

高效液相色谱技术在水质检测中的应用研究

高维丽

天方药业有限公司 河南 驻马店 463000

摘要: 高效液相色谱技术凭借高效分离与精准检测能力,在水质检测领域应用广泛。本文阐述该技术核心原理、关键参数及核心部件,分析其在有机、无机检测中的应用范围,探讨样品前处理、实验操作、仪器维护等应用管控要点,并从技术优化、融合、拓展方向展望其发展,为提升水质检测水平提供技术参考。

关键词: 高效液相色谱技术;水质检测;应用范围;应用管控;发展方向

引言:水质安全关乎人类健康与生态环境稳定,准确检测水质污染物是保障水质安全的关键环节。传统水质检测方法存在灵敏度低、检测范围有限等问题,难以满足日益复杂的水质检测需求。高效液相色谱技术作为一种高效、精准的分析手段,具有分离效率高、检测灵敏度好、应用范围广等优势,在水质检测中发挥着重要作用,成为当前水质分析领域的研究热点。

1 高效液相色谱核心技术基础

1.1 技术核心原理

分离原理基于不同物质在固定相和流动相之间分配系数、吸附能力、分子大小等物理化学性质的差异,当样品随流动相流经固定相时,各组分与两相发生连续多次相互作用,导致迁移速度产生差异,进而实现各组分的有效分离^[1]。洗脱机制遵循溶质在两相之间的动态平衡过程,流动相持续推动样品组分沿色谱柱移动,通过改变流动相极性、组成等条件,调节组分与固定相的作用强度,使不同组分按先后顺序从色谱柱中流出,完成洗脱过程。检测原理是利用组分自身的物理或化学特性,当组分从色谱柱流出后进入检测器,检测器将组分的物理化学信号转换为可测量的电信号,信号强度与组分含量存在明确对应关系,以此实现对组分的定性识别。

1.2 核心组成部分

输液系统作为整个色谱系统的动力核心,主要功能是将流动相以稳定的速度输送至色谱柱,确保流动相流量均匀、压力稳定,减少流量波动对分离效果和检测结果的影响,常用高压输液泵作为核心部件。进样系统负责将预处理后的样品精准、定量地引入流动相,保证进样量的准确性和重复性,避免进样过程中样品扩散或污染,保障分离和检测的可靠性。分离系统是实现组分分离的核心单元,核心部件为色谱柱,样品组分在色谱柱内完成与固定相和流动相的相互作用,最终实现分离。检测系统用于捕捉经色谱柱分离后的各组分信号,将组

分的特性转化为可记录的电信号,不同类型检测器适用于不同性质组分的检测,保障检测的特异性和灵敏度。数据处理系统用于接收检测器传输的电信号,对信号进行采集、处理、分析和存储,将电信号转换为直观的色谱图,便于后续组分定性及相关分析。

1.3 技术关键参数

流动相选择与配比需结合样品组分的物理化学性质,选择极性、溶解度等与组分匹配的流动相体系,合理调节不同流动相的配比比例,优化组分分离效果,减少分离时间并提高分离度。色谱柱规格与选型需根据分离需求确定,规格参数直接影响分离效率和分离效果,选型需结合组分极性、分子大小等特性,选择合适固定相类型和柱长、内径的色谱柱。检测波长设定需依据组分的紫外吸收特性,选择组分吸收强度最大且干扰最小的波长,提升检测灵敏度,降低基线噪音对检测信号的影响。流速控制需根据色谱柱规格和流动相特性合理设定,流速过快会降低分离度,流速过慢会延长分析时间,稳定的流速的是保障分离效果和检测重复性的关键。

2 高效液相色谱技术在水质检测中的应用范围

2.1 有机污染物检测

多环芳烃检测针对水质中源于化石燃料燃烧、工业废气沉降及污水排放的疏水性芳香族化合物,这类物质难降解、易累积,高效液相色谱技术优化固定相极性与流动相配比,可精准分离检测低浓度组分,契合水质痕量有机污染物检测需求。酚类化合物检测覆盖水质中各类酚衍生物,主要源于煤化工、制药、印染等工业废水,部分物质强毒性且易溶于水,依托高效液相色谱技术高灵敏度,可精准捕捉信号,有效区分不同酚类^[2]。农药残留检测聚焦农业生产中经地表径流、地下水渗透进入水体的农药成分,调节检测波长与洗脱程序,可高效分离不同极性农药残留,满足水质微量农药残留检测标准。抗生素类物质检测针对医疗、畜禽养殖废水带入的抗生素

