

文章编号: 1007-4619 (2000) 01-0001-07

比辐射率封闭法测定技术及误差分析

唐新斋, 张仁华, 苏红波, 孙晓敏

(中国科学院 地理研究所, 北京 100101)

摘要: 黑体筒封闭法测定比辐射率的方法大大简化了比辐射率的测量及计算过程; 针对这种方法, 分析了目标物体、环境的出射辐照度的波动对比辐射率精确测量的影响, 讨论了不同辐射计滤光波段对计算的影响; 并根据大量的实验给出冷热环境温差的优化值。最后给出了对比辐射率精确测定具有指导意义的3个结论。

关键词: 比辐射率; 等效比辐射率; 比辐射率封闭测定法

中图分类号: TP702/O434.1 **文献标识码:** A

1 引言

比辐射率在热红外遥感中是一个非常重要的概念, 是获取物体的真实的温度的必不可少的参数^[1-3]。虽然比辐射率的野外大范围的直接测定和反演工作已经展开, 但还没有进入实用阶段, 所以现场测定比辐射率仍有其必要性; 而且现场测定获取的点数据作为大范围比辐射率的测定的参考、定标数据也是必需的。

关于在热红外波段测定地物的比辐射率, 60年代, Buettner等^[4]提出过用一种称为“emissivity box”的装置与红外测温仪联合测定比辐射率的方法, 被视为是对此的“开拓”性贡献。80年代, 张仁华、田国良等提出黑体筒法^[5,6]。根据有关黑体辐射源制作^[7]的文章, 黑体箱的等效比辐射率近似为1, 且各向同性, 即有 $\epsilon_{ee} = 1.0$; 由实践发现, 自然界地表面存在各种尺寸的腔体, 其形状、开口、尺寸以及内壁的比辐射率是多种多样的, 它们的等效比辐射率是多少?

根据研究的需要, 我们在原黑体筒法的基础上作了改进: 将原实验装置中的一个黑体腔换为低比辐射率的金属腔体。图1是改进后装置的示意图。

在实验中, 金属腔体保持常温, 而黑体腔则保持在高于环境温度的某一温度。

红外测温仪测定的目标物与环境的表观亮度L为:

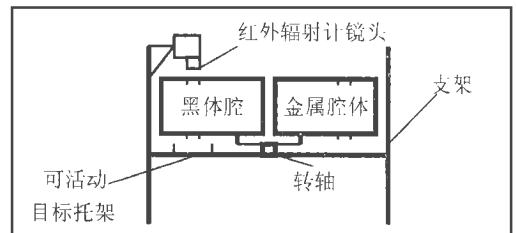
$$L = \epsilon_d B_d + (1 - \epsilon_d) \epsilon_{ee} B_e \quad (1)$$

其中: ϵ_d 表示目标物的比辐射率, B_d 表示目标物的黑体出射辐照度, ϵ_{ee} 表示箱体的等效比辐射率, B_e 表示腔体的环境照度。

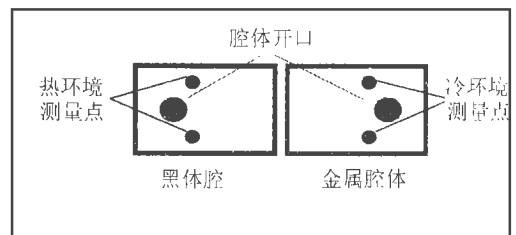
由于红外测温仪的数值显示为温度值, 为方便起见, 将式(1)转化为用温度值来表示, 如下:

$$T^4 = \epsilon_d T_d^4 + (1 - \epsilon_d) \epsilon_{ee} T_e^4 \quad (2)$$

其中, T 为表观温度, T_d 为目标物的真实温度, T_e 为环境温度。



装置侧视示意图



腔体俯视示意图

图1 新型封闭法比辐射率测定装置示意图

Fig. 1 New instrument sketch of Sealing-Cavity method for determining emissivity

收稿日期: 1998-10-13; 修订日期: 1999-07-02

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)和国家攀登项目(95-预-38)资助。

作者简介: 唐新斋(1924-), 中国, 男, 中国科学院武汉测绘科技大学信息工程硕士, 现于中国科学院地理研究所从事热红外实验遥感、信息系统方面的研究工作。

讨论的实验装置中的金属腔体的等效比辐射率,引用了另一篇论文中的结论^[8],即 $\epsilon_{eq2}=0.807$,有关等效比辐射率的讨论详见该文及相关文章^[9-12]。

