

doi: 10.6046/gtzyyg.2012.01.22

# 离子吸附型稀土矿资源潜力遥感定量预测

——基于 SPOT 5 数据的地貌研究

王耿明, 黄铁兰, 朱俊凤, 徐燕君

(广东省地质调查院, 广州 510080)

摘要: 为了探讨现代地貌遥感信息的示矿意义, 以广东省全境所涉及的 1:5 万标准图幅(共 546 幅) 范围为研究区, 采用 SPOT 5 卫星遥感数据进行地貌的解译和定位, 查明了区内地貌类型及其分布特征, 获取了有效的示矿地貌信息。该成果可为广东省离子吸附型稀土矿勘查部署和矿产资源开发提供借鉴和指导。

关键词: SPOT 5 数据; 稀土矿; 地貌; 遥感定量预测

中图分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2012)01-0127-05

## 0 引言

在矿产资源勘查遥感技术应用中, 通常采用中、高分辨率的遥感数据, 运用图像增强技术提取与成矿有关的现代地貌信息, 结合区域成矿地质背景建立遥感地质找矿模型, 达到识别矿床和圈定找矿远景的目的<sup>[1]</sup>。广东省离子吸附型稀土矿产资源十分丰富, 广泛分布于粤北、粤东等地区, 其中以揭阳、和平、英德及平远等地较为丰富。

本文以 SPOT 5 卫星遥感数据为信息源, 归纳了离子吸附型稀土矿含矿岩石建造内地貌面元影像特征和解译方法, 总结了离子吸附型稀土矿的时空分布规律, 圈定了离子吸附型稀土矿的赋矿地貌面元, 进行了矿产资源量的遥感预测。该成果对广东省离子吸附型稀土矿勘查部署和矿产资源开发具有一定的参考价值和指导意义。

## 1 研究区地理地质概况

广东省位于我国南岭金属成矿带东端, 是我国有色金属、稀有稀土金属和放射性金属等矿产资源的重要聚集区。省内稀土矿产资源丰富且种类多、储量大、分布广, 大部分易采、易选, 是全国重要产区之一, 素有“稀土金属之乡”美称。该省地处亚热带, 雨量充沛, 植被繁茂, 风化壳发育和保存良好, 具有形成离子吸附型稀土矿的优越地质条件和地理环境。

广东省地貌类型复杂多样, 沟谷水系发育。粤北、粤东、粤西多为中低山地和高丘陵, 南部沿海则多平原和台地。丘陵大多分布在山地周围, 与山地连接, 或零星分布于沿海平原和台地之上。

## 2 数据源及其处理

采用 SPOT 5 卫星遥感数据进行地貌解译。首先, 应用 ERDAS 软件对覆盖广东省范围的 82 景 SPOT 5 图像进行几何纠正、数字镶嵌等预处理; 然后, 通过主成分分析、方向滤波、比值增强、反差扩展及线性变换等方法, 增强图像的地貌信息; 最后, 选择 B2(R), B3(G), B1(B) 的波段组合方案<sup>[2-3]</sup>进行图像假彩色合成, 制作出色彩层次丰富、纹理清晰, 可以满足地貌解译的遥感影像图。

