

大气 PM_{2.5} 在线监测数据质量控制方法研究

张宝同

济宁市泗水生态环境监控中心

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8711

[摘要] 为解决大气 PM_{2.5} 在线监测数据易受设备性能、环境干扰、运维管理等因素影响产生偏差、公信力不足的问题,对监测数据质量控制方法展开系统研究。解析设备老化漂移、气象条件干扰、操作不规范等关键影响因素,提出设备全周期闭环管控、数据采集环节精细化操作、数据预处理优化、多维度有效性核验等核心技术方法,构建动态评估改进、技术创新迭代、多方协同联动的长效质控机制。研究成果贴合户外监测实际需求,可有效提升数据准确性、连续性与可靠性,以期对环境监测机构、运维单位开展质量控制工作提供实践参考。

[关键词] PM_{2.5} 在线监测 数据质量控制 全周期质控 长效机制 精准监测

Research on Quality Control Methods for Online Monitoring Data of Atmospheric PM_{2.5}

Zhang Baotong

Jining Sishui Ecological Environment Monitoring Center

[Abstract] In order to solve the problem of bias and lack of credibility caused by factors such as equipment performance, environmental interference, and operation and maintenance management in online monitoring data of atmospheric PM_{2.5}, a systematic study is conducted on the quality control methods of monitoring data. Analyze key influencing factors such as equipment aging drift, meteorological conditions interference, and non-standard operation, propose core technical methods such as equipment full cycle closed-loop control, refined operation of data acquisition links, optimization of data preprocessing, and multi-dimensional effectiveness verification, and construct a long-term quality control mechanism with dynamic evaluation and improvement, technological innovation iteration, and multi-party collaborative linkage. The research results are in line with the actual needs of outdoor monitoring, which can effectively improve the accuracy, continuity, and reliability of data, in order to provide practical reference for environmental monitoring institutions and operation units to carry out quality control work.

[Key words] PM_{2.5} online monitoring, data quality control, full cycle quality control, long-term mechanism, precise monitoring

引言

当前,我国大气 PM_{2.5} 污染防治迈入“0.1 微克”攻坚阶段,精准治污、科学治污成为核心导向,生态环境监测“大监测”格局持续完善。PM_{2.5} 在线监测数据作为研判空气质量、落地治污举措的关键支撑,其真实性、准确性直接关乎攻坚成效与决策科学性。但户外监测场景中,设备性能衰减、环境干扰叠加运维不规范等问题仍未根除,易引发数据偏差,制约监测数据公信力与支撑效能。立足最新治理形势与监测需求,聚焦数据质量短板,厘清偏差诱因、构建科学质控体系,对强化监测数据支撑、助力持续改善空气质量具有重要意义。本文围绕相关问题展开研究,提出针对性解决方案。

一、监测数据质量影响因素解析

(一) 监测设备性能影响因素

监测设备作为 PM_{2.5} 在线监测的核心载体,其性能稳定性与运行状态直接决定数据基础质量,任何环节的性能损耗都会传导为数据偏差。传感器是设备核心感知部件,长期暴露在复杂大气环境中,敏感元件会逐渐老化、活性降低,出现响应灵敏度衰减与测量值漂移,导致对低浓度或高浓度 PM_{2.5} 的捕捉精度下降,无法真实反映大气颗粒物浓度变化。设备校准精度不足同样引发数据失准,无论是定期校准间隔过长,还是校准过程中标准物质选用不当、操作流程偏差,都会使设备测量基准偏离规范要求,形成系统性误差。硬件故障与部件老化则直

接破坏数据采集的连续性，采样泵流量不稳定、数据采集模块接触不良、滤膜更换不及时等问题，要么导致数据采集中断，要么使采集的颗粒物样本代表性不足，最终产出的监测数据失去参考价值。

