各种孔型砖的使用性能比较,可以看出,孔型以矩形孔为最好。

目前国内生产的空心砖的最大体积为普通实心砖的3.4倍,国外如意大利、法国、瑞士等国生产的空心砖(或称空心砌块)体积可达到我国普通实心砖的6~12倍,可显著提高砌筑工效和节省砌筑砂浆。

非承重空心砖用作非承重隔墙和框架填充墙,对强度要求不高,一般要求顺孔方向的抗压强度大于5MPa,垂直孔洞方向的抗压强度大于1.5MPa。孔洞一般水平设置,以利于铺浆。我国目前生产的各种规格空心砖的孔洞率一般在40%左右,最大可达52%。

此外还有各种专门用途的粘土砖,如空心楼板砖、空心梁砖、模板砖、吸音砖和贴面

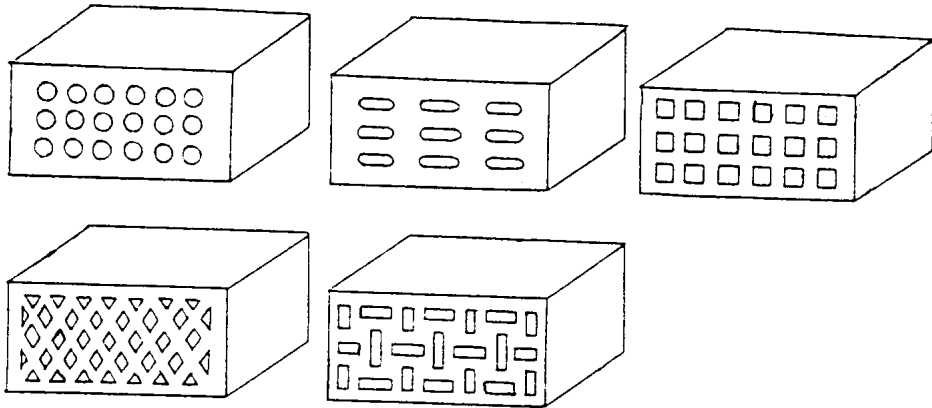


图 2-3 空心砖孔型

各种孔型空心砖的使用性能

表 2-2

项 目 \ 孔 型	圆 形	椭 圆 形	方 形	矩 形	菱 形
保温性能	较差	较好	较好	好	较差
孔洞率	小	中等	较大	大	中等
容 重	较大	中等	较小	较小	较小
砌筑漏浆	较少	较少	多	少	多

砖等。

自从唐山地震以后，由于担心空心砖孔洞削弱墙体的受剪面积，使抗震性能不佳而限制了空心砖在地震区的应用。但近年来的试验研究表明，由于砌墙时部分砂浆挤入孔内产生销键作用，空心砖砌体的抗剪能力并不低于实心砖砌体。通过我国各单位进行的一系列研究，目前已制订了在地震区应用的设计与施工规程《多孔砖（KP1型）建筑抗震设计与施工规程》（JGJ 68-90）。因此在地上建筑中空心砖的使用范围可与标准实心砖完全相同，但在北方寒冷地区，考虑到孔洞内充水后，会循环结冰冻胀而影响砖的耐久性，因而不宜在地下应用空心砖。

## 2. 非粘土烧结砖

页岩砖是以泥质页岩或炭质页岩为主要原料，而煤矸石砖则利用开采煤矿时剔出的煤矸石为主要原料，经粉碎成型、干燥和焙烧制成的砖。这两种砖的化学成分与粘土相近，所以它们的各项物理、力学性能也与粘土砖相近。

粉煤灰砖以工业废料粉煤灰为主要原料，掺入20%左右的粘土、煤矸石等胶结料，经焙烧制成。纯粉煤灰砖虽然抗压强度很高，可达35~45 MPa，且表观密度较小，约15.5 kN/m<sup>3</sup>，但其吸水率过高，且容易破碎<sup>[2,5]</sup>。掺入胶结料后，Robert E. D.的试验表明：抗压强度在20~25 MPa之间，容重为17 kN/m<sup>3</sup>，吸水率为22%，性能与粘土砖相近。

