

水环境中微塑料污染物分析方法研究

胡威威 江红珍

1.浙江爱迪信检测技术有限公司 浙江 杭州 311101

2.浙江国正检测技术有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：微塑料污染已成为全球水环境面临的重要问题，其检测技术的发展对于有效应对这一挑战至关重要。本文探讨了水环境中微塑料的检测技术，分析了显微镜法、光谱分析法、色谱法等常见技术的应用与局限性。随着技术的进步，多方法联合应用和新型检测材料的创新成为解决微塑料检测问题的有效途径。政策和标准化的推进为微塑料检测技术的普及提供了支持，并推动了水环境保护工作的发展。

【关键词】：水环境；微塑料；污染物；检测方法；分析

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.057

引言

近年来，随着塑料制品的广泛使用，微塑料污染问题日益严峻。微塑料由于其尺寸微小，易于渗透到水体中，且具有长期残留性和潜在的生态风险，逐渐成为全球水污染监测的难点之一。尽管许多传统的水质检测方法已被广泛应用于污染物监测，但针对微塑料的特殊性，现有方法往往存在灵敏度不高、处理复杂等问题。如何精准识别和定量分析水中的微塑料污染物，成为亟待解决的核心问题。本研究通过对比多种分析技术，探索适用于水环境中微塑料污染物的最佳检测方法，以提供可靠的技术支持。

1 微塑料污染物的特点与水环境中的分布

1.1 微塑料的定义与来源

微塑料指的是尺寸小于5毫米的塑料颗粒或纤维，通常由于塑料制品的破碎、磨损或降解而产生。微塑料的主要来源可分为一次性和二次性两种：一次性微塑料指的是通过工业生产直接制造的小颗粒，如用于个人护理产品的微珠，而二次性微塑料则是由较大塑料物品在环境中降解形成的碎片。随着塑料制品在现代生活中广泛使用，微塑料的产生源不断增加，尤其在海洋、湖泊和河流等水体中，微塑料逐渐成为全球环境污染的隐性威胁。由于塑料的高耐久性，微塑料在水体中的存留时间极长，且难以自然降解，形成持久性污染。

1.2 水环境中微塑料的分布特征

微塑料在水环境中的分布受多种因素的影响，包括水流、气候、物理化学条件以及水体的生物群落结构。水体的流动性使得微塑料在不同水域间传播，流速较快的河流和海洋表层常常是微塑料集中分布的区域^[1]。与此同时，微塑料的大小和密度也会影响其在水中的分布状态，较轻的浮塑往往漂浮在水面，而较重的微塑料则可能沉积在水底或沉积物中。特别是在水域的某些区域，由于水流的滞缓效应，微塑料可能会在沉积物中长期积累，导致污染积聚。微塑料的分布还与水体的污染程度及人类活动密切相关，城市化和工业化程度较高的地区往

往是微塑料污染的重灾区。

1.3 微塑料的环境危害与影响

微塑料对水环境的危害不仅表现在其直接污染水质，还在于其对生态系统的潜在威胁。微塑料颗粒由于体积小，易被水生生物摄入，并在食物链中不断积累，造成生物体内毒素的富集。部分微塑料含有有害化学物质，如塑料添加剂或吸附的有害物质，这些物质可能会对水生生物的生长、繁殖以及生态系统的平衡产生不利影响。同时，微塑料的存在还可能影响水质监测的精度，干扰一些常规水质检测项目，造成检测结果偏差。随着微塑料污染问题的日益严重，水生生态系统的稳定性受到威胁，部分脆弱水体甚至可能因为微塑料的累积而导致生态失衡，影响水资源的可持续利用。

2 水环境中微塑料检测技术的现状

2.1 传统水质检测方法概述

传统水质检测方法多用于监测水体中的溶解氧、pH值、重金属、细菌等常规污染物，这些方法包括色谱分析、光谱分析以及浑浊度测定等。这些方法通常不能有效识别微塑料污染物，主要由于微塑料颗粒的尺寸较小、物理特性复杂。传统方法更多侧重于溶解性物质的检测，对固体颗粒物的分析较为局限。虽然这些方法在常规水质监测中仍然发挥着重要作用，但在应对微塑料这种特定污染物时，其灵敏度和准确性往往不足，难以提供全面的微塑料污染数据。

2.2 现有微塑料检测方法的局限性

现有的微塑料检测方法包括显微镜分析法、红外光谱法、拉曼光谱法等。这些方法虽然在微塑料检测中得到了应用，但各自存在一定局限性^[2]。显微镜法依赖人工操作，难以处理大规模样本，且对于颗粒形态和颜色差异的识别存在局限；红外光谱法和拉曼光谱法则多用于较大颗粒的分析，在高浓度微塑料样品中，检测结果容易受到背景干扰，且处理速度较慢。现有方法在不同类型水体的适用性、灵敏度和准确性方面尚不具备普遍性，难以满足大范围水环境监测的需求。

