

欧美理科经典力学教材的现代化 (一)——传统教学内容的形成

陈立群¹⁾

(上海大学力学与工程科学学院, 上海 200444)

(上海市应用数学与力学研究所, 上海 200444)

摘要 本文是研究欧美理科经典力学教材内容更新系列论文的第 1 篇, 通过 10 部教材的分析研究传统教学内容的形成。在 20 世纪初物理学革命之后, 经典物理学的力学部分的教材在 50 年代后称为经典力学。经典力学课程为现代物理学准备力学和数学的基础, 在 50 年代和 60 年代形成了大致稳定的传统教学内容。力学理论包括牛顿力学、拉格朗日力学和哈密尔顿力学, 力学问题包括中心力场中质点运动、非惯性系中质点运动、刚体空间运动、离散和连续系统振动等。

关键词 力学教育, 教材, 经典力学, 物理, 力学史

中图分类号: O31 文献标识码: A doi: [10.6052/1000-0879-22-384](https://doi.org/10.6052/1000-0879-22-384)

UPDATED MATERIALS IN EUROPEAN AND AMERICAN CLASSICAL MECHANICS TEXTBOOKS FOR SCIENCE MAJORS 1: TRADITIONAL CONTENTS FORMULATED

CHEN Liqun¹⁾

(School of Mechanics and Engineering Science, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

(Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai 200444, China)

Abstract As the first paper of a series on the content update of European and American classic mechanics textbooks for science majors, this manuscript explores the formation of traditional teaching contents via the analysis on 10 textbooks. After the physics revolution at the beginning of the last century, the textbooks of mechanics in classical physics were titled as classical mechanics after the 1950s. In order to lay the foundations of mechanics and mathematics for modern physics, classical mechanics courses formed a steady traditional teaching content in the 1950s and 1960s. Its theories include Newton mechanics, Lagrange mechanics, and Hamilton mechanics. Its problems include particle motions in a central force field, particle motions in non-inertial frames, rigid-body 3-dimensional motions, and vibrations of discrete and continuous systems.

Keywords mechanics education, textbook, classical mechanics, physics, history of mechanics

力学具有基础科学和应用科学的双重属性。历史上力学曾经是物理学的一部分。从物理学的角度看, 20 世纪初以相对论和量子论为代表的科学革命之前的物理学是经典物理学 (classic physics, 也译为古典物理学), 相对论和量子论革

命之后的物理学为现代物理学; 经典力学是经典物理学的力学部分。即使在物理学革命之后, 经典力学仍有其重要性。如 Albert Einstein (1879—1955) 在 1936 年发表的《物理学和实在》中指出^[1], “尽管我们今天确实知道古典力学不能用来作为

本文于 2022-06-28 收到。

1) 陈立群, 教授, 研究方向为非线性动力学和振动控制。E-mail: lqchen@shu.edu.cn

引用格式: 陈立群. 欧美理科经典力学教材的现代化 (一)——传统教学内容的形成. 力学与实践, 2023, 45(1): 157-162

Chen Liqun. Updated materials in European and American classical mechanics textbooks for science majors 1: traditional contents formulated. *Mechanics in Engineering*, 2023, 45(1): 157-162

统治全部物理学的基础，可是它在物理学中仍然占领着我们全部思想的中心。”Niels Bohr (1885—1962) 在 1954 年的演讲《知识的统一性》中说^[2]，“经典力学是以应用和日常生活事件有关的绘景及概念为基础的；在这种意义上经典力学在它的广大适用领域中提供了一种客观描述。”因此，经典力学仍是物理教育中不可或缺的内容。

