

人工智能赋能化工教育教学改革：课程体系重构与实践路径探索

章平平*, 周视玉, 唐传球

汉江师范学院化学与环境工程学院, 湖北 十堰 442000

摘要: 在“新质生产力”背景下, 化工行业智能化进程的不断推进使得对具备智能技术素养的高素质化工人才的需求愈发迫切。如何在化工领域实现此类人才的有效培养, 已成为高等教育教学改革中备受关注的课题。基于此, 本文围绕“新质生产力”这一理念, 深入探讨化工智能人才培养的路径与策略, 以期为化工专业的教育教学改革提供一些思路与建议。

关键词: 新质生产力; 智能化工; 体系重塑; 创新引领

中图分类号: G64; O6

AI-Empowering Educational Reform in Chemical Engineering: Curriculum System Restructuring and Practical Pathway Exploration

Pingping Zhang*, Shiyu Zhou, Chuanqiu Tang

Department of Chemistry and Environmental Engineering, Hanjiang Normal University, Shiyan 442000, Hubei Province, China.

Abstract: In the context of “new quality productive forces”, the accelerating intelligent transformation of the chemical industry has created an urgent demand for high-quality chemical engineering professionals with intelligent technology literacy. The effective cultivation of such talents has become a critical focus in higher education reform. This paper, centered on the concept of “new quality productive forces”, thoroughly explores the pathways and strategies for developing intelligent chemical engineering talents, aiming to provide insights and recommendations for the educational reform in chemical engineering.

Key Words: New quality productive forces; Intelligent chemical engineering; System restructuring; Innovation leadership

新质生产力是由信息技术与智能技术驱动的创新型生产要素, 重新定义了物质资本与人力资本的边界, 成为推动经济高质量发展的关键动力。特别是在化工行业, 新质生产力的核心表现为人工智能(AI)、大数据、云计算和物联网(IoT)等技术的深度融合, 正深刻改变传统生产方式, 推动产业向智能化和自动化转型。这变革提升了化工生产流程的智能化水平, 也使得对化工人才的需求从传统单一技能转向具备智能技术和跨学科能力的复合型人才^[1,2]。如何在新质生产力浪潮中培养具备高素质智能化技能的人才, 已成为教育界和产业界共同关注的关键课题^[3,4]。

国内外高校在化工智能人才培养方面已取得一定成效。作为“工业4.0”的发源地, 德国在化工智能化教学实践中走在了前列。亚琛工业大学率先开设了智能化工厂管理等跨学科课程, 旨在培养

学生在化工生产中的智能控制与大数据分析能力^[5]。麻省理工学院通过设置“工程计算”(Engineering Computation), 将人工智能与数据科学融入化学工程本科教育, 强化学生在计算建模与智能分析方面的能力。该方向注重基础工具与工程应用的结合, 体现了国际顶尖高校在推动化工与智能技术融合方面的积极探索^[6]。日本东京大学更为注重学生的实践操作, 通过安排学生参与智能工厂的实习项目, 使其在生产中积累丰富的实际经验^[7]。这些国家的高校在化工智能化人才培养中的成功经验表明, 跨学科融合、重视实践以及产学研结合是其主要特点。相比之下, 国内化工类高校在智能化人才培养方面起步较晚, 但近年来也在积极探索创新路径, 以适应新兴科技在化工领域的应用需求。清华大学、浙江大学等高校已将大数据与智能控制等课程引入化工专业, 旨在让学生掌握先进的数据分析方法、人工智能技术以及过程控制理论, 从而提升其在智能化技术方面的综合能力^[8]。上海应用技术大学通过虚拟仿真软件的创新应用, 特别是在智能工厂实景构建方面, 已将现代化工厂虚拟仿真实习纳入课程体系, 旨在有效提升学生的实践操作能力和工程素养^[9]。哈尔滨工业大学(深圳)则将跨学科融合作为培养特色, 特别是在人工智能与化学的结合上, 致力于培养学生的多元思维和科研素养, 从而激发创新兴趣^[10]。太原理工大学则注重人工智能与自动化技术的结合, 通过优化课程体系, 为学生提供扎实的理论基础和丰富的实践机会, 提升其在智能化工领域的综合能力^[11]。

