

内蒙东部赤峰地区小井子一带遥感地质找矿应用

李国志¹, 丛利民¹, 沈丽霞², 宋俊峰³

(1. 内蒙古地勘局 115 地质队, 内蒙 乌兰浩特 137400; 2. 天津华北地质勘查局, 天津 300181;

3. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020)

摘要:在内蒙东部赤峰地区小井子一带,开展遥感地质找矿应用研究,首先对 ETM⁺ 数据进行了图像几何校正、影像融合、假彩色合成等基础影像处理工作;之后对工作区进行构造解译,对包括线性构造、菱形构造、环形构造等与成矿有关的空间信息进行提取;以及利用 ETM⁺ 的 1~5,7 等波段几何校正数据进行了蚀变异常提取工作,包括褐铁矿化蚀变异常,含羟基和碳酸盐化蚀变异常。最后结合地质、矿产、化探资料,优选 4 处遥感找矿靶区,为野外工作部署提供参考。

关键词:遥感;ETM⁺;构造;蚀变异常;内蒙古

中图分类号:P627

文献标识码:A

遥感技术应用于地质找矿具有悠久的历史,早期在构造解译和地质单元追索方面取得了巨大成就。近 20 年来,随着遥感技术的发展,遥感数据空间分辨率和波谱分辨率的提高,遥感数据的利用从宏观定性解译过渡到对地物物质成分的识别,并且向着量化的方向发展。利用遥感技术提取矿化蚀变信息,国内外都进行了卓有成效的研究,其中 ETM⁺ 数据的应用形成了比较稳定的方法和技术路线^[1-4]。近年来,我国战略性矿产远景调查工作中引入遥感勘查技术,其工作目的是从遥感图像(或数据)中最大限度的提取有关岩石、地层、构造、矿产等信息以增加地质工作预见性,有效部署野外调查研究工作^①。这项工作在基岩裸露程度高的地区应用效果较好,本次工作地区,森林覆盖率高,基岩裸露程度低,遥感地质解译工作难度较大,但借助时相选择、数据处理及其他地质信息依然取得了很好的效果。

1 区域地质概况

工作区地理座标为东经 119°30'00" - 120°00'00", 北纬 44°20'00" - 44°40'00", 位于内蒙古高原向东北平原的过渡带上,属中低山地貌,水系发育,植被茂盛。

工作区区域上位于大兴安岭新华夏系南端东侧,受大兴安岭 NE 向构造控制,地质体呈 NE 向展布,NW 向断裂常错断 NE 向构造和地层,形成时间晚于 NE 向。区内主要分布二叠系的砂岩、侏罗系的凝灰岩、安山岩和第四系松散堆积物,具体岩性特征见表 1。侵入体以白垩纪黑云母花岗岩、钾长花岗岩为主,零星分布酸性小岩株,另外还有少量中性、基性、碱性等类型的脉岩(图 1)。

矿区分布的内生多金属矿产以铁、铜、铅、锌为主,主要产在侏罗系玛尼吐组安山岩和二叠系寿山组的砂质板岩夹大理岩地层中。矿产分布明显受

收稿日期:2009-08-18

基金项目:中国地质调查局项目(编号:1212010733802),内蒙政府地勘项目(编号:08-1-HK01)

作者简介:李志国(1962—),男,高级工程师,长期从事地质矿产勘查与 GIS 应用等研究工作。

① 中国地质调查局,中国地质调查局地质调查技术标准:战略性矿产远景调查技术要求 DD-2004-4. 2004.

白垩纪黑云母花岗岩和钾长花岗岩岩体的控制,主要分布在岩体的内外接触带(图 1)^①。

表 1 赤峰地区小井子一带地层简表
Table 1 Stratum of Xiaojingzi area, Chifeng city

地层单位				代号	岩性
界	系	统	组		
新生界	第四系	全新统		Qh ^{al}	冲积砂砾石、亚砂土
				Qh	冲洪积砂砾石、细砂土、粘土及风积砂
中生界	侏罗系	上统	白音高老组	J ₃ b	流纹岩、凝灰岩、凝灰角砾岩
			玛尼土组	J ₃ mn	安山岩、流纹安山岩及凝灰岩、凝灰砂岩
			满克头鄂博组	J ₃ mk	流纹岩、凝灰岩及凝灰砂岩、安山岩
		中统	新民组	J ₂ x	浅色凝灰岩、炭质页岩及酸性凝灰岩
	二叠系	上统		P ₃ l	浅灰色砂砾岩、淡水砂质灰岩、含砾灰岩、变质细砂岩、板岩
		中统	哲斯组	P ₂ zs	灰色、深灰色砂质板岩、泥质板岩夹大理岩、层凝灰岩、酸性岩屑晶屑凝灰岩
			寿山组	P ₂ ss	黑色、黄绿色细砂岩、砂质板岩、泥质板岩夹结晶灰岩;灰色变质细砂岩、粉砂岩、板岩及千枚状石英片岩、绿色石英片岩夹薄层磁铁石英岩

