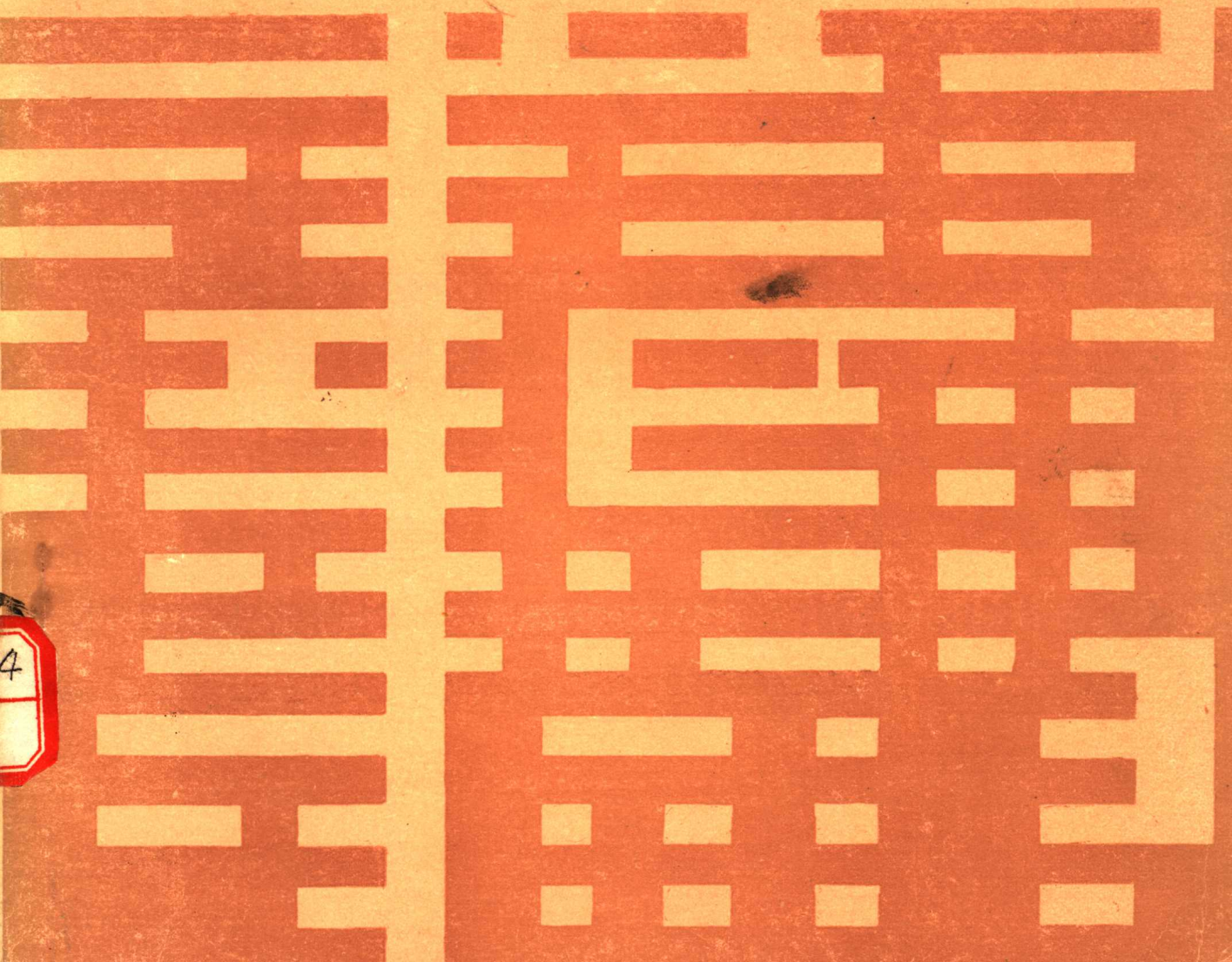


砌体结构

● 罗国强 主编

● 湖南大学出版社



砌 体 结 构

罗 国 强 主 编
刘 志 鸿 主 审

湖南大学出版社

内 容 提 要

本书详细地介绍了我国新修订的《砌体结构设计规范》(GBJ 3-88)的主要内容。全书内容有: 绪论、砌体结构设计原则, 砌体材料及砌体的物理力学性能, 无筋砌体构件承载力计算, 配筋砖砌体构件承载力计算, 混合结构房屋墙体设计, 过梁、墙梁和挑梁的设计。砌体结构常见的工程质量事故及构造要求。

本书为工业与民用建筑专业函授本科教材, 也可作为全日制本科、函授专科、电大、夜大教材, 并可供土建技术人员参考。

砌 体 结 构

罗国强 主 编

刘志鸿 主 审

☆

湖南大学出版社出版发行

(长沙岳麓山)

湖南省新华书店经销 湘潭大学印刷厂印刷

☆

787×1092 16开 9.75印张 231千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 0001—6000册

