

Application and Development Trends of Chemical Analysis Techniques in Water Quality Monitoring

Guangwu Hu¹, Yanzhen Huang²

1. Jiangxi Transportation Institute Co., Ltd

2. Jiangxi Zhike Testing Technology Co., Ltd

Abstract

Water quality monitoring is a crucial means to ensure water resource safety and ecological system health, with chemical analysis techniques playing an irreplaceable role in pollutant detection as a core tool. This paper reviews the current applications and development trends of chemical analysis techniques in water quality monitoring. The article first outlines the basic concepts and importance of water quality monitoring, emphasizing its critical role in ensuring drinking water safety, pollution control, and ecological protection. It then provides a detailed introduction to commonly used chemical analysis techniques (such as spectroscopy, chromatography, and electrochemical analysis) and emerging technologies (such as microfluidics, nanosensors, and online monitoring systems), illustrating their practical applications in urban water supply, industrial wastewater treatment, and natural water body monitoring through real-world case studies. Furthermore, the article explores the advantages and challenges of chemical analysis techniques and forecasts future development trends, including intelligentization, green practices, and interdisciplinary integration. The study shows that chemical analysis techniques are advancing towards higher efficiency, greater environmental friendliness, and increased intelligence, providing robust technical support for global water resource protection.

Keywords: Chemical Analysis Techniques; Water Quality Monitoring; Spectroscopy; Intelligentization; Green Practices

化学分析技术在水质监测中的应用与发展趋势

胡光武¹, 黄燕珍²

1. 江西省交通科学研究院有限公司

2. 江西志科检测科技有限公司

摘要: 水质监测是保障水资源安全和生态系统健康的重要手段, 而化学分析技术作为其核心工具, 在污染物检测中发挥着不可替代的作用。本文综述了化学分析技术在水质监测中的应用现状及发展趋势。文章首先阐述了水质监测的基本概念与重要性, 指出其在饮用水安全保障、污染治理和生态保护中的关键作用。随后详细介绍了常用化学分析技术(如光谱分析、色谱分析和电化学分析)以及新兴技术(如微流控技术、纳米传感器和在线监测系统)在水质监测中的具体应用, 并结合实际案例说明了这些技术在城市供水、工业废水处理和自然水体监测中的实践效果。此外, 文章探讨了化学分析技术的优势与挑战, 并展望了其未来发展方向, 包括智能化、绿色化和跨学科融合的趋势。研究表明, 化学分析技术正朝着更高效、更环保和更智能的方向迈进, 将为全球水资源保护提供强有力的技术支撑。

关键词: 化学分析技术; 水质监测; 光谱分析; 智能化; 绿色化

1 引言

水资源是人类赖以生存和发展的基础, 也是生态系统正常运转的重要保障。然而, 随着工业化进程的加

速和人口的快速增长，水污染问题日益严重，已成为全球性环境危机之一。工业废水排放、农业面源污染以及生活污水的不当处理，导致水体中重金属、有机污染物和营养盐等有害物质含量显著增加，不仅威胁到饮用水安全，还对生态环境造成了不可忽视的破坏^{[1][2]}。因此，科学、高效的水质监测技术显得尤为重要。

水质监测的核心目标是通过检测水体中各种物理、化学和生物指标，全面了解水体质量状况，从而为水资源管理、污染治理和政策制定提供可靠的数据支持。在众多水质监测方法中，化学分析技术因其高灵敏度、高选择性和多组分同时检测能力，成为不可或缺的工具。从传统的实验室分析到现代的在线监测系统，化学分析技术不断革新，为水质监测提供了强有力的技术支撑。

本文旨在探讨化学分析技术在水质监测中的应用现状及其未来发展趋势。通过梳理现有技术的应用案例和面临的挑战，我们希望为相关领域的研究者和技术人员提供参考，并展望化学分析技术在智能化、绿色化和跨学科融合方面的潜在突破。这不仅有助于提升水质监测的效率和精度，也将为全球水资源保护事业贡献力量。

2 水质监测的重要性

水质监测是指通过科学手段对水体中的物理、化学和生物特性进行检测和分析的过程，旨在评估水体的质量状况及其适用性。这一过程涉及多种关键指标的测定，例如温度、pH 值、溶解氧、化学需氧量（COD）、重金属含量以及微生物数量等。这些指标能够反映水体的污染程度、生态健康状况以及是否符合饮用水、工业用水或生态用水的标准。通过对这些参数的综合分析，水质监测为水资源管理、污染治理和政策制定提供了重要的数据支持，是保障水环境安全的基础性工作。

