

实验室信息管理系统在水质检测应用中的质量风险防控

杨海霞*

(邹平市生态环境监控中心, 邹平 256200)

摘要: 随着水质检测工作对数据管理要求的不断提高, 实验室信息管理系统 (Laboratory information management system, LIMS) 在水质检测领域得到广泛应用。为加强水质检测全过程的质量控制, 深入分析了 LIMS 系统在水质检测应用中存在的质量风险点, 提出相应的风险防控措施, 构建基于 LIMS 的水质检测质量风险防控体系。该体系从样品管理、检测过程、数据处理及报告生成四个环节入手, 建立了全流程的质量风险防控机制。通过样品全程追溯、检测过程实时监控、数据自动化校核和报告智能审核等措施, 实现对各环节风险点的有效管控。该体系能显著降低水质检测过程中的质量风险, 提升检测数据的准确性和可靠性, 对规范水质检测实验室管理、保障检测质量具有重要意义。

关键词: LIMS 系统; 水质检测; 质量风险; 防控措施; 全流程管理

0 引言

水质检测是环境监测的重要组成部分, 其检测结果的准确性和可靠性直接关系到水环境质量评价的科学性。实验室信息管理系统 (Laboratory information management system, LIMS) 通过信息化手段, 实现了对水质检测全过程的自动化管理, 显著提升了检测效率和数据可靠性, 在水质检测领域得到广泛应用。然而, 在实际应用过程中, 由于系统操作不规范、数据传输异常、质控要求不到位等原因, 仍存在样品管理、检测过程、数据处理等多个环节的质量风险。因此, 本文研究如何充分发挥 LIMS 系统的功能优势, 通过建立完善的质量风险防控机制, 为确保水质检测数据的准确性和可溯源性提供支持。

1 LIMS 系统的质量控制功能

LIMS 系统在水质检测应用中集成了样品管理、检测分析、数据处理和质量控制等多个功能模块。质量控制模块贯穿整个水质检测流程, 通过条码识别技术实现样品全程追踪, 采用数据接口自动采集检测数据, 运用标准曲线自动计算分析结果。在样品管理环节, LIMS 系统记录样品保存条件、预处理方式和检测进度等关键信息, 监控样品流转过程; 在检测分析环节, 系统对接实验室仪器设备, 实时采集检测数据, 监测仪器状态, 记录标准样品和空白样的测定结果; 在数据处理环节, 系统按照预设的质控规则自动校核数据, 对超出限值的结果进行标记并发出预

警^[1]。LIMS 系统质量控制功能通过数字化手段替代传统的人工记录方式, 消除了数据转录错误, 提高了数据准确性。

2 水质检测中的质量风险分析

2.1 样品采集与前处理风险

常规检测组 100 份水样中仅有 64 份达标, 达标率为 64.0%。采样规范要求使用酒精灯烧灼水龙头, 进行 5 min 放水后再采集样本。细菌学检测需采用灭菌磨口玻璃瓶采集 300 mL 样本, 其他检验项目使用 4 L 聚乙烯容器采集 3 L 水样。样品采集后需在 4 h 内完成检测, 这是保证水样稳定性的关键时限。实践中存在采样容器选择不当、现场采样记录不完整、样品保存不合理等问题(见表 1)^[2]。外界环境温度、湿度等因素会干扰水质检测的准确性, 导致样品发生二次污染。采样点布设缺乏代表性, 难以反映区域水体污染状况。工作者在水样采集过程中需要注重采样设备消毒、保存容器材质选择等问题。样品运输过程必须采取密闭措施, 防止样品温度异常变化和污染物流失。建立完善的样品标识制度, 确保样品信息准确记录, 避免出现混样、错样等质量事故。规范的样品管理直接影响检测数据质量。

