

利用 Aster 数据估算 Ca 含量分布的研究

李进波^{1,2}, 温兴平^{1,2}, 张皓楠^{1,2}, 罗大游^{1,2}

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093;

2. 云南省矿产资源预测评价工程实验室, 昆明 650093)

摘要: 元素在地表的分布对矿产的赋存具有指示作用,而不同元素都有各自对应的光谱特征;使用光谱数据元素含量可快速、大面积提取元素分布信息,指导找矿工作。本文基于实地测量的岩石光谱发射率数据重采样至 ASTER 各热红外波段,然后进行波段比值处理;将波段比值与岩石中的 Ca 进行相关分析。使用 SPSS 软件做多元逐步回归,排除相关系数小及具有共线性的波段比值,得出 Ca 与发射率光谱的数值关系;通过数值关系计算,得到 Ca 含量的大致分布区域。结果表明,Ca 含量与 ASTER 波段之间有良好的相关关系;利用 ASTER 波段反演地表岩石 Ca 含量是可行的;在 Aster 影像上 Ca 高含量地区与地层的岩性吻合度高。

关键词: Aster 数据;Ca 含量;发射率光谱;波段比值;滇东北地区

中图分类号: P627 **文献标识码:** A

0 引言

通过对一些重金属元素的含量反演,能够快速了解一定区域内的污染情况,同时,元素的分布对矿产赋存情况有指示意义,对寻找隐含的矿体有指导意义。对元素及其化合物含量的反演一直是一个热点。由于同一元素,元素含量的差异能够在光谱中表现出来,这使得用遥感影像定量反演元素含量成为可能,学者们在使用高光谱,多光谱影像定量反演元素及其化合物方面做了许多有益的尝试。

Lyon^[1]在 1964 年对 25 个火成岩样品的红外光谱数据进行研究,发现岩石的发射率光谱特征与矿物成分有关,发射率吸收峰会随着 SiO₂ 含量的增加而向短波方向偏移。杨杭等^[2]使用野外测量的地表岩石光谱建立热红外发射光谱的岩石 SiO₂ 定量反演模型。利用高光谱数据反演元素含量的研究较多。张立福等^[3]利用高光谱热红外发射率光谱反演地表岩石 CaO 的含量,并使用热红外原始发射率数

据及其一阶微分处理后数据建立了几种典型的回归模型。王维等^[4]、滕靖等^[5]研究了铜元素的高光谱敏感区,并应用高光谱数据建立了土壤铜元素的反演模型。龚绍琦等^[6]、吴明珠等^[7]研究了铬元素的高光谱响应机理及其反演模型。

在使用多光谱定量反演含量方面,学者们也做出一些尝试。1995 年, Ninomiya 使用人工神经网络方法,建立了 SiO₂ 含量与多光谱热红外发射率间的关系模型,实现了利用 ASTER 模拟数据进行 SiO₂ 含量的定量反演,其大部分岩石样品的误差处于 7% 以内^[8]。在国内,闫柏琨等^[9]使用光谱库数据研究了热红外遥感定量反演 SiO₂ 含量,拟合结果与 Cooper 一致,且建立 SiO₂ 指数应用在 ASTER 影像上,取得较好效果。陈江等^[10]利用 ASU 光谱库数据,对多种化学成分进行数值分析及公式模拟,并将成果应用于 ASTER 影像上,进行岩石化学成分填图,并在异常带内发现了砂岩型铜矿化。

本文基于云南省东北部的会泽铅锌矿区野外采集的岩石样品光谱数据,力图进行定量反演研究区内的 Ca 含量分布情况。

收稿日期: 2018-03-07; **责任编辑:** 王传泰

作者简介: 李进波(1993—),男,硕士,遥感及其地质应用研究方向。通信地址:云南省昆明市五华区一二一大街文昌路 68 号,昆明理工大学莲华校区地矿楼(国土资源工程学院);邮政编码:650093;E-mail:13159326903@163.com

1 地质概况

研究区处于云南省会泽县矿山镇境内,位于会泽县城 NE50°方向 48 km 处,其中心地理坐标为 E103°44′、N26°39′,矿区面积约 10 km²。矿区内包含三个矿厂:大水井、矿山厂、麒麟厂,在滇东北属于超大型矿床。

