

# 测定红外加热元器件光谱 比辐射率的一种方法

单 子 娟

(苏州大学物理系)

**摘要**——本文提出一种方法,只要测量红外加热元器件的光谱辐射亮度温度,而不必测量它的真实温度,便可以得出其光谱比辐射率。

光谱比辐射率是红外加热元器件的一个重要参数。在常用的测量方法中,均须精确测定红外加热元器件的温度<sup>[1]</sup>,但这是很困难的。

采用本文提出的方法,只要测量红外加热元器件的光谱辐射亮度温度,而不必具体测量待测元器件的真实温度,便可以得出它的光谱比辐射率。这样,可以按照红外加热元器件的实际使用条件进行比辐射率的测定。因此本方法比较简单,并具有实际意义。利用本方法测出红外加热元器件的比辐射率后,还可以方便地求出其真实温度。

## 一、测量原理

设待测红外加热元器件的真实温度为  $T$ , 光谱辐射亮度温度为  $T_{\lambda b}$ , 在维恩近似公式范围内有

$$e^{-c_2/\lambda T_{\lambda b}} = \varepsilon_{\lambda}(T) e^{-c_2/\lambda T}, \quad (1)$$

式中  $\varepsilon_{\lambda}(T)$  是光谱比辐射率,  $c_2$  是第二辐射常数。引进参量  $p = \lambda/\lambda_0$ , 这里  $\lambda_0$  指维恩近似式范围内选定的最长波长, 它随  $\varepsilon_{\lambda}(T)$  的测量精度要求而可以有一定的变化。把参量  $p$  代入式(1), 经整理后可得

$$\frac{e^{-c_2/\lambda_0 T_{\lambda b}}}{e^{-c_2/\lambda_0 T_{\lambda_0 b}}} = \frac{\varepsilon_{\lambda}^p(T)}{\varepsilon_{\lambda_0}(T)}, \quad (2)$$

式中  $T_{\lambda b}$  是待测红外加热元器件在波长为  $\lambda$  时的辐射亮度温度,  $\varepsilon_{\lambda}(T)$  是波长为  $\lambda$  时的光谱比辐射率,  $\varepsilon_{\lambda_0}(T)$  是  $\lambda_0$  时的光谱比辐射率。必须注意, 在测量过程中红外加热元器件的真实温度  $T$  应保持不变, 但它并不在式(2)中出现。令

$$\frac{e^{-c_2/\lambda_0 T_{\lambda b}}}{e^{-c_2/\lambda_0 T_{\lambda_0 b}}} = \frac{\varepsilon_{\lambda}^p(T)}{\varepsilon_{\lambda_0}(T)} = R, \quad (3)$$

可得

$$\ln R = p \ln \varepsilon_{\lambda}(T) - \ln \varepsilon_{\lambda_0}(T), \quad (4)$$

再引入  $K = \frac{\varepsilon_\lambda(T)}{\varepsilon_{\lambda_0}(T)}$ , 则式(4)可改写成

$$\ln R = (p-1) \ln \varepsilon_{\lambda_0}(T) + p \ln K. \quad (5)$$

公式(3)、(4)、(5)是本方法的主要公式。对式(5)来说, 它不包含待测红外加热元器件的真实温度  $T$ 。在式(3)中, 由于  $T_{\lambda b}$  是波长  $\lambda$  的函数, 因而  $R$  亦是波长的函数。可以通过直接测量求出  $R$  与  $\lambda$  的依赖关系。

下面讨论  $R$  在光谱区域  $p = \lambda/\lambda_0 = 0$  与  $p = \lambda/\lambda_0 = 1$  之间的变化情况。对于任何红外加热元器件来说, 整个光谱范围内的比辐射率  $\varepsilon$  都要满足下述条件:

$$0 < \varepsilon \leq 1. \quad (6)$$

这里还假设, 当  $p \rightarrow 0$  时式(6)亦成立。在其他条件不变的情况下, 比辐射率可看作是波长的单值、连续、有限的函数。因此  $R$  也是波长的单值、连续、有限的函数。由于我们选择的  $\lambda_0$  是满足维恩近似式的, 所以在  $p \in [0, 1]$  光谱范围内维恩公式都是适用的。当  $p = 1$  时, 所有红外加热元器件的  $R$  值都等于 1。现在来看  $p \rightarrow 0$  时情况, 由式(5)可得

$$\lim_{p \rightarrow 0} (\ln R) = -\ln \varepsilon_{\lambda_0}(T) + \lim_{p \rightarrow 0} (p \ln K),$$

