



教育部高职高专规划教材

工程力学

汪 菁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

工 程 力 学

汪 菁 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/汪菁主编. —北京:化学工业出版社,
2004.7

教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-5742-3

I. 工… II. 汪… III. 工程力学-高等学校:技术
学院-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 053393 号

教育部高职高专规划教材

工 程 力 学

汪 菁 主编

责任编辑:王文峡

文字编辑:张燕文

责任校对:李 林

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 330 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5742-3/G · 1512

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

高职高专土建类教材 编审委员会

主任委员

吴大炜

副主任委员

张保善 苏 炜 于宗保

委 员

(按姓氏汉语拼音排序)

蔡丽朋	程绪楷	代学玲	何世玲	胡义红
蒋红焰	李九宏	李 琦	李 璞	吕宣照
苏 炜	孙海粟	孙加保	汪 绯	汪 菁
王付全	吴大炜	吴寿煜	于宗保	张保善
张雷顺	张兴昌	周建郑		

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是教育部高职高专规划教材，依据高职高专工程力学课程教学基本要求编写。适合作为高职高专土建类专业 80 学时左右的工程力学课程的教学用书，也可作为有关工程技术人员的参考资料。

本书结合高职高专培养应用型人才的特点，汲取了近些年高职高专教育改革成果与经验，精选传统内容，体现了少而精的原则。重视对基本理论与基本概念的阐述，对基本知识的掌握和对基本技能、技巧的培养。

本书涵盖了理论力学、材料力学课程的主要内容，加强了教材体系的整体性，突出教材各部分内容的内在联系。包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系、材料力学的一般概念、杆件的内力分析、杆件基本变形时的应力与强度计算、杆件基本变形时的变形与刚度计算、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定。每章有提要、小结、思考题、习题及参考答案。

参加编写工作的有：汪菁（编写绪论、第六、七、九、十章）；李琦（编写第一、二章）；李瑛（编写第三、五、十一章）；吴寿煜（编写第四、八章）。本书由汪菁主编并统稿。

本书由张雷顺教授主审，他提出了宝贵的意见，特表示衷心的感谢。在本书编写过程中，有关同行提出了很好的意见和建议，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在缺点和错误，殷切希望同行和读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材,依据教育部高职高专教育工程力学课程教学基本要求编写而成。包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系、材料力学的一般概念、杆件的内力分析、杆件基本变形时的应力与强度计算、杆件基本变形时的变形与刚度计算、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定,共11章。每章有提要、小结、思考题、习题及参考答案。本书精选静力学与材料力学的传统内容,使之融会贯通,自成体系。根据高职高专应用型人才培养的要求,教材侧重于基本概念和工程应用。

本书为高职高专和成人高校土建类和近土建类各专业的力学课程教材,也可供相关的工程技术人员参考。

目 录

绪论	1
第一节 工程力学的任务	1
第二节 工程力学的研究和学习方法	2
一、研究方法	2
二、学习方法	2
思考题	3
第一章 静力学基础	4
第一节 力和刚体	4
一、力的概念	4
二、刚体与质点	5
第二节 基本公理	5
一、二力平衡公理	6
二、加减平衡力系公理	6
三、力的平行四边形法则	7
四、三力平衡汇交定理	7
五、作用和反作用公理	8
第三节 约束与约束力	8
一、概念	8
二、工程中常见的约束和约束力	9
第四节 物体的受力分析和受力图	11
小结	13
思考题	13
习题	14
第二章 平面汇交力系	16
第一节 合成的几何法与平衡的几何条件	16
一、合成的几何法	16
二、平衡的几何条件	18
第二节 力的分解	20
第三节 力在轴上的投影与合力投影定理	21
一、力在轴上的投影	21
二、合力投影定理	22
第四节 合成的解析法与平衡的解析条件	22
一、合成的解析法	22

二、平衡的解析条件	24
小结	26
思考题	27
习题	28
第三章 力矩与平面力偶系	31
第一节 力对点的矩	31
一、力矩的概念	31
二、合力矩定理	33
第二节 力偶与力偶矩	34
第三节 平面力偶系的合成与平衡	36
一、合成	36
二、平衡条件	36
第四节 力的平移定理	38
小结	39
思考题	39
习题	40
第四章 平面一般力系	43
第一节 力系的简化	43
一、向平面内已知点的简化	43
二、简化结果的讨论	45
第二节 平衡方程及其应用	47
一、平面一般力系的平衡方程	47
二、特殊力系的平衡方程	48
第三节 静定与超静定问题	53
第四节 物体系统的平衡	54
第五节 空间力系简介	58
一、力在空间直角坐标轴上的投影	59
二、力对轴的矩	60
三、平衡条件	61
小结	62
思考题	63
习题	65
第五章 材料力学的一般概念	69
第一节 研究对象	69
一、结构与构件	69
二、计算简图的概念	69
第二节 荷载的分类	70
第三节 变形固体与基本假定	71
第四节 内力与应力	72
一、内力	72

