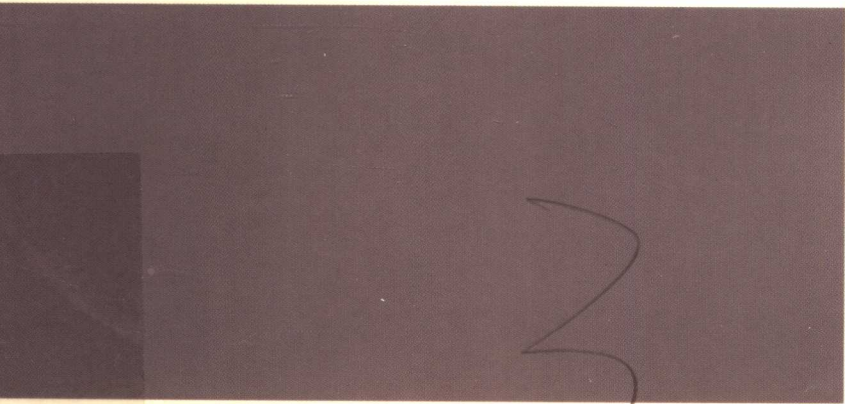
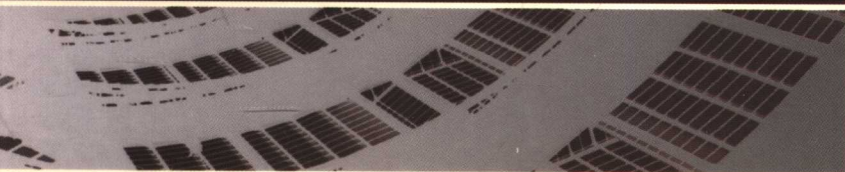




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(第4版)

工程力学



**运动学
和动力学**

· 北京科技大学 编
· 东 北 大 学



高等教育出版社
Higher Education Press

TB12/99=2
:3
2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 力 学

运动学和动力学

(第4版)

北京科技大学 编
东 北 大 学

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。自1997年出版以来,前三版教材,选材恰当,侧重基础部分,内容精练,深广度适当,难易适度,适应多层次教学要求。第4版教材在原有基础上,着重对有关理论和概念的研讨,对典型例题的剖析,增强分析问题的能力,以适应21世纪培养人才的要求。

本教材分静力学、运动学和动力学以及材料力学三个分册。静力学分册共六章,内容包括:静力学的基本概念及受力图、平面汇交力系,力矩及平面力偶系,平面一般力系,摩擦,空间力系及重心等。运动学和动力学分册共十一章,内容包括:点的运动,刚体的基本运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点的运动微分方程,刚体绕定轴的转动微分方程,动静法,动能定理,动量定理和动量矩定理,振动,虚位移法等。材料力学分册共十章,内容包括:轴向拉伸和压缩,剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形及静不定梁,应力状态和强度理论,组合变形构件的强度,压杆的稳定,材料的力学性能等。

本书可作为高等学校冶金、材料、热加工能源动力、地矿、仪器仪表、轻工纺织、食品化工、环境及各相关专业的教材,也可供独立学院、高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. 运动学和动力学/北京科技大学, 东北大学编. —4版. —北京: 高等教育出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 022674 - 4

I. 工… II. ①北…②东… III. ①工程力学 - 高等学校 - 教材②运动学 - 高等学校 - 教材③动力学 - 高等学校 - 教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 182530 号

策划编辑 黄毅 责任编辑 葛心 封面设计 张志奇 责任绘图 尹文军
版式设计 张岚 责任校对 金辉 责任印制 韩刚

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 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京鑫丰华彩印有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×960 1/16
印张 20.5
字数 380 000

版次 1979年8月第1版
2008年1月第4版
印次 2008年1月第1次印刷
定价 23.70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

物料号 22674-00

第4版序

本教材第1版于1979年分三册出版,上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学。第2版于1987年出版,分为理论力学和材料力学两分册出版。第3版于1997年出版,分静力学、材料力学以及运动学和动力学三册。

本书自1979年第1版出版以来,获得了众多院校师生的欢迎与厚爱。展望未来,在新形势下,国家加快教育的发展,在原有的基础上,本书还会有更广泛、更深远的发展前景!

