

水质监测中采样和数据合理性检查研究

黄倩¹, 何龙², 袁剑³

¹湖北省黄石市水文水资源勘测局, 湖北 黄石

²湖北省咸宁市水文水资源勘测局, 湖北 咸宁

³湖北省荆门市水文水资源勘测局, 湖北 荆门

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年11月5日; 发布日期: 2025年12月26日

摘要

水质监测是水污染治理、水生态保护及水资源管理的核心技术支撑, 其数据的准确性与代表性直接决定了水环境决策的科学性与有效性。水质监测涵盖了“采样-样品保存-前处理-分析-验证”的系统性过程, 在传统质量管理中, 更加重视“人、机、料、法、环、测”, 即从人员是否持证上岗、仪器是否溯源、试剂是否符合要求、方法是否适配、检测是否合格等方面进行控制。然而, 采样是数据的源头, 合理性检查是数据的最后防线。本文聚焦于基层实验室水质监测中易被忽视的环节, 系统探讨其控制要点与实施路径, 为提升水质监测数据质量提供依据和参考。

关键词

水质监测, 水质采样, 合理性分析, 基层实验室

Study on Sampling and Data Rationality Inspection in Water Quality Monitoring

Qian Huang¹, Long He², Jian Yuan³

¹Huangshi Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Huangshi Hubei

²Xianning Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Xianning Hubei

³Jingmen Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Jingmen Hubei

Received: October 23, 2025; accepted: November 5, 2025; published: December 26, 2025

Abstract

Water quality monitoring serves as the core technical support for water pollution control, aquatic ecological protection and water resource management. The accuracy and representativeness of its data directly

作者简介: 黄倩(1989.05-), 女, 籍贯: 江西德兴, 本科, 工程师, 主要从事水环境监测和水资源评价工作, Email: 330528186@qq.com

文章引用: 黄倩, 何龙, 袁剑. 水质监测中采样和数据合理性检查研究[J]. 水资源研究, 2025, 14(6): 625-631.

DOI: 10.12677/jwrr.2025.146067

determine the scientificity and effectiveness of water environment-related decisions. Water quality monitoring involves a systematic process of “sampling-sample preservation-pretreatment-analysis-verification”. In traditional quality management, greater emphasis is placed on the “6M factors” (Man, Machine, Material, Method, Milieu, Measurement), which means conducting control from aspects such as whether personnel hold valid certificates for their posts, whether instruments are traceable, whether reagents meet requirements, whether methods are suitable, and whether testing results are qualified. However, sampling is the source of data, and rationality inspection is the final line of defense for data. This paper focuses on the easily overlooked links in water quality monitoring of primary-level laboratories, and systematically discusses their control key points and implementation paths, and provides a basis and reference for improving the quality of water quality monitoring data.

Keywords

Water Quality Monitoring, Water Quality Sampling, Rationality Analysis, Primary-Level Laboratory

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

水是生命之源，是维持生态系统稳定和人类社会可持续发展的基础性资源。随着我国工业化、城镇化进程的快速推进，水环境污染问题日益凸显，水质监测重要性不言而喻。水质监测数据需满足“五性”要求——准确性、精密性、代表性、完整性与可比性，“五性”的实现依赖于全流程严格的质量管理。然而，在实际水质监测工作中，数据失真问题时有发生。例如，部分实验室过度关注实验室内部分析过程的质量控制，却忽视了野外采样环节的规范性，导致采集的样品无法代表目标水体的真实状况[1]；还有一些实验室缺乏对分析结果的合理性检查机制，使得异常数据未能被及时发现，最终影响了数据的可靠性与可用性。本文总结出采样和数据检查环节关键影响因素，旨在为水环境监测机构、科研单位及相关从业者提供可操作的质量控制方案，推动水质监测工作的标准化与规范化。

2. 水质采样

采样的质量直接决定后续所有分析工作的价值，根据《水质采样技术规程》(SL 187-97) [2]，采样环节需重点关注断面布设、采样时间频率、采样方法选择、样品保存与运输等要素，该规程为采样工作提供了总体指导。但在实际野外采样过程中，由于不同地区的水体类型、水文特征、周边环境存在显著差异，常常会遇到一些规程中未提及的具体问题，需要采样人员结合实际情况进行灵活应对。

