

连续流动分析仪水质检测信号异常成因与处置方案

林小依

韶关市科源水质检测有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i7.7056

[摘要] 连续流动分析仪凭借自动化、高精度、高效率的优势,广泛应用于水体氨氮、总磷、总氮等水质指标的常态化检测,是水环境监测、水质污染溯源、生态环境评价的核心精密设备。仪器长期连续运行中,受光路老化、流路污染、试剂失效、环境干扰及操作运维不当等多重因素影响,易出现基线漂移、噪声过大、峰形畸变、无检测信号、数据重复性差等信号异常问题,直接导致检测数据失真、实验返工,严重影响水质监测工作的准确性与时效性。

[关键词] 连续流动分析仪; 水质检测; 信号异常; 故障成因; 处置方案

中图分类号: TV211.1 文献标识码: A

Causes and Countermeasures for Abnormal Water Quality Detection Signals in Continuous Flow Analyzers

Xiaoyi Lin

Keyuan Water Quality Testing Co., Ltd.,

[Abstract] Continuous flow analyzers, with their advantages of automation, high precision, and efficiency, are widely used for routine detection of water quality indicators such as ammonia nitrogen, total phosphorus, and total nitrogen. They serve as core precision equipment for water environment monitoring, water pollution source tracing, and ecological environment assessment. During long-term continuous operation, factors such as light path aging, flow path contamination, reagent failure, environmental interference, and improper operation or maintenance can easily lead to signal anomalies like baseline drift, excessive noise, peak distortion, absence of detection signals, and poor data repeatability. These issues directly cause distortion of detection data and experimental rework, severely impacting the accuracy and timeliness of water quality monitoring.

[Key words] Continuous flow analyzer; water quality monitoring; signal anomaly; fault causes; Disposal Plan

水环境监测是生态环境保护、水污染治理、水资源管控的基础性工作,连续流动分析仪可实现水质多指标自动化连续检测,具备检测效率高、人为误差小、适配批量样品检测的优势,已成为各级环境监测实验室、水务检测机构的核心设备。在长期不间断运行工况下,仪器光学部件、流路管路、反应体系易出现老化、污染、失效问题,叠加实验室温湿度波动、电磁干扰、操作不规范等因素,各类检测信号异常问题频发。当前多数实验室针对信号异常多采用被动式抢修模式,缺乏系统化成因分析与标准化处置流程,故障排查效率低、重复故障率高,严重影响水质检测工作质量。

1 连续流动分析仪典型信号异常类型及危害

1.1 基线漂移与基线噪声超标异常

基线漂移与基线噪声超标是连续流动分析仪水质检测中最频发的基础信号异常类型,直接决定检测基线的稳定性与数据下限精度。基线漂移主要表现为检测基线持续单向上升、单向

下降或阶梯式波动,无规律缓慢偏移,无法稳定归零;基线噪声超标体现为基线频繁小幅跳动、毛刺过多,噪声幅值超出仪器规范允许范围,低浓度水样检测时干扰尤为显著。该类异常对微量水质指标检测影响极大,会直接压低检出限、降低低浓度样品数据重复性,导致空白样、低浓度标样检测结果偏差超标。在长期连续运行过程中,轻微基线漂移易被忽视,累积后会造标准曲线拟合度下降、样品检测系统偏差,引发批量数据失真。

1.2 检测峰形畸变与响应异常

峰形畸变、信号响应滞后是影响样品定量检测精度的核心信号异常,主要包含峰形拖尾、峰形分叉、峰高过低、平顶峰、响应迟缓等多种表现形式。正常检测峰形呈现对称平滑的正态分布曲线,而异常峰形会出现上升沿缓慢、下降沿拖尾、峰值截断、多峰重叠等问题,导致仪器峰高、峰面积积分计算出现偏差,最终造成样品检测数值偏高或偏低。其中峰形拖尾多引发残留污染叠加误差,平顶峰易导致高浓度样品检测饱和失真,响应迟

缓会造成信号采集时序错位,批量样品检测时序混乱。该类异常不会导致仪器停机,但会直接破坏定量检测的准确性,使得标曲校准失效、样品数据失真,无法满足水质检测质控要求。

1.3 无检测信号与信号中断故障

无检测信号、信号瞬时中断属于重度突发性信号故障,直接导致仪器无法完成检测工作,属于设备停机类异常。该故障主要表现为仪器正常启动、流路正常运转、试剂正常输送,但检测系统无信号输出,基线归零无波动,样品检测无峰形响应;或检测过程中信号突然中断、基线断崖式跌落,实验进程被迫终止。相较于基线与峰形异常,该故障突发性强、影响范围广,直接造成实验中断、样品报废、检测任务停滞。无信号故障多由核心硬件失效、光路阻断、流路断流、系统程序异常引发,涉及光学检测系统、流路输送系统、电气控制系统等核心模块。若无法快速定位故障点位,会大幅延长设备停机时长,影响水质应急监测、批量例行检测等重点工作推进,尤其在突发水污染事件应急检测中,信号中断故障会直接延误污染研判与处置时机,造成严重工作影响。

