

多参数分析仪在水质检测中的研究进展

侯威^{1*}, 程强¹, 王金业²

(1. 聊城市生态环境保护综合执法支队, 聊城 252000; 2. 山东省聊城生态环境监测中心, 聊城 252000)

摘要: 水质安全是保障人类健康和社会可持续发展的关键。随着污染物增多和检测技术升级, 多参数分析仪在水质检测中扮演核心角色。本文揭示了多参数分析仪在高效、准确评估水质中的重要作用。特别关注了其在重金属、有毒物质及微生物污染检测中的卓越表现, 并详述了高效性、自动化、多参数同步检测及远程监控等显著优势。多参数分析仪器的微型化、智能化和网络化发展趋势, 为提升水质检测效率与精准度、保障水质安全、促进生态保护与可持续发展提供了重要的技术支撑和科学依据。并为同类检测项目的设计与实施提供更为严谨、科学的参考依据。

关键词: 水质检测; 多参数分析仪; 实时监测; 生态保护

Research progress of multi-parameter analyzers in water quality testing

HOU Wei^{1*}, CHENG Qiang¹, WANG Jin-Ye²

(1. Liaocheng Ecological and Environmental Protection Comprehensive Law Enforcement Detachment, Liaocheng 252000, China;
2. Comprehensive Laboratory of Shandong Liaocheng Ecological Environment Monitoring Center, Liaocheng 252000, China)

ABSTRACT: Water quality safety is the key to ensuring human health and sustainable social development. With the increase of pollutants and the upgrading of detection technology, multi-parameter analyzers play a core role in water quality detection. This article reveals the important role of multi-parameter analyzers in efficient and accurate assessment of water quality. Special attention was paid to its outstanding performance in the detection of heavy metals, toxic substances and microbial contamination, and its significant advantages such as high efficiency, automation, multi-parameter simultaneous detection and remote monitoring were detailed. The development trend of miniaturization, intelligence and networking of multi-parameter analysis instruments provides important technical support and scientific basis for improving the efficiency and accuracy of water quality detection, ensuring water quality safety, and promoting ecological protection and sustainable development. And provide a more rigorous and scientific reference basis for the design and implementation of similar testing projects.

KEY WORDS: water quality testing; multi-parameter analyzer; real-time monitoring; ecological protection

0 引言

水资源作为生命存续不可或缺的自然资源, 水质的好坏影响着人类健康、生态平衡乃至社会经济的持续发展。面对工业化与城市化进程加速带来的水体污染加剧问题, 水质检测成为

保障水资源安全、促进可持续发展的关键。居民饮用水污染主要来自两方面: (1) 自然降雨携带工业废水、农业化肥等污染物; (2) 自来水处理中氯等消毒剂使用不当或水管老化导致的余氯污染及浑浊度问题。据生态环境部数据, 2024年5月全国地表水水质月报显示, 监测的3575个国考断面(点位)中: I类水质

* 通信作者: 侯威, 高级工程师, 研究方向: 环保工程。E-mail: 1374710556@qq.com

*Corresponding author: HOU Wei, Senior Engineer, Liaocheng Ecological and Environmental Protection Comprehensive Law Enforcement Detachment, Liaocheng 252000, China. E-mail: 1374710556@qq.com

断面占 9.6%，II 类占 49.1%，III 类占 26.4%，IV 类占 11.1%，V 类占 2.6%，劣 V 类占 1.2%。

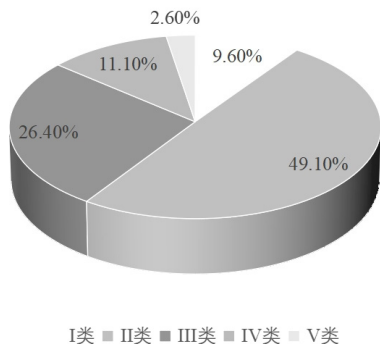


图 1 2024 年 5 月全国地表水水质月报

Fig.1 National surface water quality monthly report in May 2024

当前水质检测领域正面临污染物种类繁多、检测技术要求提升的严峻挑战，传统方法已难以满足全面、高效的需求。为此，多参数分析仪应运而生，它集成了多种水质参数的检测功能，能同步或分时精确测量水温、pH 值、溶解氧等关键指标，通过化学、电化学及光谱分析法，尤其是多光谱传感器技术，实现了快速、简便且全面的水质评估。多光谱传感器以其高精度和先进算法，为污染防控提供了可靠的数据支持，有效助力水质检测领域的技术升级，保障水质安全，促进人类健康与社会经济的稳健发展。