## 3 研究方法

### 3.1 高程信息提取

通过对研究区地形图的再编辑, 利用遥感影像信息制作了广东省地势高程图(图1), 并在低山丘

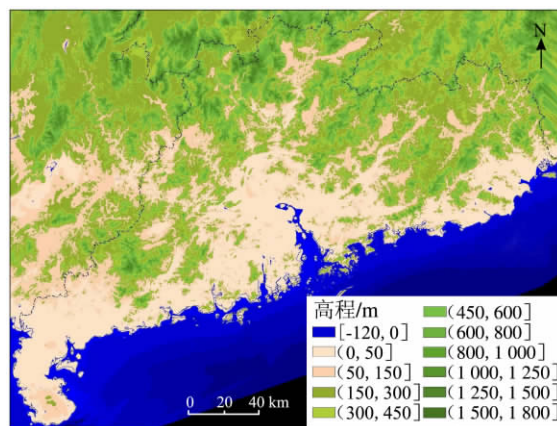


图1 广东省地势高程

Fig. 1 Altitude map of Guangdong province

收稿日期: 2011-08-18; 修订日期: 2011-10-01

基金项目: 中国地质调查局全国矿产资源潜力评价广东省矿产资源潜力评价项目(编号: 1212010881623) 资助。

陵地区内提取海拔高程小于 500 m、切割深度小于 200 m 的低缓残丘地貌亚区。野外地质调查与研究表 明,该区风化壳发育,是离子吸附型稀土矿的有利成矿区域。

### 3.2 坡度信息提取

利用 1:5 万 DEM 数据,通过对研究区地形图的再编辑,按一定的坡度级别制作坡度分区图(图 2)。

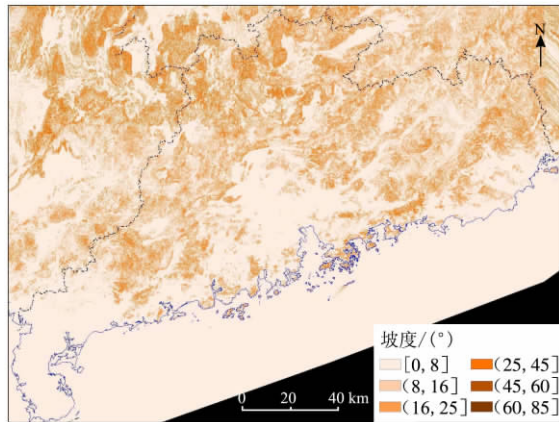


图 2 广东省坡度分区

Fig. 2 Slope subarea map of Guangdong province

在全省低山丘陵地区,提取坡度小于 30°(通常在 15°~20°之间)的缓坡地貌地段。这些地段风化壳较为发育,且不易被剥蚀流失,是离子吸附型稀土矿有利成矿和保存的地段。

### 3.3 地貌遥感解译

在花岗岩分布的低山丘陵缓坡地区,利用 SPOT 5 卫星遥感数据对含矿岩石建造内的地貌面元进行解译,主要步骤如下:

- 1) 细化目标层位,确定含矿层位的赋存状态,补充成矿作用相关信息。
- 2) 依据地形、地貌和地层岩性特征,圈定风化壳最小预测范围(图 3a),风化壳主体位于花岗岩分布的低山丘陵缓坡地区。
- 3) 对 SPOT 5 数据进行几何纠正与配准,并将解译出的第四系与原地质图的第四系图层进行拼合,形成现代地貌图层(图 3b)。
- 4) 对风化壳最小预测范围内的已有稀土矿进行解译,圈定已开采的稀土矿分布范围,并将其与现代地貌图层进行合并,对风化壳最小预测范围进行裁剪分离,得到最终目标层位(图 3c) [4]。

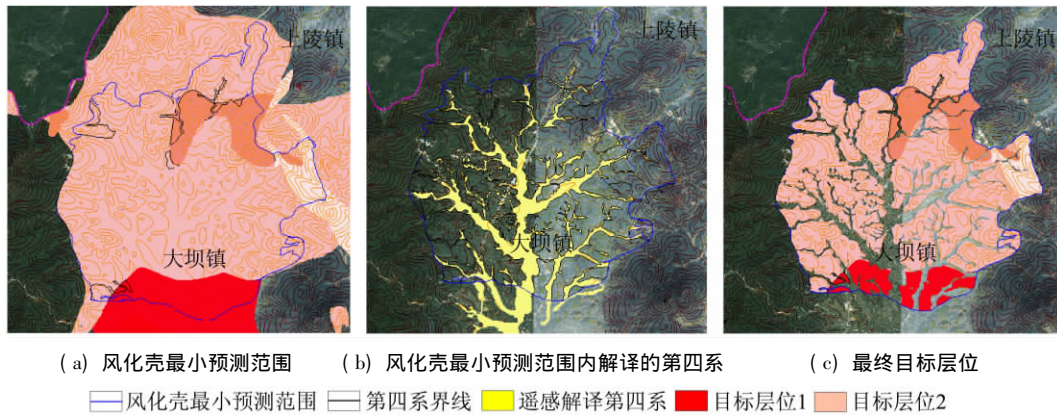


图 3 地貌遥感解译

Fig. 3 Geomorphological remote sensing interpretation

## 4 结果与分析

### 4.1 典型矿床研究

广东省较为著名的离子吸附型稀土典型矿床有 5 个,即有揭东县五经富-五房稀土矿、新丰县来石

稀土矿、平远县仁居稀土矿、和平县下车稀土矿和乳源县寨背顶稀土矿(表 1)。

本文以揭东县五经富-五房稀土典型矿床为例,对含矿原岩及风化壳特征、矿体特征和成矿作用进行了研究。

表 1 广东省离子吸附型稀土矿典型矿床

Tab. 1 Ion adsorption type rare earth representative deposits in Guangdong province

