

中等专业学校教材



建筑结构

第三版

浙江水利水电学校 章志棠 主编

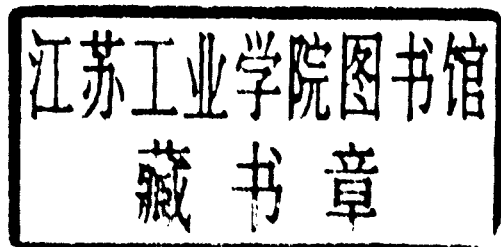


中等专业学校教材

建 筑 结 构

第 三 版

浙江水利水电学校 章志棠 主编



中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共十三章。主要内容为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本构件的设计方法及其应用。对预应力混凝土结构也作了概念性的介绍。

本书是中等专业学校水利水电类专业《建筑结构》课程的通用教材,也可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材

建 筑 结 构

第 三 版

浙江水利水电学校 章志棠 主编

*

中国水利水电出版社

(原水利电力出版社) 出版

(北京市三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京京丰印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 23.5印张 530千字

1979年7月第一版 1985年10月第二版

1994年6月第三版 1999年5月北京第十次印刷

印数 143981—149010

ISBN 7-80124-273-4/TV·142

(原 ISBN 7-120-01710-1/TV·705)

定价 22.80 元

第一版前言

本书是根据1978年3月制定的《建筑结构》教材编写大纲进行编写的，作为中等专业学校水利工程建筑和农田水利工程专业的通用教材。

本课程包括钢筋混凝土结构、砖石结构及钢结构三部分以钢筋混凝土结构为主。钢筋混凝土结构讲述基本构件、肋形结构及刚架结构的计算、配筋构造以及预应力混凝土结构的基本概念等内容；砖石结构介绍砌体构件的计算；钢结构叙述钢结构的基本理论、构件计算以及平面钢闸门的结构设计等。

本书关于设计计算的内容均按现行《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78(试行)》和《水利水电工程钢闸门设计规范SDJ13-78(试行)》编写。每篇每章内有一定数量的例题以及较为完整的大型例题，每篇每章后安排了适当数量的习题，其中部分习题附有答案。

本书第一篇由成都水力发电学校张德豪（第一、二、四、五及七章）、湖北省水利学校叶长绪（第三、六及八章）、第二篇由四川省水利学校张学裕、第三篇由黄河水利学校曹梦率等同志编写。张德豪同志负责主编。长江水利水电学校刘顺茂同志负责审稿并担任全书的核对工作。

在编审过程中得到了武汉水利电力学院、长江流域规划办公室、湖北省水利勘测设计院以及扬州、陕西、江西、吉林、黑龙江、广东、广西等兄弟学校的有关同志提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

编 者

1979年3月

第二版前言

本书系根据部颁中等专业学校水利工程建筑和农田水利工程两专业《建筑结构》课程教学大纲编写的第二轮全国通用教材，内容主要包括钢筋混凝土结构、砖石结构及钢结构等三部分，对混凝土结构和预应力混凝土结构的基本概念亦作了介绍。为便于水电类其他专业选用，部分内容选择上亦给予适当照顾。

为满足学生动手能力强、上手快的要求，本书突出了基本理论的阐述，加强了基本知识和基本技能的训练，对构造要求写得较细致，所选例题均联系生产实际，具有典型性；并选有大型设计实例，便于学者“学以致用”。考虑到与将来新规范的衔接，本书在适当章节特引进了一些新概念，使学者今后在接受新的设计计算理论方法方面可提高适应性。

本书主要依据为水利电力部有关水工的各种规范，并参考了其他部委颁布的现行规范的有关规定和要求。

本书一至四章和五至十章以及十三章（第十三章作为附章，将排在最后，供选学和参考之用），分别由山东水利专科学校张福龙和徐宽同志编写，十一和十二章由陕西省水利学校吉昆岗同志编写。全书由张福龙同志负责主编，湖南省水利学校汪木其同志主审。

本书根据《建筑结构》课程组审稿会议对教材初稿的集体审议意见及其他兄弟学校对初稿的书面意见进行了修改。对课程组和兄弟学校所提出的宝贵意见，致以衷心感谢。

对书中尚存的缺点和错误，热忱希望有关兄弟学校在使用过程中及时指正。

编 者

1984年10月

第三版前言

本书是根据水利部科教司制定的《1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划》及水利水电工程建筑、水利工程和农田水利工程三专业的《建筑结构》课程教学大纲重新编写的。内容主要为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构三部分，对预应力混凝土结构的基本概念也作了专章论述。

