



新语境下力学本科课程体系的重塑与实践

赵沛 王宏涛 杨卫¹⁾

(浙江大学航空航天学院工程力学系, 浙江大学交叉力学中心, 杭州 310012)

摘要 随着新一轮科技革命的兴起, 作为经典学科的力学亟需结合时代特征进行转型, 而位居高等教育第一站的本科阶段首当其冲。本文结合力学学科发展规律与浙江大学工程力学系的教改实践, 提出以通识课程为根、专业课程为干、交叉课程为叶的新型力学本科课程体系, 简言为“力学 3.0”。希望为力学高等教育者们提供参考。

关键词 力学本科教育, 课程体系

中图分类号: O3 文献标识码: A doi: 10.6052/1000-0879-20-497

RECONSTRUCTION AND PRACTICES OF UNDERGRADUATE MECHANICS CURRICULUM IN THE NEW CONTEXT

ZHAO Pei WANG Hongtao YANG Wei¹⁾

(Department of Engineering Mechanics, School of Aeronautics and Astronautics, and Center for X-Mechanics, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract With the rise of new technological revolution, mechanics calls for revitalization to accommodate the characteristics of the new era, and the undergraduate phase of higher education is the first to be affected. Based on the guidelines of mechanics development and teaching practices in the Department of Mechanics Engineering of Zhejiang University, a new undergraduate curriculum is proposed for the mechanics major, in which the basic courses are taken as the root, the core professional courses as the trunk and the multidisciplinary courses as the leaves to form the tree of mechanics. We hope that this new curriculum, or “Mechanics 3.0” for abbreviation, may provide a guidance for mechanics higher educators.

Key words undergraduate mechanics education, curriculum system

当代教育工作者在 20 世纪所接受的基础教育, 使得他们有时停留在第三次科技革命的语境之下。然而, 在 21 世纪的第二个十年, 特别是随着人工智能技术的梯次勃兴, 现代社会实际上进入了变革时代, 新科技革命已经开始。正如习近平主席在第六届世界互联网大会的贺信中所指出的: “当前, 新一轮科技革命和产业变革加速演进, 人工智能、大数据、物

联网等新技术新应用新业态方兴未艾。”^[1] 这一新的形势必然要对力学高等教育提出新的要求。

力学是科技创新和发展的重要推动力。拨去前三次科技革命表面以蒸汽机、电动机、生产线等为代表的技术特征面纱, 革命的内驱力均来自于力学的推动: 以牛顿力学为代表的动力学促成了机械系统的发展和人力畜力的大规模被替代, 是“大工业

本文于 2020-12-03 收到。

1) E-mail: yangw@zju.edu.cn

引用格式: 赵沛, 王宏涛, 杨卫. 新语境下力学本科课程体系的重塑与实践. 力学与实践, 2020, 42(6): 766-770

Zhao Pei, Wang Hongtao, Yang Wei. Reconstruction and practices of undergraduate mechanics curriculum in the new context. *Mechanics in Engineering*, 2020, 42(6): 766-770

真正科学的基础(马克思语)^[2]；欧拉—伯努利梁方程及随后发展出的固体力学理论，在19世纪成为了“第二次科技革命的基石”^[3]；流体力学和研究“高压气体、高温气体、高压固体和临界态及超临界态”^[4]的物理力学则是第三次科技革命中航空航天这一代表性技术的最大动力。但是，在新科技革命的当今语境中，力学的这一基础角色(或其承载的“技术科学”角色)却被明显地忽视了。

在另一方面，时代前进也必然要求教育范式的变革。19世纪初“洪堡制”大学诞生，开始提倡学术和教学自由原则，专业制和学分制日趋成熟并延续至今。然而，随着新科技革命中热门技术的加持，学科领域却发生了高度的交叉，很难再用上一轮科技革命所诞生的学科范畴去界定这些技术所归属的领域。如何满足新科技革命对传道解惑的跨学科需求，使受教育者进一步回归其创新本原，将成为变革时代高等教育需要实现的目标之一。

作者们针对当前力学教育所遇的上述瓶颈，从力学本科课程体系改革的角度出发，提出若干对策，并结合近年来浙江大学工程力学系的教学实践进行阐述。

1 课程体系的构建 —— 从封闭到开放

相比基于“灌输”方式进行封闭式知识传授的现有力学课程体系，可基于对学科发展过程的梳理提出力学3.0概念，其中1.0代表学科的建构，2.0代表学科的辐射，3.0代表学科的嬗变。这一学科观从新的视角来注释力学的发展脉络，也从保持学科先行性及培养社会未来引领者的角度，对重塑力学本科课程体系提出了要求。

