



普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程力学基础

(I)

蒋平 编著



高等教育出版社

662

750-03
丁

普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程力学基础(I)

蒋 平 编著

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级教材。

本书在满足教育部基础力学课程教学基本要求的同时,考虑了 21 世纪对人才培养的要求,在理论力学和材料力学课程内容的融合贯通和推陈出新、引进现代科技成果、拓宽知识面、加强工程观念培养、强化力学建模和工程应用能力训练等方面进行了积极探索。教材以工程力学的基本研究方法为主线重组教学内容,提高起点、减少重复,压缩了学时,强化了基本概念、基本理论和基本方法训练。

全书分两卷。第 I 卷为《工程力学基础(I)》,包括“静力分析基础”、“变形固体力学引论”和“杆件的强度、刚度和稳定性分析”三篇,涵盖了理论力学的静力学和材料力学的基本部分。第 II 卷为《工程力学基础(II)》,包括“运动分析基础”、“动力分析基础”和“分析力学基础”三篇,涵盖了理论力学的运动学和动力学的基本部分及材料力学的动载荷部分。

本书可作为高等学校工科本科各专业基础力学课程教材,并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学基础(I)/蒋平编著. —北京:高等教育出版社,
2003.2

“十五”国家级规划教材

ISBN 7-04-011596-4

I. 工… II. 蒋… III. 工程力学 - 高等学校 - 教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 099184 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京地质印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2003 年 2 月第 1 版
印 张	31.25	印 次	2003 年 2 月第 1 次印刷
字 数	580 000	定 价	35.50 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

前 言

本书是工程力学课程体系及教学内容改革项目的研究成果之一。该项目原为教育部面向 21 世纪“石油工程专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”项目的子课题。全书分为两卷:第 I 卷为《工程力学基础(I)》(工程静力学),第 II 卷为《工程力学基础(II)》(工程动力学),它覆盖了理论力学和材料力学的基本部分。本书特色如下:

1. 体系创新。本教材以固体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,把教学内容重新组合,分为静力分析基础、变形固体力学引论和杆件的强度、刚度和稳定性分析,以及运动分析基础、动力分析基础和分析力学基础等六大部分。

“静力分析基础”一开始就建立刚体和变形体两种模型,强调统一的研究方法,使理论力学和材料力学在静力分析方面得以融会贯通。以力系等效定理和质点系的平衡条件作为理论基础取代了静力学公理体系,将静力学和动力学建立在统一的基础上,并同时给出了刚体和变形体平衡的必要条件。杆件内力分析作为刚体系统静力分析的延伸,桁架分析则归入内力分析中的轴力部分。静力分析从物体受空间一般力系作用出发,从空间到平面,从一般到特殊,避免了与大学物理力学部分的重复,提高了起点,压缩了学时。但仍以平面问题为学习重点。“变形固体力学引论”在介绍了工程材料的力学性能和简单情形下(拉压杆)的强度及变形计算后接着介绍应力应变分析、应力-应变关系和失效判据,提高了起点。“杆件的强度、刚度和稳定性分析”从一般的失效判据出发建立梁和轴的强度条件,并将组合变形分别归入梁和轴的设计计算。这一安排提高了学生对构件强度问题的认识(如梁的三种危险点),加强了对应力分析和应用失效判据能力的训练。“运动分析基础”对点的运动学只作复习性讲述,重点介绍自然坐标法;简要介绍刚体的各种运动形式及其描述,刚体基本运动不再列为专章;先讲刚体平面运动,再讲运动刚体上动点的运动,即点的复合运动。“动力分析基础”对质点动力学也只作复习性讲述,重点介绍质点系动力学的基本概念和研究方法,再按动静法、动量法和能量法的顺序,着重介绍达朗贝尔原理及其应用,质点系的动量矩定理及动力学普遍定理的综合应用。减少了与物理的重复,并突出刚体和质点系是理论力学的主要研究对象,与物理以研究质点为主有明显区别。

构件动应力分析放进动静法应用中,冲击应力放在机械能守恒定律之后,在

虚位移原理中增加应用于弹性系统的内容,保守系统的平衡问题不仅讲刚体系统,也讲弹性系统,使理论力学和材料力学融会贯通。

2. 更新拓宽。经典内容推陈出新,引进固体力学高层次课程及反映本学科或跨学科的近现代进展的新概念、新理论和新方法,拓宽知识面,增大信息量,适应现代科技和生产迅速发展的形势,这是教改的一个重要方面。

