

研教融合导向下《胶凝材料学》项目式教学改革的实践探索

伊海赫^{1,*}

1. 山东理工大学, 建筑工程与空间信息学院, 山东 淄博, 255000

摘要: 针对《胶凝材料学》传统教学中“理论与科研前沿脱节、实验与工程需求割裂、评价与能力培养错位”的突出问题,本研究以“研教融合”为核心导向,系统构建“项目驱动 - 双师指导 - 多维评价”的项目式教学模式。改革中,重构以“微结构调控”为核心的模块化教学内容,涵盖硅酸盐水泥水化机理、矿物掺合料改性等五大单元;创新“科研衍生 + 企业需求 + 学生创新”三维度选题机制,实现教学与科研、理论与实践的深度衔接;搭建“高校-企业 - 科研院所”协同育人平台,强化双师指导与多维评价保障。实践表明,该模式可显著提升学生对胶凝材料核心机理的认知深度、实验操作与问题解决能力,同时促进教师教学科研协同发展及校企育人机制完善,为材料类专业核心课程教学改革提供了可复制、可推广的实践经验。

关键词: 研教融合; 项目式教学; 协同育人; 胶凝材料学

Practical Exploration of Project-Based Teaching Reform in Cementitious Materials Science Under the Guidance of Integration of Research and Teaching

Haihe Yi^{1,*}

1. School of Civil Engineering and Geomatics, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China

Abstract: Aiming at the prominent issues in the traditional teaching of Cementitious Materials Science, namely "disconnection between theory and cutting-edge scientific research, separation between experiments and engineering demands, and misalignment between evaluation and competence cultivation", this study takes "integration of research and teaching" as the core orientation and systematically constructs a project-based teaching model featuring "project-driven, dual-tutor guidance, and multi-dimensional evaluation". During the reform, the modular teaching content centered on "microstructure regulation" is reconstructed, covering five units including the hydration mechanism of Portland cement and modification of mineral admixtures. A three-dimensional topic selection mechanism of "research-derived, enterprise-demand-oriented, and student-innovative" is innovated to achieve in-depth integration of teaching and research, theory and practice. Additionally, a collaborative education platform involving "universities, enterprises, and research institutes" is established to strengthen the support of dual-tutor guidance and multi-dimensional evaluation. Practice shows that this model can significantly improve students' cognitive depth of the core mechanisms of cementitious materials, as well as their experimental operation and problem-solving abilities. Meanwhile, it promotes the coordinated development of teachers' teaching and research capabilities and optimizes the university-enterprise collaborative education mechanism, providing replicable and promotable practical experience for the teaching reform of core courses in materials-related majors.

Keywords: Integration of Research and Teaching; Project-Based Learning; Collaborative Education; Cementitious Materials Science

《胶凝材料学》作为材料科学与工程、土木工程专业的核心基础课,其教学质量直接影响学生对建筑材料“组成-结构-性能-应用”逻辑链的认知深度。据中国建筑材料联合会2024年行业报告显示,我国胶凝材料产业年产值突破3万亿元,但行业调研发现,近60%的企业反映应届毕业生存在“机理认知碎片化、性能调控经验缺失、工程问题解决能力不足”等问题^[1]。这一矛盾的根源在于传统教学模式存在三大痛点:

(1) 理论教学与科研前沿脱节。课程内容仍以传统硅酸盐水泥工艺为主,对低碳胶凝材料、碱激发胶凝材料等前沿方向涉及不足,学生对“双碳”目标下水泥基材料的矿物相设计、水化机理调控等新知识掌握薄弱。教学方法上以“教材章节+PPT讲授”为主,如讲解C-S-H凝胶结构时仅停留于宏观描述,未能结合XRD、SEM等表征技术揭示其纳米尺度结构与强度的关联机制。

(2) 实验教学与工程需求割裂。实验内容多为验证性操作,如水泥标准稠度、凝结时间测定等,学生只需按步骤完成操作记录数据,缺乏对实验现象的机理分析和数据的深度解读能力。某高校调研显示,传统实验教学中,仅13%的学生能独立完成SEM样品制备与微观形貌分析,8%的学生能通过XRD数据判断水化产物演变规律。