成分,这类物质浓度低微却易诱发耐药性风险,结合固相萃取预处理与色谱分离优势,可精准检出。在制药用水检测中,高效液相色谱技术可检测其中可能存在的抗生素、有机溶剂残留等。制药用水纯度要求高,抗生素残留影响药品质量,有机溶剂残留可能来自生产溶剂使用,该技术能精准检测微量有机污染物,保障制药用水质量安全。内分泌干扰物检测针对水质中具激素活性的有机化合物,多来自洗涤剂、塑料制品降解,通过特异性检测条件设置,可有效识别检测这类物质,保障水体生态安全。

2.2 无机污染物检测

重金属离子检测聚焦水质中铅、镉、汞等有毒有害重金属元素,这类离子主要来源于矿山开采、冶金加工及化工废水排放,高效液相色谱技术可通过络合反应将重金属离子转化为稳定络合物,再借助色谱分离体系实现不同重金属络合物的分离与检测,弥补传统检测方法在多元检测中的局限。无机阴离子检测覆盖水质中氟离子、氯离子、硝酸盐等组分,这类物质过量存在会影响水质口感与饮用安全性,部分阴离子还会诱发水体富营养化,通过离子交换色谱模式,可实现各类无机阴离子的快速分离与检测,兼顾检测效率与准确性。营养盐类物质检测针对水质中氮、磷相关营养盐成分,主要来源于生活污水排放、农业化肥流失,过量存在会引发水体富营养化,通过优化检测条件,可实现各类营养盐成分的精准检测,为水质营养盐管控提供技术支撑。在制药用水检测方面,对于其中可能存在的重金属离子,如铁、铜等,高效液相色谱技术可通过合适的络合剂将它们转化为络合物后进行分离检测,确保制药用水符合相关质量标准,避免重金属离子对药品生产过程和药品质量产生不良影响。

2.3 其他特殊污染物检测

随着水质污染类型不断多样化,各类新型特殊污染物逐步出现,此类污染物含量低、危害大,对生态环境和人体健康构成严重威胁,因而对检测技术要求较高。高效液相色谱技术凭借优异的分离与检测性能,可适配各类特殊污染物检测,填补新型水质污染检测技术空白,完善水质检测体系。饮用水消毒过程中会产生各类消毒副产物,部分消毒副产物具有潜在毒性,利用高效液相色谱技术,能够实现水中各类消毒副产物的精准检测,保障饮用水消毒安全与水质达标。微塑料易通过各类途径进入水体,可在水体中长期蓄积并危害水生生态系统,而该技术凭借其独特优势,可实现水中不同粒径微塑料的分离与检测,解决微塑料微量检测难题。环境激素类物质种

类繁多、分布广泛,易干扰生物体正常生理功能,高效液相色谱技术凭借高灵敏度和特异性,能够实现此类物质的精准捕获与检测,为相关污染管控提供技术支撑。

3 高效液相色谱技术在水质检测中的应用管控

3.1 样品前处理管控

样品采集与保存需严格遵循水质检测相关技术规范,根据检测目标合理确定采集点位、采集量及采集时机,选用惰性材料容器避免样品组分被吸附或容器材质与样品发生反应,通过调节样品pH值、添加适配防腐剂或冷藏处理等方式,抑制样品组分降解或转化,维持样品原有特性,确保采集样品能够真实反映水体实际污染状况,为后续检测工作奠定可靠基础^[3]。样品净化处理核心目的是去除样品中与检测目标无关的干扰组分,通过固相萃取、液液萃取、膜分离等成熟预处理技术,有效分离样品中的悬浮杂质、共存干扰物质,减少干扰组分对色谱分离效果和检测信号的影响,避免干扰组分导致检测偏差,保障检测结果的准确性。样品富集处理主要针对水质中痕量、超痕量污染物,这类污染物浓度过低难以达到检测器响应阈值,通过浓缩、萃取、吸附等富集手段,提高目标污染物浓度,使低浓度污染物能够被检测器有效捕捉,提升检测灵敏度,满足水质中痕量污染物的检测需求,填补低浓度污染物检测的技术短板。

3.2 实验操作管控

仪器校准与调试需定期开展,按照仪器使用规范和检测标准要求,对色谱柱、检测器、高压输液泵等核心部件进行参数校准,精准调节流动相流速、检测波长、柱温等关键操作参数,排查仪器运行过程中可能存在的异常情况,确保仪器始终处于最佳工作状态,为检测工作的顺利开展提供设备保障。操作流程规范性要求实验人员严格遵循高效液相色谱实验操作规程,规范流动相配制、脱气、过滤等前期准备工作,精准控制进样量、进样速度等操作细节,规范实验过程中的每一个步骤,避免操作失误导致色谱分离效果变差、检测峰形异常或检测结果出现偏差,保障实验过程的科学性和规范性。干扰因素防控需结合检测目标和样品特性,全面分析实验过程中可能存在的干扰类型,包括样品基质干扰、流动相杂质干扰、环境因素干扰等,通过优化流动相比、调整洗脱程序、改进样品前处理方法等方式减少各类干扰,同时合理控制实验环境的温度、湿度,降低环境因素对实验过程和检测结果的影响。

