

PEARSON

时代教育 • 国外高校优秀教材精选



Dynamics

Twelfth Edition

动力学

翻译版•原书第12版

[美] R. C. 希伯勒(R. C. Hibbeler) ◎ 编著
李俊峰 袁长清 吕敬 ◎ 译



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

时代教育·国外高校优秀教材精选

动力学

翻译版·原书第12版

[美] R. C. 希伯勒 (R. C. Hibbeler) 编著
李俊峰 袁长清 吕敬译



机械工业出版社

Authorized Adaptation from the English language edition, entitled ENGINEERING MECHANICS: DYNAMICS, 12E, 9780136077916, by HIBBELER, RUSSELL C., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall. Copyright © 2010 R. C. Hibbeler.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc..

Simplified Chinese language adaptation edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and CHINA MACHINE PRESS. Copyright © 2014.

Authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan).

仅限于中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售发行。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签。无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2010-5164 号。

图书在版编目(CIP)数据

动力学: 第12版/(美)希伯勒(Hibbeler, R. C.)著;李俊峰,袁长清,吕敬译.-北京:机械工业出版社,2014.8

(时代教育:国外高校优秀教材精选)

ISBN 978-7-111-49048-7

I. ①动… II. ①希…②李…③袁…④吕… III. ①动力学-高等学校-教材
IV. ①O313

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第306717号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:姜凤 责任编辑:姜凤 熊海丽

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2015年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·36.5印张·814千字

标准书号:ISBN 978-7-111-49048-7

定价:79.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工微博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

本书是美国高等院校使用量最大的理论力学课程教材，英文版已被“国外高校优秀教材审定委员会”推荐给国内高校使用，为更好地服务于国内高校理论力学课程的教学，该委员会又推荐翻译本书。本书清晰、全面地介绍了理论力学的原理和应用，全书分为两册：静力学与动力学。

本册为动力学分册，共11章，包括质点运动学，质点动力学，刚体平面运动的动力学，刚体的空间运动学，刚体的空间动力学和振动。

本书可作为普通高校工科各专业理论力学课程双语教学用书，也可供相关专业的技术人员参考。

国外高校优秀教材审定委员会

主任委员：

杨叔子

委员（按姓氏笔画为序）：

王先逵	王大康	白峰杉	史荣昌	朱孝禄
陆启韶	张润琦	张策	张三慧	张福润
张延华	吴宗泽	吴麒	宋心琦	李俊峰
余远斌	陈文楷	陈立周	单辉祖	俞正光
赵汝嘉	郭可谦	翁海珊	龚光鲁	章栋恩
黄永畅	谭泽光			

出版说明

随着我国加入 WTO，国际间的竞争越来越激烈，而国际间的竞争实际上也就是人才的竞争、教育的竞争。为了加快培养具有国际竞争力的高水平技术人才，加快我国教育改革的步伐，国家教育部出台了一系列倡导高校开展双语教学、引进原版教材的政策。以此为契机，机械工业出版社推出了一系列国外影印版教材，其内容涉及高等学校公共基础课，以及机、电、信息领域的专业基础课和专业课。

引进国外优秀原版教材，在有条件的学校推动开展英语授课或双语教学，自然也引进了先进的教学思想和教学方法，这对提高我国自编教材的水平，加强学生的英语应用能力，使我国的高等教育尽快与国际接轨，必将起到积极的推动作用。

为了做好教材的引进工作，机械工业出版社特别成立了由著名专家组成的国外高校优秀教材审定委员会。这些专家对实施双语教学做了深入细致的调查研究，对引进原版教材提出许多建设性意见，并慎重地对每一本将要引进的原版教材一审再审，精选再精选，确认教材本身的质量水平，以及权威性和先进性，以期所引进的原版教材能适应我国学生的外语水平和学习特点。在引进工作中，审定委员会还结合我国高校教学课程体系的设置和要求，对原版教材的教学思想和方法的先进性、科学性严格把关，同时尽量考虑原版教材的系统性和经济性。

这套教材出版后，我们将根据各高校的双语教学计划，及时地将其推荐给各高校选用。希望高校师生在使用教材后及时反馈意见和建议，使我们更好地为教学改革服务。

**机械工业出版社
高等教育分社**

前 言

本书的目的是清晰、全面地向学生介绍理论力学的原理和应用。为实现这个目标，本书在编写过程中汲取了许多从事教学工作的评论家和作者的学生的批评及意见。本书为第12版，与前一版相比多处作了较大改进，希望能为教师和学生带来更大帮助。