2.1. 明确采样目的

采样目的是整个采样方案设计的纲领，不同目的对应的断面布设、频次确定、采样量控制以及监测指标选择等均会存在明显不同。若设计的采样方案与采样目的不匹配，将会导致采集的样品缺乏针对性，无法满足实际应用需求。

2.1.1. 常规监测

常规监测是水环境监测工作中最基础、最常规的监测类型，其主要目的是长期、系统地监测水体质量状况，掌握水体质量的时空变化趋势，为水环境日常管理、污染趋势预警以及水环境质量公报编制等工作提供基础数

据支撑。为实现这一目的,在常规监测采样方案设计中,需要注意设置满足要求的断面和频次。部分采样人员对固定断面的重要性认知不足,主观认为同一水体水质差异较小,进而在断面周边随意选择,该行为会为后续的数据分析引入不必要的变量。若采样过程中确因封路、恶劣天气等不可抗力,导致无法抵达预设断面,需在采样记录表中详细备注变更原因,准确记录变更后采样点的坐标信息,确保采样过程可追溯。

2.1.2. 污染溯源监测

污染溯源监测的目的是识别造成水体污染的来源,明确污染物在水体中的迁移扩散路径,评估污染源对水体的污染贡献程度与影响范围。与常规监测相比,污染溯源监测的采样方案设计更具针对性和灵活性。

采样点布设:采样点需沿着“疑似污染源-下游”的梯度方向进行布设,形成完整的监测断面体系,以清晰反映污染物从污染源排放后在水体中的迁移扩散规律。具体而言,采样点应包括疑似污染源的排放口(如工厂排污口、污水处理厂出水口等)、排放口上游的背景断面(用于获取未受该污染源影响的水体背景水质数据)、排放口下游不同距离的控制断面(用于监测污染物在下游水体中的浓度变化、衰减规律以及影响范围)。然而,在实际工作中,有些监测人员进行污染溯源调查时,常常仅在疑似污染源的排放口设置采样点,而忽视了在水体上游设置背景断面以及下游设置控制断面。这种采样方式无法准确区分水体中污染物的来源是该疑似污染源排放,还是其他外源输入或水体自身污染,也无法评估污染源对下游水体的实际影响程度和范围。只有通过同步检测污染源汇入前(背景断面)和汇入后(控制断面)的水样,对比分析不同断面的水质指标差异,才能更科学、准确地判断污染源对水体的污染贡献。

监测指标选择:除了监测pH、化学需氧量、总氮、总磷等常规综合性水质指标,还应根据疑似污染源的类型和可能排放的特征污染物,重点监测与污染源相关的特征指标。例如,对于选矿、金属加工企业的污染溯源监测,重点监测氟化物、重金属(如镉、铬、铅、砷等)等特征污染物;对于印染企业则应重点监测色度、阴离子表面活性剂、硫化物等特征指标。

2.1.3. 治理效果评估监测

治理效果评估监测主要用于验证各类污染治理工程(如河道清淤工程、河流生态修复工程等)的实施成效,判断治理工程是否达到了预期的污染控制目标,为后续优化治理方案、调整治理措施提供数据支撑。

采样点布设:采样点应根据治理工程的类型、规模和影响范围进行合理布设,通常需要包括治理区域(如河道清淤的具体河段、生态修复工程实施区域等)、治理区域上游的对照区(用于获取未受治理工程影响的水体背景水质数据)、治理区域下游的影响区(用于监测治理工程对下游水体水质的改善或影响情况)。通过对比治理区域与对照区、影响区的水质指标差异,才能够清晰地评估治理工程对水体质量的改善效果。

