

# 摩洛哥拉西迪耶地区贝尼塔吉特矿区遥感地质解译及信息提取研究

冯 源 焦超卫 姬星怡 朱 磊 严 娜  
西安西北有色地质研究院有限公司 陕西西安 710054

**摘 要:** 摩洛哥阿特拉斯成矿带是非洲北部重要的金-铜-铅锌成矿带, 是非洲中低温多金属矿床的典型代表, 具有极高的科研价值。本文通过对阿特拉斯成矿带内的贝尼塔吉特铅锌矿进行遥感地质解译和蚀变信息提取研究, 划分区内典型地层和构造切割关系, 并结合已有工作资料开展遥感找矿预测研究, 为该地区遥感地质解译和找矿工作提供科研参考。

**关键词:** 摩洛哥; 阿特拉斯; 遥感地质解译; 找矿预测

## Research on remote sensing geological interpretation and information extraction in the Bnitadjite mining area, Rashidiye region, Morocco

Yuan Feng Chaowei Jiao Xingyi Ji Lei Zhu Na Yan

Xi'an Northwest Research Institute of Nonferrous Geology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

**Abstract:** The Atlas metallogenic belt in Morocco is an important gold-copper-lead-zinc metallogenic belt in northern Africa. It is a typical representative of medium-low temperature polymetallic deposit in Africa and has high scientific research value. In this paper, research is focused on remote sensing geological interpretation and alteration information extraction of Bnitadjite lead-zinc mine in the Atlas metallogenic belt, divided the typical stratum and structural cutting relationship in the area, and carried out remote sensing prospecting prediction combined with the existing working data, so as to provide scientific research reference for remote sensing geological interpretation and exploration in this area.

**Keywords:** Morocco; Atlas; Remote sensing geological interpretation; Prospecting prediction

### 前言

摩洛哥位于西非克拉通地块西缘, 从太古代到新生代岩石地层大面积出露, 尤其以中生代和前寒武系地层发育。宏大的阿特拉斯山脉横亘摩洛哥中部地区, 总体沿 NEE-SWW 走向展布, 发育有断裂构造和强烈褶皱, 其上部发育有缓倾斜的古生代以后的地层。阿特拉斯造山带强烈影响和控制了摩洛哥的地层分布和构造样式, 其南部为非洲撒哈拉地台和阿特拉斯山前断陷盆地, 其北部则逐渐过渡为年轻的阿尔卑斯造山带[1]。阿特拉斯造山带也是摩洛哥重要的成矿带, 产出铅-锌-铜-铁-金、萤石、重晶石等系列矿床[2], 规模大小不一, 星罗棋布, 其成因和产出明显受到阿特拉斯造山带成矿规律的制约。

贝尼塔吉特矿区是阿特拉斯成矿带东南缘重要的铅锌成矿区块之一, 位于摩洛哥东部德拉-塔菲拉勒特大区与东部大区之间的交界区域, 其东侧毗邻贝尼塔吉特, 西南方向距拉希迪耶约 73km。矿区内除部分北部和中部分布有较为高大的山体外, 其余地区较为开阔, 区内有多条简易沙土公路可抵达矿区腹地, 交通较为便利。

贝尼塔吉特矿区内山体多无覆盖, 基岩出露良好, 地层理清, 界线较为明显。区内具有较稳定的主构造形迹,

格架突出, 交切错断关系清晰, 解译标志明显, 具有较好的遥感地质解译区位优势, 适合开展遥感地质研究工作。

### 一、矿区地质概况

#### 1. 地层

贝尼塔吉特矿区地层主要为侏罗系地层, 地表受到常年风沙侵蚀, 多为第四系覆盖。矿区内侏罗系地层由下侏罗统和中侏罗统组成, 岩性以灰岩、泥灰岩、生物灰岩、白云岩或砂岩为主, 地层沿北东东向展布, 延伸稳定。下侏罗统地层由老至新依次为西内米尔阶、普林斯巴阶、多麦尔阶和托阿尔阶, 与下伏三叠系地层多呈断层不整合接触。其中多麦尔阶和托阿尔阶是矿区内最重要的赋矿地层, 岩性为泥灰岩、生物亮晶灰岩和礁灰岩等, 具备良好的成矿地层条件。上侏罗统地层由巴柔阶和巴斯阶组成, 岩性以鲕粒灰岩、泥灰岩、砂岩和白云岩等组成, 与上覆白垩系地层不整合接触。区内侏罗统地层总体显示陆棚-浅海的沉积环境, 并具有多次较小旋回的海进与海退现象, 形成了区内独特的碳酸盐岩台地现象。

