

工业企业厂界噪声现场监测误差控制研究

张智皓 吕同勉 王松叶

连云港市灌云生态环境监测站 江苏 连云港 222200

摘要：工业企业厂界噪声现场监测是声环境管理与排污许可制度实施的重要技术支撑，其数据质量直接关系到企业环保合规判定与周边居民权益保障。然而，现场监测环境具有开放性、动态性和非重复性特征，误差来源较实验室分析更为复杂且难以量化。本文从误差生成机理出发，系统识别了现场监测环节中仪器系统误差、操作人为误差、环境引入误差及方法代表性误差四类主要来源，分析了各误差源的影响路径与作用机制。在此基础上，从监测方案科学设计、仪器系统性能保障、现场操作规范化及数据质量评估与校正四个维度构建了全链条误差控制策略框架。研究认为，厂界噪声现场监测误差控制的本质是在物理随机性与标准规范性之间寻求动态平衡，其核心路径应由末端数据审核转向事前预防与过程管控的有机结合，以推动监测数据从“合规性存在”向“质量可信任”的实质性转变。

关键词：厂界噪声；现场监测；误差控制；数据质量；不确定度；监测规范

引言

工业噪声作为环境公害的主要形态之一，其对周边声环境质量的影响日益受到公众关注与社会规制。《中华人民共和国噪声污染防治法》的修订实施及排污许可制度的全面覆盖，对工业企业厂界噪声监测数据的准确性、代表性与法律可采性提出了更高要求。现场监测作为厂界噪声数据产生的原生场景，其质量管控水平直接决定了环境管理决策的科学基础是否牢固。然而，相较于水样、气样等可返回实验室进行精密分析的介质，噪声监测的“现场性”决定了其数据获取与环境条件不可分割、测量过程不可重复。在这一开放系统中，误差来源广泛且相互作用机制复杂，从仪器漂移、传声器定位偏差到背景噪声干扰、气象条件波动，乃至测点布设的方案性缺陷，均可能对最终监测结果产生显著影响。现有研究多聚焦于某单一误差因素的识别或某一特定监测环节的优化，缺乏对现场监测误差的系统性认知框架与全流程控制策略的建构。本文旨在从误差生成的内在机理出发，对工业企业厂界噪声现场监测中的主要误差来源进行分类解析，并在此基础上提出覆盖监测全链条的误差控制策略体系，以期提升现场监测数据质量、完善噪声监测质量保证体系提供理论参考。

1 厂界噪声现场监测误差的来源分类与机理分析

误差控制的逻辑前提是对误差来源的准确识别与分类。厂界噪声现场监测的特殊性在于，其测量系统并非封闭的仪器-样品二元结构，而是包含了仪器、人员、环境、方法等多要素交互作用的开放系统。据此，可将误差来源划分为以下四种基本类型。

1.1 仪器系统误差

仪器系统误差源于声级计及相关校准设备自身的计量性能局限。尽管现代声级计在出厂时均满足IEC61672标准对精度等级的要求，但在长期使用、运输振动、温湿度变化等条件下，传声器的幅频响应特性、前置放大器的线性度及频率计权网络的衰减特性均可能发生缓慢偏移。这种偏移在实验室校准条件下可能并不显著，但在现场复杂环境中，其与声源频谱特性相互作用，可能对特定频带的测量值产生不可忽略的系统性偏差^[1]。此外，校准器的声压级准确度与长期稳定性同样构成误差来源，若校准器本身失准，则整个监测链路的量值溯源将出现根本性断裂。

1.2 操作人为误差

操作人为误差是现场监测中最为活跃且最难量化的误差类型。其表现形式多样：在传声器安放环节，风罩的安装是否规范、传声器指向角度是否准确、距反射面的距离是否满足豁免条件等细节，均直接影响声压级测量值。在数据读取与记录环节，操作者对视窗读数的主观判读差异、对异常指示状态（如过载指示）的忽视等，亦可能引入误差。更深层的问题在于，操作者的现场判断力与应变能力直接影响监测方案在具体场景中的执行质量——当理论布点方案与实际地形条件发生冲突时，操作者的裁量是否合理将成为决定数据有效性的关键变量。

1.3 环境引入误差

环境因素是厂界噪声现场监测区别于实验室分析最本质的特征。气象条件中，风速对传声器振膜产生湍流压力波动，雨滴撞击传声器产生脉冲噪声，温湿度变化影响空气声阻抗进而改变传声器灵敏度。这些因素在

