

文章编号: 1672-8785(2016)03-0020-05

基于热释电型红外气体探测器的 原始信号探究

尚合明¹ 修吉平^{1,2} 武亚举¹ 陈永志¹ 刘文君¹

(1. 华中科技大学材料科学与工程学院, 湖北武汉 430074;

2. 华中科技大学精密成型国家重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘 要: 作为采用非色散分光红外吸收光谱 (Non-dispersed Infrared, NDIR) 原理的红外光谱气体分析仪的一个核心器件, 热释电型红外气体探测器输出信号的特征与后级信号处理息息相关。基于 PYS3228TC_G1G20 热释电红外气体探测器在不同调制频率下对激励源和输出的原始信号的同步跟踪, 深入分析了激励源与探测器输出信号之间的关系。通过这些实验, 总结并得出了热释电型红外探测器的初始信号特征, 为热释电型红外气体分析仪的信号处理提供了重要的理论参考。

关键词: 热释电; NDIR; 信号处理; 气体探测

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.03.005

Exploration of Original Signals of Infrared Gas Detectors Based on Pyroelectric Effect

SHANG He-ming¹, XIU Ji-ping^{1,2}, WU Ya-ju¹, CHEN Yong-zhi¹, LIU Wen-jun¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, China;

2. The State Key Laboratory of Precision Forming, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, China)

Abstract: As a core device in an infrared spectral gas analyzer based on Non-Dispersed Infrared (NDIR) principle, the pyroelectric infrared gas detector has its output signal characteristics closely related to the subsequent signal processing. On the basis of the synchronous tracking of excitation source and the output signals from a PYS3228TC_G1G20 pyroelectric infrared gas detector at different frequencies, the relationship between the excitation source and the output signals from the gas detector is analyzed deeply. Through these experiments, the initial signal characteristics of the pyroelectric infrared gas detector are summarized. The results provide an important theoretical reference for the signal processing of pyroelectric infrared gas analyzers.

Key words: pyroelectric effect ; NDIR; signal processing; gas detecting

收稿日期: 2015-07-16

作者简介: 尚合明 (1988-), 男, 湖北十堰人, 硕士, 主要从事传感器信号处理与控制系统的研究。

E-mail: shanghm01@foxmail.com

0 引言

目前, 国内外环境监测和对有毒有害气体的检测方法有许多。每种检测方法受各自检测传感器机理的限制, 其优缺点各不一样。总的来说, 气体检测主要有电化学方法、气相色谱法和红外光学吸收法等几种方法。表 1 是对各个不同检测方法的比较。

通过对比可以发现, 红外光学吸收法具有独到的优势, 精度高, 选择性好, 而且由于不直接接触测试气体, 不会受环境气体腐蚀, 检验仪器的寿命长, 稳定性好。

红外气体探测器作为红外光谱气体分析仪的核心器件, 其原理有热释电原理和热电堆原理。其基本理论依据是红外光谱吸收定律——朗伯-比尔定律。其中, 热电堆红外探测器作为最为古老的探测器之一, 它的工作原理基于 Seebeck 效应。由于其输出信号非常微弱, 通常为微伏级别, 抗干扰性较差, 不利于信号的处理。热释电探测器的测量精度高, 输出信号较强, 通常为毫伏级, 有较强的抗干扰性, 便于信号的处理。因此, 热释电红外探测器已被广泛应用于气体探测领域。

表 1 气体检测方法比较

检测方法	原理	精度	零漂	选择性	稳定性	寿命
电化学	化学反应	高	小	好	中	短
气相色谱	气体吸附	低	大	差	差	中
红外吸收	气体吸收	高	小	好	好	长

1 硬件方案的选择

1.1 热释电气体探测器的选择

实验用的热释电探测器是由美国 PE 公司生产的 PYS3228TC_G1G20 双通道热释电型 CO 气体探测器。该探测器参数见表 2, 频率响应曲线如图 1 所示, PYS3228TC_G1G20 等效电路如图 2 所示, 两通道对应的波长范围如图 3 所示。G20 为参比通道, 对应的中心波长为 $4.00 \pm 0.08 \mu\text{m}$, 任何气体对该波段的红外光都没有吸收作用,

因此可以将其作为一个稳定的参考源通道, 用于监视光源的光强变化和吸收池的环境变化。G1 为 CO 通道, 中心波长为 $4.64 \pm 0.05 \mu\text{m}$, CO 气体对该波长的红外光最为敏感, 而且该波长的红外光仅对 CO 气体敏感, 具有较强的吸收能力。

