

# 基于可见近红外光谱的水质 COD 快速检测方法研究

丁诚刚<sup>1</sup> 刘得琛<sup>1</sup> 李景儒<sup>2</sup>

1.天津中科谱光信息技术有限公司 天津 300392

2.中科谱光科技(天津)有限公司 天津 300392

**【摘要】**：环境污染问题的日益严重，水质监测成为水体管理的关键环节。化学需氧量（COD）作为评价水质的重要指标，对水质管理具有重要意义。传统的 COD 检测方法操作繁琐且耗时较长，难以满足快速检测的需求。可见近红外光谱技术凭借其高效、非破坏性和较强的实时监测能力，为水质 COD 检测提供了新的解决方案。研究探讨了基于可见近红外光谱的 COD 检测方法，通过对光谱数据的分析与模型的建立，实现了 COD 的快速、准确检测。该方法不仅提升了检测效率，还减少了环境检测的时间成本，具有广泛的应用前景。

**【关键词】**：水质监测；化学需氧量（COD）；可见近红外光谱；快速检测；环境保护

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.097

## 引言

水质污染是全球范围内亟待解决的重要环境问题，尤其是工业废水排放带来的化学污染，严重影响了水体的生态健康和人类的生存环境。化学需氧量（COD）是水质污染的重要指标之一，传统的 COD 检测方法虽然能够精确测量水质的污染程度，但其操作过程繁琐且时间消耗大。近年来，随着光谱技术的进步，尤其是可见近红外光谱在环境监测中的广泛应用，为水质 COD 的快速检测提供了新的思路。通过对水样的光谱数据进行分析，能够在短时间内获取 COD 的数值，极大提升了水质监测的效率。基于这一技术的创新，COD 检测可以更为精准且迅速地完成，有助于环境管理部门及时采取措施，保障水质安全。

## 1 可见近红外光谱技术的原理与特点

### （1）光谱技术的基本原理

光谱技术通过测量物质在不同波长下的吸收、反射或透射特性来分析其组成和浓度。在水质检测中，近红外光谱利用了水中分子对近红外光的吸收特性，通过分析水样对特定波长的响应来提取化学信息。近红外光谱通常包括波长范围从 780 nm 到 2500 nm 的光。不同的化学物质由于其分子结构不同，会对光谱中的不同波段产生特定的吸收峰，通过这些吸收峰可以推算出水中溶解物质的种类及浓度，从而实现 COD 的快速检测。该方法具有非破坏性、快速性等优点，能够实现实时检测。

### （2）近红外光谱的应用优势

近红外光谱技术在水质监测中展现出诸多应用优势。它不仅可以在不需要化学试剂的情况下实现快速分析，还具有较高的灵敏度和特异性<sup>[1]</sup>。通过多次测量和光谱分析，能够获得更加准确的水样信息。近红外光谱设备便于现场操作，适合环境实时监测。与传统的水质分析方法相比，近红外光谱可以显著减少人为误差和操作复杂度，适用于大规模、水质变化频繁的

监测需求，尤其是在工业废水处理和河流湖泊等水域监测中具有重要的应用价值。

### （3）与传统检测方法的对比

传统的 COD 检测方法多依赖于化学试剂和长时间的反应过程，往往需要数小时才能得出结果，这对于实时水质监测带来了挑战。而近红外光谱技术通过对水样进行实时光谱分析，在几秒钟内即可获得 COD 值，具有显著的时间优势。与此同时，传统方法可能受操作条件和环境变化的影响较大，而近红外光谱由于其高稳定性和设备便捷性，可以在不同环境条件下保持较高的准确性和一致性。传统方法的检测过程中涉及危险化学品的使用，增加了操作的复杂性和安全隐患，而近红外光谱提供了无需化学试剂的检测方式，显著提高了操作的安全性。

## 2 基于光谱的 COD 检测方法模型

### （1）光谱数据的预处理方法

在近红外光谱中，由于仪器噪声、环境变化和水样的复杂性，原始数据通常存在较大波动。为了消除这些干扰信号，预处理步骤包括去除背景噪声、基线校正、平滑处理等。常见的方法有多元散射校正（MSC）、标准正态变量（SNV）和多项式基线校正，这些方法能够有效减小光谱信号的非线性变动。常常采用数据缩放技术如归一化，保证各波段数据的统一尺度，提高模型的鲁棒性。针对水样中的干扰成分，还可能需要使用主成分分析（PCA）来减少数据维度，提取最相关的特征。这一系列的预处理方法能够确保输入到模型中的数据更加纯净，减少多重共线性问题，提高 COD 的预测精度。

### （2）COD 检测模型的构建与优化

基于光谱数据的 COD 检测模型构建需要选择合适的建模方法以确保检测结果的准确性与可靠性。常用的建模方法包括偏最小二乘回归（PLSR）、支持向量机回归（SVR）和人工神经网络（ANN）等。PLSR 在处理多变量数据时具有较好的效

