

新工科背景下功能材料专业《材料科学基础》与后续课程联动教学改革研究

秦文静 刘德宝 曹焕奇 田华

天津理工大学

摘要: 新工科建设对材料类人才的知识整合能力与工程应用能力提出明确要求,传统《材料科学基础》课程因理论孤立、与专业课程脱节,难以满足功能材料领域人才培养需求。该研究以建构主义学习理论、CDIO工程教育理念为指导,构建《材料科学基础》与《太阳能电池材料》《能源材料》等功能材料专业课程的联动教学体系,通过“知识点联动—项目驱动—评价融合”三维改革路径,实现“基础支撑专业、专业反哺基础”的教学闭环。经实践,学生知识迁移能力显著提升,《材料科学基础》优秀率、功能材料专业就业/考研适配度显著提升。研究表明,基于教育理论的课程联动改革,是新工科背景下材料类基础课程提质增效的关键路径,可为同类课程改革提供理论与实践参考。

关键词: 新工科; 材料科学基础; 课程联动; 建构主义; CDIO; 教学改革

引言

2020年《新工科建设指南(2.0版)》明确提出“以产业需求为导向,构建‘基础—专业—实践’融合的课程体系”,2023年《普通高等教育学科专业设置调整优化改革方案》进一步明确提出“深化新工科建设”,要求对现有工科专业进行全要素改造升级^[1-2]。材料科学作为新工科核心学科,其发展态势与新工科的建设需求紧密交织。功能材料专业,因与新能源、光电等战略产业深度绑定,对人才的“基础理论扎实性”与“专业应用关联性”要求更迫切^[3-4],这无疑为功能材料专业教学带来了前所未有的机遇与挑战。

在功能材料专业知识图谱中,课程体系的逻辑关系呈现“应用目标牵引—性能调控衔接—基础理论支撑”的层级结构,核心专业基础课(以《材料科学基础》为代表)与专业课(《太阳能电池材料》《能源材料》等)并非孤立存在,而是围绕“实现应用器件目标性能”形成环环相扣的知识网络。知识图谱的终点是具体应用器件,如太阳能电池、锂离子电池、光电探测器、传感芯片等,其核心诉求是实现特定目标性能——例如太阳能电池需达到高光电转换效率、长循环稳定性;锂离子电池需具备高比容量、快充性能;传感器件需实现高灵敏

度、快速响应。这些器件的性能指标,直接成为专业课教学的核心目标。为实现器件的目标性能,需对功能材料进行精准性能微调,这一过程正是专业课的教学核心,也是连接基础理论与应用器件的桥梁。不同专业课围绕特定材料的性能调控展开,且调控逻辑均依赖基础课理论的支撑。《材料科学基础》作为核心专业基础课,构成知识图谱的底层支撑,其涵盖的“晶体结构与缺陷”“相图与相变”“材料性能”等核心内容,是性能调控与器件设计的共同理论源头^[5-7]。然而,与新工科专业建设的需求相比,传统功能材料专业体系及《材料科学基础》课程教学存在两大核心矛盾:

一是理论与应用的割裂。基础课多聚焦理论体系的完整性,侧重讲解晶体结构、化学键理论、热力学基础等通用概念与原理,却未结合能源材料的储能机制、光电材料的光生载流子传输等专业场景开展针对性铺垫;课程案例多聚焦传统结构材料,与新能源电池、光电传感器件等功能材料前沿脱节,学生难以建立“基础知识点——专业应用”的关联,这使得学生在接触“新工科”相关的创新材料应用场景时,缺乏足够的知识储备去理解和应用新的材料技术。从专业培养目标来看,现有教学缺乏“知识需在真实情境中建构”的顶

基金项目: 天津理工大学教学基金项目“新工科背景下《材料科学基础》课程教学改革探索与研究”(项目编号 YB23-08);天津理工大学教学基金项目:党建、思政、科教、产教四位一体材料工程卓越人才培养模式的研究与实践(ZD24-02)。

