

# 水质检测实验室设备管理策略对检测精度的影响分析

付明恒\*

(阿坝州金川环境监测站, 金川 624100)

**摘要:** **目的** 探讨水质检测实验室设备管理策略对实验检测精度的影响, 优化实验室设备管理策略, 提升实验检测精度。**方法** 选取2024年—2025年金川县环境监测实验室pH、汞、氨氮、总氮等项目实验室分析数据, 通过 $t$ 检验和 $\chi^2$ 分析实施精细化设备管理策略前后4项常规检测指标的精密密度、准确度及异常数据率的变化情况, 评估实验室仪器设备管理策略调整对实验室检测精度的影响。**结果** 实验室精细化管理实施后, pH检测重复性标准差由0.23降至0.19 ( $P<0.01$ ), 氨氮重复性标准差由0.81降至0.32 ( $P<0.05$ ), pH相对误差由2.74%降至1.54% ( $P<0.01$ ), 汞、氨氮、总氮的相对误差分别下降56.1%、20.5%、21.0%, 异常数据率均下降10%以上, 设备故障率下降38.5%, 荧光强度漂移量下降26.4%。**结论** 系统化的设备管理策略可有效提升实验室检测精度, 提升设备运行稳定性, 提高实验室分析重复性, 降低实验室分析误差, 减少实验异常数据率。

**关键词:** 水质检测; 设备管理; 检测精度; 精密密度; 准确度

## 0 引言

水质检测是环境质量水质评价的重要基础, 实验室检测作为水质评价的核心环节, 其结果的可靠性直接影响监管决策的科学性和准确性, 实验室检测数据的精度高度依赖检测仪器的性能状态与规范化管理。实验室对检测仪器的管理主要体现在检测数值的范围和灵敏度上, 这两项指标都会对实验结果的准确性与稳定性产生较大影响。当前, 部分实验室存在设备管理粗放、校准周期固定化、维护与使用脱节等问题, 导致检测数据偏差大、重复性差, 甚至是设备故障引发误判<sup>[1]</sup>。目前已有部分研究关注单类设备的管理优化, 但针对实验室设备的系统性管理策略对检测精度的影响还缺乏实证研究和分析。本研究通过对比系统化设备管理策略实施前后的检测数据, 量化评估不同管理措施对精密密度、准确度及异常数据率的影响, 以期对实验室设备管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般材料

研究对象为金川县水质检测实验室2024年1月—2025

年12月承担的地表水、地下水、生活污水等检测任务, 覆盖pH、汞(原子荧光法)、氨氮(纳氏试剂分光光度法)、总氮(碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法)4项常规指标, 共检测样本1287份(其中2024年为管理策略调整前, 设为对照组, 样本674份; 2025年为调整管理策略后, 设为观察组, 样本613份)。样本来源包括生态环境部门监督性监测、应急监测等, 检测依据为HJ 1147—2020《水质 pH值的测定 电极法》, HJ 694—2014《水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法》, HJ 535—2009《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》, HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》。

### 1.2 仪器与设备

PHSJ-3F pH计(精密密度 $\pm 0.01$ , 上海仪电科学仪器公司); AFS-2202E 双道原子荧光光度计(检出限0.001 ng/mL, 北京海光仪器公司); 723S 可见分光光度计(上海奥普勒仪器公司); UV-1780 紫外可见分光光度计(杂散光 $\leq 0.05\%$ , 日本岛津仪器苏州有限公司); YXQ-LS-18SI 压力蒸汽灭菌器(0.165 Mpa, 上海东亚压力容器制造公司); UPH-I-40TN 超纯水机(成都优普超纯科技公司)。所有设备均按规定进行计量校准, 校准机构为通过中国合格评定国家认可委员

会认可和中国计量认证检验检测机构资质认定。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 设备管理策略调整设计