在讨论经典力学教材之前，简要介绍欧美物理天文等理科专业经典力学课程的设置。虽然欧美有些差别，但理科力学课程设置有类似之处。基本上是分成三部分：大学物理中的力学部分，在北美通常称为基础力学 (elementary mechanics)；物理后的第 1 门力学基础课程，在北美通常称为中级力学 (intermediate mechanics，与工程专业在工程力学之后开始的中级动力学又称工程动力学或高等动力学含义不同)；随后的力学高级课程，是理论物理或数学物理的组成部分，在北美通常称为高级力学 (advanced mechanics，就课程地位而言，大体相当于工程专业的高等动力学，也称中等动力学或工程动力学)。中级力学课程在大学 1 年级或 2 年级开设，高级力学课程在大学高年级或研究生阶段开设。中级力学课程和高级力学课程从 20 世纪 50 年代后都称为经典力学，此前也简单称为力学。

以往对欧美的工科力学教材有一定研究^[3-5]，但如胡海岩院士所指出^[6]，“欧美国家的理科经典力学教材比工科理论力学教材变化要大，体现了时代发展。在我国的工科理论力学教材建设中，似乎对欧美国家的理科经典力学教材尚未予以充分关注。”本系列论文旨在尝试补足这个短板，分析不同时期若干影响较大的欧美理科经典力学教材的理念和内容，探索这些教材如何与时俱进地改变体系和内容。对于并非人所共知的大师级作者，也简要介绍作者的职业发展背景。计划分为三部分，分别讨论传统教学内容的形成、传统教学内容的更新和现代教学内容的发展。本文是第一部分，研究 20 世纪 60 年代之前的几种经典力学教材。除出自物理学大师之手的教材外，中级力学和高级力学各选取了 3 种出版较早、多次再版并翻译成其他文字，而且直至今日仍经常出现在相关教材或专著的参考书目中的教材。在涉及教材不同版本比较时，本文说明初版时间，但

一般只引用所见最新版本。有汉译本时也加以说明。

1 理论物理的力学部分

科学革命的意义往往是经过历史沉淀才能充分认识。在 1900 年以后以量子论和相对论为代表的物理学革命方兴未艾之际，人们还没有经典力学和现代力学的清晰划分。一直到 1950 年，理论物理的力学部分常常简单称为力学，而不是经典力学，至少笔者没有见到过 1950 年前称为经典力学的教材。这可能也是物理学界的惯例，如柏林大学物理学教授 Gustav R. Kirchhoff (1824—1887) 初版于 1887 年的 4 卷本“数学物理讲义”的第一卷就是《力学》^[7]。当时更数学化的力学往往称为“理性力学”或“理论力学”^[8]。以下先分析几种出自物理学大师之手的多卷本理论物理教程首卷的内容，特别是后两种教程，很长时期是理论物理学的标准教材。然后再分析另一部有广泛影响的教材。

Nobel 物理学奖得主 Max K. E. L. Planck (1858—1947) 写有简明的《一般力学》^[9]，德文初版于 1916 年，有英译本^[10]和汉译本^[11]。德文版的副标题是用于教学和自学，英译本列为“理论物理导论”第 1 卷。作者基于在柏林大学长期的教学经验，强调物理概念的清晰连贯。全书分为质点的力学和质点系的力学两部分。质点的力学包括运动学和动力学。质点系的力学中包括分析力学的基础知识如虚功原理、d'Alembert 原理、Hamilton 原理、Hamilton 方程、Lagrange 方程和 Hamilton-Jacobi 理论，也包括几何和分析的静力学以及刚体动力学的基础知识。该书的深度适用于现在的中级力学课程。

Arnold J. W. Sommerfeld (1868—1951) 所著多卷本“理论物理讲义”丛书的第一册为《力学》^[12]。该书初版于 1943 年，有英译本^[13]。Sommerfeld 数次与 Nobel 物理奖擦肩而过，未能获奖，但他指导的 30 位博士中，有 4 位获得 Nobel 物理学奖，1908 年获学位的 Peter J. W. Debye (1884—1966)、1921 年获学位的 Wolfgang E. Pauli (1900—1958)、1923 年获学位的 Werner K. Heisenberg (1901—1976) 和 1928 年获学位的 Hans Bethe (1906—2005)。《力学》是基于作

