

21 世纪高等职业技术教育规划教材——建筑工程类

▶ 建筑结构

主编 曹长礼 副主编 王兴强



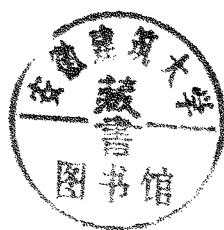
西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——建筑工

建 筑 结 构

主 编 曹长礼

副主编 王兴强



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书是根据高等职业技术学院房屋建筑工程专业建筑结构课程的教学要求编写的教材,注重理论与实际的联系,特别是强化了理论在工程中的具体应用。

全书共 12 章,按我国颁布的最新设计规范编写。内容包括绪论、建筑结构设计的基本原则、混凝土结构材料的力学性能、钢筋混凝土受弯构件、受压构件的承载力计算、受拉构件的承载力计算、受扭构件的承载力计算、预应力混凝土构件、钢筋混凝土梁板结构、单层厂房结构、框架结构和砌体结构。

本书按照高职教育“必需、够用”的原则,取材注意反映基本概念和基本理论,删去了一些烦琐的理论推导,尽可能做到理论与工程实际相联系,体现职业教育教材的特点。

本书适用于高职高专院校建筑工程、工程管理、工程造价、建筑经济与管理等专业的课程教学,也可作为土木建筑类函授教育、自学考试和在职人员的培训教材,以及其他相关技术人员的阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构 / 曹长礼主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2008.5
21 世纪高等职业技术教育规划教材. 建筑工程类
ISBN 978-7-81104-860-5

I. 建… II. 曹… III. 建筑结构—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 093521 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——建筑工程类

建 筑 结 构

Jianzhu Jiegou

主 编 曹长礼

*

责任编辑 杨 勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 19

字数: 473 千字 印数: 1—3 000 册

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-860-5

定价: 29.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

为了满足高职高专院校建筑工程类专业的教学需要,培养从事建筑工程施工、管理及一般房屋建筑设计的高等工程技术人才,根据土建类高职高专建筑工程技术专业教学的基本要求,本教材内容以“必需、够用”为原则,并依据新规范、新标准编写。

本书力求体现高职高专教育的特色,紧密结合现行的国家标准、规范,并吸取近年来建筑领域在科研、施工、教学等方面的先进成果,贯彻“少而精”的原则,注重加强学生基本理论知识、技能和能力的训练。考虑到教学的需要和提高教学质量,编者通过多年来的教学改革与教学实践,形成了一套具有建筑工程类专业特点的、系统的、完整的教学体系,本书即是其一定程度上的体现。全书在表述上尽量做到基本理论深入浅出、设计方法清晰明确、语言表达通俗易懂,概念清楚、重点突出。为了加深学生的理论基础和培养其解决问题的能力,本书在每章正文之后根据情况附有思考题和习题。

本书共分 12 章,内容包括绪论、建筑结构设计的基本原则、混凝土结构材料的力学性能、钢筋混凝土受弯构件、受压构件的承载力计算、受拉构件的承载力计算、受扭构件的承载力计算、预应力混凝土构件、钢筋混凝土梁板结构、单层厂房结构、框架结构和砌体结构。

本书由曹长礼任主编,王兴强任副主编。参加编写的有:济南铁路职业技术学院王兴强(第 1 章),西安铁路职业技术学院史艺红(第 2、3 章),西安铁路职业技术学院曹长礼(第 4 章),西安铁路职业技术学院牛欣欣(第 5、6、7 章),九江学院土木与城建学院曾晓文(第 8、9 章),九江学院土木与城建学院张咏梅(第 10、11 章),西安铁路职业技术学院朱力(第 12 章)。