#### 2. 构造

贝尼塔吉特矿区构造作用广泛而强烈, 具有不同尺度和

多期次叠加的特征。在区内主要构造类型为断层和褶皱,主构造线方向为北东-北东东向。区内地层产出和展布受到北东向主构造控制,同时受到后期北西向构造影响,常被切割或错断。区内构造主要受制于阿特拉斯造山运动,构造活动高峰集中于新生代时期[3],因此区内侏罗统地层在后期阿特拉斯造山运动的影响下,在部分地区形成飞来峰构造。褶皱构造多呈紧闭形态,轴线沿北东东主构造线方向,南翼常呈宽缓坡地,北翼则多陡峭呈高峰与深谷。

### 3 火山岩

贝尼塔吉特矿区无明显岩浆活动,仅在工作区中部及东北部深谷内出现少量时代较老的粗面岩、粗面玄武岩等火山岩,对矿区地层改造和成矿作用的影响较小。

## 二、遥感地质解译

### 1. 遥感数据准备

#### (1) 遥感数据源选择

根据研究要求,本次遥感地质解译及信息提取工作采用了国产高分 1 号数据和 Landsat8 OLI 遥感数据,选择近期时相,无坏道、无云雪覆盖的遥感数据。

国产高分 1 号数据是理想的遥感地质解译数据源。高分 1 号数据地面分辨率为 2 米,细部纹形可清楚识别,色彩较为单一,影像整体呈青灰-土黄色色调,适合摩洛哥沙漠覆盖区的地形地貌影像特征。同时选用 Landsat8 OLI 遥感数据作为辅助解译数据源,该数据对于岩类识别效果较好,色彩丰富,是高分 1 号数据的有效补充。选用 Landsat8 OLI 遥感数据完成遥感矿化蚀变信息的提取工作,选取其中的多光谱波段组合进行矿物的蚀变提取。

#### (2) 遥感数据处理

遥感影像在采集过程中由于传感器本身、卫星姿态、地球旋转和大气干扰等原因,会造成遥感图像的几何变形和光谱信息干扰或损失,需要对遥感数据进行处理后方可满足遥感地质工作的要求。

根据高分 1 号数据特征和摩洛哥风沙地貌特点,对遥感数据分别进行了影像镶嵌、正射校正、几何校正、辐射定标、气溶胶去除和数据融合等影像预处理工作,并根据遥感地质解译需求,进行了彩色变换和图像增强等处理工作,以便使地层和构造信息更加突显。

最终本次贝尼塔吉特矿区遥感地质解译研究选取了 2 景高分 1 号数据(影像 ID 分别为 L1A1257006203, L1A1257006206),采用 R(B3)G(B2)B(B1)+P 波段组合,制作解译用遥感基础影像。镶嵌后图像色调一致,镶嵌效果良好,可满足该区遥感地质解译工作的数据要求。同时参考 1

景 Landsat8 OLI 数据(影像 ID 为 LC81990382019025LGN00)。

经反复比对分析,本次遥感地质解译影像无云层,地面无积雪,植被覆盖率低,地表岩石、土壤裸露较好,成像质量较佳,可满足遥感蚀变信息提取的工作要求。

### 2. 遥感地质解译

#### (1) 地层

在对已有地质资料的分析和研究基础上,在遥感地质解译过程中,结合各地质体的色调、色彩、形状、影像粗糙程度、影纹结构及地貌和水系特征,解译出贝尼塔吉特矿区地层为第四系(Q)、中侏罗统和里阿斯统(Lias)等主要地层单元。

