

智能制造与工业互联网融合推进企业绿色低碳发展

陈美霞

山东仕邦农化有限公司, 山东 菏泽 274300

DOI: 10.61369/TACS.2026050035

摘 要 : 基于“双碳”目标驱动与引导,传统农化企业亟待解决污染排放强度大、资源消耗高、能源管理粗放等问题。智能制造与工业互联网等前沿技术的发展与融合,为农化企业绿色化、低碳化转型提供了重要支持。本文即以此为背景,从数据感知、工艺优化、系统协同等维度阐释现阶段企业绿色低碳发展转型中面临的现实困境,进而从能碳数据底座、工艺寻优模型、碳足迹追溯体系、绿色供应链生态等层面提出智能制造与工业互联网融合推进企业绿色低碳发展的高效范式,以此为企业绿色高质量发展奠定理论基础与实践路径。

关 键 词 : 智能制造;工业互联网;农化企业;绿色低碳发展;能效优化

Integration of Intelligent Manufacturing and Industrial Internet to Promote Green and Low-Carbon Development of Enterprises

Chen Meixia

Shandong Shibang Agrochemical Co., Ltd., Heze, Shandong 274300

Abstract : Driven and guided by the "dual carbon" goals, traditional agrochemical enterprises are in urgent need of addressing problems such as high pollution emission intensity, high resource consumption and extensive energy management. The development and integration of cutting-edge technologies such as intelligent manufacturing and industrial Internet have provided important support for the green and low-carbon transformation of agrochemical enterprises. Against this background, this paper explains the practical dilemmas faced by enterprises in the current stage of green and low-carbon development transformation from the dimensions of data perception, process optimization and system collaboration. Furthermore, it proposes an efficient paradigm for the integration of intelligent manufacturing and industrial Internet to promote enterprises' green and low-carbon development from the aspects of energy-carbon data base, process optimization model, carbon footprint tracking system and green supply chain ecology. This paper aims to lay a theoretical foundation and practical path for the green and high-quality development of enterprises.

Keywords : intelligent manufacturing; industrial Internet; agrochemical enterprises; green and low-carbon development; energy efficiency optimization

引言

农化企业属于典型的流程型制造业,由于其生产环节涉及复杂化学反应,因而不仅需要创设不同的工艺条件环境,而且需要有效管控有害有毒物质。在绿色低碳转型背景下,传统农化企业在数据感知、工艺优化、系统协同等层面面临着较多困境,由此阻碍了企业的转型升级。对此,企业应全面推进智能制造与工业互联网的深度融合,既要强调端侧智能和精益控制,又要突出泛在连接与平台协同,从而打造“状态感知——实时分析——科学决策——精准执行”四位一体的闭环结构,以此实现绿色低碳转型目标。

一、企业绿色低碳发展中面临的现实困境

(一) 数据断点与能碳感知“盲区”并存

农化企业有着大量的生产装置与设备,因此需要纵横连接的管线,并且面对高温高压、易燃易爆等具有较高危险性的工作环境。在此背景下,其工况数据与设备参数的采集要求较高。一方面,部分较为陈旧的设备未配备智能化的传感器系统,其中压

力、温度等关键参数需要人工巡检,使得数据参数的实效性不足,甚至准确性也受到人为因素影响。另一方面,当前构建的DCS、PLC等自动化控制系统大多有着垂直封闭特性,即无法通过网络连接所有设备与系统,使得生产、质量以及环保相关数据无法互通。数据孤岛问题使得企业无法明确生产批次、设备状态、原料品质与环保质量、能耗水平等之间的明确联系,从而无法精准定位影响绿色环保指数的具体因素,呈现出“模糊管理”

状态。

（二）工艺“黑箱”与能效优化“瓶颈”

在农化企业中，其产品生产与合成涉及的反应较为复杂，尤其在多步单元反应中，其需要面对转化率不足、副反应较多等现实困境。在传统工艺流程下，不仅操作难度高，而且需要依赖工作人员的经验 and 能力，因而在追求“保险”的前提下，容易出现原料投放超量、溶剂消耗过量、反应时间超时等问题，而这是造成高耗能并影响碳排放量的重要因素。同时，农化企业的公用工程系统大多缺乏统一的调度系统，尤其在缺乏工业互联网与智能设备辅助下，锅炉容易出现负荷运行或空运行状态，进而造成能源浪费。

（三）环保合规压力与增效减碳成本“两难”

农化企业生产所排放的“三废”有着较为复杂的成分组成，因此其处理难度也更高，使得传统农化企业需要担负较大的环保成本。随着环保排放标准日益严格，“末端治理”方案受到边际效益递减的影响逐步提升，使得其能耗水平和成本支出不断增多。同时，农化企业由于缺乏面向生产全流程的数字工具，使得其物料平衡和碳流追踪能力较差，难以从反应源头落实分子级别的减量设计。总之，当前农化企业采用的治理模式主要在于处理已经产生的污染问题，而并非通过工艺技术从预防层面减少污染与能耗，这就使得减污与降碳之间难以形成协同效益，并由此导致治理成本居高不下，企业绿色竞争力难以长效提升。

