

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020317

引用格式: 魏英娟,刘欢. 北衙金矿床遥感矿化蚀变信息提取及找矿预测[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):156 – 163. (Wei Y J,Liu H. Remote sensing – based mineralized alteration information extraction and prospecting prediction of the Beiya gold deposit, Yunnan Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(3):156 – 163.)

北衙金矿床遥感矿化蚀变信息提取及找矿预测

魏英娟¹, 刘 欢²

(1. 自然资源部国土卫星遥感应用中心,北京 100048; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要: 在利用遥感技术找矿中,矿化蚀变信息识别与提取起着重要作用。以北衙金多金属矿为例,选择 Landsat8 OLI 数据,根据与矿物蚀变相关的光谱特征,采用主成分分析法,设计了干扰信息(植被、水体和阴影)去除 – 异常信息提取 – 异常分级 – 中值滤波 – 异常筛选的蚀变信息提取方案,所得结果结合遥感地质解译(岩性、构造)、野外实地查证圈定出研究区内 3 处找矿远景区,为北衙区地质找矿工作提供了基础数据和决策依据。

关键词: 蚀变异常信息提取; 主成分分析; 遥感; 地质解译; 找矿预测

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 2097 – 034X(2021)03 – 0156 – 08

0 引言

遥感以其宏观性、综合性的特点,已成为人类研究地球表层系统的有力工具。多光谱遥感根据不同光谱特征对地物的响应特征,能够客观反映地质体、构造及矿化蚀变等地质要素,在地质找矿领域发挥着重要作用^[1]。北衙金多金属矿区是金沙江 – 哀牢山富碱斑岩带内已发现规模最大的新生代富碱斑岩型金多金属矿床,在西南三江地区占有极为重要的地位,前人虽然曾经在岩体、地球化学、地球物理等单方面信息及地、物、化多源综合信息等方面开展过找矿预测工作^[2],但是,利用遥感技术手段开展北衙矿区成矿预测研究相对较少,主要有影像线、环结构—构造地球化学集成成矿预测方法,该方法通过遥感影像解译线性体、环形体及断裂构造等地质信息,结合构造地球化学信息开展成矿预测^[3]。目前基于遥感影像在地质领域常用的有异常信息提取、地质解译及找矿预测技术方法^[4],本文在基于信息异常提取、地质解译的基础上,结合了野外实地查证,圈定了找矿远景区,避免了遥感解译的相对主观性,使预测结果更加客观、可信。

在遥感异常信息提取方面,在过去的几十年中,国内外研究者相继将比值、主成分分析、光谱角,以及它们的混合等图像处理方法,以及较少被用到的

小波分析、神经网络、分数维几何(分形)等^[5]技术用于遥感异常信息提取,并建立了一套完善的信息提取机制,取得了大量的科学成果,已成为遥感找矿的一个重要方法。而其中主成分分析法在提取蚀变信息中运用最为广泛,张玉君等建立的“去干扰异常主成分门限化”技术,在遥感数据异常提取中取得了较好的成果^[6]。而本文在采用“去干扰异常主成分门限化”技术方法进行蚀变异常提取的基础上,结合地质解译及野外实地查证,圈定了找矿远景区,使预测结果更加客观、可信^[7]。

1 研究区概况

北衙研究区位于云南省西北部,隶属于云南省大理白族自治州管辖,坐标范围为 E100°00′ ~ 100°15′,N26°0′ ~ 26°10′。属于中低山地,微地貌地形下切一般往往形成小型“V”或大型“U”沟谷水系,进而发育为平缓或浑圆状、锥状山或猪背脊状山体等。区内发育有 3 条南北向流淌数千米较宽阔的现代水系及两侧形成的冲洪积平原河漫滩地或高平地,沿河漫滩地或高平地居住人类或耕种农作物外还发育有低矮的灌木林或草本植物。区内基岩隆起的褶皱山体岩石裸露程度较好,只有地表为平原河漫滩地区域被第四系覆盖,总体认为研究区基本属于遥感蚀变信息提取和可解译程度较高的地区。

收稿日期: 2020 – 10 – 09; 修订日期: 2021 – 04 – 19

基金项目: 自然资源部项目“特大型地质灾害防治专项”(编号: 121133000000190007)和中国地质调查项目“津冀重要矿产资源集中区资源综合利用与评价”(编号: DD20190182)共同资助。

