

环境保护视域下气相分子吸收光谱法在环境质量监测中的应用研究

谢翠明

南通市海安生态环境监测站, 中国·江苏 南通 226600

摘要: 随着社会的高速发展以及时代的不断更替, 环境保护已经成为了社会发展的重中之重。含氮化合物作为水体污染的主要指标之一, 需通过更加精确的检测方法作为基础条件。本研究基于此, 将在环境保护视域下, 使用气相分子吸收光谱法对水体当中的氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、总氮进行检测, 分析在环境质量监测应用价值。经研究表明, 在环境保护视域下, 气相分子吸收光谱法在不同氮化合物中具有较高的灵敏度以及准确度, 能够反映其中的规律, 适用于含氮化合物的水质监测工作。

关键词: 环境保护; 气相分子吸收光谱法; 环境质量监测; 应用

Research on the Application of Gas Phase Molecular Absorption Spectrometry in Environmental Quality Monitoring from the Perspective of Environmental Protection

Xie Cuiming

Hai'an Ecological Environment Monitoring Station, Nantong City, China Jiangsu Nantong 226600

Abstract: With the rapid development of society and continuous progress of the times, environmental protection has become a top priority for social development. Nitrogen-containing compounds are key indicators of water pollution, and more accurate detection methods serve as an essential foundation for relevant monitoring. From the perspective of environmental protection, this study adopts gas phase molecular absorption spectrometry to determine ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and nitrite nitrogen in water bodies, and analyzes its application value in environmental quality monitoring. The results indicate that gas phase molecular absorption spectrometry exhibits high sensitivity and accuracy for various nitrogen-containing compounds. It can reveal the variation characteristics of pollutants and is suitable for water quality monitoring of nitrogen-containing compounds.

Keywords: Environmental protection; Gas phase molecular absorption spectrometry; Environmental quality monitoring; Application

0 引言

近年来, 我国生态环境保护事业进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的时期。传统环境监测分析方法长期依赖复杂的样品前处理流程、大量化学试剂消耗与人工操作^[1], 不仅分析周期长、人为误差大, 还容易产生二次污染, 已难以适应当前我国生态环境精细化管理、突发污染事件快速应急响应以及双碳目标下监测技术绿色升级的现实需求。在此背景下, 自主可控、低耗高效的新型环境监测分析技术成为支撑生态环境治理体系和治理能力现代化的主要技术之一^[2]。气相分子吸收光谱法是一种具有完全自主知识产权的分析技术, 为环境质量监测体系提供了技术路径。气相分子吸收光谱法

最早由西方学者提出, 主要用于二氧化硫的实验室测定, 突破了催化剂研发、气态分子高效分离、特征波长精准检测等一系列技术难题^[3]。气相分子吸收光谱法已形成覆盖地表水、地下水、海水、生活污水、工业废水等多类水体的标准化检测能力, 可稳定完成氨氮、总氮、硫化物、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、凯氏氮等核心污染物指标的精准测定。本研究基于此, 选择江苏地区的地表水、地下水、污水作为代表样品, 对氨氮、总氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮方法检出限、精密度、加标回收率等进行计算, 从而为水质多场景应用监测分析和绿色环保效益方面提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

本次研究使用的气相分子吸收光谱检测仪器为北裕

HGMA390 气相分子吸收光谱仪(上海北裕分析仪器股份有限公司)。所有的试剂均达到国家的分析纯标准,将无氨水当作溶剂,保证其中的溯源性及准确率。

各试剂配制方法如下:

(1) 三氯化钛盐酸溶液(硝酸盐氮、总氮测定通用):量取三氯化钛(TiCl_3)溶液、浓盐酸与纯水,按体积比 1:1:2 充分混匀,临用现配。

(2) 氢氧化钠溶液:称取 75 g 氢氧化钠,溶于适量纯水中,待完全溶解并冷却至室温后定容至对应体积,转移至聚乙烯试剂瓶中密封保存。

(3) 溴酸钾-溴化钾储备液:称取 1.5 g 溴酸钾与 5.5 g 溴化钾,溶于适量纯水中,搅拌至完全溶解后定容,转移至棕色磨口试剂瓶内,避光冷藏保存。

(4) 次溴酸盐氧化剂(氨氮测定用):量取 50 mL 无氨水置于棕色磨口瓶中,加入定量溴酸钾-溴化钾储备液,补加盐酸酸化后立即密封摇匀,于避光处静置反应,待溶液内气泡完全消散后即可使用,临用现配。

