

文章编号: 1006-6616 (2015) 04-0536-10

# 基于 WorldView-II 与 Aster 数据的 Fe 信息提取 ——以南极拉斯曼丘陵为例

魏学娟, 徐 刚

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 利用 WorldView-II 遥感影像高空间分辨率和高波谱分辨率的数据优点, 结合 Aster 数据波段互补的优势, 进行南极大陆边缘拉斯曼丘陵 Fe 信息提取研究。研究表明, 使用 WorldView-II 与 Aster 数据对比分析的主成分法, 提取  $\text{Fe}^{3+}$  信息, 采用 WorldView-II 与 Aster 协同数据下的波段运算法, 提取  $\text{Fe}^{2+}$  信息, 可以达到优势互补的目的。Fe 信息提取结果显示, 含铁矿物信息分布区主要集中在混合片麻岩与副片麻岩区域, 分别占 Fe 信息总面积的 80.39% 和 15.73%, 与野外调查结果基本一致。

**关键词:** 多源遥感数据; 主成分; 比值法; Fe 信息提取

**中图分类号:** P627

**文献标识码:** A

## 0 引言

随着遥感技术的快速发展, 基于 Tm ( $\text{Etm}^+$ ) 及 Aster 数据影像 Fe 信息遥感异常提取技术已经日趋成熟。就信息提取来说, 研究使用模型很多, 主要有主成分分析法、波段比值法以及光谱角填图法。国外的研究早于国内, 早在 1977 年, Roman 等人就采用 MSS 波段比值法提取了褐铁矿信息; Crosta 等<sup>[1]</sup> 1989 年采用主成分分析法基于 TM 数据成功提取了巴西 Minas Gerais 半干旱地区铁染信息。国内的研究主要始于 20 世纪 90 年代, 有学者成功利用 TM 1, 3, 4, 5 以及 Aster 1, 2, 3, 4 或其主成分改进模型进行了  $\text{Fe}^{3+}$  信息的提取<sup>[2-5]</sup>; 唐超等<sup>[6]</sup> 根据铁离子矿物的波谱曲线特征, 基于 TM 及 Aster 数据使用波段比值法提取 Fe 信息; 光谱角填图法根据铁离子光谱曲线的矢量特征进行相似性判别, 利用该方法提取 Fe 信息也取得了较好的效果<sup>[7-9]</sup>; 此外, 也有学者利用几种方法组合对结果进行优选, 提高了结果的正确性<sup>[10-13]</sup>。但传统使用的 TM 和 Aster 数据, 由于光谱分辨率和空间分辨率的限制, 产生的混合像元直接造成了提取精度不高。

WorldView-II 影像具有 8 个波段, 空间分辨率和波谱分辨率均很高。本文以 WorldView-II 数据为基础, 结合 Aster 数据的波段互补优势对南极拉斯曼丘陵 Fe 信息进行提取, 以期提高 Fe 信息的提取精度。

收稿日期: 2015-06-06

基金项目: 南极环境综合分析评估项目 (CHINARE04-02, CHINARE2014-04-02, CHINARE2015-04-02)

