

CCD 测温在现代焦化炉中的应用

蒋亚龙, 袁宏永

(中国科技大学 火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027)

[摘要] 焦化炉是石化行业很重要的一个设备, 随时了解它的温度场分布和掌握它的运行状态一直是一个备受人们关注的问题。就 CCD 测温在现代焦化炉中的应用进行了介绍, 阐述它的原理, 指出了它今后发展的方向, 最后举例说明该方法在现代工程上可行, 并取得了比较令人满意的结果。

[关键词] CCD; 焦化; 温度测量

[中图分类号] TE624.3⁺6; TH765.2⁺6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)04-0073-03

1 焦化加热炉的基本状况

中石化企业炼油厂的焦化炉大部分为横管立式结构。由于经常处于高温及管内高腐蚀的工况下运行, 易于发生氧化剥皮和弯曲变形现象, 如果不及及时发现和排除故障, 将会影响生产, 甚至形成对安全生产的严重危害。目前中石化系统的焦化加热炉的辐射段大都采用 $\phi 127$ mm, 10Cr5Mo 的合金钢管, 还有其他的一些材料如 Cr9Mo。一般说来, 辐射段的上部炉管使用寿命较长, 最长可达 10 年; 中下部使用寿命较短, 一般为 1~2 年, 有的甚至只有几个月。

目前对炉管的故障判断方法主要有 3 种^[1]: 外观检查, 厚度测定和金相分析。通常是在停工状况时进行检查, 也就是说检修工期的不确定性对炉管的检查、检修和分析造成一定的麻烦。并且检查时也只是粗略地把炉管加热面分成几个区域, 并假设该区域内的炉管状态参数完全一致, 但实际上是不可能的。所以造成的后果就是: 要么形成漏检, 造成对生产的危害; 要么大面积地更换, 造成不必要的浪费。所以说实时监控加热炉的温度及各种状况是非常迫切的一项任务。

2 以往的测量技术及弊端

以往大部分采用热电偶测温方法, 将热电偶焊

接在炉管的表面或将它埋在炉管表面附近等^[2]。其缺点是显而易见的: 1) 由于是高温环境下的测温, 导致热电偶的使用寿命缩短, 更换频繁, 也增加了成本; 2) 热电偶测温是单点测温, 无法获得温度分布; 3) 燃烧状况的变化, 可能会导致局部过热, 形成局部结焦, 过热点又不可能恰好在壁温热电偶焊接处, 导致管理者难以对运行状况进行判断分析。总而言之, 想要利用炉内有限的热电偶或一些热敏元件去测量炉内各点温度(任意点)或温度的变化趋势和不均匀程度是不理想的。所以这种方法不能满足实际需求, 人们一直在不断研究新的测温方法。

3 现有的技术及进展

基于上述接触式测温的缺点, 国内外开始逐步发展非接触式测温法。这种方法的优点在于: 它能在接触式测温不能使用或不方便使用的场合下使用, 具有响应快、灵敏度高、分辨率强, 能够较好地高温目标、微小目标、高速移动和腐蚀性较强的、不可接触的等目标进行测量^[3]。目前较流行的用于管壁测温的是采用彩色 CCD (charge coupled devices) ——电荷耦合器件的方法。

3.1 图像测温的原理

摄像机的光子探测器把来自加热炉的炉壁表面的热辐射能转换为电子视频信号, 经计算机处理,

送至显示器重放, 转化为相应的可见图像, 同时有价值的图像可以存储在磁盘上, 然后由计算机进行数据处理。摄像机所接收到的热辐射除来自待测管壁表面的热辐射外, 还有壁面对周围环境的反射以及热像仪与壁面之间的火焰等高温气体的辐射。由

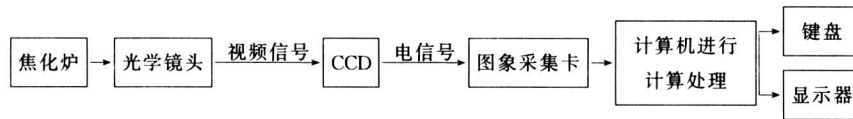


图1 CCD测量系统示意图

Fig.1 CCD measurement system

3.2 用比色法推导测温公式

辐射测温的原理主要是利用了 Planck 定律^[4]:

$$E(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2/\lambda T) - 1]^{-1},$$