表 2 PYS3228TC_G1G20 参数表

响应	3.5 KV/W
噪声	15 μV_{pp}
供电电压	VDD=2~12 V
源极电压	VS=0.2~1.5 V
漏-源极电压	VDS=MIN 0.5 V

Typical Responsivity vs. Frequency

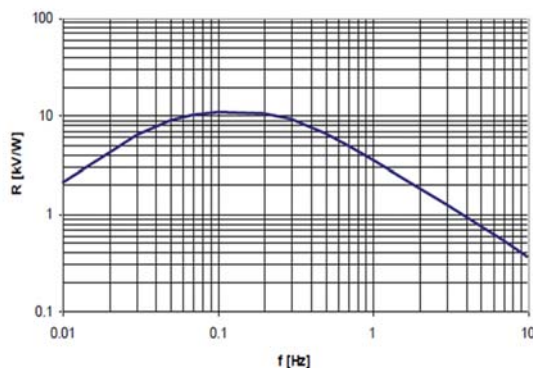


图 1 PYS3228TC_G1G20 频率响应

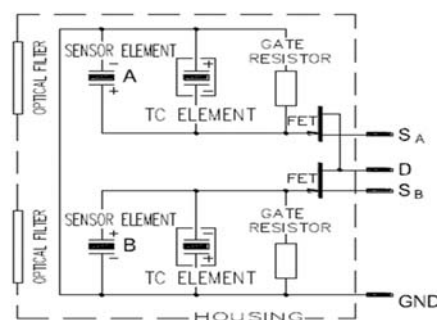


图 2 PYS3228TC_G1G20 内部等效电路图

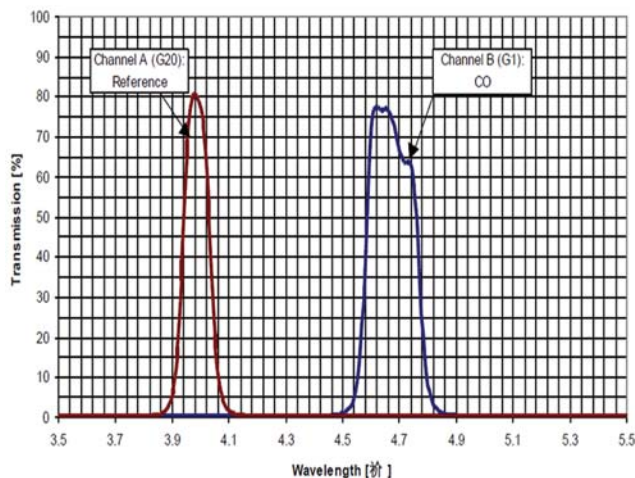


图3 两通道对应的红外波长

1.2 红外光源的选择

由于探测器的响应频率低,而且红外波长需要覆盖到 3~5 μm 范围内,因此需要选择与该探测器匹配的光源。实验选用 AXETRIS 公司的 EMIRS200 型光源,该光源是一种基于微机械加工、电调制技术的热辐射红外源,具有黑体辐射的特征,辐射红外范围为 2~16 μm,并且具有功耗低、辐射率高和使用寿命长等优势。该光源的参数见表 3。

表3 EMIRS200 型红外光源电气 / 光学特性表

参数	单位	典型值
冷态电阻	Ω	35-55
热态电阻	Ω	54-89
输入电功率	mW	450
工作电压	V	5.2
工作电流	mA	86
加热时间常数	ms	11
冷却时间常数	ms	17
工作温度	℃	456
辐射率		0.95
工作寿命	年	>10
加热面积	mm ²	2.1*1.8
外壳温度	℃	55

1.3 吸收池的选择

吸收池是气体吸收红外光的场所。理想情况下,吸收池越长,光路就越长,能够吸收的红外光就越多,那么探测器探测到的信号就越小。

实验采用 110 mm 长的红外气体吸收池,其结构如图 4 所示。

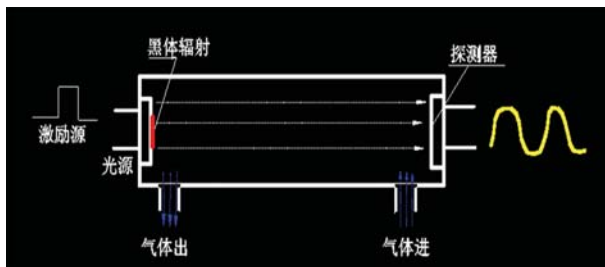


图4 气室结构

1.4 测试气体的选择

实验采用标准气体,其成分见表 4。

表4 标准气体成分

组分	浓度
CO	4.99×10^{-2}
N ₂	余

1.5 红外光源驱动

由于 EMIRS200 是黑体辐射性质的光源,所以其辐射红外光的强度与温度有关。与温度直接有关的是驱动功率,原则上采用恒功率调制是最理想的驱动模型,但恒功率调制比较复杂且可靠性低,不便于控制。根据 EMIRS200 红外光源的电气和光学特性,在调制频率不高的情况下,采用恒压调制也比较理想,实验选择恒压方波调制方式,调制频率在 0.5~10 HZ。

