



书名：建筑结构

ISBN：978-7-307-16394-2

作者：韩应军 杨文选

出版社：武汉大学出版社

定价：69.80元

前 言

《建筑结构》课程是高等教育土木建筑工程类各专业本科生、专科生的主要专业课程,本书依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 5003—2011)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等最新规范编写。本教材根据建设行业对技术技能型人才的需求,结合高等教育教学的特点,紧紧围绕技术技能型人才的培养目标,突出实用性,强化学生能力的训练和培养,同时也兼顾可持续发展能力的培养。通过学习,学生应能正确识读结构施工图,并能分析、解决工程实际中的一些问题,为此本书附有一定量的知识与技能训练题目,并配有课程设计实训,附有完整的实例。

本书内容共分四篇:第一篇混凝土结构(模块1至模块9);第二篇砌体结构(模块10至模块13);第三篇建筑结构抗震(模块14);第四篇钢结构(模块15至模块18)。

第一篇混凝土结构,包括建筑结构设计方法,混凝土结构材料及其性能,钢筋混凝土受弯构件计算与构造,钢筋混凝土受压构件计算与构造,钢筋混凝土受拉构件计算与构造,钢筋混凝土受扭构件计算与构造,预应力混凝土构件,钢筋混凝土梁板结构,多层及高层房屋结构;第二篇砌体结构,包括砌体材料及砌体的力学性能,砌体结构构件承载力计算,混合结构房屋的墙、柱设计,过梁、挑梁、墙梁;第三篇建筑结构抗震;第四篇钢结构,包括建筑钢结构材料,钢结构的连接,钢结构基本构件,轻型钢结构。

由于编者水平有限,书中不妥之处恳请读者批评指正。

作 者

模块 0

绪论

- ◎ 0.1 建筑结构的概念及组成 1
- ◎ 0.2 建筑结构的分类、特点及应用 1
- ◎ 0.3 建筑结构的发展概况 4
- ◎ 0.4 本课程的内容及要求 6
- ◎ 基础知识与技能训练 7

第一篇 混凝土结构

模块 1

建筑结构设计方法

- ◎ 1.1 结构上的作用、作用效应与结构抗力 11
- ◎ 1.2 结构的功能要求及其极限状态 15
- ◎ 1.3 实用设计表达式 19
- ◎ 基础知识与技能训练 21

模块 2

混凝土结构材料及其力学性能

- ◎ 2.1 钢筋 24
- ◎ 2.2 混凝土 29
- ◎ 2.3 混凝土结构的耐久性 33
- ◎ 2.4 钢筋与混凝土之间的粘结 35
- ◎ 基础知识与技能训练 39

模块 3

钢筋混凝土受弯构件计算与构造

- ◎ 3.1 受弯构件的设计内容和一般构造 41
- ◎ 3.2 单筋矩形截面受弯构件的正截面承载力计算 47
- ◎ 3.3 双筋矩形截面受弯构件的正截面承载力计算 57
- ◎ 3.4 单筋 T 形截面受弯构件正截面承载力计算 62
- ◎ 3.5 受弯构件斜截面承载力计算 69

◎ 3.6 保证受弯构件承载力的构造措施	77
◎ 3.7 受弯构件挠度和裂缝宽度验算	83
◎ 基础知识与技能训练	91

模块 4

钢筋混凝土受压构件计算与构造

◎ 4.1 构造要求	93
◎ 4.2 轴心受压构件	96
◎ 4.3 偏心受压构件	99
◎ 基础知识与技能训练	108

模块 5

钢筋混凝土受拉构件计算与构造

◎ 5.1 轴心受拉构件	109
◎ 5.2 偏心受拉构件	110
◎ 基础知识与技能训练	112

模块 6

钢筋混凝土受扭构件计算与构造

◎ 6.1 纯扭构件破坏形态	113
◎ 6.2 弯剪扭承载力计算	116
◎ 基础知识与技能训练	121

模块 7

预应力混凝土构件

◎ 7.1 预应力混凝土的基本概念	123
◎ 7.2 预加应力的方法	125
◎ 7.3 预应力混凝土材料	127
◎ 7.4 张拉控制应力和预应力损失	128
◎ 7.5 预应力混凝土构件的构造	133
◎ 基础知识与技能训练	135

模块 8

梁板结构

◎ 8.1 概述	136
◎ 8.2 整体式单向板肋形楼盖	138
◎ 8.3 双向板肋形楼盖	163
◎ 8.4 楼梯	170
◎ 基础知识与技能训练	178

模块 9

多层及高层房屋结构

◎ 9.1 多层及高层房屋结构类型	182
◎ 9.2 框架结构	185
◎ 9.3 剪力墙结构	196
◎ 9.4 框架—剪力墙结构	199
◎ 基础知识与技能训练	201

第二篇 砌体结构

模块 10

砌体材料及其力学性能

- ◎ 10.1 砌体材料 208
- ◎ 10.2 砌体的力学性能 212
- ◎ 基础知识与技能训练 218

模块 11

砌体结构构件的承载力计算

- ◎ 11.1 砌体受压计算 219
- ◎ 11.2 砌体局部受压计算 222
- ◎ 基础知识与技能训练 230

模块 12

混合结构房屋墙体设计

- ◎ 12.1 房屋的结构布置方案 231
- ◎ 12.2 房屋的静力计算方案 235
- ◎ 12.3 墙、柱的计算高度及构造要求 237
- ◎ 12.4 多层刚性方案房屋墙体计算 247
- ◎ 基础知识与技能训练 254

模块 13

过梁、墙梁和挑梁

- ◎ 13.1 过梁 258
- ◎ 13.2 墙梁 260
- ◎ 13.3 挑梁 265
- ◎ 基础知识与技能训练 266

第三篇 建筑结构抗震

模块 14

建筑结构抗震基本知识

- ◎ 14.1 地震知识和抗震设计原则 271
- ◎ 14.2 多层砌体房屋抗震构造措施 282
- ◎ 14.3 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震构造措施 290
- ◎ 基础知识与技能训练 303

第四篇 钢结构

模块 15

建筑钢结构材料

- ◎ 15.1 概论 307
- ◎ 15.2 建筑钢结构对材料的要求 310
- ◎ 15.3 建筑钢材的种类、规格及其选用 312
- ◎ 基础知识与技能训练 315

模块 16

钢结构的连接

- ◎ 16.1 钢结构连接的类型和特点 316
- ◎ 16.2 焊缝连接 317
- ◎ 16.3 对接焊缝连接计算 322
- ◎ 16.4 角焊缝连接计算 324
- ◎ 16.5 普通螺栓和高强度螺栓连接 329
- ◎ 基础知识与技能训练 335

