

文章编号: 1672-8785(2011)05-0023-04

非分散红外多组分气体检测技术及其在 CEMS 中的应用

孙友文 刘文清 汪世美 黄书华 谢品华 司福祺 于晓曼

(中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院环境光学与技术重点实验室, 安徽合肥 230031)

摘 要: 对非分散红外多组分气体检测技术及其在 CEMS 中的应用作了系统介绍。分析了非分散红外多组分气体检测的关键点、技术难点及其解决方案。详细介绍了这种气体检测系统在 CEMS 应用中的组成、技术要求与支持, 得出其具有结构简单、成本低、测量精度高和稳定性好等特点。该系统对我国气体检测技术的研究和气体检测仪器的研制具有重要的参考价值。

关键词: 非分散红外; 多组分; 气体检测; CEMS

中图分类号: O432 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.05.005

Non-dispersive Infrared Multi-component Gas Analysis Technology and Its Application in CEMS

SUN You-wen, LIU Wen-qing, WANG Shi-mei, HUANG Shu-hua, XIE Pin-hua, SI Fu-qi, YU Xiao-man

(Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The non-dispersive infrared multi-component gas detection technology and its application in continuous emission monitoring systems (CEMS) are presented. The key factors and difficulties in multi-component gas detection are analyzed and the corresponding solutions are proposed. The composition, technical requirement and support for a non-dispersive infrared multi-component gas detection system used in CEMS are described in detail. It is concluded that it has the features of simple structure, low cost, high accuracy and good stability. The system is of some referential value to the development of multi-gas detection technology and instrument in our country.

Key words: non-dispersive infrared; multi-component; gas detection; CEMS

0 引言

烟气连续监测系统 (Continuous Emission Monitoring System, CEMS) 是连续自动监测固定污染源的污染物排放浓度的有效手段, 它可以同时分析多种排放废气的浓度^[1-2]。用于 CEMS 气

体分析的传统方法主要有电化学吸收法、化学发光光谱法、火焰电离法、傅里叶变换光谱法和紫外光谱法等。然而这些分析方法在实现成本、稳定性、维护成本和系统性能等方面都存在一定限制^[3]。相比之下, 非分散红外 (Non-dispersive Infrared, NDIR) 多组分气体分析法集光学滤波和

收稿日期: 2010-12-30

基金项目: 国家高技术研究“863”重大课题项目 (2009AA063006); 国家自然科学基金项目 (4080501); 安徽省优秀青年科技基金项目 (10040606Y28)

作者简介: 孙友文 (1985-), 男, 湖南永州人, 博士, 主要从事光学检测和光谱学方面的研究。E-mail: ywsun@aiofm.ac.cn

光波调制于一身, 仪器结构简单、成本低、测量精度高、稳定性好, 可以非常方便地进行人机交互, 是工业污染源 CEMS 系统中的理想监测方法^[4]。

本文系统介绍了非分散红外多组分气体检测技术及其关键点和难点, 并分析了它在 CEMS 应用中的组成及运行机理。

1 多组分检测原理及组成

1.1 多组分检测原理

利用非分散红外法测量未知样品气体中单组分气体浓度的基理是朗伯-比尔 (Lambert-Beer) 定律^[5-7]:

$$A = \ln \left(\frac{I_0}{I_s} \right) = \alpha CL \quad (1)$$

式中, A 为吸光度, I_0 为零气背景下的光强, I_s 为目标气体背景下的光强, α 为目标气体的吸收系数, L 为光信号在样品池内多次反射后的实际吸收长度, C 为目标气体的浓度。当样品气体中存在多种不同类型的气体时, 式 (1) 变为

$$A = \ln \left(\frac{I_0}{I_s} \right) = (\alpha C_1 + \beta C_2 + \gamma C_3 + \dots) L \quad (2)$$