由于教学改革的不深入,科学技术的不断进步,加之编者的水平和精力有限,书中不足之处在所难免,恳请读者和专家批评指正,以便今后进一步完善。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 建筑结构的组成和分类	1
1.2 混凝土结构	2
1.3 砌体结构	4
1.4 课程特点与学习方法	4
思考题	6
第 2 章 建筑结构设计的基本原则	7
2.1 结构设计的基本要求	7
2.2 结构上的荷载与荷载效应	9
2.3 结构抗力和材料强度	13
2.4 概率极限状态设计法	14
思考题	18
第 3 章 混凝土结构材料的力学性能	19
3.1 混凝土	19
3.2 钢 筋	28
3.3 钢筋与混凝土的粘结	33
思考题	36
第 4 章 钢筋混凝土受弯构件	37
4.1 板、梁的一般构造	37
4.2 受弯构件正截面承载力计算	41
4.3 受弯构件斜截面承载力计算	60
4.4 受弯构件的变形及裂缝宽度验算	74
思考题	81
习 题	82
第 5 章 受压构件的承载力计算	85
5.1 概 述	85
5.2 受压构件的一般构造要求	85
5.3 轴心受压构件的承载力计算	87
5.4 偏心受压构件正截面承载力计算	93
5.5 偏心受压构件斜截面承载力计算	104
思考题	106
习 题	106

第 6 章 受拉构件的承载力计算	107
6.1 受拉构件的受力特点	107
6.2 轴心受拉构件正截面承载力计算	108
6.3 偏心受拉构件承载力计算	109
思考题	113
习 题	113
第 7 章 受扭构件的承载力计算	114
7.1 概 述	114
7.2 一般受扭构件承载力计算	115
思考题	122
习 题	122
第 8 章 预应力混凝土构件	124
8.1 预应力混凝土的基本概念	124
8.2 预应力混凝土材料及预应力损失	128
8.3 预应力混凝土轴心受拉构件	136
8.4 预应力混凝土构件的构造要求	142
思考题	146
习 题	146
第 9 章 钢筋混凝土梁板结构	147
9.1 概 述	147
9.2 现浇单向板肋梁楼盖	148
9.3 现浇双向板肋梁楼盖	173
9.4 装配式楼盖	179
9.5 楼 梯	183
9.6 悬挑构件	186
思考题	189
习 题	189
第 10 章 单层厂房结构	191
10.1 概 述	191
10.2 单层厂房结构组成和布置	192
10.3 排架计算	199
10.4 单层厂房柱设计	208
10.5 柱下独立基础设计	212
思考题	217
习 题	217

第 11 章 框架结构	219
11.1 框架的结构和布置.....	219
11.2 竖向荷载作用下的框架内力分析.....	222
11.3 水平荷载作用下的内力近似计算.....	225
11.4 框架侧移近似计算及限值.....	230
11.5 框架结构内力组合.....	232
11.6 框架结构构件设计.....	234
11.7 多层框架结构基础.....	236
思考题.....	237
习 题.....	238
第 12 章 砌体结构	239
12.1 砌体材料及其力学性能.....	239
12.2 砌体结构构件的承载力计算.....	245
12.3 混合结构房屋墙体设计.....	260
12.4 砌体结构中的过梁、圈梁及挑梁.....	269
12.5 砌体结构的构造措施.....	277
思考题.....	281
习 题.....	281
附录 A 各种钢筋的公称直径、计算截面面积及理论质量.....	283
附录 B 建筑结构设计静力计算常用表.....	285
参考文献.....	296

第1章 绪 论

建筑结构是由若干个单元，按照一定组成规则，通过正确的连接方式所组成的能够承受并传递荷载和其他间接作用的骨架。而这些单元就是建筑结构的基本构件。

1.1 建筑结构的组成和分类

1.1.1 建筑结构的组成

建筑结构的基本构件主要有板、梁、墙、柱、基础等，这些组成构件由于所处部位不同，承受荷载状况不同，各有不同的作用。

(1) 板：水平承重构件，承受施加在本层楼板上的全部荷载。板的长、宽两个方向的尺寸远大于其高度（也称厚度）。板的作用效应主要为受弯。

(2) 梁：水平承重构件，承受板传来的荷载以及梁的自重。梁的截面宽度和高度尺寸远小于其长度尺寸。主要承受竖向荷载，其作用方向与梁轴线垂直，其作用效应主要为受弯和受剪。

(3) 墙：竖向承重构件，用以支承水平承重构件或承受水平荷载。作用效应为受压，有时还可能受弯。

(4) 柱：竖向承重构件，承受梁、板传来的竖向荷载以及柱的自重。柱的截面尺寸远小于其高度。有轴心受压和偏心受压等形式。

(5) 基础：承受墙、柱传来的压力并将它扩散的地基上去。

1.1.2 建筑结构的分类

建筑结构的分类方法很多，按所用的材料不同，建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构，本书所涉及的是混凝土结构和砌体结构。