矿床名称	矿床规模	矿石类型	构造分区
揭东县五经富-五房稀土矿	大型	花岗岩全风化矿石	粤东岩浆弧
新丰县来石稀土矿	大型	花岗岩全风化矿石、残坡积矿石、角岩化砂页岩矿石、花岗岩半风化矿石	粤东岩浆弧
平远县仁居稀土矿	中型	全风化矿石、残坡积矿石、半风化矿石	华夏地块
和平下车稀土矿	中型	全风化矿石、残坡积矿石、半风化矿石	华夏地块
乳源寨县背顶稀土矿	中型	全风化矿石、残坡积矿石、半风化矿石	武夷岩浆弧



#### 4.1.1 含矿原岩及风化壳特征

含矿原岩为燕山四期中粗粒、中细粒黑云母二长花岗岩,位于馒头山岩体东缘。风化壳呈面状分布,依风化程度不同大致可分为3层,其特征分别如下:

1) 表土层(残坡积层)呈褐红、土黄色,以粘土质为主,含少量石英砂及植物根。

2) 全风化层呈浅红或灰白色,成分主要为粘土、石英及少许黑色矿物。

3) 半风化层呈浅红或灰白色,原岩结构、构造较清晰。

#### 4.1.2 矿体特征

矿体赋存在黑云母二长花岗岩全风化层中。矿体形态与风化壳形态关系密切,矿体的厚度变化受花岗岩风化壳发育程度及后期改造等因素控制:一般在地形坡度平缓地段,风化壳厚度较大,矿体也较厚;在地形起伏较大地段,剥蚀作用较强烈,风化壳厚度变薄,矿体厚度也较薄。

#### 4.1.3 成矿作用

稀土矿的形成经历了成矿母岩(原岩)风化—稀土矿物解离—稀土元素随渗滤水下渗迁移—被粘土矿物吸附等过程,最终形成离子吸附型稀土矿床,并保存于低山丘陵等平缓地貌地段。

### 4.2 成矿规律

#### 4.2.1 时间规律

离子吸附型稀土矿含矿原岩主要为各类侵入岩、火山岩和次火山岩,其次为混合岩。从时间上来看,从加里东期起,经海西期、印支期,一直到燕山期,各个时期岩浆活动都有稀土富集作用,而燕山期

则是稀土富集作用的最高峰时期,其中重稀土富集作用又以燕山早期最为重要。

#### 4.2.2 控矿规律

1) 构造控矿。构造起着控岩、进而控矿的作用,使稀土矿床(点)成群成带产出。广东省离子吸附型稀土矿最主要受东西向和北东向构造带控制。

2) 岩性控矿。含矿岩性多为沉积建造,古老和晚近期的断裂构造控制着含矿层沉积盆地的大小和形态、沉积建造的性质、分布和厚度,控制着火山活动及其展布,同时也在一定程度上控制成矿期后的热液活动,并对已成矿床产生一定的改造或富化<sup>[5-6]</sup>。

#### 4.2.3 空间分布规律

离子吸附型稀土矿在广东省分布十分广泛,北起于湘、赣两省的边界( $N25^{\circ}30'$ 左右),南到粤西电白( $N21^{\circ}30'$ 左右)均有分布,其中尤以 $N23^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间矿化最为集中。

离子吸附型稀土矿物主要赋存在高程小于500 m、高差小于200 m、坡度小于 $30^{\circ}$ 的丘陵、残丘地貌带的燕山一、二、三、五期花岗岩中,岩性为二长花岗岩。综合研究表明,品位较高的稀土矿物主要赋存于燕山三期的花岗岩中,燕山一、二期花岗岩含稀土品位一般偏低,而燕山四期花岗岩一般不含稀土矿物。

在 SPOT 5 图像上,离子吸附型稀土矿矿体的形态在平面上呈不连续的无规则面状影像,野外实地剖面上则呈现似层状、透镜状或新月形等特征(图4)<sup>[7]</sup>。



图4 连平地区稀土矿床 SPOT 5 图像(左)与野外照片(右)

Fig. 4 SPOT 5 image and photo of rare earth deposit in Lianping area

#### 4.3 矿产资源预测

本研究重点位置在稀土矿典型矿床外围的低山缓坡丘陵地段。利用套合了1:5万地形等高线的 SPOT 5 图像,综合运用燕山期花岗岩、已知稀土矿点和 La、Y 化探异常等多元信息,对全省离子吸附型稀土矿分布区进行地貌与第四纪地质遥感解译,

所获得的解译成果被矿产预测组采纳,其中所圈定的赋矿地貌面元作为矿体表面积成为必要预测要素,在矿产预测组最终圈定稀土矿最小预测区和资源量预测过程中发挥了重要作用<sup>[8]</sup>。