二、基于智能制造与工业互联网融合的企业绿色低碳发展策略

（一）构建全域感知的能碳数据基座，破除绿色转型“信息烟囱”

在企业绿色低碳发展中，智能制造与工业互联网融合需要优先将现实工厂与“数字孪生工厂”建立网络映射，从而形成系统化、全流程的数据采集与互联机制。

第一，全面部署泛在化感知层。企业应进行全面化、智能化改造，尤其在各个关键用能点与排放点，需配置无线通信的智能传感器系统，全面采集温度、振动、压力、湿度等各项数据。尤其在废气、废水等收集管道和排放出口，应设置色谱仪和重金属离子检测仪等检验节点，以此实现对生产全程的实时监测。

第二，普及贯通互联化网络。企业应依托5G、OPC UA等技术建立覆盖全厂的工业互联网体系，一方面要建立统一的数据结构，确保PLC、DCS、SCADA、LIMS等系统数据能与环保在线监测系统直接传输。另一方面要打造企业级工业数据分析平台，将采集的生产信息、设备运行参数、能源消耗数据、污染排放数据等进行存储与分析，甚至可以借助大模型进行智能解析，对生产状况进行实时分析与问题预警，精准识别引起高耗能或高排放的具体操作或工况。

第三，建立模型化边缘计算模式。企业应在数据源头的边缘侧部署算力，通过大数据系统对原始数据进行清洗与特征提取，由此建立智能预警系统，一旦某些参数出现异常，系统将向操作

员立即发出预警，以此达到“事中干预”的效果。

第四，建立厂区分布式光伏与储能系统，同时配置智能监测与协同优化方案。在农化企业厂区屋顶、闲置空地等位置，可以通过部署分布式光伏发电系统提供部分能源。一方面可以基于工业互联网平台统一接入光伏逆变器、储能变流器、并网点电表等设备，以此采集和预测相关数据。另一方面可以打造“光伏+储能+生产负荷”调控模型，以此智能配置生产计划，科学选择充电策略。

（二）部署AI驱动的工艺寻优模型，打通能效提升“任督二脉”

在数据互联基础上，企业还应充分引入人工智能技术，推动工业互联网、智能制造与机理模型的深度融合，由此建立以混合建模技术为依托的模型体系，达到从经验操作向智能寻优跃迁的目的。

第一，自适应控制反应过程。农化企业应全面部署深度学习算法，针对发酵、合成等反应过程，整合其反应效率、转化率与进料速率、温度曲线、pH值、催化剂浓度等各个要素之间的大模型，以此把握各个参数之间的非线性关系

第二，建立精馏/蒸发序列能效协同机制。精馏塔、多效蒸发器等设备是农化企业能耗最大的操作单元，因此企业需要借助工业互联网搭建平台，整合其实时负荷、回流量、再沸器蒸汽用量及塔顶塔底压差等数据信息，由此通过混合建模方式，实时计算最低能耗操作点。

第三，设置预测性能源介质调度方案。企业应将生产排程信息联网，并由此通过LSTM系统对接下来4-8小时的能源负荷进行预测。同时，通过智能调度系统按照预测结果进行实时调整，比如可以调整蒸汽锅炉配置，改变储热罐充放热策略等，以此减少锅炉启停和空燃现象。

第四，构建水、电、气系统精细化节约与动态平衡。企业应针对水、电、气三大公用工程建立专用节约机制。在水系统方面，应基于管道流量与压力传感器数据建立水循环优化模型，既可以避免过量排污，又可以监测车间工艺软水、脱盐水的漏损点。在电力系统方面，应基于变压器的负载率、功率因数等数据构建智能调控模型，通过识别负载情况远程控制分合闸。在压缩空气系统方面，可以通过管网压降监测节点识别泄漏问题，同时也可以按照用气需求动态启停空压机群，以此降低水、电、气综合成本。

（三）建立全生命周期碳足迹追溯体系，实现减污降碳“同根共治”

在智能制造与工业互联网融合下，对产品的全生命周期碳足迹实施精细核算与追溯变得可行，进而把末端治理的压力转化为源头设计的动力。

第一，建立动态碳流计算模型。企业应基于工业互联网平台数据建立大规模的数字碳模型，由此对每一台设备、每一个工艺单元确定其碳排放因子，并自动计算和统计每一个批次、每一个生产线乃至每一个产品所导致的直接碳排放以及间接碳排放。