ISBN 7-314-00434-X/TU·16

定价: 3.40元

前 言

本书是根据高等工业院校工业与民用建筑专业“砌体结构的函授教学大纲”(草案)要求编写的教科书。内容包括:绪论,砌体结构设计原则,砌体材料及砌体的物理力学性能,无筋砌体构件承载力计算,配筋砖砌体构件承载力计算,混合结构房屋墙体设计,过梁、墙梁和挑梁的设计,砌体结构常见的工程质量事故及构造要求。

本书内容是按照我国新编《砌体结构设计规范》报批稿编写的。在编写过程中,我们力求做到贯彻少而精和理论联系实际等原则。为了适应函授教学的特点,便于学生自学,在文字叙述上尽可能将问题交待清楚,例题数量尽可能多一些。此外,在每章开头的提要中,提示了本章主要内容及重点和难点,末尾有小结、思考题和习题。据调查,在我国房屋建筑重大事故中,砌体结构占的比重较大。因此,本书最后一章介绍砌体结构常见的工程质量事故,以期引起对砌体结构学习与设计的重视。本书除作为函授本科教科书外,还可以作为全日制本科、函授专科、电大、夜大以及有关工程技术人员自学教材。

本书由湖南大学函授部、西安冶金建筑学院函授部和哈尔滨建筑工程学院函授部共同组织编写。参加编写工作的是:湖南大学罗国强(绪论、第三、四、五章)和沈蒲生(第一、七章),西安冶金建筑学院邱登莽(第二章)和刘志鸿(第六章),哈尔滨建筑工程学院曹声远(第三章)和徐凯怡(第五章)。本书由罗国强主编,刘志鸿主审。

由于我们水平所限,加之规范尚未最后定稿,错误之处欢迎批评指正。

编 者

1989年1月

目 录

绪论	(1)
第一章 砌体结构的设计原则	(4)
提要	(4)
§ 1-1 结构上的作用、作用效应和结构抗力	(4)
§ 1-2 结构的可靠度理论	(6)
§ 1-3 概率极限状态设计法	(10)
小结	(12)
思考题	(13)
第二章 砌体材料及砌体的物理力学性能	(14)
提要	(14)
§ 2-1 块体	(14)
§ 2-2 砂浆	(16)
§ 2-3 砌体	(17)
小结	(26)
思考题	(26)
第三章 无筋砌体构件承载力计算	(27)
提要	(27)
§ 3-1 受压构件	(27)
§ 3-2 局部受压	(38)
§ 3-3 轴心受拉、受弯和受剪构件	(49)
小结	(51)
思考题与习题	(52)
第四章 配筋砖砌体构件承载力计算	(54)
提要	(54)
§ 4-1 概述	(54)
§ 4-2 网状配筋砖砌体构件	(56)
§ 4-3 组合砖砌体构件	(58)
小结	(65)
思考题与习题	(65)
第五章 混合结构房屋墙体设计	(66)
提要	(66)
§ 5-1 混合结构房屋的承重体系及静力计算方案	(66)
§ 5-2 刚性方案房屋的墙体设计	(72)

§ 5-3 弹性方案房屋墙(柱)的计算	(77)
§ 5-4 刚弹性方案房屋墙(柱)的计算	(78)
§ 5-5 地下室墙体的计算	(80)
§ 5-6 墙柱高厚比验算	(83)
§ 5-7 墙柱刚性基础设计	(97)
小结	(105)
思考题与习题	(106)
第六章 过梁、墙梁及挑梁设计	(107)
提要	(107)
§ 6-1 过梁	(107)
§ 6-2 墙梁	(110)
§ 6-3 挑梁	(121)
小结	(125)
思考题	(125)
第七章 砌体结构常见的工程质量事故及构造要求	(126)
提要	(126)
§ 7-1 砌体结构常见的工程质量事故	(126)
§ 7-2 砌体结构的构造要求	(127)
小结	(134)
思考题	(135)
参考文献	(135)
附录	(136)

绪 论

§ 0-1 砌体结构发展简况

砌体结构是由各种块体（如砖、空心砖、混凝土中、小型空心砌块和粉煤灰中型实心砌块、毛石和料石等）用砂浆砌筑而成的结构。

古代的砌体结构主要由土坯、毛石和料石或烧制砖等块体用黄泥砂浆或石灰砂浆砌筑，因此，过去称为砖石结构。

我国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、寺院和佛塔。

秦朝（公元前221~206年）建造的万里长城，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，她是中华民族的骄傲。

隋代（公元581~618年）李春建造的河北赵县安济桥，净跨37.37m，高7m多，宽约9m，造型十分美观，距今已有1300多年的历史，仍完好无损。据考证，它是世界上最早的一座空腹式石拱桥，无论在材料使用上，结构受力上，还是在艺术造型上和经济上，都达到很高的水平。

