

CNIC-01305

BRIUG-0044

大兴安岭西坡铀-多金属矿床成矿远景遥感应用研究

罗富生 崔振奎 方茂龙 王国娟 天 华

(核工业北京地质研究院, 100029)

摘 要

遥感地质扩矿的关键是在成矿理论的指导下, 根据遥感影像特征提取和识别与成矿、控矿有关的地质信息。将区域成矿地质背景分析与遥感应用研究相结合, 充分发挥遥感技术的优势, 针对该区实际情况和覆盖区的特点, 通过对多种卫星遥感影像数据进行不同的变换处理, 提取了覆盖区地质体的信息。根据透视信息、地貌特征、水系结构、色调差异等解译分析了区域地质背景和主要控矿因素; 根据遥感影像特征识别了主要的产铀火山构造盆地、控矿构造、中生代火山岩系、火山机构、成矿岩体等, 建立了不同类型矿床遥感影像模式。应用多源信息复合技术预测成矿远景区。研究表明, 在大面积覆盖、地质背景复杂的地区应用遥感技术提取和识别找矿信息是可行的, 认为该区具有良好的区域成矿地质背景和成矿条件, 是寻找铀和多金属矿床的有利地区。

**Remote Sensing Application Research of
Mineralization Prospect of Uranium-Polymetal Deposits
in West Side of Daxinganling**
(*In Chinese*)

LUO Fusheng CUI Zhengkui FANG Maolong
WANG Guojuan YAO Hua

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC, 100029)

ABSTRACT

The key of mineral exploration by remote sensing method is the extraction and identification of mineralization-related geologic information from remote sensing data under the guidance of mineralization theory. Remote sensing research of deposits is combined with the analysis of regional geology setting, so as to give full play to the advantage of remote sensing technology. According to the geologic features of the covered area, different kinds of satellite data are, at first, selected and processed with different methods and therefore mineralization-related geologic information is effectively extracted. Then regional geologic setting is discussed and main mineralization-controlled factors, such as uranium-occurred volcanic basins, mineralization-controlled faults and granite bodies, Mesozoic volcanic rock series, volcanic framework, are identified. On the basis of the former study, the remote sensing image models of different kinds of deposits have been established. Finally, multisource information integration technique has been applied to the assessment of favorable mineralization areas. This research shows that it is feasible to extract and identify mineralization-related information from remote sensing images in complicated and covered areas, and that the study area is favorable for uranium and polymetal deposit explorations because of its favorable geologic setting and mineralization conditions.

引言

大兴安岭西坡额尔古纳成矿带是中国东北部重要的多金属成矿带。鉴于在毗邻中国的俄罗斯、蒙古同一构造带上相继找到了大型、超大型铀和多金属矿床,中国境内与其有相似的构造环境,但该区森林、草原、第四系覆盖严重,地质研究程度低,给遥感找矿应用增加了相当的难度。如何在植被覆盖、地质背景复杂的地区提取和识别地质矿产信息,寻找铀和多金属矿床,是本文研究的重点内容。

1. 区域成矿地质背景及主要矿床

大兴安岭西坡额尔古纳成矿带位于额尔古纳加里东褶皱系与大兴安岭海西褶皱系交接带上,基底为前寒武纪变质岩系,古生代沉积岩-火山碎屑岩系及大西积覆盖的中生代火山岩系。区内火山喷发及岩浆活动频繁而强烈,形成巨大的火山-岩浆隆起带及火山构造盆地。地质构造复杂,线性、环形构造发育,尤以北东向得尔布干-呼伦深大断裂为主导,对该区构造发展、火山喷发、岩浆活动及成矿有重要的控制作用,具有良好的区域成矿地质背景。从构造背景看,成矿区段主要分布在前寒武纪中间地块上、火山-岩浆隆起带及火山塌(断)陷盆地中;远景类型主要是与中生代火山-侵入作用有关的热液矿床;矿产远景主要是铀-多金属矿床。目前在该成矿带已发现一批大型、超大型铀和多金属矿床,如俄罗斯的红石铀矿床、蒙古的乔巴山矿床及中国境内的甲乌拉、查干布拉根、额仁陶勒盖、乌奴格吐等多金属矿床。这些矿床都产于同一构造带上,具有相似的区域成矿地质背景。

