doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2025.02.021

引用格式: 纪斯怡. 智能化驱动下的钢企绿色发展——以福建某钢企为例[J]. 矿冶, 2025, 34(2): 349-354.

Ji Siyi. Intelligence-driven green development in steel enterprises: a case study of a Fujian-based steel company[J]. Mining and Metallurgy, 2025, 34(2): 349-354.

智能化驱动下的钢企绿色发展——以福建某钢企为例

纪斯怡

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 在“双碳”目标下, 我国钢铁行业(占全国碳排放15%)面临高能耗、高排放与数字化转型的多重挑战。针对长流程工艺能效较德国低120%、数据孤岛等问题, 本研究以福建某钢企为案例, 探讨工业互联网、数字孪生与AI技术协同应用的绿色转型路径。结果表明: 该钢企建设的智慧环保管理系统通过基础信息管理、环保过程监控、GIS地图可视化等六大功能模块实现全流程监控, 使环境税核算周期缩短65%(20日→7日), 人力成本下降50%, 年减损人民币2 000万元。研究提出“技术-应用-制度”三维发展框架: 技术层突破工业物联网传感器与碳区块链技术; 应用层建设氢能冶金等零碳示范项目; 制度层完善碳交易机制与产能区域优化政策, 为行业提供“数智化+绿色化”转型的系统解决方案。

关键词: 数智融合; 钢铁行业; 绿色低碳; 钢企; 智慧环保管理系统

中图分类号: TF70 文献标志码: A 文章编号: 1005-7854(2025)02-0349-06

Intelligence-driven green development in steel enterprises: a case study of a Fujian-based steel company

Ji Siyi

(China University of Mining & Technology, Beijing, School of Chemical and Environmental Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Under the "Dual Carbon" goals, China's iron and steel industry, which accounts for 15% of the nation's total carbon emissions, faces multiple challenges including high energy consumption, high emissions, and digital transformation. Addressing structural inefficiencies such as the 120% lower energy efficiency of long-process steelmaking compared to Germany and severe data silos, this study examines the green transition pathways enabled by the synergistic application of industrial internet, digital twin, and AI technologies, with a case study of a steel enterprise in Fujian. The results demonstrate that the company's intelligent environmental management system, integrating six functional modules—including basic information management, environmental process monitoring, and GIS-based visualization—achieves full-process monitoring, reducing environmental tax accounting cycles by 65% (from 20 to 7 days), cutting labor costs by 50%, and mitigating annual economic losses by RMB 20 million. Furthermore, the study proposes a three-dimensional "Technology-Application-Institution" development framework: (1) at the technological level, advancing breakthroughs in industrial IoT sensors and carbon blockchain traceability; (2) at the application level, promoting zero-carbon demonstration projects such as hydrogen-based metallurgy; and (3) at the institutional level, refining carbon market mechanisms and optimizing regional capacity allocation policies. This framework provides a systematic solution for the industry's "digital-intelligent+green" transformation.

Key words: digital-intelligent integration; iron and steel industry; green and low-carbon development; Fujian-based steel enterprise; intelligent environmental management system

自2019年4月生态环境部等五部委联合印发了《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》(环大气〔2019〕35号)^[1]以来,钢铁行业实施超低排放改造正式拉开序幕,超低排放改造不断推进,全国各地钢铁企业的各项改造工程落地投用,环保治理“硬件”设施不断完善。与此同时,钢铁企业对环保管理水平的“软件”要求也不断提高,建设智能化环保管控平台、完善环保“软件”手段、构建环保软硬件措施有机结合的一体化环保管理体系成为钢铁企业发展的迫切需求^[2]。在上述背景下,数字化与智能化(以下简称“数智融合”)成为行业破局的关键。本文以福建某钢企为例,探讨数智融合如何赋能钢铁行业绿色低碳发展。

