

实验室水质检测中常见干扰因素识别与排除

王芳

海南中特环境监测技术有限公司 海南 海口 571100

【摘要】：水质检测是环境监测、公共卫生、工业生产及科学研究等领域的关键环节，其结果的准确性与可靠性直接关系到水质评价、污染治理和决策制定的有效性。然而，在实际检测过程中，水样基质的复杂性、待测组分间的相互作用、仪器性能的局限以及人为操作等因素，常会引入各类干扰，导致测定结果出现偏差甚至错误。因此，系统性地识别并有效排除这些干扰因素，是提升水质检测数据质量的核心课题。本文旨在全面梳理实验室水质检测中常见的干扰类型，深入剖析其产生机理与影响规律，并结合实际案例，系统总结物理、化学及操作等层面的干扰识别方法与排除策略。通过对干扰控制全流程的探讨，为实验室检测人员提供一套实用、系统的技术参考，以期推动水质检测工作的规范化与精准化。

【关键词】：水质检测；干扰因素；识别方法；排除策略；实验室分析

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.072

1 引言

水是生命之源，其质量状况关乎生态安全、人体健康和社会经济的可持续发展。实验室水质检测通过对水样中物理、化学及生物指标的定量分析，为水质评价提供科学依据。随着检测技术的不断进步，分析方法的灵敏度与特异性日益提高，但检测过程中面临的干扰问题也愈加复杂和隐蔽。干扰可能来源于样品本身（如共存物质），也可能源于分析过程（如仪器、试剂、环境、操作）。这些干扰轻则引入误差，重则导致完全错误的结果，严重影响对水质状况的真实判断。

因此，对干扰因素进行系统性的识别、评估与排除，构成了水质检测质量保证体系的重要支柱。这不仅要求检测人员具备扎实的分析化学基础，熟悉方法原理，更需掌握一套行之有效的干扰诊断与消除技术。本文将从干扰的基本概念出发，分类阐述常见干扰因素，详细探讨其识别标志与排除手段，并结合实际应用场景进行说明，以期为实验室水质检测的精准化实践提供理论指导与技术支持。

2 干扰因素的理论基础与分类

2.1 干扰的定义与影响机制

在分析化学中，干扰是指样品中除待测组分（分析物）外的其他物质，通过物理或化学作用，影响测定过程的正常进行或最终信号的响应，从而导致分析结果偏离真值的现象。其影响机制主要包括：

化学干扰：干扰物与分析物或试剂发生竞争性反应，如络合、沉淀、氧化还原等，改变反应平衡，影响产物的生成量或性质。**物理干扰**：干扰物改变样品的物理性质（如颜色、浊度、粘度、表面张力），影响光信号的吸收、散射或电信号的传导。**光谱与基体干扰**：在光谱分析中，干扰物的吸收或发射光谱与

分析物重叠；在电化学分析中，样品基体影响离子活度或电极响应。**操作与环境干扰**：包括仪器波动、试剂纯度、温度变化、污染引入、人为操作失误等。

2.2 干扰因素的分类

根据来源和性质，实验室水质检测中的干扰因素可大致分为以下几类：

①**物理性干扰**：主要包括颜色、浊度（颗粒物）、气泡、温度波动等。它们直接影响光度法、浊度法等基于光学原理的检测。②**化学性干扰**：种类繁多，是干扰的主要来源。包括：**无机离子干扰**：如铁（ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ）、锰（Mn）、磷酸盐（ PO_4^{3-} ）、硫化物（ S^{2-} ）、氯离子（ Cl^- ）、钙（ Ca^{2+} ）、镁（ Mg^{2+} ）等，它们可能参与氧化还原反应、形成沉淀或络合物。③**有机物质干扰**：某些有机物可能消耗氧化剂、还原剂，或产生背景颜色，影响比色测定。④**pH值与缓冲容量**：极端的pH值可能影响显色反应、酶活性或电极电位，而低缓冲容量的样品（如纯水）则容易受外来酸碱影响导致pH测量不稳定。⑤**操作与仪器性干扰**：包括样品容器污染、指纹污渍、试剂变质、校准不当、仪器噪声、电磁干扰等。

3 常见干扰因素的识别与影响分析

准确识别干扰是排除干扰的前提。识别过程需结合方法标准、仪器报警、异常数据模式及经验判断。

3.1 物理性干扰的识别

颜色与浊度：目视观察样品有明显色度或浑浊。在光度分析中，它们会产生背景吸收或光散射，导致吸光度值异常升高，测定结果偏高。例如，富含腐殖质的水样呈黄色，会干扰基于比色法的COD、硝酸盐等测定。**气泡**：样品中或比色皿内存

在微小气泡。气泡会散射光线，导致浊度测量值显著偏高，在比色法中也可能引起吸光度波动。温度：反应体系温度偏离方法规定范围。温度影响化学反应速率、酶活性、电极响应速度和气体溶解度。例如，溶解氧测定对温度极为敏感。