在“静力分析基础”中强化了力系静力等效和主矢主矩的概念及计算,引入了可变形系统平衡的充分必要条件作为截面法和微元体法的理论基础,引进了介于铰链和固定端之间的“柔性铰”的概念。在“变形固体力学引论”中用现代关于材料屈服和断裂的失效准则取代了古典强度理论,引入了非线性弹性、材料的粘弹性、复合材料等内容及弹性力学的基本方程和求解方法简介、应力和应变的测量、有限元法简介。在“杆件强度、刚度和稳定性分析”中引入梁和圆轴的弹塑性分析和极限分析,压杆以外的其他弹性和非弹性失稳问题,后屈曲性质的讨论等。在“运动分析基础”中同时介绍了矢量力学和分析力学两种研究方法及计算机技术对工程力学的影响,在“动力分析基础”中也简单介绍了分析动力学方法。这种安排使在学时少而无法讲授“分析力学基础”的情况下,也能让学生初步了解分析力学方法。在“分析力学基础”中增加了对第一类拉氏方程的介绍,以反映计算机技术对工程力学的影响。此外,在运动分析概论中简要介绍了刚体的定点运动和一般运动,在动力分析概论中介绍了质点相对运动的动力学基本方程。

3. 加强力学建模和力学的工程应用。对工科大学生的基本要求是能应用力学原理解决工程实际问题。计算机的广泛应用极大地提高了解算能力,而对工程技术人员力学建模能力和正确分析计算结果的能力的要求相应提高了。为此在绪论中介绍力学与工程的密切联系和力学建模的方法。在理论分析和例题讲解中着重介绍力学建模过程,并对不同模型得到的结果进行讨论和比较。大量选用实际工程问题的分析作为例题和习题,使学生了解力学在工程中的实际应用,培养学生的工程意识、力学建模能力和分析解决实际工程问题的能力。加强这一部分的内容是本书的一个重要特色。

本教材第 I 卷从 1997 年起在西南石油学院机械设计制造及自动化、石油工程、油气储运工程、自动化等专业进行了由点到面的多次教学实践。根据力学教研室、各专业教研室和一些兄弟院校同行的意见对教材进行了两次较大修改。西南石油学院力学教研室全体教师对教改的基本思路和方案以及教材的初稿和第二稿进行了多次讨论,提出了许多宝贵的意见和建议。肖芳淳教授仔细审阅了初稿和第二稿并提出了很好的意见。余碧君老师协助选编了部分习题。郑悦明、陈波副教授和崔炯屏同志精心绘制了全部插图。在教改过程中西南石油学院及院教务处、机械工程系、石油工程系自始至终给予了关心和支持,历届试点

班的同学积极参与教改并提出了许多有益的意见。在此向他们表示衷心的感谢。在教改和教材编写及修改过程中曾参考了许多兄弟院校的改革方案和大量国内外教材。在此向这些兄弟院校和教材的编著者们一并致谢。

本书承蒙中国矿业大学董正筑教授和浙江大学陈乃立教授详细审阅,他们提出了许多宝贵意见。编者谨致衷心的感谢。

限于编者水平,书中疏漏、欠妥之处在所难免,恳请广大教师和读者批评指正。

编 者

2002年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 力学与工程	(1)
§ 1-2 力学的基本研究方法	(7)
思考题	(10)

第一篇 静力分析基础

第二章 静力学基本概念和受力分析	(13)
§ 2-1 静力学基本概念	(13)
§ 2-2 物体的受力分析	(22)
§ 2-3 物体系的受力分析	(26)
思考题	(30)
习 题	(31)
第三章 力系的静力等效和简化	(36)
§ 3-1 力矩和力偶的概念	(36)
§ 3-2 力系的静力等效	(41)
§ 3-3 力系的简化	(45)
§ 3-4 力系简化的应用	(52)
§ 3-5 平行力系的简化·重心、质心和形心	(59)
思考题	(67)
习 题	(70)
第四章 刚体和刚体系统的平衡	(78)
§ 4-1 质点系和刚体的平衡条件	(78)
§ 4-2 平面问题的平衡方程及其应用	(80)
§ 4-3 空间问题平衡方程的应用	(86)
§ 4-4 刚体系统的平衡问题	(91)
§ 4-5 考虑摩擦时物体的平衡问题	(102)
§ 4-6 滚动阻碍的概念	(115)
思考题	(118)
习 题	(122)
第五章 变形体的平衡和杆件内力分析	(131)
§ 5-1 可变形系统的平衡条件和内力	(131)
§ 5-2 拉压杆的内力	(133)

