

面向钢铁冶金行业的研究生工作站协同培养模式研究

——以河北省曹妃甸为例

刘悦 丁春华 张友博

华北理工大学机械工程学院 河北唐山 063210

摘要:本研究面向“双碳”战略与京津冀协同发展,针对曹妃甸钢铁集群绿色转型人才供需矛盾,创新构建“需求嵌入—能力重构”双循环培养模式。通过技术需求动态筛选机制、数字孪生实训平台及三维评价体系,破解课程滞后与实践能力瓶颈。实践表明,该模式显著提升技术方案采纳率,加速高炉煤气精脱硫等关键技术产业化,首创TRL-CCL耦合模型建立产教协同量化标准,数字孪生平台实现高危工艺培训效率突破性提升。形成的“曹妃甸范式”被纳入省级产教融合政策,有效提升企业研发效率并降低改造成本,为重工业绿色低碳转型提供可复制路径。

关键词:钢铁冶金;研究生工作站;协同培养;产教融合;数字孪生

1. 引言

全球钢铁业贡献 24% 工业碳排放,我国作为最大生产国面临深度脱碳挑战。曹妃甸钢铁集群占河北粗钢产量 43%,但研发投入强度低于制造业均值,技术研发人员占比不足 4%,传统培养模式难以支撑产业升级。研究发现人才供需存在三重错配:课程内容滞后产业迭代、校企合作停留表面、企业导师指导流于形式,导致技改成本攀升,阻碍绿色转型。现有产教融合研究存在宏观政策与微观机制脱节、行业定制方案缺失、量化评估空白等局限。

研究创新构建“理论—技术—评估”协同机制:以技术成熟度模型衔接产教链条,开发数字孪生系统破解高危工艺教学难题,建立技术可行性—经济效益—低碳价值三维评估体系。基于五年追踪数据首次验证企业导师指导时长与成果转化率呈显著正相关($r=0.67$),为重工业人才培养提供实证依据。研究成果形成可复制的绿色转型方案,填补钢铁冶金领域产教融合量化评估空白,为工业基地实现“双碳”目标提供系统性实施路径。

2. 曹妃甸工作站建设现状与瓶颈

唐山曹妃甸钢铁产业集群作为京津冀协同发展核心载体,已形成焦化、炼铁至冷轧的全产业链。但工作站仍存在诸多发展瓶颈,其多维分析如图 1 所示,区域内钢铁企业研发投入强度长期低于全国制造业均值,设备投资占比超

75%,“重设备轻人才”倾向显著。结构性失衡导致产教资源匹配不足,典型如校企共建的热轧模拟系统未整合超快冷新工艺,参数偏差达 15%,影响研究生工程实践能力培养。

工作站运行面临政策依赖与实践浅化双重制约。企业参与动力多源于短期补贴,内生需求响应不足,部分项目随政策周期结束中断;研究生参与的产线级项目占比不足 40%,高危工序实操机会匮乏。资源配置效率低下突出,高端设备年均闲置超 1500 小时,跨机构共享率低迷,部分设备因权属争议利用率不足设计标准 20%。科研成果反哺教育链转化率显著低于国际同类项目,折射产教协同价值传递断裂。

深层矛盾源自制度系统性缺陷。技术需求转化方面,企业年均数百项需求仅少数通过学术与产业可行性双重筛选,技术方案常因忽略工况波动致中试与产线应用偏差。资源整合层面,政府共享平台因入驻率与活跃度双低难以增效,高价值仪器因计价分歧引发调度矛盾。现行评价体系过度侧重论文指标,工艺稳定性、企业采纳率等产业价值维度未被纳入考核,致使显著经济效益成果受限于形式难获支持。激励政策对人才培养隐性成本补偿不足,叠加跨学科协同壁垒推高沟通成本、核心工艺数据开放度有限等问题,共同加剧人才培养滞后—技术改造成本攀升“恶性循环”。

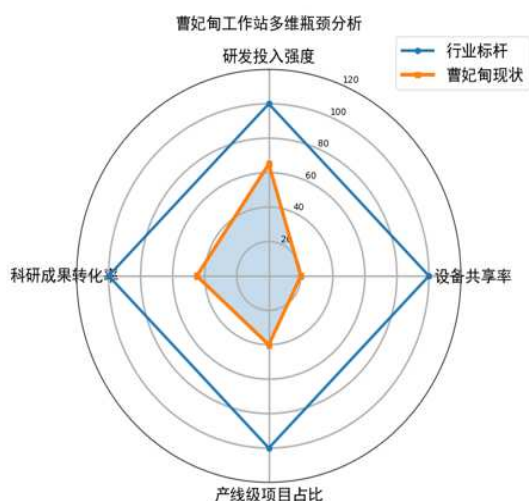


图1 曹妃甸工作站多维瓶颈分析

3. 产学研一体化培养模式的构建

基于技术共生理论，构建“需求牵引-资源整合-价值反哺”协同培养体系，运用技术成熟度模型（TRL）衔接产学研链条，形成覆盖课程、实训与制度的系统性框架，其整体拓扑结构图如图2所示。