水质监测直接关系到饮用水安全，通过及时发现水体中的有害物质（如重金属、病原微生物和有机污染物），可以有效防止因水质问题引发的健康风险。其次，水质监测对生态系统保护至关重要，过量的营养盐或有毒物质会导致水体富营养化或生物多样性下降，而定期监测可以为生态修复提供依据。水质监测数据也是污染治理和政策制定的重要参考，在工业废水排放监管中，监测结果可作为企业是否达标排放的评判标准^[3]，同时也为环保政策的科学制定提供支撑。

传统水质监测方式通常依赖人工采样和实验室分析，这种模式效率较低，难以满足实时监测的需求，尤其是在突发性污染事件中，延迟的数据可能导致错失最佳应对时机。同时，传统方法的数据更新频率较低，无法动态反映水体质量的变化趋势，这在快速变化的环境中尤为突出。此外，一些高精度的化学分析技术虽然性能优越，但设备昂贵且操作复杂，难以在基层单位普及，限制了其大范围应用。

3 化学分析技术在水质监测中的应用

3.1 常用化学分析技术

光谱分析法、色谱分析法和电化学分析法是目前水质监测中最为常用的化学分析技术。光谱分析法（如紫外-可见分光光度法和原子吸收光谱法）通过测量物质对特定波长光的吸收特性，能够快速检测水体中的重金属离子（如铅、汞、镉）。如在饮用水监测中，原子吸收光谱法被广泛用于测定微量重金属含量，确保水质符合安全标准。色谱分析法（如气相色谱和液相色谱）则擅长分离和检测复杂混合物中的目标成分，特别适用于有机污染物（如农药残留、石油类物质）的分析。电化学分析法（如伏安法和电导率测定）因其操作简便、成本较低，常用于检测水体中的离子浓度和溶解氧等指标。这些传统技术在实验室分析中表现优异，但受限于设备体积和采样方式，其应用场景主要集中于离线分析。

3.2 新兴化学分析技术

近年来，随着科技的进步，一系列新兴化学分析技术逐渐崭露头角，为水质监测注入了新的活力。微流控技术和便携式检测设备的发展使得现场快速检测成为可能^[4]。基于微流控芯片的传感器可以在几分钟内完

成对多种污染物的同步检测，极大地提高了监测效率^[5]。此外，纳米材料的应用进一步提升了传感器的灵敏度和选择性。利用纳米金或石墨烯修饰的电化学传感器能够实现对痕量重金属和有机污染物的高精度检测^[6]。在线监测系统则是另一大突破，通过将化学分析仪器与自动化技术结合，实现了对水体质量的实时监控。这种集成化系统不仅减少了人工干预，还显著提升了数据的时效性和连续性，为突发污染事件的预警和应急响应提供了重要支持。

化学分析技术在水质监测中的应用已从传统的实验室分析逐步扩展到现场快速检测和在线实时监控。无论是成熟的光谱、色谱和电化学技术，还是新兴的微流控、纳米传感器和在线监测系统，都在不断提升水质监测的效率和精度，为水资源保护提供了强有力的技术保障。

4 化学分析技术的优势与挑战

4.1 优势

化学分析技术的核心优势在于其高灵敏度、高选择性和多组分同时检测的能力，这些特点使其成为水质监测中不可或缺的工具。高灵敏度使得化学分析技术能够检测到水体中极低浓度的污染物，例如痕量重金属和微量有机物，这对于评估潜在环境风险至关重要。其次，高选择性确保了检测结果的准确性，即使在复杂的水样基质中，也能有效区分目标物质与其他干扰成分。此外，许多化学分析技术（如色谱-质谱联用技术）能够同时检测多种污染物，极大地提高了工作效率。在工业废水监测中，液相色谱-质谱联用技术可以一次性测定数十种有机污染物，显著减少了分析时间和成本^[7]。最后，随着自动化和智能化水平的提升，化学分析技术逐渐从实验室走向现场和在线监测领域，为实时数据分析和动态监控提供了强有力的支持。

