

# 水质监测中的光谱分析技术应用研究

关昕

伊犁水文勘测局

DOI:10.12238/hwr.v8i12.5895

**[摘要]** 水质监测作为环境保护和水资源管理的基础工作其重要性不言而喻,光谱分析技术凭借其高灵敏度、非破坏性、快速响应及广泛适用性等特点,已成为水质监测领域的重要工具。本文系统阐述了光谱分析技术的基本原理、分类,深入探讨了其在水质监测中的具体应用,包括重金属离子、非金属离子、有机污染物及水质参数的检测,并对其在水利领域的发展趋势、技术挑战及未来展望进行了全面分析,旨在为水质监测技术的创新与发展提供理论支撑和实践指导。

**[关键词]** 光谱分析; 水质监测; 水利; 紫外-可见光谱; 近红外光谱; 拉曼光谱

中图分类号: X832 文献标识码: A

## Application Research of Spectroscopic Analysis Technology in Water Quality Monitoring

Xin Guan

Yili Hydrological Survey Bureau

**[Abstract]** The importance of water quality monitoring as a fundamental task in environmental protection and water resources management is self-evident. Spectroscopic analysis technology, with its high sensitivity, non-destructiveness, rapid response, and wide applicability, has become a vital tool in the field of water quality monitoring. This paper systematically elaborates on the basic principles and classifications of spectroscopic analysis technology and delves into its specific applications in water quality monitoring, including the detection of heavy metal ions, non-metal ions, organic pollutants, and water quality parameters. Furthermore, it conducts a comprehensive analysis of its development trends, technical challenges, and future prospects in the water conservancy field, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the innovation and development of water quality monitoring technology.

**[Key words]** spectroscopic analysis; water quality monitoring; water conservancy; UV-Vis spectroscopy; near-infrared spectroscopy; Raman spectroscopy

## 引言

在水利工程的建设与运行过程中,水质问题始终是一个绕不开的话题。无论是水源地的保护、水库水质的维护,还是灌溉用水、工业用水的水质管理,都直接关系到水利工程的效益发挥和可持续利用。水质监测作为保障水利工程水质安全的关键环节,其准确性和效率直接关系到水利工程的运行效果和生态影响。光谱分析技术作为一种非破坏性、快速响应的分析手段,凭借其高灵敏度、高分辨率以及多参数监测能力,在水质监测领域展现出了巨大的应用潜力。在水利工程中,光谱分析技术不仅可以用于水源地的水质监测,及时发现并处理潜在的水质污染问题,还可以用于水库水质的日常监测确保水库水质的安全稳定。此外,光谱分析技术还可以应用于灌溉用水、工业用水的水质管理,为水利工程的运行提供有力的技术支持。

## 1 光谱分析技术原理与特点

### 1.1 技术原理与类型

光谱分析技术的基本原理是通过测量物质与光相互作用时产生的光谱特性来进行分析。光在物质中的相互作用会随着波长的改变而发生变化,不同的物质在不同的波长区域会表现出不同的吸收、发射或散射光谱特征。这些特征光谱可以用来确定物质的化学组成、结构以及含量。光谱分析技术根据应用原理的不同可以分为吸收光谱分析、发射光谱分析和散射光谱分析等主要类型。其中,吸收光谱分析是研究物质吸收光谱的过程,通过测量物质对不同波长光的吸收强度来推断物质的组成和结构,例如分光光度法、原子吸收光谱法;发射光谱分析是研究物质在吸收能量后发射出的光谱,通过测量发射光谱的特征波长和强度来推断物质的组成和结构,例如原子发射光谱法、荧光光谱法;散射光谱分析是研究物质对光的散射特性的方法,通过测

量散射光的强度、方向等参数来推断物质的组成和结构,例如拉曼光谱法、瑞利散射。

### 1.2 技术特点

光谱分析技术能够利用水中各种化学物质对光的吸收、发射或散射特性,通过测量和分析这些特性来确定水质的化学组成和污染物的含量,因此,光谱分析技术以其卓越的性能在水质监测领域展现出巨大潜力。其高灵敏度特性使得该技术能够精确检测到水中微量的污染物,对于痕量分析至关重要,有助于及时发现并阻止水质恶化。同时,光谱分析技术具有高度选择性,即使面对化学性质相近的元素和化合物,也能准确测定,确保在复杂水质环境中准确识别特定污染物。此外,该技术非破坏性,无需破坏样品即可进行分析,保留了水样的原始状态,为后续研究提供了便利。快速实时分析的特点使得光谱分析技术能够在短时间内得出分析结果,非常适合在线监测和过程控制,实现水质变化的实时监测和潜在污染事件的及时预警。更重要的是,某些光谱分析方法如红外光谱和核磁共振光谱,还能提供分子结构的详细信息,为深入了解水中污染物的化学结构和性质、制定科学有效的治理措施提供了有力支持。

