

土

木

工

程

系

列

丛

书

砌体 结构

设计

■ 苏小卒 主编

同济大学出版社



土木工程系列丛书

砌体结构设计

主编

苏小卒

编著

苏小卒

林宗凡	周克荣	顾祥林
李翔	屈文俊	肖建庄

同济大学出版社

内容提要

本书系统地阐述了砌体结构的设计原则、砌体材料及其力学性能、砌体房屋结构的形式和组成、砌体结构构件的承载力和构造、砌体结构房屋抗震设计等内容,并用例题详细地演示了砌体结构及其构件的设计方法。书中还给出了思考题和习题,适合教学需要。

本书是根据国家标准《砌体结构设计规范》GB50003—2001编写的,反映了我国在砌体结构科学研究和设计理论方面的最新成果,内容丰富而且实用,可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供有关的工程设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

砌体结构设计/苏小卒主编. —上海:同济大学出版社,
2002.10
(土木工程系列)
ISBN 7-5608-2496-X

I. 砌… II. 苏… III. 砌体结构—结构设计
IV. TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 064561 号

砌体结构设计

苏小卒 主编

责任编辑 容 榕 司徒妙龄 责任校对 郁 峰 封面设计 晓 陆

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销

全国各地新华书店

印 刷

苏州望电印刷厂印刷

开 本

787mm×1092mm 1/16

印 张

12.25

字 数

314 000

印 数

1—5 200

版 次

2002 年 10 月第一版

2002 年 10 月第一次印刷

书 号

ISBN 7-5608-2496-X/TU·467

定 价

18.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

本书是为高等学校本科土木工程专业所编写的教材,其中与设计有关的内容按国家标准《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)等新规范编写。

我国大量的房屋是用砌体建造的,因而砌体结构设计是土木工程专业建筑工程方向的一门重要的专业课,对土木工程的其他方向也有重要的选修价值。砌体结构设计这门专业课的特点是与实际联系密切,内容实用,信息量大。但本书的理论描述相对简洁,读者可以凭藉已学过的基础理论(如混凝土结构基本原理)去加以领会。

与其他结构形式相比较,砌体结构的理论发展较晚,至今,对有些受力情况下的承载机理仍未完全弄清。在工程中往往采用经过长期实践检验的假定计算,一些半经验半理论的公式和构造方法也能较好地满足工程实际的需要。相对于学生前期所学的理想化的力学计算而言,砌体结构设计的内容既深刻又丰富,其中凝聚了专家、学者和工程师们大量的研究成果和工程实践经验。限于篇幅,本书不可能对所有的理论基础进行全面论述。然而,我们尽力尝试讲清砌体结构主要的承载机制;并从符合认识规律的角度出发,强调从整体上把握所学内容,以免“只见树木,不见森林”。

本书是同济大学土木工程学院土木工程专业系列教材编写计划项目之一,由混凝土结构教研室长期主讲砌体结构课程和进行砌体结构研究的教师编写。第一章和第四章由苏小卒编写,第二章和第九章由顾祥林编写,第三章由周克荣编写,第五章由林宗凡编写,第六章由屈文俊编写,第七章由李翔编写,第八章由肖建庄编写。全书由苏小卒统一修订定稿。