实验中所使用的红外测温仪为 Compac 3 型,响应波段为 8-14 μm ,使用前经过标准黑体辐射源进行标定;测温仪的热响应时间为 0.5 s,获取数据的时间间隔为 0.25 s,在每一个温度测量点处,我们测量的有效时间平均为 2s,也即 8 个数据。

我们假定测温仪在其波段响应范围内的波谱响应是均匀的,因此在数据处理时没有考虑波谱响应值对测量结果的影响。同时要说明的一个问题是:在一个较宽的波段范围内,物体的比辐射率也不是完全均匀的。对于矿物、岩石来说其波动较大,而对于土壤、植被、水体则相对较小^[13](图 2)。本文的讨论是基于物体在测温仪的响应波段范围内的比辐射率为均匀的假设进行的,因此得出的比辐射率为仪器的响应波段范围的平均值。

图 2 中, (a) 石英的比辐射率; (b) 典型的绿色植被的方向半球反射波谱曲线,红橡树叶(实线),假

高粱属草叶(虚线),美国五松针(点线);我们可以简单地应用式: $E=1-R$ 来获取比辐射率数据, E 表示比辐射率, R 表示反射率,对(c)、(d)也可如此;(c)具有代表性的土壤类型的方向半球反射波谱曲线如新成土(E),转化土(V),新开发土(I),旱成土(A),软土(M);图中的虚线表示相应曲线的零点;(d)几种不同的原油层的方向半球反射波谱曲线(油层厚约 2-3 mm,浮在海水的表面)。从图中可以看出在 8-14 μm 范围植被、土壤、水体(b、c、d)的比辐射率的波动比较平缓,由该实验方法测得的比辐射率相对比较客观地反映地物的真实发射本领,经粗略计算,图 2 中的植被的比辐射率相对于其均值偏差不大于 3%,最小的可达到 0.24%,油膜则更小;岩石、矿物(a)则相对大得多,但同时自然界中岩石和矿物并非裸露于地表,其风化的表面削弱了比辐射率的波动^[13];所以该实验方法仍然不失为进行野外实物测量的有效方法,尤其是对前者。

