

电子教材赋能机械类核心概念理解的教学研究

尹钰华¹ 刘志亮² (通讯作者) 常利军¹

1 西华大学机械工程学院, 四川成都, 610039;

2 电子科技大学机械与电气工程学院, 四川成都, 611731;

摘要: 后疫情时代, 机械工程教育加速数字化转型, 但学生在理解运动链、受力分析和加工机理等高度抽象、动态的核心概念时, 仍普遍存在“直觉性误解”。本研究以概念改变理论为框架, 探讨电子教材如何通过多模态交互功能促进机械专业学生的概念改变, 并评估其教学价值与实践局限。采用定性方法对师生进行半结构化访谈和典型案例分析, 识别学生的典型前概念, 并考察动态仿真、3D 旋转与剖面可视化等功能如何触发认知冲突, 引导科学概念的重建与整合。结果显示, 电子教材通过提供与直觉相悖的动态情境, 有效打破错误认知并支持复杂模型的重建。本研究为概念改变理论在工程教育中的应用提供实证支持, 并对未来机械专业电子教材设计与教学实践提出针对性建议。

关键词: 电子教材; 机械工程教育; 概念改变理论; 数字化学习

DOI: 10.64216/3080-1494.26.03.046

引言

全球疫情加速了高等教育的数字化进程, 使电子教材成为工程类课程的重要学习媒介。对于强调空间想象、运动机理与结构—受力耦合分析的机械工程而言, 其概念本身高度抽象、动态且具有多层逻辑结构, 传统纸质教材在呈现三维结构关系与动态过程方面存在明显局限。数字化教材以三维模型、动态仿真和可视化表达为特征, 被寄予突破复杂概念教学瓶颈的期望。然而当前研究多集中于资源便捷性、学习管理和自我调控能力的提升, 而对其如何促进机械专业“深度概念理解”的机制关注不足, 缺乏理论支撑与实证证据。

机械类学习困难的重要根源在于学生长期形成的“直觉性误解”。已有研究表明, 工程学习不仅依赖知识记忆, 更依赖对核心原理的深层把握^[1]。Hestenes 等的研究显示^[2], 即使学生能够运用公式, 他们对力与运动关系的理解仍常停留在“力推动运动”的直觉模型; 类似地, 机械类学生常将“刚度”等同于“硬度”, 或将切削热简单归因于摩擦生热, 这些日常经验形成的前概念会持续干扰后续学习。探究式教学研究进一步证明, 让学生暴露错误假设并引发认知冲突, 是修正这些误解的有效途径^[3]。

概念改变理论为理解这一现象提供了核心框架。Vosniadou 指出^[4], 科学概念的学习本质上是认知结构的

重组; Chi 强调不同误概念需通过不同形式的冲突与模型修正实现转变^[5]; Duit 等则强调该理论对于教师识别与纠正学生错误观念具有重要价值^[6]。机械工程中的典型概念——如受力分析、材料变形、热传导、运动链等——均符合“从直觉到科学”的认知演化模式。

在教学媒介方面, 电子教材的多模态呈现特点与概念改变的机制高度契合。基于 Mayer 多媒体学习理论^[7], 数字化教材通过文字、图像、动画的多通道信息加工可降低认知负荷、促进结构理解。其动态仿真、3D 交互和剖面展示功能不仅能激活前概念、暴露错误认知, 还可通过可调参数模型支持“实验—反馈—反思”的循环, 从而促进概念重建与整合^[3]。

综上, 现有研究已经证明: 工程教育中的概念障碍源于前概念冲突, 而概念改变理论提供了有效的解释框架; 电子教材具备促发认知冲突与支持模型重建的潜在优势。但在机械专业这一概念高度抽象且动态耦合特征突出的领域, 电子教材如何具体促进认知冲突触发、科学模型建构及深层理解, 仍缺乏系统研究。本研究正基于此理论与实践空白, 探讨数字化教材在机械专业概念掌握中的作用机制及其教学价值。

1 理论框架与研究方法

本研究以概念改变理论为核心分析视角, 通过定性研究方法对电子教材促进机械工程概念理解的机制进

行剖析。理论框架用于解释学生如何从直觉性误解迈向科学概念，研究方法通过访谈和案例分析深入捕捉概念转变的认知过程。

1.1 概念改变理论

概念改变理论被用于系统分析电子教材如何促进深层概念学习。概念改变被视为认知结构的重组过程，由前概念的暴露、认知冲突触发和模型重建三阶段构成。本研究将该理论应用于机械工程核心概念学习情境。

首先需识别学生的前概念，这些源自日常经验或过度简化的直觉性理解，如将“刚度”误认作“硬度”、将运动视为“受力越大越快”，或将切削热简单归因于摩擦。访谈和课堂观察用于把握这些误概念的结构特征。

