

数智赋能与学科交叉：材料类专业人才培养范式创新研究

曹国钦 张士林 薛超 朱金阳 赵艺阁 胡俊华

郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001

[摘要]在研究生教育从规模发展迈向质量提升的背景下,材料类研究生培养正面临科研思维训练不足、数智工具应用能力弱与跨学科融合不足等现实问题。为适应材料学科数智化科研范式演进,郑州大学材料科学与工程学院围绕“科研问题提出—数智工具支撑—学术交流表达”构建了“数智融合研究生培养范式”,并在《材料热力学》、《新能源材料》课程中开展教学改革实践。结果表明,该范式在提升研究生科研问题意识、数据思维能力、学术写作规范性与跨团队协作能力等方面成效显著,可为材料类及相关理工科研究生培养体系改革提供参考。

[关键词]研究生教育;数智融合;科研能力培养;材料科学;教学改革;创新素养

DOI: 10.33142/fme.v7i9.20608

中图分类号: C961

文献标识码: A

Digital Intelligence Empowerment and Interdisciplinary Intersection: Innovative Research on the Paradigm of Talent Cultivation in Materials Science Majors

CAO Guoqin, ZHANG Shilin, XUE Chao, ZHU Jinyang, ZHAO Yige, HU Junhua

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

Abstract: Against the backdrop of the development of graduate education from scale to quality improvement, the cultivation of materials related graduate students is facing practical problems such as insufficient training in scientific research thinking, weak ability to apply digital tools, and insufficient interdisciplinary integration. In order to adapt to the evolution of the digitalization research paradigm in the field of materials science, the School of Materials Science and Engineering at Zhengzhou University has constructed the "Digital Intelligence Integration Graduate Training Paradigm" around "scientific research problem posing - digital intelligence tool support - academic exchange expression", and carried out teaching reform practices in the courses of "Materials Thermodynamics" and "New Energy Materials". The results indicate that this paradigm has achieved significant results in enhancing graduate students' awareness of scientific research problems, data thinking ability, academic writing standardization, and cross team collaboration ability. It can provide reference for the reform of the training system for materials and related science and engineering graduate students.

Keywords: graduate education; integration of data and intelligence; cultivation of scientific research ability; materials science; education reform; innovation literacy

引言

当前,材料科学研究正处于范式转型的关键时期。随着材料基因工程、人工智能辅助材料设计、微观结构可视化模拟、大数据挖掘等新兴研究方法的快速发展,传统依赖经验积累与实验试错的研究模式正在被“数据挖掘-智能建模-实验验证-优化迭代”的新范式所取代^[1]。这一变革不仅改变了材料科学的研究方式,更对研究生的能力结构提出了全新要求:除了必须具备扎实的实验操作技能和理论基础外,还需要掌握基于数据的科学建模能力、跨尺度结构解析能力、智能算法应用能力以及高水平的学术交流能力^[2]。

然而,通过对学院 2020—2024 级研究生新生开展的系统调研显示,当前研究生培养存在多个突出痛点:超过 75% 的学生在入学初期科研思维体系尚未建立,难以从复杂现象中提炼科学问题; 68% 的学生存在知识整合能力不足,无法有效衔接本科知识体系与研究生科研需求;特别是在数智工具应用方面,高达 82% 的学生表示对文献挖掘工具、数据可视化平台、结构解析软件等掌握不足;此外,近 70% 的学生存在学术表达信心欠缺,难以清晰呈现研究成果。这些问题的存在,充分说明传统的以知识传授为主的课程教学模式,已难以有效支撑研究生实现从“知识接受者”向“问题解决者”的角色转变。

为破解这一培养困境,学院以专业课程为改革试验田,系统构建并深入实施了“数智融合”培养范式。该范式以科研全过程训练为核心,以数字化智能工具为支撑,以协同探究式学习为路径,通过重构课程体系、创新教学方法、优化评价机制,着力构建契合材料科学发展趋势的研究生培养新体系^[3]。本文将从课程理念、教学内容、实施过程、成效评估等多个维度,全面阐述这一培养范式的探索与实践。