本文旨在通过这个装置,以实验支撑低比辐射率的金属腔体的等效比辐射率的蒙特卡罗算法^[8],讨论比辐射率测定中的一些测量技术;根据我们进

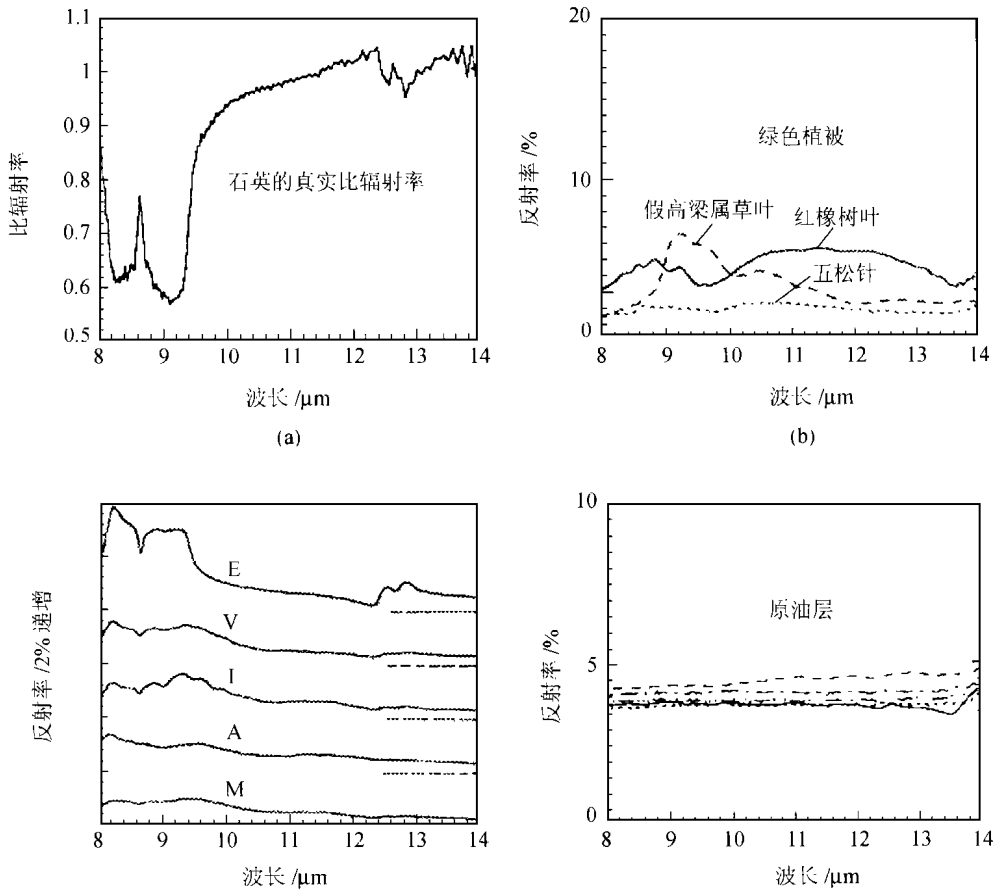


图 2 不同地物类型在 8-14 μm 窗口的比辐射率 (图片数据引自文献^[13])

Fig. 2 Emissivity curve of different types of objects in 8-14 μm waveband (from Reference ^[13])

行的大量实验,分析了影响比辐射率测定精度的各种因子。

2 系统等效比辐射率

整个测量系统由目标物、腔体、测温仪镜头3个部分构成。这几个部分之间的相互作用是一个相当复杂的问题,包括多次反射、热量传递等。在实验中我们发现这样的现象:让金属腔和黑体腔保持相等的温度,当腔体的温度和被测目标物温度(300 K)相同时,金属腔测出的表观温度与黑体腔的测量值的差值很小,小于0.3,为噪声所湮没;但是当腔体的温度升高到57°C时,两个腔体的表观温度的差可达到6°C之多(表1)。

表1 两腔体同温下实验测定的表观温差值和理论计算值
Table 1 Apparent temperature difference from measurements and its homologous value derived from equation under the condition of the same temperature of two cavities

腔体温度	腔体的表观温差实验值	表观温差理论计算值
57.4	6.0	4.4
54.0	4.0	3.9
46.1	2.9	2.8
43.1	2.7	2.4
42.5	2.8	2.3
38.9	2.2	1.8
35.8	1.6	1.7
35.5	1.4	1.3
31.8	0.9	0.76
27.6	0.1	0.11

被测量材料: 镀钛金属板, 比辐射率为0.20; 室温: 300 K

应该指出,这个实验充分证明了金属腔体的等效比辐射率不为1.0。

如果认为测量方程式(2)成立,那么将无法解释 $T = T_d = T_e$ 这样一个实验事实。这个实验现象曾被很多人描述过,一般认为这种系统内各个部分温度相同的情况是一种特例,需特别对待,直接认为整个系统是一个假黑体,或称为等效黑体。那么为什么式(2)会得出与实验事实不符合的结果呢?我们认为是因为式(2)忽略掉了镜头这一系统组成部分的影响。镜头的辐射通过腔体的反射到达目标物,又被目标物反射回镜头,然后被镜头接收。当然,其后尚有多次的反射,这些反射的能量与第一次的反射相比,可忽略。为简化分析,认为镜头的比辐射率为

1,那么式(2)可被改写为:

$$T^4 = \epsilon_d T_d^4 + (1 - \epsilon_d) \epsilon_{ee} T_e^4 + (1 - \epsilon_d)(1 - \epsilon_{ee}) \epsilon_l T_l^4 \quad (3)$$

根据该式计算的表观温差的理论值也在表1中列出。式(3)的引入解释了和金属腔有关的一系列特殊的实验现象。比如:当 $T_l = T_d = T_e = t$ 时,有 $T = t$,此时无论是金属腔还是黑体腔,其表观温度都等于腔体壁的温度,金属腔、测温仪和目标物组成的系统等效比辐射率可以认为是1,我们用 ϵ'_{ee} 来表示。但是当系统中3个部分的温度是非同温时,就不能这样处理,而要依据式(3)进行具体的计算。下面的讨论中由于是常温下测定物体的比辐射率, $T_l \approx T_d \approx T_e$,因此金属腔体的系统等效比辐射率 $\epsilon'_{ee2} \approx 1.0$ 。在这种情况下,(1)式仍然适用。

