

环境监测数据质量控制与管理策略探析

肖金生¹ 吴文佳²

1. 呼伦贝尔市海拉尔生态环境监测中心, 内蒙古 呼伦贝尔 021000

2. 呼伦贝尔市生态环境局鄂温克族自治旗分局, 内蒙古 呼伦贝尔 021000

[摘要]环境监测数据质量控制与管理存在问题, 文中对此进行了深入研究, 在生态文明建设不断推进的大背景下, 环境监测数据在环境管理决策里有着重要地位且数据质量直接影响环境保护工作成效。文章先剖析当下环境监测数据质量控制存在的技术标准不一、质控体系有缺漏、人员素质高低不均等主要问题, 接着从监测设备校准维护、标准物质使用、实验室内部质控、外部质量评估这些技术层面探寻数据质量控制的关键点, 然后从管理制度建设、人员培训、信息化建设等方面给出完善环境监测数据管理的策略, 最后构建出一套涵盖事前预防、事中控制、事后评估的全过程质量管理模式并用案例证实这种模式有效。研究显示, 要提高环境监测数据质量, 核心在于建立健全质量控制体系、强化技术支撑能力、完善管理制度、提高人员素质、加强信息化建设, 这对保障环境监测数据的科学性、准确性、代表性意义非凡。

[关键词]环境监测; 数据质量; 质量控制; 管理策略; 信息化建设

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18724

中图分类号: X830.5

文献标识码: A

Analysis of Quality Control and Management Strategies for Environmental Monitoring Data

XIAO Jinsheng¹, WU Wenjia²

1. Hulunbuir City Hailar Ecological Environment Monitoring Center, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000, China

2. Ewenki Autonomous Banner Branch of Hulunbuir Ecological Environment Bureau, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000, China

Abstract: There are problems in the quality control and management of environmental monitoring data. This article conducts in-depth research on this issue. Against the backdrop of the continuous promotion of ecological civilization construction, environmental monitoring data plays an important role in environmental management decision-making, and the quality of data directly affects the effectiveness of environmental protection work. The article first analyzes the main problems of inconsistent technical standards, deficiencies in quality control systems, and uneven personnel quality in current environmental monitoring data quality control. Then, it explores the key points of data quality control from the technical aspects of monitoring equipment calibration and maintenance, standard substance use, laboratory internal quality control, and external quality evaluation. Finally, strategies for improving environmental monitoring data management are proposed from the aspects of management system construction, personnel training, and information technology construction. Finally, a full process quality management model covering pre-prevention, in-process control, and post evaluation is constructed and proven effective through case studies. Research shows that to improve the quality of environmental monitoring data, the core lies in establishing a sound quality control system, strengthening technical support capabilities, improving management systems, enhancing personnel quality, and strengthening information technology construction, which is of great significance for ensuring the scientific, accurate, and representative nature of environmental monitoring data.

Keywords: environmental monitoring; data quality; quality control; management strategy; informatization construction

引言

全球环境问题近年越发突显使得环境监测在环境管理和决策中作为科学依据的重要性不断攀升, 因为环境监测数据是反映环境质量、评估污染防治效果、制定环境政策的关键依据, 其质量直接关乎环境管理决策的科学性和

有效性。中国生态环境部统计显示, 2019—2023 年中国环境监测点位数量超 50 万个且每年产生的监测数据量达数百亿条, 这使监测数据在生态环境保护中的基础性作用越来越突出, 不过环境监测数据仍存在问题, 例如数据失真、监测结果不准、质控体系不完善等, 这些都严重限制

环境监测数据在环境管理里的应用效能。

全球环境监测技术与管理研究显示,准确性、代表性、完整性以及可比性是高质量环境监测数据应有的特征,并且中国环保产业协会环境监测分会 2022 年调查表明,国内环境监测机构数据出现质量问题的概率大概为 8.3%,其中数据失真占 23.7%、设备故障致使数据异常占 19.5%、操作不规范造成数据偏差占 17.8%,这些问题会影响环境状况的客观评价,让环境决策产生偏差,进而带来一系列环境风险。

当前环境监测领域把建立健全环境监测数据质量控制体系当作重要任务,本研究想要系统剖析环境监测数据质量管理中的主要问题并探究影响数据质量的关键要素,进而拿出涵盖数据采集、传输、存储、处理与分析各环节全过程的质量控制策略,最终构建起完善的环境监测数据质量管理体系,希望给提高环境监测数据质量、加强环境决策科学性提供理论支持与实践指引。