(二) 监测环境干扰因素

大气PM_{2.5}在线监测设备多置于户外开放环境，外部条件的动态变化会对监测数据准确性产生显著干扰，这种干扰具有随机性与关联性特征。气象条件是最主要的环境干扰源，温度剧烈波动会影响传感器元件的物理特性，高湿度环境易导致颗粒物吸附凝结，风速变化则会改变监测点位周边的颗粒物扩散速率与分布状态，使短时间内监测浓度出现异常升降，与区域真实污染水平脱节。周边污染源的近距离干扰具有针对性，监测点位若靠近建筑工地、道路扬尘源、工业废气排放口等，局部区域的颗粒物浓度会瞬间升高，形成“单点污染峰值”，误导对区域整体空气质量的判断。此外，周边电子设备产生的电磁辐射会干扰数据采集模块的信号传输，空气中的大颗粒粉尘附着在传感器探头与采样管道内壁，会阻碍PM_{2.5}颗粒物的有效捕捉，进一步加剧监测数据的偏差。

(三) 运维管理规范性影响因素

运维管理的标准化程度直接决定PM_{2.5}监测数据的连续性与可靠性，人为操作偏差与流程管控缺失是引发数据质量问题的重要人为因素。运维人员的专业能力与操作规范性直接影响设备运行状态，部分运维人员未严格遵循操作手册，在设备校准、滤膜更换、采样口清洁等环节存在步骤遗漏或操作失误，比如校准过程中未充分预热设备、采样管安装角度偏差，都会人为引入数据误差。定期巡检与维护频次不足会使设备隐患累积，未能及时发现传感器漂移、采样泵故障等问题，导致设备长期处于非最佳运行状态，偏差数据持续产出^[1]。数据记录与溯源管理缺失则使数据质量问题无法追溯，运维过程中未详细记录校准时间、故障处理过程、环境变化情况等信息，当监测数据出现异常时，无法准确判断问题根源，既难以纠正偏差，也会降低数据的公信力。

二、核心质量控制方法

(一) 设备全周期质量控制方法

设备全周期质量控制贯穿从选型准入到报废处置的完整流程，核心是通过各环节闭环管控筑牢硬件性能基础，从源头规避设备引发的数据偏差。设备选型需严格审核生产厂家资质、产品认证证书，优先选用适配户外复杂环境、抗干扰能力强且灵敏度达标的监测设备，同时结合区域污染特征筛选核心参数匹配的机型，杜绝不合格设备投入使用。校准工作实行定期校准与动态校准相结合模式，定期校准按规范周期采用国家标准物质开展多点校准，确保设备测量基准稳定；动态校准依托实时监测数据趋势，当发现数值漂移超出允许范围时立即启动校准程序，避免偏差累积^[2]。设备运行期间同步监测核心运

行指标，建立故障预警机制，通过传感器活性监测、采样泵流量监测等实时捕捉异常信号，一旦发现故障立即启动快速维修流程，及时更换老化部件、修复故障模块，同时做好设备全生命周期档案记录，实现性能变化可追溯、问题处置可复盘。

(二) 数据采集环节质量控制方法

数据采集环节质量控制聚焦规范流程、规避干扰，通过精细化操作确保采集的颗粒物样本具有代表性，减少源头数据误差。采样点位优化需避开近距离污染源、高大建筑物遮挡及强电磁辐射区域，优先选择能反映区域整体空气质量的开阔地带，同时合理设置采样高度，避免地面扬尘与高空气流干扰；采样口加装防雨、防尘、防昆虫装置，减少外部杂物进入采样管道。采集时序实行统一时钟同步管控，所有监测站点按标准时间校准采集频率，确保数据采集时间节点一致，为后续数据比对提供基础。采样介质管理严格遵循更换周期要求，定期更换滤膜、采样管等核心介质，更换过程中规范操作避免样本污染，同时清洁采样管道内壁与传感器探头，清除附着的粉尘与杂物，防止残留颗粒物影响后续采集精度。采集过程中同步记录环境条件，为后续数据异常分析提供参考，确保采集全流程符合技术规范，最大限度降低人为操作与环境干扰带来的采集误差。