§ 5-3 轴的内力计算	(141)
§ 5-4 梁的弯曲内力	(143)
§ 5-5 利用微分关系作剪力图和弯矩图·叠加法作弯矩图	(149)
§ 5-6 复杂载荷作用下杆件的内力	(156)
思考题	(159)
习 题	(160)

第二篇 变形固体力学引论

第六章 工程材料的基本力学性能	(169)
§ 6-1 变形固体力学的基本概念	(169)
§ 6-2 工程材料在常温静载下的拉压力学性能	(171)
§ 6-3 薄壁圆筒扭转试验和剪切胡克定律	(182)
§ 6-4 材料失效与强度设计准则	(185)
§ 6-5 温度和加载速度对材料力学性能的影响	(187)
§ 6-6 循环加载下材料的疲劳失效	(191)
思考题	(198)
习 题	(199)
第七章 简单情形下的强度和变形计算	(201)
§ 7-1 轴向拉压杆的应力和强度	(201)
§ 7-2 轴向拉压杆的变形·超静定问题	(210)
§ 7-3 弹性应变能·卡氏定理及其应用	(219)
§ 7-4 连接部分的工程实用计算	(221)
思考题	(226)
习 题	(226)
第八章 应力应变分析	(232)
§ 8-1 一点的应力状态	(232)
§ 8-2 平面应力状态分析	(236)
§ 8-3 应力莫尔圆及其应用	(239)
§ 8-4 三向应力状态分析和平衡微分方程简介	(244)
§ 8-5 平面应变状态分析简介	(246)
§ 8-6 应力和应变的测量	(250)
思考题	(254)
习 题	(256)
第九章 应力-应变关系与失效判据	(259)
§ 9-1 关于单轴应力-应变关系的进一步讨论	(259)
§ 9-2 广义胡克定律	(262)
§ 9-3 弹性应变能	(268)
* § 9-4 弹性理论的基本方程及其求解	(271)

§ 9-5	材料失效和失效判据	(273)
§ 9-6	失效判据的选择和应用	(278)
思考题	.....	(283)
习 题	.....	(285)

第三篇 杆件的强度、刚度和稳定性分析

第十章	梁弯曲的工程理论(I):应力分析和强度设计	(291)
§ 10-1	对称截面梁纯弯曲时的正应力	(291)
§ 10-2	关于对称截面梁弯曲正应力的进一步讨论	(298)
§ 10-3	对称截面直梁横力弯曲时的切应力	(301)
§ 10-4	梁的强度设计计算	(307)
§ 10-5	梁强度的合理设计	(320)
思考题	.....	(327)
习 题	.....	(329)
第十一章	梁弯曲的工程理论(II):变形分析和刚度设计	(336)
§ 11-1	平面弯曲直梁的变形	(336)
§ 11-2	弯曲位移的计算	(340)
§ 11-3	叠加法计算弯曲位移	(353)
§ 11-4	能量法计算弯曲位移	(359)
§ 11-5	梁刚度的合理设计·简单超静定梁	(366)
思考题	.....	(372)
习 题	.....	(375)
第十二章	扭转及圆轴的强度和刚度设计	(381)
§ 12-1	圆轴扭转时的应力分析和强度计算	(381)
§ 12-2	圆轴扭转时的变形计算和刚度设计	(389)
§ 12-3	弯扭组合变形圆轴的设计计算	(395)
* § 12-4	圆柱形螺旋弹簧的应力和变形计算	(399)
* § 12-5	非圆截面杆的扭转简介	(402)
思考题	.....	(407)
习 题	.....	(409)
第十三章	弹性稳定性和压杆分析	(414)
§ 13-1	平衡的稳定性和弹性稳定性的概念	(414)
§ 13-2	压杆稳定性分析	(420)
§ 13-3	关于欧拉公式的进一步讨论	(423)
§ 13-4	压杆的稳定计算	(429)
* § 13-5	关于屈曲问题的进一步讨论	(437)
思考题	.....	(442)
习 题	.....	(444)