(5) 总氮消解液:称取 9 g 过硫酸钾与 1.5 g 硼砂,溶于适量纯水中,搅拌至完全溶解后定容至对应体积,混匀后备用。

1.2 方法及原理

1.2.1 原理

对于亚硝酸盐氮来说,处于盐酸的环境中,无水乙醇会对亚硝酸盐氮产生催化作用,并形成 NO_2 气体。氨氮中,使用次溴酸盐氧化剂对其进行氧化,并通过盐酸乙醇产生催化作用,形成 NO_2 气体,将生成的 NO_2 放入吸收池,并在 213.9nm 的特征波长下完成吸光度的测定,并将其形成线性关系。

对于硝酸盐氮来说,处于盐酸的环境下,在温度为 70℃ 左右时,三氯化钛会对硝酸盐氮产生还原作用,并形成 NO 气体。总氮中,经碱性过硫酸钾氧化剂进行消解,产生转化作用的同时,形成 $\text{NO}_3\text{-N}$,通过三氯化钛还原为 NO 气体。NO 放入吸收池后,在 214.4nm 的特征波长下完成吸光度的测定,并将其形成线性关系。

总氮中,加入过硫酸钾氧化剂,将水样中氨、铵盐、亚硝酸盐以及大部分有机氮化合物全部氧化成硝酸盐,再将硝酸盐转化为气态 NO,在 214.4nm 的特征波长下测定其吸光度,最终换算得到总氮的含量,现行执行标准为 HJ 199—2023。

氨氮中,水样中的氨氮经次溴酸盐氧化剂氧化成亚硝酸盐,再在盐酸-乙醇的催化条件下转化为二氧化氮气

体,由载气将生成的 NO_2 载入气相分子吸收光谱仪的吸光管中,在对应特征吸收波长处测定吸光度,通过朗伯-比尔定律完成定量,现行执行标准为 HJ 195—2023。

1.2.2 实验步骤

实验操作严格遵循仪器作业规程执行,具体步骤如下:(1)开启高纯氮气钢瓶总阀,调节减压阀使载气输出压力稳定至 0.3 MPa,确认气路系统气密性良好、试剂管路充盈无气泡;(2)依次开启气相分子吸收光谱仪主机电源及配套工作站控制软件;(3)待仪器完成系统自检后,设置预热时长 20 min,使光学检测单元与气液反应体系达到稳定工作状态;(4)根据待检测指标调用对应标准方法文件,设置反应温度、载气流量、特征检测波长等仪器运行参数;(5)按浓度由低到高的顺序将标准系列溶液与待测水样置于自动进样器样品盘,以零浓度空白溶液完成仪器基线调零;(6)启动测定程序,依次完成标准系列测定并拟合校准曲线合格后,开展样品定量分析。

2 结果

2.1 标准曲线分析

总氮标准使用液质量浓度配制为 4.00 mg/L,氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮标准使用液质量浓度配制为 2.00 mg/L。将各指标标准使用液依次移入气相分子吸收光谱仪自动进样器样品盘,通过仪器在线稀释功能生成梯度标准系列:其中氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的标准系列浓度为 0.00、0.10、0.40、0.80、1.00、2.00 mg/L;总氮的标准系列浓度为 0.00、0.10、0.20、0.40、1.00、2.00、4.00 mg/L。以标准溶液的质量浓度为横坐标,对应特征波长下测得的吸光度为纵坐标进行线性回归,拟合得到标准曲线方程。曲线方程及相关系数如表 1 所示。

表1 曲线方程及相关系数结果分析

项目	曲线方程	相关系数
氨氮	$Y=0.4555x-0.0077$	0.9998
硝酸盐氮	$Y=0.1171x-0.0001$	0.9999
亚硝酸盐氮	$Y=0.3577x-0.0015$	0.9999
总氮	$Y=0.0981x-0.0067$	0.9995

2.2 检出限结果分析

在《环境监测分析方法标准制订技术导则》(HJ 168—2020)中,明确给出了不同平行测定次数下,自由度为 $n-1$ 、置信度 99% 时的单侧 t 值,当测定次数为 11 时,自由度为 10,对应的 t 值为 2.764,可直接代入公式 1 进行计算,样品为地表水,获取实验标准的偏差,

$$MDL=t_{(n-1,0.99)} \times S \quad (\text{公式 1})$$

经研究结果表明,氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、总氮的检出限分别为 0.003、0.003、0.002 和 0.007mg/L,测

定下限分别为 0.012、0.012、0.008 和 0.028mg/L，检出限，测定下限均符合气相分子吸收光谱法的 HJ199-2023、HJ195-2023 等相关标准。

