

混凝土结构 与砌体结构

叶锦秋 孙惠镐 主编

HUNNINGTU JIEGOU

YU

QITI JIEGOU

中国建材工业出版社

混凝土结构与砌体结构

叶锦秋 孙惠镐 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构与砌体结构/叶锦秋, 孙惠镐主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2004.1

ISBN 7-80159-544-0

I. 混... II. ①叶...②孙... III. ①混凝土结构
②砌体结构 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 109539 号

混凝土结构与砌体结构

叶锦秋 孙惠镐 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 23.5

字 数: 602 千字

版 次: 2004 年 1 月第一版

印 次: 2004 年 1 月第一次

印 数: 1 ~ 3000 册

书 号: ISBN 7 - 80159 - 544 - 0/TU·278

定 价: 36.00 元



本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

前 言

随着民办高等教育的蓬勃发展，编写与之相适应的教材是一项重要的基础建设。房屋建筑（原工业与民用建筑）专业是我国基本建设急需的重点专业，《混凝土结构与砌体结构》是该专业的主干专业课之一。作者是长期从事该课程教学、科研、设计的老教师，具有丰富的教学和实践经验。

本书是根据新的《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）、《砌体结构设计规范》（GB 50003—2001）等规范进行编写的。内容包括：第一篇混凝土结构设计原则、材料的力学性能、受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件、变形和裂缝宽度验算、预应力构件和钢筋混凝土楼盖；第二篇砌体类型和计算指标、无筋砌体、配筋砌体、砌体结构房屋设计、过梁、墙梁、挑梁、雨篷、楼梯和多层砌体房屋的抗震设计等。

本书第一篇第1、2、6~11章由叶锦秋编写，第一篇第3、4章由曾杰编写，第5章由叶锦秋和曾杰共同编写；第二篇第12~18章由孙惠镐编写。此外，刘国庆、赵中英、孙小明等参加了辅助工作。

本书为北京市民办高等教育工业与民用建筑（原）专业文凭考试教学用书，是北京市教委批准的北京市高等教育2002年《混凝土结构与砌体结构》课程教学改革研究的一项成果，并由北京建设大学承担教学改革研究课题。本书也可作为房屋建筑工程专业自学考试教学参放用书和工程技术人员参考用书。

由于编写时间匆忙，书中有不妥或错误之处请读者给予指正，使本书在使用中不断提高和完善，我们表示深切地感谢。

编者

2003年9月

目 录

前言

第一篇 混凝土结构	1
第一章 绪论	1
第一节 混凝土结构的一般概念	1
第二节 钢筋混凝土结构的主要优缺点	2
第三节 混凝土结构的发展简况	3
第四节 本课程的特点和学习方法	5
复习思考题	5
第二章 混凝土结构设计原则	6
第一节 建筑结构的函数要求和极限状态	6
第二节 结构上的作用、荷载效应和结构抗力	7
第三节 结构按近似概率法设计	10
第四节 按承载能力极限状态计算	12
第五节 按正常使用极限状态验算	14
第六节 混凝土结构的耐久性设计规定	14
复习思考题	17
第三章 钢筋和混凝土材料的力学性能	18
第一节 钢筋	18
第二节 混凝土	23
第三节 钢筋与混凝土的黏结	30
复习思考题	32
第四章 受弯构件正截面承载力计算	33
第一节 受弯构件的一般构造	33
第二节 梁正截面受弯承载力简介	35
第三节 正截面受弯承载力计算的基本规定	38
第四节 单筋矩形截面受弯承载力计算	41
第五节 双筋截面受弯构件正截面承载力计算	44
第六节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	50
复习思考题	54
习题	55

