

工程力学

(静力学与材料力学)

单辉祖 谢传锋 合编



教育科学“十五”国家规划课题研究成果



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

工程力学

(静力学与材料力学)

单辉祖 谢传锋 合编

高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果。是在面向 21 世纪课程教材《静力学》和《材料力学》(I、II)的基础上,根据“高等学校工科本科工程力学基本要求”编写而成的。本书紧扣“教学基本要求”,力求使工程所需基础简单明显,在内容选取上采取精简内容、突出重点等办法,以适应不同地区、不同院校对工程力学课程的要求,满足高校应用型人才培养的要求。全书概念严密、简明扼要、语言流畅易懂。与同类其他教材相比,本书最大的特点是着眼于培养学生的综合素质和能力。

全书分静力学与材料力学两篇。静力学篇包括静力学基本概念、汇交力系、力偶系、平面任意力系、空间任意力系与静力学专题等 6 章。材料力学篇包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析、复杂应力状态强度问题、压杆稳定与疲劳强度等 10 章。

本书可作为高等学校工科本科非机、非土类各专业少学时工程力学课程的教材,也可供高职高专与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学(静力学与材料力学)/单辉祖,谢传锋合编.
北京:高等教育出版社,2004.1

ISBN 7-04-013088-2

I. I... II. ①单...②谢... III. ①工程力学:静力学-高等学校-教材②工程力学:材料力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098346 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25
字 数 470 000

版 次 2004 年 1 月第 1 版
印 次 2004 年 1 月第 1 次印刷
定 价 28.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型本科人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型本科人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段

成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。目前，教材建设工作存在的问题不容忽视，适用于应用型人才培养的优秀教材还较少，大部分国家级教材对一般院校，尤其是新办本科院校来说，起点较高，难度较大，内容较多，难以适应一般院校的教学需要。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部即将启动的“高等学校教学质量和教学改革工程”的实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书属于教育科学“十五”国家规划课题研究成果。

本书由静力学与材料力学两部分组成。

静力学部分包括静力学基本概念、汇交力系、力偶系、平面任意力系、空间任意力系与静力学专题等六章。

材料力学部分包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析、复杂应力状态强度问题、压杆稳定与疲劳强度等十章。

为便于学习，每章后均附有思考题与习题，并在附录中给出了答案。

静力学与材料力学部分分别由北京航空航天大学谢传锋与单辉祖编写。谢传锋主编的《静力学》、单辉祖编著的《材料力学》(I)与《材料力学》(II)，被评为“面向21世纪课程教材”与“普通高校“九五”国家级重点教材”。本书是在上述教材的基础上，根据高等工业院校《工程力学教学基本要求》编写而成。

本书承大连铁道学院陶学文教授审阅，提出了许多精辟而中肯的意见。在编写过程中，北京航空航天大学吴鹤华教授对材料力学部分进行了仔细校订，谨此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足之处，希望读者批评指正。

编 者

2003年6月

编者简介



谢传锋，1932年生，1953年毕业于华东航空学院，现为北京航空航天大学教授，曾任北京航空航天大学理论力学教研室主任，国家教委高等学校工科力学课程教学指导委员会副主任委员兼理论力学课程教学指导小组组长，中央广播电视大学理论力学课程主讲教师。长期从事理论力学课程教学工作，研究领域为多体系统动力学。编著和译著有《理论力学》、《理论力学自我检测》、《理论力学答疑》、《静力学》、《动力学》、《陀螺系统力学》和《多刚体系统动力学》等。曾获北京市优秀教学成果奖，两度评为全国广播电视大学优秀主讲教师。



单辉祖，北京航空航天大学教授。1953年毕业于华东航空学院飞机结构专业，1954年在北京航空学院飞机结构专业研究生班学习。1992至1993年，在美国特拉华大学复合材料中心，从事合作研究。

历任教育部工科力学教材编审委员、国家教委工科力学课程指导委员会委员、中国力学学会教育工作委员会副主任委员、北京航空航天大学校务委员会委员、校学科评审组成员与校教学指导委员会委员等。

主要从事复合材料力学、计算力学与材料力学等方面的教学与科研工作。编著有《材料力学》(I, II)与《材料力学教程》等五种，发表科研论文60余篇。

1982年获国家教委优秀教材一等奖与航空工业部优秀教材一等奖，1990年获国家级教学优秀成果一等奖，2002年获国家级教学优秀成果二等奖。1992年被授予航空航天工业部有突出贡献专家称号，1992年起享受国务院颁发的政府特殊津贴。

