

基于近红外光谱技术的温室气体测量仪器的研发

贾凯, 李红莲, 章会明, 么宇航

(河北大学质量技术监督学院, 保定 071002)

摘要: 自工业革命以来,人类生产和生活排放的各类温室气体,使得大气层中的温室气体浓度发生了显著变化,对人类赖以生存的地球生态系统造成了难以挽回的损害,实时准确地检测多种温室气体已成为目前亟待解决的重要课题。本文基于近红外光谱检测技术,研发载有传递工作标准物质校准,集测量、通讯一体化的烟气条件下 CO₂ 浓度测量装置,实现在多组分混合气体中对温室气体的测量。研究该装置,对工业直接碳排放浓度实时检测,从而制定相应的策略减少碳排放,对保护环境,促进人与自然和谐共生有着重大意义。

关键词: 温室气体; 近红外; 气体测量; 保护环境

Research on greenhouse gas measurement based on near-infrared spectroscopy detection technology

JIA Kai, Li Honglian, Zhang Huiming, YAO Yuhang

(School of Quality and Technical Supervision, Hebei University, Baoding 071002)

Abstract: Since the industrial revolution, human production and life emissions of various types of greenhouse gases, so that the concentration of greenhouse gases in the atmosphere has changed significantly, the human survival of the earth's ecosystem caused irreparable damage, real-time and accurate detection of a variety of greenhouse gases has become an important issue that needs to be resolved. In this paper, based on the near-infrared spectroscopy detection technology, we develop a CO₂ concentration measurement device under the flue gas condition that contains the calibration of transferring working standard substances and integrates measurement and communication to realize the measurement of greenhouse gases in multi-component mixed gases. The study of this device, the concentration of industrial direct carbon emissions real-time detection, so as to develop corresponding strategies to reduce carbon emissions, to protect the environment, and promote the harmonious coexistence of man and nature is of great significance.

Keywords: greenhouse gases; near infrared; gas measurement; environmental protection

1 引言

近年来,全球温度的长期上升是由于大气中温室气体浓度的增加,由温室气体带来的全球变暖现象已经引起了全国的关注。大部分发达国家进入到碳排放控制阶段时,都已基本解决环境污染问题,但中国生态文明建设同时面临实现生态环境根本好转和“双碳”两大战略任务,协同推进减污降碳已成为中国经济社会发展全面绿色转型的必然选择^[1]。标准是最基本的生态环境管理手段之一^[2],也是促进减污降碳的重要手段^[3]。

为了更快更好地实现高质量发展,实现“碳达峰,碳中和”目标,对企业和工厂首先需要对二氧化碳的排放浓度进行实时监测,精准掌握碳排放数据,这是推进绿色低碳技术改造、节能减排、优化生产流程和提升能源利用效率的基础。基于这一需求,我们的二氧化碳测量设备应运而生,能够提供高精度的实时监测和智能化的数据分析支持,帮助企业及时调整生产活动,确保碳排放达标。设备不仅提供可靠的数据支持,还具备实时预警和智能分析功能,提升了企业的碳管理效率和响应能力,助力实现经济效益、社会效益与环境效益的有机统一,最终支持企业实现可持续发展目标。

现有的监测技术主要包括实际测量法,这些方法能够提供对污染气体浓度的准确数据。然而,传统的监测手段往往存在响应速度慢、设备复杂、维护困难等问题,这对于高效、实时的环境管理提出了更高的要求。因此,亟需引入先进的监测技术和设备,以提高测量的准确性和实时性。

目前,大气温室气体监测方法主要包括气相色谱法、光谱法、卫星遥感监测等,而光谱法又分为红外吸收光谱法和激光吸收光谱法。基于光谱学原理的气体监测技术是目前温室气体监测技术的主流研究方向,具有样气检测非接触、响应速度快、灵敏度高、大范围监测等优点^[4]。从国内外的应用情况来看,非分散红外光谱法(NDIR)应用研究开始时间较早,因此技术成熟,而且成本也相对较低,精度高,也是世界气象组织全球观测网(WMO/GAW)推荐在线监测 CO₂ 本底浓度的方法之一^{[5][6]},在国内外得到广泛的应用。

2 实验原理

激光光谱检测技术的原理为朗伯·比尔(Lambert-Beer)定律。

通过调研和理论模拟结果,设计以近红外光谱检测技术为基础,由烟气预处理系统、碳排放监测系统、数据采集与通讯系统等组成的碳排放测量装置。碳排放监测系统采用红外滤波技术、非分散红外吸收技术以及长光程气体吸收池原理,实现对二氧化碳气体浓度的实时在线监测^[7]。因现场 CO₂ 浓度较大,拟采用稀释的方法进行预处理,并采用数学方法对误差