第一作者: 魏英娟(1985 –),女,硕士,高级工程师,主要从事卫星遥感遥感方法技术研究与应用等工作。Email: wyj_629@163.com。

2 技术路线

本研究采用具有 Landsat7 卫星 ETM+ 数据的全部波段,并且比 ETM+ 波谱分辨率更高、时相更新的

Landsat8 卫星 OLI 数据,利用“去干扰异常主成分门限化”技术方法,对北衙地区的 OLI 遥感数据进行了蚀变信息提取及地质解译,根据蚀变异常信息和解译结果结合野外实地查证圈定了找矿靶区(图1),为研究区地质找矿提供了重要依据。

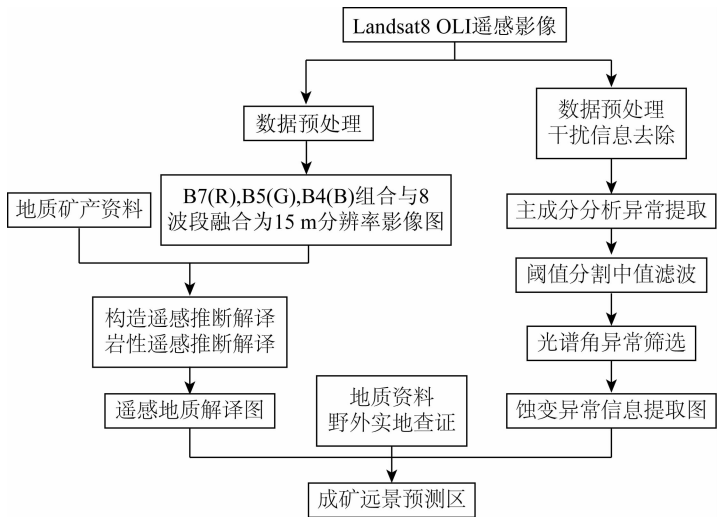


图1 北衙金多金属矿床遥感异常信息提取、地质解译及找矿预测流程

Fig. 1 Flow chart of remote sensing anomaly information extraction, geological interpretation and prospecting prediction of Beiya gold polymetallic deposit

3 蚀变异常信息提取

3.1 波谱数据选择

与北衙金多金属矿化有关的蚀变类型主要为硅化、褐铁矿化、黄钾铁矾化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化和碳酸盐化等。理论上,上述蚀变类型均含有 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 离子或 OH^- 、 CO_3^{2-} 离子,铁染和黏土化是蚀变信息提取的主要目标。由这些基团构成的岩石矿物与硅、铝、镁和氧形成的主要造岩矿物相比,在 Landsat8 OLI B2—B7 (0.45 ~ 2.3 μm) 各波段上存在明显的特征谱带。铁染异常在真彩色影像中具有独特的颜色(褐红色、黄褐色),在波谱曲线上有2个明显的吸收带,第一个吸收带位于0.4~0.5 μm (相当于B2波段)处,第二个吸收带位于0.8~1.0 μm (相当于B5波段)处,在0.63~0.69 μm (相当于B4波段)附近反射率相对较高。与热液作用有关的黏土化蚀变如高岭土化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化等在2.08~2.35 μm (相当于B7波段)附近有一个较强的光谱吸收带,在1.55~1.75 μm (相当于B6波段)附近存在较高的反射率。这些蚀变矿物的特征谱带正是提取矿化蚀变遥感信息的理论依据^[8]。

因此,本研究采用美国 Landsat8 卫星遥感数据为数据源,Landsat8 OLI 传感器共有9个波段,空间

分辨率为30 m,其中全色波段的空间分辨率为15 m,一景影像的宽幅为185 km×185 km。影像数据时相为2016年12月6日,选取植被影像较小的冬季影像,利于自动矿化蚀变信息提取和目视解译地层、岩性、构造等地质信息。所获取的影像图像云量少,总体影像清晰,不同地物的层次感较强,色调对比度好,纹理细节清晰。

3.2 遥感数据预处理

遥感影像预处理包括几何纠正、大气校正及去干扰等步骤。其中最关键的是去干扰信息,是为了屏蔽与矿化无关的各类信息(本次影像中干扰信息主要是植被、水体和阴影)的干扰,避免无关信息可能产生一些假的异常,提高矿化蚀变信息提取的精度^[9]。

1)绿色植被在近红外波段形成强反射,选择归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)提取植被信息,来生成消除植被干扰的影响,具体公式为:

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4), \quad (1)$$

式中,B5,B4分别为第5,4波段反射率。

2)水体和阴影具有相似的波谱特征,根据水体和阴影的反射光谱特征,在水或阴影 $B7 < B2$,所以用 $B7/B2$ 来生成消除水体和阴影干扰的窗口。

3.3 异常提取

主成分分析是现在广泛采用的提取岩石蚀变信息的方法。这种方法是对图像数据的集中和压缩,

它将多光谱图像中各个波段高度相关的信息集中到少数的几个波段,并且尽可能地保证这些波段的信息互不相干。即用多个综合性波段代表多波段的原图像,得到的各个组分互不相关,减少了数据冗余,最大限度提取目标信息^[10]。

由于铁染和羟基异常对围岩蚀变信息及遥感找矿具有重要指导意义,分别利用主成分分析法提取铁染和羟基异常。

对 OLI 影像的 B2,B4,B5,B6 这 4 个波段进行主成分分析,得到的组分中包含 Fe^{3+} 等阳离子的铁染异常信息。对代表铁染异常主成分的判断准则是,构成该主成分的特征向量,其 B4 系数应与 B2 及 B5 系数符号相反,一般与 B6 系数符号相同,依据有关地物的波谱特征,铁染信息包含于符合这一判断准则的主成分称之为铁染异常主成分分量,避免 B6,B7 波段同时参加运算,主要是为了排除黏土类矿物蚀变信息干扰^[10]。图 2 中 PC4 代表铁染异常的主成分分量,作为铁染蚀变异常信息增强图像。

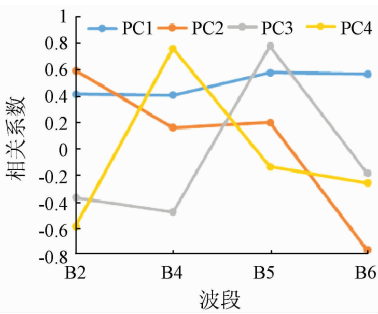


图 2 PCA[2,4,5,6]主成分特征向量矩阵
Fig.2 PCA[2,4,5,6] principal component eigenvector matrix

对 OLI 影像的 B2,B5,B6,B7 这 4 个波段进行主成分分析,得到的组分中包含 OH^- 等阴离子的羟基异常信息,对代表羟基主成分的判断准则是,构成该主成分的特征向量,其 B6 系数应与 B7 及 B5 的系数符号相反,一般与 B2 系数符号相同,依据有关

地物的波谱特征,羟基信息包含于符合这一判断准则的主成分分量内,故此主成分分量可称为羟基异常主成分分量,删去 B3 和 B4 波段,是为了避免可见光波段同时参加运算,主要是为了排除铁氧化物的干扰^[10]。图 3 中 PC4 代表羟基异常的主成分分量,作为羟基蚀变异常信息增强图像。

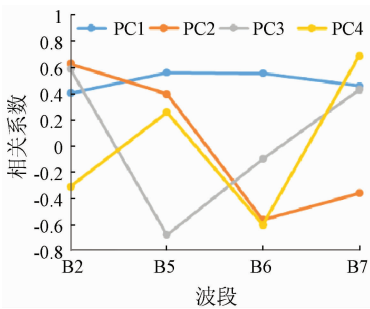


图 3 PCA[2,5,6,7]主成分特征向量矩阵
Fig.3 PCA[2,5,6,7] principal component eigenvector matrix

3.4 异常后处理

3.4.1 阈值分割

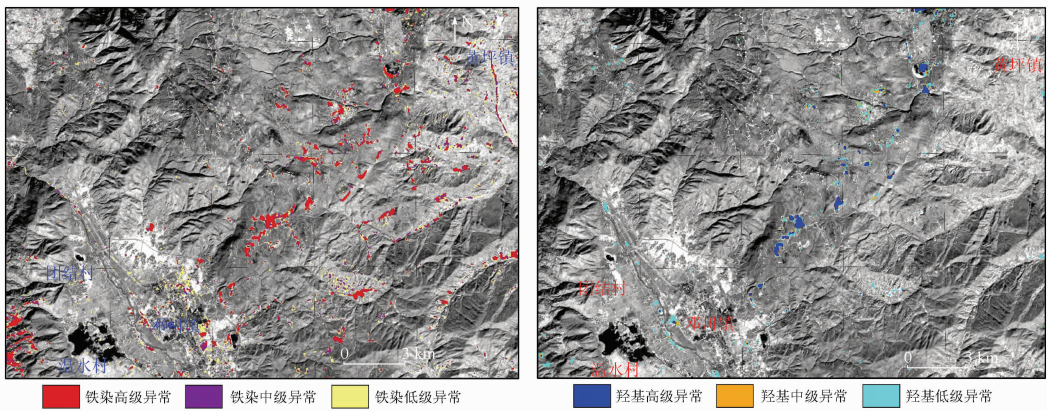
为了突出遥感找矿异常的中心位置,对上面经过主成分分析的特征向量数据,选取适当的阈值(特征参数)进行分割,阈值分割是遥感信息分级的主要方法。即利用直方图统计均值和方差,通过对“均值 + N 倍方差”中 N 的调整,进行阈值分割,一般铁染蚀变强度取 N 为 2,2.5,3,羟基蚀变强度取 N 为 1.5,2,2.5,将异常划分为 3 级,值越大异常强度越高,并附以不同的颜色。