1 “双碳”目标下钢铁行业的高耗排困境与数智化转型路径

1.1 高能耗与高排放的双重压力

我国粗钢产量连续多年居全球首位,根据国家统计局统计,2024年我国粗钢产量约10.05亿t。传统高炉-转炉长流程工艺占主导地位,其碳排放强度在1.6~2.0 kg-CO₂·kg-钢⁻¹,行业碳排放总量占全国15%以上^[3]。重工业中碳排放量最大的行业为钢铁产业,同时钢铁行业还是最大的煤炭消费行业,75%的煤炭需求来自钢铁业,据统计,重点大中型钢铁企业的吨钢综合能耗约为549.68 kg标准煤^[4-6]。

1.2 数智化转型的迫切需求

党的二十大报告明确提出“推进重点行业绿色化改造”,目前,钢铁行业亟需通过超低排放、工艺优化及数字化转型实现绿色低碳发展,其中,数字化与绿色化协同发展是钢铁行业破局的关键。当前行业面临数据孤岛、模型构建困难、全流程监测不足等问题,亟需通过智能技术优化资源配置、创新工艺模式、构建一体化管控平台^[7]。

2 数智融合驱动钢铁工业全要素升级

2.1 优化资源配置

在钢铁工业高质量发展进程中,数智融合技术正在重构生产要素配置体系。通过构建工业互联网平台,企业能够实现三大核心资源的高效协同:一是原材料供应链智能化。依托物联网感知系统和区块链技术,构建从采矿端到生产端的全流程数据中台。通过机器学习算法对原料价格、物流成本、库存周期

等多维数据进行动态分析,形成需求预测模型,实现采购方案的动态优化^[8]。同时,基于智能调度系统整合社会物流资源,可将原料运输效率提升30%以上。二是人力资源价值重塑。通过数字孪生技术构建虚拟车间,配合智能排班系统,实现岗位需求与人才技能的精准匹配。通过AR/VR培训平台持续提升员工专业技能,结合数字绩效管理系统,激发人力资源创新潜能(实践数据显示,该模式可使人均产出效率提升25%)。三是资本运作效能升级。将金融科技与产业数据进行深度融合,构建基于大数据的投资决策模型,通过实时采集市场行情、政策动向、供需变化等300余项关键指标,运用神经网络算法进行市场趋势推演,使资本配置准确率提升至82%。通过智能风控系统实时监控资金流向,确保投资安全边际。这种全要素、全链条的资源配置革新,可使钢铁企业平均运营成本降低18%,资产周转率提高40%,为行业转型升级提供了可复制的实践范式^[9,10]。

2.2 创新生产工艺模式

我国钢铁工业绿色转型面临多重技术挑战,主要表现为能源转化效率偏低、节能技术迭代滞后等结构性矛盾。在“双碳”战略背景下,构建以智能化为核心的能效管控体系已成为产业升级的关键突破口^[11]。例如,高炉冶炼工序的数字化转型,通过部署工业互联网传感器网络,构建“全域感知-智能诊断-动态优化”的闭环管控平台,不仅实现了设备运行状态的实时可视化监测,更形成了涵盖能耗诊断、工艺调优、资源循环的全链条智能决策系统^[12]。该智能化体系具备多维增效价值:在设备维护维度方面,依托振动监测和热成像技术实现预测性维护,使设备故障响应速度提升40%以上;在能源管理方面,通过建立多目标优化模型,将冷却水循环利用率提高至98%,热损失率降低15%;在资源利用领域,借助大数据分析优化固废配比,使二次资源综合利用率突破90%。这种融合数字孪生与机器学习的技術路径,正在重构传统冶炼的工艺范式,为行业碳足迹削减提供了创新解决方案。

2.3 推进智慧环保管理系统的研发与应用

智慧环保体系依托环保物联网技术、现代测量技术、自动控制技术、计算机技术和GIS地理信息系统等先进技术手段,构建起环境数据的全方位采集、传输、管理、分析与应用平台。该体系能够实时、精准地监测环境质量状况及环保设备运行状态,为环境管理部门提供科学决策支持^[13]。在钢铁行业,企业应当