##### ① 第四系地层(Q)

第四系地层在区内出露面积较广,在区内山体前缘、戈壁缓坡、河道及河漫滩等地出露。主要类型可分为残坡积物、冲洪积物、现代河流沉积物等。

残坡积物在影像上具有较为粗糙的影纹,色调较深,呈棕红色至浅棕色。冲洪积物多具有较为细腻的影纹特征,发育冲蚀干沟,色调呈浅棕红色。现代河流沉积物形态上多沿河道及阶地展布,发育较多细小的辫状河流水系,色调上多呈青灰色至浅灰色。



图 1 第四系地层遥感影像解译标志

(Qeld 残坡积物、Qalp 冲洪积物、A 现代河流沉积)

##### ② 中侏罗统(J)

中侏罗统是区内主要分布的地层之一,主要由巴斯阶(J3)、巴柔阶(J2)组成。

巴斯阶(J3)主要为浅海相灰岩、含有海胆类化石。在影像上则表现为棕红色至黄绿色色调,局部具有细密麻点状影纹。岩层产状近水平,地层层理较为清晰,沿沟谷和等高线展布。

巴柔阶(J2)地层为一套海相碳酸盐岩与碎屑岩沉积建造,岩性主要为泥灰岩、灰岩、泥晶鲕粒灰岩、砂岩、白云岩等。在影像上常具有青灰、灰白或浅灰绿色调,影纹不明显,多为均匀块状。

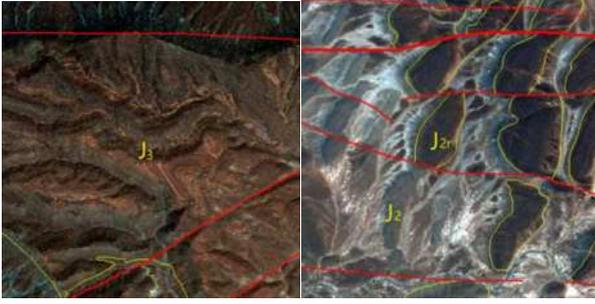


图 2 中侏罗统地层遥感影像解译标志  
(J3 巴斯阶、J2 巴柔阶)

### ③里阿斯统 (Lias)

里阿斯统 (Lias) 是工作区内重要的一套地层单元。出露地层从上到下依次为阿尔阶 (I4)、多麦尔阶 (I3)、普林斯巴阶 (I2) 和西内米尔阶 (I1)。

托阿尔阶为碳酸盐岩沉积建造, 岩性多为含灰白云岩、钙质泥岩等。影像上呈灰白色、浅灰绿色或浅蓝灰色色调, 总体具有较为光滑的影纹特征, 可见地层层理。多麦尔阶岩性多为灰岩或浅灰绿色泥灰岩, 主要表现为浅灰绿色或黄褐色两种主要色调, 具有细密的影纹, 地层层理清晰。普林斯巴阶岩性以黑色灰岩和泥灰岩互层产出为主, 在区内出露相对较少, 具有浅灰至黄褐色色调, 地层具有细密的影纹特征。西内米尔阶地层岩性为灰岩、含礁白云岩, 在影像上表现为棕褐色至黑褐色色调, 具有粗糙的麻点状影纹。

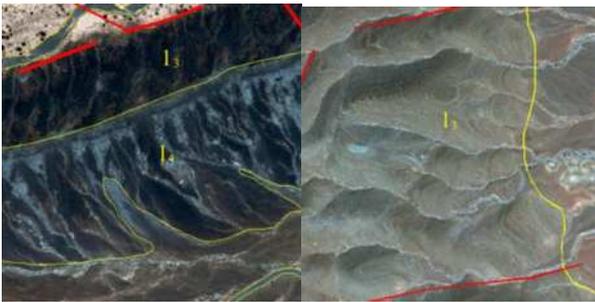


图 3 里阿斯统地层影像解译标志 (I4 托阿尔阶、I3 多麦尔阶)

