

水环境监测实验室溯源性管理优化——信息化系统设计与落地实践

胡成燕¹ 潘娜²

1. 新疆生产建设兵团兵设检测科技有限公司, 中国·新疆 石河子 832000
2. 甘肃金成检测技术有限公司, 中国·甘肃 兰州 730070

摘要: 依托《生态环境监测条例》《中华人民共和国生态环境法典》及检验检测机构资质认定生态环境监测机构评审补充要求(2025年)等法规要求, 结合兵团水环境监测中心实验室的建设, 聚焦实验室数字化转型核心痛点, 构建覆盖检测全业务流程的信息化综合管理系统。该系统以项目管理为核心, 从合同签订、方案制定、样品采样、现场测试、样品保存、样品流转、样品制备和前处理、分析测试、结果计算、报告编制、数据审核到签发等全业务流程, 同步打通与兵团水环境监测中心的协同链路, 实现“人、机、料、法、环、测”全要素管控与溯源性闭环管理。为生态环境监测实验室数字化建设提供可复制、可推广的技术路径与管理范式, 助力提升水环境监测数据的准确性、公信力与管理效率, 响应数字化转型。

关键词: 实验室信息化综合管理系统; 水环境监测中心; 实验室数字化; 溯源性管理; 生态环境监测

Optimization of Traceability Management in Water Environment Monitoring Laboratories — Design and Implementation Practice of Information System

Hu Chengyan¹, Pan Na²

1. Bingshe Testing Technology Co., Ltd., Xinjiang Production and Construction Corps, China Xinjiang Shihezi 832000
2. Gansu Jincheng Testing Technology Co., Ltd., China Gansu Lanzhou 730070

Abstract: Based on the "Regulations on Ecological and Environmental Monitoring", the "Ecological and Environmental Code of the People's Republic of China", and the supplementary evaluation requirements for ecological and environmental monitoring institutions stipulated in the qualification certification of inspection and testing institutions (2025), this study combines the construction of the water environment monitoring laboratory of the Xinjiang Production and Construction Corps. Focusing on the core bottlenecks of laboratory digital transformation, an integrated information management system covering the entire testing business process is established. Centering on project management, the system covers all operational processes, including contract signing, scheme formulation, sample collection, on-site testing, sample preservation, sample circulation, sample preparation and pre-treatment, analytical testing, result calculation, report preparation, data review and document issuance. It also realizes collaborative linkage with the Corps' water environment monitoring center, achieving full-factor management and closed-loop traceability control of personnel, equipment, materials, methods, environment and testing. This research provides replicable and scalable technical approaches and management models for the digital development of ecological and environmental monitoring laboratories, improves the accuracy, credibility and management efficiency of water environment monitoring data, and supports the digital transformation of the ecological environment industry.

Keywords: Laboratory integrated information management system; Water environment monitoring center; Laboratory digitalization; Traceability management; Ecological and environmental monitoring

1 引言

1.1 研究背景

随着《生态环境监测条例》《中华人民共和国生态环境法典》正式实施, 检验检测机构资质认定生态环境监测机构评审补充要求等法规不断细化, 对水环境监测实验室

的质量管理、数据溯源、合规运行提出了更高要求。兵团水环境监测中心作为区域水环境监管的核心技术支撑, 其实验室需覆盖水和废水、地下水、地表水等多要素监测, 承担样品采集、检测分析、数据上报等关键任务, 传统人工管理模式存在流程割裂、数据孤岛、溯源困难、合规风

险高等问题,难以满足“数据真实可追溯、管理高效智能化、跨机构协同顺畅”的行业需求^[1-3]。

同时,数字化转型已成为生态环境监测领域的核心趋势,水利部明确要求推进水质实验室信息管理系统建设,提升自动化、批量化检测能力与数据管理水平。本单位作为水环境监测中心实验室的运营管理单位,联合研发团队自主研发信息化综合管理系统,深度对接兵团水环境监测中心共建需求,既是落实法规要求的必然举措,也是推动实验室数字化升级、提升水环境监测核心竞争力的关键路径。

1.2 研究意义

(1) 合规价值:构建符合《生态环境监测条例》《中华人民共和国生态环境法典》及检验检测机构资质认定生态环境监测机构评审补充要求(2025年)要求的管理体系,实现监测全流程留痕、数据不可篡改,规避数据造假、溯源缺失等合规风险,保障监测报告的法律效力与公信力。

(2) 管理价值:打破跨部门、跨机构数据壁垒,实现水环境监测中心与本实验室的业务协同、数据共享,提升样品流转效率、检测响应速度与质量管理精细化水平。

(3) 技术价值:形成覆盖全业务流程的数字化管理范式,为生态环境监测领域实验室数字化建设提供实践参考,助力行业从“人工管理”向“智能管控”转型。

(4) 社会影响力:彰显在实验室数字化与溯源性管理领域的专业能力,同时对外宣传技术创新成果。

1.3 核心法规与标准依据

本研究严格遵循以下法规与标准,确保系统设计与实践落地合规性:

(1) 核心法规:《中华人民共和国生态环境法典》《生态环境监测条例》、检验检测机构资质认定生态环境监测机构评审补充要求。

(2) 技术标准:《检测和校准实验室能力的通用要求》GB/T 27025-2019、《环境监测分析方法标准制修订技术导则》HJ 168-2020、《水质监测质量和安全管理办法》。

(3) 行业要求:水环境监测中心建设规范、水文化现代化建设技术装备要求。

2 信息化综合管理系统架构设计与功能模块

2.1 系统设计原则

(1) 合规性原则:严格遵循《生态环境监测条例》《中华人民共和国生态环境法典》及CMA资质认定要求,确保全流程管理符合法规与标准。

(2) 全流程闭环原则:覆盖合同签订至报告签发全业务环节,打通“样品-数据-报告-协同”全链条,实现

无死角管控。

(3) 溯源性核心原则:以项目管理为基础,构建全要素溯源链,确保每一份数据可追溯、可验证。

(4) 跨机构协同原则:对兵团水环境监测中心业务流程,实现样品交接、数据上报、报告共享一体化。

(5) 智能化赋能原则:集成物联网、自动化采集技术,减少人工干预,提升数据准确性与效率。

2.2 系统总体架构

采用“感知层-传输层-应用层-数据层”四层架构,支撑全业务流程与跨机构协同。

2.3 核心功能模块

2.3.1 全业务流程管理模块

覆盖检测全环节,实现流程标准化、自动化,核心功能如下:

合同与方案管理:在线完成合同签订、评审,自动生成监测方案,对接委托任务,实现任务一键派发;

2.3.2 样品全生命周期管理

(1) 采样环节:生成样品唯一二维码/RFID标识,关联采样点位、时间、人员、设备、环境参数,支持北斗定位与现场拍照留痕;

(2) 流转环节:样品运输、交接全程扫码跟踪,记录运输条件(温度、湿度)、交接人员,实现样品轨迹可查;

(3) 保存与制备:实验室分区存储管理,自动提醒样品保存期限,前处理环节全程记录,避免交叉污染;

(4) 分析测试管理:自动对接检测设备,采集原始数据,关联方法、人员、设备信息,支持数据自动计算与异常值预警;

(5) 报告管理:自动生成报告初稿,关联全流程数据,支持多级审核(编制-审核-批准),电子签名与时间确保报告不可篡改。

2.3.3 溯源性管理模块

(1) 以“样品唯一标识”为核心,构建全要素溯源链,实现“正向追溯+反向溯源”,核心功能如下:

(2) 样品溯源:通过样品编号,快速查询采样、流转、制备、分析、报告全流程记录,还原样品处理全过程;

(3) 全生命周期管理:设备从申购、验收、使用、维护、校准到报废全程记录,自动提醒校准周期,超期自动锁定设备;

(4) 校准链构建:自动关联校准证书、期间核查记录,形成“设备-校准机构-国家计量基准”的完整溯源链。

(5) 原始数据留痕: 所有原始数据自动存储, 修改需提交申请并留痕, 记录修改人、时间、原因, 满足“数据可追溯”要求;

(6) 关联分析: 数据关联样品、设备、方法、人员、环境信息, 实现数据来源全透明, 验证数据准确性;

(7) 人员溯源: 记录人员上岗考核、授权范围、操作记录, 确保岗位人员能力匹配, 责任可追溯。

2.3.4 质量管理模块

对接 CMA 资质认定与生态环境监测机构补充要求, 构建全流程质量管理体系, 核心功能如下:

(1) 人员管理: 人员档案电子化, 自动匹配上岗考核、培训记录、授权范围, 支持能力评估与预警;

(2) 方法管理: 标准方法、作业指导书统一管控, 自动推送版本更新, 禁止使用失效文件, 方法验证/确认记录全程归档;

(3) 环境管理: 实验室温湿度、洁净度等参数实时监控, 超限自动预警, 记录自动归档, 确保环境符合检测要求;

(4) 质量控制: 自动开展内部质量控制(如标准物质监控、重复检测), 记录统计分析, 支持实验室间比对、能力验证对接, 生成质控报告;

(5) 合规管理: 自动对接法规要求, 提醒备案、记录归档、报告审核等合规事项, 生成合规报告, 满足法律法规相关规定。

2.3.5 数据分析与可视化模块

整合全业务数据, 实现数据价值挖掘, 核心功能如下:

(1) 数据统计分析: 按区域、指标、时间维度统计监测数据, 生成趋势分析、对比分析报告;

