

doi: 10.6046/gtzyyg.2012.01.20

# 遥感在矿产资源潜力评价中的综合应用研究 ——以山西省为例

李嵩, 李海鹰

(山西省地质调查院遥感信息中心, 太原 030006)

**摘要:** 以山西省遥感地质找矿为例, 以区域地质和成矿理论为基础, 通过对 ETM<sup>+</sup> 遥感图像进行控矿构造要素、控矿环状要素、色调异常、找矿标志、蚀变矿化异常等遥感要素的解译和研究, 从宏观上总结了区域性大型断裂与成矿的关系, 提出区域遥感地质找矿模型; 在微观上圈定了遥感最小预测区, 为矿产资源潜力评价和找矿预测提供重要线索和依据。所取得的成果和经验可为今后山西省的遥感地质找矿工作打下基础。

**关键词:** 遥感解译; 矿产资源; 成矿要素; 最小预测区

中图分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2012)01-0111-09

## 0 引言

近年来, 随着中国经济的快速发展, 对矿产资源的需求越来越大。山西省是矿产资源大省, 为我国的经济建设提供了大量的矿产资源; 但是, 经过几十年的工作, 地质勘探程度已相对较高, 常规找矿工作难度不断加大, 需要不断创新, 运用新的技术手段和理论, 继续在矿产资源潜力评价和找矿工作中寻找新的突破, 以提高找矿工作的效果。

全国矿产资源潜力评价是找矿的前期工作, 是实现找矿突破的基础。它运用新技术、新方法科学地评估我国有望发现的矿产资源量, 具有重大意义。在这项工作中, 山西省进行了一次覆盖全省的遥感地质解译, 取得了一系列遥感成果, 为全省的找矿预测提供了重要依据。

本文以全国矿产资源潜力评价项目为依托, 采用 Landsat 7 ETM<sup>+</sup> 遥感图像, 并对其进行 ETM7 (R), ETM4 (G), ETM1 (B) 假彩色合成, 通过对山西省遥感图像的解译和矿化蚀变信息等的研究, 总结了山西省遥感地质找矿综合成果, 为今后山西省的遥感地质研究和矿产资源勘查提供依据和线索<sup>[1]</sup>。

## 1 区域地质矿产概况

山西省位于华北板块的中部, 以山西地块为主体, 西与鄂尔多斯地块、东与华北平原接壤, 南北介于秦岭、阴山造山带之间。其中有著名的五台山、恒

山、太行山、吕梁山、中条山等山脉(图1)。

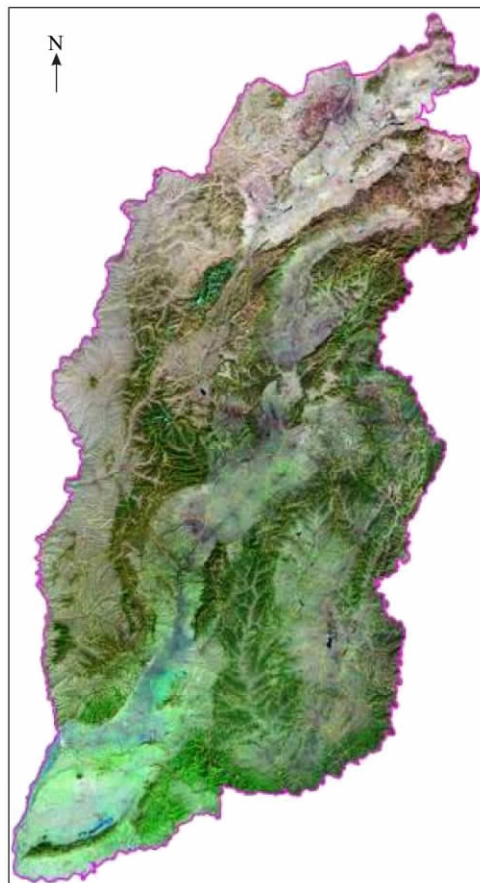


图1 山西省 ETM 影像图

(ETM7(R), ETM4(G), ETM1(B) 假彩色合成)

Fig. 1 ETM image of Shanxi province

自吕梁运动形成华北统一克拉通之后, 中元古代—古生代长期未发生过显著的构造变化; 到中、

收稿日期: 2011-09-30; 修订日期: 2011-11-10

基金项目: 中国地质调查局全国矿产资源潜力评价山西省矿产资源潜力评价项目(编码: 1212010633901) 资助。

新生代发生了强烈的造山作用,形成大兴安岭—太行山—武陵山重力梯度带(中部太行山段)和山西的黄土高原—山脉系统。山西的总体构造格架形成于中生代,构造线方向在省中部山西地块总体为北东(NE)向,南北两端为北东东(NEE)向,呈“S”形展布。自新生代以来,由于喜马拉雅运动的强烈活动,叠加形成了贯穿山西南北的汾渭裂谷带,隆起与拗陷特征明显。不同时代的岩浆岩发育,地层出露齐全(尤其是典型的下前寒武系五台群、豆村群、东冶群、郭家寨群和石炭—二叠系煤系地层),中、新生代构造形迹更为世人所瞩目<sup>[2]</sup>。各构造旋回的大地构造环境和构造—岩浆活动,控制了各矿床成矿系列的分布。除石炭—二叠纪形成煤及相关矿产外,还形成了五台山铁、钼、金、多金属、硫铁矿和中部条山铜、金、钴、钼、多金属、磷成矿带。

山西省遥感地质构造的总体格架如图 2 所示:东部展布于太行山区的北北东(NNE)向太行山大断裂带和西部与鄂尔多斯地块交接的南北(SN)向离石逆冲断裂带是山西的 2 条重要的控制山西地块 SN 向展布的岩石圈深大断裂带;北部以东西(EW)向大同阳原断裂为界,其北为华北板块北缘

活动带;北东侧以北西(NW)向的唐河断裂带与冀鲁断块为分界;南部以横河断裂和 NEE 向中条山断裂带组成南边界;山西地块内部则主要纵贯一系列 NE 向雁行式排列的断陷盆地山前断裂带。

