

航空热红外多光谱扫描仪(ATIMS) 数据发射率信息分析和提取

郑兰芬 赵德^N 童庆禧 党顺行

(中国科学院遥感应用研究所,北京,100101)

TN214
IP75

摘要 提出了一种提取热红外图像发射率信息的比值加权法。研究表明,本区石灰岩光谱因CO₂弯曲振动控制,发射率在11.3μm附近(6通道),石英砂岩的光谱在8.6~9.0μm(2通道)和9.8~10.6μm(5通道)为低发射率,而杂砂岩由于含有硅酸盐矿物和一些碳酸盐矿物,在9.8~10.6μm(5通道)和10.6~11.4μm(6通道)呈相对低发射率,结果显示比值加权法对于航空热红外多波段扫描仪TIMS数据地场发射率信息提取是有效的。

关键词 热红外多光谱扫描仪,发射率,石灰岩。

图像发射率信息
比值加权法

引言

近十年来,热红外多波段扫描仪(TIMs)数据已广泛应用于岩石识别与制图^[1]、蚀变圈定与热惯量制图^[2]、熔岩制图^[3]、及其它领域^[4~5]。以前对TIMs数据的分析已运用了几种方法增强和提取发射率信息,例如基于主组分变化和非相关扩展^[4~5]的图像处理技术常用于以前的研究中。非相关扩展引起了发射光谱中地表单元(显示为色彩差异)和温度差异(显示为强度差异)之间的不同,图像中的地表单元趋向于与同样波段进行传统彩色合成有同样的色调,仅仅更饱和些,但很难确定哪些原始输入波段包含了发射率差异。本文利用中科院上海技物所提供的中国热红外多光谱扫描仪(TIMs)数据提出了一种提取热红外图像发射率信息比值加权法。

1 从TIMs数据中提取发射率信息的方法

众所周知,热辐射是由光学发射通过表面逃逸产生的,普朗克公式描述了黑体辐射能量的光谱分配,在全光谱范围内,总辐射出射度由斯忒藩-玻耳兹曼定律给出:

$$M_{bb}(\lambda) = \sigma T^4 \quad (1)$$

式中 $M_{bb}(\lambda)$ 为黑体在 λ 波段 T 温度下的辐射出射度, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}^{-2}\text{K}^{-4}$, T 为绝对温度,对一给定辐射体,有 $M(\lambda) = \epsilon_s M_{bb}(\lambda)$, ϵ_s 为发射率, $M(\lambda)$ 为一般物体的辐射出射度,因此,进入TIMs传感器的辐射与发射率和绝对温度的四次方成正比,即 $M_s(\lambda) \propto \epsilon_s \sigma T^4$ 。

为区分TIMs数据中的光谱和温度信息,可用辐射模型计算法^[9~11],该方法假设地表每一点在一特定波长范围的辐射出射度等于常量(例如在6通道(11.2~12.2μm)为0.93,

1

在 $11\mu\text{m}$ 附近辐射出射度为 0.93 的假设对很大范围的硅酸盐矿物是很典型的), 这样, 每个象元的地表温度值可由普朗克定律给出, 然后计算 1~5 通道黑体模型的辐射出射度, 最后根据普朗克公式可计算出 1~5 通道的辐射出射度. 但是这种假设一般对硅酸盐是不适用的, 并且这种方法仅提供了 5 个波段(NASA 航空 TIMS)的辐射信息.

另一种提取辐射信息的方法是热逻辑残留法^[12], 该方法提供所有 TIMS 波段的辐射信息. 利用普朗克函数维恩近似法, 经过一系列变换, 得到仅含发射率而不含温度的等式:

$$E_{ij} = \lambda_j L_n \epsilon_{ij} - 1/6 \sum_{j=1}^5 \lambda_j L_n \epsilon_{ij} - \lambda_{ij} / N \sum_{i=1}^N L_n \epsilon_{ij} + 1/(6N) \sum_{i=1}^N \lambda_j L_n \epsilon_{ij} \quad (2)$$

