

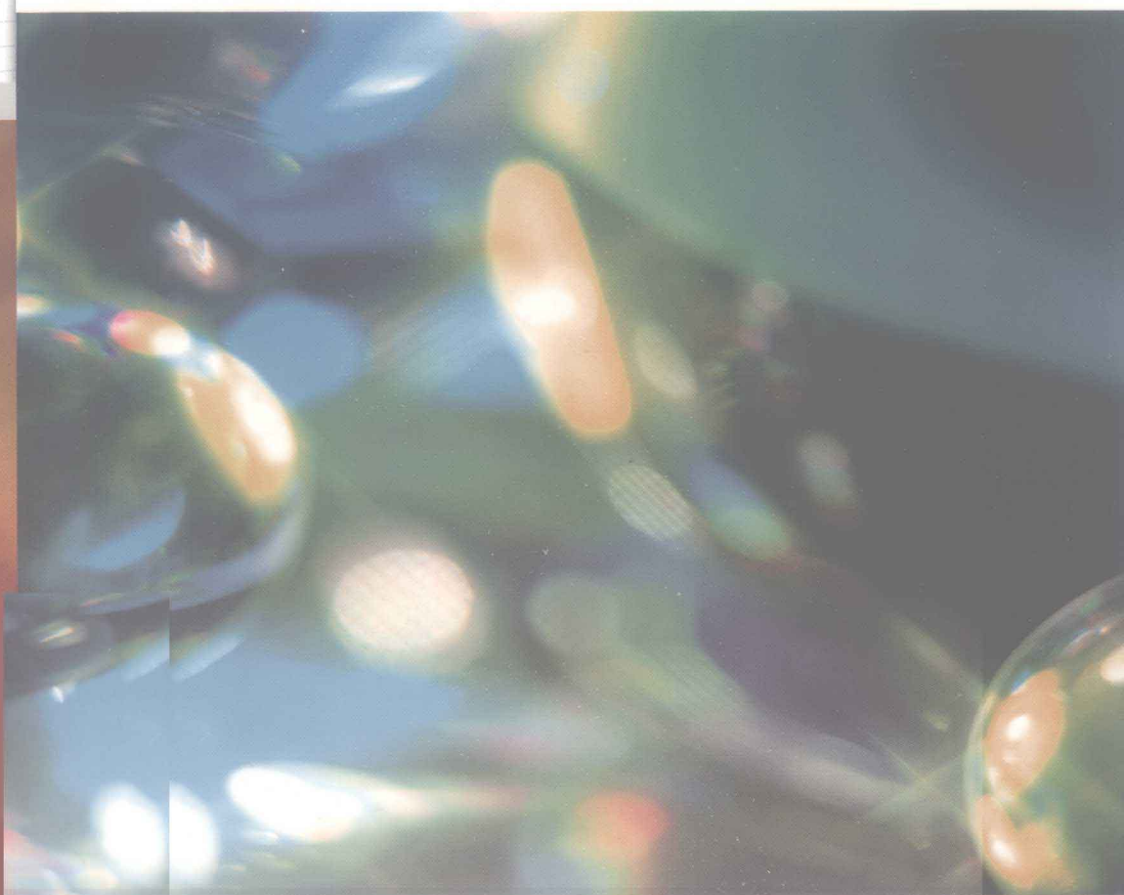


普通高等教育“十二五”规划教材

新编工程力学基础

蒋平 主编

蒋平 杨建波 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

新编工程力学基础

蒋 平 主编
蒋 平 杨建波 编著

机械工业出版社

本书是中少学时工程力学课程教学改革成果，是四川省精品课程《工程力学》系列课程教材之一。编者编著的多学时教材《工程力学基础（I）》与《工程力学基础（II）》第1版和第2版已分别列入普通高等教育“十五”国家级规划教材和“十一五”国家级规划教材。

本书编写过程中，充分考虑到相关专业学生的数理基础、专业培养目标对学生力学能力的要求，以及计算机的普及和商用软件的大量应用对工程技术人员力学基础和知识要求的深刻影响，在教学内容的取舍上遵循“宽而浅”的原则，即保留较宽的知识面，着重工程力学的基本概念、基本理论和基本方法的介绍，力学的工程应用，工程系统的力学建模和定性分析，同时大幅度减少定量分析和设计计算的内容。与同类教材相比，本书的难度有所降低，知识面大大拓宽，引入了大量与工程有关的例题、思考题和习题。

全书分为静力分析基础，材料力学的基本概念、方法和理论，杆件的强度、刚度和稳定性分析，运动分析基础等4篇共14章，涵盖了静力学、材料力学和运动学的基本内容，以及与材料力学的动载荷有关的动力学中的达朗贝尔原理和动静法等内容。

本书可作为高等院校工科（本科）工业设计、工程管理、自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、数控技术、材料科学与工程、高分子材料与工程、建筑学、建筑环境与设备工程、安全工程等专业的教科书，并可作为高等职业院校、成人教育学院和有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

新编工程力学基础/蒋平主编. 蒋平, 杨建波编著.

