



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

理论力学

武清玺 冯 奇 主编

高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成

理 论 力 学

武清玺 冯奇 主编

高等教育出版社

· 859925

内容提要

本教材为教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一。全书以土木、水利等工程实际为背景,注重物理概念的阐述和力学建模能力的培养,通过课程内容与体系的改革,做到理论与应用并重;例题、习题丰富,能达到熟练掌握基本理论、基本方法和计算技能的教学要求;注意与相关课程的贯通和融合,突出土建、水利类专业特色。

全书共5篇,分别为静力学、运动学、动力学、分析力学基础、动力学应用专题。内容包括:基本概念及基本原理,力系的等效简化,力系的平衡,静力学应用专题(包括静定桁架、悬索、摩擦等),点的运动,刚体的基本运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点运动微分方程,质点系的动量定理、动量矩定理、动能定理,达朗贝尔原理,虚位移原理,动力学普遍方程和拉格朗日方程,线性振动的基本理论,碰撞等。

本书适用于高等学校土木、水利类专业本科生使用,也可作为高等学校工科其他专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/武清玺,冯奇主编. —北京:高等教育出版社,2003.8

ISBN 7-04-011853-X

I. 理… II. ①武…②冯… III. 理论力学—高等学校—教材 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 046768 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 北京机工印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 30.75
字 数 570 000

版 次 2003 年 8 月第 1 版
印 次 2003 年 8 月第 1 次印刷
定 价 35.00 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余所以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培养需要的立体化教材,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在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培养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培养工作的实际需要,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。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“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,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

理论力学是高等学校工科专业的技术基础课,研究物体机械运动的一般规律及其在工程实际中的应用,同时也是后续力学课程和某些专业课程的理论基础。长期以来,这门课程的基础课性质普遍得到重视,而其实用性则重视不够。本书力图结合土建、水利类专业特点,在重视理论力学基本概念、理论和方法的同时,突出其专业特色,实现与相关课程的融合和贯通。

随着科学技术的发展,特别是材料科学的发展,土建、水利工程已进入轻型化、大型化阶段,作为技术基础课程的理论力学,其内容、体系也必须进行相应地调整,以适应经济建设的需要。为达此目的,本书在编写过程中作了以下考虑:

1. 提高起点,在删除与大学物理的重复部分的同时,增加反映现代科技的知识;精炼内容,以适应当前学时有所减少的状况。

2. 以工程实际为背景,加深物理概念的阐述和工程建模能力的培养。

3. 突出土建、水利类专业特色。除了在这一领域挑选较多的例题、习题和思考题外,还增加了悬索的内容,并在线性振动一章中突出了工程背景和应用。

4. 加强与相关课程的融合与贯通。增加了工程构件的概念,增加了杆件内力和变形的阐述,力求使质点、质点系、刚体和变形体物理概念的叙述更加完整和统一。

5. 在编写过程中,本书继承了这门课程理论严密、逻辑性强的优点,同时附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习,设置的思考题可启发思维、培养创新精神。

本书部分内容标有*号,属于加深和拓展部分,非基本要求,读者可根据需要选用。

本书由武清玺、冯奇主编。其中绪论、第一章和第四章由武清玺编写,第二章和第三章由陆晓敏编写,第五章至第八章由赵引编写,第九章至第十二章以及第十七章由周松鹤编写,第十三章至第十六章由王斌耀编写。附录A、B分别由武清玺、周松鹤编写。

本书的编写,主要参考了华东水利学院(现为河海大学)工程力学教研室理论力学编写组编写的《理论力学》上、下册(高等教育出版社,1984年9月)和同济大学理论力学教研室编写的《理论力学》(同济大学出版社,1995年),同时还参阅了国内外有关教材,吸取了它们的许多长处。

在教材编写过程中得到各方面的关心和支持。清华大学贾书惠教授审阅了书稿并提出许多宝贵的意见,河海大学陈定圻教授为本书的编写提出了许多有益的建议,在此深表感谢。限于编者水平,本书难免有疏漏与不妥之处,欢迎读者指正。

