

GIS 空间叠置分析在广西红土型高铁三水铝土矿资源遥感地质调查中的应用*

黄志强^{1, 2}, 胡自宁³, 龙斌⁴, 何卫军³, 覃杰⁴, 沈健全³

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2 广西地质勘查总院, 广西 南宁 530023; 3 广西遥感中心, 广西 南宁 530023; 4 广西国土整治与资源调查办公室, 广西 南宁 530023)

广西红土型高铁三水铝土矿为多金属复合矿(广西区地质矿产局, 1989), 其主要化学成分为 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)35\% \sim 55\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3) 20\% \sim 37\%$, $w(\text{SiO}_2) 5\% \sim 15\%$, 灼失 $16\% \sim 20\%$ 。主要分布于桂中地区的贵港、横县、宾阳、武鸣、来宾一带, 赋矿层位为岩溶地区第四纪风化红土层, 即泥盆系一中三叠系碳酸盐岩基岩之上第四系红土层构成的红土台地, 为钙红土层、残坡积层, 地貌为广阔的红土化溶蚀平原或准平原低矮丘陵区。矿体主要赋存在红土层的中上部或在地表直接出露, 矿床具有分布广泛且集中, 规模大, 埋藏浅(0~16 m)等特点, 资源储量远景巨大。随着高铁三水铝选冶技术的突破(广西河池市矿业有限责任公司, 2004; 颜小东等, 2006), 大规模勘查高铁三水铝土矿资源成为广西一项重要战略决策。

1 区域地质概况

地层 区域出露地层有寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系、第三系和第四系。寒武系为一套海相砂、泥岩类复理石、复理石沉积。泥盆系一中三叠世以一套海相陆源碎屑岩到碳酸盐岩为主, 次为硅质岩、硅质泥岩夹火山碎屑岩, 其中晚二叠世早期合山组底部为 0~20 m 厚的铁铝岩或铝土矿层或铝土质泥岩, 是红土型高铁三水铝土矿的主要矿源层。白垩系主要为陆相陆源碎屑岩。第四系为钙红土层、残坡积层、冲洪积层, 在本区广泛分布。

构造 本区处在东大明山、镇龙山、大瑶山西侧隆起(背斜)与桂中凹陷(向斜)构成的向南凸出的“山字型”构造前弧部位, 褶皱、断裂均很发育。历经多次构造运动。

岩浆岩 以燕山期花岗岩为主, 有昆仑关、大天平山岩体等, 在隆起区还零星分散着一些不同时期的花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、石英斑岩等小岩株、岩脉。

2 铝土矿遥感信息的增强与提取

2.1 基本原理

在当前光学遥感成像普遍使用的谱段范围(0.4~2.5 μm)内, 影像上反映的光谱特征往往与地物中所含水、羟基、硅、铝、铁和氧分子、离子的状态及组合有关, 依据这些特征谱带在多光谱遥感图像中所处的波段位置, 选择有关岩石单元的最佳识别波段及其特征信息提取的波段比值变量, 进而从岩(矿)石的本征光谱信息识别特征中提取有效的波段变量及其组合, 建立最佳光谱识别模式^[4], 是遥感信息增强与提取的基本原理之一。

(1) Fe 离子 与铝土矿有关的赤铁矿或褐铁矿、针铁矿的 Fe^{3+} 特征吸收波段中的波长分别在 0.85 μm 和 0.94 μm ; 此外在中心波长 0.45 μm 、0.55 μm 等波段亦有吸收, 对应的 TM 波段为 TM1 (0.45~0.52 μm)

*基金项目: 广西发改委国土办《广西铝土矿资源遥感综合调查》项目资助

第一作者简介 黄志强, 男, 1963年生, 在读博士生, 教授级高工。主要从事地质矿产、遥感地质工作; Email:huangzqgx@263.net

和 TM2 (0.52~0.60 μm)，而 TM3 (0.63~0.69 μm) 则处于反射峰，呈现相对高值。

(2) Al—OH 许多蚀变矿物和粘土矿物都含 OH 基团。Al 离子无特征吸收，但 Al—OH 在 2.2 μm 附近有较强的合频带，而相应的伴随谱带位于 2.3 μm 附近，故在 TM7 (2.08~2.35 μm) 波段产生低值，在 TM5 (1.55~1.75 μm) 波段有相对高值。