然而, 高校在化工智能人才培养中仍面临诸多挑战, 如课程体系难以完全匹配智能化发展的需求, 以及化工与智能技术课程融合不够深入等。同时, 校企共建实验室受限于硬件条件和企业参与度, 导致学生实践经验不足。因此, 需进一步优化课程体系, 深化产教融合, 强化并拓展实践教学资源, 为化工行业适应快速变革与迈向智能化转型提供有力的人才支撑和创新驱动。

1 智能革新: 化工行业的范式转移与系统性变革

AI赋能的分子工艺优化、生产自动化和智能供应链协同, 正在重塑传统模式, 推动生产向高效、精细的闭环反馈系统迈进。AI与数据分析的结合, 使管理体系更加智能化与科学化, 大幅提升了化工企业的响应速度与资源配置效率。这些变革不仅促进了生产效率和能源利用的深度优化, 更催生了以下关键领域的创新。

(1) AI助力化工安全: 预测与主动预防。化工行业面临的安全问题具有高度复杂性, 一旦发生事故, 可能直接造成严重的人员伤亡、财产损失, 而引发的环境污染问题, 更会通过生态破坏、资源短缺等衍生影响, 持续威胁人类生存与发展。AI技术的引入为化工行业提供了新的解决方案, 通过机器学习和数据分析, AI可以预测潜在故障, 帮助企业主动预防事故的发生。例如, 壳牌公司(Shell)采用了AI驱动预测维护系统, 该系统利用机器学习算法对设备的温度、压力和振动等参数进行实时监测和分析, 从而成功避免了可能导致停机的故障, 确保了生产的连续性^[12]。同样, 巴斯夫(BASF)公司在其工厂内引入AI系统来监控生产设备的运行状况, 通过分析数千个传感器的数据, AI系统能够预测设备的磨损情况, 并建议最佳维护时间, 从而避免了突发设备故障, 降低了停机时间^[13]。

(2) AI与虚拟现实: 革新安全培训。化工行业的高风险操作要求员工具备极高的安全意识和操作技能。传统的安全培训通常依赖课堂教学和有限的现场演练, 无法全面涵盖所有潜在的危险场景。AI结合虚拟现实(VR)技术为化工企业提供了一个安全、高效的培训方式, 员工可以在虚拟环境中模拟和应对各种紧急情况, 学习如何处理化学品泄漏、设备失控等高风险事件。例如陶氏化学(Dow Chemical)利用AI和虚拟现实技术对员工进行安全培训, 在生产基地中实施了虚拟现实(VR)培训计划, 通过模拟各种危险场景, 如化学品泄漏或火灾, 员工可以在没有实际风险的情况下进行操作演练。通过这一技术, 显著降低了事故发生率, 同时提高了员工的应急反应能力^[14]。

(3) AI推动研发与分子设计。在化工行业中, AI的应用不仅限于生产过程, 还广泛应用于研发创新领域, 尤其是分子设计和材料开发方面。传统的分子设计通常依赖科研人员的经验和实验, 效率较低。AI通过深度学习算法和生成对抗网络(GAN), 能够基于现有的化学数据生成满足特定需求的

新分子结构,大幅减少实验时间和成本。例如杜邦(DuPont)通过应用深度学习算法,快速筛选出具有特定性能的分子结构,开发了一种高效的隔热材料,其开发周期比传统方法缩短了约40%^[15]。

(4)AI优化绿色化学合成工艺。绿色化学旨在减少或消除有害物质的使用,AI技术通过优化化学合成工艺为绿色化学的发展提供了支持。通过AI对大量实验数据的分析,研究人员能够找到最优的化学反应条件,减少废物的生成和能耗。例如科莱恩(Clariant)是全球领先的特种化学品公司之一,通过AI分析历史反应数据,找到了最优的化学反应条件,减少了废物的产生并显著降低了能耗。通过这一优化系统,科莱恩将一个常用塑料替代品的生产成本降低了15%,同时减少了对环境的影响^[16]。再如赢创工业集团(Evonik Industries)也采用了类似的AI系统,用于优化其绿色化学反应的工艺参数。该公司通过AI技术找到更加可持续的溶剂和催化剂,减少了污染物排放,并提高了生产效率^[17]。