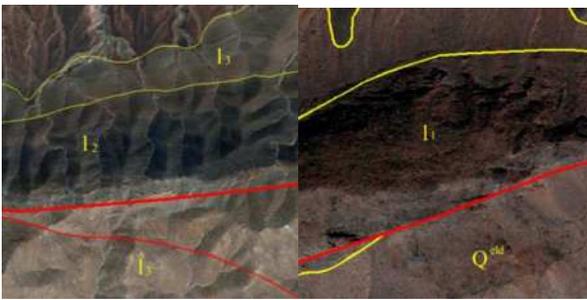


图 4 里阿斯统地层影像解译标志 (I2 普林斯巴阶、I1 西内米尔阶)

### (2) 构造

工作区内构造主要为线性断裂构造, 影像形迹清晰, 主要由近直线状水系、冲沟、断续或连续的陡崖、断层三角面、线状负地形等特征构成, 部分断裂构成岩性分界线, 两侧影像特征具有较大差异。

根据影像分析, 可大致将区内线性构造划分为北东向构造、近东西向构造和北西向构造三个期次。近东西向构造应为最早一期构造, 常被北东向构造切割错断。北东向构造晚于近东西向构造, 切割错断前期构造。北西向构造为区内发育较少的构造期次, 常切割错断前两期构造。

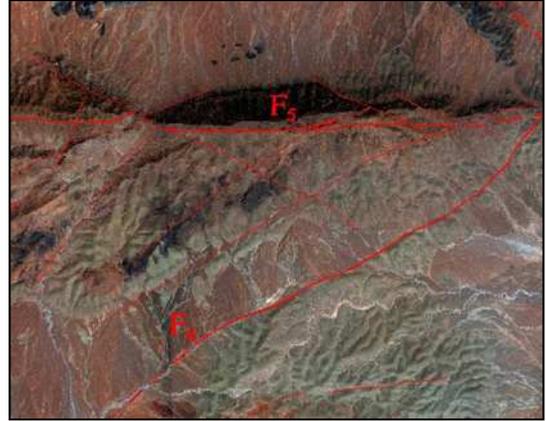


图 5 遥感解译构造之间具有的错断关系

### 3. 火山岩

工作区内仅于深谷中出露少量粗面岩、粗面玄武岩, 未见大范围侵入岩。粗面岩在影像上, 具有绿色至黑绿色色调, 影纹较为粗糙, 呈麻点状。

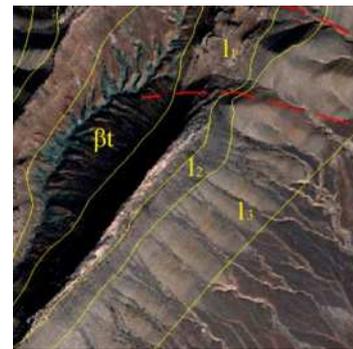


图 6 侵入岩影像解译标志 (βt 粗面岩)

### 三、矿化蚀变信息提取

贝尼塔吉特工作区异常信息提取利用 Landsat8 OLI 数据各波段波谱特征, 采用主成分分析法有针对性的提取羟基和铁染蚀变异常信息, 获得了较好的矿化蚀变异常信息提取结果。

采用 Band2、Band5、Band6、Band7 的组合形式进行主成分分析, 选择 PC4 作为提取蚀变的波段。获取的羟基异常提取参数表如下表所示。

表 1 羟基异常信息提取参数表

异常分级	一级异常	二级异常	三级异常
切割阈值	215-255	190-214	173-189
面积 (km <sup>2</sup> )	1.60	4.53	12.01
占工作区比例 (%)	0.24	0.69	1.84
K 值	3.8	2.7	2.0
中值 (M)	126.893299		
标准差(δ)	23.336459		

