



21世纪全国高职高专土建系列**技能型**规划教材

土木工程力学

主 编 吴明军



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材

土 木 工 程 力 学

主 编 吴明军
副主编 秦定龙 赵朝前
参 编 肖盛莲 邓晓峰



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要根据土建施工与技术管理类专业岗位对土木工程力学知识与能力的要求,并参照全国高职高专土建类专业教学指导委员会土建施工类专业指导委员会颁布的《建筑施工技术专业人才培养方案》对土木工程力学的教学要求和学时要求编写而成。本书内容包括绪论、力学基本概念及物体受力分析、简单平面力系的计算、平面一般力系的计算、轴向拉伸与压缩计算、剪切与扭转计算、平面体系的几何组成分析、静定梁的内力计算、静定平面结构的内力计算、单跨静定梁的强度与刚度计算、平面应力状态分析及常用强度理论、组合变形杆的强度计算、压杆稳定计算、静定结构的位移计算、力法和力矩分配法。书末附有型钢表、习题参考答案。

本书可作为高职高专院校土建施工与技术管理类专业教材,也可作为土建施工技术人员学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学/吴明军主编. —北京:北京大学出版社, 2010. 4

(21世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-16864-6

I. 土… II. 吴… III. 土木工程力学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 036783 号

书 名: 土木工程力学

著作责任者: 吴明军 主编

策划编辑: 吴 迪

责任编辑: 卢 东

标准书号: ISBN 978-7-301-16864-6/TU·0119

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京山润国际印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 556 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材 专家编审指导委员会

主 任： 于世玮（山西建筑职业技术学院）

副 主 任： 范文昭（山西建筑职业技术学院）

委 员： （按姓名拼音排序）

丁 胜（湖南城建职业技术学院）

郝 俊（内蒙古建筑职业技术学院）

胡六星（湖南城建职业技术学院）

李永光（内蒙古建筑职业技术学院）

刘正武（湖南城建职业技术学院）

马景善（浙江同济科技职业学院）

王秀花（内蒙古建筑职业技术学院）

王云江（浙江建设职业技术学院）

危道军（湖北城建职业技术学院）

吴承霞（河南建筑职业技术学院）

吴明军（四川建筑职业技术学院）

武 敬（武汉职业技术学院）

夏万爽（邢台职业技术学院）

战启芳（石家庄铁路职业技术学院）

朱吉顶（河南工业职业技术学院）

特邀顾问： 何 辉（浙江建设职业技术学院）

姚谨英（四川绵阳水电学校）

21 世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材 专家编审指导委员会专业分委会

建筑工程技术专业分委会

主任：吴承霞 吴明军
副主任：郝俊 刘正武 战启芳 马景善
委员：(按姓名拼音排序)
白丽红 邓庆阳 李伟 刘晓平 孟胜国
牟培超 石立安 汪忠洋 王渊辉 肖明和
徐锡权 叶腾 于全发 张敏 张勇
赵华玮 郑仁贵 钟汉华 朱永祥

工程管理专业分委会

主任：危道军
副主任：胡六星 武敬 李永光
委员：(按姓名拼音排序)
冯钢 赖先字 李柏林 李洪军
时思 孙刚 王安 吴孟红
徐庆新 杨庆丰 赵建军 周业梅

建筑设计专业分委会

主任：丁胜
副主任：夏万爽 朱吉顶
委员：(按姓名拼音排序)
戴碧锋 脱忠伟 肖伦斌 余辉

市政工程专业分委会

主任：王秀花
副主任：王云江
委员：(按姓名拼音排序)
胡红英 来丽芳 刘江
刘水林 刘雨 张晓战

前 言

土木工程力学是高职高专土建类专业的一门重要必修专业基础课程，主要培养学生对一般结构的构成、平衡、内力的分析及计算能力，以及对结构构件的强度、刚度和压杆的稳定性进行分析及计算的能力。只有具备这些知识和能力的人才能成为一个真正意义上的工程技术人员，才能建造或设计出既安全可靠又经济实用的结构。但经验告诉人们，土木工程力学也是土建类专业课程体系中的一门难学、难教的课程，需要花大力气学习、研究才能攻克。