1 数智融合培养范式的理论基础与课程理念

1.1 科研全过程引导能力发展:构建完整的研究生科研思维体系

课程彻底突破传统知识点碎片化讲授的局限,创新性地将材料科学研究的完整生命周期为主线,系统构建“现象观察-问题提出-假设构建-方法设计-数据采集-分析建模-结论形成-成果表达-学术交流”九个环节的闭环训练体系^[4]。通过精心设计的科研案例和模拟项目,引导学生在真实科研情境中建立逻辑严密、环节完整的科研思维结构。具体而言,在问题提出阶段,通过“现象-问题-假设”三级递进训练,培养学生从材料性能异常、结构特殊等现象中发现科学问题的敏感性^[5];在方法设计阶段,强调多方法协同验证的思路,培养学生根据问题特性选择实验、模拟或数据挖掘方法的决策能力^[6];在分析建模阶段,注重数据与机理的结合,培养学生通过数据挖掘发现规律、通过理论分析阐释机制的综合能力^[7]。

1.2 数字技术作为科研能力训练载体,打造智能化科研支撑平台

在系统讲解文献检索与管理、数据可视化、实验表征图像解析及学术写作规范的基础上,重点引入四大类数智工具平台:一是文献知识图谱分析工具(如 VOSviewer、CiteSpace),帮助学生快速把握领域知识结构;二是数据建模与可视化平台(如 Origin、Python 数据科学栈),支撑学生开展多维数据分析;三是材料结构解析软件(如 Materials Studio、VESTA),助力学生理解材料构效关系;四是学术表达辅助工具(如 LaTeX、学术图表规范系统),提升学生成果展示的专业性。通过“工具演示-案例解析-实践操作-项目应用”四步训练法,实现从“工具操作技能”到“科研解决问题能力”的转化,构建以数据为支撑、以智能为特色的现代科研思维模式^[8]。

1.3 跨方向协作式研讨强化创新表达:构建多元化学术共同体

课程实施跨研究方向混合编组机制,将来自材料物理、材料化学、材料加工、材料基因工程和新能源材料等不同方向的研究生组成协同创新团队。每个团队围绕一个综合

性材料问题(如“高性能热电材料的设计与优化”)开展协作探究,通过多学科视角的碰撞与融合,激发创新思维。在研讨过程中,设置“观点提出-证据支撑-同行质疑-迭代完善”的完整辩论流程,培养学生基于证据的学术讨论习惯^[9]。同时,通过模拟国际会议、学术海报展示、小组答辩等多种形式,创设真实的学术交流场景,全面提升学生的学术表达能力和跨学科学术对话能力。

2 教学内容与实施过程的系统设计

2.1 科学问题提出与假设建构:从现象到本质的思维训练

本环节选取具有代表性的前沿科研案例,如“高熵合金的相稳定性与强韧化机制”、“钙钛矿光伏材料的环境稳定性提升策略”、“固态电解质界面优化设计”等,引导学生从实验异常现象、文献报道矛盾、理论预测与实验差异等角度发现问题。通过“现象描述-问题提炼-假设构建”三级训练体系,培养学生提出具有创新性和可研性科学问题的能力^[10]。具体实施中,采用“个体思考-小组讨论-全班分享”的渐进式教学组织方式^[11],每个学生需要完成从现象观察到假设提出的完整思维过程,并在小组讨论中接受同伴质疑,通过多轮迭代不断完善科学问题表述和研究假设建构。

2.2 文献调研与研究前沿认知:构建领域知识图谱

在教师指导下,学生围绕研究假设,系统开展文献调研训练。训练内容包括:基于 Web of Science、Engineering Village 等数据库的高级检索策略制定;利用 VOSviewer、CiteSpace 等工具构建领域知识图谱;通过文献计量分析识别研究热点和前沿趋势;撰写系统性的文献综述报告。特别注重培养学生批判性阅读能力,要求学生在文献调研中不仅要了解“前人做了什么”,更要思考“还有什么问题没有解决”“哪些方法可以改进”^[12]。通过这一环节的训练,学生能够快速融入研究领域,把握学科发展脉络,为创新性研究奠定基础。

