

“科研反哺-能力进阶-价值引领”三维联动：材料研究方法课程教学改革探索

范冰冰 陈勇强

郑州大学材料科学与工程学院，河南 郑州 450001

[摘要]材料研究方法是材料类专业承上启下的核心课程，承担着培养学生材料表征能力与科研思维的重要使命。然而，该课程长期面临内容庞杂与课时有限的矛盾、仪器原理抽象与学生认知脱节、实践环节与科研前沿割裂等突出问题。本文立足郑州大学材料科学与工程学院的学科优势与科研实践，提出“科研反哺-能力进阶-价值引领”三维联动的教学改革思路。以科研案例库建设为纽带实现前沿成果向教学资源的有效转化，以“认知-模拟-实操-探究”四阶递进路径重构实践教学体系，以仪器发展史与国产仪器突破为切入点实现价值引领的自然融入。改革实践表明，学生在表征方法综合运用能力、科研参与度与专业认同感等方面均有明显提升，为材料科学与工程专业方法类课程的教学改革提供了可借鉴的实践路径。

[关键词]材料研究方法；教学改革；科研反哺；能力进阶；课程思政

DOI: 10.33142/fme.v7i9.20597

中图分类号: G642

文献标识码: A

Three Dimensional Linkage of "Scientific Research Feedback - Ability Advancement - Value Guidance": Exploration on Teaching Reform in Materials Research Methods Course

FAN Bingbing, CHEN Yongqiang

School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: Materials research methods are the core courses that connect the past and the future in materials related majors, and undertake the important mission of cultivating students' material characterization ability and scientific research thinking. However, the course has long faced prominent problems such as the contradiction between complex content and limited class hours, the disconnect between abstract instrument principles and student cognition, and the disconnection between practical activities and cutting-edge scientific research. This article is based on the disciplinary advantages and research practices of the School of Materials Science and Engineering at Zhengzhou University, and proposes a three-dimensional linkage teaching reform approach of "research feedback - ability advancement - value guidance". Using the construction of a scientific research case library as a link to effectively transform cutting-edge achievements into teaching resources, reconstructing the practical teaching system through a four step progressive path of "cognition - simulation - practice - exploration", and taking the history of instrument development and breakthroughs in domestic instruments as entry points to achieve natural integration of value guidance. Reform practice has shown that students have significantly improved their ability to comprehensively apply representation methods, research participation, and professional identity, providing a practical path for the teaching reform of methods courses in materials science and engineering majors.

Keywords: materials research methods; education reform; research feedback; ability advancement; ideological and political education

引言

材料研究方法课程是材料科学与工程专业的核心课程之一，其教学内容涵盖 X 射线衍射分析、电子显微分析、光谱分析、热分析等多种材料表征技术，是学生从“材料制备”走向“材料认知”的关键桥梁。对于郑州大学材料科学与工程学院而言，这门课程在大三学年开设，学生此时已修完材料科学基础等先修课程，具备了一定的理论基础，但尚未系统接触科研实践，对材料微观结构的认知

仍停留在课本层面。如何在这门课程中既讲清各种表征方法的物理原理，又让学生真正建立起“用什么手段看什么问题”的方法论意识，是教学设计的核心难题。

从课程本身的特点来看，材料研究方法具有几个显著特征：一是知识体系庞杂，涉及衍射学、电子光学、光谱学、热力学等多个学科的理论基础，各方法之间既有独立性又存在交叉；二是原理抽象，X 射线衍射的布拉格方程、电子与物质的相互作用、核磁共振的弛豫机制等内容对学

生数理基础要求较高,单纯依靠板书推导难以建立直观理解;三是实践性强,学生需要在真实仪器上完成样品制备、参数设置、数据采集与图谱解析的全流程操作,才能将理论知识内化为实际能力;四是发展迅速,原位表征、三维重构、人工智能辅助图谱解析等新技术不断涌现,课程内容需要持续更新。

然而,传统教学模式在应对上述特征时存在明显不足。在教学方式上,多数课堂仍以教师讲授为主,学生被动接受,缺乏主动探究的机会。在实践环节上,受限于大型仪器的数量和管理制度,学生难以获得充分的动手操作机会。在知识更新上,教材内容滞后于科研前沿的现象普遍存在,学生学到的表征方法可能与实际科研中使用的技术之间存在明显区别。此外,如何在专业教学中自然融入价值引领,也是当前教学改革需要直面和解决的问题^[1]。

