

813

7815-45
665

面向 21 世纪课程教材

工程力学基础

陈传尧 主编

陈传尧 刘恩远 梁枢平 编著



A0935950



华中理工大学出版社

· 武汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

工程力学基础/陈传尧 主编
武汉:华中理工大学出版社, 1999年9月
ISBN 7-5609-2059-4

I. 工…
I. ①陈… ②刘… ③梁…
II. 工程力学-高等学校-教材
IV. TB12

工程力学基础

陈传尧 主编

责任编辑:焦 薇

封面设计:刘 卉

责任校对:蔡晓璐

监 印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:湖北省新华印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:20.75

字数:346 000

版次:1999年9月第1版

印次:1999年9月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-2059-4/TB·46

定价:25.80元

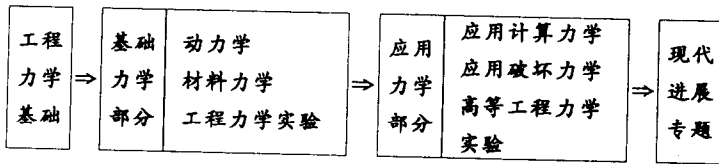
(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

大2 304张 562 013941

前 言

1996年1月,国家教育部“面向21世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”所属之“工科本科力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目组,在北京召开了立项与开题研讨会。会议指出本项目主要研究内容和目标是:更新课程内容,重组课程结构,设计新型模块系列,实现课程优化配置;提高起点,减少重复,使相关课程融合贯通,形成力学总体概念;加强学生综合能力(包括课程之间,学科之间,理论、实验、计算与工程应用之间的综合能力)的培养和训练。

华中理工大学力学系作为项目主持单位之一,于1996年初提出了一个分层次、小型、模块化工科本科力学系列课程设置方案。课程设置框架如下图所示。



“工程力学基础”是上述方案中的第一层次。课程的目的是使学生建立对于工程力学的整体认识;掌握力学的最基本的概念、理论和方法;了解现代设计技术原理,了解力学在工程中的作用。一方面希望能以较少的学时,为高等学校工科学生提供必备的现代力学基本素质教育;另一方面还希望以此为基础,促进后续课程的小型化。

以适应21世纪的社会发展和科技进步为目标,从培养学生在工程中认识、提出力学问题,并利用力学知识研究、解决问题的素质和能

力出发,这一本“工程力学基础”教材的编写,主要希望能够做到以下几点:

(1) 介绍什么是力学,力学发展简史,力学学科分类;希望能使学生对于力学的全貌有一个基本的了解。

(2) 突出基本概念、基本原理、基本方法及其应用。以固体力学的基本研究方法——力的平衡、变形的几何协调(相容)、力与变形间的物理关系的研究为分析处理工程力学问题的主线,并贯穿全书。

(3) 横向融合,纵向贯通,重组体系,减少重复。如将过去“理论力学”、“材料力学”和“流体力学”中的静力平衡分析融合贯通;以力的平衡、变形的几何协调(相容)、力与变形间的物理关系的研究主线纵向贯通“工程力学基础”、“材料力学”直至“应用计算力学”各模块课程。

(4) 增强对材料的力学行为和力学模型的现代认识,希望对材料弹性、塑性甚至于硬化行为及其力学分析有基本的了解。

(5) 深入浅出地介绍材料和结构在工程中常见的失效模式及近、现代设计方法的基本概念和原理。贴近时代,扩大视野。

力图改变学习过程中知识零散、头绪繁多、枝叶障目、主干模糊的状态,加强对工程力学研究方法的整体认识。通过逻辑思维与形象思维的结合、综合思维与扩散思维的结合、求同思维与立异思维的结合,注意锻炼、培养学生的归纳思维能力,激发创造性思维。

本教材中第一~八章是力学系列课程改革第一层次的基本内容,由陈传尧编写。这一部分曾以“工程力学概论”为名,印出过两次讲义,在96、97级学生中试用,讲授32学时。试点后,学生认为课程主干清晰、内容精炼、信息量大、效果好。