第五章 受弯构件斜截面承载力计算	57
第一节 梁沿斜截面受剪的主要破坏形态	57
第二节 影响斜截面受剪承载力的主要因素	62
第三节 斜截面受剪承载力计算	64
第四节 斜截面受剪承载力的计算步骤和方法	67
第五节 斜截面受弯承载力	73
第六节 钢筋的构造要求	77
复习思考题	83
习题	84
第六章 受扭构件扭曲截面承载力计算	85
第一节 概述	85
第二节 纯扭构件的试验分析	85
第三节 矩形截面纯扭构件受扭承载力计算	87
第四节 矩形截面弯扭、剪扭和弯剪扭构件承载力计算	90
第五节 受扭构件的配筋构造要求	92
复习思考题	95
习题	95
第七章 受压构件正截面承载力计算	96
第一节 受压构件的构造要求	96
第二节 轴心受压构件正截面受压承载力计算	98
第三节 偏心受压构件的正截面承载力计算	105
复习思考题	118
习题	118
第八章 受拉构件承载力计算	120
第一节 概述	120
第二节 轴心受拉构件正截面承载力	120
第三节 矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力计算	120
第四节 矩形截面大偏心受拉构件正截面承载力	122
第五节 偏心受拉构件斜截面承载力	123
复习思考题	124
习题	124
第九章 钢筋混凝土构件变形及裂缝宽度的验算	125
第一节 概述	125
第二节 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	126
第三节 受弯构件裂缝宽度验算	132
第四节 轴心受拉、偏心受拉和偏心受压构件裂缝宽度验算	137
复习思考题	139

习题	139
第十章 预应力混凝土构件的计算	140
第一节 概述	140
第二节 张拉控制应力和预应力损失	146
第三节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	152
第四节 预应力混凝土轴心受拉构件在使用阶段的计算	159
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件施工阶段的验算	161
第六节 预应力混凝土轴心受拉构件的构造要求	167
复习思考题	170
习题	171
第十一章 钢筋混凝土肋梁楼盖	172
第一节 概述	172
第二节 现浇整体式单向板肋梁楼盖	173
第三节 整体式双向板肋梁楼盖	204
第四节 装配式钢筋混凝土楼盖	216
复习思考题	221
第二篇 砌体结构	222
第十二章 砌体结构概述	222
第一节 砌体结构材料	222
第二节 砌体结构的应用与发展	226
复习思考题	228
第十三章 砌体的类型与计算指标	229
第一节 砌体的类型	229
第二节 砌体的抗压强度试验	232
第三节 砌体的抗压强度	235
第四节 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉和抗剪强度设计值	239
第五节 砌体的弹性模量、线膨胀系数、收缩系数和摩擦系数	241
复习思考题	243
第十四章 无筋砌体构件承载力计算	245
第一节 砌体结构的极限状态设计方法	245
第二节 受压构件承载力计算	246
第三节 砌体局部受压承载力计算	256
第四节 砌体轴心受拉、受弯和受剪构件承载力计算	262
复习思考题	266
第十五章 配筋砌体构件承载力计算	268
第一节 网状配筋砖砌体构件	268

第二节 组合砖砌体构件	272
第三节 砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	278
复习思考题	280
第十六章 砌体结构房屋的设计	281
第一节 砌体房屋的结构体系和墙体布置	281
第二节 砌体结构房屋的静力计算方案	284
第三节 墙、柱高厚比验算	293
第四节 砌体房屋设计的构造要求	297
复习思考题	304
第十七章 过梁、墙梁、挑梁、雨篷和楼梯	306
第一节 过梁	306
第二节 墙梁的一般知识	310
第三节 挑梁和雨篷	314
第四节 楼梯	320
复习思考题	324
第十八章 多层砌体房屋的抗震设计	325
第一节 房屋抗震一般知识和砌体房屋的震害	325
第二节 抗震设计的一般规定	329
第三节 多层砌体房屋的抗震计算	330
第四节 多层砌体房屋抗震构造措施	339
复习思考题	345
附录	346
附表 1 混凝土结构的环境类别	346
附表 2 混凝土强度标准值及设计值	346
附表 3 混凝土弹性模量	346
附表 4 钢筋强度标准值及设计值	346
附表 5 预应力钢筋强度标准值及设计值	347
附表 6 钢筋弹性模量	348
附表 7 钢筋的外形系数	348
附表 8 纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度	348
附表 9 纵向受力钢筋的最小配筋百分率	348
附表 10 钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件正截面抗弯能力计算表	349
附表 11 钢筋的计算截面面积及理论质量	350
附表 12 钢筋混凝土板每米宽的钢筋面积表	351
附表 13 钢绞线、钢丝公称直径、截面面积及理论重量	351
附表 14 受弯构件的挠度限值	352
附表 15 结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值	352
附表 16 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表	352
附表 17 双向板在均布荷载作用下的计算系数表	362

第一篇 混凝土结构

第一章 绪 论

第一节 混凝土结构的一般概念

用混凝土作为主要建筑材料制成的结构，称为混凝土结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。本章只讲述钢筋混凝土结构的一般概念。