## 2 光谱分析技术的实际应用细节

在水质监测领域,光谱分析技术的实际运用彰显了其在操作细节上的高度专业性和分析结果的精确性。首先,样品预处理是确保分析准确性的基石,针对含有悬浮物或高浓度有机物的水样,需通过过滤、离心或稀释等预处理手段,有效去除干扰因素,为后续的光谱分析奠定坚实基础。其次,光谱仪器的选择需综合考虑监测目标、样品特性及预算等因素,确保所选仪器能够精准匹配实际需求,并通过定期校准与性能验证,保障其长期运行中的准确性和稳定性,从而确保监测数据的可靠性。最后,在数据处理与分析阶段,除了应用传统的线性回归、主成分分析等方法外,还积极融合机器学习、深度学习等前沿技术,特别是利用神经网络模型对光谱数据进行非线性拟合,显著提升了复杂水质成分的识别精度与定量准确性,为水质监测提供了更为高效、精确的技术支持。

## 3 光谱分析技术在水质监测中的应用

在水利工程领域,光谱分析技术已经成为水质监测不可或缺的重要工具。凭借这一技术,大型水库和河流的水质监测项目能够精确识别并测定水中存在的多种污染物及其含量。这些详尽且准确的数据为相关部门提供了宝贵的决策支持,使他们能够迅速响应,采取必要的治理措施,从而确保水利工程的安全稳定运行。同时,光谱分析技术的广泛应用不仅提升了水质监测的效率和准确性,还为水利工程的可持续发展和水资源的有效保护提供了强有力的技术支撑。

### 3.1 重金属及非金属离子的检测

(1) 紫外-可见光谱技术。紫外-可见光谱技术主要基于物质对紫外及可见光的吸收特性来进行分析。由于不同物质具有各自独特的吸收光谱特征,这些特征光谱因此成为了物质定性和定量分析的重要依据。在水质监测领域,我们利用这一技术通过

测量水样在紫外或可见光区的全波段连续光谱,能够成功捕获待测重金属离子的特征吸收光谱。举例来说,铅、镉、汞等重金属离子在特定波长下会呈现出明显的吸收峰,而通过对这些吸收峰强度的精准测量,我们可以实现对水中重金属离子的高灵敏度、高选择性检测。同样,对于非金属离子,如硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐等,它们在紫外-可见光谱下也会展现出特定的吸收光谱特征。通过细致测量这些特征光谱,我们能够有效地对这些非金属离子进行定量分析。

(2) 原子吸收光谱技术。原子吸收光谱技术是通过测量被测元素的基态原子对其原子共振辐射的吸收强度,来测定试样中被测元素的含量。由于不同元素具有各自独特的原子共振辐射波长,因此,我们可以通过测量特定波长的光被吸收的程度,来准确确定元素的含量。原子吸收光谱技术能够精准检测出七十多种元素,涵盖铜、铅、锌、镉、汞等重金属离子。该技术具有检出限低、灵敏度高、精度好等优势,是水质分析中不可或缺的重要工具。在实际应用中,为了有效消除光谱干扰和背景干扰,通常会采取一系列技术手段,例如背景校正、狭缝宽度调整等,以提升测量的准确性和可靠性。

### 3.2 有机污染物的识别与定量

(1) 近红外光谱技术。近红外光谱技术是一种基于分子振动光谱的非破坏性检测技术。当有机物受到近红外光的照射时,其分子内部的振动状态会发生变化,进而产生特定的吸收光谱。这项技术同样适用于检测水中的农药残留。通过精确测量农药残留物在近红外光谱下的吸收特征,我们可以实现对农药残留的快速且准确的检测。

(2) 荧光光谱技术。荧光光谱技术是一种基于物质在特定波长光的激发下产生的荧光发射强度来进行的分析方法。由于不同物质具有各自独特的荧光发射光谱特征,因此荧光光谱技术可以用于物质的定性和定量分析。在水质监测中,荧光光谱技术能够有效地检测水中的多环芳烃等有机污染物。通过测量水样在特定波长光的激发下所释放的荧光发射强度,我们可以实现对多环芳烃的快速且准确检测。此外,荧光光谱技术具有高灵敏度和高选择性的优点,能够检测到极低浓度的有机污染物。同时,通过精心选择激发波长和检测波长,我们可以进一步实现对特定有机污染物的选择性检测,从而提高分析的准确性和可靠性。

### 3.3 水质参数的快速测定

(1) pH值。通过测量水样在特定波长光下的吸收或发射光谱特征,可以快速测定水样的pH值。常用的测定方法涵盖指示剂法和电位法等。pH值在水质监测中占据关键地位,它用于评估水质的酸碱性 and 潜在的腐蚀性。光谱分析技术能够迅速且准确地获取水样的pH值,为水质评估和治理提供重要的数据支撑。

(2) 溶解氧。利用光谱分析技术中的荧光法或化学发光法,可以实现对溶解氧的快速且准确的测量。荧光法通过测量水样中荧光物质在特定条件下的荧光强度,来间接推算出溶解氧的含量;而化学发光法则通过测量水样中特定化学反应所释放的发光强度,来直接测定溶解氧的含量。溶解氧作为水质监测中的