全书内容按国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)、《砌体结构设计规范》(GBJ3-88)和《钢结构设计规范》(GBJ17-88)编写。在计算理论、计算方法、计量单位、符号和基本术语等方面，同第二轮教材相比有较大的变动。

为加强教学实践环节，除本书中编写了一定数量的例题外，还另编《建筑结构例题与习题集》一书，作为《建筑结构》的配套教材。

参加本书编写的有：辽宁省水利学校汪柏年同志（第四、六、七、九章），湖南省水利水电学校周振涛同志（第十一、十二、十三章），浙江水利水电学校章志棠同志（绪论，第一、二、三、五、八、十章）。全书由章志棠同志主编，陕西省水利学校吉崑岗同志主审。

本书在编写过程中，得到了《建筑结构》课程组和兄弟学校老师们热情支持和帮助，浙江水利水电学校张素芸同志参与编写了第十章，在此一并表示感谢。

对书中不足甚至错误之处，恳请有关兄弟学校在使用过程中及时批评指正。

编 者

1992年12月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
绪论	1

第一篇 钢筋混凝土结构及砌体结构

第一章 钢筋混凝土结构的材料	11
第一节 钢筋	11
第二节 混凝土	15
第三节 钢筋与混凝土的粘结	21
第二章 钢筋混凝土受弯构件的正截面承载力计算	23
第一节 受弯构件的截面形式和一般构造要求	23
第二节 正截面受力全过程和破坏特征	25
第三节 单筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	28
第四节 双筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	35
第五节 T形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	42
第三章 钢筋混凝土受弯构件的斜截面承载力计算	50
第一节 斜截面的剪切破坏形态	50
第二节 斜截面的受剪承载力计算	52
第三节 斜截面受弯承载力——抵抗弯矩图(材料图)的绘制	61
第四节 钢筋骨架的构造要求	64
第五节 钢筋混凝土构件施工图	67
第四章 钢筋混凝土受扭构件的扭曲截面承载力计算	71
第一节 纯扭构件的受扭承载力计算	71
第二节 弯、剪、扭构件的承载力计算	77
第三节 受扭构件的构造要求	79
第五章 钢筋混凝土受压构件的承载力极限状态计算	82
第一节 受压构件的构造要求	83
第二节 轴心受压构件的正截面受压承载力计算	85
第三节 偏心受压构件的正截面受压承载力计算	89
第四节 矩形截面对称配筋的偏心受压构件	103
第五节 偏心受压构件的斜截面受剪承载力计算	106
第六章 钢筋混凝土受拉构件的承载力极限状态计算	108
第一节 轴心受拉构件的正截面受拉承载力计算	108
第二节 矩形截面偏心受拉构件的正截面受拉承载力计算	109

第三节 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力计算·····	115
第七章 钢筋混凝土构件的正常使用极限状态验算·····	116
第一节 抗裂验算·····	116
第二节 裂缝宽度验算·····	120
第三节 变形验算·····	127
第八章 钢筋混凝土肋形结构及刚架结构·····	134
第一节 肋形结构的组成及其分类·····	135
第二节 整体式单向板肋形结构·····	135
第三节 整体式双向板肋形结构·····	163
第四节 刚架结构·····	167
第五节 牛腿·····	172
第六节 柱下基础·····	174
第九章 预应力混凝土结构·····	179
第一节 概述·····	179
第二节 施加预应力的方法·····	180
第三节 预应力混凝土的材料·····	183
第四节 张拉控制应力和预应力损失·····	184
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析·····	191
第六节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算·····	196
第十章 砌体结构·····	205
第一节 砌体结构的材料和砌体种类·····	205
第二节 砌体的力学性能·····	208
第三节 无筋砌体构件的承载力计算·····	213
第四节 墙、柱高厚比的验算·····	221

