

Combustible gas concentration detection - based on dual-band four-detector inspection

Yu Zhou Zuo Wentao*

Binzhou Polytechnic, Binzhou

Abstract: Principle of detecting combustible gas concentration with dual-band four-detector of absorption spectrum; The compensation method is used to separate the weak and slightly variable signals from the detector to offset the working point drift of the detection circuit. In order to reduce the influence of environmental conditions change, detecting light intensity and detector responsiveness instability factors, measures such as de-extremum software filtering and compensation for environmental factors are adopted to improve the detection accuracy of combustible gas.

Key words: Absorption spectrum; Combustible gas; Microchange signal amplification

Received: 2019-09-17; Accepted: 2019-10-18; Published: 2019-11-07

可燃性气体浓度检测

——基于双波段四探测器检验

余 周 左文涛*

滨州职业学院，滨州

邮箱: wtaozuo220@sina.com.cn

摘 要: 吸收光谱式双波段四探测器检测可燃性气体浓度原理; 利用补偿法分离探测器输出的微弱、微变信号, 抵消探测电路的工作点漂移; 采用去极值软件滤波和对环境因素进行补偿等措施始以减少环境条件变化、探测光强度和探测器响应度不稳定因素等影响, 提高对可燃性气体检测精度。

关键词: 吸收光谱; 可燃气体; 微变信号放大

收稿日期: 2019-09-17; 录用日期: 2019-10-18; 发表日期: 2019-11-07

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



可燃气体主要指甲烷 (CH_4) 和一氧化碳 (CO)。笔者在实验室中采用了

吸收光谱式双波段四探测器；在对探测器输出的微弱、微变信号利用仪用放大器放大时，借助补偿法将其与静态工作点分离并抵消其漂移影响；采用去极值软件滤波和对环境因素进行补偿等措施减少了环境条件变化、探测光强度和探测器响应度变化的影响，提高了对可燃性气体浓度检测的精度。

1 吸收光谱式双波段四探测器原理分析

吸收光谱式双波段四探测器检测可燃气体是对双波段双探测器检测可燃气体方法的改进。红外光经过可燃性气体时，反映其浓度的透射比 τ_a 符合朗伯—比尔（Lambert—Beer）定律：

$$\tau_a = \ln \frac{I_0}{I_1} = -\mu L \quad (1)$$

式中 I_1 是入射光强， I_0 是出射光强， μ 是与可燃性气体浓度有关的吸收系数， L 是光线在气体中通过的光程。在混合气体中，各种气体的吸收光谱互相独立，通过对光能透射量的测量，加上已知的光程 L ，既可得到气体浓度。

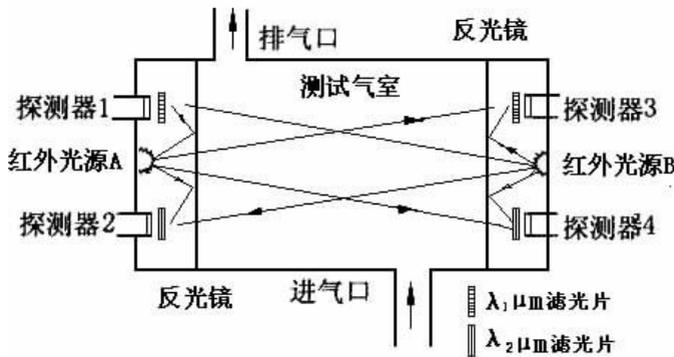


图 1 吸收光谱式双波段四探测器检测图

吸收光谱式双波段四探测器检测可燃气体原理如图 1 所示。已知可燃气体一氧化碳吸收红外光波长峰值为 $4.7 \mu\text{m}$ 、甲烷吸收峰值为 $1.3 \mu\text{m}$ ，利用镍铬丝搀入少量稀土元素制成的红外光源。在 $2 \sim 25 \mu\text{m}$ 光谱范围内有比较均匀的出射光谱分布；采用的钽酸锂热释电探测器其响应的光谱带宽较宽。故有如下认定成立：（1）红外光源中含有待测可燃气体吸收峰值的波长 λ_1 （测量波长）和可燃气体吸收峰值的带宽外波长 λ_2 （参比波长）；（2）红外探测器对测量波长 λ_1 和参比波长 λ_2 其的响应度基本相同。

