



北美中等动力学若干新教材

陈立群¹⁾

(上海大学力学系, 上海 200444)

摘要 本文评介美国和加拿大作者编著的几种“中级动力学”教材, 包括 Ginsberg 的《高等工程动力学》、Moon 的《应用动力学》、Bhat 和 Dukkipati 的《高等动力学》、Silva 的《中级动力学》和 Howland 的《中级动力学》. 简述了这些教材的内容和特点.

关键词 中级动力学, 高等动力学, 教材

通常认为北美的“工程力学(包括静力学和动力学)”即是我国的“理论力学”课程, 因此很难理解北美的静力学内容远比我们的理论力学中静力学部分丰富, 而运动学和动力学的内容反而比较少. 事实上, 北美的“工程力学”并不完全等同我国的“理论力学”, 因为机械、土木、航天、力学等专业的学生在“工程力学”和还有门课程“中级动力学”, 扩充和深化“工程力学”中的运动学和动力学内容. 北美的“工程力学”和“中级动力学”的内容, 总体上与我国力学专业的“理论力学”和“高等动力学”的内容相当. 本文介绍几种近 10 年内出版的“中级动力学”课程教材. 根据笔者的调研, 这些教材大致反映了该课程教材的全貌.

Ginsberg 的《高等工程动力学》(Ginsberg JH. *Advanced Engineering Dynamics* (2nd ed.). Cambridge Univ. Press, 1998. 462) 是内容比较传统、适用性强的教材. 全书共分 8 章. 第 1 章复习物理概念和数学工具. 随后 3 章是关于运动学, 先是点的运动, 主要是引入各种坐标, 包括自然坐标、直角坐标、正交曲线坐标和联合运动学描述; 接着是相对运动, 包括转动变换、有限转动、角速度、角加速度、用动参考系计算速度和加速度、相对运动的确定; 最后是刚体运动学, 包括一般方程、Euler 角、连接刚体和滚动. 其余 4 章是动力学. 第 5 章为牛顿刚体动力学, 包括动量、动量矩和动能概念、动量矩计算、惯性性质、动量矩变化率、运动方程、平面运动、冲量矩原理、功能原理和刚体系统; 第 6 章为分析力学导论, 包括广义坐标和自由度、完整和非完整约束、虚位移、广义力、Hamilton 原理、拉氏方程; 第 7 章继续讨论分析力学, 包括受约束广义坐标、状态空间表述、Hamilton 正则方程、初积分、准坐标和 Gibbs-Appell 方程和线性化; 最后一章是陀螺效应, 包括自由运动、自旋陀螺和用于惯性导航的陀螺仪. 每章有参考文献和习题(第 1 章除外), 附有半数习题的答案. 该书的特点是取材精练, 内容成熟, 讲解通俗, 例题丰富. 部分内容比较有特色, 例

如, 首章包括对运动学和动力学做出重要贡献学者的小传, 对受约束刚体的运动学分析, 非完整系统的状态空间描述, Gibbs-Appell 方程在刚体动力学中应用. Ginsberg 是美国 Georgia 工学院机械工程 George W. Woodruff 教授, 美国声学学会和美国机械工程师协会的 Fellow, 还著有教材《静力学》(1995), 《动力学》(1995) 和《机械和结构振动》(2001).