由于编写时间紧迫,及限于编者的学识,书中难免会有不足之处,敬请读者批评指正。

苏小卒

2002年8月

于同济大学土木工程学院

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 砌体结构的历史和现状	(1)
第二节 砌体结构的概要和特点	(2)
第三节 砌体结构的发展方向	(3)
思考题	(3)
第二章 砌体结构的设计原则	(5)
第一节 砌体结构设计方法的历史回顾	(5)
一、容许应力设计法	(5)
二、破坏阶段设计法	(5)
三、三系数表达的极限状态设计法	(6)
四、多系数分析总系数表达的极限状态设计法	(7)
五、以分项系数表达的极限状态设计法	(8)
第二节 现有砌体结构设计规范(GB50003—2001)的设计方法	(9)
第三节 分项系数的确定	(11)
一、确定分项系数的理论基础	(11)
二、分项系数的确定原则	(13)
三、荷载分项系数和组合系数	(13)
四、材料性能分项系数	(14)
思考题	(15)
第三章 砌体材料及其力学性能	(16)
第一节 砌体材料	(16)
一、块体	(16)
二、砂浆	(18)
三、块体和砂浆的强度等级	(19)
第二节 砌体的种类	(20)
一、无筋砌体	(20)
二、配筋砌体	(21)
三、预应力砌体	(22)
第三节 砌体材料的力学性能	(22)
一、砌体的受压性能	(22)
二、砌体的轴心受拉性能	(27)
三、砌体的弯曲受拉性能	(28)

四、砌体的受剪性能	(28)
五、砌体强度设计值的调整	(30)
第四节 砌体的弹性模量、摩擦系数和线膨胀系数	(31)
一、砌体的弹性模量	(31)
二、线膨胀系数和收缩率	(32)
三、摩擦系数	(33)
思考题	(33)
附录 3-1 砌体抗压强度设计值	(33)
附录 3-2 砌体的抗拉强度和抗剪强度设计值	(36)
附录 3-3 砌体的弹性模量、线膨胀系数和收缩率、摩擦系数	(37)
第四章 砌体房屋结构的形式和内力分析	(38)
第一节 砌体房屋结构的形式和组成	(39)
第二节 砌体结构的布置	(40)
一、横墙承重体系	(40)
二、纵墙承重体系	(41)
三、纵横墙承重体系	(42)
四、内框架承重体系	(42)
五、底层框架承重体系	(43)
六、竖向荷载的传递	(43)
第三节 砌体结构的计算简图与水平荷载的传递	(44)
一、刚弹性方案	(45)
二、刚性方案	(46)
三、弹性方案	(47)
四、水平荷载的传递	(47)
五、房屋静力计算方案的确定	(47)
第四节 刚性方案结构的计算	(49)
一、刚性方案单层房屋墙和柱的计算	(49)
二、刚性方案多层房屋墙体的计算	(50)
第五节 弹性方案结构的计算	(52)
一、弹性方案单层房屋的计算	(52)
二、弹性方案多层房屋的计算	(53)
第六节 刚弹性方案结构的计算	(54)
一、刚弹性方案单层房屋的计算	(54)
二、刚弹性方案多层房屋的计算	(54)
第七节 上柔下刚和上刚下柔多层房屋的内力计算	(57)
一、上柔下刚多层房屋的内力计算	(57)
二、上刚下柔多层房屋的内力计算	(57)
第八节 地下室墙的内力计算	(58)

一、计算简图	(58)
二、荷载计算	(59)
三、内力计算	(60)
四、施工阶段抗滑移验算	(60)
第九节 最不利荷载效应组合	(61)
第十节 例题	(62)
思考题	(66)
习 题	(66)
第五章 无筋砌体结构构件的承载力和构造	(68)
第一节 受压构件	(68)
一、墙柱的高厚比验算	(68)
二、无筋砌体受压承载力	(73)
第二节 砌体局部受压	(83)
一、砖砌体局部受压破坏形态	(83)
二、局部均匀受压	(84)
三、梁端支承处砌体局部受压	(85)
四、梁端下设有刚性垫块时的砌体局部受压	(86)
五、梁下设置垫梁的砌体局部受压	(88)
第三节 轴心受拉、受弯和受剪构件	(91)
一、轴心受拉构件	(91)
二、受弯构件	(91)
三、受剪构件	(92)
第四节 一般构造要求	(94)
第五节 防止或减轻墙体开裂的主要措施	(95)
思考题	(99)
习 题	(99)
第六章 配筋砌体构件的承载力和构造	(102)
第一节 配筋砌体的形式和组成	(102)
第二节 网状配筋砖砌体构件	(103)
一、网状配筋砖砌体构件的受压性能	(103)
二、受压承载力计算	(104)
三、网状配筋砖砌体构件的适用范围	(106)
四、构造规定	(106)
第三节 组合砖砌体构件	(107)
一、组合砖砌体构件的试验研究	(107)
二、组合砖砌体构件计算	(109)
三、组合砖砌体构件的构造规定	(111)

