

NDIR 多组分气体分析的干扰修正方法研究

孙友文, 刘文清*, 汪世美, 黄书华, 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 介绍了非分散红外(Non-Dispersive Infrared, NDIR)多组分气体分析的一种干扰修正方法。根据逐次积分气体吸收模型和方法,并考虑温度和气压对积分线强和线型的影响,选择洛伦兹展宽线型,得到了CO, CO₂, NO和H₂O在各个滤波通道的响应系数。利用响应系数建立了用于干扰修正的四元线性回归方程组,通过求解方程组,修正了气体间的吸收干扰,干扰修正后,各个滤波通道的吸光度只反映对应目标气体的浓度变化。将一定浓度比例的CO, CO₂和NO混合气体通入样品池,将干扰修正后的吸光度直接用于浓度反演,CO₂的反演误差为2.0%,CO为1.6%,NO为1.7%。理论和实验都证明提出的NDIR多组分气体分析的干扰修正方法是可行的。

关键词 光谱学; 非分散红外; 干扰修正; 多组分分析

中图分类号: O433.1 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2719-06

引言

NDIR光谱法具有多组分气体分析的能力,这类分析仪通常结构简单、成本低、测量精度高、稳定性好,能非常方便地进行人机交互,是电站和焚化炉上连续排放监测系统的理想监测设备^[1-3]。然而NDIR所选的中红外吸收波段,很多气体之间都存在一定的吸收干扰,包括仪器使用环境中其他气体的干扰(如H₂O)和待测目标气体之间的交叉干扰,此外,NDIR多组分分析仪还面临光源老化、供电电压波动、粒子散射等问题,所有这些都统称为干扰,如果不加以修正,将会大大影响仪器的检测准确度和灵敏度^[4,5]。

本文研究NDIR多组分气体分析的干扰修正方法,根据提出的方法和基于逐次积分模型获取的响应系数,对系统中的干扰进行了修正,获得了良好的效果。理论和实验都证明提出的NDIR多组分气体分析的干扰修正方法是可行的。

1 NDIR 气体分析原理及光谱特征

假若气体混合物中包括n种气体分子,气体0为目标气体,气体i(i=1~n-1)为需要扣除的干扰气体,那么在波长λ处,气体混合物的总体光谱透过率可以表示为^[5-7]

$$T(\lambda) = \prod_0^{n-1} T_i(\lambda) \quad (1)$$

这里,根据朗伯比尔定律得

$$T_i(\lambda) = \exp[-\alpha_i(\lambda)c_iL] \quad (2)$$

式中,L为气体吸收光程,c_i为第i种气体的浓度,α_i(λ)为第i种气体的单位浓度光谱吸收系数,单位为cm²·mol⁻¹;其中L与α_i(λ)为已知量,c₀为待测气体的浓度。如果I₀(λ)表示光源在波长λ处的信号强度,则经混合气体吸收后,到达探测器的信号强度I(λ)可以表示为

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) T(\lambda) T'(\lambda) = I_0(\lambda) T_0(\lambda) \prod_{i=1}^{n-1} T_i(\lambda) T'(\lambda) \quad (3)$$

式(3)中,函数T'(λ)包括任何其他原因造成的光强缩减:粒子的散射、仪器窗片沉积物的消光效应、老化或电压波动导致的光源信号强度变化等等。因此,I₀(λ)表示理想的光源信号强度,即I₀(λ)可以根据波尔兹曼黑体辐射定律精确地得到。

式(3)中的第二项由四部分构成,I₀(λ)为已知量,T₀(λ)为目标气体的纯透过率,其他两部分从广义上来讲都称之为干扰:

(1) 第I类干扰为来自其他气体的干扰 $\prod_{i=1}^{n-1} T_i(\lambda)$,它随

波长λ而变化,成线状或带状分布;