2.3 数据处理与分析能力训练:从数据到知识的转化

依托真实的科研数据资源,包括 XRD 衍射数据、SEM/TEM 显微结构图像、热分析曲线、电化学性能数据等,课程设置系统的数据处理与分析训练模块。训练重点包括:实验数据的规范化处理与质量控制^[13];多源数据的关联分析与可视化呈现^[14];基于物理机理的数据建模与参数提取^[15];统计分析方法在材料研究中的应用^[16]。通过“数据读取-预处理-探索性分析-模型建立-结果解释”的完整流程训练,推动学生实现从简单的“数据处理”到深度的“数据挖掘”的能力提升,建立“数据-结构-性能-

工艺”之间的内在关联认知。

2.4 进阶式学术交流与科研写作培养

学术沟通能力是将研究成果转化为学术影响力的关键桥梁。为系统提升这一能力，课程采用“渐进式训练与多维度发展”的策略。

学术写作训练分为三个渐进层次：段落逻辑构建、章节组织以及整篇论文结构设计。学生通过分析优秀论文的拆解，撰写练习、同伴评审以及教师针对性反馈，逐步完善自己的写作技能。在口头表达方面，课程设置模拟国际会议模块，完整再现学术交流全过程——包括论文投稿、同行评审、反复修改、会议报告和正式答辩，使学习者能够在真实实践中掌握口头表达技巧。课程还强调学术伦理与职业规范，通过分析现实案例，巩固研究诚信的基础。

3 教学效果的评估与分析

为系统地衡量数字智能融合培训模式对研究生核心能力发展的实际影响，本研究采用混合方法评价框架，整合了定量的课前与课后对比评估、分级项目表现评分以及毕业生的纵向跟踪调查。与传统的以技能为中心的评价不同，该体系融入了课程教师、实验室导师和同行评审者的多主体视角，对当代材料科学研究所需的关键四大能力领域中的学习成果进行基于证据的多维度分析。

3.1 在问题建模中系统化科学思维的发展

评价不仅关注学生提出的问题数量，更注重其构建的科学问题的严谨性、新颖性和可行性，以及从现象观察到假设提出过程中思维过程的逻辑完整性。基线测试显示，在入学初期，大多数学生仍停留在描述表面现象的水平，仅有 28% 的学生能够从复杂的实验观察和相互矛盾的文献发现中提炼出具有针对性、以机制为导向的研究问题。完成全周期研究思维训练后，这一比例上升至 86%。与此同时，能够提出清晰可检验且可证伪的研究假设的学生比例从 32% 提高到 89%，82% 的学习者能够明确阐述其研究提出的理论贡献或工程应用价值——而这一比例在开始时仅为 25%。这些变化表明，学生已逐步超越零散的经验直觉，开始内化支撑科学研究的系统性逻辑框架。

3.2 建立的信息素养与加速领域适应能力

这套课后评估体系并未停留在学生对文献工具熟不熟这个操作层面，更看重的是他们能不能借助这些工具摸准研究前沿的脉搏、找到可以切入的创新方向。课程收尾阶段跟踪到的数据显示，95% 的学生已经能独立在核心学术数据库里搭建出针对性很强的高级检索方案，另外将近 90% 的学生则能借助知识映射工具，把一个研究领域的知识图谱和演进轨迹直观地呈现出来。他们不是把前人成果

挨个罗列一遍，而是能从中挑出那些至今没被啃下来的研究空白，以及现有方法论上还存在的局限。从实验室带导师反馈回来的情况看，这些变化落到实处之后，新入学研究生的平均适应周期比之前缩短了差不多三分之一，上手前沿研究项目的时间点也比往几届提前了不少。

3.3 用数据说话的研究思维初步形成

这套评估没有把数据素养当成一个笼统的指标，而是拆成了基础数据处理和更高阶的数据驱动推理两层来分别衡量。基础这一层，培训结束后能上手用专业软件做标准化数据处理、并拿出出版级可视化图的学生，从原来的 20% 涨到了 85%。真正拉开差距的是高阶思维——开课之初只有 18% 的学生能做到，现在已经有 79% 的学生能从多源实验数据集里把藏着的物理机制挖出来，再给出站得住脚的机制性解释。另外还有 72% 的学习者搭出了定量预测模型，把微观结构参数或加工条件和宏观材料性能挂上了钩，这一步跨出去，意味着他们做数据分析的路子已经从“描述现象”转到了“预测+找机制”的数据驱动研究上。