作者简介: 魏学娟 (1990-), 硕士研究生, 研究方向遥感地质。E-mail: 331674312@qq.com

通讯作者: 徐刚 (1966-), 研究员, 研究方向遥感地质。E-mail: xuganglx@126.com





图2 野外含磁铁矿的岩系图

Fig. 2 Field map of containing magnetite rock

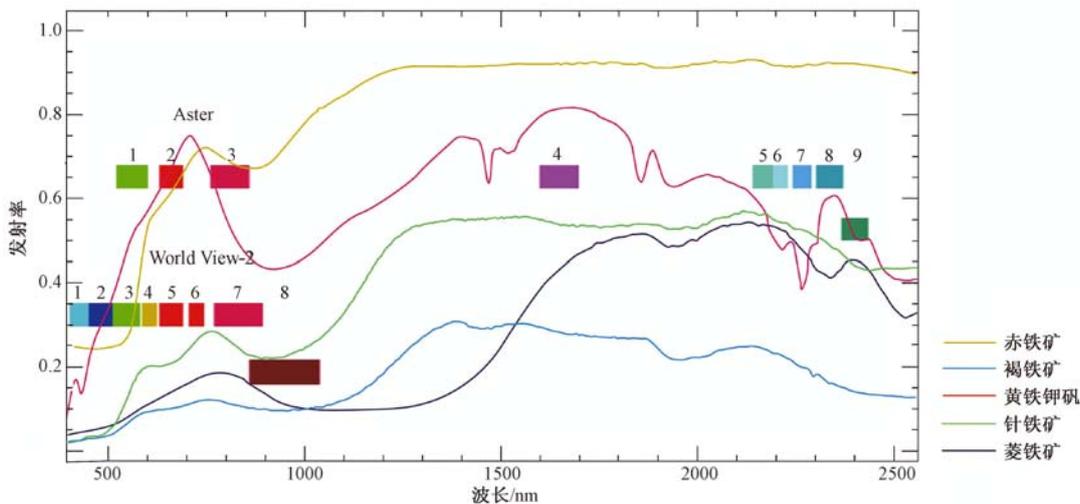


图3 典型含铁矿物波谱与 WorldView-II、Aster 波谱通道对应关系图

Fig. 3 Corresponding relations between the spectra of typical iron-bearing minerals and bands of WorldView-II and Aster

依然有限。WorldView-II 影像有 2 个优点：①空间分辨率高，多光谱空间分辨率达到了 1.8 m，全色 0.48 m，可以有效减少像元带来的混合光谱效应；②波谱分辨率高，由于  $\text{Fe}^{3+}$  的吸收特征主要位于可见光—近红外波谱范围，而 WorldView-II 在该范围有 8 个波段，与 Aster 和 Tm ( $\text{Etm}^+$ ) 比较，能够反映更多的波谱细节特征。因此，WorldView-II 对于鉴别可见光范围内的波谱特征更具优势（见图 3），但波谱覆盖范围较窄。而高光谱数据的波谱分辨率很高，但空间分辨率低，并且该数据在本研究区难以获取。因此本文尝试在主要利用 WorldView-II 数据的基础上，结合 Aster 数据的波段互补优势提取 Fe 信息，以期提高 Fe 信息遥感识别精度。两种数据的影像特征见表 1。

表1 WorldView-II 与 Aster 数据影像特征  
Table1 The data features of WorldView-II and Aster

WorldView-II 数据			Aster 数据 (仅前9波段)		
波段编号	波谱范围/nm	空间分辨率/m	波段编号	波谱范围/nm	空间分辨率/m
1	400 ~ 450	1.8			15
2	450 ~ 510				
3	510 ~ 580		1	520 ~ 600	
4	585 ~ 625		2	630 ~ 690	
5	630 ~ 690		3	760 ~ 860	
6	705.5 ~ 745				
7	770 ~ 895				
8	860 ~ 1040				
			4	1600 ~ 1700	30
			5	2145 ~ 2185	
			6	2185 ~ 2225	
			7	2235 ~ 2285	
			8	2295 ~ 2365	
			9	2360 ~ 2430	

### 3 Fe 信息提取

矿物在 380 ~ 1100 nm 波段的光谱特征主要是由金属离子产生的, 其中以 Fe 的吸收谱带最为显著。Fe<sup>2+</sup> 吸收谱带的中心波长常位于 430 nm, 450 nm, 510 nm, 550 nm, 1000 ~ 1100 nm 附近, 其中 510 nm, 550 nm 的吸收比较强, 1100 nm 附近的吸收最强, 代表矿物有菱铁矿等。Fe<sup>3+</sup> 的吸收谱带位于 400 nm, 450 nm, 490 nm, 700 nm 和 870 nm。在 400 nm, 700 nm 和 870 nm 位置附近形成强吸收带, 代表矿物有赤铁矿、针铁矿、褐铁矿等。与 WorldView-II, Aster 数据的对应关系如图 3。