1998年,本书除在机械学院、材料学院讲授外,又扩大到一些由于学时所限曾取消了力学课程的非机械、土木专业(如自控、光学、生物工程、应用电子学等专业),作为工科学生基本工程素质培养课程的教材。为此,又补充了六章。其中第九、十两章由梁枢平提供初稿,十一~十四章由刘恩远编写,全书由陈传尧统一修改定稿。这样,以一~八章为基础,增选九、十两章或十一~十四章,可以满足各无后续力学课程专业学生作为基本力学素质培养的不同需要。讲授时间可以为40~48学时。

教学改革是大事,也是难事。即以本书而言,能否达到所预期的目的,能否为教师和学生所接受,都还需要进一步实践并不断改善。为了培养适应 21 世纪社会发展和科技进步的高层次人才,笔者愿意和大家一起努力探索。

本书于 1999 年 1 月底在上海交通大学通过了教育部委托基础力学课程教学指导小组组织的专家评审。清华大学范钦珊教授、上海交通大学洪嘉振教授、上海大学叶志明教授认真审阅了书稿并提出了宝贵意见;王杏根等同志参加了试点教学;华中理工大学教务处、机械学院、材料学院的领导和同志们为组织试点教学给予了极大的关心与支持;作者在此谨向他们表示最诚挚的谢意!

衷心感谢为这本教材的编写、试用、出版提供支持和方便的所有同志们。

陈传尧

1999 年 6 月于华中理工大学

第一章 绪 论

1.1 什么是力学

力学是研究物质机械运动规律的科学。力学是研究物质在空间中的运动的。世界充满着物质,有形的固体、无形的空气,都是力学的研究对象。力学所阐述的物质机械运动的规律,与数学、物理等学科一样,是自然科学中的普遍规律。因此,力学是基础科学。同时,人们认识到,这些规律在各工程技术领域中可以直接获得应用,实际面对着工程,服务于工程。所以,力学又是技术科学。力学是各工程技术学科的重要理论基础。工程技术的发展过程中不断提出新的力学问题,力学的发展又不断应用于工程实际并推动其进步,二者有着十分密切的联系。从这个意义上说,力学是沟通自然科学基础理论与工程技术实践的桥梁。

力学是研究力和运动的科学。从一些基于实验观察规律和结果的假设出发,由数学和逻辑推演可对自然界物质运动的现象作出相当详细的描述和预测。

力学是最古老的物理科学之一,其历史可以回溯到阿基米德时代(公元前287~前212年)。力学探讨的问题十分广泛,内容和应用范围不断扩展,引起了几乎所有伟大科学家的兴趣。如伽利略、牛顿、达朗倍尔、拉格朗日、拉普拉斯、欧拉、爱因斯坦等。

工程力学(或者应用力学)是将力学原理应用于有实际意义的工程系统的科学。它所承担的任务是:了解工程系统的性态并为其设计提供合理的规则。

1.2 力学与工程

这里仅以力学与航空工程为例,作一简单的回顾。

人们向往能在天空自由自在地飞行。但直到18世纪初,除了有一些利用风筝或模拟翅膀,借助于风力的尝试外,人们自己还没有真正飞起来过。

最先开始的飞行,是气球飞行。1783年6月,法国的蒙高兄弟(M. Joseph and M. Etienne)公开表演了布袋式热气球飞行。同年9月,他们又表演了载有生物(羊、鸡、鸭各一)的气球飞行。这年12月,罗赛亚和阿兰迪乘蒙高兄弟的热气球飞到近千米的高空。后来,又开始了氢气球载人飞行,升空高度也不断增加,直到万米高空。但高空似乎并不欢迎这些陌生的游客,严寒和缺氧夺去了一些勇敢者的生命。1875年的一次飞行中,3人乘气球升到1万米高空,回来的幸存者仅有梯萨德(G. Tissandier)1人。

19世纪后,蒸汽机、电动机、内燃机等动力装置得到应用。出现了用动力装置作为辅助动力,靠充填氢、氦、热空气等产生升力的飞艇。为了能将沉重的机器带上空中,飞艇不得不做成很大的体积。但人们可以向周围任意方向飞行,比气球又前进了一步。无论气球还是飞艇,升力都是由比空气轻的气体获得的,是空气静力飞行。