作者简介: 秦文静(1982—),女,博士,教授,研究方向为功能材料专业教学与科研工作。

刘德宝(1971—),男,博士,教授,研究方向为材料成型及控制工程专业教学与科研工作。

曹焕奇(1985—),男,博士,教授,研究方向为光伏材料与器件研究。

田华(1972—),女,博士,副教授,研究方向为智能检测算法与系统、新工科教育研究。

层设计^[8]; 二是课程体系的断层。基础课与后续专业课分属不同教学模块, 缺乏协同设计。专业课在展开具体知识时, 又需回溯基础课已讲授却未与专业应用关联的内容, 导致学生需花费额外时间重复补学。例如, 学习《能源材料》时, 需重新梳理基础课中“固溶体”与“扩散”的关联, 学习《光电材料》时, 需再次补学“半导体能带理论”与“晶体缺陷”的基本原理。

这种现状直接违背了 CDIO 工程教育“构思—设计—实现—运作”的连贯培养逻辑^[3]: 在“构思”环节, 因基础课未搭建“理论原理—专业应用”的认知桥梁, 学生难以基于基础理论提出符合功能材料领域需求的材料研发思路; 在“设计”环节, 由于缺乏基础知识点与专业设计目标的衔接训练, 学生无法将“材料结构设计”“性能调控方法”等基础能力转化为具体的器件架构、材料设计方案; 在“实现”与“运作”环节, 又因前期基础与专业知识的断层, 学生面对实验操作、性能优化、工程应用等实际问题时, 难以调用连贯的知识体系解决问题, 最终导致 CDIO 所倡导的“从理论到实践”“从知识到能力”的培养链条断裂, 既降低了教学效率, 也影响了学生工程素养与专业能力的系统性养成。

为了培育出符合新工科理念的材料专业人才, 《材料科学基础》教学必须突破传统框架。本文以教育理论为支撑, 开展《材料科学基础》与功能材料专业课程的联动改革, 通过理论嵌入实践、课程协同设计, 解决传统教学痛点, 为新工科材料类人才培养提供可推广的改革范式。

一、联动教学改革的理论基础

(一) 建构主义学习理论: 支撑知识联动设计

皮亚杰和维果茨基创立的建构主义认为, 知识并非被动接收, 而是学习者在“情境—协作—意义建构”中主动形成^[8]。传统《材料科学基础》教学以“教师讲授结合知识点记忆”为主, 缺乏专业应用情境, 导致学生无法实现知识的“意义建构”。改革中, 通过在基础课嵌入功能材料案例, 如钙钛矿晶体结构、二维材料晶体结构等; 在专业课设计基础知识点调用任务, 如基于扩散理论分析电池性能, 基于能带结构理论分析光电转化效率等, 为学生创设“基础—专业”联动的学习情境, 推动知识从碎片化记忆向系统化应用转化。

(二) CDIO 工程教育理念: 指导项目驱动实践

爱德华·克劳利教授及其团队提出的 CDIO 理念, 强调将工程基础理论融入真实系统开发过程, 实现“理论学习—实践创新”的一体化培养^[9]。以产品全生命周期为载体, 要求学生在“需求分析、方案优化、原型制造、系统运维”中掌握技术知识与职业能力。改

革中设计的钙钛矿电池制备、锂离子电池制备、气敏传感器设计等跨课程项目, 均模拟功能材料领域的真研发流程, 通过材料设计、性能测试实现方案优化, 学生需在项目中同步调用基础理论与专业技术, 契合 CDIO“从理论到实践”的培养逻辑, 提升工程应用能力。

(三) OBE 成果导向教育: 优化评价机制

威廉·G·斯派蒂提出的 OBE 理念以“学生能力产出”为核心, 强调评价需覆盖“知识掌握—能力应用—价值塑造”全过程^[10-11]。传统评价以期末笔试为主, 仅考核知识点记忆; 改革后构建的“基础—专业”融合评价体系, 如基础课成绩包含专业课项目得分, 专业课成绩包含基础理论应用得分, 实现对知识迁移能力及实践创新能力的全面评价, 符合 OBE “以成果为导向”的评价要求。

二、联动教学改革的实践路径

(一) 分级组织备课: 构建“基础—专业”知识关联清单

1. 首轮备课开展目标拆解

每学期开学前组织授课教师开展集中研讨, 由专业课教师先梳理本课程的 3~5 个核心教学模块(如《光电材料》聚焦“光致发光材料制备”“光电转换效率优化”), 再反向提出对基础理论的需求; 《材料科学基础》教师同步梳理课程章节, 标注可支撑专业课的理论知识点, 初步形成“基础—专业”对应清单。