第四节 砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙·····	(113)
一、组合砖墙轴心受压承载力·····	(114)
二、组合砖墙的材料和构造·····	(114)
第五节 配筋砌块砌体构件·····	(116)
一、正截面受压承载力计算·····	(116)
二、斜截面受剪承载力计算·····	(119)
三、配筋砌块砌体剪力墙连梁的斜截面受剪承载力·····	(120)
思考题·····	(121)
习 题·····	(121)
第七章 砌体结构中的特殊构件·····	(122)
第一节 过梁·····	(122)
一、过梁的受力特性·····	(123)
二、过梁上的荷载·····	(123)
三、过梁的计算·····	(124)
四、过梁计算示例·····	(126)
第二节 墙梁·····	(127)
一、墙梁的受力特性·····	(129)
二、墙梁承载力的计算·····	(137)
三、墙梁的构造要求·····	(140)
四、墙梁计算示例·····	(142)
第三节 挑梁·····	(148)
一、挑梁的受力特性·····	(148)
二、挑梁的抗倾覆验算·····	(149)
三、挑梁下砌体局部受压承载力验算·····	(151)
四、挑梁的计算及构造要求·····	(152)
五、挑梁计算示例·····	(153)
第四节 圈梁·····	(154)
一、圈梁的设置·····	(155)
二、圈梁的构造要求·····	(155)
思考题·····	(156)
习 题·····	(156)
第八章 砌体结构房屋抗震设计·····	(158)
第一节 砌体结构房屋常见震害·····	(158)
第二节 砌体结构房屋的抗震概念设计·····	(161)
一、建筑平立面布置·····	(161)
二、结构选型·····	(161)
三、抗震构造措施·····	(164)

第三节 多层砌体结构房屋的抗震计算·····	(167)
一、水平地震作用的计算·····	(167)
二、楼层水平地震剪力在本层墙体间的分配·····	(168)
三、墙体截面抗震承载力验算·····	(170)
思考题·····	(171)
第九章 多层房屋设计例题·····	(173)
参考文献·····	(187)

第一章 绪论

砌体是把块体(普通粘土砖、空心砖、砌块和石材等)和砂浆通过砌筑而成的材料。用这种材料形成的结构称为砌体结构。

从结构工程的角度,砌体可分为非配筋砌体和配筋砌体两种;前者常简称为砌体。

第一节 砌体结构的历史和现状

砌体结构几乎与人类的文明同时诞生。实际上,砌体结构的诞生标志着土木工程的诞生。石头是很容易得到的。最初人们用石头砌的也许是随机碎石干砌体,这种砌体是把各种不同大小的石块用随机的方式堆垒成墙体,其中小石头用来填大石头之间的空隙。这种随机碎石干砌体至今仍在一些第三世界国家中被使用。后来人们采用石料和粘土砌筑房屋。大约在 11000 年前,人们发明了土坯砖(用太阳晒干的未经烧制的粘土砖),后来又发明了烧制砖。最早的砌体拱结构是公元前 4000 年在中东的乌尔建造的。西方国家较多地使用石材,19 世纪 20 年代发明了水泥,其后有了强度较高的水泥砂浆,使砌体结构得到了进一步的发展。我国传统的房屋一般以木构架承重,砖墙只起围护和分隔的作用;到 19 世纪中叶以后,一般的房屋才逐渐采用砖墙承重。

人们用砌体建造了大量建筑物。著名的有我国的万里长城、大雁塔、嵩岳寺塔、赵州桥;埃及的金字塔和神庙;巴比伦的空中花园;希腊的雅典卫城以及运动场、竞技场、露天音乐场、纪念馆等公共建筑;罗马的大引水渠、桥梁、斗兽场、浴室、神庙和教堂;君士坦丁堡的大教堂;南美的金字塔,等等。

