

# 陕西勉县王家沟金矿区物化探勘查技术应用 及找矿预测

李赛赛<sup>1,2</sup> 魏刚锋<sup>1,2</sup> 崔敏利<sup>3</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029)

**摘要:**通过对区域成矿规律研究, 总结勉略宁三角区南部成矿带的找矿标志为: ①地层为元古宇基底变质火山岩系及靠近该岩系的碎屑岩、碳酸盐岩沉积; ②呈 NE—NNE 向的断裂构造活动发育; ③沿构造充填的中基性—基性岩脉发育区; ④Au、Ag、Cu、Zn 等为代表的地球化学异常区。对研究区进行成矿条件分析, 认为区内具有寻找与断裂构造有关金矿的有利条件。首先选用激电中梯法在矿区快速准确地圈定了 I、II 两个 NE 向平行排列的高极化率、中低电阻率异常带, 然后垂直异常带布置了两条单极—偶极测深及土壤地球化学剖面, 结合地质资料进行解译, 预测这两个异常带是由两个隐伏的含矿断裂构造引起的。布置硃探工程进行验证, 在 I 号异常带下部发现一条含多金属硫化物的石英脉型金矿体, 推测规模和强度均大于 I 号的 II 号异常带下部存在更大规模的金矿体。

**关键词:**勉略宁三角区; 金矿; 激电中间梯度法; 土壤地球化学测量; 隐伏断裂构造

**中图分类号:** P618.51      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2012)02-0474-12

勉(县)—略(阳县)—宁(强县)三角区作为秦岭造山带主要的多(贵)金属矿集区<sup>[1-2]</sup>, 具有良好的成矿区位优势, 前人曾相继发现煎茶岭金镍矿、东沟坝多金属矿、李家沟金矿、铜厂铜矿床等一批有色及贵金属矿床<sup>[3-4]</sup>, 但随着地方矿业经济的发展, 部分早期形成的矿山同样面临资源不足和闭坑的困境。因此, 提高老矿成矿区带区域成矿作用和典型矿床控矿条件的研究程度, 加强老成矿区(带)地质资料的二次评价, 进行找矿靶区预测, 寻找接替资源, 是当前从事地质科研、资源勘查工作者共同面对的一个新任务。地质勘查实践证明, 选择在地质工作程度较高的矿集区开展新一轮找矿, 或在已开采矿山周边和深部“探边摸底”仍然是找矿的有效途径<sup>[5-9]</sup>。

勉县王家沟即位于勉略宁三角区南部 NE 向 Cu—Au 多金属成矿带上, 李家沟金矿床位于其西侧的构造延伸线上, 两者相距 4 km, 推测王家沟地区

具有较大的找矿潜力。但该区土壤层覆盖较为严重, 加之化探异常不明显, 具有较大的隐蔽性<sup>[7]</sup>。故本文从研究区域成矿规律出发, 总结区域找矿标志, 分析研究区成矿地质条件, 并据此选择合理的物化探方法指导找矿勘查, 以期三角区内的找矿勘查提供借鉴意义。

## 1 区域地质背景及其成矿规律概述

### 1.1 地质背景

勉略宁三角形地块区域上属元古宙隆起区, 是秦岭造山带内重要的构造岩浆活动区。该地块北邻秦岭造山带之南秦岭构造带, 南以汉江大断裂与扬子地块龙门山构造带毗邻, 现今该地块呈现出勉县—阳平关断裂和勉县—略阳断裂南北挟持、向西撒开、向东收敛的三角形“楔状体”, 是秦岭造山带的重要组成部分。区内北部鱼洞子地体和南部碧口地

体对接拼贴构成该三角形构造复合地体,即勉略宁三角区,同时研究区内也形成一个金、铜、镍矿化集中区<sup>[2]</sup>。综合分析该地块前人有关地质、地球化学、矿田构造、地球物理等研究资料<sup>[8-14]</sup>认为,勉略宁三角地块现今构造格架和物质组成是伴随着秦岭造山带的演化,经历了从太古宙以来长期地质作用和多期构造-岩浆活动改造、再造的结果<sup>[5]</sup>,其复杂的构造结构、运动变形及物质成分为该多金属成矿集中区的形成提供了物源、热源和矿化空间,构造区划上应属于扬子板块北缘摩天岭褶皱带的东延部分(图 1)。

该三角区是陕西省重要金属矿产地,已发现有铁、金、镍、铜、铅锌、银、锰、钴矿床(点)150 余处<sup>[16]</sup>。区内构造线在北部呈北西-北西西向,南部呈北东-北东东向,中部东段为近东西向,向西转为北东或北西向。按构造线方向及成矿特征可划分为北部、中部和南部 3 个构造岩浆成矿带<sup>[7]</sup>。

北部构造岩浆成矿带:由何家岩背斜、接官亭向

斜等一系列褶皱组成,沿北西向的鱼洞子—五房山—西渠沟断裂和煎茶岭—方家坝断裂有超基性岩并伴有中酸性脉岩侵入。在该带上有 Au、Ag、As、Hg、Ni、Mo、Cu 等元素组合的分散流异常,构成区域上的北部金异常矿化带,该带已发现和评价了煎茶岭金(镍)矿床。