1. 混凝土结构

混凝土结构可分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、素混凝土结构、钢筋混凝土结构、纤维增强混凝土结构等。其中钢筋混凝土结构在建筑结构中应用最广泛。混凝土结构具有刚度大，可模性、整体性、耐久性、耐火性好等优点，广泛应用于工业与民用建筑中和水塔、烟囱等特种结构中。

混凝土结构也有一些缺点，主要是自重大、抗裂性能差、施工复杂等，但随着科学技术的不断发展，这些缺点正在逐渐地被克服。

2. 砌体结构

砌体结构的主要受力构件是由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱，主要优点是易于就地取材，造价低廉，耐火性、耐久性、隔热、隔音性能好。主要缺点是自重大、强度低、整体性差、砌筑劳动强度大等。

3. 钢结构

钢结构是指以钢材为主制作的结构，主要优点是材料强度高、自重轻、力学性能好、施工简便、可再生等，主要缺点是易腐蚀、耐火性差、工程造价和维护费用较高。近年来钢结构的应用日益增多，在高层建筑及大跨度结构中应用越来越广泛。

4. 木结构

木结构是指全部或大部分用木材制作的结构。这种结构易于就地取材，制作简单，但易燃、易腐蚀、变形大，目前已很少采用，但在仿古建筑中应用仍较多。

1.2 混凝土结构

1.2.1 混凝土结构的概念

以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构，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。素混凝土结构是指不配置任何钢材的混凝土结构；钢筋混凝土结构是配有钢筋的普通混凝土结构；由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构称为预应力混凝土结构。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种不同的材料组成的。这两种材料中，混凝土的抗压能力较强但抗拉能力很弱，钢筋抗拉能力和抗压能力都很强。我们在设计时，一般将钢筋布置在构件的受拉区，则混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，充分发挥这两种材料的优势，使得二者协同工作，以满足工程结构的要求。

我们以钢筋混凝土简支梁的受力分析来阐述钢筋混凝土的概念。图 1.1 所示为钢筋混凝土简支梁，在梁的受拉区布置适量的纵向受力钢筋，简支梁上作用一个逐渐变大的均布荷载 q 。现研究简支梁的跨中截面。当荷载 q 较小时，截面上的应变分布接近于弹性梁，沿截面高度呈直线分布，受拉区混凝土和受拉区钢筋均受拉，受压区混凝土受压；当荷载增大到一定的数值，截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土极限拉应变时，此处的混凝土被拉裂而退出工作，若不配纵向受力钢筋，裂缝会迅速向上发展，梁随即会发生突然的断裂破坏。但由于梁的受拉区布置了一定数量的纵向受力钢筋，受拉区混凝土退出工作以后，拉力完全由钢筋承担，梁还可以继续承受荷载，直到受拉钢筋达到屈服强度。之后，荷载还可以略有增加，直到受压区混凝土被压碎，梁才破坏。破坏前，变形和裂缝都发展得很充分，有明显的破坏预兆。因此，混凝土结构中适当的位置配置适量的钢筋后，在破坏前，混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，两种材料的强度都能得到较充分的利用，同时结构的承载能力和变形能力较素混凝土有很大的提高。

有时在构件的受压区也布置纵向受力钢筋，如梁的受压区、轴心受压柱的四周等。在混凝土中配置受压钢筋的目的是协助混凝土承受压力，提高构件的承载力，减小构件的截面尺寸。另外，还能改善构件破坏时的脆性，提高其变形性能。

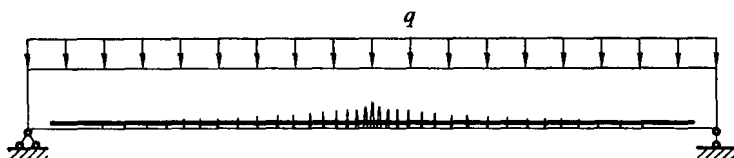


图 1.1 钢筋混凝土简支梁截面受力分析

在钢筋混凝土构件中，通常还会布置箍筋、弯起钢筋、架立钢筋、分布钢筋等，在梁的支座附近还会有斜裂缝，这些会在本书以后各章节介绍。

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同，它们可以相互结合共同工作的主要原因是：

(1) 混凝土凝结硬化后，钢筋和混凝土之间产生较强的粘聚力，使得两者牢固地粘结在一起，相互传递内力。

(2) 两者的温度线膨胀系数十分接近，钢筋的温度线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土的温度线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，当温度变化时，钢筋与混凝土之间不会产生较大的温度应力从而引起粘结破坏。