北宋年间（公元1055年），在河北定县建造的料敌塔，高82m（11层），为砖楼面和砖砌双层筒体结构，是我国古代保留至今最高的砖石结构。这种筒中筒结构体系，在现代高层建筑中得到了继承和发展。

明代（公元1368~1648年）建造的南京灵谷寺无梁殿后走廊，为砖砌穹窿结构，将砖砌体直接用于房屋建筑中，使抗拉承载力低的砌体结构能跨越较大的空间。

19世纪中叶至解放前，在大约一百年的时间内，由于水泥的发明，砂浆强度的提高，促进了砖砌体结构的发展，我国已广泛采用承重砖墙。但砌体材料仍主要是粘土砖。在这个时期，砖石结构的设计是采用容许应力法进行粗略估算，对砖砌体房屋结构的静力分析，尚缺乏正确的理论依据。

本世纪40年代末到50年代，主要是学习苏联在砖石结构方面的设计和施工经验，在大规模的基本建设中，采用了苏联的砖石结构设计规范。在这个时期，也采用了一些新材料、新结构和新技术。在新材料方面，采用了硅酸盐和泡沫硅酸盐砌块、混凝土空心砌块以及各种承重和非承重的空心砖。在新结构方面，曾研究和建造各种型式的砖薄壳。在新技术方面，采用振动墙板墙及各种配筋砌体，包括预应力空心砖楼板等等。

60年代到70年代初，在我国开展了有关砖石结构的试验和理论研究。根据大量的调研和试验资料制定了适合我国国情的《砖石结构设计规范》（GBJ 3-73）。

70年代初到80年代，在我国砌体结构科研及设计人员的努力下，又完成了许多砌体结构的专题研究，在新的研究成果的基础上，对砖石结构规范（GBJ 3-73）进行修订，编制了内容更为广泛的《砌体结构设计规范》（GBJ 3-88）（以下简称《规范》）。

§ 0—2 砌体结构的优缺点及其适用范围

一、砌体结构的优缺点

据估计,目前在国内外房屋的墙体中,砌体结构占90%以上,即使是在发达国家,砌体结构在墙体中占的比重也不低于60%。为什么砌体结构至今仍有如此强大的生命力呢?其原因是:

- (1) 能就地取材,如天然石料、砂、粘土,几乎各地都有,来源极广。
- (2) 耐久、防火、隔热、保温性能良好,易满足建筑功能要求。
- (3) 施工工序单一、方便,新铺砌体即可承受一定的荷载,可连续施工,在寒冷地区可用冻结法砌筑。
- (4) 与钢筋混凝土结构相比,能节约三材(钢、木和水泥),造价较低。

砌体结构也有如下缺点:

- (1) 自重大 砌体结构,特别是普通砖石砌体,强度较低,与钢筋混凝土结构相比,在同样荷载条件下,截面尺寸较大,因而自重大,也显得比较笨重。
- (2) 砌筑工作量大,且为手工操作,工人劳动强度大,施工进度较慢。
- (3) 抗震性能差 砂浆与砖石等块体之间的粘结力较小,砌体的抗弯、抗剪强度也较低,因此,无筋砌体的抗震性能亦差。
- (4) 与农争地 在砌体结构中,目前粘土砖用量仍很大,占用农田过多,影响农业生产,应引起注意。

二、砌体结构的适用范围

砌体结构基于上述优点,应用范围较为广泛。但由于它的缺点,在某些场合下则要限制其应用。

砌体结构抗压承载力较高。因此,它最适用于受压构件,如混合结构中的竖向承重构件(墙和柱)。目前,五层以内的办公楼、教学楼、试验楼,七层以内的住宅、旅馆采用砌体作竖向承重结构已很普遍,在非地震区,八、九层的砖楼房也为数不少。在中、小型工业厂房和农村居住建筑中,也可用砌体作围护或承重结构。

砌体结构抗弯、抗拉性能较差,一般不宜作为受拉或受弯构件。当弯矩、剪力或拉力较小时,仍可酌情采用,如跨度较小(1.5m以内)的门窗过梁可采用砌体结构。如采用配筋砌体或与钢筋混凝土形成组合构件(墙梁),承载力较高,则可跨越较大的空间。

工业中的一些特殊结构,如,小型管道支架、料仓、高度在60m以内的烟囱、小型水池,在交通运输方面,如拱桥、隧道、地下渠道、涵洞、挡土墙;在水利建设方面,如小型水坝、堰和渡槽支架,也常用砌体结构建造。