2.2 检测分析过程风险

水质检测分析涵盖浑浊度、铁元素、铜元素、硫酸盐、氰化物、硝酸盐、大肠菌群等指标, 任何一项指标超标都视为水样不合格。以总硬度检测为例, 当检测结果超过 300 mg/L 时, 需要对样品进行处理: 取 200 mL 水样置于 500 mL 烧杯中加

* 通信作者: 杨海霞, 高级工程师, 研究方向为实验室质量管理及水质分析、大气污染物分析。E-mail: 15224370965@139.com

热，待水样冷却至室温后再次检测。检测过程中受人为因素影响较大，检测人员专业能力和操作规范性直接关系到数据准确性。部分实验室环境不达标，温度、湿度等检测条件不满足要求^[3]。试剂配制、仪器校准等基础性工作执行不到位。原始记录填写不规范，影响数据可追溯性。实验室必须加强仪器设备日常维护，规范试剂配制和储存管理，完善原始记录和报告审核程序，确保检测结果准确可靠。

表 1 水质样品采集标准要求与执行现状对照表

检测项目	标准要求	实际情况
样品达标率	100%	64.0%(64/100 份)
采样前准备	酒精灯烧灼水龙头放水 5 min	执行不规范
细菌学检测容器	灭菌磨口玻璃瓶 300 mL	容器选择不当
常规检测容器	4 L 聚乙烯容器采集 3 L 水样	体积不足
检测时限要求	4 h 内完成	超时现象存在

2.3 数据处理与审核风险

检测结果如有一项及以上指标不满足合格标准，即判定为水样超标。数据显示，采用质量控制体系后的检测组达标率提升至 83.0%，比常规检测组提高了 19%。实验室应建立数据审核制度，确保检测信息真实可靠。工作者需规范填写检测信息，数据审核确认后签名确认。检测原始记录应包含样品信息、检测条件、分析过程和测定结果，记录需清晰工整，数据修改必须注明理由并签字确认^[4]。质控数据要与历史数据进行对比，发现异常及时查找原因。实验室定期开展数据质量评估，通过多种方式检验数据的准确性。建立完善的数据文档管理制度，实现检测全过程的信息可追溯。对检测数据进行统计分析，评估方法的精密度和准确度。

2.4 质量控制的关键环节

质量控制需要从样品采集、保存、检测等环节入手。实施质量控制后，水样检测达标率由 64.0% 提升至 83.0%。重点管控采样操作规范性，确保样品代表性；严格样品保存条件，防止变质；执行标准检测方法，完善记录；提升检测人员技能水平。实验室环境控制要符合检测方法要求，定期检查维护实验设施。标准物质和试剂管理需建立台账。检测人员参加技术培训和考核，不合格者及时整改^[5]。数据处理要执行严格的审核制度，确保数据真实准确。通过计量认证等手段，保证检测结果可靠性。建立突发情况应急预案，妥善处理检测异常^[6]。对检测流程中的关键控制点进行重点监控，包括样品保存温度、检测环境条件、质控样品分析结果等。

3 LIMS 系统的风险防控

3.1 系统质量控制点设置

LIMS 系统在水质检测过程中设置关键质量控制点，形成全流程监控网络，关键质量控制点包括样品管理、检测过程、数据处理、报告生成控制点。在样品管理模块，设置样品采集点信息、保存条件、留样期限等强制录入项，实施采样标准化管

理。样品制备过程通过电子 workflow 设定操作步骤，记录样品处理温度、时间等工艺参数^[7]。检测分析阶段，系统对仪器状态进行实时监控，包括工作曲线、仪器信号、系统适应性等参数的自动判断。质控样品分析结果通过控制图实时监控，超出控制限自动报警并锁定相关数据。原始记录采用电子表单，通过数据有效性校验防止录入错误。系统集成标准方法库，自动核查检测参数设置的合理性^[8]。对检测数据进行智能审核，包括方法检出限、测定上限、平行样相对偏差等指标的自动核查。

