

窑炉红外测温工作波段的确定和环境温度的补偿

姜世昌 陈出新

(上海工业自动化仪表研究所, 上海, 200233)

摘要 分析了燃油窑炉红外测温中的影响因素和常规测温手段的缺点. 从窑炉内烟气的特征和红外温度传感器的特点两方面确定了红外温度计的工作波段. 获得烟气对红外测温的影响小于 5°C 的结果. 针对窑炉周围环境温度高的情况, 提出红外温度传感器的环境温度补偿方法和电路设计公式. 使传感器环境温度在 $5\sim 67^{\circ}\text{C}$ 变化时, 温度指示的变化小于被测温度的 0.3% .

关键词 烟气吸收, 工作波段, 环境温度补偿, 温差电偶缺点.

DECISION OF WORKING WAVEBAND AND AMBIENT TEMPERATURE COMPENSATION OF INFRARED THERMOMETRY IN KILN

JIANG Shi-Chang CHEN Chu-Xin

(Shanghai Institute of Process Automation Instrumentation, Shanghai 200233, China)

Abstract The effecting factors of infrared radiation thermometry in oil fired kiln and the drawbacks of traditional temperature measurement methods were analyzed. The working waveband of infrared temperature transducer was decided according to the features of the gas in kiln and the configuration of the transducers to be used. A satisfactory result of less than 5°C for elimination of gas effect was obtained. To counter the high ambient temperature round transducers, an ambient temperature compensation method for transducers was developed and a circuit design formula was derived, making the change of temperature indication of the transducers less than 0.3% of the temperature measured when the ambient temperature changes between $5\sim 67^{\circ}\text{C}$.

Key words gas absorptance, working waveband, ambient temperature compensation, drawbacks of thermocouples.

引言

燃油窑炉的加热能源大多为重油, 是一种耗能很大的基础设施. 重油和空气混合以后, 由喷嘴喷入窑炉内燃烧, 形成高温条件. 在烧制过程中, 被加工产品的质量取决于温度和烧制时间. 温度是从窑炉内采集的唯一参数, 其范围为 $1000\sim 1800^{\circ}\text{C}$.

目前, 大多数窑炉的温度是用热电偶测量的. 将铂铑类热电偶在不同温区从窑炉顶部或侧面穿过窑墙插入内部, 测量相应部位的温度. 热电偶用于高温窑炉时, 有两个缺点: (1) 工作寿命短. 铂铑类热电偶在 $1500\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 的温度下已接近于它的工作温度极限, 同时极易受诸如 CO 等还原性气体的腐蚀而失效. 而 CO 等气体在窑炉内是大量存在的. 因

此, 工作在这种条件下的铂铑类热电偶的工作寿命很短, 极端情况下, 它的工作寿命只有一个星期. (2) 反应时间长, 约 1 min , 这是由于保护管导热性差的缘故. 红外温度计具有工作寿命长, 影响快的特性, 可以消除热电偶在测量窑炉温度时的缺点. 然而, 用红外测温的方法测量窑炉温度时, 由于红外测温的原理所引入的一些影响因素, 必须加以正确处理, 才能获得满意效果.