中部构造岩浆成矿带:有罗家山—铜厂背斜等,沿陈家坝—五间桥近东西向断裂有超基性-酸性岩体侵入,伴有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 分散流异常,该带上已发现和评价了铜厂铜矿床和东沟坝 Au、Ag 多金属矿床<sup>[15]</sup>。

南部构造岩浆成矿带:分属鸡公石向斜南北两翼及核部,沿北东向断裂组有较多的超基性、基性至中酸性岩脉侵入,并伴有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Ni、Co 等分散流 Au-Cu 异常带,已发现和评价了李家沟金矿床。

研究区即位于南部构造岩浆成矿带鸡公石向斜

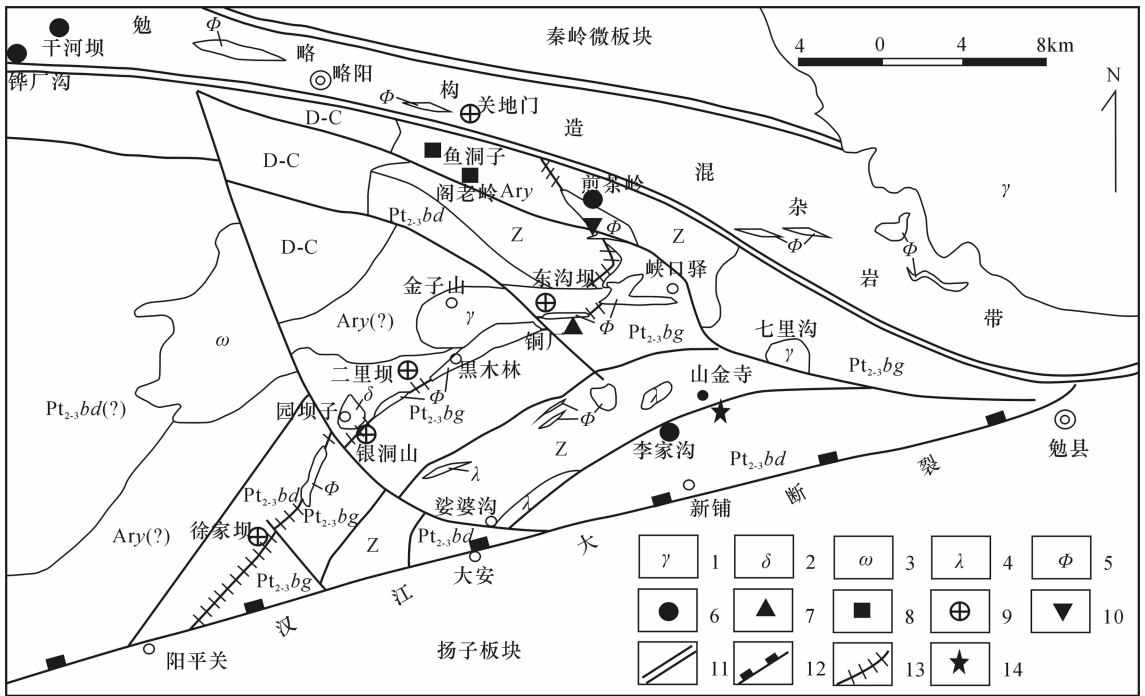


图 1 勉县—略阳—阳平关地区地质略图(据任小华<sup>[8]</sup>,2008)

D-C—泥盆—石炭系沉积盖层;Z—震旦系沉积盖层;Pt<sub>2-3bg</sub>—中元古代郭家沟组;Pt<sub>2-3bd</sub>—中元古代东沟坝组;Ary—古太古代鱼洞子岩群;1—花岗岩;2—闪长岩;3—辉长岩;4—辉绿岩;5—超基性岩;6—金矿床(点);7—铜矿床;8—铁矿床;9—多金属矿床;10—镍矿床;11—缝合带边界断裂;12—壳源深断裂;13—基底拼合带;14—研究区位置

Fig.1 Geological sketch map of Mianxian-Lueyang-Yangpingguan area

D-C- Devonian-Carboniferous sedimentary cover; Z-Sinian sedimentary cover; Pt<sub>2-3bg</sub>-Middle-Upper Proterozoic Guojiaogou Formation; Pt<sub>2-3bd</sub>-Middle-Upper Proterozoic Donggouba Formation; Ary-Upper Archean Yudongzi Group; 1-Granite; 2-Diorite; 3-Gabbro; 4-Diabase; 5-Ultrabasic rock; 6-Gold deposit (ore spot); 7-copper deposit; 8-Iron deposit; 9-Polymetallic deposit; 10-Nickel deposit; 11-Boundary fault of suture zone; 12-Crustal deep fault; 13-Basement collage belt; 14-Study area