附录 型钢表	(447)
参考文献	(466)
习题答案	(467)
索引	(476)
Synopsis	(482)
Contents	(484)
作者简介	(488)

第一章 绪 论

§ 1-1 力学与工程

一、力学与工程的关系

力学是研究物质宏观机械运动规律的科学。机械运动是物体之间或物体内部各部分之间在空间的相对位置随时间的变化,它是物质运动最基本的形式。力是物质间的一种相互作用,机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。力学,可以说是力与运动的科学。

由于各类复杂运动中都包含机械运动这种最基本的运动形式,因此,不论在自然界,还是在人类的生产活动即各种工程中,力学问题都广泛存在。力学的发展相对其他学科有一定的“超前性”。许多在力学中首先发现的带有规律性的重要现象,后来发现在其他学科中也存在。例如,孤立子波是 1834 年在浅水渠中发现的一种力学现象,后来发现它同量子力学间的联系,再后来在光学中也发现了这种现象,对这种现象的研究成为实现现代光通讯技术的关键。

力学又是自然科学中精确化最早的学科,力学最早与数学建立起密不可分的联系。将实际问题经过力学建模和数学建模最终转化为数学问题求解,然后再回到实际问题,这种方法论深刻地影响着整个自然科学。如动力系统从力学中提出,它的要点是给定系统发展所必须遵循的规律及初始状态,去追踪系统的发展。这种方法应用到天文、物理,推动了大气物理、海洋科学的定量化,后来应用到化学中讨论化学反应过程形成化学动力学,应用到精确化后的经济学中形成经济动力学,等等。

力学的发展始终是和人类的生产活动紧密结合的。在中国,春秋战国时期思想家墨子的著作中就有简单的杠杆原理,东汉的郑玄(127—200)对《考工记》的注释中论述了力与变形成正比的关系,比英国胡克的发现早 1500 年。在西方,古希腊的阿基米德对静力学就有了一些系统的论述。这些都与当时的生产力发展水平相适应。17 世纪初,在欧洲随着生产的发展,伽利略、开普勒等人开始对力学规律进行系统的观察和实验研究;牛顿继承和发扬了前人的成果,在 1687 年发表的《自然哲学的数学原理》一书中提出了物体运动三定律和万有引力定律,标志着力学成为一门精确的科学。其后,随着欧洲逐步工业化,力学得

到了很大的发展,成为物理学中一个重要分支。到 19 世纪末,力学已发展到很高的水平。当时它主要以理想模型,如质点、质点系、刚体、理想弹性体、理想流体为对象,建立起相当完善的理论体系,同时也开始解决工程技术问题。蒸汽机、内燃机与机械工业,大型水利工程,大跨度的桥梁,铁路与机车,轮船,枪炮等,无一不是在力学知识积累的基础上产生和发展起来的。

在 20 世纪,由于工程技术发展的需要,应用力学得到空前的发展。它的研究对象已不再限于理想模型,而更多地以自然界和工程技术中遇到的复杂介质或系统为对象,建立各种力学模型,并在解决问题过程中形成了许多力学分支。在传统的理论力学、材料力学、流体力学等学科外形成了空气动力学、水动力学、渗流力学、物理化学流体力学、弹塑性力学、断裂与损伤力学、岩土力学、振动学、生物力学、结构力学、爆炸力学、等离子体动力学、物理力学、细观固体力学、流变学、化学动力学等分支。力学已成为独立的基础科学之一。与此同时,在力学理论的指导和支持下工程技术取得了巨大的成就。标志性成就如:以人类登月、建立空间站、航天飞机和卫星测控等为代表的航天技术;以速度超过 5 倍音速的军用飞机、起飞重量超过 300 t 的巨型民航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;以大跨度桥梁、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;以巨型水利枢纽(如长江三峡工程)为代表的水利工程技术;以可以在大风浪下安全作业的单台价值超过 10 亿美元的海上采油平台、排水量达 50 万吨的超大型运输船和航速可达 30 多节(1 节 = 1.852 km/h)、深潜达几百米的潜艇为代表的造船技术;还有可以安全运行的核电站、时速达 500 km 的高速列车、转速达每秒几千转的计算机硬盘驱动器等等。甚至原子弹、氢弹引爆的核心技术也有赖于有关力学问题的解决。

