

智能采矿工程专业岩层控制学实验 教学模式探索与实践

杨森¹, 郑西贵², 邓广哲¹, 袁钰鑫¹, 姬松涛¹

(1.西安科技大学 能源与矿业工程学院,陕西 西安 710054;

2.中国矿业大学 矿业工程学院,江苏 徐州 221700)

摘要:智能煤矿建设与运营发展,促使煤产业人才的知识与技能需求从传统开采工艺、矿山压力向人工智能、装备控制、云计算等新兴技术转型。基于对采矿工程专业实验教学痛点的分析,提出了岩层控制学“四层次一链路”实验教学模式,即基础认知、虚拟仿真、物理实验与工程实战4个逐级推进的教学层次,并辅以智能伴学评价链,共同构建“虚实结合”的实验教学体系。4个教学层次分别对应认知建构、仿真演练、实际操作与工程实战四项能力目标,形成阶梯递进的培养路径。在实验教学中,通过设置模块化教学单元,将传统采矿知识有机融入围岩信号传感、采掘设备控制、识别算法设计等环节,推动知识整合向综合能力转化。智能伴学系统则依托全流程认知状态监测与实时反馈机制,将工程师能力标准嵌入评价体系,构建以行业需求为基准的动态评估系统。实践表明:“四层次一链路”实验教学模式有效弥合了理论教学与工程实践之间的割裂,为培养符合新时代要求的高端矿业复合型人才奠定了基础。

关键词:智能采矿工程;岩层控制学;实验教学;虚实结合;智能伴学

中图分类号:G642 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-055X(2026)03-0096-13

煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的核心技术支撑^[1-2],其本质是通过智能化系统的常态运行管理,巩固建设成果,持续发挥应用效能,实现减人增安、提质增效的目标。目前,全国有生产煤矿近4400处,已建成的智能化采煤工作面超过1040个^[3]。智能煤矿建设与运营产业正处于蓬勃发展阶段,产业人才需求强劲^[4]。智能煤矿生产涉及的专业知识已经从传统的开采工艺与矿山压力,扩展到了人工智能、装备控制、云计算等新兴技术领域^[5-6],煤炭企业急需跨学科复合型人才。2021年,教育部将智能采矿工程专业列入本科专业目录以来,煤炭工业技术变革对高校人才培养提出了新的要求,学生创新与综合实践能力成为职业

收稿日期:2025-10-29

基金项目:西安科技大学课程思政教学改革研究项目“基于‘育、导、建、用、评’的岩层控制学课程思政建设研究与实践”(2023-szjg-11)。

作者简介:杨森,男,陕西咸阳人,副教授,硕士生导师,主要从事煤矿智能掘进研究;郑西贵,男,山西侯马人,工学博士,教授,博士生导师,主要从事智能采掘研究;邓广哲,男,陕西扶风人,教授,博士生导师,主要从事矿山岩石力学研究;袁钰鑫,男,山西岚县人,讲师,主要从事煤矿智能掘进研究;姬松涛,男,河南焦作人,副教授,硕士生导师,主要从事矿山压力与岩层控制研究。

发展的重要条件,高校实验教学体系迫切需要创新与改革。

目前,高校采矿工程专业正积极探索应用虚拟仿真技术增强实验教学的现实还原度。中国矿业大学针对露天采矿实验实习环境设备成本高与危险性大问题,采用双通道被动立体投影系统+虚拟现实软件平台,构建与露天矿山生产结合的可动态更新的智能时空演化软件系统^[7];太原理工大学面向煤矿综采工作面装备认知实践,设计工作面场景观察视角和人机交互界面,开发煤矿综采装备与煤层耦合虚拟仿真实验教学系统,实现采煤机目标截割曲线绘制与行走轨迹记录等实验教学功能^[8];中国矿业大学对于矿井联系测量实践教学存在的影响生产与真实实验时间难以保证问题,应用unity3d技术开发矿井联系测量虚拟仿真实验平台,形成了任务驱动型实验教学方法^[9];内蒙古工业大学针对煤矿充填开采实验面临的“实验贵、下井难”问题,采用虚拟仿真技术构建煤矿充填开采虚拟仿真教学实验系统,并提出了与之配套的教学方法^[10];黑龙江科技大学从应用型人才培养目标出发,主要从全景性、交互性、应用性、职业性和创新性5个维度强化虚拟仿真和模拟矿井2个实践实训平台的应用性价值取向建设^[11]。以上高校的实践表明,虚拟仿真技术通过创建高度逼真、可交互的动态场景,为采矿工程专业实验教学提供全景式的教学资源支持。同时,围绕提升采矿工程专业实验教学学生参与度,促进理论认知向工程实践能力转化,侯运炳等^[12]提出了集专用教材、虚拟仿真实验平台、线上线下一体化教学资源与核心课程于一体的智能采矿人才培养数字化教学体系,提升学生实践能力与工程素养,推动实践教学的系统化、透明化与数字化发展;杜胜江等^[13]针对实验教学参与感低、安全风险大、模式单一等问题,基于模拟矿井特色的实验实践教学体系,提出调动学生学习主动性,将课程理论教学和实验教学有机融合;李帅等^[14]针对矿山实习内容单一、深度不够的问题,在实习过程中采取前往不同类型矿山实习、同一矿山分组实习、多手段记录实习、统一答辩等创新模式;李东印等^[15]研发了智能开采教学模型和虚拟仿真教学实验系统,构建了“实物模型—虚拟仿真—实训操作—井下实习”四位一体的实践教学模式;滕腾等^[16]总结不同模式实验教学环节过程及教学效果,对比分析并设计更符合新时代的混合实验教学模式。