—北京: 机械工业出版社, 2011. 11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-36015-5

I. ①新… II. ①蒋… ②杨… 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 (2011) 第 200896 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 姜 凤 责任编辑: 姜 凤 陈将浪

版式设计: 张世琴 责任校对: 樊钟英

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 24.75 印张 · 479 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-36015-5

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是中少学时工程力学课程教学改革成果，是四川省精品课程《工程力学》系列课程的教材之一。系列课程的多学时教材《工程力学基础（Ⅰ）》与《工程力学基础（Ⅱ）》的第1版和第2版分别列入普通高等教育“十五”国家级规划教材和“十一五”国家级规划教材。

中少学时工程力学课程指的是非机械、非土木类专业所开设的工程力学（或理论力学和材料力学）课程。该课程涉及专业面广，情况复杂，学时数差别较大，各专业对工程力学的要求也不尽相同。历年来出版了不少的中少学时工程力学教材，其中不乏较优秀者。

近十余年来，由于课程学时的大量压缩，中少学时工程力学的教学内容的安排十分困难。从编者了解到的情况和大多数中少学时工程力学教材的内容来看，大多是从后续的专业课程的需要出发，按照“够用为度”的原则，大量删减教学内容。教材则多半是对多学时教材的“删繁就简”和“删难就易”，知识面大为缩小。对于保留下来的教学内容，其讲授方法和教学要求则基本上仍与多学时教材类似。

考虑到一般院校学生的数理基础，尤其是这些专业学生的数理基础，又因力学课程非其专业主干课程，导致学生的学习兴趣不高，不够重视；而且教学方法又沿袭传统讲法，分析推导和计算较多，课后习题较多，教学效果较差。因此不仅学生不满意，专业教研室也不满意，反映意见较多。我们虽作了一些改进教学的努力，但收效甚微。编者所在学校的工业设计专业的工程力学课程的教学，由于学生跨艺术和工程两大类专业，这一问题尤为突出。

编者认为，上述按“够用为度”的原则大量删减教学内容而又保持传统讲法的做法，即“窄而深”，没有考虑到学生的数理基础和专业对学生的力学知识的要求，即他们将来基本上不会从事工程问题的力学设计计算，故上述教学方法很难满足这些专业的培养要求。这才是问题的症结所在。中少学时工程力学的教学改革应该从学生的培养目标出发，从适应专业整体知识结构和能力要求的需要出发，确定工程力学合理的知识结构和能力培养的要求，建立新的教学内容体系，采用与之相适应的教学方法和考核方法，在有限的学时内达到培养目标，因此编者提出了“定性和半定量的工程力学”的构想，得到专业教研室的正面响应。

定性和半定量的工程力学，是指在课程基本要求的能力培养中，强化对定性

分析和判断能力的培养,弱化对定量计算能力的训练。具体来说,就是着重工程力学的基本概念、基本理论和基本方法的介绍,加强工程系统的力学建模和定性分析,知识面宽(与多学时基本相同),但大幅度降低对定量分析计算的要求(故称之为半定量),即“宽而浅”。

提出这一构想,是从工程技术人员能力培养的需要出发的。工程技术人员实际应用力学理论和方法的能力可分为几个步骤:首先是从具体工程问题中发现和提出力学问题的能力,即力学建模的能力。其次是对问题作定性判断的能力,如是静定还是超静定,是弹性变形还是塑性变形,是强度、刚度问题还是稳定性问题,是脆性破坏、塑性破坏还是疲劳失效,刚体是作平移、转动还是平面运动等。不同性质的问题需要应用不同的理论、准则和方法来解决,确定了问题的性质才能对应求解。第三是选用相关力学理论和方法解决问题的能力,这涉及定量分析计算或试验。最后是定性判断结果的合理性的能力。由于计算机的普及和商用软件的大量应用,工程问题的力学的定量分析计算多半依靠计算机完成,对工程技术人员定性分析和判断能力的要求更显重要。而要培养这种能力,必须有较为宽广的工程力学知识结构作为基础。所谓“见多识广”,才能作出比较正确的定性判断。

胡海岩院士根据对航空科技人才需求所作的调研指出,我国是一个发展中国家,目前的工业化水平还不高,特别是自主创新能力不强;而且大中小企业的发展水平参差不齐,对工程师的需求具有多种层次和类别,因此力学教育也需要根据培养不同层次和类别的工程师的不同需求来设计多类别、多层次的课程体系、教学内容和实践环节。对于大量的一般院校(非重点)来说,主要任务是培养以应用现有技术为主、能研制和开发产品的工程师来适应当前以集成创新、引进消化吸收再创新为主的工业发展模式。这类工程师仅需要不多的理论力学、材料力学和结构力学知识,更多的是需要有限元知识,能熟练地运用计算机及其软件,其知识结构趋于扁平,即“宽而浅”的知识结构。