采样时间:采样时间应涵盖治理工程实施前、实施过程中以及实施后的不同阶段,形成完整的时间序列监测数据。治理前采样主要是获取治理工程实施前的水体基线水质数据,作为评估治理效果的基准;治理中采样可以及时掌握治理工程实施过程中水体水质的动态变化情况,判断治理措施是否能够按照预期发挥作用,若发现问题可及时调整治理方案;治理后采样则需要在治理工程完成后的不同时间节点进行多次采样,以监测治理工程的长期稳定效果,避免因短期效果良好而忽视长期稳定性问题。

需要注意的是,治理效果的评估监测需要先控制水体的外源污染,否则无法合理评价。曾经有一个治理工程评估时发现由于水体的一条支流持续严重超标,导致治理工程难以取得预计效果。

2.1.4. 应急监测

应急监测主要针对突发性水污染事件(如化工厂有毒有害物质泄漏、水华爆发等),其目的是在最短的时间内快速掌握污染事件的污染范围、污染物浓度水平、污染扩散趋势以及对周边敏感区域的影响情况,为应急指挥部门开展应急救援工作提供及时、准确的监测数据支持。由于突发性水污染事件具有不确定性、紧迫性和危害性等特点,应急监测的采样方案设计需体现快速性、针对性和灵活性。

采样点布设：采样点需优先覆盖可能受影响的饮用水取水口、自然保护区等敏感区域，同时沿着污染物扩散的方向(如河流的上下游、湖泊的不同扇形区域等)布设采样点，以快速确定污染范围和污染程度。

监测方法选择：现场监测项目可以不严格采用标准方法，而是根据应急监测的紧迫性和实际条件，选用能够快速响应、实现定性或半定量分析的方法，如电极法、纸片法、试剂管法等[3]，这些方法能够在短时间内获取污染物的大致浓度信息，为应急决策提供及时支持。但需要注意的是，后续必须通过实验室标准分析方法对现场监测结果进行校正，以确保监测数据的准确有效。

2.2. 选择合适天气

天气是影响水体物理、化学及生物特性的重要外部因素，不同天气条件下，水体的污染物浓度、悬浮物含量、溶解氧水平等指标会发生显著变化，因此需根据监测目的选择适宜的采样天气，避免恶劣天气或特殊气象条件对数据代表性的干扰。

在汛期，尤其是易受山洪影响的区域，水体质量常常会出现恶化。这是因为高强度的降雨会引发强烈的地表径流。这些大量外源污染物的汇入，会导致水体中化学需氧量、总磷、氨氮等污染指标的浓度在短时间内快速升高，此时数据往往无法反映水体在正常水文条件下的污染水平。大风天气同样会对水质产生不利影响，强风会加剧水体表面的扰动，导致水体底部的底泥发生再悬浮现象，从而使水质变差。

实际观测中发生过大雨引发的水质大幅波动现象。在一次夏季连续降雨后的采样监测中，某条常规水质较好的河流，现场水流湍急，水体呈黄色浑浊状。实验室检测结果显示，其化学需氧量为 28.2 mg/L、高锰酸盐指数为 7.1 mg/L，两项指标根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) [4]评价均为 IV 类。待天气稳定后进行复采，该河流水体透明度显著提升、外观明显变清，同步检测的化学需氧量降至 13.3 mg/L、高锰酸盐指数降至 4.0 mg/L，水质指标符合 II 类标准。

因此，在进行常规监测采样时，应优先选择晴天或少云天气，并确保在采样前 48 小时内无大风大雨天气。而在进行污染源追踪调查时，可根据实际情况针对性地选择雨天进行监测。这是因为部分排污企业可能存在侥幸心理，利用雨天或夜间气象条件较为复杂、监管难度较大的时机违规集中排放。雨天采样时应在采样单中详细记录天气状况、降雨时长等相关信息。

2.3. 识别顶托倒灌

在水质采样过程中，顶托倒灌是一种容易被忽视但会对采样数据代表性产生严重影响的水文现象。常规采样工作通常主要关注水质指标的采集与分析，对流量监测的重视程度不足，因此许多采样人员缺乏观测水流方向的习惯。顶托倒灌现象多发生在河湖交汇处、水利枢纽工程等水文条件较为复杂的区域。