区内出露的岩石地层主要有上震旦统灯影组白云岩,上泥盆统宰格组硅质白云岩、灰岩,下石炭统大塘组灰岩、泥岩夹石英砂岩,下石炭统摆佐组中石炭统威宁组上石炭统马平组的白云质灰岩、粗晶白云岩,下二叠统梁山组石英砂岩夹泥页岩,下二叠统栖霞茅口组灰岩夹中-粗晶白云岩,上二叠统峨眉山玄武岩组的致密块状玄武岩。主要岩性为碳酸盐岩、砂岩、粉砂岩,同时有大面积的峨眉山玄武岩出露。

2 数据采集与处理

(1) 样品采集与处理

对研究区内具有代表性的岩性或所处地层不同的岩石分别采样,从 27 个采样点共采集岩石样品 42 件。将采集到的样品清洗,去除附着物,自然风干后进行样品表面平整处理,以便达到发射率光谱的测量要求。

(2) 数据测量与处理

发射率光谱的测量采用德国布鲁克(Bruker) TENSOR27 红外光谱仪,光谱分辨率 4 cm⁻¹。在实验室条件下分别对 42 件岩石样品进行测量,每组样品测试三次,取平均值。使用 X 射线荧光光谱仪对 42 个岩石样品进行 Ca 含量分析。

ASTER 是搭载在地球观测系统平台 TERRA 上的高级多光谱遥感成像仪,其波段范围包括了 3 个位于 0.52 μm—0.86 μm 之间的可见光近红外波段(VNIR)、6 个处于 1.6 μm—2.43 μm 之间的短波红外波段(SWIR)和 5 个处于 8.125 μm—11.65 μm 之间的热红外波段(TIR)。其中,热红外波段的空间分辨率为 90 m。在这 5 个热红外波段位于 8.0~14.0 μm 的大气窗口范围内,许多造岩矿物都具有各自的特征发射率带,这些特征光谱使提取和识别岩石及岩石成分成为可能。将红外光谱仪测得的数据与 5 个热红外波段范围对照,对数据进行重采样处理。

由于红外光谱仪测得数据 x 轴以波数为单位,所以首先将 Aster 第 10 至 14 波段范围内的波长换算成波数。公式为: $V \times \lambda = 10\,000$,式中 V 代表波数, λ 代表波长。再将所测得的反射光谱数据中与 Aster 各波段相应的波数范围截取出来,第 10 波段为 1 179.986 cm⁻¹—1 226.732 cm⁻¹,第 11 波段为 1 133.240 cm⁻¹—1 179.986 cm⁻¹,第 12 波段为 1 077.994 cm⁻¹—1 120.491 cm⁻¹,第 13 波段为 912.2582 cm⁻¹—976.003 cm⁻¹,第 14 波段为 857.0127 cm⁻¹—3.6747 cm⁻¹。对各波段内的光谱发射率做算术平均值,完成重采样处理。

3 相关分析

将各波段重采样所得光谱发射率与 Ca 含量做相关分析,相关系数计算结果如表 1 所述,此时发射率光谱与 Ca 含量的相关系数绝对值为 0.45968。

为了进一步揭示发射率光谱与 Ca 含量之间的相关关系,减少误差,对重采样后的发射率光谱进行波段比值处理。使用处理后得到的波段比值与 Ca 含量进行相关分析,得到相关系数如表 2。

表 1 各波段发射率与 Ca 含量的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of emissivity of each band and Ca content

	E10	E11	E12	E13	E14
E10	1				
E11	0.997245	1			
E12	0.986009	0.994094	1		
E13	0.621365	0.659077	0.694329	1	
E14	0.094295	0.10083	0.097679	0.212548	1
Ca	-0.44417	-0.44922	-0.45968	0.003243	0.120983

表 2 波段比值与 Ca 含量之间的相关系数

Table 2 The correlation coefficient of band ratio and Ca content

	E10/E11	E10/E12	E10/E13	E10/E14	E11/E12	E11/E13	E11/E14	E12/E13	E12/E14	E13/E14
E10/E11	1									
E10/E12	0.759223	1								
E10/E13	0.426686	0.410267	1							
E10/E14	0.359066	0.243998	0.944187	1						
E11/E12	0.365849	0.877792	0.257645	0.062546	1					
E11/E13	0.26766	0.30883	0.9823	0.922084	0.223481	1				
E11/E14	0.250197	0.153288	0.919933	0.990337	0.004588	0.920842	1			
E12/E13	0.133319	0.058052	0.913209	0.903559	-0.05003	0.954769	0.930723	1		
E12/E14	0.140874	-0.01963	0.845537	0.944829	-0.17403	0.866657	0.976643	0.939493	1	
E13/E14	0.011597	-0.27174	0.15259	0.454431	-0.43644	0.131001	0.493965	0.254407	0.559396	1
Ca	0.112971	0.021291	-0.52147	-0.50735	-0.01255	-0.59674	-0.55492	-0.64694	-0.5884	0.09439