本书编者拥有多年力学教学改革、研究和教材编写经验，对土木工程力学课程内容体系进行了整合，因此使得本书内容重点、难点处理得当，更便于学习和教学。

本书有以下特点：使用国家最新的技术标准、规范术语和技术符号，便于学生更快适应标准和规范的使用，体现高职高专教育的职业性特色，针对土建企业施工与技术管理类专业岗位，更注重适用与实用，注重职业能力和力学素养的培养。

本书按照目前常用的 120 学时课程标准编写，共 15 章，包括绪论、力学基本概念及物体受力分析、简单平面力系的计算、平面一般力系的计算、轴向拉伸与压缩计算、剪切与扭转计算、平面体系的几何组成分析、静定梁的内力计算、静定平面结构的内力计算、单跨静定梁的强度与刚度计算、平面应力状态分析及常用强度理论、组合变形杆的强度计算、压杆稳定计算、静定结构的位移计算、力法和力矩分配法。书末附有型钢表、习题参考答案。

本书参考教学时数分配见下表，不同层次和要求的学校可根据本校实际选择教学内容，也可适当增减学时。

	绪论	1 学时
第 1 章	力学基本概念及物体受力分析	6 学时
第 2 章	简单平面力系的计算	6 学时
第 3 章	平面一般力系的计算	8 学时
第 4 章	轴向拉伸与压缩计算	8 学时
	拉伸和压缩实验	2 学时
第 5 章	剪切与扭转计算	6 学时
第 6 章	平面体系的几何组成分析	8 学时
第 7 章	静定梁的内力计算	10 学时
第 8 章	静定平面结构的内力计算	8 学时
第 9 章	单跨静定梁的强度与刚度计算	10 学时
	弯曲实验	2 学时
第 10 章	平面应力状态分析及常用强度理论	6 学时
第 11 章	组合变形杆的强度计算	8 学时
第 12 章	压杆稳定计算	6 学时
第 13 章	静定结构的位移计算	9 学时
第 14 章	力法	10 学时
第 15 章	力矩分配法	6 学时
	合计	120 学时

本书由四川建筑职业技术学院吴明军教授担任主编，四川电力职业技术学院秦定龙副教授、四川建筑职业技术学院赵朝前副教授担任副主编。其中，第 4、6、8、11、12、14 和 15 章由吴明军编写，第 1、7、9 和 10 章由秦定龙编写，第 2、3、5 和 13 章由赵朝前编写，绪论由秦定龙和吴明军共同编写。四川建筑职业技术学院肖盛莲参与了第 14 章的起草工作。广西建设职业技术学院邓晓峰参与了第 15 章的编写。

