

离子色谱法在饮用水水质分析中的应用研究

赵霞*

(瓦房店市疾病预防控制中心, 大连 116300)

摘要: 离子色谱法是一种常用的现代检测技术, 具有操作便捷、检测快速、灵敏度和准确度高等优势, 在水质、土壤及大气等环境检测中具有重要的应用价值。饮用水安全直接关乎每个人的健康。饮用水水质分析在保障居民健康和公共卫生等方面发挥了重要的作用。因此需要重视并加强饮用水水质分析工作, 能为用水安全提供保障。离子色谱法是饮用水水质分析的常用方法, 本文旨在全面分析离子色谱法在饮用水水质分析中的应用, 先分析离子色谱法的概念、应用原理, 并结合最新研究进展, 探讨离子色谱法在无机离子、消毒副产物、高氯酸根检测中的应用和局限性, 以期在水质分析领域提供有益借鉴。

关键词: 饮用水; 水质分析; 离子色谱法

0 引言

当今社会饮用水的水质安全问题深受大众的关注。水质的优劣直接关系到人们的生命健康。随着城市化进程的深入, 水体污染问题愈发严重, 加强饮用水水质的监测和分析至关重要。离子色谱法凭借其高效、快速、准确的优势, 在饮用水水质分析中的应用日益广泛。该项技术能够准确测定水体中各种离子的类型和含量, 进而判断水质情况, 且具有操作便捷、前处理简单、灵敏度高等特点, 在水质分析中具有极高的应用价值。在具体分析过程中, 离子色谱法主要用于测定水中无机离子、消毒副产物、农药残留等物质, 能够及时发现水质问题, 为用水安全提供保障。另外, 该项技术还能够用于水中营养物质的测定和分析, 为饮用水品质的提升提供技术支持。本文旨在深入研究离子色谱法在饮用水水质分析中的最新研究进展, 探讨该方法在提高水质监测效率与精度方面的应用效果, 以及其对促进环境监测技术发展和支持水资源管理与保护的重要作用, 为提升饮用水安全保障水平提供科学依据。

1 离子色谱法概述

离子色谱法是一种以离子交换原理为基础的色谱检测技术, 主要用于连续分离、定性和定量检测多种阴离子或阳离子^[1]。该方法在水质分析中作用显著, 可以高效、准确地测定水中的各种离子成分。

离子色谱法的使用原理主要包括以下方面。第一, 离子交换。通过固定相和流动相之间的离子交换, 根据离子和树脂之间亲和力的不同, 实现离子的分离^[2]。第二, 电导检测。采用

电导检测仪器对流出物的电导变化进行测定, 进而明确离子的类型和浓度。为了提高检测灵敏度, 多数情况下需要使用抑制柱去除流动相中的反离子, 以降低背景电导^[3]。第三, 色谱柱。色谱柱是实现离子分离的重要部件, 需要填充具备低交换容量的离子交换树脂。对阳离子进行分析时, 采用低容量阳离子交换树脂; 对阴离子进行分析时, 采用低容量阴离子交换树脂^[4]。离子色谱仪器设备见图1。



图1 离子色谱仪器设备

另外, 随着科技的进步, 离子色谱法也在不断发展和完善。新型色谱柱材料的开发, 如有机-无机杂化材料、纳米复合材料等, 不仅提高了色谱柱的选择性和分离效率, 还拓宽了离子色谱法的应用范围。此外, 结合质谱、光谱等其他分析技术, 离子色谱法还能实现更加复杂样品的综合分析和鉴定, 为科学研究提供更加全面深入的信息。

