

基于气象卫星云图的红外吸收带火山特征分析

宋文韬^{1,2,3}, 胡勇^{1,2*}, 刘丰轶^{1,2}, 巩彩兰^{1,2}

1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083
2. 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室(中国科学院上海技术物理研究所), 上海 200083
3. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 飞行目标在 2.7 和 4.3 μm 波段附近具有较强的红外辐射, 因此这两个波段是探测飞行目标的最佳波段, 但是由于这两个波段并非大气窗口, 不被大多数遥感器包含。对这两个波段的典型地物特性开展研究具有重要的价值, 但由于缺乏必要的获取能力, 经常面临数据缺乏的问题。世界范围内频频有各种程度的火山爆发, 火山爆发时温度较高的火山口, 是否对于天基红外探测系统典型目标探测有影响, 其影响程度如何一直缺乏相关的分析和研究。基于大气辐射传输理论, 利用多元统计分析得到波段转换模型, 使用气象卫星已有波段获得红外吸收谱段数据。将火点像元视为明火和背景的混合像元, 采用目标与背景分离的方式描述高温目标像元的热辐射。对高温目标辐射量, 在气溶胶模式固定的情况下, 选取观测天顶角、大气可降水量、大气廓线为自变量影响因子。对于背景辐射亮度关系, 选取观测天顶角、大气可降水量、大气廓线、背景温度为自变量影响因子, 利用多元统计, 建立相关模型。利用对地面热状态非常敏感的风云三号可见光红外扫描辐射计第 3 通道数据的统计特征探测火山口, 获取高温目标在特定波段的表观多维特征并定量分析。火山的多维特征分析, 主要从时间和空间两个维度展开。时间维度是对同一火山在不同时间的数据进行分析, 空间维度上, 主要统计火山口的辐射亮度和亮度温度的空间分布特征。一般气象卫星分辨率较低, 单纯利用像元个数表示火山面积, 明显夸大了火山的实际面积, 所以基于亚像元特性对火山进行分析, 将混合像元火点视为明火和背景的组合, 运用线性光谱混合模型, 通过混合像元的辐射率精确计算火山高温点的面积和温度, 提高定量分析精度。分析结果表明: 通过仿真手段结合多元统计分析方法建立高温目标的波段转换模型是一种可行的预研手段。在 2.7~2.95 μm 波段, 火山口在弱背景环境下可能会对高温目标造成干扰, 而在 4.2~4.45 μm 波段, 火山口能量远高于一般地表类型, 是不可忽视的干扰。

关键词 高温目标; 波段转换; 特征分析; 亚像元分析

中图分类号: TP722.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)01-0073-06

引言

飞行目标发动机主要燃料为碳氢化合物, 会生成大量高温的二氧化碳(CO_2)和水汽(H_2O), 温度超过 1 000 K。这种高温高压混合气体是选择性辐射体, 在短波红外 2.7 μm 波段处和中波红外 4.3 μm 波段处有发射带^[1], 因此这两个波段是探测飞行目标的最佳波段^[2], 天基红外探测系统, 采用的就是对 2.7 和 4.3 μm 比较敏感的探测单元^[3], 但这两个波段并非大气窗口, 透过率较低, 所以这两个波段几乎不被其他遥感器包含, 因此一般情况下难以获得相应遥感数据,

经常面临数据缺乏的问题。

世界上现有 500 多座活火山, 近些年在世界范围内频频有各种程度的火山爆发, 引起了各国学者对于火山喷发的关注^[4]。对于天基红外探测系统而言, 火山爆发时温度较高的火山口, 是否对典型目标探测有影响, 其影响程度如何一直缺乏相关的分析和研究。所以对短波红外 2.7 μm 和中波红外 4.3 μm 波段处火山影像进行定量分析, 获得其多维特征就显得十分重要。

尝试以现有气象卫星数据为数据源, 基于火山爆发时的中波(3.55~3.93 μm)图像, 对火山喷发时的遥感数据进行波段转换和多维特征分析。选择典型火山为研究案例, 获得

收稿日期: 2017-12-20, 修订日期: 2018-04-16

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAH31B02-02), 中国科学院上海技术物理研究所创新专项(CX-55)资助

作者简介: 宋文韬, 1992 年生, 中国科学院上海技术物理研究所博士研究生 e-mail: songwentao1992@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: huyong@mail.sitp.ac.cn