力学涉及工程界的各个领域,掌握一定程度的工程力学的基本知识是现代工程师必须具备的专业素质。中少学时工程力学所面向的专业,如工业设计、工程管理、自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、数控技术、材料科学与工程、高分子材料与工程、建筑学、建筑环境与设备工程、安全工程等专业,对工程力学的要求较低,学生毕业后并不从事具体的力学设计计算。但是,为了完成自己所从事的专业工作,经常需要与从事实际力学设计计算的机械、土木、建筑等专业工程师们合作,这就有个交流、沟通的问题。如能定性地了解工程力学的基本概念、基本理论和基本分析方法,则在与上述工程师们合作时就有了共同语言,对于正确的相互理解、顺利的交流和合作是非常重要的,这也是专业素质的一个重要组成部分。

为什么需要半定量？因为力学问题的解决需要观察和试验，测量和计算，以及理论分析三方面工作的密切配合。完全不介绍定量分析计算，学生是无法掌握工程力学的基本概念、理论和方法的。介绍基本的计算方法，目的是让学生将掌握的知识能从定性到定量的层面有初步的延伸，这对于真正做到定性掌握是十分必要的，也为学生进一步深造打下基础。

半定量有两方面的含义：一是对有些教学内容，既有定量分析计算的例题，也布置少量简单的基本计算题作为习题。二是对有些教学内容，只有定量分析计算的例题，而没有相应的习题，例如梁的转角和挠度的计算，讲积分法的例题，是为了使学生了解影响转角和挠度的因素，更好地理解提高梁的弯曲刚度的措施，而不要求学生具备计算转角和挠度的能力。

本书的教学内容体系采用编者编著的普通高等教育“十五”国家级规划教材《工程力学基础（Ⅰ）》和《工程力学基础（Ⅱ）》的体系，即以工程力学的基本研究方法——“力的分析、变形（运动）分析和力与变形（运动）关系研究”为主线，将教学内容重新组合，理论力学和材料力学的内容融会贯通，分为静力分析基础，材料力学的基本概念、方法和理论，杆件的强度、刚度和稳定性分析，运动分析基础等四个部分。

在教学内容的取舍上保留较宽的知识面，大幅度减少定量分析和设计计算的内容，着重定性分析，例如力系的静力等效和简化及平衡条件仍从空间一般力系出发，保留空间力对点的矩和力偶矩矢的概念，但具体的应用和例题则只讲简单的平面问题。工程材料的力学性能除低碳钢和铸铁外，还介绍了其他金属、非金属、高分子材料和复合材料等，介绍了温度和加载速度的影响，保留了拉压超静定问题和连接件的工程实用计算。应力应变分析、广义胡克定律和失效判据等内容仍全面讲解，但合并为一章，作简单介绍，但仍然简要介绍了各向异性材料的广义胡克定律和应力应变的测量方法。杆件的强度、刚度和稳定性分析合并为四章（第九章～第十二章），着重分析方法的介绍和定性分析，大量删减定量计算的内容，着重介绍提高强度、刚度和稳定性的措施，但仍保留了组合变形的内容。动载荷一章则分别简要介绍了应用达朗贝尔原理和动静法分析由惯性载荷引起的动应力，应用机械能守恒定律计算冲击应力，并简要介绍了交变应力引起的疲劳失效现象。运动分析基础仍然介绍了刚体的各种运动形式及其描述方法，刚体平面运动和点的复合运动合并为一章，但仍然介绍了动系为转动时的加速度合成定理和科氏加速度的概念。

2006年下半年，编者在调研的基础上制定了教学大纲，确定了教学内容体系的改革方案。2007年春季起编者在西南石油大学机电工程学院工业设计专业进行了两轮试点教学，编写了讲义，受到学生的欢迎并得到专业教研室的肯定，说明教改方案是可行的。根据试点教学的经验，编者对讲义进行了修改，出版了

校内教材。2008年秋季在材料工程学院两个专业〔材料科学与工程（含金属、无机非金属材料，焊接与检测技术，材料腐蚀与防护）和高分子材料与工程专业〕共三个大班（含十个自然班）使用校内教材进行了第三轮试点教学，学时仍为72学时，但针对材料专业的特点对教学内容进行了调整，即不讲运动分析基础，将动力分析基础中的部分内容组成动载荷一章（含达朗贝尔原理和动静法，动载荷和动应力，冲击应力等）。2009年在工业设计、电子信息工程学院自动化和测控专业（64学时）共三个大班（含6个自然班）使用校内教材开展了第四轮试点教学。2010年在工业设计、化学化工学院安全工程专业（80学时）使用校内教材进行了第五轮试点教学。在试点教学过程中，根据专业培养的要求，对不同的专业和教学学时，所讲授的内容和重点也有所不同。在试点教学和征求其他专业及力学教师意见的基础上，编者对本书进行了三次较大的修订，修订时特别注意如何按定性半定量的原则来讲授有关内容，并做到易教易学，使教学与学生的数理基础相适应。