南翼上周家院子—铜厂湾 Au、Cu 矿带中段,李家沟金矿床的东沿。现着重研究南部构造岩浆成矿带的成矿规律,用以指导研究区内的勘查找矿工作。

## 1.2 南部构造岩浆成矿带成矿规律

南部构造岩浆成矿带呈北东—北东东走向,主要由鸡公石向斜组成。向斜核部地层为震旦系断头崖组,两翼为元古宇基底变质火山岩系。以勉县—阳平关深大断裂为主控矿构造,断裂南北两侧是不同的次级构造控矿。沿北东向断裂组有较多的超基性、基性至中酸性岩脉侵入,并伴有 Au、Ag、Cu、Zn 等分散流异常(图 2),构成区域上的南部 Au、Cu 异常矿化带<sup>[7]</sup>。

南部构造岩浆成矿带受火山沉积岩系、构造蚀变带、辉绿岩控制。除李家沟中型金矿以外,自东向西由二郎庙、山金寺、铜厂湾和铜锣沟等组成长达 10 多千米的金—铜矿带<sup>[18-19]</sup>。整个矿化带位于东沟坝组过渡性基底岩石与震旦系盖层构造接触带上,也是断裂带。沿该接触带及其附近辉绿岩脉密集发育,亦是构造活跃的地段。构造活动以断裂作用为主,构造线方向总体呈 NE-NNE 向,具多期、多阶段活动之特点,特别在基底与盖层接触部位或刚性岩石同柔性岩石的界面附近,表现出顺层滑脱、韧性剪切及走滑、推覆等构造作用形式;其中,韧性剪切作用与成矿作用关系密切。辉绿岩脉沿两套地层系统构造线平行出露。区域资料表明东沟坝组为含金及多金属成矿元素丰度较高的容矿岩系,顺层侵入的辉绿岩脉部分继承了过渡基底岩的成矿地球化学特征。

剪切构造叠加强烈的退化蚀变,为成矿元素从东沟坝组火山沉积岩系及基性岩脉中的解离提供了可能,最终在包括有地下水大量参与下的混合热液循环作用下,将大量萃取出的金等成矿物质,在晚期活动提供的构造扩容带及与白云岩—灰岩接触带沉淀产出金矿体,具有与基性岩脉有关的构造蚀变岩型成因特征<sup>[20]</sup>。

成矿带中部为炭质板岩夹灰岩、白云岩,东部可见含金石英岩,西部相变为凝灰质千枚岩。以李家沟金矿为例,长 1.6 km,宽 80~120 m,Au 品位  $5.26 \times 10^{-6}$ ,共圈出 35 个金矿体,单个矿体长 10~140 m,厚 1~7 m。金矿类型有含金黄铁矿石英脉型和碎裂蚀变碳酸盐岩型,前者含 Cu 0.2%~8.5%,Au  $10.95 \times 10^{-6}$ ~ $52.09 \times 10^{-6}$ ;后者较贫。蚀变与脉岩贯入是金成矿的重要条件。围岩蚀变:主要有黄铁矿化、硅化、碳酸盐化。黄铁矿有 2 个世代,一是分布在石英方解石脉中呈浸染状、团块状、半自形、他形,常呈压碎构造,粒间含自然金。二是较晚的硫化物脉,脉中黄铁矿呈细粒状,含金量  $0.5 \times 10^{-6}$ ~ $4 \times 10^{-6}$ 。硅化有 3 种:成矿前硅化局限于控矿构造旁侧白云岩中,伴有褪色现象;成矿期硅化,一部分充填于含金石英脉内,由他形、不等粒状石英组成,含 Au  $2 \times 10^{-6}$ ~ $10 \times 10^{-6}$ ,一部分呈角砾状石英构成白云岩中的含金石英脉,自然金赋存于脉中的黄铁矿或石英集合体中。成矿后硅化为白色、乳白色,纯净。碳酸盐化表现为角砾状白云岩中方解石化和白云岩化,一般属晚期<sup>[21]</sup>。金矿床物质来源是多方面的。晋宁期形成的火山岩系及同源

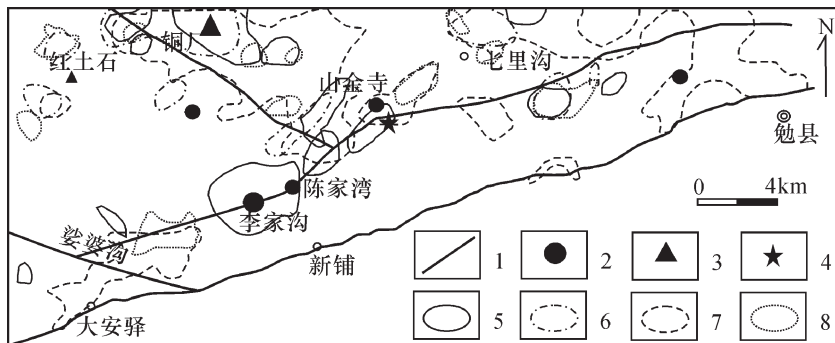


图 2 南部成矿带地球化学异常图(据任小华<sup>[7]</sup>等,2007)