#### 3.1 数据预处理

使用 AsterL1B 级数据, 已做几何校正和辐射校正, 获取时间为 2014-06-10; WorldView-II 数据获取时间为 2011-01-29, 需做辐射校正、大气校正; 其次对两种数据进行基于地形图的几何精校正; 最后对冰雪进行掩膜处理。

采用 ENVI 5.0 遥感软件进行处理, 使用的是 FLAASH 大气校正模块, 该大气校正方法是目前精度最高的大气校正模型, 适用于该研究区。

#### 3.2 Fe<sup>3+</sup> 信息提取

以 Aster 数据主成分方法及提取结果为参考, 尝试使用 WorldView-II 数据应用于 Fe<sup>3+</sup> 信息的提取。

首先利用 Aster 数据进行主成分分析。含 Fe<sup>3+</sup> 矿物, 如褐铁矿、赤铁矿, 它们在 Band1 和 Band2 呈低反射, 而在 Band4 处呈强反射, 因此可取 1、2、3、4 波段组合进行主成分分析。判别其主分量图像的标准是 Band1, Band2 和 Band4 贡献系数符号相反, 由表 2 可知, PC4 符合要求。

表2 铁染异常主成分分析向量矩阵表 (Aster)

Table 2 Eigenvector matrix of PC4

Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4
Band1	0.469764	0.566440	0.566168	0.371378
Band2	0.429949	0.211999	0.006812	-0.877584
Band3	0.685047	-0.114460	-0.652577	0.302906
Band4	-0.353802	0.788100	-0.503538	0.013138

根据第四主成分拉伸后的平均值加2倍、2.5倍、3倍的标准差,划分3个级别的异常,最后进行滤波得到提取结果(见图4a)。

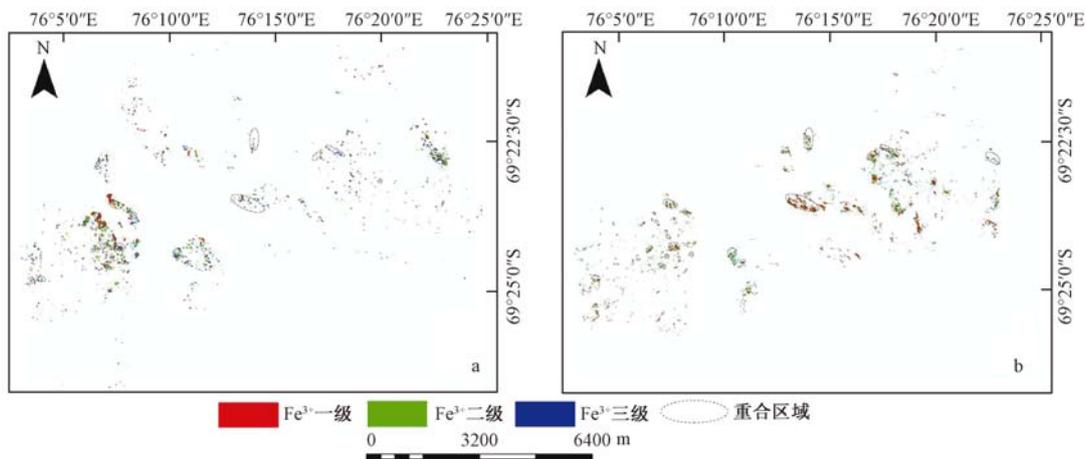
图4 基于WorldView-II与Aster数据的Fe<sup>3+</sup>信息提取结果

Fig. 4 Information extraction of ferric iron based on WorldView-II and Aster data

从图3中可以看出,WorldView-II在B1, B2, B8呈强吸收,在B4呈现反射特征,在B6呈现强反射。因此尝试使用B1, B4, B6, B8进行Fe<sup>3+</sup>离子的提取。其中, B1, B8应与B4, B6相反,且贡献系数为正, B4, B6贡献系数为负。

