

Research on the planning and implementation path of environmental protection supervision in electric power enterprises

Guoqiang Wang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

Abstract

Against the backdrop of global climate change and the “Dual Carbon” goals, the green transition of the power industry has become a crucial component of national strategy. Traditional environmental management models are hampered by limitations such as lagging monitoring, data silos, and extensive control measures, making them difficult to meet the refined, intelligent, and systematic environmental requirements of the new era. Digital technologies, represented by the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, provide novel methodological and practical tools for the environmental protection efforts of power enterprises. This study systematically elaborates on the application framework, key scenarios, and implementation pathways of digital technologies in the environmental protection domain of power enterprises. It analyzes their specific applications and comprehensive effectiveness in areas such as intelligent pollution source monitoring and whole-cycle carbon emission management.

Keywords

Digital Transformation; Power Enterprises; Environmental Protection; Smart Environmental Protection

浅谈数字化在电力企业环保领域的应用研究

王国强

大亚湾核电运营管理有限责任公司，中国·广东深圳518124

摘要

在全球气候变化与“双碳”目标背景下，电力行业的绿色转型已成为国家战略的重要组成部分。传统环境管理模式存在监测滞后、数据孤立、管控粗放等局限，难以适应新时期精细化、智能化、系统化的环保要求。以物联网、大数据、人工智能等为代表的数字化技术，为电力企业环保工作提供了全新的方法论与实践工具。本研究系统阐述了数字化技术在电力企业环保领域的应用框架、关键场景与实践路径，分析了其在污染源智能监控、碳排放全周期管理等方面的具体应用与综合成效。

关键词

数字化转型；电力企业；环境保护；智慧环保

1 引言

随着全球应对气候变化的共识日益增强以及我国“碳达峰、碳中和”战略目标的正式提出^[1]，电力行业作为能源体系的核心与碳排放的关键部门，正面临前所未有的绿色转型压力。长期以来，电力企业在环保领域主要依靠人工巡检、定期报送、末端治理等传统模式，存在监测覆盖面有限、数据实时性不足、管理响应滞后、系统性不强等突出问题。在环保标准日趋严格、监管要求持续升级、社会公众环保意识不断提高的背景下，传统环保管理模式已难以满足精准治理、源头预防、系统优化和效益协同的现实需求。如何借助

新一轮科技革命浪潮中的数字化技术，提升环境治理的现代化水平，实现环境保护与生产经营的深度融合，成为电力企业亟需解决的核心课题。

2 数字化技术的内涵及其在环保领域的赋能潜力

数字化技术泛指以数据为核心，通过信息通信技术（ICT）对物理世界进行感知、连接、分析和优化的各类技术集合，主要包括物联网（IoT）、云计算、大数据、人工智能（AI）、数字孪生（Digital Twin）、5G通信、区块链等。这些技术共同构成了一套强大的“感知-认知-决策-执行”能力体系。具体到环保领域，数字化技术能够实现：① 全域感知：通过密集部署的智能传感器、无人机、遥感监测等手段，实现对大气、水体、固废、噪声及生态参数的连续、

【作者简介】王国强（1986—），男，中国辽宁丹东人，本科，工程师，从事环保监督工作及环境管理体系建设研究。

立体、高精度监测。②数据融合洞察：打通跨部门、跨业务、跨时空的数据孤岛，利用大数据分析和 AI 算法挖掘环境数据与生产、经营数据间的深层关联，识别潜在规律与异常。③过程智能调控：基于模型预测与仿真优化，对发电过程、污染治理设施进行超前调节与闭环控制，实现从“达标排放”到“最优排放”的转变。④风险预警与应急联动：构建环境风险模拟与推演系统，实现风险早期识别、快速预警和智能化应急指挥。⑤透明可信监管：利用区块链等技术确保环境数据，特别是碳排放数据的不可篡改性可与追溯性，增强监管公信力与企业信誉。

3 研究意义与内容框架

本研究聚焦于数字化技术在电力企业环保领域的应用，具有重要的理论与实践意义。在理论层面，有助于丰富和拓展数字化绿色化协同转型的理论体系，明确技术赋能环境治理的作用机理与实施路径。在实践层面，为电力企业规划与实施数字化环保项目提供系统性的框架参考、场景借鉴与风险预警，助力其高效落实“双碳”目标，提升核心竞争力。