## 2 成矿理论研究

成矿理论是建立在现代地质科学新理论基础上的关于成矿物质来源、矿床形成条件与控矿因素、矿床成因类型与矿床空间特征等问题学术认知的系统总结。成矿理论研究是指导地质矿产勘查的基础。成矿模型决定了控矿要素,控矿要素又决定了找矿预测的方向<sup>[3]</sup>。如对构造控矿而言,遥感主要解译线性要素;对热液控矿和岩浆控矿,主要解译环形要素和色调异常;而对地层控矿,则主要解译赋矿岩层——“带”要素等等。

本文以山西省重要矿产为例,通过遥感地质解译对各预测工作区矿床的成矿要素和成矿模式进行研究。

### 2.1 地层控矿

沉积型铝土矿是典型的受地层控制的矿床,遥感解译主要着眼于“带”要素。山西省是我国的铝土矿资源大省,铝土矿成矿类型单一,所有矿床均产在上石炭统本溪组,含矿岩石为铝土岩和铝土页岩,分布于石炭系与奥陶系分界面上<sup>[2]</sup>。石炭系与奥陶系分界面是铝土矿最好的近矿找矿标志层。图 3 为宁武铝土矿预测工作区范围,根据铝土矿受地层控矿的成矿理论和影像色调异常,在遥感图像上解译出赋矿岩层——“带”要素。图 3 中带要素的解释结果和遥感羟基异常信息的提取结果比较吻合。本次工作根据综合分析圈定了最小预测区(图 3 中的绿框围限区域)。

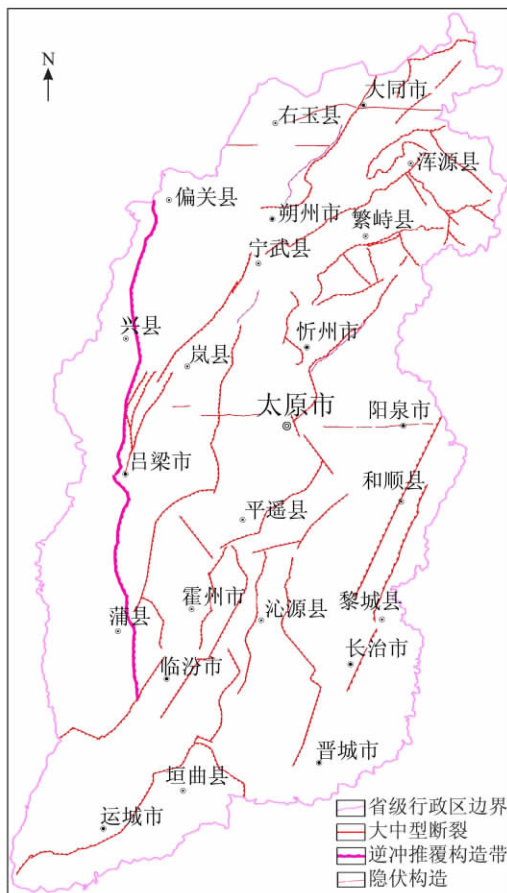


图 2 山西省遥感地质构造格架

Fig. 2 The remote sensing geological structural pattern of Shanxi province

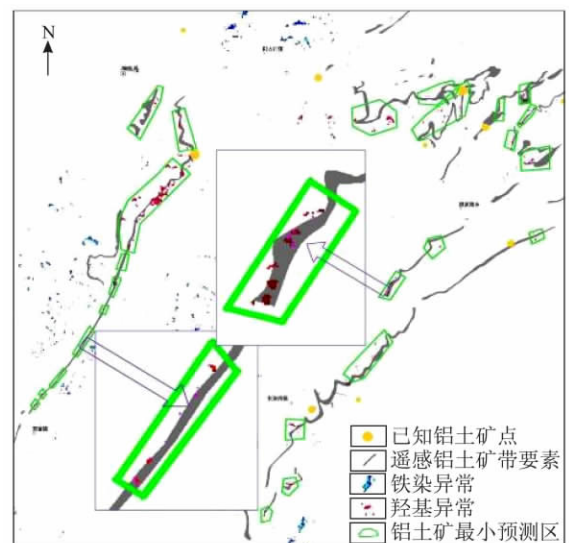
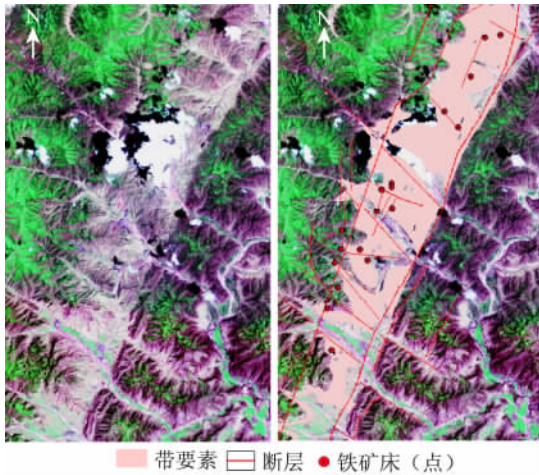


图 3 宁武控矿要素遥感解译图

Fig. 3 The remote sensing interpretation of Ningwu metallogenic elements

### 2.2 构造控矿

鞍山型沉积变质铁矿是受构造控制的沉积变质型铁矿,在遥感地质解译中主要着眼于线性构造(断裂构造)和“带”要素。由于矿床赋存在上太古界五台群柏枝岩组、文溪组或金刚库组,受断裂控制呈条带状分布。根据其遥感影像的影纹和色调异常(图 4(a)),桐峪预测工作区影像图的中部色带是解译的带要素(赋矿岩层),其矿床分布在赋矿岩层中,且严格受 NNE 向断裂及其次级断裂控制,即赋矿岩层被断裂切割的部分往往是成矿的有利部位。图 4(b)显示,已知铁矿床(点)大多分布于带要素中的线要素上或线要素相交部位。



(a) 桐峪遥感影像图 (b) 桐峪控矿要素遥感解译图  
图 4 桐峪预测工作区 ETM 影像及遥感解译图

Fig.4 ETM image and remote sensing interpretation map of mineral prediction area of Tongyu