力学通常被视为工程的先导，着眼于发掘蕴含在工程中的基本规律和定量设计准则，在传统工科背后担任着“顶梁柱”的作用。目前，力学课程体系面对着如下问题。首先，力学专业课程的知识体系发生了固化，虽然它们在科教兴国时期中起到了关键作用，但在新时期已经明显落伍，尽管不断有局部推进和改革的尝试，却未出现整体的推陈出新。正如“顶梁柱”本身一样，虽然具有强大的支撑作用，但却并未焕发出蓬勃的生命力。其次，由于我国总体的教育水平不再处于世界后进，导致教育内容也处于不断更新的上行压力之中。最后，近现代力学的新应用还未能有效地融入力学的基本课程，在交叉学科

中所形成的新认识也还未能有效地映射进力学学科，以人工智能等为代表的新科技革命技术还没有在力学的知识体系中引起足够的共鸣。

“力学3.0”试图去构造一个完整而富有生机的新本科课程体系，以通识课程为根，深植力学的厚重基础；以专业课程为干，使固化的知识体系在零零后受教育者中焕发新的生机；以交叉课程为叶，积极与更多的学科进行“光合作用”，为力学带来新的能量，期望能够在几代生力军的培养过程中逐步实现整个学科的“嬗变”。

2 通识课程之根 —— 从入门到筑基

新力学课程体系的构建，首先要求从知识、能力、价值观这个三位一体的培养目标出发，提供具体化、操作化和目标化的知识点阵列。通识课程是实现这一目标的最佳载体之一。2018年作者们开始在浙江大学开设通识课程“力学导论”，至今已进行了3个学年的教学实践，共有约530名学生选课，在线开放课程也于2019年底在中国大学慕课平台上线。2020年11月，力学导论正式获批教育部首批国家级线下一流本科课程^[5]。2020年9月开始，力学导论成为浙江大学工程力学专业“强基计划”班必修课程，并与后续研讨课“工程科学与创新”一起，构成了力学专业本科生的专业类通识课。这是区别于以往思政类、数学类、文体类通识课的一次尝试。在课程实践中，作者们也凝练出教材《力学导论》，于2020年11月正式出版^[6]，旋即被教育部高等学校力学类和航空航天类专业教学指导委员会同时选为推荐教材，试图为力学梳理出一个全景式与文化型的全新脉络。

力学导论是一门面向全校大一新生的公选课，并没有对应的前置课程，而且文理科学生接受力学知识的能力也具有较大差异。因此课程一开始便跳出了“传授专业知识”的目标范畴，而将自身定义为一种工学博雅教育。课程的第一个目标，是借助力学丰富的学科辐射和严谨的科学方法，为学生提供一套不局限于工程科学的、且能够通行于不同人群之间的共通知识和价值观；课程的第二个目标才是教授一部分有兴趣的学生以力学基础知识，让他们理解力学在知识创造和创新能力培养方面起到的巨大作用，并通过身边真实的人类成就，来感受力学对它们的强大支撑。

在作者们看来,力学通识课程对课程的要求侧重于高阶性,而对学生则侧重于培养战略性思维能力,即要他们尽可能地对技术科学及其应用领域进行了解,对力学与相关学科的实验、计算和分析的手段有所涉猎。力学导论的教学内容共分7个单元,前3个单元由作者杨卫进行铺开式讲授,强调史观、宏观与大局观,以重要人物与重大工程为主线,包括“力学往事”(溯源理工合一、缘起理工分离、涌现工程科学等)、“力学今生”(力学的主战场、力学的新战场)和“力学未来”(牛顿力学之批判、力学的未解之感、力学3.0)。后四个单元由作者赵沛进行细节展开,强调微观、概念与横断面,以二级学科和生活中的具体案例为主线,包括“力学世界观”(以及科学的精神)、“飞行的梦想”(从流体力学说开去)、“工业的脚步”(大工业真正科学的基础)和“交叉的力学”(软物质、生物力学与机器人)。

力学导论课程开设以来取得了较高的校内外评价,实现了通识教育与专业教育、知识传承与能力培养、科学精神与人文素养、全球视野与家国情怀的结合,有效地促进了“力学3.0”课程体系的筑基作用。

3 专业课程之干——从固化到交织

力学本科专业课程的困境,主要表现为其内容相当大程度上滞后于新科技革命中最活跃的技术与产业的发展。对于成长在移动互联网时代的大学生,接触最多的是各类电子产品,以及丰富多彩的信息资源。如果教师不能使课堂吸引力超越这些信息产品,那么授课效果就会不尽如人意。而基础力学目前大部分的教材及教学载体均停留在20世纪中后叶,在21世纪大学生眼中“严重脱离时代”,从而取敬而远之的态度。