其中 $E(\lambda, T)$ 为辐射强度 (W/m^2), $\epsilon(\lambda, T)$ 为物体的单色辐射率, λ 为波长 (m), T 为绝对温度 (K), C_1, C_2 为 Planck 常量, 分别为 $3.74 \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2$ 和 $1.43 \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{K}$ 。当 T 在 2 000 K 以下, λ 为 $3.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-6} \text{m}$ 时, Planck 定律可以由 Wien 定律来代替^①, 即:

$$E(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2/\lambda T)]^{-1}.$$

因为发射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 一方面比较难测, 另一方面它又是随 λ, T 变化的变量, 所以在实际中是利用比色法^[5]来消除发射率对测量结果的影响。即使用两个不同波长同时测量同一点温度的比值:

$$\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} = \frac{\epsilon_{\lambda_1} \lambda_1^{-5} e^{-c_2/(\lambda_1 T)}}{\epsilon_{\lambda_2} \lambda_2^{-5} e^{-c_2/(\lambda_2 T)}},$$

然后利用数学方法可以化简得出下式:

$$C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \frac{1}{T} = \ln \left(\frac{\epsilon_{\lambda_2}}{\epsilon_{\lambda_1}} \right) + \ln \left(\frac{S_{\lambda_1}}{S_{\lambda_2}} \right) + 5 \ln \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right),$$

其中 $S_{\lambda_1}, S_{\lambda_2}$ 分别为 CCD 数字化后的分量辐射强度信号。这里近似认为 CCD 接受到的辐射能之比 $\left(\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} \right)$ 等于数字化后的分量强度之比 $\left(\frac{S_{\lambda_1}}{S_{\lambda_2}} \right)$, 后面将会讨论由此引起的误差。所以从理论上讲只要知道某点两个波段的分量强度 $S_{\lambda_1}, S_{\lambda_2}$, 就可由下式计算出该点的温度 T :

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \left(\frac{\epsilon_{\lambda_2}}{\epsilon_{\lambda_1}} \right) + \ln \left(\frac{S_{\lambda_1}}{S_{\lambda_2}} \right) + 5 \ln \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)}. \quad (1)$$

CCD 可以将外来景物的入射光分解成波长分

于这些背景辐射相对待测目标的辐射而言比较小, 为了方便分析问题, 将这些背景辐射略去, 即认为摄像机接受到的辐射只由待测目标的辐射所组成。图 1 给出了 CCD 测量系统示意图。

别为 $7 \times 10^{-7} \text{m}, 5.46 \times 10^{-7} \text{m}, 4.36 \times 10^{-7} \text{m}$ 的三基色 $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ 。在具体计算时, 以这样的波长代入 (1) 式。当选取 λ_R, λ_B 来计算时, 得出的测温公式为:

$$T_{\langle R, B \rangle} = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_R} \right)}{\ln \left(\frac{\epsilon_{\lambda_B}}{\epsilon_{\lambda_R}} \right) + \ln \left(\frac{S_{\lambda_R}}{S_{\lambda_B}} \right) + 5 \ln \left(\frac{\lambda_R}{\lambda_B} \right)}.$$

4 实例应用

在安庆炼油厂以 202[#] 卧式管为实验对象, 成功地实现了 CCD 的测温应用。

图 2 是在测试过程中获得的某截面温度场分布示意图。

为便于和热电偶的示值相比较, 并求出测量误差, 将测得的一部分数据列入表 1。(表中 $T = t + 273$)。

表 1 CCD 测温 and 热电偶测温的数值比较

Table 1 Comparison of results by CCD and thermocouple measurement

序号	热电偶示值		现场计算值		误差值/%	
	$t/^\circ\text{C}$	T/K	$t/^\circ\text{C}$	T/K	$\Delta t/t$	$\Delta K/K$
1	1 100	1 373	1 095	1 368	0.45	0.36
2	1 150	1 423	1 130	1 403	1.74	1.41
3	1 185	1 458	1 177	1 450	0.68	0.55
4	1 200	1 473	1 178	1 451	1.83	1.49
5	1 245	1 518	1 215	1 488	2.41	1.98