(3) 混凝土对埋置其中的钢筋起到了保护和固定作用，使钢筋不容易发生锈蚀，保证结构具有良好的耐久性，同时使钢筋在受压时不易失稳，在火灾时不会因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。

1.2.2 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构的主要优点有以下几个方面：

(1) 易于就地取材。混凝土所用的原料砂、石一般易于就地取材。另外，还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料作为混凝土的骨料。

(2) 造价较低。钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能，与钢结构相比，造价较低。

(3) 耐久性好。混凝土的强度一般随着时间的增长而增长，且钢筋被混凝土包裹，不易锈蚀，维修费用也很少，所以钢筋混凝土结构的耐久性比较好。

(4) 耐火性好。混凝土是热的不良导体，钢筋被混凝土包裹，火灾时钢筋不会很快达到软化温度而导致结构整体破坏。比木结构、钢结构的耐火性要好。

(5) 可模性好。可以根据设计需要，比较容易地浇筑成各种形状和尺寸的钢筋混凝土结构。

(6) 整体性好。整浇或装配整体式钢筋混凝土结构的整体性较好，适用于变形较小的和抗震、抗爆的结构。

钢筋混凝土结构的主要缺点有以下几个方面：

(1) 自重。钢筋混凝土的重度为 25 kN/m^3 左右，比砌体和木材的重度都大。在同样的跨度、承受同样大小的荷载时，混凝土结构的截面尺寸比钢结构的大很多，因而其自重远远超过钢结构，这不利于提高跨度，不利于抗震。

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度很低，因此，普通钢筋混凝土结构通常带裂缝工作，它影响了结构的耐久性和美观。

(3) 施工复杂。钢筋混凝土结构施工的工序复杂,需要大量的模板和支撑,施工周期长,同时施工受季节的影响也较大。

1.3 砌体结构

1.3.1 砌体结构的概念

用砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构称为砌体结构,又称砖石结构。砌体结构的历史悠久,天然石材是最原始的建筑材料之一,古代大量的建筑物用砖、石建造,国外的如金字塔、罗马大斗兽场,国内的如河南登封嵩岳寺塔、西安的大雁塔。砌体的抗压强度较高而抗拉强度很低,因此,对砌体结构构件主要使其承受轴心或小偏心压力,而尽量避免受拉或受弯。一般民用和工业建筑的墙、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,常用砌体做围护结构,如框架结构的填充墙。烟囱、挡土墙、坝、桥等,也常采用砖、石或砌块砌体建造。

1.3.2 砌体结构的优缺点

砌体结构的主要优点有以下几个方面:

- (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,取材方便,价格低廉。
- (2) 耐火性和耐久性较好。砌体结构耐火性较好,同时砌体结构的耐久性比较好,维修费用少。
- (3) 隔热和保温性能较好。有利于环境保护,是较好的围护结构。
- (4) 施工简便。砌体砌筑时不需要模板和特殊的施工设备,施工简便。

砌体结构的主要缺点有以下几个方面:

- (1) 强度低,自重大。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,自重大,不利于抗震。
- (2) 施工劳动量大。砌体的施工基本上是手工方式砌筑,机械化程度低,劳动强度大,砌筑工作繁重。
- (3) 生产粘土砖占用农田。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,同时不利于环境保护和可持续发展。

1.4 课程特点与学习方法

1.4.1 本课程的特点

1. 材料的复杂性

混凝土和砌体材料受压性能和受拉性能有非常大的差异,在受力时塑性表现得很明显;

钢筋超过屈服点之后亦会表现出很明显的塑性，与材料力学中单一、均质、连续和理想弹性的材料不同。同时，钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成的复合材料，所以材料力学的公式一般不能在混凝土结构和砌体结构中应用。