3.4.2 中值滤波

提取出铁染、黏土类蚀变异常,再对其进行 3 × 3 中值滤波,使其边界圆滑,得到 2 类矿化蚀变信息的增强图像^[9]。

3.4.3 找矿异常筛选

铁染和羟基蚀变异常如图 4 所示。



(a) 铁染蚀变异常 (b) 羟基蚀变异常

图 4 北衙地区铁染和羟基蚀变异常分布
Fig.4 Distribution map of iron - stained and hydroxyl alteration anomalies in Beiya area

异常筛选主要分为 2 步进行: 首先,应用光谱角法,对上述异常进行了筛选。当存在已知矿点或矿床时,可以利用光谱角法圈定与其有相似谱特征的靶区,以减少主成分分析所获异常中的非矿异常,这一点是光谱角法在异常信息提取中对主成分分析法起的重要辅助作用。光谱角法获得的异常进一步缩小了上述遥感找矿异常范围^[7]。其次,将经过第一步筛选后的异常与原有的地质矿产资料相配合,进行遥感蚀变异常与地质异常信息的相互验证、相互筛选^[7],得到最终的 2 类矿化蚀变异常信息分布。

从图中可以看出,铁染蚀变异常和羟基蚀变异常分布具有一定地域性,且具重合现象,异常一般呈团块状、带状、面状展布,且异常分布范围和地质构造紧密相连,这类蚀变异常是反映工作区的铁染蚀变、羟基蚀变晕的富集地段,是找矿的重要指示标志^[11]。

4 区域地质解译分析

遥感基础地质信息解译主要可分为岩性解译和构造解译。岩性解译指依据遥感资料波谱与空间信息特征来判定出露地面的岩性物性和产出特点;构造解译主要是在遥感信息上识别、标绘和分析各种构造成分的存在标志、形态特征、分布规律、组合和交切关系及其地质成因。本研究区遥感解译底图数据为 OLI B7 (R), B5 (G), B4 (B) 波段组合并与 B8 进行融合处理生成 15 m 空间分辨率假彩色遥感影像,以区域地质图为参考资料,依据地物在遥感信息上几何形态的主要标志和遥感基础地质解译的基本原则(岩性、构造),得出研究区遥感基础地质信息解译图^[12]。

4.1 基岩标志特征及分析

1) 三叠纪砂岩地层(T_1q)。在遥感影像上显示较明显的微凸起北东向带状分布的条带状山体,山体总体呈平缓或小坟丘状,与三叠纪灰岩(T_2b)组地层在微地貌上存在明显差异。该套地层地表沟谷水系不发育,发育的植被主要为草本植物。

2) 三叠纪灰岩地层(T_2b)。该套地层广泛存在于区内中部。在遥感影像上显示块状图斑纹理标志特点。它总体发育为大片平缓微隆起的基岩大平台,其内存在多处锥状或馒头状环形地质体,地表水系及植被不发育。同样该套地层与周围分布的基岩亦存在十分醒目的图斑纹理差异,同样也是区内显示的解译标志特征最醒目的一套地层(图 5),因此,认为遥感解译划分的地层界线或分布形态基本可靠。

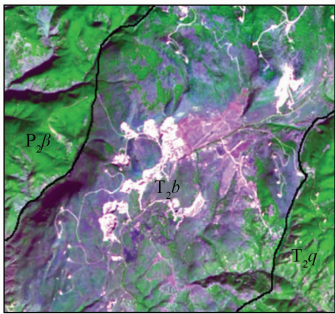


图 5 三叠纪灰岩地层(T_2b)与周围地层影像
Fig. 5 Triassic (T_2b) and surrounding stratigraphic images

3) 二叠纪玄武岩类地层($P_2\beta$)。在遥感影像上显示该套地层分布于区内东西两侧。在地表这套地层形成众多中高山并发育较陡立的放射状锥状山体或山脉,以及典型清晰树枝状或条纹状图斑纹理标志为显著特征(图 6);在地貌上发育深切密集的“V”沟谷水系并呈近乎平行展布。同样该套玄武岩类地层与三叠纪地层不管从微地貌类型还是纹理结构方面均存在明显差异,因而所解译划分的二叠纪地层分布形态或界线基本可靠。

