

# 力学史与一般力学类课程教学

陈立群<sup>1)</sup>

(上海大学力学与工程科学学院力学系, 上海 200444)

(上海大学上海市应用数学和力学研究所, 上海 200070)

**摘要** 本文研究力学史融入一般力学类专业课程(理论力学、振动力学、高等动力学)教学。结合教学内容,以杰出力学家贡献为主线概述矢量静力学、矢量动力学、分析力学、稳定性理论基础和振动理论的发展。力学史引入课程教学可帮助学生了解学科发展过程、加强具体知识点理解和涵养专业兴趣。

**关键词** 力学史, 教学, 理论力学, 振动力学, 高等动力学

中图分类号: O313.2 DOI: 10.6052/1000-0879-24-404

文献标识码: A CSTR: 32047.14.1000-0879-24-404

## HISTORY OF MECHANICS AND TEACHING OF GENERAL MECHANICS COURSES

CHEN Liqun<sup>1)</sup>

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

(Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200070, China)

**Abstract** This paper explores the integration of the history of mechanics into the teaching of general mechanics courses such as “Theoretical Mechanics” “Vibration Mechanics” “Advanced Dynamics”. By aligning with teaching contents, it surveys the contributions of mechanics masters to illustrate the evolution of vector statics, vector dynamics, analytical mechanics, fundamental stability theory, and vibration theory. Introducing the history of mechanics into the course instruction can help students comprehend the disciplinary development of mechanics, deepen their understanding of specific knowledge points, and cultivate professional interests.

**Keywords** history of mechanics, teaching, theoretical mechanics, mechanics of vibrations, advanced dynamics

逻辑与历史的统一,是重要的认知原则。逻辑的重要性及其与历史的关系如恩格斯所论述,“逻辑的研究方式是唯一适用的方式。但是,实际上这种方式无非是历史的研究方式,不过摆脱了历史的形式以及起扰乱作用的偶然性而已。历史从哪里开始,思想进程也应当从哪里开始,而思想进程的进一步发展不过是历史过程在抽象的、

理论上前后一贯的形式上的反映;这种反映是经过修正的,然而按照现实的历史过程本身的规律修正的,这时,每一个要素可以在它完全成熟而具有典范形式的发展点上加以考察。”<sup>[1]</sup>而马赫在其力学史名著《力学科学》中强调了历史方式的必要性:“对一门科学的发展进行历史考察最为必要,以免其中所珍视的原则成为一知半解

2024-10-08 收到第 1 稿, 2025-01-21 收到修改稿。

1) 陈立群, 博士, 教授, 研究方向为非线性动力学与振动控制。E-mail: [lqchen@shu.edu.cn](mailto:lqchen@shu.edu.cn)

引用格式: 陈立群. 力学史与一般力学类课程教学. 力学与实践, 2025, 47(4): 872-875

Chen Liqun. History of mechanics and teaching of general mechanics courses. *Mechanics in Engineering*, 2025, 47(4): 872-875

的戒律系统，或者更糟的成为一套偏见系统。历史考察不仅促进了对现在的理解，而且通过表明现存的东西在很大程度上属于寻常和偶然，为我们带来了新的可能性。从不同思维路径交汇的更高角度来看，我们可能会以更自由的视野考察，并在未知之前发现路线。”<sup>[2]</sup>

力学目前的教学内容，就是按照逻辑展开；而且经过长期发展和多次范式转换，已经“完全成熟而具有典范形式”。如何结合具体教学内容，有机地融入发展历史，以帮助学生以动态的观点理解知识，是需要探讨的问题。笔者在上海大学力学专业学生的一般力学类专业课程（理论力学、振动力学和高等动力学）的教学实践中，探索将力学史素材引入课堂，彰显教学内容的思想价值和精神内涵，助力具体知识点的深入理解。所用与教学内容密切相关的力学史素材，取自于国内外的力学通史著作<sup>[2-8]</sup>。其中出版较早的几部通史<sup>[2-5]</sup>均是把力学作为物理学的一部分，强调概念和原理的发展，但不够重视方法和应用。还参考了一些专门史和人物传记，包括笔者的研究<sup>[9-14]</sup>。

## 1 一般力学类课程中的力学史

理论力学、振动力学和高等动力学课程研究质点系、刚体和简单刚体系统的位置变化的描述与预测，以及基本弹性结构的往复运动的建模和分析，是整个力学学科的基础。从课程内容看，包括静力学、矢量动力学、分析动力学、稳定性理论基础和振动理论 5 个部分。教学实践中，在每个部分都聚焦于作出重要贡献的力学家。