## 3. 蒸压灰砂砖和蒸压粉煤灰砖

我国有蒸压灰砂砖的生产标准《蒸压灰砂砖》（GB 11945-89）。灰砂砖为非烧结砖，选用80%~90%的石英砂，10%~20%的石灰，经坯料制备、压制成型、蒸压养护而成。色泽

一般为灰白色，表观密度比粘土砖稍大，抗压强度一般为 $10 \sim 20\text{MPa}$ 。根据湖南大学的试验资料<sup>[2.15]</sup>，灰砂砖的吸水率为 $18.4\% \sim 20.4\%$ ，与粘土砖的吸水率基本一致，但其吸水速度要比粘土砖慢。

灰砂砖出厂时含水量较高，在干燥过程中产生较大收缩，含水率从 $15\% \sim 18\%$ 降至 $1\%$ 左右时，收缩值为 $0.55 \sim 0.74\text{mm/m}$ 。因此灰砂砖出釜后，需在遮雨条件下堆置一个月，使其基本达到自然平衡含水率（ $5\%$ 左右）以后，再砌墙，以避免墙体产生较宽的收缩裂缝，并禁止采用干砖或含饱和含水率的砖砌墙，也不宜在雨天施工。灰砂砖有良好的抗冻性和耐水性，但其耐火性较差，不能用于温度长期超过 $200^\circ\text{C}$ ，受急冷、急热或有酸性介质侵蚀的部位。

蒸压粉煤灰砖以粉煤灰为主要原料，因而容重较小，干态表观密度均值为 $15.35\text{kN/m}^3$ ，吸水率在 $19.6\% \sim 23.6\%$ 之间，比粘土砖略大，但早期吸水率（ $5\text{min}$ 以内）仅为粘土砖的 $60\%$ ，故宜提前浇水湿润，以保证砌筑质量。

灰砂砖及粉煤灰砖的尺寸规则，表面平整光滑，因而与普通砂浆的粘结力较差。

对粉煤灰类的硅酸盐砖应考虑碳化对强度降低的影响，这一点与烧结砖不同。试验表明，粉煤灰砖自然碳化的时间约需一年，碳化对砖的抗折强度影响较大。

### 2.1.2 砌块

砌块在我国是发展迅速的砌体材料之一，主要有混凝土、轻骨料混凝土、加气混凝土砌块以及蒸压粉煤灰砌块。

砌块按尺寸大小分为手工砌筑的小型砌块和采用机械施工的中型和大型砌块。高度为 $180 \sim 350\text{mm}$ 的块体一般称为小型砌块；高度在 $360 \sim 900\text{mm}$ 之间的称为中型砌块。小型砌块与砖相比，尺寸就大得多，因而可提高砌筑工效和节约砂浆，且使用仍较灵活，适应面较广。

混凝土砌块的吸水率是否作为衡量耐久性的一项物理性能指标，目前还没有定论。但有国家，如美国仍规定了混凝土砌块吸水率的限值，如对于表观密度超过 $125\text{lb/ft}^3$ （ $19.65\text{kN/m}^3$ ）的砌块，最大吸水量为 $13\text{lb/ft}^3$ （ $2.04\text{kN/m}^3$ ）。

砌块的线性收缩值应限制在 $0.03\% \sim 0.065\%$ 以内，块体的含水率越大，收缩值越大。在砌筑时砌块应处于干燥状态，以减少由于砌块的收缩而引起的墙体开裂，仅在异常炎热干燥的条件下，才适当在砌块上喷水，以免砂浆迅速干硬而影响砌筑质量。

与空心砖一样，我国规范规定，以破坏荷载除以毛面积作为空心砌块的强度指标。砌块的强度等级有MU15、MU10、MU7.5、MU5和MU3.5。砌块的物理、力学性能与块体材料有关，普通混凝土空心砌块的力学性能指标可参考混凝土结构的有关资料。