岩层控制学实验课程是智能采矿工程专业的物理基础与实践课程,现行实验教学体系存在高端实践缺乏、课程思政融合困难、培养与需求脱节等不足。

1 教学痛点分析

当前,煤炭开采业正朝着人工智能、装备控制、云计算等新技术发展,行业技术更新迭代促使高校智能采矿工程专业教学体系革新^[17-18]。智能采矿工程专业实验教学作为学生创新能力转化的核心枢纽,呈现了三重痛点。

1.1 行业智能化快速发展,围绕尖端技术的沉浸式实践能力培养环节缺乏

西安科技大学采矿工程专业创办于1958年,作为西部地区重要的矿业类高校,在服务产业发展过程中采矿工程专业起到了支撑作用^[19]。2019年,智能采矿工程专业(特色班)开始招生,该专业扎根于传统优势学科,继承了采矿工程的核心知识框架,面对自主巡航、智能矿

井通风、地质透明感知等一系列尖端技术在煤矿生产实践中的难题,现有实验教学的沉浸性与还原度欠缺,人才培养与行业发展的契合度有待加强,学生难以从中得到系统的前沿实操能力训练。对智能采掘装备、地质环境感知的认知停留在理论层面的问题,解决现场复杂工程问题的综合能力难以形成。教学与工业现场的脱节,同教育部《现代产业学院建设指南》的要求^[20-21]不符,成为人才培养质量的现实制约。

1.2 专业知识跨越众多学科,多学科实验课程的深度融合与贯通遭遇挑战

智能采矿工程要求人才具有“数据感知—智能决策—精准执行”的全链条专业能力,采矿、信息、控制3门学科在教学过程的深度融合势在必行。多学科融合带来教学知识体量的大幅增加,要求打破原有教学架构,形成跨学科知识在时间、空间、逻辑层面的三重贯通,促使学生自主形成知识关联,培养跨学科创新能力。如“采煤工作面调斜控制”实验,传统实验部分关注岩层结构测量与力学行为预估,而智能实验部分设置了3项跨学科环节,分别为倾角数据实时上传云平台、基于历史数据预测顶板来压与液压支架群自适应调斜,这3个环节分属于通信工程、数据科学与控制工程学科,学生需在碎片化课时中拼凑完整技术链条,完成多学科实验课程的深度融合与贯通。

1.3 评价标准与行业需求脱节,创新能力培养滞后导致前沿技术应用能力断层

智能煤矿建设与运营需要人才具备复合型技能,主要体现在运用人工智能算法优化开采方案、基于云平台的实时岩层监测、装备智能控制等,职业能力评价标准侧重技术应用、系统思维、创新解决问题等方面。高校实验教学是培养学生复合型技能的重要环节,目前传统岩层控制实验仍以验证理论、操作设备、数据记录为主,教学评价标准关注操作规范性、数据准确性、报告完整性,而非技术融合与创新。实验教学评价机制存在“重结果轻过程”弊端,过分关注实验结果与“标准答案”的相符程度,忽视了学生的技术路线论证逻辑、多方案试错与迭代记录、跨学科工具整合能力、故障诊断与恢复策略等过程能力。而且,评价机制缺陷抑制学生试错与创新,将“避免出错”置于“探索可能”之上,不利于培养智能煤矿所需的破局者。

2 “四层次一链路”实验教学模式的构建

针对智能采矿工程专业实验教学痛点问题,遵循建构主义学习理论,同时融入体验学习圈理论,经过4年的探索,构建了“四层次一链路”实验教学模式,如图1所示。

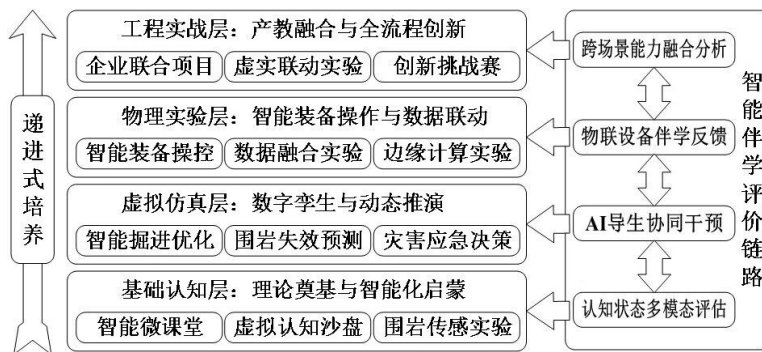


图1 岩层控制学“四层次一链路”实验教学模式

从图1可知,“四层次一链路”实验教学模式核心在于通过“基础认知、虚拟仿真、物理实验、工程实战”四个培养层次,架构起一条从理论认知到复杂工程问题解决的渐进式能力培养路径,依托“智能伴学评价链路”实现全流程的动态监测、反馈与优化,形成教学闭环。

4个层次的设计遵循认知与能力发展内在规律,形成环环相扣的阶梯。基础认知层引导学生构建智能采矿知识体系,树立安全规范意识。虚拟仿真层为学生搭建起连接理论与实践的桥梁,借助高度沉浸的交互体验,把抽象知识转化为初步的感知与操作技能。借助物理实验层起到连通虚拟实验与物理场景的作用,通过真实的触觉反馈和物理现象,着重培养学生的感知与验证技能。最终,课程学习成果由工程实战的检验进行应用并验证。将前3个层次的知识、技能和经验置于复杂的工程环境里综合运用、升华,学生完成向“工程师”的角色转变,培养解决复杂问题的能力与全面素养。“一链路”即智能伴学评价系统,是驱动整个教学模式高效运行、确保教学目标达成的中枢,贯穿于四个教学层次的全过程,旨在实现伴随式、诊断性、发展性的教学支持。

“四层次一链路”实验教学模式充分体现了建构主义学习理论^[20]的核心思想,即知识是学习者与环境互动中主动建构的过程。模式整体运行逻辑契合体验学习圈理论^[22],即依次为学生提供4个层次的深化递进“具体体验”,智能伴学评价链路通过全程介入,强化“反思观察”与“抽象概括”环节,最终推动学生带着更成熟的认知策略进入下一轮或更高阶的“主动验证”,从而实现能力的循环上升。