对照组采用常规管理: 设备按固定周期(pH计、原子荧光光度计、可见分光光度计、紫外可见分光光度计等)每年校准, 日常维护仅记录故障维修, 无预防性维护计划, 操作人员培训以设备说明书学习为主<sup>[2]</sup>。

观察组实施精细化策略: (1)分级维护。根据设备使用频率(每日 $\geq 2$ 次为高频率, 每周 $\geq 3$ 次为中频率, 每月 $\leq 5$ 次为低频率)制定差异化维护计划, 高频率设备每周清洁、每月功能核查, 中频率每两周清洁、每季度功能核查, 低频率每月清洁、每半年功能核查<sup>[3]</sup>; (2)动态校准。基于设备运行状态(如pH计斜率偏离理论值, 斜率低于95%或高于105%)触发临时校准, 替代固定周期; (3)人员能力绑定。操作人员需通过设备操作考核(含维护、校准步骤)方可独立使用, 每季度复训并考核<sup>[4]</sup>; (4)建立设备档案。记录每次维护、校准、故障及检测数据, 通过数据分析预测设备性能趋势。

#### 1.3.2 检测精度评估指标

##### (1)精密度

精密度通过对同一样本重复测定3次并计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)衡量。RSD反映设备在相同条件下对同一检测结果的一致性, RSD数值越小说明随机误差越低, 设备运行稳定性越强, RSD是评估检测重复性的核心参数<sup>[5]</sup>。在日常实验室分析中对平行样品测定结果精密度通过相对极差来计算。

##### (2)准确度

准确度通过相对误差(relative error, RE)衡量, ( $RE = |\text{实测值} - \text{标准值}| / \text{标准值} \times 100\%$ )<sup>[6]</sup>。在实验室分析中通过带有证标准物质来判断实验结果是否可靠, 对实验结果偏离真值(偏高或者偏低)做出初步判断, 从而判断实验中样本分析结果是否具有可靠性。通过计算RE值来检验实验分析结果与真实值的偏离程度, 低RE表明测量系统误差或随机误差较小, 检测结果更接近客观真值。

##### (3)异常数据率

异常数据为实验室检测结果超出方法检出限, 空白试验检测结果达不到标准要求, 标准物质检测结果超出扩展不确定度, 与历史数据趋势显著偏离(经Grubbs检验 $P < 0.05$ )的样本占比。异常数据率=(异常数据量/参与统计的数据量) $\times 100\%$ 。异常数据率用于筛查检测过程中的突发异常, 如设备临时故障、试剂失效或操作失误导致的数据偏差<sup>[7]</sup>。

### 1.4 观察指标

对比两组管理策略下各检测指标RSD、RE及异常数据率, 同时记录设备故障率、校准周期内漂移量(校准后至

下次校准前的性能变化)。

### 1.5 统计学方法

数据采用SPSS 27.0分析, 计量资料按均数 $\pm$ 标准偏差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 组间比较采用独立样本 $t$ 检验; 计数资料按率(%)表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验;  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 管理策略调整前后检测精度对比

精细化管理的实施显著提升了各检测指标的精密性与准确度, 降低了异常数据率。pH、汞、氨氮、总氮的RSD分别下降(改善)17.4%、7.3%、60.5%、68.7%; RE分别下降(改善)43.8%、56.1%、20.5%、21.0%; 异常数据率均下降10%以上。管理策略调整前后各检测指标变化情况见表1。

表1 管理策略调整前后各检测指标精度对比

检测指标	管理阶段	RSD	RE/%	异常数据率/%
pH	对照组	0.23 $\pm$ 0.09	2.74 $\pm$ 2.08	6.82 $\pm$ 0.12
	观察组	0.19 $\pm$ 0.08**	1.54 $\pm$ 1.47**	5.52 $\pm$ 0.16
汞	对照组	2.62 $\pm$ 1.53	7.18 $\pm$ 0.65	13.8 $\pm$ 0.40
	观察组	2.43 $\pm$ 0.12	3.15 $\pm$ 0.78	8.40 $\pm$ 0.20
氨氮	对照组	0.81 $\pm$ 0.59	2.24 $\pm$ 1.35	10.5 $\pm$ 0.10
	观察组	0.32 $\pm$ 0.38*	1.78 $\pm$ 1.35	9.10 $\pm$ 0.10
总氮	对照组	2.65 $\pm$ 1.65	4.52 $\pm$ 2.83	10.8 $\pm$ 0.46
	观察组	0.83 $\pm$ 0.95	3.57 $\pm$ 0.97	7.70 $\pm$ 0.37