模块 17

钢结构基本构件

- ◎ 17.1 轴心受力构件 337
- ◎ 17.2 受弯构件 344
- ◎ 17.3 拉弯和压弯构件 354
- ◎ 基础知识与技能训练 360

模块 18

轻型钢结构简介

- ◎ 18.1 轻型钢结构的概念和特点 365
- ◎ 18.2 轻型钢结构材料 366
- ◎ 18.3 轻型钢结构的应用 367

附录 I

等跨连续梁在常用荷载下的内力系数表	370
-------------------------	-----

附录 II

双向板弯矩、挠度计算系数表	373
---------------------	-----

附录 III

常用钢型钢表	378
--------------	-----

参考文献

.....	390
-------	-----

绪 论



0.1 建筑结构的概念及组成

所谓建筑就是供人们生产、生活和从事其他活动的房屋及其附属构筑物。建筑的形成离不开梁、板、柱、墙、基础等构件，这些构件相互连接、相互支承形成建筑的骨架，从而保证了建筑物的安全和正常使用。我们把能够承受和传递各种“作用”的建筑骨架称为建筑结构。这里的“作用”，是指能使结构或构件产生效应（内力、变形、裂缝等）的各种原因的总称。作用可以分为直接作用和间接作用。直接作用即人们常说的荷载，是指施加在结构上的集中力或分布力系，如结构自重、人群荷载、风荷载等。间接作用是指引起结构外部变形或约束变形的原因，如地震、基础沉降、温度变化、混凝土的收缩、焊接等。

由建筑结构的概念可知，建筑结构是由一系列水平构件（如梁、板、网架等）、竖向构件（如柱、墙等）和基础组成的，我们根据受力特点的不同，把这些构件分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等基本构件，以方便结构的设计和应用。



0.2 建筑结构的分类、特点及应用

0.2.1 按所用材料不同分类

1. 混凝土结构

以混凝土为主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、预应力混凝土结构。

(1) 素混凝土结构

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。混凝土的抗压强度高，但抗拉强度很低，不宜用来受拉或受弯，从而使素混凝土结构的应用受到限制，目前主要用做基础垫层或室内外地坪等。

(2) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是指配置受力钢筋的混凝土结构。钢筋混凝土结构将钢筋和混凝土两种材料结合在一起，可以充分发挥各自的优势（即发挥混凝土抗压强度高和钢筋抗拉强度高的优点），提高材料的利用率和承载能力。

试验表明，钢筋和混凝土这两种性质不同的材料能有效地结合在一起共同工作，其原因主要是：首先，混凝土和钢筋之间具有良好的粘结力，使两者能可靠地结合成一个整体，在荷载作用下能共同变形；其次，钢筋与混凝土具有相近的温度线膨胀系数（钢筋为 1.2×10^{-5} ；混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ ），当温度变化时，两种材料之间不会因为相对变形过大而破坏粘结力；其三，钢筋被混凝土包裹，有效避免了钢筋的锈蚀，提高了耐火和

耐久性能。

钢筋混凝土结构具有其他结构无法比拟的特点。其主要优点为强度高、整体性好、耐火性好、耐久性与抗震性好，并具有良好的可塑性等。但其缺点是材料自重大，抗裂性能差，隔声、隔音性能较差，施工时费工费料。随着钢筋混凝土应用技术的不断进步，这些缺点正在不断地加以克服，如采用轻质高强混凝土以减轻自重；采用高性能混凝土以提高混凝土的力学性能和耐久性等。

目前钢筋混凝土结构广泛应用于工业与民用建筑的方方面面。

(3) 预应力混凝土结构

预应力混凝土结构是指在承担使用荷载之前通过张拉钢筋的方法在混凝土的受拉区，预先建立一个压应力的混凝土结构。

这种结构由于预先人为施加预压应力，抵消或减少了外荷载产生的拉应力，达到了延迟开裂或不开裂或减小裂缝宽度的目的，从而有效克服了钢筋混凝土结构抗拉性能差的缺点，并且能够提高构件的刚度，减轻自重、节约钢筋，使其应用范围进一步扩大，但这种结构构造、设计和施工复杂，且延性差。

预应力混凝土结构应用非常广泛，特别是在大跨度结构、承受动力荷载的结构以及不允许开裂的结构中广泛应用。

2. 砌体结构

砌体结构是指普通砖、毛石、料石、各类砌块等块体利用砂浆砌筑而成的结构。砌体结构历史悠久，其主要优点是易于就地取材、成本低廉、耐久性较好，但由于砌筑劳动强度较大，结构自重大，构件强度不高，故其适用范围受到一定的限制。实际工程中，砌体结构主要用于以受压为主的竖向承重构件，少量用于工业建筑中。

3. 钢结构

钢结构是指用钢材通过焊接、螺栓、铆钉等连接制成的结构。钢结构是继钢筋混凝土结构之后具有广阔发展前景的建筑材料。钢结构具有强度高、延性好、重量轻、抗震性能好、可靠性高、易于施工等优点。特别适合于大跨度结构、吊车吨位很大的重工业厂房、高耸结构等。但是，钢材具有耐腐蚀和耐火性差、成本较高等缺点，则限制其大面积使用。

4. 木结构

木结构是指以木材为主的结构。对环境污染小，易于就地取材，材质轻、强度较高，可再生、可回收，但由于木材资源短缺，加之易燃、易腐蚀、变形大等缺点，现在很少作为建筑结构材料使用。

0.2.2 按结构受力特点分类

1. 混合结构

混合结构是竖向承重结构采用砌体材料，而楼（屋）盖用钢筋混凝土等材料组成的结构（图 0-1、图 0-2）。混合结构房屋施工方便，造价较低，但由于砌体材料强度较低，且整体性较差，所以，混合结构的房屋一般用于层数不多的民用建筑中，如住宅、宿舍，一般的教学楼、办公楼、旅馆等建筑中。



图 0-1 混合结构 1

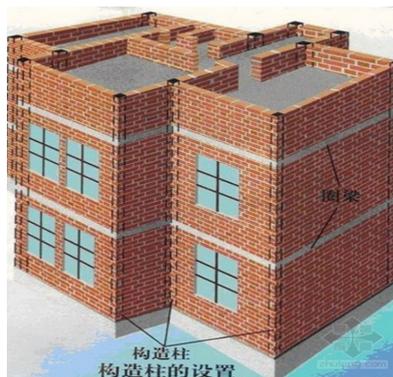


图 0-2 混合结构 2

2. 框架结构

框架结构是由梁、柱组成的承重骨架，梁柱连接方式一般为刚接，局部也可能采用铰接（图 0-3）。框架结构是目前建筑中使用较广泛的结构形式之一，多为混凝土结构，也有钢结构和木结构。其优点是房屋的平面、空间分隔灵活，承受竖向荷载的能力较强，其缺点是抵抗侧移的能力较弱。一般多层工业与民用建筑大多采用框架结构。



图 0-3 框架结构

3. 剪力墙结构

剪力墙结构是由整片的钢筋混凝土墙体和钢筋混凝土楼（屋）盖组成（图 0-4、图 0-5）。剪力墙结构整体刚度大，抗侧移能力强，其缺点是建筑空间划分受到限制，且造价相对偏高，一般适用于有较多横墙的建筑，如高层住宅、宾馆及酒（饭）店等建筑。