本文旨在深入探讨现有多参数分析仪在水质检测领域的具体应用，通过细致分析水质检测的独特性以及不同检测需求下的差异化要求，对分析仪器的选用与操作进行系统性分类阐述。此举旨在促进水质检测过程中仪器使用的效率与精准度，并为同类检测项目的设计与实施提供更为严谨、科学的参考依据。

1 多参数分析仪技术原理与发展

早期水质检测依赖人工取样与实验室分析，存在成本高、易出错、缺乏实时性和全面性等局限。20 世纪中叶起，随着科技进步，水质实时自动检测系统应运而生，逐步将多种参数纳入检测范围。进入 21 世纪，水质检测需求复杂化，这一趋势推动更多参数纳入检测体系。国外知名水质检测仪器企业如哈希 HACH 等崛起，提供单参数与多参数仪器，但市场上仍以单参数产品为主。我国水质检测技术的发展虽然相较于西方国家起步较晚，但近年来随着经济的快速增长和工业化、城市化进程的加速，国家对水质安全的重视程度显著提高，科研投入大幅增加，这推动了水质检测技术的快速进步^[1]。从 2009 年西安交通大学成功研制出国内首台水质检测样机开始，我国在水质检测仪器的研制上不断取得突破，如重庆大学、中兴仪器有限公司等机构相继推出功能更为全面的多参数水质检测仪。

多参数水质检测技术的发展标志着水质监测领域的显著进步，依赖于自动取样分析系统的应用，减少了人为误差，提高了检测效率。其技术原理结合了比色法、光电转换与数据处理技术，通过精确测量样品在不同波长光下的颜色变化，实现多种水质参数的快速、准确检测^[2]。多参数集成、智能化与网络化的多参数水质检测仪，这一演变体现了技术的不断成熟与应用需求的推动。随着物联网、大数据及人工智能技术的融入，多参数水质检测仪不仅提升了检测效率与准确性，还实现了远程监控、大数据分析及预测预警等高级功能。未来，随着技术的持续进步，多参数水质检测仪将更加注重高精度与稳定性，以满足日益严格的水质监测需求，为水资源保护与管理提供更加坚实的技术支撑。

2 多参数分析仪在水质检测中的应用

2.1 一般水质指标检测

一般水质指标检测是评估水体质量、确保水质安全与环境保护的重要环节。通过检测水体物理性质(浊度、色度及透明度)、化学性质(pH 值、溶解氧、电导率、总溶解性固体、化学需氧量及生化需氧量)，能够定期或实时地测量与分析这些指标，准确反映水体的健康状况、污染程度及潜在风险，进而为水资源管理、污染防控及生态保护提供科学依据^[3]。在水质化学需氧量(COD)检测过程中，光谱数据融合技术已成为提升模型预测精度的关键手段，如美国哈希(HACH)公司推出的快速测定仪如图 2 所示，该 COD 检测仪的检测原理是快速消解分光光度法。多项研究表明，通过整合紫外光谱、近红外光谱及荧光光谱等多种光谱源的数据，不仅显著提高了 COD 分析的准确性，还克服了单一光谱技术的局限性^[4]。国内的研究学者成功实现了均方根差(RMSE)大幅降低，凸显了数据融合技术的强大潜力^[5]。当前多光谱水质分析主要依赖于数据级和特征级融合，在一定程度上限制了信息利用的全面性。



图 2 DR1010 COD 快速测定仪

Fig.2 DR1010 COD rapid tester

多参数分析仪在一般水质检测的过程中集成多种光学传感技术，实现同步或快速切换检测，从而提升效率和精准度^[6]。它能够立即触发预警系统，为有关部门迅速响应、有效遏制污染物扩散和生态破坏，及时提供环境保护措施。多参数同步检

测的能力, 将会彻底改变传统检测方法的繁琐与低效, 实现多种一般水质参数的同步测量, 极大地丰富了水质评估的数据维度, 为全面、准确地判断水质状况提供了坚实的数据支撑。

2.2 重金属及有毒有害物质检测

水质检测中, 重金属(如铅、镉)及有毒有害物质(如农药残留、挥发性有机化合物)的检测是至关重要的, 基于特定传感器的多参数分析仪通过如电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和原子吸收光谱法(AAS)等被广泛应用于重金属的检测, 凭借其极高的灵敏度和准确性, 能够捕捉到水样中痕量的重金属元素。而对于有机物的检测, 则常采用色谱-质谱联用技术(如GC-MS、LC-MS), 这些技术凭借其强大的分离和鉴定能力, 能够同时分析多种复杂基质中的有机污染物。