1 环境监测数据质量问题的现状分析

1.1 环境监测数据质量影响因素

环境监测数据质量受多种因素综合影响,主要体现在技术、人员、管理和外部环境等方面,其中监测设备的精度、准确度和稳定性在技术层面直接影响原始数据质量基础,因为 2021—2023 年国内环境监测站点的设备故障率统计显示老旧设备故障率达 15.7%且新型智能化设备故障率不到 4.2%,并且监测方法的科学性和标准化程度对数据可比性也有很大影响,由于我国现行环境监测标准体系里大概 12%的监测方法和国际标准不一样,所以部分数据国际可比性不够,还有标准物质质量、采样点位代表性、采样频次合理性等因素也影响数据质量。

环境监测数据质量控制中的人员因素也不容小觑,《2022 年中国环境监测人员能力调研报告》表明环境监测领域高学历人才占比 38.3%且专业技术人员拿到高级职称的占 22.7%,所以监测过程能否标准化实施与技术人员专业素养、操作是否规范、职业道德高低直接相关。管理体系方面,数据质量管理的制度环境由质量保证与质量控制(QA/QC)体系是否完善、质控措施有无落到实处、质量追溯机制存不存在等因素共同构成。另外,监测经费投入不够、监测任务压力太大、地方保护主义干扰这些外部环境也是影响环境监测数据质量的重要外部因素,生态环境部 2023 年通报的数据质量问题案例中,35.8%跟外部不当干预有关系^[1]。

1.2 数据质量管理中存在的主要问题

当前环境监测数据质量管理存在问题,主要体现在监

测技术标准不统一且监测方法和分析技术差别显著,《2021—2023 年环境监测标准执行情况评估报告》表明我国环境监测标准实际执行率为 87.6%但不同地区、不同类型监测机构执行标准差异大,从而使监测结果可比性受影响。质量控制体系也不完善,基层监测机构 QA/QC 体系建设更是落后,调查数据表明县级环境监测站完整实施质控措施的比例才 53.2%且质控手段少、频次不够,很难有效保证数据质量。

监测数据全过程管理存在断点,在数据传输、存储和处理环节尤其如此,因为这环节缺乏有效的质量控制机制,所以数据篡改、丢失或者失真现象频发,2022 年公布的典型环境监测数据造假案例中,数据传输和录入环节出问题的比例达 47.3%。而且监测设备校准和维护不规范会使设备性能不稳定,进而影响数据准确性,统计表明 2022 年全国环境监测设备定期校准率为 83.5%,有些地区因经费或人员限制不能按要求对设备进行校准和维护。最后人员素质高低不一,专业技能和责任意识需要提高,基层监测人员流动率达 25.7%,专业培训覆盖率不到 60%,人员能力建设跟不上监测技术发展。

1.3 数据质量缺陷对环境决策的影响

环境监测数据存在质量缺陷会带来多种负面后果,不仅让环境管理工作在科学性上与有效性上遭受直接损害,而且会使环境质量评价结果与实际相悖,导致环境政策制定者对区域环境状况作出错误判定,像 2020—2022 年国家生态环境质量评估因数据问题评估误差率达 7.4%,其中水环境质量评估误差最高为 9.2%。同时监测数据质量问题也会影响到污染源解析的准确性,使得污染防治措施缺乏针对性,例如 2021 年某省份大气污染源解析报告因监测数据不准被发现贡献率估算有 15.3%的偏差,致使该地投入 1.7 亿元治理资金的方向偏离重点污染源。此外,低质量监测数据还会影响环境政策实施效果评估的客观性,干扰环境管理决策的调整优化工作,生态环境部 2023 年的评估表明,监测数据质量问题已然成为影响“十四五”环境质量改善目标实现的重要风险因素,在重要性方面仅排在经济下行压力和能源结构调整难度之后^[2]。

2 环境监测数据质量控制体系构建

2.1 数据采集过程的质量控制策略

环境监测数据质量控制中,首先得规范数据采集过程的管理,而建立科学的采样设计方案是基础,这包含合理确定采样点位布局、采样频次和采样方法。生态环境部《环境监测数据采集技术规范》(2023 年版)指出,采样点位要充分考虑到环境要素空间异质性,采样频次需满足环境变