钢筋混凝土结构是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土制成的。混凝土是一种人造石材，它的抗压强度很高，但抗拉强度很低（约为抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$ ），而钢筋的抗压和抗拉强度均很高，由于能充分利用两种材料的特性，使钢筋混凝土结构成为具有良好性能的一种结构形式。例如，当用素混凝土简支梁承受在跨度三分点处的两个竖向荷载时（图 1-1a），梁在弯矩作用下，中性轴以上受压，以下受拉。当荷载增大到某一数值 F_{cr} 时，梁的受拉区边缘混凝土的拉应力就达到其极限抗拉强度，开始出现裂缝，一般称这时的荷载为开裂荷载，用 F_{cr} 表示。这时，梁的实际受力截面高度减小，拉应力增大，裂缝迅速向上发展，梁很快断裂。所以，素混凝土梁的开裂荷载就是它的破坏荷载，导致素混凝土梁的承载力很低。而且它的破坏是在梁的挠度很小，没有明显预兆的情况下突然发生的，属于脆性破坏。这种脆性破坏难以预防，危险性大，是工程上不希望发生的。而另一方面，此时梁的受压区混凝土的抗压强度则远未被充分利用，所以经济上也不合理。

为了解决这一矛盾，可以在混凝土梁的受拉区配置适量钢筋，使其成为钢筋混凝土梁（图 1-1b）。假如截面尺寸相同，当钢筋混凝土梁受拉区边缘混凝土的拉应力达到其极限抗拉强度时，也会出现裂缝。试验表明，虽然其开裂荷载 F_{cr} 只稍大于素混凝土梁的开裂荷载 F_{cr} ，但开裂以后的情况就不同了；虽然混凝土在受拉区已不能承受拉力，但因为有抗拉强度很高的钢筋存在，全部拉力可以由钢筋承受。因此，当受拉区的混凝土开裂以后，钢筋混凝土梁不会立即断裂，它还可以继续承受较大的荷载，直到受拉区的钢筋屈服，受压区边缘的混凝土最后被压碎，梁才破坏。如果将破坏时的竖向荷载记为 F_u ，那么钢筋混凝土梁的破坏荷载 F_u 一定大于开裂荷载 F_{cr} 很多。由于钢筋混凝土梁的破坏荷载 F_u 远大于它的开裂荷载 F_{cr} ，破坏时梁的裂缝明显，挠度也较大，有明显预兆，属于延性破坏。这种破坏有利于及时防范，是工程上所希望的。可见，钢筋混凝土梁不但承载能力远大于素混凝土梁，而且变形能力也高于素混凝土梁，它使钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度都得到了充分利

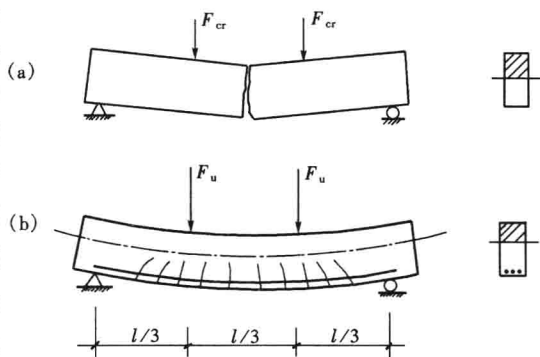


图 1-1 钢筋混凝土简支梁

(a) 素混凝土简支梁；(b) 钢筋混凝土简支梁

用，从而达到经济合理的目的。

又例如，如果在混凝土中配置竖向受压钢筋和箍筋，钢筋同样可以协助混凝土承受压力，而且还可以改善混凝土柱的受力性能。

为什么钢筋和混凝土这两种性质完全不同的材料，可以有效地结合在一起共同工作呢？

其原因可以归纳如下：

(1) 钢筋和混凝土之间有着良好的黏结力，使两者能可靠地结合成一个整体，在荷载作用下，共同受力共同变形，完成其结构功能。

(2) 钢筋的温度线膨胀系数 (1.2×10^{-5}) 和混凝土的温度线膨胀系数 ($1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$) 较为接近，当温度变化时，两者可以协同变形，不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结。

(3) 在钢筋混凝土结构中，混凝土包裹着钢筋，使其不致很快锈蚀，从而提高结构的耐久性。

第二节 钢筋混凝土结构的主要优缺点

一、主要优点

钢筋混凝土结构能在建筑工程中得到广泛的应用，除上述原因外，主要有下列诸多优点。

(1) 易于就地取材。钢筋混凝土结构中大量使用砂、石，它们一般均易于就地取材。在工业废料较多地区，还可以将工业废料（如矿渣、粉煤灰等）制成人造集料，加以利用。因而，可降低运费和建筑造价。与钢结构和砖砌体结构相比，它的能源消耗也较少。