认知冲突是促使转变的驱动力。当电子教材的动态演示与学生直觉相悖时，会产生认知不平衡。例如材料在载荷下的非线性变形或摩擦对运动链受力的复杂作用，通过动画、仿真和3D交互可被直接观察，促使学生意识到旧认知模型的局限。

最终通过互动探索实现模型重建。电子教材的参数化仿真为学生提供反馈机制，调节切削角度、材料等参数后可实时观察系统响应（如应力分布、剖面变化），使其逐步调整错误观念并整合科学解释。此交互过程有助于新概念在更广泛的机械知识体系中稳固，从而具备分析复杂工程问题的能力。

1.2 研究方法

研究采用定性方法，以深入理解学生概念改变的认知机制及体验。研究对象包括机械工程专业学生及具有数字化教学经验的教师，以覆盖概念学习的不同阶段与

教学引导策略。

数据主要通过半结构访谈和典型案例分析收集。学生访谈聚焦其原有直觉理解、疑惑点，以及电子教材中触发转变的效果。教师访谈关注其实施认知冲突的策略及对电子教材教学价值的判断。同时，选取课堂中“运动链分析”或“切削仿真”等教学片段作为案例，通过操作轨迹和观察记录分析转变过程。

访谈录音将转录并与案例记录进行主题分析，分析路径遵循概念改变理论：识别前概念主题，提取触发认知冲突的关键作用与情境，总结学生模型重建与整合的策略。通过师生反馈与实践数据的交叉验证，确保研究结果对理论框架的有效支撑。

2 教学成效分析与实施挑战

本节基于教师与学生访谈资料以及相关教学案例展开分析，并以概念改变理论为分析框架，对电子教材介入机械专业概念学习的过程进行系统阐述。在此基础上，重点关注电子教材在机械专业复杂概念教学中的作用方式及其教学实践中的应用特征，同时对相关实施条件与潜在问题进行讨论。

2.1 学生前概念的识别

访谈与学习记录分析显示，机械专业学生在多个核心概念上存在根深蒂固的“直觉性前概念”，多源于日常经验或对物理规律的线性化理解。例如，学生常以“静态图形”理解运动链，难以想象内部约束关系；在切削机理中，则将切削热简单归因于摩擦，忽略剪切、挤压及能量转化等复杂过程。表1呈现了典型前概念及其科学对应，为后续教学提供靶向性的改进方向。

表1 机械专业学习中的典型前概念与科学概念对照

前概念	科学概念	提及频率
轴越粗，强度一定越好	强度与材料、结构及载荷的综合关系	85%
切削力只与工件硬度有关	切削力受刀具几何、材料、切削用量及环境影响	72%
机构线性运动，输入输出比例恒定	运动非线性，输出随瞬时位形和传动角变化	65%
将刚度等同于硬度	刚度抗弹性变形，硬度抗表面局部塑性变形	58%

传统课堂和二维图示难以有效破除这些前概念，因其缺乏直观的证伪性和动态交互体验，使学生难以察觉自身认知偏差。

2.2 认知冲突的触发机制

电子教材的核心优势在于其动态可视化和交互特性，可主动触发认知冲突，将“不可见”概念直观呈现。

动态可视化冲击方面，在“运动链”学习中，3D旋转与剖面展示使学生发现运动轨迹与预期线性模型存在显著差异，从而产生认知冲击。一位学生表示：“以

前看平面图，以为结构简单，但3D模型揭示了内部复杂约束，我才意识到自己想得太简单。”仿真反馈效应方面，参数化仿真展示可促进学生对错误直觉的认知。例如，在切削力学习中，当学生增加进给量后发现切削力增长趋缓甚至振荡，迫使他们放弃简单线性模型，深入理解切削机理。图1显示，动态仿真功能在触发认知冲突方面评分最高，凸显其教学价值。

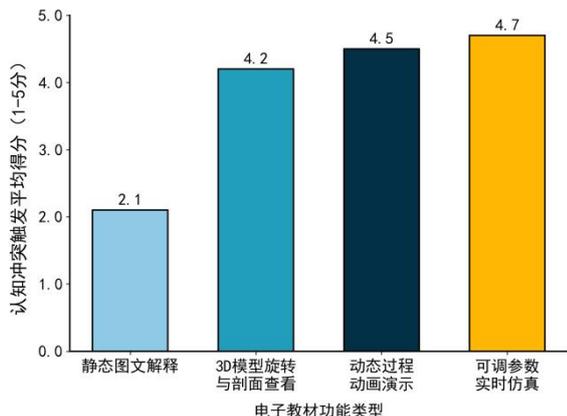


图1 电子教材功能对认知冲突触发强度的影响

2.3 电子教材促进概念重建

认知冲突只是概念改变的起点，而电子教材通过交互式仿真推动概念重建，实现从“被动接受”向“主动验证”的转变，图2展示了完整的概念转化过程。

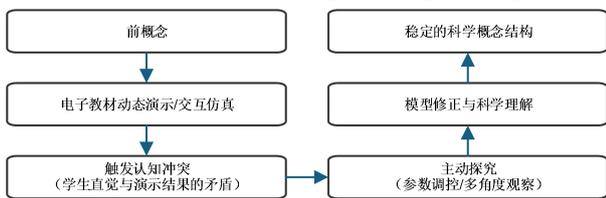


图2 基于电子教材的概念改变路径示意图

师生对电子教材核心功能普遍给予高度认可。学生认为动态模型和互动动画“让抽象概念变可见”，显著降低理解难度；教师认为其“增强了复杂结构和动态过程的讲解力度”，尤其在三维机构和动态物理过程教学中具有不可替代的作用。