1 燃油窑炉红外测温和影响测量精度的因素

燃油窑炉红外测温的原理是: 通过窥视孔, 红外温度传感器接收来自被测目标的辐射, 并将之转换成电信号. 该电信号经一定的功能处理后被送到调

节器和执行器,同时进行温度显示、调节器和执行器调节燃油输入量及其与空气的混合比例,使窑炉内的温度达到工艺规定的温度值。

影响燃油窑炉测温精度的因素如下:(1)烟气对测温的影响。燃油窑炉内的燃料燃烧后产生的烟气中含有大量 CO、CO₂ 和少量水气及被加工材料散发和燃料没完全燃烧所产生的固体颗粒,处于红外温度传感器瞄准通路中的烟气不仅吸收来自被测目标的辐射,而且烟气本身也发射辐射,因此,烟气将严重影响红外温度传感器的测量精度。(2)环境温度对测温精度的影响。燃油窑炉周围的环境温度是很高的,夏天可达 65 °C,因此,红外温度传感器要求能在这样的环境温度下保持测量精度。水冷装置固然可以降低传感器四周的温度,但用户提出水冷装置增加仪表的维护工作量,甚至是故障源。所以,要求传感器本身能在高温环境下保证测温精度。(3)被测目标的发射率变化对测温精度的影响。(4)窑炉的壁厚变化对测温精度的影响。因红外温度传感器是通过设在窑炉壁上的窥视孔测量窑炉内部温度的,窑炉壁厚的变化将形成一个测温通路中的可变光阑而影响测温精度。(5)红外温度传感器的信号一致性和工作寿命将影响测温精度。

对影响因素(3)、(4)及(5)的分析和所采取的措施见参考文献[1]和[2]。

2 传感器工作波段的确定

为了减小窑炉烟气的影响,首先分析烟气的吸收波段。从图 1^[1]我们发现 CO、CO₂ 及 H₂O 气在短波段的吸收率很低。在 1.4 μm 以下,CO 和 CO₂ 的吸收率几乎为零。H₂O 气是选择性吸性,在短波段内的吸收率较低。按基尔霍夫定律,它们相应的发射率也是较低的。因此,应将传感器的工作波段选择在 1.4 μm 以下。图 1 中 L 为通路长度:气体的温度为 2127 °C,压力为 50.66kPa。

窑炉内固体颗粒的温度通常是低的,而且具有一定的随机性。它一方面遮挡来自目标的辐射,另一方面自身发出辐射,其综合效果是使传感器的温度指示偏低。我们知道任何对传感器温度指示的固定影响,即影响量是常数,都可很容易地通过信号处理器进行消除。人们关心的是影响量 K 随被测温度变化且又难以了解其确切规律的情况。在这种情况下,实际中考虑的是将影响量 K 对传感器的温度指示的影响减少到最低。

作者曾提出如下公式^[2]:

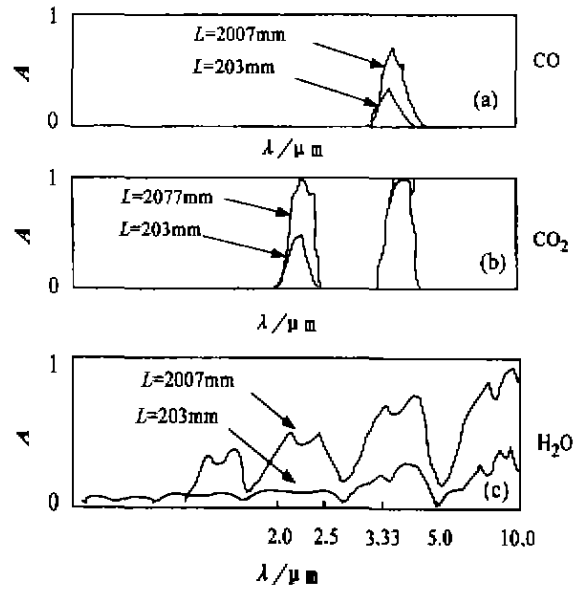


图 1 窑炉常见气体的分谱吸收率

(a) CO (b) CO₂ (c) H₂O

Fig. 1 Spectral absorptance of common gases in kiln

(a) CO (b) CO₂ (c) H₂O

$$\frac{\Delta T}{T} = -T \cdot \frac{\lambda_T}{C_2} \cdot \frac{\Delta K}{K}, \quad (1)$$

式(1)中 λ_T 为被测温度为 T 时温度传感器的有效波长, C_2 为第二辐射常数, ΔK 为影响量的变化量, ΔT 为温度变化量。

由式(1)可见,影响量 K 的变化 $\Delta K/K$ 造成传感器温度指示变化 $\Delta T/T$ 随着 λ_T 的减小而减小。因此,温度传感器的工作波段应越靠近短波越好。

大多数情况下,窑炉内部不是等温的,被测目标和固体颗粒将对来自窑炉内部其它部位的辐射进行散射,散射作用随波长的减小而增加。因此,温度传感器的工作波长不宜选得太短,即传感器的有效波长不宜太近短波。