(2) 耐久性好。混凝土的强度是随时间不断增长的；同时，钢筋被混凝土包裹而得到保护不致很快锈蚀。因而，钢筋混凝土结构不像钢结构那样需要经常性的保养和维修，耐久性好。

(3) 耐火性好。混凝土的导热性能较差，被包裹在混凝土中的钢筋，遇到火灾时，不致很快达到其软化温度而造成结构整体破坏。所以，钢筋混凝土结构比钢、木结构有较好的耐火性。

(4) 整体性好。现浇的或装配整体式的钢筋混凝土结构具有很好的整体性，有利于抵抗地震、振动和强烈爆炸时冲击破坏作用。

(5) 可模性好。新拌和的混凝土具有很好的可塑性，可根据需要将钢筋混凝土浇注在预先制成的各种形状和尺寸的模型中成型。所以很适宜于建造外形复杂的结构或空间薄壁结构。

(6) 刚度大。钢筋混凝土结构刚度大，变形小，适宜于建造各种对变形要求比较严格的结构。

二、主要缺点

钢筋混凝土结构也存在一些缺点，它们是：

(1) 自重较大。其结构的截面尺寸一般较大，致使其自重较大，不利于建造大跨度结构和高层建筑结构等。

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度很低，因而，钢筋混凝土结构在正常使用时，常带裂

缝工作。

(3) 费工费模。现浇的钢筋混凝土结构费工较多,需耗费大量的木材,且施工受气候条件的影响,在冬季或雨季施工,须采用相应的防护措施才能保证质量。

(4) 其他。如隔热、隔声性能较差,补强维修或拆除较难等。

随着钢筋混凝土结构的广泛应用和不断发展,这些缺点已经或正在逐步得到克服。例如,采用轻质高强混凝土以减轻结构自重;采用预应力混凝土以提高构件的抗裂性;采用工业化的现浇施工方法以节约模板和提高施工速度等。

第三节 混凝土结构的发展简况

钢筋混凝土的应用至今大约有 150 年的历史。从 19 世纪 50 年代到 20 世纪 20 年代,是钢筋混凝土结构发展的初级阶段。在这阶段钢筋混凝土只建造一些简单构件,所用的钢筋和混凝土的强度都较低,设计也都是用弹性理论进行的。20 世纪 20 年代以后,钢筋混凝土结构有了较快发展,尤其是在第二次世界大战以后,钢筋混凝土结构有了更快的发展,所用材料的强度不断提高,钢筋混凝土的应用范围不断扩大,预应力混凝土结构也开始应用,工业化的先进施工方法普遍采用,极限状态设计理论获得了越来越广泛的应用。现从三方面简要介绍如下:

一、结构设计理论方面

最初是按弹性理论的允许应力法进行设计计算的。把钢筋和混凝土均看成理想的弹性体,设计要求结构在使用时任何一点的应力不得超过其允许应力值。允许应力值等于材料强度除以安全系数 k , 其设计表达式为:

$$\sigma \leq [\sigma] = f/k \quad (1-1)$$

允许应力法的特点是以降低材料强度取值的方法来保证构件的安全性。安全系数 k 是根据经验确定的。

到了 20 世纪 20 年代后期,当人们认识到了钢筋混凝土的塑性性能后,又提出了破损阶段法。此法要求由最大荷载产生的结构内力 S 不大于截面的极限承载力 R , 而最大荷载就等于荷载标准值乘以安全系数 k , 截面的极限承载力 R 则由实验经统计分析确定,其表达式为:

$$kS \leq R \quad (1-2)$$

破损阶段法的特点是用增大荷载取值的方法来保证构件的安全性。它考虑了材料的塑性,比允许应力法进了一步。

到了 20 世纪 50 年代中期,极限状态法又问世了,这个方法规定了承载能力、变形和裂缝等三种极限状态,用超载系数、材料匀质系数和工作条件系数等三个分项系数代替单一的安全系数,要求荷载效应最大值不超过截面最小抗力,其表达式为:

$$S_{\max} \leq R_{\min} \quad (1-3)$$

极限状态法的特点是在荷载及材料强度的取值上,开始引入数理统计的方法,再结合经验定出一些系数,因此被称为半概率半经验的极限状态法。

自 20 世纪 70 年代以来,以数理统计为基础的结构可靠度理论进入工程实用阶段。目前,许多国家已采用这种以概率理论为基础的极限状态法。我国在 1989 年编制的《混凝土