2. 计算公式的经验性

由于混凝土和砌体材料的复杂性，无法直接应用材料力学的公式建立混凝土结构和砌体结构的强度计算和变形计算理论，为建立计算公式，须首先进行大量的试验，根据试验的现象、得出的结论并考虑已有的经验，通过概率分析而建立。因为计算公式与试验条件和试验结果有关，所以每一个计算公式都有严格的适用条件，超出适用范围使用公式将会导致严重的错误。

3. 规范的权威性和应用规范的主动性

与本课程相关的规范有《混凝土结构设计规范》、《砌体结构设计规范》和其他相关的规范。规范是国家制定的结构设计的技术规定和标准，进行结构设计应遵循规范的规定。规范是总结近年来全国高校、科研单位、设计单位的科研成果和工程经验，并借鉴国外规范而制定的，它反映的是当前对本学科的认识水平。随着科学技术的发展和工程经验的进一步积累，在将来对本学科的认识必然会进一步提高，从而使得规范需要不断修订。所以，在应用规范时，应避免机械地套用规范，最重要的是要深刻理解规范条文的实质，发挥设计者的主观能动性，这样才能正确地应用规范，做出合理的结构设计。

1.4.2 本课程的学习方法

混凝土结构和砌体结构课程主要讲述混凝土和砌体基本构件的受力性能、截面设计计算方法和构造要求等基本理论，同时讲授不同结构的分析方法。学习本课程时，建议注意下面两点问题。

1. 学习中突出重点

本课程的内容多、符号多、计算公式多、构造规定也多，学习时要遵循教学大纲的要求，贯彻“少而精”的原则，突出重点内容的学习，比如受弯构件的内容学透彻了，其他各章节的内容学习起来会容易一些。

2. 理论联系实际

除课堂学习以外，应重视实践性教学环节的学习。在建筑结构的实习中，应仔细观察建筑结构的材料种类、截面尺寸、配筋方式、构造措施、施工方法，对建筑结构的感性认识有利于对理论知识的学习。混凝土结构课程设计是一个综合性问题，设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、配筋计算等，同时还需要考虑安全适用和经济合理。设计可能有多种选择方案，设计结果应经过各种方案的比较，最终确定较为合适的一个。通过课程设计，学生可以加深对所学内容的理解，提高综合应用的能力。

思考题

- 1.1 什么是混凝土结构？
- 1.2 什么是砌体结构？
- 1.3 在素混凝土结构中配置适量的纵向受力钢筋以后，结构的性能将发生什么样的变化？
- 1.4 钢筋和混凝土能够共同工作的原因是什么？
- 1.5 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点？
- 1.6 砌体结构有哪些优点和缺点？
- 1.7 本课程有哪些特点？
- 1.8 学习本课程要注意哪些问题？

第2章 建筑结构设计的基本原则

进行建筑结构设计的目的：使所设计的结构在正常施工和正常使用的条件下，满足各项预定的功能要求，并取得最佳的经济效果。

2.1 结构设计的基本要求

2.1.1 结构的功能要求

建筑结构的**功能要求**主要包括以下3个方面。

1. 安全性

指结构能够承受正常施工和正常使用时可能出现的各种荷载和变形等作用，在偶然事件（如地震、强风）发生时及发生后结构仍能保持必需的整体稳定性，即结构仅产生局部损坏而不致发生连续倒塌。

2. 适用性

指结构在正常使用过程中满足预定的使用要求，应具有良好的工作性能（例如：不影响正常使用的过大变形、振幅及裂缝等）。

3. 耐久性

指结构在正常使用和正常维护条件下具有足够的耐久性，建筑结构能够正常使用到预定的设计使用年限。例如，不发生由于混凝土保护层碳化或裂缝宽度开展过大而导致的钢筋锈蚀，不发生混凝土的腐蚀、脱落及冻融破坏等而影响结构的使用年限。

结构的功能要求概括起来称为结构的可靠性，即在规定的时间内（设计使用年限），在规定的条件下（正常设计、正常施工、正常使用和维护），结构完成预定功能（安全性、适用性、耐久性）的能力。