郑州大学材料科学与工程学院近年来在人才培养体系改革方面积累了丰富的经验。学院依托一流学科建设,构建了“产教深度融合、学科交叉创新、项目全程赋能”的研究型人才培养体系,率先全面推行本科生导师制,学生自大一学年起即可进入科研团队。在这一制度背景下,材料研究方法课程具备了独特的改革条件:教师可以将自身科研中使用的表征手段、遇到的真实问题、积累的典型图谱直接转化为教学素材;学生则在修读课程的同时已经进入课题组,课程学习与科研实践可以形成相互支撑的关系。

1 课程教学现状与核心痛点

1.1 知识体系庞大与课时结构矛盾

材料研究方法课程通常涵盖十余种表征技术,每种技术都涉及独立的物理原理、仪器构造、样品要求、数据解析等内容,基础概念多、知识点杂、理论性强,对于本科生基础理论的掌握和实践技能的培养均难达到预期效果。如何在有限的学时内让本科生掌握各种研究方法,激发研究生的探究心理,提高其图谱解析能力、创新能力及问题解决能力,是目前此课程教学中迫切需要解决的问题^[2]。以X射线衍射为例,仅其基本原理就包括X射线的产生、晶体对X射线的衍射、布拉格方程的推导、衍射强度的影响因素等,而实际教学中还需要覆盖物相定性分析、定量分析、晶粒尺寸与微观应变测定、织构分析等应用层面。同样,电子显微分析涉及电子与物质的相互作用、透射电镜的成像原理与衍射衬度、扫描电镜的二次电子与背散射电子成像机制等,内容深度不亚于一门独立课程。更为突出的问题是,各种方法在教材中通常被编排为独立章节,学生难以建立方法之间的内在关联——例如,什么时候应该用XRD而不用TEM,什么时候需要XRD和TEM联

合使用,这些在实际科研中最需要判断力的问题,恰恰在传统教学中容易被忽略。

1.2 原理讲授的抽象性与学生认知的脱节

材料研究方法课程的许多核心概念具有高度的抽象性。布拉格方程($2d\sin\theta=n\lambda$)虽然形式简洁,但学生往往难以将其与真实晶体中的原子排列、仪器中X射线的实际路径建立联系。电子与物质的相互作用涉及弹性散射、非弹性散射、特征X射线激发、俄歇电子发射等多种机制,这些过程在纳米尺度和飞秒时间尺度上发生,肉眼不可见,仅凭文字描述和公式推导难以形成直观认知。

1.3 实践环节的“看多练少”困境

材料表征能力的培养离不开实际操作。然而,大型仪器设备的管理制度、使用成本和机时限制使得本科教学中的实操机会非常有限。X射线衍射仪、透射电子显微镜等设备通常归属公共测试平台或课题组管理,其优先服务于科研任务。这一困境带来的直接后果是,学生在后续进入课题组开展科研时,面对仪器操作和数据解析往往感到无从下手。他们能够背诵XRD的基本原理,却不知道如何选择合适的扫描速度、如何判断峰位偏移是否显著、如何区分仪器展宽与晶粒细化引起的峰宽变化。这说明课程教学与科研实践之间存在明显的“能力断层”,课堂上学到的知识未能有效转化为解决实际问题的能力。

1.4 前沿性与系统性的张力

材料表征技术正处于快速发展期。三维原子探针、机器学习辅助的图谱解析等新技术不断涌现,材料研究的前沿论文中使用的表征手段也越来越多元化和综合化。然而,将前沿内容引入本科课堂面临两难:引入过多,会挤占基本原理的讲授时间,导致基础不牢;引入过少,则课程内容与科研现实脱节,学生毕业后进入研究生阶段或企业研发岗位时,需要从头学习新的表征技术。如何在保持知识体系系统性的前提下,适当引入前沿内容并让学生理解“新方法解决的是什么老方法解决不了的问题”,是课程内容设计需要审慎处理的问题。

2 “科研反哺-能力进阶-价值引领”三维联动改革设计

2.1 设计理念

三维联动的核心主张是:以科研反哺解决“教什么”的问题,以能力进阶解决“怎么教”的问题,以价值引领解决“为什么教”的问题。三个维度并非平行独立,而是相互支撑的关系:科研反哺为能力进阶提供了真实的问题情境和案例素材,能力进阶为价值引领提供了实践载体——学生在亲手操作和数据分析中更能体会科学研究的