编者

2002 年 12 月

目 录

绪论	(1)
§ 0-1 理论力学的内容、任务和研究方法	(1)
§ 0-2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立	(3)
§ 0-3 工程中的构件与分类	(4)

第一篇 静 力 学

第一章 基本概念及基本原理	(8)
§ 1-1 力的概念	(8)
§ 1-2 静力学基本原理	(9)
§ 1-3 力的分解与力的投影	(11)
§ 1-4 力矩	(12)
§ 1-5 力偶与力偶矩	(17)
§ 1-6 约束与约束力	(19)
§ 1-7 计算简图和示力图	(26)
思考题	(29)
习题	(30)
第二章 力系的简化	(35)
§ 2-1 力系的分类	(35)
§ 2-2 力的平移定理	(38)
§ 2-3 力系的简化	(40)
§ 2-4 重心、质心和形心	(50)
§ 2-5 平行分布力的简化	(55)
思考题	(57)
习题	(58)
第三章 力系的平衡	(64)
§ 3-1 汇交力系的平衡	(64)
§ 3-2 力偶系的平衡	(67)
§ 3-3 任意力系的平衡	(68)
§ 3-4 静定与超静定问题 物体系统的平衡问题	(74)

思考题	(80)
习题	(81)
第四章 静力学应用专题	(92)
§ 4-1 桁架	(92)
§ 4-2 悬索	(100)
§ 4-3 摩擦及有摩擦的平衡问题	(109)
思考题	(120)
习题	(122)
 第二篇 运 动 学	
第五章 点的运动	(129)
§ 5-1 矢量表示法	(130)
§ 5-2 直角坐标表示法	(131)
§ 5-3 自然表示法	(138)
§ 5-4 极坐标表示法	(144)
思考题	(148)
习题	(149)
第六章 刚体的基本运动	(154)
§ 6-1 刚体的平行移动	(154)
§ 6-2 刚体的定轴转动及体内各点的速度、加速度	(155)
§ 6-3 角速度与角加速度的矢量表示 以矢积表示点的速度和 加速度	(162)
思考题	(164)
习题	(165)
第七章 点的合成运动	(169)
§ 7-1 合成运动的概念	(169)
§ 7-2 点的速度合成	(171)
§ 7-3 牵连运动为平移时点的加速度合成	(175)
§ 7-4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成	(178)
思考题	(184)
习题	(186)
第八章 刚体的平面运动	(191)
§ 8-1 刚体平面运动的运动方程	(191)
§ 8-2 平面图形内各点的速度	(193)
§ 8-3 平面图形内各点的加速度	(201)

思考题	(206)
习题	(208)

第三篇 动 力 学

第九章 质点动力学	(215)
§ 9-1 牛顿运动定律 惯性坐标系	(216)
§ 9-2 质点运动微分方程	(217)
§ 9-3 质点在非惯性坐标系中的运动	(223)
思考题	(227)
习题	(228)
第十章 质心运动定理 动量定理	(233)
§ 10-1 质点系的质心 质心运动定理	(233)
§ 10-2 动量和冲量	(238)
§ 10-3 动量定理	(240)
思考题	(244)
习题	(245)
第十一章 动量矩定理	(251)
§ 11-1 质点系的动量矩	(251)
§ 11-2 质点系动量矩定理	(255)
§ 11-3 刚体定轴转动微分方程	(259)
§ 11-4 刚体平面运动微分方程	(262)
思考题	(266)
习题	(267)
第十二章 动能定理	(273)
§ 12-1 力与力偶的功	(273)
§ 12-2 动能	(277)
§ 12-3 动能定理	(279)
§ 12-4 势力场与势能	(284)
§ 12-5 机械能守恒定律	(286)
§ 12-6 动力学普遍定理的综合应用	(288)
思考题	(292)
习题	(293)
第十三章 达朗贝尔原理	(302)
§ 13-1 惯性力的概念	(302)
§ 13-2 达朗贝尔原理	(303)