某次水环境调查工作中曾发生过因顶托倒灌现象导致水质数据异常的典型案例。在某河流与湖泊交汇处附近区域，设置了两个相距不足 1 km 的采样断面。分析发现两个断面的氨氮浓度出现了异常的剧烈变化，上游断面氨氮浓度为 2.22 mg/L，而下游断面氨氮浓度骤降至 0.27 mg/L。一般而言，在无支流汇入、无重大污染治理工程或其他特殊情况下，短距离难以出现如此大幅度的下降。针对这一异常现象，考虑到下游断面靠近湖口，推测可能是由于湖泊水位高于河流水位，湖水顶托而稀释了氨氮浓度。为了验证这一推测，我局在后续组织了二次调查，证实了确为顶托倒灌引起。

为了有效识别顶托倒灌现象，确保采样数据的代表性，采样人员在每次采样前应充分了解河流水系的走向，到达采样点后，通过现场观察，如水面漂浮物移动方向(先排除风力影响)、水流声音等判断是否存在倒灌。若发现倒灌时可以调整采样点位置，将采样点上移。同时进行 GPS 定位并在采样单中注明。

3. 合理性检查

水质监测结果的合理性检查是数据质量控制的“最后一道防线”，在完成样品分析获得原始数据后，需要

通过合理性检查,对检测结果的准确性、可靠性和逻辑性进行评估,及时排查和识别异常数据。

3.1. 指标间关联性分析

在自然环境中,某些水质指标并非孤立存在,而是相互关联、相互制约的[5]。例如,水体中的溶解氧含量会影响微生物的活动,进而影响有机污染物的降解过程和氮、磷等营养盐的形态转化。通过深入分析这些指标之间的关联性,能够对数据结果的合理性进行有效判断。

3.1.1. 三氮检验

总氮是指水体中所有含氮化合物的总和,包括有机氮(如蛋白质、氨基酸)和无机氮(即三氮:氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮)。根据氮的形态转化规律,三氮之和应小于总氮,若出现“三氮之和 \geq 总氮”的情况,说明分析结果存在异常。常见异常原因与排查方法如下。

总氮测定偏低。目前,实验室测定总氮常用的方法是碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636-2012) [6],操作过程中,若消解完成后打开瓶塞的时机和方式不当,容易导致氨气逸出,造成氮元素损失,从而使总氮测定结果偏低。正确的操作方法是:在消解完成后,待高压灭菌器内的压力降至约 0.7 kg/cm^2 时,取出装有样品的比色管,趁热反复轻轻摇动比色管,使比色管顶端因消解产生的氨气重新回到溶液中,继续参与氧化反应。待比色管冷却至室温后,再按照标准方法的要求进行后续的比色测定操作[7]。

氨氮测定偏高。氨氮的测定方法较多,其中纳氏试剂分光光度法(HJ 535-2009) [8]是实验室常用的方法之一。在实际测定过程中,该方法很容易受到水样浊度和色度的干扰,尤其是对于氨氮浓度较低的水样。可尝试对水样进行预处理(预蒸馏或者絮凝沉淀),若经过预处理后的水样仍然存在明显颜色,可借鉴总磷测定中的空白校正方法,即取一份与待测水样体积相同的预处理后水样作为试剂空白,以消除水样颜色对测定结果的干扰。此外,还可以采用气相分子吸收光谱法(HJ/T 195-2023) [9]进行氨氮的检测,该方法的原理与传统的纳氏试剂分光光度法不同,能够有效避开水样浊度和色度对测定过程的干扰。

需要特别说明的是,根据《水环境监测规范》(SL 219-2013) [10]中的相关描述,“通常情况下,水中化学物质有下列关系:无机氮 $>$ 硝酸盐氮 $>$ 氨氮 $>$ 亚硝酸盐氮”。但这一关系是基于水体中氮在正常条件下的转化规律得出的,即在氧气充足的环境中,氨氮在硝化细菌的作用下先被氧化转化为亚硝酸盐氮,接着进一步转化为硝酸盐氮。由于亚硝酸盐氮在水体中的化学性质不稳定,很容易氧化为硝酸盐氮,因此其在水体中的浓度通常较低;而硝酸盐氮在有氧环境中性质相对稳定,会在水体中逐渐积累,因此其浓度通常最高,高于氨氮浓度。

