

胶凝材料,替代水泥熟料,既消纳固废,又降低建材行业的碳排放;将除尘灰、轧钢氧化铁皮等返回烧结或炼钢工序,实现铁素资源循环利用。此外,利用冶金炉窑协同处置社会危废(如废轮胎、废塑料等),既可回收能源与材料,又能减少污染物排放。

3.4 跨工序、跨介质系统优化技术

3.4.1 能源—环境耦合优化模型

从全厂角度出发,建立涵盖能源介质(煤气、蒸汽、电力、水等)与环境介质(废气、废水、固废)的耦合优化模型。通过数学规划、动态仿真等手段,优化煤气、蒸汽的跨工序调度,实现余热余能资源在不同工序间的梯级利用,同时考虑污染治理设施的能耗约束,寻求全局最优解。

3.4.2 物质流—能量流—环境流协同调控

借鉴冶金流程工程学思想,将生产流程视为物质流、能量流与环境流交织的复杂网络。通过对铁素流、碳素流、水循环网络等进行分析与重构,识别并消除瓶颈环节,减少物质与能量损失,降低全流程污染物排放强度。例如,通过优化高炉煤气与转炉煤气的回收与分配,平衡电厂锅炉与热风炉的燃料需求,可减少煤气放散,提高自发电比例,同时降低全厂外购电力对应的间接碳排放。

3.4.3 循环经济与产业共生

推动冶金企业与周边化工、建材、电力等行业构建循环经济产业链,形成跨行业的协同控制模式。例如,利用焦炉煤气、转炉煤气生产化工产品(甲醇、乙二醇等),将钢渣用于道路材料或土壤改良剂,将高炉水渣作为水泥混合材,将余热用于区域供暖或现代农业。这种产业共生模式可将单一企业难以消纳的余能、废物转化为外部可利用的资源,拓展了协同控制的外延^[3]。

4 存在的问题与发展建议

4.1 存在问题

尽管冶金行业在节能降耗与污染物协同控制方面已取得显著进展,但仍面临诸多挑战。

首先,技术集成度不足,现有技术多集中于单一工序或单一介质,缺乏跨工序、跨介质乃至跨行业的系统集成解决方案,导致协同效应难以充分发挥。其次,成本压力与收益错配问题突出,协同控制技术往往初始投资较高,而环境效益与节能收益的回收期较长,一定程度上抑制了企业的投资意愿。再次,标准体系尚不完善,现有标准多针对单一污染物或单一能效指标,缺少能够系统评价协同控制效果的综合标准与核算方法。此外,数据基础较为薄弱,能源流、物质流与环境流数据分散于不同管理部门,缺乏统一的数据平台与共享机制,制约了系统优化模型的构建与应用。

与此同时,低碳转型也带来了新的挑战,“双碳”目标对冶金行业提出了更高要求,氢冶金、碳捕集利用与封存(CCUS)等颠覆性技术尚处于示范阶段,其与传统污染物

协同控制之间的关系仍有待深入研究。

4.2 发展建议

4.2.1 加强顶层设计,完善政策引导

应制定冶金行业节能降耗与污染物协同控制的专项规划,明确技术路线图与阶段性目标。将协同控制效果纳入环保、能效“领跑者”评价体系,通过绿色金融、税收优惠、差别化电价等政策工具,激励企业采用协同控制技术。

4.2.2 突破关键技术,强化创新支撑

加大对源头减量、过程清洁、末端协同及系统集成技术的研发投入。重点支持氢基直接还原、烟气多污染物协同脱除、冶金炉窑协同处置固废、跨行业能源梯级利用等前沿技术攻关。构建产学研用协同创新平台,加速科技成果转化应用。

4.2.3 健全标准体系,建立评价方法

研究制定冶金行业协同控制技术规范与评价指南,建立涵盖能效、污染物减排、碳减排、资源循环等多维度的综合评价指标体系。推动企业开展协同控制绩效评估,引导行业对标提升。