新特点

基础题 在每章例题之后都安排了基础题。通过这些题，可以培养学生对一些基本概念简单应用能力，使学生掌握处理简单问题的基本技巧，为后续求解一般问题打下良好基础。由于附录已经给出这些问题的全部计算结果和部分解题过程，因此也可将这些题作为延伸性例题。另外，从考试角度，基础题为学生提供了一种非常高效的学习方式。同时，在理论力学考试准备前期，可以通过这些练习复习基础知识。

内容修订 本版对书中每一部分内容都进行了仔细核查。为更好地解释概念，对许多章节的材料进行了重新编写。为更加突出一些重要概念的应用，增加和更换了部分例题。

概念题 每章结尾处通常安排一些概念题，它们与该章节中的力学原理的应用相关。安排这些分析和设计型问题的目的，是引导学生通过照片所描述的实际生活场景进行思考。在学生做过一些相关类型的练习后，可将概念题留为作业或练习。

附加的照片 整本书更新或增加近60幅照片，它们反映了本书讲授的知识在实际生活中的实用性。这些照片一般用于解释如何在现实世界中应用力学原理处理问题。在某些章节，也通过照片展示工程师处理实际问题的基本过程：首先必须建立一个便于分析的理想模型，然后画受力图，最后应用力学原理求解。

新习题 在本版中，新增或更新近800道习题，约占习题总量的50%。它们涉及航空航天、石油工程和生物力学等领域。新版的习题总量也比上一版增加近17%。

其他特点

除了上面提到的新特点外，现将本书正文的一些其他显著特点叙述如下：

内容组织 本版对章节的每一部分都进行了精心组织和安排，包括特定主题的解释、说明性例题和课外习题。每节的主题作为该节副标题，以黑体字形式表示。这样做的目的是为引入每个新定义或概念提供一种结构化方法，同时也方便以后的复习和参考。

章节内容 每章开篇都以生活或工程中常见的实例为基础引入和论证一些应用广泛的力学原理。每章首部分的粗体圆点清单概括了本章的主要内容。

突出受力图 画受力图是求解力学问题的关键所在。因此，本书从始至终一直强调“画受力图”的重要性。并且通过特定章节和具体例题详细讲解“画受力图”的步骤和注意事项。同时，通过相关课外习题的训练，使学生熟练掌握“画受力图”的方法步骤。

VI 动 力 学

分析过程 本书第1章1.6节给出力学问题的一般分析过程。它适用于书中所有类型的习题。在后续章节学习中,这一特点给初学者提供了一种在应用理论时可遵循的合理方法。为阐明这种方法的应用,本书的例题也采用上述方法求解。实际上,随着学生对相关原理理解的不断深入和自信心的日渐增强,他们将形成自己的解题过程。

重点 这部分主要总结和回顾每节中最重要的概念,并强调这些概念对应用原理求解问题的重要性。

概念的理解 本书对各章照片中的力学问题都进行了简化处理,然后应用力学原理求解这些问题。这样更便于阐明原理中一些更重要的概念,解释方程中所涉及术语的物理意义。通过这些简化应用,不仅增强学生对本学科的兴趣和对例题的理解,同时也为学生进一步求解习题奠定了良好基础。

课外习题 除基础题和概念性习题外,本书还包括如下类型题:

- **画受力图的习题** 本书的部分章节包含一些介绍性问题,对于问题中的一些特例仅需画受力图便可求解出来。这些习题可使学生清楚“正确画出受力图”对求解任何平衡问题都至关重要。

- **一般分析和设计题** 本书的大部分习题取材于工程实际问题。一些习题来自于工业应用的实际产品。希望通过这些实例,激发学生对理论力学的兴趣,培养将实际物理描述简化为理论模型或符号表示(这些描述更便于应用力学原理)的能力。

- **计算机的问题** 本书精心设计了一些习题,这些习题必须通过一定的数值计算才能得出结论,数值求解过程可在台式计算机或可编程便携计算器上完成。这样做的好处是既能扩展其他方面的数理分析能力,又能有更多精力关注力学原理应用本身。这种类型习题的题号前加了符号“■”作为标记。

新版中的课外习题非常多,具体可分为三类:一类是比较简单的习题,书后附录给出参考答案,题号前没有任何标记;第二类习题的题号前加上圆点(•)作为标记,书后附录给出了建议、关键公式和计算结果;最后一类习题的题号前加上星号(*)作为标记,书中没有给出参考答案。