化捕捉的时间分辨率要求。就拿大气环境监测来说,城市核心区采样点位密度每 10 平方公里不能少于 1 个点,并且采样频次依据污染物特性设定,像细颗粒物(PM_{2.5})这些关键指标要能实现小时级连续监测。采样时要严格执行标准操作程序(SOP),不同环境要素还得有详细的现场采样规程以规范样品采集、保存、运输的全过程,同时现场质控措施也得建立起来,如采集平行样、现场空白、运输空白等,从而保证样品代表性和完整性。2022 年全国环境监测机构调研数据显示,实施完整现场质控措施的监测活动,数据质量合格率提高了 12.7%。

2.2 数据传输与存储的质量保障机制

环境监测数据质量控制的关键在于数据传输与存储阶段,所以得建立起完善的质量保障机制,首先构建起安全可靠的数据传输网络,并且运用加密传输技术避免数据在传输时被篡改或者丢失,基于物联网技术的环境监测数据传输系统能够实现实时自动上传数据从而减少人为干预环节,其次建立数据溯源机制,利用数据指纹技术给原始监测数据生成唯一标识以保证数据来源可追溯,2023 年国家环境监测网络建设时,78.5%的自动监测站点已采用区块链技术的数据防篡改机制从而有效降低数据造假可能性。

对于数据存储,分布式数据库架构得被采用且数据备份与恢复策略也得施行,这样才能保证数据安全完整,环境监测数据存储系统需要有自动校验功能,异常数据会被标记并且预警会被触发,另外数据访问权限管理制度要建立起来以严格控制数据修改权限,所有的数据变更操作都要详细记录操作日志,按照《环境监测数据存储与管理技术规范》的要求,环境监测数据至少保存五年且重要历史数据永久保存,这样能给长期环境趋势分析提供数据支撑。

2.3 数据处理与分析的标准化方法

环境监测数据处理与分析环节得用标准化方法才能保证数据解释科学又一致,首先要建立起包含异常值识别、缺失值处理、数据归一化等步骤的数据预处理标准流程,识别数据异常值能用箱线图法、Grubbs 检验法之类的基于统计学方法的自动筛查技术,并且按照《环境监测数据质量控制技术规范》,监测数据若是超了历史数据 95%置信区间就该人工核查确认,处理缺失值要使用科学的插补方法,不同环境要素和不同的缺失情况要挑合适的算法,不要简单地用平均或者替换成零值^[3]。

统一技术规范得遵循才能让数据分析的方法科学、结果可比,并且国家环境质量标准里规定的评价方法在环境

质量评价时要严格执行,不能随意改动计算参数或者评价指标,像 Mann-Kendall 趋势检验、小波分析之类的标准统计方法可用于时间序列分析以评估环境质量变化趋势,空间分析依据地统计学方法做空间插值能科学评估区域环境质量分布,2021—2023 年国家环境监测网络数据分析规范化程度提高 17.3%且分析结果的一致性也明显变强了。

2.4 监测设备校准与维护的规范化管理

保障环境监测数据质量的技术基础在于监测设备的校准与维护,所以得建立起严格的设备管理制度,涵盖新设备验收、定期校准、日常维护以及性能评估这些环节。按照《环境监测仪器设备管理规定》(2022 版)的要求,自动监测设备最少要每季度校准一次,便携式设备在每次使用之前需做校准检查,实验室分析仪器则依据使用频率和重要性来确定校准周期,并且校准时要用有证标准物质或者经过认证的校准装置,校准的结果要形成记录纳入质量管理体系之中。

在设备维护上要制定包含日常检查、定期保养以及故障诊断等事项的预防性维护计划,并且自动监测设备得建立起远程监控系统以实现实时监测设备运行状态、及时发现与处理异常状况。2022 年的数据表明,监测机构实行规范化设备管理后,设备完好率达到 96.3%、数据有效率也提高了 8.7%。另外,还要构建设备全生命周期管理档案,将设备自采购、安装、使用、维护直至报废的全程信息都记录下来,以便给设备性能评估和更新计划作依据。

3 环境监测数据质量管理的创新策略

3.1 基于信息技术的数据质量实时监控

2019—2023 年环境监测领域数字化转型明显且实时监控这一前沿技术的应用保障着数据质量,现代环境监测数据质量实时监控将物联网、大数据分析和人工智能技术相融合从而实现数据采集到异常检测的全流程监控。中国生态环境部数据表明,到 2023 年环境监测站点应用智能化实时监控系统的数量较 2019 年增加了 67%且监测数据有效率也提升了 18 个百分点^[4]。这类系统有三个核心模块,即数据采集与传输模块(负责从各类监测设备获取实时数据)、质量异常自动识别模块(依设定的阈值、统计模型和机器学习算法对数据进行实时筛查)以及预警与响应模块(检测到异常就立即启动预设响应机制,包括设备自检、数据标记和人员通知等功能),基于信息技术的实时监控方法大大减少人为干预并提高异常检测的及时性与准确性,给环境监测数据质量管理提供