4.2.4 推动数字化转型,赋能系统优化

利用工业互联网、数字孪生等技术,构建冶金企业“能源—环境—碳”一体化智慧管控平台。通过数据驱动建模与优化算法,实现全流程物质流、能量流、环境流的协同匹配与动态调度,挖掘系统层面的协同控制潜力。

4.2.5 探索协同降碳路径,应对未来挑战

面向碳中和目标,积极探索氢能与冶金深度融合、生物质能利用、CCUS等低碳技术与传统污染物控制技术的协同路径。开展长期低碳情景下的协同控制路线图研究,确保冶金行业在绿色转型过程中平稳有序发展^[4]。

5 结论

冶金行业节能降耗与污染物协同控制是实现行业绿色低碳发展的必然选择。基于对冶金流程能量流—物质流—环境流耦合特性的深刻认知,通过源头减量、过程清洁、末端协同及系统优化等技术的集成应用,可以突破传统单一要素治理的局限,实现能效提升与环境绩效改善的双赢。当前,冶金行业正处在由规模扩张向质量效益转变、由末端治理向全过程优化转变的关键时期。加快推进协同控制技术创新与应用,不仅有助于企业降低能源环境成本、提升市场竞争力,更是推动冶金行业实现“双碳”目标、建设美丽中国的重要支撑。

参考文献

- [1] 冯梓莫. 冶金工业领域节能环保技术创新与低碳生产模式优化[J].能源与节能,2025,(S1):78-80+84.
- [2] 张秀宝. 绿色节能在冶金行业经济发展中的作用研究[J].有色金属(冶炼部分),2025,(12):257.
- [3] 吕堃. 基于机械自动化冶金行业节能降耗策略研究[J].冶金管理,2025,(06):66-68.
- [4] 龙应瑞,韩龙,李国亮. 新时代冶金轧钢生产新技术研究[J].冶金管理,2023,(11):22-24.

Full-process Quality Control of Environmental Monitoring and Application of Intelligent Tools under the New Situation

Xingzhou Yu

Hunan Suoao Testing Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410116, China

Abstract

Under the new situation where ecological and environmental protection is advancing towards precise, scientific and law-based pollution control, environmental monitoring, as a core support link in the ecological and environmental governance system, its data authenticity and accuracy directly relate to the scientific nature and implementation effectiveness of environmental governance decisions. The full-process quality control runs through all key nodes of environmental monitoring, including scheme design, on-site sampling, sample control, laboratory analysis, data processing and report issuance, and is the core approach to ensuring the credibility of monitoring data and avoiding the risk of data distortion. Currently, the traditional full-process quality control model generally has problems such as insufficient refinement in control, low operational efficiency, and prominent human interference factors, which are difficult to meet the development needs of environmental monitoring's transformation towards diversification, refinement and normalization under the new situation. The rapid development and application of intelligent technologies such as the Internet of Things, big data and artificial intelligence provide a new path to solve the above control pain points and improve the efficiency of full-process quality control. Based on the actual needs of full-process control in environmental monitoring, this paper systematically sorts out the core problems and formation mechanisms of full-process quality control under the new situation, deeply explores the application scenarios, practical paths and optimization strategies of intelligent tools in each monitoring process, and verifies the application effects through specific practical cases, providing theoretical support and practical reference for promoting the quality and efficiency improvement of full-process quality control in environmental monitoring and assisting the modernization of the ecological and environmental governance system and governance capacity.

Keywords

new situation; environmental monitoring; full-process quality control; intelligent tools; internet of things; big data