3.2 化学性干扰的识别

化学干扰的识别更具挑战性，常需通过干扰试验、加标回收率或与标准方法比对来确认。

特定离子干扰：许多标准方法会列出已知干扰物及其允许浓度。例如，在硅酸盐测定中，铁离子在浓度超过 1 mg/L 时会产生干扰。磷酸盐在浓度高于 50-75 mg/L 时，可能对某些金属离子测定产生负干扰。硫化物几乎对所有基于氧化还原或显色的测定都有干扰。

pH 与缓冲能力：测量样品 pH 值，若超出方法要求的范围（如 pH<2 或>12），即可识别为干扰。对于低离子强度的样品（如雨水、纯水），pH 电极响应慢、读数漂移，是缓冲能力不足的典型表现。

氧化还原物质干扰：样品中含有余氯、臭氧、过氧化物等强氧化剂，或硫代硫酸盐、亚硫酸盐等还原剂，会干扰基于氧化还原反应的指标（如 COD、BOD、余氯本身）测定。

3.3 操作与仪器性干扰的识别

污染：空白值异常高是污染的明显标志。可能来源于未洗净的玻璃器皿、试剂中的杂质、实验室空气尘埃或前一样品的残留。仪器状态异常：校准曲线线性差、仪器基线漂移、噪声增大、重复样精密密度突然变差等，都提示可能存在仪器故障或环境干扰（如电压不稳、强电磁场）。

4 干扰因素的排除策略与方法

针对不同的干扰类型，需采取相应的排除或校正措施。原则是优先选择能从根本上消除干扰的方法，其次才是补偿或校正。

4.1 物理性干扰的排除

消除颜色与浊度：

样品预处理：采用过滤（0.45 μm 滤膜）、离心或沉淀法去除悬浮颗粒，降低浊度。光学补偿：在光度计中使用“样品空白”进行调零。即用原样品（不添加显色剂）或经适当处理的样品作为参比，扣除背景吸收。选择抗干扰方法：选用在特定波长下测量以避免干扰物吸收峰，或使用双波长、导数光谱等技术。消除气泡：采样和移液时避免剧烈摇晃；让样品静置一段时间使气泡逸出；对于粘度大的样品，可进行脱气处理。控制温度：使用恒温水浴或带温度控制的消解器、反应器，确

保样品和试剂在测定前达到规定温度。对于在线监测，需配备自动温度补偿单元。

4.2 化学性干扰的排除

掩蔽与络合：加入掩蔽剂，使其与干扰离子形成更稳定的络合物，从而阻止其与分析物反应。例如，测定钙镁硬度时，加入三乙醇胺掩蔽铁、铝；加入氰化钾掩蔽铜、锌；加入酒石酸钾钠防止钙、镁沉淀。调节 pH 值：通过加入酸、碱或缓冲溶液，将样品 pH 调整至最佳反应范围，既能保证反应完全，又能抑制某些干扰物的活性。

分离技术：当干扰物浓度较高或掩蔽无效时，需进行分离。蒸馏：适用于氨氮、氰化物、挥发酚等挥发性物质的测定，使其与基体分离。离子交换：去除或富集特定离子。溶剂萃取：将待测物或干扰物选择性地萃取到有机相中。共沉淀：利用沉淀载体吸附共沉淀微量待测物或干扰物。氧化还原预处理：对于具有氧化还原干扰的物质，可加入适当的试剂进行预处理。例如，测定 COD 前，若样品含余氯，需加入硫代硫酸钠去除；测定总氰化物时，需蒸馏以消除硫化物干扰。

使用标准加入法：对于基体复杂的样品，标准加入法能有效补偿基体效应，提高准确度。通过向样品中加入已知量的标准物质，观察信号变化来定量。

4.3 操作与仪器性干扰的排除

（1）严格质量控制。器皿清洁：严格按照规定程序清洗所有接触样品的器皿，必要时用酸浸泡或专用洗涤剂清洗，最后用超纯水冲洗。试剂与标准品：使用高纯试剂和经认证的标准物质，妥善保存，定期核查。规范操作：避免用手直接接触比色皿的光学面；移液准确；按顺序添加试剂；保证足够的反应时间。

（2）仪器维护与校准。定期校准：按照规程对仪器进行零点、跨度、多点校准，并验证校准曲线。日常维护：清洁电极、比色皿、流动池；更换老化的光源、传感器；检查管路是否堵塞或滋生生物膜。环境控制：确保实验室电源稳定，远离震动和强电磁干扰源；保持适宜的温度和湿度。