### 2.3 岩浆控矿

太白维山支家地式银锰铅锌矿属于火山岩型矿床,其成矿受岩浆控制,主要解译环形要素(图 5)。

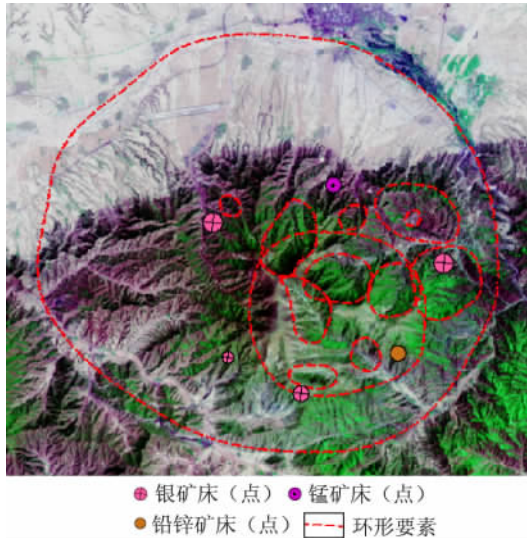


图 5 太白维山支家地式银锰铅锌矿 ETM 影像及遥感解译图  
Fig.5 ETM image and remote sensing interpretation map of Zhijiadi - type Ag - Mn - Pb - Zn deposits in Taibaiweishan

太白维山位于燕山太行山北段陆缘火山岩浆弧,为太白维山火山构造盆地。太白维山环形影像大多为火山机构和中生代花岗岩引起的环形构造,它们在某种意义上代表着花岗岩体及隐伏岩体的边界。支家地银矿主要产于次火山岩与碳酸盐岩断层接触带内的热液花岗岩内,因此环形构造对银(锰)矿也有着控制作用。

### 2.4 热液控矿

接触交代作用是一种热液变质作用。在遥感图像上接触带通常出现角岩化或矽卡岩化色异常带。例如分布在临汾塔儿山—二峰山邯邢式矽卡岩型铁矿是奥陶系马家沟组碳酸盐岩经燕山期岩浆岩侵入接触交代而形成矽卡岩型铁矿。图 6 中所示环形要素周围深色调的色带为侵入岩的围岩——碳酸盐岩,环形要素内则是浅色的燕山期侵入岩,两者接触交代形成的矽卡岩带正是矿床所处的部位,已知铁矿点(红色三角)大多分布于环形接触带的矽卡岩带中。

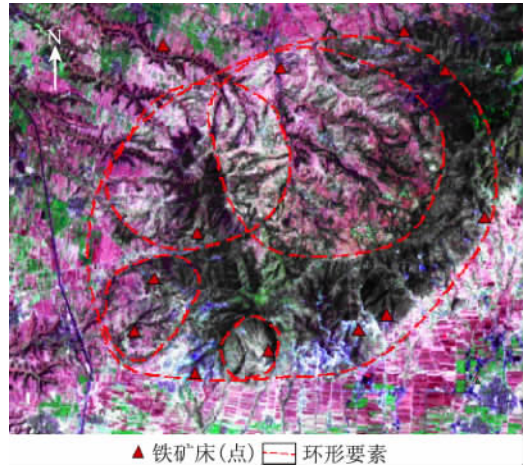


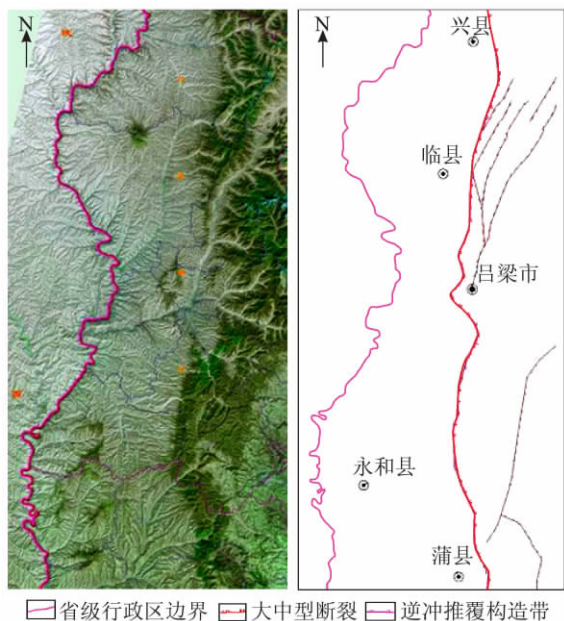
图 6 塔儿山控矿要素 ETM 影像及遥感解译图  
Fig.6 ETM image and remote sensing interpretation map of Taershan metallogenic elements

## 3 控矿要素遥感解译与综合研究

### 3.1 大型断裂与成矿的关系

#### 3.1.1 南北向(SN)断裂

SN 向的离石断裂(图 7)是山西地块与鄂尔多斯地块两个 II 级构造单元的分界断裂(发育在离石附近由西盘向东逆冲的断裂属于燕山中晚期 NE 向断裂系统),是控制鄂尔多斯中生代盆地形成发展的断裂;北起与内蒙古分界处的河曲刘家塔,向南经兴县交楼申、临县程家塔—湍水头、柳林寨东、石楼介板沟、隰县紫荆山西侧、临汾靳家川,总体呈南北向纵贯山西西部,长度大于 400 km<sup>[4]</sup>。