本书的编写得到四川建筑职业技术学院、四川电力职业技术学院和广西建设职业技术学院的大力支持。本书参考和借鉴了很多编著者的作品，在此一并表示衷心感谢！

由于编者学识水平、教学经验有限，书中难免有不妥之处，恳请读者不吝指正。

编 者

2009 年 12 月

目 录

绪论	1	4.5 土木工程常用材料在拉伸和压缩时的力学性能	68
0.1 土木工程力学的研究对象	1	4.6 轴向拉压杆的强度条件及应用	77
0.2 土木工程力学的基本任务	3	本章提要	80
0.3 学习土木工程力学的意义及方法	4	思考题	80
第1章 力学基本概念及物体受力分析	6	习题	81
1.1 力学的基本概念	6	第5章 剪切与扭转计算	83
1.2 荷载的分类	14	5.1 剪切与挤压的概念	83
1.3 约束与约束反力	16	5.2 剪切和挤压的实用强度计算	84
1.4 物体的受力图	21	5.3 扭转圆轴的内力及扭矩图	87
本章提要	24	5.4 扭转圆轴横截面上的应力	89
思考题	25	5.5 扭转圆轴的强度条件及其应用	92
习题	27	5.6 圆轴扭转变形与刚度条件	94
第2章 简单平面力系的计算	30	本章提要	95
2.1 平面汇交力系的合成与平衡条件	31	思考题	96
2.2 平面力偶系的合成与平衡条件	36	习题	97
本章提要	38	第6章 平面体系的几何组成分析	99
思考题	38	6.1 几何组成分析的基本概念	99
习题	39	6.2 几何不变体系的基本组成规则	104
第3章 平面一般力系的计算	41	6.3 几何组成分析方法	107
3.1 力矩与力的平移定理	41	6.4 结构的静定与超静定概念、杆件结构分类	111
3.2 平面一般力系的简化与平衡条件	43	本章提要	113
3.3 物体系统的平衡问题	49	思考题	114
本章提要	51	习题	114
思考题	51	第7章 静定梁的内力计算	117
习题	52	7.1 单跨静定梁的内力计算	117
第4章 轴向拉伸与压缩计算	56	7.2 单跨静定梁的内力图	122
4.1 变形固体及杆件概念	57	7.3 弯矩、剪力和均布荷载集度间的微分关系及其应用	129
4.2 轴向拉压杆的内力及轴力图	59	7.4 梁内力图绘制的叠加法	132
4.3 轴向拉压杆横截面上的应力与应力集中	62	7.5 多跨静定梁的内力计算	134
4.4 轴向拉压杆的变形	65	本章提要	137
		思考题	137

习题	138	11.5 弯曲与扭转组合变形的强度计算	262
第 8 章 静定平面结构的内力计算	141	本章提要	265
8.1 静定平面刚架的内力计算	141	思考题	266
8.2 三铰拱的内力计算	147	习题	266
8.3 静定平面桁架的内力计算	153	第 12 章 压杆稳定计算	270
8.4 静定平面组合结构的内力计算	161	12.1 压杆稳定的基本概念	270
8.5 静定结构的特性	162	12.2 细长压杆的临界力与临界应力	271
本章提要	164	12.3 中长压杆的临界应力公式与临界 应力总图	275
思考题	164	12.4 压杆的实用稳定条件及其应用	277
习题	165	12.5 提高压杆稳定性的措施	281
第 9 章 单跨静定梁的强度与刚度 计算	167	本章提要	281
9.1 梁弯曲时横截面上的正应力计算	168	思考题	282
9.2 截面的几何性质	175	习题	283
9.3 梁弯曲时正应力强度条件及其 应用	185	第 13 章 静定结构的位移计算	284
9.4 梁弯曲时切应力计算公式、切应力 强度条件及其应用	191	13.1 结构位移的概念	284
9.5 梁的刚度条件及其应用	198	13.2 结构位移计算的一般公式	285
9.6 提高梁弯曲强度和刚度的措施	208	13.3 静定结构在荷载作用下的位移 计算	288
本章提要	214	13.4 图乘法	290
思考题	215	13.5 静定结构支座移动时的位移计算	294
习题	217	13.6 互等定理	295
第 10 章 平面应力状态分析及常用 强度理论	222	本章提要	297
10.1 应力状态的概念	222	思考题	298
10.2 平面应力状态分析	225	习题	299
10.3 主应力和主应力迹线的概念	232	第 14 章 力法	301
10.4 常用强度理论及其应用举例	238	14.1 力法的基本原理	301
本章提要	244	14.2 力法的典型方程	306
思考题	245	14.3 力法应用举例	308
习题	246	14.4 利用结构对称性简化力法计算	315
第 11 章 组合变形杆的强度计算	249	14.5 超静定结构位移计算和最后内力图 的校核	321
11.1 斜弯曲变形的应力和强度计算	250	14.6 超静定结构由支座移动和温度变化 引起的内力计算	324
11.2 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的 强度计算	253	本章提要	329
11.3 偏心压缩(拉伸)杆件应力和强度 计算	255	思考题	330
11.4 受压杆的截面核心	260	习题	330
		第 15 章 力矩分配法	334
		15.1 力矩分配法的基本原理	334

15.2 力矩分配法计算单结点超静定 结构	338	附录 A 型钢表	351
15.3 力矩分配法计算多结点超静定 结构	342	附录 B 习题参考答案	362
本章提要	347		
思考题	348	参考文献	371
习题	348		