精确性 与前一版相比,新版对书中所有文字和习题解答都进行了校核。除作者以外,还有如下人员参与了校核工作:弗吉尼亚理工大学的 Scott Hendricks、南佛罗里达大学的 Karim Nohra;劳雷尔技术学院综合出版服务部的 Kurt Norlin。此外,工程师 Kai Beng 不仅对本书作出精确评论,同时还给出许多内容改进方面的建议。

内容 全套书共分为19章。每章内容安排循序渐进,应用力学原理先处理简单情况,再处理更复杂的情况。

本册为动力学分册,共11章。第9章讨论质点运动学。随后在第10章(力和加速度)、第11章(功和能)、第12章(冲量和动量)中讨论了质点动力学。在复习1中对这4章涉及的质点动力学概念进行了总结,通过该部分学生可以接触和解决很多问题。刚体平面运动部分的内容也采用类似的逻辑次序进行组织:第13章(平面运动学)、第14章(力和加速度)、第15章(功和能)、第16章(冲量和动量),复习2是对这4章内容的总

结和复习。

如果时间允许,刚体空间运动的相关内容可以在课内讲解。第 17 章和第 18 章分别讨论它的运动学和动力学。如果具备必要的数学基础,第 19 章(振动)部分可以包含到授课中。某些标有“*”的节,考虑到其已超出基本动力学课程,可以略去不讲。但是要注意,这些材料可以做为学习更高级课程的基本理论时的参考资料。最后,附录 A 列出了求解相关问题所需要的数学公式,附录 B 简要复习了矢量分析,附录 C 回顾了链式法则的应用。

讲授次序的可选择性 根据需要,可按如下次序安排第 9 章到第 16 章的内容,并不会影响内容的连续性:第 9 章和第 13 章(运动学)、第 10 章和第 14 章(力和加速度)、第 11 章和第 15 章(功和能)、第 12 章和第 16 章(冲量和动量)。

致 谢

作者力求写好本书,以引起教师和学生的兴趣。在本书这些年的编写过程中,得到许多人的帮助。我非常感谢他们给予的许多宝贵建议和评述。在这里,我还要特别感谢下面这些人,在本书第 12 版的准备过程中,他们提供了许多中肯的建议。

Yesh P. Singh, 得克萨斯大学圣安东尼奥分校

Manoj Chopra, 中佛罗里达大学

Kathryn McWilliams, 萨省大学

Daniel Linzell, 宾州州立大学

Larry Banta, 西弗吉尼亚大学

Manohar L. Arora, 科罗拉多矿业大学

Robert Rennaker, 俄克拉荷马大学

Ahmad M. Itani, 内华达大学

另外还有一些人有理由获得特殊赞誉。Vince O'Brien(项目组管理主任)和 Rose Kernan(制作编辑)多年来给予我许多鼓励和支持。坦诚地讲,如果没有他们的帮助,这本书的全面修订不可能完成。还有, Kai Beng Yap, 我的多年好友和同事,在全书手稿的审核及习题解答的准备过程中给予我极大的帮助。在这份致谢中,我还要特别感谢劳雷尔技术学院综合出版服务部的 Kurt Norlin。在本书出版过程中,我也要感谢我的夫人 Conny 和女儿 Mary Ann 给予的帮助,她们承担了出版底稿准备中的大量校对和打印工作。

最后,我还要感谢我的全体学生和教育工作者们,他们利用大量的休息时间通过电子邮件提供了许多宝贵的建议和意见。由于篇幅所限不能一一列举,在此谨致以诚挚的谢意。

无论何时收到您关于本版的任何评论、建议或问题,我都将不胜感激。

Russell Charles Hibbeler

hibbeler@bellsouth.net

动力学基本公式

运动学

质点的直线运动

变量 a

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$ads = vdv$$

常量 $a = a_e$

$$v = v_0 + a_e t$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_e t^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a_e(s - s_0)$$