然而，电子教材在实践中也存在局限：部分复杂仿真对硬件性能要求高，影响使用流畅性；部分教师未充分利用交互功能，将教材仅作为PDF展示；教学设计缺乏概念改变意识，未在演示前引导学生暴露前概念，削弱了认知冲突触发效果。这些问题为未来教学改进和教师专业发展提供明确方向，也提示电子教材设计和课堂应用需同步优化，以充分发挥其在复杂概念教学中的

潜力。

2.4 教师与学生对电子教材的使用反馈

研究表明，师生对电子教材的核心功能给予了高度认可。学生普遍认为，动态模型和动画“让那些抽象、看不见的概念变得可见”，极大地降低了理解的认知难度。教师则认为电子教材“增强了课堂解释的力度和生动性”，尤其在讲解复杂的三维结构和动态物理过程时，电子教材是不可或缺的辅助工具。

然而，实践中也暴露了若干局限性。主要不足包括：设备要求，部分复杂仿真对硬件性能要求较高，影响了学习流畅性；互动功能利用不充分，部分教师仍将电子教材当作PDF进行被动展示，未充分利用其参数化互动和调参模拟功能；教师设计能力不足，缺乏将“概念改变”理论明确嵌入教学活动的设计意识，未能有效地在演示前先引导学生暴露错误直觉，削弱了认知冲突的触发效果。这些实践中的不足，为未来的教学改进和教师专业发展提供了明确的指导方向。

3 结论

本研究基于概念改变理论，分析了电子教材在机械专业复杂概念教学中的价值与机制。结果表明，电子教材通过动态可视化揭示学生的直觉性前概念，并利用三维旋转、剖面展示和参数化仿真，提供与直觉相悖的认知冲突，促使学生主动重建和整合概念模型，实现从“发现错误”到“模型修正”的完整认知转变。这一机制有效克服了传统教学抽象性高、反馈滞后的限制，使学生形成稳固且可操作的概念理解。

研究还显示，教学设计应突出反直觉演示，将概念改变理论融入教学流程，教师需引导学生暴露前概念，触发认知冲突，并通过交互仿真进行模型重建。同时，应加强教师对电子教材互动功能的培训，以充分发挥其认知支持作用。由于本研究采用定性方法，样本有限且推广性存在局限。未来研究可结合大样本验证电子教材的概念改变效果，并探索人工智能辅助个性化反馈，以实现更精准的概念干预和智能化教学支持。

参考文献

[1]Streveler R A, Litzinger T A, Miller R L, et al. Learning conceptual knowledge in the eng

- ineering sciences: Overview and future research directions[J]. Journal of Engineering Education, 2008, 97(3): 279-294.
- [2]Hestenes D, Wells M, Swackhamer G. Force concept inventory[J]. The physics teacher, 1992, 30(3): 141-158.
- [3]Prince M, Vigeant M, Nottis K. Repairing student misconceptions in heat transfer using inquiry-based activities[J]. Chemical Engineering Education, 2016, 50(1): 52-61.
- [4]吴娴, 罗星凯, 辛涛. 概念转变理论及其发展述评[J]. 心理科学进展, 2008, (06): 880-886.
- [5]Chi M T H. Two kinds and four sub-types of misconceived knowledge, ways to change it, and the learning outcomes[M]//International handbook of research on conceptual change. Routledge, 2013: 49-70.
- [6]Duit R H, Treagust D F. Conceptual change: Still a powerful framework for improving the practice of science instruction[M]//Issues and challenges in science education research: Moving forward. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012: 43-54.
- [7]Mayer R E. Multimedia Learning[M]. Cambridge University Press, 2020.
- 作者简介: 尹钰华 (1990.03-) 男, 汉族, 山西原平人, 博士研究生, 工程师, 研究方向: 复杂装备故障预测与健康管理;
- 刘志亮 (1984.12-) 男, 汉族, 山东日照人, 博士研究生, 研究方向: 复杂装备智能测试、诊断与运维;
- 常利军 (1993.08-) 男, 汉族, 山西长治人, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 结构冲击响应。
- 本文为电子科技大学“四川省高等教育人才培养质量和教学改革项目(项目编号: JG2024-0231)” ; 西华大学“西华大学研究生教育教学改革与实践项目(项目编号: YJG202516)”研究成果。