(3) 评价体系与能力培养错位。课程考核以期末考试为主(占比70%以上),侧重考查理论知识记忆,难以评价学生的实践能力、创新思维和团队协作能力。这种“重结果轻过程”的评价模式,导致学生陷入“考前突击背诵、考后知识遗忘”的怪圈,无法形成可持续的学习能力。

随着我国“双碳”目标的推进及建筑行业向高性能化、绿色化、智能化转型升级,胶凝材料领域涌现出诸多新技术、新需求:一方面,低碳胶凝材料(如低碳水泥、碱激发胶凝材料)的研发要求人才掌握矿物相设计与水化机理调控知识;另一方面,智能混凝土(自修复、自感知)的应用需要人才具备材料性能与工程场景的匹配能力。传统教学模式培养的学生往往存在“理论与实践脱节、机理与应用割裂”的短板,难以满足行业高质量发展需求。在此背景下,探索“以研促教,知行合一”的项目式教学模式,将科研思维、工程问题与课程教学深度融合,成为《胶凝材料学》课程改革的必然趋势^[2]。针对上述问题,本研究以“研教融合”为核心导向,构建“项目驱动-双师指导-多维评价”的《胶凝材料学》项目式教学模式。该模式的改革逻辑在于:以科研项目为载体整合教学内容,将教师的科研成果转化为可操作的教学项目,实现“理论知识点-科研方法-工程应用”的有机衔接;以双师指导为支撑优化教学过程,校内导师侧重科研思维培养,企业导师侧重工程实践指导,形成“科研+工程”的双重能力培养路径;以多维评价为保障提升教学效果,建立过程性与终结性相结合的评价体系,全面覆盖知识掌握、能力提升和素养养成^[3]。

与现有教学模式相比,本改革的创新点体现在三方面:一是教学内容的重构,突破“章节式”知识体系,建立以“微结构调控”为核心的模块化内容框架,如将“硅酸盐水泥水化”拆分为“矿物相水化动力学-C-S-H凝胶结构演化-水泥石性能调控”三阶内容;二是教学方法的创新,首创“科研衍生项目+企业真实项目+学生创新项目”的选题机制,兼顾理论深度与实践价值;三是育人机制的协同,构建“高校-企业-科研院所”三方协同育人平台,实现教学资源、科研资源与产业资源的深度融合^[4]。

对学生而言,通过参与真实科研项目或工程问题研究,能够深化对硅酸盐物理化学、材料微结

构与性能关系等核心理论的理解,提升实验设计、数据分析、问题解决等实践能力,为后续实习、毕业设计及职业发展奠定坚实基础;对教师而言,教学与科研的深度融合能够促进科研成果的教学转化,丰富教学内容与手段,同时通过指导学生项目发现新的研究切入点,实现“教学相长”;对课程而言,能够推动《胶凝材料学》从“知识传授型”课程向“能力培养型”课程转型,提升课程的高阶性、创新性与挑战度;对行业而言,能够为建筑材料领域输送更多“懂机理、会实践、能创新”的高素质应用型人才,助力行业绿色低碳转型与技术升级^[5]。

1 目标与内容

1.1 目标

本研究以“培养适应行业发展需求的胶凝材料领域创新型应用人才”为核心目标,依托材料科学与工程专业国家级一流本科专业建设点资源,构建并实践基于“以研促教,知行合一”的《胶凝材料学》项目式教学模式,具体目标细化为四个维度:知识维度:实现“基础理论-科研前沿-工程应用”的知识整合,使学生掌握胶凝材料的组成、结构、性能及调控机理,熟悉行业最新技术动态与发展趋势;能力维度:培养学生的科研思维能力(文献检索与分析、实验方案设计)、实践操作能力(常规性能测试、微观表征技术)、创新应用能力(材料改性及性能优化)及团队协作能力;素养维度:树立学生的工程伦理意识、绿色低碳理念及精益求精的工匠精神;教师发展维度:促进教师将科研成果转化为教学资源,提升项目设计与指导能力,打造一支“教学能力强、科研水平高”的双师型教师队伍^[6]。