严谨性和国产仪器进步的意义,价值引领则为科研反哺和能力进阶赋予了更深层的育人意义。

2.2 科研反哺:科研案例库的建设与教学转化

本科生科创能力培养面临的核心矛盾在于:科研能力需要在真实的科研情境中锤炼,但传统课程教学与科研训练之间存在制度性割裂。课程教学以知识传授为主,科研训练则主要依靠毕业设计或课外科研项目,两者缺乏有机衔接。调查显示,本科生在从课堂学习向科学研究过渡的过程中,批判性思维、独立实验技能和问题解决能力往往准备不足,这些能力直接决定了其毕业设计和后续科研表现。

教师科研中,积累的大量的 XRD、SEM、TEM、拉曼光谱等表征数据。这些数据背后往往蕴含着典型的表征问题:例如,微波烧结陶瓷的 XRD 图谱中出现的异常峰宽变化,究竟是晶粒细化的结果还是微波场引起的晶格畸变?吸波材料的 SEM 图像中观察到的多孔结构?基于这些真实问题,教师按照“表征方法-典型问题-数据解析-方法论启示”的四要素结构,建设了分模块的科研案例库。案例库涵盖衍射分析、电子显微分析、光谱分析、热分析四个模块,每个模块包含 3~5 个来自实际科研项目的案例。案例的设计原则不追求案例覆盖所有知识点,而是围绕一个核心问题展开,引导学生经历“提出问题-选择方法-设计参数-采集数据-解析结果-形成结论”的完整思维过程。

案例库的使用方式根据教学环节有所不同。在理论课中,案例以“问题导入”的形式呈现,教师展示图谱和数据,引导学生讨论“如果是你,会怎么分析”;在实验课中,案例作为实操任务的背景,学生需要独立完成数据采集和解析,并与教师给出的参考答案进行对照;在课后拓展中,案例以“分析报告”的形式布置,要求学生撰写简要的分析报告,训练科研写作能力^[3]。近三年的实践表明,基于真实科研案例的教学方式对学生理解抽象原理的帮助显著,期末问卷中超过 85% 的学生认为“案例教学使我对表征方法的理解更加具体”。

2.3 能力进阶:本科课堂通往研究生科研的阶梯

本科课程对研究生科研的支撑,不是通过提前讲授研究生阶段的知识来实现的,而是通过思维方式的奠基、方法意识的养成和科研经验的提前体验,为学生铺就一条拾级而上的阶梯。材料研究方法课程最终指向并非期末考试中的标准答案,而是学生进入研究生阶段后,面对真实科研课题时能否迅速进入工作状态。

研究生科研中最常见的能力短板,不只是不会操作仪器,而是面对具体的材料问题不知道应该选择什么表征手段。一位硕士研究生如果接到“分析某陶瓷材料的物相组成和微观形貌”的任务,往往第一反应是“课题组常用的

表征方法是什么”,而不是“这个问题需要什么方法”。这种思维惯性的根源,在于本科阶段的学习以“方法为中心”而非“问题为中心”——学生系统地学习了 XRD、SEM、TEM 等各种方法的原理,却没有被训练过如何在具体问题面前做出判断。

如果说方法选择是研究生科研的第一步,那么数据解析就是决定研究质量的关键环节。当前研究生培养中一个普遍存在的现象是:学生能够按照标准流程完成测试并获得数据,却无法从数据中提取有意义的科学信息。XRD 图谱中峰位偏移了,学生知道“可能有晶格畸变”,但无法进一步区分是残余应力引起的还是固溶导致的;SEM 图像中看到异常形貌,学生能描述“表面有颗粒团聚”,但无法判断这是制备工艺的必然结果还是样品处理不当造成的假象。

这一能力短板的根源,在于本科阶段的数据解析训练往往停留在“对照标准卡片识别物相”的层面,学生缺乏对数据背后物理过程的追问习惯。在本文的改革设计中,科研案例库的建设直接服务于这一目标。通过理论结合实践,使学生掌握了一定的科研方法和研究技能,培养了学生的科研意识和团队合作能力。该课程取得了良好的教学实践效果,对培养具有创新意识和科研能力的研究型学生具有重要意义^[4]。