2 遥感信息源

美国 Landsat - 7 的 ETM⁺ 数据是遥感地质矿产勘查工作中应用最广的数据源,它包含 8 个波段(表 2),波段 1 ~ 5、7 地面分辨率为 30 m,波段 6 地面分辨率 60 m,波段 8 地面分辨率为 15 m。TM 5 (1.55 ~ 1.75 μm)和 TM 7(2.08 ~ 2.35 μm)波段是地球科学家 Rowan L C 和 Goetz A F H 等人于 70 年代后期建议在资源卫星上增设的,目的是利用蚀变岩类在 2.2 μm 附近的强吸收谷来圈定蚀变岩类。

工作区地处森林覆盖区,冬季寒冷、积雪覆盖,夏季 7 ~ 9 月植被生长茂密,为减少冬季积雪覆盖和夏季植被覆盖的干扰,选择了冬末 - 夏初的数据,时间为 2000 年 6 月 26 日,轨道号为 122 - 029。该景数据影像中云量分布较少,透明度高,从影像上看,植被覆盖区范围较夏季明显缩小。

3 数据预处理

(1)图像几何精校正:图像处理首先从图像校正开始,主要包括辐射校正和几何校正,目的是纠正原始图像的辐射变形和几何变形^[5]。辐射校正由遥感卫星地面站完成,几何校正采用地形图同名地物作为控制点进行精校正,校正过程中同时完成投影变换,目的是利用地理信息系统空间分析功能与其它地质信息相结合进行综合分析,本次校正投影参数为:

- 投影类型(Projection Type):Gauss Kruger
- 参考椭球体(Spheroid Name):Krasovsky
- 基准面名称(Datum):Pulkovo 1942
- 中央经线(Longitude of central meridian):117:00:00.00 E
- 原点纬度(Latitude of origin projection):0:00:00.0000 N
- 假东(False casting):500000 meters
- 假北(False northing):0.0000 meters