由式(6)条件, 当  $p \rightarrow 0$ ,  $K = \varepsilon_\lambda(T)/\varepsilon_{\lambda_0}(T) > 0$ , 且是有限的量, 则  $\lim_{p \rightarrow 0} (p \ln K) \rightarrow 0$ , 即得下式:

$$\lim_{p \rightarrow 0} (\ln R) = -\ln \varepsilon_{\lambda_0}(T),$$

由此可得

$$R_{p \rightarrow 0} = 1/\varepsilon_{\lambda_0}(T)。$$

由上式可见, 当  $p \rightarrow 0$  时  $R$  量值的倒数即为  $\varepsilon_{\lambda_0}(T)$ 。

对于接近绝对黑体的热辐射体来说, 它的比辐射率接近于 1。此时  $K = \varepsilon_\lambda(T)/\varepsilon_{\lambda_0}(T) \doteq 1$ , 由式(5)可得

$$\ln R = 0。$$

在这种情况下, 在  $p \in [0, 1]$  光谱区域内,  $\ln R = 0$ , 如图 1 中直线 A 所示。而对于接近于灰体的红外加热元器件,  $\varepsilon \doteq$  常数  $< 1$ , 此时  $\ln K \doteq 0$ , 由式(5)可得

$$\ln R = (p-1) \ln \varepsilon_{\lambda_0}(T), \quad (7)$$

由上式表示的直线方程可用图 1 中直线 B 表示。由该直线的斜率:  $d \ln R / dp = \ln \varepsilon_{\lambda_0}(T)$ , 可以求出灰体的比辐射率  $\varepsilon_{\lambda_0}(T)$ 。不少红外加热元器件都近似于灰体, 或在某光谱区域内属于灰体, 因此可方便地采用作图法由直线 B 的斜率求出比辐射率  $\varepsilon_{\lambda_0}(T)$ 。

如果红外加热元器件的光谱比辐射率随波长发生变化, 则可以把比辐射率  $\varepsilon$  或  $K$  展开为波长的多项式。在许多实际情况下, 可以展开为二项式或三项式。实验表明, 展开多项式的项数, 不仅决定于  $\varepsilon$  随波长的变化特性, 而且也应考虑仪器的测量误差和方法误差。

红外加热元器件的真实温度  $T$  不易测量准确。但利用本方法可以在  $\ln R - p$  实验曲线为直线的波段测出该谱区的光谱比辐射率  $\varepsilon_\lambda(T)$  后, 再根据下列公式求出红外加热元器件的真实温度  $T$ :

$$T = \frac{c_2 T_{\lambda b}}{\lambda T_{\lambda b} \ln \varepsilon_\lambda(T) + c_2}。 \quad (8)$$

因此可以说, 本方法是测定红外加热元器件的光谱比辐射率及其真实温度的一种简便方法。

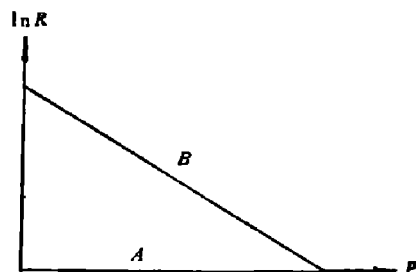


图 1

## 二、实验装置与测量方法

本工作采用的实验装置如图 2 所示<sup>[2]</sup>。

在测量过程中, 割取红外加热元器件, 置于样品炉内, 控制样品炉温度使之与红外加热

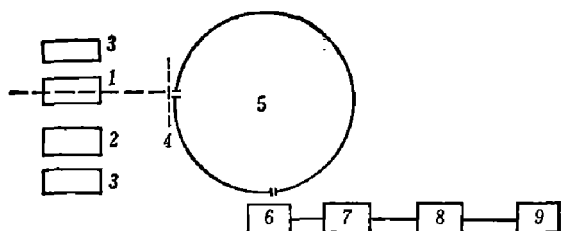


图 2

1—实验室用的中温黑体炉; 2—样品炉;  
3—控温、测温仪器; 4—调制盘; 5—氯化钠棱镜单色仪(蔡司公司产品); 6—热释电探测器(上海技物所研制); 7—前置放大器; 8—锁相放大器; 9—毫伏表