基于特定传感器的多参数分析仪集成了多种先进技术, 其中电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和原子吸收光谱法(AAS)尤为突出^[7]。ICP-MS 凭借其高灵敏度、快速检测速度及同时测定多个元素的能力, 在复杂水质环境中展现出卓越的重金属检测性能, 能够精准捕捉到水样中极低浓度的重金属元素。而 AAS 则以其高准确性、抗干扰性强和对微量元素感应性好著称, 是重金属检测的经典方法之一, 尤其在石墨炉原子吸收光谱法(GF-AAS)和火焰原子吸收光谱法(FAAS)的应用中, 进一步提升了检测的效率和精度。

对于有机污染物的检测, 色谱-质谱联用技术, 如气相色谱-质谱联用(GC-MS)和液相色谱-质谱联用(LC-MS), 成了不可或缺的工具。这些技术结合了色谱的高效分离能力和质谱的精准鉴定能力, 能够深入剖析复杂基质中的有机污染物, 实现多种有机化合物的同时定性与定量分析。无论是挥发性有机化合物还是非挥发性有机污染物, 这些联用技术都能提供可靠且详尽的数据支持, 为水质安全评估与治理提供科学依据。水质检测中重金属及有机污染物的检测依赖于一系列高精度、高效率的分析技术, 通过合理选择和应用这些技术, 可以全面、准确地掌握水质状况, 确保水资源的安全与可持续利用。

2.3 微生物污染检测

近年来, 水质安全日益受到关注, 对微生物污染的快速检测和准确预警需求急剧上升。微生物传感器技术、PCR(聚合酶链式反应)技术及酶免疫技术与其他科学技术协同作用, 共同构筑了一个全面且高效的水污染监测体系。微生物传感器技术以其独特的优势, 在微生物污染监测领域占据主要地位, 它通过生物敏感元件与转换元件的精密结合, 利用生物分子与污染物间的特异性反应, 生成精准的检测信号, 实现了对水体中污染物的即时捕捉与精确分析。

PCR 技术作为分子生物学领域常用的技术手段, 通过精准调控 DNA 的复制过程, 提高了水体污染程度评估的实验精度与效率, 其检测结果成为水环境污染研究的重要参考^[8]。酶免

疫技术, 通过其特异性和灵敏度, 在识别并筛查水体中的特定污染物方面有明显成效, 确保了检测结果的准确无误。这些技术不仅具备高灵敏度、实时反馈、操作便捷、经济环保等多重优势, 还广泛应用于河流、湖泊等自然水体以及污水处理厂等工业水处理场所的现场监测中, 极大地提升了水质管理的科学性和有效性。

现阶段多参数分析仪能够自动存储并传输检测数据至云端或本地服务器, 便于后续的数据挖掘与分析, 通过回顾历史数据并进行趋势分析, 清晰地了解水质的变化规律, 追溯污染源头, 为水环境治理方案的制定提供科学依据。

3 多参数分析仪的优势与挑战

3.1 高效性

多参数水质分析仪, 作为一种高度集成的检测设备, 融合了多种精密传感器于同一设备上, 实现了对水体中多项关键水质参数的同步或快速轮询监测。目前较为广泛使用参数包括水温、酸碱度(pH 值)、化学需氧量(COD)、浊度、电导率以及特定离子的浓度等, 全面覆盖了水质评估的核心指标^[9]。此类分析仪的并行处理能力显著提升了水质监测的效率与准确性, 有效规避了传统逐一检测方法所固有的时间消耗与人力资源的浪费。

3.2 自动化程度高

当前的多参数分析仪普遍搭载了高度先进的自动化控制系统, 该系统实现了从样品自动采集、精密预处理到数据高精度记录与深度分析的全方位流程自动化。通过相关的设计显著降低了人为干预可能引入的操作误差, 提升了分析结果的准确性与可重复性, 为科学研究与工程应用提供了更为坚实的数据基础。自动化设备的引入, 使得多参数分析仪能够实现 24 小时不间断运行, 这一特性尤其适用于远程或无人值守的监测站点。增强了监测的时效性, 确保了数据的实时更新与快速反馈, 还极大地提高了监测的连续性, 为长期水质跟踪与趋势分析提供了强有力的保障。

3.3 多参数同步检测

多参数同步检测技术能够实时并行地捕获水体中多个参数的相关检测信息, 通过一系列的检测结果为水质综合评价、污染源精确追踪以及生态系统健康状况的深入评估提供了多维度、全方位的数据支撑^[10]。通过采用复杂的综合数据分析方法, 科研工作者能够更为精准地剖析水质现状, 揭示其内在变化规律及潜在趋势, 从而为政策制定者与管理者提供基于数据驱动、科学严谨的决策依据。这一过程不仅增强了水质管理策略的有效性与针对性, 还促进了水资源的可持续利用与生态环境的保护。