4.2 挑战

首先是成本问题。高性能仪器（如质谱仪和高效液相色谱仪）价格昂贵，且维护费用较高，这使得许多基层单位和经济欠发达地区难以负担。其次，样品前处理过程复杂且耗时，尤其是在分析痕量污染物时，往往需要进行浓缩、萃取等步骤，这不仅增加了操作难度，还可能引入人为误差。此外，数据标准化和质量控制也是当前的一大难题。由于不同仪器和方法之间的差异，监测数据的可比性和一致性难以保证，这在跨区域或跨国界的水质监测中尤为突出。最后，传统化学分析技术对试剂和耗材的依赖较大，容易产生二次污染，不符合绿色发展的理念。因此，如何降低技术门槛、简化操作流程，并实现更加环保的检测方式，是未来需要重点突破的方向。

5 化学分析技术的发展趋势

5.1 技术革新方向

未来的化学分析技术将更加注重效率和成本的平衡。一方面，新型检测方法的研发将进一步提升分析速度和灵敏度。例如，基于纳米材料的传感器技术正在快速发展，这类传感器能够以更低的成本实现对痕量污染物的高精度检测。另一方面，便携式和微型化设备将成为主流，使得现场快速检测更加普及。如手持式光谱仪和便携式色谱设备已经在部分场景中得到应用，未来有望进一步优化性能并降低成本。此外，在线监测系统的集成化程度也将不断提高，通过将多种分析技术整合到单一平台，可以实现对多参数的同步实时监控，从而大幅提升数据获取的效率和可靠性。

5.2 智能化与大数据结合

人工智能（AI）和机器学习技术的应用将显著提升数据分析的效率和准确性。通过训练算法模型，可以对复杂的水质监测数据进行快速分类和预测，帮助识别潜在的污染源或异常情况。大数据技术的引入也将推动水质监测从单一数据点向全局网络化发展。构建覆盖广泛区域的水质监测大数据平台，不仅可以实现数据

的实时共享和动态更新，还能通过历史数据分析预测水质变化趋势，为环境管理提供科学依据^[8]。这种智能化与大数据的结合，将为水质监测带来前所未有的变革。

5.3 绿色化与可持续发展

在全球倡导绿色发展的背景下，化学分析技术也正朝着更加环保的方向迈进。减少试剂消耗和废弃物排放成为技术研发的重点之一。无试剂传感器和固相微萃取技术的应用，能够显著降低对化学试剂的依赖，从而减少二次污染^[9]。此外，开发可重复使用的分析材料（如功能化纳米材料）也成为研究热点，这不仅降低了运行成本，还符合可持续发展的理念。未来，绿色化技术的推广将进一步提高化学分析技术的环境友好性，助力实现水资源保护与生态保护的双赢目标。

5.4 跨学科融合推动创新

化学分析技术的未来发展还将受益于与其他学科的深度融合。生物学技术的进步为生物传感器的开发提供了新思路，通过结合酶、抗体或微生物等生物活性物质，可以实现对特定污染物的高选择性检测。信息技术引入则推动了远程监测和自动化控制的发展，使得水质监测系统更加智能化和高效化。此外，材料科学的突破为高性能传感器的设计提供了支持，例如石墨烯、金属有机框架（MOFs）等新型材料的应用，极大地提升了检测灵敏度和稳定性。跨学科的协同创新将为化学分析技术注入更多活力，并拓展其在水质监测中的应用场景。

6 实际应用案例

案例一：美国纽约市供水管网实时监测项目^①

纽约市是全球最早大规模采用在线水质监测系统的城市之一。该项目利用基于电化学传感器的在线监测设备（如 Hach 公司的 Lange 系列传感器），对供水管网中的余氯、pH 值、溶解氧和重金属含量进行实时监控。通过这些技术，纽约市能够迅速发现管道腐蚀导致的铅污染问题，并及时采取措施，确保居民用水安全。

案例二：中国某化工园区废水排放在线监测项目^②

在中国江苏省某化工园区，环保部门与企业合作部署了基于液相色谱-质谱联用（LC-MS）技术的废水监测系统。该系统由岛津公司提供，能够检测废水中多种有机污染物（如苯系物和多环芳烃）的浓度，帮助企业实现达标排放。此外，便携式重金属检测仪（如 Thermo Scientific Niton XL3t）也被用于现场快速检测，显著提高了监管效率。