2 遥感数据处理方法及效果

遥感数据处理是遥感地质工作的重要环节,根据研究区的实际情况和要突出的地物目标特性,采用了多种卫星遥感资料(包括 MSS、TM、“尖一甲”卫星资料等),进行了全区不同比例尺彩色合成和数字影像镶嵌处理,为了有效地提取与成矿有关的影像信息,在重点区段进行直方图均衡化、主分量变换、比值增强等图像处理方法,获得比较理想的遥感图像。

2.1 多波段彩色合成

TM7 个波段原始数据及相关矩阵统计结果表明, TM4 或 TM5 与 TM7、TM2 波段合成(RGB),经直方图均衡化,改进了对岩类的识别能力,提高了图像亮度值差别,线性构造清晰,侏罗纪不同岩性的火山岩得到明显反映。

2.2 主成分分析(K-L 变换)

主成分分析的优点是具有压缩数据的能力,把多光谱影像数据压缩成一个或两个主成分影像数据;减少与主成分影像数据有关的噪音;使不同地物的光谱特征差别比在各个波段上变得更明显。利用 K-L 变换,使受植被及第四系覆盖影响,在彩色合成图像上很难区分的花岗岩体得到增强,使岩体的轮廓基本显示出来,据此可勾划出隐伏岩体的界线。

2.3 比值增强处理

比值增强是通过比值图像来突出类别和目标的。构造、热液蚀变带是与矿化密切相关的直接判译标志,银、金及多金属矿化的同时,沿构造及矿化围岩多有蚀变现象。TM5/7 增强了含 OH^- 和 CO_3^{2-} 的蚀变矿物信息,是研究热液蚀变的最佳比值,但研究区为植被覆盖

区,由于植被在 TM5、TM7 波段均受水吸收带控制,因而 TM5/4 除有增强铁离子信息的作用外,还有压抑植被信息的明显作用。因此图像处理中采用增强植被、蚀变信息的 TM5/7 与增强蚀变、压抑植被的 TM5/4 和 TM3/1 进行比值合成,突出了构造和蚀变带信息。

2.4 “尖一甲”卫星资料图像处理

“尖一甲”卫星资料具有较高的分辨率,但它提供的是黑白底片或像片,因此将其按一定精度转换成数据源格式,以便进行增强、假彩色合成,使有用信息更突出。利用增强的假彩色合成图像,提取和解译出 TM 影像上没有反映出的环状影像和 NE、NW 向区域构造,确定了产铀火山盆地的中心和范围,而这种环状构造和断裂构造正是控矿的主要因素之一。

3 控矿因素影像特征解译分析

3.1 控矿因素分析

(1) 矿床的总体分布受深大断裂带控制。已发现的矿床、矿点主要分布在北东向得尔布干-呼伦深大断裂带的西北侧,构成重要的多金属成矿带;

(2) 矿床受含矿建造控制,铀矿化主要产于中酸性火山岩建造中,银金等多金属矿床主要产于中基性火山岩及花岗岩建造中;

(3) 矿床受火山岩浆隆起带及火山构造盆地控制,多金属矿床主要产于火山岩浆隆起带上,铀矿化主要产于火山增(断)陷盆地中;

(4) 矿床受环状构造、火山机构控制;

(5) 矿化与多期花岗岩化有关,特别是浅成酸性小岩体与多金属矿床有密切关系;

(6) 矿床受断裂构造控制,矿床定位在北东、北西向构造交汇部位。

3.2 控矿因素影像特征识别

影像特征是指不同地质体具有的不同影像色调、形状、纹理、结构等影像要素。影像特征反映在遥感图像上主要为光谱信息和结构信息,这些信息是识别控矿因素的主要依据。在岩石裸露区,影像特征是不同地质体光谱信息的直接反映。而在覆盖区,除覆盖层本身的影像特征外,覆盖层下地质体的一些信息通过地貌特征、水系结构、岩性变化、第四系含水性、植被类型等信息也会反映到覆盖层。控矿因素的一些特征信息在遥感图像上以不同的光谱信息和结构信息反映出来,通过图像处理和综合解译是能够识别的。