为了配合定性和半定量的教学，编者在作业和考核环节也进行了相应的改革，即以思考题为主，只有静力分析基础、拉压杆的强度和变形计算、圆轴和梁的强度分析、运动分析基础和动力分析基础等部分有少量简单的基本计算题。试卷组成中概念题占70~60分，简单计算题占30~40分。考试结果表明，大部分学生能够达到教学要求。

本书累计已四易其稿，已使用4届（05级~08级），使用效果良好，受到学生的欢迎并得到专业教研室的肯定。2010年7月在推荐的37本教材中被评为校优秀教材二等奖（4名一等奖均为已公开出版的教材）。五轮试点教学共覆盖4个学院6个专业10个教学班（20个自然班），学时分为三类（64学时，72学时，80学时），参与试点教学的教师共6人。另外，在进行第四轮试点教学时，另有三个专业的重修学生跟班听课，即石油工程学院油气储运专业、土建工程学院建筑环境专业和电子信息工程学院电气工程专业。此外，还有转专业的硕士生跟班补修本科生工程力学课程。在教学内容的选用上，6个专业均讲授了静力学和材料力学（含动载荷）部分，有4个专业（工业设计、自动化、测控和安全工程）还讲授了运动分析基础。

试点教学的结果说明，本书的定性半定量的设计理念、内容体系，具体内容的选择和讲授方式，例题、思考题和习题的选择能够被相关专业的学生所接受；特别是四届工业设计专业的试点教学，消除了采用从一般到特殊的讲授方式时学生数理基础能否适应的担心，从而实现了在较少的学时内使学生能定性地掌握工程力学的基本内容，并具备较宽的知识面的教学目标，满足了相关专业对工程力学的培养要求。

为了满足正式出版的要求，我们再次对本书进行了一次较大的修订：一是考

考虑到本书所面向的专业基本上不需要全部讲授动力分析基础,在试点教学中也都是用动载荷一章来代替,因此决定删去该部分,改为动载荷一章,并将疲劳失效一节从第六章抽出,放入该章。动载荷一章放到弹性稳定性和压杆分析一章后面,成为材料力学的一部分。二是在教学内容的细节设计上再下功夫,使本书易教易学,更适合有关专业学生的数理基础和学习能力。

近几年来,因计算机在各种计算中的广泛应用,从而对工程师们的力学基础和能力的要求,为适应新情况,不少院校的教师已经在教学重点向定性分析转移的方面作了一些探索。但以定性和半定量作为指导原则重新编写工程力学教材还是一种全新的尝试,编者既没有经验,所编写的教材也是探索性的,因此本书称为《新编工程力学基础》。目前看来,教学改革的大方向是正确的,存在的主要问题是,如何从定性和半定量的角度来讲授具体的教学内容,教师的教学观念和讲授方式需要有较大的转变,在教学方法和教材的编写上仍需不断探索。希望本教材能起到抛砖引玉的作用,也希望同行们和读者能不吝指正。

在教学改革、试点教学和本书编写的过程中,得到了西南石油大学教务处、机电工程学院、材料科学与工程学院、电信工程学院、化学工程学院和力学教研室的大力支持,本书第2稿由李辉荣教授审稿,编者在此表示衷心的感谢。

本书由浙江大学陈乃立教授审阅,他认真仔细地审阅了书稿,提出了中肯的、极为翔实的意见,对提高本书的质量起到了积极的作用,编者在此深表谢意。

编 者

2012年1月

目 录

前言

第一章 绪 论	1
第一节 力学与工程	1
第二节 工程力学的基本研究方法	7
思考题	11
习 题	12

第一篇 静力分析基础

第二章 静力学的基本概念和受力分析	13
第一节 静力学的基本概念	13
第二节 物体和物体系统的受力分析	28
本章小结	35
思考题	35
习 题	36

第三章 力系的静力等效和简化	39
第一节 力系的静力等效	39
第二节 力系的简化	43
第三节 力系简化的应用	49
本章小结	59
思考题	60
习 题	62

第四章 刚体和刚体系统的平衡	64
第一节 质点系和刚体的平衡条件	64
第二节 刚体系统的平衡问题	72
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	81

本章小结	93
思考题	94
习 题	96
第五章 杆件内力分析	101
第一节 变形体的内力和截面法	101
第二节 拉压杆的内力	103
第三节 轴的内力计算	109
第四节 梁的弯曲内力	112
本章小结	122
思考题	123
习 题	123

第二篇 材料力学的基本概念、方法和理论

第六章 工程材料的基本力学性能	126
第一节 材料力学的基本概念	126
第二节 工程材料在常温静载下的拉压力学性能	129
第三节 薄壁圆筒扭转试验和剪切胡克定律	139
第四节 材料失效与强度设计准则	142
第五节 温度和加载速度对材料力学性能的影响	145
本章小结	149
思考题	149