2 连续流动分析仪检测信号异常核心成因分析

2.1 光学系统故障引发的信号偏差

光学系统是连续流动分析仪信号采集的核心单元,光路异常是信号失真、漂移、噪声超标的首要诱因。仪器光源包含钨灯、氙灯等核心部件,长期运行会出现光源老化、光强衰减、发光不稳定等问题,导致入射光强度波动,基线噪声增大、基线持续漂移。同时,流通池、光学镜片长期接触水样与试剂,表面易附着水垢、试剂结晶、有机杂质与微生物膜,造成透光率下降、光线散射干扰,引发信号采集偏差与峰形畸变。

2.2 流路与进样系统运行异常

流路输送、进样反应系统不稳定,是引发峰形畸变、信号波动、数据偏差的重要因素。连续流动分析仪依靠蠕动泵、进样阀、定量环、管路、混合反应模块实现水样与试剂的精准配比、匀速输送与稳定反应。蠕动泵泵管长期挤压老化,会出现弹性下降、壁厚不均、输送流量不稳定问题,造成水样、试剂进样量波动,反应体系浓度失衡,最终引发检测峰形不规则、信号波动。同时,管路弯折堵塞、试剂气泡残留、进样阀卡滞、定量环残留污染,会导致流路输送断续、样品交叉污染、反应不充分,出现峰形拖尾、分叉、基线紊乱等异常。

2.3 试剂体系与实验环境干扰因素

试剂质量不达标、实验环境不稳定,是诱发信号异常的重要外部诱因。检测试剂纯度、配比、保质期直接影响显色反应效果,采用非优级纯试剂、过期试剂、配制浓度偏差较大的试剂,会导致显色反应不完全、反应体系杂质过多,引发基线噪声超标、峰形畸变、检测信号偏弱。试剂储存不当、试剂瓶污染、配制用水纯度不足,会造成试剂变质、微生物滋生,进一步干扰显色反应稳定性。实验环境层面,实验室温度大幅波动会影响显色反应速率与光学部件稳定性,湿度超标易引发电路受潮、光路结雾,电磁设备干扰会造成电信号波动,直接引发基线漂移、信号紊乱。

3 分层分类信号异常标准化处置方案

3.1 基线漂移与噪声超标快速处置方案

针对基线漂移、基线噪声超标异常,制定光路清洁、部件校验、环境优化的分层处置流程。首先开展快速应急处置,采用超纯水反复冲洗流通池与光学镜片,去除表面结晶、水垢与有机污染物,针对顽固污渍使用稀盐酸、无水乙醇梯度清洗,彻底清除光路附着杂质,消除光线散射干扰。其次排查光源与检测部件,观察光源发光稳定性,对使用周期超限、光强衰减严重的钨灯、氙灯及时更换,更换后重新校准光路波长与基线零点,修正检测器偏移参数。最后优化实验运行环境,稳定实验室温湿度,规避温度大幅波动与高湿环境,远离离心机、大功率电器等电磁干扰设备,规范设备接地处理,消除电信号干扰。

3.2 峰形畸变与响应异常精准处置方案

针对峰形拖尾、分叉、平顶、响应滞后等峰形异常问题,聚焦流路优化、进样校准、反应体系调试开展专项处置。首先全面检查流路系统,更换老化松弛的蠕动泵泵管,梳理全部管路,消除弯折、堵塞、渗漏问题,清理进样阀、定量环残留杂质,避免样品残留与交叉污染,保障流路匀速稳定输送。其次强化脱气处理,排查脱气模块运行状态,更换干燥洁净载气,彻底排出反应管路与流通池内气泡,消除气泡引发的杂峰与峰形紊乱问题。然后优化显色反应条件,严格按照标准配比配制检测试剂,更换过期、变质、纯度不达标的试剂,精准控制反应温度、反应时长,保障显色反应充分、稳定、均匀。

3.3 无信号与信号中断故障彻底处置方案

针对无检测信号、信号中断等重度故障,采用“先电气、后光路、再流路”的分步排查处置模式,快速定位并解决故障问题。第一步排查电气与控制系统,检查设备电源、线路连接、接地状态,排查电路短路、接触不良、程序死机等问题,重启设备系统、复位控制参数,修复电信号传输故障。第二步排查光学检测系统,检查光源是否正常点亮、光路是否完全阻断、检测器是否故障,清理光路腔体粉尘与镜片污渍,重新校准光路参数,更换损坏的光源与检测模块,恢复光学信号采集功能。第三步排查流路进样系统,检查蠕动泵运行、进样阀动作、管路通断状态,排查断流、严重堵塞、泵管脱落等问题,疏通修复流路,保障水样与试剂正常输送反应。故障修复后,开展空白基线调试、多点标曲校准、平行样精度验证,确认仪器信号输出稳定、峰形正常、数据精准,全面恢复设备正常检测功能,杜绝故障复发。

