

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0565-03

激光 SO₂ 烟气自动遥测系统研究*

朱 孟 于 意 仲 陈 进 姚 建 铨

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 激光与光电子研究所, 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)

摘要 简要介绍了当前常用的几种烟气排放连续监测技术(CEMS), 并结合具体的研究工作, 对差分吸收光谱技术(DOAS)进行理论分析, 建立该系统的结构框架, 并在实验中采取独特的光纤系统, 获得了准确的烟气中二氧化硫的监测浓度。

关键词 差分吸收光谱, 排放连续监测, SO₂, 烟气监测

中图分类号 TN247 文献标识码 A

Research on Laser Remote CEMS System in SO₂ Emission

ZHU Meng YU Yi-zhong CHEN Jin YAO Jian-quan

(Institute of Laser and Optoelectronics, Optoelectronic Information Science and Technology Laboratory,
College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract The article summarize the traditional monitoring methods of continuous emission monitoring system (CEMS), and deeply expound the DOAS system theory. This DOAS system model is formed, and special optical fiber system utilized to get accurate SO₂ concentration.

Key words DOAS, CEMS, SO₂, emission monitoring

1 烟气排放监测技术简介

随着世界各国对环境保护问题的重视, 对烟气 SO₂ 的监测已成为大气污染治理技术的一个重要分支。统计资料表明, 我国 1999 年 SO₂ 排放总量达 1860 万吨, 其中火力发电和燃烧型工业的排放占总量的 27%, 所以对这类重点排放大户必须进行有效监测和治理, 才能显著改善大气环境。

此类污染源的排放连续监测技术已成为大气监测的重要分支, 通常简称为 CEMS (continuous emission monitoring system), 可对固定污染源长期在线连续监测。CEMS 系统由颗粒物监测单元、气态污染物监测单元、烟气参数监测单元、数据采集处理与通讯单元组成, 研究对象就是气态污染物监测单元, 目前主要的监测对象为 SO₂。

对于 SO₂ 烟气的现有监测技术有化学手段和光学方法。各种便携式监测仪器则多用电化学方法, 而根据电导原理和库仑滴定的原理制成的化学

式二氧化硫监测仪则被作为标准监测方法广泛使用。真正能实现自动在线监测的仪器多用光学方法, 根据利用频段可分为紫外荧光法、分光光度法和非分散红外吸收法。各种系统当前都采用采样分析系统, 采样方式分: 直接采样、有动力的主动采样法、被动采样法、稀释抽取法等等。总之, 需要采集一定量 SO₂ 烟气, 利用特征化学方法, 反演出 SO₂ 实际浓度, 记录实时排放状况或再指导并调节治理技术中的相关环节, 以控制 SO₂ 排放。但这些监测方法费时费力, 尤其是各种采样及采样处理过程, 严重影响样品的真实状态, 而且所测数据有很大的离散失真, 难以作为治理技术的依据。

我们采用紫外吸收光谱技术, 利用紫外光源在开路大气中的气体吸收, 根据 SO₂ 的特征吸收谱线, 获得实时 SO₂ 的浓度。系统采用光纤系统, 无接触测量, 实现真正意义上的遥测。它以整个烟道内的烟气为吸收体, 不再对烟气进行复杂的稀释、冷凝、除杂和加热处理, 减少了各种预处理过程, 所以能真实地反映烟气的实际状况, 并且简化了整个监测系统; 利用光纤, 完成背景测量和扣除; 而其他物

* 激光技术国家重点实验室部分资助课题。

理影响因子都在分析软件中体现。

本系统使用稳定的宽带紫外光源,利用二氧化硫在 300 nm 附近的强吸收,分离出其他干扰因子,从而获得纯净的二氧化硫吸收谱线,再依据该时刻的物理条件,利用其标准吸收谱线,计算出真实浓度。

根据比尔朗伯吸收定律,介质对光的吸收仅由介质浓度、介质厚度(即光通过的路径长度)和介质的吸收特性决定。在气象条件(温度、气压、湿度、风速和风向等)波动不大的前提下,吸收程度与介质的浓度呈线性关系,所以我们使用光纤系统,可以同时完成背景测量和背景扣除,从而获得 SO₂ 的纯吸收谱线,能够连续稳定地监测高浓度烟气 SO₂ 的实时浓度,利用自主开发的处理软件,可以在一分钟内完成一个测量周期,所获得的数据真实、准确,为 SO₂ 治理技术实现实时反馈控制奠定了基础。

