

# 环保检测中的光谱分析技术研究

吕星会

山西梦盛环保科技有限公司 山西 晋城 048000

**摘要:** 环保检测是维护生态环境和人类健康的重要手段。光谱分析技术作为一种基于物质与光相互作用原理的分析方法,在环保检测中发挥着重要作用。本文综述了光谱分析技术的基础,包括其概述、仪器与设备以及数据处理方法,并重点探讨了光谱分析技术在水质检测、大气污染物检测、土壤污染检测以及固体废物与危险废物检测中的应用。

**关键词:** 光谱分析技术; 环保检测; 水质检测; 大气污染物; 土壤污染

引言: 随着工业化进程的加速和人口的不断增长,环境污染问题日益严峻。环保检测作为评估环境质量、监测污染源和制定环保政策的重要依据,其准确性和效率至关重要。光谱分析技术作为一种非破坏性、高灵敏度的分析方法,在环保检测中具有广泛应用前景。

## 1 光谱分析技术基础

### 1.1 光谱分析技术概述

光谱分析技术是一种基于物质与光相互作用原理的分析方法,通过分析物质吸收、发射或散射光的特性,来推断物质的组成、结构和性质。这一技术的基本原理在于,不同物质由于其独特的原子结构、分子结构和化学键,会对特定波长的光产生特定的吸收、发射或散射现象。这些现象构成了光谱分析的基础,使得我们可以通过观测和分析光谱特征,来了解物质的内部结构和性质。光谱分析技术的分类多种多样,主要依据其分析原理和应用领域进行划分。常见的光谱分析技术包括原子吸收光谱(AAS)、原子发射光谱(AES)、荧光光谱(FS)、拉曼光谱(RS)、红外光谱(IR)、紫外可见光谱(UV-Vis)以及质谱(MS)等。每种技术都有其特定的应用场景和优势,例如,原子吸收光谱主要用于金属元素的定量分析,而荧光光谱则常用于生物分子和环境污染物的检测。

### 1.2 光谱仪器与设备

光谱分析技术的实施离不开先进的光谱仪器与设备。这些仪器通常由光源、样品室、单色器、检测器和数据处理系统等部分组成<sup>[1]</sup>。光源负责提供稳定且强度足够的光辐射,样品室则用于放置待测样品,单色器则负责将光辐射分散成不同波长的光谱线,检测器则用于接收并测量光谱线的强度,最后由数据处理系统对收集到的光谱数据进行处理和分析。常用的光谱仪器包括分光光度计、荧光分光光度计、拉曼光谱仪、红外光谱仪和质谱仪等。分光光度计主要用于测量物质对光的吸收程

度,从而推断物质的浓度或组成;荧光分光光度计则通过测量物质在特定波长光激发下发出的荧光强度,来检测物质的含量或性质;拉曼光谱仪则利用物质分子振动或转动引起的散射光变化,来分析物质的分子结构和化学键;红外光谱仪则通过测量物质对红外光的吸收或透射特性,来推断物质的官能团和化学键;质谱仪则通过测量物质分子在电场或磁场中的质量-电荷比,来揭示物质的分子组成和结构。在选择光谱仪器时,需要考虑多种因素,包括分析目的、样品类型、分析精度和灵敏度要求等。不同的光谱仪器具有不同的分析范围和精度,需要根据实际需求进行合理选择。

### 1.3 光谱数据处理方法

光谱数据的处理是光谱分析技术的关键环节之一。原始光谱数据往往包含大量的噪声和干扰信息,需要进行适当的数据预处理技术,以提高数据的准确性和可靠性。数据预处理技术包括平滑滤波、基线校正、背景扣除和噪声去除等步骤,消除或减少光谱数据中的干扰因素。在光谱数据解析与建模方面,通常采用的方法包括多元线性回归(MLR)、主成分回归(PCR)、偏最小二乘回归(PLSR)和神经网络(NN)等。这些方法可以根据光谱数据与待测参数之间的复杂关系,建立预测模型,从而实现对未知样品的快速准确分析。其中,多元线性回归和主成分回归是较为传统的方法,适用于线性关系较强的数据;而偏最小二乘回归和神经网络则能够处理非线性关系较强的数据,具有更高的预测精度和鲁棒性。随着计算机技术和人工智能的发展,光谱数据的智能处理与解析方法也日益受到关注。这些方法包括机器学习、深度学习、数据挖掘和图像处理等,通过自动化的方式提高光谱数据的处理效率和准确性。

