

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,

$$P_0 = I_0 \cdot V_0$$

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

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。

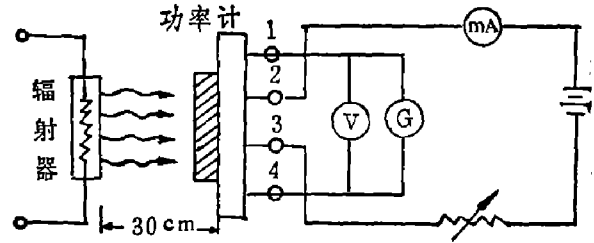


图1 辐照度测量装置原理图

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

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

这里 σ 是辐射常数; ε 是辐射加热器表面的发射率; $\alpha_{\text{对}}$ 为对流换热系数。

温度对 $\alpha_{\text{对}}$ 影响很大。当流体与加热器表面仅仅因温度差而引起自然对流时, 其对流换热量 $Q_{\text{对}}$ 一般可用下式表示^[9]:

$$Q_{\text{对}} = KA(T - T_0)^{1.25}, \quad (2)$$

式中 K 是系数, 对于垂直的平面, $K = 2.2$; 对于朝上的平面, $K = 2.8$; 对于朝下的平面, $K = 1.4$ 。在这种情况下, 结合上述两式, 得

$$Q = KA(T - T_0)^{1.25} + \sigma\varepsilon A(T^4 - T_0^4)。$$

用具体数据进行计算, 当 $K = 2.2$, $T = 773^\circ\text{C}$, $T_0 = 273^\circ\text{K}$, $\varepsilon = 0.4$ 时, 其辐射换热量约占 57%; 若 ε 提高到 0.9, 能量守恒, 按

$$K(T_1 - T_0)^{1.25} + \sigma\varepsilon_1(T_1^4 - T_0^4) = K(T_2 - T_0)^{1.25} + \sigma\varepsilon_2(T_2^4 - T_0^4) \quad (4)$$

计算, 则加热器表面温度将降至 660.8 K, 而辐射换热量上升到约 69%。可见, 当用高发射率涂层代替低发射率涂层时, 输入相同功率的同一加热器的表面温度是要降低的, 但其辐射放热量却增大了。加之许多涂层还具有选择性光谱发射率谱, 两者结合起来, 将导致加热器的发射能谱改变。

2. 在加热炉炉膛内壁加涂高发射率涂层的作用

若将加热器 S 置于加热炉炉膛内, 则投射到炉内工件 r 上的辐射由几部分叠加组成: 第一是直接来自加热器的辐射 Q_{sr} ; 第二是加热器辐射经炉壁反射后投射到工件上的 $Q_{s\omega\rho}$, 第三是炉壁本身发射的辐射 Q_ω 。若炉壁的平衡温度为 T_ω , 发射率为 $\varepsilon_\omega(\lambda)$, 则

$$Q_{s\omega\rho} = \frac{Q_{s\omega} \int_0^\infty [1 - \varepsilon_\omega(\lambda)] Q_{s\omega}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty Q_{s\omega}(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

$$Q_\omega = \sigma A_\omega \varepsilon_\omega T_\omega^4, \quad \varepsilon_\omega = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\omega(\lambda) Q_0(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty Q_0(\lambda) d\lambda}$$

这里 $Q_0(\lambda)$ 为温度 T_ω 时的黑体辐射能谱。

为简化讨论, 设第二、第三部分辐射能够全部投射到工件上, 则投射在工件上的总辐射能量 Q 是

$$Q = Q_{sr} + Q_{s\omega\rho} + Q_\omega, \quad (6)$$

其能谱为

$$Q(\lambda) = Q_{sr}(\lambda) + Q_{s\omega\rho}(\lambda) + Q_\omega(\lambda)。 \quad (7)$$

被工件吸收的辐射 Q_r 为

$$Q_r = \alpha_r(Q_{sr} + Q_{s\omega\rho} + Q_\omega),$$

$$\alpha_r = \frac{\int_0^\infty \alpha_r(\lambda) [Q_{sr}(\lambda) + Q_{s\omega\rho}(\lambda) + Q_\omega(\lambda)] d\lambda}{\int_0^\infty [Q_{sr}(\lambda) + Q_{s\omega\rho}(\lambda) + Q_\omega(\lambda)] d\lambda}。 \quad (8)$$

由此可见, 工件能获得的辐射能的大小, 不仅与 Q 有关, 还与辐射能谱分布状况有关。

炉壁涂层的影响可作如下分析:

1) Q_{sr} 的大小与加热器、被加热工件间的角系数值有关。显然, Q_{sr} 愈小, 炉壁辐射的影响将愈大, 反之则小。

2) 加热器辐射 $Q_{s\omega}$ 投射到炉壁上后, 一部分被反射 $Q_{s\omega\rho}$, 一部分则被吸收。由于 $\alpha_{\omega}(\lambda) = \varepsilon_{\omega}(\lambda)$, 所以 $\varepsilon_{\omega}(\lambda)$ 愈大, 则吸收得愈多, 炉壁面平衡温度 T_{ω} 亦愈高。

