

辐射环境监测数据精准采集方法探究

赵晶晶

昆明市辐射环境监测站，云南省昆明市，650500；

摘要：随着核能与放射性技术的广泛应用，辐射环境监测已成为环境安全防控体系的关键环节。本文聚焦辐射环境监测数据精准采集方法，系统剖析其在保障公众健康与生态安全中的战略价值。研究指出，当前数据采集面临仪器性能衰减、复杂环境干扰、布点规划不合理等多重瓶颈，如老旧探测器对低剂量辐射响应滞后、电磁干扰导致数据波动等问题，严重影响监测结果可靠性。为此，文章从仪器技术升级（如引入高灵敏度半导体探测器）、智能数据处理（构建机器学习误差修正模型）、动态布点优化（基于GIS与大数据的自适应布点）等维度，提出多技术融合的精准采集方案，并结合核电站周边环境监测、医疗放射场所检测等典型案例，验证方法在降低测量误差、提升数据时效性方面的显著成效，为辐射环境监测的标准化、智能化发展提供理论与实践路径。

关键词：辐射环境监测；数据精准采集；采集方法；数据处理

DOI：10.69979/3041-0673.25.11.074

辐射环境质量直接关系人类生存安全与社会可持续发展，核设施运行、医疗放射性应用等活动带来的辐射风险，亟需通过精准监测实现有效防控。准确的辐射环境监测数据不仅是识别放射性污染、预警核事故的核心依据，更是制定辐射防护标准、评估环境影响的重要支撑。然而，实际监测中，仪器固有偏差、复杂地形导致的采样不均、极端气象条件干扰等因素，使数据精准度难以保障。例如，山区地形导致的信号遮挡会造成监测盲区，强电磁环境易引发仪器误判。因此，亟需系统性研究数据精准采集方法，通过技术创新与流程优化突破瓶颈，为辐射环境管理提供更可靠的数据保障，筑牢环境安全防线。

1 辐射环境监测数据精准采集的重要性

1.1 保障公众健康

辐射对人体健康的威胁具有隐蔽性与长期性，低剂量辐射的累积效应可能诱发基因突变、增加癌症患病风险。精准的辐射环境监测数据如同“安全哨兵”，能够实时捕捉辐射剂量率、核素浓度等关键指标的细微波动。以核电站周边监测为例，若监测仪器灵敏度不足或数据偏差，可能导致辐射泄漏初期难以察觉，延误防护时机。而高精准数据可触发实时预警机制，使相关部门迅速启动应急预案，科学划定安全隔离区、组织居民疏散，并针对性发放碘片等防护物资^[1]。通过精准数据驱动的高效响应，能将公众受辐射剂量控制在安全阈值内，最大程度降低健康损害风险，筑牢公众生命安全防线。

1.2 维护生态平衡

辐射对生态系统的影响呈现“链式反应”特征，从

微生物到高等动植物，不同生物对辐射的敏感度差异显著。精准监测数据通过长期追踪土壤、水体、植被中的放射性核素分布，可量化评估辐射对生态链的破坏程度。例如，在核试验遗址或核事故污染区，借助高精度数据能清晰掌握辐射如何影响植物光合作用、动物生殖能力及土壤微生物群落结构。基于这些数据，生态学家可制定靶向修复策略，如筛选耐辐射植物物种进行生态重建，或通过调节水体流速加速放射性物质稀释。精准监测为生态修复方案提供动态依据，助力受损生态系统逐步恢复物种多样性与物质循环功能，维护生态系统平衡稳定^[2]。

1.3 支持科学研究

辐射环境监测数据是解锁辐射奥秘的“钥匙”，为前沿科学研究提供核心基础数据。在大气环境研究中，精准记录的 γ 射线剂量率与气象参数结合，可揭示放射性物质随气流扩散的复杂规律；在水体研究领域，通过长期监测氚、锶等核素浓度变化，能推演污染物在江河湖海中的迁移路径。这些数据支撑科研人员构建更贴近现实的辐射传输模型，如改进大气扩散高斯模型、优化水体污染预测算法。此外，高精度数据还可用于验证理论假设，例如通过对比不同地质条件下辐射衰减速率，完善辐射与土壤介质相互作用的理论体系，推动辐射防护技术、环境风险评估方法的创新发展，为辐射环境管理提供坚实的理论基石

