



智能革命重塑流程工业： AI 驱动范式变革与绿色跃迁

钱伯章

金秋能源石化传播工作室

1 智能化转型的必然趋势与核心价值

人工智能（AI）系统及其智能化设计，将使流程工业实现精准优化的范式变革。低碳工艺与智能设计的深度融合是流程工业转型的必然趋势。发展 AI 辅助的数据驱动绿色工艺将是重要方向。人工智能等新一代信息技术对流程工业提质增效和转型升级

具有重要赋能作用，并指出数字化转型将是“十五五”行业高质量发展的重要破局点。

当前，流程工业正面临着“双碳”目标、安全绿色转型、产业链协同增效等挑战，数智化转型升级是提升生产效率、保障安全生产、推动绿色发展的必由之路。人工智能与流程工业的深度融合必将释放巨大创新潜能和

发展动能。信息技术已深度嵌入流程工业生产经营全过程，成为提质增效、转型升级的核心驱动力。

2 AI 驱动的范式变革三大核心

人工智能系统及其智能化设计正在深刻重塑流程工业的运行模式，推动其从传统经验驱动转向数据驱动的精准优化范式变革，实现效率跃升和成本控制，这种变革主要体现在 3 大

核心方面：

1) 技术创新范式的根本性转变。AI 通过虚拟现实和数字孪生技术，连通物理与数字空间，使设计、仿真和验证在数字环境中高效完成，大幅降低试错成本和研发周期；例如，AI 模型能预测新材料稳定性或最优工艺路径，替代依赖工程师经验的试错模式。

2) 生产制造的动态精准优化。AI 系统实时分析设备数据，动态调整生产参数，优化能耗和资源配置；在流程工业中，如 AI 温控系统可将杀菌温度精确调整以保留活性物质，同时降低能耗 9%，体现了从刚性生产向柔性化、自适应的转型。

3) 全流程协同与绿色化升级。AI 赋能研发、生产、物流的全链条智能管控，例如通过 AI 系统和优化，实现利用率提升 12% 及日均配送效率增长 35%，同步推动绿色低碳发展。这种范式变革不仅提升了运营效率，还加速了新质生产力的形成，为流程工业的可持续发展奠定基础。

3 AI 助力绿色低碳发展

人工智能通过优化能源使用、减少资源浪费和提升生产效率，显著推动流程工业实现绿色低碳发展。具体表现在以下几个方面：

1) 能源消耗的智能调控。AI 系统实时分析设备能耗数据，动态调整生产参数，优化运行或温控系统，降低不必要的电力损耗。例如，流程工业中 AI 预测负载高峰并自动调配清洁能源，减少化石燃料依赖。

2) 生产过程的高效优化。AI 通过模拟和仿真技术，精准设计低废料工艺路径，减少原材料浪费和污染物排放。在流程工业中，AI 动态调整配方和操作条件，提升资源利用率并降低整体能耗。

3) 废弃物管理的创新升级。利用 AI 识别和分类废弃物，提升回收率和

再利用效率，推动循环经济。例如，智能系统分析废物成分后自动优化处理流程，减少填埋和焚烧造成的环境污染。

4) 供应链与维护的动态协同。AI 预测市场需求和设备故障，优化库存水平和维护计划，避免生产中断和能源冗余。这包括智能调控物流链条，减少运输能耗和物料积压。未来，AI 将持续深化在绿色创新中的应用，助力流程工业迈向更可持续的发展范式。

4 行业现状、挑战与技术突破方向

当前流程工业正站在产业变革转型的历史交汇点。据统计，2024 年我国流程工业规模以上企业数量突破 3.2 万家，年营业收入跨入了 16 万亿元大关，但是全行业的利润总额只有 7897.1 亿元，同比下降 8.8%。这些数字背后折射出的发展之问，正呼唤着行业开启一场深刻的产业变革，而这场变革的核心引擎无疑是流程工业科技的数字化和智能化。流程工业的智能化发展与趋势已形成了层次化的架构体系和关键技术支撑，其核心在于实现从基础自动化到智能决策的全面升级。

以 AI 机器人取代人工决策的智能化调控模式，工业发展正经历从自动化向智能化的历史性跨越。在工厂中，AI 等数智化技术正在深度重构流程工业的生产模式，通过数据驱动和智能算法实现从传统经验导向到精准优化的范式变革。AI 算法的应用，让传统化工企业焕发了新生机。实现了从以前的依赖人工经验，到现在依赖数字化系统的转变。

现在 AI for Science (人工智能驱动科学创新)，特别是化学研究方面的分子结构预测，下一步就是要捕捉隐性知识，建设 AI 大模型的学习、泛化能力，破除大模型“黑箱难题”。下

一代流程工业 AI 将兼备生成式语言能力和机理推演能力，可以通过强化学习实现模型的自我进化调优，通过隐性知识的挖掘和积累让大模型的应用结果更精确。知识融合是突破智能化瓶颈的关键：

1) 机理知识与数据融合，填补了“知识鸿沟”，将工艺原理、设备运行数据与经验决策相结合，可实现控制参数智能设定与调度优化。

2) 人机协同决策，使知识工作者通过关联跨领域知识（如市场动态、环保法规），在经营层制定高效绿色策略，推动资源与能源的精细化管控。

5 具体应用场景与工艺革新

AI 能够推动解决新工艺开发、现有工艺优化等工艺技术革新问题，这恰恰是石化化工行业高质量发展的关键核心所在。石化生产工艺过程复杂，尤其是催化剂的开发过程十分漫长，利用传统研究手段难以实现对其规律特征的深入研究，而 AI 技术为此提供了可能。AI 技术可以从上千、上万个方案中筛选出最佳方案。这种装备的自愈技术，将成为 AI 未来发展的必然趋势，是智能流程制造向智能安健流程制造发展，实现本质安全化和无人化的新路径。