式中 N 为 j 通道的象元数, i 为象元数, j 为通道数, E_{ij} 为给定通道的发射率, α -残留法是与上述方法类似的另一种方法, 其结果是

$$E_{ij} = \lambda_j L_n \epsilon_{ij} - 1/6 \sum_{j=1}^5 \lambda_j L_n \epsilon_{ij} + K_j \quad (3)$$

式中 K_j 是取决于波长的常量, 对每个通道是已知的. 为分离发射率信息和温度信息, 本文应用加权法来计算相对发射率和从 TIMS 数据中提取发射率曲线(波段相对发射率), 这种方法去掉了温度项, 保留了发射率项, 忽略大气辐射及地表反射辐射, TIMS 传感器的入射辐射可以表达为

$$M_s = \int M(\lambda) \alpha^2 R^2 D_o^2 / (4R^2) \tau_{at} \tau_{aj} \approx 1/4 \epsilon_j \Delta F_j \tau_{aj} \tau_{at} \alpha^2 D_o^2 \sigma T^4 \quad (4)$$

式中 $M(\lambda)$ 为地理的辐射出射度, α 为瞬时视场, D_o 为光学子系统的孔径, R 为地物-光学子系统的距离, τ_{at} 为光学子系统的光谱透射辐射, τ_{aj} 为大气光谱透射辐射, τ_{aj} 为 j 通道的光学子系统平均透射辐射, τ_{aj} 为 j 通道的大气平均透射辐射, ϵ_j 为 j 通道的平均发射率, $\Delta F_j = F(\lambda_{j2}, T) - F(\lambda_{j1}, T)$, $F(\lambda, T)$ 为物体在入射波段 T 温度下的辐射出射度.

在 250~320K 温度范围内(一般地表温度在此范围), $F(\lambda, T)$ 与 λT 呈近似线性关系(见图 1), 这样就可假设 $F(\lambda, T) = K\lambda T + b$, 式中 k, b 为常量, 因此 $\Delta F_j = K(\lambda_{j2} - \lambda_{j1})T$. 令 $\Delta\lambda_j = \lambda_{j2} - \lambda_{j1}$, 则 ΔF_j 仅与 $\Delta\lambda_j$ 有关, 而且 ΔF_j 对各个波段分别为常量.

j 通道 i 象元上传感器的辐照度可表达为

$$M_{ij} = 1/4 \alpha^2 D_o^2 \tau_{aj} \tau_{aj} \epsilon_j \Delta f_j T^4 \quad (5)$$

为消去温度项, 先对象元 i 的所有波段的总辐射求和, 即, $S(i)$, 然后求出每个波段的平均辐射 $Ave(i) = S(i)/n$, n 为波段数, 最后是消去温度项, 令

$$E_{ij} = \frac{W_j M_{ij}}{Ave(i)} = \frac{\epsilon_j n}{\sum_{j=1}^5 \tau_{aj} \tau_{aj} \epsilon_j \Delta F_j} \quad (6)$$

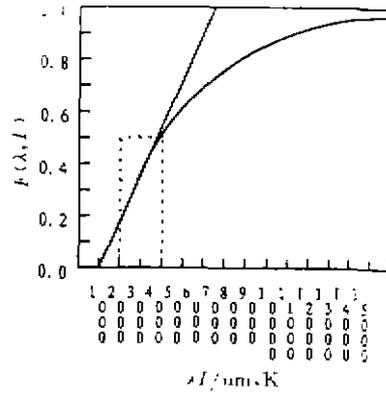


图 1 $F(\lambda, T)$ 与 λT 关系
Fig. 1 The relation between $F(\lambda, T)$ and λT

式中 W_j 为 j 波段权重值, $W_j = 1/(\tau_{a_j} \tau_{o_j} \epsilon_j \Delta F_j)$. 对所有通道象元 i 的 $AVE(i)$ 是常量, 因此 E_{o_j} 就表示象元 i 在所有波段的发射率变化, 这样就去掉了温度项, 可利用的 E_{o_j} 产生 i 象元的相对发射率曲线.