力学发展的历史充分说明:力学是随着人类认识自然现象和解决工程技术问题的需要而发展起来的,力学又对认识自然和解决工程技术问题起着极为重要,甚至是关键的作用。因此,力学既是一门基础科学,它所阐明的规律带有普遍性;它又是一门技术科学,是许多工程技术的理论基础,并在广泛的应用过程中不断得到发展。目前,环顾我们的自然界,还有许多关系到人类生存和生活质量的宏观现象远没有被认识清楚。如全球的气候问题、环境污染问题、海洋开发利用问题、能源危机、自然灾害(地震、台风等)、彗星或小行星撞击地球问题等等,将会不断地提出新的力学问题。21 世纪将出现的新的、更复杂的工程技术问题也有赖于力学的新发展去解决。可以预期,力学除了将继续在航空、航天、机械、土木、水利、化工、石油、交通运输等传统领域发挥为之提供基础理论和工具的作用外,也将在生命、材料、信息、能源、环境等高新技术领域发挥愈来愈大的作用。

二、固体力学的研究内容

固体力学是力学的重要分支学科,主要研究固态物质和结构(或构件)受力而发生变形、流动和破坏的规律。固态物质和结构的多样性,使其受力后的响应丰富多彩,如弹性、塑性、粘性、蠕变、断裂、疲劳等。众多自然现象和工程技术问题都是固体力学的研究对象。1993年版的《不列颠百科全书》“固体力学”条目中列举了下述可用固体力学方法来研究的命题:在地幔中如何发生流动从而牵带大陆板块的迁移?山脉是如何形成的?地震时断层处发生了什么过程?这些扰动是怎样以地震波的形式传播,震撼并可能摧毁建筑物和桥梁?滑坡如何产生?土壤和岩石基础在不破坏的前提下可以承受建筑物对它的多大压力?如何选择、配置和成型各种材料,从而制成安全、可靠、耐久、经济的结构(这些结构包括飞机骨架、桥梁、船舶、建筑物、人工心脏瓣膜和计算机集成电路芯片)?结构表面形状的变化或流体介质的不均匀性如何引起运输工具(如汽车、飞机、轮船)的振动?如何由振动控制来达到乘坐舒适、减噪和避免疲劳破坏的目标?在结构循环加载时(如桥梁、发动机、机翼或油箱)裂纹扩展的速度有多快?什么时候会产生灾难性的裂缝扩展?我们如何控制结构物在受冲击过程中的变形,从而在设计运输工具时使其具有耐撞性?如何成型材料或技术产品(如金属和高聚物的模具挤压、板材轧制、复杂形状模压等等)?如何将不同的材料最佳配置在一起,像纤维增强复合材料一样,来实现使用中所需要的刚度和强度配合?在体育用品(如滑雪板和网球拍)中所需要的材料综合性能和总体响应是什么?人类头骨在事故中的冲击响应是什么?人体的心脏肌肉如何控制血压,动脉瘤的发生又源于何种控制功能紊乱?上述种种问题对自然界演化的解释,对科学技术的进步,对人类的生存保护都是非常重要的。

固体力学在其发展过程中创立了一系列重要概念和方法,如连续介质、应力、应变、分岔、断裂韧性、有限元法等,在许多工程领域都发挥着极其重要的作用。固体力学还为其他学科如偏微分方程、非线性科学、固体地球物理学等提供了范例或基本理论基础。

固体力学在过去取得了长足的发展,已形成定量化程度很高的精确科学,但现代固体力学由于其研究对象的复杂性,仍面临着许多挑战。例如,材料在外界作用下经变形、损伤到失稳或破坏的过程,尚未能清楚地描述,这是固体力学最根本的难题。与此相应的是目前工程材料可实现的强度与其理论强度相差一至二个数量级。又如,现有的各种复杂结构的设计还不够科学、优化,多数结构依靠过大的安全因数来换取安全,不仅浪费材料,而且仍未能防止灾难性事故的发生。再如,地震预报仍是未解决的难题,它与人类安全密切相关。固体力学的学科发展是无止境的。

三、工程静力学的研究内容与任务

工程力学是力学与现代科学技术交叉的一门力学分支,是各种工程科学的基础。与力学的其他分支学科相比,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的《工程力学》只涉及其最基础的部分,主要应用固体力学中理论力学和材料力学的理论和方法研究工程构件、结构和机构。按研究对象是处于平衡或加速运动区分,又分为工程静力学和工程动力学两门课程。