□ 省级行政区边界 □ 大中型断裂 □ 逆冲推覆构造带

(a) 离石断裂遥感影像图 (b) 离石断裂遥感解译图

图 7 离石断裂 ETM 影像及遥感解译图

Fig. 7 ETM image and remote sensing interpretation map of Lishi fault

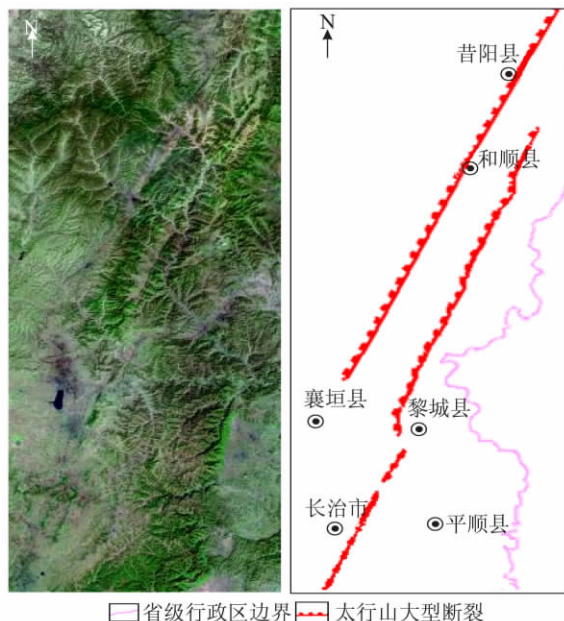
在遥感图像(图 7(a))上,断裂的线性形迹非常明显,其两侧在色调、影纹、地貌上都有明显的差异。断裂西侧为第四系地层形成的黄土地貌,东侧为典型的寒武系地层形成的陡坎。

山西省砂卡岩型金属矿床矿化受 SN 向构造和岩性的双重控制,在遥感图像上清晰地显示出 SN 向断裂带与侵入岩形成的环形构造呈线环交切的影像特征。燕山期碱性、偏碱性矿床常常产于区域性 SN 向线-环构造的交切部位。

3.1.2 北东向(NE)断裂

NE 向的太行山断裂,其北段伴随有与其平行的牵引褶皱,在波箕凹南山一带主断裂东侧产生了一系列次级逆冲断层,构成典型的叠瓦状构造,在遥感图像上显示的一组多条相互平行的线性形迹非常明显(图 8(a))。

太行山断裂(图 8(b))规模较大,由一系列尖灭再现的逆冲断层组成,黎城以北截切或迁就利用了印支期 SN 向构造,以南是太行山复背斜与沁水复向斜的分界构造,形成于燕山运动陆内造山过程,控制了两侧地层及矿产的分布。太行山断裂带是山西断裂构造系统中重要的岩石圈断裂,它与 SN 向的离石断裂都是燕山期碱性、偏碱性侵入杂岩体岩浆活动相关矿床的控制要素。



□ 省级行政区边界 □ 太行山大型断裂

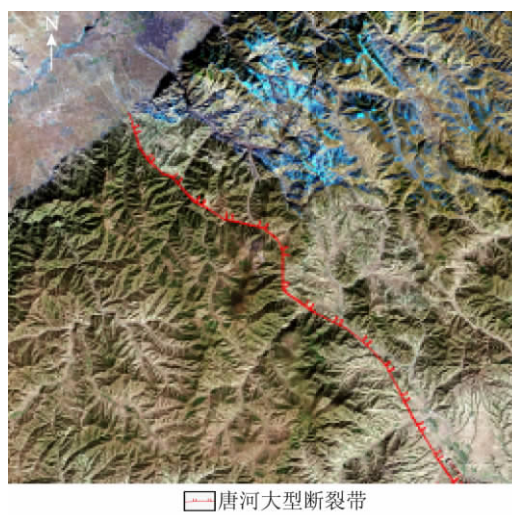
(a) 太行山断裂遥感影像图 (b) 太行山断裂遥感解译图

图 8 太行山断裂 ETM 影像及遥感解译图

Fig. 8 ETM image and remote sensing interpretation map of Taihangshan fault

3.1.3 北西向(NW)断裂

唐河断裂呈 NW 走向,线性形迹明显,宽沟水系地貌发育,控制着一串小型盆地的边界,偶有陡崖地貌出现(图 9)。唐河断裂控制了侏罗-白垩系和燕山期花岗岩的分布,在燕山期至少有两期活动。沿断裂还有汤头温泉出露,说明该断裂至今仍在活动。



□ 唐河大型断裂带

图 9 唐河断裂 ETM 影像

Fig. 9 ETM image of Tanghe fault

唐河断裂以及与其平行的一组 NW 向断裂共同控制着燕山期中酸性岩多金属矿产的分布,刁泉铜矿、太白维山银锰铅锌矿等都赋存于此。

3.1.4 东西向(EW)线性构造

与传统地质手段相比,遥感图像对于解译宏观线性构造具有突出的优势。应特别提出的是,位于

N38°带的隐伏构造在以往地质图上没有具体反映,但在遥感图像上却有较明显的、断断续续的 EW 向隐伏构造线性形迹显示(图 10)。该隐伏构造带与多种矿产(如煤、石灰岩、白云岩、铝土矿、石墨、硫铁矿等)的分布有密切关系。



(红色箭头示出 N38°带 EW 向线性构造展布方向)

图 10 N38°带 EW 向线性构造 ETM 影像图

Fig. 10 ETM image of the linear structure in EW direction at 38° north latitude

总之,在宏观上,山西省与燕山期岩浆岩有关的多金属矿和部分非金属矿床的形成和分布都受大型断裂的影响,时代较新的 NW 向断裂常常切割时代较老的 NE 向断裂,形成网格状结构(五台山和中条山网格状断裂还表现出等间距发育的特点)。这样的网格状断裂控制着燕山期中酸性浅成火山岩的分布,与五台山铁、钼、金、多金属、硫铁矿和中条山铜、金、钴、钼、多金属、磷成矿带的形成有密切关系,网格的交叉部位往往是成矿的有利部位。图 11 为五台山的网格状断裂构造<sup>[5]</sup>。