设探测器 1、2、3、4 的响应度分别为 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 ，被测气体的透射比为 τ_a ，气室的透射比为 τ_0 。光源 A 与光源 B 以 80Hz 频率交替发出红外光，光强分别为 I_A 和 I_B 。

探测器 1 前置测量波长 λ_1 滤光片，交替的接收光源 A 反射的和光源 B 发出的穿过测试室的测量波长 λ_1 探测器 1 对光源 A 和光源 B 产生的输出电压信号分别为：

$$V_{1A}=K_1I_A \quad V_{1B}=K_1e^{(\tau_a+\tau_0)} I_A \quad (2)$$

探测器 2 前置参比波长 λ_2 滤光片，交替的接收光源 A 反射的和光源 B 发出的穿过测试室的参比波长 λ_2 。由于参比波长 λ_2 在待测气体吸收峰外，探测器 2 对光源 A 和光源 B 产生的输出电压信号分别为：

$$V_{2A}=K_2I_A \quad V_{2B}=K_2e^{\tau_0} I_A \quad (3)$$

同理，探测器 3 前置测量波长 λ_1 滤光片、探测器 4 前置参比波长 λ_2 滤光片它们对光源 A 和光源 B 产生的输出电压信号分别为：

$$V_{3A}=K_3e^{(\tau_a+\tau_0)} I_A \quad V_{3B}=K_3I_B \quad (4)$$

$$V_{4A}=K_4e^{\tau_0} I_A \quad V_{4B}=K_4I_B \quad (5)$$

考察式 (2)、(3)、(4)、(5) 得：

$$\tau_a = \frac{1}{2} \ln \frac{V_{2A}V_{3A}V_{1B}V_{4B}}{V_{1A}V_{4A}V_{2B}V_{3B}} \quad (6)$$

可见透射比 τ_a 与光源辐射强度和探测器响应度无关。与双波段双探测器相比这种双波段四探测器更好的减少了环境、光强度和探测灵敏度波动对测量的影响。算出 τ_a 后，由朗伯—比尔 (Lambert—Beer) 定律得出可燃性气体的浓度。

2 补偿法微变探测信号放大电路

探测器输出的反应可燃气体浓度的信号是微弱缓慢变化的，在对其采样之前要进行放大和低通滤波，以供 A/D 转换使用。对滤波部分本文不作赘述，着重讨论对探测器输出的微变信号放大电路。

探测器输出信号 u ：

$$u=U_Q+\Delta u \quad (7)$$

U_0 是探测器的等效静态工作点，即在一定温度、压力下无探测可燃性气体时的输出， Δu 是存在探测可燃性气体时探测器输出的微变信号。考虑到探测器输出的微变信号具有直流性质，不能采用电容隔直的方法对其分离， U_0 的漂移也可能掩盖微变信号 Δu ，为此笔者采用如图 2 所示的补偿法放大探测器输出的微变信号。

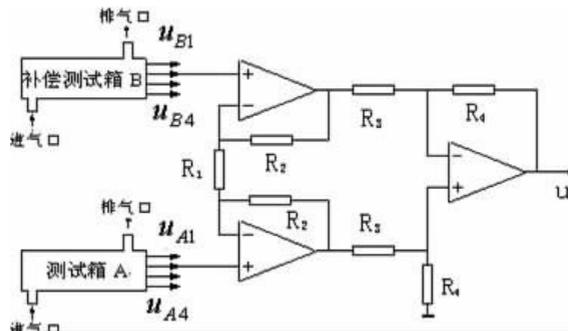


图 2 补偿法探测器微变信号放大电路原理图

测试时放两个相同的测试箱：测试箱 A、补偿测试箱 B。补偿测试箱 B 的结构与测试箱 A 结构相同，只是其探测器 1, 3 前均放置参比波长的窄带滤光片，各探测器信号均为零。测试箱 A、补偿测试箱 B 的静态输出信号 U_0 相同（如有偏差可以微调），其漂移也应相同。运算放大器的输出电压 u_o ：