结构设计规范》(GBJ 10—89)就已经采用了这一方法。自 1997 年开始,经过五年时间的修订,新编制的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)已于 2002 年 4 月正式施行。新规范仍采用以概率理论为基础的极限状态法,但本着推进国内各专业规范的协调统一、与国际标准规范接轨、完善设计理论和设计方法以及适当提高结构的安全度的原则,对原规范做了适当修订。

以概率理论为基础的极限状态法的显著特点是运用概率理论对结构可靠性的度量给出了科学的回答,明确提出了可靠度的定义及其计算公式,但由于还存在一定的近似性,被称为近似概率法。当前,国际上公认它代表了结构可靠性理论发展的新水平。可以相信,新规范的施行必将提高我国的结构设计水平,使我国的混凝土结构设计规范能跻身于先进的国际标准规范的行列。

二、结构材料方面

混凝土的发展方向是高强、轻质、耐久和抗震(爆)。

过去我国采用的混凝土强度等级一直偏低,20 世纪 80 年代,采用的混凝土等级一般为 C20~C30,超过 C50 的很少。新规范在混凝土强度等级系列中取消了 C7.5 级和 C10 级,增加了 C65~C80 等高强度等级。采用高强混凝土可以减小截面尺寸,减轻自重,降低成本,并具有较好的耐久性,但高强混凝土的延性较差。

在推广应用轻集(骨)料混凝土方面,要充分利用天然轻集料(如浮石等)、工业废料(如炉渣等)、人造轻集料(如黏土陶粒等)制成的轻质混凝土。它的优点是质地轻、自重小、相对强度高以及保温、抗冻性好。

提高混凝土结构的耐久性是一个重要而复杂的问题,我国正在开展这方面的研究。目前在提高混凝土的耐久性方面的主要措施是:在设计时,要求按环境类别和设计使用年限进行耐久性设计;在使用材料方面对结构混凝土规定了耐久性的基本要求;并采用高炉矿渣水泥、优质陶粒、优质掺合料(如硅灰)等,以防止碱-集料反应;提高施工质量或采用防腐涂层(环氧树脂等)。另外,为防止钢筋锈蚀,应保证合理的混凝土保护层厚度,施工时振捣密实并保证良好的养护和使用环境。

钢筋的发展方向是高强、高性能。

由于我国混凝土结构的用钢水平滞后于国际水平,新规范将钢筋强度等级作了提高调整。将钢筋混凝土结构的主导钢筋由Ⅱ级提高到Ⅲ级(即 HRB400);预应力混凝土结构则以高强低松弛钢丝、钢绞线为主导钢筋;各种冷加工钢筋不再列入规范而交由专门标准管理。

三、工程实践方面

在 19 世纪末和 20 世纪初,我国开始有了钢筋混凝土建筑,但直到解放以后,尤其在改革开放以后,钢筋混凝土结构在我国工程建设中的应用才得到迅速发展。目前,在单层厂房中已广泛采用定型构配件和标准设计,有了全国通用标准图集及地区性标准设计图集。在多层厂房和民用建筑中广泛采用了现浇钢筋混凝土框架结构。装配式大板住宅建筑、现浇大模板居住建筑也较广泛应用。预应力混凝土结构(如楼、屋盖和框架结构)和预应力混凝土构件(如吊车梁、空心板等)也有较快发展。近年来,钢筋混凝土高层建筑也有了较快发展。如广州中天大厦有 80 层,高 321.9m。上海金茂大厦 94 层,高 460m,是我国目前最高的高层建筑。大跨度建筑也有一定发展,一般常用拱、门式刚架和壳体结构等。此外,在桥隧工

程、水利工程、地下工程、电视塔、水池、烟囱等特殊构筑物中也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土结构。

第四节 本课程的特点和学习方法

《混凝土结构与砌体结构》课程是房屋建筑工程（或工业与民用建筑）专业的主干专业课之一。对于期望从事结构设计的学生来说，它无疑是重要的基本功，对于将从事施工和工程管理的學生而言，也是必不可少的。为了使學生能较快地适应本课程的教学，下面简要介绍本课程的几个主要特点和学习方法。

