

水环境中新污染物快速检测技术的研究分析

朱耀华

浙江丰合检测技术股份有限公司 浙江 义乌 322000

摘要: 随着水环境新污染物对生态和人类健康威胁加剧,快速检测技术成为关键。本文系统概述新污染物定义、来源、危害及特性,深入分析免疫分析、生物传感器等常见快速检测技术的原理、优势与局限,同时探讨纳米材料、微流控芯片等新型技术及发展趋势。研究表明,多种快速检测技术各有优劣,新技术融合为精准、高效检测提供可能,对新污染物防控意义重大。

关键词: 水环境;新污染物;快速检测技术

1 水环境新污染物概述

1.1 新污染物的定义与分类

新污染物是指那些具有生物毒性、环境持久性、生物累积性等特征,且尚未纳入环境管理或者现有管理措施不足的化学物质。相较于传统污染物,新污染物的危害往往更为隐蔽,其在环境中可能长期存在并不断累积,对生态系统和人类健康造成潜在威胁。从分类来看,新污染物主要涵盖四大类。第一类是持久性有机污染物(POPs),如多氯联苯、二噁英等,这类物质化学性质稳定,难以自然降解,可通过食物链富集,对生物和人体产生致癌、致畸、致突变等严重危害。第二类是内分泌干扰物(EDCs),常见的有双酚A、壬基酚等,它们能够干扰生物体内激素的正常分泌、合成、运输等过程,影响生物的生殖、发育和行为。第三类是抗生素,在医疗、畜牧养殖等领域广泛使用后,部分残留进入水环境,可能导致微生物产生耐药性,破坏水生态系统的微生物平衡。第四类是微塑料,这些粒径微小的塑料颗粒来源广泛,如日化用品中的磨砂颗粒、塑料垃圾的分解产物等,不仅会物理性阻塞水生生物的消化道,还可能吸附其他污染物,成为污染物的载体,加剧污染危害。

1.2 新污染物在水环境中的来源与分布

新污染物在水环境中的来源十分广泛。在工业生产方面,化工、制药、电子等行业在生产过程中会排放含有新污染物的废水,如制药厂排放的废水中可能含有残留的抗生素,电子厂废水可能含有持久性有机污染物^[1]。农业领域,农药、化肥的大量使用以及畜禽养殖废水排放,使得内分泌干扰物、抗生素等新污染物进入水体。日常生活中,个人护理产品中的微塑料、洗涤用品中的表面活性剂(部分属于内分泌干扰物),以及医院污水中的药物残留等,也是水环境新污染物的重要来源。从

分布情况来看,新污染物几乎遍布全球各类水体。在城市河流、湖泊中,由于人口密集、工业和生活污水排放量大,新污染物浓度相对较高。例如,城市周边的河流常检测出较高浓度的双酚A和抗生素。即使在看似纯净的偏远地区水体,如极地冰川融水、高山湖泊中,也发现了持久性有机污染物和微塑料的存在,这表明新污染物的传播具有全球性,其通过大气环流、洋流等途径实现远距离迁移扩散。

1.3 新污染物对水环境的危害

新污染物对水环境的危害是多方面且严重的。在生态层面,持久性有机污染物会在水生生物体内不断富集,干扰生物的正常生理功能,导致生物繁殖能力下降、种群数量减少。例如,多氯联苯会影响鱼类的甲状腺激素分泌,阻碍其生长发育;内分泌干扰物会使水生生物出现性别紊乱现象,破坏水生态系统的生物多样性。微塑料被水生生物误食后,会造成消化系统损伤,降低其摄食和生存能力,进而影响整个食物链的稳定性。从人类健康角度而言,人类通过饮水、食用水产品等途径接触水环境中的新污染物。抗生素残留可能导致人体微生物菌群失调,增加感染耐药菌的风险;持久性有机污染物和内分泌干扰物在人体内累积,会干扰人体内分泌系统、免疫系统和神经系统,引发各种疾病,如癌症、生殖系统疾病、神经系统发育障碍等。

2 水环境中新污染物的特性与检测需求

2.1 新污染物的特性

水环境中的新污染物具有多种独特特性。首先是环境持久性,以持久性有机污染物为例,它们在自然环境中难以通过水解、光解、生物降解等方式快速消除,可在水体、土壤等环境介质中存在数年甚至数十年之久。其次是生物累积性,新污染物能够通过生物摄取、食物链传递等方式在生物体内不断富集,生物体内的污染物