图 0-4 剪力墙结构 1



图 0-5 剪力墙结构 2

4. 框架—剪力墙结构

在框架结构内纵横方向适当布置厚度大于 140 mm 的钢筋混凝土墙体的结构体系（图 0-6）。其中，剪力墙主要承担水平荷载，框架主要承担竖向荷载，抗侧移能力比框架结构有所提高，适合于高度在 15~30 层的建筑中使用。



图 0-6 框架—剪力墙结构

5. 筒体结构

筒体结构是由钢筋混凝土墙或密集柱围成的一个抗侧移刚度很大的结构，犹如一个嵌固在基础上的竖向悬臂构件（图 0-7）。筒体结构能抵抗更大的侧向力，适合于高层或超高层建筑。

6. 大跨度结构

大跨度结构是指用网架、悬索结构或混凝土薄壳、膜结构作为屋盖，支承在四周的柱和墙体上而形成的结构（图 0-8），适用于体育馆、航空港和火车站等公共建筑。

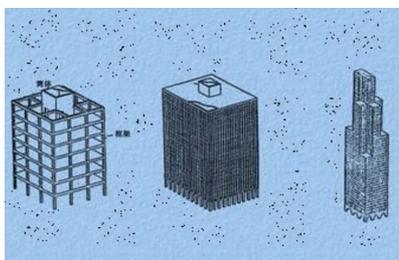


图 0-7 筒体结构



图 0-8 大跨度钢结构

随着我国国民经济的飞速发展，综合国力的增强以及建筑科技的进步，房屋建筑中体现“以人为本”的思想被广泛的接受，人们对建筑物提出的多样性要求，使得建筑结构的形势也日益多样化。



0.3 建筑结构的概况

建筑结构有着悠久的历史，其中砌体结构和木结构出现最早，约在 8000 年前，人类开始用晒干的砖坯、木材建造房屋，3000 多年前的西周时期已开始生产和使用烧砖，秦、汉时期砖瓦已广泛用于房屋结构。钢结构的出现也有约 2000 年的历史，公元 50—70 年建造的兰津铁悬索桥是世界上最古老的铁索桥。19 世纪末 20 世纪初，钢结构开始大量用于

房屋建筑。混凝土结构是在 19 世纪后期，随着水泥和钢铁工业的发展而发展起来的。

在建筑结构材料方面，古代建筑结构主要以木结构、砖石结构为主，而近代建筑结构则以钢筋混凝土结构为主。早期建筑材料强度低，导致建筑物自重重大，影响建筑物功能的充分发挥。近年来，新型结构材料不断涌现。在混凝土材料方面，我国已制成 C100 的混凝土，在工程中使用的混凝土强度已达到 $20\sim 80\text{ N/mm}^2$ ，国外常用的强度等级在 60 N/mm^2 以上，未来混凝土的强度将更高。随着高性能混凝土和混合材料的研制使用，纤维混凝土和聚合物混凝土的研究和应用有了很大发展，混凝土在向轻质高强方向发展的同时，一些满足特殊需要的混凝土（如防辐射、耐磨、耐腐蚀、保温等）以及智能型混凝土也在研制中；在钢材方面，随着钢材加工冶炼技术的进步，建筑用钢材的强度和性能进一步提高，常用的热轧钢筋的屈服强度已达到 500 N/mm^2 ，有的可达 $600\sim 900\text{ N/mm}^2$ 。用于预应力混凝土结构的钢丝的强度已达到 1920 N/mm^2 。在块材方面，由原来的秦砖汉瓦发展到空心粘土砖和混凝土砌块。钢结构材料将向高效能方向发展。

在结构方面，近 20 年来，钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层结构中的应用取得了令人瞩目的发展，尤其是预应力混凝土，现已有先张法、后张法、无粘结预应力等技术，正广泛应用于高层建筑、桥隧建筑、海洋结构、压力容器、飞机跑道及公路路面等方面。在砌体结构方面，随着国家经济与科学技术的不断发展与进步，特别适用砌体与混凝土结构相结合而建造的砌体结构房屋（混合结构房屋）广泛地应用于各种中、小型民用建筑与工业建筑，例如住宅、办公楼、商店、学校、食堂、仓库、工业车间等，使砌体结构的潜力得到了较大的发挥。据相关资料统计，在全国的住宅建设中，采用砌体与混凝土结构相结合而建造的砌体结构房屋占 90% 以上。近几年采用混凝土砌块砌体的房屋有了较大发展，在上海建成了 18 层的配筋砌块高层住宅试点工程。在科技进步的推动下，出现了高强度砖、砌块、高新性能材料、配筋砌体、配筋砌块建筑及预制墙板等多种砌体结构房屋。在钢结构方面，由于环境问题的日益严峻，竞争的日益加剧，促使国家采取了一系列具体措施，明确提出要积极合理地扩大钢结构在建筑中的应用。近年来，高层、超高层建筑，轻钢结构、大跨度结构的钢结构建筑得到了较大发展。

在建筑结构计算理论方面，目前，在建筑结构中采用以概率论为基础的极限状态设计法，使结构计算理论日趋完善。随着计算机技术的不断进步，有限元方法的广泛应用，材料力学性能研究的不断深入，建筑结构的计算理论和设计方法将会向全概率极限状态设计法发展。

建筑结构的施工工艺近年来也有了很大的发展，工业厂房及多层住宅正在向工业化方向发展，建筑构件的定型化、标准化大大加快了建筑结构工业化进程。如我国已经较多采用的装配式大板建筑在北京、南宁、广州等地大量应用，提高了施工进度及施工机械化程度。在高层建筑中，施工方法也有了很大的改进，大模板、滑模等施工方法已得到大量的推广与应用，如深圳 53 层国贸大厦采用滑升模板建筑，又如广东国际大厦 63 层，采用筒中筒结构和无粘结部分预应力混凝土平板楼盖，减少了自重，节约了材料，加快了施工进度。

综上所述，建筑结构是一门综合性较强的应用科学，其发展涉及数学、力学、材料及施工技术科学。随着我国生产力水平的提高及结构材料研究的发展，计算理论的进一步完善以及施工技术、施工工艺的不断改进，建筑结构科学将会发展到更高的阶段。



0.4 本课程的内容及要求

本课程由混凝土结构、砌体结构、建筑结构抗震、钢结构四部分内容组成，是一门综合性很强的应用科学，需要结合数学、力学、材料及施工实践等知识，系统地学习和领会其基本知识、设计理论构成，同时需要有配套实验，并注意以下问题：

(1) 要注意与力学课程的区别与联系。首先，材料力学的研究对象是匀质、弹性材料，而建筑结构中所用的材料（除钢材外），大部分是属于非匀质、各向异性材料，如钢筋混凝土、砌体是非匀质、非弹性材料。但它们都是通过几何、物理和平衡关系来建立基本方程的，只不过在研究每一种关系的具体内容上要充分考虑建筑结构材料的性能特点。其次，建筑结构的内力分析和变形计算是在结构力学的基础上考虑结构自身特点建立起的一套内力分析和变形计算方法。