收稿日期: 2010-11-30, 修订日期: 2011-04-01

基金项目: 国家(863)重大课题(2009AA063006), 国家自然科学基金项目(4080501)和安徽省优秀青年科技基金项目(10040606Y28)资助
作者简介: 孙友文, 1985年生, 中国科学院安徽光学精密机械研究所博士研究生 e-mail: ywsun@aiofm.ac.cn

* 通讯联系人 e-mail: wqliu@aiofm.ac.cn

(2) 第 II 类干扰归总于 $T'(\lambda)$, 它与第 I 类干扰有很大不同, 因为它不随波长 λ 发生明显变化, 不成线状或带状分布。

干扰修正的目标是尽量扣除这两类干扰并对目标气体 0 保持良好的灵敏度。为此, 需要精心选择目标气体的光谱吸收带, 以尽量减少与干扰气体间的交叉重叠吸收, 并通过窄带滤光片滤除其他光信号。如果 $F(\lambda)$ 表示滤光片的光强透过率, 那么经过滤光片后, 式(3)可以转化为

$$I(\lambda) = F(\lambda)I_0(\lambda)T(\lambda)T'(\lambda) = F(\lambda)I_0(\lambda)T_0(\lambda)\prod_{i=1}^{n-1}T_i(\lambda)T'(\lambda) \quad (4)$$

式中理想光源强度 $I_0(\lambda)$ 用滤波后的理想光源强度 $F(\lambda)I_0(\lambda)$ 代替。

2 干扰修正

基于以上分析, 采用逐线积分气体吸收模型^[8,9], 根据吸收线强修正公式和线型展宽修正公式, 可以得出一定温度 T 和压强 P 下^[10-13], 滤光片带宽 $\Delta\lambda$ 内, 式(4)转化为

$$\int_{\Delta\lambda} I(\lambda)d\lambda = \int_{\Delta\lambda} [F(\lambda)I_0(\lambda)T_0(\lambda)\prod_{i=1}^{n-1}T_i(\lambda)T'(\lambda)] d\lambda \quad (5)$$

$$I = I_0 \int_{\Delta\lambda} \prod_{i=0}^{n-1} \exp\left[-\sum_{j=1}^{N_j} \alpha_j(\lambda)c_jL\right] d\lambda \quad (6)$$

式中: I 为气体吸收后的信号强度, I_0 为气体吸收前的信号强度, 这里的 I_0 包括非气体吸收造成的衰减。如果引入一个参考分析通道, 该通道滤光片带宽内不存在任何气体吸收或吸收可以忽略, 那么, 任意时刻外界干扰造成的信号衰减(如: 光源老化, 电压波动, 尘埃散射等)幅度与目标气体分析通道相同, 可以很好地消除第 II 类干扰。转化为吸光度后, 式(6)修正为

$$A_{\text{total}} = \ln\left(\frac{I_0/I_{\text{ref}}}{I/I_{\text{ref}}}\right) = \sum_{i=0}^{n-1} A_i = \sum_{i=0}^{n-1} (\alpha_i c_i L) \quad (7)$$

式中: A_{total} 为总吸光度, I_{ref} 与 I_{ref} 分别为气体吸收前后的参考信号强度, A_i 为第 i 种气体的吸光度, α_i 为第 i 种气体在带宽 $\Delta\lambda$ 内的吸收系数。NDIR 多组分气体分析时, 如果有 n 个滤光片分别用于测量 n 种目标气体, 每一个分析通道内的总吸光度都是一系列吸光度的叠加, 那么, n 个分析通道可建立 n 元线性回归方程组, 即

$$\begin{cases} A_{\text{total}}^0 = \sum_{i=0}^{n-1} A_i^0 = \sum_{i=0}^{n-1} (\alpha_i^0 c_i L) \\ A_{\text{total}}^1 = \sum_{i=0}^{n-1} A_i^1 = \sum_{i=0}^{n-1} (\alpha_i^1 c_i L) \\ \dots\dots \\ A_{\text{total}}^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} A_i^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} (\alpha_i^{n-1} c_i L) \end{cases} \quad (8)$$