## 2 光谱分析技术在环保检测中的应用

### 2.1 水质检测

水质检测是环保领域的核心环节,对维护人类健康

与生态平衡至关重要。水体污染物种类繁多,涵盖重金属、有机污染物、无机盐类及微生物等,它们虽对水质影响各异,但均可借助光谱分析技术实现有效检测。这些污染物与光相互作用产生的光谱特征,成为水质分析的关键依据。例如,重金属离子(如铜、铅、锌)在特定波长下展现出的吸收光谱,其强度与位置直接反映离子浓度与种类。有机污染物则可通过荧光光谱分析,其强度、波长及寿命等参数揭示污染物种类与浓度信息。水体中的悬浮颗粒物与溶解性有机物亦通过散射与吸收光谱影响水体光学性质,成为光谱分析的重要对象。光谱分析技术在水质监测中应用广泛,原子吸收光谱(AAS)与电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)是检测重金属离子的常用手段,具备高灵敏度、良好选择性及快速分析等优势。荧光光谱技术则常用于检测多环芳烃、农药残留等有机污染物。紫外可见光谱(UV-Vis)与红外光谱(IR)技术亦广泛应用于水体中溶解性有机物与悬浮颗粒物的分析。近年来,光谱分析技术持续进步,新型技术如激光诱导击穿光谱(LIBS)与拉曼光谱在水质监测中崭露头角。LIBS技术通过激光激发样品产生等离子体,实现快速、原位、多元素同时检测。拉曼光谱则通过分析物质分子振动引起的散射光变化,探究分子结构与化学键,对水体中有机污染物检测具有独特优势。

## 2.2 大气污染物检测

大气污染物对人类健康和生态环境构成严重威胁。光谱分析技术在大气环境监测中发挥着重要作用,能够实时、准确地检测大气中的污染物。大气污染物的光谱检测原理主要基于物质对光的吸收、散射和发射特性。例如,二氧化硫、二氧化氮等气体在紫外或可见光区域具有特定的吸收光谱,可以通过差分吸收光谱技术(DOAS)进行检测<sup>[2]</sup>。颗粒物则可以通过散射光谱技术进行分析,如激光雷达(LIDAR)技术通过测量大气中颗粒物的散射光强度,可以推断颗粒物的浓度和分布。光谱分析技术在大气环境监测中的应用非常广泛。差分吸收光谱技术(DOAS)是检测大气中气体污染物如二氧化硫、二氧化氮等的常用方法,具有高灵敏度、高选择性和实时监测的优点。激光雷达(LIDAR)技术则常用于大气中颗粒物的监测,可以提供颗粒物浓度、粒径分布和垂直分布等信息。红外光谱技术也被广泛应用于大气中挥发性有机化合物(VOCs)的检测,通过测量VOCs在红外光区的吸收光谱,可以推断其种类和浓度。近年来,随着光谱分析技术的不断进步,一些新型光谱分析技术如量子级联激光器(QCL)光谱技术和光腔衰荡光谱(CRDS)技术也开始在大气环境监测中得到应

用。QCL光谱技术具有窄线宽、高功率和可调谐性等优点,能够实现对大气中痕量气体的高精度检测。CRDS技术则通过测量光在光腔内多次反射后的衰荡时间,来推断气体的浓度,具有极高的灵敏度和准确性。

## 2.3 土壤污染检测

土壤污染是环保检测中的另一个重要领域。光谱分析技术在土壤污染评估中发挥着重要作用,能够快速、准确地识别土壤中的污染物。土壤污染物的光谱特征识别主要基于物质对光的吸收、散射和发射特性。重金属离子在土壤中通常以吸附态或络合态存在,可以通过X射线荧光光谱(XRF)或激光诱导击穿光谱(LIBS)进行检测。有机污染物则可能通过荧光光谱或拉曼光谱进行识别,这些光谱技术的参数如荧光强度、波长和寿命等可以提供关于有机污染物种类和浓度的信息。光谱分析技术在土壤污染评估中的应用已经相当成熟。X射线荧光光谱(XRF)是检测土壤中重金属离子的常用方法,具有快速、非破坏性、多元素同时检测的优点。激光诱导击穿光谱(LIBS)技术则通过激光激发土壤样品产生等离子体,进而分析等离子体发射的光谱,能够实现对土壤中多种元素的快速检测。荧光光谱和拉曼光谱技术也被广泛应用于土壤中有有机污染物的检测,这些技术具有灵敏度高、选择性好等优点。在实际应用中,光谱分析技术通常与其他分析技术如电化学分析、色谱分析等相结合,以提高检测的准确性和可靠性。例如,XRF技术可以与电化学分析相结合,用于检测土壤中的重金属离子和有机污染物;LIBS技术则可以与色谱分析相结合,用于分析土壤中的挥发性有机化合物和半挥发性有机化合物。