1—断裂;2—金矿床(点);3—铜矿床(点);4—研究区位置;5—金等值线( $5 \times 10^{-9}$ );  
6—银等值线( $150 \times 10^{-9}$ );7—铜等值线( $50 \times 10^{-6}$ );8—锌等值线( $150 \times 10^{-6}$ )

Fig.2 Geochemical anomaly map of the south metallogenic belt

1—Fault; 2— Gold deposit (ore spot); 3— Copper deposit; 4— Study area; 5—Gold isoline ( $5 \times 10^{-9}$ );  
6—Silver isoline ( $150 \times 10^{-9}$ ); 7—Copper isoline ( $50 \times 10^{-6}$ ); 8—Zinc isoline ( $150 \times 10^{-6}$ )

异相岩浆岩是区内重要的矿源层;华力西期受构造控制的大规模岩浆活动为成矿物质活化迁移提供了良好的动热条件,是形成成矿流体的重要时期;印支—燕山期的强烈剪切构造活动再次使成矿物质活化,对前期矿床叠加改造强烈,大多数矿床在这一时期最终形成和定位<sup>[9]</sup>。

根据以上分析,可建立南部成矿带的成矿模式图(图 3),反映了成矿与火山岩系、断裂、中—基性岩热液活动关系非常密切。归纳该类矿床的找矿标志为:1) 地层为元古宇基底变质火山岩系以及靠近该岩系的碎屑岩、碳酸盐岩沉积;2) 呈 NE—NNE 向的断裂构造活动发育;3) 沿构造充填的中基性—基性岩脉发育区是矿体赋存的重要地质勘查标志;4) Au、Ag、Cu、Zn 等为代表的地球化学异常区。

## 2 成矿特征

### 2.1 矿区地质特征

区内出露的地层为中新元古代东沟坝组,由一套基性—酸性的浅变质火山—沉积岩系组成,主要岩性为细碧岩、角斑岩、凝灰岩和绿泥绿帘钠长片岩。地层总体表现为一北东走向的单斜层,总体产状为 300°~340°∠40°~76°。其中,偏基性的火山岩中局部有金铜矿化显示。中南部及东北部分布有 3 个

辉绿岩脉,脉体长轴方向呈北东向,与区域构造线方向一致。研究区中部地表多被植被及第四系坡积物覆盖,沿河道及其两侧的山坡上多被当地居民开垦为农田(图 4)。

区内在当地居民沿河道修建的道路边上一处基岩出露处发现有一条矿化石英脉,脉体宽约 0.1 m,产状为 150°∠70°。石英脉体表面褐铁矿化强烈,脉体两侧围岩发生绢云母化。敲开表面的风化层,可见黄铁矿呈浸染状分布于脉体中。取拣块样,分析 Au 含量为 7.0×10<sup>-6</sup>。

### 2.2 成矿地质条件分析

#### 2.2.1 地层条件

矿区分布的中新元古代东沟坝组,岩性主要为细碧岩、角斑岩、凝灰岩和绿泥绿帘钠长片岩。从各类岩石含矿性分析表(表 1)可以看出,矿区内各类岩石的含金量一般为 3.5×10<sup>-9</sup>~15.14×10<sup>-9</sup>,均含有较高的金背景值,尤其是绿泥绿帘钠长片岩中丰度最高。

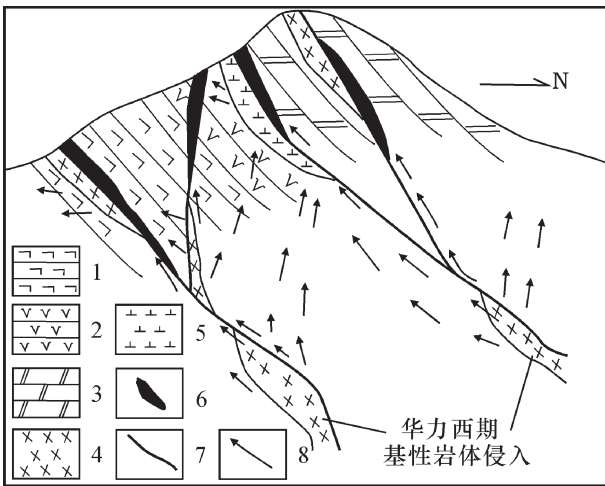


图 3 南部成矿带成矿模式图

- 1—细碧岩;2—角斑岩;3—白云岩;4—辉绿岩;5—钠长岩;
  - 6—金(铜)矿体;7—多期活动的断裂;8—成矿流体运移方向
- Fig.3 Metallogenic model of the south metallogenic belt  
 1—Spilite; 2—Keratophyre; 3—Dolostone; 4—Diabase; 5—Albitite;  
 6—Gold (copper) ore body; 7—Multiperiodic activity fault;  
 8—Migration direction of ore-forming fluid

