

关于红外加热技术及其应用的讨论(六)

红外涂料增加辐射作用的验证

吴 玮 耿力力

(黑龙江省电子技术研究所)

红外涂料究竟能否增加辐射作用,在这个问题上有两种截然不同的学术观点:肯定者认为,加热器由于涂复了红外涂料而增大了比辐射率,从而也就增加了红外辐射能。否定者认为,当比辐射率增大时,加热器表面的温度却降低了,因此辐射能并未得到增加,由此得出结论:有没有涂料都一样。针对上述观点,笔者进行了能量守恒计算和实验测量,结果表明,前者的观点是正确的,即在加热功率不变的条件下,由于比辐射率增大,虽然表面温度降低,但红外辐射能仍然增加,这就是说,红外涂料是能够增加辐射作用的。

一、能量守恒计算

一只隔热吊挂在红外加热设备中的电加热红外辐射器,可以忽略热传导的作用,只考虑辐射传热和对流散热这两种热传递方式。这时,其能量守恒方程为

$$P_{\text{电}} = P_{\text{辐}} + P_{\text{对}} = \varepsilon \sigma [(t_n + 273)^4 - (t_0 + 273)^4] F + \alpha (t_n - t_0) F。$$

式中: $P_{\text{电}}$ 为电加热功率(瓦); $P_{\text{辐}}$ 为辐射传热功率(瓦); $P_{\text{对}}$ 为对流传热功率(瓦); α 为给热系数(千卡/米²·小时·度或千瓦/米²·度); ε 为比辐射率; σ 是斯忒潘-玻耳兹曼常数(5.6697×10^{-12} 瓦/厘米²·度⁴); t_n 为辐射器表面温度(°C); t_0 为环境温度(°C); F 为有效辐射面积(厘米²)。

对于上述方程式,可以分为以下三种情况进行讨论。

1. 加热功率和辐射面积不变

在这种条件下,当涂复高比辐射率的涂料时,由于比辐射率增加($\Delta\varepsilon$),表面温度必定下降(Δt),则能量守恒方程式应改写成

$$P_{\text{电}} = (\varepsilon + \Delta\varepsilon) \cdot \sigma \cdot [(t_n - \Delta t + 273)^4 - (t_0 + 273)^4] \cdot F + \alpha \cdot (t_n - \Delta t - t_0) \cdot F。 \quad (1)$$

因为 $(t_n - \Delta t - t_0) < (t_n - t_0)$,

所以 $\alpha \cdot (t_n - \Delta t - t_0) \cdot F < \alpha \cdot (t_n - t_0) \cdot F$,

由于 $P_{\text{电}}$ 不变,则

$$(\varepsilon + \Delta\varepsilon) \cdot \sigma \cdot [(t_n - \Delta t + 273)^4 - (t_0 + 273)^4] \cdot F > \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_0 + 273)^4] \cdot F,$$

即 $P_{\text{辐}}$ 增加。

2. 加热功率和表面温度不变

为保持表面温度不变,只好缩小辐射面积,则能量守恒方程式应为

$$P_{\text{电}} = (\varepsilon + \Delta\varepsilon) \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot (F - \Delta F) + \alpha \cdot (t_n - t_o) \cdot (F - \Delta F)。 \quad (2)$$

因为 $(F - \Delta F) < F$

所以 $\alpha(t_n - t_o)(F - \Delta F) < \alpha(t_n - t_o)F$

则 $(\varepsilon + \Delta\varepsilon)\sigma[(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot (F - \Delta F) > \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot F$

即 $P_{\text{辐}}$ 增加。

3. 表面温度和辐射面积不变

为保持表面温度和辐射面积不变,只有提高加热功率,则能量守恒方程式为

$$P_{\text{电}} + \Delta P_{\text{电}} = (\varepsilon + \Delta\varepsilon) \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot F + \alpha \cdot (t_n - t_o) \cdot F。$$

此时,对流散热成分不变,辐射功率增加,其增加量

$$\Delta P_{\text{辐}} = \Delta\varepsilon \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot F = \Delta P_{\text{电}},$$

其辐射功率增加的百分比

$$\eta_{\text{辐}} = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \times 100\%。$$

而加热功率增加的百分比

$$\eta_{\text{电}} = \frac{\Delta P_{\text{电}}}{P_{\text{电}}} = \frac{\Delta\varepsilon \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot F}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot [(t_n + 273)^4 - (t_o + 273)^4] \cdot F + \alpha(t_n - t_o) \cdot F} \times 100\% < \eta_{\text{辐}}$$