① 辽宁省第二区域地质测量队,协理幅、巴林左旗幅 1:20 万区域地质矿产报告,1971。

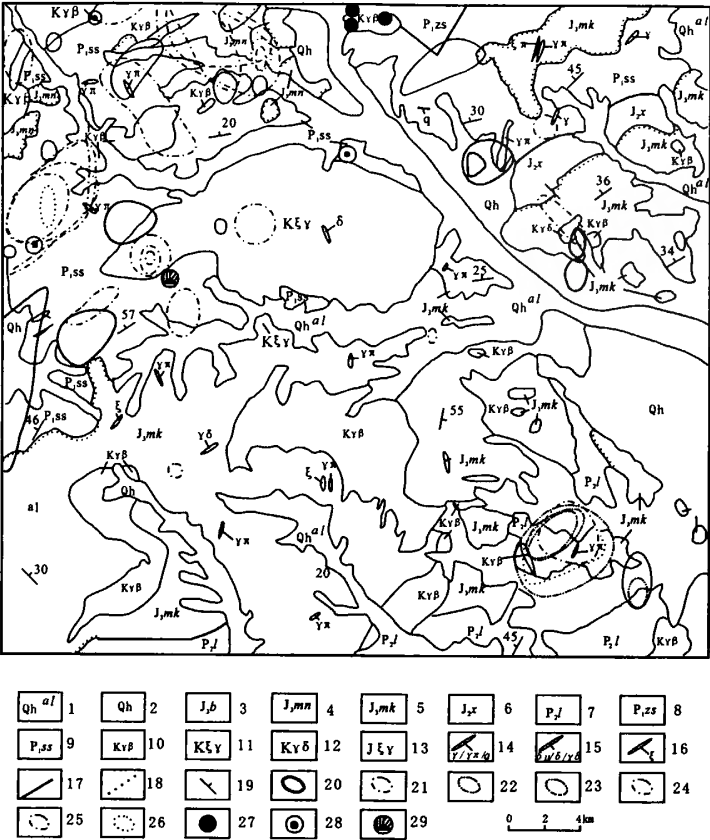


图 1 赤峰地区小井子一带地质矿产图

Fig. 1 Geology and mineral resources map of Xiaojingzi area, Chifeng city

1. 冲积砂砾石、亚砂土;2. 冲洪积砂砾石、细砂土;3. 白音高老组:流纹岩、凝灰岩;4. 玛尼吐组:安山岩、流纹安山岩;5. 满克头鄂博组:流纹岩、凝灰岩;6. 新民组:凝灰岩、炭质页岩;7. 二叠系上统砂砾岩、淡水砂质灰岩;8. 哲斯组:砂质板岩、泥质板岩夹大理岩;9. 寿山沟组:细砂岩、砂质板岩、泥质板岩夹结晶灰岩;10. 黑云母花岗岩;11. 钾长花岗岩;12. 花岗闪长岩;13. 斑状钾长花岗岩;14. 花岗岩/流纹斑岩/石英脉;15. 闪长玢岩/闪长岩/花岗闪长岩;16. 正长斑岩;17. 实测断裂;18. 推测断裂;19. 地层产状;20. 金异常;21. 银异常;22. 铜异常;23. 铅异常;24. 锌异常;25. 钨异常;26. 钼异常;27. 铜矿点;28. 铁矿点;29. 多金属矿点

表 2 ETM⁺数据特征参数表

Table 2 Performance parameters for ETM⁺

波段序号	波段	波长范围(μm)	空间分辨率(m)
band1	兰色	0.45 ~ 0.52	30
band2	绿色	0.52 ~ 0.6	30
band3	红色	0.63 ~ 0.69	30
band4	近红外	0.76 ~ 0.90	30
band5	短波红外	1.55 ~ 1.75	30
band6	热红外	10.4 ~ 12.5	60
band7	短波红外	2.08 ~ 2.35	30
PAN	全色波段	0.50 ~ 0.90	15

Y(2)图像融合及假彩色合成:合成一幅高分辨率的彩色图像,是遥感地质工作的基础,Landsat-7 的 1~5 和 7 波段的空间分辨率是 30 m,pan 波段是 15 m,利用 pan 波段融合 1~5 和 7 波段,将空间分辨率提高到 15 m,增加了图像的清晰度和信息量。融合方法选择主成分替换法。将融合后的图像 741(R:7,G:4,B:1)合成假彩色图像,图像上红色为基岩、土壤信息,绿色代表植被,蓝色反映水体(图 2)。

4 构造解译标志建立与解译结果分析

工作区植被发育,山前平原、河谷平原、水系中第四系冲洪积严重覆盖,地质界限不清,但是从影像图上看,线形、菱形、环状等影像清楚,这些影像往往包含特殊地质涵义。

(1)线状、菱形影像:线状影像的地质解释可能是断裂、岩脉、地质界线等。解译标志主要是呈线性展布的色调异常或不同色调的分界线,如河谷、山脊成线状延伸或被切割,河道的突然变宽变窄等等。解译结果显示线性构造主要为 NE 向和 NW 向,其中 NW 向构造规模大,表现为一系列近似平行的线性构造;NE 向线性构造影像明显,断距小。

菱形块状影像多为断层交汇部位,锐角交汇处往往是矿床产出的有利地段。

(2)环形影像:主要解译标志是由水系构成的环状影像、孤立的山包或呈放射状水系。环形影像的可能解释是火山机构、火山口、与岩浆活动有关的接触变质带或与构造活动有关的环形体。该类影像解译对找矿有重要意义,特别是环形构造与线性构造的交汇部位,往往是与成矿关系密切的部位。

band4、band5 主成分分析的特征向量矩阵表明(表 3),主分量 Pca3 载荷主要为正的 Band4 和负的 band3 和 Band5,通过取反(方程(1)),强化了褐铁矿化异常信息,即主分量 Pca3 在 band4 表现为负值,代表褐铁矿化蚀变异常图。为增加异常的可视性,以统计分析结果为基础进行阈值分割,一级异常定为(平均值+1.5 标准差)~(平均值+2 标准差),二级异常定为(平均值+2 标准差)~最大值(表 4),异常分布见图 2。

$$-Pca3 = -0.616180 \times band1 + 0.056939 \times band3 - 0.653814 \times band4 + 0.435439 \times band5 \quad (1)$$

