



浙江省“十一五”重点建设教材

工程力学

(第二版)

高 健 主编



科学出版社

浙江省“十一五”重点建设教材

工 程 力 学

(第二版)

高	健	主	编
张	廉	李	颖
范	钦	蔡	新
珊		主	审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本教材内容涵盖了原理论力学的静力学、材料力学和结构力学的主要内容,包括:绪论、工程力学基础、平面力系的简化·平衡方程,平面图形的几何性质,杆件的内力分析,轴向拉伸和压缩的强度计算,扭转的强度和刚度计算、梁的强度和刚度计算、二向应力状态下的强度条件——强度理论、杆件在组合变形下的强度计算、压杆的稳定计算,平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、用力法计算超静定结构、位移法和力矩分配法、影响线及其应用、平面结构计算机程序分析,结构动力分析简介。每章都配有本章学习目标、思考题和习题,并附有习题参考答案。带*号部分为不同专业选修内容。

本教材可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、本科院校的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的水利水电类、土建类、道桥、市政等专业的教材,以及专升本考前复习、自学辅导用书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/高健主编. —2版. —北京:科学出版社,2010

浙江省“十一五”重点建设教材

ISBN 978-7-03-029801-0

I. ①工… II. ①高… III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 250375 号

责任编辑:何舒民 艾冬冬/责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年1月第 二 版 印张:26 1/2

2011年1月第一次印刷 字数:510 000

印数:1—3 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部门电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137154 (VA03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第二版前言

本书是在第一版的基础上,依据高职高专土建类和水利水电类各专业力学课程教学基本要求进行编写、修订的。

第一版《工程力学》教材已列入浙江省重点教材,经过8个轮次的使用,5次印刷,用量超过2万册。根据“有所为,有所不为”的原则,本次修订继续保持第一版教材的特色,进一步精选传统内容,突出工程应用,注重职业技能素养和创新能力及可持续发展能力的培养;进一步注意内容的深入浅出、通俗易懂,体现理论与实践的统一,教学做练一体化。为了帮助学生学习和加深理解以及方便教师备课和授课,与课程教材配套出版了《工程力学复习与训练》、《工程力学实验指导》和提供了课堂教学使用的电子教案及丰富的网络教学资源等(工程力学精品课程网站为全国水工教指委精品课程和浙江省级精品课程网站:<http://gclx.jpkc.cc/>),便于教与学。

为了更好地适应当前高职高专的发展需要和教学要求,本书采用模块式和贯通式相结合的方式编写,对原教材的结构体系和内容作了较大的调整和增减,兼顾土建类和水利水电类各专业的不同需要,各专业可根据培养目标的要求选择若干相关模块组织教学。修订工作主要体现在如下几个方面:

1. 将原教材大部分内容进行了改写,使之更便于教与学,并调整组合为18章,增加“结构动力分析简介”一章。内容包括:绪论,工程力学基础,平面力系的简化·平衡方程,平面图形的几何性质,杆件的内力分析,轴向拉伸和压缩的强度计算,扭转的强度和刚度计算,梁的强度和刚度计算,二向应力状态下的强度条件——强度理论,杆件在组合变形下的强度计算,压杆的稳定计算,平面体系的几何组成分析,静定结构的内力计算,静定结构的位移计算,用力法计算超静定结构,位移法和力矩分配法,影响线及其应用,平面结构计算机程序分析,结构动力分析简介。每章都配有本章学习目标、思考题和习题,并附有习题参考答案,带*号部分为不同专业选修内容。

2. 为便于学生更好地掌握学习内容,在每章前增加了本章学习目标;为加强基本内容的掌握和训练,对章节中部分例题及习题进行了调整。

3. 将原教材的第4章“空间力系”删除;将第9章“平面图形的几何性质”放在第4章,并将“物体的重心”一节放在第4章中讲解;删除原教材的第20章矩阵位移法,增加了“平面结构计算机程序分析”一章,分析软件采用清华大学袁驷教授研制的结构力学求解器,要求学生能使用该软件求解二维平面结构(体系)的几何组成、静定、超静定、位移、内力、影响线等内容。

