ETM 遥感信息在智利北部铜矿预测中的应用

成静亮[1]　刘柳[2]　王安[3]

（1.450052、河南省有色金属地质勘查总院；2.450016、河南省有色金属地质矿产局第七地质大队

3.450016、河南省有色金属地质矿产局第一地质大队）

摘　要：在智利北部的成矿预测工作中，运用 ETM 遥感数据，进行 1∶5万遥感蚀变信息提取，结合地质异常资料分析，预测了 5 处找矿远景区。通过野外查证，有四处发现铜矿体，其中一个为斑岩铜矿远景区。因此，遥感信息在智利北部的铜矿靶区选择及找矿预测中具有成本低、速度快、成功率高的重要作用。

关键词：智利北部地区　斑岩铜矿　遥感找矿信息　找矿远景区

智利，地处美洲大陆西缘的安第斯山系，区域地质的显著特征是板块汇聚和俯冲所造成的安第斯型造山带和大陆边缘沟弧盆构造体系。由此引发的构造岩浆活动和成矿作用，成为世界范围内的巨型铜铁金钼等金属矿床成矿带。

1　智利北部地质背景与成矿作用

工作区位于位于南纬 30°—南纬 18°，属于太平洋板块向美洲板块俯冲的接触带，基本上由 3 个构造带组成：①海岸山褶皱带，主要由褶皱强烈的前寒武系和古生界组成；②南北山间盆地，位于海岸山褶皱带和安第斯褶皱带之间，实际由许多被分割的盆地组成，形成于第三纪；③安第斯褶皱带，主要由强烈的中生界组成，南北走向，是铜铁金钼等金属的成矿主导因素。

自西向东，从海岸山带到安第斯山脉，主要出露地层主要有：泥盆系、石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系、新近系和第四系。石炭系等相对较老地层主要分布于西部海岸带，而相对年轻的侏罗系、白垩系、新近系主要分布于安第斯山脉，与斑岩铜矿关系密切

区内岩浆活动强烈，形成广为分布的火山岩及侵入岩，这是海岸山脉及安第斯山的主要基岩，也和区域成矿作用关系密切。主要岩性为安山质、玄武质、流纹质、英安质的熔岩，穹丘，各类凝灰岩、角砾岩，英安斑岩、流纹斑岩、闪长斑岩、花岗斑岩及花岗岩。

研究区涉及智利南北向展布的三个主要成矿带：①海岸山褶皱带多金属成矿带——由褶皱强烈的古生代地层组成，主要矿产有铜、钼、铅、锌、锰、金、铼、硒、碲等。其中以铁氧铜金型铜多金属和脉状、层状铜矿为主。②南北山间盆地沉积矿产成矿带——由许多被分割的盆地组成，形成于新近纪，主要矿产有煤、石油、碘、硝石、硼、锂等。尤其是一大区到三大区产出盐湖众多，储量丰富。③东部安第斯山多金属成矿带——太平洋板块在中新生代（距今约 8000 万年）向南美板块俯冲，引起了大规模岩浆侵入及火山爆发，在形成安第斯山的同时，形成了安第斯山斑岩型铜多金属成矿带。该成矿带由北向南，为世界著名的斑岩型铜矿成矿带，主要矿产有铜、钼、铁、金、铼、硒、碲等。

2　遥感找矿信息提取

遥感信息是指遥感图像中反映出的成矿地质背景、控矿因素和岩石蚀变等与成矿有关的地质信息。遥感找矿信息提取主要包括成矿场源、成矿异常等信息的提取。成矿场源是以遥感基础图像、专题图像及其解译为基础，实现区域地层、成矿岩石和控矿构造等遥感影像信息的分析，选择成矿概率最大的目标地。成矿异常遥感信息提取，是以岩石矿物的光谱特征为基础，建立矿化蚀变信息提取的技术模型，提取出与矿化最密切的蚀变信息，直接指导找矿靶区定位。

作者简介：成静亮（1979－）男，2005 年毕业于中南大学地质系，硕士，工程师，主要从事地质与矿产勘查研究工作。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.1 遥感地质解译