3 灵敏度分析

由黑体筒法测量的原理,有如下的方程组:

$$L_1 = \epsilon_d B_{d1} + (1 - \epsilon_d) \epsilon_{ee1} B_{e1} \quad (4)$$

$$L_2 = \epsilon_d B_{d2} + (1 - \epsilon_d) \epsilon'_{ee2} B_{e2} \quad (5)$$

根据瞬间热平衡的原理,在改变目标物的环境照度的瞬间,目标物的黑体出射照度 B_{di} 不变,

$$B_{d1} = B_{d2}$$

所以,

$$\epsilon_d = 1 - \frac{L_1 - L_2}{\epsilon_{ee1} B_{e1} - \epsilon'_{ee2} B_{e2}} \quad (6)$$

其中, $\epsilon_{ee1} \approx 1.0$, $\epsilon'_{ee2} \approx 1.0$;式(6)转化为用温度值来表示,如下:

$$\epsilon_d = 1 - \frac{T_1^4 - T_2^4}{\epsilon_{ee1} T_{e1}^4 - \epsilon'_{ee2} T_{e2}^4} \quad (7)$$

下面将分析 T_i 和 T_{ei} 的波动对 ϵ_d 产生的影响。

3.1 表观温度 T_i 波动产生的影响

用红外测温仪测量的目标物的照度包括两部分:一部分是物体的出辐射度;另一部分目标物对环境照度的反射值。由此得到的物体的温度称为表观温度,也就是 T_i 。

式(7)对 T_i 求微分,得:

$$d_{\epsilon_d}(T_1, T_2) = -4 \frac{T_1^3}{\epsilon_{ee1} T_{e1}^4 - \epsilon'_{ee2} T_{e2}^4} d T_1 + 4 \frac{T_2^3}{\epsilon_{ee1} T_{e1}^4 - \epsilon'_{ee2} T_{e2}^4} d T_2 \quad (8)$$

下面以蒸馏水 ($\epsilon=0.96$) 为例, 在真实温度 $T_d=300\text{ K}$, $\epsilon'_{ee2}=\epsilon_{ee1}\approx 1.0$ 时, $\Delta T_i=0.5\text{ K}$ 对比辐射率计算结果造成的影响(图 3, 图 4)。图中每两条 T_{e2} 相同的曲线表示了基于上述条件下比辐射率波动的上下限范围。图中的曲线 1/6、2/7、3/8、4/9、5/10 表示在上述条件下, 热环境温度 (T_{e2}) 分别为 300 K、310K、320K、330K、340K 时对应的比辐射率随环境温度差受目标物表观温度影响而波动的上限和下限曲线。其中纵轴表示比辐射率的波动: $\Delta\epsilon$ 。

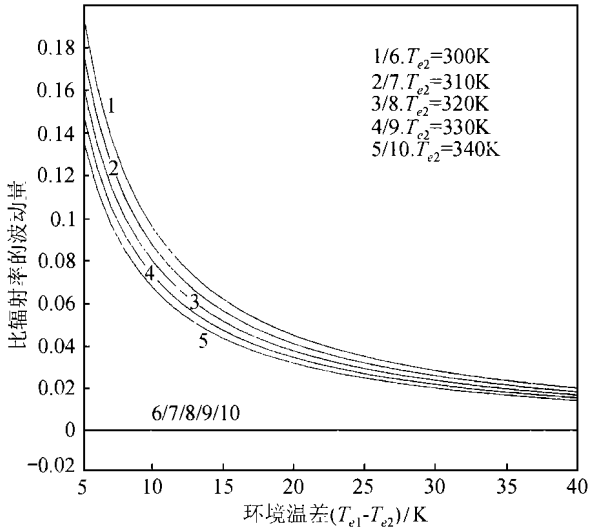


图 3 蒸馏水比辐射率受目标物表观照度影响的波动
Fig. 3 The undulation of emissivity of pure water resulted from apparent emittance of target object