$$\begin{aligned}
 u_o &= -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (u_{B1} - u_{A1}) \\
 &= -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) [u_{B0} - (u_{A0} + \nabla u)] \\
 &= \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \nabla u
 \end{aligned} \tag{8}$$

运算放大器输出 u_o 只与探测器输出的微变信号 Δu 有关。

测试箱 A、补偿测试箱 B 共有 8 个探测器 16 种信号输出，可以采用电子开关，由一个放大器实现放大，信号由软件识别。

3 软件滤波、补偿

3.1 去极值移动平滑法软件滤波

在实现对探测器输出的微变信号放大的过程中，虽然有模拟滤波器抑制干扰，但为了更有效地抑制环境变化对测量精度的影响，可在微处理器中采用去

极值移动平滑法进行软件滤波。即对探测器输出的微变信号经过 A/D 转换后的数字量选择一个具有一定宽度的窗口，窗口内有连续的 n 个采样点数据， n 一般取 2^i+2 (i 自然数)。窗口内的数据采取先进先出的原则，第 j 点的数据值 x_j 为第 j 个窗口的连续 n 次采样值去掉最大值 X_{jmax} 和 X_{jmin} 最小值后的平均值即：

$$X_j = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (X_{j-n+1} - X_{jmax} - X_{jmin}) \quad (9)$$

去极值移动平滑法消除了数据随机的突然变化对测量结果的影响，既能滤除脉冲干扰，又能平滑滤波，提高了测量精度。

3.2 软件对温度与压力的补偿

由于可燃性气体传感器工作时受温度、压力影响较大，因此应采取补偿措施。对温度的补偿采用线性插值的方法：先将标准温度下的可燃性气体准确浓度值存贮在 MCU 内，将测得的温度结果，按线性插值法确定对应温度值下的可燃气体浓度（为此可采用内置温度传感器的 MCU，如 MSP430F149）。对压力的补偿：把测得标准压力下的准确可燃性气体浓度，转换为相应的修正系数，按线性插值法确定对应压力值下的可燃性气体浓度。

使用这种补偿方法需要做大量的实验才能测得标准值，同时，在软件设计时，需要开辟大量的存贮单元存贮这些标准浓度数据。为弥补其不足笔者正尝试采用人工神经网络建立更为准确和有效的红外传感器数学模型，将传感器的输出电信号和工作环境温度、压力等参数与可燃性气体浓度，一一对应起来，选择适当的算法，获取足够的样本数据进行网络权值等参数的训练，来消除温度、压力、噪声、电源波动等各种非目标参量的影响，以提高测量精度。

4 结语

基于吸收光谱式双波段四探测器配以软硬件的补偿等措施组成的可燃性气体检测装置，为工矿安全生产中可燃气体浓度的监测与定量分析提供了一种较理想的设备。如文中所述由于钽酸锂热释电探测器响应的光谱带宽较宽，因此，只须更换探测器系统中的窄带测量波长滤光片，即可将该装置用于其它多种气

体浓度的测量，具有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 詹福如等. 红外双波段可燃气体探测电路的实现和改进 [J]. 激光与红外, 2002.
- [2] 施德恒等. 利用红外光谱吸收原理的 CO 浓度测量装置研究 [J]. 光学技术, 2001.
- [3] 贺玉凯等. 新型矿用智能红外一氧化碳检测仪研究 [J]. 煤炭科学技术, 2005.