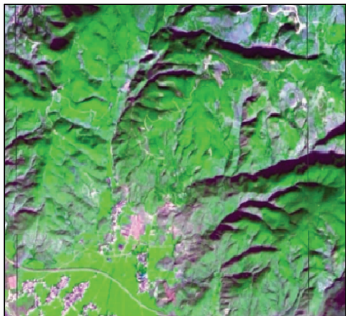


图 6 二叠纪玄武岩典型($P_2\beta$)影像解译标志
Fig. 6 Image interpretation signs of typical Permian basalt ($P_2\beta$)

4) 不明地质属性体划分。依据遥感影像显示出的纹理标志特征,分析认为这些纹理标志与微地貌类型应属于火山或岩浆活动遗迹显示的标志。因此,最终推测为不明地质属性体。结合已有地质资料分析它们有可能是次火山岩类,如黑云母正长斑岩、正长斑岩、角闪正长斑岩等。

4.2 区域构造(线、环形构造)标志及解译划分

1) 线性构造(断裂)标志及解译划分(图 7)。在区内遥感影像显示出的线性构造主要为北东与北西或东西向 3 组构造垂交展布。它们在地貌上一般存在平直深切河谷,或断续河流,以及深切平直连续陡崖即断层三角面(图 7(a)—(b)),以及图像上一般显示平直连续或断续线性影像带等标志。通过影像标志特点综合分析认为,区内线性构造(断裂)大部分应以压扭性质为主,拉张性质断裂次之。其

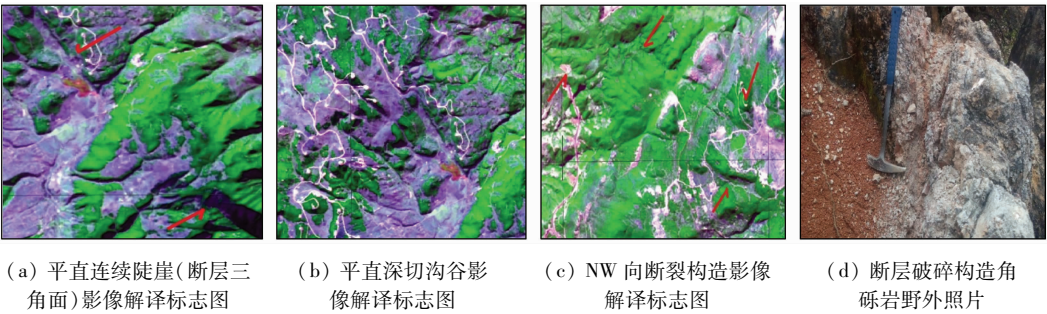


图 7 平直连续陡崖、平直深切沟谷、北西向断裂构造影像解译标志图及断层破碎构造角砾岩野外照片

Fig. 7 Image interpretation mark map of typical linear structure and field photo of fault fracture structure fault breccia

中在工作区中北部三叠纪灰岩地层(T_2b)地层内地表呈第四系浅覆盖地貌景观特征,在野外调查过程中发现遥感解译划分的北西向断裂构造(图 7(c))确实存在,并在地表见到浅灰色构造角砾岩(图 7(d)),角砾状构造,角砾成分主要为灰质白云岩,胶结物主要为岩粉,钙质,泥质等,胶结致密。因此,说明本次遥感解译划分的断裂构造部分是可靠的。

2) 环形构造标志及解译划分。在区内遥感影像显示存在数量众多的放射状山体或坟丘或馒头状集群环(图 8(a))。在地貌上一般为孤立的近似圆

形凸起山峰或漏斗状洼坑(图 8(b)),以及环形或弧形沟谷,影像上一般显示存在圆形或近似环形影像标志,其内往往发育放射状水系或漏斗或洼地、锥状山峰等标志。通过解译分析发现区内存在的圆形或近似环形影像标志,主要分布于各类侵入岩类,一般应属于地形地貌引起,而零星分布在三叠纪地层内的环形影像,推测它们应与火山活动或不同岩性引起。

5 成矿远景预测

依据区内已知多金属矿点、矿化点、成矿地质背景,并结合遥感地质解译结果,包括提取的铁染及羟基异常分布等信息,综合分析最终确认在区内划分多金属成矿有利远景区,必须具备如下成矿有利预测条件:存在二叠纪玄武岩($P_2\beta$)类岩石;遥感解译划分的走向各异的断裂相互交错部位或几组平行展布的断裂夹持区域;存在有遥感解译圈划的环形构造;遥感影像提取的高、中级铁染或羟基异常零星图斑。根据以上综合分析,本次在区内共划分出 3 处成矿有利(条件)远景区,其编号为 I, II, III(图 9)。