2. 二轮备课进行细节打磨

针对首轮形成的清单, 分课程小组开展一对一对研讨, 比如《太阳能电池材料》教师与基础课教师单独沟通“光伏材料界面特性”模块, 明确基础课需在“固溶体结构”章节补充“多元半导体固溶体界面结合能计算”案例, 专业课则在后续教学中引用该案例分析“界面缺陷对光伏效率的影响”, 实现知识点的前后呼应。

(二) 重构课程体系: 建立“1+4”知识点联动矩阵

以“基础为专业铺垫、专业为基础巩固”为原则, 将《材料科学基础》与《太阳能电池材料》《能源材料》《光电材料》《传感材料与器件》绑定为联动课程群, 通过集体备课梳理“知识点联动矩阵”(表 1), 明确基础课需前置的核心内容、专业课需强化的应用场景。将基础理论落地到具体应用场景, 避免学生出现“学了基础不会用、学了专业不懂理”的断层问题。

(三) 创新教学内容: 实现“基础—专业”场景融合

1. 基础课: 嵌入专业前沿案例

每章节新增“功能材料应用模块”(占课时

表 1 《材料科学基础》与功能材料专业课程知识点联动矩阵(节选)

《材料科学基础》核心知识点	联动专业课程	基础课铺垫内容	专业课巩固内容
能带结构	《光电材料》	禁带宽度、载流子迁移率	光电转换原理与探测器设计
晶体结构与缺陷	《太阳能电池材料》	ABX ₃ 型钙钛矿结构、空位缺陷	钙钛矿缺陷钝化与载流子输运
晶体结构与对称性	《传感材料与器件》	结构与电导率	非中心对称晶体的电荷中心偏移
相变与扩散	《能源材料》	扩散系数计算、相变条件	锂离子扩散对电池倍率性能的影响

15%），核心目标是将抽象的基础理论转化为可探究的专业实际问题，培养学生的工程思维与应用能力。

具体实施时，采用“理论知识点+前沿案例+问题驱动”的三层教学逻辑：例如，在理论层面，向学生阐明缺陷化学的核心概念。关键点在于，材料中的点缺陷并非总是有害的，在精准调控下，它们能成为决定材料功能的关键。这里需要紧密结合固体能带理论，解释缺陷如何在材料的禁带中引入局域能级，这些能级如同“台阶”或“陷阱”，能够有效地捕获、存储电子（或空穴），并在外部刺激下控制其释放行为，从而影响材料的发光、导电等性能；随后，引入一个具体的前沿案例，如“TiO₂氧空位调控甲醛传感器灵敏度”案例，让学生基于缺陷形成能分析为何氧空位增加可提升传感器响应速度，强化“理论→应用”的关联。

2. 专业课：设计基础知识点调用任务

在专业课教学中，在每章设置“基础回顾与应用”环节（占课时20%），核心目标是引导学生主动调用前期基础课所学理论，解决专业领域的实际问题，提升知识迁移能力与专业分析能力。

具体实施时，结合不同专业课程的特色设计针对性任务：如在《光电材料》课程中，聚焦“光电器件材料设计”能力培养，以长余辉材料研发为场景，采用小组讨论的形式开展教学：先简要回顾缺陷理论和禁带宽度公式；再提出讨论任务：锶铝酸盐掺杂稀土离子实现长余辉发光，并分析缺陷在禁带中形成一系列不同深度的电子陷阱能级的原理，每组需展示分析思路与推导过程，教师针对理论应用的合理性进行点评，强化“基础公式→专业设计”的逻辑链。

(四) 优化教学方法：推行跨课程项目驱动

设计3类覆盖“1+4”课程群的项目（新能源材料类、光电材料类、传感材料类），以“钙钛矿太阳能电池制备与性能优化”项目为例：

(1) 基础阶段：学生基于“晶体结构”“缺陷化学”知识设计前驱体配比，基于“缺陷理论”选择钝化剂，推导缺陷浓度与电池载流子寿命的关联关系；

(2) 实践阶段：在专业课指导下完成电池制备

与效率测试，验证基础阶段设计方案的有效性；

(3) 成果阶段：提交包含“基础理论应用说明”的报告，并进行PPT汇报，呈现“基础设计-专业实践-性能验证”的跨课程知识整合过程，由基础课与专业课教师共同评分。项目实施过程中，学生需同步整合基础与专业知识，实现“做中学、用中学”。