§ 13-3 质点系惯性力系的简化	(307)
§ 13-4 一般定轴转动刚体的轴承约束力	(316)
思考题	(320)
习题	(321)

第四篇 分析力学基础

第十四章 虚位移原理	(327)
§ 14-1 广义坐标和自由度	(328)
§ 14-2 虚位移的概念与分析方法	(329)
§ 14-3 虚位移原理	(332)
§ 14-4 以广义力表示的质点系平衡条件	(340)
§ 14-5 势力场中质点系的平衡及其稳定性	(343)
思考题	(349)
习题	(350)
第十五章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(356)
§ 15-1 动力学普遍方程	(356)
§ 15-2 拉格朗日方程(第二类)	(360)
§ 15-3 拉格朗日方程的初积分	(365)
§ 15-4 哈密顿原理	(369)
思考题	(377)
习题	(377)

第五篇 动力学应用专题

第十六章 线性振动的基本理论	(381)
§ 16-1 单自由度系统的自由振动	(382)
§ 16-2 单自由度系统的受迫振动	(393)
§ 16-3 振动的隔离	(398)
§ 16-4 两个自由度系统的无阻尼自由振动	(400)
§ 16-5 两个自由度系统的无阻尼受迫振动	(409)
思考题	(413)
习题	(413)
第十七章 碰撞	(420)
§ 17-1 碰撞问题的特征与研究方法	(420)
§ 17-2 两物体的对心碰撞	(422)
§ 17-3 刚体的偏心碰撞	(427)

§ 17-4 撞击中心	(430)
思考题	(431)
习题	(432)
附录 A 矢函数的导数	(436)
附录 B 转动惯量	(439)
思考题	(444)
习题	(444)
参考文献	(447)
习题参考答案	(448)
索引	(467)
Synopsis	(472)
Contents	(473)
作者简介	(478)

绪 论

§ 0-1 理论力学的内容、任务和研究方法

1. 理论力学的内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。

按照辩证唯物主义的观点,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化直到人的思维活动。机械运动则是所有运动形式中最简单的一种,指的是物体在空间的位置随时间的变化。例如,车辆的行驶,机器的运转,大气和河水的流动,人造卫星和宇宙飞船的运行,建筑物的振动,等等,都是机械运动。

平衡(例如物体相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情形,也包括在理论力学研究内容之中。

理论力学研究的内容是远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。这固然说明古典力学有局限性,但是,经过长期的实践证明,不仅在一般工程中,就是在一些尖端科学技术(如火箭,宇宙航行等)中,所考察的物体都是宏观物体,运动速度也都远远小于光速,用古典力学来解决,不仅方便,而且能够保证足够的精确性,所以古典力学至今仍有很大的实用意义,并且还在不断地发展。

研究物体机械运动的普遍规律有两种基本方法,从而形成理论力学的两大体系,一是用矢量的方法研究物体机械运动的普遍规律,称为矢量力学;二是用数学分析的方法进行研究,称为分析力学。本书以矢量的方法研究为主。

本书内容分为静力学、运动学、动力学、分析力学基础和动力学应用专题五篇,每篇的研究对象、研究方法及其在工程中的应用将在后文中分别说明。

2. 理论力学的任务

理论力学是一门理论性较强的技术基础课,学习理论力学有下述任务:

(1)土木、水利、机械等工程专业一般都要接触到机械运动的问题。有些工程实际问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,如土木、水利工程中的平

衡问题;传动机械的运动学分析;机器和机械设计中的平衡问题、振动问题和动反力问题等。至于一些比较复杂的工程实际问题,则需要用本书中的理论和其他专门知识共同来解决,如土木、水利工程中动力荷载的影响以及建筑物的抗震设计等。在许多尖端科学技术中,如人造地球卫星和宇宙火箭的发射、运行等,更包含着许多动力学问题。虽然我们不可能在理论力学中讨论这些专门问题,但理论力学的基本理论,却是研究这些问题的必备基础。由此可见,掌握理论力学知识至为重要。