4. 将原教材的“静定结构的内力计算”中“三铰拱”一节作为选修内容。

5. 将原教材的“应力状态”合并到“弯曲强度计算”,为“梁的强度和刚度计算”。

6. 将原教材的“位移法”与“力矩分配法”合并为“位移法和力矩分配法”。

7. 为培养创新型人才,结合我省大学生结构设计竞赛,增加了平面结构计算机程序分



析、结构动力分析简介。

8. 按有关标准、规范的要求，统一全书的符号、名词和术语。

这是一本满足土建类和水利水电类专业高职高专学生现状、就业现状，理论知识够用为度，侧重实际工程实用的《工程力学》教材，适应当前的教改要求；同时，它也是我们多年教学改革成果的重要体现：浙江水利水电专科学校《工程力学》课程为浙江省精品课程，《工程力学》教材被列为浙江省高等教育重点建设教材，“基于工学结合平台的建工专业体系和教学内容的改革与实践”为浙江省新世纪教改项目，“《工程力学》创新教学的探索与实践”获浙江省教学成果二等奖。

本书由浙江水利水电专科学校高健担任主编，张廉、李颖担任副主编，刘明晖、田乐松、刘送丽、陈建兰、富春伟、方旭慧等参加了编写工作。

本教材承蒙首届国家级教学名师、清华大学博士生导师范钦珊教授，河海大学、南京水利科学研究院博士生导师蔡新教授主审，他们对本教材内容的正确性、合理性、实用性作全面审定，在此深表感谢！在此还要感谢对本教材编写过程中给予大力支持与帮助的教师和同行们。

本教材可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、本科院校的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的土建类、水利水电类、道桥、市政等专业的首选教材，如建筑工程技术、建筑工程施工、工程监理、地下与隧道工程技术，基础工程技术、水利水电建筑工程、水利工程、水利工程施工、测量、农田水利、道路桥涵、市政工程、工程管理、工程造价等专业及相关专业，以及专升本考前复习、自学辅导用书，也可作为有关工程技术人员的参考用书。

鉴于编者水平有限，本书难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2010年9月

于杭州

第一版前言

本书依照高职高专水利水电工程、水利工程、水利工程施工、农田水利、工业与民用建筑、道路桥涵等水利、土木建筑类专业教学计划和有关课程教学基本要求编写。本书贯彻高职高专技术教育改革精神,突出高职高专教育特点,以能力素质的培养为指导思想,不过分强调理论的系统性,着重基本概念和结论的应用,叙述简练通俗,例题典型,结合工程实际,重视对学生工程意识和力学素养的训练和培养。

本书分为工程静力学(包括物体的受力分析、力系的简化与平衡、结构的组成规律、静定结构的内力分析等)、杆件的承载能力计算(包括基本变形杆件的内力分析和强度、刚度计算,压杆稳定和组合变形杆件的强度、刚度计算)和结构的内力分析(包括研究静定结构的位移计算和求解超静定结构内力的基本方法)3个部分,各部分内容相互协调,减少不必要的重复。概括介绍力学基本原理,重点介绍基本计算方法,结构分析的计算机方法,以提高学生分析和处理工程实际问题的能力。本教材共分为20章,每章都附有一定数量的思考题和习题,以助于学生学习掌握有关知识。带*号部分为不同专业选修内容。

本书被列为浙江省高等学校重点建设教材(浙教高教[2004]34号),得到省教委及浙江水利水电专科学校领导的大力支持与帮助,在此深表谢意!