19世纪末,经典流体力学基础已经形成。到20世纪,研究飞行器或其他物体在同气体作相对运动情况下的受力特性、气体流动规律的空气动力学从流体力学中发展出来,形成了一个新的学科分支。

航空要解决的主要问题是获得飞行器所需要的举力(升力),减小飞行器的阻力并提高飞行速度。这就需要从理论和实践两方面研究飞行器与空气相对运动时作用力的产生及其规律。1894年到1910年,兰彻斯特(F. W. Lanchester, 英国)、库塔(M. W. Kutta, 德国)、儒科夫斯基(俄国)和普朗特(L. Prandte, 德国)等在无限翼展机翼举力理论、边界层理论、有限翼展机翼的举力线理论等方面的研究取得了重大进展。人类由此进入了利用空气动力飞行的时代。1946年,琼斯(R. T. Jones, 美国)提出了小展弦比机翼理论,可以足够精确地求出机翼上的压力分布和表面摩擦阻力。

1903年,莱特兄弟(美国)用他们自己制作的木制机身、双层帆布机翼螺旋桨飞机进行了第一次飞行。不久,美、俄等国研制的飞机(主要是军用飞机)即达上千架。第一次世界大战后,开始出现单翼机。这个时期制造飞机的主要材料还是木材和帆布,飞行的速度、高度、距离都还有限。

1939年,随着燃气轮机的应用,第一架喷气式飞机诞生了。到1949年,英国研制成功第一架喷气式客机“彗星(Comet)号”,可载客80名,最大起飞重量达70吨,飞行的速度、高度、距离都得到了很大的提高。

在飞行速度接近声速时,飞机的气动性能发生急剧变化,阻力突增,举力骤降,飞机的操纵性和稳定性也极度恶化,这就是航空史上著名的声障。大推力发

动机的出现使飞机冲过了声障,但并没有很好地解决复杂的跨声速流动问题。直到1946年,阿克莱特、李普曼、中国学者钱学森和郭永怀分析了流场中出现的边界层和冲击波的相互作用,才成功地解决了跨声速飞行中的空气动力学问题。有关力学理论的建立和工程上后掠机翼的采用,使跨声速飞行成为现实。力学对突破航空中的声障起了关键作用。在不断提高飞机速度的驱动下,高超声速(马赫数大于5)空气动力学研究也已经进行并且正在继续发展中。20世纪50年代以后,洲际导弹、航天技术、核爆炸技术等又不断地提出许多新的力学问题,促进着力学的发展。

飞机能够在空中自由自在的飞行,除了必须提供足够的升力外,还必须保证结构的安全。1952年,第一架喷气式客机“彗星号”在试飞300多小时后投入使用。1954年元月一次飞机检修后的第四天,突然发生空中爆炸,坠落于地中海。从对海中打捞起残骸的研究表明,事故是由压力舱的疲劳破坏引起的,疲劳裂纹起源于机身开口拐角处。人们从事故中吸取经验教训,进一步推动了疲劳研究。20世纪60年代末,美国空军F-111飞机连续多次发生灾难性事故,研究认为是由含裂纹构件的脆性断裂引起的,断裂力学方法也从此引入飞机设计中。以疲劳和断裂理论为基础,形成了破损安全设计、损伤容限设计、耐久性设计等新的设计准则。

可见,力学与工程是紧密结合的。力学在研究自然界物质运动普遍规律的同时,不断地应用其成果,服务于工程,促进工程技术的进步。反之,工程技术进步的要求,不断地向力学工作者提出新的课题。在解决这些问题的同时,力学自身也不断地得到丰富和发展,新的分支层出不穷。所以,力学是一门既古老又年轻的学科,它对于近、现代科学技术的进步,有着重要的影响。可以预言,在将来的科技发展中,力学必将进一步发挥重要的作用。

1.3 力学发展简史

力学发展史,就是人类从自然现象和生产活动中认识和应用物体机械运动规律的历史。因此可以说,力学几乎有与人类同样悠久的历史。

1687年,牛顿的著作《自然哲学的数学原理》出版,给出了运动三定律。牛顿运动定律的建立,是力学发展过程中的重要里程碑。

牛顿以前力学研究的历史大致可分为两个时期:

●古代

从远古到公元 6 世纪前,对力、平衡和运动有初步的了解。中国春秋时期(公元前 4~前 3 世纪),墨翟及其弟子的著作《墨经》中,就有关于力的概念、杠杆平衡、重心、浮力、强度和刚度的论述。古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle,公元前 384~前 322 年)的著作也有关于杠杆和运动的见解。为静力学奠定基础的是著名的古希腊科学家阿基米德(Archimedes-,公元前 287~前 212 年)。

●中世纪

西罗马帝国灭亡(476 年)后,欧洲进入中世纪。6~16 世纪,主要是阿拉伯人继承和发展了古希腊的科学,对力、运动以及它们之间关系的认识取得了进一步进展,为牛顿运动定律的建立作好了准备。

牛顿以后力学研究的历史大致可分为四个时期:

●17 世纪初~18 世纪末,经典力学建立和完善

这一时期,力学在自然科学领域占据中心地位。最伟大的科学家几乎都集中在这一学科,如伽利略、惠更斯、牛顿、胡克、莱布尼兹、伯努利、拉格朗日、欧拉、达朗伯等等。由于这些杰出科学家的努力,借助于当时取得的数学进展,使力学取得了十分辉煌的成就,在整个知识领域中起着支配作用。到 18 世纪末,经典力学的基础(静力学、运动学和动力学)已经建立并得到极大的完善。同时,还开始了材料力学、流体力学以及固体和流体的物性研究。

●19 世纪,力学各主要分支的建立

19 世纪,欧洲各主要国家相继完成了工业革命,大机器工业生产对力学提出了更高的要求。为适应当时土木工程建筑、机械制造和交通运输的发展,材料力学、结构力学和流体力学得到了发展和完善。建筑、机械中出现的大量强度和刚度问题,由材料力学或结构力学计算。作为为探索普遍规律而进行的基础研究,弹性力学也取得了很大的进展。

●1900 年~1960 年,近代力学

这半个多世纪,力学的主要推动力来自以航空为代表的近代工程技术。1903 年莱特兄弟飞行成功,飞机很快成为重要的战争和交通工具。1957 年,人造地球卫星发射成功,标志着航天事业的开端。力学解决了各种飞行器的空气动力学性能问题、推进器动力学问题、飞行稳定性和操纵性问题及结构和材料的强度等问

题。由此,人们清楚地看到了力学研究对于工程技术的先导作用。超声速飞行、航天器返回地面等关键问题,都基于力学研究才得以解决。力学还解决了核爆炸中对猛烈炸药爆轰的精密控制、强爆炸波的传播、反应堆的热应力等重要问题。

这一时期,由古老的材料力学、19世纪发展起来的弹性力学和结构力学、20世纪前期建立理论体系的塑性力学和粘弹性力学融合而成的固体力学发展迅速,建立和开辟了弹性动力学、塑性力学、塑性动力学等新的领域。空气动力学则是流体力学在航空、航天事业推动下的主要发展。在固体力学、流体力学形成力学分支的同时,以质点、质点系、刚体、多刚体系统等具有有限自由度的离散系统为研究对象的一般力学,也在技术进步的促进下继续发展。

力学与工程技术的联系越来越紧密。力学实验研究的规模(如大型风洞、水池等)越来越大,能力越来越强。形成了善于从错综复杂的自然现象、科学实验结果和工程技术实践中抓住事物的本质,提炼成力学模型,采用合理的数学工具,分析掌握自然现象的规律或者进而提出解决工程技术问题的方案,最后再和观察或实验结果反复校核直到接近为止的科学研究方法。

●1960年以后,现代力学

20世纪60年代以来,力学同计算技术和其他自然科学学科广泛结合,进入了现代力学的新时代。由于电子计算机技术的飞跃发展和广泛应用,由于基础科学和技术科学各学科间的相互渗透和综合,以及宏、微观相结合的研究途径的开拓,力学出现了崭新的面貌,其满足工程技术要求的能力也得到了极大的增强。