第七章 简单情形下的强度和变形分析	151
第一节 轴向拉压杆的应力和强度	151
第二节 轴向拉压杆的变形·超	

静定问题	160	第十一章 弹性稳定性和压杆	
第三节 连接部分的工程实用		分析	278
计算	168	第一节 平衡的稳定性和弹性	
本章小结	172	稳定性的概念	278
思考题	173	第二节 压杆稳定性分析	284
习 题	173	第三节 压杆的稳定性计算	292
第八章 应力、应变和应力 - 应变		本章小结	298
关系	175	思考题	298
第一节 一点处的应力状态	175	第十二章 动载荷	300
第二节 平面应力状态分析	179	第一节 达朗贝尔原理和	
第三节 应变状态分析	182	动静法	300
第四节 广义胡克定律	186	第二节 弹性构件的动应力	
第五节 材料失效和失效		分析	306
判据	195	第三节 冲击应力	309
本章小结	203	第四节 循环加载下材料的疲劳	
思考题	204	失效	315
第三篇 杆件的强度、		本章小结	321
刚度和稳定性分析		思考题	321
第九章 圆轴和梁的强度分析	207	习 题	323
第一节 截面的几何性质	207	第四篇 运动分析基础	
第二节 圆轴扭转时的强度		第十三章 运动分析概论	325
分析	210	第一节 点的一般运动及其	
第三节 梁弯曲时的应力分析	217	分析	325
第四节 梁的强度设计	227	第二节 刚体的运动及其描述	
第五节 组合变形杆的强度分析		方法	331
简介	240	本章小结	337
本章小结	248	思考题	337
思考题	249	习 题	339
习 题	252	第十四章 运动分析的合成法	341
第十章 圆轴和梁的刚度分析	254	第一节 平面运动刚体上各点的	
第一节 圆轴扭转时的变形计算和		速度分析	341
刚度设计	254	第二节 平面运动刚体上各点的加	
第二节 平面弯曲直梁的变形	258	速度分析·刚体绕两个平	
第三节 梁的弯曲刚度分析	263	行轴转动的合成	348
本章小结	274	第三节 运动刚体上动点的速度	
思考题	274	分析	352

第四节 运动刚体上动点的加速度

分析 361

本章小结 369

思考题 371

习 题 375

部分习题答案 380

参考文献 383

第一章 绪 论

第一节 力学与工程

一、力学与工程的关系

力学是研究物体宏观机械运动规律的科学。机械运动是指物体的空间位置随时间的变化，它是物体运动最基本的形式。固体的移动和变形、气体和液体的流动都属于机械运动。力是物体之间的一种相互作用，机械运动状态的变化是由力引起的。力学，可以说是运动与力的科学。

力学涉及工程的各个领域，如机械工程、土木工程和交通工程等。力学的发展始终是和人类的生产活动紧密结合的，而各种工程技术问题的解决也有很多是依靠力学知识的积累和理论的发展。力学与工程的紧密关系可以从 20 世纪工程技术取得的巨大成就体现出来：以人类登月、建立国际空间站和卫星导航系统为代表的航天技术，以协和式超音速客机为代表的航空技术，以单机功率达百万千瓦的汽轮机组为代表的机械技术，以跨海大桥、海底隧道、高速公路和在地震多发区建造的高层建筑为代表的土木建筑技术，以海上石油平台、50 万吨级油轮和核潜艇为代表的造船技术。核电站、高速列车及计算机硬盘驱动器等也有赖于相关力学问题的解决。可以预期，在未来出现的新的、更复杂的工程技术问题也有赖于力学去解决。

二、工程力学的研究内容和任务

（一）工程力学

力学通常按研究对象的物理性质分类：研究质点系和刚体的理论力学（或一般力学）；研究变形固体的固体力学，它又有材料力学、弹性力学和塑性力学等分支；研究液体和气体的流体力学。工程力学则是力学与现代科学技术交叉的一个力学分支，是各种工程科学的基础。与力学的其他分支相比，它更强调综合和力学的工程应用。作为高等工科院校的一门技术基础课程——《工程力学》，只涉及其最基础的部分，主要应用理论力学、材料力学的理论和方法去研究工程构件及其所组成的结构和机构。文中所述的“构件”是工程结构或机械的各组成部分，如建筑物的梁和柱，机床的轴等。