5 典型案例分析

案例一：地表水氨氮测定中的浊度和色度干扰

问题：某河流水样，肉眼可见淡黄色和轻微浑浊，采用纳氏试剂分光光度法测定氨氮，结果显著高于预期。

识别：样品本身具有色度和浊度，在 420nm 波长处产生背景吸收。

排除：取一部分水样，经 0.45 μm 滤膜过滤，去除浊度。

以过滤后的水样作为“样品空白”，在仪器上调零。另取一份过滤水样，加入纳氏试剂显色后测定。

结果：经空白校正后，测定值回归合理范围。此操作有效消除了浊度和色度的正干扰。

案例二：工业废水总磷测定中的砷酸盐干扰

问题：采用钼酸铵分光光度法测定含砷工业废水总磷时，结果不稳定，且加标回收率异常。

识别：砷酸盐 (AsO_4^{3-}) 与磷酸盐化学性质相似，在酸性条件下也能与钼酸铵生成杂多酸，并在还原剂作用下生成蓝色络合物，造成正干扰。

排除：在消解样品前，加入硫代硫酸钠或亚硫酸钠等还原剂，将砷酸盐还原为亚砷酸盐，后者不与钼酸铵反应。或者，在显色前调节酸度，并加入酒石酸锑钾等掩蔽剂，但效果有限，对于高砷样品仍推荐预处理还原法。

结果：预处理后，测定结果重复性及加标回收率均满足要求。

案例三：pH 电极在纯水测量中的响应问题

问题：测量反渗透产水（电导率 $<10 \mu S/cm$ ）的 pH 值时，电极响应缓慢，读数持续漂移，且不同电极间结果差异大。

识别：超纯水离子强度极低，缓冲容量几乎为零，极易受空气中 CO_2 溶解的影响（生成碳酸，降低 pH）。同时，液接电位不稳定，导致电极响应性能下降。

排除：采用快速、低阻抗的玻璃复合电极，并确保参比电解液补充通畅。测量时保持样品轻微搅拌，促使电极与溶液平衡。避免长时间暴露空气，测量动作迅速。理解在此类样品中 pH 测量的局限性，数据仅作参考，或改用其他相关性指标（如电导率、总有机碳）。

结果：虽然仍无法获得像缓冲溶液那样稳定的读数，但通

过改进操作，获得了相对可靠且一致的瞬时测量值。

6 讨论与未来展望

干扰的识别与排除是一个动态的、需要综合判断的过程。随着水质标准的提高和新兴污染物（如药品、个人护理品）的涌现，检测面临的新型干扰也将更加复杂。未来的发展趋势可能集中在：

智能化识别：利用人工智能和机器学习算法，分析历史检测数据、仪器状态参数，自动预警潜在的干扰模式。在线前处理技术：发展集成化、自动化的在线样品预处理模块（如在线过滤、透析、紫外消解），实现干扰物的实时去除。高选择性方法与传感器：开发基于分子印迹、核酸适配体、特异性酶的新型传感器和检测方法，从根本上提高抗干扰能力。标准方法体系的完善：持续更新标准方法，更详尽地研究并列出各类水基质中可能存在的干扰物清单及其验证过的排除方案，为实验室提供更明确的指导。

7 结论

实验室水质检测中的干扰因素是影响数据准确性的关键挑战。本文系统论述了物理、化学及操作三大类干扰的来源、识别特征和影响机制。物理干扰如色度、浊度，可通过预处理和光学补偿消除；化学干扰如特定离子、pH 异常，需综合运用掩蔽、pH 调节、分离等技术排除；而操作与仪器干扰则依赖于严格的实验室质量管理和规范的仪器维护。有效的干扰控制并非单一技术所能解决，它要求检测人员建立系统性的思维：从样品采集、保存、前处理，到分析方法选择、仪器操作、数据处理，全流程保持对潜在干扰的警觉，并灵活运用多种技术手段进行诊断与纠正。只有将干扰排除内化为水质检测质量控制的核心环节，才能确保最终数据的真实、可靠，为水环境保护与管理提供坚实的科学基石。

参考文献：

- [1] 杨胜佳,龙崇燕,龙施铭.环境监测实验室水质检测的质量控制分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(11):28-30.
- [2] 沈瑞贤.环境水质分析中重金属检测技术分析[C]//中国智慧工程研究会.2025工程新技术与新方法经验交流会论文集.聊城市环科院检测有限公司,2025:166-167.
- [3] 顾晓明,陆家骝,陈正英,等.便携式水质检测仪性能综合评价方法研究[J].环境监控与预警,2024,16(02):73-79.
- [4] 曾玫菱.提升水质检测精确度和稳定性的方法及水质检测环境保护中的作用[J].清洗世界,2024,40(05):129-131.
- [5] 唐云飞,丛聪,肖雯.水质检测实验室离子色谱仪的自查分析[J].环境保护与循环经济,2023,43(03):78-81.
- [6] 徐丁邦.水质分析仪的检测精度优化设计[D].南京理工大学,2023.
- [7] 黄三发.饮用水水质检测中气相色谱技术的实践探析[J].新型工业化,2021,11(12):79-81.
- [8] 苏阳.水质检测实验室的智能化适用技术研究[J].科技视界,2025,15(06):30-32.
- [9] 陈彦辉.水质检测中实验室检测质量控制分析[J].生态与资源,2024,(08):74-76.