Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 54-59
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112356

Hans汉斯

绿色转型背景下煤化工课程群π型人才可持续竞争力培育研究

——以绿色工程问题链为主线

朱亚明*，程俊霞，李　晓，高　云

辽宁科技大学化学工程学院，辽宁　鞍山

收稿日期：2026年9月30日；录用日期：2026年10月25日；发布日期：2026年11月2日

摘　要

煤化工产业的绿色转型使工程人才不仅需要掌握生产工艺，还必须理解能源效率、污染控制、安全合规和社会责任。围绕新工科建设，文章从可持续竞争力的形成机制切入，以π型人才的两类专业技能与跨领域整合能力为目标，提出煤化工课程群的绿色育人路径。第一能力柱为煤转化与系统设计，第二能力柱为环境安全与数字分析；横向知识桥连接法规伦理、经济评价和团队协作。基于以学生为中心的成果导向教育理念，课程群将真实绿色转型问题贯穿知识学习与实践，运用PBL与5E结合的过程教学，引导学生在问题提出、证据探究、机理解释、情境迁移和评价改进中形成复合性、发展性、创新性与竞合性。研究进一步提出价值责任与工程能力融合的评价量规及校企共同改进机制，为煤化工领域应用型人才培养提供设计框架，改革效果尚需实证检验。

关键词

煤化工课程群，π型人才，绿色转型，可持续竞争力，工程伦理，过程评价

Research on Cultivating the Sustainable Competitiveness of π-Shaped Talent in the Coal Chemical Engineering Course Cluster under the Background of Green Transformation

—Taking the Green Engineering Problem Chain as the Main Line

Yaming Zhu*, Junxia Cheng, Xiao Li, Yun Gao

*通讯作者。

文章引用: 朱亚明, 程俊霞, 李晓, 高云. 绿色转型背景下煤化工课程群 π 型人才可持续竞争力培育研究[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 54-59. DOI: 10.12677/ae.2026.16112356

School of Chemical Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: September 30, 2026; accepted: October 25, 2026; published: November 2, 2026

Abstract

Green transformation in coal chemical engineering requires engineering professionals to integrate process expertise with energy efficiency, pollution control, safety, legal compliance, and social responsibility. Focusing on the construction of new engineering disciplines, this paper starts from the formation mechanism of sustainable competitiveness and, aiming at the two types of professional skills and cross-domain integration ability of π-shaped talents, proposes a green education pathway for the coal chemical engineering course cluster. One skill pillar concerns coal conversion and system design; the other concerns environmental safety and digital analysis. A horizontal knowledge bridge connects law, ethics, economic evaluation, and teamwork. Based on the student-centered outcome-based education concept, the course cluster integrates real green transformation problems into knowledge learning and practice, and adopts process teaching that combines PBL with the 5E model, guiding students to develop composite, developmental, innovative, and cooperative qualities through problem posing, evidence inquiry, mechanism explanation, contextual transfer, and evaluation improvement. The study further proposes an evaluation rubric integrating value responsibility with engineering competence and a school-enterprise joint improvement mechanism, providing a design framework for cultivating applied talents in the coal chemical field; the reform effects still require empirical testing.

Keywords

Coal Chemical Engineering Course Cluster, π-Shaped Talent, Green Transition, Sustainable Competitiveness, Engineering Ethics, Process Evaluation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

煤化工既关系能源资源利用，也面临高能耗、高排放和安全风险等复杂约束。在绿色低碳发展背景下，技术方案能否成立不能只看产量和成本，还要考虑碳效率、污染物治理、职业健康及法律责任。煤化工教育因此必须将工程技术与可持续发展判断结合起来。

π 型人才具有两类以上较深的专业技能，并能用横向知识联系多领域问题。对于煤化工学生，若只有工艺知识而缺少环境安全判断，难以完成绿色转型任务；若只有一般环保意识而缺少流程技术，也难以提出可实施方案。复合性、发展性、创新性和竞合性共同构成可持续竞争力。

国际上，可持续发展工程教育已形成若干代表性框架。CDIO 模式以构思、设计、实施、运行组织工程能力培养，强调产品与系统全生命周期[1]。Wiek 等[2]提出可持续发展关键能力框架，包括系统思维、预期、规范、策略和人际协作等；Segalàs 等[3]发现，以真实问题和主动学习为中心的课程更能促进可持续工程能力形成。这些模型为绿色工程教育提供了通用原则，但多面向通用工程课程或单门课程，对煤化工课程群如何以绿色转型问题链贯通双专业技能和横向整合，尚缺少具体设计。

