

# 单圆筒法测量发射率的研究

张才根

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

刘健

(青岛大学, 山东, 青岛, 266033)

**摘要** 提出了一种测量发射率的简单实用的方法——单圆筒法, 并进行了理论分析和实验研究. 实验结果令人满意.

**关键词** 发射率, 温度, 电压信号, 红外.

## 引言

目标(或样品)发射率测试方法的研究受到从事辐射传热学、红外技术和材料科学等领域的学者和工程技术人员的极大关注, 国内外学者在这方面进行了大量的研究与报道<sup>[1,2]</sup>.

测定常温物体的发射率是一项难度很大的工作, 因为它不能采用传统的辐射测试方法. 作者曾研究用两个温度不同、而外形结构相同的圆筒来进行发射率的测试(即双圆筒法), 结果表明, 双圆筒法是测定常温物体发射率的一种较好的方法. 但由于圆筒在现场测试时携带不便, 为此, 我们又研究了单圆筒法, 即用一个圆筒及一块发射率已知的参考板来测定常温物体的发射率, 本文介绍测量原理和方法, 并进行了实验研究, 实验结果与采用双圆筒法及红外物理国家重点实验室研制的 IRE-1 型红外辐射测量仪所测得的结果相吻合.

## 1 测量原理与方法

做一个圆筒形空腔, 空腔夹层中充入一定温度的水. 圆筒上端中央开有一个直径约 25cm 的孔, 以便插入红外辐射计探测头部. 圆筒下端为大开口, 或者留一个比充满红外辐射计视场所需目标尺寸大小的孔. 圆筒的内壁均匀涂以发射率高的无光黑漆, 使内壁的发射率均匀. 设圆筒内壁温度为  $T_0$ , 发射率为  $\epsilon_0$ , 反射率  $\rho_0 = 1 - \epsilon_0$ .

在测试时, 把圆筒罩在待测目标上, 并设目标温度为  $T$ , 其发射率为  $\epsilon$ , 反射率  $\rho = 1 - \epsilon$ . 用红外辐射计探头对准待测目标进行测试. 这时辐射计探头接收到的红外辐射包括: 目标自

身的 1 次辐射及该辐射在圆筒内壁与目标之间的 2 次、3 次…反射辐射;圆筒内壁辐射在目标上的 1 次反射辐射及该反射辐射在目标与圆筒内壁之间的多次反射辐射. 于是,辐射计的输出信号为

$$V(Te) = \epsilon V(T) + \epsilon V(T) \rho \rho_0 + \epsilon V(T) (\rho \rho_0)^2 + \dots \\ + \epsilon_0 V(T_0) \rho + \epsilon_0 V(T_0) \rho (\rho_0 \rho) + \epsilon_0 V(T_0) \rho (\rho_0 \rho)^2 + \dots, \quad (1)$$

由于圆筒内壁的发射率很高,例如,无光黑漆在 8~14mm 的发射率经测试为 0.93. 为讨论方便起见,我们略去式(1)中含  $\rho \rho_0$  及其高次因子的项,将式(1)写成

$$V(Te) = \epsilon V(T) + \epsilon_0 V(T_0) \rho; \quad (2)$$

然后移动红外辐射计探头,使它对准圆筒内壁进行测试,根据上述推导,此时辐射计的输出信号为

$$V(Te_0) = \epsilon_0 V(T_0) + \epsilon V(T) \rho_0; \quad (3)$$

式(3)中, $V(T)$ 和  $V(T_0)$ 为红外辐射计对准温度分别为  $T$  和  $T_0$  的标准黑体辐射源时的输出信号.