为实现上述目标,研究团队通过走访多家企业及科研院所,开展人才需求调研,收集到“需强化微结构表征与性能分析能力”“需增加低碳胶凝材料相关内容”“需提升工程问题解决能力”等关键需求;同时,对标《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》及材料科学与工程专业认证要求,明确了项目式教学模式的构建原则:一是科学性原则,项目设计需符合课程教学规律与学生认知特点,确保理论深度与实践难度相匹配;二是关联性原则,项目内容需紧密衔接课程知识点,实现“一题多知、一题多能”的培养效果;三是探究性原则,项目任务需设置开放性问题的,引导学生自主探究未知领域;四是实践性原则,项目选题需贴近企业实际需求或教师科研项目,增强学生的工程应用意识。

1.2 内容

教学内容模块化设计:围绕“微结构调控”核心目标,将课程内容整合为五大模块化教学单元,各模块设置“核心知识点-配套项目-能力目标-评价要点”四维要素,具体设计如表1所示。

项目选题与设计:建立“三维度选题库”,确保项目兼具理论深度、实践价值与探究空间。选题来源分为三类:科研衍生型:从教师主持的国家级、省部级科研项目中提炼子课题,如从本人的国家自然科学基金项目“微生物矿化提升钢渣细集料安定性的生物化学机理和技术基础”;从山东自然科学基金“提升钢渣辅助性胶凝材料安定性和活性的微生物固碳技术”。此类项目具有较强的理论探究性,能够引导学生接触科研前沿。

企业需求型:与合作企业共建“项目需求池”,将企业实际工程问题转化为教学项目,如“交通工程用早强抗裂混凝土开发”、“大体积混凝土水化热调控与抗裂性能研究”、“低成本高性能砌筑砂浆生产”、“脱硫石膏-多元固废-水泥复合砌筑砂浆的配合比优化”等项目。此类项目具有

鲜明的工程导向性，有助于提升学生的行业适配能力^[7]。

表 1 模块设置
Table 1 Module Setting

模块序号	模块名称	核心知识点	配套项目	能力目标	评价要点
1	硅酸盐水泥水化机理	熟料矿物组成与水化反应式；C-S-H 凝胶结构模型；水化热动力学	硅酸盐水泥水化过程中 C-S-H 凝胶结构演变规律研究	掌握 XRD、TG-DSC 表征技术；理解水化产物与强度的关联	XRD 图谱解析准确性；水化动力学曲线绘制合理性
2	矿物掺合料改性技术	粉煤灰火山灰反应机理；矿渣粉活性激发方式；复合掺合料协同效应	高掺量粉煤灰-石灰石粉复合改性水泥的制备与性能优化	掌握 SEM、BET 测试方法；学会掺合料配比优化	SEM 微观形貌分析深度；抗压强度提升幅度
3	混凝土外加剂应用	聚羧酸减水剂分子结构与作用机理；外加剂与水泥相容性评价	聚羧酸系减水剂对水泥水化速率及流变性能的调控研究	掌握流变仪、水化热测定仪使用；分析外加剂调控机制	水化热曲线分析逻辑性；流变参数测试准确性
4	新型胶凝材料制备	碱激发胶凝材料水化机理；硫铝酸盐水泥性能特点	钢渣-矿渣碱激发胶凝材料的强度调控与微观结构研究	了解新型胶凝材料研发流程；掌握耐久性测试方法	配方设计创新性；耐久性评价全面性
5	工程应用与质量控制	灌浆料配合比设计原则；施工工艺对性能的影响	预制构件用高性能灌浆料的配合比设计与工程适用性评价	具备工程材料设计能力；掌握现场质量检测方法	配合比设计合理性；工程适用性分析深度

学生创新型：鼓励学生结合兴趣及学科竞赛自主提出项目选题，如“自修复水泥基材料的微生物改性研究”等，教师对选题的可行性进行论证指导，支持学生开展创新性探究。项目设计采用“任务驱动+问题链引导”的方式，以“粉煤灰-石灰石粉-硅酸盐水泥的制备与性能优化”项目为例，设置三级任务：基础任务（测定不同辅助胶凝材料掺量下水泥的标准稠度、凝结时间、抗压强度）、进阶任务（分析水化产物物相组成与孔隙结构变化）、创新任务（优化复合掺合料配比并验证其耐久性）；同时设计问题链：“粉煤灰与石灰石粉的协同作用机理是什么？”“复合掺合料掺量过高导致强度下降的原因有哪些？”“如何通过预处理工艺提升掺合料活性？”，引导学生逐步深入探究。