Moon 的《应用动力学》(Moon FC. *Applied Dynamics*. John Wiley & Sons, 1998, 492) 是本取材新颖特色鲜明的教材. 该书共分 9 章. 第 1 章介绍动力现象和动力失效. 首先说明牛顿《原理》之后的“新”动力学, 包括新发现——混沌, 新建模方法——分析力学, 新应用——多体问题和机电学, 新计算方法——软件和平台, 新实验工具——传感测量、信号处理和系统识别; 然后说明动态失效问题, 包括疲劳、动力失稳和动态噪声, 并简述避免动态失效的方法; 接着叙述动力学的矢量动力学的基本原理, 并应用于摆、线性受迫振动、陀螺运动、中心力场运动中的应用; 随后列举工程问题中的耦合力场和复杂动力学现象, 耦合力场包括流体力学和动力学、机电动力学、控制系统、轨道动力学、生物动力学、热和能量系统中的动力学, 复杂动力学现象包括材料非线性、几何非线性、非保守力、多体系统和柔性体大范围运动; 最后简要讨论动力学与设计, 以及动力学和引力的现代物理学. 第 2 章是动力学的基本原理, 包括运动及其约束的描述、平衡与虚功、质点系动量和能量原理、刚体角动量和欧拉方程、D'Alembert 原理和 Jourdain 原理. 第 3 章是运动学, 包括运动学概述、角速度及其矩阵表示、相对运动、约束和 Jacobi 矩阵、有限运动、一般刚体运动的变换矩阵和机构运动分析. 第 4 章是分析动力学, 包括约束和自由度、D'Alembert 原理、拉氏方程、虚功率方法(Jourdain 和 Kane 方法)、处理非完整约束的拉氏乘子法、以及 Hamilton 变分原理. 第 5 章是刚体动力学, 包括刚体动力学问题和方法概述、刚体的运动学、牛顿-欧拉运动方程、刚体的拉氏方程、刚体的虚功率原理、和非完整刚体运动问题. 第 6 章是机器人学和多体动力学导论, 包括概述、图学理论和关联矩阵、Jacobi 阵、运动方程、逆问题、和碰撞问题. 第 7 章是轨道和卫星动力学, 包括中心力场动力学、两体问题、刚体卫星动力学和绳系卫星. 第 8 章为机电系统动力学, 包括概述、电磁力、电磁物性、电磁学的动态原理、电

本文于 2007-07-12 收到.

1) E-mail: lqchen@staff.shu.edu.cn

磁系统的拉氏方程和控制动力学. 第 9 章为非线性和混沌动力学的导论, 包括概述、非线性共振、无阻尼摆的象空间运动、自激振动和极限环、Poincare 映射、刚体应用中的复杂动力学. 每章有习题, 个别习题附有答案. 全书附有参考文献. 该书是本非常有特色的教材. 最大特点是从新的视角整合动力学, 从而为学生今后深入学习多体系统动力学、非线性动力学、机器人学、航天器动力学等奠定了坚实的基础; 该书的第 1 章和其余各章的第 1 节很有特色, 对全书和相关各章作了很好概述, 也反映了作者高屋建瓴的学术洞见; 该书采用一些工程系统的照片或图示, 更贴近实际问题; 该书也包含一些历史注记和方法论性质的讨论; 该书虽然没有特别强调数值方法, 但在例题中比较广泛地使用 MATLAB 和 Mathematica; 个别内容反映了作者的研究成果, 如悬浮超导线圈的振动、齿轮噪声的混沌等; 在经典内容的处理方面, 也根据需要增加了新的成分, 如在力学建模方法中介绍了 Kane 所倡导的方法. Moon 是美国 Cornell 大学机械和航天工程 Joseph C. Ford 教授, 美国工程院院士, 还著有《磁固体力学》(1984)、《混沌振动》(1987, 2004)、《混沌和分形动力学》(1992)、《超导磁悬浮》(1994) 和《混沌和混沌理论历史》(2000).

