水中氨氮快速比色检测技术在城镇污水监测中的应用研究

谢舟扬　丁泳博
陕西工程勘察研究院有限公司，陕西 西安 710000

[摘要]氨氮是衡量污水含氮污染物的重要指标，在城镇污水处理中快速准确检测氨氮意义重大，比色法原理的氨氮快速检测技术操作简单、灵敏度高、响应快且在污水监测实践里广泛应用，通过分析比色检测的反应机理、干扰因素控制、仪器选择来探讨该技术在不同污水处理阶段的适应性和数据准确性，研究发现这技术可有效提高氨氮监测效率并给污水处理系统运行调控和环境监管提供技术支持。

[关键词]氨氮检测；比色法；快速监测；城镇污水；水质分析
DOI：10.33142/ucp.v2i4.17309　　中图分类号：X505　　文献标识码：A

Application of Rapid Colorimetric Detection Technology for Ammonia Nitrogen in Water In Urban Sewage Monitoring

XIE Zhouyang, DING Yongbo
Shaanxi Institute of Engineering Investigation Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: Ammonia nitrogen is an important indicator for measuring nitrogen pollutants in sewage. Rapid and accurate detection of ammonia nitrogen is of great significance in urban sewage treatment. The colorimetric method principle of ammonia nitrogen rapid detection technology is simple to operate, highly sensitive, and responsive, and is widely used in sewage monitoring practice. By analyzing the reaction mechanism, interference factor control, and instrument selection of colorimetric detection, the adaptability and data accuracy of this technology in different stages of sewage treatment are explored. Research has found that this technology can effectively improve the efficiency of ammonia nitrogen monitoring and provide technical support for the operation and regulation of sewage treatment systems and environmental supervision.

Keywords: ammonia nitrogen detection; colorimetry; rapid monitoring; town sewage; water quality analysis

引言

城镇化进程加快，污水排放量不断上升，水体富营养化愈发严重，这受到社会广泛关注，氨氮是衡量污水中无机氮污染的关键指标，其浓度变化对水体生态安全和污水处理系统运行效率有着直接影响，传统检测方法耗时久且操作复杂，高频次高效率的监测需求难以被满足，氨氮快速比色检测技术便捷又实用，成了当前水质监测领域重要的发展方向，推动着城镇污水处理管理迈向智能化高效化。

1 氨氮在城镇污水监测中的环境意义与监测需求

氨氮是衡量水体污染程度的重要参数，在城镇污水处理与环境监管里占核心地位，加强氨氮的监测工作有助于提升污水治理效率、保护生态安全。

1.1 氨氮污染的来源与水环境危害

城镇生活污水、工业废水和农业面源污染等多种途径是氨氮排入水体的主要渠道，其中生活污水是最常见的一种来源，微生物作用于人类排泄物、洗涤废水和餐厨残余中的蛋白质、氨基酸类物质，使其分解转化为氨态氮进入水体，合成氨、染料、冶金、化肥等生产过程产生的氨氮类污染物常存在于工业废水中，若直接排放且未经有效处理，水体中氨氮浓度会迅速增加，并且农业施肥时氮肥过量使用，可能经地表径流汇入城市排水系统或地下水，造成间接污染。

水生生物会受高浓度氨氮的毒害且会加剧水体富营养化过程，引发藻类大量繁殖、水体溶氧下降等问题最终使水生态系统失衡，而且氨氮还容易转化成亚硝酸盐和硝酸盐威胁饮用水安全。城市水体氨氮超标常与黑臭水体、低溶解氧、生物多样性下降等生态问题紧密相连，加强氨氮有效监测是提升城市水环境质量的重要手段之一。

1.2 城镇污水处理中氨氮监测的重要性

城镇污水处理时污水污染程度可由氨氮浓度反映，其也是调控系统运行效率的重要指标，当下广泛使用的生物脱氮工艺对氨氮监控要求特别高，在硝化与反硝化阶段需精准控制氨氮、亚硝氮和硝酸氮浓度才能使出水水质达标，进水氨氮浓度波动大且监测不及时会直接影响曝气强度、碳源投加、污泥回流等关键参数并可能使系统紊乱，而且国家对污水排放的氨氮限值规定严格，氨氮数据既是运行考核依据也有环保监管和公众监督职能，高频率、高精度的监测能为工艺调度提供决策支撑有助于节能降耗和优化管理，污水回用、黑臭水体治理等场景中氨氮快速监测对保障水质起关键作用。