研究表明,离子吸附型稀土矿圈定的遥感最小预测区基本分布在遥感解译的地貌面元中,表明地

貌要素是极为重要的预测要素之一,可以用于快速圈定离子吸附型稀土矿的最小预测区范围。特别是在燕山三期的花岗岩分布地区,按稀土矿赋矿地貌

面元圈定的遥感最小预测区具有很好的预测效果,如图 5 所示<sup>[9]</sup>。

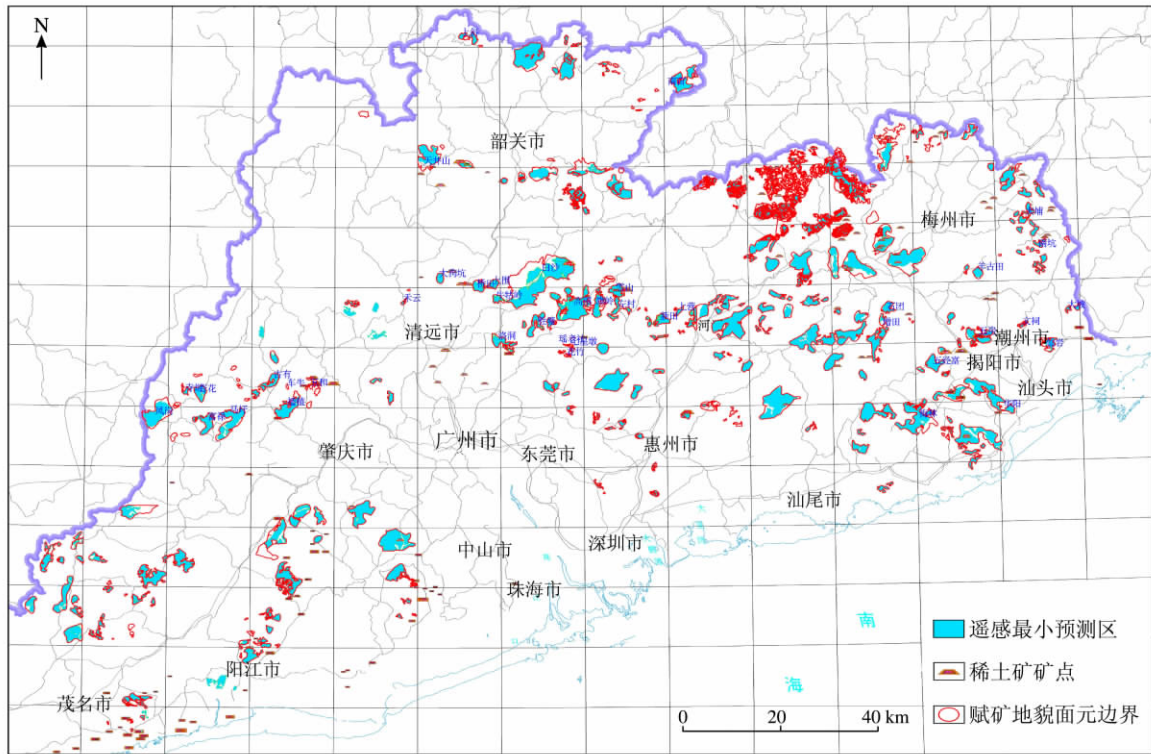


图 5 广东省离子吸附型稀土矿遥感解译图

Fig. 5 Map of ion adsorption type rare earth deposits remote sensing interpretation in Guangdong province

从图 5 可以看出: ①稀土矿主要分布在粤东、粤西地区; ②已知稀土矿矿点大多位于花岗岩风化壳分布区内,对地貌遥感解译具有指导意义; ③遥感最小预测区与稀土矿点吻合程度高,表明典型矿床外围和深部可能还有较大的找矿潜力; ④离子吸附型稀土矿与第四系分布特征基本无关; ⑤稀土矿遥感最小预测区与地貌遥感解译面元吻合较好。

#### 4.4 遥感定量预测

基于 GIS 的支持,共提取稀土矿含矿单元体 101 个。资源量估算采用简单的体积法估计,其公式为

$$Q = S \cdot H \cdot r \cdot k, \quad (1)$$

式中:  $Q$  为稀土矿资源量,  $t$ ;  $S$  为含矿单元体水平投影面积,  $m^2$ ;  $H$  为含矿单元体平均厚度,  $m$ ;  $r$  为平均含矿率,  $g/m^3$ ;  $k$  为含矿体体积分数(%)。其中,  $H$ 、 $r$  和  $k$  采用矿产预测组提供的数值。