火山在 2.7~2.95 和 4.2~4.45 μm 的多维特征,并对这些特征进行分析。分析的特征主要为火山口的辐射特征的空间分布和时序变化。特别是,气象卫星数据空间分辨率较低,为 1 km(1 000 m),而高温火山口点的明火区没有充满整个像元,只占 1 km² 的一小部分。要精确研究火山特征,有必要对其明火区亚像元特征进行研究,火山口点亚像元特征主要为分割后的热力学温度和面积比例等^[5]。这对于定量研究目标在特定波段的辐射特性,降低目标对飞行目标遥感探测的干扰具有重要意义。

1 数据获取

1.1 数据和研究区域概述

位于冰岛的艾雅法拉火山于 2010 年多次喷发。筛选出分别成像于 2010 年 4 月 17 日、4 月 19 日(两景)、5 月 8 日、5 月 9 日、5 月 12 日(两景)7 景 FY-3A 数据为基础进行研究。

风云三号(FY-3)气象卫星是我国的第二代极轨气象卫星,可见光红外扫描辐射计(VIRR)中红外通道(CH3)第三通道范围 3.55~3.93 μm ,对高温热源敏感^[6],综合云区、水体、植被等目标在 VIRR 不同通道的光谱特性,可利用 CH3 判识全球范围内陆地地区的火点信息。

1.2 波段转换模型

将目标看成黑体,以使用普朗克定律对其进行定量描述。FY-3 VIRR 数据的空间分辨率为 1 km,一般来说,明火区域不会充满 1 km² 的整个像元,因此将火点像元视为明火和背景的混合像元,采用目标与背景分离的方式描述高温目标像元的热辐射。如图 1 所示,探测器目标像元获得的能量包括目标辐射,背景地物辐射,以及大气的影响。目标像元内高温目标辐射量仿真影响因素分析,在气溶胶模式固定的情况下,选取观测天顶角、大气可降水量、大气廓线为自变量影响因子;对于波段间的背景辐射亮度关系,选取观测天顶角、大气可降水量、大气廓线、背景温度为自变量影响因子,利用多元统计建立相关模型^[7]。

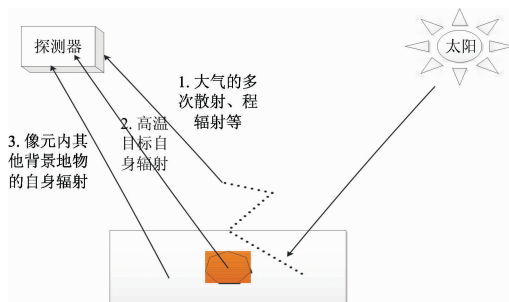


图 1 目标辐射模型示意图

Fig. 1 Diagram of bands transform

对于某波段,含有明火的混合像元在目标波段的表观辐射亮度可由式(1)表达

$$Lf_{\lambda x} = B_{\lambda x}(\lambda, T)\tau_{\lambda x} + Lb_{\lambda x} \quad (1)$$

式(1)中, $Lf_{\lambda x}$ 为混合像元的辐射亮度, $B_{\lambda x}(\lambda, T)$ 为 T 温度

下混合像元中明火点的发射辐射, $\tau_{\lambda x}$ 为透过率, $Lb_{\lambda x}$ 为混合像元中背景的辐射。

将已知波段和未知波段方程联立,可建立交叉通道波段转换模型

$$Lf_{\lambda x} = \frac{B_{\lambda x}(\lambda, T)\tau_{\lambda x}}{B_{\lambda_{3.9}}(\lambda, T)\tau_{\lambda_{3.9}}}(Lf_{\lambda_{3.9}} - Lb_{\lambda_{3.9}}) + Lb_{\lambda x} \quad (2)$$

式(2)中, $B_{\lambda x}(\lambda, T)$ 和 $B_{\lambda_{3.9}}(\lambda, T)$ 均可由普朗克定律求得, $Lf_{\lambda_{3.9}}$ 可由 FY-3 VIRR 数据获得,而背景的辐射 $Lb_{\lambda_{3.9}}$ 可根据一定的邻域法则获得,式(2)中的未知数只目标波段和已知波段背景辐射亮度比值、透过率的比值。因此通过建立 $Lb_{\lambda x}$, $Lb_{\lambda_{3.9}}$ 和 $\tau_{\lambda x}$, $\tau_{\lambda_{3.9}}$ 的关系分别得到它们的比值表达式,可获得高温目标混合像元在目标波段的辐射亮度。