绪 论

【教学目标】

本章学习土木工程力学的研究对象、土木工程力学的基本任务、学习土木工程力学的意义和方法。要求学生掌握土木工程结构和构件的概念，结构或构件的强度、刚度和稳定性概念；了解学习土木工程力学的意义和方法。

【教学要求】

知识要点	能力要求	相关知识
土木工程力学的研究对象	能正确认识土木工程力学的研究对象	结构和构件的概念
土木工程力学的基本任务	能明确土木工程力学的基本任务	结构或构件的强度、刚度和稳定性概念
学习土木工程力学的意义和方法	能了解土木工程力学的学习意义和学习方法	认识事物的规律、带着问题学、学以致用、实验研究和实验操作

0.1 土木工程力学的研究对象

人类为了生存和生活，改善居住条件和发展生产力，要建造各种各样的建筑物和构筑物，制造各种各样的机械。这些建筑物、构筑物和机械，除符合使用功能需要外，还要满足安全与经济的要求。因此，在对建筑物、构筑物和机械进行设计时，应进行力学分析与相应计算以保证安全，一般恰好满足力学条件的，也是经济的。因此，建筑工程及其他土木工程技术学好土木工程力学是十分重要的。

图 0.1 所示是一幢正在施工的房屋建筑中的部分柱、梁、板。这些柱、梁、板构成了建筑的主要承力、传力体系，起支撑骨架作用。工程上，把建筑物、构筑物或机械中承力、传力、起骨架作用的体系称为结构，把组成结构体系的部件称为结构的构件。

图 0.2 所示是一座拱桥。拱桥是一种构筑物。由图可以看出，拱桥主体结构由三大部



图 0.1

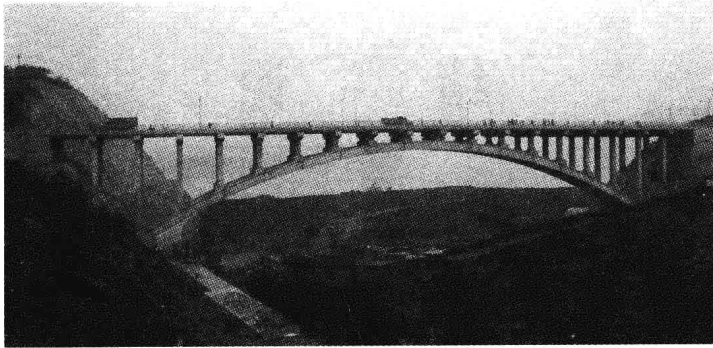


图 0.2

分组成，最下边是拱圈，中间部分是支柱，最上面部分是桥梁和桥面板。即拱圈、支柱、桥梁和桥面板组成了拱桥结构。

图 0.3 所示是某水电站的拦河闸，也是一种构筑物。拦河闸由闸底板（在水下，本图不可见）、闸墩、闸门、交通桥和工作桥等组成，这些构件和构件系统就组成了拦河闸结构。

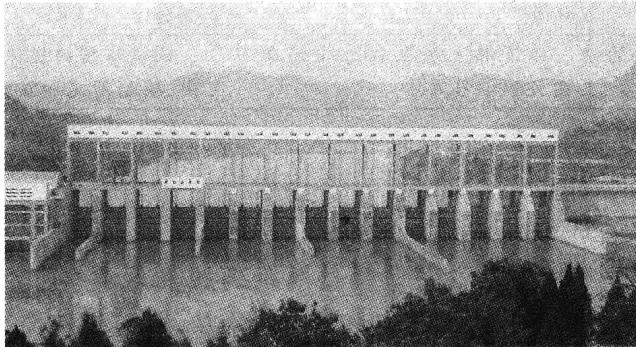


图 0.3

图 0.4 所示是某建设工地上的移动式起重机，由钢轨、支架、承重柱、起重臂、吊索和动力机械设备等构件组成。所有这些构件就组成了起重机的结构系统。



图 0.4

图 0.5 (a) 所示是建设工地上用于把货物装到运输设备中的汽车式装载机, 图 0.5 (b) 所示是建设工地上用于土方开挖的挖掘机。它们都由许多构件组成, 这些构件构成了机器的结构体系。