研究生科研与本科学习最根本的区别,在于研究生需要独立发现问题、设计解决方案,而不仅仅是执行既定任务。这种独立性对表征能力的要求更高——不仅要会做测试,还要知道“为什么做这个测试”“测试结果能否回答研究问题”“如果不行,下一步应该做什么”。近五年,材料研究方法课程中有超过 50 名学生主动联系教师进入课题组参与科研项目,其中多名学生将课程中的探究任务延伸为大学生创新创业训练计划项目,部分学生进入研究生阶段后,在表征方案设计和数据解析方面的适应期明显短于未接受过探究层训练的同学。这些变化说明,本文提出的“科研反哺-能力进阶-价值引领”三维联动改革设计在提升学生表征能力、科研参与度和本硕衔接适应性方面产生了可观察的积极效果。学生从被动接受知识转向主动设计表征方案,从完成课程任务转向参与真实科研课题——这一转变正是教学改革有效性的直接体现。当然,教学效果的显现具有滞后性,本科阶段的训练究竟在多大程度上影响了学生研究生阶段的科研表现,还需要更长周期的跟踪数据和更系统的对照分析来加以验证。但就目前的教学实践而言,能力进阶设计至少为学生提供了一条从本科课堂通往研究生科研的可视化路径,落实为可操作、可评价的教学环节。

2.4 价值引领：从课堂所学到产业所需

材料研究方法课程的价值引领，不应局限于仪器发展史和科学精神的讲述，更应让学生看到所学知识在产业一线的真实用处。当学生意识到，课堂上学到的 XRD 物相分析可以用来判定耐火材料的相变失效，SEM 形貌观察可以辅助诊断陶瓷烧结缺陷，热分析数据可以为吸波材料的工艺优化提供依据。这种学以致用解决实际问题的切身感受，本身就是最有力的价值引领。

郑州大学材料科学与工程学院依托产教深度融合的人才培养体系，为课程对接企业实际需求提供了制度通道。例如，某企业生产的陶瓷材料在高温服役后出现性能衰减，需要判断是物相转变还是微观结构劣化所致。这一问题的表征方案：XRD 物相分析、SEM 断面观察、热膨胀曲线对比等表征方法恰好覆盖了课程中衍射分析、电子显微分析和热分析三个模块的核心内容。更重要的是，这类案例让学生理解了一个关键认知：表征方法的选择不仅取决于科学问题本身，还受制于企业的时间成本、样品条件和检测预算。这种训练是单纯课堂讲授难以提供的，也是学生未来进入企业研发或检测岗位后最需要的能力。

从价值引领的角度看，当学生用课程所学帮助企业解决了实际问题，哪怕只是一个简单的物相判定或形貌诊断，他们获得的专业认同感和职业价值感是任何说教都无法替代的。近两年，选修本课程的学生中，有部分同学在导师指导下参与校企合作项目，将课程中的表征训练直接应用于企业样品的检测分析，部分分析结论被企业采纳并用于工艺调整。这些案例说明，通过产学研相结合的教学，将材料学科相应的研究成果和应用实例贯穿到课堂教学中，可以开阔学生的视野，提高学生发现和解决问题的能力，更好地与社会需求相结合，提高学生专业知识的应用能力，培养学生的独立思考能力和创新精神。教学改革要以社会为导向，面向科学研究与实践应用，吸纳对应行业和领域的最新需求、最新技术、最新应用，并融入教学中，主动适应社会需求^[5]。

3 改革实践的成效与反思

3.1 改革实施情况

上述改革方案自 2023 年起在郑州大学材料科学与工程学院材料研究方法课程中实施。改革在教学内容、教学方式和考核评价三个方面同步推进。

在教学内容方面，在保持原有知识框架完整性的前提下，将科研案例库嵌入各模块的教学中，在实践教学方面，为大三学生争取到每学期 2~3 次、每次 2 学时的真实仪器操作机会，并将探究层任务纳入本科生导师制的科研训练环节。在考核评价方面，将传统的“期末考试+实验报告”调整为“过程性评价（40%）+期末综合分析（60%）”的体系，过程性评价包括案例讨论参与度、虚拟仿真操作完成质量等，期末综合分析采用“给定材料问题-设计方案-预期分析”的开放性试题，重点考察方法选择能力和分析逻辑。

3.2 初步成效

从近三年的实施效果来看，改革在以下几个方面产生了积极变化。

学生的表征方法综合运用能力有所提升。在期末开放性试题中，要求学生针对“某未知陶瓷材料的物相组成、微观形貌和热稳定性进行分析”这一问题设计表征方案，并说明每种方法的选择理由和预期结果。与改革前相比，学生方案中“单一方法应对多问题”的比例明显下降，能够合理选择 XRD、SEM 和 TG-DSC 联合使用并说明各自检测目标的学生比例从改革前的约 30% 提升至约 65%。在后续的本科生科研训练和毕业设计环节中，指导教师反馈学生进入实验室后对 XRD 和 SEM 的基本操作上手更快，对数据质量异常的敏感性也有所增强。