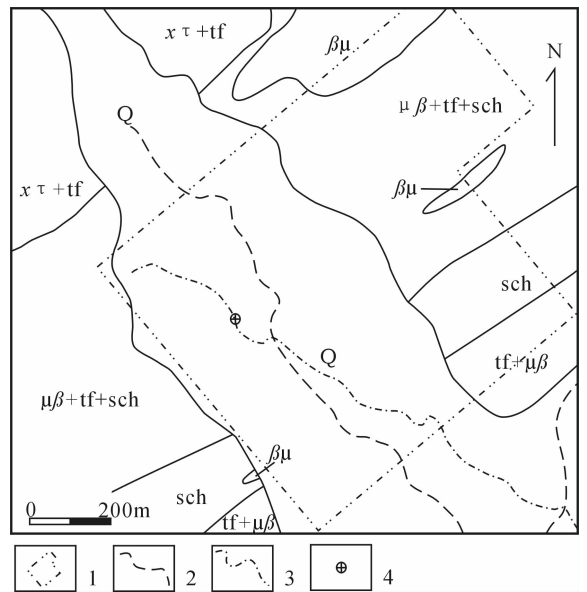


图 4 王家沟矿区地质图

- Q—第四系;χτ+tf—角斑岩、酸性凝灰岩;μβ+tf+sch—细碧岩、中基性凝灰岩夹片岩;sch—绿帘、绿泥石片岩;tf+μβ—蚀变凝灰岩、细碧岩;βμ—辉绿岩;1—激电中梯测量范围;2—河流;
- 3—道路;4—矿化点

Fig.4 Geological map of the Wangjiagou mining area  
 Q—Quaternary; χτ+tf—Keratophyre, acidic tuff; μβ+tf+sch—Spilite, intermediate and basic tuff interbedded with schist; sch—Epidote chlorite schist; tf+μβ—Altered tuff, spilite; βμ—Diabase;  
 1—Area of IP intermediate gradient survey; 2—River; 3—Road;  
 4— Mineralization spot

表 1 矿区各类岩石含矿性<sup>[19]</sup>

Table 1 Ore potentiality of all kinds of rocks in the mining area

序号	岩性	Au/10 <sup>-9</sup>	样品数/件
1	细碧岩	7.68	10
2	角斑岩	3.5	8
3	石英角斑岩	3.75	4
4	绿泥绿帘钠长片岩	15.14	7
5	新鲜辉绿岩	4.5	1
6	蚀变辉绿岩	9.6	1

结合前面成矿规律的研究,可以认为区内的火山岩系为形成金矿主要的矿源层之一。

### 2.2.2 构造及热液蚀变条件

研究区位于鸡公石向斜南翼,勉县—阳平关边界断裂带北侧附近,受边界断裂影响,区内构造线方向为 NE 向。区内部分凝灰岩由于构造作用而变质为片岩,部分辉绿岩遭受强烈的变形和退化蚀变。而且,在区内发现有一条矿化石英细脉。说明区内构造活动强烈,导致区内岩石中硅质及成矿物质的活化迁移。

由于区内覆盖较大,地表未发现明显的断裂。但通过填图工作,在区内发现有透镜状的辉绿岩侵入活动,且脉体走向与区域构造线方向一致,推测在区内可能存在 NE 向的断裂。

由于 NE 向的断裂构造对成矿具有重要的控制作用,因此,寻找该类型的断裂对于区内找矿勘探至关重要。

### 2.2.3 侵入岩

区内共出露 3 个辉绿岩脉,应为深部地幔物质熔融上侵的产物。脉体长轴方向与区域构造线方向一致。从各类岩石含矿性分析(表 1)可以看出,辉绿岩具有较高的金背景值,尤其是蚀变辉绿岩的含金量性高于未蚀变的辉绿岩一倍以上,是形成金矿主要的矿源层之一。辉绿岩成岩年龄 328 Ma (K-Ar 法)~(376.73±88) Ma (Rb-Sr 等时线)<sup>[18]</sup>,它与三角地区区域性华力西期活动一致<sup>[20]</sup>,是三角地区一次重要的物质调整时期,为成矿提供了重要的背景条件。

研究区位于李家沟金矿床东侧的构造延伸线上,两者相距 4 km,李家沟经过勘查评价确定为一中型金矿床。区内火山岩系具有较高的金背景值,NE 向构造发育,且沿构造线方向有基性脉岩侵入,

化探异常图(图 2)显示区内具有金、铜元素异常,说明研究区具有良好的找矿前景。因此,选择合适的物化探方法进一步搜集矿化信息,确定成矿有利地段,具有充分的必要性。物化探工作的关键是确定断裂构造和矿化蚀变带。

## 3 物化探方法的选择

研究区内金的矿化类型主要属含金属硫化物石英脉型,受北东向断裂构造控制明显。区内地形复杂、地表覆盖大、最大落差约 350 m,对物探方法的选择有很大的限制性。

在寻找以硫化物为主的矿床中,激发极化法是一种比较成熟方法,其工作效率高,扫面速度快,而且其极化率参数不受地形影响<sup>[21]</sup>。因此,这里首先选择了激电中梯方法。对研究区内各类岩矿石进行了电性参数测定,也包括区内发现的矿化石英脉。为了确定矿石与围岩的电性差异,从李家沟矿区采集石英脉型的金矿石进行了电性参数测定。石英脉型金矿石的极化率为 7%~49.11%,平均 22.7%;电阻率为 230~1 830 Ω·m,平均为 617 Ω·m。围岩的极化率均小于 4.0%,电阻率为 619~7 453 Ω·m,平均为 2 115 Ω·m。矿石具有高极化率和中低电阻率的特点,与围岩具有明显的电性差异。因而利用激电中梯方法的地球物理前提是具备的。