本次工作区涉及20景ETM卫星遥感数据，工作区ETM数据的拍摄时间大致为2000年左右，拍摄季节变化较大，不过由于智利北部地区基岩裸露，多数是植被稀少的干旱沙漠区域，季节的不同对工作的影响很小。遥感图像处理方法主要包括：图像配准、图像镶嵌、几何校正、反差增强、彩色合成等。用美国7号陆地卫星ETM7/4/2波段数据处理的1:25万假彩色图像，参考1:100万地质图进行地质解译，得到的东部安第斯山脉地区图像质量较好。

通过对已知矿床的遥感图像处理表明，智利北部的斑岩铜矿床产出环境主要有两个，即环线构造边缘和环块构造内部，但主要赋矿部位是环块构造边缘及其内外侧的环线构造交汇处，同时线－环组合构造对矿床的复合控制也十分重要。由于火山活动强烈，对断裂构造的破坏明显，遥感解译出来的断裂构造缺乏连贯性，整体呈南北走向断裂系统，即阿塔卡马(ATACAMA)断裂带(主要活跃期是晚三叠纪——早白垩纪)和多明戈(DOMEYKO)(从晚始新世活跃—现代)断裂带，包含了若干断续和局部不同方向交错的断层。整体来看，断裂构造呈近南北走向，由一系列不连贯的小断层组成。系列小断层主要为NNE向，其次为NNW向，数量多，密度大，互相交接、交切，在一定范围内构成格状、菱形格局，或者密集成带出现(如图1)。