一般而言, 求解式(8)中包括 n 个未知量 c_i 的 n 个方程, 就可以得到混合气体中每一种气体的浓度, 然而, 为了方便浓度反演、零校准和跨度校准, 式(8)通常改写成以纯吸光度 A_i^p 为未知量的形式, 即

$$\begin{cases} A_{\text{total}}^0 = A_0^p + \frac{\alpha_1^0}{\alpha_1^1} A_1^p + \dots + \frac{\alpha_{n-1}^0}{\alpha_{n-1}^1} A_{n-1}^p \\ A_{\text{total}}^1 = \frac{\alpha_1^1}{\alpha_0^1} A_0^p + A_1^p + \dots + \frac{\alpha_{n-1}^1}{\alpha_{n-1}^1} A_{n-1}^p \\ \dots\dots \\ A_{\text{total}}^{n-1} = \frac{\alpha_0^{n-1}}{\alpha_0^1} A_0^p + \frac{\alpha_1^{n-1}}{\alpha_1^1} A_1^p + \dots + A_{n-1}^p \end{cases} \quad (9)$$

这里, A_i^p 对应于式(8)中的 $\alpha_i c_i L$, $\frac{\alpha_i^j}{\alpha_i^1}$ 定义为第 i 种气体在 j 滤光通道的响应系数, 为已知量。求解线性回归方程组(9)可以得到混合气体中每一种气体 i 的纯吸光度, 直接用于浓度反演。

至此, 已成功修正了 NDIR 多组分分析的干扰: 引入参考滤光片, 将气体吸收转化为吸光度形式, 可以有效地修正第 II 类干扰; 引入 n 个滤光片用于分析 n 种气体, 每一个分析通道的总吸光度是一系列气体吸光度的叠加, 通过建立和求解 n 元线性回归方程组, 可以得到每一种待测气体的纯吸光度, 可以有效地修正第 I 类干扰。

3 实验及结果讨论

3.1 实验装置

NDIR 多组分气体分析装置如图 1 所示, 实验装置包括红外辐射光源、滤光轮、多次反射池、探测器及相应数据分析系统。光源用于产生光信号, 其光谱范围约为 $1 \sim 10 \mu\text{m}$, 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; 流量控制阀与抽气泵的联合作用将待测混合气体恒速地抽入样品池, 以保证样品池内压力的稳定; 加热模块与温度传感器的联合作用保证样品池内温度的稳定。

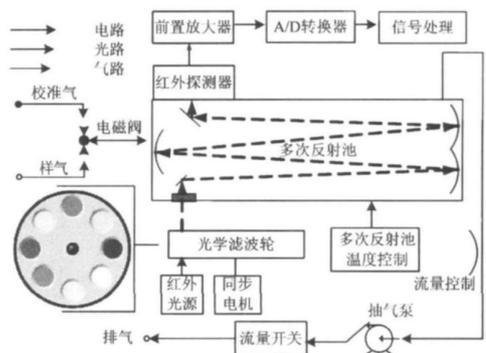


Fig 1 The functional layout of NDIR multi-component gas analysis system

3.2 响应系数的计算

实验装置的滤光轮上一共有 8 个滤光片小孔, 通过添加或更换滤光片, 可以用于测量工业污染源的 SO_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , CH_4 , N_2O , HC , NH_3 和 H_2S 等污染气体。限于

篇幅, 且不失一般化, 这里只给出 CO, CO₂ 和 NO 三种气体同时测量的例子。此时, 除了 CO(4.6 μm), CO₂(4.8 μm), NO(5.25 μm) 和 H₂O(2.58 μm), 参考 Ref(3.55 μm) 五个滤波通道之外, 其他滤波通道不予考虑。值得注意的是, 由于我们的装置用于工业污染源气体测量, CO₂ 的含量非常高, 所以其吸收带选择相对较弱的 4.8 μm 波段, 另外, H₂O 并非待测气体, 对它进行吸收线和滤波片参数设置只是为了更好地修正水汽对其他待测气体的干扰, 以提高系统的检测精确度。