2.3 精密度结果分析

通过不同浓度的水样分析，完成氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和总氮精密度测定，测定次数为 6 次，经研究结果表明，气相分子吸收光谱法的精密度均较高，具体数据如表 2 所示。

表2 精密度结果分析

项目	浓度	测定结果 (mg · L ⁻¹)						RSD (%)
		1	2	3	4	5	6	
氨氮	低	0.692	0.683	0.678	0.696	0.696	0.708	1.7
	中	1.51	1.54	1.52	1.52	1.53	1.52	0.7
	高	3.80	3.87	3.82	3.85	3.81	3.83	0.7
硝酸盐氮	低	1.28	1.27	1.31	1.27	1.29	1.29	1.2
	中	2.57	2.58	2.57	2.57	2.57	2.53	0.7
	高	4.19	4.28	4.26	4.21	4.23	4.24	0.8
亚硝酸盐氮	低	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.5
	中	2.24	2.23	2.19	2.23	2.22	2.24	0.9
	高	4.08	4.06	4.06	4.05	4.08	4.08	0.3
总氮	低	1.29	1.37	1.29	1.28	1.33	1.30	2.5
	中	3.00	2.98	2.97	3.14	3.12	3.04	2.4
	高	5.70	5.89	5.81	5.80	5.74	5.77	1.1

2.4 回收率结果分析

分别选择三种代表性水样进行回收率实验，经研究结果表明，氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮以及总氮的回收率结果分别为 96.0-102.1%、93.9-100.1%、93.9-104.1%、95.9-104.1%，在允许范围之内，满足 HJ 系列标准对准确度的要求，具体数据如表 3 所示。

表3 回收率结果分析

项目	实际样品 (mg · L ⁻¹)	加标样品 (mg · L ⁻¹)	加标数量 (ml)	标准溶液 (mg · L ⁻¹)	回收率 (%)
氨氮	0.050	0.147	0.24	20.0	96.0
	0.130	0.332	0.49	20.0	102.1
	0.057	0.158	0.24	20.0	101.0
硝酸盐氮	0.414	1.040	0.30	100.0	104.1
	0.847	1.125	0.50	100.0	93.9
	1.069	2.149	0.55	100.0	99.1
亚硝酸盐氮	0.006	0.021	0.040	2.00	93.9
	0.005	0.021	0.040	2.00	100.1
	0.010	0.029	0.050	2.00	95.0
总氮	0.776	2.641	0.90	100.0	104.1
	0.319	3.920	1.30	100.0	103.0
	1.459	3.900	1.30	100.0	95.9

3 讨论

3.1 方法性能与环境监管适配性

气相分子吸收光谱法完全跳出了传统分光光度法依赖显色反应生成有色物质、再通过比色定量的技术路径，而是基于气态基态分子对特定紫外特征谱线的吸收特性，遵循朗伯-比尔定律完成定量分析：通过简单的化学反应将水样中待测的氨氮、亚硝酸盐氮等组分直接转化为对应的

气态分子，在无复杂基质干扰的气相环境中完成特征波长下的吸光度测定，从原理层面规避了传统分光法的诸多固有缺陷^[4]。气相分子吸收光谱法的技术迭代完全与我国环境监管的升级节奏同频。地下水监测点位持续加密，背景值调查、饮用水源地全指标监测等工作的工作量逐年攀升，传统分光法依赖人工操作、分析效率低、质控难度大的短板，已经难以支撑大规模的常态化监测需求^[5]。而气相分子吸收光谱法的自动化程度高，搭配自动进样系统即可实现数十个样品的连续无人值守分析，大幅降低了基层监测人员的劳动强度，同时其良好的稳定性，使该方法更符合生态环境监测规范。

3.2 绿色环保效益量化分析

气相分子吸收光谱法完全跳出了传统湿化学分析依赖显色反应的技术路径，以朗伯-比尔定律为核心理论基础，通过特定的化学反应将水样中以离子或分子形态存在的待测污染物，定量转化为对应的气态分子^[6]，再将生成的气态分子载入内置的吸光管路中，利用不同气体分子在特征紫外波长下的专属吸收特性完成定量检测。整套分析流程无需添加重金属类显色试剂，仅需使用少量常规的酸类试剂完成反应转化，从源头上切断了有毒有害废液的生成路径^[7]，天然具备绿色环保的技术基因。目前该方法的成熟应用场景已经覆盖地表水、地下水、生活污水、工业废水和海水等全类型水体，可稳定完成氨氮、总氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮核心污染物指标的精准测定。