第二，创建全厂物料代谢数字地图，实现物料代谢和“三

废”减量化。企业应追踪原料分子中的碳、氮、磷等元素去向，有多少进入了目标产品？多少进入废水、废气或者废渣？同时，借助智能化工具，技术人员可以对各种工艺调整方案的原子经济性提高程度做量化分析，以此从微观层面实现减污降碳。例如在甲叉法乙草胺生产过程中，技术人员利用平台分析可以得知本批次废水氨氮超标的原因，是中和工序 pH 控制滞后造成的。因此基于其溯源结果即可提出以预控为中心、用前馈为主的精准中和控制方法，既能达到氨氮大幅度降低的目的，又可以使得游离胺的消耗减少一半，从而达到三赢的效果。

第三，建立碳排放资产化与溯源披露机制。企业应采用区块链技术把碳排放数据、碳减排成果上链存证，保证数据不能被篡改、可以追踪。基于此，企业可以为加入碳交易、开发 CCER 项目赋予可靠的依据，也有利于向下游客户或者监管方提供符合国际标准的 CCER 产品碳足迹报告。

（四）打造循环协同的绿色供应链生态，重构产业低碳“价值网络”

智能制造和工业互联网的融合发展不能只在自家工厂内发挥作用，还要延伸到产业链上下游的供应商和客户身上，创建一个全产业链的绿色协同生态系统。

第一，供应商能碳绩效管理就是将工业互联网平台向上游延伸到上游的核心原料供应商，即氯碱、甲醇、苯系物等的供应商，对这些供应商的能碳数据进行合规采集和共享。创建供应商绿色准入和动态评价模型，把供应商的吨产品碳排放、绿色能源利用占比等指标加入采购决定之中。

第二，副产品和余热资源化共同推进，以区域级或者园区级为基础创建物质、能量撮合交易平台。农化企业生产过程中会排

放出很多低品位的余热，还可以得到一些副产品，例如稀盐酸、副产蒸汽等。通过平台将该信息和周边需要热源或原料的企业实时对接，例如农化企业的 H 酸生产单元的强放热反应要用大量的冷却水，相邻的污水处理厂要用中温加热来提高生化池的效率，即可利用平台的协同作用，把热交换后产生的冷却水送至污水厂，可以减少冷却塔的耗电，还可以为污水厂节约加热蒸汽，达到跨企业、跨行业能级匹配、循环经济的目的。

第三，绿色产线和共享制造，新建或者重大技改项目，在设计阶段用数字孪生技术对全生命周期的环境影响进行模拟优化，创建影子工厂做低碳工艺仿真。并且研究工业互联网背景下共享制造的模式，对部分间歇性、高耗能的特殊工艺实行集中化管理，在共享中心统一调度其处理计划与成本分摊，并通过平台下达给各个企业提供服务。

三、结语

智能制造同工业互联网深度融合，绝非只是生产工具效率提高的问题，而是农业化工企业绿色低碳发展方式发生深刻的改变。本文针对农化企业数据、工艺、成本三方面存在的问题进行分析，并从创建感知基座、部署 AI 寻优、创建碳流体系、创建循环生态的递进式策略路径进行了系统的论述。实践证明，依靠“智造”加“互联”，农化企业完全可以打破要环保就牺牲效率、要效率就牺牲减排的两难局面，达到资源效率、能源效率和环境绩效三者最优。企业要积极融入数字化转型的大潮之中，把智能制造、工业互联网架构当作企业绿色战略的根基所在，由被动遵循向主动创造转变。

参考文献

[1] 毕云川. 绿色低碳背景下智能制造厂房给排水施工技术研究 [J]. 中国住宅设施, 2025, (06): 246-248.

[2] 王成军, 袁雪妮. 智能制造何以赋能中国产业绿色低碳转型? [J]. 海南金融, 2025, (02): 3-17.

[3] 李艳霞, 朱国伟, 吴文昊. 工业互联网赋能绿色低碳转型实践与展望 [J]. 通信世界, 2024, (20): 9-11.

[4] 潘军, 夏景. 工业互联网推动工业绿色低碳发展的机理、路径和方向 [J]. 中国电信业, 2024, (08): 26-29.

[5] 张路争. 基于主动标识载体的“工业互联网+绿色低碳”可信碳计量研究 [J]. 节能与环保, 2024, (07): 72-78.

[6] 李萌, 黄钰典, 杨睿哲, 司鹏博, 张延华. 面向绿色低碳的工业互联网: 发展与挑战 [J]. 北京工业大学学报, 2023, 49(11): 1251-1262.

[7] 梅玉坤, 彭军霞, 高智伟. 我国“工业互联网+绿色低碳”发展策略研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(24): 172-174.

[8] 刘胜勇. 构建绿色低碳智能制造系统的对策 [J]. 金属加工 (冷加工), 2022, (04): 9-13.

[9] 郭倩. “工业互联网+双碳”实施方案酝酿待出 [N]. 经济参考报, 2022-03-14(002).

[10] 张玲玲. 江西九江: 聚力智能制造“碳”寻绿色发展 [N]. 中国建材报, 2021-09-16(002).