直至 20 世纪 30~40 年代,人们都是采用经验法设计砌体结构,或采用容许应力法作粗略的估算,这样设计出的砌体结构构件粗大笨重。苏联从 20 世纪 40 年代开始、欧美国家从 50 年代开始,对砌体结构的受力性能进行了研究,提出了以试验结果和理论分析为依据的设计方法。

20 世纪 50 年代初,我国直接采用了当时苏联的砌体结构设计理论。从 60 年代开始,我国对砌体结构进行了系统的试验和理论研究,并结合工程实践建立了较完整的设计理论,于 1973 年颁布了我国第一部《砖石结构设计规范》(GBJ3—73),1988 年颁布了《砌体结构设计规范》(GBJ3—88),最近又颁布了新的《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)。我国现行规范中采用的以概率理论为基础的极限状态设计方法,把房屋空间工作的计算从单层房屋推广到多层房屋,以及考虑墙和梁共同工作的墙梁设计等,都达到了世界先进水平。

在材料方面,我国 1952 年统一了粘土砖的规格。到 20 世纪 80 年代中期,我国的粘土砖年产量是世界各国粘土砖年产量的总和。现在,我国已有多种块体的形式,以有利于环境保护并适用于各种不同的需要。在我国,砌体结构一直得到广泛的应用。

在西方,非配筋的砌体结构也长时期地被广泛应用。1813 年,纽约城的总工程师 Marc

Isambard Brunel 建议在当时正在建造的烟囱中使用配筋砖砌体以提高强度;1825 年,他首次在泰晤士隧道竖井的建造中用熟铁杆对砖砌体进行竖向配筋,并在其中采用了厚 12mm 的铁箍。然而,现代配筋砌体的发展一般认为是从印度的 A. Brebner 对配筋砌体的先遣研究开始的,他于 1923 年发表了为期两年的试验研究的结果。美国于 20 世纪 70 年代在匹兹堡建造了一座 20 层的配筋房屋。英国于 1981 年提出了配筋砌体和预应力砌体设计规范。在美国科罗拉多州建造的一座 20 层配筋砌体塔楼和在加州建造的采用高强混凝土砌块并配筋的希尔顿饭店,都经受了地震的考验而未受损坏。近年在上海建造了 18 层的配筋砌体住宅。

在 1931 年新西兰那匹尔大地震和 1933 年美国 Long Beach 大地震时,大量的非配筋砌体结构被震塌。这使人们认识到,传统的非配筋砌体结构的抗震性能是很差的;这导致非配筋砌体一度在地震区被禁用。1950 年以来,各工业发达国家对砌体结构进行了研究与改进,块体向高强、多孔、薄壁、大块等方向发展,最重要的是发展了配筋砌体,才使砌体结构能用于地震区,使砌体结构得到了复兴。1971 年美国西部圣弗尔南多大地震时,一幢位于洛杉矶的 10 层的钢筋混凝土框架遭到了严重破坏,而邻近该建筑的 13 层配筋砌体结构却完整无损,表明砌体结构具有了新的竞争能力。我国在经受海城和唐山地震后,大力开展了砌体结构抗震设计的研究,取得了颇有中国特色的成果。研究表明,在多层砌体房屋中设置钢筋混凝土构造柱及采用配筋砌体是提高房屋抗震能力的有效措施。在采取一定的抗震技术措施后,砌体房屋仍可在地震区使用。

第二节 砌体结构的概要和特点

砌体的基本力学特征是抗压强度很高,抗拉强度却很低。因此,砌体结构构件主要承受轴心压力或小偏心压力,而很少受拉或受弯。一般民用建筑和工业建筑的墙、柱和基础都可采用砌体结构。在采用钢筋混凝土框架和其他结构的建筑中,常用砖墙做围护结构,如框架结构的填充墙。烟囱、隧道、涵洞、挡土墙、坝、桥和渡槽等,也常采用砖、石或砌块砌体建造。