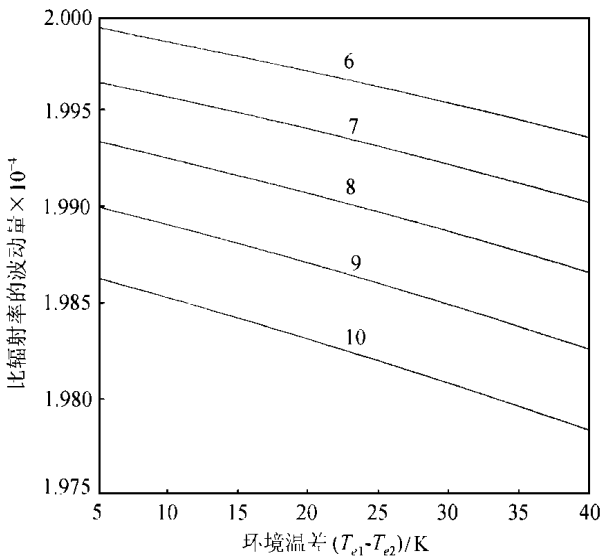


图 4 波动的下限曲线

Fig. 4 Minimum curve of the undulation

图 3 中的下限曲线(6/7/8/9/10)由于数量级过

小(10^{-4}), 在该图上无法表达出差别, 所以在图 4 中将其单独画出。从图 3、图 4 可知, 比辐射率的波动是随两腔体的环境温度差的增大而变小。例如, 当 $T_{e2}=300\text{ K}$ 时, 环境温度差为 10K 时, 比辐射率的波动上限为 0.042, 当环境温度差为 30 K 时, 其波动的上限为 0.02。

3.2 环境温度 T_{ei} 波动产生的影响

式(7)对 T_{ei} 微分,

$$d\epsilon_d(T_{e1}, T_{e2}) = \frac{4\epsilon_{ee1}(T_1^4 - T_2^4)T_{e1}^3}{(\epsilon_{ee1}T_{e1}^4 - \epsilon'_{ee2}T_{e2}^4)^2}dT_{e1} - \frac{4\epsilon'_{ee2}(T_1^4 - T_2^4)T_{e2}^3}{(\epsilon_{ee1}T_{e1}^4 - \epsilon'_{ee2}T_{e2}^4)^2}dT_{e2} \quad (9)$$

在 $\epsilon'_{ee2}=\epsilon_{ee1}\approx 1.0$, $dT_{e2}=dT_{e1}=dT_e$ 的条件下, 令 $\Delta T_e = T_{e1} - T_{e2}$, 我们由式(9)可以推导出比辐射率波动上限表达为:

$$d_{\max} = \frac{2(1 - \epsilon_d)dT_e}{\Delta T_e} \cdot \left[1 + \frac{\Delta T_e}{\Delta T_e^2 + 2(\Delta T_e T_{e2} + T_{e2}^2)} \right]$$

由于

$$\Delta T_e \ll \Delta T_e^2 + 2(\Delta T_e T_{e2} + T_{e2}^2)$$

所以有

$$d_{\max} \approx \frac{2(1 - \epsilon_d)dT_e}{\Delta T_e}$$

可见 d_{\max} 与 T_d 无关, 且与 T_{e1} 、 T_{e2} 的大小无关, 而只与其差值 ΔT_e 相关。

同样, 对于波动的下限, 根据不等式理论可以推导出:

$$d_{\min} \leq \frac{6(1 - \epsilon_d)dT_e}{T_{e1} + T_{e2}}$$

不妨作进一步的假设, 通常测量是在常温的条件下进行, 有 $T_{e1} + T_{e2} \geq 600\text{ K}$, 所以,

$$d_{\min} \leq 0.01(1 - \epsilon_d)dT_e$$

以上两个公式的得出对实际的比辐射率测量具有一定的指导意义。下面也以蒸馏水为例, 给出在 $\epsilon_{ee2}=\epsilon_{ee1}\approx 1.0$ 时, $dT_{ei}=0.5\text{ K}$ 对测量结果造成的影响。(图 5)

图 5 中的曲线表示比辐射率随环境温度差受环境照度影响的上限和下限曲线。从图上可以看出与图 3, 图 4 相似的规律。

同时, 我们还对不同比辐射率的其它材料(黄铜: 0.61, 油膜: 0.27), 得到相似的曲线。从上面的分析可以看出, (1) T_i 和 T_{ei} 的波动对比辐射率的影