第二篇 钢 结 构

第十一章 钢结构的材料和钢结构的计算方法及连接计算·····	224
第一节 材料·····	224
第二节 连接计算·····	228
第十二章 钢结构的基本构件·····	246
第一节 钢梁·····	246
第二节 钢压(拉)杆·····	267
第十三章 平面钢闸门·····	285
第一节 平面钢闸门的组成·····	285
第二节 平面钢闸门的结构布置·····	286
第三节 门叶结构计算·····	289
附录一 钢筋混凝土结构的材料强度标准值和设计值·····	315
附表1-1 混凝土强度标准值和设计值 (N/mm^2)·····	315
附表1-2 钢筋强度的标准值和设计值 (N/mm^2)·····	315

附表1-3 钢丝、钢绞线强度标准值和设计值 (N/mm^2)	316
附录二 钢筋面积表	317
附表2-1 钢筋的计算截面面积及公称质量表	317
附表2-2 板宽1m内各种钢筋间距的钢筋截面面积 (mm^2)	318
附录三 钢筋混凝土结构常用基本规定	319
附表3-1 混凝土保护层最小厚度 (mm)	319
附表3-2 混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率 (%)	319
附表3-3 钢筋混凝土受弯构件的允许挠度	320
附表3-4 裂缝控制等级、混凝土拉应力控制系数及最大裂缝宽度允许值 (mm)	320
附表3-5 截面抵抗矩塑性系数	321
附录四 在均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数表	323
附录五 等跨连续梁在端弯矩作用下各截面的弯矩及剪力计算系数表	330
附录六 承受均布荷载的等跨连续梁各截面最大及最小弯矩 (弯矩包络图) 的计算系数表	331
附录七 按弹性理论计算矩形双向板在均布荷载作用下的弯矩系数表	333
附录八 各种荷载化成具有相同支座弯矩的等效均布荷载表	336
附录九 砌体结构受压构件的影响系数 φ	337
附表9-1 影响系数 φ (砂浆强度等级 $\geq M5$)	337
附表9-2 影响系数 φ (砂浆强度等级 M2.5)	338
附表9-3 影响系数 φ (砂浆强度等级 M1)	339
附表9-4 影响系数 φ (砂浆强度等级 M0.4)	340
附表9-5 影响系数 φ (砂浆强度 0)	341
附录十 钢材分组尺寸和强度取值	342
附表10-1 3号钢钢材分组尺寸 (mm) (GBJ 17-88)	342
附表10-2 钢材的强度设计值 (N/mm^2) (GBJ 17-88)	342
附表10-3 水工钢闸门钢材容许应力 (N/mm^2) (SDJ 13-78修订稿)	342
附表10-4 水工钢闸门机械零件容许应力 (N/mm^2) (SDJ 13-78修订稿)	343
附表10-5 焊缝的强度设计值 (N/mm^2) (GBJ 17-88)	343
附表10-6 焊缝的容许应力 (N/mm^2) (SDJ 13-78修订稿)	344
附表10-7 螺栓连接的强度设计值 (N/mm^2) (GBJ 17-88)	344
附表10-8 普通螺栓连接的容许应力 (N/mm^2) (SDJ 13-78修订稿)	345
附录十一 型钢规格和截面特性	346
附表11-1 热轧等肢角钢 (YB 166-65)	346
附表11-2 热轧不等肢角钢 (YB 167-65)	348
附表11-3 热轧普通工字钢 (GB 706-65)	351
附表11-4 热轧普通槽钢 (GB 707-65)	352
附录十二 截面塑性发展系数 γ_x 、 γ_y 值	353
附录十三 梁的整体稳定系数	354
附表13-1 工字形截面简支梁的系数 β_b	354

附表13-2	整体稳定系数 φ_b 值	354
附表13-3	轧制普通工字钢简支梁的 φ_b 值	355
附表13-4	双轴对称工字形等截面悬臂梁的系数 β_b	355
附录十四	轴心受压构件的截面分类和稳定系数	356
附表14-1	轴心受压构件的截面分类	356
附表14-2	3号钢a类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	357
附表14-3	3号钢b类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	357
附表14-4	3号钢c类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	358
附表14-5	16Mn钢、16Mnq钢a类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	358
附表14-6	16Mn钢、16Mnq钢b类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	359
附表14-7	16Mn钢、16Mnq钢c类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	359
附录十五	组合截面回转半径近似值	360
附录十六	矩形弹性薄板弯矩系数	361
附表16-1	四边简支矩形薄板受均载时的挠度与弯矩系数 ($\nu = 0.3$)	361
附表16-2	四边固定矩形薄板受均载时的弯矩与弯应力系数 ($\nu = 0.3$)	361
附表16-3	三边固定、一边简支的矩形薄板受均载时的弯矩与弯应力系数 ($\nu = 0.3$)	362
附表16-4	二邻边固定、另二边简支的矩形薄板受均载时的弯矩与弯应力系数 ($\nu = 0.3$)	363
附表16-5	三边简支、另一边自由的矩形薄板受均载时的弯矩系数 ($\nu = 0.3$)	363
附录十七	材料的摩擦系数	364

