

生态环境监测数据质量控制与不确定性分析方法研究

姚会 李朝飞

云南云测质量检验有限公司, 中国·云南 昆明 650501

摘要: 生态环境监测是掌握环境质量状况、识别污染变化趋势的重要技术支撑, 监测数据的准确性与可靠性直接关系到分析结论的科学性与决策依据的有效性。在实际监测工作中, 受监测技术条件、操作规范、环境波动及数据处理方式等多重因素影响, 监测数据不可避免地存在质量偏差与不确定性问题。本文围绕监测全过程, 结合数据采集、处理与评价等环节, 探讨质量控制技术与不确定性分析方法的应用思路, 明确不同环节对监测结果稳定性与可比性的作用路径, 为提升生态环境监测数据的科学管理水平提供方法支撑。

关键词: 生态环境监测; 数据质量控制; 不确定性分析; 监测误差; 数据可靠性

Research on Data Quality Control and Uncertainty Analysis Method of Ecological Environment Monitoring

Yao Hui, Li Chaofei

Yunnan Yunce Quality Inspection Co., Ltd., China Yunnan Kunming 650501

Abstract: Ecological environment monitoring serves as a critical technical foundation for assessing environmental quality and identifying pollution trends. The accuracy and reliability of monitoring data directly determine the scientific validity of analytical conclusions and the effectiveness of decision-making. In practical monitoring operations, factors such as technical limitations, operational standards, environmental fluctuations, and data processing methods inevitably lead to quality deviations and uncertainties in monitoring data. This paper examines the entire monitoring process, integrating data collection, processing, and evaluation stages, to explore the application of quality control techniques and uncertainty analysis methods. It clarifies how different stages influence the stability and comparability of monitoring results, thereby providing methodological support for enhancing the scientific management of ecological environment monitoring data.

Keywords: Ecological environmental monitoring; Data quality control; Uncertainty analysis; Monitoring error; Data reliability

0 引言

随着生态环境保护工作不断深化, 生态环境监测在环境状况评估、变化趋势判断及风险识别中的基础作用日益凸显。监测数据已成为反映环境质量变化的重要信息载体, 其质量水平直接影响分析结论的准确性与应用价值。然而, 在长期监测实践中, 由于监测对象复杂、环境条件多变以及技术手段差异等因素, 监测数据往往存在波动性和不稳定性, 进而增加结果解释的不确定程度。如何在保障监测工作连续性的同时, 有效控制数据质量并合理评价不确定性, 已成为生态环境监测领域亟需关注的关键问题。对监测数据质量控制体系进行系统梳理, 并引入科学的不确定性分析方法, 有助于全面识别影响监测结果的关键因素, 提升数据分析的客观性与严谨性, 为生态环境监测结果的

规范应用奠定基础。

1 生态环境监测数据质量控制的概念界定

生态环境监测数据质量控制是指在生态环境监测全过程中, 通过技术规范、管理制度与操作要求, 对影响数据真实性、准确性与稳定性的各类因素进行系统约束与调节的过程。其内涵不仅体现在对监测结果数值偏差的控制, 还贯穿于监测方案设计、样品采集、仪器运行、数据处理及结果表达等多个环节。数据质量控制强调监测活动的规范化与可重复性, 要求监测结果能够真实反映环境要素的实际状态及变化特征。在复杂多变的生态环境条件下, 质量控制并非单一技术行为, 而是一种融合技术手段与管理要求的综合过程, 既关注操作层面的规范执行, 也重视制度层面的系统约束, 通过全过程管理减少人为干扰和环境

随机波动对数据结果的影响^[1]。

2 生态环境监测数据采集阶段的质量控制要求

2.1 监测布点与采样方案的质量控制

监测布点与采样方案是生态环境监测数据采集阶段的重要基础,其合理性直接影响监测结果对环境实际状况的反映程度。质量控制要求在布点过程中充分考虑环境要素分布特征、污染源影响范围及区域空间差异,使监测点位具备代表性和可解释性。采样方案的制定需要明确采样频次、时间安排与技术路线,避免随意性操作引入系统误差。在复杂环境条件下,通过科学规划布点结构和采样路径,可有效降低空间异质性对监测结果的干扰,为后续数据分析提供稳定的数据基础,从而提升监测结果在整体评价中的可信度。

2.2 监测仪器设备运行状态的质量控制

监测仪器设备的运行状态是影响数据精度和稳定性的关键因素之一。质量控制要求对仪器设备的性能状态进行持续关注,确保其在规定技术条件下运行。设备运行过程中产生的漂移、灵敏度变化及响应延迟等问题,均可能对监测结果造成隐性影响。因此,通过定期校准、运行检查和性能验证,可有效控制仪器因素带来的不确定性。同时,对设备运行环境进行合理管理,减少温度、湿度等外界条件对设备性能的影响,有助于保持监测数据的一致性和可重复性。