2 分析与提取

研究中使用的 TIMS 数据是使用中国科学院上海技术物理研究所研制的航空 TIMS 仪, 于 1992 年 10 月 11 日在新疆柯坪地区获得的. 它有 7 个通道, 光谱范围 $8 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 各通道波段见表 1. 仪器瞬时视场为 3mrad , 总视场为 90° , 具有较好的敏感性 ($EN\Delta T < 0.5\text{K}$).

表 1 光谱通道及波长
Table 1 The spectral bands and wavelengths

通道号	1	2	3	4	5	6	7
波长区间 (mm)	8.2~8.6	8.6~9.0	9.0~9.4	9.4~9.8	9.8~10.6	10.6~11.4	11.4~12.2
中心波长 (mm)	8.4	8.8	9.2	9.6	10.2	11.0	11.8

研究区属于旱及半干旱气候, 植被稀少, 但是岩石表面风化强烈, 岩石露头均为沉积岩, 主要为石灰岩、石英砂岩和杂砂岩. 图 2~5 是用比值加权法从 TIMS 数据中提取的发射率曲线. 图 2 中, 石灰岩光谱由 CO_2 弯曲振动控制, 吸收峰在 $11.3 \mu\text{m}$ 附近 (6 通道). 石英砂岩的光谱 (图 3) 在 $8.6 \sim 9.0 \mu\text{m}$ (2 通道) 和 $9.8 \sim 10.6 \mu\text{m}$ (5 通道) 为低发射率. 图 4 是杂砂岩的相对发射率曲线, 它与图 3 的曲线相似, 这是因为这两种岩石主要由硅酸盐矿物组成, 但含有少量的碳酸盐矿物. 图 5 是生物碎屑灰岩的相对发射率曲线, 它在 5、6 通道有低的相对发射率. 结果显示, 这些曲线在某种程度上很好地反映了这些岩石的相对发射率 (而不是绝对发射率). 因为这种比值加权法去掉了温度的影响, 很容易将此方法获得的曲线与实验室测得发射率曲线进行对比.