然而,氨氮浓度大于硝酸盐氮浓度的情况并不鲜见。这种结果不一定意味着分析存在错误,而需要结合水体的实际污染状况和环境条件进行分析。例如,水体新近受到生活污水、畜禽养殖废水等的污染,引入大量的氨氮,而此时水体中的硝化细菌数量不足以将过量的氨氮迅速转化为硝酸盐氮,导致氨氮在水体中积累;又如,在严重缺氧的环境中,如河流底部的厌氧区域、湖泊的深水层等,硝化细菌的活性会受到显著抑制,导致氨氮无法被有效转化为硝酸盐氮。因此,在分析结果合理性时,不能简单地依据常规规律进行判断,而应充分结合监测区域的实际情况,如污染源类型、水体溶解氧水平、水文条件等因素,进行全面、综合的分析。

3.1.2. 其他指标间的关联性分析

溶解氧与化学需氧量:通常化学需氧量反映水体中可被氧化的有机物和无机物含量,化学需氧量越高,意味着水中可氧化的有机物和无机物越多,则消耗的溶解氧也越多。因此,溶解氧与化学需氧量通常呈负相关关系。若出现“化学需氧量高且溶解氧高”的情况(如化学需氧量 100 mg/L ,溶解氧 10 mg/L),可能提示检测数据有误,比如溶解氧仪未校准,造成溶解氧偏高。但需要注意这种情况不是绝对的,夏季水华爆发便是典型反例。7月对某水库监测过程中发现其水面被蓝藻水华完全覆盖,用玻璃采样器采集水下 0.5 m 处水样时,水体仍呈深蓝绿色。检测结果显示,该水样化学需氧量高达 189 mg/L ,远超《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III类

标准(20 mg/L), 判定为劣 V 类; 同步检测的总磷、总氮浓度分别为 1.76 mg/L、24.65 mg/L, 表明该水库为典型富营养水体。值得注意的是, 该水样溶解氧呈过饱和状态, 检测值高达 14.3 mg/L。这是因为藻类旺盛的光合作用会使白天水体溶解氧处于过饱和状态, 而大量繁殖的藻类又会导致化学需氧量急剧升高。

高锰酸盐指数、五日生化需氧量与化学需氧量: 三者均用于表征水体中可氧化有机物及还原性无机物的总量, 但氧化能力、氧化范围、反应条件完全不同[11]。化学需氧量所使用的氧化剂重铬酸钾的氧化能力远远大于其他两项。因此, 对于同一个水样, 化学需氧量大于高锰酸盐指数, 同时也大于五日生化需氧量。若出现反例, 要仔细排查原因, 如水样中是否含有干扰物质, 是否过度稀释等。

3.2. 上下游数据比对

上下游数据比对是水质监测结果合理性检查的重要方法之一, 其原理是利用河流的水文连续性特征。基于这一特性, 通过对比分析河流上下游的水质指标浓度变化情况, 能够判断水质监测结果是否符合污染扩散规律, 确保监测数据的合理性。

为了保证数据比对的可靠性, 上下游采样工作应尽可能同步进行。在实践中发生过一个因上下游采样不同步导致数据异常, 重新纠正的案例。某河流水质半年内由 III 类恶化为劣 V 类, 引起了当地环保部门的高度重视。通过初步调查发现, 该河流沿岸有一座污水处理厂, 其尾水直接排入河道。我局人员进行了取样监测, 监测结果显示: 河道上游断面氨氮浓度为 0.16 mg/L, 下游断面的氨氮浓度为 2.84 mg/L, 而污水处理厂厂区出水口的氨氮浓度为 2.13 mg/L。这一结果与常理不符, 污水处理厂厂区至下游采样断面之间相隔很近, 且中间没有明显污染源汇入。按照正常的污染扩散规律, 尾水排入河道后, 随着水流的扩散和稀释, 下游断面的氨氮浓度应低于污水处理厂厂区出水口的氨氮浓度。为了查明原因, 工作人员对该区域进行了进一步的排查, 发现污水处理厂的尾水并非直接从厂区出水口排入河道, 而是通过一条长达 5.5 km 的管道输送至河道中游。而污水处理厂的尾水浓度并不稳定, 故厂区取样不能代表入河时的实际污染状况。针对这一情况, 工作人员调整了采样方案, 对污水处理厂河道排口、排口上游(背景断面)及排口下游(尾水与河水充分混合后断面)进行同步采样监测。同步采样结果显示: 污水处理厂河道排口的氨氮浓度为 4.70 mg/L, 排口上游背景断面的氨氮浓度为 0.23 mg/L, 排口下游充分混合断面的氨氮浓度为 2.55 mg/L。这一结果符合正常的污染扩散稀释规律, 反映了污水处理厂尾水排放对该河水质的实际影响。

