

探析离子色谱技术在水环境监测中的应用思考

彭晓娟 朱敏慧 项洛蓉

杭州普洛赛斯检测科技有限公司 浙江杭州 310000

摘要: 在工业化、城市化快速推进的今天,水环境污染越来越突出,水质监测已经成为环境保护工作中的一个重要环节。离子色谱技术因其对无机离子、有机酸等成分的高度敏感性和选择性,作为一种高效且精确的分析手段,在近几年的水环境监测领域获得了广泛的应用。它可同时对多种污染物质进行检测,为水环境保护和治理提供可靠数据支撑。本文旨在探讨离子色谱技术在水环境监测中的应用及其未来发展方向。

关键词: 离子色谱技术;水环境监测;技术应用

引言

水体中离子浓度的变化,直接体现着水质变化。常见污染物如硝酸盐、亚硝酸盐、氯离子、磷酸根离子、氨氮等,在工业废水、农业径流及城市排放物中均普遍存在,对水质造成了严重的影响。传统水质检测方法一般存在着操作繁杂,精确度不高,处理耗时较长等限制条件,很难适应现代水环境监测工作的需要。但离子色谱技术由于具有高效分离和多组分同步检测的优点,因而在水质监测方面表现突出。自从20世纪70年代离子色谱技术首次亮相,它经历了持续的进步和创新,使得其仪器、检测的灵敏度以及数据处理的能力都得到了显著的增强。我国随着生态环境保护的不断加强,离子色谱技术已经逐步成为环境监测机构及科研单位对水质进行监控的主流方法之一。

一、离子色谱技术概述

离子色谱技术根据离子交换原理进行高效分离分析,在水环境监测方面有着广泛的应用前景。它的核心原理就是利用带电分离介质和试样中离子之间进行离子交换的特性,利用不同离子在色谱柱中保留时间的不同来达到分离和检测多种阴阳离子的目的。离子色谱系统由高压泵、进样器、色谱柱、抑制器及检测器等部件构成,色谱柱为关键部件,一般以离子交换树脂为填料,通过调整柱温及流动相组成可准确调控离子分离效率及速度。并利用抑制器消除背景干扰和增强灵敏度。常见检测器有电导检测器和紫外检测器,电导检测器因具有离子高灵敏度得到广泛应用。离子色谱技术以其低检测限、高分离效率和快速的分析速度为特点,其中常见的检测限

可以达到ppb(十亿分之一)的水平。从理论塔板数量来看,分离效率通常可以达到数千甚至数万塔板。经过合理系统配置后,该项技术可同时对多种阴阳离子成分进行解析,广泛应用于复杂水样污染物解析,是水环境监测必不可少的技术手段。

二、水环境监测中的常见污染物

(一) 水体中常见阴离子

水体中的常见阴离子主要包括氯离子、硝酸盐、硫酸根离子、碳酸氢根离子、磷酸根离子等,这些离子的浓度和比例直接反映了水质状况。氯离子(Cl^-)是常见的无机阴离子,广泛存在于自然水体中,通常浓度范围在10-250 mg/L之间,高浓度的氯离子可能来自工业排放或生活污水。硝酸盐(NO_3^-)则是水体中氮污染的主要形式,农业径流和工业废水是其主要来源,过量的硝酸盐会导致水体富营养化,影响生态系统健康,世界卫生组织建议饮用水中硝酸盐浓度不超过50 mg/L。硫酸根离子(SO_4^{2-})主要来源于矿山排水和工业废水,其浓度通常在10-500 mg/L之间,高浓度的硫酸根离子会对水生生物产生毒害作用。碳酸氢根离子(HCO_3^-)是天然水体中碱度的重要组成部分,浓度通常在30-400 mg/L之间,影响着水体的酸碱平衡。磷酸根离子(PO_4^{3-})则是水体富营养化的关键因子,过量磷酸盐会引发藻类大量繁殖,导致水体溶解氧降低,威胁水生态系统的稳定性。

(二) 水体中常见阳离子

水体中的常见阳离子包括钠离子、钾离子、钙离子和镁离子等,这些阳离子的浓度和分布情况对水质有着重要影响。钠离子(Na^+)广泛存在于自然水体中,其来源主要是岩石风化、海水入侵以及工业废水排放,通

常其浓度在10–200 mg/L不等，过高的钠离子浓度可能会对农业灌溉水质和人体健康产生不利影响。钾离子 (K^+) 是植物生长的重要营养元素，但在自然水体中的浓度一般较低，通常小于10 mg/L，主要来自土壤溶解和农业径流。钙离子 (Ca^{2+}) 是水体硬度的主要贡献者，常见于地下水中，其浓度通常在50–200 mg/L之间，钙离子的存在影响水的软硬度，过高的硬度可能导致管道结垢问题。镁离子 (Mg^{2+}) 也是硬度的重要组成部分，通常与钙离子一起存在于水体中，浓度范围为10–50 mg/L，镁离子对人体健康有益，但高浓度时可能影响水的适口性。这些阳离子的浓度变化往往与水的来源、地质条件和污染状况密切相关，对水环境监测和水质管理具有重要意义。