绪 论

一、建筑结构的的功能要求和分类

在工程建筑物中，由建筑材料制作的若干构件连接而构成的能承受作用的平面或空间体系，称为建筑结构。如房屋中由梁、板构成的楼（屋）盖和梁、柱构成的框架，水工建筑物中由面板、梁格构成的平面闸门，公路、铁路上的桥梁和涵洞等，都可统称为建筑结构。

建筑结构必须满足下列各项功能要求：

- （1）正常施工和使用时，能承受可能出现的各种作用。
- （2）正常使用时，具有良好的工作性能。
- （3）正常维护下，具有足够的耐久性能。
- （4）在偶然事件发生时及发生后，仍能保持必需的整体稳定性。

结构上的作用是指能使结构产生内力、应力、位移、应变、裂缝的各种原因的总称。根据其性质不同，作用可分为两类：一类是直接以力的集结形式出现，如结构自重和施加于结构上的外力（包括集中力和分布力），长期来被称为荷载，例如恒载、楼面活荷载、风荷载、雪荷载、水压、土压等，称为直接作用；另一类不是直接以力的集结形式出现，而是由于某些原因使结构间接地产生约束变形（即由于混凝土收缩、钢材焊接、大气温度变化等原因，使结构材料发生收缩或膨胀等变化，受到结构的支座或节点的约束而使结构间接地产生的变形）和外加变形（由于基础不均匀沉陷，地震等原因，使结构被强制地产生的变形），称为间接作用。建筑结构除满足工程所要求的功能和性能外，还必须在使用期内安全、适用、经济、耐久地承受外加的或内部形成的各种作用。因此，可以说建筑结构是工程建筑中的支撑体系和传力体系，是建筑物赖以存在的物质基础；也可以说，没有建筑结构就没有建筑物。

建筑结构按所用材料的不同可以分为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构等类型。

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力的结构。由于混凝土的抗拉强度远低于抗压强度，一般素混凝土结构在以受压为主的结构中采用，如柱墩、挡土墙等。如果素混凝土用作受弯构件，就会在荷载不大的情况下，在受拉部位断裂而破坏，这时受压部位混凝土的抗压强度还远远没有得到充分利用。如果在构件受拉区配置抗拉强度高的钢筋，形成钢筋混凝土构件，这时在不大的荷载作用下，受拉区混凝土虽然开裂，但配置在这个部位的钢筋可以代替混凝土承受拉力，从而使构件的承载能力有很大的提高。在配筋适当时，构件可以在较大的荷载作用下才发生破坏，破坏时受拉钢筋应力达到屈服强度，受压区混凝土应变达到极限压应变，混凝土的抗压强度得到充分利用。

钢筋和混凝土两种不同性质的材料之所以能有效地结合在一起共同工作，其主要原因

有以下几点:

(1) 混凝土硬化后, 混凝土和钢筋之间将产生良好的粘结力, 使两者牢固地粘结在一起。因此, 在荷载作用下, 相互之间不致发生相对滑动而能整体工作。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数非常接近, 钢筋为 $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。所以, 当温度变化时, 不会因两种材料的长度变化不同而破坏它们的整体性。

(3) 包在钢筋外面的混凝土保护层, 能有效地保护钢筋不生锈, 从而使钢筋混凝土材料具有耐久性。

钢筋混凝土结构除了较合理地利用钢筋和混凝土两种材料的性能外, 和其他材料的结构相比, 还具有下列优点:

(1) 耐久性和耐火性好, 维护费用低。

(2) 整体性好。尤其是现浇的整体式钢筋混凝土结构, 整体性好, 因而有利于抗震及防爆。

(3) 可模性好。可根据需要使用浇筑成各种形状的结构, 结构造型灵活。

(4) 就地取材。钢筋混凝土中占比例较大的砂、石材料, 一般可就地或就近取材, 因而材料运输费用少, 可以显著地降低造价。

(5) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地利用钢筋及混凝土各自的优良性能, 可以形成强度较高、刚度较大的结构构件。这些构件在有些情况下能代替钢构件, 节约钢材并降低造价。

但是, 钢筋混凝土结构也有一些缺点:

(1) 自重比钢结构大, 不利于建造大跨度结构及高层建筑。

(2) 施工受气候和季节的影响, 建造期一般较长。

(3) 浇制混凝土需要模板和支撑, 因而耗费木材, 如采用钢模和钢支架, 则需要一定数量的施工用钢材。

(4) 新旧混凝土不易连接, 补强修复比较困难。

(5) 混凝土的抗拉强度低, 容易出现裂缝, 抗裂性较差。

钢筋混凝土结构在土木工程中的应用范围非常广泛, 各种工程结构都可采用钢筋混凝土建造。在水利、水电及水运工程建筑中, 钢筋混凝土可以用来建造水坝、隧洞衬砌、水电站厂房、机墩、蜗壳、尾水管、调压塔、压力水管、水闸、船闸、码头、渡槽、涵洞、倒虹吸管等; 在工业民用建筑及交通运输工程中, 它可用来建造厂房、仓库、楼房、水池、水塔、桥梁、飞机跑道、公路路面、电视塔等; 在原子能工程、海洋工程和机械制造业的一些特殊场合, 如反应堆压力容器、海洋平台、巨型运油船、大吨位水压机机架等, 都得到十分有效的应用。

2. 砌体结构

砌体结构是以砌体为主制作的结构。它包括砖结构、石结构和其它材料的砌块结构。

砌体结构具有下列优点:

(1) 就地取材, 价格低廉。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——矿碴制作，来源方便，价格低廉。

(2) 耐火性和耐久性好。砖、石或砌块砌体具有良好的耐火性和较好的耐久性。

(3) 施工方便。砌体砌筑时不需要模板和特殊的施工设备。

(4) 保温和隔热性能好。砖墙和砌块墙体能够隔热和保温，所以既是较好的承重结构，也是较好的围护结构。

砌体结构的缺点有：

(1) 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。

(2) 施工劳动量大。砌体的砌筑基本上是手工方式，施工劳动量大。

(3) 抗震性能差。砌体的抗拉和抗剪强度都很低，因而抗震性能差，在使用上受到一定限制。

(4) 占用农田，影响农业生产。用砖砌筑物时砖的需用量很大，而砖需用粘土制坯，在某些地区过多占用农田，影响农业生产。

(5) 抗渗抗冻性差。在水工结构中常需另设混凝土防渗层。

砌体结构一般仅适用于建筑受压的结构。在水工建筑中除了用来修建小型拦河坝以外，更普遍的用于修筑挡土墙、渡槽、拱桥、涵洞、溢洪道、消力池、护坦、水闸以及渠道护面等。在民用和工业建筑中的墙、柱和基础都可采用砌体结构。

在盐碱地区修建挡土墙以及墩台等构筑物时，不宜采用砖砌体结构。

3. 钢结构

钢结构是以钢材制作的結構。钢结构具有下列优点：

(1) 自重轻。钢材容重与强度的比值一般小于混凝土和木材，因而钢结构的重量轻。

(2) 质地均匀，可靠性好。钢材的组织结构均匀，接近于各向同性匀质体，最符合目前所采用的计算方法对材料性能所作的基本假定，因而钢结构的理论计算结果比较符合实际受力情况，结构的可靠性好。

(3) 工业化程度高。钢结构便于机械化制造，精确度较高，安装方便，是工程结构中工业化程度最高的一种结构。

(4) 密封性好。焊接钢结构可做到完全密封，一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库和压力管道等最适宜采用。