由表3可知,第三主成分符合要求。对其进行求反,根据第三主成分拉伸后的平均值加2倍, 2.5倍, 3倍标准差,划分3个级别的异常,最后进行滤波得到提取结果(见图4b)。

表3 铁染异常主成分分析向量矩阵表 (WorldView-II)

Table 3 Eigenvector matrix of PC3

Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4
Band1	0.202933	0.523631	0.588460	0.581674
Band4	0.911723	0.175104	-0.123917	-0.350349
Band6	0.316545	-0.485857	-0.386010	0.717453
Band8	-0.165465	0.677564	-0.699540	0.155476

从图4可以看出,两种数据提取的Fe<sup>3+</sup>信息分布趋势大体一致,大部分区域重合;表4显示两数据提取的各异常级别Fe<sup>3+</sup>信息的面积也大体一致,说明WorldView-II提取Fe<sup>3+</sup>信息具可行性。加之WorldView-II空间分辨率较高,提取结果更能体现细节信息;而Aster数

据分辨率较低, 只能识别大范围的蚀变异常<sup>[14]</sup>。因此, 本文最终采用 WorldView-II 的提取结果。

表4 WorldView-II 与 Aster 数据提取的 Fe<sup>3+</sup> 面积统计

Table 4 Ferric iron area statistics using WorldView-II and Aster data

异常级别	Fe <sup>3+</sup> 面积/m <sup>2</sup>	
	WorldView-II	Aster
一级	499736.23	391950.00
二级	585676.42	504000.00
三级	441789.55	555300.01

### 3.3 Fe<sup>2+</sup> 信息提取

#### 3.3.1 比值法

对于 Fe<sup>2+</sup> 信息, 首先使用 Aster 数据比值法确定大致范围。在 Band1, Band2, Band3, Band4 反射率逐渐增高, 而在 Band4 处呈强反射, 因此运用 Band4/Band3 比值进行提取, 高值区域即为可能的 Fe<sup>2+</sup> 信息。

#### 3.3.2 协同数据

由于 Fe<sup>2+</sup> 信息在 1000 ~ 1100 nm 附近的吸收最强, 而该处吸收谷受多光谱分辨率的限制, 无法在遥感影像中反映出来。但 Fe<sup>2+</sup> 矿物 (如菱铁矿), 在 WorldView-II Band6、WorldView-II Band7 与 Aster Band4 之间或 WorldView-II Band6、WorldView-II Band8 与 Aster Band4 之间形成一个 V 字型 (见图 5), 因此可以利用波段深度比值法来增强 Fe<sup>2+</sup> 信息。

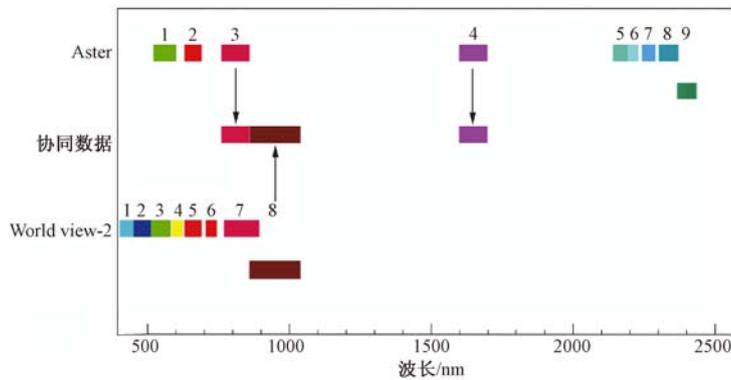


图5 WorldView-II, Aster 和协同数据波谱范围图

Fig. 5 Spectrum map of WorldView-II, Aster and synergetic data

波段深度比值法适用于在某一波段有强烈吸收, 在两侧波段反射率较高的情况。具体计算时, 分子为两侧吸收肩数值之和 (Aster Band3 + Aster Band4), 分母为最接近吸收谷的波段数值 (WorldView-II Band8), 通过比值突出吸收特征。

因此, 设计公式如下:

限制条件: (WorldView-II Band6 > WorldView-II Band8) U (Aster Band4 > WorldView-II Band8)

增强方法: (Aster Band3 + Aster Band4) / WorldView-II Band8

按照上述思路, 若要实现本节中设计的波段算法就需要将多种传感器下的卫星波段信息

归一化到同一个标准上, 才能对不同传感器下的相关波段进行运算。

理想的归一化数据(以下称为协同数据<sup>[15]</sup>)处理过程: ①象元匹配, 包括不同源遥感数据空间分辨率的统一、像元位置的配准和同一区域范围内像元数量的统一; ②影像辐射匹配, 消除不同时相拍摄获得的不同源遥感数据辐射差异。

但由于本研究区大部分被雪覆盖, 且有时相差异, 两种数据基岩边界因时相不同存在差异, 尤其是 Aster 数据并不清晰, 因此很难达到空间的吻合, 因此本文以 WorldView-II Band7 > WorldView-II Band8 为限制条件, 在该限制条件下提取  $\text{Fe}^{2+}$  信息可能的分布区域。

对上述两种方法在 ArcGIS 中求其并集, 即为较完整的  $\text{Fe}^{2+}$  信息可能的分布区域, 提取结果见图 6, 图 7。

### 3.4 结果分析

研究区 Fe 信息总体呈零星分布, 主要分布在斯图尔内斯半岛东北部、友谊峰西侧以及熊猫岛、布洛克内斯半岛和海珠半岛西部。

提取的 Fe 信息面积共计  $1.79 \text{ km}^2$ , 约占研究区总面积的  $5.04\%$ , 其中含  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  信息面积分别占  $4.33\%$ ,  $1.19\%$ , 重合面积为  $0.48\%$ 。 $\text{Fe}^{3+}$  主要分布于斯图尔内斯半岛东北部、熊猫岛和布洛克内斯半岛西部等地;  $\text{Fe}^{2+}$  分布区域主要有熊猫岛东北部、布洛克内斯半岛及米洛半岛的东部等。

含  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  信息集中分布在混合片麻岩及副片麻岩区域, 分别占 Fe 信息总面积的  $80.39\%$ ,  $15.73\%$ , 与野外调查结果基本一致。详细统计结果(见图 8)显示, 副片麻岩区 Fe 信息占 Fe 总面积的  $15.73\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $12.95\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $2.78\%$ ; 正片麻岩区 Fe 信息占 Fe 总面积的  $0.46\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $0.45\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $0.02\%$ ; 花岗岩区 Fe 信息占 Fe 总面积的  $3.24\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $2.42\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $0.82\%$ ; 铁镁质麻粒岩区 Fe 信息占 Fe 总面积的  $0.07\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $0.06\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $0.01\%$ ; 混合片麻岩区 Fe 信息占 Fe 总面积的  $80.39\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $62.42\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $17.97\%$ ; 复合正片麻岩 Fe 信息占 Fe 总面积的  $0.10\%$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  占  $0.08\%$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  占  $0.03\%$ 。

