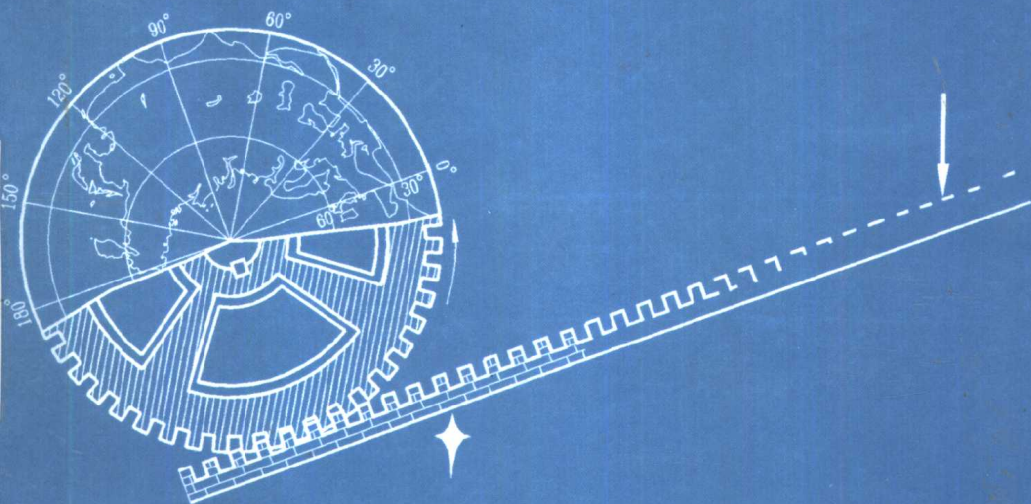


GONGCHENG LIXUE JIAO CHENG

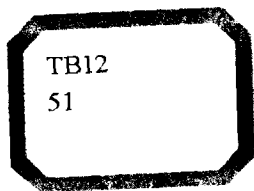
工程力学

教程

高斌 李冬霞 主编



黄河水利出版社



工程力学教程

主 编 高 斌 李冬霞
副主编 李 申 许宏伟
杨书申 杜玉成

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学教程/高斌,李冬霞主编,一郑州:黄河水利出版社,2001.12

ISBN 7-80621-525-5

I.工… II.①高…②李… 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(2001)第 084762 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrep@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:10.75

字数:270千字

印数:1-3100

版次:2001年12月第1版

印次:2001年12月第1次印刷

书号:ISBN 7-80621-525-5/TB·5

定价:16.00元

内 容 提 要

本书为面向 21 世纪工程力学教改探索性教材,其内容分理论力学、材料力学两大部分,共十二章。

理论力学共六章:分别介绍静力学基础知识、力系的简化与力系的平衡、点与刚体的基本运动、点与刚体的复合运动、动量定理与动量矩定理、动能定理及动静法等内容。材料力学共六章:分别介绍构件受载后发生拉压及剪切变形、扭转变形、弯曲变形、组合变形时强度与刚度的计算方法,并简要介绍了交变载荷与压杆稳定的相关知识。书后附有型钢表(节录)。

本书的内容、结构等均与同类教材有所不同,为中少学时的工程力学探索性教材。适用于工业设计、供热通风、纺织、建筑环境、材料、自动化等大学非机类各专业和中专机类专业,也可供机类学生及工程技术人员参考。

前 言

面向 21 世纪的工程力学教学改革已探索多年,在教学内容与教学方式上我们都进行了一系列大胆尝试。众所周知,目前各高校课时日趋紧张,许多高校非机类各专业的工程力学课时近十年来亦压缩过半,原使用的多学时教材在一定程度上已不再适用,影响学生的学习效率。有鉴于此,1997 年我们结合自身教改经验,编写了一本中小学时的工程力学教材,经过几年试用,我们决定将其修改完善后重新出版,以便更好地为教学服务。