浓度随着营养级的升高而显著增加,最终可能对处于食物链顶端的人类造成严重危害。再者是潜在危害性,许多新污染物在低浓度下就可能对生物和人体产生毒性效应,而且其危害往往具有滞后性和不可逆性^[2]。另外,新污染物还具有复杂性和隐蔽性。新污染物种类繁多,化学结构和性质各异,不同新污染物之间还可能发生相互作用,增加了其在环境中的行为和效应的复杂性。新污染物的浓度通常较低,且部分污染物的检测需要特殊的技术和设备,使得其在环境中的存在难以被及时发现和准确评估。

2.2 快速检测的需求分析

随着新污染物对水环境和人类健康威胁的日益凸显,对其进行快速检测的需求变得十分迫切。一方面,快速检测能够及时掌握水环境中新污染物的污染状况,为环境监管部门制定有效的污染防控措施提供依据。例如,在突发性水污染事件中,快速检测可以迅速确定污染物种类和浓度,以便及时采取应急处理措施,减少污染扩散和危害。另一方面,对于日常的水环境监测,快速检测技术可以提高监测效率,降低监测成本。传统的检测方法往往耗时较长、操作复杂,难以满足大量水样的快速筛查需求,而快速检测技术能够在短时间内对大量样品进行初步分析,筛选出可能存在污染的样品,再进行进一步精确检测。快速检测还有助于研究新污染物在水环境中的迁移转化规律,通过快速获取不同时间、空间水样中的新污染物数据,可以更及时地了解其在环境中的动态变化,为深入研究其环境行为和生态效应提供有力支持。

3 常见的水环境中新污染物快速检测技术

3.1 免疫分析技术

免疫分析技术是基于抗原-抗体特异性结合原理发展起来的一种快速检测技术。在水环境新污染物检测中,该技术利用针对特定新污染物制备的抗体,与样品中的目标污染物进行特异性结合,通过检测结合信号来确定污染物的浓度。常见的免疫分析方法包括酶联免疫吸附测定(ELISA)、荧光免疫分析、化学发光免疫分析等。ELISA是目前应用较为广泛的免疫分析方法之一,它将抗原或抗体固定在固相载体上,通过酶标记的抗原或抗体与目标污染物结合,利用酶催化底物显色,根据颜色深浅来定量分析目标污染物。该方法具有灵敏度高、特异性强、操作简便、检测速度快等优点,能够在较短时间内对大量样品进行筛查,适用于水环境中抗生素、内分泌干扰物等新污染物的快速检测。不过,免疫分析技术也存在一定局限性,如抗体的制备难度较大,且可能存

在交叉反应,影响检测结果的准确性。

3.2 生物传感器技术

生物传感器技术是将生物识别元件(如酶、抗体、微生物等)与物理或化学换能器相结合,用于检测目标物质的分析技术。在水环境新污染物检测中,生物传感器能够利用生物识别元件对新污染物的特异性识别,将其与目标污染物的结合反应转化为可检测的电信号、光信号等。例如,酶生物传感器利用酶对特定新污染物的催化作用,通过检测反应过程中产生的电信号变化来确定污染物浓度;微生物传感器则利用微生物对新污染物的代谢反应,通过监测微生物呼吸速率、代谢产物等变化来实现对污染物的检测。生物传感器技术具有检测速度快、灵敏度高、可实现实时在线检测等优势,能够快速响应水环境中新污染物的浓度变化。同时该技术可以实现小型化和便携化,适用于现场快速检测。但生物传感器也面临一些挑战,如生物识别元件的稳定性和寿命有限,需要定期更换或维护,而且其检测范围相对较窄,通常只能针对特定类型的新污染物进行检测。

3.3 色谱-质谱联用技术

色谱-质谱联用技术(GC-MS、HPLC-MS等)是将色谱的分离能力与质谱的定性定量能力相结合的检测技术。在水环境新污染物检测中,色谱能够将复杂样品中的各种新污染物进行有效分离,然后通过质谱对分离后的化合物进行定性和定量分析。例如,气相色谱-质谱联用(GC-MS)常用于检测挥发性和半挥发性的新污染物,如持久性有机污染物;高效液相色谱-质谱联用(HPLC-MS)则适用于检测极性较强、不易挥发的新污染物,如抗生素、内分泌干扰物等^[3]。色谱-质谱联用技术具有分离效率高、定性定量准确、检测范围广等优点,能够对多种新污染物进行同时检测和分析,是目前水环境新污染物检测的重要技术手段之一。然而该设备昂贵、操作复杂,对操作人员的技术要求较高,且样品前处理过程较为繁琐,检测时间相对较长,限制了其在快速检测中的大规模应用。

3.4 便携式光谱分析技术

便携式光谱分析技术主要包括便携式紫外-可见光谱、红外光谱、拉曼光谱等。在水环境新污染物检测中,这些技术利用新污染物对特定波长光的吸收、散射或发射特性,通过测量光谱信号来确定污染物的种类和浓度。例如,便携式紫外-可见光谱仪可以通过检测新污染物在紫外-可见光区域的吸收光谱,对具有特定吸收特性的污染物进行定量分析;拉曼光谱技术则利用新污染物分子的振动-转动光谱信息,实现对污染物的快速

