

载体催化元件恒温检测甲烷浓度的研究

林 彬

(四川师范大学草堂校区工程技术系 成都 610072)

【摘要】基于载体催化元件检测甲烷浓度的基本原理,提出了采用载体催化元件和参比元件组成惠斯登测量电桥,运用温度自动控制系统达到恒定甲烷无焰燃烧温度,实现甲烷浓度的测量。扩展了采用载体催化元件测量甲烷浓度时的测量范围,减轻了催化剂的高温烧结和挥发现象,延长了载体催化元件的使用寿命。并建立了相应的温度自动控制和甲烷浓度测量的数学模型。

关键词 甲烷; 载体催化元件; 惠斯登电桥; 恒温
中图分类号 TP212.6 文献标识码 A

Research on the Detection of Methane Concentration Using Sensor with Supporter Catalyst Filled Element on Constant Temperature

LIN Bin

(Department of Engineering Technology, Caotang Branch of Sichuan Normal University Chengdu 610072)

Abstract Based on the basic principle of sensors with supporter filled element that measures the methane concentration, a method for designing Weston bridge by using the sensor and the reference element is proposed and the mathematical model of the automatic temperature control and the measurement of methane concentration is developed. The measurement results show that this design expands the measuring range, reduces burning-knot and vaporization of catalyst and extends the service life of the supporter catalyst filled element.

Key words methane; sensor with supporter catalyst filled element; the Weston bridge; constant temperature

甲烷(瓦斯)灾害是严重威胁煤矿井下安全生产的五大自然灾害之一。当甲烷浓度在5%~16% vol,具备一定浓度的氧气和650 左右的热源时,将产生爆炸。对甲烷浓度的连续准确测量是煤矿监测监控系统中的重要组成部分,也是煤矿企业安全生产的重要保证。

当前,我国大量使用的甲烷检测仪多以载体催化元件为敏感元件来实现甲烷浓度的测量。其传统的检测原理是由采用带催化剂的敏感元件(俗称黑元件)和不带催化剂的补偿元件(俗称白元件)及相应的匹配电阻等组成惠斯登测量电桥。使甲烷经加热催化形成无焰燃烧,改变敏感元件的电阻,通过检测破坏平衡电桥产生的电压输出来达到检测甲烷浓度的目的。但当甲烷的浓度达到5%或以上时,由于无焰燃烧产生的热量过大,催化元件的表面温度可达800~1 000 ,致使元件本身成为一个不安全因素。此外,由于温度升高时,催化元件表面涂覆的催化剂将挥发和烧结,造成表面积减小,使灵敏度降低,从而缩短使用寿命,降低了调零和校正灵敏度的效验周期^[1-4]。为克服无焰燃烧时产生的热量导致催化元件温度上升的缺陷,本文提出了一种新的检测方法——载体催化元件恒温测量瓦斯浓度的方法。

1 恒温控制和检测甲烷浓度的原理

1.1 系统原理

载体催化元件恒温控制和甲烷浓度检测原理如图1所示。在该系统中,测量电桥既作为整个自动温度控制系统的温度传感器来使用,又作为甲烷浓度传感器来使用。其具体原理为:由黑白元件构成的惠斯登电

桥将检测到的甲烷催化燃烧反应的温度信号隔离放大后送入单片机的A/D转换器，A/D转换后的温度数据与预先设定的燃烧控制温度比较产生温度误差信号。误差信号控制脉冲直流电源产生不同脉冲宽度的直流脉冲给测量电桥，实现对催化元件的加热控制。在一定甲烷浓度范围内，控制催化反应燃烧温度，达到恒温测量甲烷浓度。

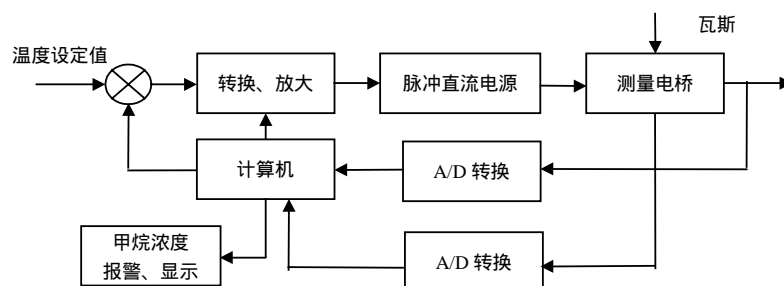
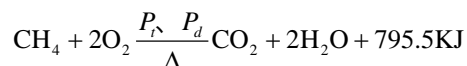


图1 载体催化元件恒温控制和甲烷浓度检测原理框图

1.2 恒温控制

采用载体催化元件检测甲烷时，只要维持甲烷-空气混合气体中有足够的氧，并维持一定的高温条件，通常采用加热元件加热到500 左右，就会在载体催化元件表面产生无焰燃烧，放出大量的热量。甲烷氧化过程的反应方程式为^[1]：



催化元件反应时的静态热平衡方程为^[5]：

$$I^2r + \mu C = \alpha S(t_1 - t_0) + A\sigma S(t_1^4 - t_0^4) \quad (1)$$

式中 I^2r 是单位时间内工作电流通过催化元件产生的热量； μC 为可燃性气体在载体催化元件表面发生氧化反应所产生的热量，它与瓦斯浓度成正比； $\alpha S(t_1 - t_0)$ 为传导热时催化传感元件通过导线和空气传递的热量； $A\sigma S(t_1^4 - t_0^4)$ 为热辐射所耗散的热量； α 、 σ 、 S 、 A 是元件结构参数； t_0 为环境温度； t_1 为催化元件无焰燃烧温度。