3 实施路径

3.1 基础认知层

基础认知层教学依托智能化手段,将抽象理论变为具象认知,构建专业知识体系,同时培育采矿安全规范观念。基础认知层设有智能微课堂、虚拟认知沙盘以及围岩传感实验3个功能互补的教学环节,如图2所示。

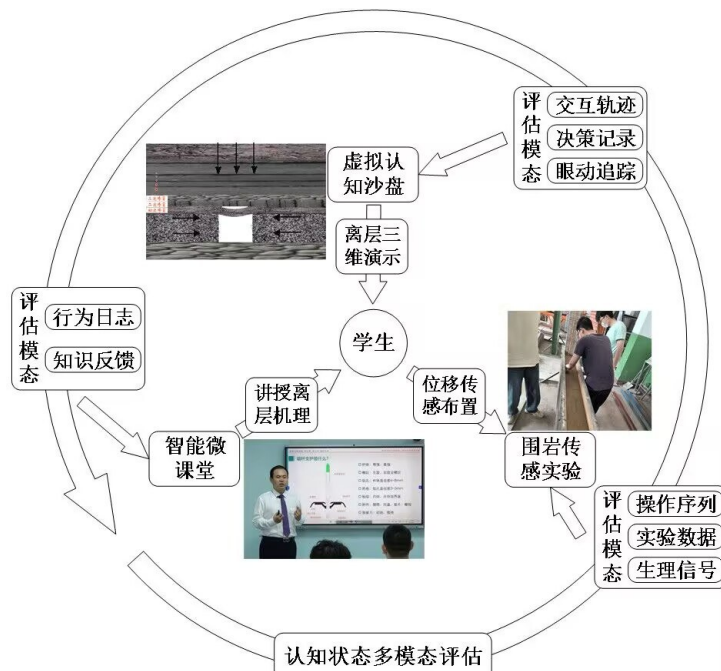


图2 基础认知层教学实施路径

从图2可知,智能微课堂是知识导入的初始环节,将岩石力学、矿压理论等核心内容拆分为碎片化、结构化的微课单元,具有高频、精准且可重复学习的特性,内容包含“顶板离层机理”“支承压力分布规律”以及“锚杆支护原理”等关键知识点。虚拟认知沙盘主要依托三维数字孪生矿井系统为理论学习与空间认知之间架起桥梁,该系统弥补了传统教学中井下空间关系难以建立的不足,学生采用第一人称视角,自由漫游巷道、工作面及各类硐室,观察岩层结构与生产系统之间的动态关联。围岩传感实验环节设置有实体物理模拟试验台,学生利用相似材料实验开展巷道围岩模拟,作为建立真实感知的物理锚点。

以矿山巷道围岩稳定性判识实验为例,阐述基础认知层各教学环节的协同运作方式及认知状态多模态评估的实施步骤。教学从智能微课堂开始,学生学习“顶板离层机理”等核心知识,理解其形成机制与潜在风险。随后,学生进入虚拟认知沙盘,沉浸式体验高还原度的矿井三维巷道场景,通过旋转、缩放及剖切等多种操作从不同角度审视巷道布局及围岩结构相互关系。在知识内化基础上,沙盘系统发布“设计顶板离层监测方案”任务。学生在虚拟巷道顶板岩层上放置位移传感器,通过AI系统对其布置合理性予以实时评估并反馈,增强学生的空间关联能力与工程决策水平。最后,学生将优化后的传感器布设方案在围岩传感实验台的实体模型上实际部署,动手安装传感器、连接采集设备、开启加载装置模拟采动扰动,实时记录围岩变形与破坏产生的位移与声发射信号,将抽象的“失稳”概念转化为真实工程体验。