本书第4版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

为了使本书日臻完善,倍感此次修订的必要,但修订后的第4版仍具有原书的特色,如:由浅入深,由特殊到一般,循序渐进,简明扼要,易于接受等。在此基础上,对部分内容进行了如下修订:

1. 为了加强对基本理论和基本概念的理解,对书中文字叙述作了少量修改。

2. 为了提高学生分析问题与解决问题的能力,在某些例题及某些小结中,加强了题目类型的分析、解题方法步骤的分析等内容,并增删了少量的思考题与习题。

3. 根据最新修订的课程教学基本要求(B类),增加了部分内容,如:静力学分册增加了由空间力系简化建立平衡方程;材料力学分册增加了拉压杆斜截面上的应力和应力圆等;运动学和动力学分册增加了牵连运动为转动时的加速度合成定理、机械能守恒定律、相对质心动量矩定理和平面运动微分方程等,作为专题部分,增加“虚位移法”一章。

4. 根据国家标准、量和单位的规定等,对书中的名词术语、量和单位的名称、字符及书写规则等,进行了全面修订。

本教材适用于高等学校材料、能源动力、地矿、仪器仪表、轻工纺织、食品化工、环境及相关专业的理论力学、材料力学以及工程力学等课程,也可供独立学院、高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

为适应不同专业的需求,本书仍分为三册出版。即《工程力学(静力学)》、《工程力学(材料力学)》和《工程力学(运动学和动力学)》。各册之间既相互配合又相对独立,读者可按照需要选用。

参加第4版修订的有:北京科技大学纪炳炎(静力学分册第一章至第四章,材料力学分册第四章至第六章),屈革(静力学分册第五章至第六章,材料力学

分册第一章至第三章), 东北大学周康年(材料力学分册第七章至第十章), 殷汝珍和山东轻工学院刘思汉(共同修订运动学和动力学分册第一章至第十一章, 由殷汝珍执笔)。

第4版承蒙北京航空航天大学谢传锋教授和大连理工大学郑芳怀教授审阅, 提出了许多宝贵意见与建议, 对此表示衷心的感谢。

本书自1979年出版后, 受到广大读者的关怀, 使本书不断得到改进, 此次修订得到北京科技大学和东北大学等院校师生的支持与帮助, 对此表示衷心的感谢。

本修订版恐仍有疏漏或欠妥之处, 希望广大教师和读者批评指正。

编 者

2007年8月



本书自第 1 版(1979 年)出版以来,已有 18 年,为了适应教育改革的需要并符合国家有关新规定及新标准,我们在保持本书原有体系和特点的基础上,对本书进行了修订,其要点如下:

(1) 在本版中,对全书的文字叙述做了必要增删与修改,力图做到主次分明,详略适当。对全书插图也进行了修改与舍弃,力求文字更精练,插图更鲜明。

(2) 在本版中,增删了部分思考题和习题。这对读者理解基本概念和基本理论,提高学习兴趣,是极为有益的,特别是有利于培养读者分析问题和解决问题的能力。

(3) 工程力学是一门理论性较强的技术基础课,为了使读者易于掌握,本版按照循序渐进、由简到繁、由特殊到一般的认识规律安排内容。每章之后有小结,有利于读者复习和总结所学知识。保留原书一些带*的选修内容,供不同专业选用。

(4) 在本版中,根据国家颁布的新标准与新规定,逐章逐节地重新统一了名称、符号和单位。

本书主要适用于高等工科院校冶金、地质、采矿、轻工、材料、石油、热加工等专业少学时理论力学、材料力学或工程力学课程,也可供有关技术人员参考。

为了便于使用,本书分为三册:静力学、材料力学、运动学和动力学。各册之间既相互配合,又相对独立,读者可根据需要选用。

参加本版修订的有:北京科技大学(原北京钢铁学院)纪炳炎(静力学第一章至第四章,材料力学第四章至第六章),屈革(静力学第五章、第六章,材料力学第一章至第三章);东北大学(原东北工学院)周康年(材料力学第七章至第十章),殷汝珍(运动学和动力学第三章、第四章、第八章、第十章);山东轻工学院刘思汉(运动学和动力学第一章、第二章、第五章、第六章、第七章、第九章)。

本书出版十余年来,得到广大读者厚爱,使本书能够不断改进,修订中得到北京科技大学、东北大学和读者们的关心与帮助。借本书修订出版之际,在此表示衷心谢意。

书中若有疏漏或欠妥之处,殷切希望读者批评指正。

编 者
1997 年 5 月

第2版序

本教材是在北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》的基础上,参照一九八〇年五月在南京审订的《工程力学教学大纲》(草案)中理论力学部分(60学时)修订而成的。根据一九八二年理论力学教材编委扩大会议和材料力学教材编委扩大会议的建议,将《工程力学》分为《理论力学》和《材料力学》,理论力学又分成静力学、运动学和动力学,并独立成册出版,以利配合使用。