即 $P_{\text{辐}}$ 增加。

二、实验测量

为进一步证实上述结论,我们进行了下述两项实验。

1. 脱水实验

一叠二十层、规格为 180×40 毫米的滤纸用水浸湿后,放在精度为 $1/100$ 天平上,将辐射器置于天平上方距离 10 厘米位置上。滤纸干重 10.48 克吸湿后重 31.45 克,在辐射器没有涂料和涂复涂料两种情况下,分别观察湿滤纸减重过程(辐射器为电加热金属管,其规格为 $\phi 18 \times 1260$ 毫米,功率 800 瓦,表面涂刷龙江一号涂料。用 WMEA-20 型表面温度计对其表面温度进行测量)。

结果表明: 1) 没有涂料时辐射器的表面温度为 350°C , 涂刷涂料后,表面温度为 330°C , 下降 20°C 。 2) 在经过一小时照射后,有涂料的比没有涂料的多脱水 1.13 克,脱水速率提高 11%。如果加上铝反射罩则脱水速度更快。这实验非常直观地显示了红外涂料的作用。

2. 辐射照度测量

来自辐射器的一部分辐射通量,被探测器接收后,产生一个比例于输入通量的电信号,由输出指示器上读出。如果探测器均匀地响应所有波段,则输出指示将正比于探测器上的辐照度,而辐照度又正比于辐射源的辐射通量密度,因此,测得了辐照度就可以算出辐射源的辐射通量密度,因而辐射度是一个测量的基本量。

我们采用吉林大学物理系研制的具有无选择性吸收特性的红外绝对功率计作为探测器,测量装置原理如图 1 所示。

当红外辐射照射到功率计上时,辐射被金黑涂层吸收,使温差电堆产生电信号,检流计偏转 S 格。然后遮断辐射,再通电加热电阻丝,调节电阻箱使检流计重现 S 格,从数字电压表和毫安表上分别读出电压 V_0 和电流 I_0 ,则电功率等效光功率,

$$P_0 = I_0 \cdot V_0。$$

$$\text{辐照度} \quad H = \frac{P_0}{A_d} = \frac{I_0 V_0}{A_d},$$

式中 A_d 为功率计有效接收面积。

把功率计置于距辐射器 30 厘米距离的位置上,辐射器采用规格为 $\phi 18 \times 600$ 毫米,功率为 800 瓦的环形金属管状加热器,测得在没有涂料时辐照度 $H = 12.5$ 毫瓦/厘米²,而有涂料时 $H = 16.3$ 毫瓦/厘米²,提高 30%。

综上所述,不难得出结论:在加热器表面上涂复红外涂料,是增大红外辐射功率的有效方法。由于比辐射率增加,红外加热器在传热时,红外辐射传热占的比例增大,对流和传导传热的比例减小,从而实现提高加热效率,节约能源的目的。

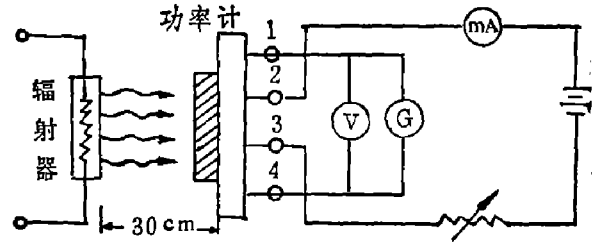


图1 辐照度测量装置原理图

1、4—温差电堆输出端; 2、3—加热电阻丝输入端

红外辐射涂层作用的分析

夏继余 王正深 胡仲寅 陈文通

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

长期以来,涂复辐射涂层被作为提高辐射能利用水平的一个重要手段。它常在下述两种情况下被利用: 1) 在红外加热器的辐射面上涂复高发射率涂层(或同时在其非辐射面上涂复低发射率涂层^[1,2])。2) 在火焰加热炉或电加热炉的炉膛内壁涂复高发射率涂层^[3~6]。

我们认为,在加热炉的热源表面涂复高发射率涂层后,能起两种作用: 提高热源的辐射强度(或同时改变其传导、对流与辐射传热的比例); 改变热源的辐射能谱分布状况^[7]。但有人认为,依据能量守恒定律,在炉子处于封闭状态时,上述涂复红外辐射涂层的措施是没有任何实际价值的。还有人认为,在炉墙上涂复辐射涂层没有节能作用^[8]。鉴于上述不同认识,本文试对红外辐射涂层的作用机理作进一步探讨,并与有关同志讨论。

一、原理分析

1. 加热器表面涂复辐射涂层的作用

众所周知,输入加热器的能量 Q 以辐射、对流和传导形式综合向环境放热。通常情况下,传导传热部分甚少,为便于分析,忽略这一部分。设加热器的表面积为 A , 且各表面上的温度相同并为 T , 环境温度为 T_0 , 则

$$Q = \alpha_{\text{外}} A (T - T_0) + \sigma \varepsilon A (T^4 - T_0^4), \quad (1)$$