3.2 虚拟仿真层

虚拟仿真层按照“优化—预测—响应”的工程逻辑链开展,设有智能掘进优化、围岩失效预测与灾害应急决策3个教学环节,如图3所示。

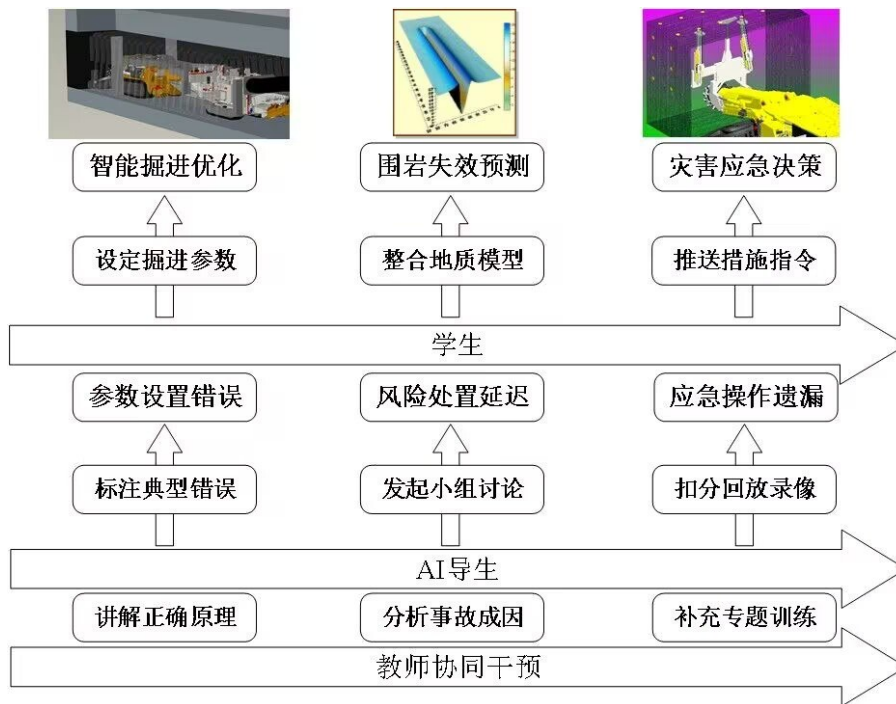


图3 虚拟仿真层教学实施路径

从图3可知,智能掘进优化环节使学生在可灵活调整参数的掘进虚拟环境中进行实操,设定截割速度、钻进角度、支护密度等参数,观察不同操作下设备实时运行状况及围岩初步变化。将实时数据驱动算法整合进地质力学模型,学生利用改进模型分析巷道围岩地质特征,使用数值计算工具处理上一环节传来的实时掘进扰动数据,生成巷道围岩塑性区分布、应力场云图,得出失稳概率预测结果,使培养重点从被动观察转为主动预警。在灾害应急决策环节中,学生依据预测环节给出的预警等级,从技术应对、组织协调、管理调度等多维度选取并组合应急措施,如暂停掘进、补强支护、组织人员撤离等。虚拟系统内置冒顶、片帮、涌水等多种灾害演化方案,让学生观察不同决策带来的连锁后果,培养系统思维与应急处置能力。

选取智能掘进工作面虚拟仿真实验为案例,阐述虚拟仿真层各教学环节的协同运作关系及AI导生协同干预的实现方式。智能掘进优化环节提供地质参数确定的巷道掘进模型,学生独立开展掘进工艺优化设计,提出“高速、低支护密度”的高效方案与“低速、高支护密度”的保守方案并进行分析决策。系统利用模拟算法对掘进头前方岩体应力状态进行数值计算,采用应力云图可视化,将相关数据作为核心输入参数同步传输到围岩失效预测环节。学生将实时应力数据结合模型地质数据库,对围岩稳定性进行综合评估分析。系统依据评估结果生成风险分布云图,发布定量预警。收到系统预警提示后,学生转入灾害应急决策环节。从预设应急预案库中选择并下达指令,指令模板为:降低掘进速度某个百分点,或在掘进面后方某米距离增设锚索多少排。应急措施执行完成后,系统计算得出巷道围岩响应与状态变化,学生实时观察应急措施工作过程并验证决策方案有效性。

3.3 物理实验层

物理实验层包含智能装备操控、数据融合实验以及边缘计算实验3个教学环节,如图4所示。

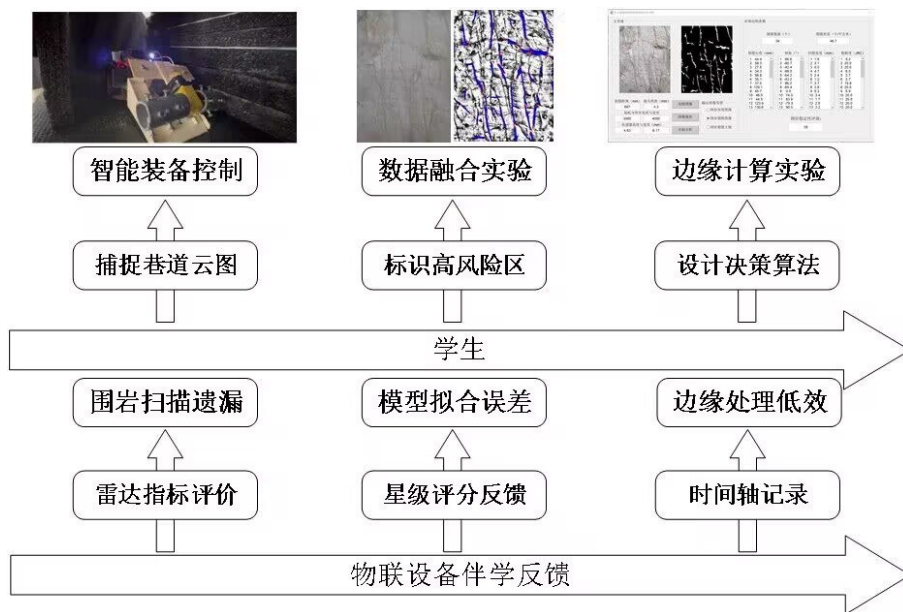


图4 物理实验层教学实施路径

从图4可知,智能装备操控环节使学生建立对智能装备的直观认知与操作能力。学生在此环节练习操作巷道巡检机器人、锚杆钻机模拟平台、多参数传感数据采集系统等小型化设备与实验平台,深化对设备构造、工作原理、标准操作流程的认知,强化安全规范观念。数

据融合实验环节提供处理多源异构数据的实践机会。根据煤矿井下呈现多模态与碎片化特征的监测数据,学生采用Python、Matlab等算法工具开展数据降噪、校准、时空配准和特征提取等操作,将离散信息整合成全面反映围岩状态的“透明地质图”。边缘计算实验模拟井下边缘计算节点的资源受限条件,要求学生在算法设计过程中充分考虑功耗、算力和延迟约束,锻炼轻量化建模与高效实施决策的能力,深入理解边缘智能的核心价值与达成路径。

通过展示富水巷道围岩变形失稳监测实验的教学实现流程,阐述物理实验层教学环节的协同关系与物联设备伴学的反馈机制。在智能装备操控环节,设置搭载可见光与红外热像仪的小型巡检机器人,学生遥控机器人在富水巷道物理模型中完成预设路径行走任务,根据巷道环境变化判断开启扫描系统,实时获取巷道表面高清图像及温度分布云图。在数据融合实验环节中,学生围绕采集的可见光与红外图像数据展开分析,针对可见光图像阴影干扰及红外图像温度漂移,设计预处理方案,明确去噪增强算法的阈值设置与配合关系,建立校准模型修正红外图像温度偏差,实现围岩图像质量提升。预处理完成后,学生利用图像配准与特征融合算法对可见光图像中的裂隙信息与红外图像中渗水区域进行叠加融合,生成巷道断面浸水-变形耦合风险分区图,采用A、B、C三级进行风险等级标识。通过边缘计算实验培养学生将感知结果用于实时控制的意识与能力,学生接到任务“风险分区图由井下边缘计算单元生成,需设计一套轻量级决策算法,依据风险等级自动输出控制指令”。