1.3 火山口提取算法

根据维恩位移定律,常温为下地表辐射峰值在 10 μm 左右,靠近 VIRR CH4 范围;明火区的辐射峰值在 3.7 μm 附近,风云三号 VIRR 第三通道的谱段范围为 3.55~3.93 μm ,这个谱段对地面热状态非常敏感。大面积的火山灰一般能量较低,在中波谱段能量与背景几乎相当。

提取火山口过程比较简单,分两步,首先对包含火山的图像进行增强,利用加权双边滤波器(空间邻近度因子、灰度相似度因子、与特征值有关的灰度邻近度因子)对一般背景和噪声抑制强烈,对高温火点相对增强^[8]。

第二步为自适应阈值分割,火山的特征在风云三号 VIRR 第三通道的波段是非常显著的,选择经过增强后图像中亮温最高的点,将其作为种子点,对其领域用最大类间方差法计算阈值,将大于阈值的点判断为火山口。

2 数据处理模型和算法

2.1 数据处理流程

具体数据处理流程如下:

(1)火山识别。根据风云三号气象卫星 VIRR 数据,对火山口进行判识。

(2)建立波段转换模型方法。基于仿真所得到的大量样本数据获取 3.55~3.93 μm 波段和 2.7~2.95, 4.2~4.45 μm 波段间的透过率、辐射亮度关系数值模型,建立波段转换方法。

(3)研究示范区波段转换方法应用分析。对研究示范区卫星数据进行处理,获取火山波段转换结果。对目标在 2.7~2.95 和 4.2~4.45 μm 波段的多维特征进行统计分析。

2.2 亚像元火点定量计算

亚像元是量化特征的一个重要基础,如果以像元分辨率表示火山面积,则明显夸大了火山的实际面积。本文通过获取混合(目标)像元明火区热力学温度 T 来计算混合(目标)像元明火区在波段的辐射^[9]。

将混合像元火点的组分简单视为明火和背景的组合,参考线性光谱混合模型(linear spectral mixture model, LSMM)的思想,则混合像元的辐射率可以表示为

$$R_{\lambda} = \rho L_{\text{fa}} + (1 - \rho)L_{\text{ba}} + \epsilon_{\lambda} \quad (3)$$

式(3)中, L_{fa} 和 L_{ba} 分别代表组分明火和背景的辐射亮度,下

标 λ 表示某波段。再假设明火和背景均为黑体，将辐射亮度用普朗克定律带入，变换为

$$R_\lambda = p \frac{c_1 \nu_\lambda^3}{e^{c_2 \nu_\lambda / T_h} - 1} + (1 - p) \frac{c_1 \nu_\lambda^3}{e^{c_2 \nu_\lambda / T_b} - 1} + \epsilon_\lambda \quad (4)$$

式(4)中, T_h 和 T_b 分别代表明火点和背景的热力学温度。由上面所说的 CH3 和 CH4 建立方程组得到

$$R_3 = p \frac{c_1 \nu_3^3}{e^{c_2 \nu_3 / T_h} - 1} + (1 - p) \frac{c_1 \nu_3^3}{e^{c_2 \nu_3 / T_b} - 1} + \epsilon_3$$
$$R_4 = p \frac{c_1 \nu_4^3}{e^{c_2 \nu_4 / T_h} - 1} + (1 - p) \frac{c_1 \nu_4^3}{e^{c_2 \nu_4 / T_b} - 1} + \epsilon_4 \quad (5)$$

式(5)中, ν_3 和 ν_4 分别代表 CH3 和 CH4 的波数。

至此, 线性光谱混合模型的数学表达式已经给出。明火的辐射亮度是未知的, 即明火点温度 T_h 未知。因此不能用线性最小二乘的方式解算, 对于这种二维情况, 使用非线性方程组的 Newton-Raphson 方法求解公式(2)^[10]。