3.2 质量预警机制建立

LIMS 系统构建多层次质量预警体系，实现风险分级管控。在样品管理环节，系统监控样品保存条件，当温度、湿度等环境参数偏离设定范围时启动预警。检测过程中，建立涵盖空白、标准曲线、平行样、加标回收等质控指标的预警规则库。系统通过数理统计方法评估测量不确定度，对超出控制限的数据进行智能识别和报警。集成 Shewhart 控制图、CUSUM 控制图等统计工具，实现过程能力的动态监控^[9]。系统根据预警级别自动启动相应的处理流程，并将预警信息推送至相关责任人。设置预警信息的分级响应机制，按照黄色预警、橙色预警、红色预警三个等级进行管理。建立预警信息的统计分析功能，对预警数据进行趋势分析和相关性分析。系统记录预警处理的全过程，包括报警时间、处理措施、处理人员、验证结果等信息。

3.3 数据追溯体系构建

LIMS 系统采用分布式数据库架构，构建全方位的数据追溯体系。系统为每个样品分配全局唯一标识码(GUID)，关联样品信息、检测数据、质控记录等全过程数据。通过电子签名和审计追踪功能，记录数据产生、修改、审核的完整过程。系统自动保存仪器原始谱图、工作曲线等基础数据，建立数据分析溯源链^[10]。质量控制数据以关系型数据库方式存储，支持多维度查询和统计分析。系统实现检测方法、标准物质、试剂、仪器设备等基础信息的全程管理，确保数据来源可追溯。建立数据完整性检查机制，定期对数据库进行备份和验证。设置数据访问权限控制，确保数据安全性。追溯体系覆盖样品采集、前处理、检测分析、结果报告等全过程，实现数据流转的闭环管理。

3.4 应急处理流程设计

LIMS 系统设计标准化的应急处理流程(见图 1)，建立分级响应机制。系统将检测异常分为仪器故障、环境异常、操作失误、数据异常等类型，制定详细的处理预案和操作规程。当发现异常时，系统自动生成应急处理工单，启动预设的处理流程。处理过程采用电子记录方式，实现问题描述、原因分析、处理措施、验证结果的全程跟踪。设置应急处理权限分级，重大异常需经管理层审批。系统集成故障诊断专家库，提供处理建议和解决方案。建立异常情况知识库，分析共性问题，持续优化检测流程。应急处理记录纳入质量管理体系，定期评估分析处理效果。系统提供应急演练功能，定期组织模拟训练，提高应急响应能力。

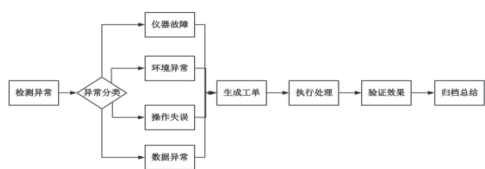


图1 LIMS 系统应急处理流程图

4 风险防控措施的实施效果

4.1 数据准确性提升

LIMS 系统实施质量风险防控后，检测数据准确性显著提高（见图2）。数据显示，常规检测组 100 份水样中达标样品为 64 份，达标率为 64.0%；采用 LIMS 系统后，检测组达标样品增至 83 份，达标率提升至 83.0%。通过系统设置的质控点管理，有效避免了采样过程中的温度异常、容器选择不当等问题。样品前处理环节中，对于总硬度超过 300 mg/L 的样品，系统自动提示加热处理要求，消除了人工操作不规范带来的误差。检测过程中，系统实时监控分析数据，对超出控制限的结果进行标记和预警，保证了原始数据的真实性。电子化记录方式替代手工记录，避免了数据抄写和录入错误。质控样品分析结果通过控制图实时监控，异常数据及时发现和处理。