元器件的实际使用温度相同。样品炉前用光阑调节红外加热元器件的辐射立体角使之等于黑体炉的辐射立体角。合理选择维恩公式适用范围内的最长波长 $\lambda_0$ 。调节黑体炉内的温度, 使之在同一波长 $\lambda_0$ 上黑体的光谱辐射功率等于红外加热元器件的光谱辐射功率。此时, 黑体的温度就是待测红外加热元器件在 $\lambda_0$ 时的辐射亮度温度, 用 $T_{\lambda_0 b}$ 表示。然后将红外单色仪向短波方向调节至某一波长 $\lambda$ 处。通过升高并调节黑体炉的温度, 使黑体的光谱辐射功率在同一

波长 $\lambda$ 处等于待测红外加热元器件的光谱辐射功率, 此时黑体炉的温度即为红外加热元器件在波长 $\lambda$ 时的辐射亮度温度, 用 $T_{\lambda b}$ 表示。按照实验的具体条件和不同的精度要求来选择不同的光谱区域进行测量。最后将测得的 $T_{\lambda_0 b}$ 和 $T_{\lambda b}$ 代入式(3)的左边, 由式(3)求得 $R$ 值, 再求出 $\ln R$ 。由实验数据作出 $\ln R-p$ 实验曲线。然后根据式(7), 由 $\ln R-p$ 直线的斜率求出红外加热元器件在该直线的光谱区域内的光谱比辐射率 $\varepsilon_\lambda(T)$ 。

## 三、实验结果

用上述方法测量了数种红外加热元器件的光谱比辐射率, 样品置于样品炉内。测量结果表明, 上述方法是可行的。用本方法测出的比辐射率数值与常规测量方法所测的结果基本相符, 但前者在方法上要简便得多。表 1 列出一种红外加热元器件的有关数据。选择维恩近似式最长波长为 $4.6\mu\text{m}$ 。由图 3 实验曲线 $\ln R-p$ 的斜率求出的比辐射率为 0.79。实验曲线表明, 这种红外加热元器件在测量谱区属于灰体。然后根据式(8)求出该器件的真实温度为 717.7 K。图 4 是另一种红外加热元器件的实验曲线 $\ln R-p$ , 由它的斜率求出比辐射率为 0.91。根据式(8)求出其真实温度为 455.2 K。

表 1

$\lambda(\mu\text{m})$	$T_{\lambda b}(K)$	$\ln R$	$T(K)$
4.60	681.4	0	
4.30	683.4	0.0134	717.9
3.91	686.4	0.0334	717.9
3.42	689.8	0.0556	717.4
3.02	692.5	0.0736	717.0
2.70	695.4	0.0924	717.4
2.14	700.0	0.1220	717.6
1.81	703.2	0.1423	718.1
1.53	705.7	0.1581	718.4

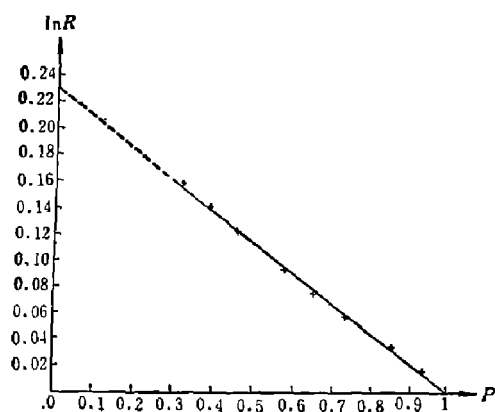


图 3

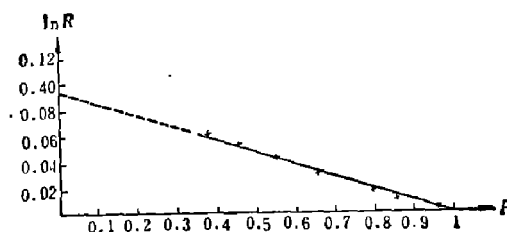


图 4

致谢——徐菁菁同志协助实验测量, 特此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Wolfe W. L., Zissis G. J., *The Infrared Handbook*, IRIA Center, 1978.
- [2] 江苏师院物理系红外组, 红外物理与技术, 10(1981), 1:29.

## A METHOD FOR DETERMINATION OF THE SPECTRAL EMISSION OF THE INFRARED HEATING ELEMENTS

SHAN ZIJUAN

(Physics Department, Suzhou University)

### ABSTRACT

A new method for determination of the spectral emissivity of the infrared heating elements is recommended, in which the spectral brightness temperature instead of the real temperature is measured.