本教材适用于高等学校工科冶金、地质、轻工、材料、石油等类专业的少学时理论力学课程,也可供有关工程技术人员参考。

本教材的内容都是本学科的基本内容,是教学大纲所要求的。但为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带“*”号的选修内容。考虑到当前学生入学的水平、大学普通物理和高等数学的教学情况,本教材适当地提高了起点,加强了矢算法的应用。为了便于教师选用和学生自学,本教材各章编排了较多的例题和习题,较难的题目附有“*”号。此外,各章之后还附有小结和思考题,以期帮助读者总结收获和澄清概念。

参加本教材修订工作的有,静力学部分:北京钢铁学院纪炳炎(第一章、第二章、第三章、第四章),屈革(第五章、第六章)。运动学和动力学部分:东北工学院刘思汉(第一章、第二章、第五章、第六章、第七章、第九章)殷汝珍(第三章、第四章、第八章、第十章)。第二版序、绪论、各部分引言和附录由本书主编刘思汉执笔。

本教材承天津大学毕学涛同志、北京航空学院周耀珊同志主审,清华大学罗远祥同志复审。审稿的同志对本教材提出了许多宝贵意见。此外,在修订过程中还得到许多兄弟院校的帮助和支持。东北工学院、北京钢铁学院理论力学教研室的同志也十分关心本教材的修订工作,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,本教材中必然存在不少缺点和错误,诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

一九八五年五月

第1版序

本教材是根据1977年11月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议的建议,按照120学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等类专业;作适当增删后,也可适用于100~130学时的有关专业。

为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带有“*”号的选学内容。各章之后附有小结、思考题和习题,以期帮助读者总结收获,澄清概念和加强基本训练。习题的数量和类型已考虑了一定的选择范围和专业需要,不足之处可另作补充。

本教材采用国际单位制,同时也介绍了工程单位制及二者的换算关系。

为使用上的方便及适应不同专业的需要,本教材分为三册出版:上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学,并分别独立成章。各册之间有一定的配合,也有相对的独立性。根据不同的教学要求及安排,可采用本教材的全部或其中的某一册或两册;作少量内容调整后,也可先讲授上、下册,然后再讲授中册。

本教材在编写过程中,得到许多兄弟院校的帮助和支持。初稿完成后,于1978年10月由教育部委托召开了审稿会议。参加会议的有中南矿冶学院、重庆大学、昆明工学院、中国矿业学院、西安交通大学、西安冶金建筑学院、武汉地质学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院和上海工业大学等十个院校,由中南矿冶学院和重庆大学主审。在此一并表示谢意。

参加本教材编写的有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章),屈革(上册第五、六章,中册第二、三章),马安禧(中册第一、四、五、六章);东北工学院于绶章(中册第七、八、九章),周康年(中册第十章),刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章),殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。

限于编者水平,同时由于编写时间匆促,本教材必然存在不少缺点和错误。殷切希望读者批评指正。

编 者

1978年12月

目 录

运 动 学

引言	3
第一章 点的运动	4
§ 1-1 点的直线运动	4
§ 1-2 点的平面曲线运动	12
小结	25
思考题	26
习题	27
第二章 刚体的基本运动	31
§ 2-1 刚体的平移	31
§ 2-2 刚体绕定轴转动	33
§ 2-3 转动刚体上各点的速度和加速度	37
§ 2-4 定轴轮系的传动比	40
§ 2-5 以矢量表示角速度和角加速度 以矢积表示点的速度和加速度	45
小结	47
思考题	48
习题	49
第三章 点的合成运动	54
§ 3-1 点的合成运动的概念	54
§ 3-2 点的速度合成定理	56
§ 3-3 牵连运动为平移时点的加速度合成定理	60
*§ 3-4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	65
小结	70
思考题	71
习题	72
第四章 刚体的平面运动	79
§ 4-1 刚体平面运动概述	79
§ 4-2 平面运动分解为平移与转动	80
§ 4-3 平面图形上各点的速度	82
*§ 4-4 平面图形上各点的加速度	89
小结	91