物理实验层的智能化伴学依托物联网技术实现。所有实验设备、学生手持平板、教师总控台通过无线网络互联,形成局域物联网络。当学生操作机器人出现明显错误,系统通过平板电脑实时弹出提示框:“警告:图像采集参数不佳,建议调整焦距至X值”。同时,所有小组的融合数据结果和决策指令实时同步到总控大屏。

3.4 工程实战层

工程实战层采用项目式学习理念,设置企业联合项目、虚实联动实验、创新挑战赛3个教学环节,如图5所示。



图5 工程实战层教学实施路径

从图5可知,企业联合项目通过与矿山企业合作,引入当前面临的实际技术难题作为项目课题,学生分组嵌入企业的技术、生产、安全部门开展需求调研、现场勘察和数据收集,深刻理解工程问题的系统性、复杂性和约束条件(成本、工期、安全)。虚实联动实验提供“虚拟试错—物理验证”循环平台,工程设计方案先在高保真虚拟仿真环境中进行充分试算和优化,通过虚拟仿真验证的方案后方可在更昂贵、更耗时的物理模型或实验设备上验证,以此培养学生的成本效益意识。创新挑战赛环节借助开放性竞赛平台,学生围绕企业项目核心问题或行业前沿方向设立挑战赛课题,开展跨学科技术集成和原创性探索,突破思维定式,孵化创新成果。

在企业联合项目推进阶段,教师和学生共同组成项目组,进入煤矿现场完成调查工作,项目组跟随工程师和矿工一同下井跟班作业,梳理实际工程领域有待解决的难点问题。经过多轮现场探索,学生找到硬岩层施工中存在的掘进效率下降、掘进机截齿磨损超出正常范围核心问题。围绕这些问题,项目组在现场进行了测试,梳理问题背后地质力学和施工工艺方面的影响因素,并组织现场工作人员进行经验交流座谈会,最终明确项目技术方向。在保证围岩稳定的前提下,调整优化掘进和支护相关参数,将掘进平均进尺提高15%,完成现场资料整理归纳后,学生返回实验室依托虚拟仿真平台,探究掘进工艺参数对掘进效率和围岩扰动产生的影响。经过模拟计算环节,将研究方向集中到掘进机截割速率、推进力、牵引速率等工艺参数,通过多轮对比实验,学生整理出“高频低幅”“低频高幅”等不同策略,将工艺参数备选策略转化为物理实验方案,依托掘进工作面大型物理模拟平台进行实验验证。对比物理实测数据与仿真数据,分析后确定最佳的掘进参数工艺组合,在后续的创新挑战赛中,学生选定围岩自适应掘进参数实时调控算法作为参赛课题,完成算法设计验证分析,通过围绕矿山企业生产环节的实际痛点,整理出完整的解决方案。

在工程思维评价层面,参照学生制定的技术方案和可行性研究报告开展工作,评价者对内容的规范性、完备性进行逐一判断,考察学生界定核心问题、拆分系统逻辑与平衡限制因素的能力;在技术能力评价层面,聚焦学生工具运用和专业实践方向,评价过程依托虚实联动实验展开,考察内容包括学生操作设备的精准程度、解读数据的完整程度与设计算法的运行状态;在创新素养考察层面,围绕学生提交的方案,确认方案原创性占比,统计跨学科内容占比,结合方案对接产业应用的实际价值,最终得出学生创新能力的评价结果。

4 实践效果

自2022年9月以来,“四层次一链路”实验教学模式已完成了2轮教学检验,课程团队采用多元评价方法,评估了实践效果。

4.1 学生能力得到提升

依托“智能伴学评价链路”采集学生实验行为数据,如操作路径、驻留时长以及交互频次等。在物理实验层与虚拟仿真层的高阶实验中,与采用传统模式对照班相比,实验班学生在工艺参数修正、截割路径优化等关键环节平均驻留时间增加24%,实验设备参数调节交互频次提升43%,65%的学生能够主动使用采动岩体变形理论知识开展2次以上的工艺方案改进,30%的学生能够改进方案3次以上。