技术支持。

3.2 数据质量评价指标体系的建立与应用

要实现数据质量的量化管理就得建立起科学合理的环境监测数据质量评价指标体系,如今环境监测领域已经构建起较完备的多维度评价体系,按照2022年《生态环境监测数据质量评价技术规范》来算,现代环境监测数据质量评价指标大体上涵盖四个维度,其中准确性指标用于衡量数据跟真实值的契合程度如精密性、准确度、最低检出限之类的,完整性指标用来评判数据集的完整状况像数据缺失率、有效数据比例等,一致性指标可对数据内部以及和相关数据之间的一致性加以评估例如空间一致性、时间一致性和逻辑一致性,时效性指标则能对数据从生成到可使用的时长效率予以评估比如数据更新频率、报告及时率等,国家环保监测网络2023年的统计表明,采用标准化评价指标体系的监测站点,其数据可信度比没采用的站点平均高21.3%,有了这个指标体系,环境监测机构就能定量评估数据质量并给改进数据质量管理提供科学依据,还能对比分析不同区域、不同时期的数据质量进而推动环境监测工作不断改进。

3.3 数据质量追溯与责任机制设计

环境监测数据管理中,数据质量追溯与责任机制是重要保障举措,可使监测各环节的责任主体明确且有质量控制记录留存。2021年,中国生态环境部发布《环境监测数据质量责任追究暂行办法》,指出完善的追溯与责任机制需具备完整数据生命周期文档、明确责任划分体系、严格问责与奖励制度这三个关键要素,其中完整数据生命周期文档要记录采样、运输、保存、分析、数据处理等全过程信息,明确责任划分体系要把监测工作细分并确定各环节责任人,严格问责与奖励制度对数据质量问题绝不姑息且对保障数据质量的优秀个人和团队予以激励。实践表明,建立健全追溯与责任机制能够有效减少人为数据篡改和质量失控情况,2023年全国环境监测系统数据质量问题投诉率为2020年的57%且数据可靠性大大提高。

4 结论

本研究系统探析环境监测数据质量控制与管理策略,从而揭示环境监测数据质量管理核心要素与创新路径。研

究发现,环境监测数据质量管理得构建涵盖技术标准统一、质控体系完善、人员素质提升和技术信息应用的综合管理框架,在技术方面,监测设备规范校准与维护、标准物质科学使用、实验室内部质控程序严格实行、外部质量评估常态化开展是数据质量控制关键环节,而在管理层面,健全制度建设、系统人员培训、先进信息化建设对提升环境监测数据管理水平很重要,并且本文提出的基于信息技术的实时监控体系、多维度数据质量评价指标体系、全面质量追溯与责任机制很特别,代表着环境监测数据质量管理创新方向,给构建“事前预防、事中控制、事后评估”全过程质量管理模式提供理论和实践依据。

生态环境保护的“眼睛”和“耳朵”是环境监测,其数据质量直接关系到环境决策的科学性以及环境政策的有效性^[5]。2023年中国生态环境状况公报显示,环境质量数据已被纳入国民经济和社会发展规划评估体系当作约束性指标,重要性越发突显。今后,环境监测数据质量管理要更多地重视数字化转型与人工智能技术的应用,推动标准化、规范化建设,增强监测机构之间的协同与数据共享,构建更完善的社会监督机制。环境监测数据的科学性、准确性、代表性必须得到保障,这样生态文明建设才有坚实的数据基础,环境管理决策才有可靠的科学依据,环境质量才能源源不断地得到改善且生态文明建设也能深入下去。

[参考文献]

- [1]梅征.环境监测数据质量控制与管理探讨[J].低碳世界,2019(12):51-52.
- [2]崔倩.环境监测过程中的质量监督与质量控制分析[J].山西冶金,2021(4):355-357.
- [3]郑少娜,周国强,叶欣,等.社会环境检测机构质量监管办法探索[J].广东化工,2016(8):134-135.
- [4]李佩贤.浅析环境监测数据质量控制[J].科技创新与应用,2013(20):146.
- [5]顾秀艳.环境监测质量控制策略探讨[J].绿色环保建材,2017(9):248.

作者简介:肖金生(1989.7—),男,毕业院校呼伦贝尔学院;所学专业环境科学专业,当前就职单位呼伦贝尔市海拉尔生态环境监测中心,职务副主任,职称级别工程师。