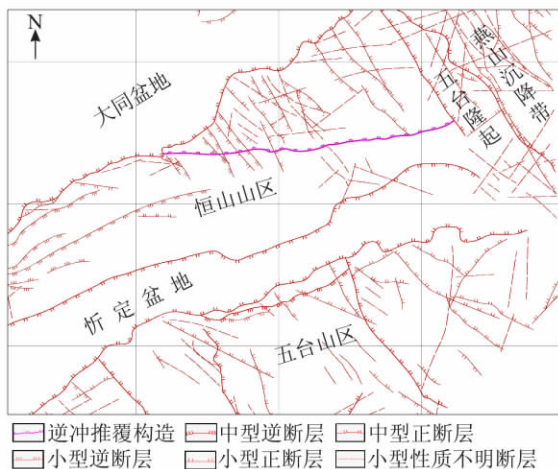


图 11 五台山区网格状断裂遥感解译图

Fig. 11 The remote sensing interpretation map of grid faults in Wutai mountain

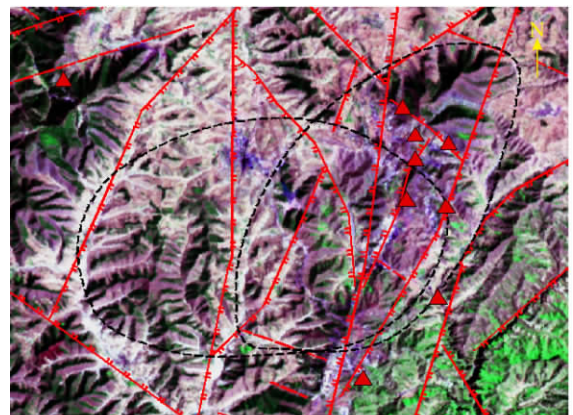
### 3.2 线-环结构与成矿的关系

遥感图像上的线性体、环形体等构造要素在空间展布上都形成一定的组合关系。对具有一定地质意义或矿产成因意义的特定线、环组合形式称之为影像线-环结构。研究与成矿作用相对应的特定

线-环结构组合的特征是发掘和构建遥感地质找矿模式的重要基础之一<sup>[6]</sup>。

#### 3.2.1 线-环结构与碱性偏碱性花岗岩矿床的关系

西安里矽卡岩型铁矿是与燕山期碱性、偏碱性花岗岩有关的矿床类型。近 SN 向的西安里断裂控制了该地区水系和山脊的走向。在遥感图像上断层迹象明显,基本上沿着山脊边缘分布,切割山体形成地槽;部分地段沿河谷分布,为两种不同色调、影纹、地貌的分界线(图 12)。接触交代型矿床常成群出现,多产在地槽及活动性较强的地台边缘或拗陷带,其中近 SN 向断裂对矽卡岩型铁矿具有重要的控制作用,铁矿床恰好分布于线-环的交切部位,这为今后遥感找矿提供了重要线索。此外,近 SN 向的西安里断裂带交切于西安里环线构造之上,反映出在环形构造出现后 SN 向的断裂构造带还有所活动。



▲铁矿床(点) ■正断层 □性质不明断层 ○环要素

图 12 西安里线-环构造 ETM 影像及遥感解释图

Fig. 12 ETM image and remote sensing interpretation map of the Xi'anli linear-circular elements

#### 3.2.2 线-环结构与浅成超浅成花岗岩矿床的关系

图 13 是五台山伯强线-环构造解译图。从总

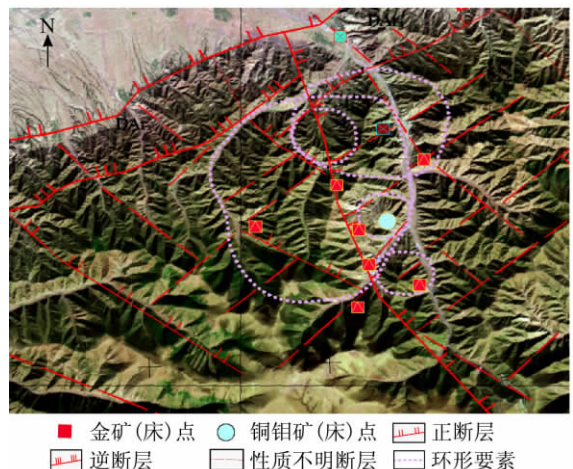


图 13 五台山伯强线-环构造 ETM 影像及遥感解释图

Fig. 13 ETM image and remote sensing interpretation map of the Boqiang linear-circular elements in Wutai mountain

体上看,短而密集的线性沟谷呈 NEE 向和 NW 向展布,两组 NEE 向和 NW 向共轭菱形线性结构和一组伯强套合环形构造组成菱-环结构。该区主要的燕山期超浅成次火山岩的分布以及强烈的构造活动均受到菱-环构造格局的制约。从图 13 中可以看出,该区的金矿点主要分布在菱-环结构之内,其次是线-环交切部位和线-线交叉部位。

### 3.3 线要素、色异常、环要素组合与成矿的关系

图 14(a) 是刁泉花岗闪长斑岩的遥感影像图。矽卡岩型的刁泉式铜矿就产于该区,其中刁泉花岗闪长斑岩为成矿母岩,呈复杂的岩株状产出。区内断层构造发育,以 NE 向一组较发育,沿断裂带侵入刁泉花岗岩,形成了矽卡岩型铜矿。在影像图上,大理岩化的色异常和环形构造很好地显示了花岗闪长斑岩与灰岩接触交代的区域,成矿的有利部位应该在环要素边缘和色异常(蚀变带)中。已知的铜矿点(图 14(b) 中绿色点)就分布在该区域。

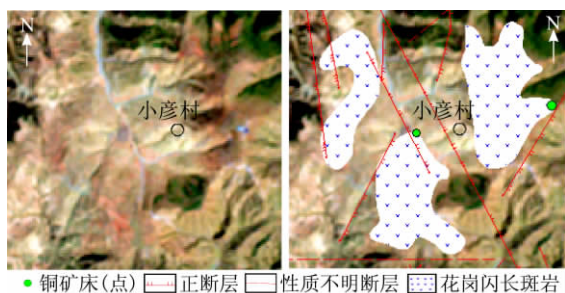


图 14 (a) 刁泉花岗闪长斑岩影像图 (b) 刁泉线-色-环要素组合遥感解译图

图 14 ETM image and remote sensing interpretation map of Diaoquan granite

### 3.4 矿化蚀变异常与成矿的关系

#### 3.4.1 铁染异常与成矿的关系

本次研究中,按照全国矿产资源潜力评价项目统一规定的技术要求,在山西省范围内分别提取了遥感铁染异常和遥感羟基异常。经与已有的地质矿产资料对比发现,这些遥感异常对某些多金属及相关矿产的蚀变带有一定程度的指示意义。