3 生态环境监测数据处理与管理环节的质量控制

3.1 数据记录与传输过程的完整性控制

生态环境监测数据在完成采集后,需要经过记录与传输环节才能进入后续处理流程,该阶段是保证数据完整性与连续性的关键节点。在实际工作中,监测数据往往来源于多个监测点位和不同时间尺度,单日记录数据量可达到 1000 条以上,若在记录过程中存在漏填、误填或格式不一致等问题,将直接影响数据链条的完整性。质量控制要求数据记录过程具备明确的字段结构和统一的编码规则,使每一条数据均可追溯至具体监测点位和采样时间,当差异超过 1% 时触发复核程序,可有效降低完整性风险。同时,对关键数据字段设置强制校验规则,避免因缺失信息导致数据失效,从而保障监测数据在处理环节中的连续性与可用性。

3.2 数据审核与异常值识别方法

在生态环境监测数据进入分析阶段前,数据审核与异

常值识别是质量控制的重要内容。监测数据在长期积累过程中,不可避免会出现波动范围异常的情况,例如同一监测指标在相邻时间段内数值变化超过 2 倍以上,可能反映设备状态异常或采样误差。通过建立合理的审核阈值区间,对历史数据进行统计分析,可形成稳定的参考范围,当新数据偏离该范围超过 10% 时,再结合监测条件进行综合判断,避免简单剔除造成信息损失。通过多层次审核机制的实施,监测数据中潜在的误差因素得以提前识别,为后续分析阶段提供稳定可靠的数据基础。

3.3 数据存储与管理规范化控制

生态环境监测数据通常具有长期积累和反复调用的特点,数据存储与管理的规范化程度直接关系到数据质量的持续稳定。在监测系统运行 5 年以上后,累计数据量可达到 10 万条以上,若缺乏系统化管理,易出现数据版本混乱和历史记录缺失等问题。质量控制要求数据存储结构具备清晰的层级划分,将原始数据、校正数据和分析结果分别存放,避免不同处理阶段的数据相互覆盖。数据管理过程中,应对数据修改行为进行记录,确保每一次调整均可追溯到具体时间和责任主体。当数据调用频率超过 20 次以上时,若未建立访问权限控制,存在误操作风险。通过规范存储格式和管理流程,可保障监测数据在长期使用中的一致性与安全性,为不确定性分析和趋势研究提供稳定支撑^[2]。

4 生态环境监测数据不确定性的来源与表现形式

4.1 监测过程不确定性的主要来源

生态环境监测过程涉及多种技术环节和操作条件,不确定性在不同阶段以不同形式表现出来。采样时间的选择、监测点位的空间差异以及操作人员的技术水平,均会对监测结果产生影响。在同一监测区域内,不同点位之间监测结果差异可达到 15% 至 30%,反映出空间异质性带来的不确定性。采样频次不足也会放大短期波动的影响,当监测周期由 7 天延长至 14 天时,部分指标的平均值偏差可能超过 8%。此外,设备性能衰减和环境干扰因素的叠加,使得监测过程的不确定性具有累积效应。通过识别这些来源,可为后续不确定性分析提供明确的方向,使质量控制措施更具针对性。

4.2 数据处理与分析中的不确定性因素

在数据处理与分析阶段,不确定性主要来源于算法选择、参数设定及数据筛选方式等因素。不同统计方法对同一组监测数据进行处理时,结果差异可达到 5% 以上,尤其在样本数量较少的情况下,这种差异更加明显。数据平

滑处理虽然能够降低随机波动,但当窗口长度设置不当时,可能掩盖真实变化趋势。异常值处理方式同样会引入不确定性,若直接剔除超过均值 2 倍的数值,可能导致极端环境事件的信息丢失。分析过程中对历史数据的依赖程度不同,也会影响结果稳定性,当参考样本量从 50 条增加至 200 条时,结果波动幅度明显降低。由此可见,数据处理方法本身是监测结果不确定性的重要来源,需要在质量控制框架下进行审慎选择。

4.3 外部环境条件对监测数据不确定性的影响

外部环境条件的变化是生态环境监测数据不确定性的重要影响因素。气象条件变化对监测结果具有直接作用,例如温度变化 10℃可能引起部分化学指标响应值波动 5%以上,降水过程会在短时间内改变水体和空气监测结果的背景水平。区域人类活动强度变化同样会影响监测数据,当监测区域周边活动强度增加 30% 时,监测指标的短期波动频率明显上升。自然因素与人为因素叠加,使得监测数据呈现出较强的时变特征。通过在分析中引入环境条件参数,可对不确定性进行合理解释,避免将环境波动误判为监测误差,从而提升监测数据解读的科学性与准确性^[3]。