(三) 数据预处理质量控制方法

数据预处理质量控制以剔除无效数据、修正偏差数据为目标，通过科学处理手段提升数据有效性，为后续分析提供可靠数据样本。异常值识别采用多维度判断标准，结合监测技术规范设定浓度阈值范围，超出阈值的数值初步判定为异常；同时结合数据变化趋势，识别短期内骤升骤降、与周边站点数据差异过大的异常数值，再排除极端天气等合理因素后予以剔除，避免误删有效数据^[3]。数据缺失值处理摒弃单一补全方式，根据缺失时长与数据特征选择适配方法，短时长缺失采用相邻数据线性插值法补全，长时长缺失结合同期历史数据、周边站点同期数据综合推算补全，确保补全数据符合区域污染变化规律，不扭曲真实污染特征。数据平滑与降噪处理针对采集过程中随机干扰带来的波动，采用移动平均法、小波分析等技术过滤高频噪声，保留数据核心变化趋势，同时避免过度平滑导致污染峰值信息丢失。预处理过程中严格遵循操作规范，每一步处理都做好记录，确保处理流程可追溯，既剔除无效数据、修正偏差，又最大限度保留真实监测信息，提升数据可靠性。

(四) 数据有效性核验方法

数据有效性核验通过多维度比对校验，筛选出符合技术规范、能真实反映空气质量状况的数据，杜绝无效数据投入应用。阈值范围核验与逻辑校验同步开展，依据监测技术标准设定PM_{2.5}浓度合理阈值区间、数据变化速率阈值，超出区间或速率异常的数据纳入无效数据范畴；同时通过逻辑校验判断数据合理性，比如结合气象条件与污染变化规律，排查与实际污染

特征不符的数据，确保数据逻辑自洽。跨监测站点数据比对以区域内同类型监测设备数据为参照，分析同一时段不同站点数据变化趋势的一致性，若某站点数据与周边站点差异显著且无合理原因，判定为无效数据并溯源核查问题根源。历史同期数据趋势核验对比当期数据与近3年同期数据变化规律，结合区域污染治理成效与季节污染特征，排查偏离常规趋势的数据，若存在持续性偏差则启动复校与核查程序。核验完成后明确标注有效数据区间与无效数据原因，确保投入使用的数据均经过严格校验，既符合技术规范要求，又能真实反映区域PM_{2.5}浓度变化状况。

三、质量控制长效优化机制

(一) 动态评估与改进机制

动态评估与改进机制以持续提升质控效能为核心，通过常态化评估、精准溯源与闭环改进，构建“评估-发现-整改-复盘”的长效循环，保障质量控制体系适配监测需求变化。建立多维度质控评估指标体系，聚焦数据准确性、连续性、完整性三大核心维度，细化传感器校准合格率、异常数据剔除率、数据有效率等具体指标，明确各指标合格标准与考核阈值，避免评估模糊化。评估实行定期与不定期相结合模式，定期评估按月度、季度开展全面排查，不定期评估针对监测设备更新、环境条件变化等关键节点专项开展，确保及时捕捉质控体系短板。评估后精准溯源问题根源，区分设备、环境、运维、技术等不同类型诱因，形成问题清单并明确责任主体与整改时限^[4]。整改完成后开展复盘总结，分析问题整改成效与遗留隐患，将整改经验转化为质控流程优化措施，更新操作规范与技术标准，推动质控体系从“被动整改”向“主动优化”转变，确保评估结果真正落地为质控能力提升动力。