(5)AI与工程师协作:工艺优化与能效提升。AI不仅可以在生产过程的设计中发挥作用,还可以与工程师协作优化工艺参数,以提高生产效率并降低资源消耗。通过AI实时监控生产设备的运行状态,AI系统能够自动调整生产条件,确保资源的最佳利用。例如埃克森美孚(ExxonMobil)采用了AI技术与工程师协作,通过分析历史操作数据和实时生产参数,自动调整反应器的温度和压力,从而优化了裂解反应器的操作条件。这一技术不仅降低了10%的能源消耗,还提高了整体生产效率^[18]。此外,雪佛龙(Chevron)也通过强化学习算法优化石化工艺的操作条件,实现了反应过程的动态调整,减少了资源浪费,同时提高了化学产品的产量和质量^[19]。

2 智启未来:化工智能化下的人才需求新范式

随着化工行业范式的深度转型与系统性变革,传统的人才培养模式已难以匹配行业对新型跨领域技术人才的需求。特别是具备AI、大数据分析及自动化控制能力的工程师,正成为驱动化工企业迈向智能化、绿色化与可持续发展的关键引擎。为了更好地应对行业变革带来的挑战,人才培养亟需顺应新趋势,提升关键能力与综合素质。

(1)多学科融合的能力。化工工程师的角色正在发生转变。过去,他们主要依赖于化工原理和生产工艺的专业知识,而今天,化工行业的智能化发展要求工程师必须具备跨学科的知识结构,特别是AI、大数据分析、自动化控制、物联网(IoT)等领域的技能。这些技术可以帮助工程师更好地理解和控制复杂的生产流程,并对生产过程进行实时优化,最终提升资源利用效率和企业竞争力。

(2)数据分析与智能决策能力。随着智能工厂与物联网的普及应用,化工生产的每个环节都在生成海量数据,促使工程师必须具备更强的数据分析和智能决策能力。通过数据清洗、特征提取、模式识别等技术手段,工程师可以迅速识别生产过程中的潜在规律和瓶颈,进而优化工艺参数以提高效率。结合大数据与机器学习模型,工程师不仅能够实时监测设备运行状态,还能预测和预防潜在故障,从而保障生产的连续性并最大程度减少停机时间。这种数据驱动的分析能力显著增强了生产的稳定性和整体效率,同时帮助企业复杂且不确定的生产环境中作出更加科学的决策,推动化工行业从经验驱动向智能化、数据驱动的方向快速转型升级。

(3)创新思维与实践能力。在智能化时代背景下,化工行业对创新思维的需求尤为突出。新兴化工企业必须具备灵活应对市场波动和技术快速变革的能力,而这种能力的培养源于学生在校期间的创造性实践。通过项目式学习、跨学科项目、实习以及企业合作研究,学生能够将学术知识与前沿技术结合,提出创新的工艺优化方案,并在真实或模拟的工业环境中解决具体问题,从而提升创新思维与实践应用能力。这些实践经历不仅帮助企业应对生产中的实际挑战,也使未来的工程师具备在多变环境中灵活应用技术的能力。

3 智能赋能:创新人才培养体系的构建策略与路径探索

化工智能化变革对人才培养提出了新要求,聚焦于顺应行业智能化转型的趋势,培养具有多元知识结构的复合型人才。为将这些要求转化为系统化的培养模式,可从四个关键维度着手:迭代完

善培养目标, 优化重构课程体系, 深度融合跨学科模块, 搭建高效联动的实践教学平台。通过这些举措, 逐步实现教育与产业的深层协同, 推动化工领域人才供给的精准化和前瞻性发展。

3.1 人才培养目标迭代

首先, 化工专业的人才培养目标宜根据行业的发展趋势进行调整, 明确化工与新兴技术的深度融合, 前瞻性地规划人才培养战略, 以适应未来需求。其次, 人工智能、大数据和物联网等技术正在重塑化工行业, 从智能工厂到流程优化, 传统生产方式正被革新。因此, 人才培养应强调跨学科融合, 既夯实学生的化工专业基础, 又提升其综合运用先进技术解决复杂工程问题的能力与素养。同时, 职业道德和责任意识的培养不可或缺, 特别是在环境保护和公共安全领域。化工专业的学生应具备深厚的社会责任感, 以应对行业中与公共利益相关的挑战。此外, 在全球化背景下, 化工人才需具备全球竞争力, 培养体系应鼓励学生了解国际动态, 参与跨国项目, 提升国际化意识和多元文化沟通能力, 助力中国化工行业在国际舞台上取得更多话语权。最后, 创新思维应成为核心目标。面对技术变革, 只有具备创造力和持续创新能力的人才, 才能推动行业不断进步。