3.3 环境监测全场景应用价值

气相分子吸收光谱法突破了传统光学传感器易受交叉干扰的技术瓶颈，实现了气态特征污染物的精准、连续监测。传统烟气中硫化物、氮氧化物的监测多采用电化学传感器或非分散红外法^[8]，在高湿、高粉尘、多组分干扰的烟气环境中，极易出现数据漂移、交叉响应的问题，难以实现低浓度污染物的长期稳定监测。而气相分子吸收光谱法直接利用气态分子在 200nm 左右的特征紫外吸收峰进行定量，不同气体分子的特征吸收谱线完全独立，从原理上避免了多种共存气体的交叉干扰，可适配垃圾焚烧厂、化工园区、有色金属冶炼企业等复杂排放场景的烟气监测需求。

3.4 现存问题与推广建议

在我国生态环境监测体系向绿色化、智能化、全覆盖方向深度转型的背景下，气相分子吸收光谱法作为我国自主研发的标志性环境分析技术，历经二十余年的迭代升级，已经形成了覆盖 6 项核心水质指标的国家生态环境标准体

系,在全国 300 余家环境监测单位实现规模化应用,成为支撑流域水环境考核、污染源监管、应急监测等核心业务的关键技术力量。但在全场景推广落地的过程中,受技术迭代节奏、行业认知惯性、配套体系建设滞后等多重因素制约,该技术在应用适配、市场渗透、标准延伸等层面仍存在一系列亟待破解的现实问题,这些问题不仅限制了其绿色低碳效益的充分释放,也在一定程度上延缓了我国环境监测领域整体绿色转型的步伐,急需从技术攻关、政策引导、生态构建等多个维度系统施策,为该技术的大范围普及扫清障碍。

4 结语

本次研究严格根据 HJ 系列气相分子吸收光谱法标准对氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和总氮进行方法验证,并从技术、应用、环保三个方面展开分析,主要如下。

技术层面:气相分子吸收光谱法实验数据方法检出限低至 0.002-0.007mg/L,四氮指标方法检出限达标,形成了稳定的定量检测技术体系,符合《地表水环境质量标准》中Ⅰ类水体污染物的监测要求。

应用层面:各类水环境检测中,气相分子吸收光谱法不仅具有现场快速检测能力,还能够完成实验室批量检测,保证水质评价的客观性和公正性。

环保层面:在绿色低碳的理念下,可助力生态监测体系绿色转型,气相分子吸收光谱法能够有效降低监测环节的环境影响,对实验室绿色化建设具有推动作用

因此,气相分子吸收光谱法打破传统分光光度法检测的局限性,无论从技术还是场景适配上,都能落实减污降碳、源头控污的环境保护理念。该技术的推广应用,不仅

能提升基层环境监测数据质量与工作效率,更能推动环境监测实验室向低毒、低耗、低排放的绿色模式转型,为水环境质量常态化管控提供坚实的技术支撑,更好助力生态环境治理体系与治理能力现代化建设。

参考文献:

- [1] 宋丹丹. 气相分子吸收光谱法对地表水中“四氮”的测定和关系探究[J]. 广东化工, 2025,52(17):77-80.
 - [2] 郑鑫吾, 封莉, 刘永泽等. 气相分子吸收光谱法测定海水中氨氮的干扰因素识别及预处理方法研究[J]. 中国环境监测, 2022,38(2):172-178.
 - [3] 谢璇, 徐强, 郑琳琳等. 气相分子吸收光谱法测定工业废气中氨含量[J]. 化学工程师, 2023,37(4):18-20.
 - [4] 张敏, 张锐青. 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和气相分子吸收光谱法测定水中总氮的比较[J]. 皮革制作与环保科技, 2023,4(21):19-21.
 - [5] 韦爱菊, 周波, 毕桂真. 气相分子吸收光谱法准确测定水体中亚硝酸盐氮的分析研究[J]. 化工设计通讯, 2021,47(7):100-101.
 - [6] 孙震. 气相分子吸收光谱法测定水中总氮存在的问题及改良[J]. 科技与创新, 2021(13):149-150.
 - [7] 朱晓丹, 王伟, 魏君等. 酸化吹气-气相分子法测定固体废物中硫化物[J]. 中国环境监测, 2021,37(3):186-191.
 - [8] 王笑晨. 气相法和纳氏法测定氨氮的影响因素探究[J]. 广州化工, 2022,50(6):86-88,91.
- 作者简介: 谢翠明(1991.07-), 男, 汉族, 江苏如皋, 本科, 中级工程师, 研究方向: 环境监测。