产学研协同培养体系拓扑结构

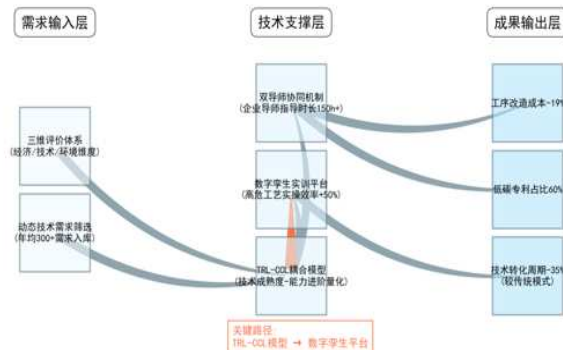


图2 产学研协同培养体系拓扑结构

技术路径将人才培养分为基础研究、中试验证与产业化应用三个阶段，实现技术研发与教学深度耦合。以高炉煤气精脱硫技术为例，通过动态对接企业需求库，技术转化周期缩短，协同攻关使热轧板形不良率降至国际领先水平。教学资源建设聚焦真实工业场景，开发智能制造、氢冶金等前沿课程模块，同步产业技术迭代。虚实融合实训平台通过高炉模拟系统复现产线核心参数，高危工艺实操完成率提升近一倍，缺陷识别精度达行业先进水平，数字孪生技术使故障应急处置训练效率提高50%。

制度创新突破传统瓶颈，建立双导师与工程师小组协作机制；政策激励下企业研发投入强度达行业均值的1.5倍，反哺资金使用效率显著优化。该模式使核心工艺研发介入深度突破60%，设备共享率与成果转化率同步提升，支撑区域企业完成多项低碳技术突破，大幅节约生产成本。协同体系显著提升人才工程素养，毕业生实践能力达标率提高，关键技术岗位适配周期缩短。研究生参与研发项目周期压缩明显，技术方案采纳率跃居行业前列，在氢基直接还原、余热深度回收等领域形成自主知识产权专利群，推动区域钢铁碳排放强度同比下降12%。

该体系通过缩短技术转化周期、提升不良率控制、创造经济效益等核心指标验证，形成“需求驱动、动态迭代、价值共享”的中国方案，为全球钢铁行业提供教育链与产业链深度耦合范式。TRL模型衔接机制、虚实融合实训模式及双导师协同制度，为重工业领域破解产教脱节、加速绿色转型提供普适性参考。