二、截面法	72
三、应力	73
第五节 变形与位移	73
一、变形	73
二、位移	74
第六节 杆件变形的基本形式	74
一、杆件	74
二、变形的基本形式	74
小结	75
思考题	76
第六章 杆件的内力分析	77
第一节 杆件轴向拉(压)时的内力	77
一、轴向拉伸与压缩的概念	77
二、轴力与轴力图	78
第二节 杆件扭转时的内力	81
一、扭转的概念	81
二、外力偶矩的计算	82
三、扭矩与扭矩图	82
第三节 杆件弯曲时的内力	83
一、平面弯曲的概念	83
二、剪力与弯矩	85
三、剪力图与弯矩图	87
小结	92
思考题	93
习题	94
第七章 杆件基本变形时的应力与强度计算	97
第一节 材料拉(压)时的力学性能	97
一、材料的拉伸和压缩试验	97
二、低碳钢在拉伸时的力学性能	98
三、其他塑性材料在拉伸时的力学性能	100
四、铸铁在拉伸时的力学性能	100
五、材料在压缩时的力学性能	101
六、常用材料的力学性能比较	102
七、许用应力与安全系数	102
第二节 轴向拉(压)杆的应力与强度计算	103
一、横截面上的应力	103
二、斜截面上的应力	104
三、强度计算	105
四、应力集中的概念	107
第三节 扭转轴的应力与强度计算	107

一、切应力互等定理与剪切胡克定律·····	107
二、横截面上的应力·····	108
三、强度计算·····	111
第四节 平面弯曲梁的应力与强度计算·····	112
一、截面的几何性质·····	112
二、横截面上的正应力·····	118
三、横截面上的切应力·····	121
四、强度计算·····	122
五、提高弯曲强度的主要措施·····	125
小结·····	126
思考题·····	127
习题·····	128
第八章 杆件基本变形时的变形与刚度计算·····	132
第一节 轴向拉(压)杆的变形与胡克定律·····	132
一、纵向变形·····	132
二、横向变形系数·····	133
三、胡克定律·····	133
四、简单的拉(压)超静定问题·····	134
第二节 扭转轴的变形与刚度计算·····	137
一、变形·····	137
二、刚度计算·····	137
三、矩形截面构件的扭转·····	138
第三节 平面弯曲梁的变形与刚度计算·····	139
一、梁的挠曲线近似微分方程·····	139
二、用积分法求梁的变形·····	140
三、用叠加法求梁的变形·····	144
四、梁的刚度计算·····	145
五、简单超静定梁的计算·····	146
小结·····	147
思考题·····	148
习题·····	148
第九章 应力状态和强度理论·····	151
第一节 应力状态的概念·····	151
一、一点处的应力状态·····	151
二、表示方法·····	151
三、分类·····	152
第二节 平面应力状态分析·····	153
一、解析法·····	153
二、图解法——应力圆法·····	156
第三节 三向应力状态的最大应力与广义胡克定律·····	159

一、三向应力状态的最大应力	159
二、广义胡克定律	160
第四节 强度理论	161
一、概念	161
二、常见的几种强度理论	162
三、选用原则	163
四、应用	164
小结	166
思考题	168
习题	168
第十章 组合变形	171
第一节 概念	171
第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合	172
一、在轴向力和横向力共同作用下的杆件	172
二、偏心拉伸(压缩)	173
第三节 斜弯曲	175
第四节 扭转与弯曲的组合	176
小结	178
思考题	178
习题	179
第十一章 压杆稳定	181
第一节 概念	181
第二节 临界力与临界应力	182
一、两端铰支理想压杆的临界力	182
二、其他杆端约束下理想压杆的临界力	182
三、压杆的临界应力	183
四、欧拉公式的适用范围	183
五、临界应力总图	184
第三节 稳定计算	185
一、压杆的稳定计算	185
二、提高压杆稳定性的措施	187
小结	187
思考题	188
习题	189
附录一 型钢规格表	190
附录二 部分习题参考答案	201
参考文献	206