教学方法与手段创新：构建“四位一体”教学方法体系，提升教学效果。一是项目驱动式教学：以项目任务为核心组织教学活动，将课程知识点分解到项目实施的各个环节，如在“聚羧酸系减水剂对水泥水化过程的影响研究”项目中，将“减水剂作用机理”“水化热测定”“流变性能测试”等知识点融入实验方案设计、数据采集与分析环节，使学生在完成项目的过程中主动建构知识体系。

二是双导师指导制：为每个项目小组配备“校内学术导师+企业技术导师”，校内导师负责理论指导与实验方案审核，企业导师负责工程应用指导与实践场景解读。例如，在“预制构件用高性能灌浆料”项目中，校内导师指导学生进行配合比设计与强度测试，企业导师则通过线上线下结合的方式讲解灌浆料的施工工艺、现场质量控制要点及工程验收标准，帮助学生实现“实验室研究”与

“工程应用”的衔接。

三是虚实结合教学：利用虚拟仿真技术突破实验条件限制，开发“胶凝材料水化过程虚拟仿真实验”“混凝土耐久性虚拟测试平台”等资源，学生通过虚拟实验直观观察水泥水化从诱导期到加速期的微观变化过程，模拟不同环境下混凝土的抗冻、抗渗性能测试，加深对抽象理论的理解。同时，依托国家级实验教学示范中心，开展线下实体实验，实现“虚拟仿真探机理、实体实验练技能”的互补效果。

四是学术研讨式教学：定期组织“胶凝材料创新论坛”，邀请科研团队成员、企业技术专家开展专题讲座，如“C-S-H 凝胶的纳米结构研究进展”“低碳水泥的研发趋势”等；各项目小组进行阶段性成果汇报，师生共同讨论实验中遇到的问题，培养学生的学术交流能力与批判性思维。此外，利用学习通、雨课堂等线上教学平台，发布文献资料、实验视频、讨论话题等，实现线上线下无缝衔接的混合式教学。

评价体系构建：建立“过程-成果-能力”三位一体的综合评价体系，具体评价指标及权重分配如图1所示。过程性评价占比60%，涵盖项目方案设计（12%）、文献综述（12%）、实验操作（12%）、中期汇报（12%）、小组协作（12%）五个维度；终结性评价占比40%，包括项目成果报告（20%）和答辩表现（20%）。

评价实施要点：①过程性评价采用“导师评分+小组互评”方式，如实验操作评价中，导师根据仪器使用规范性、数据记录完整性打分（占80%），小组间根据实验协作表现互评（占20%）；②终结性评价引入企业导师评审，项目成果报告需经企业导师审核其工程应用价值，答辩环节邀请企业技术专家提问点评；③增值性评价通过“课前-课后”能力测试对比，如课前测试学生对“微结构-性能关系”的理解程度，课后测试其运用表征技术分析性能问题的能力，评估教学改革的实际成效。