(5) 塑性和韧性好。钢结构塑性和韧性好，适宜于承受振动和冲击荷载。

钢结构的主要缺点有：

(1) 耐锈蚀性较差。钢结构尤其是水工钢结构，容易锈蚀的缺点比较突出。为了防止锈蚀，一般都需要仔细除锈、镀锌或刷涂料，需要经常维护。

(2) 耐火性较差。接近高温的钢结构，需要采取隔热措施。

钢材是国民经济各部门大量使用的紧俏材料，因此，钢结构的应用受到一定的限制。设计时必须最大限度地节约钢材，一般常用于跨度大、高度大、荷载大、动力作用大的各种工程结构。如水利工程中的高压潜孔闸门、大跨度露顶闸门、起重机结构和输电线路塔架等；也常用于可装拆搬迁的结构，如钢栈桥、钢模板、装配式的混凝土拌和楼，砂、石

骨料的输送架等;此外,要求密封性好的压力管道、贮液罐、贮气罐等,也常用钢材制成。

二、建筑结构的主要内容和特点

钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构是水利水电工程结构中最常用的三种基本结构。本课程的主要内容就是介绍这三种结构及其构件的材料力学性能、基本设计理论、基本设计计算方法和主要的构造措施。为了合理地统一各类材料的建筑结构设计的基本原则,我国颁发了国家标准《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68-84)(试行)。它是各类结构设计共同遵守的准则。因此,本书首先在绪论中阐述建筑结构设计的基本原则和方法,然后再分章讲述三类基本结构。全书共分十三章,第一章至第八章为钢筋混凝土结构,内容包括钢筋混凝土结构的材料、钢筋混凝土基本构件的承载能力计算和正常使用极限状态的验算、钢筋混凝土肋形结构和刚架结构的设计;第九章简要地介绍了预应力混凝土结构;第十章为砌体结构,内容包括砌体结构的材料和砌体结构基本构件的计算;第十一章至第十三章为钢结构,内容包括钢结构的材料、钢结构的连接计算和基本构件的计算,并介绍了水工平面钢闸门的设计计算方法。

建筑结构是水利水电类专业中的主要技术基础课程,学习本课程的主要目的是:掌握建筑结构基本构件设计计算的基本方法和构造措施,为学习专业课和从事建筑结构设计打下良好的基础。

学习本课程时,应注意其主要特点:

(1) 建筑结构研究的对象既非匀质体,也非服从胡克定律的弹性体。例如钢筋混凝土结构,是两种力学性能大不相同的钢筋和混凝土的组合物,砌体结构是块材(砖、石等)和砂浆的组合物,其应力状态随荷载阶段而异,这与研究匀质弹性材料的材料力学和结构力学有着根本的区别。但它们解决问题的一般方法,如通过几何、物理和静力平衡关系建立基本方程的途径是相同的。对于建筑结构来说,只不过在每一种关系的具体内容上,需要考虑不同结构的性能特点。

(2) 建筑结构是一门实验的学科。由于建筑材料的力学特性和强度理论异常复杂,目前建筑结构的很多计算公式是根据大量的试验研究成果建立的。学习时既要重视这种通过实验建立理论的方法,又要注意公式的适用范围和条件。

(3) 有很强的实践性。建筑结构本身是一门结构设计课程,因此,在讲述基本概念和理论时,许多内容与我国现行的各类结构设计规范和工程实践是密切联系的;而构件设计与结构设计的内容就更为具体,它涉及结构形式与结构布置方案选择、材料选用、计算简图的选取、施工方法、经济和构造措施等一系列的具体而实际的问题。就一个简单的钢筋混凝土构件来说,在给定的荷载作用下,可以有不同的截面型式、尺寸、配筋方式、配筋数量等多种方案。学习时应重视实践,熟悉和正确运用规范,并逐步培养对问题的综合分析和判断能力。此外,为了培养从事设计工作的能力,必须加强对数字计算、整理编写设计书、绘制施工图等基本技能的训练。

(4) 建筑结构的建筑材料、科学理论研究和试验、测试技术、计算机技术应用及施工技术等方面的发展和变革是非常迅速的,因而使建筑结构的面貌日新月异,同时,结构设计规范也在不断地修订和制定。因此,本课程的内容更新较快,学习时要有勇于探索和

创新精神，要注意学科的新动向，以适应建筑结构的变革和发展的进程。

三、建筑结构设计方法

建筑结构设计理论对工程结构的安全性、适用性与经济性等进行了系统的分析，并提出了具体的处理方法。主要解决工程结构产生的各种作用效应与结构材料抗力之间的关系，涉及到有关结构上的作用、结构抗力、结构可靠度和结构设计方法等方面的问题。