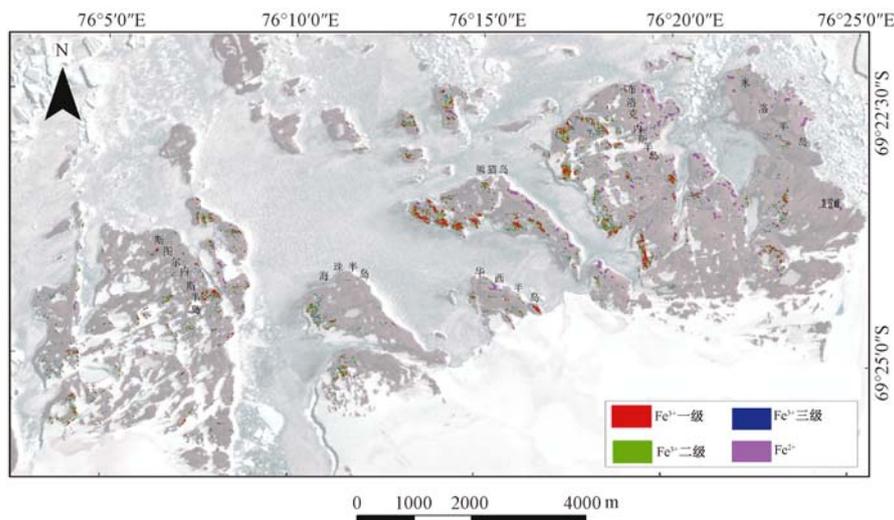


图 6 Fe 信息提取结果图

Fig. 6 Extraction map of iron information

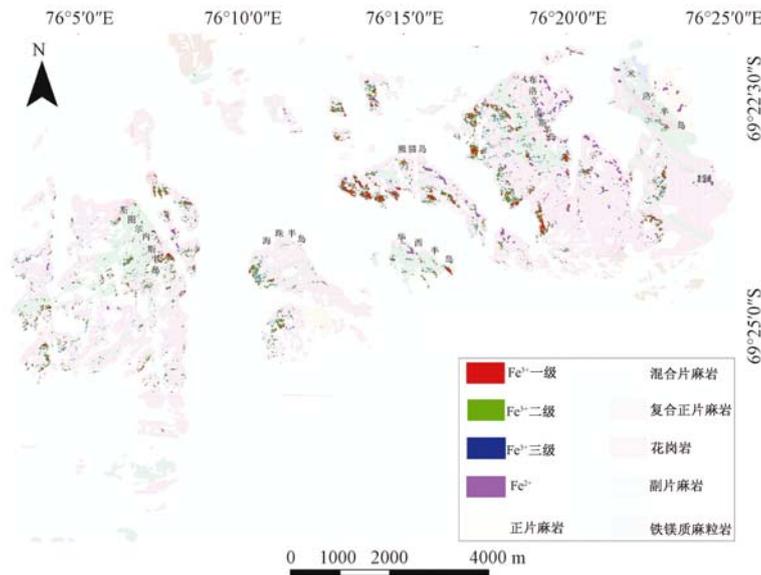


图 7 Fe 信息分布图

Fig. 7 Distribution image of iron information

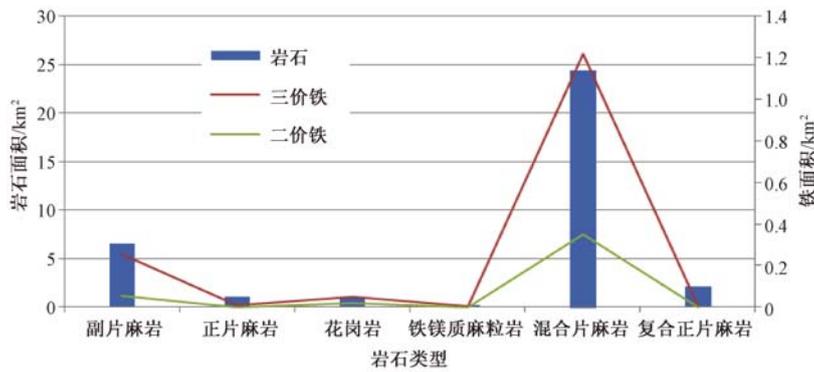


图 8 Fe 信息提取结果统计

Fig. 8 Statistical result of iron information

### 4 结论

基于 WorldView-II 数据, 再结合 Aster 数据的波段互补优势, 提高东南极拉斯曼丘陵 Fe 信息遥感识别精度, 取得良好的实验结果。

使用 WorldView-II 数据下的主成分法提取 Fe<sup>3+</sup> 信息, 提取的 Fe<sup>3+</sup> 矿物结果更详细、更具体, 提高了 Fe<sup>3+</sup> 信息提取的精度。

对于 Fe<sup>2+</sup> 信息的提取, 使用 Aster 比值法, 同时以 WorldView-II 数据下的 Band7 > Band8 为限制条件, 得到了良好的实验结果。