立足实际生产需求，建立污染物排放管控与环保职能管理的一体化系统，深度挖掘数据价值，推进智能化应用，全面提升智慧环保效能^[14]。

例如河北省首钢迁安钢铁有限责任公司(简称“首钢迁钢”)自主研发的炼钢环保管控平台通过高清视频监控系統，实现了对厂房内外重点区域的全方位、全过程监控，配合在线数据实时监测与智能预警功能，显著提升了环境监管效率^[15,16]。唐山瑞丰钢铁(集团)有限公司(简称“瑞丰钢铁”)创新性地将环保、能源、信息和管理系统深度融合，打造了全国首个“减污降碳协同创新一体化平台”。该平台配备的智能自动巡查系统可对厂区所有污染排放源进行系统性巡检，通过智能化数据监控与分析，为精准治污和科学减排提供了有力支撑，充分彰显了智慧环保的技术优势与实践价值^[17-19]。

3 智能环保管控平台在钢铁企业的集成应用与效益分析

福建某钢企智慧环保管理系统(以下简称“系统”)以“环保全过程管理、数字化展示”为建设目标，开发建成一套企业智能化环保管控平台，实现环保过程管控、环境监测、动态展示、异常处理、风险预警、业务体系支撑的管理目标，为企业环保合规性管理以及网格化管理提供支撑，最大化降低企业环境风险，提高环保管理效率。

3.1 系统总体架构

系统对企业全厂所有工序的基础生产设施相关参数、环保治理设施运行参数、在线监测数据、厂区空气质量监测数据及视频监控数据等进行采集、存储，并在系统各功能模块(包括基础信息管理、环保过程管理、环保监测管理、环保地图、环境统计分析及综合业务管理)进行计算分析。环保人员通过各种终端访问系统，包括WEB浏览器、大屏可视化页面等，实现环保过程管控、环境监测、动态展示、异常处理、风险预警、业务体系支撑的管理目标。

3.2 系统实现功能

3.2.1 基础信息管理

按标准的环保管理口径，对公司环保管理涵盖的系统配置(组织机构、监测类型、监测因子、监测因子类型)、产污设施、治理设施、排放口、监测点等基础信息等进行综合管理。

3.2.2 环保过程管理

针对重要有组织、无组织排口的视频监控，实现

视频自动判别分析功能。当发生异常排放时，通过图像分析模型进行自动识别，同时输出报警相关信息及图像，推送给相应管理人员；环保设施运行画面展示。

3.2.3 环境监测管理

在线监测管理实现在线监测数据从数据采集、统计、发布的全流程信息化管理，实现站点、因子多维度的对比管理。手工监测管理实现从计划制定、分解、数据录入、生成监测报告等全流程闭环管理。同时，覆盖临时监测计划管理内容。手工监测主要包括废气、废水、噪声、空气、无组织、土壤等。系统提供在线监测超标数据录入、查询等管理功能，将超标数据集中梳理展示。并对异常数据产生后的处理进行计算，提供处理依据。系统提供针对在线、手工监测数据的监测报表管理功能，提供报表下载导出功能。

3.2.4 环保地图管理

将环保在线监测数据与GIS地图集成，用直观简明的方式实现重要环境信息可视化要求。实现对固定污染源、环保视频等信息的集中展示功能^[19]。

3.2.5 环境统计分析

对公司污染物总量计划进行分解管理，计划细化到二级单元。系统提供多口径总量管理功能，提供可配置化的项目及公式管理，并进行数据自动计算。按照国家及地方要求，进行环境税数据计算，同时生成环境税申报表^[20]。系统提供公司、厂部工序等总量数据、环境税数据同比、环比，实绩占比等功能，提供数据趋势分析功能。系统提供环境成本相关数据收集计算、录入统计功能。为了方便数据分析，系统根据执行报告管理要求，自动生成季报年报相关内容，可输出多种类型报表。