2 辐射环境监测数据采集现状及问题

2.1 仪器设备方面

当前辐射监测仪器的性能瓶颈显著制约数据精准

度。部分基层单位仍在使用早期型号设备，如 NaI 闪烁探测器对低剂量 γ 射线的最低检测限偏高，难以捕捉环境本底波动。仪器老化问题尤为突出，某县级监测站的 α 能谱仪因探测器晶体衰减，对氡子体的计数效率下降 25%，导致测量值偏低。此外，仪器质量管控体系不完善：不同厂商生产的剂量率仪校准周期差异达 3-6 个月，且缺乏统一的野外比对标准，某区域多台设备对同一辐射源的测量结果最大偏差达 18%，数据可比性差。新型设备推广也存在障碍，如高灵敏度半导体探测器因成本较高，在基层覆盖率不足 30%，制约了精准监测能力提升。

2.2 环境干扰因素

复杂环境条件对监测数据的干扰呈现多元化特征。气象参数中，湿度超过 85% 时，便携式仪器的电路易受潮短路，某沿海监测点曾因台风天气导致 12 小时数据异常；风速大于 5m/s 时，放射性气溶胶的空间分布被显著稀释，传统静态布点监测值可能低估实际暴露风险^[3]。电磁干扰方面，高压输电线周边 100 米内的监测数据常出现±15% 的波动，某工业园区因射频设备密集，导致 γ 剂量率仪误报率增加 30%。地形影响更为显著，山区峡谷地形会使辐射形成“热点”聚集区，而传统网格布点法难以覆盖，如某铀矿周边的山谷地带，因山体遮挡导致常规监测漏测率高达 40%，形成监管盲区。

2.3 数据处理与传输

数据处理的科学性不足和传输效率低下是当前两大痛点。在数据处理环节，部分单位仍采用人工剔除异常值的简单方法，未使用格拉布斯检验等标准统计工具，某案例中因漏判离群值，导致季度报告结论偏差超 20%。质量控制体系缺失，80% 的基层单位未建立数据不确定度评定流程，无法量化仪器误差、环境干扰等分量。数据传输层面，偏远地区依赖 2G 网络导致的丢包率高达 10%，某边境监测点因信号中断，延误核素异常预警达 4 小时；传输协议不统一问题突出，不同厂商设备的数据格式差异使平台对接耗时增加 50%，严重影响应急响应效率^[4]。这些问题导致数据的实时性、完整性和可用性大打折扣，难以满足精细化管理需求。

3 辐射环境监测数据精准采集方法

3.1 仪器设备优化

选择高精度、稳定性好的辐射监测仪器是精准采集数据的关键。应根据监测目的和环境特点，合理选择仪器的类型和型号。例如，对于核电站周边的辐射监测，

应选用灵敏度高、能够检测多种辐射类型的仪器。同时，要加强对仪器的维护和校准工作，建立定期校准制度，确保仪器的性能始终处于良好状态。可以采用标准辐射源对仪器进行校准，提高仪器的测量精度。此外，还可以研发和应用新型的辐射监测技术和仪器，如基于半导体探测器的新型辐射检测仪，具有更高的能量分辨率和探测效率，能够更精准地采集数据。

3.2 布点优化

科学合理的布点规划能够提高数据采集的代表性和准确性。在进行布点时，要充分考虑辐射源的分布、地形地貌、气象条件等因素。可以采用网格布点、功能区布点等多种布点方法相结合的方式。例如，在城市中进行辐射环境监测，可以根据城市的功能分区，如商业区、居民区、工业区等进行布点，同时结合网格布点，确保监测点能够覆盖整个城市区域^[5]。此外，还可以利用地理信息系统（GIS）技术，对监测区域进行三维建模，分析辐射的空间分布特征，优化布点方案。通过布点优化，可以减少监测盲区，提高数据采集的质量。

3.3 数据处理与质量控制

数据处理与质量控制是提升辐射监测数据可靠性的关键环节。需运用统计学方法对采集数据进行筛选，通过设定合理阈值识别并剔除异常值，如采用四分位距（IQR）法标记偏离正常范围的数据点，结合人工复核确保数据合理性。同时，构建全流程质量控制体系：在数据采集端设置动态阈值预警，当监测值超出本底范围或预设安全限值时，系统自动触发预警并启动仪器状态核查；数据传输过程中采用加密技术（如 AES-256 协议），防止数据泄露或篡改，保障传输完整性。针对海量数据，可借助大数据平台与人工智能技术，通过机器学习模型分析数据规律（如环境参数与辐射水平的关联性），实现系统性误差修正与潜在风险预测，提升数据利用效率，为辐射环境管理提供更精准的决策依据。

3.4 减少环境干扰

针对环境干扰因素，需采取针对性措施提升数据采集精度。对气象条件影响，可在监测仪器外围设置定制化防护设施，如加装遮阳棚降低阳光直射导致的温度波动，配备防潮罩将湿度控制在仪器最佳运行区间（如 40%-60%RH），减少电子元件因温湿度异常引发的故障概率。针对电磁干扰，采用双层金属屏蔽罩包裹仪器，结合接地技术形成电磁屏障，有效衰减工业设备、通讯信号等外部电磁辐射（如将射频干扰强度从 100mV/m 降至 10mV/m 以下）。同时，建立环境因素实时监测系统，同