1.3 传统氨氮检测方法的局限性

传统氨氮检测方法像纳氏试剂比色法、蒸馏滴定法、离子选择电极法之类的有一定检测精度与理论依据，但一到城镇污水实际应用就有明显局限，检测周期长且样品前处理麻烦，难以满足现场快速反应和动态监测的需求，在水质波动频繁的排水系统里更加滞后，并且有些方法所用

化学试剂有毒或者有污染性、操作要求高、容易受主观因素干扰，在高浊度、强色度和复杂有机物背景下测值准确性低，经常需多次稀释、预处理，效率和适应性降低，设备操作麻烦、维护成本高、数据传输滞后等问题也限制了传统方法在智能化污水监测系统里的应用。

2 快速比色法的原理及其在氨氮检测中的适用性分析

快速比色法简便又灵敏，在氨氮检测里有广泛的应用前景，通过分析它的检测原理和性能优势就能知道它在污水监测中的适应性和实用价值。

2.1 快速比色法的基本检测原理

有一种检测氨氮浓度的叫快速比色法的方法，它让氨氮和显色剂发生化学反应生成有色络合物后用光度计测吸光度从而推算出氨氮浓度，纳氏试剂法和水杨酸法是常用体系，氨氮跟纳氏试剂法反应生成黄色络合物一般在420nm 波长下测定而水杨酸法在特定条件下生成蓝绿色络合物适合做分光光度分析，该方法反应快且颜色变化能直观看出、吸光度和氨氮浓度有很好的线性关系从而定量分析很方便，与传统的蒸馏滴定法相比快速比色法更适用于现场操作和检测大批样品在对监测效率要求高的场景里优势明显，技术发展起来后快速比色法常和便携式比色计、光电传感器等设备集成在一起使检测自动化且能实时获取数据从而大大提高了监测的便捷性和稳定性。

2.2 快速比色法的检测灵敏度与干扰控制

氨氮快速比色法检测灵敏度较高，通常能到 0.01mg/L，完全能满足城市污水处理出水浓度限值（一般在 5mg/L 以内）的监测需求，并且调控试剂浓度、反应温度和反应时间等参数后，该方法在低浓度下识别能力依旧良好，适用于终端出水和中水回用的质量控制。在检测体系的选择上，水杨酸法在低浓度区间稳定，适用于精细化控制，纳氏试剂法反应快、适应性强，方便广泛应用，但是实际污水里有机物、金属离子、强色度和浊度等复杂背景常干扰显色反应和吸光度测定，影响结果准确性，要提高检测可靠性，可以添加掩蔽剂、中和剂、调整显色体系配方，或者用滤膜、离心等前处理手段减轻干扰，若将光谱修正算法或者双波长比值法结合一下，抗干扰能力能进一步增强，方法适应性和实用性也能提高。

2.3 快速比色法在污水监测中的应用优势

城镇污水监测里，快速比色法因具有检测周期短、操作简便、设备小型化等优点，在污水厂进出水日常监控、自动化设备联控和异常预警中被广泛应用，与传统实验室分析法相比，该方法试剂用量少、体系简单，更符合现场与移动检测需求且监测的灵活性和响应速度也得以提高，在初沉池、生化池、二沉池等关键地方设置检测点即可连续跟踪氨氮浓度，为曝气调节和碳源投加提供实时数据支持，在雨污混流系统中，其快速响应能力有助于捕捉负荷峰值，可指导调蓄和分流优化，若结合物联网和水质数据平台，就能构建氨氮动态变化模型，对推动污水监测朝着智能化、预测化转型也有作用。