绪

论

提
要

本章介绍工程力学的任务；工程力学的研究方法和学习方法。

第一节 工程力学的任务

工程力学是一门研究物体机械运动一般规律和有关构件的强度、刚度、稳定性理论的科学。它一般包括静力学、运动学、动力学和材料力学的有关内容。

物体在空间的位置随时间的变化称为机械运动。它是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动形式。如机器的运转、车辆的行驶、水的流动、建筑物的振动等。在研究一个物体的运动时，必须选定另一个物体作为参照体。在通常的工程问题中，一般是将地球作为参照体。

若物体相对于地球静止或作匀速直线运动，则称物体处于平衡状态。平衡是机械运动的特殊情况。只有当作用于物体上的诸力满足一定的条件时，物体才能处于平衡状态。对处于平衡状态的物体所受诸力的分析，称为静力分析。对处于平衡状态的物体进行受力分析是工程力学的一项任务。

当作用于物体上的力不满足平衡条件时，物体将产生运动。研究物体运动时其空间位置随时间变化的规律，即研究物体运动的轨迹、速度和加速度等，建立物体的运动状态与作用力之间的关系是工程力学的又一任务。

工程中的机械、设备、结构都是由构件（或零件）组成的。构件在工作时要承受荷载作用。为了使构件在载荷作用下不丧失正常功能，要求构件具有如下性能。

① 足够的强度 强度是指构件承受荷载或抵抗破坏的能力, 保证构件不破坏。

② 足够的刚度 刚度是指构件抵抗变形的能力, 保证在正常情况下, 构件受外力产生的变形不超过其相应的允许值。

③ 足够的稳定性 稳定条件是构件在工作时能保持其原有状态下的平衡, 不会突然改变其原有的工作性质。

工程力学的另一项任务是研究构件在外力等因素作用下的受力、变形规律及材料的力学性能, 建立保证构件正常工作而需要的强度条件、刚度条件和稳定条件, 为构件设计提供基础理论和方法。

本书第一章至第四章属静力学部分, 研究将工程实际中比较复杂的力系加以简化以及力系的平衡和应用等问题。

本书第五章至第十一章属材料力学部分, 研究构件的强度、刚度和稳定问题, 在既安全又经济的条件下, 为合理设计和使用材料提供理论依据。

第二节 工程力学的研究和学习方法

一、研究方法

理论分析、试验分析和计算机分析是工程力学中的三种主要研究方法。理论分析是一种广泛使用的方法, 它以基本概念和定理为基础, 以数学推演为手段, 得到问题的解析解答。试验分析在工程力学中占有重要的地位, 工程力学所探讨的构件强度、刚度和稳定问题, 都将涉及到材料的力学性能, 材料的力学性能通常需依靠试验的手段进行测定和分析; 依靠试验还能解决一些现有理论不能解决的复杂工程问题。计算机的出现, 从根本上改变了工程力学的计算手段和试验分析中数据采集、数据分析、参数优选等方法, 大幅度提高了计算速度, 解决了大量手算无法解决的问题, 成为一种独特的研究方法。

理论分析、试验分析和计算机分析这三种方法并不是完全独立的, 虽然其出现有明显的先后, 但它们在不断解决问题的应用过程中相互补充、相互促进, 成为一套工程力学研究的完整方法体系。

二、学习方法

工程力学属技术基础课, 是介于基础课与专业课之间的课程。对工程技术人员特别是土建类各专业的技术人员而言, 工程力学是必不可少的。在土建类多数专业的教学计划中, 工程力学占有重要地位, 是一门重要的主干课程。

学好工程力学应注意以下几个方面的问题。

① 理解是至关重要的 理解是把每一个概念都弄清楚, 把工程力学中的理论、定理、定律都弄明白。只有立足于理解才能做到正确、灵活地应用, 才能一通百通。学习工程力学切忌死记硬背、不求甚解。

② 掌握研究方法 工程力学和其他学科一样, 研究方法和所研究的内容有着内在的联系。掌握工程力学的研究方法是加深对研究问题的理解和提高分析问题、解决问题能力的基础。

③ 系统地归纳、总结 对所学知识在理解的基础上进行归纳和总结, 能使所学知识系

统化,掌握它们的核心实质和规律。在工程力学学习中,要及时对每一章、每一节的概念、理论和方法等内容进行归纳、总结,找出内容与内容、小节与小节、各章与各章之间的内在联系,分清主次,掌握内容的核心,实现知识的系统化。

④ 高质量地完成习题训练 习题训练的意义在于进一步理解有关理论、概念和方法,是工程力学学习中重要的环节。高质量地完成习题训练一般包括看懂理论、搞清楚公式及适用条件、准确地运算等几个步骤。做完习题后再联系理论加以归纳和总结也是十分必要的,能收到举一反三的效果。

⑤ 要有必要的记忆 在理解的基础上熟记有关定义、定理、定律、公式和重要结论是学好工程力学、灵活运用工程力学解决各种问题的保证。不能熟记最基本的知识和内容,想学好或掌握一门知识,是十分困难和不现实的。

思 考 题

- 1.1 工程力学的基本任务有哪些?
- 1.2 工程力学包括哪些主要内容?
- 1.3 工程力学的研究方法有哪几种?各有什么特点和联系?
- 1.4 学好工程力学应注意哪些方面的问题?