者在慕尼黑大学 32 年教学实践而写成。作者的目標是在适当的数学和物理学理论框架中提供丰富多样的物质世界生动图景。该书主要内容包括质点和质点系的矢量力学和分析力学基础、振动、刚体运动学和动力学、相对运动、积分变分原理、Lagrange 方程、微分变分原理和 Hamilton 理论。该书提供了丰富案例，很有力学的特色。作者是当时陀螺力学的顶级专家。总序说明从书中没有包括近代物理的专门内容，实际上是经典物理的讲义，力学部分相应的也是经典力学。该书的深度适用于现在的高级力学课程。

Nobel 物理学奖获得者朗道 (Лев Д. Ландау, 1908—1968) 及其学生栗弗席兹 (Е. М. Лифшиц, 1934—1985) 也著有多卷本《理论物理学教程》。第一卷《力学》的俄文版初版于 1958 年，有英译本^[14]和汉译本^[15]。该书以最小作用量原理作为力学理论的逻辑出发点，按一般和抽象的方式展开理论，例如由最小作用量原理导出 Lagrange 方程，由该方程导出牛顿第一定律和第二定律。随后也讨论了一些具体问题。内容包括运动方程、守恒定律、运动方程的积分、粒子碰撞、微振动、刚体运动和正则方程。整套《理论物理学教程》的特点是体大虑周和系统完整，包括经典和现代理论物理当时的全部领域，而《力学》仍限于经典理论，逻辑严密、叙述简洁。该书的深度适用于现在的高级力学课程。。

除了物理学家外，数学家也为物理系学生讲述力学课程。这方面有影响的教材是哈佛大学数学荣休冠名教授 William F. Osgood (1864—1943) 所写的《力学》^[16]，该书初版于 1937 年。Osgood 于 1890 年在埃尔朗根-纽伦堡大学获得博士学位，其导师是著名女数学家 Amalie Emmy Noether (1882—1935) 的父亲。然后到哈佛担任讲师，1893 年晋升副教授，1903 年晋升教授，1913 年担任冠名教授，1933 年退休。随后到国立北京大学讲授两年数学课。Osgood 是美国科学院院士，曾担任美国数学会主席。在《力学》中，作者试图兼顾物理学家的实验取向和数学家的理论偏好，用当时最先进的数学方法，以完整、清晰和严格的方式统一处理力学知识。该书的内容有质点和刚体的静力学、质点动力学、刚体质心运动和定轴转动、刚体平面运动、刚体空间运

动、功和能、碰撞、相对运动和动轴、Lagrange 方程和虚速度、Hamilton 正则方程、d'Alembert 原理、Hamilton 原理和最小作用量原理、接触变换、Hamilton 方程的求解。该书理科取向明显，与同样是数学家所写但主要为工程专业而写的教材不同。几乎同时代后者的例子，如钱伟长先生的导师多伦多大学应用数学教授 John L. Synge (1897—1995) 等初版于 1942 年的《力学原理》^[17]。