3 数据处理结果

火山的多维特征分析, 主要从时间和空间两个维度展

开。时间维度上是对同一火山在不同时间的数据进行分析。空间维度上, 主要统计火山口的辐射亮度和亮度温度的空间分布特征, 包括: 最大值、最小值、平均数、中位数以及标准差。其中火山口的辐射亮度、亮度温度反映的都是经过大气传输以后的、仪器入瞳处的表观辐射特征。除了传统的时空特征, 为了进一步提高定量分析的精度, 还基于亚像元分析进一步计算明火区的热力学温度和面积比例。

3.1 火山提取结果图

以风云三号 VIRR 1 km 分辨率图像为数据源, 结合 MODIS 大气 2 级产品、MODIS 陆地 2 级产品进行波段转换。以 2010 年 4 月 17 日、4 月 19 日(两景)、2010 年 5 月 8 日、5 月 9 日及 5 月 12 日(两景)冰岛艾雅法拉火山爆发时的 FY-3 数据为基础, 通过波段转换方法获取火山口在 2.7~2.95 μm 以及 4.2~4.45 μm 波段的辐射特征, 以及高温火山口点的亚像元分割特征。

图 2 出了该火山爆发时的风云三号 VIRR 探测器的中波(3.55~3.93 μm)辐射亮度图像、可见光 RGB 彩色图像、火山识别图像, 红色的为火山口, 蓝色是火山灰。

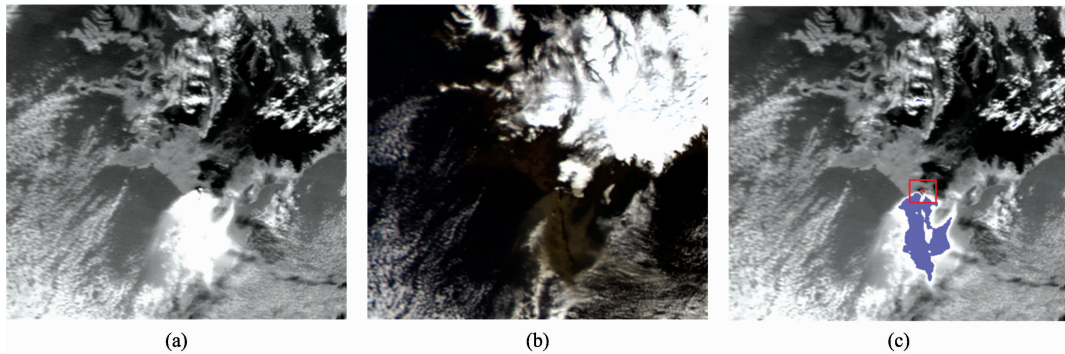


图 2 冰岛艾雅法拉火山 2010 年 4 月 17 日 11 点 45 分图像

(a): CH3 辐射亮度图像; (b): 可见光波段 RGB 彩色图像; (c): 火山口识别的标记图

Fig. 2 Eyjafjallajjar, Iceland April 17, 2010 11:45 image

(a): CH3 radiance image; (b): Visible spectrum RGB color image; (c): Crater detection mark map

3.2 2.7~2.95 μm 波段特征分析

表 1 为 2010 年 4 月 17 日至 5 月 12 日 7 景冰岛艾雅法拉火山数据的火山口在转换波段 2.7~2.95 μm 的辐射亮度统计结果。

表 1 火山口 2.7~2.95 μm 波段辐射亮度统计/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$

Table 1 Radiation intensity statistics of 2.7~2.95 μm band in crater/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$

时间日期 统计量	最大值	最小值	平均数	中位数	标准差	像元数
0417_1145	0.009	0.003 5	0.005 5	0.005 1	0.001 6	17
0419_1245	0.028	0.009 2	0.017 8	0.017 8	0.007 8	6
0419_1425	0.008	0.004 2	0.006 1	0.006 1	0.001 3	22
0508_1330	0.021	0.009 5	0.01 6	0.017 0	0.004 5	11
0509_1310	0.020	0.010 0	0.014 0	0.014 0	0.004 4	6
0512_1215	0.013	0.010 0	0.011 1	0.010 5	0.001 5	4
0512_1355	0.011	0.005 6	0.007 9	0.008 4	0.002 0	12

3.3 4.2~4.45 μm 波段特征

表 2 为相同冰岛艾雅法拉火山数据的火山口在转换波段 4.2~4.45 μm 的辐射亮度统计结果。

表 2 火山口 4.2~4.45 μm 波段辐射亮度统计/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$