HJ706等标准中虽有所规定,但“不超过允许值”的描述方式未提供定量校正模型,使得监测人员在临界气象条件下的判断缺乏明确依据。此外,环境反射体的存在——包括厂区围墙、邻近建筑物、地面材质变化等——将改变声场的空间分布特征,使测量位置处接收到的声压级偏离自由场或半自由场理想条件,引入与理论模型之间的系统偏差。

1.4 方法代表性误差

方法代表性误差是由监测方案与监测目标之间的适配性不足所导致的。这类误差的根源在于:厂界噪声监测以有限测点的时间抽样来推断边界声压级的空间分布与时间分布,样本的代表性直接决定了推断结论的可靠性。当声源运行工况具有间歇性或周期性波动、主导风向导致声传播路径的时变特性、厂界长度与测点密度之间的比例失当时,监测结果的不确定度将显著增大^[2]。这种误差并非源于操作失误,而是监测方法本身在特定应用场景下的适用性边界问题,其控制需要从方案设计层面予以回应。

上述四类误差并非独立存在,而是往往以耦合方式共同作用于最终监测结果。例如,风速增大既直接产生风噪(环境误差),又可能促使操作者选择避风位置安放传声器(操作误差),而避风位置可能偏离标准测点(方法误差)。这种误差的叠加与交互作用,正是现场监测质量管控的难点所在。

2 现场监测误差控制的技术策略

针对上述四类误差来源的特征与作用机理,误差控制需要从监测方案设计、仪器系统保障、现场操作规范化和数据质量评估四个层面构建相互衔接的技术策略体系。这一策略框架的核心逻辑是:将质量控制关口前移,从事后的数据审核转向事前预防与过程管控的有机统一。

2.1 监测方案的科学设计

监测方案是现场监测的顶层设计文件,其科学性是误差控制的起始环节。在测点布设方面,应基于厂界形态、声源分布及敏感目标位置进行声场空间分析,在标准规定的布点原则基础上,对测点密度与位置进行合理性论证。对于厂界长度较大或声源分布极不均匀的厂区,应采用网格预测测量法识别声压级空间梯度变化显著的区域,以此为依据优化测点布局,降低空间抽样不足导致的方法误差。在监测时段与频次方面,应充分调查企业生产周期与声源工况的时间模式,以声源运行周期的完整倍数为监测时长单位,确保时间样本对总体声环境的代表性。对于非稳态噪声占主导的企业,方案中应明确工况记录要求与数据剔除非代表性时段的判据。

2.2 仪器系统的全状态性能保障

仪器系统误差的控制不能仅依赖于年度计量检定,而应建立覆盖“检定—现场校准—期间核查”三个层级的全状态性能保障机制。年度检定是量值溯源的法律基础,但其周期较长,无法反映检定间隔内仪器性能的可能变化。因此,现场监测前后的校准核查是控制短期漂移的关键环节——每次监测开始前与结束后均应使用声校准器对测量链路进行整体校准,偏差不超过0.5dB是可接受的基本判据。更重要的是,应建立仪器期间核查制度,即在两次检定之间,使用稳定的参考声源定期检查仪器的重复性与稳定性,识别性能劣化的早期征兆。对于多套仪器并行监测的情形,还应开展仪器间的比对校验,确保数据的一致性与可比性。

2.3 现场操作的规范化控制

现场操作是将监测方案转化为有效数据的过程,也是人为误差干预最为集中的环节。规范化控制的核心抓手是标准化操作程序的建立与严格执行。具体而言,应从以下方面实施重点管控:传声器安放方面,明确距任何反射面(含操作者身体)的最小距离要求,使用三脚架或延伸杆确保传声器定位的几何稳定性;风噪控制方面,以风罩的使用为前提条件,以实时风速监测为操作决策依据,在风速接近限值时增加数据样本量以备筛选;背景噪声修正方面,严格执行声级差与修正值的对应规则,当背景噪声与厂界噪声差值小于3dB时,必须记录并报告测量不确定度,而非强行给出修正后的确定值^[3]。此外,操作过程中应全程记录异常工况、气象变化及其他可能影响测量结果的偶发事件,为数据审核提供完整的溯源信息。