Bhat 和 Dukkipati 的《高等动力学》(Bhat RB, Dukkipati RV. *Advanced Dynamics*. Alpha Science, 2001, 395) 以刚体动力学和分析力学为主也包括振动理论. 该书共分 12 章. 前 3 章是动力学和分析力学的基本内容, 相当于工程力学的动力学部分. 第 4 章用不同参考系描述运动, 第 5 章是轨道运动, 除基本中心力场运动外还讨论了扰动椭圆轨道. 第 6 章是拉氏方程, 包括冲击运动的情形和初积分. 第 7 章是惯性矩和惯性积. 第 8 章是刚体动力学, 包括刚体运动学、刚体动量矩和动能的计算, 欧拉角, 刚体运动方程, 自旋陀螺运动. 第 9 章是变分原理, 除 Hamilton 原理外还引入了 Hamilton 方程. 第 10 章是正则变换和 Hamilton-Jacobi 理论. 第 11 章为动力学系统振动, 包括单自由度和有限多自由度系统的自由和受迫振动. 第 12 章为动态响应的数值计算, 包括有限差分法、Runge-Kutta 法、Houbolt 法、Wilson- θ 法、Nermark- β 法、Park 刚性稳定法, 还通过例子讨论了非线性系统. 每章有总结、习题和参考书目. 该书所包括均为很成熟而且比较容易理解的内容, 作者对教学需要的考虑也比较细致. 因此, 使用该书的教学难度应该比较小. Bhat 是加拿大 Concordia 大学机械工程教授, 还著有《工程中的数值分析》(2004); Dukkipati 是美国 Fairfield 大学机械工程教授著有《列车轨道动力学计算机辅助模拟》(1987)、《振动分析》(2004) 和《控制系统》(2005).

Silva 的《中级动力学》(Silva MRM Crespo da. In-

termediate Dynamics. McGraw Hill, 2004, 567) 是本强调数值方法的教材. 该书分 8 章. 第 1 章是动力学的基本概念和定律, 也包括线性化和稳定性分析. 第 2 章是点的运动学和动力学. 第 3 章是片面机构运动分析, 包括 4 杆机构、Geneva 轮机构、曲柄滑块机构和止转棒机构. 第 4 章为质点系动力学, 包括质心运动定理、动量矩变化定理、牛顿定律和矩方程的积分形式、两体问题及其数值解、受限制三体问题. 第 5 章是平面运动刚体动力学, 包括刚体自由度、刚体位移的类型、平面刚体运动方程、刚体的滚动、刚体动力学的功能方法、和机构中的力. 第 6 章是刚体一般运动动力学的导论, 包括并矢、刚体动力学的基本矢量方程、刚体一般运动的转动运动学、转动的欧拉方程、动能和功能方法、自旋稳定性、动平衡和对称陀螺、方向角和角速度. 第 7 章是分析力学导论, 包括基本概念、D'Alembert 原理、Hamilton 方程、拉氏方程及其初积分、有约束时的拉氏方程. 第 8 章是动态系统的振动, 包括线性系统对正弦激励的响应、多自由度线性系统、吸振器分析、Foucault 摆分析. 每章有习题, 部分习题有答案. 最后附有深入学习的参考书目. 该书所涉及内容比较传统, 也比较初等, 仅是比动力学的初级课程稍深入, 但该书的最大特点是数值仿真和动画显示贯穿始终的应用, 所用 MATLAB 程序在随书的光盘中. 该书的另一个特点是注重与工程的联系, 对多种典型机构作了细致的讨论, 还介绍了航天器受的引力矩及自旋镇定卫星. Silva 是美国 Rensselaer 工学院机械、航天和核工程系教授, 美国机械工程师协会会员 (Fellow).

Howland 的《中级动力学》(Howland RA. *Intermediate Dynamics*. Springer, 2006, 540) 特别强调线性代数的应用. 该书第 1 部分用了近 1/3 的篇幅叙述线性代数, 包括矢量空间、线性变换和方阵. 第 2 部分是 3 维刚体运动学和动力学, 运动学包括刚体的运动、欧拉角、运动坐标系、机械运动学, 动力学包括质点和质点系的动力学, 刚体运动方程, 能量和动量积分. 第 3 部分是分析动力学, 包括约束的运动学分析、完整和非完整系统的拉氏方程、初积分、Hamilton 动力学. 每部分有引言和结束语, 每章有小结, 但该书没有习题. 该书行文严谨, 特别是在刚体动力学中, 系统应用线性代数. 每部分的引言对从整体上把握该部分内容人有助益. Howland 是美国圣母大学机械与航天工程副教授.

上述教材反映出北美高校“中级动力学”课程的核心内容是刚体动力学和分析力学. 有些教材也包含振动和其它内容. 近来, 数值方法也越来越受到重视. 这些教材可供我们在“理论力学”和“高等动力学”的教材建设和教学特别是双语教学时参考.