3.4 远程监控与数据传输

多参数分析仪与物联网 (Internet of Things, IoT) 技术的深度融合, 构建了一个高效、智能的远程监控体系, 实现了水质数据的实时采集与无缝传输。通过该体系, 科研工作者可以通过互联网远程操控设备, 包括实时监控水质参数、灵活调整仪器设置以及即时接收预警信号等, 极大地增强了水质监测的灵活性与响应效率。此外, 数据的及时上传至云端服务器, 不仅确保了数据的完整性与时效性, 还为后续的高级数据分析与跨平台共享奠定了坚实基础。不仅推动了水资源管理向智能化、精细化的方向发展, 还促进了水环境保护决策的科学性与协同性, 为水资源的可持续利用与生态保护贡献了重要力量。

4 展望

在未来, 多参数分析仪的发展将呈现微型化、智能化、网络化以及高灵敏度与特异性传感器, 这些创新不仅将提升设备的便携性、准确性和智能化水平, 还将通过物联网技术实现数据的实时共享与远程监控, 构建更加完善的水质监测网络。应用领域的拓展同样引人注目, 多参数分析仪将从单一的水质监测扩展到水生态系统健康评估、水污染应急响应等多个领域, 为环境保护和水资源管理提供更加全面、科学的支持。此外, 政策推动和市场需求也将成为多参数分析仪发展的重要驱动力。政府政策的制定与实施将鼓励技术创新, 提升监测标准, 而社会各界对水质安全和环境保护的日益关注则将进一步激发市场需求, 为多参数分析仪的广泛应用提供坚实的市场基础。综上所述, 多参数分析仪在未来将以其优良的性能和广泛的应用场景, 成为水质监测领域不可或缺的重要工具。

5 结论

本文深入剖析了多参数分析仪在水质检测领域的广泛应用, 聚焦于其如何巧妙地融合化学、电化学及光谱分析技术, 通过自动化采样与数据集成处理, 达成水质评估的高效与精准。为水资源保护与管理提供了强有力的技术支持。通过结合物联网、大数据和人工智能的应用, 多参数分析仪进一步提升了水质检测的智能化水平, 实现了远程监控和大数据分析, 为水生态系统健康评估和水污染应急响应提供了重要保障。随着技术的不断

断进步, 多参数分析仪将朝着微型化、智能化和网络化方向发展, 为水质监测领域带来更加全面、高效、精准的解决方案, 成为保障水质安全、促进生态保护和可持续发展的重要工具。因此, 对于同类检测项目的设计与实施而言, 本文所探讨的多参数分析仪的应用策略与操作指南, 无疑提供了更为严谨、科学的参考框架与行动指南。

参考文献

- [1] 何摇岳, 魏雪倩, 金仁亮. 智能监测系统在工业循环水检测中的应用[J]. 智能城市, 2024, 10(05): 72-74.
- [2] 穆明华, 赵虹, 徐晓丹. 多参数现场激光粒度分析仪校准方法研究[J]. 中国测试, 2020, 46(S1): 95-99.
- [3] 宋小晴, 章佩丽, 王昱, 等. 饮用水源地天-空-地一体化环境监管的实践应用研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(01): 29-34.
- [4] 吴太夏, 夏可, 刘翼遥, 等. 水生态环境遥感监测研究进展[J]. 中国水利, 2024, (11): 38-44.
- [5] 卢欣春, 袁颖华, 熊欣, 等. 微型分光光度计在多参数水质在线分析仪中的应用[J]. 光学与光电技术, 2019, 17(05): 36-41.
- [6] 岳敏. 多参数水质分析仪数据采集分析方法与实现[J]. 企业科技与发展, 2019, (12): 75-76.
- [7] 林熙戎. 多参数水质仪海洋环境水质监测方法比对测试与研究[J]. 工业技术创新, 2023, 10(04): 97-105.
- [8] 李文, 李德健, 马永跃, 等. 基于超声-微纳米气泡辅助技术的可变光程水质多参数检测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2024, 44(07): 2037-2044.
- [9] 章阅. 水环境检测中便携式仪器应用[J]. 内蒙古水利, 2024, (01): 75-76, 81.
- [10] 汤杰, 毛芳芳, 魏峰, 等. 便携式智能多参数水质分析仪的研制及其应用系统[J]. 化学分析计量, 2019, 28(05): 117-122.

作者简介



侯威, 高级工程师, 研究方向: 环保工程。