(三) 特殊污染物检测

水体中的特殊污染物包括氰化物、重金属离子、挥发性有机物等，这些物质即使浓度较低，也会对生态环境和人类健康产生严重影响。氰化物 (CN^-) 是一种高毒性化合物，主要来源于矿业、金属冶炼和电镀行业的废水排放，通常检测限要求达到 $\mu g/L$ 级别，其超标会导致水生生物死亡，并对人体神经系统产生危害。重金属离子如铅 (Pb^{2+})、镉 (Cd^{2+})、汞 (Hg^{2+}) 等具有生物累积性，长期暴露在这些污染物中的水体环境下，可能引发严重的健康问题，包括肾脏损害、神经系统紊乱和癌症，重金属离子通常要求检测限达到ppb (十亿分之一) 级别。挥发性有机物 (VOCs) 是另一类重要的水体污染物，主要来自工业溶剂、石油化工和农药残留等，苯类、三氯乙烯等 VOCs 不仅具有毒性，还可能在水体中产生持久污染，影响饮用水安全。离子色谱技术可以与其他技术如质谱联用，增强对这些特殊污染物的灵敏度和选择性，使得水质监测的结果更加精确和可靠。

三、离子色谱技术在水环境监测中的应用

(一) 地表水及地下水中的污染物监测

地表水和地下水中的污染物监测对于保障水资源安全具有重要意义，离子色谱技术在这一领域表现出色。地表水，如河流、湖泊和水库，易受到农业径流、工业废水和生活污水的污染，常见污染物包括阴离子如硝酸盐 (NO_3^-)、磷酸根离子 (PO_4^{3-}) 和氯离子 (Cl^-)，以及阳离子如钙 (Ca^{2+})、镁 (Mg^{2+}) 和钠 (Na^+)。硝酸盐浓度超标可引发水体富营养化，导致藻类爆发，进而造成生态失衡。根据环境标准，饮用水中的硝酸盐含量应低于50 mg/L，而地表水中常见的浓度范围则可能因污染程

度不同而变化。此外，地表水还可能受到重金属离子的污染，如铅 (Pb^{2+})、镉 (Cd^{2+}) 等，这些污染物对水生生态系统和人类健康具有长期危害，通常要求检测限达到ppb级别。

地下水污染物监测同样重要，地下水广泛用于饮用水和灌溉，污染物来源可能是农业活动、工业渗漏或自然地质过程。地下水中常见污染物包括氟化物 (F^-)、铁 (Fe^{2+})、锰 (Mn^{2+}) 等，氟化物浓度过高可能引发氟骨症，世界卫生组织建议其在饮用水中的含量不超过1.5 mg/L。通过离子色谱技术，可以精确分析地下水中这些离子的浓度及变化趋势，为地下水质量评估和污染治理提供重要依据。地表水和地下水的污染物监测不仅可以预防污染扩散，还能为水质改善和管理提供科学支持，有助于保障饮用水和生态环境的安全。

(二) 工业废水中的离子分析

工业废水中存在着许多复杂离子成分，不仅会影响水体质量而且还会给生态环境及人体健康造成严重损害。利用离子色谱技术对离子分析可以准确地鉴定并定量废水中阴阳离子含量，并对污染物类型及浓度做出有效评价。工业废水常见阴离子有氯离子 (Cl^-)，硝酸根 (NO_3^-) 和磷酸根 (PO_4^{3-})，浓度一般都很高，尤其在化学、冶金和药物制造等领域，氯离子的浓度可能高达数百到上千 mg/L，并且对水环境具有很强的腐蚀性。硝酸根的来源是含氮化合物的使用和排放，其浓度可能介于50–500 mg/L，如果长时间排放，可能会导致附近水体的富营养化和生态平衡被打破。磷酸根在农业及化肥工业废水中普遍存在，超标排放可导致水体富营养化并损害水生态系统。

工业废水含有丰富的阳离子，例如钙离子 (Ca^{2+})、钠离子 (Na^+)、钾离子 (K^+) 等，特别是在电镀、纺织和造纸等行业中，钠离子的浓度可以超过1000 mg/L。钙离子、镁离子浓度过高会造成废水硬度升高，从而影响水处理工艺效率。利用离子色谱技术可以做到准确地分析这些阳离子，其检测限可以达到 $\mu g/L$ 级。对于这些高浓度离子成分来说，离子色谱技术既可以进行快速分离又可以有效地避免高浓度干扰使工业废水多组离子同时检测更精确、更高效，为控制与控制污染物排放提供有力技术支撑。