2.2 遥感数据处理

(1) 遥感数据源的选择 进行遥感信息提取的波段宜选择：TM1、TM2、TM3、TM4、TM5、TM7。提取的信息主要为铁氧化物信息、OH 基团信息和粘土信息。考虑到试验区植被覆盖较严重，还必须进行掩模处理，以便去除干扰。

(2) 遥感影像图制作 根据上述所选择的 TM1、TM2、TM3、TM4、TM5、TM7 共 6 个波段，通过反复试验，认为波段组合较好的有：TM321、TM234、TM423、TM547、TM754、TM743。

2.3 含铁矿物信息增强与提取

(1) 波段比值法 ① 用 TM3/TM4、TM5/TM4 等提取由铁的氧化物，包括褐铁矿、黄铁矿、针铁矿等引起的遥感信息 (周方，2004)。② 用 TM5/TM7 提取由羟基，包括粘土矿物引起的遥感信息，亦即反映粘土信息。

(2) 主成分变换 ① 根据铁氧化物在 TM1 具低反射率，在 TM3 具较高反射率 (在第一个反射峰附近) 的特性，进行 TM1 与 TM3 的主成分分析，其第二组合反映的为两波段的差异信息，即相对应的为铁氧化物信息。② 利用 TM1、TM4、TM5、TM7 四个波段，进行增强粘土类矿物信息。在 PC4 负值图像中粘土矿物信息将以浅色调特征突出出来。③ 利用 TM1、TM3、TM4、TM5 四个波段，进行铁氧化物矿物的信息增强。增强的氧化铁类矿物的信息在 PC4 中。

(3) 假彩色合成 ① 对于褐铁矿化类，利用波段比值 3/1、5/4、1345 波段主成分分析的 PC4 向量合成褐铁矿化增强图像，利用 5/4 参与假彩色合成可以起到去植被干扰的效果。② 对碳酸盐化及粘土类，利用波段比值 5/7、3/1、1457 波段主成分分析的 PC4 向量合成增强图像。③ TM7、4、3/1 假彩色合成图，铝土矿化信息 (铁氧化物信息及粘土信息等) 基本得到反映，只是部分区域受植被干扰，信息还不是很明显。

(4) 监督分类 通过对铝土矿区踏勘，了解到① 旱地区域土山土丘铝土矿含矿层基本上裸露于地面，表土一般在 0~20 mm；② 在水田区，表土较厚；③ 灰岩山或较深的水塘等水体基本上无铝土矿堆积。故进行监督分类所建立的感兴趣区域 (ROI) 有：旱地区、水田区、水体区、裸岩石山区以及裸土区。计算机自动分析各 ROI 的波谱特性，然后进行最大似然分类，得到分类图像。其中：旱地区、水田区和裸土区是有利的矿体赋存地段，其所对应的信息为有效的遥感信息 (胡自宁等，2006)。

3 遥感地质铝土矿成矿预测

3.1 找矿有利度分析

成矿预测基本方法及流程见图 1。

① 地层：泥盆系、石炭系、二叠系等不纯灰岩地层之上的第四系红土风化壳成矿有利。② 岩性：基岩主要为不纯碳酸盐岩，成矿受岩性控制；岩浆岩与铝土矿的成矿关系不密切。③ 构造：背斜内侧或向斜外侧。④ 岩相：碳酸盐岩相区。⑤ 地貌：岩溶地貌，如溶蚀平原或准平原内的低丘、矮岭和台地的红土风化壳中。岭丘、台地顶、坡部位或呈