本系统的分析依据为差分吸收光谱法

(DOAS)。DOAS 是 20 年前由德国 Heidenberg 大学的 U. Platt 教授和其研究小组提出并实验验证的^[1]。它可监测多种污染物,对于其他在紫外及可见光谱范围内有较明显吸收峰的各类气体及气态物质从理论上讲都可以测量^[2-6]。DOAS 以远优于点测量的空间分辨能力和时间响应能力而大量用来测量非标准污染物,并且易于操作,比点监测系统有极高的优越性。

这一技术的理论分析见收集于本论文集作者的另一篇文章《大气污染监测中的 DOAS 技术》(见本集第 561~564 页——编者注)。

2 实验系统设计简介

在本方案的污染气体直接测量单元中,烟气采样单元包括光发射单元、光接收单元、连续监测光路和可转换的密封定标光路等 4 部分(如图 1 所示)。

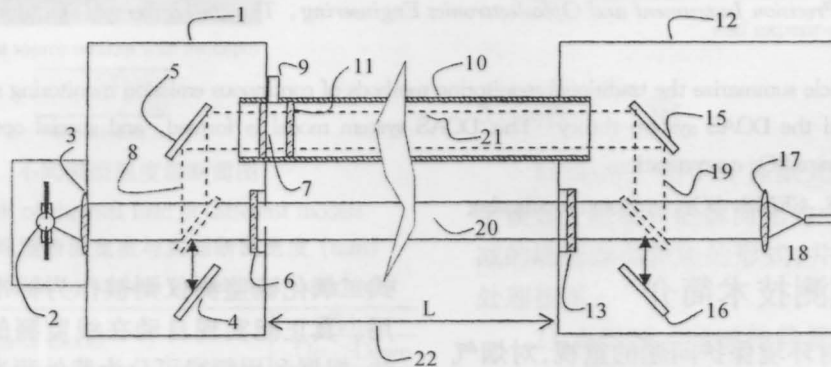


图 1 CEMS 中的监测单元示意图

Fig. 1 Diagram of pollution monitoring unit in CEMS

图 1 中,1 为光发射密封单元,2 为光源,3 和 17 为透镜,4 和 16 为可动反射镜,5 和 15 为反射镜,6 为光发射窗口,7 和 11 为标气池窗口,8 和 19 为光路,9 为标气入口(去接真空转换阀及多个标气瓶),10 为标气池,12 为光接收密封单元,13 为光接收窗口,18 为光纤,20 为监测光路,21 为定标光路,22 为监测光程 L 。

光发射单元由光源 2,透镜 3 和光发射密封单元 1 构成。其中光源 2 可以是高压氙灯、氙灯及其他光源。平行光发射光学系统 3 可以是透镜,也可以是球面或抛物面反射镜。

光发射密封单元 1 内充满正压的(稍高于外部气压)清洁空气,目的是保证辅助光路中没有被监测的污染气体。其中包括可动反射镜 4,反射镜 5,光发射窗口 6 和标气池窗口 7。其中光发射窗口 6 主

要起密封作用,它可以隔离烟道气,窗口 6 的外部应有吹扫系统来避免积尘。可动反射镜 4 在连续监测时,不应阻挡连续监测光路;在需要在线标定时,旋转或平移到连续监测光路上,改变主光路的传播方向,让光进入标气池,可动反射镜 4 与反射镜 5 的角度能确保定标光路与连续监测光路平行。

光接收单元的部件全部在密封的容器 12 中。内部充满正压的(稍高于外部气压)清洁空气,目的是保证辅助光路中没有被监的污染气体。此单元中包含可动反射镜 16,反射镜 15,光接收窗口 13,接收光学汇聚系统 17,光纤 18。其中光学接收窗口 13 主要起密封作用,它可以隔离烟道气,窗口 13 的外部应有吹扫系统来避免积尘。可动反射镜 16 在连续监测时,不应阻挡连续监测光路。