如武际可先生《经典力学发展的两条路径》<sup>[15]</sup>所指出，静力学的发展有力平衡和能量两条路径。力平衡路径的系统化开始于伐里农 (Pierre Varignon, 1654—1722)，他在 1725 年初版的《新力学或静力学 (Nouvelle Mécanique ou Statique)》完善了力矩的概念，并提出了力的平移定理；完成于潘索 (Louis Poinsot, 1777—1859) 在 1803 年出版的《静力学基础 (Eléments de Statique)》中，他提出了完整的力偶理论和力系简化理论，并明确陈述了力系平衡条件。静力学的能量路径就是虚位移原理，接近现代的最初表述是约翰·伯努利 (Johann Bernoulli, 1667—1748) 在 1717

年 (1725 年附录于前述伐里农专著出版) 提出的虚速度原理，拉格朗日 (Joseph Louis Lagrange, 1736—1813) 在 1788 年出版的专著给出了证明，其中隐含了理想约束的概念。

矢量动力学主要是受约束质点系包括刚体的动力学。动力学的矢量方法由牛顿 (Isaac Newton, 1642—1727) 以 1687 年发表的运动三定律奠基。欧拉 (Leonhard Euler, 1707—1783) 在 1752 年和 1775 年发现了动量和动量矩原理，形成了矢量动力学的完备理论体系；欧拉也建立了刚体空间运动的动力学 (1750 s) 和运动学 (1770 s)。受约束质点系的系统研究起源于达朗贝尔 (Jean le Rond d'Alembert, 1717—1783) 初版于 1743 年的《动力学专论 (Traité de Dynamique)》，后人认为所提出的达朗贝尔原理是将动力学问题转换为静力学问题的方法。科里奥利 (Gustave Gaspard Coriolis, 1792—1843) 在 1835 年发表的论文中明确了参考体运动的动力学效应，奠定了非惯性参考系动力学基础。

分析动力学基于能量观点研究动力学。动能的物理概念起源于莱布尼兹 (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646—1716) 在 1686 年论文中所提出的活力。分析力学的创立以拉格朗日 (Joseph Louis Lagrange, 1736—1813) 初版于 1788 年的《分析力学 (Mécanique Analytique)》(从 1811 年第 2 版标题改用新的拼写 Analytique) 为标志，其中总结了 1764 年基于虚功原理和达朗贝尔原理的拉格朗日原理和 1780 年提出的拉格朗日方程。分析力学发展的下一个里程碑是哈密顿 (William Rowan Hamilton, 1805—1865) 构建的理论体系，他在 1835 年发表的论文中提出了完整保守系统的积分型变分原理和用广义坐标和广义动量表示的动力学方程，就是现在所称的哈密顿变分原理和哈密顿正则方程。

高等动力学课程中的稳定性基础主要是该理论奠基时期的工作，虽然理论力学课程中平衡的稳定性结论在拉格朗日的《分析力学》中就已经出现。稳定性理论的奠基性工作李雅普诺夫 (Aleksandr M. Lyapunov, 1857—1918) 发表于 1892 年的科学博士论文，给出了稳定性、不稳定性和渐近稳定性的数学定义，发展了基于线性化

的一次近似判断方法和借助于现在所称李雅普诺夫函数的直接判断方法。切塔耶夫 (Nikolai Guryevich Chetaev, 1902—1959) 在不稳定性判断方面也作出了重要贡献。

振动理论的物理基础在 17 世纪后期便已奠定, 18 世纪形成了线性振动理论, 是振动力学的主要教学内容。欧拉和丹尼尔·伯努利 (Daniel Bernoulli, 1700—1782) 在 18 世纪中叶对弦线振动的研究揭示, 弦线响应是多个简谐振动振型的叠加。随后拉格朗日建立了离散系统振动的一般理论。同时, 欧拉和丹尼尔·伯努利也研究梁的振动, 导出现在仍广泛应用于细长梁的欧拉-伯努利梁模型。瑞利 (John William Strutt, Lord Rayleigh, 1842—1919) 开拓了振动理论, 在 1873 年的论文中引入现在所称的瑞利商, 为模态近似计算奠定了基础; 在 1883 年的论文中导出了首个自激振动的方程, 并用谐波平衡法近似求解。19 世纪以来, 工程中的振动问题引起人们重视, 尤其是提出了振动控制问题。邓哈托 (Jacob Pieter Den Hartog, 1901—1989) 在吸振器设计方面有重要工作, 奠定了振动控制的基础; 他还揭示了输电线舞动为自激振动, 是自激振动的第一个工程实例。