PBL 以真实问题驱动知识建构和证据推理。已有研究表明，其有助于发展高阶思维、自主学习和系统

分析能力[4] [5]。5E 模型通过参与、探究、解释、拓展和评价五个环节组织探究过程，在科学和工程教育中用于促进概念理解与迁移[6]。有研究从化工系统课程群、工程素质和低碳教学角度提出改革思路[7]-[11]，也有研究尝试 PBL 与 5E 联合用于具体课程[12] [13]，但课程间知识如何服务绿色决策、职业价值如何转化为工程行为、过程证据如何支撑能力评价，仍需要一体化设计。本文不将绿色内容作为独立附加章节，而以真实低碳转型问题作为课程群共同载体，探索“目标－问题－探究－评价－改进”的组织方式。成果导向教育提供反向设计原则，PBL 与 5E 组合提供学习过程结构[12] [13]。与既有研究相比，本文强调课程间任务接口、绿色责任证据和校企协同机制，试图为煤化工课程群绿色转型提供可操作框架。

2. 可持续竞争力的能力内涵

2.1. 复合性来自双技能纵深

煤转化与系统设计能力要求理解煤质、气化、净化、合成和分离环节之间的因果关系；绿色安全与数字分析能力要求掌握碳排放核算、污染控制、风险辨识和过程数据分析。两条能力柱都需达到可独立分析问题的深度，不能将第二柱简化为常识性介绍。

课程群应将单元计算与全流程决策相连接。例如，同一净化方案既要评价合成气纯度和能耗，也要考察废水废气处理、安全性和合规性。学生在多约束中形成技术与责任并重的工程判断。

2.2. 发展性来自持续学习与迁移

煤化工技术路线随能源结构、环保政策和数字技术变化而调整，学生不可能在校期间掌握所有未来技术。发展性体现为能够识别知识缺口、理解新标准、迁移原理并重新验证方案。课程群可通过不同煤种、工况和排放边界的递进任务训练这一能力。将学习档案作为发展性证据，记录初始假设、资料更新、模型修订和反思。教师评价重点不是一次答案是否完美，而是学生能否根据新证据修正判断，并解释修正的依据。π 型人才可持续竞争力与证据的对应关系见表 1。

Table 1. Sustainable competitiveness and evidence for π-shaped talent
表 1. π 型人才可持续竞争力与证据

竞争力特征	能力表现	主要证据
复合性	双技能与跨界整合	全流程方案
发展性	更新知识并迁移	修订档案
创新性与竞合性	约束内优化、协作担当	方案比较、团队记录

两条专业能力柱与横向知识桥须在真实任务中共同发挥作用。学生不仅解释工艺过程，还要说明其环境代价、安全边界与法规依据，并依据新证据修订判断。

2.3. 创新性与竞合性共同指向责任

创新性不是脱离约束追求“新”，而是在安全、资源与环境边界内提出更优方案。竞合性既包括团队内协作，也包括面对不同方案和利益诉求时开展有根据的比较。新工科改革要求知识交叉与产业协同，这为两种能力提供了现实场景[7]-[9]。

以煤炭开采运输、转化生产、产品使用和废弃物处置的全生命周期视角设置问题链。基础课程提供物质转化与能量利用原理，核心课程解释工艺与装备运行，拓展课程分析碳足迹、污染治理、职业健康和法规标准，综合实践完成多目标方案比较。

课程地图应标出每个指标的引入、强化与达成位置。前序课程提供可靠数据和模型，后序课程用新

约束重新检验模型；环保、安全与伦理内容不集中放在最后，而在每个关键工艺节点持续出现。

3. 绿色导向的课程群重构

3.1. 建设绿色工程问题链

问题库优先收集企业节能减排、余热利用、废水循环和异常工况等脱敏案例，并为每个案例提供工艺边界、数据来源、法规要求、风险提示和可供比较的方案。学校教师负责难度分级，企业导师负责工程真实性审查。案例应避免给出唯一“正确工艺”，而应呈现成本、排放、能源效率和安全之间的权衡。学生需说明采用何种评价标准、数据有哪些不确定性、方案对员工及周边环境有何影响。绿色工程问题链及课程群分工见表 2。校企“双元”育人研究表明，企业实质参与有助于真实场景进入培养过程[14]。

Table 2. Green engineering problem chain and course-cluster responsibilities
表 2. 绿色工程问题链及课程群分工

