

钢板生产中 ε 值的在线测定

何 宁*

(上海第一钢铁厂)

在生产线上对热轧钢板的温度进行测定,是控制产品质量的重要步骤。其中发射率—— ε 值的在线测定是个关键问题,同时又是实践中感觉棘手的问题。多年来,有关 ε 值的在线测定方法已有过不少研究报道,其中较为实用的是使用兰德(Land)表面高温计,我国武钢、宝钢都引进了它。按照该表说明书介绍,测量钢材表面的发射率,需要用镀金的反射罩和镀黑的反射罩,在相同的部位各测一次,通过查 $T-V$ 对照表,求出两者的电压比 V_B/V_G ,然后再对照给定的 $V_B/V_G-\varepsilon$ 曲线,找出该部位的发射率。这种两次测量法,对于生产现场显然是不适用的,因为钢板出炉后温度在不断下降,分先后两次测量时,对象的许多参数都已发生了变化,因此在不具备一台镀金、一台镀黑反射罩同时测定某一对象的条件时,有必要对此法进行改进。

一、在线测定 ε 值的实施

我们采用有效波长相同的辐射高温计的示值 T_L , 与兰德表面高温计的示值 T_Z , 来求发射率。具体的方法是用几台高温计对准同一测量部位,配备几个人员分管各台仪表;用耳听兰德高温计示值的读数,眼观分管仪表的读数,手调发射率旋钮,并改变光电高温计的示值,使之向兰德高温计示值靠拢的办法,通过多次逼近,求取平均发射率 $\overline{\varepsilon_{\lambda T}}$, 以此作为该检测点对于该种型号、规格钢板的 $\overline{\varepsilon_{\lambda T}}$ 。我们所用五台辐射高温计的有关参数列于表 1。

在实施过程中,为了固定探测器与钢板间的距离,以保持每次测量值的相对稳定,也为了保持较小的测量间隙,减少能量的泄漏,我们在兰德表面温度计的旋转轴上按装了一对固定长度的细脚支架,满足了兰德高温计说明书中规定的“探测器应尽量接近被测对象但又不

表 1 所用辐射高温计型号及参数

型 号	受感元件	有效(工作)波长	备 注
Land QSP 50	Si	0.9 μm	英国兰德表面高温计,作 T_Z
CHINO IR	Si	0.9 μm	日本千野厂,计算时作 T_Z
WFH-60	Si	1 μm	云南仪表厂
WDL-31	Si	0.8~1.1 μm	上海自仪三厂(2台)

本文 1982 年 11 月 29 日收到。最后修改稿 1984 年 1 月 24 日收到。

* 参加测试工作的还有:徐国安、顾仁荣、黄逸林、朱华珍、孙逸斌、徐余刚、黄倩霞、王国珍。

碰到被测对象”这一基本原则(见图 1)。

我们在一九八一年,连续三天分别在二辊、四辊、连轧轧机入口等三个不同的工艺检测点,对几个不同工序(二辊是高压水除鳞过的第五道次,四辊是第一、六道次,连轧是第一架前)的普碳钢板的表面发射率进行了测定,测量的结果大致可归纳成两点:(1)不同型号、甚至是相同型号,不同的仪表,在同一检测点上对准同一目标,得出的发射率是不同的;(2)同一仪表(以日本千野 IR 为例)在不同的工艺检测点上,对不同被测对象的发射率,测得的结果大致都在 0.9 左右。显然,上述两点的结论都是反常的,而且是互相矛盾的。因为根据许多报道,一般热轧普碳钢板的发射率都小于 0.9,而且在不同测量部位和不同温度,应该是有差别的。但目前唯一能看出差别的是四辊入口,在 $970^{\circ}\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 的第一道次时, $\bar{\varepsilon}_{\lambda T} \approx 0.9$,而在 $880^{\circ}\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的第六道次时 $\bar{\varepsilon}_{\lambda T} \approx 0.86$,相差仅 0.04。