(2) 要理论联系实际。一方面建筑结构构件的计算方法，绝大部分是建立在实验的基础上，公式复杂，符号多，不容易掌握，因此除了课堂学习以外，还要加强实验环节的理解和掌握；另一方面本课程的实用性很强，绝大部分内容必须进行现场学习和参观才能深刻的理解和掌握，要通过练习、实习和试验、课程设计等加深课本知识的理解和掌握，留心观察现有建筑物的结构布置方法，了解其受力特点及构造细节，积累感性认识，同时反过来又帮助我们分析和解决工程实际中的结构和施工问题。

(3) 要重视各种构造措施。所谓构造，是指无法计算确定，但通过实验和工程实践证明不可缺少的那一部分，是对结构计算必不可少的补充。在对结构和构件设计计算时，计算与构造要求同样重要，因此，要充分重视对构造要求的学习，并注意弄清其中的道理。

(4) 要注意培养综合分析问题的能力。本课程不仅要解决构件的强度、变形问题，还要解决结构设计问题，如结构方案、构件选型、材料选择及构造要求等。结构设计是一个综合性的问题，需要考虑多方面的因素。因此，实际中往往需要通过试算、调整，同时进行适用性、材料、造价、施工的可行性等各项指标的综合分析比较，才能做出合理的选择。

(5) 要注意加强识图能力的培养。识读结构施工图是本课程的最重要目标。一是要掌握基本的结构概念，二是要理解和熟悉有关构造要求，这是识图的基础。

(6) 要重视学习工程建设标准。本课程与《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)配套使用，应学会使用这些规范。学习本课程时，对上述规范的运用是一个非常重要的问题。规范是对多年来建筑结构方面的科学技术水平、理论计算方法和工程实践经验的总结，以及对国际上有关标准的先进成果的吸收。因此在学习时，要力求熟悉规范，在设计中灵活应用规范，在实践中进一步验证规范。只有对规范条文的概念和实质有正确的理解，才能确切地应用其内容，充分发挥设计者的主动性和创造性。

基础知识与技能训练**一、填空题**

1. 建筑结构是指_____。
2. 房屋建筑结构一般由下列构件组成：_____、_____、_____、_____、_____等。
3. 建筑结构的作用分为_____和_____。
4. 组成建筑结构的构件按受力特点不同可以分为_____、_____、_____和_____等构件。
5. 混凝土结构是_____、_____和_____的统称。

二、简答题

1. 如何对建筑结构进行分类？其各自的适用范围是什么？
2. 钢筋和混凝土共同工作的原理是什么？
3. 建筑结构的发展方向是什么？
4. 建筑结构课程的特点是什么？

三、技能训练

观察各种类型房屋，判断各类房屋属于什么类型的结构。

第一篇

混凝土结构



建筑结构设计方法



学习描述

知识要点与技能目标	
知识要点	技能目标
熟悉作用效应与结构抗力的概念，明确结构的功能要求及结构功能的极限状态概念、分类及设计方法，掌握荷载与材料强度的取值，熟练运用两种极限状态下的实用设计表达式进行荷载效应的计算。	能对工程结构上的荷载进行分析，并运用实用表达式计算荷载效应。



1.1 结构上的作用、作用效应与结构抗力

结构设计的根本目的是为了保证所建成的结构在各种作用影响下能够安全使用到规定的年限。因此，必须要首先了解结构上的作用、作用效应及结构抗力等概念。

1.1.1 结构上的作用

使结构产生内力和变形的各种原因称为作用，作用分为直接作用和间接作用，直接作用习惯上称为荷载，本书主要讨论荷载。

1. 结构上的荷载分类

结构上的荷载按时间的变异性可以分为：

(1) 永久荷载。在结构使用期间其量值不随时间变化，或其变化与平均值相比较可以忽略不计的荷载，如结构自重、土压力、预应力等，永久荷载又称为恒荷载。

(2) 可变荷载。在结构使用期间其量值随时间变化，且其变化与平均值相比较不可忽略不计的荷载，如安装荷载、楼面活荷载、风荷载、雪荷载、吊车荷载等，可变荷载又称为活荷载。

(3) 偶然荷载。在结构使用期间不一定出现，而一旦出现其量值很大且持续时间很短的荷载，如地震、爆炸、撞击等。

结构上的荷载是不确定的随机变量，住宅、办公楼等楼面活荷载以及风荷载、雪荷载等都随时间变化。一般情况下，荷载是用“随机变量”来描述的。

2. 荷载代表值

在结构设计时，针对荷载的不确定性以及不同的设计要求，荷载要取用一个确定的量值才能进行设计，这个量值称为荷载的代表值。对于永久荷载以标准值作为代表值，对于可变荷载应根据不同的设计要求，分别取用标准值、组合值、准永久值、频遇值作为代表

值，其中，标准值是可变荷载的基本代表值。

(1) 永久荷载标准值。《荷载规范》中所规定的荷载标准值是指建筑结构在设计基准期内可能出现的最大值，通常要求荷载标准值应具有 95% 的保证率。对于结构的自重，其值变化不大，一般以自重的平均值作为标准值，即按构件的设计尺寸计算的体积乘以该材料的重度。对于自重变异大的材料，如松散的保温材料，在设计中应根据其对结构有利或不利，分别取自重的下限值或上限值。常用材料的自重可查用《荷载规范》，现将部分摘录如下，如表 1-1 所示。

表 1-1 常用材料自重

名称	自重/(kN/m ³)	备注
钢	78.5	
石灰砂浆、混合砂浆	17	
水泥砂浆	20	
膨胀珍珠岩砂浆	7~15	
普通玻璃	25.6	
水泥珍珠岩制品	3.524	强度 1 N/mm ² , 导热系数 0.0582~0.081(W/(m·k))
膨胀珍珠岩粉料	0.8~2.5	干, 松散, 导热系数 0.052~0.076
钢筋混凝土	24~25	
浆砌机制砖	19	
贴瓷砖墙面	0.5	包括水泥砂浆打底, 共厚 25 mm
水泥粉刷墙面	0.36	20 mm 厚, 水泥粗砂
木框玻璃窗	0.2~0.3	
木门	0.1~0.2	
油毡防水层	0.05	一层油毡刷两遍
水磨石地面	0.65	10 mm 面层; 20 mm 水泥砂浆打底
小瓷砖地面	0.55	包括水泥粗砂打底

(2) 可变荷载标准值。常见的可变荷载有楼面可变荷载、屋面可变荷载、风荷载、雪荷载、施工检修荷载、栏杆水平荷载以及工业厂房中的积灰荷载、吊车荷载等。《荷载规范》中已直接给出这些荷载的取值，设计时可查用，现摘录部分荷载取值，如表 1-2、表 1-3 所示。注意，屋面均布活荷载不应与雪荷载同时组合。