2 用于高级力学课程的早期经典力学教材

20 世纪 50 年代起，有以“经典力学”为书名的教材问世。笔者所见最早的是 20 世纪 50 年代初出版的两种《经典力学》，都是为高级力学课程所写的教材。

Goldstein 的《经典力学》^[18]是影响广泛的高级力学教材，有汉译本^[19]。1950 年第 1 版，随后的版本将在后续论文中讨论。作者 Herbert Goldstein (1922—2005) 于 1943 年在麻省理工学院获得博士学位后在该校战时辐射实验室工作，从 1946 年到 1949 年在哈佛大学物理系任教，基于为研究生开设的经典力学高级课程而完成该书。从 1950 年起在核技术开发公司任职。1961 年在哥伦比亚大学核科学与工程系任教授，1984 年成为校冠名教授。经典力学相关的著作还有《17 到 19 世纪的变方法历史》(*A History of the Calculus of Variations from the 17th through the 19th Century*, 1980)。该书这样界定经典力学，“通常所谓‘经典力学’，以便与那些较新的物理理论，特别是量子力学相区别。”“把经典力学理解为还应包括由狭义相对论发展起来的那种力学。”在现代物理已经成为学科前沿的背景下，作者认为，经典力学的种种高级表述是研究现代物理各学科的起点，经典力学中的一些数学工具在现代物理研究中仍然需要。因此该书在内容组织和处理方式上都考虑了量子力学的需要。该书具体内容包括矢量力学基本原理和 Lagrange 方程、Hamilton 原理和 Lagrange 方程、两体有心问题、刚体运动学和动力学、经典力学中的狭义相对论、Hamilton 方程、正则变换、Hamilton-Jacobi 理论、多自由度线性振动、连续系统和场的

Lagrange 和 Hamilton 表述简介。需要说明的是,在前述《一般力学》^[9]《力学》^[12]和《力学》^[15]中没有连续体或者变形体的力学,但所属多卷本《理论物理》中另有专册。《经典力学》^[18]内容丰富,涵盖了牛顿力学、Lagrange 力学和 Hamilton 力学的主要内容。为适合学生向量子力学过渡,对教学内容有些新的处理,如强调速度相关的力、从矩阵变换的角度论述刚体转动、突出了 Poisson 括号表示等。该书长期是经典力学的标准研究生教材。

最早以经典力学为书名的教材还有 Corben 和 Stehle 的《经典力学》^[20]。1950 年第 1 版,1960 年第 2 版。第一作者 H.C. Corben 第 1 版时是卡耐基理工学院的物理学副教授,第 2 版时为企业研究实验室的副主任,该企业产品包括二战军机喷气发动机涡轮叶片、大力神导弹、探索木星和土星的前驱者探测器、阿波罗登月舱与下降引擎等。第二作者 Philip M. Stehle (1919—2013) 于 1944 年在普林斯顿大学获得博士学位后从军参加建造原子弹的曼哈顿计划,退役后在哈佛大学任教一年,1947 年起在匹兹堡大学物理和天文学任教,直到 1989 年荣休,其间两度担任系主任。该书对经典力学的界定是 Heisenberg 测不准原理效应可以忽略,包括 Newton 力学、Lagrange 力学、Hamilton 力学和 Einstein 力学。作者强调经典力学的基本假设,从而明晰其边界,以便向量子力学和相对论力学平稳过渡,使得读者能够感受物理学思想的连续性。该书具体内容包括质点运动学、运动定律、单自由度保守系统、两质点系统、时间相关力与非保守运动、Lagrange 方程及其应用、多自由度线性振动、刚体运动学和动力学、Hamilton 方程和 Hamilton 变分原理、Hamilton-Jacobi 方法、无限性接触变换和变换理论、连续介质和场、狭义相对论导论、高等加速器中的粒子轨道。该书的突出特点是应用案例丰富。有理论方面的应用,如推导了 Boltzmann 方程和 Navier-Stokes 方程;也有工程中的应用,如非中心力场和火箭运动中的变分原理。第 1 版没有习题,第 2 版增加了习题,更适合作为教材使用,主要是用于高级力学课程教学。

20 世纪 50 年代出版的较有影响的高级力学

课程教材还有《经典力学》^[21],1958 年第 1 版,有德译本和俄译本,1965 年第 2 版。作者 John Watson Leech 在该书出版时为伦敦大学玛丽女王学院物理实验室助理主任。作者认为,原子物理学的发展导致了对经典力学的忽视,物理学家在掌握量子统计力学时缺乏必要的经典力学基础,该书就是为弥补这种缺陷而准备。与现有优秀教材(在文献中列举了与该书程度相同的经典力学教材^[18,20])的不同之处,《经典力学》^[21]所需要的准备知识更少,是自成一体的导论,为初学者提供了广泛的总体性描述,而不涉及过多细节。这样能为实验物理学家提供足够的理论理解背景,并为理论家研究该学科的杰作提供一些帮助。全书共分 11 章,矢量力学和分析力学的基本概念、Lagrange 形式、Lagrange 方程的应用、Hamilton 形式、变分原理、变换理论、Poisson 括号、连续系统、相对论性力学和场论。在连续系统和场论两章,介绍了所需要的直角坐标张量基本知识。第 2 版增加了 26 道练习题。该书的突出特点是简明,初版只有 149 页,第 2 版也只有 153 页。