在终结性评价方面,主要依据自主设计的智能采矿工程专业岩层控制学实验评分量表,具体如表1所示。

表1 智能采矿工程专业岩层控制学实验评分量表

项目名称		学生姓名 / 小组	
评价日期		总分	
使用说明:请根据学生在实验项目中的具体表现,对照以下5个维度及详细描述,在1~5分之间进行评分,分别对应差、需改进、合格、良好和优秀。			
一、基础实践与专业技能(20分)			
评价指标	1分(差)	2~3分(需改进 / 合格)	4~5分(良好 / 优秀) 得分
实验操作规范性	重大错误或违规,无法独立完成	基本完成,欠熟练,偶有失误	规范熟练,严守规程
岩层控制原理应用	未理解或错误应用	部分应用,理解欠深	深刻理解,灵活运用
仪器设备使用能力	无法正确操作核心设备	基本操作,原理与高级功能不熟	精通操作,充分挖掘功能
实验现象观察记录	记录缺失或失实	记录主要现象,细节与条理不足	详尽记录,捕捉关键细节
二、技术融合与创新性(30分)			
评价指标	1分(差)	2~3分(需改进 / 合格)	4~5分(良好 / 优秀) 得分
跨学科知识整合	仅用单一学科知识	引入其他学科但结合生硬	多学科有机融合,形成新视角
新技术与工具运用	仅用传统方法	简单运用新技术	主动熟练运用前沿技术
解决方案的创新性	照搬现有方案	有微小改进	提出新颖方案,原创性突出
创新过程的系统性	想法零散,缺乏逻辑	有想法但未系统展开	过程完整,逻辑闭环
技术可行性分析	未考虑可行性	初步考虑,分析欠全	全面评估,路径合理
批判性思维与优化	无法指出局限	能发现部分不足,建议较浅	能剖析局限,提出可行优化
三、数据分析与决策能力(25分)			
评价指标	1分(差)	2~3分(需改进 / 合格)	4~5分(良好 / 优秀) 得分
数据获取与预处理	采集不当,处理杂乱	方法传统,效率偏低	方案高效,处理规范
数据分析深度	仅描述统计	基础分析,解释表面	深入挖掘规律机理
数据洞察解释	无法得出有效结论	基本结论,深层挖掘不足	提炼深刻见解,解释机理
数据驱动决策	决策主观,脱离数据	部分依据数据,但不充分	基于数据量化决策并论证
不确定性处理	完全忽略不确定性	识别但未量化讨论	识别并量化分析影响
四、团队协作与沟通表达(15分)			
评价指标	1分(差)	2~3分(需改进 / 合格)	4~5分(良好 / 优秀) 得分
跨学科团队角色	角色模糊,协作困难	完成本职,跨专业沟通不畅	主动担当,促进协作
报告撰写质量	逻辑混乱,结构缺失	内容完整,条理基本清晰	结构严谨,表述专业
答辩与展示表现	表达不清,无法应答	表达尚可,细节掌握不牢	表达生动自信,应答精准
五、项目完整性与工程素养(10分)			
评价指标	1分(差)	2~3分(需改进 / 合格)	4~5分(良好 / 优秀) 得分
项目完成度	中途终止或完成度极低	基本完成,部分环节缺失	过程完整,成果丰硕
工程伦理与可持续性	未考虑安全、经济、环境等工程要素	提及但无具体体现	全面考虑并融入方案
总体评价与改进建议: (请在此处总结学生在项目中的突出表现,特别是在创新与技术融合方面的亮点,并指出具体的改进方向)			

课程团队在对学生创新能力发展实施量化评估设置量表时,体现在五个评价维度,分别是技术融合与创新性、数据分析与决策能力、团队协作与沟通表达、项目完整性与工程素养,以及基础实践与专业技能。从学生的成绩可以看出,新模式实施的班级在各个分数段均超出平行班级,优秀率占比提高幅度超过了14%,而良好率占比提高了18%。

“四层次一链路”模式实施前后的两届学生的成绩以及满意度对比,结果如图6所示。

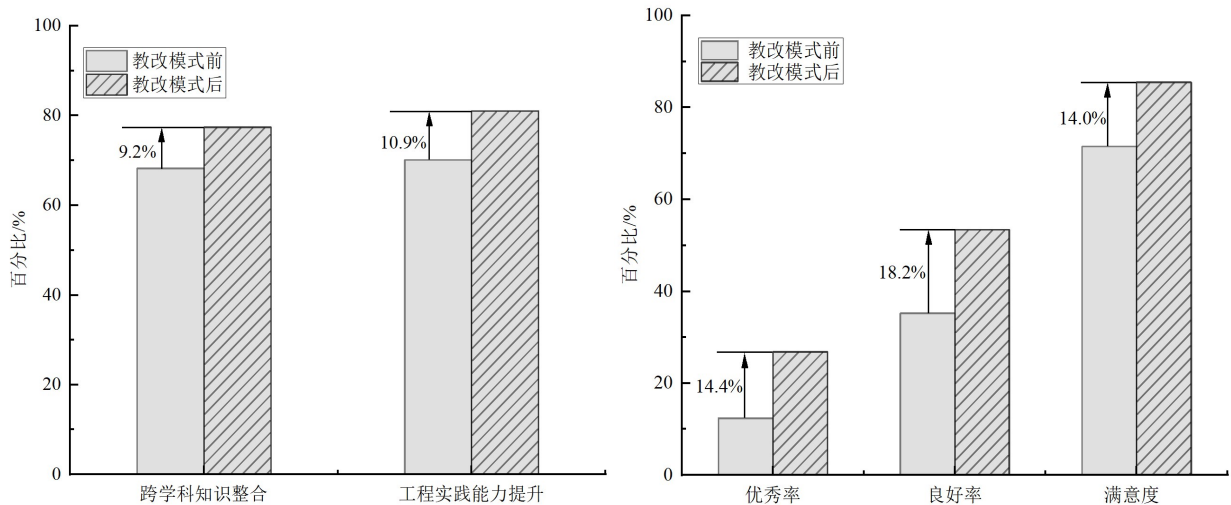


图6 “四层次一链路”模式课程成绩与满意度对比

由图6可知,在教学改革进行之前,岩层控制学实验课程的平均成绩为78.6分,优秀率占12.4%,良好率占35.2%,新教学模式落地后,课程平均成绩为85.3分,优秀率升至26.8%,良好率升至53.4%,优秀率较教改前提高14.4%,良好率提高18.2%。在学生满意度方面,改革前的问卷调查显示,学生对实验教学的整体满意度为71.5%,新模式实施后,该数值升至85.5%,涨幅为14个百分点。在“跨学科知识整合”维度,学生满意度从68.2%升至77.4%。在“工程实践能力提高”维度,学生满意度从70.1%升至81.0%。根据数据可以看到,“四层次一链路”模式帮助学生提高学业表现,强化学生对课程的认同感和获得感,为实验教学的系统化改进积累了实证依据。截至2025年10月,学生依托实验模式完成20余项竞赛作品,累计95人次参与科技竞赛累计获得国赛奖和省赛奖共13项。