样品池温度恒定为 343 K, 样品池内气压恒定为 1 个标准大气压, 采用逐线积分气体吸收模型, 谱线线型选择在 20 km 以下的低层大气中占主导作用的洛伦兹线型函数 $f_L(\lambda)$, 根据吸收线强修正公式和线型展宽修正公式^[12], 可以得出, $T=343\text{ K}$ 和 $P=101\,325\text{ Pa}$ 时, 每种气体在各个滤光片带宽内的吸收系数。将每种气体在各个滤波通道的吸收系数归一化, 可以得到每种气体在各个滤波通道的响应系数, 整理如表 1 所示, 纵轴表示气体分子, 横轴表示滤光片通道。

Table 1 Response coefficients on each analysis channel

	Filter1	Filter2	Filter3	Filter4	Filter5
Gases	Ref	H ₂ O	CO ₂	NO	CO
H ₂ O	5.16e-9	1	0.048	0.247	3.22e-5
CO ₂	1.74e-5	1.05e-4	1	0.133	0.38
NO	0	8.5e-6	3.54e-6	1	0.185
CO	0	3.35e-12	0.553	1.2e-7	1

如上所述, 响应系数是干扰方程组建立和求解的关键。可以这样理解响应系数的意义, 例如, 从表 1 中可以看出, H₂O 在各个滤波通道都有响应, 只不过它在 H₂O 滤波通道(Filter2)的响应能力最强(为“1”), 而在其他滤波通道的响应能力较弱, 在 CO₂(Filter3)滤波通道的响应能力仅为在 H₂O 滤波通道(Filter2)响应能力的 4.8%, 在 NO(Filter4)滤波通道的响应能力仅为在 H₂O 滤波通道(Filter2)响应能力的 24.7%, 而其在 CO 和 Ref 滤波通道的响应能力非常弱, 以至于可以忽略不计。

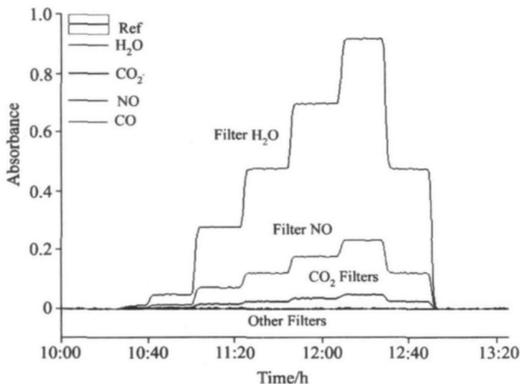


Fig 2 The absorbance of each analysis channel before interference correction when the sample cell was filled with different concentration of H₂O

3.3 结果分析与讨论

为了验证干扰修正及理论计算的正确性, 定量分析气体间的干扰情况, 我们分别往样品池中通入不同浓度的 H₂O, CO₂, CO 及 NO, 分析不同浓度单组分气体背景下, 干扰修正前后各个滤波通道吸光度的变化情况。干扰修正前, 各个滤波通道的吸光度变化规律如图 2—图 5 所示。

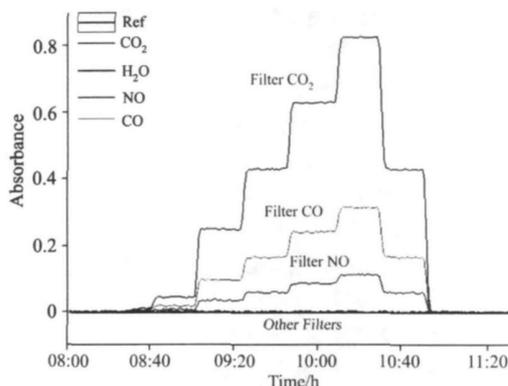


Fig. 3 The absorbance of each analysis channel before interference correction when the sample cell was filled with different concentration of CO₂