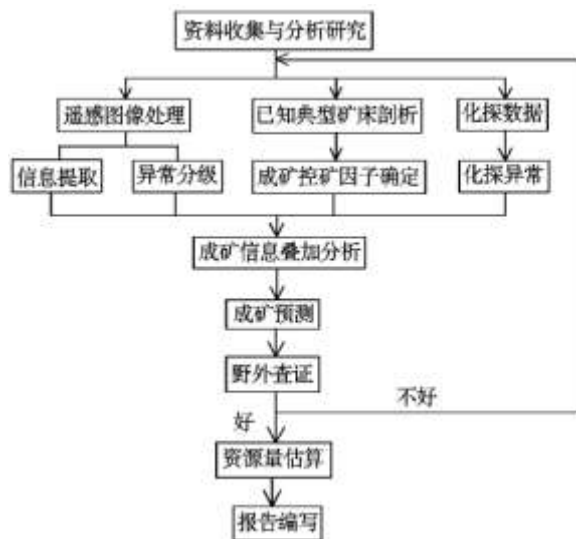


图 1 遥感地质成矿预测流程图

正地形处的矿层厚度较大,品位较富,坡脚、低洼地带或为负地形处的矿层厚度较薄,品位较差。⑥ 遥感特征:在 TM743 影像图上呈粉红色、紫红色夹黄绿色等杂色,色调较均匀,边界隐晦;属半干旱地区。在 3/1、5/4、1345 主成分分析 PC4 的假彩色合成图中铁氧化物信息呈黄绿色、黄色;在 TM7、TM4、3/1 波段比值的假彩色合成图中铁氧化物信息呈暗红色、桔黄色;在 5/7、3/1、1457 主成分分析 PC4 负值的假彩色合成图中粘土区呈黄绿色、浅墨绿色。⑦ 化探特征:在 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、V 等异常等值线图上,含量区在 18 以上的区域大部分有铝土矿分布,含量在 14~18 之间的区域局部有铝土矿分布,说明铝土矿分布与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、V 等值线图套合得较好。

3.3 基于 GIS 的空间叠置分析

成矿预测涉及的地质变量有多种类型,包括地层、构造、岩浆岩等,目的是从中选择最主要的控矿变量参与成矿预测。

(1) 地层数据处理 按目前对铝土矿成矿规律的认识,确定与高铁三水铝土矿成矿相关的地质变量主要为地层,赋矿地层主要是第四系(Q)、二叠系(P)、石炭系(C)和泥盆系(D),矿源层为合山组(P_2h)。选好地质变量后,为了方便属性提取和空间叠置分析,要对变量进行规范化,主要包括统一属性结构和变量赋值。

(2) 遥感信息的处理 ① 分别对门限化分割及监督分类的结果进行 5×5 像元的滤波,分别获取了铁染和羟基的原始遥感信息。② 对门限化分割及监督分类获得的铁染和羟基遥感信息进行合并、筛选,并将铁染和羟基遥感信息分级,获取最初的综合遥感异常。③ 将最初的综合遥感异常与地质、化探及矿产等资料进行叠加再次进行优选,尽可能地剔除非铝土矿遥感异常。按遥感异常和与地、化数据的吻合程度,分为一级铝土矿遥感异常和二级铝土矿遥感异常。一级铝土矿遥感异常:a 主要由一级铁染异常和一级羟基异常组成;b 与地质、化探数据吻合度较好;c 可作为含矿性较好的洼地,甚至局部地区可以作为矿体的解译。二级铝土矿遥感异常:a 主要由二级铁染异常和二级羟基异常组成;b 与地质、化探数据基本吻合;c 可作为一般含矿洼地的解译。

(3) 化探数据处理 ① 化探变量选择 选择对铝土矿有指示作用的 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、V 含量作为化探变量,统计全部化探采样点的 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、V 的值,确定异常下限。最能反映铝土矿分布特征的是 Al_2O_3 含量等值线图。为了方便计算和避免漏矿,取平均值 $X=12$,标准差 $\sigma=4$,最终确定 16 作为 Al_2O_3 的异常下限。生成 Al_2O_3 含量等值线图,划分为 5 级异常区,同样方法制定 Fe_2O_3 含量异常分级图。② 化探属性的规范化。选好化探变量后,要统一属性结构和变量赋值。

(4) 空间叠置分析结果 ① 地层和化探异常的叠加分析 在 MAPGIS 平台上将地层面和化探色晕面进行空间叠加分析,求其交集。得到的图层就是地层和化探有利成矿因素之和,称为地、化综合异常面,它同时具有地层和化探的属性信息。② 异常分级 根据事先定义的地层和化探数据的属性特征和 MAPGIS 系统自身规定的查询语法,建立异常分级查询语句,对地、化综合异常面分级着色,见表 1。