质点曲线运动

x, y, z 坐标系

$$v_x = \dot{x}$$

$$a_x = \ddot{x}$$

$$v_y = \dot{y}$$

$$a_y = \ddot{y}$$

$$v_z = \dot{z}$$

$$a_z = \ddot{z}$$

n, t, b 坐标系

$$v = \dot{s}$$

$$a_t = \dot{v} = v \frac{dv}{ds}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

$$\rho = \frac{[1 + (dy/dx)^2]^{3/2}}{|d^2y/dx^2|}$$

r, θ, z 坐标系

$$v_r = \dot{r}$$

$$a_r = \ddot{r} - r \dot{\theta}^2$$

$$v_\theta = r \dot{\theta}$$

$$a_\theta = r \ddot{\theta} + 2 \dot{r} \dot{\theta}$$

$$v_z = \dot{z}$$

$$a_z = \ddot{z}$$

相对运动

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{B/A} \quad \mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \mathbf{a}_{B/A}$$

刚体定轴运动

变量 α

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega d\omega = \alpha d\theta$$

常量 $\alpha = \alpha_e$

$$\omega = \omega_0 + \alpha_e t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha_e t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_e(\theta - \theta_0)$$

对点 P

$$s = \theta r$$

$$v = \omega r$$

$$a_t = \alpha r$$

$$a_n = \omega^2 r$$

相对动轴的一般平面运动

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{B/A}(\text{铰接}) \quad \mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \mathbf{a}_{B/A}(\text{铰接})$$

相对动轴和转轴的一般平面运动

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}_{B/A} + (\mathbf{v}_{B/A})_{xyz}$$

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \dot{\boldsymbol{\Omega}} \times \mathbf{r}_{B/A} + \boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}_{B/A}) + 2\boldsymbol{\Omega} \times (\mathbf{v}_{B/A})_{xyz} + (\mathbf{a}_{B/A})_{xyz}$$

动力学

转动惯量 $I = \int r^2 dm$

平行轴定理 $I = I_G + md^2$

回转半径 $k = \sqrt{\frac{I}{m}}$

运动方程

质点	$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$
刚体	$\Sigma F_x = m(a_G)_x$
(平面运动)	$\Sigma F_y = m(a_G)_y$
	$\Sigma M_G = I_G a$ 或 $\Sigma M_P = \Sigma(\mu_k)_P$

质点的功和能

$$T_1 + U_{1-2} = T_2$$

动能

质点	$T = \frac{1}{2}mv^2$
刚体	$T = \frac{1}{2}mv_G^2 + \frac{1}{2}I_G\omega^2$
(平面运动)	

功

变力 $U_F = \int F \cos \theta ds$

不变力 $U_F = (F \cos \theta) \Delta s$

重力 $U_W = -W \Delta y$

弹力 $U_s = -\left(\frac{1}{2}ks_2^2 - \frac{1}{2}ks_1^2\right)$

Couple moment $U_M = M \Delta \theta$

功率和效率

$$P = \frac{dU}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} \quad \varepsilon = \frac{P_{\text{输出}}}{P_{\text{输入}}} = \frac{U_{\text{输出}}}{U_{\text{输入}}}$$

保守力的功

$$T_1 + V_1 = T_2 + V_2$$

势能

$$V = V_g + V_e, \text{ 其中 } V_g = \pm W_y, V_e = +\frac{1}{2}ks^2$$

冲量和动量定理

质点

$$m \mathbf{v}_1 + \Sigma \int \mathbf{F} dt = m \mathbf{v}_2$$

刚体

$$m(\mathbf{v}_c)_1 + \Sigma \int \mathbf{F} dt = m(\mathbf{v}_c)_2$$

动量守恒

$$\Sigma(\text{系统 } m\mathbf{v})_1 = \Sigma(\text{系统 } m\mathbf{v})_2$$

恢复周数

$$e = \frac{(v_B)_2 - (v_A)_2}{(v_A)_1 - (v_B)_1}$$

冲量矩和动量矩定理

质点

$$(\mathbf{H}_o)_1 + \Sigma \int \mathbf{M}_o dt = (\mathbf{H}_o)_2$$

$$\text{其中 } H_o = (d)(mv)$$

刚体

$$(\mathbf{H}_c)_1 + \Sigma \int \mathbf{M}_c dt = (\mathbf{H}_c)_2$$

$$\text{其中 } H_c = I_c \omega$$

(平面运动)

$$(\mathbf{H}_o)_1 + \Sigma \int \mathbf{M}_o dt = (\mathbf{H}_o)_2$$

$$\text{其中 } H_o = I_o \omega$$

动量矩守恒

$$\Sigma(\text{系统 } \mathbf{H})_1 = \Sigma(\text{系统 } \mathbf{H})_2$$

SI 词头和换算系数

SI 词头

倍数	指数形式	词头	SI 符号
1 000 000 000	10^9	吉[咖](giga)	G
1 000 000	10^6	兆(mega)	M
1 000	10^3	千(kilo)	k
分数			
0.001	10^{-3}	毫(milli)	m
0.000 001	10^{-6}	微(micro)	μ
0.000 000 001	10^{-9}	纳[诺](nano)	n