果,能够充分考虑光谱信息与 COD 浓度之间的线性关系。支持向量机回归则通过构建最优超平面来实现非线性关系的拟合,尤其适合复杂样本的 COD 检测<sup>[2]</sup>。人工神经网络通过其层次化结构能够自适应调整模型权重,从而优化预测精度。在模型构建过程中,需要通过交叉验证等方法对模型进行调整,以避免过拟合。参数优化也是关键,可以利用网格搜索或遗传算法等技术对模型的超参数进行精细调节,进一步提升检测模型的性能。

### (3) 模型验证与性能评估

在构建完成 COD 检测模型后,模型验证与性能评估是确保其实际应用价值的关键步骤。通常通过将样本数据划分为训练集与测试集,以验证模型的泛化能力。性能评估指标包括决定系数 ( $R^2$ )、均方误差 (MSE)、均方根误差 (RMSE) 以及偏差值等,其中  $R^2$  反映了模型对 COD 浓度的解释能力, MSE 与 RMSE 则用来衡量模型的预测精度。为了进一步验证模型的有效性,常常采用交叉验证方法,确保模型在不同数据集上都能保持较高的预测能力。模型验证的另一重要方面是考虑其在实际应用中的稳定性和抗干扰性。在多种环境条件下进行测试,分析模型是否能保持较高的准确性,特别是在水质成分变化较大的情况下,对模型的鲁棒性进行评估。这些评估指标和验证方法共同确保了模型能够在实际环境监测中有效、稳定地应用。

## 3 快速检测的技术改进与创新

### (1) 提升检测精度的技术路径

提高 COD 检测精度的关键在于优化光谱数据的获取和处理过程。在光谱信号采集阶段,仪器的分辨率和灵敏度是影响检测精度的决定性因素。通过提高光谱仪的分辨率,可以更细致地捕捉水样中微小的光谱特征变化,从而更准确地反映 COD 的浓度。采用高效的光源和接收器配置,有助于减少光谱信号的噪声干扰,增强信号的强度和稳定性。在数据处理方面,精确的光谱预处理方法能够有效去除背景噪声、系统误差及其他干扰信号,使得 COD 的浓度估算更为准确。结合更先进的算法,如局部加权回归 (LWR) 和多项式回归模型,可以在保持模型简洁性的同时,进一步提高预测精度。精度提升不仅依赖于技术的更新换代,还需要根据实际应用中的特定水质条件,对模型进行量身定制。

### (2) 加速数据分析的算法创新

数据分析算法的创新能够有效提高处理速度并减少计算资源的消耗。近年来,机器学习算法在光谱数据分析中得到了广泛应用,其中包括随机森林 (RF)、支持向量机 (SVM) 和深度学习 (DL) 等<sup>[3]</sup>。这些算法不仅能够处理高维度的数据,还能通过特征选择与降维技术减少冗余信息,提升运算效率。通过深度学习技术,尤其是卷积神经网络 (CNN),可以自动

学习光谱数据中的重要特征,从而提高 COD 检测模型的自适应能力和准确性。图像处理算法的引入也为光谱数据的快速分析提供了新思路,通过对光谱图像的快速分析,可以实时获取水质信息,大大加快了数据处理速度。算法创新不仅提升了分析精度,还显著减少了传统方法中繁琐的人工干预过程,提升了检测的自动化水平。

### (3) 提升方法稳定性和鲁棒性

稳定性和鲁棒性是快速 COD 检测方法在实际应用中的重要考量。为确保检测方法能够在不同环境条件下稳定运行,需要优化数据采集和模型训练过程中的多个环节。在数据采集阶段,环境因素(如温度、湿度、光照变化等)可能对光谱信号产生干扰,采用多光谱传感器结合环境补偿技术,能够有效提高系统对环境变化的适应能力。在模型层面,增强算法的鲁棒性是提高方法稳定性的另一关键途径。通过引入正则化技术,减少过拟合问题,使得模型在面对不同类型的水样时,依然能够保持较高的准确性。增强数据的多样性,在模型训练过程中加入更多变异性的样本,能有效提升算法的抗干扰能力。针对水质成分复杂、变化大的场景,利用集成学习方法结合不同算法的优点,可以进一步提高方法的鲁棒性,确保其在不稳定的环境中依然能够高效工作。

## 4 可见近红外光谱 COD 检测的实际应用案例

### (1) 环境监测中的实际应用

可见近红外光谱技术在环境监测中的应用逐渐得到广泛关注,尤其是在水质检测领域。借助这一技术,可以实现水体 COD 的快速、实时监测,避免了传统方法繁琐的化学试剂使用和长时间的实验周期。在实际应用中,多个环境监测站采用近红外光谱仪器来定期检测湖泊、河流及地下水的水质。这些设备通过采集水体的光谱数据,迅速分析其 COD 值,为水质保护和污染源追踪提供了及时的参考数据。此技术能够实现水体污染的动态监控,及时发现异常波动,特别是在应急水质监测中具有重要价值。相比传统的方法,近红外光谱技术能够节约大量的人力和时间成本,同时提高检测频率,确保环境监测工作的高效性和准确性。

