

高等学校教材

# 工程力学

运动学和动力学

(1997年修订版)

北京科技大学 东北大学 编

高等教育出版社

ND16/06  
高等学校教材

# 工 程 力 学

运动学和动力学

(1997年修订版)

北京科技大学 (原北京钢铁学院)

东北大学 (原东北工学院)

编

高等教育出版社

(京)112号

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学：运动学和动力学/东北大学，北京科技大学  
编. —修订版. —北京：高等教育出版社，1997(1998重印)  
高等学校教材  
ISBN 7-04-005963-0

I. 工… II. ①东… ②北… 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 (97) 第 01873 号

\*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码：100009 传真：64014048 电话：64054588

新华书店总店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

\*

开本 850×1168 1/32 印张 9.25 字数 230 000

1979 年 7 月第 1 版

1997 年 7 月第 3 版 1998 年 4 月第 2 次印刷

印数 5 583—13 092

·定价 10.00 元

凡购买高等教育出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页等  
质量问题者，请与当地图书销售部门联系调换

版权所有，不得翻印

T/312-43

5-3

404266

## 内 容 提 要

本书是在1979年原北京钢铁学院和原东北工学院合编的《工程力学》的基础上,保持原有体系和特点,根据教育改革的需要和国家有关新规定及新标准,进行了修订。

将原《工程力学》上、中、下册改为《静力学》、《材料力学》和《运动学和动力学》,独立分册出版。

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、热加工等类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。

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)。

## 1997 年修订版序

本书自第一版(1979年)出版以来,已有16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

# 第一版序

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



责任编辑 胡春林  
封面设计 刘晓翔  
责任绘图 彭 红  
版式设计 周顺银  
责任校对 周顺银  
责任印制 杨 明

# 目 录

## 运 动 学

引言 .....	1
<b>第一章 点的运动</b> .....	<b>3</b>
§ 1-1 点的直线运动 .....	3
§ 1-2 点的平面曲线运动 .....	13
小结 .....	27
思考题 .....	28
习题 .....	29
<b>第二章 刚体的基本运动</b> .....	<b>32</b>
§ 2-1 刚体的平动 .....	32
§ 2-2 刚体绕定轴转动 .....	34
§ 2-3 转动刚体上各点的速度和加速度 .....	39
§ 2-4 定轴轮系的传动比 .....	43
小结 .....	49
思考题 .....	49
习题 .....	50
<b>第三章 点的合成运动</b> .....	<b>55</b>
§ 3-1 点的合成运动的概念 .....	55
§ 3-2 点的速度合成定理 .....	57
*§ 3-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理 .....	62
小结 .....	68
思考题 .....	68
习题 .....	70
<b>第四章 刚体的平面运动</b> .....	<b>76</b>
§ 4-1 刚体平面运动概述 .....	76
§ 4-2 平面运动分解为平动与转动 .....	77

§ 4-3 平面图形上各点的速度 .....	79
*§ 4-4 平面图形上各点的加速度 .....	88
小结 .....	90
思考题 .....	91
习题 .....	93

## 动 力 学

引言 .....	99
<b>第五章 质点的运动微分方程</b> .....	101
§ 5-1 动力学的基本定律 .....	101
§ 5-2 质点的运动微分方程 .....	104
小结 .....	115
思考题 .....	116
习题 .....	116
<b>第六章 刚体绕定轴的转动微分方程</b> .....	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 .....	132
思考题 .....	133
习题 .....	133
<b>第七章 达朗伯原理</b> .....	137
§ 7-1 惯性力的概念 .....	137
§ 7-2 达朗伯原理 .....	140
§ 7-3 刚体惯性力系的简化 .....	146
§ 7-4 构件作加速平动或匀速转动时的应力计算 .....	155
小结 .....	159
思考题 .....	161
习题 .....	162
<b>第八章 动能定理</b> .....	170
§ 8-1 力的功 .....	170
§ 8-2 质点的动能定理 .....	176

§ 8-3	质点系的动能定理 .....	180
§ 8-4	功率和功率方程 .....	187
§ 8-5	构件受冲击时的应力和变形计算 .....	192
小结	.....	195
思考题	.....	197
习题	.....	199
<b>* 第九章</b>	<b>动量定理和动量矩定理</b> .....	207
§ 9-1	动量定理 .....	207
§ 9-2	质心运动定理 .....	216
§ 9-3	动量矩定理 .....	220
小结	.....	226
思考题	.....	226
习题	.....	227
<b>* 第十章</b>	<b>振动</b> .....	232
§ 10-1	工程中的振动问题 .....	232
§ 10-2	质点的自由振动 .....	234
§ 10-3	质点的阻尼振动 .....	240
§ 10-4	质点的受迫振动 .....	243
§ 10-5	构件在受迫振动时的应力计算 .....	254
§ 10-6	振动的消除和利用 .....	257
小结	.....	262
思考题	.....	264
习题	.....	265
<b>附录一</b>	<b>运动学和动力学习题答案</b> .....	272
第一章	点的运动 .....	272
第二章	刚体的基本运动 .....	272
第三章	点的合成运动 .....	273
第四章	刚体的平面运动 .....	274
第五章	质点的运动微分方程 .....	274
第六章	刚体绕定轴的转动微分方程 .....	275
第七章	达朗伯原理 .....	275

第八章	动能定理 .....	276
第九章	动量定理和动量矩定理 .....	277
第十章	振动 .....	278
附录二	国际制词冠表 .....	280
附录三	国际单位制 (SI) 与工程单位制及其换算关系表 ...	281

# 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一个质点。在运动学中，由于不涉及到质量，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



图 1-1

化。所以，坐标  $x$  是时间  $t$  的单值连续函数，用方程式表示为

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

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  $\Delta t$  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。

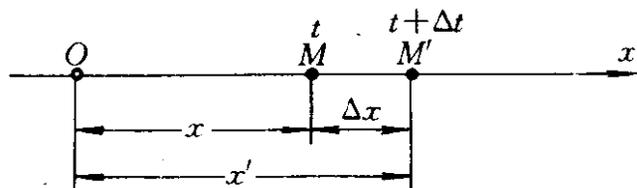


图 1-2

于是点在  $\Delta t$  时间内坐标的增量是  $\Delta x = x' - x$ 。 $\Delta x$  与  $\Delta t$  的比值，叫做点在  $\Delta t$  时间内的平均速度。以  $v^*$  表示，则

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

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  $\Delta t$  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  $x$  轴的正向运动。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  $x$  轴的负向运动。因此，速度的