综上所述,温度传感器的工作波段的下限定为 0.8 μm,上限定为 1.2 μm。

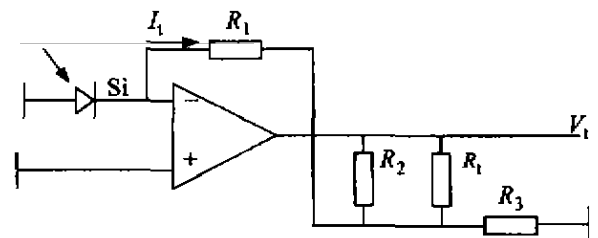


图 2 传感器环境温度补偿回路

Fig. 2 Ambient temperature compensation circuit of sensors

为了测量窑炉的烟气对工作在该波段的温度传感器测温的实际影响,在温度传感器正常工作状态下在短时间内突然关闭燃油和空气的输入,此时,火焰的喷射接近于0.发现在1200℃、1500℃和1650℃的温度指示降低 $\leq 5^\circ\text{C}$.除去窑炉内部本身温度下降外,说明窑炉烟气和固体颗粒对测温的影响小于 5°C .

3 传感器的环境温度补偿

为了使温度传感器能在高达 65°C 的环境温度下连续正常工作,除了在传感器外壳上附加水冷装置外,还须对温度传感器进行环境温度补偿.补偿回路如图2所示.

来自Si探测器的光电流 I_i 经前置放大器处理后产生输出电压 V_i . R_1 、 R_2 和 R_3 为普通电阻, R_i 为负温度系数的热敏电阻.由图2可得

$$V_i = I_i \cdot \left[R_1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_3} \right) \cdot \frac{R_2 \cdot R_i}{R_2 + R_i} \right], \quad (2)$$

为了使前放输出 V_i 不随环境温度 T 变化,令

$$\frac{dV_i}{dT} = 0, \quad (3)$$

于是有

$$\left[\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \cdot \frac{1}{R_i} (R_2 + R_i)^2 + R_2 (R_2 + R_i) \right] \cdot a_i = -R_2^2 \cdot a_i. \quad (4)$$

式(4)中 $a_i = \frac{dI_i}{I_i}$ 是Si探测器的温度系数; $a_i =$

$\frac{dR_i}{R_i}$ 是热敏电阻的温度系数.当 $R_2 \rightarrow \infty$,式(4)简化为

$$\left[\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \cdot \frac{1}{R_i} \right] a_i = -a_i. \quad (5)$$

若式(4)或式(5)成立,则当传感器环境温度变化时,输出 V_i 维持不变.应当说明,传感器壳体的辐射能量集中在 $10\ \mu\text{m}$ 附近的波长上.在 $1\ \mu\text{m}$ 附近的波长上的能量极少,相对于被测目标在 $1\ \mu\text{m}$ 附近波长上的能量可以忽略不计.因而,传感器壳体的辐射随环境温度变化,对传感器输出的影响可不必考虑.

应用上述回路,在环境温度 $5\sim 67^\circ\text{C}$ 的变化范围内,使红外温度传感器的指示变化被控制在 $\pm 0.3\% T$ 以内, T 为被测温度值.

REFERENCES

- [1]JIANG Shi-Chang. Temperature measurement in high temperature gas kiln. *Infrared Technology*(姜世昌. 高温煤气窑炉测温, 红外技术), 1992, 14(4): 25—28
- [2]JIANG Shi-Chang, CHEN Chu-Xin. Temperature measurement in the oil fired tunnel kiln by means of infrared radiation thermometry. In: *Proceedings of TEMP-MEKO '99*. Delft Netherlands, 1999, 637—641
- [3]Anthony P, Martocci Frederick, Mihalow, A. A review of temperature measurement in the steel reheat furnace. In: *Proceedings of Application of Radiation Thermometry*. ed. D. Pde Witt and C. Richmond. Gaithersburg, ASTM, MD, 1986, 99—114