为了对地球物理方法取得的数据进行验证,并就数据针对成矿进行解释,由于研究区地表覆盖较大,这里采用了土壤地球化学测量。这种方法通过提取与成矿有关的指示元素的扩散晕,对地球物理异常数据的多解性进行约束验证,从而确定隐伏金属矿位置<sup>[24-25]</sup>。研究区的矿化受北东向断裂构造控制明显,物探异常平面图亦呈北东向的带状分布,因此,在物探工作的基础上,通过布置若干条垂直构造线方向的典型土壤地球化学剖面,根据剖面上化探异常(图 5~6)进一步确定哪条物探异常带为矿致异常。

对地下的情形一无所知,为了在纵剖面上圈定地下矿化有利成矿区域,这里采用激电单极—偶极测深法。由于该装置对圈定横向及纵向不均匀脉状体具有良好的分辨和探测能力,在金属矿电法勘探中为国内外物探工作者广泛使用<sup>[26]</sup>。区内矿化体为受构造控制的金属硫化物石英脉型,因此,选取此方法是最有效的方法。

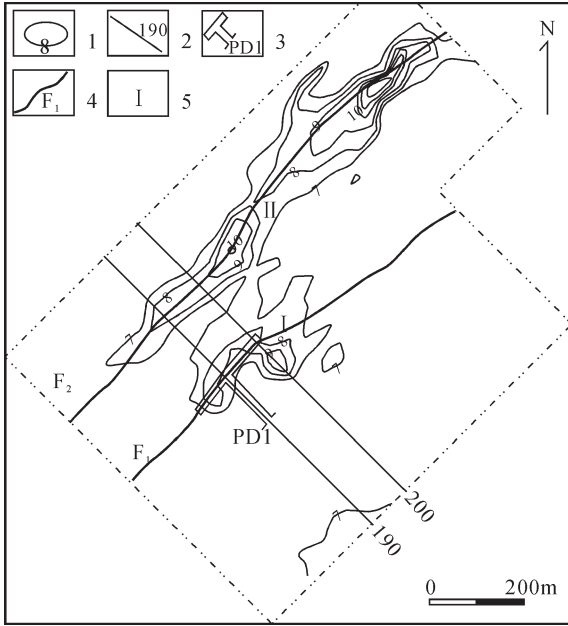


图 5 视极化率平面等值线图

1—视极化率等值线(‰);2—剖面;3—平硐;4—推测断裂;  
5—视极化率异常带编号

Fig.5 Isoline plane of apparent IP

1—Isoline of apparent IP(‰); 2—Profile; 3—Adit; 4—Inferred fault; 5—Serial number of apparent IP anomaly belt

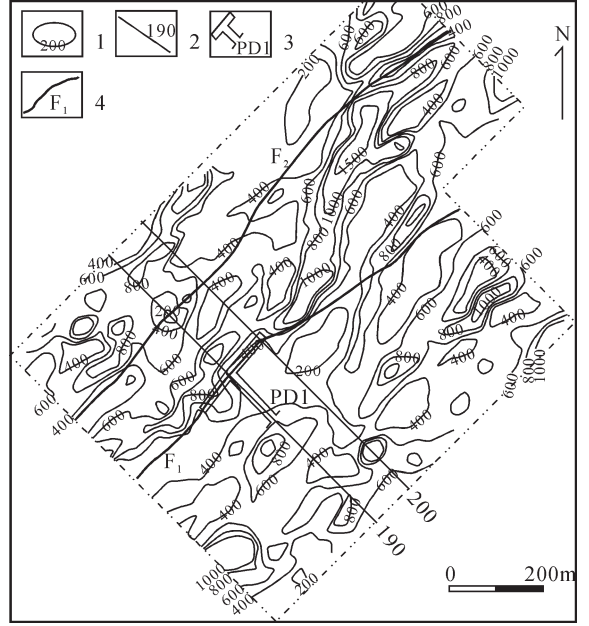


图 6 视电阻率平面等值线图

1—视电阻率等值线(Ω·m);2—剖面;3—平硐;4—推测断裂

Fig.6 Isoline plane of apparent resistivity

1—Isoline of apparent resistivity(Ω·m); 2—Profile; 3—Adit; 4—Inferred fault

总而言之,工作总体思路为:第一步,采用激电中梯方法进行扫面,摸清研究区矿化的平面分布范围;第二步,采用土壤地球化学剖面测量的方法对物探结果进行验证约束;第三步,根据所得出的矿化平面分布状况布置激电单极—偶极剖面勘探线,对局部异常区进行快速解剖,研究垂向上矿化的分布情况;第四步,施工硐探工程对选定的最佳成矿部位进行工程验证。据此,获得了矿区成矿地球物理、地球化学异常资料,为进一步开展定位预测奠定了基础。