思考题	91
习题	93

动 力 学

引言	103
第五章 质点的运动微分方程	104
§ 5-1 动力学的基本定律	104
§ 5-2 质点的运动微分方程	106
小结	115
思考题	116
习题	116
第六章 刚体绕定轴的转动微分方程	120
§ 6-1 刚体绕定轴的转动微分方程	120
§ 6-2 转动惯量	122
小结	131
思考题	131
习题	132
第七章 动静法	136
§ 7-1 惯性力的概念	136
§ 7-2 动静法	138
§ 7-3 刚体惯性力系的简化	143
§ 7-4 刚体绕定轴转动及轴承的动约束力	152
§ 7-5 构件作加速平移或匀速转动时的应力计算	156
小结	159
思考题	161
习题	161
第八章 动能定理	168
§ 8-1 力的功	168
§ 8-2 质点的动能定理	173
§ 8-3 质点系的动能定理	177
§ 8-4 功率和功率方程	183
§ 8-5 构件受冲击时的应力和变形计算	187
§ 8-6 势力场 势能 机械能守恒定律	190
小结	193
思考题	196
习题	197
第九章 动量定理和动量矩定理	205
§ 9-1 动量定理	205

§ 9-2 质心运动定理	212
§ 9-3 动量矩定理	216
§ 9-4 质点系相对质心动量矩定理	222
§ 9-5 刚体平面运动微分方程	223
小结	227
思考题	229
习题	230
第十章 振动	236
§ 10-1 工程中的振动问题	236
§ 10-2 质点的自由振动	237
§ 10-3 质点的有阻尼自由振动	243
§ 10-4 质点的受迫振动	247
§ 10-5 构件在受迫振动时的应力计算	256
§ 10-6 振动的消除和利用	258
小结	262
思考题	263
习题	264
第十一章 虚位移法	270
§ 11-1 约束及约束方程	270
§ 11-2 自由度 广义坐标	272
§ 11-3 虚位移	274
§ 11-4 虚位移法	277
§ 11-5 虚位移法的应用	279
小结	286
思考题	287
习题	288
附录一 习题答案	294
第一章 点的运动	294
第二章 刚体的基本运动	295
第三章 点的合成运动	295
第四章 刚体的平面运动	296
第五章 质点的运动微分方程	297
第六章 刚体绕定轴的转动微分方程	297
第七章 动静法	298
第八章 动能定理	299
第九章 动量定理和动量矩定理	300
第十章 振动	301
第十一章 虚位移法	302



附录二	国际制词冠表	304
附录三	国际单位制 (SI) 与工程单位制及其换算关系表	305
附录四	索引	307

运 动 学

引 言

在静力学和材料力学中,我们已经研究了物体或构件在平衡状态下的外力计算和强度、刚度与稳定性等计算问题,现在将研究物体或构件处于运动变化时的情况。

为了研究的方便,首先从几何方面来研究物体的运动,亦即只研究物体运动的几何性质(如运动方程、速度和加速度等),而不考虑运动和作用力的关系。在力学中,把这部分叫做运动学。学习运动学有两方面的意义:一方面是为学习动力学打下基础;另一方面在某些仪器和自动装置中,有时不需要对机构的受力进行计算,主要是研究怎样才能使它的运动符合一定的要求,因此,运动学又有其独立的意义。

大家知道,在不同的物体上观察同一物体的运动,将得出不同的结果。例如,行驶着的列车里的座椅,相对于车厢是静止的,而相对于地面则是运动的。因此,在描述某一物体的运动时,必须指出是相对于哪一个物体而说的,用力学的术语来说,就是相对于哪一个参考系而说的。这就是运动的相对性。在以后叙述中,如果不加说明的话,一般都是相对于地球而言,亦即参考系固结在地球表面上。

在描述物体的运动时,常用到瞬时和时间间隔的概念。瞬时是指物体在运动过程中某一时刻,它对应于运动的瞬时状态。而时间间隔则是指两个瞬时相隔的时间,它对应于运动的某一过程。例如,列车从北京站开出的时间是8点,到达某车站的时间是12点。8点与12点即为列车开出和到达的两个瞬时,由北京站到达某车站所经历的4小时就是时间间隔。

在研究物体的运动时,如果物体的大小和形状,对所研究的问题并不是主要的因素,我们就可以把这个物体抽象化为一个质点,即只具有质量而无大小的几何点。例如,在研究人造地球卫星的运行轨道时,就可以将人造卫星看成是一个质点。在运动学中,由于不涉及质量,所以把质点常简称为“点”或“动点”。