以材料力学课程为例。最为广泛使用的刘鸿文^[7]与孙训方等^[8]编写的教材分别初版于1979年和1982年,内容上沿用了铁摩辛柯的经典体系^[9],这一“西学东渐”在当时百废待兴、科教兴国的背景下具有先进意义,也决定了此后四十年各高校材料力学课程的授课内容与方式。但是随着时代的发展,其中大部分教学案例逐渐与学生的生活经验脱节。任课教师的学习背景和教学经验让他们觉得这类案例直观且便于理解,但是新世纪大学生很多却并不对其产生共鸣。这一观念上的差异性,再加上材料力学本身散布状的知识构成,就较难实现预期的课程效果。

作者们看来,在现阶段无法重构教材体系的情况下,教师可以通过提高课程创新性来进行改革:一是在严谨的纲领下将教学变得有趣,二是实现内容的与时俱进。例如,大部分同学并未进过车间或刻意注意过吊车梁,因此基于该形象的课程内容或例题就类似一种“填鸭”教育,此时可以采用学生更熟悉的事物,如可折叠手机、大雪压枝头等新案例辅助进行课堂讨论。

此外,由于力学专业的育人目标同时包含了科学家和工程师,因此专业课程改革也需要做到二者兼顾。仍然以材料力学课程为例。培养科学家的出发点在于强化学生的批判性思维能力,对于经典知识要善于提出问题,最好切中其中比较薄弱的环节。因此从实际操作上,较适宜于将弹性力学课程中严格数学化的分析方法与材料力学课程中抓主要矛盾的近似化求解手段结合,进行对比式讲述,明晰关键力学概念及思考方式的形成与演变。从方法论角度,数学化的“材料力学”和“弹性力学”结合也更为符合18、19世纪从欧拉到柯西等数学力学家建立固体力学基本理论的逻辑过程。培养工程师的出发点则应该是强化学生的实践性思维能力,即如何将系统化的知识学以致用,在与实践的结合中实现对知识的螺旋形深化。在2019学年,作者赵沛对材料力学和材料力学实验两门课程实行联合教改,安排了一次贯穿整个后半学期的探究性实验,要求学生通过团队合作实现对3D打印复杂杆件结构的力学分析。从最终效果来看,各团队均超额完成了预期目标,除了完成结构的打印和应变片测量之外,100%提前自学了ANSYS等有限元软件来对结果进行理论分析。这样的教改不但提高了学生们的认知能力、动手能力及团队合作能力,也很大程度上增强了他们参与其他创新创业活动的热情。

浙江大学工程力学系开设的其他专业课程也开展了创新性教改尝试。理论力学课程以好奇心为切入点,以玩具和魔术作为载体,通过对身边熟悉事物和现象的解读来实现对力学理论抽象性和复杂性的讲解,相关教辅书《玩具和魔术中的力学》即将由高等教育出版社出版^[10]。工程力学多个教学班联合开展了结构设计竞赛,以赛促教,寓学于研,提高了学生对课程的参与和理解程度。弹性力学课程大幅度提高了学生主导的研讨部分比重,也取得了较好的效果。

4 交叉课程之叶 —— 从执著到交叉

新科技革命的一个基本特征是技术的交叉性强，而力学本身是一门交叉性突出而丰富的学科。力学与几乎所有的基础学科和工程学科都能产生交叉，因此是否能够及时把握力学的这一特点并将其映射到本科课程建设中，便成为了力学学科在新世纪中保持生命力的关键。例如，新科技革命中人机共融环境下的深层次发掘、学习与分析，物理世界、信息世界与生命世界的融通，高性能计算手段与数字孪生技术，以及兼具各种物理、化学、生物手段的先进实验技术，这些都可以体现为采用力学理念和方法论来解释世界时所产生的新知识、新方法和新规律。在这个意义上，交叉力学课程便可以成为力学向新科技革命延拓的桥梁和实现与其他技术增长点学科共融的纽带。

着眼于此，浙江大学工程力学系开设了智能材料与结构力学、生物力学基础、动力机器人实践等交叉课程，对此展开布局。交叉课程的目的是培养学生的创新性思维能力，鼓励他们去不断涉猎新的领域，开辟新的研究问题，探讨新的研究方法，从中发掘力学问题，开辟力学新天地。因此，交叉课程的核心是需要具有一定的挑战度，实行宽进严出，要求学生课下花费更多的时间进行学习与实践，而不是仅作为兴趣课程轻松获取学分。