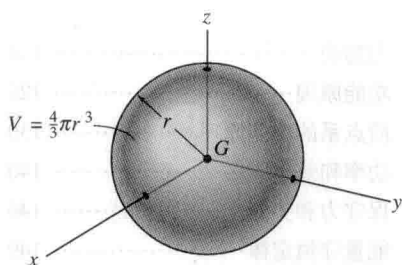
FPS 到 SI 的换算系数

物理量	度量单位 (FPS)	等于	度量单位 (SI)
力	lbf		4.448 2N
质量	slug		14.593 8kg
长度	ft		0.304 8m

FPS 中的换算系数

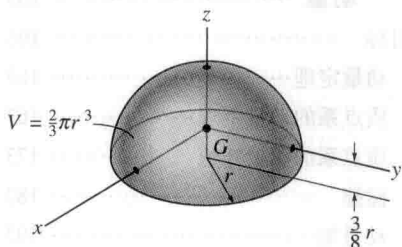
1ft = 12in. (inches)
 1mi. (mile) = 5280ft
 1kip(kilopound) = 1000lb
 1ton = 2000lb

均质固体的重心和惯性矩



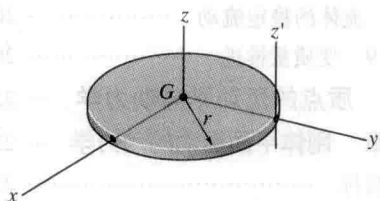
球体

$$I_{xx} = I_{yy} = I_{zz} = \frac{2}{5} mr^2$$



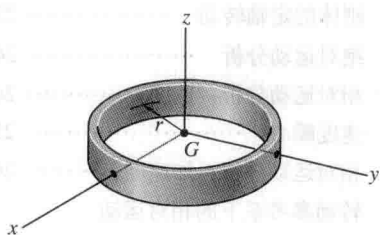
半球体

$$I_{xx} = I_{yy} = 0.259 mr^2 \quad I_{zz} = \frac{2}{5} mr^2$$



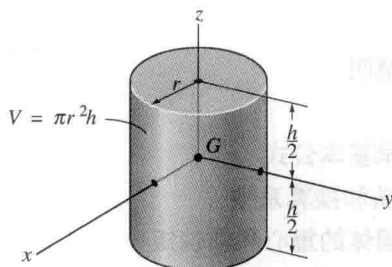
薄圆盘

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{4} mr^2 \quad I_{zz} = \frac{1}{2} mr^2 \quad I_{z'z'} = \frac{3}{2} mr^2$$



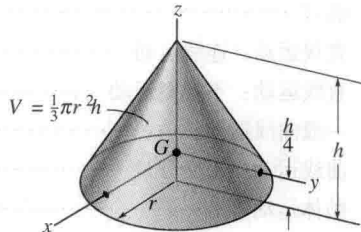
薄圆环

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{2} mr^2 \quad I_{zz} = mr^2$$



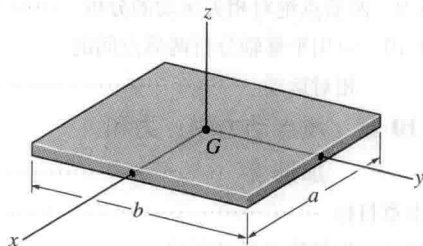
圆柱体

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{12} m(3r^2 + h^2) \quad I_{zz} = \frac{1}{2} mr^2$$



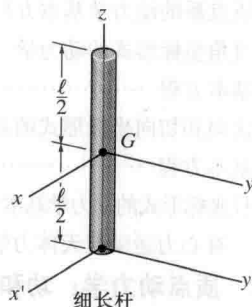
圆锥体

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{3}{80} m(4r^2 + h^2) \quad I_{zz} = \frac{3}{10} mr^2$$



薄板

$$I_{xx} = \frac{1}{12} mb^2 \quad I_{yy} = \frac{1}{12} ma^2 \quad I_{zz} = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$$