电力企业数字化环保体系并非单一技术的简单应用，而是一个多层次、多技术融合的复杂系统工程。其核心是构建一个“智能感知-可靠传输-智慧平台-场景应用”的四层架构，并形成持续优化的数据驱动闭环^[2]。感知层（全面感知神经末梢）：这是体系的“眼睛”和“皮肤”。在传统在线监测系统（如 CEMS、水质自动站）基础上，广泛集成物联网传感器、红外热像仪、声纹识别设备、高清视频、无人机机巡、卫星遥感等多元化感知终端。感知对象从常规污染物（SO₂、NO_x 等）扩展到温室气体（CO₂、CH₄）、非常规污染物（如汞）、噪声、振动、生态指标（如厂区周边植被指数）以及设备运行状态参数，形成立体感知网络。网络层（高速可靠数据通道）：这是体系的“血管”。利用电力光纤专网、5G 网络切片、工业无线网络（如 Wi-SUN、LoRa）及卫星通信等技术，实现海量、异构环境监测数据的安全、可靠、低时延传输与汇聚。平台层（环保智慧大脑）：这是体系的“中枢”。基于云边协同架构建设统一的“环保数据中台”与“智能分析平台”。平台层核心功能包括数据治理与融合、模型与算法服务、可视化与数字孪生体、价值实现场景应用。

该框架通过数据流贯穿始终，驱动业务流程从“被动响应”向“主动预测”和“协同优化”转变，形成“监测-预警-分析-决策-控制-评估”的智能闭环。

4 数字化技术在电力环保领域中的核心应用场景

4.1 污染源的智能化实时监控与精准管控

数字化技术彻底改变了传统点式、间断的监控模式。通过在关键工艺节点和排放口部署高密度传感器网络，结合

图像识别（如烟卤冒烟识别）、声纹识别（设备异响）等技术，实现污染源的全过程、无死角监控。大数据平台对实时流入的海量监测数据进行流处理与实时分析，利用异常检测算法（如孤立森林、神经网络）自动识别数据异常、设备故障或偷排嫌疑，并立即触发报警。更进一步，通过建立污染物生成与去除的机理-数据融合模型（例如，基于锅炉燃烧参数、煤质数据预测 NO_x 生成浓度等），可实现污染物排放的“前馈-反馈”复合控制。

4.2 全生命周期碳排放的数字化管理

构建企业级“碳资产数字管理平台”是实现“双碳”目标的核心抓手^[3]。该平台功能包括：①精准核算与实时监测：自动采集燃料计量、购入电力、生产过程等数据，内置符合国内外标准的排放因子库与核算模型，实现碳排放的自动化、高频次（如月度、甚至日度）核算。②碳流全景追踪：在电厂数字孪生体中，可视化展示碳元素从燃料入厂到烟气排放的全流程走向与分布，直观揭示碳损耗环节。③多维模拟与预测：结合发电计划、燃料采购计划、新能源预测、碳市场价格等信息，利用 AI 模型预测未来不同时间尺度的碳排放总量与强度，并模拟不同发电组合、技术改造（如灵活性改造、掺烧生物质）、碳捕集利用与封存（CCUS）等情景下的减排潜力与成本，为碳配额管理、碳交易策略提供量化依据。④供应链碳管理探索：利用区块链技术，尝试构建与煤炭供应商、物流服务商等上下游企业的碳排放数据共享与可信追溯链，逐步将碳管理边界向供应链延伸。

4.3 环保设施的预测性维护与智慧运维

环保设施（污水处理站、危废暂存库等）的可靠性直接关系到环保防线是否牢固。数字孪生技术在此场景中发挥关键作用^[4]。为关键环保设备建立高保真三维模型，并与其实时运行数据（压力、温度、振动、电流等）、历史维护记录、同类设备故障库进行动态关联。通过机器学习算法分析设备性能退化趋势，能够提前数天甚至数周预测设备故障风险，自动生成维护工单并推荐最优检修方案。

4.4 环境风险的智能预警与应急指挥数字化

整合厂区监测数据、区域气象水文数据、地理信息数据及周边环境敏感点数据库，构建基于 GIS 的环境风险预警与应急指挥平台。平台利用大气扩散模型、水质迁移模型等，对灰场扬尘、液氨泄漏、废水非正常排放等潜在风险事故进行模拟推演。当监测数据异常或达到预警阈值时，系统自动触发预警，在数字孪生厂区中动态模拟污染物的扩散范围与浓度分布，评估对周边居民区、水源地、生态保护区的潜在影响。同时，平台自动生成包含应急处置流程、人员疏散路线、应急物资调度方案在内的应急指令，并可联动无人机进行事故现场实时侦查与监测，将画面回传指挥中心，辅助指挥者进行科学决策，实现“快速感知、智能研判、精准调度、高效处置”的现代化应急响应。