问题节点	课程群知识	绿色责任	成果
煤转化与治理	反应、能量、分离	资源效率、排放合规	工艺与治理方案
系统决策	经济与数据	安全伦理	综合报告

科技强国的价值引导可落在我国煤炭清洁高效利用和关键技术自主创新的实际问题上；环境保护与可持续发展应转化为可计算、可验证的方案约束；职业理想、职业道德及遵守宪法和法律的要求应体现在数据真实、风险报告、环保合规和对公共利益负责的行为中。教师不宜用口号替代论证，可设置排放数据异常、经济收益与治理成本冲突、设备停机与安全风险权衡等情境，让学生查阅标准、讨论各方责任并形成书面决策记录。评价其证据质量、法规适用和风险沟通，而不是评价表态是否响亮。

3.2. 校企协同运行机制

绿色工程问题链的持续运行依赖稳定的校企协同，不能停留在案例提供和讲座参与。可采取四项措施：一是共建课程，学校教师与企业专家共同确定课程目标、案例标准和评价量规，企业案例经脱敏后进入问题库；二是设立企业项目基金，支持真实绿色转型小课题、学生创新项目和案例维护；三是聘任企业兼职教授或导师，承担阶段答辩、方案评审和专题讲座，并纳入教学工作量认定；四是建立学生实习基地，将余热利用、废水循环、异常工况等现场问题转化为教学任务。企业导师负责工程真实性、数据边界和风险提示，学校教师负责难度分级、理论深度和学习公平，形成“问题入库、任务转化、双导师指导、答辩评价、反馈改进”的闭环。

潜在障碍包括时间成本、知识产权、数据保密、教师协同工作量和评价一致性。应对方案将签订校企合作协议，明确案例使用范围、保密期限和成果归属；对企业数据脱敏处理，设置数据分级和访问权限；采用双导师制，企业导师参与关键节点而非全程跟课；将校企协同工作量纳入考核和绩效；通过联合教研和统一量规培训保证评价一致。试点阶段宜选择稳定合作企业和可获得数据的项目，再逐步扩大问题库。

3.3. 价值判断与跨界协作

在稳定校企协同机制下，同一项目由不同学生分别承担工艺设计、碳核算、环境治理、数据分析和法规检索，并通过共同评审整合。角色轮换使学生理解其他岗位的知识逻辑，避免“分工即割裂”。企业导师介绍现场约束，学校教师保障理论深度和学习公平。

团队需要公开记录争议、替代方案和决策依据。个体评价既看本岗位的专业贡献，也看对跨界沟通和整体方案的贡献。由此使“π”的两竖与一横在协作过程而非仅在培养目标表述中得到体现。

4. PBL + 5E 绿色工程教学

4.1. 从真实冲突到证据探究

在参与阶段呈现煤化工装置的能耗与排放数据，让学生提出“减排是否必然降低经济性”等问题。探究阶段查阅工艺资料与法规标准，开展流程模拟、物料衡算和排放核算。PBL 提供开放问题，5E 保证探究沿证据逐步推进。

解释阶段要求学生将数据变化与反应、分离和能量耦合机制联系起来；拓展阶段引入煤质波动、设备限制或更严格排放约束，要求重构方案；评价阶段通过答辩、同伴质询和企业导师反馈比较技术、经济、环境与安全结果。

4.2. 典型任务的方案比较

例如，某气化工段拟提高转化率但增加耗水，学生须分析气化条件与合成气组成、估算水足迹、比较水循环方案并识别安全风险。最终报告需明确取舍依据与不可接受的风险边界，不能只呈现最优指标。绿色工程“PBL + 5E”过程与责任证据见表 3。

Table 3. Process and responsibility evidence in green engineering “PBL + 5E”
表 3. 绿色工程“PBL + 5E”过程与责任证据

学习环节	主要活动	技术证据	责任证据
参与与探究	识别低碳冲突	数据与假设	法规检索
解释与拓展	机理分析、方案迁移	模型版本	风险比较
评价与改进	多方质询	设计报告	合规说明

评价兼顾知识、能力和价值：检查工艺机理、建模与验证，也检查环保安全、数据诚信及法律意识。个人记录、团队方案、答辩与企业反馈共同构成证据；创新方案须先满足安全与合规底线。

4.3. 多维评价与持续改进

各课程共享量规与成长档案，学期末联合分析能力断点、案例数据不足和价值讨论空泛等问题，明确改进责任。企业反馈需经教师团队解释后进入教学调整。学生资料限定用途，现场高风险任务提供替代方案；后续通过跨届作品盲评与毕业跟踪检验实际成效。