2 实践过程与实施步骤

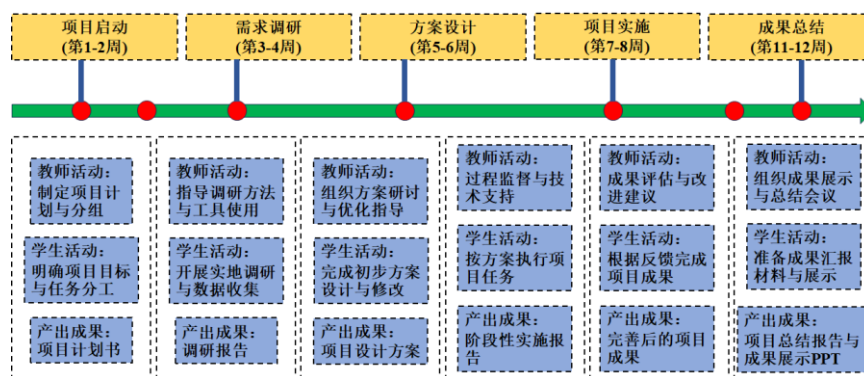


图1 项目式教学模式实践实施步骤

Fig. 1 Implementation Steps of Project-Based Teaching Model

以“低钙粉煤灰改性水泥的制备与性能研究”项目为例，阐述项目式教学模式的实践过程，具体实施步骤如下：项目启动阶段（第1-2周）：采用“问题导向+任务分解”模式。教师以企业实际问题“如何通过矿物掺合料改性降低水泥用量同时保证强度”为切入点，引出项目研究意义。实验准备阶段（第3-4周）：开展“技术培训+预实验验证”。针对XRD、SEM等表征技术，邀请实验室工程师开展专题培训，培训后通过“操作考核+理论测试”双维度验收，考核通过率达100%方可进

入实验阶段。实验实施阶段（第5-10周）：实行“周进展汇报+动态指导”制度，针对“粉煤灰掺量增加导致早期强度下降”的问题，引导学生通过XRD分析发现 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 峰值降低，结合火山灰反应滞后性理论，提出“蒸汽养护+机械活化”复合方案，使3d抗压强度提升22%。成果总结与汇报阶段（第11-12周）：组织“多维度评审+成果转化对接”。项目报告需包含“问题提出-文献综述-实验设计-结果分析-工程建议”五部分，字数不少于5000字。

3 实践成效与反思

学生学习与能力培养成效显著：理论层面，期末考核成绩及对核心机理的理解深度优于对照班，多数学生能结合微观表征技术分析材料性能问题；实践层面，实验操作规范性、数据解读能力及问题解决效率显著提高，在技能考核中表现突出。后续学习与职业发展中，学生参与专业相关毕业设计的积极性更高，进入行业企业实习时展现出更强的岗位适应力与实践创新意识。

学生综合素质得到系统性提升：通过项目实践，学生科研素养明显增强，能独立完成文献分析与实验方案设计，形成逻辑完整的研究报告；团队协作能力显著改善，多数学生掌握了有效的沟通分工方法，能通过协作解决项目实施中的问题；创新思维得到激发，在材料改性、工艺优化等方面提出具有可行性的改进思路，部分跨学科融合的思考体现了较强的创新潜力。

教师教学科研实现协同发展：教师通过教改实践，教学能力得到提升，形成了模块化教学资源与特色教学方法，开发的教学素材在教学中效果良好；科研与教学的融合促使教师凝练新的研究方向，教学过程中的问题反馈为科研提供了新思路；双师型教师队伍建设取得进展，校企师资协作模式进一步完善，教师的工程实践指导能力得到增强。

较传统教学大幅增加部分部分教改实践中发现的主要问题及归因分析：1. 教师精力分配矛盾突出：项目式教学需教师投入大量时间进行个性化指导，参与教师平均每周教学工作量达18.5小时，较传统教学增加12小时。归因于现有教学评价体系未充分体现教改工作的劳动价值，教师缺乏足够的时间激励。2. 学生分组协作效率不均：35%的小组存在“任务分配不均”问题，基础薄弱学生参与度仅为60%。归因于分组前未进行系统的能力测评，分组后缺乏动态的任务调整机制。3. 实验资源配置存在瓶颈：XRD、SEM等大型仪器平均等待时间达3天，影响实验进度；新型原材料采购周期长，限制了创新性项目开展。归因于学校实验教学经费投入不足，与企业资源共享机制不健全。4. 成果转化链条不够完善：85%的学生项目成果停留在课程报告层面，仅5%实现工程试点应用。归因于缺乏成果转化的中试平台和专项经费支持。

针对上述问题，结合实践经验与行业需求，提出以下改进策略：一是构建“教学-科研”协同支撑机制：学校层面设立“项目式教学专项基金”，支持教师开展教学改革研究；建立“教学科研积分互认制度”，将教师参与项目式教学的工作量折算为科研积分，纳入年度考核指标；组建教学团队，实行“分工协作、优势互补”的工作模式，如由教学经验丰富的教师负责项目设计与评价，科研能力强的教师负责学生科研指导，减轻单个教师的工作负荷。二是实施“分层分组+动态指导”教学策略：在分组阶段，根据学生的知识基础、实践能力进行综合评估，采用“异质分组”方式，确保每个小组内既有能力较强的学生，也有基础薄弱的学生；根据学生能力差异分配任务，如让基础好的学生负责实验方案设计与数据分析，基础薄弱的学生负责实验操作与数据记录，并鼓励学生在项目实施过程中轮岗，全面提升能力；教师针对不同小组的特点进行动态指导，对进度滞后、问题较多的小组增加指导频次，提供更具体的帮助。三是加强“校内+校外”实验资源整合：学校加大实