5 实施过程中面临的主要挑战

尽管数字化赋能电力环保前景广阔，但在实际推进过程中仍面临一系列严峻挑战，包括：

数据质量与融合壁垒： 历史数据缺失或记录不规范，不同厂家监测设备数据格式与协议各异，数据“脏、乱、散”问题突出。企业内部生产、设备、安环、信息化等部门之间存在数据壁垒，业务系统间数据共享困难，形成“数据烟囱”。
技术集成与选型难度： 数字化技术体系庞杂，迭代迅速。企业面临技术选型困难，如何将物联网、大数据、AI、数字孪生等技术有效集成，并与现有控制系统（如DCS、SIS）安全互联，技术复杂度和集成难度高。初始投资与效益平衡压力：**数字化改造需要大量的传感器、网络、平台软件、算力等软硬件投入，且后期运营维护和模型优化也需要持续资金支持。其产生的环境效益和间接经济效益（如节能降耗、规避罚款）往往难以在短期财务核算中精确体现，影响企业决策。**
网络安全与数据安全风险加剧： 生产控制网络与环保管理网络的连接、数据上云等扩大了网络攻击面。环境监测数据特别是碳排放数据的真实性、完整性关乎企业重大利益，面临被篡改、窃取或勒索的风险，安全防护体系亟待升级。
体制机制与人才短板： 传统纵向职能化管理模式与数字化所需的跨部门、跨专业协同存在冲突。同时，极度缺乏既精通电力环保工艺、又掌握数据科学与数字技术的复合型人才，制约了应用的深度创新与价值挖掘。
标准与规范体系不健全： 在数据采集接口、传输协议、平台功能、模型算法评价、数字孪生构建等方面，行业和国家层面尚缺乏统一的标准与规范，导致系统互通性差、建设水平参差不齐。

6 结论与未来展望

6.1 研究结论

本研究系统论证了数字化技术是推动电力企业环保工作迈向精准化、智能化、系统化的关键驱动力。通过构建“感知-传输-平台-应用”的总体框架，数字化技术已深入渗透到污染监控、碳管理、设施运维、风险应急等核心环节，有效提升了环境治理的效率、效能与效益，为实现电力行业绿色低碳转型提供了坚实的技术路径。然而，这一转型过程并非坦途，需要正视并系统性解决在数据、技术、成本、安全、人才和标准等方面存在的挑战。

6.2 未来展望与发展建议

面向未来，电力企业数字化环保将呈现以下趋势，并建议从以下方面着力推进：

技术深度融合与创新： “AI+机理模型”将成为主流，实现更精准的模拟与优化；区块链技术将在碳足迹追踪、环保数据存证等方面规模化应用；边缘计算与云计算的协同将提升实时响应能力。

应用边界持续拓展： 从单一电厂向“源网荷储”全产业链环保协同延伸；从污染防治向生物多样性保护、生态修复、环境健康等更广泛领域拓展。

平台开放与生态共建： 企业环保平台将与政府监管平台、电网调度平台、碳交易平台、第三方服务商平台实现安全可控的数据共享与业务协同，构建开放共赢的数字环保生态。

推进策略建议：

强化顶层设计与战略统筹： 将数字化环保纳入企业整体数字化转型和“双碳”战略，进行统一规划，分阶段实施。

夯实数据基础与治理体系： 将数据作为核心资产，建立统一的数据标准与治理体系，率先打破内部数据孤岛。

探索多元化投资与价值显性化模式： 创新合作模式（如与科技公司合作、采用云服务），并通过精细化管理将环保数字化带来的节能、降耗、减碳效益进行量化核算。

构建安全可信的防护体系： 贯彻“同步规划、同步建设、同步运行”原则，建立覆盖网络、数据、应用、管理的立体安全防护体系。

加快复合型人才培养与组织变革： 设立跨部门数字化环保创新团队，加强内部培训与外部引进，并推动组织流程向扁平化、敏捷化方向优化。

总之，电力企业应把握数字化历史机遇，以业务价值为导向，以技术融合为手段，以机制创新为保障，稳步推进数字化环保体系建设，最终建成“数字驱动、智慧感知、协同优化、绿色低碳”的现代化环境治理新范式，为国家“双碳”目标实现和生态文明建设作出核心贡献。

参考文献

- [1] 国家发展改革委, 国家能源局. “十四五”现代能源体系规划[Z]. 2022.
- [2] 王伟, 张鹏. 基于大数据的电力企业环境管理智能决策系统研究[J]. 环境工程, 2019, 37(S1): 372-376.
- [3] 刘吉臻. 能源电力数字化转型与碳中和[J]. 动力工程学报, 2022, 42(1): 1-8.
- [4] Zhou K, Yang S. Digital Technology for Carbon Emission Management in the Power Industry[J]. Energy Procedia, 2019, 158: 3945-3950.