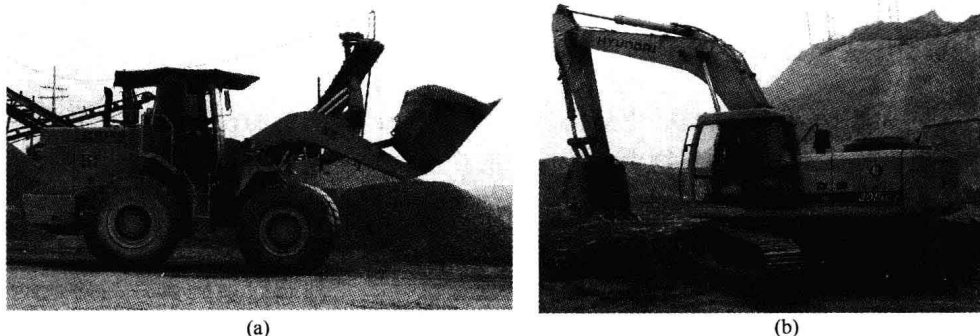


图 0.5

土木工程力学课程的主要研究对象就是建筑物、构筑物或施工机械结构系统中的杆件结构和其构件。

0.2 土木工程力学的基本任务

结构要承受和传递荷载, 就会产生变形, 并且存在着发生破坏的可能性。结构或构件本身具有一定的维持平衡、抵抗变形和抵抗破坏的能力, 从而保证了结构或构件的安全和正常使用。工程中, 把结构或构件抵抗破坏的能力称为结构的**强度**, 抵抗变形的能力称为结构的**刚度**。对于细而长的中心受压构件 (简称压杆), 当压力超过一定限度时, 它们突然地改变原来的直线平衡状态由直变弯, 丧失承载能力, 甚至因弯曲过大发生破坏。工程上把细而长的中心受压杆保持原有直线平衡状态的能力称为**稳定性**。结构体系能否维持平衡并承受荷载是与其构件之间的连接方式和所构成体系的几何组成性质有着紧密关系的。

结构或构件维持平衡的能力、强度以及压杆的稳定性统称为结构的**承载能力** (简称承载力)。结构或构件的刚度则是保证结构**正常使用能力**的。

在结构设计时, 如果把构件的截面设计得过小, 虽然可以少花钱, 但可能导致构件的强度或稳定性不够, 使结构丧失承载力。或者, 即使承载力足够不会破坏, 也可能因截面太小导致刚度过小, 使构件产生过大的变形而丧失正常使用能力。反之, 如果把构件的截面设计得过大, 又可能会使承载力和刚度远远超过了所承受荷载的需要, 造成人力、物力和财力上的浪费, 工程上称为不经济。因此必须研究构件承载力和刚度的分析计算方法。同时, 还要正确地认识和运用荷载与构件承载力之间的关系, 使两者互相适应, 设计出既安全又经济的适用结构。

因此, 土木工程力学的任务就是研究杆件结构或构件的承载力和刚度的分析计算方法, 建立结构的平衡条件、强度条件和刚度条件并运用于工程实践; 研究杆件体系的几何组成分析方法, 建立结构的构成规律并运用于工程实践, 为设计和建造体系合理、具有足够承载力和正常使用能力的结构打好理论基础。

0.3 学习土木工程力学的意义及方法

0.3.1 学习土木工程力学的意义

土建类专业工程技术人员的主要任务是将建筑物或构筑物的设计图建成实物，因此应该懂得所建造的建筑物或构筑物中各种构件的作用、知道它们会受到哪些力的作用、这些力的传递途径、各构件在这些力的作用下可能会发生怎样的变形或破坏等。这样，才能在施工时更好地理解设计人员的意图与要求，保证工程质量，避免发生质量事故。

另一方面，土木工程力学知识也是施工方案设计、工地临时设施设计与建造的必备基本知识。在施工现场中，有许多临时设施和机具，如施工临时用房、塔吊等。修建这些临时设施，安装施工机具，施工技术人员也要进行一些简单结构计算。这时，如果不懂得土木工程力学知识，不但不能经济、合理地完成工作，有时还会酿成安全事故。