表 1-2 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类别	标准值 / (kN/m ²)	组合值系数	频遇值系数	准永久值系数
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2) 试验室、阅览室、会议室、医院门诊室	2.0	0.7	0.6	0.5
2	教室、食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1) 礼堂、剧场、影院、有固定座位的看台	3.0	0.7	0.5	0.3
	(2) 公共洗衣房	3.0	0.7	0.6	0.5

续表

项次	类别		标准值 /(kN/m ²)	组合值 系数	频遇值 系数	准永久 值系数	
4	(1)商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及旅客候车室		3.5	0.7	0.6	0.5	
	(2)无固定座位的看台		3.5	0.7	0.5	0.3	
5	(1)健身房、演出舞台		4.0	0.7	0.6	0.5	
	(2)运动场、舞厅		4.0	0.7	0.6	0.3	
6	(1)书库、档案库、储藏室		5.0	0.9	0.9	0.8	
	(2)密集柜书库		12	0.9	0.9	0.8	
7	通风机房、电梯机房		7.0	0.9	0.9	0.8	
8	汽车通道 及客车停 车库	(1)单向板楼盖(板跨不小于2 m) 和双向板楼盖(板跨不小于3 m× 3 m)	客车	4.0	0.7	0.7	0.6
			消防车	35	0.7	0.5	0.0
		(2)双向板楼盖(板跨不小于6 m× 6 m)和无梁楼盖(柱网尺寸不小于 6 m×6 m)	客车	2.5	0.7	0.7	0.6
			消防车	20	0.7	0.5	0.0
9	厨房	(1)餐厅	4.0	0.7	0.7	0.7	
		(2)其他	2.0	0.7	0.6	0.5	
10	浴室、卫生间、盥洗室		2.5	0.7	0.6	0.5	
11	走廊 门厅	(1)宿舍、旅馆、医院病房、托儿所、幼儿园、住宅	2.0	0.7	0.5	0.4	
		(2)办公楼、餐厅、医院门诊部	2.5	0.7	0.6	0.5	
		(3)教学楼及其他可能出现人员密集的情况	3.5	0.7	0.5	0.3	
12	楼梯	(1)多层住宅	2.0	0.7	0.5	0.4	
		(2)其他	3.5	0.7	0.5	0.3	
13	阳台	(1)可能出现人员密集的情况	3.5	0.7	0.6	0.5	
		(2)其他	2.5	0.7	0.6	0.5	

注：1.本表所给各项活荷载适用于一般使用条件，当使用荷载较大、情况特殊或有专门要求时，应按实际情况采用；

2.第6项书库活荷载当书架高度大于2 m时，书库活荷载尚应按每米书架高度不小于2.5 kN/m²确定；

3.第8项中的客车活荷载只适用于停放载人少于9人的客车；消防车活荷载是适用于满载总重为300 kN的大型车辆；当不符合本表的要求时，应将车轮的局部荷载按结构效应的等效原则，换算为等效均布荷载；

4.第8项消防车活荷载，当双向板楼盖板跨介于3 m×3 m~6 m×6 m之间时，应按跨度线性插值确定；

5.第12项楼梯活荷载，对预制楼梯踏步平板，尚应按1.5 kN的集中荷载验算；

6.本表各项荷载不包括隔墙自重和二次装修荷载；对固定隔墙的自重应按恒荷载考虑，当隔墙位置可灵活自由布置时，非固定隔墙的自重应取不小于1/3的每延米长墙重(kN/m)作为楼面活荷载的附加值(kN/m²)计入，且附加值不应小于1.0 kN/m²。

表 1-3

屋面均布活荷载

项次	类别	标准值/ (kN/m ²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
1	不上人屋面	0.5	0.7	0.5	0.0
2	上人屋面	2.0	0.7	0.5	0.4
3	屋顶花园	3.0	0.7	0.6	0.5
4	屋顶运动场地	3.0	0.7	0.6	0.4

注: 1.不上人屋面,当施工或维修荷载较大时,应按实际情况采用,对不同类型的结构应按相关设计规范的规定采用,但不得低于 0.3 kN/m²;

2.当上人的屋面兼作其他用途时,应按相应楼面活荷载采用;

3.对于因屋面排水不畅、堵塞等引起的积水荷载,应采取构造措施加以防止,必要时,应按积水的可能深度确定屋面活荷载;

4.屋顶花园活荷载不包括花圃土石等材料自重。

还需要注意,在设计楼面梁、墙、柱及基础时,因楼面上的活荷载达到最大值的可能性极小,因此表 1-2 中的楼面活荷载标准值在下列情况下应乘以不小于下列规定的折减系数。

设计楼面梁时折减系数按下列规定取用:①第 1 (1)项当楼面梁从属面积超过 25 m²时,应取 0.9;②第 1 (2)~7 项当楼面梁从属面积超过 50 m²时,应取 0.9;③第 8 项对单向板楼盖的次梁和槽形板的纵肋应取 0.8;对单向板楼盖的主梁应取 0.6;对双向板楼盖的梁应取 0.8;④第 9~13 项应采用与所属房屋类别相同的折减系数。楼面梁的从属面积应按梁两侧各延伸二分之一梁间距的范围内的实际面积确定。

设计墙、柱、基础时折减系数按下列规定取用:①第 1 (1)项应按表 1-4 取用;②第 1 (2)~7 项应采用与其楼面梁相同的折减系数;③第 8 项的客车,对单向板楼盖应取 0.5,对双向板楼盖和无梁楼盖应取 0.8;④第 9~13 项应采用与所属房屋类别相同的折减系数。

表 1-4

活荷载按楼层的折减系数

墙、柱、基础计算截面以上的层数	1	2~3	4~5	6~8	9~20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1 (0.9)	0.85	0.7	0.65	0.6	0.55

注:当楼面梁的从属面积超过 25 m²时,应采用括号内的系数。

(3) 可变荷载准永久值。可变荷载的准永久值是考虑可变荷载长期效应组合时采用的荷载代表值。作用在结构上的可变荷载达到或超过某一荷载值的持续时间较长,与设计基准期 T 之比已达到某一定值(对楼面活荷载、雪荷载、风荷载达到 $T_q/T=0.5$)时,则称该荷载值为可变荷载的准永久值,可变荷载的准永久值等于准永久值系数 ψ_q 乘以可变荷载的标准值。 ψ_q 可查表 1-2、表 1-3。

(4) 可变荷载组合值。结构上同时作用多种可变荷载时,各种可变荷载(人群荷载、风荷载、雪荷载、吊车荷载、地震作用等)同时达到预计的最大值的概率是很小的,为使结构在两种或两种以上可变荷载作用时的情况与仅有一种可变荷载作用时具有大致相同的可靠指标,引入了荷载组合系数,对同时作用的多种可变荷载的标准值进行折减。可变荷载的组合值等于荷载组合系数 ψ_c 乘以可变荷载的标准值。 ψ_c 可查表 1-2、表 1-3。