### (2) 工业废水处理中的 COD 检测

工业废水处理中 COD 的检测是评估水污染程度和处理效果的核心环节。可见近红外光谱技术为这一领域的监测提供了新的解决方案,尤其适用于生产过程中的连续性监控<sup>[4]</sup>。在实际应用中,多家工业企业采用光谱分析仪器,实时监控排放废水中的 COD 浓度,并通过数据反馈调整废水处理设施的运行参数。这一技术不仅能够实现高频次、低成本的 COD 监测,还能够减少废水排放超标的风险,提高企业的环保合规性。与传统的化学法相比,近红外光谱不仅能够提供即时数据,还能通过无损测量避免了化学试剂的使用,降低了操作的复杂性和

安全风险。采用这一技术的企业能够通过对历史数据的分析，优化生产过程，减少废水的产生，有助于实现更高效的水资源利用与节能减排。

### (3) 应用效果与反馈分析

在实际应用中，基于可见近红外光谱的 COD 检测方法已经得到了广泛的反馈。多数环境监测机构和工业企业在实施该技术后，报告了显著提高了检测效率与数据准确性。对于环境监测，相关部门能够更快速地识别水体污染源，并及时采取措施进行处理，避免了水体污染的进一步扩展。在工业废水处理中，实时监控能够保证排放符合标准，减少了环境监管风险。一些企业反馈，通过这一技术，能够有效预测水质波动，及时调整水处理工艺，减少了污水处理过程中的能源和化学品消耗，提高了整体生产效益。同时，使用近红外光谱检测方法的用户普遍认为，该技术简便易操作，适应性强，尤其适用于复杂水样的监测。然而，也有部分反馈指出，部分水样中由于其他成分的干扰，可能需要进一步优化模型以提高在复杂条件下的稳定性与准确性。这些反馈为该技术在实际应用中的改进提供了宝贵的参考依据。

## 5 未来研究方向与发展趋势

### (1) 跨学科技术的融合与创新

未来，水质监测中的可见近红外光谱技术将与人工智能、数据科学以及物联网等领域的技术进一步融合。机器学习算法在光谱数据分析中的应用，将推动 COD 检测模型的智能化，提升其精准度与适应性。通过结合大数据分析，系统可以实时

分析和预测水质变化趋势，实现动态监控。传感器技术的进步使得便携式设备将成为未来研究的重点，提供更广泛的应用场景。

### (2) 高通量快速检测设备的研发

随着对水质监测要求的不断提升，高通量快速检测设备成为未来研究的主要方向。新型光谱仪器将着眼于提升数据采集速度和准确度，减少反应时间，实现实时在线监测<sup>[5]</sup>。这类设备不仅能处理更多的样本数据，还可以在更恶劣的环境条件下保持稳定工作，从而提高水质检测的效率和广泛性，为大规模监测网络的建设提供支持。

### (3) 可持续环境保护中的应用展望

可见近红外光谱技术在未来可持续环境保护中的应用将逐步扩展。随着技术的成熟，预计它将被广泛应用于水资源管理、污染控制以及生态修复等领域。结合自动化监测系统，光谱技术能够在水体污染源追溯、污染物浓度预测等方面提供科学依据，推动更精细的环境管理策略。这种技术的普及将有助于减少环境监测中的资源消耗，推动绿色环保技术的发展。

## 6 结语

可见近红外光谱技术在水质 COD 检测中的应用展现出巨大的潜力。随着技术的不断发展，尤其是在数据处理、设备创新和跨学科融合等方面的进展，预计将为环境保护和工业水处理带来更多解决方案。快速、精确的水质监测不仅推动了科学研究的进步，也为水资源的可持续管理提供了可靠的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 冯国伦.基于可见-近红外光谱的土壤属性含量预测研究[D].四川农业大学,2025.
- [2] 朱正.可见近红外光谱分析技术在土壤总氮检测中的应用[J].科学技术创新,2025,(08):25-28.
- [3] 苏涵君,李丽娜.基于可见-近红外光谱技术快速检测水质酸度[J].理化检验-化学分册,2025,61(03):249-256.
- [4] 赵霄霄,宁魏,陈若欣,等.可见近红外光谱无损预测猪肉的新鲜度[C]//中国食品科学技术学会.中国食品科学技术学会第二十一届全国年会论文集.大连工业大学食品学院;大连工业大学机械工程与自动化学院,;2024:116.
- [5] 王冬,王宏平,高天慧,林颢,孙日飞,马莉,蒋甜燕,何立军.基于可见/近红外光谱的大豆油精炼环节色泽与酸价的实时监测系统研发[J].中国粮油学报,2025,40(5):180-190.