1. 建筑结构设计方法的发展简述

回顾建筑结构设计方法的发展过程，主要经历了三个阶段：

(1) 容许应力设计法。它是以结构构件的计算应力 σ 不大于有关规范所给定的材料容许应力 $[\sigma]$ 的原则来进行设计的方法。一般的设计表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (0-1)$$

式中 σ ——构件在使用阶段（使用荷载作用下）截面上的最大计算应力；

$[\sigma]$ ——材料的容许应力，由材料强度除以大于1的安全系数而得。

容许应力法以线性弹性理论为基础，以构件危险截面的某一点或某一局部的最大计算应力小于或等于材料的容许应力为准则。在应力分布不均匀的情况下，如受弯构件、受扭构件或静不定结构，没有考虑材料的塑性性质，计算结构与实际不符合，比较保守。

容许应力法应用方便，在建筑结构设计中统治了100余年。它除了不考虑材料塑性性质这一根本缺陷外，在结构的可靠度原则方面也存在许多问题。如把影响结构可靠的种种因素（荷载的变异、施工的缺陷、计算公式的误差等等）都归结在只反映材料性质的容许应力 $[\sigma]$ 上，显然这是不合理的；再就 $[\sigma]$ 的取值上也无科学根据，纯属经验，这也不能保证各种结构具有比较一致的安全水平。

(2) 破坏强度设计法。它是以构件破坏时的截面应力状态进行设计的方法。要求作用在截面上的内力（由荷载产生）乘以安全系数等于或小于构件截面破坏时的承载能力，其表达式如下：

$$\text{对受弯构件} \quad KM < M_u \quad (0-2)$$

$$\text{对轴心受压构件} \quad KN < N_u \quad (0-3)$$

式中 M 、 N ——分别为正常使用时，由使用荷载所产生的弯矩和轴心压力；

M_u ——构件截面的破坏弯矩；

N_u ——构件截面的破坏压力；

K ——安全系数。

破坏强度设计法考虑了材料的弹塑性性质，可合理利用材料的潜力。它以承载能力值（如破坏弯矩 M_u ）为依据，其计算值是否正确可由试验检验。该方法始于20世纪30年代，可以说开创了结构设计理论的新局面。

但破坏强度设计法仍存在一些重大缺点：如按破坏强度计算，构件的承载力是得以保证了，但却无法了解构件在正常使用时能否满足正常使用的要求；另外，在结构的可靠度原则方面，也如同容许应力设计法一样，采用笼统的单一安全系数，因而无法就不同荷载、不同材料对构件安全的影响加以区别对待，不能正确地度量结构的安全水平，且其安全系数 K 的取值仍然需经验确定，缺乏严格的科学依据。

(3) 极限状态设计法。以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要求时, 则此特定状态称为该功能的极限状态。按此状态进行设计的方法称为极限状态设计法。

极限状态设计法是破坏强度设计方法的发展, 它将工程结构的极限状态分为承载能力极限状态、挠度极限状态和裂缝极限状态 (后两种也可归并为正常使用极限状态), 其表达式分别为

$$\left. \begin{aligned} M &\leq M_u \\ f &\leq [f] \\ \omega_{cr} &\leq [\omega_{cr}] \end{aligned} \right\} \quad (0-4)$$

式中 f 、 ω_{cr} ——分别为在正常使用阶段构件的挠度及最大裂缝宽度;

$[f]$ 、 $[\omega_{cr}]$ ——分别为允许挠度值和最大裂缝宽度允许值。

这样, 它对结构的各项功能要求都能加以保证, 考虑问题就更为全面了。

同时, 极限状态设计法采用了超载系数、工作条件系数和材料匀质系数来代替单一安全系数, 以反映不同荷载、不同材料及不同条件下的结构安全度的要求; 且在荷载及材料强度的取值上采用了数理统计方法, 以考虑这些随机变量的离散性。

由于极限状态法具有明显的优点, 世界大多数国家在70年代都先后过渡到采用这一设计方法。我国在1966年工业民用建筑的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21-66), 就采用了多系数的极限状态设计法。70年代, 我国对各种结构设计规范普遍进行了修订, 都普遍采用了极限状态设计法。工业民用建筑的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74) 仍沿用了极限状态设计法, 《水工钢筋混凝土结构设计规范》(SDJ20-78) 也正式采用了极限状态设计法。