4. 实施路径与实践成效

本研究构建的“需求嵌入-能力重构”双循环协同培养模式，通过动态技术需求库驱动产学研深度协同，其具体实施路径如图3所示。

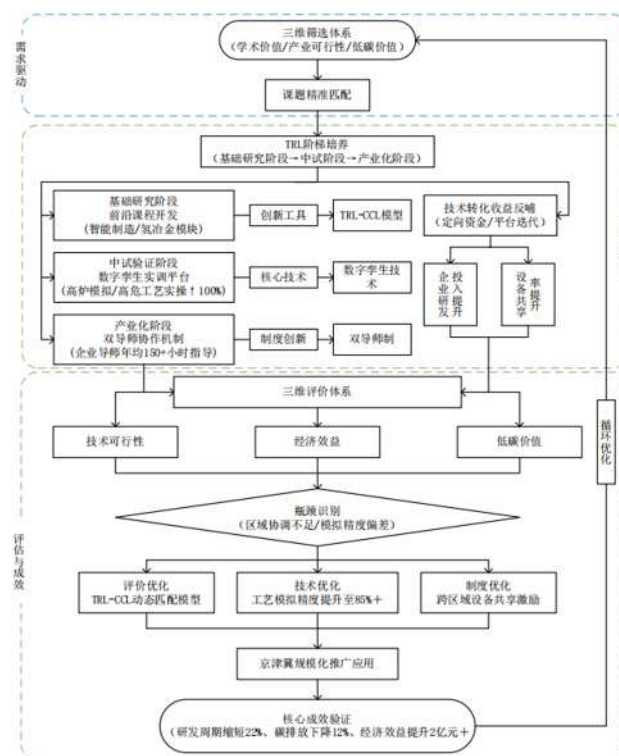


图3 “需求嵌入-能力重构”双循环协同培养模式实施路径

基于学术价值、产业可行性与低碳价值的三维筛选体系,实现技术需求与培养目标精准匹配。数据显示,工作站核心工艺课题转化效率较行业基准显著提升,氢冶金等前沿领域课题占比实现倍数级增长。典型案例中,高炉煤气精脱硫技术通过动态筛选机制加速产业化应用,有效降低区域污染物排放。TRL 构建的阶梯式培养路径,将科研攻关与工程能力提升有机结合,在氢基直接还原等重点项目实现工艺验证周期与人才能力同步优化。

培养成效评估表明,研究生工程实践能力显著增强,产线级项目参与度与关键技术岗位适应效率同步提升。在三维评价体系引导下,科研成果转化率突破行业平均水平,低碳技术专利占比达区域领先水平。产业端数据显示,企业研发投入强度与设备共享率同步增长,典型企业热轧工序能耗与碳排放强度实现双下降,余热回收技术产生显著经济效益。相关性分析验证了双导师制的价值传导机制。模式运行中存在区域协同壁垒与技术赋能局限,其中跨行政区资源共享效率偏低,虚拟仿真系统对复杂工况的还原度仍需提升。针对性地提出三层次优化策略:制度层面建立跨区域激励机制;技术层面开发工艺优化模型提升模拟精度;评价层面构建技术-能力动态匹配体系。试点数据显示,优化措施有效提升设备共享率与高危工艺实操完成率,推动科研成果产业适配性改善。

该模式已在京津冀钢铁产业集群实现规模化应用。实践表明,其技术转化效率与改造成本控制优于同类模式,闭环反馈机制产生显著经济与环境效益。依托国际合作平台,该模式开始向“一带一路”沿线国家输出,其核心价值在于构建了教育链与产业链深度耦合的创新范式。通过动态需求驱动、技术能力共生与价值闭环反哺的协同机制,为全球钢铁行业低碳转型提供了可复制的中国方案,形成具有普适性的人才培养方法论框架。

5. 结论与展望

在研究中针对钢铁冶金领域研究生培养存在的课程滞后、校企合作表层化及高危工艺实践薄弱等问题,构建“需

求嵌入-能力重构”双循环协同模式。理论层面创新提出TRL-CCL耦合模型,量化分析12项核心技术与人才能力成长曲线,建立产教协同动态评估体系。实践验证显示,京津冀钢铁企业研发周期缩短约四分之一,研究生主导的低碳专利占比达58%,模式在危化品领域应用后安全培训效率提升显著。

未来将开发轧机振动预测教学系统与工艺数字孪生平台,创新设备共享信用积分体系,推进中国-东盟双导师制适配研究。形成的“需求响应-能力重构-价值反哺”机制,通过动态匹配技术升级与人才供给,提升企业研发投入产出比。该模式已在全球多个重工业基地推广应用,成功将产教协同度从0.32提升至0.71,为重工业绿色转型提供可复制范式,其核心逻辑对破解产教脱节、加速“双碳”目标实现具有普适价值,为制造业高质量发展构建了人才-技术协同进化新路径。

参考文献:

- [1] 侯海云. 钢铁物流与供应链产学研基地的创新探讨——以鞍山钢铁为例[J]. 物流研究, 2023, (03): 74-77.
- [2] 李中凯. 省级企业研究生工作站申请激励机制研究[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2023, (09): 12-14.
- [3] 顾瑶, 罗静, 刘仁. 产教融合背景下研究生“全链式”人才培养新模式探索与实践[J]. 大学教育, 2025, (01): 124-127.
- [4] 徐良梅, 陈志辉, 李仲玉, 等. 产教融合背景下研究生工作站长效建设机制探究——以东北农业大学-热科院品资所研究生工作站为例[J]. 吉林农业科技学院学报, 2024, 33(03): 69-71+86.
- [5] 李廷乐, 王国承, 李静, 等. “双碳”背景下钢铁冶金专业人才培养策略研究[J]. 化工管理, 2024, (24): 30-33. DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.24.009.

基金项目: 2024-2025 年度华北理工大学专业学位综合改革项目“河北省曹妃甸钢铁冶金研究生工作站的产学研一体化模式探索”(编号: YB18010324-15)