本书承蒙河海大学土木学院力学系博士生导师王德信教授主审,主要对本教材内容的正确性、合理性、实用性作全面审定。本书在编写过程中还得到许多导师和同行的大力支持与帮助,在此深表谢意!在这里特别要感谢浙江水利水电专科学校土木工程系方荣、李颖、赖华伟等教师在编写过程中的大力支持和帮助。

由于编著水平有限,本书难免有不妥和错误之处,恳切希望读者予以批评指正。

编著者

2005年1月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1-1 工程力学的研究对象和任务	1
1-1-1 工程力学的研究对象	1
1-1-2 工程力学的任务	2
1-1-3 工程力学的主要研究方法	3
1-2 荷载的分类与组合	4
1-2-1 荷载的分类	4
1-2-2 荷载的组合	6
1-3 变形固体及其基本假定	7
1-4 杆件的几何特性与基本变形形式	7
1-4-1 杆件的几何特性	8
1-4-2 杆件的基本变形形式	8
思考题	9
第 2 章 工程力学基础	10
2-1 力的基本性质	10
2-1-1 基本概念	10
2-1-2 力的基本性质	11
2-2 力在坐标轴上的投影	16
2-2-1 力在平面直角坐标轴上的投影	16
2-2-2 合力投影定理	17
2-3 力矩	18
2-3-1 力矩的基本概念	18
2-3-2 合力矩定理	21
2-3-3 力矩的平衡	21
2-4 力偶	22
2-4-1 力偶的概念	22
2-4-2 力偶的性质	23
2-5 力的平移定理	24
2-6 约束与约束反力	26
2-7 物体的受力分析与受力图	31



2-8	结构计算简图	35
2-8-1	结构计算简图	35
2-8-2	杆系结构的分类	38
	思考题与习题	40
	习题参考答案	45
第3章	平面力系的简化 平衡方程	46
3-1	平面力系的简化	46
3-1-1	力系等效与简化的概念	46
3-1-2	平面汇交力系的简化	47
3-1-3	平面力偶系的简化	49
3-1-4	平面一般力系的简化	50
3-2	平面一般力系的平衡	53
3-2-1	平面一般力系的平衡条件与平衡方程	53
3-2-2	几种特殊平面力系的平衡方程	56
3-3	简单刚体系统的平衡问题	59
3-3-1	刚体系统静定与静不定的概念	60
3-3-2	刚体系统的平衡问题的特点与解法	60
3-4	考虑摩擦时物体的平衡	65
3-4-1	滑动摩擦	65
3-4-2	考虑摩擦时物体的平衡	66
* 3-4-3	摩擦角和自锁	69
	思考题与习题	70
	习题参考答案	74
第4章	平面图形的几何性质	75
4-1	物体的重心	75
4-1-1	一般物体重心的坐标公式	75
4-1-2	均质薄板物体的重心坐标公式	75
4-1-3	平面图形的形心计算	76
4-2	面积矩	79
4-2-1	定义	79
4-2-2	面积矩与形心位置坐标的关系	79
4-2-3	面积矩的计算	79
4-3	惯性矩和惯性积	80
4-3-1	惯性矩	80
4-3-2	惯性积	80
4-3-3	简单图形对形心轴的惯性矩	81
4-4	组合截面的惯性矩	82



4-4-1 平行移轴公式	82
4-4-2 组合截面的惯性矩	82
4-5 主惯性轴和主惯性矩	85
4-5-1 主惯性轴	85
4-5-2 主惯性矩	85
思考题与习题	85
习题参考答案	87
第 5 章 杆件的内力分析	88
5-1 杆件的基本变形及其特点	88
5-1-1 轴向拉伸与压缩	88
5-1-2 剪切	89
5-1-3 扭转	89
5-1-4 平面弯曲	90
5-2 内力及其截面法	91
5-2-1 内力的概念	91
5-2-2 截面法	91
5-3 轴向拉伸和压缩杆件的内力分析	92
5-3-1 轴力的计算	92
5-3-2 轴力图	93
5-4 扭转轴的内力分析	96
5-4-1 功率、转速与外力偶矩之间的关系	96
5-4-2 扭矩、扭矩图	96
5-5 梁的内力分析	98
5-5-1 梁的内力	98
5-5-2 剪力图和弯矩图	101
5-5-3 弯矩、剪力和载荷集度间的关系及其应用	104
5-5-4 用叠加法绘弯矩图	108
思考题与习题	112
习题参考答案	115
第 6 章 轴向拉伸和压缩的强度计算	117
6-1 应力的概念	117
6-1-1 应力	117
6-1-2 变形和应变	118
6-2 轴向拉伸和压缩杆件横截面上的应力	119
6-2-1 轴向拉(压)杆横截面上的应力	119
6-2-2 斜截面上的应力	121
6-3 拉(压)杆件的变形	122