加气混凝土由于含有大量气孔（孔隙率为 $60\% \sim 70\%$ ），块材表观密度仅为 $5 \sim 7\text{kN/m}^3$ ，相当于普通砖的 $\frac{1}{3}$ ，普通混凝土的 $\frac{1}{4}$ 。抗压强度可达 $3 \sim 5\text{MPa}$ 。我国东北地区浮石资料丰富，其松散容重仅为 $4.3 \sim 4.5\text{kN/m}^3$ ，制成的浮石混凝土，其抗压强度可达 $7 \sim 10\text{MPa}$ ，用浮石混凝土制成的空心砌块，抗压强度一般在 $2\text{MPa}$ 左右。此类砌块自重轻，保温、隔热性能好。轻质材料砌块的抗压强度虽较低，但由于块体大，材质较均匀，砌筑灰缝少，使块体内的拉、弯、剪应力减小，在砌体中块材的抗压强度利用率可达到 $70\% \sim 80\%$ ，远高于粘土砖砌体中砖的抗压强度利用率。因此用轻质材料砌块建造多层房屋是可行的和经



济合理的,在我国北方寒冷地区已经得到了推广。普通混凝土空心砌块主要在我国粘土资源紧张的地区采用。

### 2.1.3 石材

石材主要有重质岩石和轻质岩石两类。重质岩石强度高、耐久性好,但隔热性能较差;轻质岩石的保温、隔热性能好,容易加工,但强度较低,耐久性较差。在我国产石地区利用石材这一天然资料比较经济。

石材按加工后外形的规则程度分为细料石、半细料石、粗料石、毛料石和毛石。细料石、半细料石和粗料石要求截面的宽度和高度不小于200mm,且不小于长度的 $\frac{1}{4}$ ,叠砌面凹入深度分别要求不大于10、15、20mm;而毛料石仅要求外形大致方正,高度不小于200mm,叠砌面凹入深度不大于25mm;毛石形状不规则,中部厚度不小于200mm即可。

石材的强度等级分为MU100至MU10九个级别,一般由三个边长为70mm的立方体试块的极限抗压强度平均值确定,当采用其它尺寸的立方体试件时,应将试验所得的极限抗压强度乘以表2-3中的换算系数后作为确定强度等级的依据。

石材强度等级的换算系数

表 2-3

立方体边长 (mm)	200	150	100	70	50
换算系数	1.43	1.28	1.14	1.0	0.86

## 2.2 砂浆

砂浆的作用是在砌体中将单块的块材连成整体,填满块材间的缝隙,垫平上、下表面,使块体应力分布较为均匀,以利于提高砌体的抗压强度和抗弯、抗剪性能;砂浆的作用还在于减少砌体的透气性,提高砌体的防水、防风等围护功能。

我国目前常用的砂浆有水泥砂浆、水泥石灰混合砂浆和石灰砂浆,国外还采用由轻骨料和胶结材料组成的轻质砂浆和掺有聚氯乙烯乳胶的高强度砂浆。

### 2.2.1 砂浆的可施工性

新拌砂浆良好的可施工性是保证砌筑质量,使砌体具有良好受力性能的必要条件。砂浆的可施工性由砂浆的可塑性和保水性确定。

新拌砂浆的可塑性能可以用标准锥体自由落入砂浆中的沉入量表示,沉入量越大,可塑性越好。对实心砖砌体,要求沉入量在70~100mm之间;对空心砖砌体,要求沉入量在60~80mm之间;对砌块砌体,在50~70mm之间;对石砌体,在30~50mm之间。在工程实践中,砂浆的可塑性一般由操作人员的经验掌握。

新拌砂浆在存放、运输和砌筑过程中保持水份的能力称为保水性,表示砂浆中水份不易分层离析的能力。保水性可由分层度衡量,在新拌砂浆静置三十分钟后,以上、下层砂浆沉入量的差值表示分层度,一般要求砂浆分层度不大于20mm。

可塑性和保水性好的砂浆,操作方便,可提高劳动效率,易使灰缝饱满均匀,不致因块体吸收过多水份而影响砂浆的正常硬化,保证砌筑质量。