本书的主体内容仍然是依据国家教委原教材编审委员会制定的《工程力学教学大纲》要求编写的,但在结构、体系上都作了相当调整,教学要求也有所不同。例如:将力、力矩、力偶的概念及静力学理论等学生在中学或大学物理中学过的内容与受力分析归入静力学基础知识一章;将传统教材的三章内容:点的基本运动、刚体的基本运动、刚体的平面运动并入点与刚体的基本运动一章,等等。

本书中所有带“*”的部分为选学内容。

本书的配套习题已单独印制练习册,以方便学生答题和教师批改。

工程力学不仅仅是一门重要的理论基础课和技术基础课,在文明社会发展的几千年历程中,力学与哲学结下了不解之缘。例如,学习点的合成运动知识时学生了解到,同一个物体在两种不同的坐标系中会表现出完全不同的却又一样真实可信的运动规律,由此可以学会理解世界观不同的人会对同一件事得出不同的结论的现象,等等。学生在力学课中学习建立力学模型、分析问题、解

决问题时,主要的收获不是简单的专业知识,而是科学的思维方法。在专家们还在为 21 世纪的大学生首先应注重能力培养还是素质培养而争论不休时,力学教学已为这两方面的培养默默地奠定了基础,而如何奠定好这一基础,正是广大力学教师不断探求的目的。

本书由高斌、李冬霞主编。中原工学院力学教师高斌、李冬霞、李申、杨书申和郑州航空工业管理学院许宏伟、济源职业技术学院杜玉成等共同编写。

本书在编写过程中,得到有关领导和部门的大力支持,在此一并致以谢意。同时,在本书的编写过程中,参考了许多同类教材和相关书籍,调用了标准题库的部分习题,此处不再一一列出各参考书目及作者,谨致谢意。

限于我们的水平,特别是作为探索性教材,一定会有许多待改进之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月

目 录

前 言	
绪 论	(1)

上篇 理论力学

第一章 静力学基础知识	(12)
第一节 静力学基本概念	(12)
第二节 静力学基本原理	(21)
第三节 物体的受力分析	(30)
习题	(38)
第二章 力系的简化与平衡	(40)
第一节 力系的简化方法及结果	(40)
第二节 平面力系的平衡问题	(52)
第三节 空间力系的平衡问题	(64)
习题	(73)
第三章 点与刚体的基本运动	(76)
第一节 点的基本运动规律	(76)
第二节 刚体的基本运动规律	(83)
第三节 刚体的平面运动规律	(88)
习题	(97)
第四章 点与刚体的复合运动	(99)
第一节 合成运动的基本概念	(99)
第二节 点的速度合成定理	(101)
第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理*	(105)

习题	(110)
第五章 动量定理和动量矩定理	(112)
第一节 动力学基本方程	(112)
第二节 动量定理	(116)
第三节 动量矩定理	(123)
第四节 刚体平面运动微分方程	(134)
习题	(137)
第六章 动能定理	(139)
第一节 功与功率	(139)
第二节 动能定理	(143)
第三节 动力学普遍定理的综合运用	(149)
第四节 动静法	(152)
习题	(159)

下篇 材料力学

第七章 拉伸与压缩	(163)
第一节 拉(压)杆的强度计算	(163)
第二节 拉(压)杆的变形、简单超静定问题	(173)
第三节 联接件的强度计算	(181)
第四节 应力集中的概念	(188)
第五节 常用材料的拉(压)机械性能	(189)
习题	(197)
第八章 轴的扭转	(200)
第一节 外力偶矩、扭矩和扭矩图	(200)
第二节 受扭构件的应力及强度条件	(204)
第三节 圆轴扭转时的变形和刚度计算	(211)
习题	(214)
第九章 梁的弯曲	(217)