## 2.4 固体废物与危险废物检测

固体废物和危险废物是环保检测中的重要对象。光谱分析技术在这些废物的鉴别和分类中发挥着重要作用。固体废物中有害成分的光谱分析主要基于物质对光的吸收、散射和发射特性。例如,重金属离子在固体废物中通常以化合物或络合物的形式存在,可以通过X射线荧光光谱(XRF)或中子活化分析(NAA)进行检测。有机污染物则可能通过红外光谱(IR)或拉曼光谱进行识别,这些光谱技术能够提供关于有机污染物种类和结构的信息。光谱分析技术在危险废物鉴别中的应用非常广泛,X射线荧光光谱(XRF)是检测固体废物中重金属离子的常用方法,它能够快速、准确地提供重金属离子的种类和浓度信息。中子活化分析(NAA)则是一种更为灵敏的方法,能够检测固体废物中极低浓度的重金属离子。红外光谱(IR)和拉曼光谱技术则常用于固体废

物中有机污染物的检测,这些技术能够提供关于有机污染物种类、结构和官能团的信息。在实际应用中,光谱分析技术通常与其他分析技术如热分析、色谱分析等相结合,以提高检测的准确性和可靠性。例如,XRF技术可以与热分析相结合,用于检测固体废物中的无机盐和氧化物;拉曼光谱技术则可以与色谱分析相结合,用于分析固体废物中的挥发性有机化合物和半挥发性有机化合物。

### 3 光谱分析技术的发展趋势与创新

#### 3.1 新型光谱分析技术

高分辨率光谱技术是光谱分析领域的一大突破,通过提升光谱仪的分辨率,能更精确地捕捉和分析样品中的微弱信号及复杂成分,极大地促进了天文学、材料科学及环境监测等领域的发展。在天文学中,该技术助力科学家观测遥远星系的化学构成,为探索宇宙起源与演变提供了关键数据。在材料科学领域,则有助于揭示材料的微观结构与电子特性,为新材料研发开辟新径。激光诱导击穿光谱(LIBS)技术,作为一种快速、无损的元素分析手段,利用高能激光激发样品产生等离子体,通过分析等离子体光谱确定元素成分<sup>[1]</sup>。LIBS技术凭借其样品制备简便、分析迅速、多元素同时检测等优势,在地质勘探、文化遗产保护及环境监测等领域得到广泛应用,随着技术进步,其灵敏度和准确性不断提升,为更多科研领域提供强大支持。拉曼光谱与红外光谱联用技术,融合了两种光谱技术的长处,能全面提供分子结构和化学键信息。拉曼光谱对样品表面的敏感性,与红外光谱对分子内部振动的敏感性相结合,使该联用技术在材料科学、生物学及药物分析等领域展现出独特价值,特别是在生物学领域,该技术能识别生物分子的结构变化,为疾病诊断与治疗提供新视角。

#### 3.2 光谱分析技术的智能化与自动化

随着大数据和人工智能技术的发展,光谱数据的智能处理与解析成为光谱分析领域的一大趋势。通过机器学习算法和深度学习模型,能够更高效地处理和分析大量光谱数据,提取出有价值的信息。这不仅提高了数据

分析的准确性和速度,还降低了对专业人员的依赖。光谱仪器的自动化与远程控制技术的发展,使得光谱分析过程更加便捷和高效。现代光谱仪器通常配备有先进的自动化控制系统和远程监控功能,用户可以通过计算机或移动设备远程操作仪器、监控实验过程并获取分析结果。这种技术的发展不仅提高了实验效率,还降低了实验风险,使得光谱分析技术在更多领域得到广泛应用。

#### 3.3 光谱分析技术在环保检测中的创新应用

光谱分析技术在环保检测中的应用日益广泛,其中实时在线监测系统的建立是重要的发展方向。通过集成光谱仪器和智能监控系统,可以实现对大气、水体等环境参数的实时监测和预警。这种系统能够及时发现环境污染问题并采取相应的治理措施,为环境保护提供有力支持。多组分同时检测技术是光谱分析领域的一大创新,通过优化光谱仪器和数据处理算法,能够同时检测和分析多种污染物成分,大大提高了检测效率和准确性。这种技术在环境监测、食品安全等领域具有广泛的应用前景。结合光谱分析技术和现代信息技术,可以构建环境污染预警与应急响应系统。该系统能够实时监测环境污染状况并预测潜在的环境风险,一旦检测到异常情况,立即启动应急响应机制并采取相应的治理措施。这种系统的建立将有助于提高环境保护的水平和效率,为可持续发展提供有力保障。

结束语:光谱分析技术作为一种快速、准确、非破坏性的分析方法,在环保检测中发挥着重要作用。随着新型光谱分析技术的不断涌现和智能化、自动化技术的不断发展,光谱分析技术在环保检测中的应用将更加广泛和深入。

#### 参考文献

- [1]刘明磊.光谱技术在环保监测中的应用研究[J].广东化工,2020,47(13):71-73.
- [2]贾璐.光谱分析在环境分析中的应用[J].化工管理,2021(25):18-19.
- [3]袁华芳.光谱分析技术在环境检测中的相关运用阐述[J].皮革制作与环保科技,2024,5(13):56-58.