5. 改革特色与实施边界

5.1. 从绿色知识点走向决策能力

绿色发展不再是孤立知识点，而成为贯穿工艺方案形成与检验的决策原则。学生在多目标权衡中理解环境代价和社会责任，绿色素养因而与专业能力同步生成。

5.2. 从静态复合走向动态发展

π 型人才的价值不只在入职时掌握两种技能，更在于能否持续吸收新知识、适应新技术并和不同岗位协同。递进问题链与成长档案使这种动态能力可以被培养和观察。

5.3. 以责任性证据评价竞争力

过程教学保留数据来源、假设修订、风险识别和协作记录，使评价能够追溯学生如何作出决策。结果好但证据不可靠的方案不能获得高评价，形成职业伦理的内在约束。改革依赖企业案例持续供给、跨

课程教师协同和合理的教学工作量。应从少量问题库试点入手，逐步建立量规一致性与数据治理机制；对不同学生基础和企业参与程度开展比较，检验方案的适用边界。

6. 结语

煤化工课程群应以绿色转型中的复杂问题为牵引，培养兼有煤转化工艺能力、环境安全与数字分析能力，并可横向整合知识的 π 型人才。以成果导向教育明确目标，以“PBL + 5E”组织过程，以绿色决策和工程责任检验学习结果，有助于将复合性、发展性、创新性和竞合性落实到可观察的培养环节。改革的实际成效仍需持续实施和严格评价。

基金项目

本文受辽宁省本科教学改革研究项目(2025YBXM0214)、辽宁科技大学研究生课程思政教育示范课建设项目《材料现代研究方法》(2025YJSCX33)、辽宁省研究生教育教学改革研究项目(LNYJG2023101)资助。

参考文献

[1] Crawley, E.F., Malmqvist, J., Östlund, S., *et al*. (2007) Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. Springer.

[2] Wiek, A., Withycombe, L. and Redman, C.L. (2011) Key Competencies in Sustainability: A Reference Framework for Academic Program Development. *Sustainability Science*, **6**, 203-218. https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6

[3] Segalàs, J., Ferrer-Balas, D. and Mulder, K.F. (2010) What Do Engineering Students Learn in Sustainability Courses? The Effect of the Pedagogical Approach. *Journal of Cleaner Production*, **18**, 275-284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.012

[4] 苏延停, 许波. 新医科背景下生物化学混合教学改革——基于 OBE 理念的探索与实践[J]. 湖北科技学院学报, 2026, 46(5): 119-124.

[5] 董佳, 等. 基于 PBL 模式的四步螺旋法中学化学教学设计[J]. 教育现代化, 2019, 6(78): 171-173+189.

[6] 马凡, 李玉顺, 蒋芮, 等. 面向多维场景的教育测评智能体: 开发应用与效果验证[J]. 现代教育技术, 2026, 36(7): 120-129.

[7] 吴峰, 吴乐, 陈立宇, 等. 基于工程教育专业认证的化工系统课程群教学体系的构建[J]. 化工高等教育, 2021, 38(1): 38-41.

[8] 侯莉, 姜洋, 高发明, 等. 材料化学专业“超级金课”课程群建设探索[J]. 化工高等教育, 2020, 37(6): 44-49.

[9] 王磊, 王文华, 田晖, 等. 新工科建设背景下化工专业学生工程素质强化培养的探索——以化工工艺学相关课程为例[J]. 化工高等教育, 2021, 38(1): 47-51.

[10] 程欢, 郭瑞, 鲁婷, 等. 碳中和元素融入《煤化工工艺学》课程教学的改革与探索[J]. 广东化工, 2025, 52(24): 139-142.

[11] 史利娟, 王宁远, 付子卓, 等. 碳中和背景下“能源化工工艺学”课程教学改革与设计——“煤化工工艺”课改案例[J]. 化工高等教育, 2024, 38(1): 81-83.

[12] 兰珊. 基于实践人才培养的“5E”+OBE 教学模式探讨[J]. 农机使用与维修, 2024, 51(7): 173-176.

[13] 刘亚莉, 樊荣, 李娟, 等. PBL 联合 5E 教学法在心衰病例教学中的应用[J]. 心脏杂志, 2022, 34(5): 604-608.

[14] 申晓欣. 产教融合背景下高校校企“双元”育人模式的创新与实践[J]. 吉林广播电视大学学报, 2024(5): 40-42.