炉壁吸收了加热器辐射后, 又将一部分能量以辐射 Q_{ω} 形式发射, 其余部分则或以对流形式加热炉内气体, 或通过传导向炉外散热, 故 $Q_{\omega} < (Q_{s\omega} - Q_{s\omega\rho})$ 。但如前部分所述, 炉壁的发射率和温度变化将直接影响其辐射、对流和传导传热间的比例, 显然当 $\varepsilon_{\omega}(\lambda)$ 愈大, T_{ω} 愈高时, Q_{ω} 值及其在三者传热中所占的比例亦愈大。而且炉壁面温度一般远低于加热器温度, 所以能谱 $Q_{\omega}(\lambda)$ 的分布一般较 $Q_{s\omega}(\lambda)$ 要向长波侧偏移。

3) 若 $\varepsilon_{\omega}(\lambda) \rightarrow 0$, 即炉壁为反射材料, 则 Q_{ω} 最小, $Q_{s\omega\rho}$ 最大, 但其能谱分布状况与加热器辐射基本一致, 即相对于 $Q_{\omega}(\lambda)$ 来说偏于短波侧。

综上所述, 炉壁加涂高辐射涂层同样可以起到两个作用, 一是尽可能地提高炉壁辐射组分的强度, 二是改变投射到工件上的辐射的能谱分布使之向长波偏移。对在长波段有强吸收带的工件来说, 两者结合起来就可能提高辐射能利用效率。

二、试验证明

1. 用商品金属电热管(表面涂层为铝漆)做试验, 将镍铬、镍铝热电偶埋于金属管中段壁上, 控制同一功率, 测试涂复 HK-6 涂层前后管壁的温度变化, 并用 LW-1 激光功率计测试其辐射强度, 数据见表 1, 涂层的发射率见表 2。

表 1

涂 层	功 率 (瓦)	管壁温度(°C)	测量距离(厘米)	辐射功率(毫瓦)
铝 漆	124	457	50	0.66
HK-6	124	403	50	0.78

表 2

涂 层	温 度 (°C)	法 向 发 射 率			
		全发射率	1~14 μm 波段	1~8 μm 波段	1~4 μm 波段
铝 漆	400	0.45	0.43	0.43	0.41
HK-6	400	0.89	0.88	0.87	0.83

测试表明, 用高发射率 HK-6 涂层代替铝漆后, 金属电热管的壁温下降, 但辐射功率反而增加。

2. 在上钢三厂中心试验室协助下, 测试了炉膛内壁涂 HK-6 涂层的效果(其他条件不变), 其方法是在功率为 11 千瓦、三相星形连接的 KO-11 箱式硅碳棒电炉上作对比试验, 被加热工件为 45# 钢, 所得数据见表 3, 经测试, HK-6 涂层与粘土质耐火材料的半球向发射率见图 1。

表 3

类 别	升 温 时 间 (室温→1100°C)	耗 电 (度)
粘土质耐火材料	4 时 50 分	42.7
HK-6 涂层	3 时 30 分	35.6

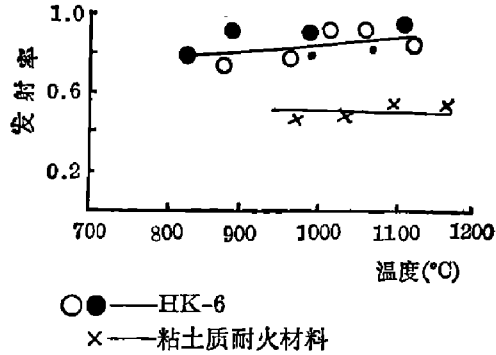


图 1

试验表明,在加热炉炉膛内壁涂复 HK-6 涂层可以起到提高工件加热速度,从而提高能源利用水平的效果。综上所述,我们可以肯定地说,高发射率涂层在工业炉强化辐射加热技术中是可以发挥有益作用的。

参 考 文 献

- [1] 上海电热电器厂、上海硅酸盐所, (1977), 3:12~18.
- [2] 刘德兴,电炉, (1983), 1:18~22.
- [3] 夏继余,王正深,胡仲寅,能源, (1983), 1:27~28.
- [4] 夏继余,王正深,胡仲寅,工业炉, (1983), 3:12~15.
- [5] 宫西正隆,北楯纘二,耐火物, 31(1979), 25:317~319.
- [6] Yasutel Hirame, Kawaguchi and Youichi Nakamura, Hatogoya, USP. 4072530 (1978).
- [7] 上海硅酸盐所远红外辐射涂层课题组,红外技术, (1980), 1:1~13.
- [8] 郭云明,电子工艺技术, (1983), 11:43~44.
- [9] 广东化工学院陶瓷教研组窑炉教学小组,上海轻工业, (1978), 1-2:104~109.