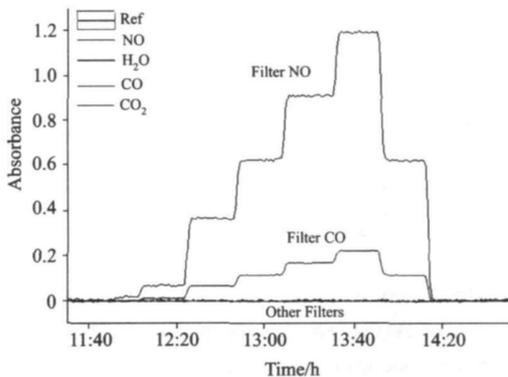


Fig. 4 The absorbance of each analysis channel before interference correction when the sample cell was filled with different concentration of NO

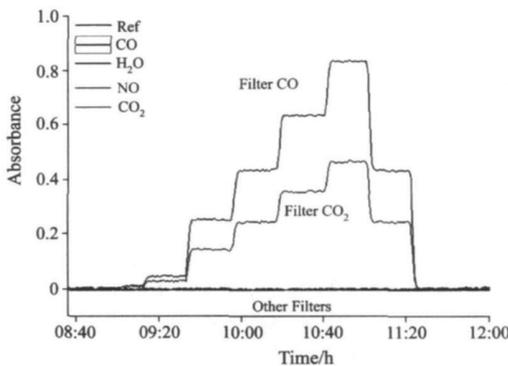


Fig. 5 The absorbance of each analysis channel before interference correction when the sample cell was filled with different concentration of CO

图 2 为分别往样品池中通入 0.500 0%, 1.500 0%, 2.500 0%, 3.500 0%, 4.500 0% 浓度的 H_2O 时, 各个滤波通道的吸光度变化规律, 从图中可以看出, H_2O 对 CO_2 和 NO 存在明显干扰, 其中对 NO 的干扰大于对 CO_2 的干扰, 而对 CO 的干扰很小, 几乎可以忽略不计; 图 3 为分别往样品池中通入 2.50%, 7.50%, 12.50%, 17.50%, 22.50% 浓度的 CO_2 时, 各个滤波通道的吸光度变化规律, 从图中可以看出, CO_2 对 CO 和 NO 存在明显的干扰, 其中对 CO 的干扰大于对 NO 的干扰, 而对 H_2O 的干扰很小, 几乎可以忽略不计; 图 4 为分别往样品池中通入 0.020 0%, 0.060 0%, 0.100 0%, 0.140 0%, 0.180 0% 浓度的 NO 时, 各个滤波通道的吸光度变化规律, 从图中可以看出, NO 对 CO 存在明显的干扰, 而对 CO_2 和 H_2O 的干扰很小, 几乎可以忽略不计; 图 5 为分别往样品池中通入 0.040 00%, 0.120 00%, 0.200 00%, 0.280 00%, 0.360 00% 浓度的 CO 时, 各个滤波通道的吸光度变化规律, 从图中可以看出, CO 对 CO_2 存在明显的干扰, 而对 NO 和 H_2O 的干扰很小, 几乎可以忽略不计。以上分析与表 1 响应系数表反映的规律吻合良好。

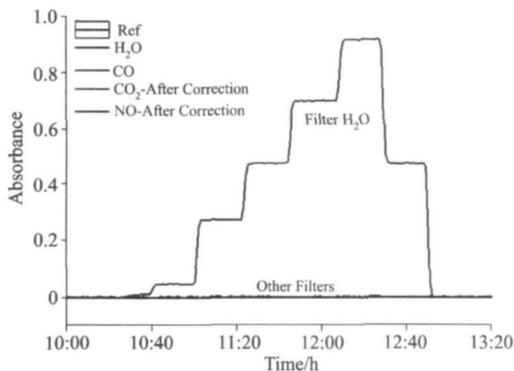


Fig. 6 The absorbance of each analysis channel after interference correction when the sample cell was filled with different concentration of H_2O