砌体结构由于承载力低,整体性、抗震性差,在地震区应该慎用。此时,除进行抗震计算外,还应遵守《规范》规定的构造措施。

§ 0-3 砌体结构的发展趋向

为克服砌体结构的上述缺点，其发展趋向是：

一、研制高强轻质的砖或砌块

我国目前大量采用的粘土砖，抗压强度一般为 7.5N/mm^2 ，与发达国家相比，差距较大。如加拿大 80% 以上的粘土砖抗压强度为 56N/mm^2 ，法国、比利时和澳大利亚的粘土砖抗压强度一般为 80N/mm^2 ，美国市场上供应的砖抗压强度有的高达 140N/mm^2 。由于砖抗压强度提高，砌体的抗压强度也随之提高，墙厚减薄，自重减轻，国外由于采用高强砖和高强树脂砂浆，墙厚可减小到 51mm，隔热隔音性能仍符合一般要求。

目前，趋向于发展高孔洞率、大尺寸的空心砖，这对减轻建筑物自重，提高砌筑效率、节约材料、减少运输量和降低工程造价具有重要作用。我国承重空心砖孔洞率一般在 30% 以内，抗压强度在 10N/mm^2 左右，少数可达 30N/mm^2 。国外承重空心砖抗压强度普遍可达 $30\sim 40\text{N/mm}^2$ ，有的国家已达 $50\sim 80\text{N/mm}^2$ ，孔洞率在 40% 以上。

除采用空心砖减轻砌体自重外，还可在粘土内掺入可燃性植物纤维或塑料珠，煅烧后制成气泡砖或气泡空心砖，它不但自重轻，而且隔音隔热性能都较好。

高强轻质砖可建成砖砌体结构的高层建筑。如，50 年代和 60 年代，瑞士先后建成一幢 19 层和一幢 24 层的塔式建筑。美国建有 17~20 层的配筋砌体结构的房屋。法国和西德也已建成 8~12 层的砖砌体高层建筑。

为节约钢材和水泥，降低高层建筑的造价，有必要研制适合我国国情的高强轻质砖和砌块。

二、利用工业废料，发展混凝土小型砌块

在城市建设中，趋向于利用工业废料，如粉煤灰和炉渣，制作硅酸盐砖或加气硅酸盐砌块及煤渣混凝土砌块。这样，既可处理城市中的部分工业废料，又可缓和烧砖与农争地的矛盾。特别是对于土层薄，缺乏粘土资源的地区，发展混凝土小型砌块更具有重要意义。

三、采用大型墙板结构，代替部分作为内、外墙的砌体结构

采用大型墙板作为承重的内墙和悬挂的外墙，以及采用各种轻质板材作隔墙，可减轻砌筑墙体繁重的体力劳动，加快建设速度，使建筑工业化，施工机械化。这也是墙体改革的一种趋向。我国在这方面已做了不少工作，在南宁、唐山、湘潭等地建造了大面积的大板建筑，对改善建筑工人的劳动条件，加速建筑工程的施工进度，保护农田土地，具有积极的作用。

随着砌块材料质量的提高和改进，以及建筑技术的进一步发展和设计理论的日益成熟，砌体结构将日臻完善。

第一章 砌体结构的设计原则

提 要

本章主要内容和要求是:

1. 了解结构上的作用、作用效应和结构抗力的概念及其随机特性;
2. 了解我国规范关于砌体结构设计的理论基础——可靠度理论;
3. 掌握我国规范的砌体结构设计方法——概率极限状态设计法。

本章的难点是可靠度理论。

§ 1-1 结构上的作用、作用效应和结构抗力

结构在使用期间可能承受多种作用,结构上的作用在结构内将产生一定的效应。进行结构设计时,需要分析结构上可能的作用种类及其在结构内产生效应的大小,并且要根据一定的设计原则,研究如何进行设计才能使结构具有足够的抵抗能力,以确保结构可靠地工作。本节先对结构上的作用、作用效应和结构抗力的概念及其随机特性进行介绍。

一、结构上的作用、作用效应和结构抗力的概念

(一)结构上的作用

最常见的结构上的作用是施加在结构上的各种集中荷载和分布荷载,如结构自重、楼面活荷载、屋面雪荷载以及墙面风荷载。除此以外,还包括引起结构外加变形或约束变形的各种因素,如地震、地基沉降、温度变化等。因此,结构上的作用是施加在结构上各种荷载和引起结构产生变形的各种因素的总称。施加在结构上的各种集中荷载和分布荷载为直接作用,地震、地基沉降、温度变化等作用为间接作用。图 1-1a 中下层墙体上的作用是梁和上层砌体传来的楼盖和屋盖荷载及结构自重。图 1-1b 中房屋上的作用是地基的不均匀沉降。

结构上的作用可以按照不同的原则分类。它们适用于不同的场合。这些分类是:

1. 按时间的变异分类

按时间的变异情况,可以将结构上的作用分为:

(1) 永久作用 由于结构上的作用是随时间而变化的。分析结构时,必须相对固定一个时间坐标系数以作为基准,这就是“设计基准期”。《建筑结构设计统一标准》(以下简称《统一标准》)规定,我国结构