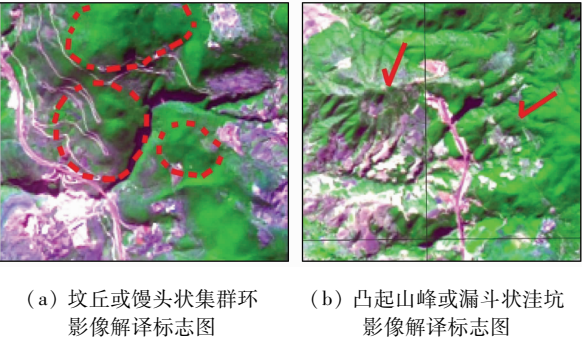


图 8 典型环型构造影像解译标志图

Fig. 8 Image interpretation sign of typical circular structure

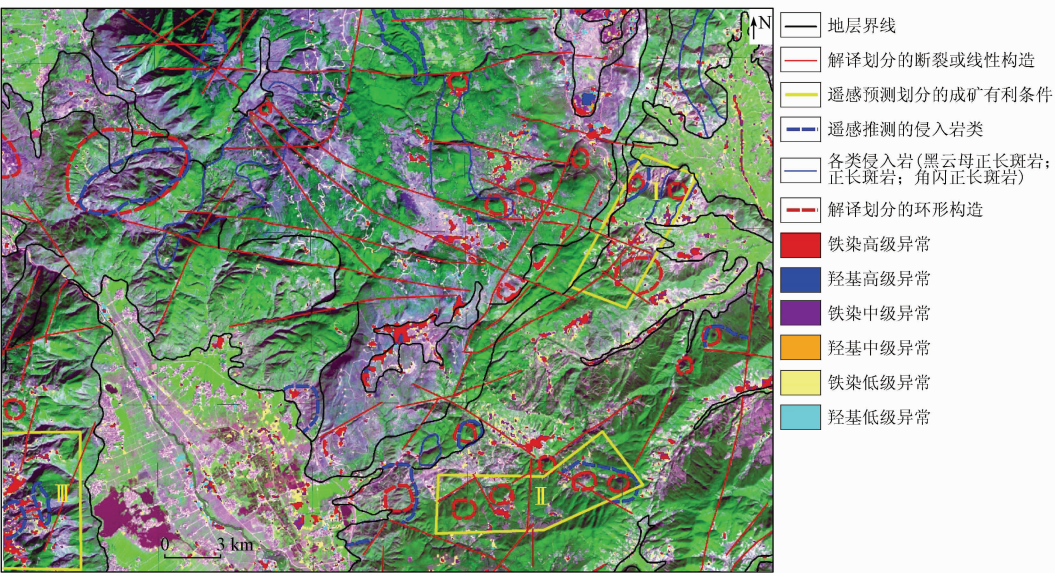


图 9 北衙地区遥感成矿远景预测图

Fig. 9 Prospective map of remote sensing mineralization in Beiya area

成矿有利(条件)远景区(Ⅰ)位于区内中东部。遥感地质解译结果表明区内存在二叠纪玄武岩类地层($P_2\beta$),北东与北西向构造在此交汇形成构造有利条件,以及存在 3 处环形构造,其中北侧两处推测与岩浆上侵或存在其他岩性有关。另外,在 NE 与 NW 向构造交汇地段存在密集铁染异常图斑,其中野外调查在一处观察点西侧发现深灰-灰绿色杏仁状玄武岩,岩石节理裂隙发育,部分裂隙面见黄褐色铁泥质薄膜(图 10(a)),而在观察点东侧岩石露头上见到灰绿色杏仁状玄武岩,岩石局部裂隙面见黄褐色铁泥质薄膜(图 10(b))。参照区内成矿预测有利条件,综合分析认为该区域除存在构造有利条件外,说明地表岩石存在褐铁矿化或铁染现象,进而推测该区域为多金属矿产成矿有利(条件)远景地区。