(2)理论力学研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程,如材料力学、结构力学、流体力学、振动理论、机械原理等课程,都要用到理论力学的知识,所以理论力学是学习一系列后续课程的基础。

现代科学技术的发展,还使理论力学的研究内容渗透到其他科学领域,形成了一些新的边缘学科。例如:理论力学用于研究人体的运动而形成运动力学;理论力学与固体力学、流体力学结合用来研究人体内骨骼的强度,血液流动的规律,人体的力学模型,以及植物中营养的输送问题等,形成了生物力学;此外,还有爆炸力学、电磁流体力学等等。总之,为了探索新的科学领域,必须打下坚实的理论力学基础。

(3)理论力学的理论来源于实践又服务于实践,既抽象而又紧密结合实际,研究的问题涉及面广,而且系统性和逻辑性很强。这些特点,对培养我们的辩证唯物主义世界观,培养逻辑思维和分析问题解决问题的能力,也起着重要作用。

3. 理论力学的研究方法

科学研究的过程,就是认识客观世界的过程,任何正确的科学研究方法,一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学的研究和发展也必须遵循这个正确的认识规律。

(1)通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行无数次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的概念和定律。如“力”和“力矩”的概念,“加速度”的概念;摩擦定律以及动力学三定律等都是在大量实践和实验的基础上经分析、综合和归纳得到的。

(2)在对事物观察和实验的基础上,通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的,当我们占有大量来自实践的资料之后,必须根据所研究的问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系,这就是力学中普遍采用的抽象化方法。例如,在某些问题中忽略实际物体受力后的变形,得到刚体的模型;在另一些问题中则忽略物体的大小和形状,得到质点的模型等等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待,主要决定于所讨论问题的性质,而不决定于物体本身的大小和形状。例如机器上的零件,尽管尺寸不大,当要考虑它的转动时,就须作为刚体看待。一列

火车的长度虽然以百米计,当我们将列车作为一个整体来考察它沿铁道线路运行的距离、速度和加速度时,却可以作为一个点来看待。即使同一个物体,在不同的问题里,随着问题性质的不同,有时可作为质点,有时则要作为刚体。例如地球半径为 6 370 km,但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时,可以看作质点,而当考察它的自转时,却必须看作刚体。

(3)在建立力学模型的基础上,从基本定律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论,在更高的水平上指导实践,推动生产的发展。

从实践到理论,再由理论回到实践,通过实践进一步补充和发展理论,然后再回到实践,如此循环往复,每一个循环都在原来的基础上提高一步。和所有的科学一样,理论力学也是沿着这条道路不断向前发展的。

§ 0-2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立

在工程实际问题中,我们所考察的物体复杂多样,即使是同一类型的问题,其受力状况也不尽相同,为便于研究,须将工程实际问题进行简化,以得到合理的力学模型,再在此基础上作进一步的计算和分析。将一个实际问题抽象成为力学模型并不是很容易的事,需要在实践中锻炼和不断提高这方面的能力,一般来说,须从三方面加以简化:物体的几何尺寸、物体承受的荷载(力)和受到的约束。

在简化过程中,因为要略去一些次要因素,必然包含着某种近似性。例如,某些尺寸远比其他有关尺寸为小则可忽略不计,因而在微小面积上的力可看作集中力,接触面很光滑或经过充分润滑时可不计摩擦等等。究竟哪些因素可以看作次要因素而略去,与所需的资料及其精确度有关。例如,在研究一般抛射运动时,把抛射体作为质点看待,且只计重力而不计空气阻力,得到的结果已属可用,但在研究远射程炮弹的运动时,如果作同样的假设,则炮弹可能偏离射击目标。另一方面,如果我们对实际存在的一些因素,不分主次,全都计入,看起来似乎是很符合实际,而结果可能使问题无法求解,或者虽能求解,但困难极大,费时费力,而实际工作中并不需要这样高的精确度。所以,对一个具体问题,在抽象成为力学模型时,可作哪些近似的假设,可忽略哪些因素,必须深入分析,力求合理,既要满足实际要求,又必须在数学计算上既方便且可行。