上述 5 部分与课程的关系为, 静力学、矢量动力学 (不包括刚体空间运动) 和分析力学基础归入理论力学课程, 刚体空间运动动力学、分析动力学进阶和稳定性理论归入高等动力学课程, 振动理论归入振动力学课程。前面提到的重要进展, 也是相关课程中的教学重点所在。

## 2 力学史助益一般力学类课程教学

力学史真正能“究天人之际, 通古今之变”, 既具有“读史使人明智”的认知价值, 也有“追思往事欲魂销”的情感价值。在专业教学内容中适当穿插相关力学史, 不仅对力学学科的宏观发展有更全面的了解, 也有助于对具体教学内容的掌握。

力学史的学习有助于对学科发展有更全面和专业的认识。这可以体现在几个方面。其一, 力学的历史发展彰显了人类文明和理性的力量, 不仅引领了科学的发展, 也体现了社会进步。力学家在内在兴趣和外部需求的双重驱动下, 创新进取, 推动力学学科向前发展。力学史雄辩地证明,

“人类总得不断地总结经验, 有所发现, 有所发明, 有所创造, 有所前进。停止的论点, 悲观的论点, 无所作为和骄傲自满的论点, 都是错误的。”“我们必须知道, 我们必将知道。”其二, 对学科发展有专业性的理解。学生往往受非专业人士以及一些过于简单化的科普读物影响, 对于学术研究和科学创新有不切实际的想象, 以可遇不可求的科学革命时代为科学发展的常态。通过力学史的学习, 了解学科发展更多的是积跬步以至千里。众多学者, 通过点点滴滴的技术性贡献, 为力学大厦添砖加瓦。还有些人误以为论文的数量与质量有矛盾, 在一般力学类课程中几乎无处不在的欧拉就是反例, 他总共发表了超过 850 篇单独作者论文和 30 多部著作。其三, 了解学科发展的复杂性, “早发表, 晚评价。”相信时间的力量。有些重要的创新, 不仅同时代人难以理解, 做出创新的学者自己可能都没有意识到。典型的例子是哈密顿所提出的正则方程, 其重大意义经历了百年后量子力学兴起、130 年后动力学几何理论形成和 150 年后辛几何算法发展才被充分认识。另一个例子是李雅普诺夫的稳定性理论, 同时代学者包括他本人都没有认识到其重大意义, 以至于李雅普诺夫指导的学生都没从事稳定性理论研究; 现在李雅普诺夫稳定性理论被公认是动力学系统和控制理论的奠基性工作。“试玉要烧三日满, 辨材须待七年期。”科学发现的重大意义, 可能要几十年甚至上百年后才能充分认识。

力学史的学习也有助于对具体知识点的掌握。对于比较复杂深刻的概念, 通过展示其历史演化过程, 可以由具体到抽象、由特殊到一般, 帮助学生建立直观具象。例如, 虽然可类比函数极限或连续的定义, 用  $\varepsilon$ - $\delta$  语言给出稳定性的严格数学描述, 但初学者往往难以理解物理概念; 稳定性研究的早期工作<sup>[16]</sup> 提供了大量生动的实际例子, 有助于初学者掌握数学语言描述的物理现象。再例如, 梁的弯曲振动最基本理论是欧拉-伯努利梁模型, 基于梁与其形心线垂直的平面在振动过程中保持为平面只是平移, 并忽略剪切效应; 由于“平面假设”在材料力学中叙述, 振动力学往往没有特别强调, 因此学生有所忽视; 结合梁理论的历史发展, 说明研究者相继考虑了剪切变形和截

面转动, 由铁摩辛柯 (Stephen P. Timoshenko, 1878—1972) 建立了同时考虑两者的铁摩辛柯梁模型, 适用于短粗梁; 更一般些, 基于平面假设的梁振动需要 6 个联立偏微分方程描述, 形心线上点空间运动的 3 个坐标和描述截面定点运动的 3 个坐标。