2.4 数据质量的评估与校正

数据质量评估是误差控制链条中的末端环节,但其意义不仅在于合格数据的筛选,更在于通过系统评估反馈监测方案的持续改进。在数据审核层面,应建立基于测量不确定度评定的数据质量标注制度,在监测报告中不仅报告测量结果,同时报告扩展不确定度,使数据使用者能够客观评价结果的可信区间。在校正技术层面,对于某些可量化的系统误差来源——如风噪的直流分量影响、反射体引入的声压叠加效应等——可探索建立基于实测环境参数的修正公式或修正曲线,以校正代替剔除,最大限度保留有效信息。值得强调的是,数据校正应遵循审慎原则,修正量本身的不确定度须小于被修正偏差方能产生净效益。

3 误差控制管理的制度路径

技术策略的有效实施有赖于管理制度的有力支撑。

仅凭操作人员的个人经验或技术自觉,难以在现场监测的复杂情境中全面落实误差控制要求。因此,有必要从人员能力建设、多方法比对验证和质量监督机制三个维度构建制度保障体系。

3.1 人员能力建设与资格确认

现场监测人员的能力水平是决定操作误差控制成效的核心变量。应建立包含基础理论考核、标准规范掌握程度评估和现场操作技能测试三个模块的资格确认体系。尤其是针对非稳态噪声测量、复杂声环境下的测点调整、异常数据的现场识别与处理等高难度操作项目,应设置专门的操作技能考核环节^[4]。此外,应建立监测人员的持续教育与定期复训制度,跟踪标准方法的更新与技术进展,避免人员能力的固化与退化。同时,引入导师带徒机制与实操案例复盘,强化经验传承,确保监测数据的全链条准确性与可靠性。

3.2 多方法比对与交叉验证

对于同一监测对象采用不同监测方法或不同仪器配置进行比对测量,是识别和量化系统误差的有效手段。在现场监测实践中,可设置比对测点开展仪器间比对、操作者间比对及方法间比对。多方法比对的价值不仅在于发现异常数据,更在于通过差异分析追溯误差来源——当两台仪器测量结果差异显著时,究竟是仪器性能差异、校准状态差异还是传声器位置的微小差别所致?这一追溯过程本身即是对监测系统各环节误差的综合诊断。

3.3 质量监督与持续改进机制

误差控制的最终目标是实现监测质量的持续提升,而非一次性合规检查。因此,应建立内部质量监督与外部质量评估相结合的双层机制。内部监督以日常监测活动中同步进行的“平行样”测量、空白校准和原始记录审核为主要形式;外部评估则通过能力验证计划、实验室间比对和飞行检查等方式实施^[5]。更重要的是,应建立监测质量信息的数据平台,对历次监测的校准记录、环

境参数、异常事件及审核意见进行系统积累与分析,识别误差发生的规律性特征与薄弱环节,为操作程序的优化完善提供经验依据。

4 结语

工业企业厂界噪声现场监测的误差控制,本质上是在物理环境的随机性与监测结果的规范性之间寻求动态平衡的过程。本文通过系统识别仪器系统、人为操作、环境因素及方法代表性四类误差来源,揭示了现场监测误差的复合性与耦合性特征,并在此基础上构建了从方案设计、仪器保障、操作规范到数据评估的全链条控制策略及制度支撑体系。需要指出的是,误差控制的终极目标并非追求测量结果的绝对准确,而是使测量不确定度被充分识别、合理控制并如实报告。在当前排污许可制度全面深化、声环境管理日趋精细化的背景下,厂界噪声监测数据作为环境执法与管理决策的直接依据,其可信度已不仅是技术层面的问题,更关乎环境治理的制度公信力。因此,未来的研究与实践中,应当从“合规性监测”向“质量可信任监测”的理念转变,将误差控制嵌入监测活动的全生命周期,推动厂界噪声监测从形式合规走向实质可信。

参考文献

- [1]李红卫,陈思远,马骏.环境监测机构质量管理体系对现场监测误差的控制作用研究[J].环境科学与技术,2024,47(2):156-163.
- [2]黄志明,林峰,郭宏.基于ISO/IEC17025的环境噪声监测数据可靠性保障策略[J].中国测试,2023,49(9):88-94.
- [3]杨丽萍,王建军,何鑫.声环境监测中背景噪声修正方法的适用性评价[J].环境监测与预警,2022,14(5):43-49.
- [4]高峰,钱程,叶青.工业企业噪声排放监测数据质量影响因素及其控制研究[J].环境污染与防治,2025,47(3):412-418.
- [5]刘岩,张斌,王海峰.环境噪声监测中不确定度评定方法研究进展[J].环境监测管理和技术,2022,34(3):7-12.