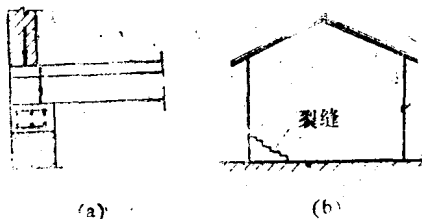


图1-1 结构上的作用示例

- (a) 下层墙体承受梁和上层砌体传来的楼盖和屋盖荷载及结构自重
- (b) 房屋承受地基的不均匀沉降

设计的基准期定为 50 年。永久作用是指在设计基准期内，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计的作用。属于永久作用的有结构自重、土压力、地基沉降等。

(2) 可变作用 可变作用是指在设计基准期内，其值随时间变化，且其变化值与平均值相比不可忽略的作用。属于可变作用的有楼面活荷载、屋面雪荷载、墙面风荷载以及温度变化等。

(3) 偶然作用 偶然作用是指在设计基准期内不一定出现，而一旦出现其量值则很大且持续时间较短的作用。属于偶然作用的有地震、爆炸以及撞击等。

2. 按空间位置的变异分类

按照空间位置的变异情况，可以将结构上的作用分为：

(1) 固定作用 固定作用是指在结构空间位置上具有固定分布的作用。属于固定作用的有工业与民用建筑楼面上的固定设备荷载以及结构构件的自重等。

(2) 可动作用 可动作用是指在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布的作用。例如，工业与民用建筑楼面上的人群荷载等便属于可动作用。

3. 按结构的反应分类

按照结构的反应情况，可以将结构上的作用分为：

(1) 静态作用 结构上的静态作用是指对结构或构件不产生加速度，或其加速度可以忽略不计的作用。例如，结构自重、住宅与办公楼的楼面活荷载等属于静态作用。

(2) 动态作用 结构上的动态作用是指对结构和构件产生不可忽视的加速度的作用。例如，吊车荷载、地震、设备振动、高耸结构上的风荷载等属于动态作用。

(二) 作用效应

施加在结构上的各种作用将使结构产生内力与变形。内力包括轴力、弯矩、剪力与扭矩，变形包括挠度、侧移、轴向伸长和缩短以及转角等。它们总称为作用效应。

(三) 结构抗力

砌体结构和构件各截面的尺寸、砌体和砂浆的强度等级等因素确定以后，各截面便具有一定抵抗内力和变形的能力。我们将结构这种抵抗内力和变形的能力称之为结构抗力。在后面的有关章节中将要详细介绍如何计算各种砌体结构和构件的抗力问题。

二、结构上的作用、作用效应以及结构抗力的随机性质

由概率论可知，一个事件可能有多种结果，但事先不能肯定哪一种结果一定发生时，我们说这一事件具有随机性质。

楼面上的人群荷载、墙面上的风荷载、屋面上的雪荷载等，都不是固定不变的。它们可能出现，也可能不出现，其数值可能较大，也可能较小，因此具有随机性质。即使是结构的自重，由于所用材料的不同，或由于制作过程中不可避免的误差，其重量也不可能与设计值完全相等。地震、地基沉降、温度变化等间接作用同样也具有随机性质。

作用效应与结构上的作用有关，因此，作用效应也具有随机性质。

影响结构抗力的主要因素是材料性能、构件的几何参数以及计算模式的精确性等。由于材质以及生产工艺等因素的影响，即使是同一个砖厂生产的砖块，或是同一个工地按照同一配合比制作的某一强度等级的砂浆，其强度、变形以及其它物理力学性能都会有一定的差异。结构的制作和安装误差对结构抗力也有一定的影响。因此，结构的抗力

也是随机变量。

湖南大学、云南省设计院、山东省建筑科学研究所、安徽省建筑科学研究所、福建省建筑科学研究所、四川省建筑科学研究所和辽宁省建筑设计院等单位共同合作，对全国七个地区砌筑时砖的含水率进行过实测。为了使实测结果有一定的代表性和能够较好地反映实际情况，规定每个地区选五个单项工程，在每个单项工程中各抽五块正在砌筑时用的砖，并统一于 1977 年 11 月至 12 月进行试验（仅沈阳地区因当时冻结，改在 1978 年 3 月测定），测得最低含水率为 0.1%，最高含水率为 23.7%，详细情况如表 1-1 所示。

表 1-1 全国七个地区砌筑时砖的含水率抽样调查表

含水率 (%)	≤2	2.1~6.0	6.1~10.0	10.1~14.0	14.1~18.0	18.1~22.0	≥22.1
砖的数量	11	35	41	31	20	11	3

如果将表 1-1 的抽样调查结果用直方图表示，横坐标表示砖的含水率，纵坐标表示落在某一含水率区段内砖的块数（或称为频数），则其含水率的分布图形如图 1-2 所示。