标气池是由标气池管道 10,标气入口 9,两端的

密封标气池窗口 11 和 7 组成。标气池管道 10 是横穿烟道内部的与两端的发射和接收单元相连接的密封管(如不锈钢管)。在需要在线标定时,先由标气入口 9 排气,把标气池管中抽成低真空,然后再从标气入口 9 充入与烟道内等气压的一定浓度的标气(SO₂ 或 NO_x 或水蒸气),再旋转或平移可动反射镜 4 与反射镜 16,改变主光路的传播方向,让光进入标气池,然后进入接收光学系统,汇聚到接收光纤上。然后通过光纤 18 把带有标气信息的光信号传到分光系统中,进行分光,经数据采集系统,把采集到的烟气信息汇聚到数据处理系统中,进行差分计算后,用此值标定仪器,达到在线标校的目的。

图 2 为实验系统的简化示意图,系统包括:

光发射单元:选择适合的光源并尽量使出射光是平行光束。使用连续短弧氙灯作为光源,利用高效耦合单元,耦合进石英光纤,选择烟道的适宜部位作为光入射窗口。

光接收单元:在入射窗口的相对应位置设置接收窗口,依然是一套耦合单元把接收光导入石英光纤。

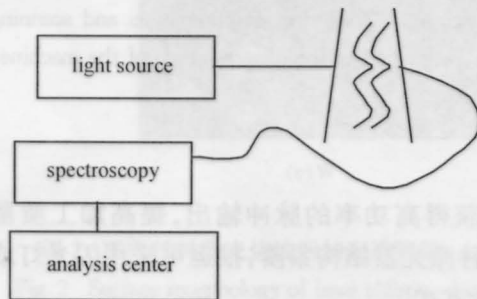


图 2 实验系统简化示意图

Fig.2 Diagram of experimental setup

因为使用光纤,所以烟道上的窗口面积非常之小,另外采用引出式窗口设计,最大限度地减少了光学元件的烟气污染,有效地延长了维护周期。

光谱仪:能够提供相应分辨率。我们使用的是 WGD-3 型光谱仪,能够测量出有效的准确数据,而且降低了整套系统的综合成本。

控制硬件及处理数据的计算机,软件为自己编制,考虑了各气象影响因子。

3 实验结果

我们利用 0.5 m 长石英玻璃管在学校锅炉烟道内采集烟气,同时采集相同样品利用四氯汞钠溶液吸收-盐酸副玫瑰苯胺比色法做对比测量。

用比色法测得的 SO₂ 浓度为 354.5 mg/m³。

利用光纤系统,我们成功地分离了背景光谱,并经过多项式拟合,获得二氧化硫的差分吸收光谱,进行归一化对数变换后,再与标准参考光谱进行比对,标准光谱已经考虑了温度参量,最终计算出的 SO₂ 浓度为 336.4 mg/m³。线性度为 95%,在多次重复性对比实验中,线性度均在 90% 内。证明了本方法的可行性,进一步分析误差可以获得更准确的测量结果。

参 考 文 献

- 1 U. Platt, D. Perner, H. Patz. Simultaneous measurement of atmospheric CH₂O, O₃, and NO₂ by differential optical absorption. *J. Geophys. Res.*, 1979, **84**:6329~6335
- 2 U. Platt. Differential optical absorption spectroscopy (DOAS). *Chem. Anal. Series*, 1994, **127**:27~83
- 3 T. Etzkorn, B. Klotz, S. Sorensen *et al.*. Gas-phase absorption cross sections of 24 monocyclic aromatic hydrocarbons in the UV and IR spectral ranges. *Atmos. Environ.*, 1999, **33**:525~540
- 4 B. Alicke, K. Hebestreit, J. Stutz *et al.*. Detection of Iodine oxide in the marine boundary layer. *Scientific Correspondence to Nature*, 1999, **397**:572~573
- 5 G. Barrefors. Monitoring of benzene, toluene and *p*-xylene in urban air with differential optical absorption spectroscopy technique. *Elsevier Science*, 1996, **189 190**:287~292
- 6 W. Amerding, M. Spiekermann, R. Grigonis *et al.*. Fast scanning laser DOAS for local monitoring of trace gases, in particular tropospheric OH radicals. *Ber. Bunsenges*, 1992, **96**:314~318