再用一块温度与目标相同,已知发射率为  $\epsilon_r$  的参考板进行测试. 与上同理,将圆筒罩在该参考板上,则当红外辐射计对准参考板时,辐射计的输出信号为

$$V(Te_r) = \epsilon_r V(T) + \epsilon_0 V(T_0) \rho_r; \quad (4)$$

而辐射计对准圆筒内壁时的输出信号为

$$V(Te_{r0}) = \epsilon_0 V(T_0) + \epsilon_r V(T) \rho_0; \quad (5)$$

由式(2)和式(3)可得到

$$V(Te_0) - V(Te) = \epsilon_0 \epsilon [V(T_0) - V(T)]; \quad (6)$$

由式(4)和式(5)可得到

$$V(Te_{r0}) - V(Te_r) = \epsilon_0 \epsilon_r [V(T_0) - V(T)]; \quad (7)$$

由式(6)和式(7),即可得到

$$\epsilon = \epsilon_r \frac{V(Te_0) - V(Te)}{V(Te_{r0}) - V(Te_r)}. \quad (8)$$

式(8)表明,只要用一个圆筒和一台红外辐射计分别测出待测目标与参考板所对应的 4 个辐射功率的输出电压信号  $V(Te_0)$ 、 $V(Te)$ 、 $V(Te_{r0})$ 和  $V(Te_r)$ ,就能从式(8)直接得到待测目标的发射率  $\epsilon$ .

## 2 实验结果

为验证上述方法的可行性,我们进行了测试实验.我们采用自行研制的 HDG 高灵敏红外测温仪(测温范围  $-50^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$ , 噪声等效温差  $NETD = 0.01^{\circ}\text{C}$ , 响应光谱为  $7 \sim 14\mu\text{m}$ )作为红外辐射计.选用一块木板做为参考板,其发射率  $\epsilon_r = 0.926$ ,它是用双圆筒法 5 次测量结果的均匀值.我们用双圆筒法和本文叙述的单圆筒法分别对铝板、红砖、白纸板、黑漆板及不同粒度号的棕钢玉砂纸进行了测试,两种方法测得的各个样品发射率结果(每个结果是 5 次测量的平均值)见表 1.

表 1 发射率测量结果比较

Table 1 Comparison of measurement results of the emissivity

样品	铝板	红砖	白纸板	黑漆板	棕钢玉砂纸		
					80#	300#	400#
单圆筒法	0.065	0.920	0.817	0.937	0.880	0.873	0.850
双圆筒法	0.092	0.926	0.823	0.935	0.888	0.872	0.873
IRE-1 型测量仪	—	—	—	—	0.88	0.87	0.83

由表 1 可见,本文的单圆筒法的实验结果与我们以前报道的双圆筒法的测试结果吻合得较好,与以往报道的结果也是一致的<sup>[4]</sup>.

为进一步对比实验结果,我们还用红外物理国家重点实验室研制的 IRE-1 型红外辐射测量仪(红外法向发射率测量范围为  $0.10 \sim 0.97$ ; 测量精度为  $\pm 0.01$ )对几种棕钢玉砂纸样品进行了测量.并计算出  $8 \sim 14\mu\text{m}$  光谱区的发射率(见表 1).

表 1 说明,用本文单圆筒法测量样品的结果与用 IRE-1 型红外辐射测量仪测得的结果吻合得较好.

综上所述,本文的单圆筒法是测定常温物体发射率一种既简便又实用的方法.

### 参考文献

- 1 Gindeld K, Kohl M, Mast M. *Appl. Opt.* 1985, **24**(7):1757~1761
- 2 Richter W, Erb W. *Appl. Opt.* 1987, **26**(21):4620~4624
- 3 张才根. *红外与毫米波学报*, 1991, **10**(5):385~388
- 4 Zhang Y W, Zhang C G, Klemas V. *Appl. Opt.* 1986, **25**(20):3683~3689
- 5 张才根. *物理学报*, 1981, **31**(7):953~961

## STUDY OF THE EMISSIVITY MEASUREMENT BY MEANS OF THE SINGLE CYLINDER CAVITY METHOD\*

Zhang Caigen

*(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)*

Liu Jian

*(Qingdao University, Qingdao, Shandong 266033, China)*

**Abstract** In this paper, the single cylinder cavity method, which is much simpler and more practical than other methods, is proposed for the determination of the emissivities of targets both in theory and in experiment. The experimental results are satisfactory.

**Key words** emissivity, temperature, voltage signal, infrared.

---

\*The project supported by the National Natural Science Foundation of China