3.2.1 断裂构造影像特征识别

前述本区断裂构造极其发育,区域断裂为北东向、北西向、北东东向、北北东向、东西向,其相交形成网络状断裂系统。

影像上断裂构造反映得比较清楚,线性特征明显,断裂两侧具不同的影像色调和影纹结构,受植被及第四系覆盖影响,地貌上多表现为沟谷、河流改道、线状水系及一系列断层三角面,岩体和火山岩沿断裂呈带状展布,隐伏断裂也有一定的显示,呈串珠水系特征。

从遥感解译图可看出(图1),区域上以北东、北西向构造最为发育,构成该区主要构造格架,其相互交切,形成网格状断裂系统,且北东、北西向断裂具等间距分布。特别是北东向展布的得尔布干-呼伦深断裂带其规模大,活动时间长,线性影像特征明显,在重、磁图上有明显的反映,航磁图上表现为强烈的正磁异常带和不同区域磁场特征的分界线,该断裂带控制了本区的构造发展、岩浆侵入和火山喷发活动,该断裂带是在前中生代基底断

裂上发展起来的一条重要的区域性的构造-火山岩浆带。同时也是一条极其重要的多金属成矿带,在其南段形成多金属成矿区,中段有八大关等铜铅矿床,北段有众多的多金属矿点。沿带分布的火山塌(断)陷盆地中有铀矿化显示。矿床定位在东北、北西向构造交汇部位。成矿主要与构造交叉部位、燕山期花岗岩、晚侏罗纪火山岩有关。

3.2.2 中生代火山岩系影像特征识别

中生代火山岩的形成和分布明显受基底隆起带、火山喷发岩带、火山构造盆地及火山构造控制。在火山岩带内形成火山岩浆隆起带及一系列火山塌(断)陷盆地,火山机构、环状构造发育。由于其覆盖类型、覆盖程度不同,因而其光谱特征也是复杂多变的,但对于某些特定的区域和地质体而言,通过图像处理和综合解译分析,根据色调、纹理、水系结构、植被类型是能够加以识别的。在森林草原过渡区,火山岩在 TM4、7、2 合成图像上呈蓝绿色;而花岗岩呈斑杂色。火山岩发育似树枝状水系结构。而花岗岩则呈细小的羽毛状水系,在水系结构变异部位为两者的分界线。在岩性上,中基性火山岩色调较暗;而中酸性火山岩色调相对较浅。矿床主要产于晚侏罗纪火山岩中,含矿岩性主要为基性及中酸性火山岩,前者多为银金等多金属矿床,后者与铀矿化关系密切。

3.2.3 花岗岩与成矿岩体影像特征识别

花岗岩在遥感影像上有明显的反映,其光谱信息和结构信息都极其显著。根据不同色调、纹理、水系结构可识别不同时代、不同期次的花岗岩体,在比值图像上,以独特的色调特征区别于其它岩类。特别是与多金属矿床有关的燕山期小岩体在影像上也有明显的反映,如西旗花岗岩斑岩,在 TM5、7、3 合成图像上呈淡黄色,块状结构,北部因受第四系覆盖,影像特征模糊,但仍可识别出岩体范围。这些酸性小岩体在区域上有一定的分布,是寻找银金等多金属矿床的有利地段。

3.2.4 火山机构影像特征识别

由于该区火山-岩浆作用强烈,致使火山构造非常发育。从遥感解译可见,在满州里-西旗火山岩浆隆起带上发育一系列火山机构。如乌奴格吐山、哈拉胜格拉、甲乌拉等地的环状、半环状影像,有的反映火山机构特征,有的则反映岩浆活动中心。火山机构由于受覆盖层影响和后期构造破坏,在地表很难看到,平面上多呈圆形或椭圆形,产于几组断裂复合部位,在遥感图像上,多以环状、半环状形式表现出来,根据其地貌特征、水系格式、色调差异所反映的覆盖层下地质体的信息可进行识别。乌奴格吐山破火山机构,在遥感图像上呈一半环状影像,其环内外具有不同的色调、影像结构,地貌上呈一火山洼地,环内部分相对凹陷,推测为火山塌陷作用形成的火山塌陷盆地,受基底北东、北西向断裂构造控制,它不仅控制火山热液活动,而且与成矿有密切关系,在环外侧的火山管道中有铜铅矿床,在环内次级构造中有铀矿化和铀高场显示,是寻找火山岩型铀矿床的有利地区。哈拉胜格拉的环状影像则显示为火山穹隆构造,受北东、北西向断裂交叉部位控制,放射状水系、放射状断裂发育,该火山穹隆中有 Ag、Pb、Zn 多金属矿化显示。