细长杆

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{12} m\ell^2 \quad I_{x'x'} = I_{y'y'} = \frac{1}{3} m\ell^2 \quad I_{z'z'} = 0$$

目 录

出版说明

前言

动力学基本公式

SI 词头和换算系数

均质固体的重心和惯性矩

第 9 章 质点运动学 1

本章目标 1

9.1 引言 1

9.2 直线运动: 连续运动 2

9.3 直线运动: 不规则运动 12

9.4 一般曲线运动 21

9.5 曲线运动: 正交分量 22

9.6 抛体运动 25

9.7 曲线运动: 法向和切向分量 34

9.8 曲线运动: 柱坐标分量 45

9.9 两质点绝对相关运动的分析 57

9.10 应用平移轴分析两质点间的
相对运动 60

第 10 章 质点动力学: 力和

加速度 74

本章目标 74

10.1 牛顿第二运动定律 74

10.2 动力学基本方程 75

10.3 质点系的动力学基本方程 77

10.4 直角坐标形式的动力学
基本方程 79

10.5 法向和切向坐标形式的动力学
基本方程 92

10.6 柱坐标形式的动力学基本方程 102

* 10.7 有心力运动与天体力学 113

第 11 章 质点动力学: 功和能 125

本章目标 125

11.1 力的功 125

11.2 功能原理 128

11.3 质点系的功能原理 130

11.4 功率和效率 140

11.5 保守力和势能 146

11.6 能量守恒定律 149

第 12 章 质点动力学: 冲量和

动量 163

本章目标 163

12.1 动量定理 163

12.2 质点系的动量定理 167

12.3 质点系的动量守恒 173

12.4 碰撞 183

12.5 动量矩 193

12.6 动量矩定理 194

12.7 冲量矩和动量矩定理 196

12.8 流体的稳定流动 204

* 12.9 变质量推进 208

复习 1 质点的运动学与动力学 ... 222

第 13 章 刚体平面运动的动力学 ... 231

本章目标 231

13.1 刚体的平面运动 231

13.2 刚体的平移 232

13.3 刚体的定轴转动 233

13.4 绝对运动分析 245

13.5 相对运动分析: 速度 249

13.6 速度瞬心 259

13.7 相对运动分析: 加速度 266

13.8 转动参考系下的相对运动
分析 275

第 14 章 刚体平面运动的动力学:

力和加速度 289

本章目标	289	* 17.2 固定坐标系或平移—转动坐标系 中矢量对时间的导数	404
14.1 转动惯量	289	17.3 一般运动	407
14.2 平面运动的动力学方程	296	* 17.4 在同时平移和转动的参考系下 分析相对运动	415
14.3 动力学方程: 平移	299	第 18 章 刚体的空间动力学	425
14.4 动力学方程: 定轴转动	311	本章目标	425
14.5 动力学方程: 一般平面运动	323	* 18.1 转动惯量和惯性积	425
第 15 章 刚体平面运动的动力学:		18.2 动量矩	432
功和能	335	18.3 动能	435
本章目标	335	* 18.4 动力学方程	441
15.1 动能	335	* 18.5 陀螺运动	452
15.2 力的功	337	18.6 无力矩运动	457
15.3 力偶矩的功	339	第 19 章 振动	467
15.4 功能原理	340	本章目标	467
15.5 能量守恒定律	349	* 19.1 无阻尼自由振动	467
第 16 章 刚体平面运动的动力学: 冲 量(矩)和动量(矩) ...	363	* 19.2 能量法	477
本章目标	363	* 19.3 无阻尼受迫振动	483
16.1 动量和动量矩	363	* 19.4 黏性阻尼自由振动	485
16.2 动量定理和动量矩定理	367	* 19.5 黏性阻尼受迫振动	488
16.3 动量守恒定律和动量矩 守恒定律	379	* 19.6 电路类比	490
* 16.4 偏心碰撞	383	附录	498
复习 2 刚体的平面运动学与 动力学	392	附录 A 数学公式	498
第 17 章 刚体的空间运动学	401	附录 B 矢量分析	501
本章目标	401	附录 C 链式法则	504
17.1 定点运动	401	附录 D 基础题的部分解答和答案 ...	505
		附录 E 习题答案	542

质点运动学

第 9 章

【本章目标】

- 介绍位置、位移、速度、加速度的概念。
- 研究质点的直线运动及几何描述。
- 通过不同坐标系研究质点的曲线运动。
- 介绍两质点的相关运动分析。
- 应用平移坐标系分析两质点的相对运动规律。