利用式(1)分别求出广东省离子吸附型稀土矿的轻稀土和重稀土的资源量。其结果与矿产预测组用较完善的地质预测模型获得的预测资源量相差很小,精度均达 92% 以上。这表明离子吸附型稀土矿的遥感定量预测方法能够为该类矿产的资源潜力评

价提供可靠依据。

#### 4.5 资源潜力分析

离子吸附型重稀土矿是国内外稀缺资源,广东省重稀土资源丰富,是省内稀土矿的特色,今后应注重离子吸附型重稀土矿的勘查与开发。根据地貌遥感解译成果,建议将河源、佛冈、揭阳和新兴等地作为今后离子吸附型稀土矿找矿重点区域;从离子吸附型稀土矿遥感定量预测资源量分布范围来看,建议今后优先在揭阳稀土矿田、佐坑稀土矿田和黄村稀土矿田部署稀土矿勘查工作。这些矿田有望成为广东省稀土矿产的重要开发基地,建议在优先部署工作区内,整合探矿权,实行统一找矿整装勘查工作部署。

### 5 结论

1) 利用 SPOT 5 卫星遥感数据进行地貌遥感解译,研究归纳了离子吸附型稀土矿含矿岩石建造内地貌面元遥感解译的一套技术方法。

2) 从研究离子吸附型稀土矿典型矿床的含矿原岩及风化壳特征、矿体形态和成矿作用着手,系统总结了离子吸附型稀土矿的时空分布规律和遥感影

像特征。

3) 利用地貌遥感解译,快速圈定了离子吸附型稀土矿的赋矿地貌面元,进行了矿产资源量的遥感预测,对稀土矿资源潜力评价提供了遥感依据。

4) 研究表明,遥感预测资源量精度较高,该研究成果对广东省离子吸附型稀土矿勘查部署、矿产开发具有一定的参考价值和指导意义。

5) 本次遥感定量预测主要采用地貌预测要素,而岩体特征、化探异常等预测要素同样重要,需予重视;利用地貌遥感解译方法难免会有目视解译误差,从而导致定量预测结果偏离真实情况,因此今后应对地貌遥感解译结果开展必要的野外调查验证,提高其准确率。

#### 参考文献:

[1] 刘燕君,金丽芳.矿产信息的遥感地面模式[M].北京:地质出版社,1993:10-34.

- [2] 肖美英,朱谷昌,杨自安,等.青海省野马泉地区遥感找矿预测研究[J].矿产与地质,2007,21(4):468-471.
- [3] 王耿明,王利花,邢宇.基于 SPOT 数据的广州市遥感地质构造解译分析[J].海洋地质动态,2010,26(1):21-24.
- [4] 楼性满,葛榜军.遥感找矿预测方法[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 于学政,金玉声,杨日红,等.藏东遥感地质与矿产资源[M].北京:地质出版社,2003.
- [6] Loughlin W P. Principal Component Analysis for Alteration Mapping[C]//Proceedings of the 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. Denver, USA, 1991:293-306.
- [7] 王耿明,朱俊凤,吴海陆.粤北地区铁铜铅锌矿资源潜力的遥感预测评价[J].华南地质与矿产,2011,27(2):147-153.
- [8] 陈华惠,朱亮璞,李斌山,等.遥感地质学[M].北京:地质出版社,1984.
- [9] 王瑞雪,高建国,杨世瑜.澜沧老厂矿床线-环结构模式拟建及成矿预测[J].国土资源遥感,2007(3):51-55.

## Remote Sensing Quantitative Forecast of the Potential of Ion Adsorption Type Rare Earth Resources: Land Form Research Based on SPOT 5 Data

WANG Geng-ming, HUANG Tie-lan, ZHU Jun-feng, XU Yan-jun  
(Guangdong Province Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** In order to probe into the remote sensing ore indicating significance of land form, the authors adopted 546 sheets of 1:50 000 standard maps of Guangdong Province as the study area, used the data of SPOT 5 remote sensing to carry out the extraction and precise orientation of the land form. As a result, the land form type and distribution characteristics of the study area were detected, and effective ore indicating information of land form was obtained. The result has certain reference and guidance value for prospecting and exploiting rare earth resources in Guangdong Province.

**Key words:** SPOT 5 data; rare earth resources; land form; remote sensing quantitative forecast

第一作者简介:王耿明(1983-),男,工程师,主要从事区域地质、矿产地质和国土资源领域遥感应用研究。E-mail: tiezi@126.com。

(责任编辑:刁淑娟)