建筑结构设计使用年限，是指按规定指标设计的建筑结构或构件，在正常施工、正常使用和维护下，不需要进行大修即可达到其预定功能要求的使用年限。对房屋建筑施工，我国《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）将建筑结构设计使用年限分为4个类别，见表2.1。一般建筑结构设计使用年限为50年。

表 2.1 结构设计使用年限分类

类 别	设计使用年限/a	示 例	类 别	设计使用年限/a	示 例
1	5	临时性结构	3	50	普通房屋和构筑物
2	25	易于替换的结构构件	4	100	纪念性建筑和特别重要性的建筑物

2.1.2 结构功能的极限状态

结构能够满足设计规定的某一功能要求而且能够良好地工作，我们称之为该功能处于“可靠”或“有效”状态；反之，则称之为该功能处于“不可靠”或“失效”状态。这种“可靠”与“有效”之间必然存在某一特定状态，是结构可靠与失效状态的分界状态，整个结构或结构的一部分超过某一部分特定状态时，就不能满足设计规定的某一功能要求，此特定状态称为该功能的极限状态。

结构功能的极限状态可分为两类：即承载力极限状态和正常使用极限状态。

1. 承载力极限状态

结构或结构构件达到最大承载能力，出现疲劳破坏或出现不适于继续承载的变形时的状态，称为承载力极限状态。超过这一极限状态，整个结构或结构构件便不能满足安全性的功能要求。

当结构或构件出现下列状态之一时，即认为结构超过了承载力极限状态：

- (1) 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如烟囱倾覆、挡土墙滑移等）。
- (2) 结构构件或构件间的连接因超过相应材料的强度而被破坏（如轴心受压柱中混凝土压碎而被破坏）。
- (3) 结构因疲劳而破坏（如吊车梁产生疲劳破坏）。
- (4) 结构产生过大的塑性变形而不适于继续承载（如梁裂缝过大，钢筋易锈蚀，结构安全受到影响）。
- (5) 结构转变为机动体系（由几何不变体系变为可变体系）。
- (6) 结构或构件丧失稳定（如柱子受压发生失稳破坏）。

承载力极限状态主要控制结构的安全性，一旦超过这种极限状态，结构整体破坏，会造成人身伤亡和重大经济损失，因此，设计时要严格控制这种状态出现的概率，所有的结构构件均应进行承载力极限状态的计算。在必要时应进行构件的疲劳强度或结构的倾覆和滑移的验算。对处于地震区的结构，应进行构件抗震承载力的计算，以保证结构构件具有足够的安全性。

2. 正常使用极限状态

结构或构件达到正常使用或耐久性能中某项规定限值的状态，称为正常使用极限状态。超过这一极限状态，结构或构件便不能满足适用性或耐久性的功能要求。

当结构或构件出现下列状态之一时，即可认为结构超过了正常使用极限状态：

- (1) 影响正常使用或外观的变形（如梁的挠度过大）。
- (2) 影响正常使用或耐久性能的局部破坏（包括裂缝）。
- (3) 影响正常使用的振动（如吊车梁的振动）。
- (4) 影响正常使用的其他特定状态（如水池渗漏等）。

正常使用极限状态主要考虑结构的适用性和耐久性，超过正常使用极限状态的后果一般不如超过承载力极限状态严重，但也不可忽略。在正常使用极限状态设计时，其可靠度水平允许比承载力极限状态的可靠度水平适当降低。

在进行建筑结构设计时，一般是将承载力极限状态放在首位，在使结构或构件满足承载力极限状态要求（通常是强度满足安全要求）后，再按正常使用极限状态进行验算（校核）。

对一切结构构件都应进行承载能力（包括失稳）极限状态的计算，必要时还应进行抗滑移、抗倾覆、抗浮验算以及抗震验算。正常使用极限状态验算通常是按使用要求进行，如：对要求控制变形（挠度）的，则应进行变形（挠度）的验算；对要求在使用中不出现裂缝的构件，就要进行抗裂验算；对在使用中允许带裂缝工作的构件，进行裂缝宽度的验算。

2.1.3 建筑结构的安全等级

在进行建筑结构设计时，应根据结构破坏可能产生的后果严重与否，即危及人的生命、造成经济损失和生产社会影响等的严重程度，采用不同的安全等级进行设计。我国《建筑结构可靠度设计统一标准》将建筑结构划分为 3 个安全等级，设计时应根据具体情况，按照表 2.2 的规定选用适当的安全等级。