第一节	梁的内力	(217)
第二节	弯矩、剪力和载荷集度间的关系	(226)
第三节	梁弯曲时的正应力和强度计算	(231)
第四节	弯曲变形及刚度计算	(242)
	习题	(259)
第十章	组合变形	(263)
第一节	组合变形及应力状态	(263)
第二节	强度理论	(272)
第三节	拉(压)弯组合变形强度计算	(276)
第四节	弯扭组合变形强度计算	(280)
	习题	(288)
第十一章	构件的疲劳强度	(290)
第一节	疲劳破坏的特点与原因简述	(290)
第二节	有关交变应力的基本概念	(292)
第三节	试件的疲劳极限	(293)
第四节	影响疲劳极限的因素	(295)
第五节	提高构件疲劳强度的措施	(298)
	习题	(299)
第十二章	压杆稳定问题	(302)
第一节	压杆稳定的基本概念	(302)
第二节	压杆的临界载荷	(303)
第三节	常见支承条件下压杆的临界力公式	(306)
第四节	临界应力与柔度	(308)
第五节	压杆稳定安全校核	(312)
第六节	提高压杆承载能力的措施	(313)
	习题	(315)
附录	型钢表(节录)	(316)

绪 论

一、力学的过去与未来

力学是一门基础学科,它同数、理、化、天、地、生并列为七大基础学科之一。力学又属于技术学科,它根植于国民经济的各个产业门类,哪里有技术难题,哪里就有力学难题。

1. 人类文明有多久,力学就有多久

在科学发展史上,力学是最早受到人类重视的科学之一。可以说,力学问题的出现早于地球的诞生,而力学知识的积累伴随着由猿到人的发展历程并走向永远。人是使用工具的动物,从石头和木棍开始,迄今人类所创造的各种工具,大都是在力学的指导下逐渐改进和完成的,即使今日的核电站也不例外。

我国最早的力学记载见于《墨经》(前 468~前 382)一书,记录有杠杆原理等力学知识;同期稍后古希腊阿基米德(前 287~前 212)系统论述了静力学。然而从公元前二世纪至公元十五世纪全世界都处于科学停滞状态,中国的封建王朝和欧洲的神权统治都严重阻碍了科学的发展。

马克思说:力学是“大工业的真正科学的基础”。20 世纪前,人类的近代工业如蒸汽机、内燃机与机械工业、大水利工程、大跨度桥梁、铁路与机车、轮船、枪炮无一不是在力学知识积累的基础上产生与发展起来的。20 世纪高新技术如航天航空、高层建筑、巨型轮船、大跨度与新型桥梁(斜、吊)、海洋平台、精密机械、机器人、高速列车、海底隧道等都是力学指导下实现的。

如一架能坐 400 人的波音 747 飞机,长宽超过半个足球场大,重量超过百吨,想一想它竟然可以在比鸿毛还轻的空气中翱翔,恐

怕不能不叹服近代空气动力学的成就。再看一看它那舒展的机翼,在飞机遇到不稳定气流时,它在上下颤动,而航行竟是如此平稳、安全可靠,则又不能不承认固体力学和结构力学的成就。当你身经一次跨越太平洋、遥遥数万里飞行时,不论白天还是黑夜,它都能准确无误地到达,既不会延误时间也不会走错路,更不会失控,我们不能不感谢导航和自动控制的成就,而其核心技术却是一般力学的研究对象。

半导体看似与力学无关,然而计算机芯片太小时,电流引起的热应力是需要解决的主要难题。生物力学是 21 世纪的带头产业,每一项人工器官的研制都离不开力学家的参与。钱学森说过,“不可能设想,不要现代力学就能实现现代化。”

2. 力学是研究物质宏观机械运动的学问

恩格斯说:“认识机械运动是科学的第一任务。”周培源说:“只要自然界存在着机械运动,以及机械运动和其他高级运动形式的相互联系,力学就永远有无止境的研究课题,就永远有无限光辉的前景。”工科大学生不可避免地要和各种机械设备及工程项目打交道,也就不可避免地要遇到力学问题,因此学好力学课程是所有工科大学生共同的任务。力学与其他学科的相互影响主要通过以下 5 种途径:

(1)力学是自然科学中精确化最早的学科,历史上最伟大的力学家同时也是伟大的数学家。将实际问题经过模式化转化为数学问题求解再回到实际所形成的方法论,深深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从的规律及初始状态,去追踪系统的发展。这种方法应用到天文学、物理学中,后来应用在化学中讨论反应过程形成化学动力学。精确化后的经济学的经济动力学也可以看做是这一方法论的延伸。