1.6 探测器的信号处理

由于探测器的输出信号比较微弱,通常为毫伏级别,由所用示波器本身引入的噪声在 1~3 mV。因此,如果直接用示波器观察信号,探测器的原始输出信号会被淹没在噪声之中。因此,有必要在将探测器的原始信号放大 20 倍后再进行观察。后文中所有探测器的信号数据均是放大 20 倍后的信号幅度。

2 探测器的信号分析

2.1 斯蒂芬-玻耳兹曼定律

$$M_b(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

式中, σ 为斯蒂芬 - 玻耳兹曼常数, 通常取 $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。根据斯蒂芬 - 玻耳兹曼定律, 黑体单位表面积发射的总辐射功率与温度的四次方成正比, 所以当温度变化时, 物体发射的辐射功率将发生很大的变化。

2.2 热释电效应

热释电效应的本质属于压电效应范畴, 是晶体的一种自然物理效应。对于具有自发式极化的晶体, 当晶体受热或冷却后, 由于温度变化 (ΔT) 而导致自发式极化强度变化 (ΔP_s), 从而在晶体一定方向产生表面极化电荷的现象称为热释电效应。

$$\Delta P_s = P \Delta T \quad (2)$$

式中, ΔP_s 为自发式极化强度变化量, ΔT 为温度变化, P 为热释电系数。

2.3 热释电红外探测器的波形机理分析

由于所研究的是热释电探测器, 所以探测器信号的变化与光源调制频率有关。图 6 为 1 Hz 50% 占空比的光源调制后的输出波形, 红色为激励源通道, 黄色为信号输出通道。在一个周期内, 输出的信号可以分为以下四个阶段:

阶段一, 如图 5 中①区域所示, 当给光源激励时, 光源黑体部分温度升高。根据斯蒂芬 - 玻耳兹曼定律, 黑体辐射的能量密度迅速增加, 随着加热的进行, 黑体温度逐渐升高, 辐射红外光的强度增加, 探测器信号快速变化, 直至正的最大值; 该阶段用时 103 ms, 约占加热时间的五分之一。

阶段二, 如图 5 中区域②所示, 虽然有激励源, 但是光源温度与附近温度进行热交换后已达到动态平衡, 黑体辐射温度不再升高, 温度 T 基本保持不变。式 (2) 中的 $\Delta T \approx 0$, $\Delta P_s \approx 0$, 即自发式极化强度变化量为 0。根据压电效应原理, 信号强度缓慢衰减至平衡点附近, 该阶段是温度稳定时间, 约占加热时间的五分之四。

阶段三, 如图 5 中区域③所示, 该阶段是撤去光源的激励。黑体温度从阶段②所保持的稳定温度迅速下降, 直到与环境温度达到平衡,

黑体温度维持在与附近环境温度的动态平衡状态, 此时探测器信号达到负的最大值, 该阶段变化较快, 用时 120 ms, 比加热至稳态用时长, 但相对于整个冷态稳定时间来说比较短。

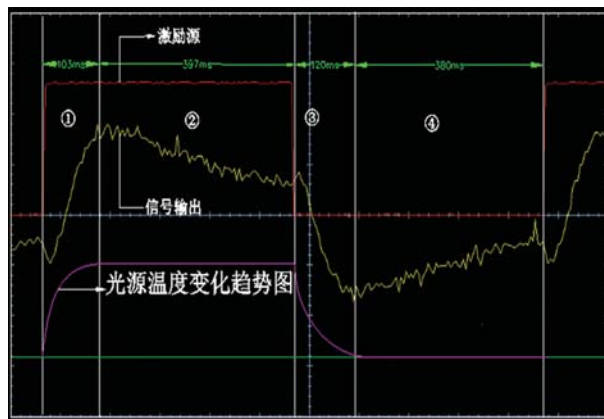


图 5 1.0 Hz 探测器信号波形图

阶段四, 如图 5 中区域④所示, 温度降到与环境温度相差不大时, $\Delta T \approx 0$, $\Delta P_s \approx 0$, 该阶段类似于阶段二。

2.4 调制频率对输出信号波形的影响

在不同的调制频率下, 探测器的输出信号如图 6 所示。从图 6 可以看出, 随着调制频率的升高, 第二阶段和第四阶段的变化比较明显, 稳态位置呈现偏离平衡位置越来越远的趋势。这现象可以用探测器的波形机理来解释。