(1)《混凝土结构》的理论是建立在实验的基础上的。钢筋混凝土结构是由两种材料所组成，而且是非匀质的弹塑性材料，计算时一般不能直接引用工程力学中的有关公式，而是要依赖于实验找到自己的规律，才能建立适用于钢筋混凝土结构构件的公式。因此，本课程在讨论各种受力构件时，都会讲到相关的实验。一般来讲，學生没有条件亲自参加许多实验，但在学习时，应该十分重视前人从实验中得出的这些宝贵间接经验，认真学懂。另一方面，工程力学中解决问题的思路和方法，仍常被借鉴。

(2)《混凝土结构》是一门理论性和实践性都很强的专业课。学习时，会涉及许多先修课的知识，例如，有关建筑材料、工程力学、结构力学、数学、概率论等的知识。所以，基础课学得不够扎实的學生，在学习时会有一些困难，需要不断复习有关知识，以便能加深对本课程的理解。同时，除了应该完成必要的复习思考题、习题和课程设计外，还应多参加一些有关的实践活动，如参观建筑工地、工厂以及实习等。

(3)本课程的学习必须与我国现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)紧密结合。因为，新颁布施行的规范是我国长期科研成果和工程实践经验的结晶，其中不但包含许多理论和公式，还有不少结构构造要求。这些都是工程技术人员必须了解并掌握的，学习时只重视理论而忽视构造是不正确的。另外，也应该指出，要想学好这门课，当然首先需要理解，但在理解的基础上，也还必须对基本理论和公式以及主要的构造要求作适当的记忆。

(4)混凝土结构的习题解答往往不是惟一的，这一点和基础课的习题有所不同。当选用不同强度的材料、或选用不同的材料配比时，就有可能得出多种答案均可满足要求。要想设计出既安全、适用，又经济、美观的构件，一方面要在计算时注意满足公式的适用条件，另一方面也应注意符合构造要求。

(5)砌体结构是各种材料的块体用砂浆砌筑而成。其特点是不同的块体材料组成不同的砌体，不同的砌体具有不同的力学性能。砌体的力学性能是：抗压强度远高于抗拉、抗剪强度。砌体的结构、构件，须进行受压或局压、受拉、受剪等承载力验算；同时，用高厚比和构造措施来保证构件的稳定性。配筋砌体需掌握其优点和适用范围。砌体房屋在荷载作用下，有不同的静力计算方案，在地震区砌体房屋要掌握一般规定和构造措施。

复 习 思 考 题

1. 钢筋和混凝土两种不同的材料能够很好地一起工作，其原因是什么？
2. 钢筋混凝土结构有哪些主要优点和缺点？
3. 结构或构件的破坏有哪两种类型？它们各有什么特点？
4. 如何才能学好《混凝土结构与砌体结构》这门课？你自己有何打算？

第二章 混凝土结构设计原则

我国的混凝土结构与砌体结构设计已采用了以近似概率理论为基础的极限状态设计法，本章将对这个方法做浅显的介绍。

第一节 建筑结构的的功能要求和极限状态

一、建筑结构的的功能要求

建筑结构必须满足下列三方面功能要求：

1. 安全性。结构能承受正常施工和正常使用时可能出现的各种作用；在设计规定的偶然事件（如地震等）发生时和发生后，仍能保持必需的整体稳定性，即结构只发生局部损坏而不致发生连续倒塌。

2. 适用性。结构在正常使用荷载作用下具有良好的工作性能。如不发生影响正常使用的过大变形，或出现令使用者不安的过宽裂缝等。

3. 耐久性。结构在正常使用和正常维护条件下具有足够的耐久性。如钢筋不过度腐蚀、混凝土不发生过分化学腐蚀或冻融破坏等。

上述三方面功能要求可以总称为结构的可靠性。所以，结构的可靠性即：结构在规定的设计使用期限内，在规定的条件下，完成预定功能的能力。结构设计的目的，就是要在利用现有先进技术的基础上，用经济合理的方案，获得能够完成全部功能要求和足够可靠的结构。

二、结构的设计使用年限

结构的设计使用年限是指所设计的结构或构件，在正常施工、正常使用和正常维护下，不需进行大修，即可达到的预定使用年限。在《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）（以下简称《设计统一标准》）中，我国将结构的设计基准期定为 50 年，即以此作为确定设计荷载最大值取值的期限。设计基准期是确定可变作用及与时间有关的材料性能等取值而选用的时间参数，它不等同于建筑结构的设计使用年限。