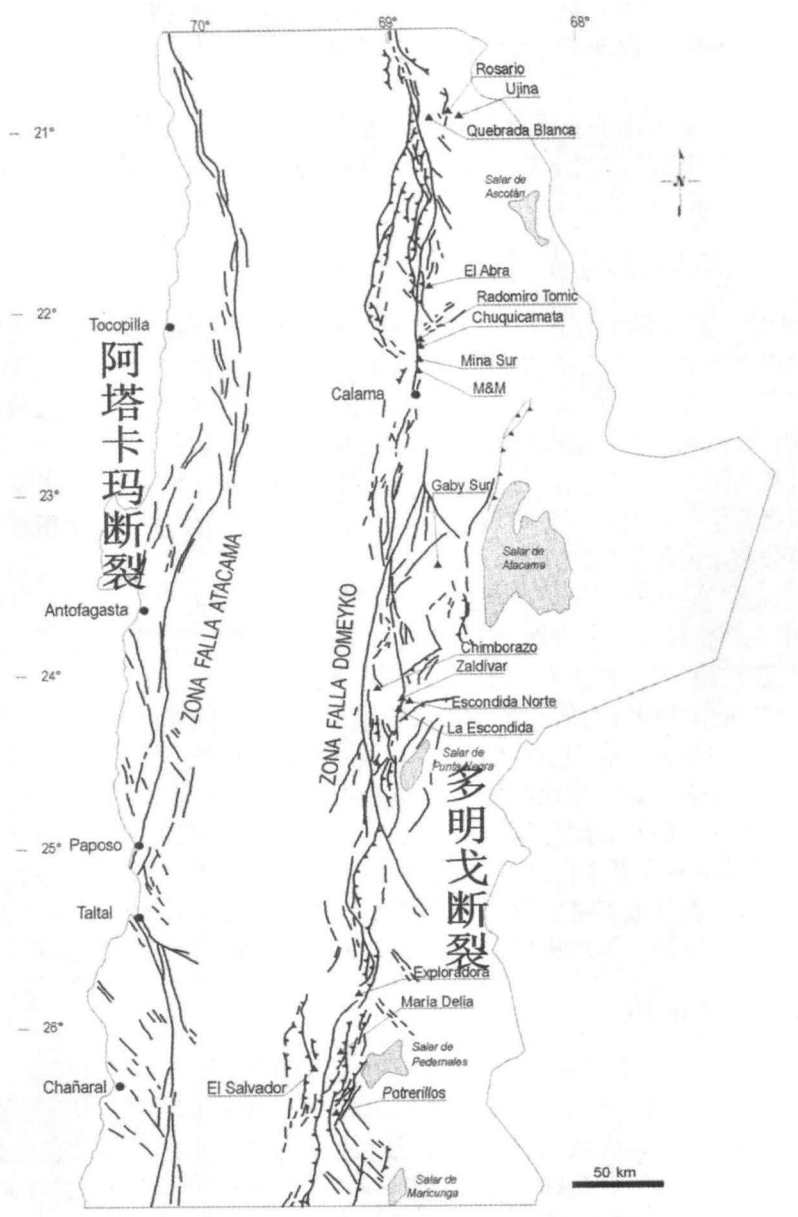


图1 智利北部构造与矿产简图

Fig1. The simple map of Structures and mineral deposits in the north of Chile

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2 矿化蚀变信息提取

本次工作所要提取的遥感蚀变信息是指与矿化有关的岩石蚀变信息异常，如褐铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、硅化等蚀变信息。在区域上与铜矿有关的矿化蚀变在遥感图像上表现为由于不同地物波谱特征的差异所造成的遥感图像上的亮度差异。通过一些图像处理方法，进而达到识别这些矿化蚀变的目的。在经过处理的遥感图像上，与斑岩铜矿有关的矿化蚀变主要表现为色带异常、色线异常或点状色彩异常。

由于本次工作区主要矿种类型为斑岩型铜矿床，其主要蚀变类型为绢云母蚀变、高级泥质蚀变和硅化作用等，因此，本次的矿化蚀变遥感信息的提取工作将主要提取羟基蚀变遥感信息。采用面向特征主成分分析法。

采用 ETM1、4、5、7 波段进行主成分变换，分别对 20 景数据蚀变信息提取工作。变换后各波段的特征向量及特征值的大多数数据在 PC4 中 ETM5、ETM7 的绝对值最大，且符号相反，而 ETM1 和 ETM4 的值很小，说明该主成分主要反应的是羟基蚀变信息，可进行下一步信息提取。这也说明该工作区由于没有植被覆盖，地表裸露，适合用该方法提取矿化蚀变遥感信息。

对 PC4 进行密度分割，并进行赋值，然后利用 Arcgis 软件进行自动矢量化，将异常信息图斑在 Arcgis 中叠加，提取结果见图 2。提取的羟基蚀变遥感异常图斑共有 6083 个，面积共计 1530km^2。异常大致分为三类：岩体型、构造型、冲积型及污染型。

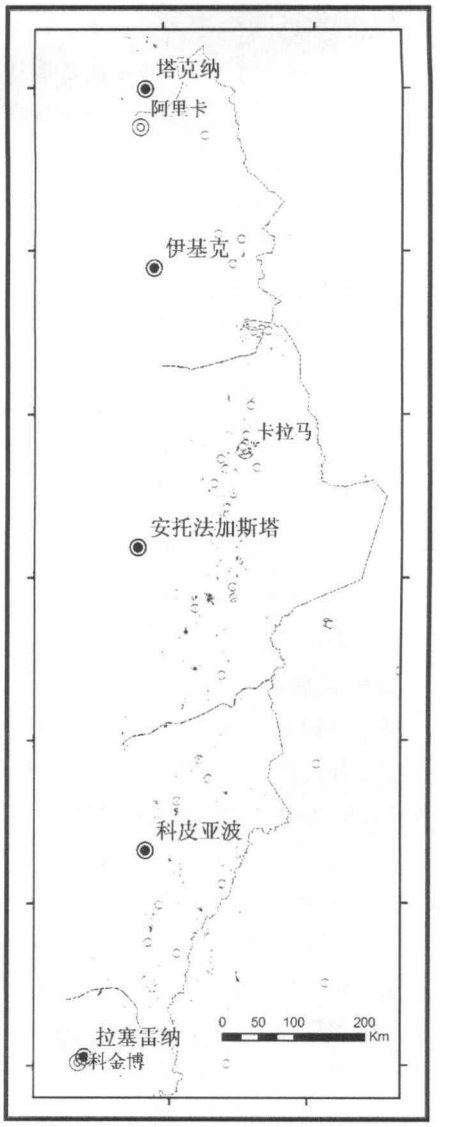


图 2 智利北部羟基蚀变遥感异常图

Fig2. Remote Sensing Anomaly Map of Hydroxy Alteration in the north of Chile

2.3 遥感蚀变异常评价

工作区共收集到 39 个斑岩型铜矿床位置，利用 Arcgis 软件叠加可知，羟基蚀变信息的提取结果很好，和已知矿床的吻合度相当高，区内有 10 个矿床见有开采迹象，且 9 个矿山的羟基蚀变遥感异常显示明显，未开采的矿山中有 20 个异常显示明显。已知矿点均分布在羟基蚀变遥感信息异常区，所以智利北部是开展卫星遥感找矿工作的理想地区。