式中, α 、 β 和 γ 为不同组分目标气体的吸收系数, C_1 、 C_2 和 C_3 为各组分目标气体的浓度。

在式 (2) 中, 朗伯-比尔定律给出了通过目标气体后的吸光度与气体浓度的关系。每一波段的吸光度都可以表示为一系列气体吸收的叠

加。由于不同气体会吸收不同频率的光信号, 当光波穿过样品气体后, 根据不同频带的吸光度, 分析仪可以扣除交叉干扰, 从而确定样品气体中不同气体的浓度^[8-9]。

1.2 基本组成

图 1 所示为典型的 NDIR 多组分气体分析系统, 它包括红外辐射光源、滤光轮、多次反射池、探测器以及相应的数据分析系统。其中, 光源用于产生光信号, 其光谱范围必须覆盖所有待测组分气体的红外吸收带; 滤光轮上包括不同类型的滤光片以滤掉一定频带的光信号; 同步电机用于控制滤光轮转动以达到光学滤波和调制光波的双重作用; 光信号在多次反射池内的三个球面镜之间多次反射, 以增加气体吸收光程, 提高系统的检测灵敏度。系统工作时, 光信号依次经过滤光轮和多次反射池后照射在探测器上。探测器产生的信号电压与检测光强成正比。当多次反射池内存在待测气体时, 数据分析系统会根据探测器检测到的不同频带的吸收光强反演出气体浓度。

2 多组分检测的关键点和难点

非分散红外多组分检测的关键点是获取系统的高检测灵敏度和准确度。为了达到这两个目标, 需要解决三个方面的难点问题^[10]。其一, 须有一套行之有效的干扰扣除方法; 其二, 分析仪必须具有良好的系统稳定性; 其三, 须有良好的温度和气压补偿方法。

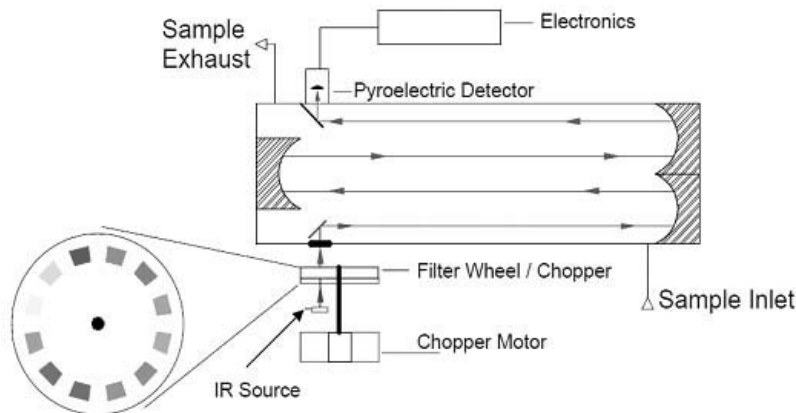


图 1 多组分气体分析系统的装置图

2.1 干扰扣除

这里的干扰主要是指各目标气体间的交叉干扰和外界水汽的干扰。因为非分散红外选择的中红外波段 ($1 \sim 10 \mu\text{m}$) 为分子振转光谱的基频吸收区, 很多气体在这一波段都存在指纹吸收带, 所以气体间的干扰较大。图 2 为部分待测气体的红外吸收光谱图。从图中可以看出, 气体间存在严重的重叠吸收现象, 因此在进行非分散红外多组分气体检测时, 气体指纹吸收带的选择显得尤为重要。对于选择吸收带后仍无法避免的干扰, 一般可通过建立和求解多元线性