3.2.6 环保综合业务管理

系统提供放射源管理、隐患排查与治理、突发环境事件应急管理、环保投诉监察整改、环境事件管理功能^[21]；通过与资源系统建立接口，实现固废、危废结果数据管理，并输出管理报表^[22]；根据相关管理规定，分组对各单元进行绩效评价，系统根据结果以及计算规则形成色标评价结果；系统提供针对环保管理各专业资料进行统一上传、下载、删除的文件管理平台，形成环保专业资料库，供环保管理人员查阅。

3.3 系统应用示例

3.3.1 及时的反馈联动处理机制

基于“环境监测管理”功能模块对企业各有组织、无组织的在线监测数据的实时采集、分析和发布，以及“环保过程管理”功能模块对各有组织、无组织视频

监控的自动判别分析。异常情况下,在线监测数据及时生成报警信息,视频监控自动识别、同时输出报警相关信息及图像^[23]。上述相关报警信息产生后通过Web浏览器、大屏可视化页面实时通知显示,环保人员根据报警信息进行判别,生成整改信息并通知生产管控中心及时优化生产参数,同步通知现场人员进行处置。完成整改后,环保人员根据反馈的整改情况、在线数据以及视频判别分析确认落实整改是否到位。

3.3.2 丰富的统计分析及报表生成功能

基于“环境监测管理”功能模块,系统实现了对企业全量环境监测数据的智能化管理。通过对接在线监测设备与人工检测端口,构建了涵盖废水、废气、噪声等污染源的实时数据库,支持监测数据的自动采集、异常预警、多维度查询及可视化展示。系统采用区块链技术确保了数据不可篡改,同时建立了分级权限管理体系,可满足不同层级用户的监管需求。

在“环境统计分析”功能模块,系统创新性地整合了生产运营与环境管理数据。通过建立动态数据模型,可自动关联设施运行时间、产品产量、原辅料消耗等生产参数与污染物排放量,实现污染源解析与排放绩效分析。系统内置的智能算法支持污染物排放总量核算、排放强度计算等复杂运算,并配备法规标准库自动校验功能。用户可自定义配置废水COD、废气SO₂等20余项污染因子的计算公式,通过拖拽式操作完成报表模板更新,确保统计规则与最新环保政策保持同步。

系统提供智能报表生成服务,支持按日/月/季度/年度自动生成符合《环境统计报表制度》的标准化报告。通过构建数据仓库与BI分析平台,可一键导出排污许可证执行报告所需的年度排放汇总表、污染防治设施运行台账等12类表单。在环境税核算方面,系统内置分行业产排污系数库,可自动匹配原辅材料数据生成应税污染物当量,大幅提升申报准确性。基于机器学习技术,系统还能对历史数据进行趋势预测,为企业清洁生产改造提供数据支撑。

3.4 实施效果与经济效益

3.4.1 环保全过程集中管控

该系统通过构建一体化智能中枢,全面整合企业生产流程中的原料运输投加、设备运行、工艺参数等核心数据,同步接入污染源在线监测、环保设施运行状态及排放指标等关键信息。在管控中心搭建统一指挥平台,实现生产调度、能耗管理、环境监测等多系统数据互联互通,形成覆盖“源头控制-过程监

管-末端治理”的全链条管理体系。

系统采用三级预警机制对重点环节实施动态管控:在预处理阶段,基于历史数据建立物料平衡模型,对异常投料进行智能识别;在产污环节,通过工艺参数与排放指标的关联分析,实时优化生产工况;在治理阶段,运用AI算法预判治理设施运行效能,自动触发设备参数调整指令。所有操作流程均以可视化流程图形式在大屏端实时呈现,支持污染物迁移路径追踪和治理效果趋势预测。