(2)力学中研究的宏观现象,是自然界最易于直接观察到的现

象。许多重要的发现和结论都是在力学中首先研究清楚后,才在其他学科中发现和应用的。例如,孤立子波是 1834 年在浅水渠中发现的一种力学现象。到 20 世纪 60 年代后才发现它与量子力学间的联系,后来在光学中也发现了这种现象,并在光导纤维技术中得到应用等。

(3)由于宏观运动规律的广泛存在性,其他基础学科的研究有赖于对基本宏观运动规律的认识,如天气预报要遇到大气湍流问题,而湍流是流体力学中的基础课题,生物学中血液循环、化学中的物质扩散过程等,本身无不就是力学的课题。

(4)力学研究为其他学科提出了挑战性的难题。如对数学提出运动稳定性问题以及各种复杂问题的描述和求解方法。多自由度保守系统,在数学上既是动力系统的研究对象,也是黎曼几何、辛几何的研究对象。

(5)力学吸收其他学科的成果完善发展自己。牛顿运动三大定律就是在丰富的天文观测资料基础上总结出来的。力学先进的实验与测量技术,就是吸收了光学、电学、电子学与计算机的成果武装起来的。

1978 年邓小平根据谈镐生教授的建议,将力学列入基础学科规划。

3. 力学与国民经济的发展密切相关

力学分理论力学和应用力学,理论力学是从观察研究大自然现象中用归纳和演绎的方法发展自己。如牛顿力学,其重点是从运动规律本身讨论问题,力求将规律弄清楚,再应用解释自然界和应用指导技术。应用力学则是从工业技术面对的难题,利用和扩充已有的力学原理,提炼新的力学模型并加以解决,从而推动力学的发展。如二战前人们认为飞机不可能超音速飞行,由于高速空气动力学将高速流动的规律研究清楚了,才实现了高速飞行。

美国科学院院士 J.G.Glimm 说过,“40 年前,中国有句话说,

‘枪杆子里面出政权’，从 20 世纪 70 年代起，应是‘科学技术里面出政权’。”落后就要挨打。历史上中国的“大刀长矛”屈辱于列强的“洋枪洋炮”，前者的生产背景是落后的手工业，而后者是现代机械工业，相应的科学技术基础就是力学。这种落后，反映在科学上毋宁说就是力学的落后。

20 世纪 60 年代，英国开发北海油田摆脱经济衰退困境，其关键是海洋石油开采平台的设计与制造，是涉及海浪、岩土、结构等多个力学学科的课题。70 年代后，日本汽车的优势主要靠省油的发动机和外壳一次加压成形，后一条极大地节约成本，它是塑性力学在压力加工中应用的成功，前一条有一半是靠力学燃烧过程的研究。

现代战争的一个侧面是高技术的较量，从军队快速调动、给养补充到攻防设施都是力学课题。石油勘探采用人工激振方法收集讯号分析油层，这是力学波动问题。采矿是岩石力学；三峡工程是水工力学、爆炸力学、河流动力学等。复合材料是弹塑性力学，火车提速涉及车辆动力学、非线性振动等，化学工业中的流体力学、高压容器，国防工业中的导弹、战斗机、潜艇离不开力学原理，穿甲力学则是攻防的科学总结。总之，国民经济发展离不开力学，而所有这些都属于工程力学或应用力学的领域，有些则属于基础理论的课题。

目前待解决的主要课题有湍流与流动稳定性、动力系统、非线性振动、计算力学和生物力学等交叉学科，以及材料破坏机理的研究。例如，60 年前实验室内生产出的金属胡须（无缺陷单晶体）的强度是普通金属的 1 500 倍，若能投入工业化生产，则一根细金属线即可吊起一辆火车头，金属就会成百倍地节约。

4. 力学的文化性与力学的责任性

力学与天文学、数学是基础学科中历史最悠久的三个伙伴，都日益成为公民必须掌握的知识。在我国，“力学”一词最早见于

800年前的史书,但那是“努力学习”之意。明天启7年(1627年)译作“力重、力艺”,至20世纪初方译为“力学”。在西语里,力学与机械是同一个词,实际上,机械工业从它诞生起就一直是“力学”的技术化,而建筑工程则是美化了的结构与结构力学。