工程静力学是工程力学的入门课程,主要研究处于平衡状态的工程构件的受力、变形和失效。本课程包括三方面的内容:静力分析基础,变形固体力学引论,杆件的强度、刚度和稳定性分析。

工程构件的形状多种多样,但可概括为四种类型:杆、板、壳和块体。杆是一个方向(轴向)的尺寸远大于另两个方向(横向)的尺寸的细长构件(图 1-1)^①;杆横截面中心的连线称为轴线,轴线为直线者称直杆(图 1-1a);轴线为曲线的杆称为曲杆(图 1-1b)。所有横截面的形状大小均相同者称为等截面杆。横截面的厚度比长和宽小得多的杆称为薄壁杆,如各种型钢(图 1-1c)。板和壳则是一个方向的尺寸(厚度)远小于另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)。块体是三个方向的尺寸同属一个数量级的构件(图 1-2c)。作为入门课程,我们的研究对象以等截面直杆为主,但课程中介绍的基本概念和原理则同样适用于其他工程构件。

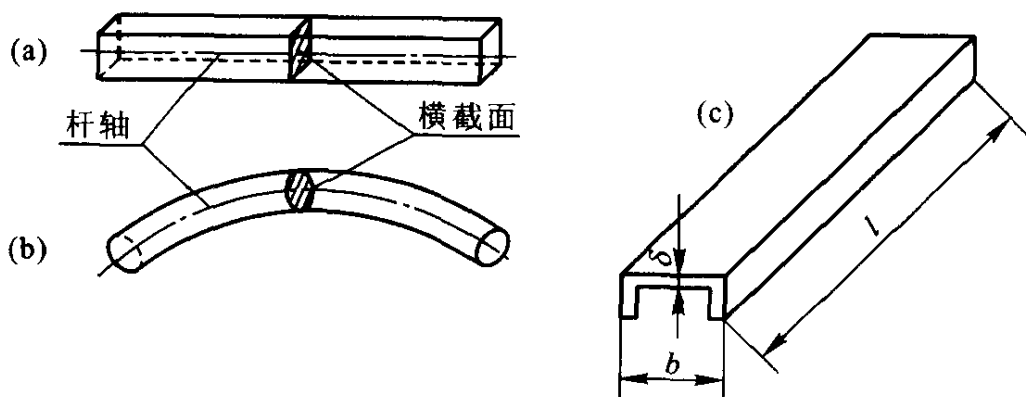


图 1-1

工程构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为失效。工程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。强度失效是指构件发生过大的永久变形或断裂,如钢缆承载过大变长变细甚至断裂,

① 按有关制图标准规定,本书各图中长度单位为 mm 者,将不再标注其单位。

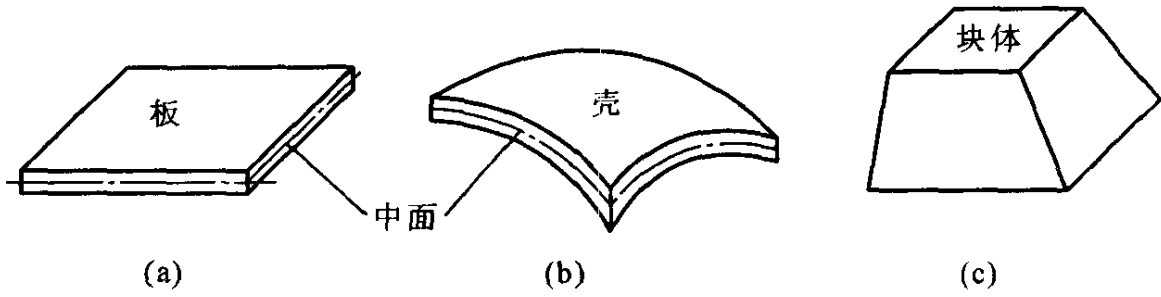


图 1-2

起重机吊环断裂(图 1-3), 高压容器和管道在压力过大时可能爆裂。刚度失效是指构件发生过大的弹性变形, 如电机转轴变形过大会使运转时转子与定子相撞, 还会导致轴承的不均匀磨损(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, 影响孔的表面光洁度(图 1-5)。稳定性失效是指构件平衡形式发生突变, 如内燃机中挺杆和千斤顶中螺杆轴向受压过大突然变弯(图 1-6 和图 1-7)。