2.3 新型检测技术的出现与挑战

微塑料污染问题的加剧,新型检测技术不断涌现,旨在提高检测灵敏度、速度和准确性。基于纳米技术的传感器、激光诱导击穿光谱(LIBS)、高效液相色谱-质谱联用技术(HPLC-MS)等新型方法已经被提出,并显示出在微塑料检测中的潜力。这些新技术能够实现对微塑料的快速、无损检测,并能在复杂水质环境中提供较高的准确度。技术的成熟度和应用成本仍然是主要挑战,尤其是在资源有限的地区,新技术的普及和大规模应用面临一定的瓶颈。因此,如何在保证准确性的前提下降低成本、提高普适性,仍是新型检测技术亟待解决的问题。

3 常用微塑料检测方法的比较与评估

3.1 显微镜法的应用与局限

显微镜法广泛应用于微塑料污染物的定性和定量分析,尤其适用于较大颗粒的检测。通过显微镜可以直接观察微塑料的形态、颜色、大小等特征,进而判断其种类和来源。这种方法操作简便,且在一定范围内提供了较为直观的结果。显微镜法也存在一定的局限性,主要表现在对微小颗粒的识别能力不足,尤其对于颗粒尺寸小于10微米的微塑料,显微镜的分辨率难以满足精确识别的要求。显微镜法多依赖人工判断,容易受到操作人员经验的影响,且无法快速处理大量样品,因此其适用范围相对有限。在大规模水体监测中,显微镜法的效率和精准度难以满足高通量检测的需求。

3.2 光谱分析法的技术优势

光谱分析法,尤其是红外光谱法(FTIR)和拉曼光谱法,是检测微塑料的一种重要技术。这些方法通过分析物质与特定波长光的相互作用来识别微塑料的化学成分和分子结构^[3]。红外光谱法能够提供微塑料的分子指纹,从而实现不同塑料材料的定性分析,具有较高的灵敏度和选择性,适用于多种水质环境中的微塑料检测。拉曼光谱法则通过激光照射样品,获取物质的分子振动信息,能够对微塑料的化学成分进行无损分析,且对于高浓度样本的干扰较少。尽管光谱分析法具备较强的识别能力,但其操作复杂且成本较高,且对粒子形态和表面情况较为敏感,需要专业的设备和技术支持。在普及性和操作便捷性方面仍存在一定局限。

3.3 色谱法与其他方法的综合应用

色谱法,如高效液相色谱(HPLC)和气相色谱(GC),在微塑料的检测中具有较高的分离和鉴定能力。通过色谱柱的分离,能够有效将微塑料与其他物质分开,从而提高分析的准确性。HPLC适用于溶解性塑料添加剂的检测,而GC则可用于挥发性化合物的分析。在处理复杂水质样本时,色谱法通常与其他检测技术,如光谱法和质谱法联用,以提高综合分析的可靠性和准确性。这种多方法结合的策略能够弥补单一方法的

不足,提高微塑料检测的全面性。色谱法也存在一定的挑战,如对样品的预处理要求较高,且在处理大体积水样时需要进行繁琐的提取和浓缩步骤,这增加了操作复杂性和时间成本。色谱法多用于实验室分析,较难在大规模水体监测中得到广泛应用。

4 优化微塑料检测技术的改进方向

4.1 技术集成与多方法联合应用

微塑料检测技术的优化方向之一是推动不同检测方法的集成与联合应用。单一的检测方法往往难以全面解决微塑料检测中面临的挑战,特别是在复杂水质环境下,单一技术往往无法同时满足灵敏度、准确性和快速性等要求。集成多种技术,如结合光谱法与显微镜分析、或与色谱法联用,能够充分发挥各自的优势,弥补单一技术的局限。通过技术集成,可以实现微塑料的快速筛选与定量分析,显著提高检测效率。与此同时,集成技术还能够提升对不同粒径、不同形态微塑料的识别能力,从而提供更加全面和精确的分析结果。多方法联合应用还可加强数据的准确性与可靠性,减少干扰因素对结果的影响,提高水质监测的可信度和应用范围。

4.2 提高检测灵敏度的技术创新

微塑料污染日益严重,提升检测灵敏度已成为微塑料检测技术发展的关键。微塑料颗粒通常尺寸微小,且在水体中的浓度较低,这要求检测技术能够在复杂背景下准确识别并定量微塑料。通过创新技术,如纳米传感器和高灵敏度光谱技术,可以显著提升微塑料检测的灵敏度^[4]。纳米传感器利用纳米材料的特殊性质,能够增强信号传递和微塑料颗粒的检测能力,尤其适用于低浓度样品的分析。先进的光谱技术通过提高信号与噪声的比率,能够在高干扰的环境中精准识别微塑料。这些技术创新不仅提升了检测的灵敏度,还降低了检测过程中的误差,提高了对微小颗粒的识别能力,从而满足了微塑料检测日益精细化的需求。