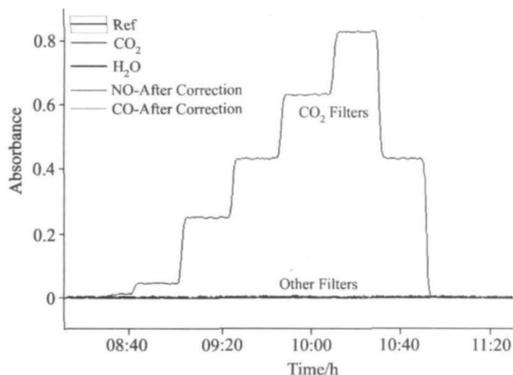


Fig. 7 The absorbance of each analysis channel after interference correction when the sample cell was filled with different concentration of CO_2

利用表 1 中的响应系数, 将各滤波通道的总吸光度减掉来自其他气体的干扰, 得到如图 6—图 9 所示的干扰修正后

的吸光度分布图。从图中可以看出, 干扰修正后, 每个滤波通道仅仅反映目标气体浓度的变化, 其他滤波通道的吸光度几乎没有变化, 即: 当样品池通入不同浓度的 H_2O 时, 只有 H_2O 滤波通道 (Filter2) 的吸光度发生相应变化; 通入不同浓度的 CO_2 时, 只有 CO_2 滤波通道 (Filter3) 的吸光度发生相应变化, 如此等等。

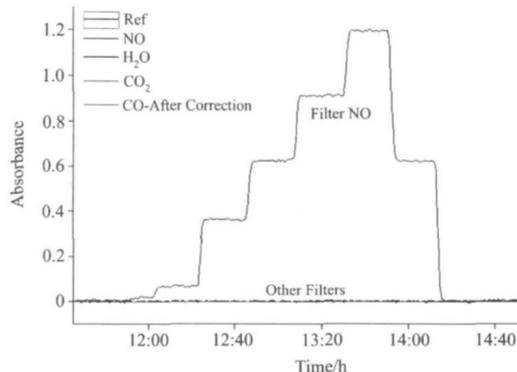


Fig. 8 The absorbance of each analysis channel after interference correction when the sample cell was filled with different concentration of NO

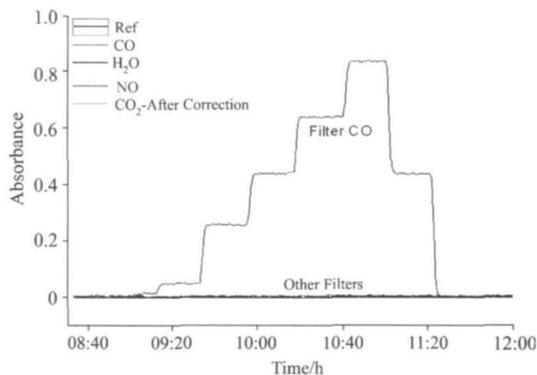


Fig. 9 The absorbance of each analysis channel after interference correction when the sample cell was filled with different concentration of CO

此外, 我们往样品池中通入 CO_2 , CO 和 NO 的混合气体, 其中 CO_2 为 10.52%, CO 为 0.132 00%, NO 为 0.074 60%, 试图利用相应滤波通道干扰修正后的吸光度直接反演三种气体的浓度。利用表 1 中的响应系数, 四个气体分析通道, 建立如下四元线性回归方程组