3.4 学术写作与口头表达能力提升

这一轮评估把学生的书面和口头学术沟通能力都纳了进来，顺带也看了看他们在学术场合里站不站得稳、伦理意识跟不跟得上。先看学术写作这块，能按学科严格规范来组织论文的学生从 25% 涨到了 88%。口头报告那边变化更猛，一开始只有 30% 的人能撑住场面，现在 91% 的参与者已经能做一场结构清楚、逻辑顺下来的研究演讲。学术对话这块的进步也不能忽略，开课之前 28% 的学生能对批判性问题给出有建设性的回应、并用扎实证据撑住自己立场，课程收尾时这个数字达到了 84%。从这些结果来看学生们的学术写作和口头表达能力得到明显提升。

4 存在的问题与改进思路

尽管课程改革已取得显著成效，但在实际实施过程中仍暴露出若干结构性和操作性不足，制约了培训模式的进一步优化与推广。基于对学生反馈、教师教学反思以及纵向学习成果数据的系统分析，本文提出以下三个关键改进方向，并配套相应的可操作策略。

4.1 建立分级培训体系以满足多样化学习需求

一个突出问题是统一课程设计与材料科学各子学科及学生群体之间高度差异化的实际需求之间存在脱节。来自计算、实验和表征背景的学生对数字与智能工具的需求差异显著；而不同本科基础水平的学生在学习进度上也存在较大差距。为解决这一问题，将构建一个三级递进式培训框架。基础阶段是所有学生必修的课程，重点培养通用

核心技能,如文献管理、基本的数据可视化以及学术写作规范。中级阶段提供三个专业方向,分别对应计算材料科学、实验材料工程和结构表征,注重工具训练和领域特定的研究案例。高级阶段则开设前沿主题工作坊,涵盖材料发现中的机器学习、多尺度计算建模以及先进表征数据分析等课题,以支持学生个性化发展和专项研究需求。

4.2 推动课程-研究-论文一体化,实现人才无缝培养

目前,课程项目与教师研究课题之间存在明显脱节,导致学生难以将课堂所学技能直接应用于实际科研实践,也限制了培训成果转化为实质性学术产出。为弥补这一差距,将建立一个整合课程项目、导师资助的研究项目和研究生论文的完整培养体系。接下来要落子的事有三件。头一件是弄一个小型种子资助计划,专门挑那些和导师研究方向对得上、又有潜力的课程项目来支持,让学生上完课之后能顺着路子真正接进正式研究里去。再一件是把联合指导机制搭起来,让项目负责人也进到课程任务的指导和成果评估环节里,这样课程做出来的东西才不是空中楼阁,而是对着真实研究问题在啃。最后要动的是评价体系,课程项目如果真做出了可衡量的东西,如同行评审论文、专利申请、会议报告等。

4.3 建立课前课后衔接的持续学习机制

传统课堂教学受制于固定的时间与空间,课程一旦结束,学生技能的提升往往也就随之中断。针对这一问题,拟搭建一套贯通课前、课中、课后的一体化全周期学习生态系统。课前环节先行投放经过遴选的数字学习资源与微讲座,帮助学生在进入课堂前完成基础概念的铺垫,使课堂时间得以释放,转向互动探究与动手实践。课堂环节则采用理论讲授、案例式问题解决与实际操作相融合的混合教学模式,推动核心能力在做中学的过程中逐步养成。课后环节另设专门的“数字智能研究工作坊”,并配套跨实验室学术沙龙与集中化的数字资源图书馆,为学生在课程之外继续打磨高阶技能提供稳定的支撑平台。校友跟踪与反馈机制也将同步建立,把毕业生在后续科研与工作中的实际反馈回收上来,用以驱动课程内容与教学方法的持续迭代。

5 结论

这套以全过程研究训练为主线、依托数字智能技术、通过协作探索式学习落地的数字智能融合培养模式,在实际运行中明显带动了材料科学研究生在科学问题建模、数据驱动的研究推理与专业学术沟通三方面核心能力的提升,与材料科学研究自身正在经历的数字化、智能化转型方向一致,也为学科范式转变背景下的人才培养难题提供