另外，还应当注意，结构的设计年限和结构的实际使用年限有一定的联系，但不完全相同。当结构的使用年限超过设计使用年限时，结构并不报废，只是它的可靠性降低，失效概率增大，经适当维修后仍可继续使用。

我国新修订的《设计统一标准》（GB 50068—2001）提出，结构的设计使用年限分为四类（见表 2-1）。

对不同类别的结构构件，有以下两方面不同的要求和措施：

（1）对结构重要性系数 γ_0 的取值

表 2-1 设计使用年限分类

类别	设计使用年限（年）	示 例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

有不同的要求。

(2) 对混凝土耐久性有各自相应的措施。

以上提出的关于结构的设计年限的规定和相应的设计要求对提高结构的耐久性将起重要作用。

三、结构的两类极限状态

在结构设计中，区分结构可靠与失效状态的标志是“极限状态”。

结构的极限状态是指：当结构或构件超过某一临界状态时，就不能满足设计规定的某一功能要求，此临界状态称为该功能的极限状态。

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类。前者与结构的安全性相对应，后者与结构的适用性和耐久性相对应。显然，结构超过承载能力极限状态带来的后果比超过正常使用极限状态的后果要严重得多。因此，在处理这两类极限状态时也应该区别对待。

1. 承载能力极限状态

结构或构件达到最大承载能力，或达到不适于继续承载的变形时，称为承载能力极限状态。

当结构或构件出现了下列状态之一时，就认为是超过了承载能力极限状态：

- (1) 整个结构或结构构件的一部分作为刚体失去平衡（如倾覆等）；
- (2) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；
- (3) 结构转变为机动体系；
- (4) 结构或结构构件丧失稳定（如压屈等）。

由于一旦超过承载能力极限状态，结构可能会整体倒塌或严重破坏，以致造成人身伤亡或重大经济损失，因而，应该把超过承载能力极限状态的可能性控制到很小，也就是要对超过承载能力极限状态保持足够大的安全储备。

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某项规定限值时，称为正常使用极限状态。

当结构或结构构件出现了下列状态之一时，就认为是超过了正常使用极限状态：

- (1) 影响正常使用或外观的变形（如构件的挠度超过某个限值）；
- (2) 影响正常使用或耐久性能的局部损坏（如裂缝宽度超过某个限值）；
- (3) 影响正常使用的振动；
- (4) 影响正常使用的其他特定状态。

结构超过正常使用极限状态会影响它的使用性能或耐久性能，但不致造成人身伤亡和重大经济损失，因而可以把超过正常使用极限状态的可能性控制得稍宽些，也就是允许比超过承载能力极限状态有较小的安全储备。通常结构构件是按承载能力极限状态进行设计，再按正常使用极限状态进行验算。

第二节 结构上的作用、荷载效应和结构抗力

一、结构上的作用

施加在结构上的集中力或分布力，或引起结构外加变形或约束变形的原因，都称为结构

上的作用，简称作用。作用分直接作用和间接作用两类。结构自重，楼面上的人群、设备等重力，屋盖上的风雪等都是直接作用在结构上的力，称为直接作用或荷载。而由于温度变化、结构材料的收缩或徐变、地基沉陷、地震等都会引起结构产生外加变形或约束变形，但它们不是直接以力的形式出现的，故称为间接作用。注意，荷载只是指施加在结构上的集中力或分布力，而不能把间接作用也称为荷载。例如地震对结构的作用除与地震有关以外，还与结构本身以及场地情况有关，把“地震作用”误称为“地震荷载”，就会把地震对结构的作用误解为与结构本身及场地情况无关。

在工程结构中，由于常见的作用多数是直接作用，即荷载，因此对荷载的类型，又做了进一步的分类。

荷载按其随时间的变异，可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三类。

1. 永久荷载（恒载），是指在设计使用年限内，其值不随时间变化，或其变化的数值与平均值相比可以忽略不计。例如，结构自重、预应力等。通常集中力永久荷载用 G 表示，分布力永久荷载用 g 表示。

2. 可变荷载（活荷载），是指在设计使用年限内，其值随时间而变化，且其变化的数值与平均值相比不能忽略的荷载。例如，楼（屋）面活荷载、风荷载、雪荷载、吊车荷载等。集中力活荷载通常用 Q 表示，分布力活荷载通常用 q 表示。

3. 偶然荷载，是指在设计使用年限内不一定出现，而一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载。例如，爆炸力、撞击力等。