4.2 教学效果明显

课程教学团队运用匿名问卷,对实施班级的62名学生进行调查。问卷设置有实验教学模式认可度、智能伴学系统效用、跨学科整合能力感知3个评价维度,调查结果如表2所示。

表2 岩层控制学“四层次一链路”实验教学模式实施效果问卷调查结果

评价维度	细分问题	满意度	平均值
实验教学模式认可度	1. 对“四层次一链路”教学模式整体满意度	85.5%	80.6%
	2. 基础认知层实验,帮助学生建立岩层控制基础理论的框架	82.3%	
	3. 虚拟仿真层实验,强化学生在虚拟场景中完成推演与决策	80.6%	

续表2

评价维度	细分问题	满意度	平均值
	4. 物理实操层实验,帮助学生提升动手操作、数据监测与分析能力	78.2%	
	5. 工程实战层实验,帮助学生养成综合处理工程问题的创新思维	75.8%	
	6. 通过实验教学模式,加强知识理解与实践能力的整合	81.0%	
智能伴学系统效用	1. 智能伴学系统界面清晰,操作门槛低	84.7%	83.5%
	2. 智能伴学系统个性化指向明确,可化解学习中遇到的难点	86.0%	
	3. 智能伴学系统实时反馈准确及时,推进实验过程向更优方向发展	83.9%	
	4. 辅助学生复盘实验过程,夯实“反思观察”,巩固学习效果	81.5%	
	5. 依托数据监测与分析,锻炼学生的抽象概括能力	79.0%	
	6. 智能伴学系统促进学生各方面能力的提升	86.0%	
跨学科整合能力感知	1. 通过实验教学模式整合采矿、信息和控制等多学科知识	77.4%	75.1%
	2. 学生参与实验项目,通过数据感知、智能决策与精准执行,培养全链条能力	76.2%	
	3. 通过跨学科实验,培养学生创新思维,将自适应截割技术融入设计方案	74.2%	
	4. 工程实战层项目,促进学生打通岩层控制原理、传感数据与智能算法的知识脉络,实现知识融合	72.6%	
	5. 通过教学模式培养,将理论知识转化为实践方案的能力	75.0%	

从表2得知,80%以上的学生体验到新模式带来的知识理解与实践能力的提升,75%的学生认为新模式大幅提升了将自己将理论知识转化为实践的能力,86%的学生认为智能伴学系统的个性化指导与实时反馈功能促进了自身能力提升。通过对实施班级学生的毕业设计进行追踪,有近70%学生围绕岩层控制、智能开采与巷道布置开展专题研究,有30%以上的学生能够将自适应截割、透明地质建模与掘支一体化等智能采矿技术融会贯通到矿井生产设计中。

同时,课程教学团队随机选择15名学生进行采用半结构化访谈。通过对访谈记录进行编码与分析,总结学生对实验教学模式高满意度的核心原因。受访学生普遍认为,四层次的培养模式对加深专业理论理解、融合跨专业知识与强化主动创新能力具有显著促进作用;特别在工程实战层的高阶性项目中,能够强烈感受到将岩层控制原理、围岩传感数据和智能决策算法融会贯通的必要性,这种复合型创新能力的培养在传统的单一学科实验中难以获得。此外,多名学生表示,智能伴学系统在实验探索过程中充分发挥“私家教练”作用,从虚拟仿真层的AI导生协同干预到物理实验层的物联网设备伴学反馈,智能伴学系统能够精准捕捉知识薄弱点,并进行定制化指导强化抽象概括学习环节。在“第五届全国高等学校采矿工程专业青年教师讲课比赛”与“西安科技大学2024年教师教学竞赛”中,“四层次一链路”实验教学模式受到各位专家的高度肯定。

4.3 行业认可度高

陕西煤业化工集团、延安能源化工集团等企业认为毕业生的实践能力与岗位适配性显著提升,毕业生能够在工作岗位上较快掌握矿井生产管理系统、矿山灾害智能防控系统与三维数字化建模等智能矿井核心软件工具。企业技术主管还表示,新模式设置的基础认知、虚

拟仿真、物理实验、工程实战4个培养层次打破了传统专业培养的学科边界,对采矿、通信、控制等学科知识进行了有机融合,培养学生从系统集成的角度分析与解决工程问题的能力。

5 研究结论

第一,智能采矿工程专业实验教学作为学生创新能力转化的核心枢纽,有3个教学痛点问题。一是行业智能化迅猛发展,针对尖端技术的沉浸式实践能力培养环节匮乏;二是专业知识横跨诸多学科,多学科实验课程的深度融合与贯通面临挑战;三是评价标准与行业需求不契合,创新能力培养滞后致使前沿技术应用能力出现断层。

第二,课程团队根据教学痛点,搭建起“多层次一链路”的实验教学模式,设置了基础认知、虚拟仿真、物理实验、工程实战4个培养层次,以及智能伴学评价链路,4个培养层次分别与认知建立能力、模拟推演能力、实际操作能力、实战应对能力相契合,构成阶梯式培养路线,智能伴学评价在教学流程借助数据驱动的动态反馈机制,完成教学过程的闭环管理工作。

第三,智能伴学评价链路使学生的“反思观察”和“抽象概括”得到强化,通过监测采集学生的行为以及生理数据,开展学习状态的分析工作,实时抓住学生在实验项目中的能力表现和认知状态,在关键的学习节点发起即时反馈,提出启发性问题,引导学生剖析问题产生的原因,让“反思观察”得到深入,通过反馈学生的行为轨迹,从实践经验中进行应对策略归纳,塑造出有迁移性的知识框架,完成“抽象概括”。