一般来说，工程力学包含以下几部分：静力学，材料力学，运动学，动

力学。

(1) 静力学研究构件的受力和平衡规律, 确定物体上作用有哪些力, 以及这些力之间的关系。

(2) 材料力学主要研究构件在静载荷作用下的变形和破坏的规律, 即研究变形构件内部将产生哪些力, 以及当这些力超过一定限度时, 构件将丧失哪些正常功能。

(3) 运动学主要研究构件的运动规律。

(4) 动力学则研究构件的运动与作用在其上的力的相互关系。

(二) 工程构件及其失效

工程构件的形状多种多样, 但可概括成四种类型: 杆、板、壳和块体。

(1) 杆是长度远大于横截面尺寸的细长构件 (图 1-1)。杆横截面中心的连线称为轴线, 轴线为直线者称为直杆 (图 1-1a); 轴线为曲线者称为曲杆 (图 1-1b)。所有横截面的形状和大小均相同者称为等截面杆。横截面的壁厚比高和宽小得多的杆称为薄壁杆, 如各种型钢 (图 1-1c)。工程中常见的梁、柱和轴等均属杆类构件。

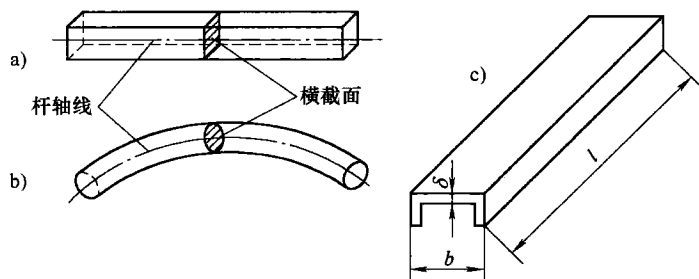


图 1-1

(2) 板和壳则是厚度远小于另外两个方向尺寸的薄壁构件。平分厚度的面称为中面, 板的中面为平面 (图 1-2a), 壳的中面为曲面 (图 1-2b)。板式家具就由板组装而成, 穹形屋顶、压力容器和管通等均属于壳类构件。

(3) 块体是三个方向的尺寸同属一个数量级的构件 (图 1-2c)。设备和建筑物的基础均属块体。

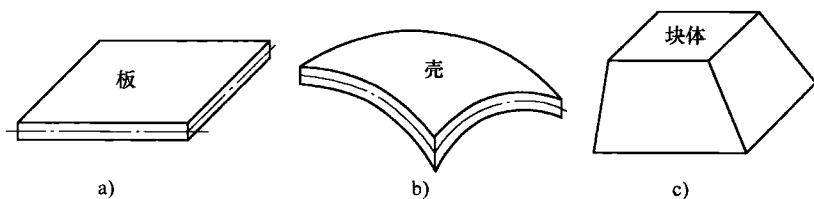


图 1-2

材料力学的研究对象以等截面直杆为主，但所介绍的基本概念和原理也适用于其他工程构件。

工程构件在外力（载荷）作用下丧失正常功能的现象称为失效或破坏。构件的失效形式很多，工程力学范畴内的失效通常分为三类：强度、刚度和稳定性失效。

（1）强度失效指构件发生不可恢复的变形（塑性变形）或断裂，如钢缆承载过大变长变细，甚至断裂；起重机吊环断裂（图 1-3）；高压容器和管道在压力过大时爆裂。建筑结构开裂还将导致雨水渗入，使钢筋生锈，并影响建筑外观。

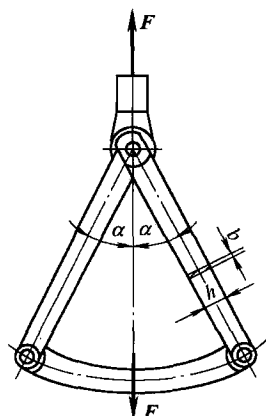


图 1-3

（2）刚度失效指构件发生过大的弹性变形，如电动机转轴变形过大会导致轴承的不均匀磨损，甚至会使转子与定子相撞（图 1-4）；摇臂钻床工作时，立柱变形过大将导致钻孔不正而影响加工精度，并使钻床振动加剧，影响孔的表面粗糙度（图 1-5）；建筑结构变形过大会使脆性装修层开裂或使门窗卡住。

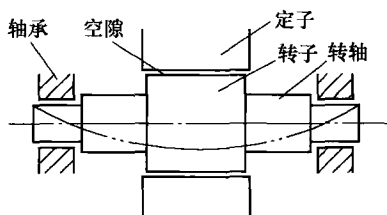


图 1-4

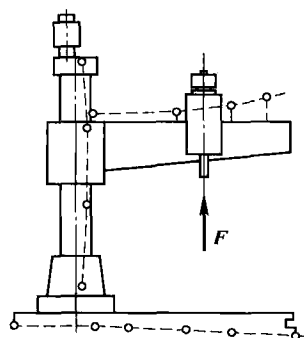


图 1-5

（3）稳定性失效是指构件平衡形式发生突变，如内燃机中的挺杆和液压缸中的活塞杆在轴向受压过大时会突然弯曲（图 1-6 和图 1-7），对于这类构件，为了能正常工作就必须保持直线的平衡形式；潜艇下潜过深会由于极大的水压使艇身（薄壳）突然被压扁，导致沉没。