① 传热的基本原理。中国科技大学热科学与能源工程系内部教材。

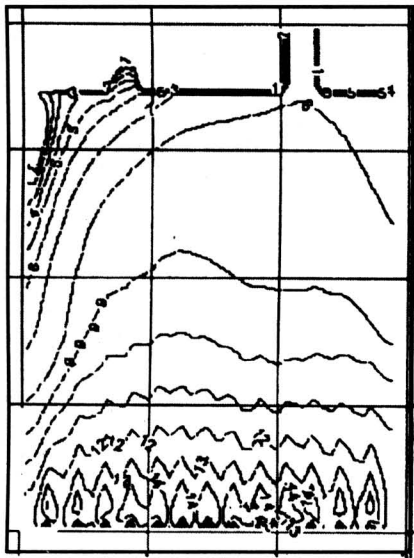


图2 测试过程中某截面温度场分布示意图

Fig.2 Distribution of temperature field in certain section

5 理论上存在的一些误差

在实验过程中我们发现这种方法用在工程上是比较完善的,但是反过来再从理论上推算,则可以发现还存在以下一些误差:

1) 在一般的计算中做了近似处理,即将 CCD 获得的光强值来代替辐射能,但实际应用中必须要引入一个由 R, G, B 亮度确定的修正系数来修正上述情况所引起的误差。

2) 虽然 ϵ_{λ_1} , ϵ_{λ_2} 很相近,但并不相等,所以在近似认为 $\ln \frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} = 0$ 的计算中还必须用下式来表

示误差^[6]:

$$\Delta T = T \left[\frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}{T \ln \left(\frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} \right) + C_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)} - 1 \right]$$

3) 此外还存在 CCD 本身的一些硬件上的原因所带来的误差,所以在经济允许的条件下应尽量选取精度较高的 CCD。

4) 一些背景辐射也会对测量带来影响。接受到的总辐射能为炉壁和干扰辐射的总量叠加,因而必须剔除干扰辐射。

6 今后的发展趋势及前景

焦化炉的监控要逐步扩展成为炉内全方位监控。对整套焦化炉的温度场分布进行监控,并利用炉内三维温度场来指导焦化炉自动化操作将是以后一个非常有价值的研究方向。这样形成一个集热场分析、工业电视监控、自动报警及自动操作于一体的全方位的工业用炉监控系统。

参考文献

- [1] SHS01006-92《管加热炉维护检修规程》[S]
- [2] 施德恒,张云龙,等. 高温物体比辐射率在线测量系统的研究[J]. 仪器仪表学报, 1999, 20(4): 364~367
- [3] 胡瑞华,栾松,孙宁克. 非接触测温的辐射测温法[J]. 大连轻工业学院学报, 1997, 16(1): 88~90
- [4] 弗兰克. 传热学的基本原理[M]. 1985. 307~308
- [5] 陈石. 双色法测试系统的标定及燃烧炉火焰辐射的测量[J]. 燃烧科学与技术, 1996, 12(2): 150~153
- [6] 王飞,薛飞,马增益,等. 运用彩色 CCD 测量火焰温度场的试验研究及误差分析[J]. 热能动力工程. 1998, 13(74): 81~83

The Application of Temperature measurement By CCD to Modern Coking-Furnace

Jiang Yalong, Yuan Hongyong

(State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Heifei 230027, China)

[Abstract] As is well-known that coking furnace has a very important role in the petroleum industry. This paper introduced the application of temperature measurement by CCD to modern coking furnace. The principle of this temperature measurement is that the vidicon received the radiation coming from the object to be measured, and the results were processed by the computr. Also, the paper pointed out its development trend. According to a example that had been carried out successfully, the paper drew a conclusion that the method was feasible.

[Key words] CCD; coking; temperature measurement