《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10-74) 取材料的计算强度的保证率为97.72%, 同时为考虑构件中实际强度的降低、构件的尺寸和钢筋位置的偏差、构件受力特征不同等因素, 在设计表达式中增加一个构件强度系数 K_2 , K_2 由经验确定, 例如对于受弯构件, 取 $K_2 = 1.26$ 。超载系数经大量调查分析, 并为了简化, 对于所有荷载一律取 $K_1 = 1.2$, 并把工作条件系数定为 $1/K_3$ (K_3 称为附加安全系数, 一般情况 $K_3 = 1$), 独立于承载能力之外。这样, 设计表达式取下列形式:

$$K_1 M \leq \frac{1}{K_2 K_3} M(f_s, f_c, a, \dots) \quad (0-5)$$

式中 f_s 、 f_c ——分别为材料的强度设计值;

a ——几何参数值。

将 $K_2 K_3$ 移至式左, 并将 $K_1 K_2$ 合并为单一安全系数 K , 即成为多系数分析、单一安全系数表达的极限状态设计法。

由上述分析可知, 传统的建筑结构设计法, 从可靠度方面来说, 是属于经验系数法的, 它把影响结构可靠性的各类参数均视作为定值, 并由经验的系数来保证其安全, 故也称为“定值设计法”或“经验设计法”。近20多年来, 结构可靠度理论的研究受到普遍重视, 且已有了迅速的发展。其特点是将概率论和数理统计等可靠度数学方法广泛地应用于工程结构

设计中。我国1984年颁发的《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68-84),以及据此编制的各类结构设计规范,则以概率极限状态法为基础,这又是在建筑结构设计方面跨出的重大一步。

2. 概率极限状态设计法

概率极限状态法的基本方法是以概率的观点来研究结构可靠性的。把结构在规定的时间内、在规定的条件下完成预定功能的可靠性的大小用概率来表示,并定义这概率为结构的可靠度。结构可靠度是结构可靠性的概率度量。

荷载对结构的作用称为荷载效应,用 S 表示,它代表了结构在荷载作用下产生的内力或变形;结构承受荷载或变形的能力称为结构抗力,用 R 表示,它代表了结构的承载能力或允许变形值。衡量结构是否可靠,就要分析结构的抗力 R 是否大于荷载效应 S 。由于 R 及 S 均为随机变量,因此,对于一个结构能否做到 $R > S$ 是不确定的。即如按一切正常途径来设计、建造和使用的结构,仍不能认为它就绝对安全可靠,它仍然存在 $R < S$ 的可能。但只要这种可能,即 $R < S$ 的失效概率小到人们可以接受的程度,就可认为这个结构是安全可靠的。这一概念是一种非定值的概念。用结构的失效概率来度量结构的可靠度比用安全系数 K 在概念上显然要科学得多,也合理得多。概率极限状态法与传统的“经验设计法”或“定值设计法”有着本质的区别。

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。它们均规定有明确的极限标志及限值。

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或不适于继续承载的变形。当出现下列状态之一时,即认为超过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、滑移等);
- (2) 结构构件或连接因材料强度被超过而破坏(包括疲劳破坏),或因过度的塑性变形而不适于继续承载;
- (3) 结构转变为机动体系;
- (4) 结构或构件丧失稳定(如压屈等)。

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。具体指的是:

- (1) 影响正常使用或外观的变形;
- (2) 影响正常使用或耐久性能的局部破坏,例如裂缝宽度达到了保证耐久性要求的规定限值;
- (3) 影响正常使用的振动;
- (4) 影响正常使用的其它特定状态,如不允许出现裂缝的结构,其混凝土拉应力达到规定的限值等。

通常结构构件是按承载能力极限状态进行设计,按正常使用极限状态进行验算。

结构的极限状态应采用极限状态方程来描述。如果影响结构可靠度的基本变量仅为荷载效应 S 和结构抗力 R ,则有

$$Z = R - S \quad (0-6)$$

式(0-6)为结构的功能函数,显然,当 $Z > 0$ 时,结构处于可靠状态;当 $Z < 0$ 时,结构处于失效