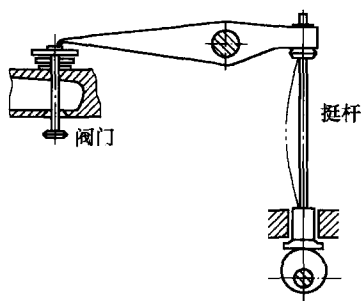


图 1-6

（三）工程力学的任务

强度是构件抵抗断裂和塑性破坏的能

力, 刚度是构件抵抗变形的能力; 稳定性是构件保持原来的平衡形式不发生突变的能力。工程上要求结构或构件有足够的承载能力, 就是指强度、刚度和稳定性三方面性能的综合要求得到满足。

构件的强度、刚度和稳定性与构件的材料、截面形状和尺寸, 以及所受的载荷密切相关。一般说来, 选用

优质材料和加大构件尺寸可以提高构件在给定载荷下工作的安全性, 但这就增加了制造成本, 故安全性和经济性是相互矛盾的。工程设计的任务就是为构件选择适当的材料, 确定合理的形状和尺寸, 保证构件具有足够的承载能力, 在确定的载荷作用下正常工作而不破坏; 同时, 还应该是经济的。对于某些构件, 则有相反的要求, 如为了保证机械设备不超载, 要求安全销在达到规定值时立即剪断; 车辆的缓冲弹簧则要求较低的刚度以达到更好的减振效果, 为此需要:

- (1) 分析并确定构件所受各种外力的大小、方向和作用位置。
- (2) 研究在外力作用下构件内部的受力状况, 以及变形和失效的规律。
- (3) 提出保证构件具有足够的强度、刚度和稳定性的设计准则和计算方法。

工程力学的任务就是提供工程设计的基础知识和方法, 并为学习其他力学课程和专业课程提供坚实的基础。

工程中的物体系统分为结构和机构两类。结构处于平衡状态, 各部分之间没有相对运动; 机构的各部分之间则有相对运动。工程中利用结构承受各种载荷, 如房屋、桥梁、各种机器的机架等; 利用机构传递功率、运动或改变运动的形式。以人们熟悉的内燃机的活塞-连杆-曲柄机构为例 (图 1-8): 活塞 C 为原动件, 作刚体平移运动; 曲柄 AB 为从动件, 作定轴转动。即该机构将输入运动——平移转化为输出运动——刚体平面运动, 再转化为定轴转动, 同时将内燃机的功率传递到工作机构。结构、机构以及组成它们的构件就是工程力学的主要研究对象。

对于结构, 工程上关心的主要是它的承载能力, 即静力设计; 对于机构, 由于各构件一般处于运动状态, 则要分析其运动的规律, 运动与力的关系, 以及构件的动强度和动力稳定性问题, 这就是工程中的动力设计。工程力学

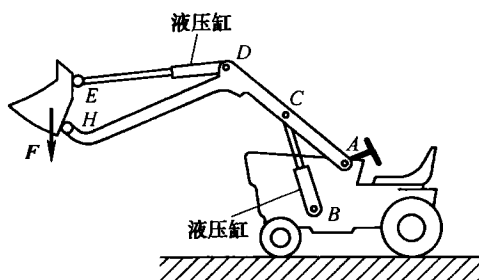


图 1-7

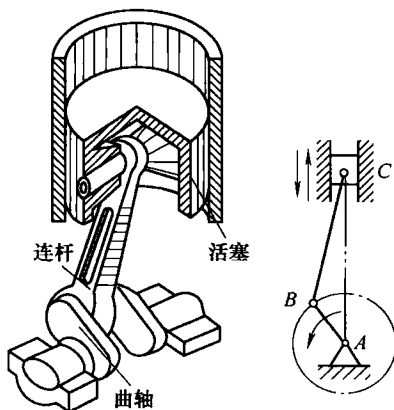


图 1-8

中的运动学和动力学就是为动力设计提供基本概念、理论和方法。

由于动力学问题远比静力学问题复杂,故为了研究的方便,动力分析一般分两步进行,即先进行运动分析,再进行动力分析。在传动、控制机构和机器人的设计中首先要求机构中的各零部件能正确实现预先给定的各种运动,然后再考虑强度和振动等问题。对仪器、仪表和自动控制系统,由于各零部件受力较小,运动分析就成为设计时的主要问题。历史上,运动学的发展与对机器、机构运动的研究(机械原理)密切相关;现代运动学也主要沿着应用到机构学的方向发展。

