

文章编号: 1007-4619(2000)增-0086-04

非同温目标混合像元红外辐射实验研究

肖 青¹, 刘京晶¹, 李小文², 王锦地²

(1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2. 北京师范大学, 遥感与地理信息系统研究中心, 北京 100875)

摘 要: 试图用实测数据对非同温目标混合像元红外辐射的“尺度效应”进行探讨。实验结果表明, 在将混合像元的等效温度定义为面积加权平均温度这样一个可检测的物理量的情况下, 有效发射率的视在增量是存在的, 是波长的函数。该实验验证了李小文等的非同温表面的尺度效应理论。

关键词: 非同温像元; 有效发射率; 尺度效应

中图分类号: TP722.5 **文献标识码:** A

1 引 言

目前利用 AVHRR 红外通道等数据提取海面温度的方法已取得了相当好的成绩。由于陆地表面具有物性的不均一性以及表面的三维几何结构等因素的影响, 由单一物质组成的平面像元几乎不存在, 使得陆面温度的反演工作遇到了很大的困难。非但如此, 对陆地表面混合像元温度与发射率的定义都是一个值得深入研究的问题。近几年来, 出于这样一种考虑, 李小文、王锦地^[1]、李召良^[2]、万正明^[3]等先后对混合像元红外辐射进行了有益的探讨。本文试图利用实验室测量的数据, 分析由非同温的两个物体组成的混合像元在不同温差时的红外辐射特征, 验证李小文等提出的非同温混合像元的尺度效应。

2 实验方法

利用 BOMEN 光谱辐射计观测非同温混合像元的红外辐射亮度, 计算混合像元的等效辐射率, 并与理论值进行比较。

2.1 实验设计

测量仪器

光谱测量采用 BOMEN 光谱辐射计。该辐射计波段范围: 0.7—19.5 μm 。光谱分辨率最高 1cm^{-1} 。

温度测量选用天津立文电子有限公司产的

M424M 便携式数字温度计, 传感器为 K 型热电偶点温仪, 该点温仪精度为 $\pm 0.5\%$ 满刻度 ± 0.1 , 测温范围: -50°C — 200°C 。

红外定标设备采用华北光电研究所研制的可控温黑体, 温度范围: 室温— 300°C , 发射率: 0.98。

混合像元设计

为便于测量, 混合像元由两部分组成: 一部分为黑体, 另一部分为金属板, 各占总面积的 50% (图 1)。

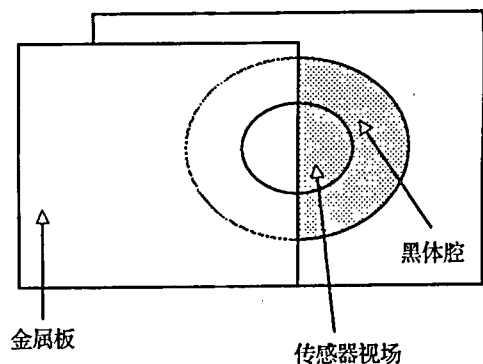


图 1 混合像元结构示意图

Fig.1 Diagram to illustrate a mixed pixel

2.2 实验步骤

金属板发射率测量

由于实验条件的限制, 金属板发射率的测量采用人工加热, 多点测量的方式。将金属板加热到比

室温高的几个不同温度，测量辐射亮度 L ， L 由以下几部分组成：

$$L(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda)B(\lambda, T) + [1 - \varepsilon(\lambda)]B_e(\lambda, T_0) + B_s(\lambda, T_0) \quad (1)$$

公式中第 1 项为金属板的辐射亮度；第 2 项为金属板反射的环境辐射；第 3 项为环境辐射的散射部分。 T 为金属板的温度， T_0 为环境温度。通过测量几个不同温度的辐射亮度，利用最小二乘法可以解算出金属板的发射率 $\varepsilon(\lambda)$ 。