(2)含羟基、碳酸盐化蚀变异常提取:band1、band4、band5、band7 主成分分析的特征向量矩阵表明(表 3)主分量 Pca4 取反后(方程 2)的载荷主要为正的 Band5 和负的 Band7,强化了含羟基和碳酸盐化蚀变信息,为增加异常的可视性同样进行了阈值分割(表 4)。

$$-Pca4 = -0.13158 \times band1 - 0.2002719 \times band4 + 0.73007 \times band5 - 0.639977 \times band7 \quad (2)$$

5 蚀变信息提取与地质解释

5.1 蚀变异常提取

在蚀变异常提取前进行了图像掩膜处理,将第四系分布区和植被严重覆盖地区去除掉,减少其对数据处理的干扰。蚀变异常提取采用了比值、主成分分析、光谱角填图等技术进行多次实验并与地质、矿产、化探异常等方面的信息相结合进行综合分析。

Crosta 法则是一种特殊的主成分分析法^[3-4, 6, 7],它以 band1、band3、band4、band5 主成分分析完成褐铁矿化蚀变异常提取,提取的准则是变换后的主分量 band3、band5 正载荷,band4 负载荷,即增强 Fe^{3+} 在 900 nm 光谱区间的吸收特征;以 band1、band4、band5、band7 主成分分析完成富含羟基、碳酸盐化蚀变异常提取,提取的准则是变换后的主分量包含负载荷 band7,即增强 2200 nm 处光谱吸收特征,这个光谱区间是富含羟基和碳酸盐化蚀变矿物的特征吸收区间。

(1)褐铁矿化蚀变异常提取: band1、band3、

表 3 主成分分析特征矩阵

Table 3 Eigenvectors matrix of principal component analysis

特征 向量		Band1	Band3	Band4	Band5
褐铁 矿化 蚀变 异常	Pca1	0.734201	0.124737	-0.667042	0.021072
	Pca2	-0.050816	0.990310	0.129013	-0.00769
	Pca3	0.616180	-0.056939	0.653814	-0.435439
	Pca4	0.280515	-0.022007	0.333072	0.899939
含羟 基、 碳酸 盐化 蚀变 异常	特征 向量	Band1	Band4	Band5	Band7
	pca1	0.352658	0.623496	0.577675	0.391377
	Pca2	-0.025427	0.714492	-0.342776	-0.609393
	Pca3	-0.926106	0.246263	0.125659	0.256695
	Pca4	0.13158	0.200271	-0.730072	0.639977

5.2 蚀变异常特征及地质解释

从空间分布范围来看,褐铁矿化蚀变异常和含羟基、碳酸盐化蚀变异常大部分重合,主要分布在二叠系寿山沟组、侏罗系满克头鄂博组、侏罗系玛尼吐组地层中,以及白垩纪黑云母花岗岩、钾长花

岗岩岩体及围岩接触带上的蚀变异常由矿化引起的可能性较大。



图2 遥感蚀变异常、解译构造及假彩色合成图像
Fig.2 Alteration anomalies and structures from ETM⁺, and false color images

表4 异常图特征参数值

Table 4 Statistic parameters for alteration anomaly map			
项目	褐铁柱矿化蚀变异常图	含羟基、碳酸盐化蚀变异常图	
最小值	44.569	-23.99	
最大值	54.059	13.346	
平均值(x)	44.772	-0.2680	
标准差(s)	1.185	3.0090	
统计值	x+1.658	46.7272	4.69685
	x+2s	47.1420	5.7500
	二级异常	54 ~ 50(红色)	5.75 ~ 19.25(粉色)
	一级异常	50 ~ 47(黄色)	4.25 ~ 5.75(青色)

6 成矿预测

将地质上具有成因联系的异常以包络线形式划归为一个异常区,工作区共划分了9个异常区。本次工作结合地质、矿产、化探异常资料优选了4处找矿有利地区,分别为 Yg1、Yg3、Yg4、Yg9 异常(图2)。

Yg1 异常区:位于阿尔通托果西部,白垩纪黑云母花岗岩与二叠系寿山沟组地层分布区的接触带上,异常区内中酸性岩脉发育,蚀变强烈,异常受遥感解译的线性构造控制,与1:20万化探异常图中的Ag、Pb、Zn、W异常吻合,成矿条件有利,是找矿的有利地区。

Yg3 号异常:分布于二叠系寿山沟组地层和遥感解译的菱形构造区上,区内中酸性岩脉发育,与1:20万化探Ag、Zn、Cu、Mo、Pb、W异常中心吻合极好,是找矿有利地区。