$$\begin{cases} A_{H_2O}^p + 0.048A_{CO_2}^p + 0.247A_{NO}^p + 0 \cdot A_{CO}^p = A_{total}^{H_2O} \\ 0 \cdot A_{H_2O}^p + A_{CO_2}^p + 0.133A_{NO}^p + 0.38A_{CO}^p = A_{total}^{CO_2} \\ 0 \cdot A_{H_2O}^p + 0 \cdot A_{CO_2}^p + A_{NO}^p + 0.185A_{CO}^p = A_{total}^{NO} \\ 0 \cdot A_{H_2O}^p + 0.553 \times A_{CO_2}^p + 0 \cdot A_{NO}^p + A_{CO}^p = A_{total}^{CO} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $A_{total}^{H_2O}$, $A_{total}^{CO_2}$, A_{total}^{NO} , A_{total}^{CO} 分别为 H_2O , CO_2 , NO 和 CO 滤波通道的总吸光度, 可以根据探测器的信号电压直接得到, $A_{H_2O}^p$, $A_{CO_2}^p$, A_{NO}^p , A_{CO}^p 分别为 H_2O , CO_2 , NO 和 CO 气体的纯吸光度, 为待求解的未知量。我们用求解后的纯吸光

度直接用于三种气体的浓度反演, 得到 CO_2 的浓度为 10.31%, CO 的浓度为 0.13414%, NO 的浓度为 0.07580%, 其中 CO_2 的反演误差为 2%, CO 的反演误差为 1.6%, NO 的反演误差为 1.7%。

4 结 论

使用 NDIR 光谱法进行多组分气体分析时, 常常面临使用环境中其他气体的干扰(如 H_2O)和待测目标气体之间的交叉干扰及光源老化、电压波动、粒子散射等问题, 而导致系统的检测准确度和灵敏度下降。为此, 本文介绍了一种用

于 NDIR 多组分气体分析的干扰修正方法: 引入参考滤波通道消除了光源老化、电压波动、粒子散射等物理因素的干扰; 通过建立和求解多元线性回归方程组, 修正了气体间的交叉干扰。选择在 20 km 以下的低层大气中占主导作用的洛仑兹线型函数 $f_L(\lambda)$, 采用逐次积分气体吸收模型, 计算了每种气体在各个滤光片带宽内的响应系数, 运用获取的响应系数成功修正了气体间的吸收干扰。将干扰修正后的吸光度直接用于浓度反演, CO_2 的反演误差为 2.0%, CO 为 1.6%, NO 为 1.7%。实验结果表明提出的 NDIR 多组分气体干扰修正方法是可行的。

References

- [1] Frey H Christopher, Rouphail Nagui M, Unal A, et al. Annual Meeting of Air& Waste Management Association, Held in Orlando, Florida, and Published by A&WMA, Pittsburgh, PA, 2001. 7.
- [2] Kevin G Williams, Kim S Christensen. US PAT 5811812, 1998.
- [3] Dirk Appel, Gaston E Marzoratti, Shrikrishna H Nabar, et al. US PAT US/2009/0213380 A1, 2009.
- [4] Harold S Lessure, Satoru Simizu, Louis J Denes, et al. US PAT 5886348, 1999.
- [5] Andre Galais, Gerard Fortunato, Pierre Chavel. Applied Optics, 1985, 24(14): 2127.
- [6] ZHANG Hua, SHI Guang-yu(张 华, 石广宇). Chinese Journal of Atmospheric Sciences(大气科学), 2000, 24(1): 111.
- [7] ZHOU Xi-ji, TAO Shan-chang, YAO Ke-ya(周秀骥, 陶善昌, 姚克亚). High Atmospheric Physics(高等大气物理学). Beijing: Atmosphere Press(北京: 气象出版社), 1991. 690.
- [8] DING Lei, LIU Wen-qing, ZHANG Yi-jun, et al(丁 蕾, 刘文清, 张玉钧, 等). Chinese Journal of Quantum Electronics(量子电子学报), 2003, 20(4): 459.
- [9] CHEN Xiao-ning, LIU Jian-guo, SI Fu-qi, et al(陈晓宁, 刘建国, 司福祺, 等). Journal of Atmospheric and Environmental Optics(大气与环境光学学报), 2007, 2(3): 207.
- [10] SI Fu-qi, LIU Jian-guo, LIU Wen-qing, et al(司福祺, 刘建国, 刘文清, 等). Chinese Journal of Quantum Electronics(量子电子学报), 2004, 21(4): 425.
- [11] ZHAO Kai-hua, ZHONG X+hua(赵凯华, 钟锡华). Optics(光学). Beijing: Peking University Press(北京: 北京大学出版社), 1982. 258.
- [12] Wenger Ch, Champion JP, Boudon V. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2008, 109(16): 2697.