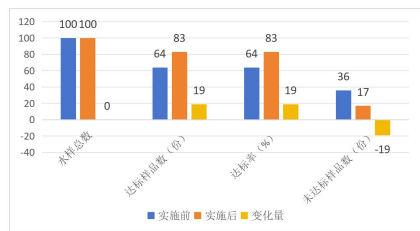


图2 LIMS 系统实施前后数据对比图

4.2 检测效率改善

通过系统自动预警功能，样品检测时限得到严格控制，确保在规定的 4 h 内完成检测。电子化工作流程替代传统纸质记录，减少了人工填写和审核时间。样品信息采用条码管理，避免了样品混淆和信息重复录入。系统自动生成检测报告，减少了报告编制时间。数据的自动采集和传输，避免了人工记录和转录环节，提高了数据处理效率。质控数据的实时监控，及时发现和处理异常情况，减少了返工和重复检测。系统集成标准方法库，检测人员能够快速调用标准操作程序，减少了查阅文件的时间。样品检测进度实时显示，方便管理人员掌握工作进展，合理调配资源。LIMS 系统的应用显著提升了水质检测效率，检测周期明显缩短。

4.3 质量风险降低

质量风险防控措施实施后，水质检测质量风险显著降低。系统通过采样标准化管理，降低了样品采集和保存过程中的质量风险。在样品制备环节，通过工艺参数的实时监控，避免了温度、时间等因素引起的样品变质风险。检测过程中，仪器状态监控和质控样品分析，及时发现和处理异常情况，降低了检

测结果的不确定度。数据审核的多级把关，减少了检测报告中的错误风险。系统自动记录和保存检测全过程数据，增强了数据的可追溯性，便于质量问题的调查和处理。

4.4 管理水平提高

LIMS 系统的应用推动实验室管理水平全面提升。实现了从样品接收到报告发布的全流程信息化管理，提高了工作透明度。系统自动记录操作人员的关键操作，强化了工作责任制。质量控制数据的统计分析功能，为管理决策提供了数据支持。通过电子化管理，实现了标准物质、试剂、仪器设备等资源的合理配置和使用。人员培训和考核记录的系统化管理，促进了检测人员专业能力的提升。实验室文件管理系统化，确保了管理制度的有效执行。系统生成的各类统计报表，便于管理层掌握工作动态，及时发现和解决问题。检测质量的持续改进机制得到加强，推动了质量管理体系的完善。通过提高管理水平，实验室的整体运行效率和服务质量得到显著改善。

5 结束语

基于 LIMS 系统构建的水质检测质量风险防控体系，实现了对检测全过程的有效管控。该体系通过设置关键控制点，建立预警机制和应急处置流程，从源头上预防和控制质量风险。在样品管理环节，实现了样品信息的全程可追溯；在检测过程中，建立了实时监控和质控预警机制；在数据处理环节，实现了数据的自动化校核；在报告生成环节，建立了多级审核机制。

参考文献

[1] 陈良勇,李良林,李海明.支撑盐湖样品质控管理的多实验室 LIMS 系统设计与实现[J].青海国土经略,2024,(04):40-45.

[2] 刘薇,王琪,涂坚.LIMS 系统中标准管理模块的创新与应用[J].中国标准化,2024,(12):140-142.

[3] 余卓,严文法.基于 CDIO 模式的“水质检测与自制净水器”跨学科实践活动设计[J].西藏教育,2024,(12):42-45,53.

[4] 左光栋.污水处理技术及水质检测质量控制分析[J].清洗世界,2024,40(11):30-32.

[5] 张玉环,刘聪.化学分析仪器在环保水质检测中的实践研析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(20):65-67.

[6] 赵娜.城市生活用水的水质检测和污水处理技术[J].山西化工,2025,45(01):281-283.

[7] 李镇源.火焰原子吸收光谱仪与 ICP-AES 在水质检测中应用的比较分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(22):17-19.

[8] 钟嵘.基于遥感技术的地表水水质检测方法论述[J].皮革制作与环保科技,2024,5(21):48-49,70.

[9] 刘作鹏.基于单片机技术的水质检测系统设计[J].电子技术,2024,53(10):30-31.

[10] 陈浩.高效液相色谱技术在水质检测中的运用[J].化纤与纺织技术,2024,53(10):68-70.