6-3-1	轴向变形——胡克定律	122
6-3-2	横向应变	123
6-4	材料在拉伸和压缩时的力学性质	127
6-4-1	材料在拉伸时的力学性质	127
6-4-2	材料在压缩时的力学性质	131
6-4-3	塑性材料和脆性材料的比较	134
6-5	拉（压）杆的强度计算	135
6-5-1	许用应力和安全系数	135
6-5-2	拉（压）杆的强度计算	136
6-6	应力集中的概念	138
6-7	联结件的强度计算	140
6-7-1	剪切的概念及工程实例	140
6-7-2	剪切的实用计算	141
6-7-3	挤压的实用计算	142
6-7-4	实用举例	143
	思考题与习题	145
	习题参考答案	148
	第 7 章 扭转的强度和刚度计算	149
7-1	圆杆扭转时的应力与变形计算	149
7-1-1	横截面上的应力	149
7-1-2	极惯性矩和扭转截面系数的计算	152
7-1-3	圆杆扭转时的变形	154
7-1-4	切应力互等定理 剪切胡克定律	155
7-2	圆轴扭转时的强度和刚度计算	157
7-2-1	圆轴扭转时的强度计算	157
7-2-2	圆轴扭转时的刚度计算	157
* 7-3	矩形截面等直杆在自由扭转时的应力与变形	159
	思考题与习题	161
	习题参考答案	163
	第 8 章 梁的强度和刚度计算	164
8-1	梁横截面上的正应力	165
8-1-1	试验观察与分析	165
8-1-2	正应力计算公式	166
8-1-3	正应力公式的使用条件	169
8-2	梁横截面上的切应力	170
8-2-1	矩形截面梁横截面上的切应力	170
8-2-2	其他截面梁的切应力	171



8-3	梁的强度计算	173
8-3-1	最大应力	173
8-3-2	梁的强度条件	174
8-3-3	提高梁弯曲强度的措施	180
8-4	梁的主应力和主应力迹线	182
8-4-1	应力状态的概念	182
8-4-2	梁上任一点应力状态的分析	183
8-4-3	梁内主应力及主应力迹线	186
8-5	二向应力状态下的强度条件——强度理论	189
8-5-1	最大拉应力理论 (第一强度理论)	190
8-5-2	最大拉应变理论 (第二强度理论)	190
8-5-3	最大切应力理论 (第三强度理论)	190
8-5-4	形状改变比能理论 (第四强度理论)	191
8-6	弯曲中心的概念	194
8-7	梁的变形和刚度计算	196
8-7-1	挠度和转角	196
8-7-2	梁的挠曲线近似微分方程	196
8-7-3	积分法计算梁的位移	197
8-7-4	叠加法求挠度和转角	198
8-7-5	梁的刚度校核	200
	思考题与习题	201
	习题参考答案	206
第 9 章	杆件在组合变形下的强度计算	208
9-1	概述	208
9-2	斜弯曲	209
9-2-1	外力分析	210
9-2-2	内力分析	210
9-2-3	应力分析	210
9-2-4	强度计算	211
9-2-5	挠度计算	211
9-3	拉伸 (压缩) 与弯曲的组合	212
9-3-1	外力和内力分析	213
9-3-2	应力分析	213
9-3-3	强度计算	213
9-4	偏心压缩 (拉伸)	214
9-4-1	偏心压缩 (拉伸) 时的强度计算	214
9-4-2	截面核心	216