尝试使用 Aster 与 WorldView-II 协同数据下的波段运算法, 以达到优势互补的目的。Fe<sup>2+</sup> 矿物在 WorldView-II Band6 或 Band7、WorldView-II Band8 与 Aster Band4 之间形成一个

“V”字型,因此在波谱归一化的前提下,可以利用波段深度比值法来增强  $Fe^{2+}$  信息。

研究区 Fe 信息主要在斯图尔内斯半岛东北部、友谊峰西侧以及熊猫岛、布洛克内斯半岛和海珠半岛西部等地零星分布。

Fe 信息集中分布于混合片麻岩及副片麻岩区域,分别占 Fe 信息总面积的 88.09%、17.23%,与野外调查结果基本一致。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Crosta A P, MOORE, Mcm J. Enhancement of Landsat at Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: A prospecting case history in Greenstone Belt Terrain [ C ] // Calgary. Proceeds in gs of the 9<sup>th</sup> Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology. Ann Arbor, M I: Environmental Research Institute of Michigan, 1989: 1173 ~ 1187.
- [ 2 ] 陈伟荣, 郭德方, 兰玉琦. 比值合成和特征主成分选择技术在提取油区信息中的应用 [ J ]. 遥感技术与应用, 1995, 10 ( 3 ): 33 ~ 39.  
CHEN Wei-rong, GUO De-fang, LAN Yu-qi. The application of Band Ratio Composite and Feature-oriented Principal Component Selection in the extraction of oil-gas signature [ J ]. Remote Sensing Technology and Application, 1995, 10 ( 3 ): 33 ~ 39.
- [ 3 ] 马建文. 利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究 [ J ]. 遥感学报, 1997, 1 ( 3 ): 209 ~ 214.  
MA Jian-wen. Methodology study of quickly identifying mineral bearing alterations from TM data [ J ]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1 ( 3 ): 209 ~ 214.
- [ 4 ] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. ETM<sup>+</sup> ( TM ) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程 [ J ]. 国土资源遥感, 2003, ( 2 ): 45 ~ 50.  
ZHANG Yu-jun, ZENG Zhao-ming, CHEN Wei. The methods for extraction of alteration anomalies from the ETM<sup>+</sup> ( Tm ) data and their application: Method selection and technological flow chart [ J ]. Remote Sensing for Land and Resources, 2003, ( 2 ): 45 ~ 50.
- [ 5 ] 别小娟, 孙传敏, 张廷斌, 等. 玉龙斑岩铜矿带北段 ASTER 遥感蚀变信息提取与优选 [ J ]. 中国矿业, 2014, 23 ( 4 ): 69 ~ 74.  
BIE Xiao-juan, SUN Chuan-min, ZHANG Ting-bin, et al. Extraction and optimization of ASTER remote sensing alteration information in the north of Yulong porphyry copper belt [ J ]. China Mining Magazine, 2014, 23 ( 4 ): 69 ~ 74.
- [ 6 ] 唐超, 陈建平, 张瑞丝, 等. 基于 ASTER 遥感数据的班怒成矿带矿化蚀变信息提取 [ J ]. 遥感技术与应用, 2013, 28 ( 1 ): 123 ~ 128.  
TANG Chao, CHEN Jian-ping, ZHANG Rui-si, et al. Alteration from ASTER remote sensing data in Bannu metallogenic belt, Gaize, Tibet [ J ]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28 ( 1 ): 123 ~ 128.
- [ 7 ] 陈小云, 胡光道. 用 ASTER 数据提取云南个旧西区矿化蚀变信息 [ J ]. 云南地质, 2008, 27 ( 4 ): 502 ~ 508.  
CHEN Xiao-yun, HU Guang-dao. The extraction of metallogenesis and alteration information of West Gejiu, Yunnan with ASTER [ J ]. Geological of Yunnan, 2008, 27 ( 4 ): 502 ~ 508.
- [ 8 ] 杨长保, 姜琦刚, 刘万崧, 等. 基于 ASTER 数据的内蒙古东乌珠穆沁北部地区遥感蚀变信息提取 [ J ]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39 ( 6 ): 1163 ~ 1167.  
YANG Chang-bao, JIANG Qi-gang, LIU Wan-song, et al. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in northern Dong Ujimqin, Inner Mongolia [ J ]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39 ( 6 ): 1163 ~ 1167.
- [ 9 ] 付洪波. 基于光谱角制图法的遥感异常信息提取 [ J ]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34 ( 6 ): 82 ~ 84.  
FU Hong-bo. Abnormal information extraction from remote sensing image based on Spectral Angle Mapping [ J ]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2011, 34 ( 6 ): 82 ~ 84.
- [ 10 ] 代晶晶, 曲晓明, 辛洪波, 等. 基于遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取 [ J ]. 地质通报, 2010, 29 ( 5 ): 752 ~ 759.  
DAI Jing-jing, QU Xiao-ming, XIN Hong-bo, et al. Extraction of alteration mineral information using ASTER remote sensing data in Duolong area, Tibet, China [ J ]. Geological Bulletin of China, 2010, 29 ( 5 ): 752 ~ 759.