对于各种随机变量，可以根据它们的分布规律，采用概率论中的方法进行分析 and 处理。如图 1-1 所示的砖含水率分布图也可以象图 1-3 一样，近似看成按正态分布。结构上的作用、作用效应和结构抗力的实际分布情况较复杂。在今后的讨论中，为了简化起见，常假定它们服从正态分布，或先进行当量正态化处理以后，再按正态分布计算。

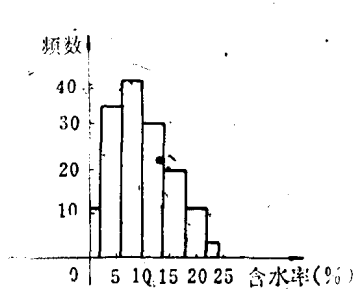


图 1-2 全国七个地区砌筑时
砖含水率分布直方图

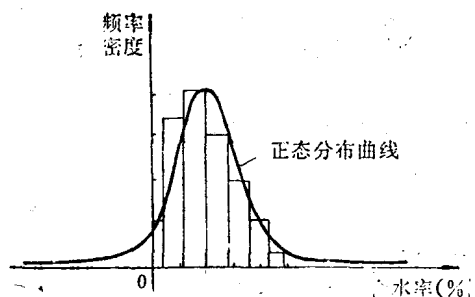


图 1-3 全国七个地区砌筑时砖
含水率的正态分布图

由概率论可知，正态分布曲线的基本形状特征可以由平均值 μ 、标准差 σ 以及变异系数 δ 三个特征值确定。同时，正态分布的随机变量具有自己特有的运算法则。例如，假若 x_1 和 x_2 为两个相互独立的随机变量，且 $Z = x_1 \pm x_2$ ，则有

$$\mu_z = \mu_{x_1} \pm \mu_{x_2} \quad (1-1)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \quad (1-2)$$

§ 1-2 结构的可靠度理论

一、结构可靠度的概念

设计任何建筑物和构筑物时，必须使其满足下列各项预定的功能要求：

1. 安全性

即要求能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用,以及在偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性。

2. 适用性

即要求在正常使用时具有良好的工作性能,不出现过大的变形和过宽的裂缝。

3. 耐久性

即要求在正常的维护下具有足够的耐久性能,不发生风化剥落现象。

安全、适用和耐久,是衡量结构可靠的标志,总称为结构的可靠性。

结构的可靠度是指结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。这个规定的时间为设计基准期,即50年。规定的条件为正常设计、正常施工和正常使用的条件。而规定条件下的预定功能即指结构的安全性、适用性和耐久性。因此,结构可靠度是结构可靠性的概率度量。

二、结构的可靠概率和失效概率

设 R 为结构抗力, S 为作用效应,将

$$Z = R - S \quad (1-3)$$

定义为结构的功能函数。随着条件的不同,功能函数 Z 有下面三种可能性:

- (1) $Z > 0$, 即结构抗力大于作用效应,意味着结构可靠;
- (2) $Z < 0$, 即结构抗力小于作用效应,意味着结构失效;
- (3) $Z = 0$, 即结构抗力等于作用效应,意味着结构处于极限状态。

因此,结构安全可靠工作的基本条件是:

$$Z \geq 0 \quad (1-4)$$

结构所处的状态可以用图 1-4 表示。

由于结构抗力 R 和作用效应 S 都是随机变量,所以,结构的功能函数 Z 也是一个随机变量,而且是结构抗力和作用效应两个随机变量的函数。假定 R 和 S 是相互独立的,而且都服从正态分布,则结构的功能函数 Z 也服从正态分布。由公式(1-1)和(1-2)可知,结构功能函数 Z 的平均值 μ_z 和标准差 σ_z 分别为:

$$\mu_z = \mu_R - \mu_S \quad (1-5)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-6)$$

而结构功能函数的变异系数 δ_z 为:

$$\delta_z = \frac{\sigma_z}{\mu_z} = \frac{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}{\mu_R - \mu_S} \quad (1-7)$$

结构功能函数的分布曲线可以用图 1-5 表示。图中,横坐标表示结构功能函数 Z ,纵坐标表示结构功能函数的频率密度 $f(Z)$,即结构功能函数 Z 在横坐标某一区段上出现的频率与该区段距长的比值。

由概率论可知,频率密度的积分称为概率。频率密度之总和等于1,即

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} f(Z) dZ = 1 \quad (1-8)$$

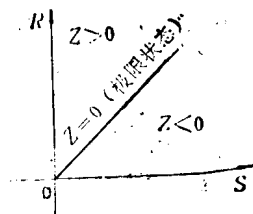


图 1-4 结构所处状态的图形表示

图 1-4 中, 纵坐标轴以左的 $Z < 0$, 故图中阴影面积表示结构的失效概率 P_f , 而纵坐标轴以右的 $Z > 0$, 故纵坐标轴以右分布曲线与坐标轴所围成的面积表示结构的可靠概率 P_s 。因此, 结构的失效概率为