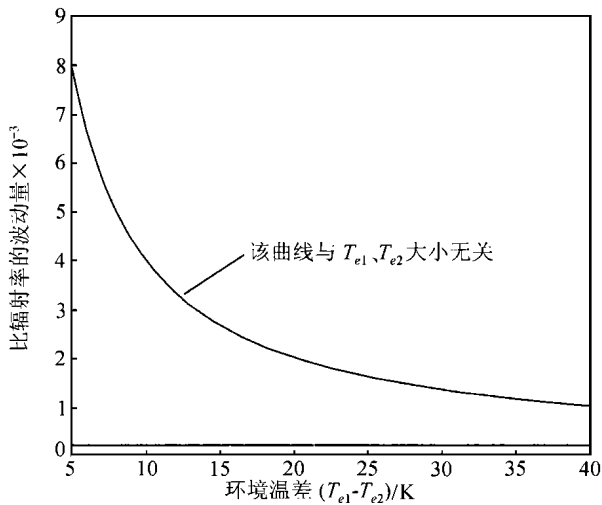


图 5 蒸馏水比辐射率受环境照度影响的波动
Fig. 5 The undulation of emissivity of pure water resulted from environment emittance

响均随环境温差的增大而减小；(2) ΔT_i 对比辐射率的影响要远大于 ΔT_{e_i} 的影响，从数量级的上限来看，前者为 10^{-2} ，而后者为 10^{-3} ，因此可以忽略不计；(3) 从图 3 及图 5 看，当环境温差大于 20°C ，比辐射率的波动曲线平稳，且趋于最小值。

4 最佳对比环境优化

封闭法测定比辐射率成立的关键在于：在改变被测物的环境照度的瞬间，被测物的真实辐射度保持不变。在两次环境照度相差不大的情况下，由于存在偶然误差及红外测温仪的精度误差，有可能将比辐射率信息湮没，也就是说必须存在一组最佳对比环境温度，以使总辐照度(表现为温度值)的两次测量值之间的差异 ΔT 达到某一个最小值以上，从而确保较高的信噪比。

ΔT 定义为：

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

由式(4)和式(5)可解得：

$$\Delta T = \sqrt[4]{C + (1 - \epsilon_d) T_{e1}^4} - Q \quad (10)$$

其中

$$C = \epsilon_d T_d^4$$

$$Q = \sqrt[4]{C + (1 - \epsilon_d) \epsilon'_{ee2} T_{e2}^4}$$

考虑红外测温仪的仪器精度为 0.5°C ，因此要保证

$$\Delta T \geq 0.5^\circ\text{C}$$

对于在室温下测定物体的比辐射率，一般保持金属腔体为室温(即外界环境温度)，此时可以假设物体

的真实温度 T_d 与外界环境温度相同；现在可以利用式(10)反推黑体筒的温度 T_{e1} ， C 、 Q 均为常量。表 2 列出一些已知比辐射率的物体在 300 K 的外界环境下，由该式得到的环境温差 ΔT_e ，

$$\Delta T_e = \sqrt[4]{[(\Delta T + Q)^4 - C]/(1 - \epsilon_d)} - T_{e2}$$

表 2 中 T_{e1} 表示 ΔT 达到相应的值时所必需的环境温差。在通常情况下，我们保持金属腔体为常温，而黑体腔则保持在某一高于常温的温度下；从表 2 中可以看出，常温测定物体的比辐射率，当保持两腔体的温差为 20°C 左右，就能获得足够的比辐射率的信息。

表 2 获取足够的比辐射率信息所必需的环境温差值

Table 2 The necessary temperature difference for obtaining adequate information of emissivity

ϵ_d	$\Delta T_e = T_{e1} - T_{e2}$		
	$\Delta T = 0.5$	$\Delta T = 1.0$	$\Delta T = 1.5$
0.96	11.814 8	22.471 9	32.212 6
0.94	8.026 3	15.506 0	22.522 5
0.87	3.783 6	7.448 8	11.004 8
0.75	1.985 2	3.941 7	5.870 6
0.45	0.907 2	1.810 8	2.710 8
0.21	0.632 5	1.264 2	1.895 0
0.07	0.537 5	1.074 9	1.612 0