4 长效防控体系与设备运维优化策略

4.1 建立分等级常态化设备运维机制

依托信号异常故障规律,构建日巡检、周维护、月校准、年维保的分等级常态化运维体系,从源头降低信号异常发生率。日常巡检重点观测基线状态、峰形稳定性、泵管运行、试剂状态,及时更换不足、变质试剂,清理管路轻微杂质,记录设备运行参数。每周开展专项维护,全面清洗流通池、光学镜片、进样管路,与脱气模块,检查泵管老化程度,校准进样精度,排查环境干扰隐患。每月开展整机精度校准,完成基线零点校准、波长校准、

标准曲线标定,验证仪器检测重复性与准确度,及时修正参数偏移问题。每年联系专业技术人员开展整机深度维保,更换老化光源、泵管、密封件等易损部件,深度清理光路腔体与反应模块,全面检修电气与控制系统。通过分级运维,实现故障提前预判、提前处置,避免小问题累积引发重度信号故障,保障仪器长期稳定运行。

4.2 规范试剂配制与实验环境管控

标准化试剂管理与环境管控是保障信号稳定的基础保障,需构建全流程试剂管控与环境优化体系。试剂管理方面,严格选用优级纯试剂与超纯水配制检测体系,精准把控试剂配比浓度,规范试剂储存条件,避光、低温密封保存,定期核查试剂保质期,杜绝过期、变质、污染试剂投入使用;每次实验前新鲜配制关键显色试剂、缓冲试剂,避免试剂长期存放失效,同时做好试剂瓶、管路接口清洁,防止交叉污染。实验环境方面,将设备安置于恒温恒湿、防尘防震的独立实验室,控制温度波动范围、规避高湿结雾环境;设备独立接地,远离大功率电磁设备,杜绝电磁信号干扰;保持实验室洁净通风,减少粉尘进入光路与设备腔体。

4.3 构建故障快速处置与技能保障体系

为提升故障处置效率、杜绝同类故障重复发生,需建立标准化故障处置流程与人员技能保障体系。整理各类信号异常故障现象、成因、排查步骤与处置方法,编制《连续流动分析仪信号故障标准化处置手册》,明确基线异常、峰形畸变、无信号故障的分级处置流程,实现故障快速定位、精准处置,缩短设备停机时长。搭建操作人员专项培训体系,围绕设备原理、日常运维、故障排查、参数校准开展常态化培训,提升实验人员设备操作与故障处置能力,杜绝人为操作失误引发的信号异常。建立故障台账管理制度,详细记录每次信号异常的故障类型、成因、处置过程、整改结果,定期复盘分析高频故障诱因,针对性优化运

维重点。

5 结语

连续流动分析仪信号异常是影响水质检测数据质量与检测效率的核心问题,故障成因涵盖光学系统、流路进样系统、试剂体系、实验环境与运维操作多个维度,各类异常相互关联、层层影响。本文系统分类梳理基线漂移、噪声超标、峰形畸变、无信号输出等典型故障特征,深度剖析各类信号异常的核心诱因,制定了针对性、可落地的分层处置方案,同时构建了常态化运维、标准化管控、快速化处置的长效防控体系。规范光路流路维护、试剂环境管控与人员操作流程,可有效降低信号异常发生率,提升设备运行稳定性与检测精度。

【参考文献】

- [1]刘子杰,董建民,张卫宏.一种基于连续流动分析技术的地表水水质自动监测系统[J].仪器仪表与分析监测,2025,(1):6-11.
- [2]吴雪静,陈杰,陈志.连续流动分析法测定饮用水中耗氧量[J].中国卫生检验杂志,2022,32(1):36-38+45.
- [3]卢欣正.连续流动分析仪测定环境水中挥发酚的研究[J].科技资讯,2021,19(35):83-85.
- [4]陈丽华.连续流动分析法在测定地表水水质中高锰酸盐指数的应用[J].皮革制作与环保科技,2021,2(3):70-73.
- [5]叶南,张昀哲.连续流动分析仪测定水中氰、酚方法的优化及应用[J].水利水电快报,2020,41(10):63-66.
- [6]王小静.连续流动分析仪在水质检测中的应用[D].辽宁师范大学,2015.

作者简介:

林小依(1993--),女,汉族,广东揭阳人,本科,单位:韶关市水源水质检测有限公司,职称:助理工程师,研究方向:环境监测。