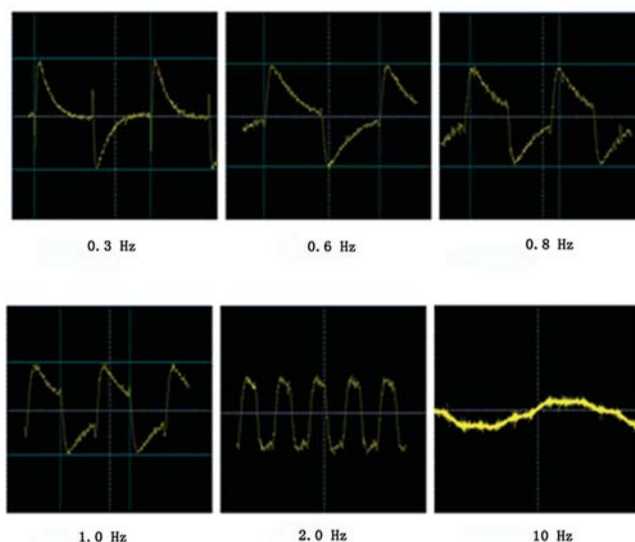


图 6 不同调制频率下的探测器输出信号

2.5 调制频率对输出信号幅度的影响

由于探测器本身存在频率响应问题,从图 1 可以看出,在激励源调制频率大于 10 Hz 后,响应的衰减非常严重。同时,由于光源采用的是电调制方式,在调制频率较高时,其调制深度会受影响。因此,在二者的共同作用下,探测器激励源的调制频率不能太高。表 5 和图 7 是红外光源在不同电调制频率下的信号幅度值。通过对表 5 中的数据添加趋势线,可以看出输出信号的幅值与频率呈现出指数形式的衰减。

表 5 调制频率与输出信号幅值关系

频率 (Hz)	V _{p-p} (mv)
0.3	84.040
0.6	79.515
0.8	73.697
1.0	67.232
2.0	55.919
4.0	43.125
6.0	38.025
8.0	32.037
10	26.828

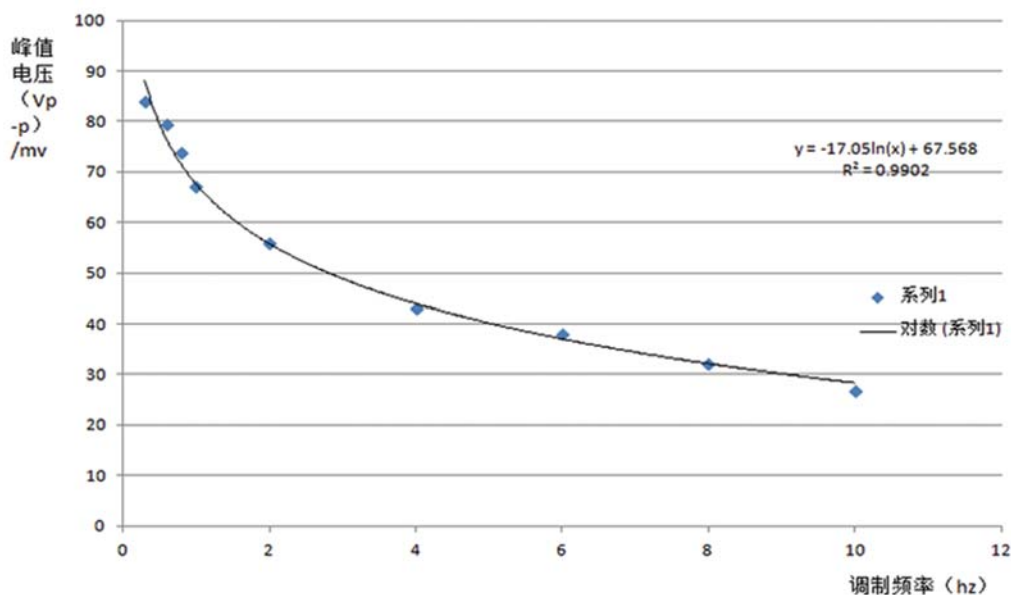


图 7 频率与 V_{p-p} 的关系

3 结论

通过对探测器输出信号波形和幅值的分析,对探测器信号进行了解析,得出了影响探测器输出信号响应的因素。实验表明,探测器在 1 Hz 左右调制频率下的波形比较稳定,而且信号幅值适中,可以作为基于 NDIR 原理的气体分析仪的理论和实验依据。

参考文献

- [1] Angrisani L, Baccigalupi A. A Digital Signal-processing Instrument for Impedance Measurement[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1996, 45(6): 930-934.
- [2] Analog Devices Inc. AD8302 Datasheet[DB/OL]. 2014-04-23, http://www.Analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8302.pdf
- [3] 王汝琳, 王咏涛. 红外检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006, 9.
- [4] 康永济. 红外线气体分析器[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993.
- [5] 陆婉珍, 袁洪福. 近代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.
- [6] 王小增, 杨久红. CO 浓度检测仪表, 硬件电路设计[J]. 仪表技术与传感器, 2007(6): 19-20.
- [7] 熊有辉, 蒋泰毅. 电调制非分光红外 (NDIR) 气体传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2003(11): 4-9