有关工程实际问题的简化方法将在后面章节中进一步叙述,下面介绍由实际问题抽象而得到的质点、刚体和质点系三种力学模型。

1. 质点 如果一个物体的大小和形状对所讨论的问题无关紧要,可以忽略不计,而只需计及其质量,就可将物体作为只有质量但没有大小的点,称为**质点**。

2. 刚体 刚体是指这样一种物体:它的大小和形状对所讨论的问题来说,不能忽略;但它受到力的作用时,大小和形状都保持不变,即不发生**变形**。事实上,刚体当然是不存在的,因为任何物体受力后都将或多或少地发生变形。但在许多情况下,在研究物体的平衡或运动时,变形只是次要因素,可以忽略不计,因而可将物体看作为刚体。

3. 质点系 质点系是相互间有一定联系的有限或无限多质点的总称。刚体可以认为是不变形的质点系。由若干个刚体组成的系统称为**刚体系统**,有时也称为**物体系统**。

上述几种理想的力学模型,都是客观存在的实际物体的科学抽象,它们并不特指某些具体物体,而是概括了各种物体。不论物体是金属的、木质的、混凝土的或其他材料的,也不论是土建、水利工程中的建筑物构件或机械的零、部件,在研究它们的平衡或运动时,都可作为上述几种模型之一来加以考察(需要考虑变形者除外)。这是人们认识深化的结果,也表明了理论的普遍意义。

§ 0-3 工程中的构件与分类

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**。工程实际中的构件,形状多种多样,按照其几何特征,可分为三类:杆件、板或壳、块体。

1. 杆件 一个方向的尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件称为杆件或杆,如图 0-1a 所示。杆的几何形状可用一根中心轴线和与中心轴线正交的横截面表示。根据轴线的形状,可分为直杆和曲杆;根据横截面沿轴线变化的情况,可分为等截面杆和变截面杆。例如组成屋架的杆多为等截面直杆,而起重用的吊钩为变截面曲杆。

2. 板和壳 一个方向的尺寸(厚度)比其他两个方向的尺寸小得多的构件称为**板或壳**。平分厚度的面称为**中面**。当中面为平面时,该构件称为板(或平板),如图 0-1b 所示;当中面为曲面时,该构件称为壳(或壳体),如图 0-1c 所示。例如楼板为平板,有些建筑物的屋顶为壳体。

3. 块体 三个方向的尺寸相差不很大的构件称为**块体**。例如图 0-1d 所示的挡水坝即为块体。

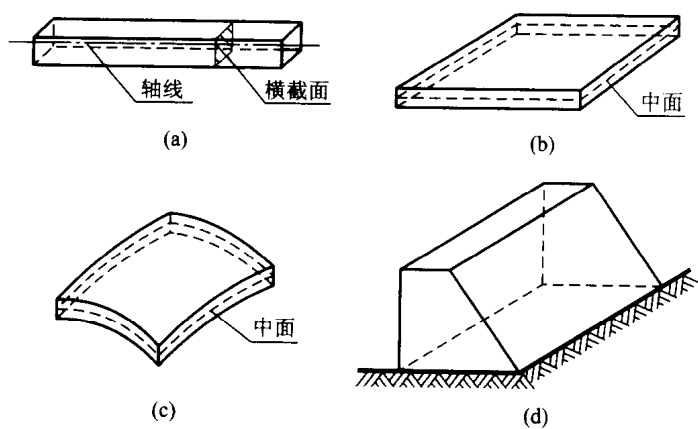


图 0-1 工程中的构件类型