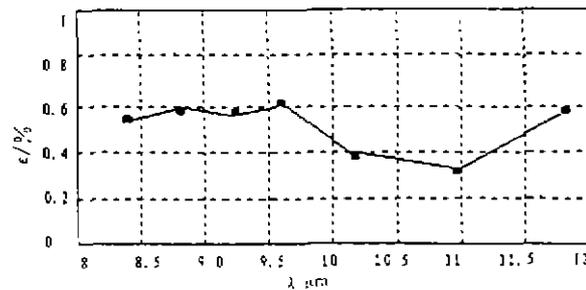


图 2 石灰岩的相对发射率曲线
Fig. 2 The band-relative emissivity curve of limestone

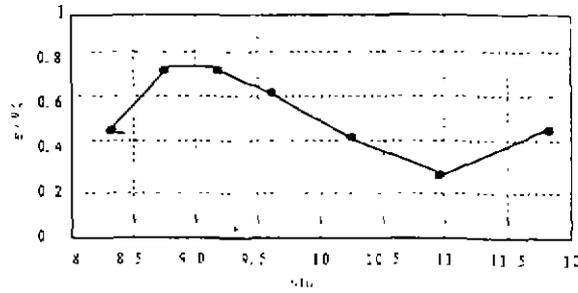


图3 石英砂岩的相对发射率曲线

Fig. 3 The band-relative emissivity curve of quartz sandstone

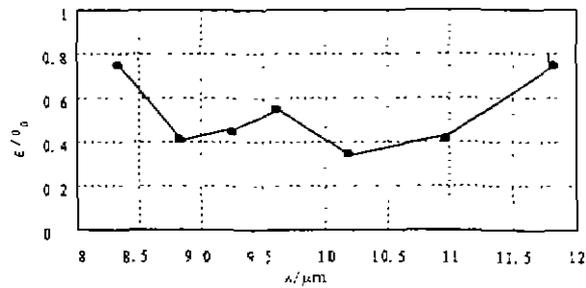


图4 杂砂岩的相对发射率曲线

Fig. 4 The band relative emissivity curve of greywacke

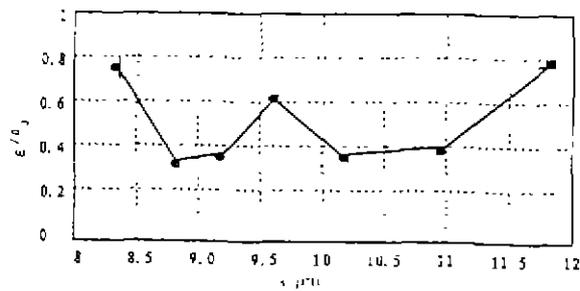


图5 生物碎屑灰岩的相对发射率曲线

Fig. 5 The band-relative emissivity curve of fossiliferous limestone

3 结论

本文研究表明,通过比值加权法得到的相对发射率曲线代表了地表物体(本文中为沉积岩)的重要热红外光谱特性或与其相关特性,并且显示了岩石和矿物光谱的发射谷.研究结果证实,比值加权法可用于从航空 TIMS 数据提取的地物相对发射率信息,并消除了温度的影响,使用 TIMS 数据来推断地物的物质组成具有很大潜力.

REFERENCES

- 1 Abrams M, Abbott E, Kandle A. *J. Geophysical Research*, 1991, **96**(10): 475~484
- 2 Adrams M J, Kahle A B, *et al.* *Remote Sensing Environ.*, 1984, **16**(1): 13~33
- 3 Bartholomew M J, Kahle A B, Hoover G. *Int. J. Remote Sens.*, 1989, **10**(3): 529~544
- 4 Eastes J W. *Remote Sens. Environ.*, 1989, **27**(5): 289~304
- 5 Gillespie A R. *Lithology Mapping of Silicate Rocks Using TIMS. In The TIMS data User's Workshop*. Jet Propulsion Laboratory Publication 86-38. 1985, 29~44
- 6 Gillespie A R, Kahle A, Walker R. *Remote Sensing Environ.*, 1986, **20**(4): 209~235
- 7 Hook S J, Cabell A R, Green A A, *et al.* *Remote Sensing Environ.*, 1992, **42**(3): 123~135
- 8 Hunt G R, Salisbury J W. *Mid-infrared Spectral Behavior of Sedimentary Rocks*. U. S. Airforce Cambridge Research Laboratory Technical Report, AFCL-TR-75-0356, 1975
- 9 Kahle A B, Rowan L C. *Geology*, 1980, **8**(5)
- 10 Kahle A B, Alley R E. *Remote Sensing Environ.*, 1992, **42**(2): 107~111
- 11 Kahle A B, Walter R E. *In Proc. 9th Canadian Symposium on Remote Sensing*. St. John's, Newfoundland, Canada, Aug. 1984, 337~345
- 12 Kneizgs F X, *et al.* *Atmospheric Transmittance/Radiance; Computer Code LOWTRAN 6*, Environmental Research Paper 846, Technical Report, Airforce Geophysics Laboratory, AFGL-TR-83-0187, NTIS AD 137796, 1983

**ANALYSIS AND EXTRACTION OF EMISSIVITY INFORMATION
FROM AN AIRBORNE THERMAL INFRARED
MULTISPECTRAL SCANNER (ATIMS) DATA**

ZHENG Lan-Fen ZHAO De-Gang TONG Qing-Xi DANG Shun-Xing
(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The ratio-weighted method for extracting emissivity information was described. The study shows that the limestone spectra in the study area are dominated by CO₂ bending vibration reststrahlen band near 11.3 μm (in CH₆), the spectrum of quartz sandstone has low emissivity at 8.6~9.0 μm (CH₂) and 9.8~10.6 μm (CH₅), while the greywacke has low relative emissivity at 9.8~10.6 μm (CH₅) and 10.6~11.4 μm (CH₆) due to the silicate mineral and some content of carbonate mineral. The results indicate that the ratio-weighted method can be used for extracting emissivity information of ground objects from the airborne TIMS data.

Key words thermal infrared multispectral scanner, emissivity, limestone.