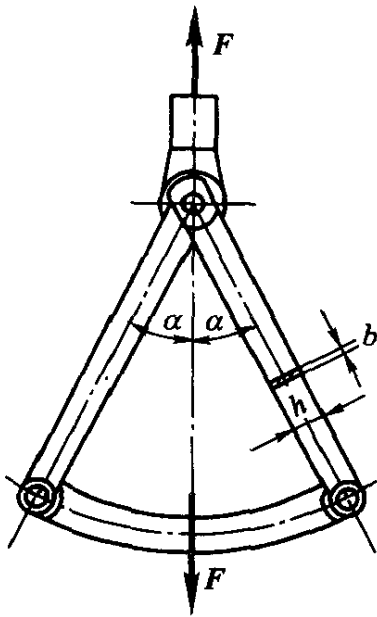


图 1-3

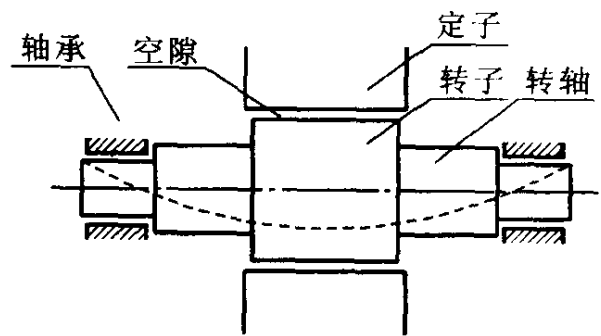


图 1-4

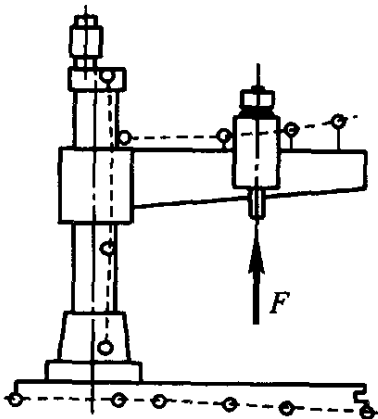


图 1-5

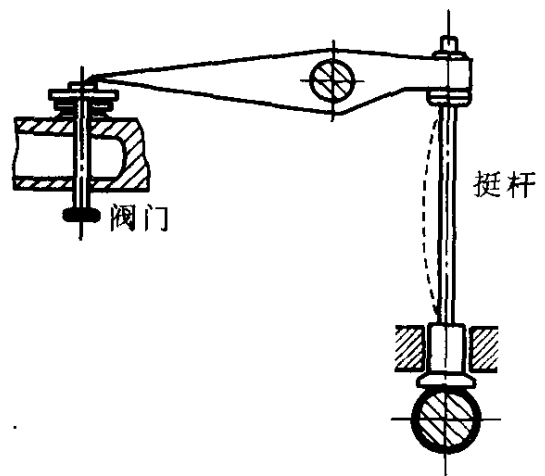


图 1-6

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一对矛盾。工程设计的任务就是为构件选择适当的材料,确定合理的截面形状和尺寸,保证构件具有足够的承载能力,在确定的外力(载荷)作用下正常工作而不破坏,即具有足够的强度、刚度和稳定性;同时,还应是最经济的。安全、适用和经济性是任何机械或工程结构必须满足的三个基本要求。为此,需要:

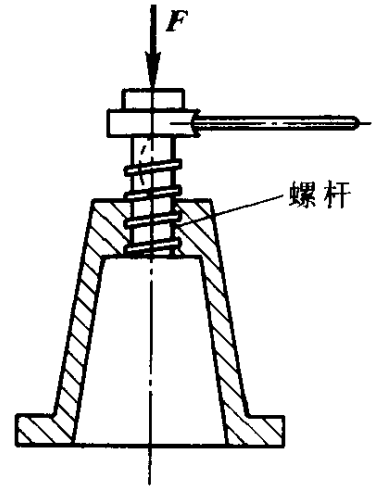


图 1-7

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的内部受力情况、变形和失效的规律。
3. 提出保证构件具有足够强度、刚度和稳定性的设计准则和计算方法。