力学是一种文化。中国科学院的专家们指出,力学是迈入近代工程技术和科学的门槛,不论是什么行业的工程师,也不论是从事哪一行业的科学家,在他专业培训之前,他对力学的了解深度几乎决定了他进入专业之后的作为。更不要说日常生活中,车辆时速、加速度、马力、刹车、摩擦、弹性、塑性、流量、比重、黏度、热效率等概念几乎随时随处可遇,一个现代社会的成员,缺少了力学知识则寸步难行。搬运工多知道一些力学知识,鸡蛋、玻璃、水果等就会减少损失;驾驶员了解力学知识,交通事故就会减少;产业部门工作人员多了解一些力学知识,生产运行就会更加正常。如果广大民众多一些力学知识,愚昧、迷信、反科学、伪科学就会少一些市场。

力学有悠久的历史,有辉煌的业绩,但是,从未来需求的角度来看,从我们对客观世界认识的深度来看,力学所达到的水平似乎又是非常可怜的。例如两物体以万有引力相互吸引的运动问题早在牛顿时代就已解决,而至今三体问题尚没有弄清楚,何况我们还有量子力学、天文学等方面提出的多体问题。进而,所谓连续介质力学,研究对象无限多质点连续分布的系统,它的一般运动规律更是难题中的难题。再如,自然现象与技术中的实际力学问题大都是非线性的,人们经过几百年的努力,也只能得到线性近似解,这种近似解是难以满足人们的全部需求的。

科学技术的发展不断提出新的理论与应用课题等待我们去解决。英国学者丹皮尔说:“知识之球愈大,则其与未知之界面也愈大。”等待我们去探求的未知世界变得更宽广了。

二、依萨克·牛顿(1642~1727)简介

1. 牛顿的生平简历及事迹

1642年12月25日,牛顿出生于英国中东部林肯郡的格兰瑟姆镇沃尔索普小村庄一个中等农户家。出生前两个月其父已去世,这使牛顿成为一个遗腹子。由于他先天瘦弱,人们没想到他会活下来。当牛顿不足2岁时其母改嫁一牧师,这样,幼儿时期的牛顿只得靠外婆和舅舅抚养。6岁时外婆送其进格兰瑟姆镇公立小学,12岁考入镇文科中学。在中学时他迷上了手工制作,其作品获师生好评。

继父1657年去世后,其母带着再婚后的三个孩子重回沃尔索普老家,因家境贫寒,牛顿被迫停学回家种地,但其不愿务农也做不好,因而一年后,在镇中学校长和其另一位做牧师的舅舅的干预下,牛顿的母亲终于同意其复学。1660年,牛顿寄宿药剂师克拉克家,开始化学试验并认识克拉克小姐。同年英皇家学会筹建,1662年正式创立。

1661年,19岁的牛顿考入剑桥大学三一学院,梦想成为占星术士。当时占星术是俸禄丰厚的职业,天文学家开普勒即以占星术职业糊口,故牛顿特别注重数学和天文学的学习。因其家境困难,只得边学习边打杂,同时还得伺候富家子弟,这样可以减免学费,且可获得免费午餐。

1664年牛顿大学毕业获文学士学位,被选为三一学院研究生,并有幸成为牛顿以前最伟大的数学家巴罗的助手。1665年夏,瘟疫大流行,师生一逃而空,牛顿也回到了沃尔索普老家,正是在家避难的两年中,牛顿开始了科学研究,产生了万有引力、光的色散、微积分等萌芽。苹果落到了他的头上。

1667年3月,25岁的牛顿返回剑桥大学,获文学硕士学位,同年当选三一学院研究员。1669年,39岁的巴罗教授为保护牛顿的数学天才而慷慨引退,推荐牛顿做他的继承人,这样,不足28岁的