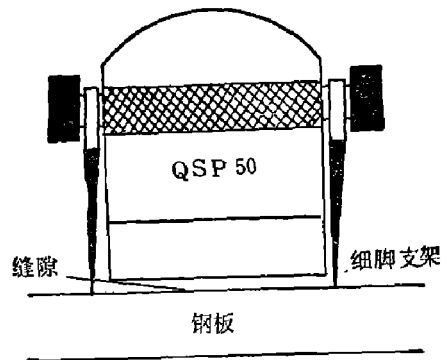


图 1 保持间隙支架

为了找出试验数据不合理的原因,我们分别对实验仪器、实验方法和实验数据等进行了仔细的分析和甄别,找出了一些问题,进行了必要的处理,从而得出了一批较为合理的数据。

二、数据处理

1. 第一手实验数据应经过处理

不能用调整发射率旋钮使亮度温度向真实温度靠拢的简单办法求发射率,即使是多次逼近也是不够准确的。

根据[参见文献[2]式(9)]

$$\frac{\Delta T}{T} = -\frac{1}{n} \frac{\Delta \varepsilon_{\lambda T}}{\varepsilon_{\lambda T}}, \quad (1)$$

此处 $n = \frac{C_2}{\lambda T}$, C_2 为普朗克公式中的常数,当温度 T 在 $1000\sim 1300\text{K}$ 范围内每变化 10K 时,光谱发射率 $\varepsilon_{\lambda T}$ 的相对变化仅为 $0.085\sim 0.144$,也就是当根据 $T_z - T_L$ 的差值来调整 $\varepsilon_{\lambda T}$ 时,其变动量 $\Delta \varepsilon_{\lambda T}$ 一定要作极微小的调整才能比较准确,但由于在现场实验过程中,操作者要眼耳口手并用,而且时间很短促,不可能很细致准确地调整旋钮,加上 $\varepsilon_{\lambda T}$ 旋钮是按 0.1 分度的,要想读准小数点后第二位数字,事实上是相当困难的。但是对未调旋钮前, $\varepsilon = 1$ 时读出的 T_L 值,和兰德高温计上读出的 T_z 值,还是可靠有用的。

2. 必须用经过误差修正的温度值

由于各台光电辐射高温计都有自身的允许误差值,如果一台在某点是正误差,另一台是负误差,在测量同一对象时,其视值就可能出现二倍误差。这个误差值在调整 ε 旋钮时,是不可能被消除掉的,因此就会出现型号相同的两台仪表,测量同一温度对象时,得出不同发射率的现象。当时我们曾怀疑过 ε 旋钮的分度是否准确,为此曾在自仪三厂的黑体炉上做过试验,即用一已知衰减度的筛网插入测量通道中,使仪表示值降低,然后再调整发射率旋钮,使示值回升至原数值,判读此时的 ε 值。我们先后做过几只型号相同或不同的表,检测不同的温度值,其 ε 读数和筛网的已知衰减度很接近,这就排除了对 ε 旋钮分度不准确

的怀疑。因此不仅是 ε 旋钮不能调准光谱发射率的变化,而且不可能消除由于仪表示值误差而带来的 ε 读数误差。

3. 兰德表面高温计的误差要修正

兰德表面高温计之所以能测出非黑体辐射源的真实温度,是考虑到非黑体受其发射率 ε 所限制,只能发射出同温度黑体辐射功率的 εW_0 那部份,而未能发射出 $W_0(1-\varepsilon)$ 这部份功率。因此它采用了一个前置反射器罩在非黑体源上,在这个内壁为全反射的闭合半球体空腔内,它不仅能接收到一般辐射温度计能接收到的直射能量 εW_0 部份,还能捕获一次反射能量 $\varepsilon W_0(1-\varepsilon)$,二次反射能量 $\varepsilon W_0(1-\varepsilon)^2$,以至无数次反射能量 $\varepsilon W_0(1-\varepsilon)^n$ 等未曾泄掉的总和,即

$$\begin{aligned} & \varepsilon W_0(1-\varepsilon) + \varepsilon W_0(1-\varepsilon)^2 + \dots + \varepsilon W_0(1-\varepsilon)^n \\ & = \frac{\varepsilon W_0(1-\varepsilon)}{1-(1-\varepsilon)} = W_0(1-\varepsilon)。 \end{aligned} \quad (2)$$

从式(2)可知,它所捕获的多次反射能量之和,适巧和非黑体未能辐射出去的能量 $W_0(1-\varepsilon)$ 相等,也就是说带前置反射器的表面温度计所测量到的能量是 $\varepsilon W_0 + \varepsilon W_0(1-\varepsilon) = W_0$,即等于黑体辐射功率,所以能读出物体的真实温度。