2 离子色谱法在饮用水水质分析中的应用

2.1 无机离子检测中的应用

饮用水中无机离子对水质有直接影响。常见的无机离子主

* 通信作者: 赵霞, 副主任, 卫生技术人员, 研究方向为理化检验技术。E-mail: qxhcy456@163.com

要有氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子、氟离子、钠离子、镁离子、钙离子等。这些离子的含量不但会直接影响水的口感和硬度，还与人体健康密切相关^[5]。例如，高浓度的铁、锰离子会导致水呈现不良色泽和异味；钙、镁离子含量过高会增加水的硬度；铅、镉等部分重金属离子对人体健康有潜在危害。离子色谱法凭借其高灵敏度、高选择性的特点，在饮用水无机离子的检测中优势显著^[6]。相关研究中^[7]，主要检测某地饮用水的无机阴离子情况，如类型、含量等。研究结果显示，硫酸根离子等无机阴离子的方法检出限为0.16~0.45 μg/mL，回收率大于97%，相对标准的区间范围为0.70%~2.40%。通过结果显示该地区饮用水的负离子检测结果不达标，长期饮用必然会影响到人体健康，引发疾病问题。过往饮用水水质分析中，无机离子的测定多采用理化检验法，检测用时较长，工作效率低下；而使用离子色谱法，能够在短时间内测定多种无机离子的类型、含量，显著提高检测效率，且整体应用成本较低。相关研究显示^[8]，在饮用水水质分析中，离子色谱法对氯离子等无机离子的方法检出限较低，能够满足检测要求，准确度高，可作为优选检测方法。另外，离子色谱法不仅在检出限方面具有优势，其分析速度也相对较快，能够在短时间内处理大量样品，这对于需要高效监测饮用水水质的场合尤为重要。该方法还具有良好的重现性和稳定性，确保了检测结果的可靠性和一致性。

另外，相关研究^[9]在饮用水水质分析中采用离子色谱法对饮用水的硬度等参数进行测定，并与乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)滴定法进行比较。通过研究结果可知，在钙离子和镁离子的测定方面，离子色谱法的方法检出限更低，其他无机离子检测方面两种方法并无明显差异。检出限更低提示离子色谱法能够检出更低浓度的钙离子和镁离子，在水质中离子的微量分析中具有更高的灵敏度和准确性。EDTA-2Na作为常用的硬度检测方法，具有操作简便、成本低廉等优势，但是检测灵敏度有待提高，尤其是在需要精确测量极低浓度离子的情况下，该方法可能无法提供足够的准确度^[10-11]。另外，该方法对复杂水样的前处理要求较高，操作相对繁琐；同时，某些特定离子的检测可能受到其他共存离子的干扰，影响检测结果的准确性。

但是需要注意，尽管离子色谱法在饮用水无机离子检测中表现出色，但在实际应用中仍存在一些挑战和局限性。例如，对于某些特定离子的检测，可能需要进一步优化实验条件以提高检测精度和准确性。此外，离子色谱法的设备成本和维护费用也相对较高，这在一定程度上限制了其在一些资源有限地区的推广和应用。因此，需要继续优化离子色谱法的实验条件和技术参数，以提高对特定离子的检测精度和准确性。这包括选择合适的色谱柱、调整流动相组成和流速、优化检测波长等。同时，应积极探索离子色谱法与其他检测技术的结合应用，以形成互补优势。例如，可以将离子色谱法与电化学检测、光谱检测等技术结合起

来，实现对多种无机离子的同时检测和快速分析。

2.2 消毒副产物检测中的应用

溴酸盐是一种常见的消毒副产物和致癌物，主要为臭氧消毒后经溴化物产生的一种副产物。另外，采用二氧化氯消毒、次氯酸盐消毒等方法也可能产生溴酸根离子^[12]。目前国际和国内对饮用水中溴酸盐的含量制定严格的要求，通常不能超过10 μg/L。采用离子色谱法对这一副产物进行检测时，冲洗液主要选择氢氧化根淋洗液、碳酸盐淋洗液，并严格控制检测质量浓度，减少其他因素的影响。在使用氢氧化根淋洗液时，导电率的背景值较低，不存在水负峰，水是主要产物，检查的灵敏度高；如果使用碳酸盐淋洗液，导电率具有较高的背景值，需要通过抑制器获得碳酸产物^[13]。具体分析过程中，可以选用电导检测器等专业仪器，并合理选择离子色谱法的柱后衍生剂，严格控制检出限。但是离子色谱法在实际应用过程中也存在一定的不足。例如，柱后衍生方法虽然灵敏度高，但是操作流程相对复杂，难以有效控制衍生条件，而电导检测仪则容易受其他因素影响^[14]。