3.3 仪器维护管控

色谱柱维护与保养是延长仪器使用寿命、保障分离效果的关键,实验结束后需用适配溶剂缓慢冲洗色谱柱,彻

底去除柱内残留的样品组分和流动相杂质,避免残留组分吸附在固定相表面导致柱效下降、分离能力降低,长期不用时需按照规范用保护溶剂封存,放置在适宜环境中,防止色谱柱老化、堵塞或损坏。检测系统清洁与校准需定期进行,及时清理检测器流通池、进样口、管路接口等易残留样品和杂质的部件,去除残留污染物避免影响检测信号稳定性,定期校准检测器的响应灵敏度和线性范围,确保检测信号能够真实反映目标污染物的浓度,保障检测结果的可靠性^[4]。输液系统维护重点关注高压输液泵和管路,定期检查管路密封性,排查泄漏隐患,及时更换老化、破损管路,定期清理泵体内部杂质和单向阀,防止杂质堵塞导致流速不稳定,维持流动相输送的均匀性和稳定性,保障整个色谱系统的正常运行。

4 高效液相色谱技术在水质检测中的应用发展方向

4.1 技术优化方向

快速检测技术优化聚焦缩短检测周期、提升检测效率,通过优化色谱柱填充材料、改进流动相体系及优化洗脱程序,减少组分分离时间,同时简化前处理流程,实现水质污染物的快速筛查与检测,适配大批量水质样品的检测需求。高灵敏度检测改进以提升痕量污染物检出能力为核心,通过改进检测器性能、优化检测条件及完善信号处理技术,降低检测限,实现水质中更低浓度污染物的精准识别,满足水质检测不断提高的灵敏度要求。多组分同时检测优化围绕简化检测流程、降低检测成本展开,通过优化色谱分离条件、调整流动相配比及改进检测模式,实现不同极性、不同类型污染物的同步分离与检测,减少检测步骤,提升检测效率与实用性。

4.2 技术融合方向

与质谱技术融合可结合两种技术优势,借助高效液相色谱的高效分离能力与质谱技术的高特异性、高灵敏度定性能力,实现水质污染物的精准定性与定量,解决单一技术在复杂水质样品检测中的局限性,提升检测结果的可靠性。与固相萃取技术融合可优化样品前处理效果,通过固相萃取技术的高效富集与净化能力,去除样品中干扰组分、提高污染物浓度,配合高效液相色谱的分离检测优势,进一步提升痕量污染物的检测灵敏度与准确性,适配复杂水质样品检测需求。与自动化技术融

合可实现检测流程的自动化控制,通过自动化样品前处理、自动化进样、自动化数据处理等模块的整合,减少人为操作干预,降低操作误差,提升检测效率与检测结果的重复性,适配规模化水质检测场景。

4.3 应用拓展方向

新型污染物检测拓展针对环境中不断出现的新型水质污染物,通过优化检测条件、开发适配的分离与检测方法,将高效液相色谱技术应用于新型污染物的检测领域,填补新型污染物检测技术空白,保障水体环境安全^[5]。现场快速检测应用拓展聚焦打破实验室检测的局限性,开发小型化、便携式高效液相色谱检测设备,简化操作流程、缩短检测时间,实现水质污染物的现场实时检测,及时掌握水体污染状况,为污染防治提供快速技术支撑。低浓度污染物检测拓展围绕痕量、超痕量污染物检测展开,通过技术优化与技术融合,进一步降低检测限,实现水质中超低浓度污染物的精准检测,满足水质环境质量管控的严格要求,为水体生态保护提供更全面的技术保障。

结束语

高效液相色谱技术凭借其独特优势,在水质检测中展现出强大的应用潜力。通过严格的应用管控,可确保检测结果的准确性与可靠性。随着技术的不断优化、融合及应用拓展,该技术将在水质检测领域持续发挥关键作用,为应对复杂水质问题、保障水体生态安全提供坚实的技术支撑,推动水质检测技术迈向更高水平。

参考文献

- [1] 翁荣莉. 高效液相色谱技术在水质检测中的应用探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(1): 8-10.
- [2] 王雪. 高效液相色谱法在水质砷检测中的应用研究[J]. 食品安全导刊, 2024(6): 170-173.
- [3] 庄江鸿, 朱志轩. 高效液相色谱法在炼油化工水质检测中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(15): 52-54.
- [4] 李伟伟. 环境水质分析中重金属检测技术的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(1): 144-146.
- [5] 肖毕芳. 气相色谱在饮用水水质检测中的应用[J]. 当代化工研究, 2022(2): 44-46.