(5) 可变荷载频遇值。可变荷载的频遇值是在设计基准期内, 其超越时间为较小比率或超越频率(或次数)为规定频率(或次数)的荷载值。可变荷载的频遇值主要用于当一个极限状态被超越时将产生局部损害、较大变形或短暂振动的情况。可变荷载的频遇值等于频遇值系数 ψ_f 乘以可变荷载的标准值。 ψ_f 可查表1-2、表1-3。

1.1.2 作用效应

作用使结构产生的内力和变形称为作用效应(如轴力、弯矩、剪力、扭矩、挠度、转角和裂缝等), 用 S 表示。其中由直接作用产生的效应通常称为荷载效应。本书只讨论荷载效应。

如跨度为 l 的跨中承受集中荷载 p 的简支梁, 其跨中弯矩 $M=1/4pl$, 支座剪力 $V=1/2p$, 其中, p 为结构上的荷载, M 、 V 为荷载效应。

由于荷载的不确定性以及计算简图与实际结构的差异, 导致荷载效应是一个不确定的随机变量。

1.1.3 结构抗力

结构或结构构件承受内力和变形的能力称为“结构抗力”, 用 R 表示, 结构抗力是结构或结构构件的材料性能、几何参数、计算模式的函数。

材料性能是指钢筋、混凝土等材料的强度性能和变形性能, 其中材料强度是影响结构抗力的主要因素; 几何参数是指结构构件的截面几何特征, 如长、宽、高、面积、形状等。

由于结构或结构构件的材料性能、几何参数、计算模式等具有不确定性, 结构抗力也是随机变量。

材料强度是一个随机变量, 因此结构设计时, 也要取用一个确定的量值作为代表值来进行设计, 该量值称为强度标准值。材料强度标准值是结构设计时所采用的材料强度的基本代表值, 通常可以取其概率分布的0.05分位数确定, 具有不小于95%的保证率。



1.2 结构的功能要求及其极限状态

1.2.1 设计使用年限

设计结构时, 要规定结构的使用期限, 即要保证结构不需大修就能按预定目的使用的年限, 称为设计使用年限。根据建筑结构的性质和用途, 将设计使用年限分为四类, 如表1-5所示。

《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153-2008)中规定, 房屋建筑结构的设计基准期为50年。所谓设计基准期是指结构设计时依据的基准期限。

1.2.2 结构的功能要求及其可靠性

要保证结构能够在设计使用年限内安全使用, 需要结构在各种作用下具备以下三项功能:

(1) 安全性。结构在正常设计、正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用而不发生破坏，以及在偶然事件发生时及发生后，仍能保持必要的整体稳定性。

表 1-5 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

(2) 适用性。结构在正常使用时具有良好的工作性能，如：不产生过大的变形、裂缝、振动等。

(3) 耐久性。结构在正常使用和维护下具有足够的耐久性能，即不致因混凝土的老化、钢筋锈蚀等影响使用年限。

结构的安全性、适用性、耐久性三项功能要求可以概括为结构的可靠性。

所谓可靠性是指结构在规定的时间内（设计使用年限）内，规定的条件（正常设计、正常施工、正常使用和维护）下，完成预定功能的能力。

结构在规定的时间内，规定的条件下，能够满足预定功能，称结构“可靠”或“有效”；反之，则称结构“不可靠”或“失效”。

注意，设计使用年限并不等同于结构的实际寿命，超过设计使用年限后，并不意味着结构就要报废，只是完成结构可靠性的能力逐渐下降。

1.2.3 结构的安全等级

建筑结构设计时，应根据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，采用不同的安全等级。《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153-2008）、《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068-2001）中规定，将建筑结构分为三个安全等级，如表 1-6 所示。

表 1-6 建筑结构的的安全等级

安全等级	破坏后果	示例
一级	很严重；对人的生命、经济、社会或环境影响很大	大型的公共建筑等
二级	严重；对人的生命、经济、社会或环境影响较大	一般的建筑物
三级	不严重；对人的生命、经济、社会或环境影响较小	次要的建筑物

注：1.建筑物中各类结构构件的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同。对其中部分结构构件的安全等级可以进行调整。对于结构中的重要构件和关键传力部位，宜适当提高安全等级。

2.房屋建筑结构抗震设计中的甲类建筑和乙类建筑，其安全等级宜规定为一级；丙类建筑，其安全等级宜规定为二级；丁类建筑，其安全等级宜规定为三级。

1.2.4 结构功能的极限状态

1. 极限状态的概念

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、耐久）的要求，此特定状态称为该功能的极限状态。极限状态是区分结构“可靠”、“有效”，或“不可靠”、“失效”的界限。

2. 极限状态分类

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)中依据结构的功能要求,将极限状态分为两类,均规定有明显的标志或限值。

(1) 承载能力极限状态

所谓承载能力极限状态是对应于结构或结构构件达到最大承载能力、出现疲劳破坏或不适于继续承载的变形,或结构的连续倒塌。承载能力极限状态是安全性功能的界限,一旦超过这一极限状态就可能造成结构的整体倒塌或严重损坏,结构的安全性就会丧失,因此,所有结构和构件都必须进行承载能力极限状态的设计。

当结构或结构构件出现下列状态之一时,即可认为达到了承载能力极限状态:

- 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);
- ⑤ 结构因局部破坏而发生连续倒塌;
- ⑥ 地基丧失承载力而破坏;
- ⑦ 结构或结构构件的疲劳破坏。

(2) 正常使用极限状态

所谓正常使用极限状态是对应于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。正常使用极限状态是适用性、耐久性功能的界限,超过这种极限状态,结构或构件会失去适用性或耐久性,但通常不会带来人身伤亡和重大经济损失,因此,在结构可靠性的保证程度上正常使用极限状态可以比承载能力极限状态稍低一些。

当结构或结构构件出现下列状态之一时,即可认为达到了正常使用极限状态:

- ① 影响正常使用的外观或变形;
- ② 影响正常使用或耐久性的局部损坏(包括裂缝);
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常的其他特定状态。

3. 结构的极限状态方程

结构和构件按极限状态进行设计,需要针对结构的功能要求,找出作用效应与结构抗力两大影响因素,据此来建立以下关系式

$$Z = R - S = g(R, S) \quad (1-1)$$

式(1-1)称为极限状态方程。

当 $Z > 0$ 时,结构处于可靠状态;

当 $Z < 0$ 时,结构处于失效状态;

当 $Z = 0$ 时,结构处于极限状态。

极限状态设计时,应符合下列要求

$$Z = R - S = g(R, S) \geq 0 \quad (1-2)$$

由于荷载效应和结构抗力的不确定性,因此极限状态的设计需要应用概率论的知识来解决,这就是概率极限状态设计法。

4. 结构的可靠度和可靠指标

结构的可靠度是指结构在规定的时间内,规定的条件下,完成预定功能的概率。

假设荷载效应 S 和结构抗力 R 均服从正态分布，其平均值分别为 μ_S 、 μ_R ，标准差分别为 σ_S 、 σ_R 。由概率论知识可以得到 $Z = R - S$ 也服从正态分布，如图 1-1 所示。