但是由于前置反射器的壁腔达不到全反射;并有着与罩口直径成一定比例的探测窗口;在测量过程中又有与罩口成一定比例的测量缝隙的存在,漏泄了腔内一定的能量,而这部分损失的能量是与热源的温度值、反射率和测量缝隙相关的,因而需要对它们加以补偿修正。

日本钢铁协会放射温度计小委员会曾做出了它的定量补偿值^[1],我们利用其中和我们测量条件相当的数据(表2),进行了量值修正补偿。

表2 硅光电池 QSP50 型 $d=3\text{mm}$ 时的误差值

T ε	500°C	700°C	900°C	1100°C	1300°C
0.9	0	+1	+1	+2	+2
0.8	0	-1	-1	-1	-1
0.7	-2	-3	-5	-6	-8
0.6	-5	-7	-10	-13	-17
0.5	-7	-11	-16	-21	-27
0.4	-11	-17	-24	-32	-41

从表中可见:当 $\varepsilon \leq 0.8$ 时,误差值是“-”,而 $\varepsilon \geq 0.8$ 时为“+”,这是日本钢铁协会测制这套修正补偿值时,把标定平板靶的发射率确定为 $\varepsilon = 0.8$ 之故。

4. 钢板发射率测定计算

应当选择和兰德表面高温计有效波长相近、 $\varepsilon = 1$ 且未经线性化的辐射温度计读数(因 QSP 是未经线性化的),经过本身误差修正后,作为亮度温度 T_L ,然后与兰德表面温度计的示值,通过温度、发射率和测量间隙的补偿修正后的温度作为真实温度 T_z ,按照 $\varepsilon_{\lambda T} = \left[e \left(\frac{T_L - T_z}{T_L T_z} \cdot \frac{c_2}{\lambda} \right) \right]^{-1}$ 式^[2]进行运算而得出相应的发射率 $\varepsilon_{\lambda T}$,见表3(仅举一例),然后综合成表4。

从测定的数据中可得出几点结论:(1)对相同工艺部位,发射率随着温度升高而升高。

表3 钢板发射率测定计算表(二辊轧机入口)

序号	Land示值 (°C)	修正值 (°C)	真实温度 T_z (K)	$\epsilon=1$ Ohino 示值 (°C)	修正值 (°C)	亮度温度 T_L (K)	$T_z - T_L$ (K)	$T_z - T_L$ (K)	$\ln \frac{1}{\epsilon_{\lambda T}}$	$\epsilon_{\lambda T}$	备注
1	985	+5	1263	980	-22	1231	32	1554753	0.2961345	0.7436874	} $\Delta T_z = 43^\circ\text{C}$
2	995	+5	1273	990	-21	1242	31	1581066	0.2821058	0.7541938	
3	1020	+5.5	1298.5	1010	-22	1221	37.5	1637408.5	0.3295146	0.7192727	
4	1020	+5.5	1298.5	1010	-22	1221	37.5	1637408.5	0.3295146	0.7192727	
5	1028	+5.5	1306.5	1027	-23	1277	29.5	1668400.5	0.2544029	0.7753792	
$\bar{\epsilon}_{\lambda T} = 0.7423611, \sigma = 0.02408$											

表4 不同工艺检测点和轧制道次的低碳钢板 $\bar{\epsilon}_{\lambda T}$

检测部位	测量温度范围 (°C)	温度差 (°C)	平均发射率	备注
二辊轧机入口	990~1033	43	0.742	} $\bar{\epsilon}_{\lambda T} = 0.570$
四辊中板入口	831~890	52	0.561	
同上	894~944	50	0.581	
同上	980~1043	63	0.583	第一道次
连轧轧机入口	973~1015	42	0.754	第一机架前

(2) 对不同工艺部位, 虽然温度范围相近, 其发射率可以相差较大。(3) 工艺部位不同, 温度范围也不同, 其发射率变化值最大可达 0.184 左右。由此可见, 在不同轧钢工艺部位上, 选用不同的发射率, 对于确定轧制件的真实温度, 是十分必要的。

最后要指出, 本文所测数据与前人相比是偏低的, 这一问题有待进一步研究。

致谢——本文修改中承蒙东北工学院高魁明副教授和感光胶片一厂王锡茹同志多方帮助, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 日本钢铁协会共同研究会放射温度计小委员会, 放射温度计小委员会终了报告, 第54回计测部会资料, 昭和48年。
- [2] 姜世昌, 红外研究, 1(1982), 2:135。