二、荷载的代表值

由于在结构设计中，不同的极限状态需采用不同的荷载数值。因此，下面要讨论各种荷载代表值。

1. 荷载标准值

荷载标准值是指：结构在其设计基准期内，在正常情况下可能出现具有一定保证率的最大荷载。荷载标准值是荷载的基本代表值。当有足够实测资料时，荷载标准值按资料进行统计分析加以确定。例如，对于恒载标准值 G_k ：

$$G_k = G_m + \alpha_s \sigma_s = G_m (1 + \alpha_s \delta_s) \quad (2-1)$$

式中 G_m ——荷载平均值；

G_k ——荷载标准值；

σ_s ——荷载标准差；

δ_s ——荷载变异系数， $\delta_s = \sigma_s / G_m$ ；

α_s ——荷载标准值的保证率系数。

国际标准化组织（ISO）建议取 $\alpha_s = 1.645$ ，即相当于具有 95% 保证率的上限分位值（图 2-1）。

当没有足够统计资料时，荷载标准值可根据经验确定。我国《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）（以下简称《荷载规范》）对荷载标准值的取值为：永久（恒）荷载标准值 G_k ，对结构自重，可按构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定。常用材料和

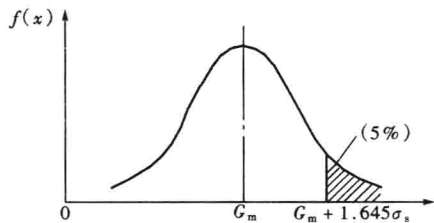


图 2-1 荷载标准值的取值

结构构件的单位自重可参照《荷载规范》中的附录 A 采用。

可变（活）荷载标准值 Q_k 可按《荷载规范》各章中的规定采用。

2. 可变（活）荷载组合值 $\psi_c Q_k$

当作用在结构上的活荷载有多个时，其值同时达到标准值的可能性不大，采用荷载组合系数 ψ_c 乘以可变（活）荷载的标准值来表达其组合值 $\psi_c Q_k$ ， $\psi_c \leq 1$ ，具体取值可查《荷载规范》。

3. 可变（活）荷载准永久值 $\psi_q Q_k$

对可变（活）荷载中持续时间比较长的那部分荷载，要考虑其长期效应的影响。《荷载规范》规定：可变（活）荷载准永久值是以荷载的准永久值系数 ψ_q 与相应可变荷载标准值 Q_k 的乘积来确定。

$\psi_q \leq 1$ 。各种活荷载的准永久值系数 ψ_q 的具体取值，可查《荷载规范》。

三、荷载效应 S 及荷载效应系数 C

由荷载引起的结构或构件的内力、变形等，称为荷载效应，常用“ S ”表示。例如，构件截面上的弯矩、剪力、轴向力、扭矩以及某一截面处的挠度、裂缝宽度等。

由于结构上的荷载是随时间、地点和各种条件的改变而变化的，是一个预先无法确定的随机变量，所以，荷载效应也是一个随机变量。

荷载 Q 与荷载效应 S 的关系一般是线性的，即

$$S = CQ \quad (2-2)$$

式中 C ——荷载效应系数；

Q ——某种荷载；

S ——荷载效应。

例如，有一跨度为 l ，承受均布荷载 q 的简支梁，其支座剪力 $V = (1/2)ql$ ，此时 V 相当于荷载效应 S ， q 相当于荷载 Q ， $(1/2)l$ 就是荷载效应系数 C 。

荷载效应是结构设计的依据之一，而它的统计规律和荷载的统计规律是一致的，所以，后面只讨论荷载变异的情况。

四、结构抗力 R

结构或结构构件承受内力和变形的能力，称为结构抗力。例如，构件的承载能力、刚度等，常用“ R ”表示。

结构抗力的大小取决于材料强度、构件几何特征、计算模式等因素，由于受这些因素的不定性的影响，结构抗力也是一个随机变量。

结构构件的工作状态可以用荷载效应 S 与结构抗力 R 的关系式来表示。当其工作状态达到极限时，可写成如下的极限平衡方程式：

$$S = R \quad (2-3)$$

当然，也可以写成： $Z = R - S = Z(S, R) = 0$ ，因而，若用 Z 值的大小来描述结构的工作状态，就可得到：

当 $Z > 0$ 时，结构处于可靠状态；

当 $Z = 0$ 时，结构处于极限状态；

当 $Z < 0$ ，结构处于失效状态。