一项核心参数,对于评估水体的自净能力和生物活性至关重要。光谱分析技术能够迅速且精确地获得水样的溶解氧含量,从而为水体保护和治理提供有力的科学依据。

(3) 浊度。通过测量水样对光的散射程度,可以快速测定其浊度。常用的测定方法包括散射光法和透射光法。浊度是衡量水体清澈程度的一个重要指标,它反映了水体中悬浮物的含量和污染程度。光谱分析技术能够迅速且准确地测定水样的浊度值,为水质评估和治理提供重要依据

(4) 电导率。利用光谱分析技术中的电导率传感器,可以实现对电导率的实时、在线监测。该传感器通过测量水样中离子的导电性能来间接确定电导率值。电导率作为水质监测的关键参数,用于评估水体的离子浓度和盐度。光谱分析技术与电导率传感器的结合,能够快速且准确地测定水样的电导率值,为水体保护和治理提供科学依据。

(5) 总有机碳(TOC)。通过检测水样中有机物氧化后产生的二氧化碳等物质的量,能够快速测定水样的总有机碳(TOC)含量。常用的测定技术包括燃烧氧化法和电化学法等。TOC是衡量水体中有机物总量的一个重要指标,它有助于评估水体的污染状况和生物活性。光谱分析技术以其高效、准确的特点,能够迅速测定水样的TOC值,为水质评估及治理工作提供有力支持。

#### 4 光谱分析技术的发展趋势与展望

随着光谱分析技术的不断发展和完善,其在水质监测中的应用前景将更加广阔。一方面,光谱分析技术将向更高灵敏度、更高分辨率和更高选择性的方向发展,以满足对痕量元素和复杂有机物的检测需求。另一方面,光谱分析技术将与其他技术(如遥感技术、传感器技术等)相结合,实现水质监测的远程、实时和智能化。同时,光谱分析技术的应用将有助于提高水质监测的效率和准确性,为水资源管理和环境保护提供科学依据。

(1) 技术融合与创新。光谱分析技术正逐步与其他先进技术如机器学习、人工智能、遥感技术等相融合,这种融合将推动光谱分析技术向更高层次发展。通过引入机器学习和人工智能技术,光谱分析技术能够实现对大量数据的快速处理和精准分析,提高分析的准确性和效率。同时,结合遥感技术,光谱分析技术可以实现远程、实时、大范围的水质、大气等环境监测,为环境保护和灾害预警提供有力支持。

(2) 便携式与远程监测。随着光谱仪器的微型化、智能化及

网络化技术的发展,便携式光谱分析设备将成为未来水质监测的主流。同时,结合遥感技术,实现水质监测的远程、实时、大范围监测,为水资源管理和环境保护提供有力支持。这将有助于及时发现水质问题,采取有效措施,保护水资源安全。

(3) 标准化与规范化。随着光谱分析技术在水质监测领域的广泛应用,建立统一的技术标准和规范体系将显得尤为重要。这将有助于推动光谱分析技术的标准化、规范化应用,提高水质监测的准确性和可靠性,为水质监测技术的发展提供有力保障。

(4) 高精度与高效率。未来光谱分析技术将更加注重高精度和高效率的发展。通过采用先进的光谱仪器和检测技术,如高分辨率光谱仪、超光谱成像技术等,可以实现更高精度的光谱分析。同时,通过优化光谱分析流程和算法,可以提高分析速度和效率,满足更多领域对快速、准确检测的需求。

(5) 环境友好与可持续发展。光谱分析技术在水质监测中的应用应注重环境友好与可持续发展。通过优化光谱分析过程,减少化学试剂的使用,降低环境污染;同时,结合绿色化学理念,推动光谱分析技术的绿色化发展,为环境保护事业贡献力量。

#### 5 结束语

光谱分析技术以其独特的优势,在水质监测领域展现出巨大的应用潜力。本文系统阐述了光谱分析技术的基本原理、分类及其在水质监测中的具体应用,并对其在水利领域的发展趋势、技术挑战及未来展望进行了全面分析。未来,随着技术的不断进步和应用的不断拓展,光谱分析技术将为水质监测和水资源保护提供更加高效、精确的技术支持,为水资源管理和环境保护事业贡献力量。

#### [参考文献]

- [1] 李晓静,王晓杰,王爽,等.光谱分析在水质监测中的应用进展[J].盐科学与化工,2019,48(09):12-16.
- [2] 李响.紫外光谱分析的水质监测技术分析[J].低碳世界,2017,(10):16-17.
- [3] 汤戈.基于分布式紫外-可见光谱法水质监测系统的数据处理方法技术研究[D].重庆:重庆大学,2016.

#### 作者简介:

关昕(1989—),女,锡伯族,新疆伊宁市人,本科,工程师,研究方向为水质监测。