案例三：欧洲莱茵河流域水质监测计划（Rhine River Monitoring Program）^③

莱茵河流域水质监测计划是一个跨国界的长期生态监测项目，覆盖德国、荷兰等多个国家。该项目使用原子吸收光谱法（AAS）和紫外-可见分光光度法，对水体中的重金属（如镉、汞）和营养盐（如氮、磷）进行定期检测。监测数据被上传至莱茵河保护国际委员会（ICPR）的数据平台，为流域治理政策的制定提供了科学依据。

7 结论与展望

化学分析技术作为水质监测的核心工具，已经在保障饮用水安全、保护生态系统健康以及支持污染治理和政策制定方面发挥了不可替代的作用。从传统的光谱分析、色谱分析到新兴的微流控技术、纳米传感器和在线监测系统，化学分析技术不断革新，显著提升了水质监测的效率、精度和实时性。实际应用案例表明，

^① <https://www.nyc.gov/site/dep/water/drinking-water-quality.page?spm=a2ty02.30260236.0.0.187074a1nCZGIK&file=drinking-water-quality.page>

^② <https://www.shimadzu.com/an/products/liquid-chromatograph-mass-spectrometry/index.html?spm=a2ty02.30260236.0.0.187074a1nCZGIK>

^③ <https://www.iksr.org/en/?spm=a2ty02.30260236.0.0.187074a1nCZGIK&cHash=0d429ae671b8b0235643533ca5b58bc1>

无论是城市供水系统的实时监控、工业废水处理的达标排放，还是自然水体的长期生态监测，化学分析技术都展现出了强大的适应性和可靠性。这些技术不仅为水资源保护提供了科学依据，也为全球环境治理贡献了重要力量。

尽管化学分析技术在水质监测中取得了显著成果，但其未来发展仍充满机遇与挑战。首先，随着人工智能和大数据技术的深入应用，水质监测将向智能化和网络化方向迈进。未来，基于 AI 的预测模型和跨区域的大数据平台有望实现水质变化的动态预警，为环境管理提供更加精准的决策支持。其次，绿色化和可持续发展将成为技术研发的重要方向。通过减少试剂消耗、开发环保型材料以及推广可重复使用的设备，化学分析技术将进一步降低对环境的影响。此外，跨学科融合将继续推动技术创新，例如结合生物学、信息技术和材料科学的新型传感器，将为复杂环境下的水质监测提供更高效的解决方案。

总之，化学分析技术的未来发展趋势集中体现在智能化、绿色化和跨学科融合三个方面。这些趋势不仅将推动水质监测技术的全面升级，也将为全球水资源保护事业注入新的活力。我们期待在不久的将来，化学分析技术能够以更高的效率、更低的成本和更强的环保性能，为人类社会的可持续发展保驾护航。

参考文献

- [1] 吴明明,韦章安.工业废水排放对地表水环境的影响与处理技术研究[C]/江西省工程师联合会.2024 年智能工程与经济建设学术会议论文集(工程管理与经济建设专题).浙江润安环境工程有限公司,2024:682-684.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.069021.
- [2] 许鸿翔,何扬建,谢克勤,等.农药厂废水排放对淤泥微生物群落的影响[J].四川师范大学学报(自然科学版),2024,47(04):498-506.
- [3] 马卫东,秦腾,唐德善,等.环境规制对废水排放影响效应的实证研究[J].人民黄河,2023,45(10):84-89.
- [4] 吴文捷,刘明,金怡萱,等.生物指示剂及其快速检测技术的发展与展望[J].中国消毒学杂志,2025,42(06):456-461.
- [5] 张文涛,张斌斌,徐军,等.基于微流控芯片的农药残留检测研究进展[J].植物保护,2025,51(03):74-84.DOI:10.16688/j.zwbh.2024303.
- [6] 黄煜真.基于纳米材料的重金属检测电化学微纳传感芯片及其应用的研究[D].山东大学,2023.DOI:10.27272/d.cnki.gshdu.2023.000229.
- [7] 文慧依,蔡宇希,林锦珠.基于液相色谱-质谱联用技术的虾不同部位硝基呋喃残留研究[J].现代食品,2024,30(22):197-199+203.DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2024.22.060.
- [8] 诸小林,四川省流域水环境模拟与管控大数据平台关键技术研发及应用示范.四川省,成都万江港利科技股份有限公司,2023-06-15.
- [9] 周敏.基于固相微萃取的磁弛豫传感器快速检测农药残留[D].湖北工业大学,2021.DOI:10.27131/d.cnki.ghugc.2021.000228.