新形势下环境监测全流程质量控制及智能化工具应用

于行周

湖南索奥检测技术有限公司, 中国 · 湖南长沙 410116

摘要

在生态环境保护向精准治污、科学治污、依法治污迈进的新形势下, 环境监测作为生态环境治理体系的核心支撑环节, 其数据的真实性、准确性直接关系到环境治理决策的科学性与落地成效。全流程质量控制贯穿于环境监测的方案设计、现场采样、样品管控、实验室分析、数据处理及报告出具等各个关键节点, 是保障监测数据公信力、规避数据失真风险的核心抓手。当前, 传统全流程质量控制模式普遍存在管控精细化不足、操作效率偏低、人为干扰因素突出等现实问题, 已难以适配新形势下环境监测向多元化、精细化、常态化转型的发展需求。物联网、大数据、人工智能等智能化技术工具的快速发展与应用, 为破解上述管控痛点、提升全流程质量控制效能提供了全新路径。本文立足环境监测全流程管控的实际需求, 系统梳理新形势下全流程质量控制存在的核心问题与形成机理, 深入探索智能化工具在监测各流程的适配应用场景、实践路径及优化策略, 结合具体实践案例验证应用成效, 为推动环境监测全流程质量管控提质增效、助力生态环境治理体系和治理能力现代化建设提供理论支撑与实践参考。

关键词

新形势; 环境监测; 全流程质量控制; 智能化工具; 物联网; 大数据

1 引言

环境监测是生态环境保护的“耳目”与“哨兵”, 是精准掌握环境状况、科学研判污染趋势、有效实施治理的重

要基础。全流程质量控制旨在将质量要求融入监测活动的每个环节, 实现从源头到终端的全方位、可追溯管控, 从而筑牢数据真实性的底线。随着《生态环境监测条例》等政策文件的实施, 我国已明确要求健全全流程质控体系, 推动监测技术智能化转型, 构建“全要素、全流程、全覆盖”的质量控制格局。然而当前工作仍存在一些短板: 部分机构存在“重实验室、轻现场”的管控失衡问题; 传统模式依赖人工、

【作者简介】于行周 (1989-), 男, 中国湖南长沙人, 硕士, 工程师, 从事环境监测研究。

效率低且易引入误差；各环节数据碎片化，缺乏协同共享；智能化工具应用尚浅，未与质控深度融合，难以满足新时期数据质量提升的需求。因此，本文聚焦环境监测全流程质量控制与智能化工具应用，旨在系统剖析当前痛点，探索智能化深度融入质控的可行路径，以为行业高质量发展提供支撑，并为相关学术研究补充实践参考。

2 新形势下环境监测全流程质量控制的现状及核心问题

2.1 全流程质量控制发展现状

近年来，随着我国生态环境保护力度的持续加大，环境监测行业快速发展，全流程质量控制体系逐步完善。目前，我国已初步构建起“国家-省-市-县-乡”五级联动的环境监测网络，逐步健全了覆盖全流程的质量控制标准体系，先后出台《环境监测质量管理技术导则》等一系列规范性文件，明确了各监测环节质量控制的技术要求、操作标准与考核规范。多数监测机构逐步建立了内部全流程质量管理体系，强化了现场采样、实验室分析等关键环节的质控措施，广泛引入平行样测定、加标回收、空白试验等常规质控手段，有效推动了监测数据质量的整体提升。

2.2 全流程质量控制现存核心问题

2.2.1 全流程管控不均衡，现场环节薄弱

当前，我国环境监测全流程质量控制普遍存在“重实验室、轻现场”的现象。多数机构将质控重点集中于实验室分析，对监测方案设计、现场采样、样品运输与保存等前期环节的管控不足，导致现场成为质控薄弱点。采样时，部分人员操作不规范，样品保存条件不达标，易造成样品污染或变质，影响数据真实性；方案设计时，未能充分结合区域环境特征与污染分布优化布点与频次，导致监测数据代表性不足。

2.2.2 传统管控模式粗放，效率与精度受限

不少基层及第三方监测机构仍依赖人工操作和经验判断，质控模式较为粗放。现场采样依赖纸质记录，易出现错漏；实验室分析中校准、核算、审核等环节人工干预多，效率低且易出错。各环节数据分散存储，缺乏统一整合与同步机制，导致问题追溯困难，难以快速定位与排查数据质量根源。

2.2.3 智能化工具应用浅层，融合不足

当前智能化工具在全流程质控中应用尚浅，存在“重配备、轻整合”的问题。虽已引入物联网设备等工具，但未与质控平台有效联动，数据难以实时共享与协同分析。应用多局限于单一环节，未能覆盖全流程；且缺乏适配的智能质控模型与算法，无法实现数据实时校验、异常预警与智能溯源，制约了智能化管控效能。