(二) 技术创新迭代机制

技术创新迭代机制聚焦前沿技术与质控需求的深度融合，通过技术研发、转化应用与持续迭代，为质量控制提供长效技术支撑，破解传统质控手段局限。强化核心技术研发导向，聚焦新型高灵敏度传感器、智能化校准设备、大数据分析技术等关键领域，重点攻克低浓度PM_{2.5}精准监测、复杂环境抗干扰、数据异常智能识别等技术难题，提升质控技术的精准性与适配性。建立技术成果转化应用通道，推动科研机构与监测设备企业、运维单位协同合作，将实验室成熟技术快速转化为实际质控工具，比如将人工智能算法嵌入数据预处理环节，实现异常数据自动识别与精准剔除，提升质控效率。搭建技术迭代反馈体系，收集一线运维人员、监测机构的技术应用反馈，梳理技术应用中的适配性问题与优化需求，为技术升级提供实践依据^[5]。同时跟踪国际前沿质控技术发展态势，借鉴先进技术理念与应用经验，结合国内监测场景特点进行本土化改造，形成“研发-转化-应用-反馈-升级”的良性循环，确保质控技术持续适配监测技术发展与污染治理需求。

(三) 多方协同联动机制

多方协同联动机制通过整合监管、运维、科研、企业等多方资源，打破部门壁垒与信息孤岛，形成质控工作合力，保障质量控制长效落地。明确多方协同责任体系，监管部门履行统筹协调与监督考核职责，制定统一质控标准与监管规范，牵头开展跨区域质控督查；运维单位承担一线质控执行责任，严格落实操作规范并及时反馈质控问题；科研机构聚焦技术研发与难题破解，提供技术咨询与支撑；设备企业负责设备质量提升与技术服务，保障设备适配质控要求。搭建多方信息共享平台，整合监测数据、设备运行状态、运维记录、评估结果等核心信息，实现数据实时共享与互联互通，避免信息不对称导致的质控脱节。建立协同沟通与合作机制，定期召开多方联席会议，通报质控工作进展、共享技术成果、协商解决共性难题；推动科研机构与运维单位联合开展实操培训，提升运维人员技术能力；鼓励设备企业与监测机构联合开展设备适配性测试，优化设备质控性能。此外，强化区域间协同联动，针对跨区域污染监测需求，统一区域质控标准与数据比对方法，开展联合质控督查与技术交流，形成全域协同的质控工作格局。

结语

大气PM_{2.5}在线监测数据是研判空气质量状况、制定污染治理策略的核心依据，数据质量直接决定治污决策的科学性与针对性。本次研究全面厘清数据质量偏差的关键诱因，构建起覆盖设备全生命周期、数据全流程管控、长效机制保障的完整质量控制体系，既立足技术层面优化质控方法，又强化管理层面协同保障，形成“技术+管理”双轮驱动的质控模式。该体系可有效破解设备偏差、环境干扰、运维疏漏等共性难题，为进一步完善大气监测质控标准、提升监测数据支撑能力奠定基础，助力精准治污、科学治污工作深入推进。

参考文献

- [1]易仁玲, 陈志永, 王珂, 等.常州市大气PM_{2.5}中金属元素浓度变化、来源及健康风险—以武进区监测点为例[J].环境卫生学杂志, 2024, 14(07): 578-584+596.
- [2]王玉, 朱小丽, 贺士军, 等.2020年贵阳市两监测点大气PM_{2.5}中金属和类金属污染调查[J].环境与健康杂志, 2022, 39(09): 816-818.
- [3]姚晓玲.基于PM_{2.5}监测数据的大气污染防治措施改进研究[J].清洗世界, 2022, 38(11): 158-160.
- [4]李嘉雯.大气细颗粒物PM_{2.5}监测及污染控制分析[J].黑龙江环境通报, 2020, 33(03): 36-37.
- [5]李花.基于PM_{2.5}监测数据的大气污染防治措施改进[J].资源节约与环保, 2021, (08): 58-59.

作者简介：张宝同，1968年3月，男，汉族，山东省济宁市，工程师，大学本科，研究方向为环境监测。