综上, 化工人才培养目标应在考虑行业需求、技术发展、职业道德、国际化视野和创新能力的基礎上, 构建跨学科、多领域融合、创新型培养体系, 培养具备全球竞争力的化工人才, 助力化工行业的智能化和可持续发展。

3.2 课程体系设计理念重塑

在调整培养目标的基础上, 课程体系的设计理念也需同步优化, 从而构建更加灵活、多元且具适应性的教学体系, 全面提升学生的创新能力和综合竞争力。

(1) 从一元到多元: 跨学科融合。当前的课程体系仍以化工原理、物理化学等传统核心课程为主, 尽管这些课程奠定了坚实的理论基础, 但在智能应用技术方面覆盖不足。随着行业对数据分析、建模仿真及过程控制等领域的需求增长, 跨学科课程的重要性愈发突出。因此, 课程体系需从单一走向多元, 不仅强化传统核心课程, 还应增加分析、建模及智能化工相关实务课程的比重, 培养学生在掌握传统知识的同时, 具备在大数据和人工智能背景下的跨学科能力。

(2) 从繁到简: 精简优化基础课程。智能化技术的飞速发展使得大量基础计算和重复性工作将逐步被智能机器人取代。因此, 基础课程的设置应从繁冗转向精简, 突出“精”与“专”。传统的化工基础课程虽然重要, 但其中的一些冗余内容可以通过优化删减, 将重点放在培养学生的关键知识掌握能力和逻辑思维能力上。基础课程的改革可以在优化内容的同时, 采用更加灵活和应用导向的教学方式。例如, 将物理化学、化工原理等核心课程与智能化工厂的实际案例相结合, 强化学生的实践能力。此外, 进一步引入与人工智能相关的基础内容, 确保学生能够适应未来智能化工厂对专业基础的全新要求。

(3) 从学科割裂到交叉共生: 信息技术与化工的深度融合。智能工厂的出现使传统化工行业迈入全新阶段, 对生产管理、决策和优化提出了更高要求, 而这些任务往往超出单纯人工智能的能力。因此, 化学化工类专业课程需在深度上拓展, 以培养学生系统化的管理和决策能力。为此, 课程体系应增设“化工过程建模”“智能化工集成系统”等实务课程, 使学生掌握智能工厂的关键流程与技术, 包括供应链协同优化、智能运营及生产过程优化, 实现全流程智能管理。此外, Python、MATLAB、R语言和SQL等编程工具在化工环节中的应用, 为学生提供了强大的数据分析与建模能力(图1)。Python和MATLAB用于工艺参数优化和故障预测, R语言处理复杂统计数据, SQL则管理和集成大规模数据。这些工具为学生提供了解决复杂实际问题的手段, 帮助他们在未来智能化工厂环境中具备多维胜任能力。

3.3 跨学科视域下的模块化课程体系重构

随着课程体系设计理念的逐步优化, 教育模式正由单一学科教学向多学科融合方向转变。这一变化为跨学科模块化课程体系的构建带来了新的契机。因此, 课程体系在夯实化工核心理论基础的同时, 也可适度延展至数据科学、物联网和工业人工智能等相关学科^[20,21]。通过跨学科模块的融合,