以上述早期经典力学教材^[18,20-21]为代表,初步形成了适用于高级力学课程的经典力学教材的传统内容。教学目的是为进一步掌握等量子力学、统计力学后续课程奠定物理和数学基础。研究对象主要是质点系和刚体,也复习质点动力学并扩展到连续体和场。涉及力学理论有 Newton 力学的复习或回顾,重点是 Lagrange 力学和 Hamilton 力学,并简要阐述狭义相对论。经典力学教材的内容,与工程专业高等动力学或称工程动力学有一定重叠,但更侧重保守系统的研究,更强调 Hamilton 方程积分理论;与分析力学也有较大重叠,但分析力学不包括 Newton 力学,有些也不包括刚体动力学和振动等问题,而且分析力学对约束的处理更为精细。

3 中级力学课程的早期经典力学教材

为中级力学课程准备的经典力学教材出现略晚。虽然最早也在 20 世纪 50 年代初,但有广泛影响的教材出现在 60 年代中期。

所见最早的中级力学课程教材为《经典力

学》^[22]，初版于 1951 年，1957 年第 2 版，1964 年第 3 版。作者 Daniel Edwin Rutherford (1906—1966)，1932 年在阿姆斯特丹大学获得博士学位后，在爱丁堡大学担任数学助理讲师 1 年，然后到圣安德鲁森大学担任数学助理讲师，1934 年任应用数学讲师，1949 年获得科学博士 (D. Sc.) 学位，1952 年晋升副教授，1964 年担任应用数学教授。他的主要贡献在对称群的表示理论，但著有多部力学教材，除《经典力学》外，还有《矢量方法》(*Vector Methods*, 1939) 和《流体动力学》(*Fluid Dynamics*, 1959)。《经典力学》把力学视为数学的分支，而且以一种符合逻辑和简洁清晰的方式阐述，只是所采用的前提或称为公理需得在物理世界有某种证实。经典力学的含义是不包括相对论力学和波动力学这些现代理论。该书内容包括点和刚体的运动学、力的本质、点的动力学、刚体动力学和广义坐标五章。前四章是矢量力学，最后一章为分析力学，包括 Lagrange 方程及其循环积分、离散系统振动、弦线振动、平衡稳定、Hamilton 方程和 Hamilton 原理。每章附有练习题，共有百余道。前后内容的难度差别较大，前 3 章比较容易，后 2 章比较难。

有广泛影响的早期中级力学教材是《质点与系统的经典动力学》^[23]，初版于 1965 年，1970 年第 2 版，有汉译本^[24]。更新的版本将在后续论文中讨论。作者 Jerry B. Marion (1925—1981) 于 1955 年在莱斯大学获得博士学位，在洛克菲勒大学和洛斯·阿拉莫斯国家实验室短期工作后，从 1957 年起一直在马里兰大学物理和天文系任教直至荣休。该书以易于与量子理论衔接的现代方式叙述经典力学，提供足够的练习帮助学生掌握新的数学技巧，从而使学生掌握形式化的理论和操作性的技能，顺利完成从基础性物理到高等物理的过渡。该书涵盖 Newton 力学、Lagrange 力学和 Hamilton 力学比较基础的部分。具体有矩阵和矢量、向量微积分、牛顿力学基础、狭义相对论、万有引力和势、线性振动、非线性振动、变方法、Hamilton 原理、Lagrange 方程和 Hamilton 方程、中心力作用下运动、两质点碰撞运动学、非惯性系中运动、刚体动力学、多自由度线性振动和一维波动方程。该书的特点是强调