力学史本质上是力学家的故事, 故事往往引人入胜。在教学中穿插力学史, 不仅说明力学家们的事功即科学贡献, 同时也捎带说明他们个人的风采和魅力。牛顿并不总是心不在焉的思考者, 也是英国历史上最干练的公务员, 亲自到小酒馆查案, 把逍遥法外多年的造假币者绳之以法; 他还是尽责但不高明的教师, 在空无一人的教室里对着墙壁依旧讲课。欧拉是完全靠薪水养活一大家人的职业科学家, 彼得堡科学院和普鲁士科学院的双聘院士, 即使在俄罗斯和普鲁士战争中, 仍从两边领取薪水; 后来叶卡捷琳娜女皇为吸引他到彼得堡工作, 不仅提供了一栋家具齐全的房子, 而且派御用厨师去管理欧拉全家的膳食。哈密顿是力学家中也很少见的神童, 大学刚毕业就击败几位成名的职位竞争者担任大学教授, 但神童并不足以保证恋爱和婚姻的成功, 甚至也没有让他认识到自己最重要的学术贡献所在, 他一直以为关于四元数的工作是其主要成就。瑞利可能是最后一代以科学研究为个人兴趣而非谋生职业的学者, 承袭贵族头衔, 在自己的大庄园中建有私人实验室, 在其中进行科学研究。邓哈托则堪称励志典范, 从身无分文的新移民, 到美国科学院、美国工程院和美国文理科学院的三院院士。这些故事, 不仅能起到活跃课堂气氛的效果, 也对学生有所启发。

### 3 结论

本文总结力学史助力理论力学、振动力学和高等动力学课程教学的实践。从静力学、矢量动力学、分析力学、稳定性理论基础和振动理论 5 个方面概述前述 3 门一般力学类专业课中所涉及杰出力学家的主要贡献。在教学中有机融入力学史, 既具有了解学科整体发展和加强具体知识点理解的认知价值, 也具有涵养专业兴趣、领略大

师风采的情感价值。

### 参 考 文 献

- 1 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯选集 (第二卷). 北京: 人民出版社, 1977
- 2 Mach E. The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development. McCormack TJ translated. La Salle: Open Court Publishing Company, 1989
- 3 Duhem PMM. The Evolution of Mechanics. Cole M translated. Germantown: Sijthoff & Noordhoff, 1980
- 4 Ray DH. A History of Mechanics: A Brief Review of the Chief Contributions of the Eminent Masters of the Science, a Table of Its Development, a Critique of the Fundamental Mechanical Concepts, and a Bibliography of the Science. Lancaster: New Ear Printing Company, 1910
- 5 Dugas R. A History of Mechanics. Maddox JR translated. London: Routledge & Kegan Paul, 1955
- 6 叶开沅. 力学发展简史. 北京: 知识出版社, 1987
- 7 武际可. 力学史. 重庆: 重庆出版社, 2000
- 8 Allen DH. How Mechanics Shaped the Modern World. New York: Springer, 2014
- 9 陈立群. 理论力学课程中的历史人物及其相关工作. 力学与实践, 2012, 34(3): 70-74
- 10 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: linguistic origin. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(1): 225-232 (in Chinese)
- 11 陈立群, 刘延柱. 振动力学发展历史概述. 上海交通大学学报, 1997, 31(7): 132-136  
Chen Liqun, Liu Yanzhu. Survey of the historical developments of vibration mechanics. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 1997, 31(7): 132-136 (in Chinese)
- 12 陈立群. 瑞利: 振动理论的开拓者与传播者. 自然杂志, 2025, 47(2): 134-138  
Chen Liqun. Rayleigh, a pioneer and disseminator of vibration theory. *Chinese Journal of Nature*, 2025, 47(2): 134-138 (in Chinese)
- 13 陈立群. 切塔耶夫及其两部经典教材. 力学与实践, 2024, 46(3): 674-678  
Chen Liqun. Chetaev and his two classic textbooks. *Mechanics in Engineering*, 2024, 46(3): 674-678 (in Chinese)
- 14 陈立群. 机械振动学的开拓者邓哈托: 生平、研究与教学. 自然杂志, 2022, 44(4): 323-328  
Chen Liqun. Den Hartog, pioneer in mechanical vibrations: life, research and teaching. *Chinese Journal of Nature*, 2022, 44(4): 323-328 (in Chinese)
- 15 武际可. 力学史杂谈. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- 16 陈立群. 稳定性漫谈. 力学与实践, 2015, 37(1): 148-151  
Chen Liqun. Informal explanation of stability. *Mechanics in Engineering*, 2015, 37(1): 148-151 (in Chinese)

(责任编辑: 胡 漫)