课程体系可在“精、深、增、融”策略的指导下，涵盖基础知识、专业核心、技术拓展与实践应用，从而更全面地适应智能化和数字化转型的大趋势。

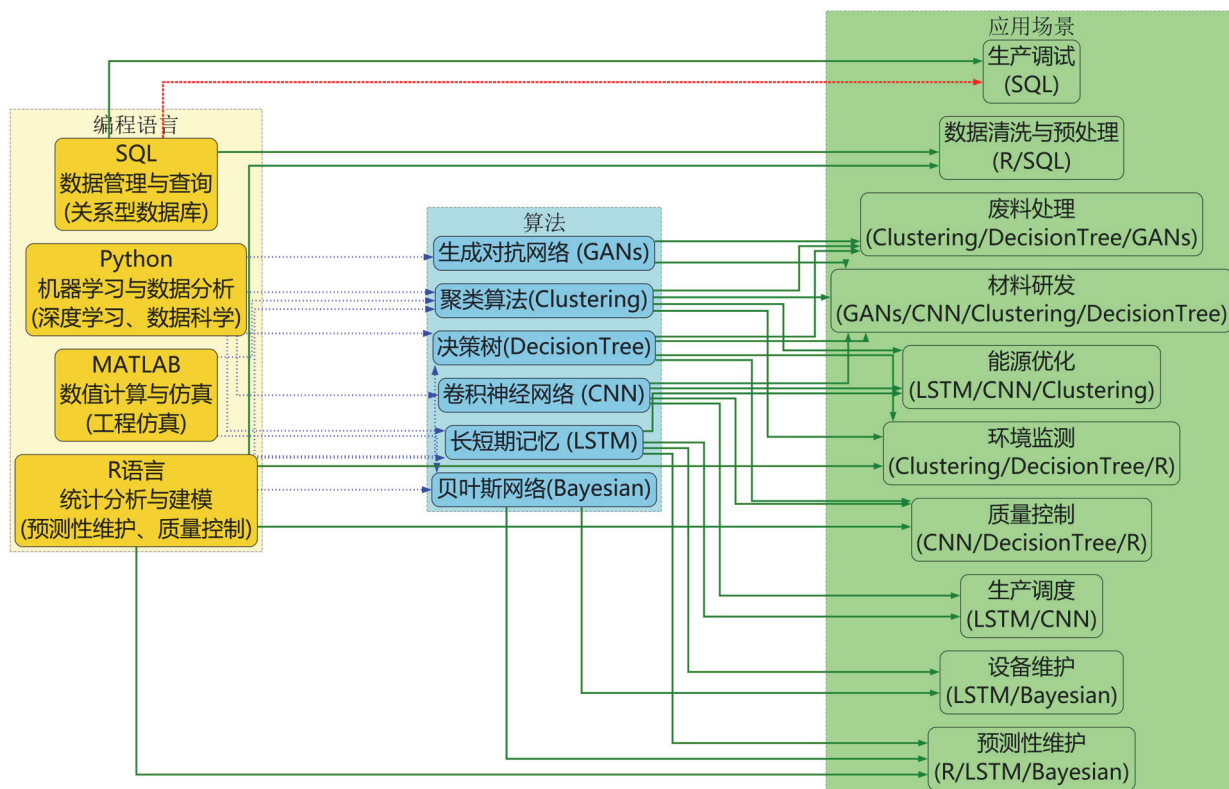


图1 Python、MATLAB、R语言和SQL等编程工具在不同化工环节中的应用

图2展示了跨学科模块化课程体系的结构框架。通过融合数据科学、物联网、过程控制和工业人工智能等前沿技术，学生得以将传统化工知识与现代信息技术深度结合，增强其在复杂工业场景中的应用能力。面对化工生产中海量数据的涌现，学生需掌握数据处理与分析技能，以应对数据密集型挑战。编程课程着重培养Python、R等语言的实操能力，用于算法开发和自动化流程设计，而数据科学模块则聚焦于机器学习和数据建模的应用，以优化工艺流程、预测风险，并通过Hadoop和Spark平台的项目实践，锻炼其处理与分析大规模数据的能力。智能化与可持续发展同样是课程设计的核心。在这一模块中，学生不仅学习如何应用高效催化剂和智能算法减少副产物，还需掌握绿色生产的关键技术，实现工艺流程的优化升级。污染机理分析、智能废气与废水处理贯穿课程始终，而生命周期分析(LCA)等环境评估工具的引入，确保学生在设计环节充分考虑资源效率与环境影响，为绿色化工艺奠定基础。此外，物联网与过程控制模块使学生掌握传感技术和物联网系统的应用，实现生产参数的实时监测和动态调控，从而提升生产的安全性与稳定性。模型预测控制(MPC)、模糊控制及神经网络控制等先进控制方法的融合教学，让学生在应对多时滞、非线性工艺过程时游刃有余，具备解决复杂工业控制难题的能力。例如，在一个关于智能废气处理系统的项目中，学生团队被要求设计一套能够实时监控与优化废气处理过程的自动化系统。他们不仅需要掌握化学反应的基本原理，还要学会如何通过传感器采集数据，并利用数据分析算法对处理流程进行动态优化。在这种场景中，学生们切身意识到多学科交融在解决工程问题时的重要性。