实验中共选用了 3 种金属板：黑体的铝制盖板，光电鼠标板和铁板。实测各金属板的发射率曲线(图 2)。

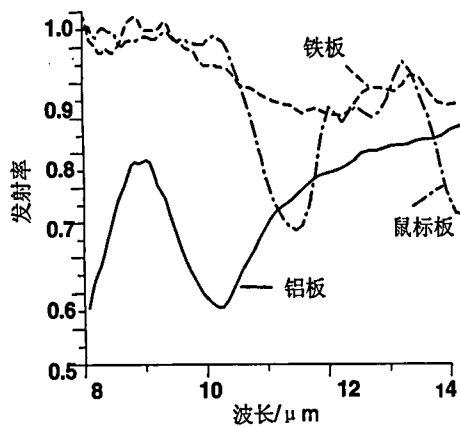


图 2 金属板发射率曲线(横坐标为波长 μm)

注：0510：铝板 0525：鼠标板 0527：铁板

Fig.2 The curves of emissivity of metal plates

表 1 模型实验数据

Table 1 Measured value for model parameters

	1		2		3	
	黑体 温度	铝板 温度	黑体 温度	鼠标 板	黑体 温度	铁板
1	22.8	23.0	25.0	23.6	25.2	22.3
2	30.0	23.2	35.2	24.3	35.1	23.3
3	40.0	23.9	44.9	25.7	44.9	24.4
4	50.0	25.5	55.0	27.5	55.0	26.4
5	59.9	26.9	65.0	29.0	65.0	28.3
6	69.9	29.6			75.0	29.4
7	80	31.9				

混合像元测量

由于黑体是可控温的，通过设定黑体的温度，形成不同温混合像元。金属板的温度随黑体温度的变化会有所改变，通过点温计测量。实验中分别利用上述的 3 种混合模型测量了 3 组数据(表 1)。

传感器的入瞳辐射 $L(\lambda)$ 由以下几部分组成：

$$L(\lambda) = a_1\varepsilon_1B(\lambda, t_1) + a_2\varepsilon_2B(\lambda, t_2) + a_1(1 - \varepsilon_1)B_e(\lambda, t_0) + a_2(1 - \varepsilon_2)B_e(\lambda, t_0) + L_s(\lambda, t_0) \quad (2)$$

上式中 a_1 、 a_2 为各组分所占面积比，由于实验条件的限制，面积很难控制在 1: 1，相对与同一组

$$K(\lambda) = a_1(1 - \varepsilon_1)B_e(\lambda, t_0) + a_2(1 - \varepsilon_2)B_e(\lambda, t_0) + L_s(\lambda, t_0) \quad (3)$$

实验 a_1 、 a_2 是两个常量。右边后 3 项相对于本研究内容为环境辐射部分。在测量过程(20 分钟内)中变化很小，可以设该 3 项之和为一常量 K 。如(3)式所示，将(3)式代入(2)式，则：

$$L(\lambda) = a_1\varepsilon_1B(\lambda, t_1) + a_2\varepsilon_2B(\lambda, t_2) + K(\lambda) \quad (4)$$

a_1 、 a_2 、 K 由在多次测量的基础上由最小二乘法计算得到(表 2)。进而获得混合像元的辐射亮度。

表 2 计算所得混合像元面积比

Table 2 Calculated ratio of component in pixel

实验模型	a_1 黑体 / %	a_2 金属板 / %
1	55	45
2	51.3	48.7
3	45.3	54.7

2.3 数据处理

等效发射率理论值求取

据李小文等^[1]，本次实验中混合像元等效发射率可以用泰勒级数展开表示为：

$$\varepsilon(\lambda, T) = a_1\varepsilon_1 + a_2\varepsilon_2 + D_\lambda T^{-2}(a_1\varepsilon_1\Delta t_1 + a_2\varepsilon_2\Delta t_2) + D_\lambda T^{-3}\left(\frac{D_\lambda}{T} - 1\right)(a_1\varepsilon_1\Delta t_1^2 + a_2\varepsilon_2\Delta t_2^2) \quad (5)$$