无损检测。便携式光谱分析技术具有操作简便、检测速度快、可实现现场检测等优势,能够快速获取水环境中新污染物的初步信息。而且,该技术设备体积小、重量轻,便于携带和移动,适用于不同环境场景下的快速检测。但便携式光谱分析技术的检测灵敏度相对较低,对于低浓度新污染物的检测能力有限,且光谱数据的解析需要一定的专业知识和技术。

4 新型快速检测技术及发展趋势

4.1 纳米材料与新型传感器技术

纳米材料因其独特的物理化学性质,如大比表面积、高活性等,在水环境新污染物检测中展现出巨大的应用潜力。将纳米材料应用于传感器技术,可显著提高传感器的性能。另外,基于纳米材料的新型传感器还具有选择性好、响应速度快等优点。例如,利用纳米材料的表面修饰技术,可以制备出对特定新污染物具有高度选择性的传感器,减少其他物质的干扰。随着纳米材料制备技术和传感器技术的不断发展,纳米材料与新型传感器技术将在水环境新污染物快速检测领域发挥越来越重要的作用。

4.2 微流控芯片技术

微流控芯片技术是一种在微小尺寸通道内对流体进行操控和分析的技术。在水环境新污染物检测中,微流控芯片能够将样品前处理、分离、检测等多个步骤集成在一块微小的芯片上,实现快速、自动化的检测过程。通过在芯片上构建微通道网络和微反应单元,可以对水样中的新污染物进行快速富集、分离和检测。微流控芯片技术具有样品和试剂用量少、分析速度快、可实现高通量检测等优势。例如,利用微流控芯片可以在几分钟内完成对多个水样中多种新污染物的检测,大大提高了检测效率。同时该技术还可以与其他检测技术,如质谱、光谱等相结合,进一步提高检测的准确性和灵敏度。未来,微流控芯片技术有望成为水环境新污染物快速检测的重要发展方向。

4.3 人工智能与检测技术的融合

人工智能技术,如机器学习、深度学习等,在数据分析和模式识别方面具有强大的能力。将人工智能与水环境新污染物检测技术相结合,可以实现对检测数据的快速处理和准确分析。例如,利用机器学习算法对光谱、质谱等检测数据进行分析,能够快速识别新污染物

的种类和浓度,提高检测的准确性和效率;深度学习技术可以构建复杂的模型,对大量检测数据进行学习和训练,实现对新污染物的智能预测和预警^[4]。人工智能还可以优化检测方法和设备参数,通过对大量检测数据的分析,人工智能算法可以自动调整检测仪器的工作参数,提高检测的灵敏度和选择性。随着人工智能技术的不断发展,其与检测技术的融合将为水环境新污染物快速检测带来新的突破和发展机遇。

4.4 快速检测技术的发展趋势

未来,水环境新污染物快速检测技术将朝着更加灵敏、准确、便捷、智能化的方向发展。在灵敏度方面,新型材料和技术的应用将不断提高检测方法的检测限,实现对低浓度新污染物的准确检测;在准确性方面,多种检测技术的联用以及人工智能技术的应用将提高检测结果的可靠性;在便捷性方面,便携式、小型化检测设备的研发将使现场快速检测更加方便,甚至实现个人化的实时监测。快速检测技术将更加注重与环境监测网络的结合,实现对水环境新污染物的实时、动态监测。随着对新污染物研究的不断深入,快速检测技术还将朝着多元化、高通量方向发展,能够同时检测多种新污染物,并对其来源、迁移转化规律等进行综合分析。

结束语

目前,水环境新污染物快速检测技术已取得一定进展,但仍面临诸多挑战。常见技术在灵敏度、准确性等方面存在局限,新型技术也需进一步完善。未来,应加强多技术联用与创新,深入探索纳米材料、人工智能等前沿技术,提高检测性能,推动快速检测技术智能化、多元化发展,为水环境新污染物防控筑牢技术防线。

参考文献

- [1]翟文磊,韩晨瑞,韦迪哲等.磁性侧流层析技术在食品污染物快速检测中的研究进展[J].分析测试学报,2022,41(12):1827-1836.
- [2]张悦,宋志花,王艺晓等.基于色谱技术的典型环境污染物快速检测研究新进展[J].分析实验室,2022,41(03):341-349.
- [3]张力,李红.污水处理新技术在水环境治理中的应用[J].环境工程,2022,15(3):45-56.
- [4]赵伟,刘娟.水环境治理效果评估指标体系构建[J].环境监测管理,2023,28(2):89-102.