3.4 联动育人实践教学平台构建

化学化工领域的人工智能应用涉及多学科知识，融合量子化学、物理、数学、药学、化学、控

制工程、机械工程等，尤其在材料分子发现、逆向合成、工业设备故障预警、生产工艺优化等化工场景中具有重要应用。基于此，构建一个多学科融合、产学研协同的实践教学平台，不失为当前教育体系值得关注和推进的战略方向。

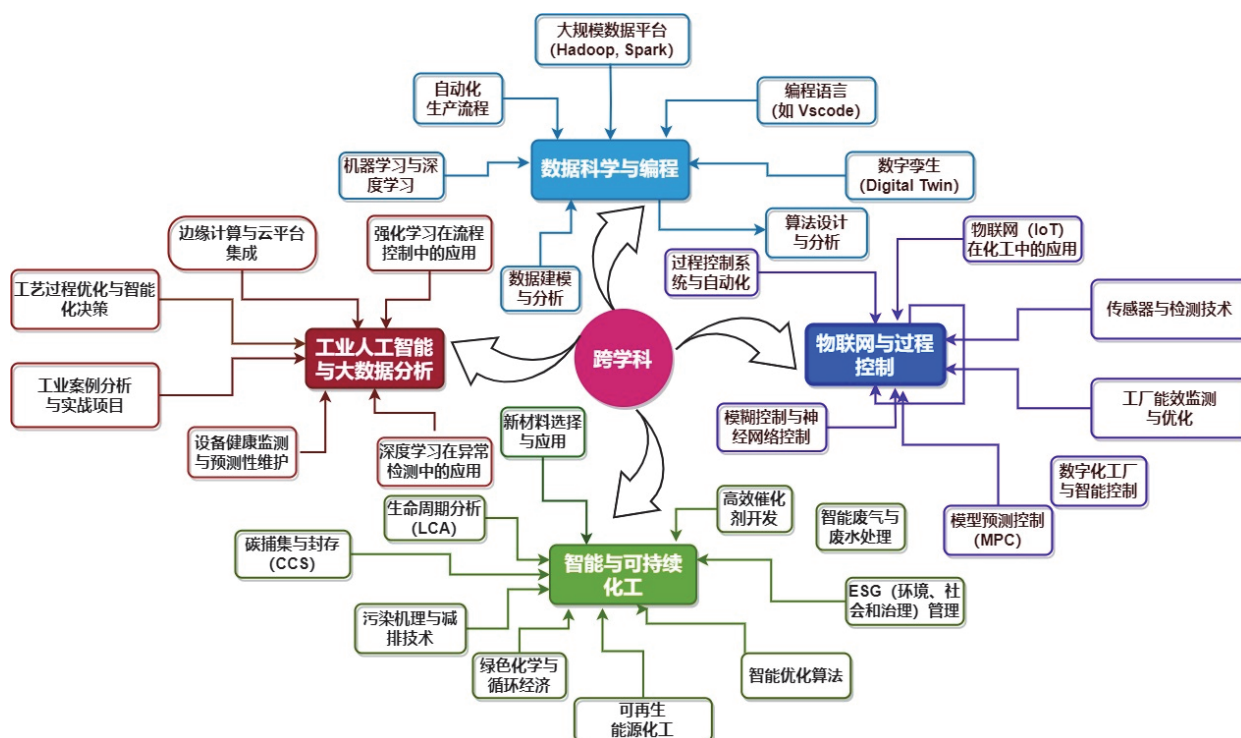


图2 面向智能化与可持续发展的化工跨学科模块化课程体系架构

(1) 模块化开发实践教学内容。为满足学生对不同实践技能的需求，可通过模块化开发化学研究和化工生产的实际场景，设计涵盖材料分子发现、分子逆向合成、设备故障预警、生产工艺优化等教学模块，形成完整的实践教学体系。在材料分子发现模块中，学生可以分析不同分子结构，学习新材料的设计与实验验证。在生产工艺优化模块中，学生可以运用机器学习与数据分析工具优化生产参数，实现节能降耗与效率提升。同时加入实际项目案例，有效增强学生对理论的理解和应用能力。