根据循序渐进、由简到繁的原则,我们先研究点的运动,然后再研究刚体的运动。

第一章 点的运动

根据运动轨迹,可以把点的运动分为直线运动和曲线运动(平面曲线运动和空间曲线运动)。本章只讨论直线和平面曲线这两种运动。

§ 1-1

点的直线运动

直线运动是工程上和生活中最常见的运动。例如,车厢沿直线轨道的运动,锻压时落锤的运动等。这一节将讨论直线运动时,点的运动方程以及它的速度和加速度。

1. 运动方程

设点 M 沿直线轨道运动。取此直线为 x 轴,在轴上任选一点 O 为坐标原点,即参考点,如图 1-1 所示。于是点 M 在各瞬时的位置,即可用坐标 x 来确定。当点 M 运动时,它的位置随时间变化。所以,坐标 x 是时间 t 的单值连续函数,用方程式表示为

$$x = f(t) \quad (1-1)$$

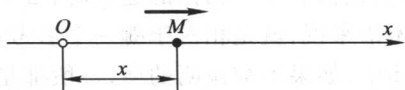


图 1-1

上式称为点的直线运动的运动方程。它表示 M 点的位置随时间的变化规律。知道函数 $f(t)$ 后,即可确定任一瞬时点 M 在直线上的位置。

2. 速度

速度是表示点的运动快慢和方向的一个物理量。设在某一瞬时 t , 点在位置 M , 其坐标是 x 。经过时间间隔 Δt 后,即在瞬时 $t' = t + \Delta t$, 点在位置 M' , 其坐标是 $x' = x + \Delta x$, 如图 1-2 所示。于是点在 Δt 时间内坐标的增量是 $\Delta x = x' - x$ 。 Δx 与 Δt 的比值,叫做点在 Δt 时间内的平均速度。以 v^* 表示,则

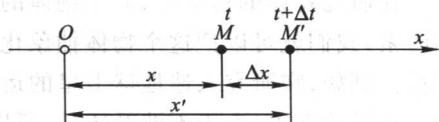


图 1-2

$$v^* = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

平均速度 v^* 只能说明点在某一时间内运动快慢的平均情况。在工程实际中,有时需要确切地知道物体在某一瞬时的运动速度。例如,在研究炮弹飞行时,就需要了解炮弹出口瞬时的速度;研究落锤的锻打能力时,就需要了解落锤将要碰撞工件瞬时的速度;发射人造地球卫星要按预期的轨道运行,就必须使它在进入轨道的瞬时,速度达到一定的大小和方向。因此,我们必须引入瞬时速度的概念。

为此,令 Δt 趋近于零,则 M' 点趋近于 M 点,而平均速度趋近于某一极限值。这极限值叫做点在瞬时 t 的瞬时速度(以下简称速度),以 v 表示,则

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = f'(t) \quad (1-2)$$

可见,在直线运动中,点的速度等于点的坐标对时间的一阶导数。

这样,只要知道了运动方程,求速度的问题就归结为求已知函数 $x = f(t)$ 的一阶导数的问题。

如果导数 $\frac{dx}{dt}$ 在某瞬时的值为正,则表示 x 随时间而增大,因而点沿 x 轴正向运动。反之,如果导数 $\frac{dx}{dt}$ 在某瞬时的值为负,则表示 x 随时间而减少,因而点沿 x 轴负向运动。因此,速度的正负表示点沿 x 轴运动的方向。在直线运动中,速度是代数量。

在国际单位制中,速度的单位是 m/s 。

3. 加速度

速度只能表示点运动的快慢和方向,而通常点的速度是变化的。例如,火车在刚开动时,速度逐渐增大;刹车时,速度又逐渐减小。因此,还要研究速度变化的快慢,为此需引入加速度的概念。

设在某瞬时 t ,点的速度是 v 。经过 Δt 时间间隔后,点的速度是 v' 。于是,点的速度在 Δt 时间内的增量是 $\Delta v = v' - v$ 。取 Δv 与 Δt 的比值,叫做点在 Δt 时间内的平均加速度,以 a^* 表示。则

$$a^* = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

a^* 表示在 Δt 时间间隔内速度的平均变化率。若令 Δt 趋近于零,则 M' 点趋近于 M 点, v' 趋近于 v ; 而平均加速度趋近于某一极限值。这极限值叫做点在瞬时 t 的瞬时加速度(以下简称加速度),以 a 表示。则

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1-3)$$