外界环境温度： $300\text{ K} = T_{e2} \approx T_d$ ， $\epsilon_{ee1} = \epsilon'_{ee2} = 1.0$

需要注意的是，方程(10)是 T_{e1} 的一个增函数，尽管如此，但并不是两个对照环境的温差 ($T_{e1} - T_{e2}$) 越大越好。因为该方法测量的关键是建立在瞬间的热平衡的基础之上的，如果两个环境的对比温差过大，对比环境、目标物及外界环境之间的热交换就相对强烈，目标物被增温的速度加快，会降低瞬时的数据采集精度。从表 3 列出的测量数据可以看出对比环境温度差过高时存在明显的增温现象。

表 3 实验数据中的增温现象

Table 3 Increasing temperature in experiment data

采集时间(s)	A	温差累积	B	温差累积
0.25	38.1	—	35.7	—
0.5	38.5	0.4	36.0	0.3
0.75	38.5	0.4	36.1	0.4
1.0	38.5	0.4	36.2	0.5
1.25	38.7	0.6	36.3	0.6
1.5	38.8	0.7	36.4	0.7
1.75	38.8	0.7	36.5	0.8
2.0	39.1	1.0	36.6	0.9

A、B 分别表示黑体腔温度为 67.0°C 、 61.0°C 时测量的目标物的表观温度

根据实验的经验，在考虑仪器精度的基础上，既

要有足够的信噪比,又不使被测物明显增温,我们认为要保证对比环境的温差为 20℃左右最佳,尤其对于高比辐射率的物体,而且这样的条件不难在实验室中实现。

5 红外辐射计滤光波段的影响

在通常的计算中,对于亮度温度与温度之间关系,我们都使用斯忒藩-玻尔兹曼定律:

$$B = \epsilon\sigma T^4$$

ϵ 表示目标物的比辐射率,对黑体而言 $\epsilon=1.0$ 。 T 的 4 次方指数关系成立的条件是 λ 在全波段范围内进行积分。实际上,所有传感器的响应均是在某个波段范围内的积分,

$$\epsilon_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} N(\lambda, T_s) d\lambda \bigg/ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T_s) d\lambda \quad (11)$$

那么,在不同的滤光波段,指数应为多大,对计

算的结果将产生多大的影响呢? 下面给出几个常用波段的指数关系(表 4)。

表 4 各滤光波段的指数

Table 4 Exponent of different filtering wavebands

波段	指数
7-14	4.4367
8-12.5	4.3926
8-14	4.1927

所给出的指数是各滤光波段范围内的平均值。

下面用比辐射率数据来讨论不同波段窗口中指数 n 对在该窗口内测定比辐射率精度影响。假设 $T_e=300\text{K}$, $T_d=300\text{K}$ 。利用各指数计算比辐射率(表 5)。

由表 5 指数关系对比辐射率精度的影响非常小,其数量级($\Delta\epsilon/\epsilon$)为 10^{-3} ,可以忽略不计。由此可见,我们完全可以使用 $n=4$ 来进行计算。

表 5 利用各指数理论计算的比辐射率的数据

Table 5 Theoretically derived emissivity according to different exponents

比辐射率数据	波段窗口								
	7-14			8-12.5			8-14		
	[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
0.95	0.9503	0.9507	0.9510	0.9503	0.9506	0.9509	0.9502	0.9503	0.9505
0.85	0.8509	0.8518	0.8527	0.8508	0.8517	0.8525	0.8504	0.8508	0.8512
0.75	0.7514	0.7527	0.7540	0.7512	0.7524	0.7536	0.7506	0.7512	0.7518
0.65	0.6516	0.6532	0.6548	0.6515	0.6529	0.6543	0.6507	0.6514	0.6521
0.55	0.5518	0.5535	0.5551	0.5516	0.5531	0.5546	0.5508	0.5515	0.5523
0.45	0.4518	0.4535	0.4551	0.4516	0.4531	0.4546	0.4508	0.4515	0.4522
0.35	0.3516	0.3532	0.3546	0.3515	0.3528	0.3542	0.3507	0.3514	0.3520
0.25	0.2513	0.2526	0.2538	0.2512	0.2523	0.2534	0.2506	0.2511	0.2517
0.15	0.1509	0.1517	0.1525	0.1508	0.1516	0.1523	0.1504	0.1508	0.1511
0.05	0.0503	0.0506	0.0509	0.0503	0.0505	0.0508	0.0501	0.0503	0.0504