Research on the Method of Interference Correction for Nondispersive Infrared Multi-Component Gas Analysis

SUN You-wen, LIU Wen-qing*, WANG Shi-mei, HUANG Sh+hua, 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 A method of interference correction for nondispersive infrared multi-component gas analysis was described. According to the successive integral gas absorption models and methods, the influence of temperature and air pressure on the integral line strengths and linetype was considered, and based on Lorentz detuning linetypes, the absorption cross sections and response coefficients of H_2O , CO_2 , CO , and NO on each filter channel were obtained. The four dimension linear regression equations for interference correction were established by response coefficients, the absorption cross interference was corrected by solving the multi-dimensional linear regression equations, and after interference correction, the pure absorbance signal on each filter channel was only controlled by the corresponding target gas concentration. When the sample cell was filled with gas mixture with a certain concentration proportion of CO , NO and CO_2 , the pure absorbance after interference correction was used for concentration inversion, the inversion concentration error for CO_2 is 2.0%, the inversion concentration error for CO is 1.6%, and the inversion concentration error for NO is 1.7%. Both the theory and experiment prove that the interference correction method proposed

for NDIR multi-component gas analysis is feasible.

Keywords Spectroscopy; Non-dispersive infrared; Interference Correction; Multi-component

* Corresponding author

(Received Nov. 30, 2010; accepted Apr. 1, 2011)

《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行,从2004年起为月刊,大16开本,2011年仍为月刊,每期288页。《光谱学与光谱分析》主要报道我国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才;推动和促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和科研管理干部。

栏目设置和要求

- 1 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以8000字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要,下同)为宜。
- 2 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过5000字。
- 3 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过10000字。
- 4 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过5000字。
- 5 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以3000~4000字为宜。

稿件要求

- 1 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。
- 2 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以300字为宜,英文摘要以2000字符(相当于300个英文单词)为宜;另附关键词。要求来稿应达到“齐、清、定”,中文、英文文字通顺,方可接受送审。
- 3 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊在2007年7月1日以后,不再接收以邮寄方式或e-mail方式的投稿,只收网上在线投稿。严禁“一稿多投”,对侵权、抄袭、剽窃等学术不端行为,一经发现,取消三年投稿资格。
- 4 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。如作者特殊要求需出彩色插图者,必须在投稿时事先加以说明,并承担另加的彩印费用。图幅大小:单栏图7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用6号字(另请备一份合格的图附在文章的后边)。
- 5 文中出现的单位必须按“中华人民共和国计量标准”及有关GB标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词头用正体字母。
- 6 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。
- 7 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以15~20条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。
- 8 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个e-mail,以便及时联系。

稿件处理

- 1 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修改稿在30天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再做大的改动),若二个月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。
- 2 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。
- 3 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊1册,本人文章1份当期封面及6份抽页。
- 4 遵照“中华人民共和国著作权法”,投稿作者须明确表示,该版权(含各种媒体的版权)授权给光谱学与光谱分析期刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一律认为已获作者授权认可。

5 修改稿请寄:100081北京市海淀区学院南路76号,光谱学与光谱分析期刊社(收)

电话:010-62182998或62181070 传真:010-62181070

e-mail: chngpxygf@vip.sina.com; 修改稿专用邮箱: gpx2008@vip.sina.com 网址: http://www.gpxygf.com