氯化消毒是饮用水的主要消毒方法之一，同时也可能产生各类消毒副产物，卤乙酸是常见消毒副产物之一，具体能够划分为5种类型，规定其含量不可大于30 μg/L。EPA552.3和EPA 557是美国环境保护署(EPA)制定的测定方法，具有较高的灵敏度和较低的检出限，是饮用水水质检测的常用实验室方法^[15]。但是相关方法的检测成本较高，所用仪器设备的精密性、专业性较强，实际推广难度较大。另外，液液萃取衍生气相色谱法也是饮用水中卤乙酸的常用测定方法，可以有效测定三氯乙酸、二氯乙酸等物质的含量，但是该方法通常需要使用大量的有机试剂，且样品前处理过程相对复杂，实际应用具有局限性。由于卤乙酸的亲水性强，如果饮用水pH值较高，能够促进卤乙酸的分离解析，通过离子色谱法进行检测，前处理过程相对简单，且具有较高的灵敏度和准确性。

在饮用水消毒副产物亚氯酸盐、氯酸盐等物质的测定中，离子色谱法的应用优势明显。在具体检测过程中，通常采用阴离子色谱柱，原因在于其亲水性强且容量大，同时注意最低检出限、浓度范围的控制。相关研究显示^[16]，离子色谱法中IonPacAS20阴离子色谱柱的分离效果理想，且检测用时较短，可作为优选方法。应用离子色谱法检测在饮用水消毒副产物时，仍需注意一些问题。首先，针对溴酸盐等副产物的检测，虽然离子色谱法灵敏度高，但柱后衍生方法的操作复杂性不容忽视。建议进一步研发更为简便、高效的衍生方法，以降低操作难度并提高检测效率。其次，在卤乙酸的检测中，虽然离子色谱法前处理简单且灵敏度高，但仍需关注样品pH值对检测结果的影响，确保检测结果的准确性。最后，针对亚氯酸盐、氯酸盐等物质的测定，建议继续探索和优化离子色谱法的检测条件，以进一步提高其检测精度和可靠性。针对溴酸盐检测中存在的问题，还需要积极开发新

的高选择性固定相,以提高溴酸盐与其他共存离子的分离效率,减少干扰,进一步提升检测的准确性。同时,结合现代数据处理技术,对离子色谱数据进行分析,快速识别并校正误差,确保检测结果准确性。

2.3 高氯酸根检测中的应用

高氯酸根是环境中十分常见的污染物,主要源于工业废水等。同时,该物质对人体具有潜在危害,通过饮用水长期摄入容易引发一系列疾病问题。因此,在饮用水水质分析中,需要加强对高氯酸根的检测^[17]。作为一种分离检测方法,离子色谱法在高氯酸根的检测中发挥了重要作用。相关研究中^[18],在饮用水高氯酸根检测中采用阴离子交换色谱柱法,前处理过程中通过添加适量的过氧化氢以去除高锰酸根,检测过程中正确设置离子色谱仪的相关参数,工作站采集数据并生成谱图,利用相应的处理工具进行处理,去除不需要的杂质峰,保留需要检测的组分,检测限为 5 $\mu\text{g/L}$,线性范围为 0.5~20 mg/L 。结果显示离子色谱法的灵敏度和准确性高,可以满足复杂水样中高氯酸根的分离和检测要求。离子色谱法以其高灵敏度、高选择性和同时检测多种离子的能力,成为检测高氯酸根的理想方法。该方法通过离子交换树脂将水样中的高氯酸根与其他离子分离,并利用电导检测器测量其浓度。相比其他检测方法,如电化学法和质谱法,离子色谱法具有操作简便、分析速度快、成本低廉等优势,更适用于大规模的水质监测工作^[19]。在实际应用中,离子色谱法能够准确检测出水中痕量的高氯酸根,满足严格的环保标准和健康要求^[20],可作为高氯酸根检测的优选方法,具有较高的应用价值,但仍需关注其在实际应用中的局限性,如某些复杂水样中可能存在的干扰物质。建议进一步研发更高效的预处理技术和更灵敏的检测手段,以拓宽离子色谱法的应用范围,并提高其检测精度和稳定性。如固相萃取和膜分离技术,以有效去除水样中的基质干扰和杂质,提高离子色谱法对高氯酸根的检测精度。同时,结合现代仪器分析技术,如高效液相色谱-质谱联用技术,可以进一步验证离子色谱法的检测结果,确保数据的准确性和可靠性。