该模式创新性地建立了环保数据驾驶舱,将原先分散且独立系统的环保管理要素集中归并,实现污染因子小时级动态分析、排放总量日清日结。通过构建“监测-预警-处置-评估”闭环机制,异常工况响应时间由原来人工发现处置转变为自动监测并预警处置,处置时间缩短至15 min内,同时降低治理设施无效运行能耗。这种集约化管理体系有效地解决了传统模式下数据孤岛、响应滞后等问题,推动企业环保管理从被动应对向主动防控转型。

系统应用以来,未发生因环保设施故障导致生产设施长时间(≥ 8 h)停产的相关事故。以炼钢转炉二次除尘为例(收集3座转炉产生的烟粉尘),系统应用前,除尘风机设备点检由现场作业人员每班次开展检查,风机振动频率无法实时查看,风机振动异常后风机仍持续运行,作业人员无法及时降低风机运行频率,无法保障风机安全运行。异常振动持续进行造成风机故障,导致转炉工序无相关收尘措施后生产作业也相继停止,从而发生因环保设施故障导致生产设施长时间停产的事故。该事故导致风机更换维修需停产约8 h,产生直接经济损失主要包括两部分:一是设备维修成本约200万元(风机更换维修成本);二是生产中断带来的经济损失,生产直接经济成本约1 800万元(以3座转炉8 h产钢量5 100 t、吨钢产出3 500元)。综合设备维修与生产停滞两项,事故造成的直接经济损失合计约合计直接经济效益约2 000万元(按停产8 h进行估算)^[24]。

3.4.2 环保业务便捷管理

应用系统的“环境监测管理”、“环境统计分析”及“综合业务管理”功能模块,满足日常环保管理业务的无纸化办公要求,实现实时数据共享,极大提升了工作效率,并节约了人力成本^[25]。

以环境税核算及排污许可证执行报告填报为例,以往环保人员(共4人)需分别向各工序的各业务管理部门有关人员(共14人)获取生产设施运行数

据、环保设施运行数据、污染物排放浓度及总量数据、原料消耗量及产品产量数据等，并进行相应统计核算后，方能完成相关工作。完成环境税核算及排污许可证执行报告填报共计耗时约20日。通过系统的应用，各项数据均已采集和共享，环保人员及业务人员仅需对错误数据进行筛选后，应用系统便能自动统计核算，并生成所需报表，从而便捷快速地完成相关工作。原环境税核算及排污许可证执行报告填报工作需要18名工作人员，现如今仅需2名环保人员以及7名业务人员（共9名工作人员）便能完成相同工作，同时，完成时间也从20日缩减至7日。因此，人力成本节约50%，工作效率提升65%。

4 建议与展望

中国钢铁行业的绿色转型已进入攻坚阶段，数智融合技术正成为破解高能耗、高排放困局的核心驱动力。福建某钢企的实践表明，智慧环保管理系统能够实现环保管理效率提升65%、异常响应时间缩短至15 min等成效，验证了数智化路径的可行性与经济性。

面向未来，行业将呈现三大发展趋势，一是技术融合深度化：5G+工业互联网、量子计算等新一代信息技术将与清洁生产工艺深度融合，催生新型低碳冶金技术范式。氢能冶金、熔融还原等颠覆性工艺的智能化改造将成为减排主攻方向，预计到2030年电炉钢比例将提升至30%以上。二是管理边界扩展化：环保管理将从单一厂区管控向区域生态协同演进，依托工业互联网平台构建跨园区能源梯级利用网络，实现余热、煤气等二次能源的智能调度与共享。三是价值创造多元化：碳资产管理与数字孪生技术的结合将开辟新增长极，通过开发碳汇监测、碳交易辅助决策等数字化服务，钢铁企业可向绿色技术服务商转型。

参考文献

- [1] 生态环境部, 发展改革委, 工业和信息化部, 等. 关于推进实施钢铁行业超低排放的意见[J]. 中国钢铁业, 2019(6): 5-8.
Ministry of Ecology and Environment, National Development and Reform Commission, Ministry of Industry and Information Technology, et al. Opinions on promoting ultra-low emission implementation in steel industry[J]. China Steel, 2019(6): 5-8.
- [2] 张鹏. 制造企业数字化转型发展评价与影响因素研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
ZHANG P. Research on evaluation and influencing factors

of digital transformation development in manufacturing enterprises[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.