牛顿便成为以自然科学为基本内容的卢卡斯讲座的第二任首席数学教授。

牛顿从 1670 年开始讲课。主要是光学、数学、力学等,但教学并不成功,虽大做广告,但听其讲课的学生仍很少。然而从此开始的近二十年间,牛顿却获得了自然科学史上的许多重大成就。业绩之一是创立了科学的光学,发现太阳光的合成性质,做光的色散实验、牛顿环、光的粒子说。由于发明和制造新式反射天文望远镜而于 1672 年 1 月当选为皇家学会会员。业绩之二是由求瞬时速度、曲线任意点切线引出微积分及二项式定理等开创高等数学;业绩之三是由万有引力奠定天体力学;业绩之四是总结牛顿三定律,奠定经典力学基础。1684 年写出《自然哲学的数学原理》书稿,其囊括了其各项科学思想,于 1687 年正式出版。此外牛顿在化学试验及炼金术上也花费了大量时间,然而收效不大。

1689 年,47 岁的牛顿代表剑桥大学当选为国会议员。1690 年国会解散后牛顿重回剑桥,致力于《圣经》的研究与诠释,1695 年被任命为伦敦造币厂督办,因工作兢兢业业且成效显著,1699 年任造币厂厂长,直至去世。

1701 年牛顿辞去三一学院研究员及卢卡斯讲座教授职务,但仍不时研究一些小问题。1703 年当选英国皇家学会会长,直至去世。1705 年安妮女王封其为爵士。1727 年 3 月 20 日去世,享年 85 岁。葬于威斯敏斯特教堂。

恩格斯说:“牛顿由于发现了万有引力定律而创立了科学的天文学,由于进行了光的分解而创立了科学的光学,由于创立了二项式定理和无限理论而创立了科学的数学,由于认识了力的本性而创立了科学的力学。”作为四大学科的奠基者,牛顿是当之无愧的。

牛顿因巨大成就生前已为科学巨人,但终其一生都很谦逊。他说:“如果我比别人看的远些,那是因为站在巨人肩上的缘故。”又说,“我不知道别人看我是什么样的人,但我自认为我不过像一

个在海边玩耍的孩童,不时为发现比寻常更为绚丽的一块卵石或一片红色的贝壳而沾沾自喜,而对于展现在我面前的浩瀚的真理的海洋却全然没有发现。”

2. 牛顿是如何由科学转向神学的

牛顿固然是一位空前绝后的科学巨人,但其科学成就都是在前半生取得的,后半生主要用于研究《圣经》和管理造币厂。他是如何转向神学的呢?

1691年英国著名化学家波义耳临终前立下一份奇怪的遗嘱,以部分遗产捐赠,以年俸50英镑征求科学家和神学家开设一个常设性讲座,用科学的最新成果证明上帝的存在,得到教会的积极支持。青年牧师本特立选为首任主讲人。为了引用最新成果,他数次写信求教牛顿,如何才能以天体力学的最新成果证明上帝的存在。牛顿以回信为开端,逐渐从科学转向神学。

牛顿一直苦于找不到行星运动最初的力学动因,有了上帝则迎刃而解,原来是上帝的万能之手将各星球放入预定轨道并使其运动起来。此外,他献身科学30年,紧张寂寞,除中学借宿时与克拉克小姐的短暂恋情外,再未恋爱,一生独身。几十年的孤独跋涉,使其体力疲乏,精神疲惫,特别是他终生对争议与批评有恐惧感,然而命运多桀,与惠更斯光的波、粒之说论战,与莱布尼兹的微积分发明居先权之争,与虎克万有引力发现居先权之争等,使他对学术研究中心生厌倦,再加上1693年患病期间情绪不佳,故而转向神学以求精神解脱。

牛顿转向神学与其机械自然观的世界观有关。他在绝对时空观、物质微粒观、绝对运动观相继形成的基础上,把自然界的所有作用都归结为力的作用。他认为:“哲学的全部任务,看来就是从各种运动现象来研究各种自然之力,然后用这些力去论证其他的现象。”

牛顿转向神学与其所处时代背景有关。他成长于斯图亚特王