进行校正处理。考虑到纯氮气作为稀释气体会带来额外的成本和使用不便，暂定该设备采用空气进行混气，并对空气中混入气体的 CO_2 进行测量^[8]。开展二氧化碳气体测量的建模实验，并据此建立二氧化碳气体浓度的测量模型。

3 实验过程

依托实验手段完成二氧化碳气体测量。实验方案如下：

基于搭建的 SCLAS 检测系统对待测气体进行测量。实验在室温 298 K，压力为 1 atm 的条件下进行，为提高光谱检测系统的灵敏度，吸收池选用怀特池结构，通过特殊结构的光学镜片使入射激光在样品池中多次反射增加光程，从而达到气体循环吸收的目的。

实验中所用的高纯氮气既做稀释剂，又做背景气体，选择氮气是因为氮气是大气中含量最丰富的气体，而且在测量的光谱区域内几乎没有吸收。先通入高纯度的氮气采集背景信号。将 CO_2 和 N_2 通入动态稀释校准仪，配比出待测气体的浓度并通入怀特型长光程吸收池中，由超连续谱激光器产生激光，经 LLTF 滤波器滤波^[9]。通过计算机设置其扫描的波长在 1425-1620 nm 波段，激光通过光阑滤除杂光后入射进吸收池，经过气体吸收后出射至光电探测器，光电探测器将接收的光信号转化为电信号并传输到数据采集卡，采集到的数据显示在计算机上。当吸收池内气体浓度稳定后开始采集吸收信号，每进行一个浓度的测量都要用氮气对吸收池吹扫，再通入下一浓度的气体，以保证测量的准确性。

装置核心传感器选择 NDIR 传感器。许多气体对红外辐射都有吸收，这是因为分子振动激励。这一红外吸收的特征波长和气体种类有关，并且分子浓度越高，吸收越强烈。所以可以通过红外吸收光谱来分辨出气体的种类和浓度。这个探测系统的结构非常简单，包括一个宽波段、脉冲信号的辐射光源，一个气室，一个滤光片以及一个宽带探测器。对光源来说有时候一个特殊的灯泡就能够作为红外光源。滤光片必须使用窄带滤光片，它要能够保证目标气体的吸收波长恰好能够被此带宽范围所覆盖。探测器信号下降的幅度可以反应出气体浓度升高的量。

4 结论

现如今，温室效应对人类和地球环境带来的危害已经不可忽视，为有效采取相关措施对温室效应实施治理，必须实时准确掌握 CO_2 这个对温室效应贡献最大的气体分子的浓度变化情况。故需要一种高测量精度，可移动，可连续观测的设备对全球范围内的 CO_2 廓线进行季节性长期观测。非分散红外吸收法是二氧化碳气体经过红外光源时，红外光会对特定波段的二氧化碳气体进行吸收，造成红外光强减弱，气体浓度与减弱程度根据朗伯·比尔定律服

从一定的关系,吸收后的气体经两路探测器接收转换为已经吸收红外光的测量信号电压与未吸收此段红外光的参考信号电压,利用朗伯·比尔定律反演出二氧化碳浓度。非分散红外吸收法通过实验数据标定,能够实现检测二氧化碳的准确性。

参考文献:

- [1] 谭玉菲,王宗爽,赵国华,等.中国减污降碳生态环境标准体系研究[J].环境污染与防治,2024,46(09):1340-1345+1371.DOI:
- [2] 裴晓菲. 我国环境标准体系的现状、问题与对策[J]. 环境保护, 2016, 44(14): 16-19.
- [3] 王涵,马军,陈民,等. 减污降碳协同多元共治体系需求及构建探析[J]. 环境科学研究, 2022, 35(4): 936-944
- [4] 周烽,李晓斌,张力,等.光谱学技术在温室气体监测方面的研究进展[J/OL].化学试剂,1-9[2024-10-22].<https://doi.org/10.13822/j.cnki.hxsj.2024.0285>.
- [5] 曹军,汪琦,徐政,等.我国环境空气中温室气体监测技术研究进展[J].环境监控与预警,2022,14(1): 1-6.
- [6] 世界气象组织.全球大气监测观测指南[M].北京:科学出版社,2003:3-8
- [7] Yu K ,Yang X ,Wang Y , et al.A temperature-compensated CO2 detection system based on non-dispersive infrared spectral technology.[J].The Review of scientific instruments,2024,95(8):
- [8] Liu Y ,Li M ,Kang F , et al.[Research Progress on End-Tidal Carbon Dioxide Detection Technology Based on Non-Dispersive Infrared Method].[J].Zhongguo yi liao qi xie za zhi = Chinese journal of medical instrumentation,2024,48(2):203-207.
- [9] Gabriel G R ,Alvaro P O ,Stefan P .Integrated, Selective, Simultaneous Multigas Sensing Based on Nondispersive Infrared Spectroscopy-Type Photoacoustic Spectroscopy.[J].ACS sensors,2023,