在建筑施工中，因不懂力学原理造成的工程事故时有发生。例如，由于不懂得力矩平衡的道理，造成了在建阳台倾覆事故；由于不理解梁的内力分布规律，将钢筋错误配置而引起梁折断事故；在搭设施工脚手架时因不能正确运用结构体系的组成规律，少设或没设必要的支撑，使所搭脚手架发生倒塌事故等。

所以，土木工程力学知识是土建类专业设计技术人员和施工技术人员必不可少的基础知识。同时，土木工程力学知识也是学习相关专业技术课（如钢筋混凝土结构、砌体结构、地基与基础和建筑施工技术等）的必备基础。只有学习好、掌握好土木工程力学知识，并培养起逻辑而简明地思考工程结构问题的初步能力，才能进一步深入学习和掌握土建专业的其他专业技术知识。

0.3.2 学习土木工程力学的方法

力学经过数百年的发展，已经形成了一套完整的理论系统，并对很多现代学科的发展、对现代科学技术的很多方面，都产生过巨大而深远的影响。在学习土木工程力学时应该注意如下几点。

(1) 必须有“理论—实践—理论”的认知规律。即只有牢固的掌握了必要的力学理论知识，才能更好地解决工程建设中的结构问题。而通过实际工程结构问题的解决，又可以证实力学理论的正确性与适用性，或者发现其不足从而反过来进一步修正力学理论或创新力学理论。新的理论台阶又能更好地指导进一步的工程实践。

(2) 要重视基本原理的学习和应用。土木工程力学的原理和公式，是经过反复研究并证明是完全正确的基本理论，必须全面地继承和学习。在学习时应随时注意这些理论知识可以解决工程中的什么问题，主要用在哪些专业课中。只有带着问题学，学以致用，活学活用，有的放矢，才能真正学到真本领。

(3) 要重视实验原理的领会、应用和操作能力培养。在学习土木工程力学的过程中，要做一些力学试验，必须认真去学习和动手操作。土木工程力学的许多概念都是在实验的基础上发展起来的。比如要正确理解和建立构件“强度”概念，只有通过材料的强度试验，才能真正体会到强度的含义，建立起正确的强度概念，从而为以后在工程实际中注意

构件的强度问题，确保建筑物的安全打下基础。此外，还要随时注意观测发生在我们周围的力学现象，试着用学到的力学理论去解释，设计简单的力学实验或试验去证实，也能不断提高自己的力学素养。

(4) 必须完成足够数量的练习题。要学好土木工程力学，必须完成足够数量的练习题，包括思考题和习题。做练习题是低成本的、最好的实践。只有通过足够数量练习题的训练，才能够理解和领悟力学的奥妙，为以后各种专业课程的学习奠定一个扎实的基础。

伟大的爱因斯坦说过：“一切方法的背后如果没有一种生气勃勃的精神，它们到头来都不过是笨拙的工具”。只要有了明确的学习目标，就会产生强大的学习动力，并不断地去奋斗和追求，探索到适合自己的学习方法，到达希望的彼岸。

第 1 章 力学基本概念及物体受力分析

【教学目标】

本章学习力学基本概念及物体受力分析，主要有力、力偶、静力学公理、刚体、荷载、约束与约束反力、工程中常见的几种约束的特点及其约束反力特征、物体的受力分析方法、受力图的画法等基本内容。

要求学生掌握力学基本概念，如静力学公理、力的平移定理、力偶、刚体等；了解荷载分类；掌握工程中常见的约束种类和相应的约束反力；掌握受力分析的方法，能正确画出物体和物体系统的受力图。