式中 $D_\lambda = C_2\lambda^{-1}$ ， C_2 为玻耳兹曼第 2 常量， T 为传统意义上的平均温度：

$$T = (a_1t_1 + a_2t_2) / 2$$

实测等效发射率值求取

混合像元的辐射亮度

$$L'(\lambda, T) = L(\lambda, T) - K(\lambda) \quad (6)$$

而:

$$L'(\lambda, T) = \epsilon B(\lambda, T) \quad (7)$$

所以:

$$\epsilon(\lambda) = L'(\lambda, T) / B(\lambda, T) \quad (8)$$

2.4 初步实验结果

对实验中的 3 组数据分别根据上面所述的公式进行了处理, 计算了混合像元的辐射亮度与等效发射率, 并与理论值进行了比较 (图 3—6)。实测的结果与理论值非常吻合, 相对误差低于 1%, 非常好地验证了发射率视在增量的存在。

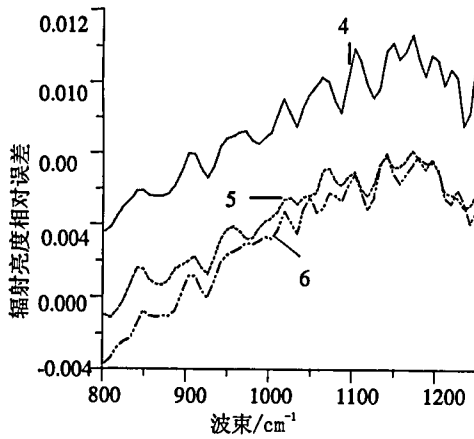


图 3 混合模型 2 实测辐射亮度与理论值相对误差比较

Fig.3 The relative error of the radiance between computed and measured in model 2

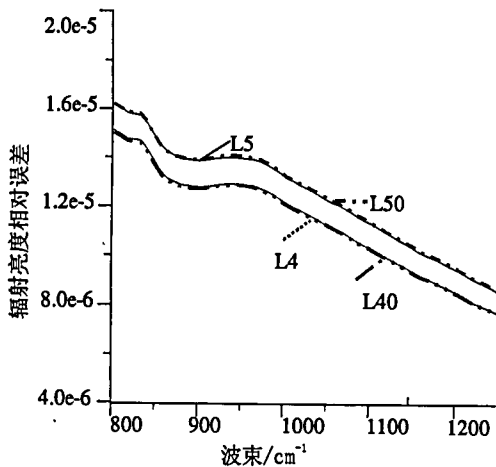


图 4 模型 3 实测辐射亮度与理论值相对误差

注: L50 为第 5 种温度组合理论值; L5 为实测值; 6R 为第 6 种温度组合相对误差

Fig.4 The relative error of the radiance between computed and measured in model 3

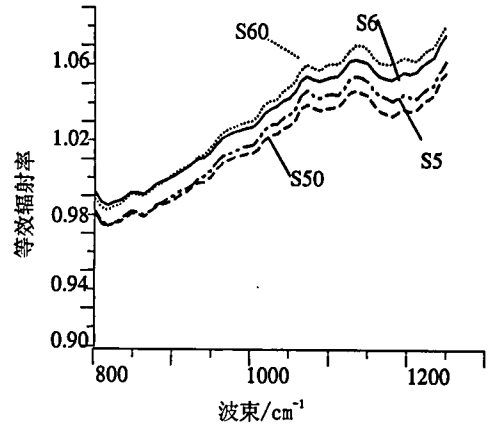


图 5 模型 3 计算等效辐射率与理论值比较

注: S50 代表第 5 种组合的理论值; S5 为实测值

Fig.5 Comparison of effective emissivity between computed and measured in model 3

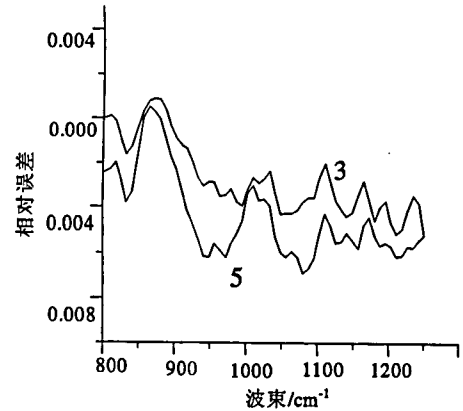


图 6 模型 2 等效辐射率计算值与理论值的相对误差

Fig.6 Comparison of effective emissivity between computed and measured in model 2