- [11] 陈艳, 张鹏涛. 基于遥感的个旧西区矿化蚀变信息提取 [J]. 矿业工程, 2010, 8 (3): 18~20.  
CHEN Yan, ZHANG Peng-tao. Mineralization and alteration information extraction in the western Gejiu [J]. Mining Engineering, 2010, 8 (3): 18~20.
- [12] 吴海罗, 陈奕霖. 塔什库尔干地区铁蚀变信息提取研究 [J]. 国土与自然资源研究, 2013, (1): 45~46.  
WU Hai-luo, CHEN Yi-lin. The Taxkorgan regional iron alteration information extraction [J]. Territory and Natural Resources Study, 2013, (1): 45~46.
- [13] 陈晔, 何政伟, 邓辉, 等. 利用 ASTER 影像识别和提取矿化蚀变信息 [J]. 桂林理工大学学报, 2014, 34 (1): 51~57.  
CHEN Ye, HE Zheng-wei, DENG Hui, et al. Identification and extraction of mineralized alteration information by ASTER remote sensing data [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2014, 34 (1): 51~57.
- [14] 王晓鹏, 杨志强, 康高峰, 等. WorldView-2 高分辨率卫星数据在西昆仑塔什库尔干地区遥感地质调查中的应用 [J]. 地质找矿论丛, 2014, 29 (3): 428~432.  
WANG Xiao-peng, YANG Zhi-qiang, KANG Gao-feng, et al. Application of Worldview-2 data to remote sensing geological survey in Tashkurgan area at west Kunlun [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources, 2014, 29 (3): 428~432.
- [15] 张斌, 张志, 帅爽, 等. 利用 Landsat-8 和 Worldview-2 数据进行协同岩性分类 [J]. 地质科技情报, 2015, 34 (3): 208~213.  
ZHANG Bin, ZHANG Zhi, SHUAI Shuang, et al. Lithological mapping by using the synergistic Landsat-8 and WorldView-2 images [J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34 (3): 208~213.

## IRON INFORMATION EXTRACTION IN LARSEMANN HILLS OF ANTARCTIC BASED ON WORLDVIEW – II AND ASTER DATA

WEI Xue-juan, XU Gang

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Combined with the Aster data of complementary bands, we studied the iron extraction information in Larsemann Hills at Antarctic continental margin using the WorldView-II remote sensing images with high spatial and spectral resolution. The results show that it could achieve the complementary advantages when ferric iron information is extracted by using the principal components analysis with comparison of the WorldView-II and Aster data and ferrous ion information is extracted by using band calculations of the WorldView-II and Aster synergetic data. The iron information extraction results show that the iron-bearing minerals mainly existed in mixed gneiss and paragneiss area, accounting for 79.44% and 17.44% of the total area, which is consistent with the field survey results.

**Key words:** multi-source remote sensing; principal component analysis; ratio method; iron information extraction