砌体结构是应用范围最广的一种结构形式。在房屋中主要用于基础、内外墙身、门窗过梁、地沟,甚至可用于楼盖和屋盖。在钢材和水泥供应困难的时期,甚至吊车荷载也由砌体结构来承受:对起重量小于 30kN 的中、轻级吊车,可采用砖拱结构;起重量稍大时,可采用墙身(吊车墙)承受吊车荷载。我国约有 80% 的工业与民用房屋采用砌体结构建造,其中,民用房屋则有 90% 以上采用了砌体结构。目前,我国五、六层的房屋多为混合结构,即墙体采用砖砌体、楼屋盖采用钢筋混凝土这种结构形式。重庆曾建造了 12 层的以砌体墙承重的住宅。

由于无筋砌体基本上不能受拉,这就决定了结构构件的尺度必须很大,并从经济性上限制了房屋高度。对砌体配筋是解决这个问题的好方法。在砌体中配置钢筋就成为配筋砌体。配筋砌体使砌体结构从根本上由泥瓦匠的经验创造转变成为工程化的结构。采用配筋砌体后,砌体结构就在更广的范围参与市场竞争。

砌体结构的主要优点是:① 容易就地取材。砖主要用粘土烧制;石材的原料是天然石;砌块可以用工业废料——矿渣制作,来源方便,价格低廉。② 砖、石或砌块砌体具有良好的

耐火性和较好的耐久性。③ 砌体砌筑时,不需要模板和特殊的施工设备。在寒冷地区,冬季可用冻结法砌筑,不需特殊的保温措施。④ 砖墙和砌块墙体有良好的隔声、隔热和保温性能,并具有良好的耐火性和耐久性,所以既是较好的承重结构,也是较好的围护结构。

砌体结构的缺点是:① 与钢和混凝土相比,砌体的强度较低,因而构件的截面尺寸较大,材料用量多,自重较大。② 砌体的砌筑基本上是手工方式,施工劳动量大。③ 砌体的抗拉强度和抗剪强度都很低,因而抗震性能较差,在使用上受到一定限制;砖、石的抗压强度也不能充分发挥。④ 粘土砖需用粘土制造,在某些地区过多占用农田,影响农业生产。

第三节 砌体结构的发展方向

随着社会和科学技术的进步,砌体结构也需不断发展才能适应社会的要求。砌体结构的发展方向如下:

(1) 使砌体结构适应可持续性发展的要求

传统的小块粘土砖以其耗能大、毁田多、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。对其进行革新势在必行。这方面的发展趋势是充分利用工业废料和地方性材料。例如,用粉煤灰、煤渣、矿渣、炉渣等垃圾或废料制砖或板材,可变废为宝。用湖泥、河泥或海泥制砖,则可疏通淤积的水道。

(2) 发展高强、轻质、高性能的材料

发展高强、轻质的空心块体,能使墙体自重减轻,生产效率提高,保温隔热性能良好,且受力更加合理,抗震性能也得到提高。这方面已有很大进展。

发展高强、高粘结咬合力的砂浆能有效地提高砌体的强度和抗震性能。

(3) 采用新技术、新的结构体系和新的设计理论

配筋砌体有良好的抗震性能,在国外已获得较广泛的应用,可用于建造高达 20 层的房屋,成为很有竞争力的结构形式。我国近年来已注意配筋砌体的应用,并已建造了一些配筋砌体高层建筑。

采用工业化生产、机械化施工的板材和大型砌块等可减轻劳动强度、加快工程建设速度。对墙体加预应力也是一种有效的方法。

相对其他结构形式而言,砌体结构的设计理论发展得较晚,还有不少问题有待进一步研究。美国砌体协会前主席 James Armhein 曾说过:结构工程是这样一种艺术和科学,它把我们尚未完全弄懂的材料形成我们不能够精确分析的结构形式,来抵抗我们不能准确预测的荷载,使得社会上的人们没有理由来怀疑我们无知的程度。这番话倒是更适合砌体结构。我们需要更加深入地研究砌体结构的结构布置、受力性能和破坏机理,研究房屋整体受力的机理,研究和推广应用配筋砌体,研究有优良抗震性能的砌体结构,使砌体结构这种古老而有生命力的结构形式更好地被用于造福人民。

思考题

[1-1] 砌体、块体、砂浆这三者之间有何关系?