Yg4 异常区:位于小井子北部的白垩纪黑云母花岗岩体及外围的二叠系寿山沟组地层的接触带上。1:20万区调发现岩体与围岩接触带硅化、绢云母化蚀变均较好,已知铁矿化点2个。异常西南部的蚀变异常与区域化探图中的Ag、Pb、Zn、Cu异常吻合,成矿条件好,是找矿的有利地区。

Yg9 异常区:衣喝西纳山东南部,区内地势平坦,主要分布侏罗系上统满克头鄂博组地层,中酸性脉岩发育,遥感解译的环、线构造发育,与1:20

万化探异常图中的 Pb、Ag、Mo、Cu、W 异常吻合极好,是找矿的有利地区。

7 结论

(1) 轨道号为 122-029, 时间为 2000 年 6 月 26 日的遥感 ETM⁺ 数据经过几何校正、图像融合、假彩色合成, 以及主成分分析等数据处理手段完成了构造解译和蚀变异常提取等工作。

(2) 7、4、1 波段合成的假彩色图像提供了清晰的影像和丰富的信息, 满足区域构造解译条件。从构造解译结果分析, 区内环、线构造发育。环形构造主要与岩体、火山机构有关; 线性构造以 NE 向、NW 向为主。断裂交汇处或环线相切处是找矿的有利地区。

(3) 将植被、水系等干扰因素去除之后, 运用 Crosta 法则有效的提取了矿化蚀变异常信息, 其中 1、3、4、5 波段的主成分分析提取了铁染蚀变异常; 1、4、5、7 波段的主成分分析提取了羟基、碳酸盐化蚀变异常。

(4) 结合地质、矿产、化探资料, 筛选了 4 处遥感蚀变异常。这些异常区主要地层为寿山沟组细砂岩、砂质板岩和二叠系上统浅灰色砂砾岩, 侵入体以白垩纪黑云母花岗岩为主, 中酸性岩脉发育, 构造活动强烈, 与铅、锌、银、铜、钼等化探异常相伴

生, 部分异常区已有铜、铁等多金属矿产分布, 具有较大找矿潜力。

参考文献:

- [1] Abrams M J, Ashley R P, Brown L C, et al. , Mapping of hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nevada, using aircraft scanning images for the spectral region 0.46 to 2.36 μm [J]. *Geology*, 5(12):713—718.
- [2] Sabins F F. Remote sensing for mineral exploration [J]. *Ore Geology Reviews*, 1999, 14:157—183.
- [3] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. ETM⁺ (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, 56(2):44—50.
- [4] 张玉君, 杨建民. 基岩裸露区蚀变遥感信息的提取方法[J]. *国土资源遥感*, 1998, 36(2):46—53.
- [5] Jensen J R 著. 陈晓晓, 龚威, 李平湘, 等, 译. 遥感数字影像处理导论. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [6] Crosta A P, Moore J McM. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan), 1989, 1173—1187.
- [7] 丛丽娟, 岑况, 黄增芳, 等. 内蒙古西部朱拉扎嘎金矿遥感蚀变异常与化探异常对比研究[J]. *华南地质与矿产*, 2008, (1):29—35.

Application of Remote Sensing for Geological Exploration in Xiaojingzi Area, Chifeng, Eastern Inner Mongolia

LI Guo-zhi¹, CONG Li-min¹, SHEN Li-xia², SONG Jun-feng³

(1. No. 115 Geological team, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resource, Wulanhot 137400, Inner Mongolia, China; 2. North China Bureau of Geological Exploration, Tianjin 300181, China; 3. Institute of Geological Investigation of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China)

Abstract: Remote sensing technique is used for geological exploration in Xiaojingzi area, Chifeng, eastern Inner Mongolia. The ETM⁺ data acquired in 26th June 2000 is first processed by geometric correction, image merging and false color composite et al., and then spatial information (including linear structure, rhombic structure and annular structure, et al.) is extracted. Geometric correction data from band 1~5 and 7 of ETM⁺ is used for extracting alteration anomaly including limonitization, OH⁻ and CO₃²⁻-bearing alteration. Four exploration target is proposed by synthesizing geology, mineral resources, geochemical exploration data with remote sensing data, which provide useful information for the future prospecting works.

Key words: remote sensing; ETM⁺; structure; alteration anomaly; Inner Mongolia