【教学要求】

知识要点	能力要求	相关知识
力学的基本概念	(1) 具有应用静力学基本公理和力的平移定理分析力学简单问题的能力 (2) 能够正确判定力和力偶的不同性质和作用效果	(1) 力的概念、力的三要素、力的单位、力的图示法和力的基本单位换算 (2) 静力学的四个公理和两个推论 (3) 力偶的概念、力偶的基本性质和力偶矩的计算
荷载的分类和简化	(1) 能合理对工程中的荷载进行正确分类 (2) 能对工程中的荷载进行正确简化 (3) 能正确计算各种荷载大小	(1) 荷载计算规范 (2) 工程中荷载的种类 (3) 荷载简化的方法和步骤
约束类型及其约束反力	(1) 熟悉建筑工程中常见的各种约束 (2) 能合理确定工程中约束反力的特性和个数 (3) 能够为工程中的建筑结构选用适当的约束类型	(1) 约束的基本概念 (2) 工程中常见约束的种类 (3) 约束反力的确定步骤和方法 (4) 实际工程约束向计算简图转化的简化方法
物体的受力图	(1) 能正确绘制单个物体的受力图 (2) 能正确绘制物体系统的受力图 (2) 能准确分析物体间力的传递关系	(1) 绘制物体受力图的理论依据、基本方法及步骤 (2) 绘制单个物体受力图的方法步骤 (3) 绘制物体系统受力图的方法步骤

1.1 力学的基本概念

1.1.1 力与刚体的概念

1. 力的概念

1) 什么是力

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态或形状发生改变。

力是人们在长期生活实践和生产劳动中逐渐形成的一个力学基本概念。人们观察到物体与物体之间的相互作用，会使物体产生运动状态的改变与变形。如推、拉、挑物体时，由于肌肉紧张，能够感到对物体施加了力，而使物体运动状态发生变化，自高空落下的物体由于受到地球引力的作用而改变着运动的速度，桥梁受到车辆的作用而产生变形。这种作用称为机械作用，以区别于其他的相互作用（如热的、电磁的、化学的或生物的作用）。机车牵引车厢的拉力、直接接触物体之间的压力、摩擦力等都是物体相互机械作用。因为力是物体之间的相互作用，所以力不能脱离物体而单独存在。

力对物体作用的效果称为力的效应。物体受力后将产生两种效应，一种是运动状态的改变；另一种是变形，即形状或体积的改变。前者称为力的运动效应或外效应，后者称为力对物体的变形效应或内效应。

力的运动效应又可分为移动效应和转动效应。例如，球拍作用于乒乓球上的力，足球运动员的脚作用于足球上的力，这两个力如果不分别通过乒乓球和足球的球心，则乒乓球和足球在向前运动的同时还绕乒乓球和足球的球心转动。前者为移动效应，后者为转动效应。

力的运动效应或外效应是本书前三章主要研究的内容，属于静力学的范畴；力的变形效应或内效应在本书中从第四章起开始研究，属于材料力学和结构力学的范畴。

2) 力的三要素

实践表明，不同大小，不同方向，施加于物体上不同位置的力对物体将产生不同的效应。因此，力对物体的效应取决于下面三个要素：

- (1) 力的大小；
- (2) 力的方向；
- (3) 力的作用点。

这三个要素通常称为力的三要素。其中任何一个要素发生改变时，力的作用效应也随之改变。

力的方向通常包括力的方位和力的指向两方面的含义。例如，重力的方向是竖直向下，推力方向是水平向右，拉力方向是与水平方向成 30° 角斜向右上方。其中的“竖直”“水平”“与水平方向成 30° 角”表示的是力的方位，“向下”“向右”“斜向右上方”表示的是力的指向。

力的作用点就是力在物体上的作用位置。实际上，力的作用位置并不是一个点，而是一个范围，有一定的面积，不过当作用范围相对于物体很小时，可以近似看成为一个点。

3) 力的单位

为了度量力的大小，必须确定其度量单位。在国际单位制（SI）中，力的单位为牛[顿]（N）或千牛[顿]（kN）。两者间的换算公式为： $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

4) 力的图示法

由于力是一个有大小和方向的量，所以力是矢量。力的图示就是要通过图形把力的三要素表示清楚。通常用一个带箭头的线段表示力，如图 1.1 所示，线段的长度 AB 按一定的比例表示力的大小；线段的方位（与水平线成 α 角）和箭头的指向表示力的方位和指向，即力的方向；线段的起点或终点表示力的作用点。

通过力的作用点沿力的方位的直线，图 1.1 所示的 KL ，称为力的作用线。一般规