Table 2 Radiation intensity statistics of 4.2~4.45 μm band in crater/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$

时间日期 统计量	最大值	最小值	平均数	中位数	标准差	像元数
0417_1145	0.06	0.042	0.052	0.052	0.006	17
0419_1245	0.035	0.028	0.031	0.032	0.003	6
0419_1425	0.084	0.061	0.075	0.076	0.007	22
0508_1330	0.081	0.063	0.072	0.075	0.006	11
0509_1310	0.042	0.036	0.039	0.038	0.002 7	6
0512_1215	0.096	0.054	0.074	0.073	0.023	4
0512_1355	0.091	0.058	0.070	0.068	0.011	127

3.4 基于亚像元分析的高温目标特征

处理以后的气象卫星数据每一个像元具有 1 km^2 的面积, 即 10^6 m^2 , 因此像元数可以直接转换为火山在气象卫星数据上所占面积。高温目标亚像元面积变化较大的原因。可能与自然环境构成、算法误差等有关, 但反演的结果基本符合已有的统计资料。而且由于探测元空间响应在地面瞬时视场内的不均匀, 仪器的测量值相对于线性光谱混合模型的估计值是偏小的, 因此在透过率未知的情况下, 用图像测量值参与模型运算会导致反演温度偏小的结果。

表 3 火山口点明火区亚像元面积统计/ m^2
Table 3 Subpixel area statistics of the crater fire point area/ m^2

时间日期 统计量	最大值	最小值	平均数	中位数	标准差	像元数
0417_1145	8 180.8	797.9	3 584.5	2 618.3	2 180.2	17
0419_1245	2 637.3	1 104.3	2 026.2	2 380.2	679.8	6
0419_1425	2 829.9	63.1	1 184.0	1 159.1	841.5	22
0508_1330	38 377	2 648.23	12 577.2	6 676.29	11 777.7	11
0509_1310	2 292.32	396.64	1 462.19	1 444.73	738.976	6
0512_1215	6 813.1	1 781.2	3 535.6	2 774.0	2 371.6	4
0512_1355	4 395.2	480.4	2 384.8	2 716.9	1 374.9	12

表 4 火山口点明火区热力学温度统计/K
Table 4 Thermodynamic temperature statistics of crater fire point area/K

时间日期 统计量	最大值	最小值	平均数	中位数	标准差	像元数
0417_1145	736.2	649.8	683.1	681.6	26.6	17
0419_1245	738.9	693.8	719.1	722.5	21.2	6
0419_1425	949.0	665.1	762.1	740.2	80.5	22
0508_1330	668.0	596.2	627.8	620.9	25.4	11
0509_1310	902.3	678.7	779.5	766.0	73.5	6
0512_1215	745.8	698.5	730.4	738.7	21.6	4
0512_1355	892.9	668.2	770.6	773.6	59.2	12

表 5 波段转换精度验证表

Table 5 Band transformation accuracy verification table

冰岛艾雅法拉	时相	波段/ μm	像素数	均值	相对误差/%
风云数据(仿真)	20100419_1245	4.433~4.498	6	0.533 0	9.36
MODIS 已有数据	20100417_1250	4.433~4.498	4	0.588 0	
风云数据(仿真)	20100512_1215	4.433~4.498	3	0.617 1	1.11
MODIS 已有数据	20100512_1255	4.433~4.498	6	0.624 0	
风云数据(仿真)	20100512_1355	4.433~4.498	10	0.469 1	24.82
MODIS 已有数据	20100512_1255	4.433~4.498	6	0.624 0	

本研究最重要的结论就是经过比较分析可以发现在 $2.7 \sim 2.95 \mu\text{m}$ 波段火山口高于农田, 草地等背景, 低于卷云, 干沙等强背景类型。而对于 $4.2 \sim 4.45 \mu\text{m}$, 火山口被证明是不可忽视的潜在干扰, 其能量远高于一般地表类型。

表 3 和表 4 是高温火山口点的亚像元分割特征统计。表 3 是火山口点的明火区面积, 面积单位已化为 m^2 ; 表 4 是火山口点的明火区平均热力学温度, 单位为 K。