2.2.4 质控制度不健全，责任落实不到位

部分机构，尤其小型第三方，质控制度体系不完善，

程序文件与实际脱节，缺乏明确的操作规范与考核机制。全流程责任界定模糊，人员职责不清，追责力度不足，导致制度执行流于形式。同时，部分质控人员专业能力不足，不熟悉全流程规范与智能工具操作，难以适应新形势下质控要求，影响整体质控水平提升。

3 新形势下环境监测全流程质量控制的核心要求与管控重点

3.1 全流程质量控制的核心要求

新形势下，环境监测全流程质量控制需严格遵循“全流程、全覆盖、精细化、智能化”的核心要求，全面保障监测数据的真实性、准确性、完整性、时效性与可比性，为环境治理决策提供可靠支撑。真实性是全流程质控的首要底线，需严格杜绝人为篡改、伪造监测数据、违规操作等行为，确保监测数据客观、真实反映环境实际状况；准确性要求各监测环节严格按照标准规范操作，优化操作流程，减少人为误差与设备误差，确保监测数据的精度符合相关标准要求；完整性要求质控工作覆盖监测全链条，无遗漏、无缺失，确保监测数据能够全面反映环境质量的动态变化趋势；时效性要求加快监测数据的采集、处理、审核与反馈速度，确保数据能够及时为突发环境事件处置、污染治理决策提供支撑；可比性要求统一监测方法、质控标准与技术规范，确保不同区域、不同时段、不同监测机构的监测数据具有可比性，为跨区域、跨时段的环境质量分析提供保障。

3.2 全流程质量控制的管控重点

环境监测的全流程质量控制涵盖前期至后期的关键环节，每个环节均需明确管控重点以确保数据的代表性与准确性。前期管控聚焦于方案设计与点位布设，需依据监测目的与区域环境特征，科学选定方法与指标，并遵循代表性、可行性的原则优化布点。现场管控的核心在于采样操作的规范性与样品运输保存的安全性，要求采样过程严格遵循标准并完整记录，同时对样品实施全程环境监控与规范保存，以保障样品有效与可追溯。中期管控集中于实验室分析，通过定期校准维护仪器、严格执行标准分析方法，并运用平行样、加标回收等质控手段，确保分析过程的稳定与结果可靠。后期管控则侧重于数据处理与报告出具，需统一数据处理流程、开展三级审核，最终形成数据准确、结论科学的监测报告，为环境决策提供可靠依据。

4 新形势下智能化工具在全流程质量控制中的应用场景与实践策略

4.1 物联网技术：实现现场与样品的实时管控

物联网技术依托传感器、RFID、无线传输等手段，实现对现场采样、样品运输、设备运维等环节的实时监控与数据自动采集，有效解决传统质控人工依赖高、监管滞后、追溯难等问题。采样环节通过传感器实时采集关键信息并上传，确保操作规范、过程可溯；运输环节利用RFID与温湿

度监控实现全程追踪、异常预警,保障样品有效;设备运维环节通过状态监测实现远程诊断、及时维护,减少数据偏差。综上,物联网技术显著提升了环境监测质控的自动化、实时化与可追溯性。

4.2 大数据技术:实现数据的协同管控与智能分析

大数据技术可实现监测与质控数据的整合、分析与挖掘,有效解决传统数据处理效率低、碎片化、难溯源等问题,为质控决策提供科学支撑。通过构建统一大数据质控平台,整合各环节数据资源,打破数据壁垒,实现互联互通与共享共用;运用大数据算法开展实时校验、异常识别与趋势分析,自动预警不规范操作、设备故障、样品异常等问题;建立全流程数据溯源体系,实现数据从采集到报告的全程可追溯,便于快速定位问题、落实责任;通过深度挖掘质控数据,精准识别薄弱环节,优化质控策略,提升工作实效。