3.2.5 火山岩浆隆起带及火山构造盆地影像特征

受火山-岩浆作用及断裂构造影响,形成断隆带、断陷带及火山构造盆地。满州里-西旗中生代火山岩浆隆起带受北东向深断裂控制,前中生代构造层多被掩盖,中生代构造层断裂构造发育,形成的断隆带、断陷带呈北东向相间排列,断陷带前白垩纪地层广泛出露,侵入岩发育,地形较复杂,有内生矿床、矿点分布,影像特征明显。根据其地质、地貌特征,

遥感影像标志及重磁资料可划出次级隆起带和凹陷带。

火山构造盆地则主要是地槽褶皱带内中间地块上的中生代活化的火山塌(断)盆地。其主要特征为:在影像上,火山盆地多产在两组贯穿基底的区域性大断裂夹持区或交汇部位,沿盆地边缘或盆内多有大小不等的环状影像,显示出火山盆地的大致范围,并具有特殊的色调特征,断裂构造、环状构造、火山机构发育,形成断裂-火山构造系统;在结构上,基底多为前寒武纪基底隆起,或经多期花岗岩化作用的富铀花岗岩基底,盆地盖层均为多旋回、多韵律、岩性组合多样、厚度较大的中酸性为主的火山岩含铀建造,盆地之上或傍侧发育中新代裂陷盆地。如灵泉、巴扬山、上护林火山塌陷盆地,大青山火山断陷盆地等。

火山隆起带及火山构造盆地是寻找铀和多金属矿床的有利构造环境,多金属矿床主要产在火山隆起带的断隆区,铀矿化主要产在具三层结构的火山塌(断)陷盆地中。

4 遥感影像找矿模式及远景预测

前述该区既有铀矿床产出,也有多金属矿床产出,这些矿床同处于地槽褶皱系内不同的地质条件和构造部位。不同类型矿床遥感影像模式是在对区域成矿背景分析,遥感影像信息解译,成矿地质特征和矿化分布规律认识,控矿因素影像特征识别的基础上建立的。通过研究控矿因素与遥感图像上可识别标志的对应关系,确立找矿的影像标志,建立遥感影像模式,这种影像模式主要是对区域性的遥感找矿的认识加以模式化。通过类比的方法来寻找地质条件和影像特征相似的地段,指导遥感找矿和成矿预测,是进行远景区评价和预测的主要依据。

4.1 铀矿床遥感影像模式

(1) 成矿区基底为前寒武纪中间地块,其上发育多期花岗岩化作用,在此基底上发育的火山盆地是铀矿床形成的有利成矿背景,图像上表现为不同的影像层体;

(2) 发育在北东-北北向大型线性构造旁侧的环状、半环状构造,直径一般在10~20 km,往往形成火山塌(断)陷盆地,受切壳断裂控制;

(3) 具有长期活动,贯穿基底的区域性北东、北北向线性构造,线性影像特征明显,其交汇部位是矿床定位的重要因素;

(4) 影像上形成特殊色调的圆形、次圆形火山塌(断)陷盆地,并发育多旋回、多产出相的中酸性为主的喷发岩和次火山岩,盆地内断裂构造、火山机构发育;

(5) 发育以粘土化为代表的蚀变作用,这种蚀变作用是含矿火山热液活动的重要组成部分,是成矿作用的前锋蚀变,影像上多表现为浅色带或浅色蚀变区;

(6) 地球物理场表现为低重力场区,地表存在高航放场,并有大量的铀矿化点和异常带。

4.2 多金属矿床遥感影像模式

(1) 成矿区受区域深大断裂带控制,矿床多分布在火山岩浆隆起带上的断隆区,形成影纹结构粗糙,色调较暗的影像特征;

(2) 铀和多金属矿床往往产于同一成矿带上,受北东、北北向线性构造交汇控制,但铀矿床产于火山盆地中,多金属矿床产于盆地外围的隆起带内;