步采集温湿度、风速、电磁强度等参数，通过多元线性回归模型构建数据修正算法^[6]。例如，某监测点依据 hourly 气象数据对 γ 剂量率进行湿度校正，修正后数据偏差从 $\pm 8\%$ 缩小至 $\pm 3\%$ ，显著提升了复杂环境下监测数据的准确性与可靠性。

4 实际案例分析

4.1 案例背景

某核电站地处地形复杂区域，山脉纵横、河流交错，极端天气频发，且周边工业企业产生的电磁干扰，给辐射环境监测带来多重挑战。为保障核电站安全运行及周边公众健康，亟需突破环境制约，实现辐射数据精准采集。核电站运行产生的放射性物质需实时监测，复杂地形可能造成监测盲区，多变气象条件会影响辐射扩散路径，电磁干扰则易导致仪器数据失真。在此背景下，精准采集数据成为把控辐射环境风险、支撑科学决策的关键任务。

4.2 采集方法应用

在仪器设备方面，选用了高精度的辐射监测仪器，并建立了严格的仪器维护和校准制度。定期对仪器进行校准和检查，确保仪器的性能稳定。在布点规划上，结合地形地貌和辐射源分布，采用网格布点和功能区布点相结合的方法，设置了多个监测点。同时，利用 GIS 技术对监测区域进行分析，优化了布点方案。在数据处理方面，采用了先进的统计学方法对数据进行处理，去除异常值，并建立了数据质量控制体系，对数据的采集、传输和处理进行全程监控^[7]。针对环境干扰因素，在监测仪器周围设置了防护设施，对仪器进行了屏蔽处理，并根据气象数据对监测数据进行修正。

4.3 效果评估

通过一段时间的监测和数据采集，发现采集到的数据准确性和可靠性明显提高。监测数据能够及时反映辐射环境的变化情况，为核电站的安全运行和周边环境管理提供了有力支持。与之前的监测数据相比，数据的波动明显减小，异常值数量减少，说明采取的精准采集方法取得了良好的效果。同时，通过对数据的分析，还发现了一些潜在的辐射异常情况，及时采取了措施进行处理，保障了公众的安全和环境的稳定。

5 结论与展望

5.1 结论

辐射环境监测数据的精准采集对于保障公众健康、维护生态平衡和支持科学研究具有重要意义。目前，在辐射环境监测数据采集过程中存在仪器设备、环境干扰、数据处理与传输等方面的问题。通过仪器设备优化、布点优化、数据处理与质量控制、减少环境干扰等精准采集方法，可以有效提高数据采集的准确性和可靠性。实际案例表明，这些方法在实际应用中取得了良好的效果。

5.2 展望

未来，随着科技的不断发展，辐射环境监测数据精准采集方法将不断创新和完善。一方面，新型的辐射监测技术和仪器将不断涌现，如更先进的探测器、智能化的监测设备等，将进一步提高数据采集的精度和效率。另一方面，大数据、人工智能等技术将在辐射环境监测中得到更广泛的应用，实现对海量监测数据的深度挖掘和分析，为辐射环境管理提供更科学的决策依据。同时，还需要加强国际合作与交流，共享辐射环境监测数据和技术经验，共同应对全球辐射环境安全挑战。

参考文献

- [1] 胡玉杰,程芳权,王杰,等.环境辐射监测系统组网研究[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第八卷)中国核学会2023年学术年会论文集核化工辐射防护.武汉第二船舶设计研究院;,2023:285-288.
- [2] 许佳.辐射环境监测中的数据采集电子化[J].环境保护与循环经济,2019,39(10):71-73.
- [3] 陈向进.辐射环境监测数据的合理性问题与应对措施研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(02):81-83.
- [4] 陆建峰,何俊,刘长军,等.三门核电厂外围辐射环境监督性监测系统介绍[J].中国辐射卫生,2017,26(02):230-233.
- [5] 梁燕.核电厂安全壳空气辐射监测系统优化分析[J].新型工业化,2022,12(08):9-12.
- [6] 曹勇,周旭阳.辐射环境监测数据合理性问题与应对措施分析[J].皮革制作与环保科技,2023,4(07):31-33.
- [7] 郭猛,杨萌,王硕,等.核电厂应急辅助决策系统数据接口设计[J].自动化仪表,2023,44(S1):130-134.

作者简介：赵晶晶，1982.12，男，白族，云南凤庆人，研究生，工程师，研究辐射环境监测方向。