物理概念胜于数学推导；解释透彻，有丰富的例题和习题；有许多历史注记，所附文献中有些原始论文，富有启发性。每章还附有推荐读物，指导学生深入钻研相关内容。该书长期是力学中级课程的标准教材。

有广泛影响的早期中级力学教材还有《经典力学》^[25]，初版于 1966 年，最新的版本将在后续论文中讨论。作者 Tom W. B. Kibble (1932—2016)，1958 年在爱丁堡大学获得数学物理博士学位，1959 年起在帝国理工学院任教，1983 年至 1991 年期间担任物理系主任。他在 1964 年发表的论文中推广了自发对称破缺机制而预言了 Higgs 粒子的存在。实验证实 Higgs 粒子存在后，Peter Higgs 等获得 2013 年 Noble 物理学奖，理论物理学界包括 Higgs 本人认为 Kibble 应该分享该奖^[26]。1980 年 Kibble 当选伦敦皇家学会会士，1998 年获不列颠帝国高级勋章 (Commander of the British Empire)，2014 年被女王册封为骑士。

《经典力学》^[25]的作者认为，对物理学家而言，经典力学这一古老学科的重要性不仅在于其广泛应用而更在于其在现代物理中的基础作用，该书强调后一方面，突出经典力学在量子力学和相对论中仍具有重要性的内容，尤其是不同形式的守恒定律。该书的内容包括动力学基本概念和定律、直线运动、能量与动量矩、中心保守力、旋转坐标系、势理论、两体问题、多体系统、刚体动力学、Lagrange 力学、离散系统振动和 Hamilton 力学。每章附有习题，习题偏少，例题很少。

以上述教材^[22-23, 25]为代表，基本上形成了适用于中级力学课程的经典力学教材传统内容。教学目的也是为进一步掌握后续课程奠定物理和数学基础。研究对象主要是质点、质点系和刚体，有些也涉及特殊的连续体振动。力学理论以矢量力学为主，也有 Lagrange 力学和 Hamilton 力学基础知识简要阐述，并简要介绍狭义相对论。涉及的力学问题包括中心力场中的运动、非惯性系中运动、碰撞、振动和刚体运动等。该课程的核心内容也体现在初版于 1967 年的习题集《理论力学的理论和习题》^[27]，第 1 版有两种汉译本^[28-29]。名称虽然用“理论力学”，实际内容是经典力学，即适用于理科的中级力学课程。

4 结论

本文分析从20世纪物理学革命到60年代期间经典力学教学传统的形成过程,有以下主要结论。

(1) 50年代前经典力学教材的名称就是力学,50年代后有以经典力学为书名的教材。教学的主要目的是为后续现代物理课程学习奠定物理学和数学基础。

(2) 适用于高年级学生和研究生高级力学课程的经典力学教材侧重 Lagrange 力学和 Hamilton 力学,简要复习 Newton 力学和介绍狭义相对论;主要研究对象是质点系和刚体,也简要阐述连续体和场;典型的力学问题包括中心力场中运动、振动和刚体运动。

(3) 适用于低年级学生中级力学课程的经典力学课程侧重 Newton 力学,也简要叙述 Lagrange 力学、Hamilton 力学和狭义相对论;研究的对象主要是质点、质点系和刚体,也有少量连续体振动;典型的力学问题包括中心力场中的运动、非惯性系中运动、碰撞、振动和刚体运动等。