例如,沿林场-宽坪断裂的周围广泛分布有遥感铁染异常(图 15)。在此位置附近,存在有一小型萤石矿床。萤石矿处于中生代火山岩与燕山期中酸性花岗岩接触带处,林场-宽坪断裂为主要的控矿构造,围岩蚀变以硅化为主,伴有萤石化、黄铁矿化、绿泥石化和绢云母化。这一热液交代型萤石矿的存在,再次印证了遥感铁染异常对找矿的指示作用。

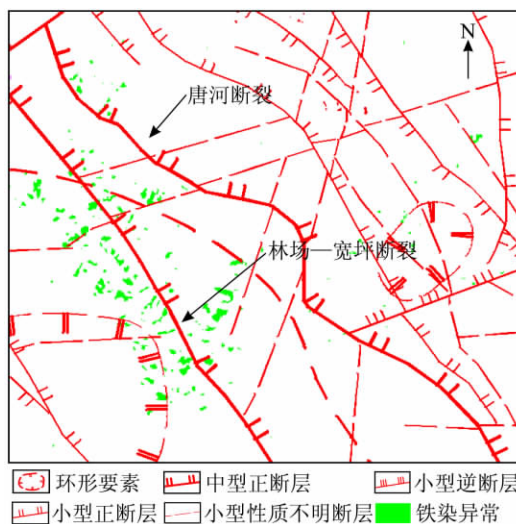


图 15 遥感铁染异常分布及断裂构造解释图  
Fig. 15 Map of remote sensing iron alteration and interpretation of faults

#### 3.4.2 羟基异常与成矿的关系

研究还发现,沿宁武向斜西翼倾角较大的 NNE 向展布的地层有遥感羟基异常分布(图 16)。这组铝土矿赋矿岩层的岩性为中石炭统铝土页岩、砂质页岩。目前已知的某些铝土矿点恰好处在遥感羟基异常的所在部位,说明遥感羟基异常对铝土矿的找矿有较好的指示作用。本次工作中结合对其他遥感找矿要素的综合分析,在该地区已经把遥感羟基异常集中的部位圈定为铝土矿遥感预测区,为山西省铝土矿最小预测区的圈定和资源量估算提供了可靠依据。

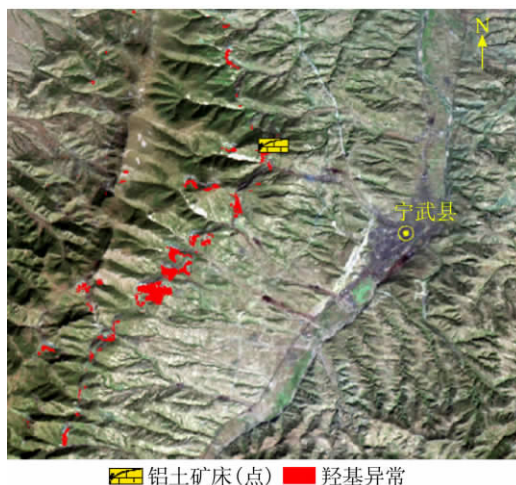


图 16 遥感羟基异常与成矿关系解释图  
Fig. 16 The remote sensing interpretation map of hydroxylate anomaly and metallogenic regularity

## 4 区域遥感地质找矿模型的建立

随着现代地质找矿理论的发展和矿产勘查技术的日益完善,模型找矿已被地质找矿实践证明是科学而有效的方法<sup>[6]</sup>。遥感地质找矿模型的研究与

实践方兴未艾 在遥感地质找矿工作中越来越显示出其独特的技术优势和显著作用。基于地质体的形态和波谱特性,从矿床模型的角度,在极为丰富的遥感图像信息中去发掘与目标矿产成矿作用、矿床空间分布等特征相对应的遥感信息,获取地质找矿标志、矿床定位依据及某些重要参数,乃是进行矿床遥感地质模型研究和建模的重要内容。

本文以中条山区域遥感地质模型的建立为例,对区域地质找矿模型进行研究,希望能对山西省今后的找矿预测工作提供遥感线索和依据。

#### 4.1 中条山区域地质背景研究

中条山铜多金属成矿区带位于华北与华南断块拼合带的秦岭褶皱带最北端,并限于豫皖次级断块西部边缘;受 NE 向中条山断裂和 NW 向横河断裂控制,呈三叉“人”字型裂谷形态。从空间上讲,中条裂谷三叉“人”字型构造控制着该区域内金属成矿带的展布。裂谷的西南支为中条山山前断裂,控制着 NNE 向胡篦型铜矿、横岭关铜矿含矿层位的展布;东南支为 NW 向横河断裂,控制着产出于同善、落家河、王屋等构造窗的铜矿床点;北支向北延伸,穿过塔儿山,与太岳山—狐偃山断裂呈现线性延续,在遥感图像上有很好的宏观显示。从时间上讲,中条裂谷铜矿床产于前长城系,主要为新太古界绛县群和古元古界中条

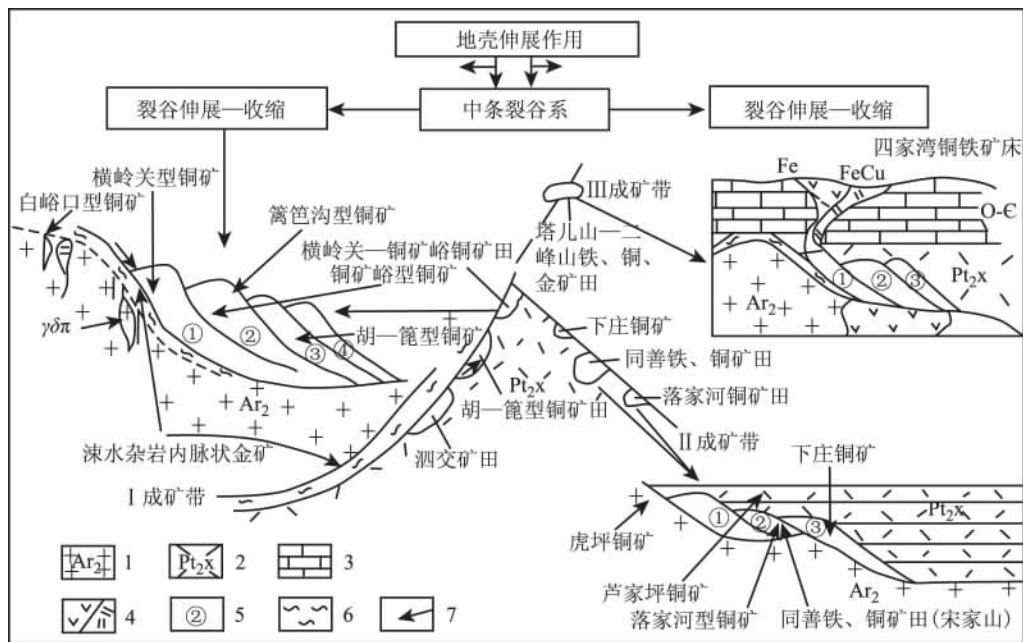
群地槽相火山—沉积岩系中。铜矿床形成于构造变形较为激烈的古陆边缘断陷中,不同的铜矿床类型是裂陷槽各个发展阶段的产物<sup>[7]</sup>。