4 结果与讨论

4.1 波段转换模型验证

由于缺乏目标波段的遥感数据, 无法对目标波段的高温目标波段转换精度进行直接验证, 只能间接验证方法合理性, 采用基于已有波段的火山特征波段转换方法进行精度验证。选用 MODIS CH24 ($4.433 \sim 4.498 \mu\text{m}$) 作为转换的特定波段, 风云三号 VIRR CH3 ($3.55 \sim 3.93 \mu\text{m}$) 作为转换的基础波段, 通过波段转换方法建立波段间的关系模型, 模拟火山口点在 $4.433 \sim 4.498 \mu\text{m}$ 的亮度。将仿真亮度与 MODIS CH24 定标后的亮度进行对比分析, 从而验证波段转换方法的可行性。实验证明, 该仿真方法误差较小, 可以作为研究的参考。

4.2 辐射空间特征分析

$2.7 \sim 2.95 \mu\text{m}$ 波段各幅图像火山口点辐射亮度平均在 $0.005 \sim 0.02 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 之间, 且大于火山灰的辐射亮度; 各幅图像火山灰的辐射亮度平均值比较接近, 在 $0.002 \sim 0.004 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 之间。 $4.2 \sim 4.45 \mu\text{m}$ 波段不同地区图像的火山口的辐射亮度大于与 $2.7 \sim 2.95 \mu\text{m}$ 波段, 在 $0.05 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 左右。

对于研究区域, 火山口的像元数量在 $6 \sim 24$ 之间, 即其辐射面积为 $6 \sim 24 \text{ km}^2$ 不等。经过亚像元进一步分析, 火山口的实际辐射面积变化较大, 平均在 $3 700 \text{ m}^2$ 左右, 精度提高 270 倍, 大幅提高了高温特征定量分析的能力。

4.3 背景辐射对比

设大气廓线为中纬度夏季, 地表温度 300K , 地表反照率 0.5 , 水汽含量 $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$, 观测天顶角 180° (H1), 相对太阳方位角 -30° (H2), 太阳天顶角 12° (H2), 利用 MODTRAN 得到各典型地物等效辐射强度, 和火山对比得到图 3 和图 4。

5 结论

(1) 通过仿真手段结合多元统计分析方法建立高温目标的波段转换模型, 实现由已知波段图像转换得到未知波段的

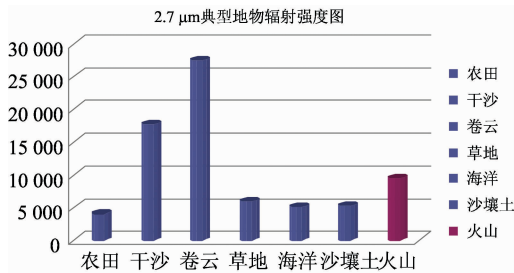


图 3 2.7 μm 典型地物辐射强度直方图

Fig. 3 The histogram of the radiation intensity of 2.7 m tpical ground objects

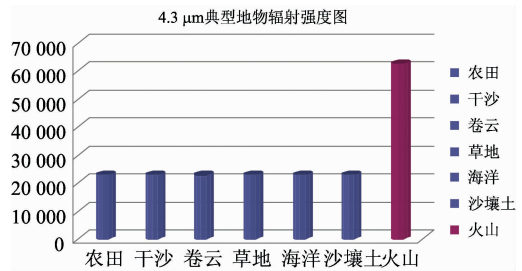


图 4 4.3 μm 典型地物辐射强度直方图

Fig. 4 The histogram of the radiation intensity of 4.3 m tpical ground objects

方法是可行的。

(2)提出了一种在先验知识匮乏情况下的亚像元定量检测方法,有助于使目标检测问题从“定性”到“定量”得到提升,面积精度提高 270 倍,为火山目标的定量分析提供了参考。