表 2.2 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	重要的房屋
二级	严重	一般的房屋
三级	不严重	次要的房屋

建筑物中各类结构构件使用阶段的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同。但允许对其中部分结构构件，根据其重要程度和综合经济效益进行适当调整。如果提高某一结构构件的安全等级所增加费用很少，又能减轻整个结构的破坏程度，则可将该结构构件的安全等级提高一级；相反，某一结构构件的破坏不会影响结构或其他构件，则可将其安全等级降低一级，但不得低于三级。

2.2 结构上的荷载与荷载效应

2.2.1 结构上的作用

作用与荷载的定义：所谓结构上的“作用”是指直接施加在结构上的力及引起结构变形的原因（如基础沉降、温度变形、收缩、地震等）。前者称为直接作用，也常简称为荷载，后者则称为间接作用。但因工程习惯和叙述简便起见，在本书中将不予区分。

结构上的作用就其出现的方式不同，可分为直接作用和间接作用两类。

1. 直接作用

直接以力的不同集结形式（集中力或均匀分布力）施加在结构上的作用，称为直接作用，通常也称为结构的荷载。例如结构的自重、楼面上的人群及物品重、风压力、雪压力、积水重、积灰重、土压力等。

2. 间接作用

能够引起结构外加变形、约束变形或振动的各种原因，称为间接作用。间接作用不是直

接以力的某种集结形式施加在结构上，例如地震作用、地基的不均匀沉降、材料的收缩和膨胀变形、混凝土的徐变、温度变化等。

2.2.2 荷载的分类

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)将结构上的荷载分类如下。

(1) 按随时间的变异分为：永久荷载、可变荷载和偶然荷载。

① 永久荷载。指在结构设计使用期间，其量值不随时间变化，或其变化幅度与平均值相比可以忽略不计的荷载。例如结构自重、土压力、预应力等荷载。永久荷载又称为恒荷载。

② 可变荷载。指在结构设计使用期间，其作用值随时间而变化，且其变化幅度与平均值相比不可以忽略不计的荷载。例如楼面活荷载、屋面活荷载、积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。可变荷载又称为活荷载。

③ 偶然荷载。指在结构设计使用期间可能出现，但不一定出现，而一旦出现，其持续时间很短但量值很大的荷载。例如地震力、爆炸力、撞击力等。

(2) 按随空间位置的变异分为：固定荷载和自由荷载。

① 固定荷载。指在结构空间位置上具有固定分布的荷载，如结构构件的自重、固定设备重等。

② 自由荷载。指在结构空间位置上的一定范围内可以任意分布的荷载，如起重机荷载、人群荷载等。

(3) 按结构的反应特点分为：静态荷载和动态荷载。

① 静态荷载。指不使结构产生加速度，或所产生的加速度可以忽略不计的荷载，如住宅与办公楼的楼面活荷载等。

② 动态荷载。指使结构产生不可忽略的加速度的荷载，如地震荷载、起重机荷载、机械设备荷载、作用在高耸结构上的风荷载、雪荷载等。

2.2.3 荷载的代表值

由于各种荷载都具有一定的变异性，在建筑结构设计时，应根据各种极限状态的设计要求取用不同的荷载量值，即所谓的荷载代表值。永久荷载的代表值采用标准值，可变荷载的代表值有标准值、组合值、频遇值和准永久值，其中荷载标准值为基本代表值。对偶然荷载应按建筑结构使用的特点确定其代表值。

1. 荷载标准值

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方法有具体规定。常用材料和构件的自重可参照《荷载规范》附录 A 采用。表 2.3 列出了部分常用材料和构件的自重，供学习时查用。

(1) 设计时可计算求得永久荷载标准值。例如，某矩形截面钢筋混凝土梁，计算跨度为 $l_0 = 4.5 \text{ m}$ ，截面尺寸 $b \times h = 200 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ ，钢筋混凝土的自重根据表 2.3 取 2.5 kN/m^3 ，则该梁沿跨度方向均匀分布的自重标准值为： $g_k = 0.2 \times 0.5 \times 25 = 2.5 \text{ kN/m}^3$ 。