思考题与习题	218
习题参考答案	220
第 10 章 压杆的稳定计算	221
10-1 概述	221
10-1-1 工程中的稳定问题	221
10-1-2 压杆的稳定平衡与不稳定平衡	222
10-2 细长中心压杆的临界力	223
10-2-1 两端铰支细长压杆	223
10-2-2 其他支承形式压杆的临界力	224
10-3 超过比例极限时压杆的临界应力、临界应力总图	226
10-3-1 临界应力	226
10-3-2 欧拉公式的适用范围	227
10-3-3 超出比例极限时压杆的临界应力	227
10-4 压杆的稳定计算	229
10-4-1 稳定条件	229
10-4-2 压杆的稳定计算	232
10-5 提高压杆稳定性的措施	234
10-5-1 选择合适的截面形式	234
10-5-2 减小压杆长度和增加杆端约束	234
10-5-3 合理选择材料	234
思考题与习题	235
习题参考答案	237
第 11 章 平面体系的几何组成分析	238
11-1 几何组成分析的目的	238
11-2 体系自由度、刚片和约束	239
11-2-1 自由度	239
11-2-2 刚片	239
11-2-3 约束	239
11-3 几何不变体系的组成法则	241
11-3-1 二元体规则	241
11-3-2 两刚片规则	241
11-3-3 三刚片规则	242
11-3-4 瞬变体系	242
11-4 几何组成分析示例	244
11-5 几何组成与静定性的关系	245
思考题与习题	246
习题参考答案	247



第 12 章 静定结构的内力计算	248
12-1 静定结构的一般分析方法	248
12-2 多跨静定梁	250
12-2-1 多跨静定梁的特点	250
12-2-2 多跨静定梁的内力分析及内力图绘制	251
12-3 静定平面刚架	254
12-4 静定平面桁架	260
12-4-1 静定平面桁架的一般概念	260
12-4-2 静定平面桁架的内力计算	261
12-4-3 零杆判别	263
12-4-4 用截面法求特殊桁架内力	264
12-5 静定组合结构	265
12-6 三铰拱	266
12-6-1 概述	266
12-6-2 三铰拱的计算	268
12-6-3 拱的合理轴线	272
12-6-4 三铰拱的性质	274
12-7 静定结构的特性	274
思考题与习题	277
习题参考答案	279
第 13 章 静定结构的位移计算	281
13-1 概述	281
13-1-1 结构位移的概念	281
13-1-2 结构位移计算的目的	282
13-2 功、广义力和广义位移	282
13-2-1 功的概念	282
13-2-2 实功	283
13-2-3 虚功	283
13-2-4 外力虚功与内力虚功	284
13-3 结构位移计算的一般公式	284
13-3-1 虚功原理	284
13-3-2 利用虚功原理计算结构位移	285
13-4 静定结构由于荷载引起的位移计算	287
13-5 图乘法	289
13-5-1 图乘法公式推导	289
13-5-2 图乘法注意事项	290
13-6 支座移动和温度改变引起的静定结构的位移	294



13-6-1	支座移动引起的静定结构的位移	294
13-6-2	温度改变引起的静定结构的位移	295
13-7	线弹性体系的互等定理	297
13-7-1	虚功互等定理	297
13-7-2	位移互等定理	298
13-7-3	反力互等定理	298
	思考题与习题	299
	习题参考答案	302
第 14 章 用力法计算超静定结构		303
14-1	超静定结构概述	303
14-1-1	超静定结构的概念	303
14-1-2	超静定次数的确定	305
14-2	力法基本原理	306
14-3	力法的基本未知量、基本系和典型方程	307
14-3-1	基本未知量	307
14-3-2	基本系	308
14-3-3	典型方程	308
14-4	力法计算超静定结构举例	310
14-5	对称性的利用	314
14-5-1	对称结构	314
14-5-2	一般荷载分解为正对称荷载和反对称荷载	316
14-5-3	半结构法	316
14-6	超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	319
14-6-1	超静定结构的位移计算	319
14-6-2	最后内力图校核	320
	思考题与习题	321
	习题参考答案	322
第 15 章 位移法和力矩分配法		324
15-1	位移法的基本概念	324
15-2	位移法的基本未知数和基本结构	328
15-3	单跨超静定梁的形常数及载常数	330
15-4	位移法的典型方程和计算示例	333
15-4-1	位移法的典型方程	333
15-4-2	计算示例	335
15-5	等截面直杆的转角位移方程	337
15-6	应用转角位移方程计算超静定结构	339
15-7	力矩分配法的基本概念	341