注: 与对照组相比, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

### 2.2 设备运行状态与管理效果

对水质检测实验室仪器设备实施精细化管理后, 实验室设备故障率下降了38.5%, 原子荧光光度计的荧光强度漂移量下降了26.4%, 可见实施精细化管理后设备运行的稳定性显著增强。设备运行状态关键指标对比(管理前vs管理后)见表2。

表2 设备运行状态关键指标对比(管理前vs管理后)

指标名称	管理阶段	数值	变化幅度/%
设备故障率/(次/月)	管理前	1.3 $\pm$ 0.6	-38.5
	管理后	0.8 $\pm$ 0.4	
原子荧光光度计荧光强度漂移量/If	管理前	$\pm 0.0352 \pm 0.0138$	-26.4
	管理后	$\pm 0.0259 \pm 0.0001$	

注: 变化幅度计算公式为(管理前数值-管理后数值)/管理前数值 $\times 100\%$ (负号表示下降)。

### 3 讨论与结论

通过分级维护、动态校准、人员能力绑定等系统化设备管理策略实施后 pH 检测重复性标准差由 0.23 降至 0.19 ( $P<0.01$ ), 氨氮重复性标准差由 0.81 降至 0.32 ( $P<0.05$ ), pH 相对误差由 2.74% 降至 1.54% ( $P<0.01$ ), 汞、氨氮、总氮的相对误差分别下降 56.1%、20.5%、21.0%, 异常数据率均下降 10% 以上, 设备故障率下降 38.5%, 荧光强度漂移量下降 26.4%, 可见系统化设备管理策略能有效提升实验室水质检测精度, 提升设备运行稳定性, 提高实验室分析重复性, 降低实验室分析误差, 减少实验异常数据率。现有研究多集中于检测方法优化、单一设备校准或质量控制指标分析, 对设备维护、校准等系统性管理策略的协同性探讨相对较少, 本研究形成一套适用于常规水质检测实验室的系统化管理思路, 更贴近实际工作场景, 可为基层实验室提升检测数据准确度与可靠性提供更具针对性的参考。但本研究仍存在一定的局限性, 研究过程中未全面覆盖样品采集、前处理、试剂耗材等其他影响检测质量的关键环

节, 精细化管理措施的长期应用效果尚未进行持续跟踪验证, 管理模式创新性和智能化方面仍有较大提升空间, 后期可结合物联网技术等, 进一步提升实验室设备管理系统智能化程度。

#### 参考文献

- [1] 唐邑昕. 湿地水质多参数在线检测系统防伪机制研发及检测设备质量标准研究[J]. 中国品牌与防伪, 2025(12): 213-215.
- [2] 张常贤. 农村自来水水质快速检测技术的应用与推广分析[J]. 农村实用技术, 2025, (9): 112-113.
- [3] 张淳贤. 五华县生活饮用水水质检测存在的问题及优化措施研究[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(25): 27-29, 39.
- [4] 肖慧. 提高污水水质检测准确性及稳定性的策略探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(8): 152-154.
- [5] 龙涛. 农村饮水安全工程供水水质检测技术[J]. 湖南水利水电, 2025 (4): 62-63, 75.
- [6] 孙玉平, 魏书德. 提升污水水质检测准确性与稳定性的策略研究[J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(7): 174-176.
- [7] 王琳. 生活饮用水水质检测存在的问题及优化措施研究[J]. 食品安全导刊, 2025(16): 158-160.