- [3] 曹婷. 数智融合引领产业升级“数智化赋能产业升级”平行论坛综述[J]. 国资报告, 2024(12): 105-107.
CAO T. Digital-intelligence integration leads industrial upgrading: Summary of parallel forum on "Digital-intelligence empowering industrial upgrading"[J]. State-owned Assets Report, 2024(12): 105-107.
- [4] 赵萍. 钢铁行业绿色发展成效获肯定[N]. 中国冶金报, 2025-01-24(001).
ZHAO P. Green development achievements in steel industry receive affirmation[N]. China Metallurgical News, 2025-01-24(001).
- [5] 邓宁军, 朱宴恒, 梁仕贤. 钢铁企业智慧环保管控平台实践与研究[J]. 中国信息界, 2024(4): 191-193.
DENG N J, ZHU Y H, LIANG S X. Practice and research on intelligent environmental protection control platform for steel enterprises[J]. China Information Times, 2024(4): 191-193.
- [6] 周雷. 钢铁业节能环保指标持续改善[N]. 经济日报, 2024-11-01(006).
ZHOU L. Steel industry continues to improve energy conservation and environmental protection indicators[N]. Economic Daily, 2024-11-01(006).
- [7] 郭丰艳, 张宋一, 邵俊, 等. 数智融合赋能钢铁工业绿色低碳发展[J]. 中国管理信息化, 2024, 27(3): 159-162.
GUO F Y, ZHANG S Y, SHAO J, et al. Digital-intelligence integration empowers green and low-carbon development of steel industry[J]. China Management Informationization, 2024, 27(3): 159-162.
- [8] 吕浩增. 基于供应链管理的钢铁企业采购策略研究[J]. 商业2.0, 2025(1): 124-126.
LYU H Z. Research on procurement strategy of steel enterprises based on supply chain management[J]. Business 2.0, 2025(1): 124-126.
- [9] 戴骏炜. 钢铁行业数字化转型指引——钢铁企业全流程数据治理架构方案[J]. 冶金自动化, 2023, 47(增刊1):478-481.
DAI J W. Digital transformation guidelines for steel industry: Whole-process data governance architecture solutions[J]. Metallurgical Industry Automation, 2023, 47(Sup. 1): 478-481.
- [10] 唐立新, 刘畅, 张凯楠, 等. 基于多目标进化深度学习的钢铁产品质量缺陷识别方法: CN202411086279.X[P]. 2024-12-03.
TANG L X, LIU C, ZHANG K N, et al. Steel product quality defect recognition method based on multi-objective evolutionary deep learning: CN202411086279.X[P]. 2024-12-03.
- [11] “双碳”战略下, 钢铁行业数字化发展如何破局[J]. 大数据时代, 2022(1): 36-44.