15-8	用力矩分配法计算连续梁和结点无线位移的刚架	347
15-9	对称性的利用	352
	思考题与习题	356
	习题参考答案	359
第 16 章	影响线及其应用	360
16-1	概述	360
16-1-1	工程中提出的问题	360
16-1-2	影响线的概念	361
16-2	静力法绘制单跨静定梁影响线	362
16-2-1	简支梁的影响线	362
16-2-2	外伸梁的影响线	365
16-3	影响线的应用	367
16-3-1	利用影响线求结构的反力和内力	367
16-3-2	利用影响线确定最不利荷载的位置	369
16-4	简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	372
16-4-1	简支梁的内力包络图	372
16-4-2	简支梁的绝对最大弯矩	374
16-5	连续梁的内力包络图	376
16-5-1	绘制弯矩包络图	377
16-5-2	绘制剪力包络图	378
	思考题与习题	379
	习题参考答案	381
第 17 章	平面结构计算机程序分析	382
17-1	在求解器中输入平面结构体系	383
17-2	用求解器进行平面体系的几何构造分析	385
17-3	用求解器求解一般静定结构	387
17-4	用求解器确定截面单杆	389
17-5	用求解器进行位移计算	390
17-6	用求解器进行力法计算	391
17-7	用求解器计算结构的影响线	393
	思考题与习题	395
	习题参考答案	397
* 第 18 章	结构动力分析简介	398
18-1	结构动力计算的基本任务	398
18-2	结构动力计算的基本原理	398
18-3	体系振动的自由度	399



18-4 单自由度体系的自由振动和受迫振动	400
18-4-1 单自由度体系的自由振动	400
18-4-2 单自由度体系的受迫振动	403
思考题与习题	406
习题参考答案	407
主要参考文献	408



学习目标

通过本章学习，了解工程力学的研究对象和任务，荷载的分类；初步掌握强度、刚度和稳定性的概念；掌握刚体、变形固体的概念及其基本假设，掌握杆件的几何特性与基本变形形式。

工程力学是土建、水利类专业课程体系中最重要专业基础课之一，无论是从事设计还是施工、建设监理等各种土建、水利专业技术工作，都离不开工程力学知识。工程力学知识是每一个从事土建、水利专业工作的技术人员必须具备的基本素质。

1-1 工程力学的研究对象和任务

1-1-1 工程力学的研究对象

工程力学是研究工程结构的受力分析、承载能力的基本原理和方法的科学。它是土木、水利等工程技术人员从事结构设计和施工所必须具备的理论基础。

在水利建设、房屋建筑和道路桥梁等各种工程的设计和施工中都涉及工程力学问题。为了承受一定荷载以满足各种使用要求，需要建造不同的建筑物。例如，水利工程中的水闸、水坝、水电站、渡槽、桥梁、隧洞等；土木建筑工程中的桥梁、水坝、电视塔、隧道和房屋等。建筑物中承受荷载并起到骨架作用的部分称为结构，组成结构的各单独部分称为构件。结构是由若干构件按一定方式组合而成的。例如，工业厂房建筑一般是由屋架、梁、柱、基础等组成的体系，如图 1-1 所示，它们在传力过程中起骨架作用，这个体系称为厂房结构。

工程中一般结构按宏观尺寸区分为：

- 1) 杆系结构。结构中构件的 3 个方向尺寸中某一方向的尺寸较其他两个方向的尺寸大得多的称杆系结构，如图 1-2 (a) 中 $l \geq b$ 与 h 的构件。
- 2) 板、壳结构。结构中构件的 3 个方向尺寸中某一方向的尺寸（如厚度）较其他两个方向的尺寸小得多的称板（无曲率变化）、壳（有曲率变化）