4.3 人工智能技术:实现质控的自动化与智能决策

人工智能技术通过自动化操作与智能决策,显著提升了环境监测全流程质量控制的效率与水平。在实验室分析环节,借助自动化分析设备与智能算法,实现了样品前处理、检测及数据录入核算的自动化,并能在分析过程中实时调整参数、纠正异常,保障结果准确。在数据审核环节,智能审核模型可自动识别数据计算错误、报告格式不规范或数据与标准不符等问题,辅助人工审核,有效破解传统人工审核工作量大、易遗漏、效率低的难题。在质控决策环节,基于全流程数据与环境参数构建的智能决策模型,可分析现状、预测风险并提出优化建议,为管理人员提供科学决策依据。此外,人工智能还可用于智能优化采样点位,结合区域污染特征与监测目标,提升前期布点的合理性与代表性。

4.4 无人机与遥感技术:实现现场质控的立体化覆盖

无人机与遥感技术可有效弥补传统现场监测覆盖有限、操作难度大等短板,适用于偏远地区与复杂地形,构建立体化现场质控体系。利用无人机搭载监测设备与高清摄像,可对难以到达区域开展环境监测,实时采集数据并上传平台;同时对采样过程与点位进行远程监督,规范操作、减少人为干扰。结合遥感技术实现大范围常态化监测,通过多源数据比对验证数据真实性与准确性,推动现场监测与宏观监测协同质控,显著提升质控覆盖面与精准度。

5 实践案例分析

为破解传统环境监测全流程质控中存在的管控粗放、效率低下、溯源困难及人为干扰等突出问题,某地级市环境监测中心联合科研机构,构建了基于“物联网+大数据

+人工智能”的全流程智能化质控体系。该体系覆盖监测方案设计、现场采样、样品管控、实验室分析、数据处理及报告出具各环节,通过智能优化采样点位、物联网设备实时监控采样过程、RFID与传感器跟踪样品流转、AI自动化分析及大数据质控模型校验数据、平台三级智能审核等方式,实现质控全程精细化、可追溯。实施后,采样点位合理性提升35%以上,现场采样规范率达98%,样品污染变质率下降80%,平行样相对标准偏差低于2%,加标回收率稳定在95%~105%,数据处理效率提升超60%,报告出具周期缩短50%。该实践表明,智能化工具深度融合全流程质控,能显著提升数据质量与效率,为生态环境精准治理提供可靠支撑,也为行业提供了可借鉴的应用路径。

6 结论与展望

新形势下,强化环境监测全流程质量控制是保障数据公信力、支撑精准治理和促进行业高质量发展的关键。当前,相关工作仍面临管控不均衡、模式粗放、智能化应用不足、制度不健全等问题,制约了质控效能与数据价值的发挥。为此,需明确各环节管控重点,深化物联网、大数据与人工智能等技术的融合应用,推动质控向自动化、实时化与精细化升级,从而系统提升数据质量与工作效率。本文基于实际需求,梳理现存问题,明确管控重点,并探索智能化工具的应用场景与实践路径,结合案例验证其成效。未来,质控工作将朝着更精细化、智能化、协同化的方向发展。下一步应加强产学研协作,研发适配不同场景的智能装备与模型;完善相关标准与规范,促进行业标准化;培育复合型质控人才;推动智能化模式向基层及第三方监测机构延伸,全面提升我国环境监测质控水平,为生态文明建设提供坚实保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 生态环境监测条例[Z]. 2025.
- [2] 生态环境部. “十四五”生态环境监测规划[Z]. 2021.
- [3] 李娟,王浩,张庆利. 环境监测全流程质量控制要点及优化策略[J]. 2022, 8(5): 43-48.
- [4] 陈明,李丽,赵军. 物联网技术在环境监测全流程质量控制中的应用实践[J]. 2023, 9(2): 56-62.
- [5] 中国环境监测总站. 环境监测质量控制技术指南(试行)[Z]. 2022.
- [6] 张雪梅,刘敏,王强. 大数据驱动下环境监测全流程智能化质控路径研究[J]. 环境监测管理与技术, 2022, 34(4): 28-32.
- [7] 赵艳,李建科,王锐. 新形势下环境监测全流程质量控制智能化转型实践[J]. 环境保护, 2022, 50(8): 57-60.