注: 阈值=M+Kδ 工作区面积: 652.53km<sup>2</sup>

B2、B5、B6、B7 波段主成分分析特征值、标准差、方差比统计

主成分	特征值	标准差	方差比例 (%)
PC1	465.6559	21.5791	93.36
PC2	23.2014	4.8168	4.65%
PC3	9.5967	3.0979	1.92%
PC4	0.3173	0.5633	0.06%

选择 Band2、Band4、Band5、Band6 的波段组合进行主成分分析, 选择 PC4 作为提取铁染蚀变的波段。获取的铁染异常提取参数表如下表所示。

表 2 铁染异常信息提取参数表

异常分级	一级异常	二级异常	三级异常
切割阈值	205-255	190-204	176-189
面积 (km <sup>2</sup> )	0.33	1.48	8.77
占工作区比例 (%)	0.05	0.23	1.34
K 值	2.7	2.2	1.7
中值 (M)	127.559909		
标准差(δ)	28.756452		

注: 阈值=M+Kδ 工作区面积: 652.53km<sup>2</sup>

B2、B4、B5、B6 波段主成分分析特征值、标准差、方差比统计

主成分	特征值	标准差	方差比例 (%)
PC1	626.8896	25.0378	95.09
PC2	22.5541	4.7491	3.42
PC3	7.2387	2.6905	1.10
PC4	2.5430	1.5947	0.39

研究区内蚀变异常信息分布较散乱, 异常多呈斑块状分布, 羟基异常最为丰富, 多分布于地层交界处, 具有条带状或团块状分布特征; 铁染异常多分布于山脊区、地层交界处, 具有较为明显的带状特征, 沿近东西向的陡峻山体展布。落

在第四系的异常多为无效异常, 无实际地质意义。

#### 四、遥感找矿预测研究

通过对贝尼塔吉特矿区开展遥感地质解译和矿化信息蚀变提取研究, 在已有工作基础上, 开展了对研究区的遥感找矿预测研究。

研究区位于高阿特拉斯的铜-铅锌成矿带内, 构造发育, 地层条件良好, 具有较好的成矿条件和找矿潜力。同时在工作区内, 具有多处民采矿井, 为工作区内开展找矿工作提供了良好指示信息。

通过遥感地质解译工作, 基本查明工作区内北东向构造为区域上主体断裂构造, 控制了区域上构造形迹的展布, 是区内重要的导矿构造。后期活化的次一级北东向小型构造, 具体对地层单元的分布产生了控制。北西向构造则充当了后期改造破坏的作用, 对已有矿体可能产生一定错断或改造。

里阿斯统多麦尔阶 (I3) 地层是最为重要的赋矿地层, 其岩性和与已知矿体的赋存关系都印证了贝尼塔吉特铅锌矿应属于 MVT 型铅锌矿。多麦尔阶 (I3) 地层的展布规律, 也是区内铅锌矿的找矿规律, 指示出区内 MVT 型铅锌矿的分布规律。

综合多方面的资料与信息, 在对矿床成因和成矿规律的研究基础上, 认为区内优势赋矿区位是位于多麦尔阶 (I3) 碳酸盐岩地层内, 并受到北东向构造活动影响, 同时具有较强烈矿化蚀变信息的地区, 应作为下一步的重点找矿工作区。

#### 五、结论

通过本次研究, 完成了对摩洛哥贝尼塔吉特矿区的遥感地质解译工作, 基本划清了地层分布规律和构造交切关系, 并开展了一定的遥感地质找矿预测研究, 为摩洛哥阿特拉斯成矿带遥感地质解译和找矿工作积累了科研案例, 提供了资料参考。

#### 参考文献:

- [1] Mohammed Nadir Naimi, Chikh Younes Mahboubi. Lithostratigraphy and evolution of the Lower Cretaceous Basins, in Western Saharan Atlas, Algeria[J]. Journal of African Earth Sciences, 2021.
- [2] 胡海博. 摩洛哥王国 zaida 地区铅矿床地质特征与成因分析[D]. 中国地质大学 (北京), 2014.
- [3] 万志峰, 夏斌等. 阿特拉斯造山带构造演化规律及其动力学机制[J]. 新疆石油地质, 2010(02).