5 生态环境监测数据不确定性分析方法

5.1 基于统计特征参数的监测数据不确定性分析方法

基于统计特征参数的不确定性分析方法,是生态环境监测中应用较为广泛的一类技术路径,其核心在于通过对监测数据整体分布特征的刻画,识别数据波动范围及稳定程度。该方法通常以均值、标准差、变异系数等参数为基础,对同一监测指标在一定时间尺度内的变化特征进行量化分析。在连续监测周期为 30 天的情况下,若某指标的变异系数长期维持在 0.10 以下,说明数据波动相对稳定,而当该值上升至 0.25 以上时,则反映出不确定性水平明显增加。通过对不同时间段统计参数的对比,可判断监测条件变化对结果稳定性的影响程度。当样本数量由 50 条扩展至 200 条后,统计参数的波动幅度通常可降低 20% 左右,显示样本规模对不确定性评估具有显著作用。该方法强调利用客观数理特征反映数据整体状态,适用于长期序列监测数据的不确定性描述,为监测结果的可信度判断提供量化依据。

5.2 基于误差传播机制的监测数据不确定性分析方法

基于误差传播机制的不确定性分析方法,侧重于揭示监测全过程中各类误差因素的累积效应。在生态环境监测

中,采样误差、仪器误差和数据处理误差往往同时存在,其综合影响并非简单叠加。通过建立误差传播关系模型,可对不同环节误差对最终结果的贡献程度进行分析。例如,在某一监测流程中,采样误差占总体误差比例约为 40%,仪器运行误差约为 35%,数据处理误差约为 25%,当其中任一环节误差水平提高 5 个百分点,最终监测结果的不确定性幅度可能扩大 10% 以上。该方法通过对误差来源的定量拆分,使监测人员能够识别关键控制环节。在监测条件复杂、流程较长的情况下,引入误差传播分析,有助于避免将综合偏差简单归因于单一因素,从而提升不确定性分析的系统性和解释力^[4]。

5.3 基于多源数据对比的监测数据不确定性综合分析方法

基于多源数据对比的不确定性综合分析方法,通过引入不同来源或不同尺度的监测数据进行交叉验证,实现对单一数据源不确定性的识别与修正。在同一区域内,当自动监测数据与人工采样数据的结果偏差控制在 10% 以内时,可认为数据一致性较高,而当偏差扩大至 20% 以上,则提示存在潜在不确定性风险。通过对比不同监测频次下的数据结果,可进一步分析时间尺度对不确定性的影响,例如小时均值与日均值之间的差异往往低于 8%,但在极端环境条件下可上升至 15%。多源数据对比不仅关注数值差异,还强调变化趋势的一致性,当多组数据在连续 12 个月内呈现相同变化方向时,结果可信度明显提升。该方法通过整合多维信息,对监测数据不确定性进行综合判读,有助于增强监测结果的稳健性与应用价值。

6 结语

生态环境监测数据质量控制与不确定性分析是保障监测成果科学性和可靠性的关键环节。通过对监测全过程的系统梳理,可以看出数据质量水平受采集、处理、管理及分析方法等多重因素共同影响。不确定性并非单一误差的简单体现,而是在多种条件叠加作用下形成的综合结果。将质量控制措施与不确定性分析方法相结合,有助于准确识别影响监测结果稳定性的关键因素,提升数据解释的客观性与合理性。通过持续完善相关技术路径与管理机制,能够进一步增强生态环境监测数据的支撑能力,为环境状况分析与长期趋势判断提供更加稳固的数据基础。

参考文献:

- [1] 王桥云. 量子加密防伪技术在生态环境监测数据质量控制中的应用研究[J]. 中国品牌与防伪, 2025,(07):20-22.
- [2] 王勇, 战博, 曾琳. 地表水生态环境监测质量控制的

强化措施及其实践研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025,6(06): 80-82.

[3] 范斯娜. 生态环境监测数据质量控制与优化路径分析[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025,(02):103-105.

[4] 牛忠林, 曹丽萍, 齐西仓等. 生态环境监测实验室

数据管理与质量控制技术研究[J]. 实验室检测, 2025,3(03): 69-71.

作者简介: 姚会 (1998.12.20), 女, 汉族, 本科, 助理工程师, 潍坊学院, 贵州省毕节市赫章县, 研究方向: 主要从事生态环境监测与分析。