了一套针对性较强的应对思路;后续体系仍需继续打磨,逐项补上已暴露的短板,进一步拉紧课堂教学与前沿研究之间的衔接,让学习生态更加开放、更具延续性,这次实践积累下来的经验与判断,既对材料科学把研究生教育做深做实有直接帮助,也可供其他工程学科参考借鉴,对推动人才培养体系向数字化、智能化方向转型、深化中国研究生教育改革、培养能够回应新一轮科技革命的高水平创新人才,都具有切实的理论意义与实践价值。

资助项目:2025 年度郑州大学研究生教育研究项目:YJSJY2025118,双循环驱动下材料学科研究生国际化的数智融合培养新范式构建。

2025 年度河南省高等教育教学改革研究与实践项目(研究生教育类):2025SJGLX138Y,数智融合驱动材料学科研究生国际化培养:路径探索与范式创新。

郑州大学 2025 年度教育教学改革研究与实践项目:2026ZZUJGXM131, AI 冲击下材料类人才培养赋能与风控协同改革。

郑州大学 2025 年度教育教学改革研究与实践项目:2025ZZUJGXM065,“双碳”目标下新能源材料与器件跨学科复合型创新人才培养路径探索。

[参考文献]

- [1]刘姣姣,刘蕾,朱麟,等.工科专业工程材料课程实验教学新模式探讨[J].实验室科学,2025,28(5):218-222.
- [2]李亦菲,陈雪鑫,刘思含,等.基于智能融合大数据和深度学习算法的化学分析平台在本科实验教学中的设计与应用[J].大学化学,2026(1):1-10.
- [3]白双,王源.“深度学习算法与实现”课程案例教学设计研究[J].工业和信息化教育,2025(9):66-71.
- [4]逯瑶,赵德刚,徐明升.“三位一体”教学模式探索与实践——以半导体材料课程为例[J].高教学刊,2025(11):124-127.
- [5]宗鹏安,冯晓东,熊震.材料科学与工程专业基础课材料物理教学改革研究[J].高教学刊,2024,10(24):152-155.
- [6]袁昌来,刘笑,薛小刚,等.大学生创新项目实施效果及其存在问题和解决思路探索——以桂林电子科技大学材料科学与工程学院为例[J].科技视界,2019(34):104-107.
- [7]袁汝霖,刘邦春,李雅坤,于东海.研究生视角下的综合能力素质模型构建——基于扎根理论的分析[J].网络安全与数据治理,2025,44(1):397-402.
- [8]张献光,王福明,张家泉,罗海文.科研前沿引入,批判性思维教学方法改革——以“金属材料及热处理——全英文”课程为例[J].科技视界,2024,14(26):1-3.

- [9]李卓航,张子茜.“双一流”建设高校培养大学生全球胜任力的现实样态及路径优化——基于上海市的实证调研[J].高校辅导员学刊,2025,17(6):26-93.
- [10]张云茹,刘秀娟.培养学生提出问题能力的教学策略探究[J].成功,2025(28):59-61.
- [11]梁海彤,李黎,罗斌.智能制造技术背景下“木工机械”课程教学改革思考与实践——以北京林业大学为例[J].中国林业教育,2025,43(5):42-47.
- [12]黄扬杰,徐颖,翁灵丽.高校创新资源如何驱动大学生批判性思维发展——基于学习方式的中介分析[J].华东师范大学学报(教育科学版),2025,43(7):43-58.
- [13]袁静.研究生课程《科研实验数据处理方法》教学改革探索与实践[J].产业与科技论坛,2024,23(23):194-197.
- [14]定巍,董瑞.材料成型及控制工程专业开展人工智能与大数据教学的思考与实践[J].科技风,2024(17):109-111.
- [15]董雷刚,崔晓微.基于机器学习的大学生学习行为分析研究[J].信息与电脑,2025,37(7):196-198.
- [16]郭博,铁鸣,范文慧.复合材料结构振动仿真及其多元统计分析方法[J].系统仿真学报,2025,37(3):571-583.
- 作者简介:曹国钦(1989—),男,汉族,河南濮阳人,博士,副教授,毕业于郑州大学材料科学与工程专业,主要从事极端环境保护、新能源电池及氧化物功能薄膜方向研究。