## 4 物化探数据采集、处理及解释

### 4.1 野外数据采集

#### 4.1.1 激电中梯测量

野外测量使用的仪器为重庆奔腾数控技术研究所生产的WDJD-3多功能数字直流激电仪。根据王家沟矿区的成矿条件分析,选择315°方向垂直总体构造线布置测线,线距50m,点距20m,测线长度500m。供电极距AB=700m,测量极距MN=20m。

#### 4.1.2 单极—偶极测深

野外测量使用的仪器与激电中梯测量仪器相同。

测量极距MN=20m。根据激电中梯成果,选取190、200两条线开展单极—偶极测深,以确定激电异常源及推测矿化体的空间形态,对激电中梯异常再次验证确认,并对异常做进一步的解释推断。点距为20m。

#### 4.1.3 土壤地球化学测量

在开展单极—偶极测深的两条剖面上进行土壤地化剖面测量,以利于化探异常与物探异常的综合对比、解释。在野外以20m间距提取B层土壤送实验室分析。

### 4.2 数据处理及解释

#### 4.2.1 扫面数据处理及解释

利用SURFER软件将野外采集的激电中梯测量数据绘制视极化率、视电阻率平面等值线图。

根据激电中梯视极化率平面等值线图(图5),主要圈定了I、II两个高极化异常带。

I号异常带:位于测区中部,北东向延伸长约150m。异常带在最西端的中心处视极化率最大达8.9‰。向东到190线异常中心视极化率达9‰。过190线再往东异常强度有所降低,规模变窄并呈北东向展布,到200线异常又变得膨大,强度也变强,

并有二个高值浓集中心,最强异常出现在南侧,视极化率强度均近似达到 10‰。

从地质情况看, I 号异常带延伸方向与区域上的控矿构造线方向一致,测区内已发现的含金矿化石英脉位置及走向与 I 号异常带吻合较好,毫无疑问 I 号异常带就是由金属硫化物矿(化)引起的。

II 号异常带:位于 I 号异常带以北约 120 m 位置,西起测区中部,东到测区边缘基本终止,在连续 18 条测线上都有反应。该异常带与 I 号异常带近乎平行展布,北东向延伸长度约 850 m,规模远远大于 I 号异常带。II 号异常的强度也比 I 号异常略高,并可分为东、西两段高等值线浓集区,这两个高值区的视极化率均大于 8.5‰,其中西段高值中心视极化率达到 10‰;东段高值中心异常基本大于 10‰,最大值可达 12‰。

从地质情况看, II 号异常带与 I 号异常带所处的岩性相同,且与区域上的控矿构造线方向一致,测区内又没有发现炭质干扰地层,因此,推测 II 号异常也是由金属硫化物矿(化)引起。

激电中梯工作的主要成果图件为视极化率平面等值线图,视电阻率参数是激电中梯观测的重要副产品,其平面等值线图常常可作为异常分析解释的重要的辅助图件。

从本区的视电阻率平面等值线图(图 6)看,视电阻率异常总体表现为北东向展布的条带状异常。视极化率平面等值线图中圈出的两个高极化率异常带基本与中低电阻率异常吻合,从矿石和围岩的电参数测定情况看,矿体具有中低电阻率,而围岩具有中高电阻率。因此,视电阻率平面等值线图较好地验证了视极化率的测量结果。

综合激电中梯测量成果,为下一步布置测深及地化剖面提供了科学依据。

### 4.2.2 剖面数据处理及解释

在激电中梯测量成果的基础上,选择 190、200 两条线开展单极-偶极测深及土壤地球化学测量。单极-偶极测深数据在 SURFER 软件下绘制成测深曲线及等值线剖面图<sup>[7]</sup>。将土壤地球化学分析数据结合采样点位置制作成剖面图,与测深剖面图进行对比分析。

1)190 线 46~100 点物化探综合剖面成果推断解释(图 7)

从激电中梯剖面曲线看,高极化率、低电阻率异

常出现在 64~72 点、80~88 点一带,相应地单极-偶极测深也在 65~71 点、81~85 点取得与之对应的高极化率、低电阻率异常,两次观测结果十分一致,印证了异常的可靠存在,从异常所处位置看 65~71 点的异常也正好与已发现的含金矿化石英脉吻合。

从化探成果看,在 54~60、66~76 两段出现 Au 异常,两段峰值分别位于 58 和 74 号点,其值为  $4.5 \times 10^{-9}$ 、 $5.6 \times 10^{-9}$ ,另外 Zn、Co、Ni 在 58 号点有弱