验教学投入,购置一批先进的仪器设备,如增加XRD、SEM的数量,采购新型原材料;与企业共建共享实验平台,利用企业的生产设备与研发资源开展教学实验,如组织学生到企业实验室进行大型实验或中试试验;推行“虚拟实验+实体实验”相结合的模式,利用虚拟仿真技术弥补实体实验资源的不足,提高实验教学效率。四是建立“成果转化+反馈改进”长效机制:与企业、科研院所建立项目成果转化对接平台,定期举办“学生项目成果推介会”,为优秀项目提供中试、孵化的机会;设立“学生创新成果孵化基金”,支持学生将课程项目进一步深化研究,推动成果转化;建立常态化的教学反馈机制,通过学生问卷调查、教师教学反思、企业导师评价等方式收集意见建议,每学期召开教学模式改进研讨会,及时调整优化教学内容、方法与评价体系。

4 结论

本研究构建的“研教融合”项目式教学模式,通过“模块化内容重构、双师型指导强化、多维度评价保障”,有效解决了《胶凝材料学》传统教学中“理论与实践脱节、科研与教学分离”的核心问题。实践表明,该模式不仅能显著提升学生的理论认知深度和实操能力,还能促进教师教学科研协同发展,深化校企合作育人机制,为材料类专业核心课程教改提供了可复制、可推广的经验。

展望未来,随着建筑材料行业向绿色低碳、智能高效方向持续发展,《胶凝材料学》课程教学模式还需不断创新与完善。下一步,研究团队将重点开展以下工作:一是深化与企业的合作,共建“产业学院”,将企业生产一线的真实项目全面融入课程教学,实现“产学研用”深度融合;二是引入人工智能、大数据等新兴技术,开发“胶凝材料性能预测与优化”智能教学系统,提升教学的智能化水平;三是拓展项目式教学的覆盖面,将其推广应用到《土木工程材料》《新型建筑材料》等相关课程,形成课程群协同育人效应。

《胶凝材料学》项目式教学模式的研究与实践是一项长期而艰巨的任务,需要教师、学生、学校与企业的共同努力。未来将继续秉持“以学生为中心、以能力为导向”的教育理念,不断探索创新,力争将该模式打造为国家级一流本科课程教学模式的典范,为培养更多高素质的胶凝材料领域创新型应用人才做出更大贡献。

参考文献

- [1] 唐明,刘数华,李北星.基于微观表征的《胶凝材料学》课程教学改革探索[J].高等建筑教育,2020,29(3):101-106.
- [2] 林宗寿,李早元,杨长辉.工程教育专业认证背景下《胶凝材料学》课程评价体系构建[J].大学教育,2021(5):10-13.
- [3] 程新,刘凯,张洪滔.低碳胶凝材料发展现状及教学改革思考[J].硅酸盐通报,2022,41(8):2678-2685.
- [4] 马保国,谭洪波,蹇守卫.项目式教学在《胶凝材料学》中的应用与实践[J].建材世界,2018,39(4):110-113.
- [5] 吴笑梅,赵青林,张国防.材料科学基础课程模块化教学改革与实践[J].中国大学教学,2020(7):65-69.
- [6] 杨静,张吉秀,李相国.基于能力导向的《胶凝材料学》模块化教学体系构建[J].教育教学论坛,2022(12):129-132.
- [7] 陈德玉,蒋俊.《胶凝材料学》课程教学中加强学生创新教育的研究与实践[J].中国校外教育,2012(6):142-142.
- [8] 岳雪涛,张丰庆.浅谈《胶凝材料学》课程在建材专业学生培养中的重要作用[J].教育教学论坛,2013(27):100-101.

^{1,*} 作者简介:伊海赫(1987-),男,博士,副教授,研究方向:土木工程材料。E-mail: yihaihe@126.com。