(a) 照片 1 (b) 照片 2

图 10 裂隙内黄褐色铁泥质薄膜

Fig. 10 Yellow - brown iron argillaceous film in the fissure

成矿有利(条件)远景区(Ⅱ)位于区内西南角。地质解译结果发现该区内存在 2 条近似平行展布的断裂、线性构造,出露基岩为大片分布的二叠纪玄武岩类地层($P_2\beta$),尤其靠其 2 处推测的不明地质属性体附近存在众多高级铁染与羟基遥感异常图斑。在该远景区内通过开展野外调查发现一处岩石露头为较为破碎的玄武岩,岩石表面风化强烈呈土黄色,

表面见到紫红色铁质薄膜,破碎玄武岩岩石裂隙发育,被黑褐色铁质浸染风化后呈土黄色即褐铁矿化及黏土化现象(图 11)。参照区内成矿预测有利条件,分析认为该区域除存在多金属矿产成矿有利(条件)构造条件外,地表还存在褐铁矿化与黏土矿化现象,从而说明遥感提取的地表铁染与羟基遥感异常存在的可靠性。因此推测认为该区域存在多金属矿产成矿有利(条件)环境。



图 11 紫红色铁质薄膜(褐铁矿化)与黏土矿化
Fig. 11 Purple - red iron film (limonite mineralization) and clay mineralization

成矿有利(条件)远景区(Ⅲ)位于区内东南角。地质解译结果证实该区域内存在 4 处环形构造,尤其靠近区内东侧不明地质属性体内存在的 2 处环形构造被北西向线性断裂切割并构成南侧界线。区内分布基岩背景为二叠纪玄武岩($P_2\beta$)类地层,并且沿 NW 向线性断裂两侧或环形构造边缘弧地段上存在大量不同级别的铁染与羟基遥感异常图斑。在该区域通过野外调查发现一处灰褐色、灰绿色玄武岩露头,岩石裂隙发育,岩石风化呈碎块状、砂土状,沿岩石裂隙存在泥质、铁质浸染现象(图 12(a));在靠其北西侧见到浅黄色-黑褐色玄武岩,经测试岩石具有弱磁性,岩石风化强烈,风化后呈褐黄色碎块状,存在褐铁矿化现象十分明显(图 12(b))。依据



(a) 灰绿色泥质、铁质浸染野外照片 (b) 浅黄色-黑褐色玄武岩褐铁矿化野外照片

图 12 灰绿色泥质、铁质浸染野外照片和浅黄色-黑褐色玄武岩褐铁矿化野外照片

Fig. 12 Field photos of grayish green muddy and iron disseminated and light yellow - dark brown basalt limonite mineralization

上述存在构造有利成矿条件以及地表存在遥感提取的不同级别的铁染与羟基遥感异常,尤其是野外见到了沿玄武岩岩石裂隙见泥质、铁质浸染及风化后呈碎块状存在明显的褐铁矿化特点,并结合区内成矿有利预测条件,通过分析认为该地段具备多金属矿产成矿的有利区段。

6 结 论

1)在北衙地区利用 OLI 影像采用“去干扰异常主成分门限化”技术进行了成矿遥感异常信息提取,所得蚀变异常(羟基异常、铁染异常)的分布结果在成矿远景区预测过程中起到重要作用。同时,结合野外调查,证实 OLI 影像提取的遥感蚀变异常存在的可靠性。

2)研究区遥感影像总体上看立体感层次较分明,地质信息较丰富,尤其是反映线性、环形构造更加清晰。通过对研究区的初步宏观地质解译分析,总结评价认为该区制作的遥感影像基本能够满足辅助大比例尺找矿预测及地质综合调查工作需要。

3)综合考虑遥感解译的断裂与环形成矿条件、基岩性质,遥感提取的铁染、羟基异常以及野外实地调查验证,划定了 3 个找矿远景区,说明北衙地区具有较好的成矿潜力。

参考文献(References):

[1] 张 斌,郑 燕,李清云,等. 基于 OLI 遥感数据的遥感异常信息提取方法[J]. 河南理工大学学报,2017,36(3):47-53.
Zhang B,Zheng Y,Li Q Y,et al. Remote sensing anomaly information extraction method based on OLI remote sensing data[J]. Journal of Henan University of Technology,2017,36(3):47-53.

[2] 陈爱兵,孙彩霞,姜 华,等. 北衙金矿综合信息成矿预测[J]. 地质与勘探,2011,47(4):663-641.
Chen A B,Sun C X,Jiang H,et al. Comprehensive information and metalorganic prediction of Beiya gold deposit [J]. Geology and Prospecting,2011,47(4):663-641.

[3] 杨世瑜,王瑞雪. 北衙碱性斑岩型金矿床矿床遥感地质综合信息[J]. 昆明理工大学学报,2002,27(4):1-5.
Yang S Y,Wang R X. Comprehensive remote sensing geological information of Beiya alkaline porphyry gold deposit [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology,2002,27(4):1-5.