[1-2] 哪项措施使砌体结构在地震区的应用得以复兴?

[1-3] 砌体的基本力学特征是什么?

[1-4] 砌体结构的优缺点对于其应用有何意义?

[1-5] 与其他结构形式相比,砌体结构的发展有何特点?

第二章 砌体结构的设计原则

第一节 砌体结构设计方法的历史回顾

砌体结构是土木工程中最古老的结构形式之一。然而,在漫长的年代中,其设计和建造多是凭经验的。古人既未掌握精确的计算分析方法,又无可靠的试验手段。他们的唯一老师只能是直接的实践经验。在工程实践中,结构建造得合理就能得以留存,若安全不足,就归于倾毁。归纳总结那些存在的、能很好地完成使命的建筑物,就可以定出立足于经验的规矩来。如我国宋朝的宋诚在说明他编写的《营造法式》中,这样写道:“考阅旧章,稽参众智,功分三等,第为精粗之差,役四时用得长短之晷。以至木议刚柔,而无理不顺,土评远迩,而力易以供”。但是,当需要建造一幢前所未有的结构时,古代工匠就面临结构破坏的危险,而这又是他们最好、最严厉的老师。

随着近代力学的发展,人们的认识由感性上升到了理性,砌体结构的设计顺着容许应力设计法—破坏阶段设计法—极限状态设计法的轨迹发展至今。

一、容许应力设计法

将砌体看成是理想的弹性材料,按材料力学的方法计算构件在外荷载作用下的应力 σ ,要求荷载作用下构件的计算应力 σ 不超过砌体材料的容许应力 $[\sigma]$,这种方法称作容许应力设计法。以轴压短柱为例,其考虑安全度的截面强度设计公式为

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] \quad (2-1)$$

式中 N ——轴向压力;

A ——构件的截面积;

σ ——计算应力;

$[\sigma]$ ——砌体的容许应力。

如果取 f_m 为砌体的抗压强度平均值,为确保结构安全,根据经验引入一大于1的系数 K (称作安全系数),则有

$$[\sigma] = \frac{f_m}{K} \quad (2-2)$$

用容许应力法设计简单明了,但此法未考虑结构材料的塑性性能。

二、破坏阶段设计法

20世纪30年代初期,苏联已注意到按弹性理论的计算结果和试验结果不相符合,在对偏心受压构件的计算时引入了修正系数。1943年,苏联规范(Y-57-43)正式采用了按破坏阶段的设计方法。仍以轴压短柱为例,设计计算公式为

$$KN \leq f_m A \quad (2-3)$$

式中, K 为按经验确定的安全系数。尽管式(2-3)和式(2-1)、式(2-2)有相同的形式,但其内涵确有本质的区别。式(2-3)不是以截面的最大应力作为衡量截面承载力的标准,而是在考虑截面应力重分布后,以全截面承载力作为标准。因此,公式中的左面为考虑安全系数后的荷载在构件截面中产生的内力,公式的右面为构件截面破坏时的承载力。

解放初期,我国部分地区采用苏联规范(Y-57-43)按破坏阶段进行设计。

三、三系数表达的极限状态设计法

为了能在设计中考虑荷载的不确定性以及材料强度的变异性,1955年,苏联颁布了按极限状态进行设计的规范(ННТТ120-550)。该规范对砌体结构规定了三种极限状态:

- (1) 承载能力极限状态;
- (2) 变形极限状态;
- (3) 裂缝出现和变形开展极限状态。

所有承重砌体结构都应按承载能力极限状态进行设计计算。只有当结构的正常使用受到影响时,才进行第二种和第三种极限状态的验算。所谓的三系数,即荷载系数 n 、材料系数 k 和工作条件系数 m ,以分别考虑可能的超载、材料性能的变异以及工作条件不同的影响。其承载能力的设计计算表达式为

$$\sum n_i N_{ik} \leq R(m, k f_k, \alpha) \quad (2-4)$$

式中 n_i ——第 i 种荷载的荷载系数;
 N_{ik} ——第 i 种荷载标准值引起的柱中的纵向力;
 $R(\cdot)$ ——抗力函数;
 m ——工作条件系数;
 k ——材料系数;
 f_k ——砌体强度标准值;
 α ——截面的几何特征。

各种荷载的标准值(即结构处于正常使用情况下的荷载)是在对大量统计资料进行分析后获得的,它一般比荷载的平均值大很多。不同的荷载,其荷载标准值的确定方法不同,而且确定出的荷载标准值在实际使用时也可能被超出,故应乘以荷载系数,以保证安全(图2-1)。不同荷载的变异性质不同,因此,荷载系数的取值也不同。如恒载和结构的自重,荷载系数为1.1;而风和雪荷载的变异性相对较大,其荷载系数分别取为1.3和1.4。

材料强度标准值的取值随不同材料也各不相同。如HPB235钢(I级钢)的平均强度为285MPa,而标准强度为240MPa;砌体的标准强度取其平均强度。材料系数主要考虑材料的不均匀性(又称作匀质系数),同样也随材料的不同而异。如钢材的变异性小,取为0.9(HPB235钢);砖石砌体的变异性大,取为0.6或0.5(如砂浆和砖没有系统检验的话,取小值)。材料强度的标准值乘以较小的材料系数后,可以得到较大的保证率(图2-2)。

工作条件系数是考虑结构构件和材料在不同工作条件下能发挥作用的程度。一般正常情况下,工作条件系数多定为1。情况不利时小于1。例如,构件截面面积小于等于 0.3m^2 时,工作条件系数为0.8;网状配筋砌体结构中,HPB235钢筋的工作条件系数为0.7;纵向

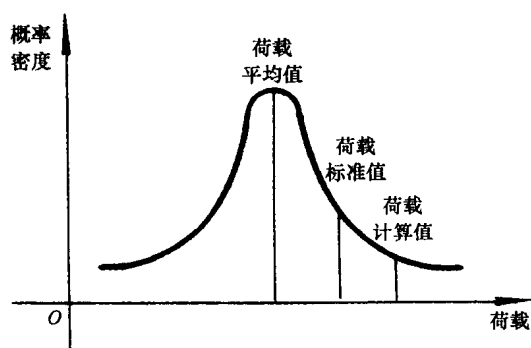


图 2-1 荷载的取值

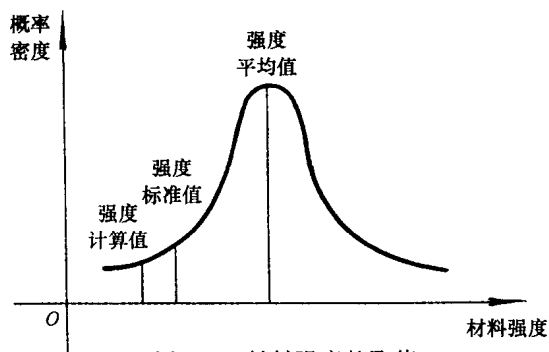


图 2-2 材料强度的取值

配筋中,钢筋的工作条件系数为 0.9。情况有利时,工作条件系数也可以大于 1,偏心无筋砌体按偏心受压进行抗裂计算时,工作条件系数为 1.5~3。

三系数表达的极限状态设计法,在砌体结构的设计中引入了统计数学的概念,考虑了材料强度和荷载的变异性,已初步具有现代结构设计思想的雏形。但该方法无法定量确定所设计的结构具有多少保证率。1956 年以后,我国砌体结构的设计主要采用前苏联规范的四系数极限状态设计方法。