4. 结论

4.1. 研究结论

本文以“获取准确、有代表性的水质监测数据”为目标, 立足于基层实验室的实际需求, 结合相关标准规范与一线实践经验, 围绕易被忽视的采样和合理性检查环节展开探讨。通过理论分析与实际案例相结合的方式, 明确了各环节的控制要点与实施路径, 主要得出以下研究结论:

水质采样需根据不同的采样目的匹配差异化的采样方案, 选择合适的天气条件, 准确识别顶托倒灌并调整采样点, 从源头保障样品的代表性。

合理性检查应通过指标间关联性分析(如三氮之和 < 总氮)、上下游比对等, 排查异常数据, 确保结果符合客观实际。

4.2. 研究展望

随着我国水环境治理需求的提升以及科学技术的进步, 水环境监测正朝着“智能化、自动化、一体化”的方向快速演进。在这一发展背景下, 水质监测工作需要不断优化和完善质量控制体系, 以适应新技术、新设备带来的变革。

在采样环节, 尽管无人机、无人船等智能化设备已逐渐应用于水环境监测领域, 能够克服传统人工采样在复杂地形、恶劣环境下的局限性, 提高效率和安全性。但自然环境的复杂性和多样性仍然难以完全通过自动化设备规避, 仍需经验丰富的工作人员对采样过程进行监督和干预, 以实现“智能化设备 + 专业人员”的高效采样模式。

在数据分析环节, 随着大数据、人工智能等技术在水环境监测领域的应用, 能够实现对海量数据的快速处理。环境分析人员应充分发挥主观能动性, 在智能化数据处理的基础上, 更深入地开展数据关联挖掘工作。例如, 通过整合水质监测数据、水文数据、气象数据、污染源排放数据等多源数据, 构建多维度的数据关联分析模型, 从中识别水质指标变化与各类影响因素之间的潜在规律, 使水质监测数据更加真实、敏锐地反映水环境问题, 为水质预警、污染溯源以及治理方案提供更加精准、科学的支撑。

参考文献

- [1] 周建红, 盛亚麟, 盛晓花. 影响水质监测中现场水质采样质量的因素及对策分析[J]. 智能城市, 2018, 4(13): 137-138.
- [2] 中华人民共和国水利部. 水质采样技术规程: SL 187-97 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 张媛, 肖洋. 河流水质超标的应急监测研究[J]. 资源节约与环保, 2018(1): 28-29.
- [4] 中华人民共和国生态环境部. 地表水环境质量标准: GB 3838-2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [5] 刘新征, 周成宽, 陈成勇. 地下水水质监测理化指标合理性分析[J]. 山东水利, 2024(8): 75-77.
- [6] 中华人民共和国环境保护部. 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法: HJ 636-2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [7] 李怡庭, 齐文启. 水质监测岗位技术考核题集与环境监测技术问题解答[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法: HJ 535-2009 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法: HJ/T 195-2023 [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2023.
- [10] 中华人民共和国水利部. 水环境监测规范: SL 219-2013 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [11] 李志亮, 仲跻文. 生化需氧量、化学需氧量、高锰酸盐指数三者关系简析[J]. 水利技术监督, 2015, 23(1): 5-6.