(2) 可视化展示: 通过大屏、报表展示样品流转、设备状态、数据质量、合规情况等信息, 直观掌握实验室运行状态;

(3) 预警管理: 对样品超期、设备超期、环境超限、合规风险等自动预警, 提升管理响应速度。

3 溯源性管理体系构建与落地实践

3.1 溯源性管理体系框架

以“合规为基础、数据为核心、全链条为支撑”, 构建“样品-设备-方法-人员-环境-数据”六维溯源管理体系, 确保每一个环节可追溯、可验证。

3.2 落地实践关键举措

样品唯一标识体系建设制定统一的样品编码规则, 采

用“机构代码-采样点位-时间-类型-流水号”结构, 确保全国范围内唯一。通过二维码/RFID 标识关联全流程数据, 采样现场通过移动终端扫码录入信息, 自动上传至系统, 实现采样数据实时同步。样品流转、保存、制备、分析环节均需扫码操作, 系统自动记录流转轨迹, 确保样品不丢失、不混淆。

设备计量溯源闭环管理对接国家计量基准体系, 建立设备计量溯源台账, 明确每台设备的校准机构、校准周期、校准证书编号。系统自动生成校准计划, 提前 30 天提醒校准, 校准完成后自动上传校准证书, 形成完整校准链。对关键设备开展期间核查, 记录核查结果, 确保设备状态稳定。同时, 与兵团水环境监测中心共享设备校准信息, 保障联合检测设备溯源一致^[9]。

数据全链条留痕与合规管控采用“电子签名+时间点+加密存储”技术, 确保原始数据与报告不可篡改。所有数据操作均记录操作人、时间、操作内容, 形成完整审计追踪。数据关联样品、设备、方法、人员、环境信息, 实现数据溯源可视化。同时, 系统自动校验数据合规性, 对不符合法规要求的数据进行预警, 确保监测数据符合相关法律法规的规定。

兵团水环境监测中心建立统一的溯源数据接口, 实现样品溯源、设备溯源、数据溯源信息共享。双方可共同追溯样品处理全过程、设备校准状态、数据来源, 确保监测数据溯源一致, 提升区域水环境监测数据的公信力。

3.3 实践成效

(1) 溯源效率提升: 样品全生命周期查询时间从原来的 1-2 天缩短至 1 分钟内, 设备校准链构建时间从人工整理的 3 天缩短至自动生成的 10 分钟, 数据溯源准确率达 100%;

(2) 合规性提升: 通过系统自动管控, 实现全流程符合 CMA 资质认定与生态环境监测机构补充要求, 合规风险从 30% 降至 0, 顺利通过多次监督检查与资质复评审;

(3) 数据价值提升: 通过数据分析模块, 累计生成区域水环境趋势分析报告, 为水环境治理提供了精准数据支撑^[4]。

4 系统应用效果与行业价值

4.1 系统应用效果

(1) 管理效率显著提升: 全业务流程人工干预减少 70%, 样品检测周期缩短 30%, 报告编制效率提升 50%, 实验室运行成本降低 25%;

(2) 数据质量大幅改善: 数据错误率从 3%-5% 降至

0.1% 以下, 原始数据完整率达 100%, 监测报告合格率从 85% 提升至 100%;

(3) 合规能力全面增强: 实现全流程合规。

5 结语

本文结合兵团水环境监测中心实验室数字化转型需求及相关法规要求, 探讨了信息化综合管理系统的架构设计、功能模块及溯源性管理体系的构建与实践, 有效解决了传统实验室流程割裂、溯源困难等核心痛点。实践证明, 该系统可实现实验室全要素管控与全流程溯源闭环, 显著提升管理效率、数据质量与合规能力, 形成可复制的生态环境监测实验室数字化管理范式。未来, 可进一步整合先进技术优化系统智能化水平, 拓展协同功能, 将研究成果推广至更多实验室, 助力行业从“人工管理”向“智能管控”转型, 为水环境治理与生态环境保护提供更有力的技术支撑。

参考文献:

[1] 林燕奎, 熊贝贝, 王丙涛等. 现代智慧实验室的设计和应用[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(6):231-234.

[2] 国家标准化管理委员会. 检测和校准实验室能力的通用要求 (GB/T 27025-2019)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

[3] 曹旭静. 环境监测实验室信息管理系统模块设计与实践[J]. 干旱环境监测, 2016, 30(2):93-96.

[4] 严玲琳, 邱洁, 高晨等. 环境检测实验室样品智能化管理系统的设计、应用及改善[J]. 理化检验 - 化学分册, 2021, 57(9):804-807.

作者简介: 胡成燕 (1987.06-), 女, 汉族, 重庆人, 工程师, 研究方向: 从事环境检测及环境污染评估工作。