References

- [1] FENG Yun-song, LI Xiao-xia, LU Yuan, et al(冯云松, 李晓霞, 路远, 等). Acta Armamentarii(兵工学报), 2013, 34(4): 437.
- [2] LIU Zun-yang, SHAO Li, WANG Ya-fu, et al(刘尊洋, 邵立, 汪亚夫, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2014, 33(5): 492.
- [3] YE Qing, SUN Xiao-quan, SHAO Li(叶庆, 孙晓泉, 邵立). Infrared and Laser Engineering(红外与激光工程), 2010, (3): 389.
- [4] Mahdipour E, Dadkhah C. Artificial Intelligence Review, 2014, 42(4): 895.
- [5] Dozier J. Remote Sensing of Environment, 1981, 11: 221.
- [6] DONG Chao-hua, YANG Jun, LU Nai-meng, et al(董超华, 杨军, 卢乃猛, 等). Geo-Information Scienc(地球信息科学学报), 2010, 12(4): 458.
- [7] JIANG Shan, GONG Cai-lan, HU Yong, et al(江珊, 巩彩兰, 胡勇, 等). Journal of Atmospheric and Environmental Optics(大气与环境光学学报), 2014, 9(3): 223.
- [8] YANG Xue-zhi, XU Yong, FANG Jing, et al(杨学志, 徐勇, 方静, 等). Journal of Image and Graphics(中国图象图形学报), 2012, 17(1): 40.
- [9] LIU Cheng, LI Ya-jun, ZHAO Chang-hai, et al(刘诚, 李亚军, 赵长海, 等). Journal of Applied Meteorological Science(应用气象学报), 2004, 15(3): 273.
- [10] Wan Z. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(1): 59.

Analysis of Infrared Absorption Band for Volcano Based on Meteorological Satellite Cloud Image

SONG Wen-tao^{1, 2, 3}, HU Yong^{1, 2*}, LIU Feng-yi^{1, 2}, GONG Cai-lan^{1, 2}

1. Shanghai Institute of Technical Physics of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China

2. Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The targets have strong infrared radiation near the 2.7 and 4.3 μm bands, so these two bands are also the best bands to detect the flying target, but since these two bands are not atmospheric windows, they are not included in most remote sensors. It is of great value to study the typical features of infrared absorption spectrum. However, due to the lack of necessary data acquisition ability, it often faces the problem of lack of data. There are frequent volcanic eruptions in various parts of the world. Whether volcanic eruptions have an impact on typical target detection or not is lacking in relevant analysis and research.

In this paper, we get the data which transformed from the meteorological satellite data, through the wave band conversion model, based on the theory of atmospheric radiation transmission and the multivariate statistical analysis. The High temperature pixel is regarded as a mixed pixel of flame and background, and the target radiation is separated from the background to describe the thermal radiation of high temperature target pixel. When the aerosol mode is fixed, the observation zenith angle, atmospheric precipitation and the atmospheric profile are the influencing factors of the independent variable. For the background radiation brightness, the observation zenith angle, atmospheric precipitation in the atmosphere, atmospheric profile and background temperature are the influential factors of independent variables, and multivariate statistics are used to establish the relevant models. The volcano was detected by using the statistical characteristics of the third channel data of the FY-3 VIRR to obtain the apparent multidimensional features and quantitative analysis in time dimension, and the data of the same volcano are analyzed at different times. In spatial dimension, the spatial distribution characteristics of radiation brightness and luminance temperature of the crater are statistically calculated. The resolution of normal meteorological satellite is quite low, if we use pixel resolution to represent the volcanic area, the actual area of the volcano will be significantly exaggerated. So in this paper we propose a sub-pixel characteristics analysis method to increase the quantitative analysis accuracy. A combination of a mixture of pixels is considered as a combination of flame and background, and a linear spectral mixture model is used to accurately calculate the area and temperature of a volcano's high temperature point by the emissivity of the mixed pixel. The results show that the $2.7\sim 2.95\ \mu\text{m}$ crater may interfere with the high temperature target in the weak background environment. In $4.2\sim 4.45\ \mu\text{m}$ band, the crater has been proved to be a potential disturbance that can not be ignored. Its energy is much higher than the general surface type.

Keywords High temperature target; Band conversion; Feature analysis; Sub-pixel analysis

(Received Dec. 20, 2017; accepted Apr. 16, 2018)

* Corresponding author

敬告读者——《光谱学与光谱分析》已全文上网

从 2008 年第 7 期开始在《光谱学与光谱分析》网站(www.gpxygpx.com)“在线期刊”栏内发布《光谱学与光谱分析》期刊全文,读者可方便地免费下载摘要和 PDF 全文,欢迎浏览、检索本刊当期的全部内容;并陆续刊出自 2004 年以后出版的各期摘要和 PDF 全文内容。2009 年起《光谱学与光谱分析》每期出版日期改为每月 1 日。

《光谱学与光谱分析》期刊社