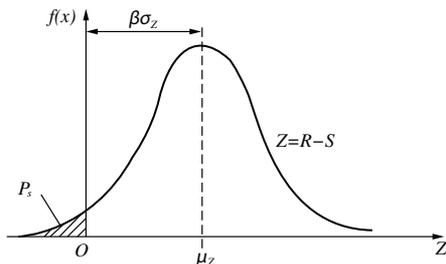


图 1-1 Z 的正态分布图

从图 1-1 中可以看出， $Z \geq 0$ 的概率表达了结构可靠的概率，称为结构可靠度，用 P_s 表示，即结构能够完成预定功能的概率； $Z < 0$ 的概率表达了结构不可靠的概率，称为失效概率，用 P_f 表示，即结构不能够完成预定功能的概率。

设 $\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$ ，则

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \quad (1-3)$$

可以看出， β 值越大，失效概率 P_f 越小，可靠度 P_s 越大； β 值越小，失效概率 P_f 越大，可靠度 P_s 越小； β 和 P_f (或 P_s) 存在一一对应的关系。因此我们把 β 称为结构的可靠指标。

5. 结构目标可靠指标

由于荷载效应和结构抗力的不确定性，要保证结构绝对安全可靠 (即 $Z = R - S > 0$ 永远成立) 是不现实的。只能做到在绝大多数情况下使 $Z \geq 0$ ，并使 $Z < 0$ 的概率 (失效概率 P_f) 小到人们可以接受的程度，便认为结构是可靠的。

我国《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 中规定了一般工业与民用建筑结构作为承载能力极限状态设计依据的可靠度指标，即目标可靠指标 $[\beta]$ 。

实际工程设计中要求结构的可靠指标 $\beta \geq [\beta]$ 。 $[\beta]$ 的取值如表 1-7 所示。

表 1-7 结构构件承载能力极限状态的可靠指标

破坏类别	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

在工程实践中直接按照目标可靠指标进行结构设计过于繁琐，广大工程设计人员不易接受。因此除了极为重要的结构 (如核电站等) 直接按照目标可靠指标进行结构设计外，对于一般性结构设计，采用了广大工程设计人员熟悉的以基本变量的标准值和分项系数表达的实用设计表达式。



1.3 实用设计表达式

在计算荷载效应时,取某一足够大的荷载值,则实际发生的荷载超过所取荷载值的概率就很小;在计算结构抗力 R 时,取某一足够低的材料强度指标,则结构中实际材料强度低于所取材料强度指标的概率也很小。

设计时荷载取值越大,出现超过所取荷载值的概率越小;设计时材料强度取值越低,出现低于所取材料强度值的概率也越小;从而可以达到使失效概率 P_f 也很小。

在给定的 $S < R$ 的设计表达式和给定的目标可靠指标的条件下,通过调整设计计算时的荷载和材料强度取值,就可以实现在满足设计表达式 $S < R$ 的情况下,达到所规定的目标可靠指标。

1.3.1 承载力极限状态设计表达式

进行承载能力极限状态设计时,对于持久和短暂设计状况应采用荷载效应的基本组合,对于偶然设计状况应采用作用效应的偶然组合。荷载效应的基本组合是指永久荷载和可变荷载的组合;偶然组合是永久荷载、可变荷载和一个偶然荷载的组合。

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-4)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,在持久设计状况和短暂设计状况下,对安全等级为一级或设计使用年限为100年及以上的结构构件不应小于1.1;对安全等级为二级或设计使用年限为50年的结构构件不应小于1.0;对安全等级为三级或设计使用年限为5年的结构构件不应小于0.9;对偶然设计状况和地震设计状况下不应小于1.0;

S ——承载能力极限状态下荷载组合的效应设计值(M 、 V 、 N 、 T 等);

R ——结构构件抗力设计值。

1.荷载基本组合的效应设计值

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)中的规定,荷载效应组合的设计值 S 应从下列组合值中取最不利值确定:

(1) 由可变荷载控制的效应设计值

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{Gjk} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-5)$$

(2) 由永久荷载控制的效应设计值

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{Gjk} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-6)$$

式中 S_{Gjk} ——第 j 个永久荷载标准值 G_k 引起的荷载效应;

S_{Q1k} ——第1个可变荷载标准值 Q_{1k} 引起的荷载效应,该可变荷载标准值的效应大于其他任意第 i 个可变荷载标准值的效应;

S_{Qik} ——其他第 i 个可变荷载标准值引起的荷载效应;

γ_{Li} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数,其中 γ_{L1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数,楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整

系数取值为：设计使用年限为 5 年时，取 0.9；设计使用年限为 50 年时，取 1.0；设计使用年限为 100 年时，取 1.1；其他设计使用年限可按线性内插法确定。若可变荷载标准值可控制时，调整系数取 1.0；雪荷载和风荷载的设计使用年限取用重现期（50 年）；

n ——参与组合的可变荷载数；

γ_{Gj} ——第 j 个永久荷载的分项系数；当永久荷载效应对结构不利时，对于由可变荷载效应控制的组合， $\gamma_G = 1.2$ ；对于由永久荷载效应控制的组合， $\gamma_G = 1.35$ 。当永久荷载效应对结构有利时，不应大于 1.0，当对结构的倾覆、滑移或漂浮验算时，应符合相关建筑结构设计规范中的规定；

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数。在一般情况下，应取 $\gamma_Q = 1.4$ ，对标准值大于 4 kN/m^2 的工业厂房楼面结构的活荷载，应取 $\gamma_Q = 1.3$ 。

注意：在进行承载能力极限状态设计时，为了满足结构目标可靠指标的要求，需要在荷载代表值的基础上引入荷载分项系数予以考虑。通常把荷载代表值乘以荷载分项系数所得的值称为荷载设计值，由荷载设计值计算的荷载效应称为设计荷载效应，如设计弯矩、设计剪力等；同样，在计算结构抗力时，材料强度也应采用设计值，材料强度设计值是材料强度标准值除以大于 1 的材料分项系数后得到的。

2. 荷载效应的偶然组合

可以参阅《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）。

1.3.2 正常使用极限状态设计表达式

对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载效应的标准组合或频遇组合、准久组合或标准组合，并按下列表达式进行设计

$$S \leq C \quad (1-7)$$

式中 C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝等的限值。

正常使用极限状态下的荷载效应组合应按下列原则计算：

(1) 荷载标准组合的效应设计值

$$S_k = \sum_{j=1}^m S_{Gjk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-8)$$

(2) 荷载准永久组合的效应设计值

$$S_q = \sum_{j=1}^m S_{Gjk} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-9)$$

(3) 荷载频遇组合的效应设计值

$$S_f = \sum_{j=1}^m S_{Gjk} + \psi_{f1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-10)$$