3 影响快速比色检测准确性的关键因素探讨

快速比色法虽高效便捷，但检测结果准确性受多种因素影响，若深入分析这些关键环节，就能提升技术可靠性和实际应用效果。

3.1 样品水质特性对结果的影响

快速比色检测准确性受样品水质特性的重要影响，实际污水监测时水样往往浊度、色度、有机物和金属离子含量较高，显色反应或吸光度测定可能被这些成分干扰从而产生检测偏差，高浊度容易遮挡光路而使吸光度读数偏高，检测波长范围内深色水样可能产生背景干扰进而影响显色物真实吸收值，污水里的硫化物、次氯酸盐等还原性或氧化性物质容易和显色剂发生副反应而影响显色速率和颜色强度，水样 pH 不在反应最佳范围时反应效率可能降低、可能产生干扰产物从而影响检测灵敏度，复杂水样得采取滤除杂质、调整 pH 或者添加稳定剂等前处理措施才能提升检测的稳定性和准确性。

3.2 显色反应条件的控制要求

显色反应效率及显色产物稳定性受时间、温度和 pH 值等条件的决定性影响，这是快速比色法检测准确性的核心保障，显色反应需在规定时间内充分完成且颜色保持稳定，反应时间不够则显色不完全使读数偏低，时间太长可能因氧化或者分解使颜色变弱而影响结果可靠性，像水杨酸法之类的方法对反应时间的控制要求更严，有一点偏差就可能影响吸光度读数，反应速率和试剂稳定性受反应温度影响，低温下反应慢显色不充分，高温下试剂可能挥发或者副反应增强使检测重复性降低，温度建议控制在20～25℃，氨氮与试剂反应形态受 pH 值这个关键因素影响，多数比色体系需维持在弱碱性环境，pH 值太高或者太低都可能破坏显色机制，得合理控制反应条件并严格执行标准化流程以确保检测结果准确又一致。

3.3 检测设备与操作误差的干扰

氨氮检测数据的准确性与重复性直接受比色检测设备性能水平的影响，不同品牌和型号的比色计在光源波长稳定性、检测灵敏度、线性范围方面存在差异且设备若没及时校准或者维护测值就容易有误差，光源老化或者光路积尘时吸光度会漂移、传感器灵敏度降低时低浓度氨氮的检出限也会降低，并且有些便携式设备为满足现场检测需求功能简化而检测精度较实验室设备低，这需要在效率和精度之间权衡，除设备外人为操作也是误差的重要源头，试剂添加量不同、摇匀不充分、读数时间不统一等问题在大批量检测或者人员轮换时特别明显，要减少误差应优先采用自动化或者模块化操作流程、严格执行操作规范且定期做标准比对和设备校验，加强操作人员的技能培训和规范意识也是检测质量的保障关键。

4 快速比色技术在城镇污水不同处理阶段的应用实践

城镇污水处理系统各阶段广泛应用快速比色检测技术使其响应快、操作简单，分析其分阶段的应用特点并结

合实际运行需求就能更好地指导工艺优化与管理。

4.1 进水环节的氨氮负荷评估

污水处理系统的进水环节氨氮浓度波动往往较大，因居民排放、工业干扰和降雨季节对其影响显著，部署快速比色检测设备就能实时监测进水氨氮浓度，从而及时掌握污染负荷变化趋势并给后续处理工艺提供基础数据支撑，雨季来临或者突发工业废水进入管网时，快速检测系统可迅速反馈氨氮异常情况以辅助制定应急调度策略，减轻系统冲击负荷压力，而且进水端高频监测也能给分流调蓄、污水预处理设施提供目标控制参数，提高系统运行安全性和抗风险能力。

4.2 生化处理段的过程调控

在去除污水里氨氮这事儿上，生化处理单元是核心环节，特别是采用 A^2/O、氧化沟或者膜生物反应器这些脱氮工艺时，实时掌握氨氮浓度相当关键，而快速比色检测技术能在曝气池或者反硝化池设置监测节点，从而实现硝化与反硝化效率的动态评价，进水氨氮升高时，可根据检测结果自动调节曝气强度或延长反应时间，使氨氮有效转化成硝酸盐，且出水氨氮偏高时，也能迅速发现处理环节的问题，避免排放超标，若与在线控制系统联动，该技术就能让生化工艺精细运行管理，提高脱氮效率和运行稳定性。