在未来的智能采矿工程实验教学中,需要进一步强化与复杂工程现场的高度耦合,构建高保真、高沉浸的实训环境,深度融合实时矿山数据与生产场景,构建故障诊断、应急抢险等高级实训场景,提升学生解决复杂工程问题的能力。

6 参考文献

- [1] 王国法,刘峰,庞义辉,等. 煤矿智能化发展现状与重点方向分析[J]. 中国煤炭,2020,46(4):5-15.
- [2] 王国法,张建中,张金虎,等. 煤矿机器人技术体系与重点方向[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):1-11.
- [3] 丰硕. 中国矿业大学(北京)加快智能化专业建设重视知识体系的贯通性[N]. 中国煤炭报,2023-05-25(7).
- [4] 王国法,庞义辉,王丹丹. 煤炭新质生产力培育与高质量发展[J]. 中国煤炭,2024,50(12):1-10.
- [5] 王国法,张建中,刘再斌,等. 煤炭绿色开发复杂巨系统数智化技术进展[J]. 煤炭科学技术,2024,52(11):1-16.
- [6] 戴春雷. 我国矿山智能化研究进展及大模型应用前景[J]. 工矿自动化,2020,50(S2):1-11.
- [7] 赵红泽,孙振明,闫宁,等. 疫情背景下虚拟仿真教学在采矿工程中的应用模式研究[J]. 高教学刊,2022,8(24):89-93.
- [8] 王学文,李娟莉,谢嘉成,等. 煤矿综采装备与煤层耦合虚拟仿真实验教学系统设计与实现[J]. 中国现代教育装备,2023(23):12-15.
- [9] 杨敏,汪云甲,顾和和,等. 虚拟仿真平台下矿井联系测量实践教学模式探索[J]. 科技资讯,2021,19(5):165-168.
- [10] 尹博,李驰,邬鑫. 煤矿充填开采虚拟仿真实验系统建设与教学改革探索[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估),2024(9):75-79.
- [11] 肖福坤,张国华,秦涛. 虚拟仿真和模拟矿井双线融合实践实训教学机制研究:以采矿工程专业为例[J]. 黑龙江教育(理论与实践),2023(10):66-69.

- [12] 侯运炳,孙振明. 数字化虚拟矿山实习课程建设及实践[J]. 高教学刊,2025,11(14):38-41.
- [13] 杜胜江,徐佑林,许猛堂,等. 新工科背景下突显模拟矿井特色的实验实践教学体系构建[J]. 高教学刊,2024,10(31):116-120.
- [14] 李帅,项振忠,彭康,等. 采矿工程专业实习创新模式探索[J]. 科教文汇,2025(13):73-76.
- [15] 李东印,孙凯旋,王仲,等. 基于熵权-可拓理论的智能化综采工作面安全评价[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2022,41(3):1-9.
- [16] 滕腾,贾文建,赵毅鑫,等. 矿业类学科虚实结合实验教学模式研究[J]. 高教学刊,2024,10(4):1-4.
- [17] 解北京,李恒,栾铮,等. 基于深度学习和模型压缩技术的轻量级煤矿人车检测模型:以贵州地区煤矿为例[J]. 煤炭学报,2025,50(2):1393-1408.
- [18] 杨健健,周国昊,黄乾坤,等. 机器人技术创新实践教学探究:以中国矿业大学(北京)矿山机器人本科实践教学为例[J]. 大学教育,2024(9):19-23.
- [19] 丁自伟,柴敬,解盘石,等. 新工科背景下采矿工程专业智能开采人才培养探索[J]. 煤炭高等教育,2020,38(6):79-84.
- [20] 李俊平. 基于智能采矿的采矿工程本科课程体系探索[J]. 中国冶金教育,2020,199(4):36-38.
- [21] 温彭年,贾国英. 建构主义理论与教学改革:建构主义学习理论综述[J]. 教育理论与实践,2002(5):17-22.
- [22] 殷世东,李敏. 义务教育劳动课程“体验学习圈”模型设计行动审思[J]. 教育学报,2024,20(1):82-92.

Exploring and Implementing an Experimental Teaching Approach for Strata Control in Intelligent Mining Engineering

Yang Sen¹, Zheng Xigui², Deng Guangzhe¹, Yuan Yuxin¹, Ji Songtao¹

(1.College of Energy and Mining Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Shaanxi 710054, China;

2.College of Mining Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221700, China)

Abstract: The development of intelligent coal mine construction and operation is driving the knowledge and skill requirements for talents in the coal industry to shift from traditional mining processes and mine pressure to emerging technologies such as artificial intelligence, equipment control, and cloud computing. Based on an analysis of the pain points in experimental teaching of mining engineering, this paper proposes a “four-level and one-link chain” experimental teaching model for Strata Control. The model consists of four progressively advancing teaching levels: basic cognition, virtual simulation, physical experiment, and engineering practice, complemented by an intelligent companion evaluation chain, collectively forming a “virtual-actual combination” experimental teaching system. The four teaching levels correspond to four ability objectives of cognitive construction, simulation exercise, hands-on operation, and engineering practice, respectively, establishing a stepwise cultivation pathway. In experimental teaching, modular teaching units are set up to organically integrate traditional mining knowledge into links such as surrounding rock signal sensing, excavation equipment control, and recognition algorithm design, promoting the transformation of knowledge integration into comprehensive abilities. The intelligent companion system relies on a whole-process cognitive state monitoring and real-time feedback mechanism, embedding engineer competency standards into the evaluation system and constructing a dynamic assessment system based on industry needs. Through practice, the “four-level and one-link chain” experimental teaching model effectively bridges the gap between theoretical teaching and engineering practice, laying a foundation for cultivating high-quality interdisciplinary mining talents that meet the requirements of the new era.

Keywords: Intelligent mining engineering; Strata control; Experimental teaching; Virtual-actual combination; Intelligent companion learning

[责任编辑:杨洪 张俊英]