3 精度分析

在实验的过程中, 存在着多方面的干扰。对各种因素干扰的排除, 是实验的关键所在。根据 (2) 式, 对影响实验结果的主要因素有以下几个方面:

3.1 传感器测量精度

实验前对 BOMEN 光谱辐射计的精度进行了检验: 在工作正常的情况下, 噪声水平小于 0.5%, 能够满足实验需要。但由于量程的限制, 在温度超过 370K 时, 出现过饱和现象, 限制了实验样本的数量。

3.2 温度测量精度

实验中温度测量装置采用的是面接触式 K 型

热电偶传感器,对温度变化的响应较快,实验中测量精度能够控制在 $\pm 0.2\text{K}$ 以内,经计算,0.1K的温差,产生的误差小于0.2%。

3.3 面积比对理论计算的影响

面积比对测量结果的影响较大。当黑体面积比变化 $\pm 1\%$ 时,对辐射亮度的理论值影响在 $\pm 0.5\%$ — $\pm 1\%$ 。实验的初期对面积比的影响未经考虑,实验结果如图7所示,误差较大。而由于面积比与波长不相关,所以从实验数据中能够计算出来。

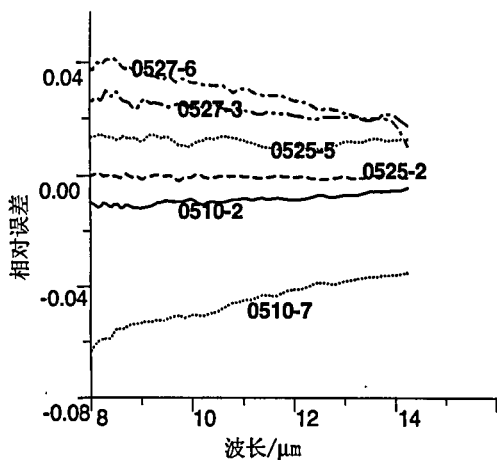


图7 混合模型1, 2, 3由面积比误差产生的实测等效辐射率与理论值的相对误差

注:标注为测量日期-第n种温度组合

Fig.7 The error of effective emissivity due to the error of area in mode 1, 2 and 3

4 实验总结

经过对实验数据的处理分析,有一点是肯定的。即在混合模型的等效温度定义为平均温度的情况下,等效发射率的视在增量是存在的,并且是波长的函数。它的值是组成混合像元的各种物体发射率的综合反映。笔者认为,将混合像元的温度定义为各组分的平均温度,物理意义清晰,便于数据的实际应用。

通过本实验还可以总结出在混合像元组分温度反演的过程中,对温度反演精度影响的各种因素,及其影响的方式和程度,对实际的混合像元温度反演工作具有一定的指导作用。

参考文献 (References)

- [1] Li Xiaowen, Wang Jindi, A.H.Strahler. Scale effect of Planck law for non-isothermal blackbody surface [J]. *Science in China(E)*, 1999, 29(5):422—426. [李小文,王锦地, A.H.Strahler 非同温黑体表面 Planck 定律的尺度效应[J]. *中国科学(E)*, 1999, 29(5):422—426.]
- [2] Becker, F., Z. Li. Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, measurement, and related problems[J]. *Remote sensing Reviews*, 1995, 12:225—253.
- [3] Dozier, J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1981, 11:221—229.

Research Experiment on Non-Common Temperature Mixed Pixel IR Feature

XIAO Qing¹, LIU Jing-jing¹, LI Xiao-wen², WANG Jin-di²

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029; 2. Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In this paper a series of test have been done in order to find out the IR feature of mixed pixel composed by the objects of different temperatures. The results show that the augment of the effective emissivity exists when we define the temperature as an area weighted average temperature. The test validated Li-Wang-Strahler's scale-corrected Planck law for non-isothermal surfaces.

Key words: mixed pixel; effective emissivity