三、工程力学与专业素质培养

(一) 工程师的交流与合作能力

由于力学涉及工程界的各个领域,掌握一定程度的工程力学基本知识是现代工程师所必须具备的专业素质。选用本教材的各个专业,如工业设计、工程管理、工业自动化、测控工程、数控技术、材料科学与工程、高分子材料与工程、安全工程、建筑学、建筑环境与设备工程等,对工程力学的要求较低,学生毕业后通常无需进行具体的力学设计计算。但是,为了完成自己所从事的具体专业工作,经常需要与从事力学设计计算的机械、土木、建筑等专业的工程师们合作,这就有个交流、沟通的问题,因此定性地了解工程力学的基本概念、基本理论和分析方法,对于正确的相互理解、顺利的交流 and 有效的合作是非常重要的,这也是专业素质的一个重要组成部分。在本课程中还要介绍基本的计算方法,目的是让学生掌握的知识能从定性向定量的层面有初步的延伸,达到半定量的掌握,这对于本科层次的人才培养是需要的。

(二) 专业工作与工程力学

上述相关专业的工程技术人员,在从事自己的专业工作时,同样离不开工程力学。下面举几个例子进行说明。

对于工业设计专业,设计师从提出一个好的创意,到完成一件合理的产品设计,不可避免地需要处理一些与工程力学相关的问题。

包豪斯学校的教师布劳耶(Marcen Breuer, 1902—1981)设计的钢管椅,以早期钢管家具的代表作而流传于工业设计史籍之中,如图1-9所示。这一看似简单的钢管椅设计,却涉及下列工程力学问题:

(1) 人坐在椅子上,以及后靠椅背和前倾起立时,要求椅子保持稳定而不翻倒,支撑椅子的那段U形钢管的横宽和纵深至少应为多大?这是一个静力学问题。

(2) 椅子要能承受成年人静坐时的体重而不至于压弯甚至折断,钢管的直径和壁厚分别需要多大?这是



图 1-9

材料力学中的强度问题。强度是指构件抵抗规定载荷作用下而不被破坏的能力。在椅子的强度问题中，还要分析人突然坐下时的冲击作用和人坐在椅子上长期晃动造成的反复作用时椅子的强度，这是动载荷作用下的强度问题。

实际上，强度问题涉及造型设计中必须处理的多种要素，除钢管尺寸外，还有钢材的型号（与钢管的力学性能有关），椅子的尺寸和钢管折弯处的圆弧半径等。

(3) 富于弹性是钢管椅的关键特征，恰到好处的弹性才能使人充分享受钢管椅的舒适和乐趣，因而计算人坐上椅子后椅子的变形大小是设计中的重点，这是材料力学中的刚度问题。刚度是指构件抵抗变形的能力。影响刚度的因素与影响强度的因素基本相同。

通过对钢管椅的分析可知，处理这些设计要素都要用到工程力学的知识。

工业设计师非常注重产品的形态美。研究表明，产品的形态美与结构的力学合理性存在着一致的关系。我国出土的文物青铜器“马踏飞燕”的造型令人惊叹（图 1-10）：飞奔的马一蹄踏在飞燕上，动态中还维持着瞬时的平衡与稳定（力学上合理）。洗衣机等家电的正面、侧面等常采用压肋加固结构，而不是一块平板，这是因为经过凹凸压肋，大面积薄板的强度、刚度和稳定性可大幅度提高，在力学上更合理。同时，在视觉效果方面，大块平板看上去单调、平淡、无生气，有了压肋，增加了立体感和层次，就显得挺拔、丰富、生动。

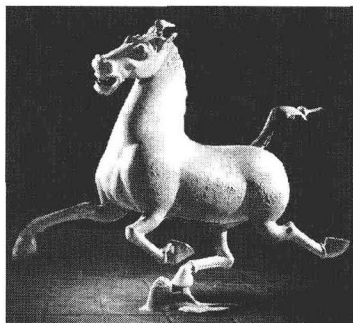


图 1-10

建筑师在设计建筑物时，主要精力花费在了艺术造型和功能适用安排上面，对建筑结构的强度、刚度和稳定性的定量分析并不是他的任务。如果建筑师对不同的建筑造型能从受力性能上作定性分析，并根据这种分析选择合适的建筑造型，则他的工作会更出色并提高整体设计的效率。

同样，建筑结构的力学合理性与其造型的形态美也存在着一致的关系。我国隋朝工匠李春于 594~605 年主持建造的赵州石拱桥（图 1-11），跨度达 37m，宽 9m，拱高 7.2m，半径为 25m，主拱两侧各有两个小拱，既利用了石料耐压的力学性能，又减轻了重量，增大了泄洪能力，增加了可靠性，历经千余年而无损坏；而大

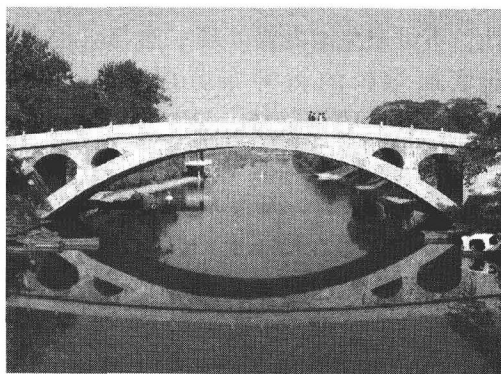


图 1-11