自1946年电子计算机问世以后,随着计算机计算速度、存储容量和运算能力迅速提高,过去力学中大量复杂、困难而使人不敢问津的问题,有了解决希望。20世纪60年代兴起的有限元法,发源于结构力学。一个复杂的连续体结构经离散化处理为有限单元的组后,计算机可以对这种复杂的结构系统迅速计算出结果。有限元法一出现,就显示出无比的优越性,被广泛地应用于力学各领域甚至向传热学、电磁场等非力学领域渗透。计算力学的迅速发展,显示了极为光辉的前途。

力学与基础和技术学科间相互渗透,产生了许多新的力学生长点。由冯元桢等创建的生物力学就是一个科学渗透的例证。生物力学在考虑生物形态和组织的基础上,测定生物材料的力学性能,确定其物理关系,再结合力学基本原理研究解决问题,在定量生理学、心血管系统临床问题和生物医学工程方面取得了不少成就。人们认识到:“没有生物力学,就不能很好地了解生理学。”

材料中往往存在着大量裂隙、损伤,位错理论和断裂力学分别从微观和宏观的角度突出了缺陷材料行为的特性,两者之间的密切联系也是人们探求的问题。

20世纪60年代以来,断裂力学的迅速发展,改变了工程界对强度或安全设计和材料性能评价的传统观点,促进了设计技术的进步。

力学不仅有着悠久而辉煌的历史,而且随着工程技术的进步,近几十年来其自身也在同样迅速的发展。力学研究的对象、涉及的领域、研究的手段都发生了深刻的变化,力学用来解决工程实际问题的能力得到了极大的提高。

例如:由传统的金属材料、土木石等材料力学行为的研究扩大到新型复合材料、高分子材料、结构陶瓷、功能材料等力学行为的研究;由传统的连续体宏观力学行为的研究发展到含缺陷体、细、微观结构力学行为的研究;由传统的电、光测量等实验技术研究发展为全息、云纹、散斑、超声、光纤测量等力学实验技术;由传统的静强度、刚度设计发展到断裂控制设计、抗疲劳设计、损伤容限设计、结构优化设计、动力响应计算、监测与控制、计算机数值仿真、耐久性设计和可靠性设计等。

机械、结构的小型、轻量化设计和电子工业产品的小型、超大规模集成化趋势使力学应用的领域从传统的机械、土木、航空航天等扩大到包括控制、微电子和生物医学工程等几乎所有工程技术领域。计算机技术和计算力学的发展给力学(尤其是应用力学)带来了更加蓬勃的生机,力学与工程结合、为工程服务的能力得到了极大的增强。计算机不仅成为辅助工程设计的有力工具,同时也是力学分析、数值计算、动态过程仿真的有力工具。力学在工程中应用的目的,除传统的保证结构与构件的安全和功能外,已经或正在向设计—制造—使用—维护的综合性分析与控制,功能—安全—经济的综合性评价以及自感知、自激励、自适应(甚至自诊断、自修复)的智能结构设计与分析的方向延伸。

1.4 学科分类

力学可一般地分为静力学、运动学和动力学三部分。

静力学研究力系或物体的平衡问题,不涉及物体的运动;运动学研究物体如何运动,不讨论运动与受力的关系;动力学则讨论力与运动的关系。

力学也可以按照其所研究的对象分为一般力学、固体力学和流体力学三个分支。

一般力学的研究对象是质点、质点系、刚体、多刚体系统,称为离散系统。研究力及其与运动的关系。属于一般力学范畴的有理论力学(含静力学、运动学、动力学)、分析力学、振动理论等。

固体力学的研究对象是可变形固体。研究在外力作用下,可变形固体内部各

个质点所产生的位移、运动、应力、应变以及破坏等的规律。属于固体力学范畴的有材料力学、结构力学、弹性力学和塑性力学等,研究对象都被假设为均匀连续介质。近些年发展起来的复合材料力学、断裂力学等将研究范围扩大到非均匀连续体及非连续的缺陷体。

流体力学的研究对象是气体和液体,也采用连续介质假设。研究在力的作用下,流体本身的静止状态、运动状态及流体和固体间有相对运动时的相互作用和流动规律等。属于流体力学的有水动力学、空气动力学、环境流体力学等。