由于催化元件工作在一个相对封闭的冶金粉末罩中，对空气的对流热耗散很小，可忽略不计。带催化剂的敏感元件(俗称黑原件)和不带催化剂的补偿元件(俗称白元件)及相应得匹配电阻等组成惠斯登测量电桥。黑白元件的电阻值相近，成对封装在经过罐封得粉末冶金室(也称燃烧室或工作室)，其中黑白两个元件分别接在电桥的两个相邻臂上。向载体催化元件通以恒定的工作电流，将其加热到500 左右，当空气中含有甲烷及其他可燃性气体时，元件表面发生强烈的氧化反应而产生热量，元件温度升高，使元件铂丝骨架的电阻值增加，根据输出电压的变化情况，检测出无焰燃烧的温度。

设测量电桥的负载电阻远大于信号源内阻，载体催化元件通过惠斯登电桥测量电路输出的不平衡电压为： $U_{AB} \approx \frac{\Delta R_D}{4R_D} E = k_1 \Delta R_D$ 。显然，电桥输出电压取决于敏感元件阻值变化量。对于催化敏感元件的载体——

铂丝元件，其电阻变化量可以表示为：

$$\Delta R_D = \alpha(\Delta H/h)R_0 = \alpha(DCQ/h)R_0 = k_2 t$$

式中 α 为铂丝电阻温度系数； H 为敏感元件热容量； h 为敏感元件热容量； D 为瓦斯扩散系数； C 为被测环境中的甲烷浓度； Q 为甲烷分子燃烧热； R_0 为铂丝0 阻值。电桥输出电压 $U_{AB} = k_1 \Delta R_D = k_1 k_2 t$ 。而直流脉冲

电源产生的功率： $I^2 R = (\frac{1}{T} \int_0^{T_1} I_M^2 dt)^2 R = \frac{T_1}{T} I_M^2 R = k_3 \frac{T_1}{T}$ 与脉冲直流的占空比成正比。要实现恒温检测，即

实现催化元件产生的热量与加热元件减少的热量相等，即 $k_1 k_2 t = -k_4(k_3 \frac{T_1}{T})$ ，温度

$$f(t) = (-KT_1)/T \quad (2)$$

这是一个比例环节，其传递函数为：

$$G(s) = T(s)/I^2(s) = -K \quad (3)$$

可以看出恒温控制是一个典型的比例控制系统。

1.3 甲烷浓度的测量

由式(1)可知,当无甲烷($C=0$)时,加热电路产生的热和测量电路耗散的热达到静态热平衡。则: $I_0^2 r = K$,通过自动恒温控制系统,保持在有甲烷发生催化无焰燃烧时,温度维持不变: $I^2 r + \mu C = K$ 。于是:

$I = \sqrt{I_0^2 - \frac{\mu}{r} C}$,脉冲电流有效值: $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T_1} I_M^2 dt} = \sqrt{\frac{T_1}{T}} I_M$ 。在 I_M 一定的条件下与占空比的平方根成线性关系,脉冲电流平均值: $I_p = (T_1/T) I_M$,与占空比成线性关系,故可以用直流脉冲电源的脉冲电流平均值作为输出信号反应对应的甲烷浓度。

2 系统稳定性分析

一定浓度的甲烷在整个恒温自动控制系统中是作为扰动输入量来实现测量的,它将影响恒温控制系统的稳定性。当 $I_p^2 r < \mu C$ 时,恒温控制系统将失控,即发生甲烷维持“自燃”现象,出现传感器高温烧毁,造成传感器的失效。改善催化元件的散热条件可在一定范围内扩展甲烷浓度的测量范围,但应考虑对加热元件可靠性的影响。在系统中设定甲烷浓度的测量范围可从根本上解决温控失效,避免由于高浓度瓦斯造成催化元件过高温烧毁的现象。

3 结论

采用恒温电桥来实现对甲烷浓度的测量,解决了在高浓度甲烷环境中催化检测元件的过高温烧结使灵敏度变差的缺陷,延长了催化检测元件的寿命;扩展了甲烷浓度的检测范围,避免了甲烷检测仪容易出现的高浓度冲击。

参 考 文 献

- [1] 煤碳工业部安全司. 矿井安全监控原理与应用[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [2] 姚承三. 矿用高稳定性瓦斯检测元件的研究——抗积碳载体催化元件特性的研究[J]. 中国矿业学院学报, 1984, (3): 1-10.
- [3] 王汝琳. 矿井瓦斯传感器的近代研究方法方向[J]. 煤矿自动化, 1998, 4: 16-18.
- [4] 刘建周. 瓦斯传感器稳态工作方程与线性补偿模拟[J]. 传感器技术, 1999, 18(1): 16-22.
- [5] 刘志存. 载体催化元件交流检测矿井瓦斯[J]. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(3): 22-24.

编辑 漆 蓉

(上接第473页)

3 结 论

以上分析了数字下变频抽取技术中的CIC滤波器原理及其补偿技术,并详细分析了对其进行补偿的ISOP滤波器原理,分析验证了其对CIC滤波器带内衰减补偿的有效性;采用了CIC抽取滤波器的系统,能够有效地缩减窄带FIR滤波器阶数和系统运算量。

参 考 文 献

- [1] Kwentus A Y, Jiang Z, Willson A N. Application of filter sharpening to cascaded integrator-comb decimation filters[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1997, 45: 457-467.
- [2] Hyuk J O, Sunbi Kum, Choi Ginkyu, et al. On the use of interpolated second-order polynomials for efficient filter design in programmable downconversion[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(4): 551-560.

编辑 刘文珍