4.3 出水水质的稳定性监控

环保达标与再生水回用安全直接受污水厂出水水质影响，由于快速比色法具有灵敏度高、响应时间短的优点，特别适合用于监控出水端的氨氮浓度，一旦出水氨氮检测值接近或超出排放限值，系统就能马上报警或者启动补充处理装置，从而使出水稳定达标，对于中水回用系统、河道补水等有高要求的用途，快速检测系统可采用间歇式或连续式监控的方式辅助对回用水水质进行实时评估与调度调节，进而让水资源利用更安全，比色检测在出水端的应用还能构建水质追溯机制，为监管部门和公众提供透明可视的排放数据，以提高环保信任度。

5 推动氨氮快速检测技术在污水监测中的智能化发展路径

数字化水务迅猛发展且氨氮快速检测技术朝着智能化方向升级，这会提升污水监测效率、实现科学治理，是重要突破口。

5.1 构建物联网感知体系

物联网技术能让氨氮快速比色检测设备实现分布式联网部署，从而形成污水厂各关键节点的监测感知网络，将无线传感、云端连接和数据采集模块集成起来后就能实时、远程、连续地监控氨氮浓度，系统会把不同工艺段的检测数据动态反馈到控制平台以自动调整工艺参数提升运行效率，通过多点数据融合分析描绘出污水氨氮变化的时空分布规律对异常源头识别、精准溯源与治理起到辅助作用，这个体系不但提高了污水监测自动化水平还为智慧水务建设奠定了基础，以后物联网感知体系和 AI 算法相结合可实现故障预测与自主调控进一步推动污水处理系统智能化、自适应运行并提升城市水环境管理的科学性与响应速度。

5.2 开发智能分析与预警模型

大数据与人工智能技术能利用快速比色检测生成的海量实时数据构建氨氮浓度变化的预测模型和异常识别算法，挖掘历史数据、进行趋势建模，使系统实现对未来短期氨氮浓度趋势的预测，辅助污水厂提前预调处理能力，提升应对能力，在异常工况出现前，模型能自动识别超标风险并发出预警提示，从而提前处理问题，避免排放事件发生，结合机器学习不断优化算法准确性以实现自适应调节，提升系统智能水平，构建起“监测-诊断-调控”一体化智能运行体系。

5.3 推动标准化与平台化建设

智能化氨氮检测的推广得靠统一的数据标准、通信协议以及平台接口，制定快速比色检测设备的接入规范、数据格式标准和传输协议后，不同设备与系统就能互联互通且“数据孤岛”也能被打通，推动建设统一的水质监测管理平台，将检测数据、运行数据和地理信息系统（GIS）集成起来便能实现污水处理全过程的集中调度、趋势分析和成果评估，平台化管理能提升监管效能并给政策制定、设施评估和公众透明提供技术支撑，从而全面促使城镇污水治理从经验驱动迈向数据驱动和智慧引领。

6 结语

氨氮快速比色检测技术操作简便、响应迅速、适应性强，在城镇污水监测里有着重要应用价值，深入分析其检测原理、影响因素和各处理阶段的实践路径后就明确了这一技术在提高监测效率和保障水质方面的关键作用，物联网、大数据等新兴技术融合应用使氨氮检测朝着智能化、平台化加速发展，能给污水处理系统的精细化管理和绿色转型提供有力支撑，这对推动水环境质量不断改善很有积极意义。

[参考文献]

[1]田牧晓,郭新园,王润伟.静电纺丝法制备水中氨氮快速检测试纸[J].分子科学学报,2018,34(1):49-53.

[2]杨努.海水氮营养盐快速检测技术研究[D].山东:山东科技大学,2018.

[3]王文静,赵旭,甄航勇,等.一种微量样品快速测定比色法在水环境监测中的应用研究[J].水利水电快报,2020,41(5):61-65.

[4]黄宇杰.水中氨氮现场快速测定研究[J].绿色科技,2021,23(8):55-56.

[5]曾显聪,李大伟.基于安卓手机的手持漫透射水质检测管比色系统的研究与应用[J].中国沼气,2024,42(1):75-80.

作者简介：谢舟扬（1992.11—），毕业院校：陕西师范大学，所学专业：化学（创新实验），当前就职单位：陕西工程勘察研究院有限公司，职称级别：工程师；丁泳博（1997.8—），毕业院校：河南城建学院，所学专业：化学工程与工艺，当前就职单位：陕西工程勘察研究院有限公司，职称级别：助理工程师。