在进行波段比值处理后,波段比值与 Ca 含量之间的相关系数显著提高,与 Ca 含量相关系数较大的几组波段比值:E10/E13 为 -0.52147 ,E10/E14 为 -0.50735 ,E11/E13 为 -0.59674 ,E11/E14 为 -0.55492 ,E12/E13 为 -0.64694 ,E12/E14 为 -0.5884 。其中,E12/E13 最高,达到 -0.64694 。

由于共有 6 组数据的相关系数绝对值超过 0.5,拟建立多元线性回归模型,以便排除具有多重共线性的数据,达到最佳的预测效果。使用 SPSS 软件,将这几组相关系数较大的波段比值作为自变量,将 Ca 含量作为因变量,作多元逐步回归分析。结果发现,只有 E12/E13 波段入选,6 组数据间存在多重共线性,若使用多元线性回归拟合得到的模型,会使模型估计失真或估计误差大。故改用 E12/E13 与 Ca 含量做一元线性回归,可拟合出 E12/E13 与 Ca 含量的关系函数。E12/E13 与 Ca 含量的二维散点图如图 1 所示。

通过计算 ASTER 热红外遥感数据的发射率波段比值,再利用拟合一元线性回归公式即可反演出其相应的 Ca 含量。

4 Ca 含量信息提取

将空间分辨率为 5 m 的 RapidEye 影像与 ASTER 影像裁剪至同样大小。ASTER 影像可通过上述所得数值关系,得到研究区的 Ca 相对含量如图 2;Ca 含量由高到低依次由深变浅。RapidEye 用波段 3、2、1 合成彩色影像如图 3,用以对照 ASTER 的提取结果。在研究区东部、西南部,有大面积方解石、白云石出露,在 RapidEye 彩色合成影像上,呈灰色,灰白色调。中部亮度较高的为城市建筑及道路。

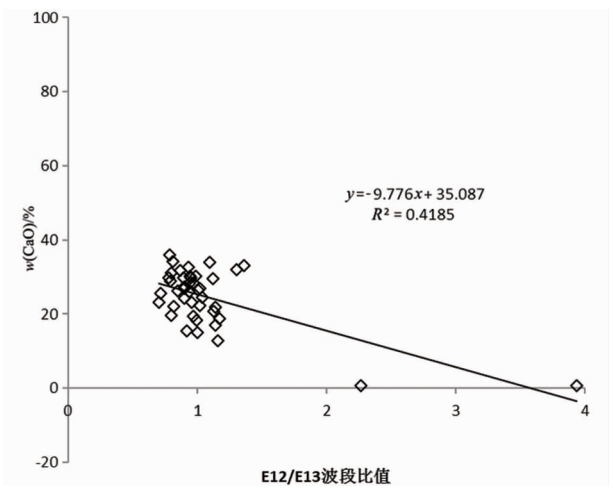


图 1 波段发射率比值与 Ca 含量的散点图

Fig. 1 The Scatter plot of the band ratio and Ca content

结果表明,在研究区方解石露头明显的东南区域,在图 2 上颜色较深;裸土大面积分布的东北区域,在图 2 上色调较浅,与 Ca 元素的分布规律相符,应用 ASTER 影像提取 Ca 含量取得一定效果;但是在裸土与基岩掺杂的区域及植被覆盖较厚的区域提取效果不佳,西北部的植被覆盖区呈现 Ca 含量较高的状态,在东南部有部分区域由于裸土占比较大,在分辨率较低的 ASTER 影像上不能很好地提取出 Ca 含量的实际分布情况。

5 结语

(1)通过对 42 件岩石样本的发射率光谱重采样至 ASTER 热红外波段,分析样本的 Ca 含量与热红外发射率光谱重采样数据和波段比值的相关关系,表明波段比值与 Ca 含量的相关系数较重采样数据