回归方程组的方法来扣除。

2.2 系统稳定性

系统稳定性主要是指要使光源辐射特性和样品池温度保持稳定, 减少外界机械振动和一些电子学器件的工作状态保持稳定。

2.3 温度和气压补偿方法

这里主要是指对待测气体温度和气压漂移的补偿。

非分散红外多组分气体检测的关键点和难点的解析与解决方案如图 3 所示。

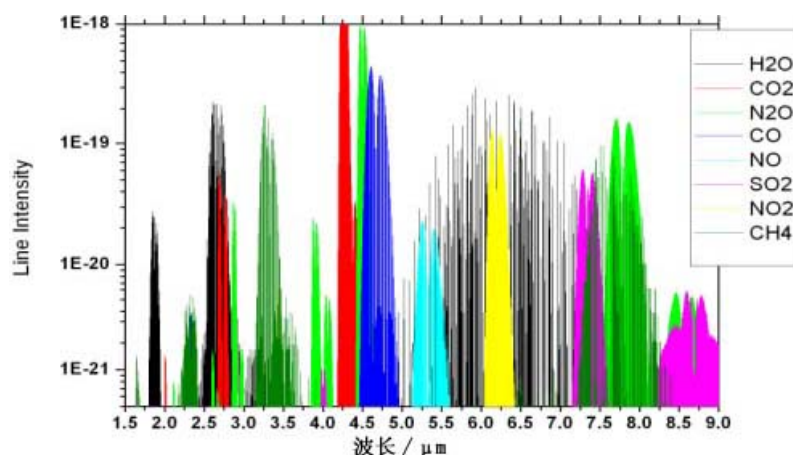


图 2 各待测组分气体的红外吸收光谱

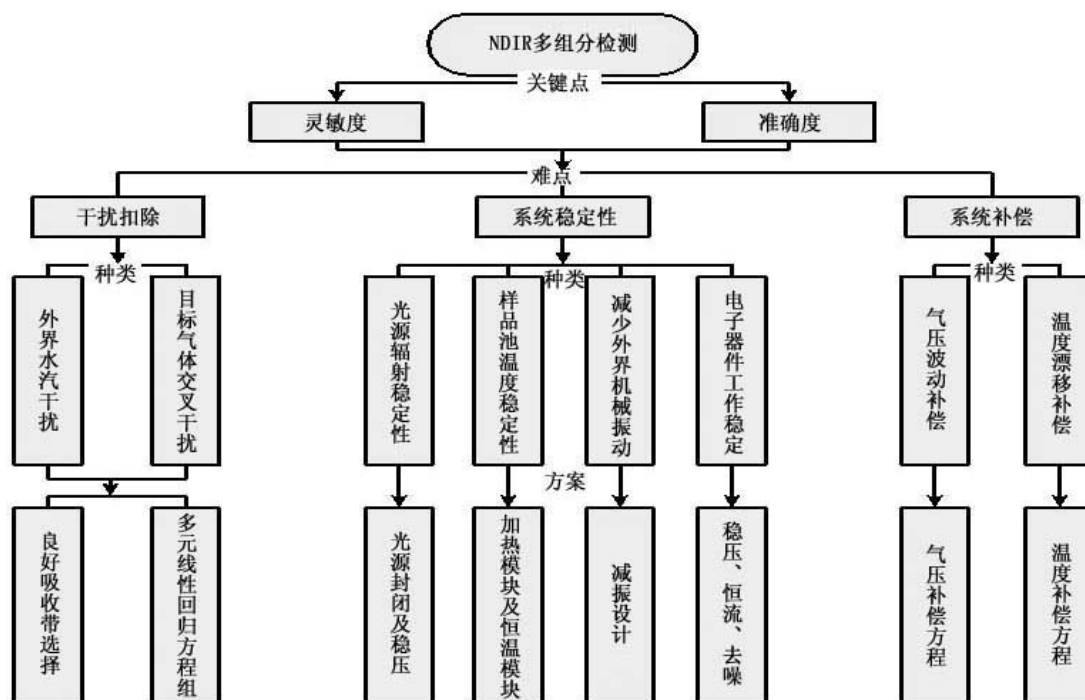


图 3 NDIR 多组分检测的关键点与难点解决方案的流程图

3 CEMS 应用

CEMS 监测参数中的绝大多数气态污染物(如 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 和 HC 等)都可以用非分散红外多组分检测技术实现在线监测。图 4 为 CEMS 的系统装置图。