力学的主要研究手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面。因此,还有实验力学、计算力学两个方面的分支。

力学在各工程技术领域的应用也形成了诸如飞行力学、船舶结构力学、岩土力学、建筑结构力学、生物力学等各种分支。

1.5 基本概念与基本方法

1.5.1 力和运动

力学研究涉及力和运动。因此,既要研究力,又要研究运动,还要将力和运动二者联系起来。

力是物体间的相互作用。

相互直接接触的物体,通过接触表面,可以有力的相互作用,称之为表面力。如两物体间的接触压力、容器壁上的液体压力等。表面力一般是分布在一定接触面积上的分布力,若接触面积很小时,可简化为集中力。

非直接接触的物体,也可以有力的相互作用,如物体的重力、惯性力等。这些力是作用在物体整个体积内的分布力,与其体积和质量有关,称之为体积力。还有电场力、磁场力等特殊场力的作用,也是体积力。

运动的研究可以分为两类。一类是整个物体的位置随时间的变化,称之为运动;另一类是物体自身形状的局部畸变,称之为变形。例如飞机在空中飞行,有着复杂的整体运动;同时,机翼、机身等结构自身形状也有微小的变化(变形),有时甚至可以看到机翼随飞机的升降而上下翘曲。这两种效应都是力作用的结果。

力与运动之关系的研究,属于动力学。可以以牛顿第二定律为基础,将力与运动联系起来。牛顿第二定律为,物体运动状态的改变($dv/dt=a$)与作用于其上的力成正比,并发生于该力的作用线上。即

$$F=ma$$

上式是解决动力学问题的基本依据,故称为**动力学基本方程**。在速度远小于光速($3 \times 10^8 \text{ km/s}$)的一般工程领域中,上述定律的正确性已有充分的实验根据。

特别地,若物体的运动状态不发生改变($a=0$),则称物体处于**平衡**。

力与固体的变形之关系的研究,属于**固体力学**。将力与固体的变形联系起来的假设是多种多样的,不同材料在不同加载方式和环境下,有不同的变形行为。如钢材和木材的力学行为不同,钢材在常温和高温下的力学行为不同,铸铁在拉伸和压缩下的力学行为不同等。在固体力学中,力与变形之关系用**应力—应变关系**描述。

1.5.2 一般方法

工程力学解决问题的一般方法,类似于一般科学研究的普遍方法,可归纳为:

(1)选择有关的研究系统。

(2)对系统进行抽象简化,建立力学模型。其中包括几何形状、材料性能、载荷及约束等真实情况的理想化和简化。

(3)将力学原理应用于理想模型,进行分析、推理,得出结论。

(4)进行尽可能真实的实验验证或将问题退化至简单情况与已知结论相比较。

(5)若推出的结论不能满意,则需要重新考虑关于系统特性的假设,建立不同的模型,进行分析,以期取得进展。

例如一个工程师,首先要按照设计要求提出一个设计,然后需要假定其性能,建立模型,进行分析。如果分析的结果不能满足预期的功能,则必须修改设计,再次分析,直到获得可用的结果。可用性不仅包括有满意的功能,而且也包括如经济、轻量化、易于制造等因素的考虑。还可能要考虑环境等因素。

上述方法中,力学模型的建立是最关键的。一个好的力学模型,既能使求解简化,又能使结果基本符合实际情况,满足所要求的精度。力学模型的建立,不仅需要对其实际情况的充分了解及分析问题的能力,还与知识面和经验有关。对由模型推出的结果进行实验验证或比较,有利于不断积累建立模型的经验。

例如,在处理普通工程构件(如杆、梁、轴等)时,可以先将其理想化为**刚体**,研究作用于其上的力,达到一定的认识水平;进一步,将其视为**变形体**,并假定其变形是**弹性**(卸载后变形能完全恢复)的,研究在载荷作用下构件的弹性变形情况,又达到了另一认识水平;如果再引入材料的**塑性**(卸载后变形不能恢复)性能,研究其弹—塑性行为,就会得到更进一步的启发。

1.5.3 工程静力学问题的基本分析方法

力学问题的分析,一般都需要进行:

- 力的研究;
- 运动和变形的研究;
- 联系力与运动或力与变形之关系的假设的研究和应用。

对于大多数情况,上述三项都需要仔细分析。在某些特殊或理想简化情况下,可以不考虑其中的一项或二项。如当假设一个构件是完全刚性的时,构件被视为不发生变形的刚体,自然无须考虑其变形;若构件又因受约束而静止,则运动也不必考虑。

对于不必考虑其运动的工程静力学问题,基本分析方法包括下述三方面:

1. 受力分析及静力平衡条件

处于匀速直线运动或静止(加速度为零)的物体,其整体或任何一部分均应满足静力平衡条件。受力分析及静力平衡条件的应用并不涉及材料应力—应变间的物理关系。在小变形情况下,一般也不涉及变形的几何关系。

2. 变形的几何相容条件

基于固体的连续性假设,固体不仅在受力前是均匀连续的,受力后仍然是均匀连续的。即固体受力后发生的变形或位移,应满足几何相容条件。所谓几何相容的变形,就是指固体在变形后仍然应当是连续的,固体内既不引起“空隙”,也不会产生“重叠”。对于变形的几何相容条件的分析,是纯粹的几何分析,并不涉及到材料应力—应变间的物理关系。

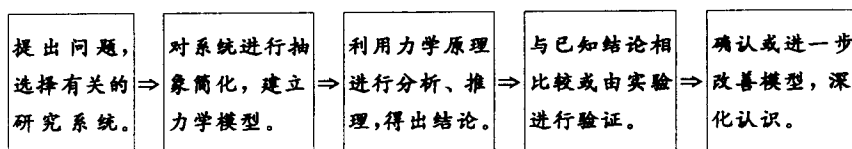
3. 力与变形间的物理关系

物体受力时要发生变形。力与变形间的关系用应力—应变间的物理关系表达,它与材料本身的力学性能及变形形式有密切关系。如虎克定律,是反映材料线弹性性能的最简单的物理关系。非线性或塑性情况下的物理关系,则复杂得多。物理关系的不同,正是不同性质固体之间的主要区别所在。

在考虑力的时候,应当考虑平衡状态应有的条件。在考虑变形时,必须考虑结构各部分变形与整体变形的协调。在研究力与变形之联系时,则必须考虑特定材料的性能。这三个方面,是研究固体力学问题的核心。

小 结

- 1) 力学是研究物质机械运动规律的科学。
- 2) 工程力学是将力学原理应用于有实际意义的工程系统的科学。其目的是了解工程系统的性态并为其设计提供合理的规则。
- 3) 力是物体间的相互作用。直接接触物体间相互作用的力,称之为表面力。非直接接触的物体间相互作用的力,称之为体积力。
- 4) 运动也可以分为两类。一类是整个物体的位置随时间的变化,称之为运动;另一类是物体自身形状的局部畸变,称之为变形。
- 5) 若物体的运动状态不发生改变($a=0$),则称物体处于平衡。
- 6) 力学可一般地分为静力学、运动学和动力学三部分;也可以按照其研究的对象分为一般力学、固体力学和流体力学三个分支;力学的主要研究手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面。因此,还有实验力学、计算力学两个方面的分支。
- 7) 力学问题的基本研究内容,包括力的研究,运动和变形的研究,力与运动或力与变形之关系的研究。所对应的静力学研究是,受力分析及平衡条件,变形所应当满足的几何协调条件,力与变形间的物理关系的研究。
- 8) 工程力学解决问题的一般方法,可归纳为:



思 考 题

- 1-1 现代力学有哪些重要的特征?
- 1-2 力是物体间的相互作用。按其作用方式如何分类? 能否举例说明?
- 1-3 力学问题的基本研究内容是什么?
- 1-4 试述工程力学解决的问题及其一般方法。

第二章 刚体静力学

基本概念与理论

静力学是研究所有力学问题的基础。刚体静力学研究的是刚体在力系作用下的平衡问题。刚体静力学的研究对象是刚体。

所谓刚体,是形状和大小不变,且内部各点的相对位置也不改变的物体。绝对刚体实际上是不存在的。在力的作用下,任何物体都会发生变形,只是变形量的大小不同而已。因此,刚体只是一种理想模型,对于变形很小的固体,在暂时不研究物体变形的时候,这一简化模型为作用于物体上力系的研究提供了很大的方便。