[4] 陈 理,胡光道,唐 晨. 遥感技术在鹤庆北衙金矿找矿中的应用[J]. 东华理工大学学报,2011,34(4):366-373.
Chen L,Hu G D,Tang C. Gold deposits in Heqing from remotely

sensed data[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2011,34(4):366-373.

[5] 杨建民,张玉君,等. 矿产资源调查评价的现代化技术方法——以 ETM+ 蚀变遥感异常为主导的多元信息矿产评价方法[J]. 矿床地质,2002,21(s1):1225-1227.
Yang J M,Zhang Y J,et al. A modern technical method for mineral resources survey and evaluation: A multi-information mineral evaluation method led by ETM+ alteration remote sensing anomalies[J]. Mineral Deposits,2002,21(s1):1225-1227.

[6] 姚佛军,张玉君,杨建民,等. 利用 ASTER 提取德兴斑岩铜矿遥感蚀变分带信息[J]. 矿床地质,2012,31(4):881-890.
Yao F J,Zhang Y J,Yang J M,et al. Extracting remote sensing alteration zoning information of Dexing porphyry copper deposit using ASTER[J]. Mineral Deposits,2012,31(4):881-890.

[7] 张玉君,增朝铭. 西藏冈底斯地区斑岩铜矿识别的最佳多光谱遥感异常判据研究[J]. 矿床地质,2012,31(4):671-698.
Zhang Y J,Zeng C M. Study on the best multi-spectral remote sensing anomaly criterion for the identification of porphyry copper deposits in Gangdise area, Tibet [J]. Mineral Deposits,2012,31(4):671-698.

[8] 张国荣,芦青山,费一清. ETM+ 数据在甘肃省肃北县黑刺沟一带蚀变遥感异常信息提取中的应用[J]. 大地构造与成矿学,2010,34(3):386-390.
Zhang G R,Lu Q S,Fei Y Q. Application of ETM+ data in the extraction of alteration remote sensing anomaly information in Heicigou,Subei County,Gansu Province [J]. Tectonics and Metallogeny,2010,34(3):386-390.

[9] 费一清,李永庆. 基于 ETM 数据的蚀变遥感异常信息提取及成矿区预测研究——以甘肃党河和南山地区为例[J]. 遥感技术与应用,2011,26(4):482-488.
Fei Y Q,Li Y Q. Alteration remote sensing anomaly information extraction and metallogenic area prediction based on ETM data: Taking Gansu Dang and Nanshan area as an example [J]. Remote Sensing Technology and Application,2011,26(4):482-488.

[10] 荆 风,陈建平. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J]. 遥感信息,2005,(2):62-65,57.
Jing F,Chen J P. Summary of remote sensing extraction methods of mineralization alteration information [J]. Remote Sensing Information,2005,(2):62-65,57.

[11] 王一伟,谢启兴,何雪峰,等. 内蒙北山阿木乌苏遥感异常信息提取及成矿预测[J]. 四川地质学报,2015,35(1):151-156.
Wang Y W,Xie Q X,He X F,et al. Remote sensing anomaly information extraction and mineralization prediction of Amuwusu,Beishan, Inner Mongolia [J]. Journal of Sichuan Geology,2015,35(1):151-156.

[12] 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 H B. Remote sensing anomaly information extraction based on spectral angle mapping method [J]. Surveying and Spatial Geographic Information,2011,34(6):82-84.

Remote sensing – based mineralized alteration information extraction and prospecting prediction of the Beiya gold deposit, Yunnan Province

WEI Yingjuan¹, LIU Huan²

(1. *Land Satellite Remote Sensing Application Center, Beijing 100048, China*; 2. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

Abstract: The identification and extraction of mineralized alteration information play an important role in the ore prospecting using remote sensing technology. Taking the Beiya gold polymetallic deposit as an example, this study designed an alteration information extraction scheme using the principal component analysis technique according to Landsat8 OLI data and the spectral characteristics related to mineral alteration. Specifically, the extraction scheme consists of the removal of interference information (vegetation, water, and shadows), extraction of abnormal information, anomaly gradation, median filtering, and anomaly screening successively. According to the anomaly information extracted, as well as geological interpretation of remote sensing data (lithology and structures) and field surveys, three prospecting areas were delineated in the study area. This will provide basic data and decision – making bases for the ore prospecting in the Beiya area.

Keywords: alteration anomaly information extraction; principal component analysis; remote sensing; geological interpretation; ore prospecting

(责任编辑: 张 仙)