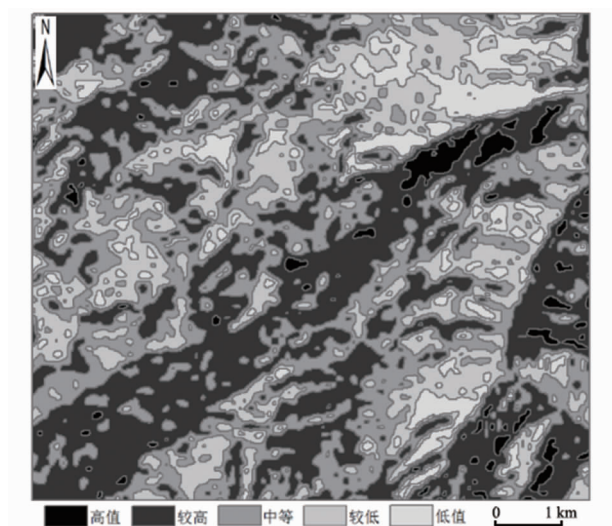


图2 Ca含量密度分割图

Fig. 2 The density slicing of Ca content



图3 RapidEye R(3)G(2)B(1)彩色合成图

Fig. 3 Color synthesis image of RapidEye R(3)G(2)B(1)

与Ca含量的相关系数有显著提高。

(2)利用SPSS软件做多元逐步线性回归,可剔除具有多重共线性的数据,以提高模型的精度;拟合

出了Ca含量与波段比值的数值关系。在将函数应用在ASTER影像中,对Ca含量的区分效果明显,与高分辨率的RapidEye影像相比较,符合Ca含量的分布规律。但是在高植被覆盖的区域与裸土与基岩混合的区域,提取效果不佳。

(3)结果表明利用ASTER热红外发射率光谱估算地表岩石Ca的相对含量是可行的。通过ASTER影像对Ca元素相对含量的反演,能够了解Ca元素在地表的分布情况,与研究区的地层岩性较吻合;对矿产的赋存区域有指示作用,为勘查提供依据。

参考文献:

- [1] Lyon R J P. Analysis of rocks by spectral infrared emission (8-25 microns)[J]. Economic Geology, 1965, 60(4): 715-736.
- [2] 杨杭, 张立福, 黄照强, 等. 基于热红外发射光谱的岩石SiO₂定量反演模型研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(6): 1611-1615.
- [3] 张立福, 张学文, 黄照强, 等. 基于高光谱热红外发射率光谱的地表岩石CaO含量定量估计[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(11): 2940-2943.
- [4] 王维, 沈润平, 吉曹翔. 基于高光谱的土壤重金属铜的反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(3): 348-354.
- [5] 滕靖, 何政伟, 倪忠云, 等. 西范坪矿区土壤铜元素的高光谱响应与反演模型研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(11): 3637-3642.
- [6] 龚绍琦, 王鑫, 沈润平, 等. 滨海盐土重金属含量高光谱遥感研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(2): 171-177.
- [7] 吴明珠, 李小梅, 沙晋明. 亚热带土壤铬元素的高光谱响应和反演模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(6): 1660-1666.
- [8] Ninomiya Y. Quantitative estimation of SiO₂ content in igneous rocks using thermal infrared spectra with a neural network approach [C]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1995, 33(3): 684-691.
- [9] 闫柏琨, 刘圣伟, 王润生, 等. 热红外遥感定量反演地表岩石的SiO₂含量[J]. 地质通报, 2006, 25(5): 639-643.
- [10] 陈江, 王安建. 利用ASTER热红外遥感数据开展岩石化学成分填图的初步研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(4): 601-608.

Study on the Aster data-based estimation of Ca content distribution

LI Jinbo^{1,2}, WEN Xingping^{1,2}, ZHANG Haonan^{1,2}, LUO Dayou^{1,2}

(1. *Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;*

2. *Mineral Resources Prediction and Evaluation Engineering Laboratory of Yunnan Province, Kunming 650093, China*)

Abstract: Element distribution at the surface of the earth is the indication of the occurrence of mineral deposits. Each element on the surface has its own characteristic spectrum. Inversion of spectral data to element content can be used to abstract information of element distribution in large area and guide ore prospecting. The field measured spectral emissivity data are resampling to the ASTER thermal infrared bands and then the band ratio procession is made. The correlation analysis between the band ratio and the Ca in the rock is carried out. The SPSS software is used for multiple stepwise regression to eliminate band ratio with small correlation coefficient and co-linearity and the correlation coefficients of Ca and emissivity spectrum are obtained. The approximate distribution area of Ca content can be obtained by numerical relation calculation, which can fit well with the actual distribution area of Ca. The results show that there is a good correlation between the content of Ca and the ASTER band, and it is feasible to use the ASTER band to retrieve the Ca content of the surface rock. In the Aster image, the high content area of Ca is in good agreement with the lithology of the formation.

Key Words: aster image; Ca content; emissivity spectra; band ratio; the northeast Yunnan province