刚体静力学的研究内容是作用于物体或物体系统之力系的平衡问题。

所谓平衡,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。

若物体处于平衡状态,则作用在物体上的一群力(称为力系),必须满足一定的条件。这些条件是物体处于平衡状态的条件,也是作用于物体上的力系使物体处于平衡所应当满足的条件,故称为力系(或物体)的平衡条件。

在刚体静力学中,所研究的对象(物体或物体系统)被抽象为刚体,故暂不考虑物体的变形;所讨论的状态是平衡状态,所以也不考虑物体运动状态的改变。

因此,刚体静力学研究的基本问题是作用于刚体之力系的平衡问题,包括:

(1) 受力分析——分析作用在物体上的各种力,弄清被研究对象的受力情况。

(2) 平衡条件——建立物体处于平衡状态时,作用在其上各力组成的力系所应满足的条件。

(3) 利用平衡条件解决工程中的各种问题。

本章讨论刚体静力学的基本概念和基本理论,即研究上述前两个问题。如何利用静力平衡条件解决工程实际问题,则在下一章讨论。

2.1 力

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态发生变化或使物体发

生变形。力对物体的作用有两种效应,一是有使物体的运动发生改变的趋势,称为外效应;一是有使物体发生变形的趋势,称为内效应。

力是看不见也不可直接度量的,可以直接观察或度量的是力的作用效果。

使 1 千克(kg)质量的物体产生 1 米/秒²(m/s²)加速度的力,在国际单位制中就定义为 1 牛顿(N)。力的常用单位为 N 或 kN。

力是矢量。不仅有大小,还有方向。力对物体的作用效果,取决于力的大小、方向和作用点,称为力的三要素。对于刚体而言,因为力可以沿其作用线滑移而不改变其对刚体的作用效果,力的三要素成为力的大小、方向和作用线。因此,对于刚体而言,力是滑移矢。

因为力是物体间的相互作用,所以一物体对另一物体有力作用的同时,也必然受到该物体的反作用力作用。所以,力(作用力和反作用力)是成对出现的,作用在不同的物体上。牛顿第三定律指出,两物体间相互作用的力,总是大小相等、方向相反、沿同一直线,分别作用在两个物体上。

若干个共点力,可以合成为一个合力。且力的合成满足矢量加法规则。

力矢量可以用平行四边形法则进行合成和分解,如图 2.1(a)所示。作用在刚体上的两个力 F_1 、 F_2 ,只要其作用线不平行,通过力可以其作用线滑移总可以移至其作用线的交点 O ,合力 R 即可以用其矢量和表示为:

$$R = F_1 + F_2$$

合力 R 与其分力 F_1 、 F_2 对于刚体有着相同的作用效应。

图 2.1(a)之力的平行四边形,可以简化为三角形。如图 2.1(b)所示,将二分力首尾相接,则与分力首尾相对的第三边即为所求之合力 R 。这样得到的三角形,称为力三角形。

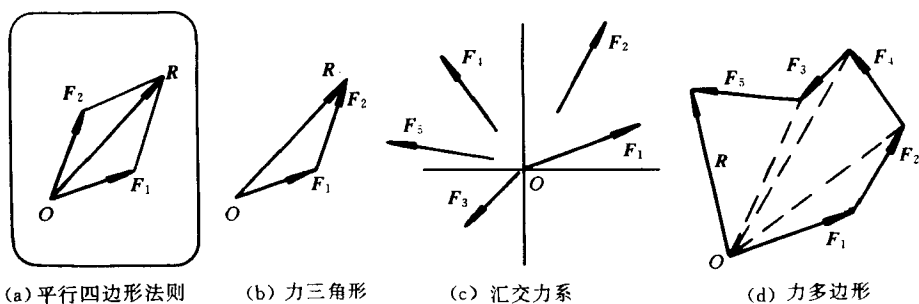


图 2.1 力的合成(几何法)