注: [1][2][3]分别表示 $T_e=310\text{K}$, 320K , 330K

6 结论

通过上面的分析有如下结论:

(1) 目标物表观亮度测量精度对计算比辐射率的影响要远大于环境照度的影响,在测量过程中应尽量避免目标物测量的各种误差,比如热环境与目标物之间的热量交换的不平衡造成的目标物的增温现象。

(2) 冷热对比环境的温差宜保持在 20℃以上为

佳,但也不宜过高。过低的环境温差可能会湮没掉比辐射率信息,特别是对于低比辐射率的物体;相反,过高的环境温差则会造成外界环境、目标、对比环境之间的不稳定因素,从而破坏了瞬间热平衡的理论基础。

(3) 常温条件下,在 3 个红外波段: 7-14, 8-12.5, 8-14 μm 测定物体的比辐射率,由指数 n 产生的误差(数量级为 10^{-3})可以忽略不计,可以近似使用 $n=4$ 进行计算。

参考文献 (References)

- [1] Becker, F. Angular reflectivity and emissivity of natural media in the thermal infrared bands [C]. In Proceeding of the First International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Avignon, France, September 1981, 57—72, 8—11.
- [2] Becker, F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite [J]. *Int. J. Remote SENS.*, 1987, **8**: 1509—1522.
- [3] E. Rubio, V. Caselles, C. Badenas. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8—14 μm wave band; Analysis of two field methods [J]. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, 1997, **59**: 490—521.
- [4] Konrad J. K. Buettner, Clifford D. Kern. The determination of infrared emissivities of terrestrial surface [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1965, **70**: 1329—1337.
- [5] Renhua Zhang, Guoliang Tian. The determination of emissivity of objects in normal temperature condition [J]. *Science Bulletin*, 1981, **5**: 297—300. [张仁华, 田国良, 常温物体比辐射率的测量 [J]. 科学通报, 1981, **5**: 297—300.]
- [6] Renhua Zhang. Model in Experimental Remote Sensing and Its Basis [M]. Science Press, 1996. [张仁华. 实验遥感模型及地面基础 [M]. 科学出版社, 1996.]
- [7] R. D. HUDSON. Infrared System Engineering [M]. National Defence Industry Press, 1975, 41—46. [R. D. 小哈得逊. 红外系统原理 [M]. 国防工业出版社, 1975, 41—46.]
- [8] H. B. Su, R. H. Zhang, X. M. Sun. New way for determining the effective emissivity of the cavities using Monte-Carlo method and its verification. in press.
- [9] C. BADENAS. Review and improvement of an algorithm for determining emissivity of a heterogeneous cavity in thermal infrared remote sensing [J]. *INT. J. Remote Sensing*, 1998, **19**(4): 731—741.
- [10] Xiaowen Li, Alan Strahler. Effective emissivity for Non-isothermal surface and a conceptual model of its directionality [J]. *Accepted by IEEE Trans. on GRAS*, 1998.
- [11] E. M. SPARROW, V. K. JONSSON. Radiant emission characteristics of diffuse conical cavities [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1963, **53**(7): 816—821.
- [12] P. CAMPANARO, T. RICOLFI. New determination of the total normal emissivity of cylindrical and conical cavities [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1967, **57**(7): 48—57.
- [13] John W. Salisbury, Dana M. D'Aria. Emissivity of terrestrial materials in the 8—14 μm atmospheric window [J]. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, 1992, **42**: 83—106.

The Sealing-cavity Method for Determining Emissivity and Its Deviation Analysis

TANG Xin-zhai, ZHANG Ren-hua, SU Hong-bo, SUN Xiao-min

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The Sealing-Cavity method for determining the emissivity of the target object simplified the measuring and computing process. According to above-mentioned method, in this paper, the influence on the accurately measuring result of the undulation of target object emittance and environment emittance have been analyzed. Also, we discuss the effect of wavebands between different infrared-radiometers. Through lots of experiments, the optimum contrast temperature difference between hot environment and cool environment is given. Finally, three conclusions are drawn to guide the measurement of emissivity.

Key words: emissivity; effective emissivity; Sealing-Cavity method