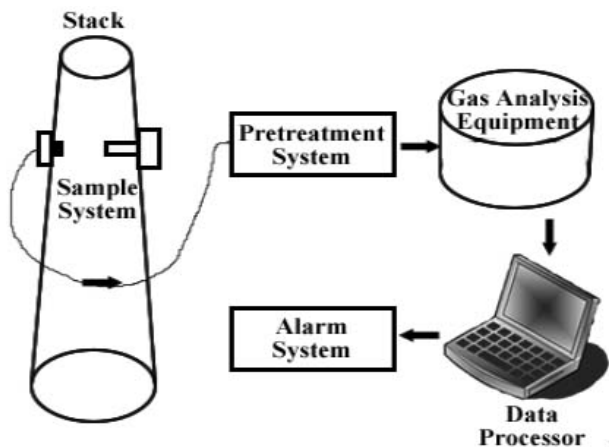


图 4 CEMS 分析系统框图

该系统主要包括以下几组核心部件:

(1) 取样探头: 前端带过滤器, 安装在烟道或烟囱上。

(2) 预处理单元: 包括制冷器、取样泵、过滤器、反吹单元等, 用于完成样气的净化、除尘和除湿。

(3) 气体分析主机单元: 用来测量气体污染物浓度的分析仪器, 是 CEMS 中最主要的部件。具有自动诊断和标定功能的非分散红外多组分分析仪可以实现 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 和 HC 等污染气体的浓度监测。

(4) 数据采集单元: 一般选用工业常用的可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 进行控制和采集, 因为 PLC 的可靠性和稳定性好, 并且具有可编程功能。此外, PLC 通用的通信和联网功能也可大大提高系统的灵活性。

(5) 数据处理单元: 选用通用的计算机对 PLC 采集的数据进行处理计算, 一方面形成达到环保要求的数据报表, 另一方面将数据传输到环保监测中心。

4 结论

由于具有独特的分析原理, 非分散红外多组分气体分析系统通常比其它类型的红外分析仪更稳定, 便于维护和操作, 价格低廉, 非常符合 CEMS 中多组分、高精度、实时连续检测的要求, 备受 CEMS 污染气体排放监测系统的青睐。随着空气污染和温室气体排放对生态环境的影响的加剧, 越来越多的国家开始对不同类型的废气排放进行监测, 以确保排放的气体浓度符合相关标准。随着 CEMS 的广泛应用, 非分散多组分气体检测技术将会有更广阔的发展空间, 也会向着更多领域方面发展。

参考文献

- [1] 肖瑞岗. CEMS 在应用中存在的问题及解决方案 [J]. 电力技术, 2009, 9(9): 62-64.
- [2] 司福祺, 刘建国, 谢品华, 等. 相关检测技术在 CO 气体监测系统中的应用 [J]. 光电工程, 2006, 33(7): 74-77.
- [3] 司福祺, 刘建国, 刘文清, 等. 基于气体相关滤波技术的非分散红外 CO 气体监测系统研究 [J]. 量子电子学报, 2004, 21(4): 425-428.
- [4] 罗勇, 毛晓波, 黄俊杰. 红外检测瓦斯传感器的设计与实现 [J]. 仪表技术与传感器, 2007, 44(8): 4-6.
- [5] 朱建模. STH 系列多组分红外分析仪及其应用 [J]. 热处理, 2004, 19(2): 54-56.
- [6] Kevin G W, Kim S C. Multi-gas NDIR Analyzer: US, 5811812 [P]. 1998-09-22.
- [7] Dirk A, Gaston E M, Shrikrishna H N, et al. Gas Analyzer System: US, 0213380 [P]. 2009-08-27.
- [8] Shu E Y, Cueman M K, Fortin G, et al. Gas Filter Correlation Technique Applied to In-situ Monitoring of Nitrogen Monoxide (NO) in Industrial Exhaust [C]. SPIE, 1996, 2834.
- [9] Andre Galais, Gerard Fortunato, Pierre Chavel. Gas Concentration Measurement by Spectral Correlation: Rejection of Interferent Species [J]. Applied Optics, 1985, 24(14): 2127-2134.
- [10] 郜武. 烟气连续测量系统技术及应用 [J]. 中国仪器仪表, 2009, 29(1): 43-47.
- [11] 于玲, 孙淮林. 国内外同类 CEMS 技术问题与市场现状 [J]. 江苏电机工程, 2004, 23(6): 6-8.