表 1 地质、化探综合异常分级查询语句及分级着色

类别	分级查询语句	分级颜色	
1	地层归类 == "Q" && 起始值 >= 25	棕黄色	深
2	地层归类 == "Q" && 起始值 >= 20 && 终止值 <= 25		中
3	地层归类 == "Q" && 起始值 >= 16 && 终止值 <= 20		浅
1	地层归类 == "P" && 起始值 >= 25	鲜红色	深
2	地层归类 == "P" && 起始值 >= 20 && 终止值 <= 25		中
3	地层归类 == "P" && 起始值 >= 16 && 终止值 <= 20		浅
4	地层归类 == "C" && 起始值 >= 25	品红色	深
5	地层归类 == "C" && 起始值 >= 20 && 终止值 <= 25		中
6	地层归类 == "C" && 起始值 >= 16 && 终止值 <= 20		浅
7	地层归类 == "D" && 起始值 >= 25	蓝色	深
8	地层归类 == "D" && 起始值 >= 20 && 终止值 <= 25		中
9	地层归类 == "D" && 起始值 >= 16 && 终止值 <= 20		浅
10	起始值 >= 12 && 终止值 <= 16	绿色	浅

3.4 遥感地质成矿预测

在综合分析了各种类型的铝土矿的成矿规律和控矿因素的基础上,利用 MapGis 平台进行的遥感信息与地质、铝、铁、钒等元素的化探信息进行综合,结合已知勘探或普查的矿区、矿床、矿点的堆积型铝土矿产地的背景值、矿层赋存地层洼地、地貌水系部位、地质构造(断裂、背、向斜)部位等特征,叠合铝土矿遥感信息特征和解译标志等铝土矿成矿的相关羟基信息和粘土信息。含矿性地层方面选择了二叠系、石炭系、泥盆系等地层;将 Al_2O_3 化探含量值取值范围选择在: $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 25\%$; $20\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 25\%$; $16\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 20\%$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 16\%$ 的区域内。将上述多源信息(地质、化探、遥感综合信息)分为不同的级别,按对成矿贡献的大小,进行统计量化。在成矿综合预测图上,则将各种信息进行量化分级着色,将分级着色后的地质、化探综合异常面和提取的遥感异常、矿点资料等进行叠加,综合评判圈定铝土矿成矿预测区。

3.5 远景资源量估算

根据上述叠置分析结果,通过对已知矿床(点)矿体厚度和含矿率的类比分析,探求和估算了各预测区铝土矿的平均厚度和平均含矿率,最后估算了各预测区铝土矿资源量(334)万吨,经估算,桂中红土型高铁三水铝土矿远景资源量约 8.84 亿吨,相当于 18 个特大型铝土矿资源量规模,潜在经济效益巨大。

3.6 结论

(1) 利用遥感技术结合 GIS 技术,能宏观快速的对大范围内的铝土矿进行遥感地质调查,能从总体上把握区域上铝土矿资源量的分布情况,为进一步大规模进行铝土矿普查或详查提供预查区,甚至靶区。

(2) 利用 GIS 空间叠置分析功能,可以把遥感、地质、化探等多源成矿信息进行综合,进而开展矿产资源遥感地质成矿预测。

参考文献

- 广西河池市矿业有限责任公司. 2004. 广西铁铝难处理矿资源综合利用项目评审材料.
- 广西区地质矿产局. 1989. 广西铝土矿资源总量预测报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区地质矿产局.
- 胡自宁、何卫军、黄宗霞. 2006. 利用 TM 数据进行广西桂中铝土矿成矿遥感信息提取方法研究[A]. 华南青年地学学术研讨会论文集——资源环境与可持续发展[C]. 南宁: 广西科学出版社, 268-272.
- 颜小东, 黄镇豪. 2006. 浅谈桂西地区三水铝土矿及其勘查前景[J]. 南方国土资源, (12): 43-45.
- 周方. 2004. 试论靖西岩溶堆积型铝土矿床成因及其控矿因素[J]. 南方国土资源, (10): 22-24.