(三) 饮用水质量监测

饮用水质量的监测是确保公共健康的重要环节，离子色谱技术在这一领域发挥了关键作用。饮用水中常见

的阴离子和阳离子，如氯离子 (Cl^-)、硝酸根 (NO_3^-)、硫酸根 (SO_4^{2-})、钙离子 (Ca^{2+})、钾离子 (K^+) 等，需要严格控制其浓度，以满足国家饮用水标准。氯离子是自来水消毒后残留的主要物质，其含量应控制在 250 mg/L 以下，超标可能影响水的口感并对人体健康产生不利影响。硝酸根离子则是饮用水中的一个关键指标，长期摄入过量硝酸盐 (大于 50 mg/L) 可能导致甲状腺功能障碍和婴儿蓝婴症等健康问题。硫酸根离子的浓度一般要求不超过 250 mg/L，否则可能引发消化系统疾病。

除了常见离子，饮用水中的痕量污染物如氟化物 (F^-)、铅 (Pb^{2+})、汞 (Hg^{2+}) 等也必须受到监控。氟化物浓度应保持在 0.5–1.5 mg/L 之间，过高或过低都可能致牙齿和骨骼疾病。铅和汞等重金属离子具有高度毒性，世界卫生组织建议饮用水中铅的浓度不应超过 10 $\mu\text{g/L}$ ，汞则应低于 1 $\mu\text{g/L}$ ，这些重金属如果超标会对神经系统和肾脏产生严重危害。离子色谱技术能够高效分离并同时检测多种离子，其灵敏度可达到 ppb 级别，使得痕量污染物的监测更加精准，为饮用水质量的长期监测和安全保障提供了可靠的技术支持。同时，离子色谱结合自动化和在线监测技术，可以实时掌握饮用水中污染物的动态变化，及时预警并采取相应措施。

(四) 农业径流监测中的应用

农业径流中的污染物监测对于保护水体环境至关重要，离子色谱技术在此类监测中起到了核心作用。农业活动中大量使用化肥和农药，这些化学物质通过径流进入地表水和地下水，形成潜在污染。常见的阴离子污染物包括硝酸盐 (NO_3^-)、磷酸根 (PO_4^{3-}) 和氯离子 (Cl^-)。硝酸盐是氮肥的主要成分，其在径流中的浓度通常较高，可达到 10–100 mg/L，过量硝酸盐会导致水体富营养化，进而引发藻类爆发和水质恶化。磷酸根主要来源于磷肥，磷在水体中的积累会加速水体的富营养化，浓度常在 0.1–10 mg/L 范围内，监测其含量对于预防水体污染至关重要。氯离子则主要来自含氯农药或其他化学物质的残留，径流中的氯离子含量可能在 20–200 mg/L 不等。

农业径流中的阳离子污染物也需要关注，如钾离子

(K^+) 和铵根离子 (NH_4^+)，这些阳离子来自农作物所使用的钾肥和氮肥。钾离子浓度通常在 1–20 mg/L 之间，而铵根离子可达到 1–50 mg/L，铵态氮的过量排放不仅会影响水质，还可能转化为氨气，对水生生物产生毒性作用。通过离子色谱技术，可以快速、精确地分析农业径流中的多种离子组分，其检测限能够达到 $\mu\text{g/L}$ 级别，为评估和控制农业径流污染提供了科学依据。此外，离子色谱可以与其他技术联用，如质谱技术，用于痕量有机污染物如农药残留的检测，进一步提高农业径流监测的全面性和准确性。这种技术的应用有效支持了水资源保护和可持续农业发展。

结束语

离子色谱技术作为一种高效率、高灵敏度和可靠性极高的分析工具，在水质环境监测方面展示了极大的应用前景。不管是地表水、地下水、工业废水、饮用水还是农业径流中污染物分析都离不开离子色谱技术，离子色谱技术凭借其多组分同时检测、检测限低、分离效率高优势，为水质安全评估及污染防治等工作提供坚实技术支持。基于对仪器设备及分析方法的持续优化，今后离子色谱技术将会被更广泛应用到水环境实时监测，痕量污染物检测及自动化水质管理等领域。通过对这一技术的进一步运用，水环境污染问题会得到更有效地治理，从而为水资源可持续利用以及生态环境长期发展提供了强有力的保障。

参考文献

- [1] 曹琳. 常规水环境监测中离子色谱法常见问题及处理分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2022(14): 182–184.
- [2] 徐立枫. 离子色谱法在环境监测领域的应用及前景展望[J]. 科学与信息化, 2022(4): 49–51.
- [3] 董泽林, 王婉雪, 刘思远. 环境监测中离子色谱技术的应用[J]. 化工设计通讯, 2022(5): 48.
- [4] 沈贤, 赵鑫, 孙春花. 离子色谱技术在水环境监测中的应用[J]. 中国资源综合利用, 2022(5): 40.