四、多系数分析总系数表达的极限状态设计法

三系数法强调统计因素。然而,在实际工程中,有些因素可以统计,有些因素却无法统计。1973 年,我国自行编制的第一部砌体结构设计规范《砖石结构设计规范》(GBJ3—73)对此作了改进,采用了多系数分析、单一系数表达的半统计、半经验的极限状态设计计算方法。其一般的承载能力设计计算表达式为

$$KN_k \leq R(f_m, \alpha) \quad (2-5)$$

式中 N_k ——荷载标准值引起的柱中的纵向力;

$R(\cdot)$ ——抗力函数;

f_m ——砌体强度平均值;

α ——截面的几何特征。

K ——安全系数,由下列系数组成:

$$K = K_1 K_2 K_3 K_4 C \quad (2-6)$$

式中 K_1 ——砌体强度变异影响系数。根据对普通砖砌体、空心砖砌体及空斗墙砌体试件试验结果的统计分析结果,对砌体抗压强度, $K_1 = 1.5$; 砌体抗弯、抗拉和抗剪时,因情况较为不利,取 $K_1 = 1.65$ 。

K_2 ——缺乏系统试验时,对砌体强度的变异影响系数。一般情况下,砖有抽样试验或出厂证明,而砂浆则无系统检验。为此,考虑降低一级,这对砌体强度的影响约为 15%,故取 $K_2 = 1.15$ 。

K_3 ——砌筑质量影响系数。影响因素较多,其中主要为砂浆饱满程度的影响。根据四川省建筑科学研究所的资料,当砂浆的饱满程度为 73% 时,能满足规范 (GBJ3—73) 的要求;当砂浆的饱满程度为 65% 时,砌体强度约为规范值的

89%。故取 $K_3=1.1$ 。

K_4 ——尺寸偏差、计算假定误差等影响系数。对此缺乏系统的资料,参考其他结构规范和已有的实践经验,取 $K_4=1.1$ 。

K_5 ——荷载变异影响系数, $K_5=1.2$ 。

C ——组合系数,考虑各种最不利因素同时出现的可能性较小, $C=0.9$ 。

以抗压为例,可求出综合安全系数为

$$K=1.5 \times 1.15 \times 1.1 \times 1.1 \times 1.2 \times 0.9 \approx 2.3$$

这种以多系数分析、单系数表达的半经验、半统计方法确定的安全系数,计算方便、直观。但是,该方法仍无法定量确定所设计的结构具有多少保证率。

五、以分项系数表达的极限状态设计法

1988年,我国《砌体结构设计规范》(GBJ3—88)采用了以概率理论为基础的极限状态设计法。将概率理论引入结构的设计,可以定量估计所设计结构的可靠水平,标志着结构设计理论发生了本质的变化。规范(GBJ33—88)是以1984年颁布的《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)为依据的。在《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)中考虑了两种极限状态:

(1) 承载能力极限状态 这种状态对应于结构或构件达到最大承载力或不适合于继续承载的变形的情况。

(2) 正常使用极限状态 这种状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的情况。

在砌体结构中,一般情况下,按承载力极限状态进行设计计算,正常使用极限状态的要求一般可以由相应的构造措施予以保证。

砌体结构按承载力极限状态设计时的计算公式为

$$\gamma_0 S \leq R \quad (2-7)$$

$$S = \gamma_G C_G G_k + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} \psi_{Ci} Q_{ik} \quad (2-8)$$

$$R = R(f, \alpha_k, \dots) \quad (2-9)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,根据建筑结构破坏时可能产生的后果(危及人的生命、造成经济损失、产生的社会影响等),将建筑结构划分为三个安全等级,如表2-1所示,对安全等级为一级、二级、三级的砌体结构构件,结构重要性系数可分别取为1.1,1.0,0.9;

S ——内力设计值,分别表示由荷载设计值产生的纵向力 N 、弯矩 M 和剪力 V 等;

R ——结构构件的抗力;

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数;

γ_G ——永久荷载分项系数,一般情况下取用1.2,当永久荷载对砌体结构的承载力有利时,宜取1.0;

γ_{Q1}, γ_{Qi} ——分别为第1个和第*i*个可变荷载分项系数,一般情况下可采用1.4;