(3) 多金属矿床成矿与次火山岩体、超浅成脉岩群有关,特别是发育燕山晚期浅成、超浅成的酸性小岩体,往往在构造交叉部位形成火山一次火山岩的侵入喷发中心,影像上具

斑杂色调, 环状构造发育;

(4) 发育基性-中性-酸性火山岩, 特别是发育反射率低, 呈黑灰色调的基性火山岩, 以安山岩类与金银等多金属矿化关系密切;

(5) 影像上具有密集的次级线性构造、环状构造、多组构造交汇, 并有酸性小岩体叠加, 是成矿的有利部位;

(6) 地表具有强度高、成片性好的 Ag, Pb, Zn, Cu 次生晕异常, 并有多金属矿点分布。

上述遥感地质影像模式, 客观地反映了该区与成矿有关的各种矿产信息同遥感表征信息的相关关系。透过地表信息, 揭示地表下的成矿信息。该区火山岩型铀矿以北东向断块隆起带及多期花岗岩化岩石为基底; 晚侏罗纪火山构造盆地为基础, 北东、北西向断裂复合控制的热源环形体的汇集区及发育以粘土化为代表的热液蚀变的成矿规律, 其形成的影像表现形式是铀矿找矿远景预测的主要依据。

4.3. 成矿远景预测

通过对该成矿带区域成矿背景、控矿因素研究及控矿因素影像特征解译分析, 建立了不同类型矿床遥感影像找矿模式。并根据找矿模式及信息复合技术预测了成矿远景区。

结果表明, 在大面积覆盖、地质背景复杂的地区应用遥感技术提取和识别找矿信息是可行的, 查明了该成矿带区域成矿地质背景, 解译了主要的成矿信息, 确定了北西向构造的存在及控矿作用。在预测的火山盆地和有利成矿区段中, 分别发现铀矿化和多金属矿点, 并希望发展成为矿床。

5 多源地学信息数字图像分析及成矿预测

为进一步查明该区银-多金属矿床的成矿条件和控矿因素, 进行该区成矿预测, 必须充分利用遥感、地质、物探等多源地学信息, 以数字图像处理技术为手段, 密切结合地质各专业学科的特点, 进行分析、综合和演绎。全方位、多角度地对同一地质问题进行综合研究, 从三维空间去揭示场源地质体的特征, 最大限度地提取有用的找矿信息。在典型矿床剖析的基础上, 建立综合找矿模型, 并用多元统计分析的方法进行全区的成矿预测。整个过程主要由地质单学科数据的处理和地质多学科数据的综合来完成。其中, 建立综合找矿模型是关键环节, 而它又取决于地质、遥感、物探这三方面信息的提取及综合。

5.1 遥感数据的处理及信息的提取

根据研究区的特点, 如地表出露单一(草场), TM 各波段相关性大, 灰度偏低。我们除采用常规的处理方法外, 还应用了 IHS 变换, 它是用颜色的三个基本属性亮度 (I)、色调 (H)、饱和度 (S) 来描述和区分物体的色彩, 其目的是增强图像的可读性, 减少相关性。在植被严重覆盖区应用 IHS 空间变换, 取得了良好的地质效果。

通过对大量遥感图像的地质解译, 不仅得到了地表及隐伏地质信息, 为区域地质及成矿规律的研究提供了基础图件, 而且为该区多金属矿的成矿预测提取了一些直接和间接的遥感找矿标志。

5.2 物探资料的综合处理及地质解译

物探数据处理的目的就是: 分解叠加场, 提高有用信息的分辨率, 改善异常的地质解译效果。

对研究区的航磁资料进行了化极、上延、求导,超趋势面分析及立体阴影显示等处理。对航放数据进行了密度分割、比值、主成分分析等处理。

5.2.1 航磁资料的综合地质解译

(1) 构造信息解译(构造格架和类型),可得出以下结论:

a. 证实了本区南北向构造的存在,明确了南北、北东(北北东)和北西向断裂构造为主要构造格架。

b. 划分了构造级别,即 SN 向构造为基底构造(导岩构造),NE 向为区域性大断裂,控制了构造热液活动(控矿构造),NW 向为控矿、容矿构造。

(2) 岩性及找矿信息的提取

通过磁异常的解译可提取以下找矿标志:

a. 正磁场中的局部低缓负磁异常(寻找浅成、超浅成的酸性小侵入体)。

b. 在本区西北部以异常为主,异常频率变化大的短波磁异常。

c. 航磁异常圈定的磁性体的边缘及邻区。

5.2.2 航放资料的解译

航放资料的解译可得出以下结论:

(1) 可利用放射性场的分布来划分不同期次岩浆活动的岩石地化特征。

(2) 可利用航放数据的环形异常研究岩浆活动的特点及岩体的侵位。

5.2.3 重力资料的解译

研究该区的布格重力异常解译可得出以下结论:

(1) 本区在区域上属于凹陷区,从莫霍面等深图上反映出该区的莫霍面深度可在 44 km。

(2) 通过对比航磁、重力解译结果,确认 NE, SN, 及 NW 向断裂为重、磁吻合断裂,南部第三纪中基性火山岩为重、磁同源岩体。

(3) 重力异常的次生密度带及梯度带为有利的找矿标志。

5.3 银-多金属综合找矿模型的建立及成矿预测

5.3.1 银、多金属找矿模型的建立

通过对已知矿化的研究,我们可以筛选出以下找矿地质变量,以便建立统计预测模型:

(1) 燕山晚期浅成、超浅成的酸性入体。

(2) 多期次火山-岩浆活动形成的环状、放射状断裂(统计预测模型中用遥感解译环形构造)。

(3) 北东向、北西向断裂及其交汇部位(用遥感解译一、二级线性构造)。

(4) 成矿围岩是侏罗纪的火山岩。

(5) 矿床围岩蚀变的类型复杂,主要有青磐岩化、硅化、绢云母化、冰长石-石英-碳酸盐化(用放射性钾场可识别)。

5.3.2 应用“证据权重法”进行成矿预测

“证据权重法”是由著名的加拿大数学地质学家 F·P·Agerberg 等提出的,其理论根据是贝叶斯条件概率。它是将找矿地质因素表示为控矿地质证据的二值图形,分别求出它们的权重,并在满足矿化条件相互独立的前提下,用这些地质证据叠合时后验概率的分布,来指示成矿远景。它是统计方法在地学信息复合中的新途径。

从成矿预测图上可以看出,后验概率的高值区处于环形构造、北东、北西向断裂以及成矿围岩的复合部位,这与地质分析的结果是一致的,只是预测范围更具体,并给予定量的表达。因此,我们认为用“证据权重法”进行成矿预测是有效的,预测的精度取决于资料的可靠性和全面性。

由于此项工作发挥了遥感及计算机优势,具有直观、快速、灵活的特点,因此,有助于地质人员进行综合分析、捕捉潜在信息,促进创造性思维。这一技术思路与方法具有一定的推广应用价值。

6 结 论

(1) 额尔古纳成矿带具有良好的区域成矿地质背景,成矿区段主要分布在前寒武纪中间地块上、火山-岩浆隆起带及山塌(断)盆地中;

(2) 铀矿化多产在基底长期隆起,具三层结构的火山塌(断)陷盆地,受区域性 NE、NW 向构造交汇部位,中生代中酸性为主的火山岩建造及环状构造,火山机构控制;多金属矿床主要产在火山岩岩浆隆起带上,与区域性断裂构造、酸性小岩性、中基性火山岩有密切关系;

(3) 针对覆盖区的特点,采用多种卫星遥感资料和不同的图像处理方法提取地质找矿信息有较好的找矿效果;

(4) 根据透视信息、地貌特征、水系结构、色调差异等影像特征,在覆盖区成功地识别了主要的产铀火山构造盆地、控矿构造、中生代火山岩系、火山机构、成矿岩体等控矿因素;

(5) 在遥感解译分析的基础上,认为该成矿带构造格架主要为北东、北西、北东东、东西向组成,构成网格状断裂系统,且北东、北西构造具等间距分布,成矿主要与构造交叉部位、燕山期花岗岩、晚侏罗纪火山岩有关;

(6) 根据遥感影像,解译确定了北西向构造的存在及控矿作用;

(7) 查明了该成矿带区域成矿地质背景,建立了不同类型矿床遥感影像找矿模式,预测了成矿远景区,取得较好的应用效果。