3 遥感综合找矿预测

3.1 预测区圈定的原则

1）遥感羟基蚀变遥感异常（类比在已知矿床区域出现的特殊影像色调、色彩和纹型）的规模强度、空间分布、套合程度等特征；

2）地质构造演化与成矿作用的联系及其时空分布关系；

a. 与已知矿化有关的和有利控矿的断裂构造及其多组断裂构造汇聚地段；

b. 与矿化有关的环形影像构造，尤其是那些可能与隐伏岩体、火山机构有关的环形影像构造；

3）区域成矿地质条件、控矿因素以及成矿规律；

根据以上原则，以遥感异常为主体，结合遥感地质解译——工作区成矿地质背景、矿产分布规律，以及与成矿有关的岩石地层、控矿构造等，共圈定出了成矿预测远景区 22 处，其中蚀变异常规模大、幅值强度高、套合程度良好的最佳预测区 5 处。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2 远景区圈定及评述

1) Mani 铜矿—Spence 铜矿周边地区

中心点坐标:493000E,7494000N。区内有 Maní 铜矿和 Spence 铜矿,均未开发。区域成矿有利地层为 E_{1g}(古新统 - 始新统辉石二长闪长岩和黑云母二长闪长岩,角闪石和黑云母花岗闪长岩和二长花岗闪长岩,闪长岩,辉长岩和流纹斑岩英安斑岩)、E_{2g}(始新统花岗闪长岩,英云闪长岩,角闪石和黑云母石英闪长岩,英安斑岩和流纹斑岩)和 cp_g(石炭纪 - 二叠纪带有角闪石、黑云母、局部白云母的花岗岩,花岗闪长岩,英云闪长岩和闪长岩)。同时北东向断裂发育,而且区内的 E_{2g}地层基本上都有高值级遥感异常分布,在远景区东北角的 cp_g 地层内,局部分布高值级遥感异常,为一级远景区。

2) Sierra Gorda 铜矿床周边地区

中心点坐标:456000E,7468000N。区内有 Sierra Gorda 铜矿,尚未开发。区域成矿有利地层为 E_{1g}(古新统 - 始新统辉石二长闪长岩和黑云母二长闪长岩,角闪石和黑云母花岗闪长岩和二长花岗闪长岩,闪长岩,辉长岩和流纹斑岩英安斑岩)。区内中南部和东北部的 E_{1g}地层局部有高值级遥感异常分布,异常强度高,为一级远景区。

3) Angelina 铜矿床周边

工作区位于 La Escondida 矿床以西 30km 处,面积约 8km^2。区内有 Angelina 铜矿,尚未开发。区域成矿有利地层为 E_{2g}(始新统花岗闪长岩,英云闪长岩,角闪石和黑云母石英闪长岩,英安斑岩和流纹斑岩)和 K_{2g}(晚白垩世二长闪长岩,花岗闪长岩,辉长岩和辉石闪长岩,黑云母闪长岩和角闪石闪长岩;安山质斑岩和闪长斑岩);远景区西北部发育有北西向断层。区内的 E_{2g}有大面积高值级遥感异常分布,K_{2g}地层所处的断层附近分布有大面积高值级遥感异常,为一级远景区。

4) Inca de Oro 远景区

中心点坐标:399000E,7024000N。区域成矿有利地层为 E_{1g}(古新统 - 始新统辉石二长闪长岩和黑云母二长闪长岩,角闪石和黑云母花岗闪长岩和二长花岗闪长岩,闪长岩,辉长岩和流纹斑岩英安斑岩)和 J_{2-3g}(中 - 晚侏罗世石英二长闪长岩,黑云母、辉石、角闪石闪长岩和花岗闪长岩)。E_{1g}地层基本上都有高值级遥感异常分布,J_{2-3g}近一半有高值级遥感异常分布,为一级远景区。