(2) 多元主体协同参与。实践教学平台的建设不仅依赖高校的教学资源，还需要与化工企业、科研机构 and 行业协会深度合作。通过引入企业的生产数据、工艺流程和事故案例等真实素材，学生可以在接近真实生产环境中学习与实践。此外，引入专门的开源化工软件和工具，如开源的分子模拟软件(GROMACS、LAMMPS)和过程模拟软件(DWSIM)，鼓励学生参与这些开源项目的使用和开发。通过实际操作和二次开发，学生可以提升计算机应用能力，深入理解化工模拟工具的原理和应用，提高解决实际问题的能力。同时，利用虚拟企业和模拟仿真平台，创建数字孪生环境，让学生在安全的虚拟空间中进行决策和操作。

(3) 平台的联动与整合。为培养学生的系统思维与全局观念，可将教学平台的内容从单一的生产环节拓展到整个化工产业链。现代化的化工生产不仅涉及生产流程的优化，还包括供应链的资源配置和整体管理。因此，通过在教学平台中引入供应链管理和物流规划等内容，学生可以学习如何通过数据分析和优化算法，提升全供应链的运营效率。这种联动与整合的教学方式，不仅增强了教学内容的丰富性和实用性，还培养了学生的全局视野和综合能力，有助于他们在未来的职业生涯中应对复杂的工程挑战。

4 结语

在“新质生产力”背景下，信息技术、人工智能和大数据等技术的快速发展正深刻影响着化工行业的生产模式与人才需求。基于化工行业智能化转型的现状与发展趋势，本文尝试探讨智能化工人才培养的必要性，并从培养目标的优化、课程体系的调整、跨学科模块的建设及实践教学平台的搭建等方面提出了初步的构建策略，期望培养出适应新时代智能化工行业需求的高素质人才，为推动化工行业的高质量发展提供有力支持。

参 考 文 献

- [1] 李曦辉, 丁姝予. 齐鲁学刊, **2024**, No. 5, 109.
- [2] Yang, F.; Lu, X.; Zhou, M. *Comput. Chem. Eng.* **2023**, *169*, 107990.
- [3] Zhang, Q.; Wang, J.; Hu, G. *AIChE J.* **2022**, *68* (4), e17526.
- [4] Chen, X.; Ma, Y.; Liu, S. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **2022**, *97* (8), 2077.
- [5] 欧阳嘉煜, 缪静敏, 汪琼, 孙冰, 董文斌. 高等教育研究, **2023**, *44* (10), 99.
- [6] Massachusetts Institute of Technology. 10-ENG: Engineering Computation. [2025-06-19]. <https://cheme.mit.edu/10-eng-engineering-computation/>
- [7] 于英杰, 张玉苍. 化工高等教育, **2025**, *42* (2), 2.
- [8] 卢滇楠, 党漾, 王宏宁, 黎叙锐. 清华大学教育研究, **2024**, *45* (5), 89.
- [9] 俞俊, 陈桂娥, 孟涛, 周义锋. 化工高等教育, **2021**, *38* (2), 92.
- [10] 周佳, 朱要云. 化工高等教育, **2022**, *39* (3), 90.
- [11] 张玮, 王俊文, 程永强, 董晋湘. 中国大学教学, **2019**, No. 7, 75.
- [12] Abbas, A. *Int. J. Adv. Eng. Technol. Innov.* **2024**, *1* (1), 31.
- [13] Pietrasik, M.; Wilbik, A.; Grefen, P. *Digit. Chem. Eng.* **2024**, *12*, 100161.
- [14] Scorgie, D.; Feng, Z.; Paes, D.; Parisi, F.; Yiu, T. W.; Lovreglio, R. *Saf. Sci.* **2024**, *171*, 106372.
- [15] Lenfle, S.; Le Masson, P. *Technovation* **2025**, *145*, 103238.
- [16] Qi, Y. P.; Yang, W. *J. Comput. Mater. Contin.* **2025**, *83* (2), 1555.
- [17] Qbadago, D. Q.; Hwang, G.; Lee, K.; Hwang, S. *Korean J. Chem. Eng.* **2024**, *41*, 2511.
- [18] Arshad, M. Y.; Hessel, V.; Halog, A.; Lewis, D.; Tran, N. N. *Sustain. Energy Technol. Assess.* **2025**, *76*, 104307.
- [19] 饶兴鹤. 中国石油和化工产业观察, **2021**, No. 7, 78.
- [20] Ravi, M. *Educ. Chem. Eng.* **2023**, *45*, 151.
- [21] Decardi-Nelson, B.; Alshehri, A. S.; You, F. *Front. Chem. Eng.* **2024**, *6*, 1458156.