参 考 文 献

- 1 波尔 N. 原子物理学和人类知识. 北京: 商务印书馆, 1978: 77
- 2 许良英, 李宝恒, 赵中立等(编译). 爱因斯坦文集(第一卷). 北京: 商务印书馆, 1994: 352
- 3 陈立群. 美国静力学教材分析. *力学与实践*, 2019, 41(2): 196-201
Chen Liqun. Review on American textbooks of statics. *Mechanics in Engineering*, 2019, 41(2): 196-201 (in Chinese)
- 4 陈立群. 欧美理论力学教材中的运动学. *力学与实践*, 2020, 42(6): 771-777
Chen Liqun. Kinematics in European and American textbooks of theoretical mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2020, 42(6): 771-777 (in Chinese)
- 5 陈立群. 北美中等动力学若干新教材. *力学与实践*, 2008, 30(1): 82-83
- 6 胡海岩. 对理论力学课程改革的期盼. *力学与实践*, 2022, 44(4): 914-917
Hu Haiyan. Expectations of course reform in theoretical mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(4): 914-917 (in Chinese)
- 7 Kirchhoff GR. *Mechanik (Vorlesungen über Theoretische Physik, Band I)*, 4. Auflage, Leipzig: Teubner, 1897
- 8 陈立群. 理论力学名称的由来. *力学与实践*, 2022, 44(1): 225-232
Chen Liqun. Theoretical mechanics: linguistically originating. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(1): 225-232 (in Chinese)
- 9 Planck MKEL. *Einführung in die Allgemeine Mechanik: Zum Gebrauch bei Vorträgen, sowie zum Selbstunterricht*, 2. Auflage, Leipzig: Verlag von S. Hirzel, 1920
- 10 Planck MKEL. *General Mechanics (Introduction to Theoretical Physics, Vol. 1)*, 4th edn. Brose HL translated. London: MacMillan, 1933
- 11 Planck MKEL. *力学概论*. 陆学善译. 北京: 中华书局, 1949
- 12 Sommerfeld AJW. *Mechanik (Vorlesungen über Theoretische Physik, Band I)*, 5. Auflage, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, 1955
- 13 Sommerfeld AJW. *Mechanics (Lectures on Theoretical Physics, Vol. I)*, 4th edn. Stern MO translated. New York: Academic Press, 1961
- 14 Landau LD, Lifshitz EEM. *Mechanics (Course of Theoretical Physics, Vol. 1)* 3rd edn. Sykes JB, Bell JS translated. Beijing: World Publishing Corp, 1999
- 15 朗道 ЛД, 栗弗席兹 EM. *力学 (理论物理学教程第1卷)*, 第5版. 李俊峰译. 北京: 高等教育出版社, 2007
- 16 Osgood WF. *Mechanics*. New York: Macmillan, 1937
- 17 Synge JL, Griffith BA. *Principles of Mechanics*, 3rd edn. New York: McGraw-Hill, 1959
- 18 Goldstein H. *Classical Mechanics*. Reading: Addison-Wesley, 1950
- 19 戈德斯坦 H. *经典力学*. 汤家镛, 陈为恂译. 北京: 科学出版社, 1981
- 20 Corben HC, Stehle PM. *Classical Mechanics*, 2nd edn. New York: Dover, 1994
- 21 Leech JW. *Classical Mechanics*, 2nd edn. London: Methuen, 1965
- 22 Rutherford DE. *Classical Mechanics*, 3rd edn. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1964
- 23 Marion JB. *Classical Dynamics of Particles and Systems*. New York: Academic Press, 1965
- 24 Marion JB. *质点与系统的经典动力学*. 李笙译. 北京: 高等教育出版社, 1985
- 25 Kibble TWB. *Classical Mechanics*. London: McGraw-Hill, 1966
- 26 Gauntlett J. Thomas Kibble (1932—2016): Theoretical physicist and Higgs-boson pioneer. *Nature*, 2016, 534: 622
- 27 Spiegel MR. *Theory and Problems of Theoretical Mechanics with An Introduction to Lagrange's Equations and Hamiltonian Theory*, SI edn. New York: McGraw-Hill, 1982
- 28 施毕格 MR. *理论力学的理论和习题*. 程敬学, 郑旭明译. 南宁: 广西人民出版社, 1981
- 29 斯比格 MR. *理论力学——理论和习题*. 马远良, 钱开鲁译. 北京: 科学出版社, 1983

(责任编辑: 胡 漫)