工程静力学的任务则是提供工程设计的基础知识和方法,并为学习其他工程力学课程和专业课程提供坚实的基础。本课程仍以牛顿经典力学的概念、理论和方法为基础。它的一个基本观点是:对于一个质点而言,力与加速度成正比,这就是牛顿第二定律。我们的任务是要把这一定律推广到一般的质点系、物体和物体系统,以便研究工程构件,但只涉及一种退化的情形,即加速度为零的情形。本课程的数学基础为微积分和矢量代数。

工程师的实践活动有赖于其思维能力和实践能力,而工程师的思维能力受益于力学的思维方式,实践能力则依赖于深厚的力学基础。工程力学对所要解决的问题都是抓住主要矛盾,提出力学模型,设计计算方法,然后再应用到各种具体的工程结构中去。这一思维方式成为形成工程师思维能力的重要因素。20世纪50年代美国工程师特纳(M. J. Turner)等人在飞机结构的分析中以三角形单元和矩形单元的组合物来代替原来的结构,并将结构矩阵分析法扩大到平面应力问题中,此即有限元法的初创工作。到20世纪60年代,国内与国外学者几乎同时在实践的基础上对这一方法不断充实完善,并给出了解的收敛性证明和误差估计。这一方法由航空工程迅速扩大到土木、水利、造船、机械等工程中去,现在已经成为工程师们手中解决过去不可想象的复杂结构的应力和变形分析问题的强有力工具。可以看到,这一思维过程的前一部分是一种有集中指向性的收敛思维,而后一部分则是多路奔驰的发散思维。20世纪70年代,英国一台50万千瓦发电机的转子由于故障承受了5~7倍于额定电流的电流而发生过热,引起的应力使转子产生裂纹,最深处达180 mm,该轴能否继续使用成为人们极为关切的问题。工程师A. T. Stewart等人经过对裂纹沿转子分布的观察并根据断裂力学理论进行分析,指出裂纹扩展速率是逐渐减小的,最终裂纹将被止住,并指

出该轴至少可以再使用 7 000 小时,从而使带裂纹转子重新投入使用,避免了巨大的经济损失。这一例子说明,工程师的实践能力依赖于深厚的力学基础。

综上所述,工程力学的思维方式和基础知识不仅是再现型人才(即用学过的知识来解决多次发生过的问题或一般性问题的人才)所需要的,也是创新型人才(即能解决首次发现的或前沿性问题的人才)所需要的。工程力学的学习在工程师的培养中起着十分重要的作用。

§ 1-2 力学的基本研究方法

一、力学研究的方法

力学的研究需要观察和实验、测量和计算,以及理论分析这三方面工作的密切配合。实验是提出理论模型和工程准则的基本出发点,也是检验它们的准绳。现代力学问题的解决需要巧妙设计的实验,需要精细的现代化的测量手段。而贯彻始终的则是进行去粗取精、去伪存真的理论分析工作。另一方面,长期以来,力学的发展以实验与理论分析为支柱,宏观力学的经典理论体系早已建立,然而其数学方程的分析求解却远未解决。力学的数值分析计算在过去成了通向工程应用的瓶颈。当今计算机的功能发展很快,各种大型应用软件面世,从根本上改善了力学的计算能力,并行计算技术、智能化计算环境和计算机仿真已经成为可能,计算力学和实验力学一起,已成为带动力学发展的重要分支学科。

在本书中,我们要叙述一些力学原理,都是一些成熟的、经典性的结果,主要不是着眼于这些原理的建立和论证,而是这些原理的合理应用。

工程力学解决问题的一般步骤如下:

1. 确定研究对象。
2. 建立或选择力学模型。这一步包括对研究对象性能的研究及对真实情况的理想化和简化,即力学建模。
3. 将力学原理应用于理想模型,进行理论分析和数学演绎,建立方程或其他表达式,即数学建模。
4. 求解数学问题。除少数问题能进行分析求解外,大多数工程问题都需要首先将数学问题离散化——制订算法,离散问题程序化——选用或编制程序,并进一步优化程序,最后进行数值计算,得到结果或结论。
5. 验证结论。将结论与真实系统的性能进行比较。这一般要依靠实验。
6. 更改或修正。比较未能达到满意的一致性 or 精度,就须重新考虑上述步骤。通常对力学模型进行修改就往往可以取得进展。

在本门课程中,我们把主要精力放在前三步上。第二步和第三步就是理论