#### 4.2 中条山成矿理论研究

中条裂谷铜矿床主要为“双模式”成矿作用,即裂谷环境对形成铜矿及多金属矿床的控矿因素有 3 个方面:

- 1) 地壳在拉张情况下,有利于上地幔及其派生的成矿元素运移;
- 2) 裂谷拗陷带具有良好的沉积场所,下陷凹盆有利于成矿物质集中;
- 3) 具有不同深度的水盆及盆地断裂,为喷气热液和成矿作用提供了先决条件<sup>[7]</sup>。

这就意味着,裂谷的成矿作用既有内生的成矿因素,也有外生成矿作用特征,两者兼而有之,即所谓“双模式”成矿作用。中条裂谷内铜矿峪型、落家河型、横岭关型和胡家峪—篦子沟型铜矿床等主要铜矿床类型,在成矿作用方面都表现出双模式地质特征。中条裂谷绛县群的火山喷发和侵入岩性,为裂谷张性断裂环境的产物;而中条群胡家峪—篦子沟褶皱边部的紧闭说明了中条裂谷绛县群后期的挤压作用(图 17)。所以,遥感地质解译工作的重点是对环形构造和线性构造的解译和研究。



1. 太古宙涑水花岗岩变质核; 2. 中元古代西阳河玄武安山岩; 3. 新元古代及古生代碳酸盐岩; 4. 燕山期岩体; 5. 太古宙—古元古代多期构造增生楔: ①横岭关构造增生楔, ②铜矿峪构造增生楔, ③篦子沟构造增生楔, ④余家山构造增生楔; 6. 构造滑脱带片麻状花岗岩; 7. 铜(铁)矿床产出部位

图 17 中条山铜矿床地质特征与成矿模型<sup>[7]</sup>

Fig. 17 The geological characters and metallogenic model of Zhongtiaoshan copper deposit<sup>[7]</sup>

#### 4.3 中条山区域遥感地质找矿模型建立

通过对中条裂谷遥感线、环、色、带多要素的解译及组合特征分析<sup>[8]</sup>,结合中条裂谷典型铜矿床类

型、矿床分布规律和形成机制的综合研究以及已知矿点的分布情况不难看出,中条山铜矿床的遥感地质特征表现突出,遥感解译成果与已知矿床分布特

征吻合程度高。因此可以设想,如果能以遥感地质特征的找矿新理论作指导,继续在找矿远景有利地段重点进行综合地质调查,则该区铜矿的找矿工作必将会有一个新的突破。因此,本次工作在遥感地质研究的基础上,对该区铜矿进行了遥感最小预测区圈定,为取得进一步的找矿突破提供了依据。

#### 4.3.1 三叉“人”字型构造(整体模型)

三叉“人”字型线—线构造形成了典型的“树枝”状分布,整体区域模型为大的三叉“人”字型结构。在大的三叉“人”字型的内部形成的次级三叉“人”字型结构,其结点部位由于特殊构造引起的沉积环境和岩浆活动,往往是形成大型矿床的良好部位。这在已知开采矿区已经得到很好的验证,可以为中条山铜矿最小预测区的定位提供线索和依据,并推广到未开采区域(见表1)。

表1 中条山遥感地质模型  
Tab.1 The remote sensing geological models of Zhongtiaoshan

遥感地质模型	三叉“人”字型(整体模型)	X型线性网络构造(菱形)	线-环组合φ型构造
简图			

#### 4.3.2 X型线性网络构造(菱形)

X型两组方向上的线性构造具有等间距性(间距各约5~10 km),延续性较好,将该地区地貌划分成若干个菱形块体。尽管在遥感图像上其线性形迹的清晰度、延续性及规模强弱程度不如三叉“人”字型构造,但其强烈的张扭性构造特征在一定的区域内同样明显地影响着铜矿床的分布(见表1)。

#### 4.3.3 线-环组合φ型构造

这是一种典型的线环二要素组合结构<sup>[9]</sup>。区域内环形构造可以分为两种,一种为严格受线性构造控制和影响的环形盆地构造以及古盆地褶皱形成的环形构造;另一种为火山基性岩引起的环形构造。这些环形构造在区域内往往呈串珠状分布,并在区域性断裂构造的切割部位形成剥蚀天窗,出露绛县群地层,成为找矿的有利部位,在遥感图像上表现为典型的φ型线-环组合构造特征<sup>[9]</sup>(见表1)。

#### 4.4 中条山遥感最小预测区圈定

根据中条山遥感地质模型,本文在该区域圈定了7个遥感最小预测区(或称找矿远景区,图18):

- 1) 沙洞沟—西桑池找矿远景区;