第一章

静力学基础

提要

本章介绍力的概念和性质；约束与约束力的概念和工程中常见的约束与约束力；物体的受力和受力图。

第一节 力和刚体

一、力的概念

1. 定义

力的概念是人们在生产实践中形成的。人们在生产和生活中，由于肌肉紧张收缩的感觉，逐步形成了对力的感性认识。随着生产的发展和科技的进步，人们又认识到若物体被其他物体施加力以后，将导致该物体的机械运动状态发生变化或者发生形状的改变。

两物体间力的作用可以是相互接触的，如吊车起吊重物、放在梁上的设备使梁弯曲等；两物体间力的作用也可以是不相互接触的，如地球引力场对物体的引力、电场对电荷的引力和斥力等。尽管力的来源和物理本质不同，但在研究物体的受力时，可以撇开这些非本质的因素，将它们抽象和概括为“力”的概念。人们对力的认识也从感性上升到理性。

力是物体之间相互的机械作用。这种作用可对物体产生两种效应，即引起物体的机械运动状态变化，或使物体发生变形。前者称为力的运动效应或外效应；后者称为力的变形效应或内效应。

2. 力的三要素

实践表明，力对物体的作用效果取决于力的大小、力的方向和力的作用点，力的大小、方向和作用点称为力的三要素。显然，当三要

素中的任何一个要素发生改变,力的作用效果将随之发生变化。要准确表达一个力,就要将力的三要素都表示出来。

3. 表示方法

力是既有大小又有方向的矢量。可以用一个矢量来表示力的三要素。如图 1.1 所示,矢量的长度(AB)按一定的比例尺表示力大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端表示力的作用点。与矢量线段 AB 所重合的虚直线,称为力的作用线。

通常用黑体字母表示力的矢量,如 $\mathbf{F}$;力的大小是标量,用一般字母表示,如 F 。

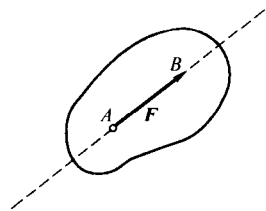


图 1.1 力的表示方法

4. 单位

在国际单位制中,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)表示。其换算关系为

$$1\text{ kN}=1\,000\text{ N}$$

实际应用中常用到公斤力,公斤力与牛顿的换算关系为

$$1\text{ kgf}=9.8\text{ N}$$

5. 力系与合力

作用于一个物体上的若干个力称为力系。如果两个力系对物体的运动效应完全相同,则称这两个力系为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则称该力为这个力系的合力,而力系中的各力称为合力的分力。如果物体在一个力系的作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。使一个力系成为平衡力系的条件,称为力系的平衡条件。

二、刚体与质点

1. 刚体

刚体是指在力的作用下保持形状、大小不变的力学模型。

物体在受力后都会发生变形,但在多数实际工程问题中这种变形是极其微小的。当分析物体的平衡和运动规律时,这种变形的影响很小,完全可以忽略不计,认为物体不发生变形。实践证明,引入刚体力学模型在许多情况下得到的结果是足够精确的。

2. 质点与质点系

如果物体的形状和尺寸对运动的影响很小则可将物体抽象为质点。质点是指具有质量而忽略形状、大小的力学模型。由有限个或无限个质点构成的系统为质点系。质点系具有确定的质量,在空间占有确定的位置。质点系中各质点之间的相互位置可以是固定不变的,如刚体即为不变质点系;质点系中各质点之间的相互位置也可以是变化的,如机器就是由许多零部件构成的可变质点系。

在应用刚体这一力学模型时,要注意所研究问题的条件和范围。例如,对同一根钢管,若两人抬起,计算每人的受力时,可以将钢管看做刚体;若三人同时抬起同一钢管,当要计算每人的受力时,尽管钢管在该时的变形很小,但变形在此时即为解决问题的主要因素,这时的钢管选为另一种模型——变形体。

本篇主要以刚体为研究对象,所以又称为刚体静力学。

第二节 基本公理

静力学基本公理是人们在长期的生活和生产实践中,经反复观察和实践检验总结出来的