【例 1-1】 一钢筋混凝土梁跨度为 4 m，跨中承担集中恒荷载标准值 $G_k = 10 \text{ kN}$ ，承担均布恒荷载标准值 $g_k = 8 \text{ kN/m}$ ，承担均布活荷载标准值 $q_k = 6 \text{ kN/m}$ ，二级安全等级，设计使用年限为 50 年，活荷载准永久值系数 $\psi_q = 0.4$ ，频遇值系数 $\psi_f = 0.5$ ，试求跨中截面的弯矩设计值 M ，及正常使用极限状态的标准组合、准永久组合和频遇组合下的跨中弯矩。

【解】 (1) 计算各种荷载标准值作用下的跨中弯矩

永久荷载标准值作用下的跨中弯矩为

$$M_{gk} = \frac{1}{8} g_k l^2 = \frac{1}{8} \times 8 \times 4^2 = 16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Gk} = \frac{1}{4} G_k l = \frac{1}{4} \times 10 \times 4 = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

可变荷载标准值作用下的跨中弯矩为

$$M_{qk} = \frac{1}{8} q_k l^2 = \frac{1}{8} \times 6 \times 4^2 = 12 \text{ kN} \cdot \text{m}。$$

(2) 设计弯矩 M

由可变荷载控制的组合为

$$M = \gamma_0 [\gamma_G (M_{gk} + M_{Gk}) + \gamma_Q \gamma_L M_{qk}] = 1.0 \times [1.2 \times (16 + 10) + 1.4 \times 1.0 \times 12] \\ = 48 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

由永久荷载控制的组合为

$$M = \gamma_0 [\gamma_G (M_{gk} + M_{Gk}) + \gamma_Q \gamma_L \psi_c M_{qk}] = 1.0 \times [1.35 \times (16 + 10) + 1.4 \times 1.0 \times 0.7 \times 12] \\ = 46.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

则 M 取两者中的较大值 $48 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

(3) 标准组合 M_k

$$M_k = M_{gk} + M_{Gk} + M_{qk} = 16 + 10 + 12 = 38 \text{ kN} \cdot \text{m}。$$

(4) 准永久组合 M_q

$$M_q = M_{gk} + M_{Gk} + \psi_q M_{qk} = 16 + 10 + 0.4 \times 12 = 30.8 \text{ kN} \cdot \text{m}。$$

(5) 频遇组合 M_f

$$M_f = M_{gk} + M_{Gk} + \psi_f M_{qk} = 16 + 10 + 0.5 \times 12 = 32 \text{ kN} \cdot \text{m}。$$

基础知识与技能训练

一、填空题

1. 建筑结构的性能要求包括_____、_____、_____。
2. 永久荷载代表值是_____，可变荷载代表值有_____、_____、_____、_____四种。
3. 在进行准永久组合时，可变荷载应采用_____值。
4. 荷载设计值是指_____。
5. 结构功能的极限状态包括_____和_____。
6. 永久荷载分项系数的取值：当对结构不利时，由可变荷载起控制作用取值为_____，由永久荷载起控制作用取值为_____；当对结构有利时，取值为_____。
7. 可变荷载的分项系数一般取值为_____，当工业厂房楼面活荷载标准值大于 4 kN/m^2 时，取值为_____。
8. 房屋建筑结构的设计基准期为_____。
9. 承载能力极限状态设计时，材料强度应取用_____值。
10. 荷载效应的基本组合是指_____。

二、选择题

- 结构上的作用分为以下两类时，其中前者也称为荷载的是（ ）。
 - 永久作用和可变作用
 - 可变作用和永久作用
 - 间接作用和直接作用
 - 直接作用和间接作用
- 下列荷载中，不属于可变荷载范畴的是（ ）。
 - 屋面活荷载
 - 风荷载
 - 吊车荷载
 - 爆炸力
- 下列不属于正常使用极限状态的情况有（ ）。
 - 雨篷倾倒
 - 现浇双向板楼面在人行走动中震动较大
 - 连续梁中间支座产生塑性铰
 - 雨篷梁出现裂缝
- 结构的功能要求概括为（ ）。
 - 强度、变形、稳定
 - 实用、经济、美观
 - 安全性、适用性和耐久性
 - 承载力、正常使用
- 下列情况下，构件超过承载能力极限状态的是（ ）。
 - 在荷载作用下产生较大的变形而影响使用
 - 构件在动力荷载作用下产生较大的振动
 - 构件受拉区混凝土出现裂缝
 - 构件因过度变形而不适于继续承载
- 下列情况中，构件超过正常使用极限状态的是（ ）。
 - 构件因过度变形而不适于继续承载
 - 构件丧失稳定
 - 构件在荷载作用下产生较大的变形而影响使用
 - 构件因超过材料强度而破坏
- 设计使用年限为 50 年的房屋结构，其重要性系数不应（ ）。
 - 大于 1.1
 - 小于 1.1
 - 大于 1.0
 - 小于 1.0
- 当结构功能函数 $Z=R-S$ 满足（ ）条件时，表明结构处于失效状态。
 - 大于 0
 - 等于 0
 - 小于 0
 - 小于等于 0

三、判断题

- 荷载的准永久值，可以认为经常持续作用在结构上的那部分荷载值。（ ）
- 在进行构件承载力计算时，荷载应取设计值。（ ）
- 在进行变形与裂缝宽度验算时，荷载应取设计值。（ ）
- 荷载设计值永远比荷载标准值大。（ ）
- 结构使用年限超过设计基准期后，结构可靠性降低。（ ）
- 结构的失效概率越小，则结构的可靠指标越大，结构越可靠。（ ）

四、简答题

- 1.什么是荷载效应？什么是结构抗力？为什么说 S 和 R 都是随机变量？
- 2.建筑结构的安全等级是怎样划分的？在截面极限状态设计表达式中是怎样体现的？
- 3.何谓结构的可靠性与可靠度？
- 4.截面承载力计算的极限状态设计表达式是什么？结构的可靠度在表达式中是怎样体现的？

五、技能训练

- 1.举例说明结构上的作用与荷载。
- 2.试说明悬臂构件的抗倾覆验算、受弯构件的抗剪计算、钢筋混凝土梁的挠度验算，各属于哪类极限状态的验算？
- 3.已知某钢筋混凝土简支梁，截面尺寸为 $250\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ ，跨度为 4.8 m ，跨中作用 100 kN 的集中可变荷载标准值（设其准永久值系数 0.5 ），试求跨中弯矩在承载力计算与正常使用验算时的各种代表值。
- 4.某宿舍楼的内廊为支承在砖墙上的现浇钢筋混凝土板，计算跨度 2.56 m ，板厚 100 mm ，楼面材料做法为：水磨石地面（ 10 mm 厚面层， 20 mm 厚水泥砂浆打底），板底抹灰为 20 mm 厚的混合砂浆，楼面活荷载标准值为 2 kN/m^2 ，试计算该楼板跨中弯矩设计值。