- How to make breakthroughs in digital development of steel industry under "dual carbon" strategy[J]. *Big Data Time*, 2022(1): 36-44.
- [12] 刘泓汛, 杨竞男, 高金凤. 碳达峰碳中和与经济发展协同的最优碳减排路径[J]. *厦门大学学报(哲学社会科学版)*, 2025, 75(1): 123-136.
- LIU H X, YANG J N, GAO J F. Optimal carbon emission reduction path with synergy between carbon peak and neutrality and economic development[J]. *Journal of Xiamen University (Philosophy & Social Sciences)*, 2025, 75(1): 123-136.
- [13] 颜勤江. 基于CVaR约束的大型钢铁企业贵金属原料采购策略研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- YAN Q J. Research on precious metal procurement strategy for large-scale steel enterprises based on CVaR constraints[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009.
- [14] 丁文. 国有企业人力资源效能提升对策[J]. *福建轻纺*, 2025(1): 64-67.
- DING W. Countermeasures for improving human resource efficiency in state-owned enterprises[J]. *The Light & Textile Industries of Fujian*, 2025(1): 64-67.
- [15] WU H, CHENG J, ZHONG H, et al. Recent progress in iron and steel industry decarbonization strategies: Industrial advancements and challenges[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2025, 32(8): 1-27.
- [16] 李润, 董华, 王一, 等. 首钢迁钢项目获批重钢环保搬迁求变[N]. *现代物流报*, 2011-01-24(B15).
- LI R, DONG H, WANG Y, et al. Shougang Qiangang project approved: Chongqing Iron & Steel environmental protection relocation initiative[N]. *Modern Logistics News*, 2011-01-24(B15).
- [17] 葛文瑾. 数字经济对钢铁产业结构升级的影响研究[D]. 济南: 济南大学, 2022.
- GE W J. Impact of digital economy on upgrading steel industry structure[D]. Jinan: University of Jinan, 2022.
- [18] 高倩. X钢铁集团数字化转型战略研究[D]. 天津: 天津财经大学, 2021.
- GAO Q. Research on digital transformation strategy of X Steel Group[D]. Tianjin: Tianjin University of Finance and Economics, 2021.
- [19] 石禹. 管理创新为中国钢铁“十四五”发展打下坚实基础——2020年冶金企业管理现代化创新成果综述[J]. *冶金管理*, 2020(24): 4-13.
- SHI Y. Management innovation lays solid foundation for China steel industry's "14th Five-Year Plan" development: Summary of 2020 metallurgical enterprise management modernization innovation achievements[J]. *Metallurgical Management*, 2020(24): 4-13.
- [20] 杨文玉. 基于GIS的环保智能可视化管理系统的研发及应用[J]. *安全、健康和环境*, 2024, 24(6): 24-28, 42.
- YANG W Y. R&D and application of GIS-based intelligent environmental protection visualization management system[J]. *Safety Health & Environment*, 2024, 24(6): 24-28, 42.
- [21] 程丰民, 于现臣, 刘卫东, 等. 一起铯-137放射源失控事故应急监测探讨[J]. *核安全*, 2022, 21(3): 1-7.
- CHENG F M, YU X C, LIU W D, et al. Emergency monitoring investigation of a cesium-137 radioactive source loss-of-control accident[J]. *Nuclear Safety*, 2022, 21(3): 1-7.
- [22] 陈盛龙. 钢铁与化工工业园区固废数据管理平台的设计与实现[D]. 沈阳: 沈阳化工大学, 2023.
- CHEN S L. Design and implementation of solid waste data management platform for steel-chemical industrial parks[D]. Shenyang: Shenyang University of Chemical Technology, 2023.
- [23] 刘旭东, 苑鑫, 冯砚明, 等. 企业污染源自动监控数据管理云平台的建设与应用[J]. *中国资源综合利用*, 2024, 42(8): 235-237, 241.
- LIU X D, YUAN X, FENG Y M, et al. Construction and application of enterprise pollution source automatic monitoring data management cloud platform[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2024, 42(8): 235-237, 241.
- [24] 龙瑜. 基于人工智能的钢铁企业设备管理策略[J]. *冶金设备*, 2023(增刊2): 264-266.
- LONG Y. Equipment management strategy for steel enterprises based on artificial intelligence[J]. *Metallurgical Equipment*, 2023(Sup. 2): 264-266.
- [25] 曾乔榛. 基于数字化系统的福建水泥公司安全环保管理解决方案[J]. *四川水泥*, 2024(11): 19-21.
- ZENG Q Z. Safety and environmental protection management solution based on digital system for Fujian Cement Company[J]. *Sichuan Cement*, 2024(11): 19-21.