5)712 岩体远景区

位于智利阿塔卡玛大区南部安第斯山脉,巴耶纳尔东直距 43km,东西长 5km,南北宽 3km,面积约 15km^2。本区完全处于 Relincho 古新世 - 始新世(63 ~ 38Ma)侵入杂岩体中段西部。岩性有黑云母花岗闪长岩和二长花岗闪长岩,辉长岩和流纹斑岩/英安斑岩(E_{1-2g})。

从遥感影像上看,自本区西南角向北东流至 X684100 线与 Y366000 线交点的水系支流应是不同岩性岩石单元的分界线,此线西北部岩性呈橘红色,发育近东西向的平行水系支流河道多弯曲,反映地势较平缓,岩性较软弱,可能是偏中性的闪长岩($E_{1-2g\delta}$);东南部影像呈浅灰黄色、浅灰蓝色,发育北西向平行树枝状水系,支流河道较平直,切割较深,可能为偏酸性的花岗闪长岩($E_{1-2g\gamma\delta}$)。

岩体形成近 8km^2 的环形构造,其中有北西向灰色条带,可能是后期中性岩脉 - 闪长玢岩($\delta\mu$)和北东向蠕虫状细脉体,为石英脉(q)。在 X6839000 线与 Y364000 线交点北东见有密集高值级遥感异常分布,为一级成矿远景区。

4 远景区验证

远景区的验证工作主要围绕不同矿化蚀变、成矿构造、有利岩体以及矿源层等地质直接找矿信息和有利的物探、化探等间接找矿信息与蚀变异常在空间上的套合程度进行。通过远景区遥感异常检查,在一、三、四号远景区共发现不同大小铜矿体 12 条,厚度 0.6 ~ 5.6m,X 快速分析仪显示含铜 1.25 ~ 6.44%,金属矿物以孔雀石、褐铁矿、斑铜矿等氧化矿为主。

值得提及的是在 712 岩体远景区新发现斑岩铜矿一处。矿区的环形构造范围内出露的主要岩石有黑云斜长花岗岩、闪长岩,据此判断矿区存在一个火山活动中心,北东向次级断裂带提供成矿通道,外围的硅化、碳酸盐化、黄铁矿化构成斑岩型矿床的外带即泥化和青磐岩化带。据野外地质调查,在

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩体顶部的铜矿露头呈面状分布，蚀变特征是绿泥石化、高岭土化强烈，而且矿区附近三十千米范围内有大型铜、金矿存在，区域成矿条件优越。

从本项工作可以看出，针对工作区的成矿地质背景、已知矿床分布规律，以遥感蚀变异常为主要对象，结合遥感地质解译结果，进行遥感成矿预测，可以为矿产资源潜力评价和找矿预测提供重要的信息依据，并具有良好的成矿预测应用效果。

参考文献

[1] 遥感图像岩石信息提取的最优密度 2003

[2] 超大型矿床成矿模式 2000

[3] geological devepment and mineralization in the Atacama segment of the south American Andes, northern Chile, GEOL Rundsch 1993(652 - 662)

[4] 遥感信息在青海督冷沟地区成矿预测中的应用[J]地质与勘探 2005

Application of Remote Sensing Information in the Copper Deposit in the North of Chile

Cheng Jingliang[1], Liu Liu[2], Wang An[3]

(1. *General Institute of Non - ferrous Metals Geological and Exploration, Henan province* 450012; 2. *No. 7 Branch of Nonferrous Metals Geological and Henan Provincial Bureau of Geo - exploration and Mineral Development* 450016; 3. *No. 1 Branch of Nonferrous Metals Geological and Henan Provincial Bureau of Geo - exploration and Mineral Development* 450016)

Abstract: In the metallogenic prognosis of north area of chile, ETM data is used to extract Remote Sensing ore—finding information with a scale of 1 : 250000 & 1 : 50000. Combined with analysis of geologic anomalies, five prospecting areas are predicted. By the field survey and verification in the ore—finding prospecting 12 large or small copper orebodies in 4 places and a porphyry copper deposit was found. It is concluded that Remote Sensing information can play an important role in the evaluation of mineral resources potential and ore—finding prediction.

Key words: North area of CHILE, porphyry copper deposit, Remote Sensing ore—finding information, ore—finding prospect

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net