策划编辑 黄 毅
责任编辑 姜 凤
封面设计 于 涛
责任绘图 郝 林
版式设计 王艳红
责任校对 尤 静
责任印制 韩 刚

目 录

引言	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念与物体受力分析	3
§ 1-1 静力学基本概念	3
§ 1-2 约束和约束力	5
§ 1-3 受力图	10
思考题	13
习题	16
第二章 汇交力系	19
§ 2-1 汇交力系的合成	19
§ 2-2 汇交力系的平衡条件	25
思考题	31
习题	32
第三章 力偶系	35
§ 3-1 力对点之矩矢	35
§ 3-2 力对轴之矩	38
§ 3-3 力偶矩矢	40
§ 3-4 力偶的等效条件和性质	41
§ 3-5 力偶系的合成	42
§ 3-6 力偶系的平衡条件	43
思考题	46
习题	46
第四章 平面任意力系	49
§ 4-1 力的平移	49
§ 4-2 平面任意力系向一点简化	50
§ 4-3 平面任意力系的平衡条件	54
§ 4-4 刚体系的平衡	60
§ 4-5 静定与静不定问题的概念	67
思考题	69
习题	71

第五章 空间任意力系	77
§ 5-1 空间任意力系的简化	77
§ 5-2 空间任意力系的平衡条件	78
思考题	84
习题	84
第六章 静力学专题——桁架·摩擦·重心	87
§ 6-1 桁架	87
§ 6-2 摩擦	96
§ 6-3 重心	104
思考题	109
习题	110
第二篇 材料力学	
第七章 绪论	115
§ 7-1 材料力学的研究对象	115
§ 7-2 材料力学的基本假设	116
§ 7-3 外力与内力	117
§ 7-4 正应力与切应力	119
§ 7-5 正应变与切应变	120
思考题	121
习题	121
第八章 轴向拉伸与压缩	122
§ 8-1 引言	122
§ 8-2 轴力与轴力图	123
§ 8-3 拉压杆的应力与圣维南原理	125
§ 8-4 材料在拉伸与压缩时的力学性能	129
§ 8-5 应力集中概念	135
§ 8-6 失效、许用应力与强度条件	137
§ 8-7 胡克定律与拉压杆的变形	141
§ 8-8 简单拉压静不定问题	147
§ 8-9 连接部分的强度计算	152
*§ 8-10 应变能概念	157
思考题	161
习题	162
第九章 扭转	169
§ 9-1 引言	169

§ 9-2	动力传递与扭矩	170
§ 9-3	切应力互等定理与剪切胡克定律	172
§ 9-4	圆轴扭转横截面上的应力	175
§ 9-5	极惯性矩与抗扭截面系数	177
§ 9-6	圆轴扭转破坏与强度条件	179
§ 9-7	圆轴扭转变形与刚度条件	183
*§ 9-8	非圆截面轴扭转简介	186
	思考题	188
	习题	188
第十章	弯曲内力	193
§ 10-1	引言	193
§ 10-2	梁的计算简图	194
§ 10-3	剪力与弯矩	195
§ 10-4	剪力、弯矩方程与剪力、弯矩图	197
§ 10-5	剪力、弯矩与载荷集度间的微分关系	202
*§ 10-6	非均布载荷梁的剪力与弯矩	207
	思考题	209
	习题	209
第十一章	弯曲应力	212
§ 11-1	引言	212
§ 11-2	对称弯曲正应力	213
§ 11-3	惯性矩与平行轴定理	217
§ 11-4	对称弯曲切应力	223
§ 11-5	梁的强度条件	227
§ 11-6	梁的合理强度设计	231
§ 11-7	双对称截面梁的非对称弯曲	234
§ 11-8	弯拉(压)组合	237
	思考题	241
	习题	241
第十二章	弯曲变形	249
§ 12-1	引言	249
§ 12-2	挠曲轴近似微分方程	250
§ 12-3	计算梁位移的积分法	251
§ 12-4	计算梁位移的叠加法	257
§ 12-5	简单静不定梁	261
§ 12-6	梁的刚度条件与合理刚度设计	267
	思考题	269

	习题	270
第十三章	应力状态分析	276
	§ 13-1 引言	276
	§ 13-2 平面应力状态应力分析	277
	§ 13-3 极值应力与主应力	281
	§ 13-4 复杂应力状态的最大应力	284
	§ 13-5 广义胡克定律	285
	*§ 13-6 复合材料应力应变关系简介	287
	思考题	289
	习题	290
第十四章	复杂应力状态强度问题	293
	§ 14-1 引言	293
	§ 14-2 关于断裂的强度理论	294
	§ 14-3 关于屈服的强度理论	295
	§ 14-4 弯扭组合与弯拉(压)扭组合	300
	§ 14-5 承压薄壁圆筒的强度计算	305
	*§ 14-6 含裂纹构件断裂失效概念	307
	思考题	309
	习题	309
第十五章	压杆稳定问题	314
	§ 15-1 稳定性概念	314
	§ 15-2 临界载荷的欧拉公式	316
	§ 15-3 中、小柔度杆的临界应力	319
	§ 15-4 压杆稳定条件与合理设计	324
	思考题	328
	习题	329
第十六章	疲劳强度问题	333
	§ 16-1 循环应力与疲劳破坏	333
	§ 16-2 $S-N$ 曲线与材料的疲劳极限	335
	§ 16-3 影响构件疲劳极限的主要因素	337
	*§ 16-4 对称循环应力下的疲劳强度计算	340
	*§ 16-5 累积损伤概念	342
	思考题	343
	习题	343
附录 A	常用材料的力学性能	345
附录 B	常见截面的几何性质	346