4.3 新型材料与设备的研发

新型材料与设备的研发是微塑料检测技术不断优化的重要方向之一。随着微塑料检测要求的提高,传统的检测设备已难以满足高精度、高效率的需求。因此,开发具有高选择性、高稳定性的新型传感材料和设备,成为提升微塑料检测能力的关键。新型光学材料和纳米材料的研发,能够在微塑料检测中实现更高的分辨率和灵敏度。集成化的自动化检测设备也为微塑料污染的快速检测提供了新的可能。通过将先进材料与设备相结合,可以大幅提升检测效率,减少人为操作误差,提高样品处理能力,从而在大范围水质监测中实现高通量、快速、准确的微塑料检测。这种新型设备的研发不仅推动了微塑料监测技术的进步,也为全球水环境保护和污染治理提供了强有力的技术支持。

5 微塑料检测技术在水环境保护中的应用

5.1 政策与标准化的推动作用

政策和标准化在微塑料检测技术的应用中起到了至关重要的推动作用。随着全球对水环境污染问题的关注不断加强，微塑料的监测和控制已被纳入环保政策的议程。各国和地区政府通过制定严格的水质监测标准和法律法规，要求对水体中的微塑料污染进行定期检测和评估。国际组织和环境保护机构也陆续发布相关指南和标准，规范微塑料检测方法，确保检测数据的可靠性和一致性。标准化不仅提高了检测方法的科学性，还推动了技术的创新和发展，使得微塑料检测技术能够广泛应用于实际的水环境保护工作中。政策的支持为微塑料监测技术的普及和应用提供了法律保障，促进了各类检测技术的研究和实施，从而有效推动了水环境污染的控制与治理。

5.2 实际应用中的技术挑战与解决方案

尽管微塑料检测技术在水环境保护中的应用取得了一定进展，但在实际应用过程中依然面临多方面的技术挑战。首先水体中微塑料的种类繁多、形态各异，检测技术难以同时适应不同粒径、形态的微塑料颗粒。其次微塑料通常以低浓度存在于水体中，传统的检测方法对低浓度微塑料的检测灵敏度较低，难以满足精确测量的需求^[5]。复杂水质背景中的干扰物质也常常影响微塑料的准确识别和定量。针对这些挑战，科研人员提出了多种解决方案，如发展高效的样品预处理技术、提高检测仪器的灵敏度、以及通过多技术集成手段提升检测的全面

性和可靠性。通过优化现有技术和创新新的检测手段，可以克服这些技术难题，提高微塑料监测的效率和准确性，为水环境保护提供更为精准的数据支持。

5.3 未来水环境保护的技术发展趋势

未来，水环境保护中的微塑料检测技术将向更加高效、智能化的方向发展。随着纳米技术、人工智能和大数据技术的不断进步，微塑料检测技术有望实现自动化、实时化和高通量分析。新型传感器和便携式设备的出现将使得微塑料检测更加灵活、高效，能够实现现场快速检测和数据实时传输。人工智能算法的应用将帮助提高数据分析的精度和效率，通过对大规模数据的智能处理，快速识别水体中的微塑料污染状况，提供精准的污染源追踪和预测分析。微塑料监测的设备将逐步向集成化、智能化发展，不仅具备高精度检测功能，还能自动进行样品处理和结果分析，极大地提升监测能力和效率。这些技术的发展将推动微塑料污染的早期检测、及时预警和有效治理，为水环境的可持续管理提供更加完善的技术支持。

6 结语

微塑料污染已成为水环境保护中的一大隐患，精准的检测技术对其治理具有重要意义。随着检测方法的不断进步，技术的多样化和精确化为水质监测提供了更加科学的依据。政策的支持与标准化的推动，进一步加强了微塑料污染的管控和治理，未来技术的创新将使得水环境保护工作更加高效、智能化。

参考文献:

- [1] 柏婷婷.水环境中微塑料的来源分布及去除技术研究进展[J].甘肃科技,2025,41(12):66-73.
- [2] 焦妍,徐晓飞,孙博洋,等.水环境中微塑料吸附去除技术研究进展[J/OL].精细化工,1-14[2026-04-28].
- [3] 李会东,丰东昇,伊俊铭,等.水环境中微塑料治理技术研究进展[J].水处理技术,2025,51(05):8-15.
- [4] 吴奇徽,李安卓,林文芳.水环境塑料际细菌抗生素抗性的污染现状及传播风险[J].环境科学,2026,47(01):289-300.
- [5] 姜晶,汪永创,刘锋,等.微塑料水环境赋存特征及环境生态风险评估[J].环境科学,2025,46(11):6917-6929.