以足式机器人实践课程为例。机器人是一个综合系统，涉及本科期间重要专业课程的综合应用。首先，制造机器人零部件涉及到理论力学和机械设计的综合应用，例如对于动力机器人需要考虑腿部部位需要减轻质量和转动惯量，从而降低对于动力的需求；进一步合理设计机构以及选取齿轮、减速器等部件都需要综合运用机械设计方面的相关知识。其次，机器人控制是动力学与控制的重要应用，从动力学建模、控制算法、计算机程序编写、仿真模拟以及最后在实物上的调试，每个环节密切关联，将一般力学、控制理论、数值计算、计算机语言和实践有机紧密结合在一起，通过动力机器人作为载体，将理论分析通过机器人运动直观地表现出来，例如控制参数选取不合适，将导致机器人无法行走或者发生高频抖动等意料之外的现象，通过实际仔细观察、分析思考以及最终在实物上实现了鲁棒的行走步态，无疑是将赋予理论认识直观感受，培养了学生的物理

直觉。再次，动力机器人课程还涉及到电机系统、嵌入式系统、惯性传感器等力学之外相关知识，扩展了学生的知识面。随着课程的进行，学生对于机器人的认识深化，这时适当引入机器学习方面的介绍，作为机器人课程的外延，为学生打开新的思路。最后，在课程实践中需要学生团队协作、亲自动手且付出较大的努力，才能够完成课程任务。通过努力取得成功，对于培养坚忍不拔的科研探索精神具有重要意义。作者不断地看到学生通过发挥团队协作攻关最后完成项目后的喜悦心情，他们的创造性得到激发。课程结束时各小组均实现了对动力机器人设计、加工、平台仿真、数据迁移、运动调试等关键实践内容的学习。在对2016级本科生进行的毕业调研中，几乎全部受访者均认为该课程是其本科阶段受益最深的课程。

5 结语

国内各高校均在积极探索力学本科课程体系改革^[11](如清华大学“钱学森班”已经历十余年实践^[12])，但是在该过程中依然有些核心问题留待思考与解决：(1) 对于力学通识课程，如何建立其明确的课程主线与大纲？如果将通识课程按照讲座类并盘课程授课，则在数次开课后即有沦为“水课”的可能，因此需要将其作为专业课程的前置课程对待，并因地制宜地设计出相应的逻辑体系；(2) 对于力学专业课程，如何真正推陈出新？专业课程的“陈”意味着千锤百炼的经典，颇有“一字千金”的意味，因此陈而益坚，无法做到彻底打破，只可能结合新的形势去对课程内容进行演绎；而如何在有限学分的情况下实现这一点，是值得探索的问题；(3) 对于力学交叉课程，如何坚持力学的枢纽地位？在交叉课程中力学很多情况下体现为隐性的思维方式与方法论，很容易被表面的交叉学科所掩盖，因此如何使学生在交叉学科的学习中感受到力学的牵引，也需要不断进行尝试。此外，在“强基计划”重数理基础、拥有这些班级设置的高校力学专业如何在原有框架下合理进行课程体系更新和师资分配，也是需要本科教育决策者和从教者需要深思的问题。

参 考 文 献

- 1 习近平向第六届世界互联网大会致贺信. <http://www.xinhuanet.com/mrdx/2019-10/21/c.1210320431.htm>

- 2 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯全集, 第 26 卷. 北京: 人民出版社, 2016
- 3 维基百科/百度百科: 欧拉伯努利梁方程
- 4 钱学森. 物理力学讲义. 北京: 科学出版社, 1962
- 5 教育部关于公布首批国家级一流本科课程认定结果的通知. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2020/11/449367.shtml>
- 6 杨卫, 赵沛, 王宏涛. 力学导论. 北京: 科学出版社, 2020
- 7 刘鸿文. 材料力学 I、II, 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2017
- 8 孙训方, 方孝淑, 关来泰. 材料力学 I、II, 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2019
- 9 铁摩辛柯. 材料力学. 北京: 科学出版社, 1964
- 10 王永, 金肖玲, 庄表中. 玩具和魔术中的力学. 北京: 高等教育出版社, 2021
- 11 胡海岩. 力学教育的几个问题及其对策. 力学与实践, 2020, 42(5): 598-602
Hu Haiyan. Some problems and their solutions in mechanics education. *Mechanics in Engineering*, 2020, 42(5): 598-602 (in Chinese)
- 12 郑泉水. 论创新性工科的力学课程体系. 力学与实践, 2018, 4(2): 194-201
Zheng Quanshui. Curriculum structure for innovative engineering education. *Mechanics in Engineering*, 2018, 4(2): 194-201 (in Chinese)

(责任编辑: 胡漫)