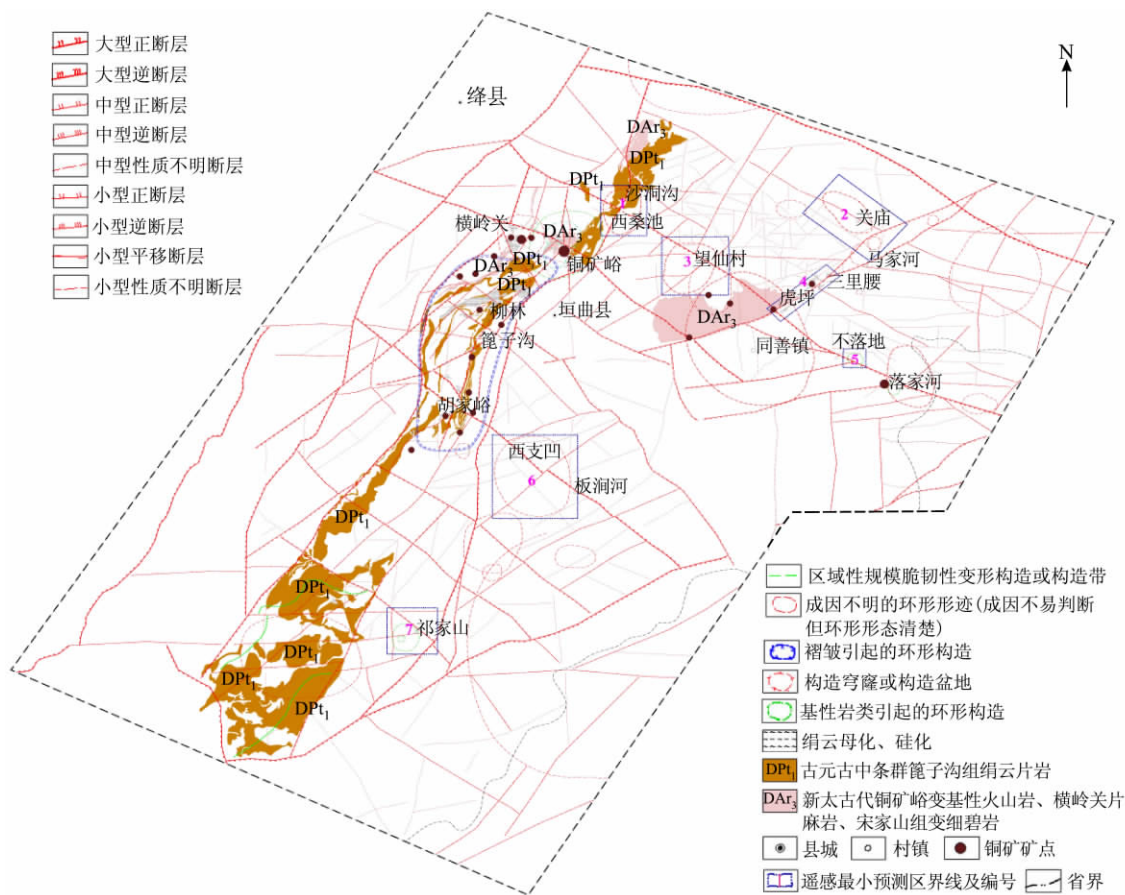


图18 中条山遥感最小预测区分布示意图

Fig.18 Sketch map of the minimum areas of mineral prediction by remote sensing interpretation in Zhong tiao shan



- 2) 马家河—关庙找矿远景区;
- 3) 望仙村找矿远景区;
- 4) 虎坪—三里腰找矿远景区;
- 5) 不落地找矿远景区;
- 6) 西支凹—板涧河找矿远景区;
- 7) 祁家山找矿远景区。

## 5 结论

1) 本次研究对山西全省基础性遥感线、环、色、带、块“五要素”解译工作进行了较全面的总结,进行了遥感找矿标志的综合研究,特别是对大型断裂与成矿规律关系的分析。

2) 在山西全省范围内进行了遥感羟基异常和铁染异常信息的提取,并筛选出与成矿关系密切的区域,进行了遥感找矿预测的应用研究。

3) 在山西全省主要矿种预测工作区内,在研究其区域地质特征、成矿规律、遥感找矿要素的基础上,圈定了若干遥感找矿最小预测区,为山西省今后找矿工作的深入开展提供了参考依据。

4) 在对山西全省单矿种综合分析研究的基础上,以中条山铜矿床为例,总结了区域性的遥感找矿模式,为今后全省各类矿种的遥感找矿模式的研究提供了重要的理论依据和方法指导。

### 参考文献:

- [1] 于学政, 曾朝铭, 燕云鹏. 遥感资料应用技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [2] 张瑞成. 区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [3] 张瑞江. 基于遥感技术的成矿预测方法和程序研究[J]. 国土资源遥感, 2010(3): 58-63.
- [4] 陈平, 陈俊明. 山西主要成矿区带成矿系列及成矿模式[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1996.
- [5] 范海明. 五台山—恒山地区金矿多源信息综合研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2009: 36.
- [6] 杨世瑜, 王瑞雪. 矿床遥感地质问题[M]. 昆明: 云南大学出版社, 2003.
- [7] 孙继源, 冀树楷, 真允庆. 中条裂谷铜矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [8] 于学政, 金玉声, 杨日玉, 等. 藏东遥感地质与矿产资源[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [9] 杨世瑜. 影像线—环结构与矿床定位——云南铜矿床遥感影像线—环结构[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999.

## A Comprehensive Study of Applying Remote Sensing in the Evaluation of Mineral Resource Potential: A Case Study of the Remote Sensing Application in Shanxi Province

LI Song, LI Hai-ying

(Remote Sensing Information Center of Shanxi Provincial Institute of Geological Survey, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** With the theory of regional geology and mineralization as the basis, the authors summarized the relationship between large-scale regional faults and mineralization, and put forward a regional prospecting model of remote sensing based on interpretation and study of remote sensing information composed of ore-controlling linear structure elements and circular structure elements, color tone anomalies, prospecting criteria and near-ore wall rock alterations. On such a basis, the minimum areas of mineral prediction are delineated as the further prospecting targets. These results will provide important clues and basis for the potential assessment of mineral resources, and will lay a foundation for future remote sensing geological work in Shanxi Province.

**Key words:** remote sensing interpretation; mineral resources; ore-forming element; minimum area of mineral prediction

第一作者简介: 李嵩(1965-),女,高级工程师,主要从事遥感技术在矿产预测、地质调查和地质灾害等方面的应用研究。  
E-mail: 498905402@qq.com。

(责任编辑: 刘心季)