附录 C 非圆截面杆扭转	348
附录 D 梁的挠度与转角	350
附录 E 型钢表	352
参考文献	361
习题答案	363
索引	374
Synopsis	379
Contents	380

引 言

在工程实际中，各种机械与结构得到广泛应用。组成机械与结构的零、构件，统称为**构件**。

当机械与结构工作时，构件受到外力作用。例如，房屋建筑中的梁承受楼板传给它的重量；火车轮轴承受由车厢与车轮传来的外力。在构件设计时，首先需要分析与计算构件所受各外力的大小与方向。

在外力作用下，构件的尺寸与形状发生改变。构件尺寸与形状的变化称为**变形**。构件的变形分为两类：一类为外力解除后可消失的变形，称为**弹性变形**；另一类为外力解除后不能消失的变形，称为**塑性变形**或**残余变形**。

实践表明：作用力愈大，构件的变形愈大；而当作用力过大时，构件则会发生**断裂**或**显著塑性变形**。显然，构件工作时发生意外断裂或显著塑性变形是不容许的。对于许多构件，工作时产生过大变形一般也是不容许的。例如，如果齿轮轴的变形过大（图 0-1），势必影响齿与齿间的正常啮合。

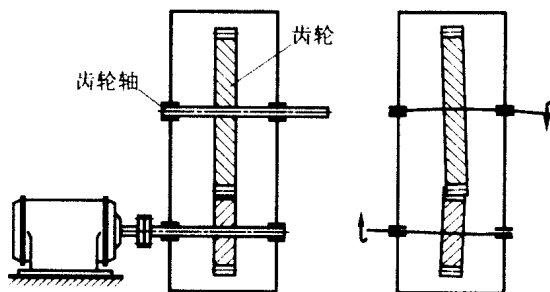


图 0-1

实践中还发现，有些构件在某种外力作用下，将发生不能保持其原有平衡形式的现象。例如图 0-2 所示轴向受压的细长联杆，当所加压力 F 达到或超过一定数值时（其值因杆而异），联杆将从直线形状突然变弯，而且往往是显著的弯曲变形。

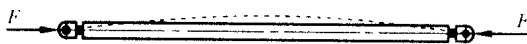


图 0-2

在一定外力作用下，构件突然发生不能保持其原有平衡形式的现象，称为**失稳**。构件工作时产生失稳一般也是不容许的。例如，桥梁结构的受压杆件失

稳，将可能导致桥梁结构的整体或局部塌毁。

针对上述情况，对构件设计提出如下要求：

1. 构件应具备足够的**强度**（即抵抗破坏的能力），以保证在规定的使用条件下不发生意外断裂或显著塑性变形；

2. 构件应具备足够的**刚度**（即抵抗变形的能力），以保证在规定的使用条件下不产生过大变形；

3. 构件应具备足够的**稳定性**（即保持原有平衡形式的能力），以保证在规定的使用条件下不失稳。

以上三项是保证构件正常或安全工作的基本要求。

本课程包括“静力学”与“材料力学”两部分内容，总称为“工程力学”。“静力学”研究物体的受力与平衡的规律；“材料力学”研究物体（主要是构件）在外力作用下的变形与破坏（或失效）的规律，为合理设计构件提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论与方法。

应该指出，“静力学”不仅是“材料力学”的基础，也是“结构力学”、“弹性力学”与“机械设计”等许多课程的基础。

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念 与物体受力分析

力学是研究物体机械运动的科学。**机械运动**是指物体在空间的位置随时间的变化,包括变形和流动。**静力学**研究物体平衡的一般规律。

在工程结构零部件的静力设计中,静力学有着广泛的应用。此外,它也是一系列后续课程的基础,例如结构力学、弹性力学、机械设计等,都要应用静力学的理论和方法。

静力学主要研究三方面的问题:物体的受力分析、力系的简化和力系的平衡条件。

本章先介绍刚体、平衡、力和力系等静力学基本概念,然后再介绍在对物体作受力分析时常见的几类典型约束,并分析其约束力的特征,最后详细讨论画受力图的步骤与方法。

§ 1-1 静力学基本概念

静力学是研究物体平衡的科学。为了研究这个问题,下面先介绍一些基本概念。

一、刚体的概念

静力学研究的物体主要是刚体。所谓刚体是指在力作用下不变形的物体,即刚体内部任意两点间的距离保持不变。在实际问题中,任何物体在力作用下或多或少都会产生变形。如果物体变形不大或变形对所研究的问题没有实质影响,则可将物体抽象为刚体。由于静力学主要以刚体为研究对象,所以也称为