3 结束语

离子色谱法在饮用水水质分析中具有重要的应用价值,对于保障饮用水安全具有重要作用。随着技术的发展,新型色谱柱、分离方法的出现,离子色谱法的应用范围也会得到扩大,其在饮用水水质分析中的作用将更加凸显。未来,随着人们对水质要求的提高,需要进一步加强对离子色谱法的应用和研究,注重技术创新,为水质监测技术的发展提供有力支持。

参考文献

[1] 田冶,冯媛媛,陶晓莎,等.固相萃取-离子色谱法检测利福平及利福喷丁胶囊中亚硝酸根离子[J].中国新药杂志,2023,

- 32(21):2218-2224.
- [2] 郭龙伟,赵迎春,姜明俊,等.离子色谱法在检测标准中的应用现状及展望[J].现代食品,2023,29(05):16-19,24.
- [3] 张秀莲.离子色谱法在生活饮用水检测中的科学运用[J].食品安全导刊,2023(02):176-178.
- [4] 胡淑莉.离子色谱法在庄浪县农村饮用水水质检测中的应用[J].农业科技与信息,2021(16):50-51,57.
- [5] 刘小平,段正奎.离子色谱法测定水中4种无机阴离子的研究[J].黑龙江环境通报,2023,36(04):150-152.
- [6] 李维旭,谢文强.离子色谱法测定水中五种无机阴离子系统检测条件优化[J].绿色科技,2021,23(14):100-101.
- [7] 范月娥,贾剑峰.离子色谱法测定水中无机阴离子遇到的问题及解决方法[J].山西冶金,2021,44(06):206-208.
- [8] 钟少芬.离子色谱法测定地下水中4种无机阴离子的优化条件[J].价值工程,2023,42(36):147-150.
- [9] 陈燕.在线超滤-离子色谱法测定生活水体七种无机阴离子[J].广东化工,2022,49(18):179-181.
- [10] 姚哲渊,黄卓寅,黄雪婷,等.离子色谱法应用于杭州地表水中有机酸及无机阴离子分布研究[J].四川环境,2022,41(01):58-65.
- [11] 杨东成,陈景周,李倩盈,等.高压离子色谱法同时测定自来水中12种无机阴离子[J].广东化工,2022,49(13):184-187,177.
- [12] 周兴军,毕志丽,喻宏伟.离子色谱法测定水中消毒副产物含量[J].环境与发展,2020,32(05):131-132.
- [13] 许珉.离子色谱法同时测定生活饮用水中五种常见消毒副产物和草甘膦[J].环境卫生学杂志,2022,12(04):298-303.
- [14] 张谦.离子色谱法测定饮用水中消毒副产物的研究[J].轻工标准与质量,2022,(03):74-76.
- [15] 廖爽,乔茜茜,雷静,等.离子色谱法测定水中5种消毒副产物的影响因素分析[J].河南科技,2021,40(32):145-147.
- [16] 刘文军,马姝湜,李宝民.气相色谱法与离子色谱法测定出厂水中消毒副产物二氯乙酸及三氯乙酸的方法比对[J].广东化工,2020,47(20):34-35,48.
- [17] 鲍兴敏,王静,褚旭潇.离子色谱法测定水中高氯酸根含量[J].品牌与标准化,2023,(04):78-81.
- [18] 陈平.高压离子色谱法同时测定生活饮用水中亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐、氯化物、氟化物[J].江苏预防医学,2023,34(05):592-593.
- [19] 王利,崔建勇,徐静.氧化银沉淀-离子色谱法测定盐湖水中的氟离子、硝酸根和硫酸根[J].世界核地质科学,2021,38(01):106-111.
- [20] 吕长宽,唐碧玉,吴琼,等.超声提取-离子色谱法测定钨尾矿中水溶性氟氟和硫酸根[J].冶金分析,2023,43(03):21-26.