(五) 完善评价机制：构建“双向融合”评价体系

打破单一评价模式，基础课成绩中，过程性评价增加跨课程项目成绩、案例讨论成绩，期末考试中增加专业应用题，如“结合扩散理论分析电池低温容量下降原因”；专业课总成绩新增“基础理论应用得分”，考核学生作业、项目中对基础知识点的引用准确性与应用深度，形成“基础评价看专业应用、专业评价看基础支撑”的闭环。

三、联动教学改革的实践成效

(一) 学生能力与课程质量提升

教学改革后，《材料科学基础》课程质量显著改善：及格率从82.3%升至95.1%，优秀率从15.2%升至30.5%；学生知识迁移能力明显增强，跨课程项目中基础知识点应用准确率从62.5%升至89.2%，专业课作业主动引用基础理论比例从45.8%升至91.5%。2020-2021级学生获“大学生创新创业大赛”“中国‘互联网+’创新创业大赛”等奖项8项，发表省级以上论文6篇，较改革前（3项、1篇）大幅提升。

(二) 就业与考研适配度提高

功能材料专业就业质量显著优化：总体就业率从85.0%升至98.2%，功能材料相关岗位就业率（新能源、光电企业）从60.5%升至85.3%；考研率从25.3%升至40.1%，功能材料相关方向考研率（如新能源材料、光电信息材料）从58.2%升至91.5%。用人单位反馈，改革后学生“基础知识应用能力更强，能快速适配岗位与科研需求”。

四、结论

新工科背景下，《材料科学基础》与功能材料专业课程的联动改革，以建构主义、CDIO、OBE理论为支撑，通过“分级组织备课—课程体系重构—教学内

容融合—项目驱动—评价优化”，有效解决了传统教学中“理论孤立、课程断层”的问题，实现了“知识传授—能力培养—价值塑造”的统一。新能源材料类、光电材料类、传感材料类三类跨课程项目，让学生在整合“晶体结构”“缺陷理论”等基础知识点与“器件制备”“性能测试”等专业技能的过程中，知识整合能力与工程应用能力显著提升。同时，课程联动推动基础课教师主动对接专业需求更新教学案例，专业课教师同步强化基础理论在实践中的引导作用，形成“基础课程质量提升——专业建设内涵深化”的协同发展格局，充分证明该改革路径是破解材料类基础课程“学用脱节”难题、适配新工科人才培养要求的有效方案。

参考文献：

- [1] 教育部高等教育司 . 新工科建设指南 (2.0 版) [Z]. 2020.
- [2] 教育部等五部门 . 教育部等五部门关于印发《普通高等教育学科专业设置调整优化改革方案》的通知 [EB/OL].(2023-03-02)[2025-11-22].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202304/t20230404_1054230.html?eqid=d6976592000a9908000
- 00004643e7ae5.
- [3] 钟登华 . 新工科建设的内涵与行动 [J]. 高等工程教育研究 ,2017(3):1-6.
- [4] 刘桂香 . “双一流”建设背景下功能材料专业实践教学的改革探索 [J]. 教育教学论坛 ,2025(11):57-60.
- [5] 李振江 . 新工科背景下材料科学基础课程建设与改革 [J]. 中国现代教育装备 ,2025(7):58-60.
- [6] 赵严 . 以学生为中心的“材料科学基础”课程教学改革与探索 [J]. 高等理科教育 ,2021(1):49-53.
- [7] 刘洪丽 . 《材料科学与工程基础》课程思政建设及评价 [J]. 高教论坛 ,2020(11):31-33.
- [8] 让 · 皮亚杰 . 发生认识论原理 [M]. 北京 : 商务印书馆 ,1981:23-35.
- [9] Crawley E F.Rethinking Engineering Education:The CDIO Approach[M].New York:Springer,2007:45-62.
- [10] Spady W G.Outcome-based Education:Critical Issues and Answers[M].Alexandria:American Association of School Administrators,1994:78-90.
- [11] 王永泉 . 产出导向的课程教学:设计、实施与评价 [J]. 高等工程教育研究 ,2019(3):62-68.