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f(Z) dZ \quad (1-9)$$

而结构的可靠概率为

$$P_s = \int_0^{\infty} f(Z) dZ \quad (1-10)$$

由公式 (1-8) 可知, 结构的失效概率与结构的可靠概率之间的关系为

$$P_f + P_s = 1 \quad (1-11)$$

或

$$P_s = 1 - P_f \quad (1-12)$$

因此, 既可以用结构的可靠概率 P_s 来度量结构的可靠性, 也可以用结构的失效概率 P_f 来度量结构的可靠性。确切些说, 既可以用结构在规定时间内、在规定条件下完成预定功能的概率不得低于多少, 也可以用结构在规定时间内、在规定条件下不能完成预定功能的概率不得高于多少, 来度量结构的可靠性。

我国《统一标准》在大量统计的基础上, 对各类结构的允许失效概率作了明确规定。例如, 对于一般性工业与民用建筑的失效概率规定不得超过下述限值:

延性破坏的结构 $[P_f] = 6.9 \times 10^{-4}$

脆性破坏的结构 $[P_f] = 1.1 \times 10^{-4}$

需要指出, 结构的设计基准期与结构的寿命有一定的联系, 但两者并不完全相等。当结构的使用年限超过 50 年后, 其失效概率将逐年增大, 但结构并没有报废。只要采取适当的维修措施后仍能正常使用。

三、可靠指标

设结构功能函数的平均值与标准差 σ_z 的关系为

$$\mu_z = \beta \sigma_z \quad (1-13)$$

则有

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad (1-14)$$

标准差 σ_z 的几何意义表示分布曲线的顶点到曲线的反弯点之间的水平距离。由图 1-4 可见, β 值愈大, 失效概率 P_f 的值就愈小, 反之, β 值愈小, 失效概率 P_f 的值就愈大。因此将 β 称为可靠指标。它与失效概率 P_f 之间在数值上的对应关系如表 1-2 所示。

找到了可靠指标 β 与结构失效概率 P_f 的上述对应关系以后, 就可以用可靠指标 β 代替结构失效概率 P_f 来度量结构的可靠性。

《统一标准》根据建筑结构破坏可能产生的后果 (危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等) 的严重性, 将建筑结构划分为三个安全等级 (如表 1-3 所示)

《统一标准》规定的结构构件按承载力极限状态设计时的可靠指标如表 1-4 所示。

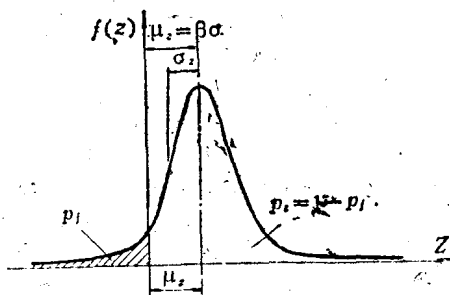


图 1-5 结构功能函数分布曲线图

表 1-2

可靠指标 β 与失效概率 P_f 之间的对应关系^a

β	P_f	β	P_f
1.0	1.59×10^{-1}	3.2	6.90×10^{-4}
1.3	6.68×10^{-2}	3.5	2.33×10^{-4}
2.0	2.28×10^{-2}	3.7	1.10×10^{-4}
2.5	6.21×10^{-3}	4.0	3.17×10^{-5}
2.7	3.50×10^{-3}	4.2	1.30×10^{-5}
3.0	1.35×10^{-3}	4.5	3.40×10^{-6}

表 1-3

建筑结构的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物
二级	严重	一般的工业与民用建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

注：① 对于特殊的建筑物，其安全等级可根据具体情况另行确定

② 对地震区的砌体结构设计，应按《建筑抗震设计规范》根据建筑物重要性区分建筑物类别。

表 1-4

规定的可靠指标 β

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

例如，对于一般性工业与民用建筑，由表 1-3 和表 1-4 可以查出其可靠指标不得低于下述限值：

延性破坏的结构 $\beta = 3.2$

脆性破坏的结构 $\beta = 3.7$

同一建筑物内的各种结构构件，一般宜采用与整个结构相同的安全等级。但如果提高某一结构构件的安全等级所需要的额外费用很少，又能减轻整个结构的破坏，从而大大减少人员伤亡和财产损失时，可以将该结构构件的安全等级比整个结构的安全等级提高一级，相反，如果某一结构构件的破坏并不影响整个结构或其它构件，则可以将其安全等级降低一级。

§ 1-3 概率极限状态设计法

一、砌体结构设计方法的发展简况

长期以来,人们主要凭经验设计和建造砌体结构。自从19世纪末开始,随着科学的不断发展,砌体结构的设计进入了按照一定的理论进行计算的状况。

砌体结构的设计方法经历了如下几个发展阶段:

(一) 按容许应力法设计

19世纪末,弹性力学得到了很大的发展,并且在工程设计中得到了广泛应用。从19世纪末到20世纪30年代,砌体结构也被视为理想的弹性体,按容许应力方法进行设计。容许应力法要求结构截面内任何一点的应力 σ 不得大于材料的容许应力 $[\sigma]$,即

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-15)$$

(二) 按破损阶段法设计

砌体结构不是理想的弹性体。按容许应力的设计方法不能正确地反应结构的真实工作情况,不能使结构既安全可靠又经济合理。因此,苏联在20世纪40年代初开始,改用按破损阶段法设计砌体结构。按破损阶段法的设计表达式为:

$$KN_{ik} \leq \Phi(f_m, a) \quad (1-16)$$

式中 K ——安全系数;

N_{ik} ——荷载标准值产生的内力;

$\Phi(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数;

f_m ——砌体平均极限强度;

a ——截面几何特征值。

(三) 按极限状态法设计

按破损阶段法设计不是以一点的强度而是以一个构件的承载力进行控制,因此比按容许应力法设计合理。但是,按破损阶段法设计时的安全系数 K 是凭经验确定的,缺乏科学依据。同时,它只考虑了构件的承载力,未考虑结构正常使用时期的变形和裂缝问题。

20世纪50年代,苏联首先提出按极限状态法设计砌体结构。结构的极限状态是指整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能(安全、适用或耐久)要求的状态。结构的极限状态可以分为下列两类:

1. 承载能力极限状态

结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形状态。

2. 正常使用极限状态

结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的变形或裂缝限值的状态。

承载能力极限状态有不同的表达形式。苏联规范 HИ TY 120-55 采用三个系数的表达形式:

$$\sum n_i N_{ik} \leq \Phi(m, k f_m, a) \quad (1-17)$$

式中 n_i ——荷载系数;

m ——构件工作条件系数;

k ——砌体匀质系数;

f_k ——砌体强度标准值。

我国《砖石结构设计规范 GBJ 3-73》则采用单一安全系数的表达形式:

$$KN_k \leq \Phi(f_m, \alpha) \quad (1-18)$$

苏联规范 HИTY 120-55 在确定荷载系数、构件工作条件系数和砌体匀质系数时,以及我国规范 GBJ 3-73 在确定安全系数 K 时,均已考虑了荷载、砌体强度、砌体工作条件等因素变异的影响,属于半经验、半概率的极限状态设计法。

(四) 按概率极限状态法设计

从以上三个设计方法发展过程来看,虽然一个比一个进步,但都是将设计参数看成确定的值,都是以主要根据经验确定的安全系数来度量结构的可靠性,因此均属于“定值设计法”。如前所述,结构上的作用、作用效应以及结构抗力都具有随机特性。因而,采用定值设计法进行设计从理论上说是不够严密的。

我国新修订的《规范》不再将设计参数看成确定值而看成随机变量,不再以安全系数而是以前节所述的根据统计分析确定的失效概率或可靠指标来度量结构的可靠性,因此属于“概率设计法”。当然,按失效概率或可靠指标设计的准则,虽然直接应用了概率论的原理,但是在确定失效概率或可靠指标时,将作用效应和结构抗力作为两个服从正态分布的独立随机变量,只考虑其平均值和标准差,而没有考虑两者的联合分布特点等因素,计算中又作了一些假定和简化,所以只能称为近似概率准则。

按理说,根据可靠指标便可以进行结构设计。然而,按可靠指标的设计准则在基本概念上虽然比较合理,可以给出结构可靠度的定量概念,但是计算过程比较复杂,而且需要掌握足够的实测数据,包括各种影响因素的统计特征值,这只是在比较简单的情况下才可以确定。有许多影响因素的不定性暂时还不能用统计方法确定,因此这个方法还不能普遍用于实际设计中。再则,这种设计方法不符合我国设计人员历来的以基本变量的标准值和分项系数进行设计的习惯。因此,《规范》只是以可靠度理论作为设计的理论基础,实际设计时,引入荷载分项系数、材料分项系数和结构重要性系数,并且找出这些分项系数和可靠指标的对应关系,从而用这些分项系数代替可靠指标,使结构设计方法在形式上与传统的按基本变量的标准值和分项系数的设计方法相似,而且也是按极限状态方法进行设计。这种极限状态设计方法以概率理论为基础,故称为“概率极限状态设计法”。

二、概率极限状态设计法的表达式

和半经验、半概率极限状态设计法一样,概率极限状态设计法将结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两种类型。进行结构和构件设计时,既要保证它们不超过承载能力极限状态,又要保证它们不超过正常使用极限状态。砌体结构承载能力极限状态需要通过计算进行控制,而正常使用极限状态一般可由相应的构造措施保证。

砌体结构按承载能力极限状态的设计表达式为

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, \alpha, \dots) \quad (1-19)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级、二级和三级的结构构件,可以分别取为 1.1、1.0 和 0.9;