学生的科研参与意愿有所提高。课程中引入的科研案例和探究层任务，使部分学生在课程学习过程中产生了继续深入研究某个问题的兴趣。近两年，材料研究方法课程中有超过 20 名学生主动联系教师进入课题组参与科研项目，其中多名学生将课程中的探究任务延伸为大学生创新创业训练计划项目。

表 1 2023 级本科生代表性成果

本科生	第一作者的文章/专利
胡兴朴	Effects of B ₂ O ₃ on the microstructure and properties of h-BN-ZrO ₂ -SiC composites
高成宝	Review: Modulation preparation and performance optimization of one-dimensional SnO ₂ gas sensitive nanomaterials
魏文琪	Fabrication of BiOBr - based broad-spectrum photocatalysts for environmental remediation
韩紫臣	Metal-Organic Frameworks on Semiconductor Photoanodes: Surface/Interface Engineering and Functional Mechanisms for Water Oxidation
周炳宇	一种柔性吸波碳化硅纤维布及其制备方法
郑仕博	一种 Hf/ZrTi ₄ O ₇ 复合催化材料及制备方法、农药降解方法
牛露	一种气凝胶复合保温材料的制作方法
魏文琪	一种拉曼散射光谱检测芯片及其制备方法和应用

这些成果的取得,与学生在课程中接受的表征方法训练和科研思维培养密不可分——正是课程中的案例教学和探究层训练,使他们进入课题组后能够较快掌握 XRD、SEM、TEM 等表征手段,独立完成数据采集与解析,为后续科研工作的顺利开展奠定了基础。

3.3 存在的问题与改进方向

改革实践中也暴露出一些需要正视的问题。

其一,科研案例库的持续更新面临压力。科研前沿的推进速度很快,案例库中的部分内容在使用两到三年后就会显得滞后。建立案例库的动态更新机制,例如,每轮教学结束后收集学生的反馈意见,标记使用效果不佳的案例并进行替换——是维持案例教学生命力的必要条件。同时,也可以鼓励学生参与案例建设,将他们在科研训练中遇到的表征问题整理为新的教学案例。

其二,过程性评价的实施成本较高。案例讨论参与度、数据解析报告等评价环节需要教师投入大量时间进行反馈,在大班教学中尤为突出。可以探索“同伴互评+教师抽评”的混合方式,既减轻教师负担,也通过互评促进学生的批判性思维。

4 结语

材料研究方法课程的教学改革,核心挑战不在于“教什么”的知识选择,而在于如何让学生在掌握表征方法的同时,建立起面对未知材料问题时的方法论意识。这种意识的形成,无法单靠原理讲授或操作训练来完成,需要在真实的科研问题情境中反复实践、反思和迁移。本文提出的“科研反哺-能力进阶-价值引领”三维联动思路,试图在教师科研优势、学生认知规律和价值教育需求之间建立

连接,使课程教学从知识传递转向能力建构。

这一改革的可行性在很大程度上依托于郑州大学材料科学与工程学院本科生导师制和科研反哺教学的整体制度环境。在更广泛的推广中,如何将教师的科研资源转化为教学资源,如何在不同学科方向之间建立可共享的案例库,如何平衡能力培养的系统性与课时约束的现实性,仍然是需要持续探索的问题。随着人工智能辅助图谱解析、自动化表征平台等技术的发展,材料研究方法课程的内容和形式还将面临新的调整,但培养学生“用合适的方法回答材料问题”这一核心目标不会改变。教学改革的意义,正在于为这一目标的实现提供更有效的路径。

[参考文献]

- [1]杨忠美.工程材料课程教学改革与教学方法的探讨[J].科技视界,2022(1).
 - [2]武国华,张旭阳,张智嘉.“材料与化工现代研究方法”课程研讨式教学方法探讨[J].现代盐化工,2024(4):123-125.
 - [3]李建生,赵禹,陶锋,等.材料类专业大学生创新能力培养教学方法探讨——以“材料科学基础”课程为例[J].教育教学论坛,2023(12):133-136.
 - [4]王萌,韩鹏,李国华.材料科学与工程专业科研导论课程的内容设置及教学方法探索[J].科技视界,2021(18).
 - [5]李万喜,杜意思.产学研相结合的教学方法在材料课程教学中的应用探究[J].广州化工,2022,50(9):195-196.
- 作者简介:陈勇强(1991—),男,汉族,河南郑州人,博士,副教授,郑州大学材料科学与工程学院,研究方向为无机非金属。