9.1 引言

力学是物理学的一个分支,研究力作用下物体静止或运动的相关规律。工程力学分为两个部分:静力学与动力学。静力学研究物体的平衡规律,即物体静止或作匀速运动的规律。下面所要研究的动力学则是与物体的变速运动有关。动力学分为两部分介绍:只研究物体运动的几何特点的运动学;分析力与运动之间关系的动力学。为研究这些理论,首先讨论质点动力学,然后再讨论平面及空间刚体动力学。

历史上,动力学是在能够准确测量时间后开始发展的。伽利略·伽利雷是这一领域的最早贡献者之一。他的工作由钟摆实验及自由落体实验组成。然而,在动力学方面,最伟大的贡献是由艾萨克·牛顿做出的,牛顿以其动力学的三个基本定律及万有引力定律而闻名。在这些定律被认可后不久,欧拉、达朗贝尔、拉格朗日等人应用这些理论发展了一些重要的应用技术。

工程中的许多问题都需要应用动力学原理来解决。交通工具的结构设计就是一个典型的例子,例如设计车辆、飞机的结构时都需要考虑其所作的运动。这也适用于许多机械结构,例如,发动机、泵、工业机械手、机械的转动部分。而且,人造卫星、炮弹、航天器运动的预测也是建立在动力学基础上的。随着技术方面的更进一步的发展,了解如何应用动力学原理会有更大的需要。

求解问题

动力学被认为比静力学更加复杂难懂,因为它要同时考虑物体受力以及物体的运动。而且,许多应用都要用到微积分,而不仅仅是代数计算以及三角函数计算。不管怎么说,学习动力学最有效的方法是解题,为了能够成功地达到目的,根据以下所建议的

2 动力学

步骤,以一种既合理又有规律的方式来完成研究是非常必要的。

1. 仔细地阅读题目并尽量将理论与实际联系起来。
2. 绘制必要的简图以及将问题涉及的数据形成表格。
3. 建立坐标系并从数学角度应用力学原理。
4. 尽可能使用代数方法来求解方程;然后,统一单位后再完成计算。最后的结果应与已知数据的精度一致。
5. 应用理论知识以及生活常识来研究答案,确定其是否正确。
6. 完成求解后,重新思考问题。尽量找到其他方法求解该问题。

在应用上述步骤求解问题时,尽可能整洁干净地完成工作。整洁的工作有助于形成清晰、有序的思考,反之亦然。

9.2 直线运动:连续运动

我们通过讨论质点沿直线或直线轨迹运动的特点来开始动力学部分的学习。这里的质点具有质量,但是忽略大小与形状。因此,我们就只能研究那些自身的尺寸对于运动分析没有任何影响的物体。在大部分问题中,我们会研究具有一定尺寸的物体,例如,火箭、炮弹、车辆等。只要这些物体的运动可以通过质心的运动来描述,并且物体的转动可以忽略不计,这些物体就可以被认为是一个质点。

直线运动学 通过指定一个质点在任一瞬时的位置、速度与加速度来描述这个质点的运动。

位置 一个质点的直线轨迹可以通过一个单一的坐标轴 s 来定义,如图 9-1a 所示。在轨迹上的原点 O 为一固定点,从这一点开始的位置坐标 s 用来指定质点在任一给定瞬时的位置。 s 的大小为从原点到质点的距离,通常用米来衡量,方向通过在 s 前面标注“+”“-”来表示。在这个例子中 s 为正,因为坐标轴的正向向右;同理,如果质点位于原点的左侧,则 s 为负。这样看来,位置是一个既有大小又有方向的向量。然而,因为位置的方向始终沿着坐标轴,所以可以用代数量 s 来表示。

位移 质点的位移可以用位置的变化来定义。例如,在图 9-1b 中,质点从一个位置运动到另一个位置,位移可以通过下式表示:

$$\Delta s = s' - s$$

在这个例子中,因为质点的最终位置位于其初始位置的右侧,即 $s' > s$,所以 Δs 为正值。同样地,如果质点的最终位置位于初始位置的左侧,则 Δs 为负值。

质点的位移为矢量,应将其与质点运动经过的距离区分开。尤其应注意的是,经过的距离是一个表示质点所经过路径总长度的正代数量。

速度

如果质点在时间间隔 Δt 内经过的位移为 Δs ,则质点在这段时间内的平均速度为

$$v_{\text{平均}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$