AI 正在推动新化学品合成，同时分子炼油、高选择性催化氧化等先进工艺技术以及反应精馏一体化、先进膜分离等过程强化技术逐步落地，绿电绿氢规模化耦合应用、非粮生物质糖气化、二氧化碳捕集封存和利用等技术不断成熟，生物基材料等新产品将迎来重大契机。全球石化化工行业布局正在大调整。西欧、日韩等地区基础型、通用型化工产品竞争力逐渐降低，东南亚、南亚、非洲等地区经济快速发展带动这些地区的石化产业布局，催生石化化工产品需求加快增长。

6 企业实践与行业案例

2025年7月9日,博禄公司宣布,与霍尼韦尔公司合作开展人工智能(AI)驱动的自主运营概念验证项目,这一举措将进一步提高博禄公司阿联酋工厂的生产能力和运营效率。双方合作的核心是打造石化行业首个全规模、实时运行的AI控制中心,为AI在石化领域的应用树立新标准。该项目计划在阿联酋鲁韦斯的博禄工厂部署概念验证技术,以优化运营。自主运营体系将助力博禄在这座全球最大的单一石化基地实现生产优化、能耗降低、安全提升及成本削减。该战略性项目是博禄公司AI、数字化和技术(AIDT)计划的一部分,将在2025年创造5.75亿美元的价值。

韩国爱敬化学2025年7月表示,已在各事业部门扩大人工智能(AI)技术的应用。聚羟基烷酸酯(PHA)生物聚合物公司CJ Biomaterials与基于人工智能的聚合物信息公司Matmerize, Inc.合作,优化生物基聚合物的一系列应用。中国石化“AI辅助聚酰亚胺气体分离材料开发”开发成功。据称,将人工智能(AI)集成到橡胶化合物开发中标志着材料科学迈出了革命性的一步,Hans-Joachim Graf和Christoph Hartwich探索了使用AIGraf Compounder软件来模拟和优化橡胶配方。

上海交通大学人工智能研究院AI for Science团队推出融合链式数据生成和分布差异筛选的试验指令生成框架大模型——ChemActor。该模型基于70亿参数模型进行微调训练,自动完成从单分子输入到完整试验流程生成的全过程。上海AI实验室联合同济大学发布“化学反应优化多智能体ChemBOMAS”,该框架通过将化学知识引导的粗粒度搜索与数据驱动的精细优化相结合,实现了反应空间

的有效划分与高质量数据的快速积累,从而显著提升优化效率。在一个全新的抗菌药物前体合成反应中,ChemBOMAS将贵金属Pd催化剂用量降低至1/10,产率也从20%提升至96%。

在石油化工领域一种新催化剂的开发常常需十多年时间。有“AI+机器人”参与的合成化学新范式,使高通量技术平台的引入改变了传统研发范式,研究人员只需通过高通量计算系统性地设计上千种不同的催化剂配方,再让自动化平台快速筛选,就能快速找到传统方法需要花费大量人力才能得到的规律,获得性能更优的材料。通过这样的工作模式,成功开发出一种纳米片状分子筛,解决了利用炼厂废气生产高价值化学品的难题,并已在全国多套工业装置上应用。

中控技术股份公司携时间序列大模型(TPT)与Plantbot机器人解决方案亮相。据介绍,TPT已经在氯碱、石化、热电以及煤化工等领域的10余家工厂的上百套装置应用。在镇海炼化,它实现了常减压装置油品切换操作时长降低到2h以内,为用户减少每年上千万元损失;在万华化学,通过pH值质量的精准预测控制,6~8h才能完成的废液处理过程被缩短到1h以内;在广西华谊能化,以TPT为核心的智能安全体系,将预期预警反应时间缩短20%,风险识别精准度提升30%,应急响应效率提高30%。

施耐德电气集中展示了一系列“智联协同”创新成果,展示的EcoStruxure™开放自动化平台与AI算法深度融合的智能翻牌,更是展现了自动化与AI融合在复杂工业产线中的提质增效潜力,借助内嵌先进AI算法,该设备能够以4台控制器精准调度144台电动机,将助力工厂控制系统的智能化转型。

7 未来发展方向与价值展望

未来,AI将持续深化在复杂工业场景的渗透,攻克核心环节融合难题,最终构建流程工业全流程智能化体系。国际化工巨头正从单点应用向“AI+数字孪生+工业元宇宙”的全局智能化演进。随着大模型技术渗透,未来AI将实现从分子设计到工厂运营的全链条自主决策,推动流程工业向零碳排、零事故的精准制造时代跨越。

AI的浪潮已经汹涌而至,2025年是AI应用大规模落地的元年。当前大模型带来的变革堪比工业革命,人工智能的智力仍在不断提升,AI的触角已经深入每一个领域,相关技术的进步正在重塑流程工业的方方面面。AI深度赋能,使智能质检系统达99%检测准确率,需求预测模型精度提升至90%以上,显著缩短研发周期。

根据埃森哲的预计,到2030年AI技术将为全球流程工业创造超过4000亿美元的价值。这场由数字智能引领的产业变革,不仅将提升25%~40%的运营效率,更将系统性地重塑从实验室研发到工厂生产的每一个环节,宣告流程工业“硅基革命”时代的全面开启。高标准建设石化化工细分行业数据集。数据、算法、算力是AI发展的三大核心要素,大规模、高质量、多样化的数据集是大模型性能突破、落地应用的关键。探讨人工智能的技术之“理”,不断拓展科学发现与AI智能联合创新的深度和广度。让我们围绕智能革新核心,共绘流程工业可持续发展蓝图。人工智能AI正以不可阻挡的步伐,加速智能时代的到来。