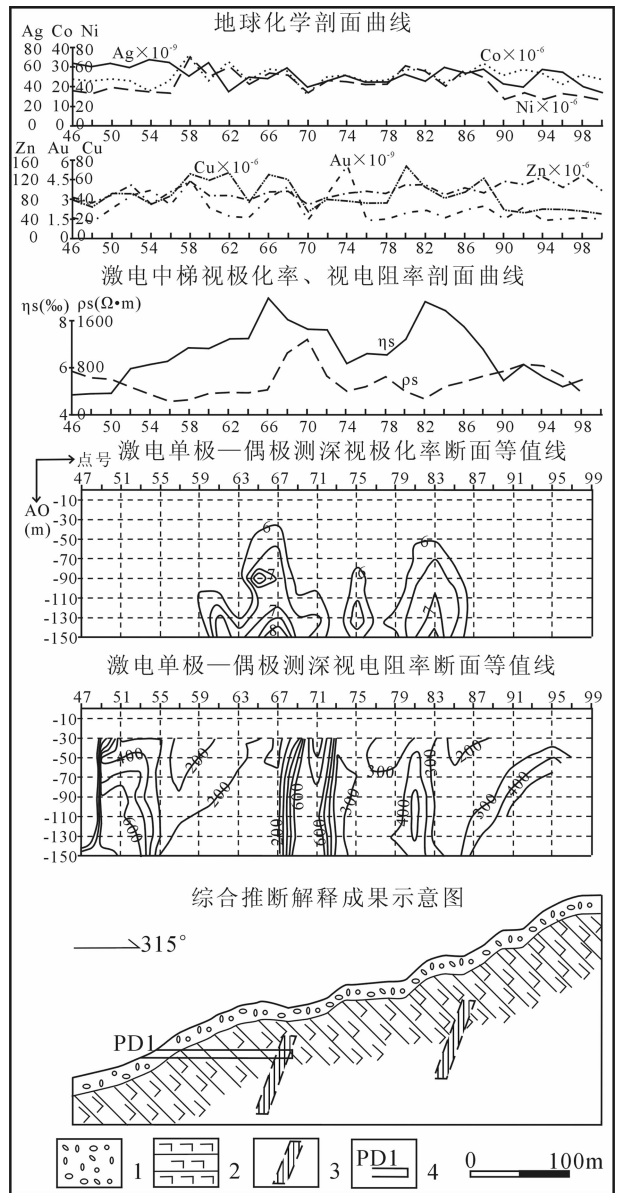


图 7 190 线地质综合剖面图

1—第四系;2—细碧岩;3—推测矿体;4—平硐

Fig.7 Composite geological section along No.190 line  
1-Quaternary; 2- Spilitite; 3- Inferred ore body; 4- Adit

异常显示,铜在 58~68 点之间也有弱的起伏变化异常显示,总体来看,这两处异常可能与已发现的含金矿化石英脉有关。与 81~85 点高极化、低电阻率异常对应,在 80~88 点一带也有弱的起伏变化的铜异常存在。

综合来看,测深断面出现的两处高极化率、低电阻率异常均由地下隐伏的金属硫化物矿(化)体引起,其中 65~71 点的异常由已知矿化石英脉引起。根据中梯异常峰值两侧的曲线梯度变化,特别是测深断面异常等值线形态及异常两侧的等值线密集变化情况,结合已知矿化石英脉体的实际产状(向南倾斜)综合来判断,矿(化)体向小号点(南)倾斜,顶端位置分别在 68、88 点附近。从测深断面等值线看  $\eta_s$  高极化率异常主体在 AO=70 m 时出现,推测矿(化)体顶端埋深均在 50 m 左右,具体解释结果见图 7。

2)200 线 46~100 点物化探综合剖面成果推断解释(图 8)

从激电中梯剖面曲线看,高极化率、低电阻率异常出现在 54~72 点、80~84 点一带,相应地单极-偶极测深也在 63~67、79~89 点取得相吻合的高极化率、低电阻率异常。从化探成果看 Au 异常出现在 84~96 号点,86 和 92 号点有两个明显峰值,其值分别为  $5 \times 10^{-9}$ 、 $4.5 \times 10^{-9}$ ,Co 在两点有弱异常显示。Cu、Co、Ni 异常出现在 58~68 号点,Cu 峰值位于 66 号点,其值为  $91 \times 10^{-6}$ 。Zn 在 66、92 号点有弱异常出现。

综合推测,测深断面出现的两处高极化率、低电阻率异常均由地下隐伏的金属硫化物矿(化)体引起,其中 63~67 点异常位于已知矿化石英脉体东延方向上,应该是已知脉体向东延伸部分的反应。根据中梯异常峰值两侧的曲线梯度变化,特别是测深断面异常等值线形态及异常两侧的等值线密集变化情况来判断,矿(化)体向小号点(南)倾斜,异常体顶端位置分别在 70、88 点附近。从测深断面等值线看  $\eta_s$  高极化率异常主体在 AO=50 m 时出现,推测异常体顶端埋深在 40 m 左右,具体解释成果见图 8。

### 5 综合地质解释与工程验证

通过激电中梯测量,在矿区快速准确地圈定了 I、II 两个 NE 向平行排列的高极化率、中低电阻率异常带,进而选择 190、200 两条垂直异常带的剖面

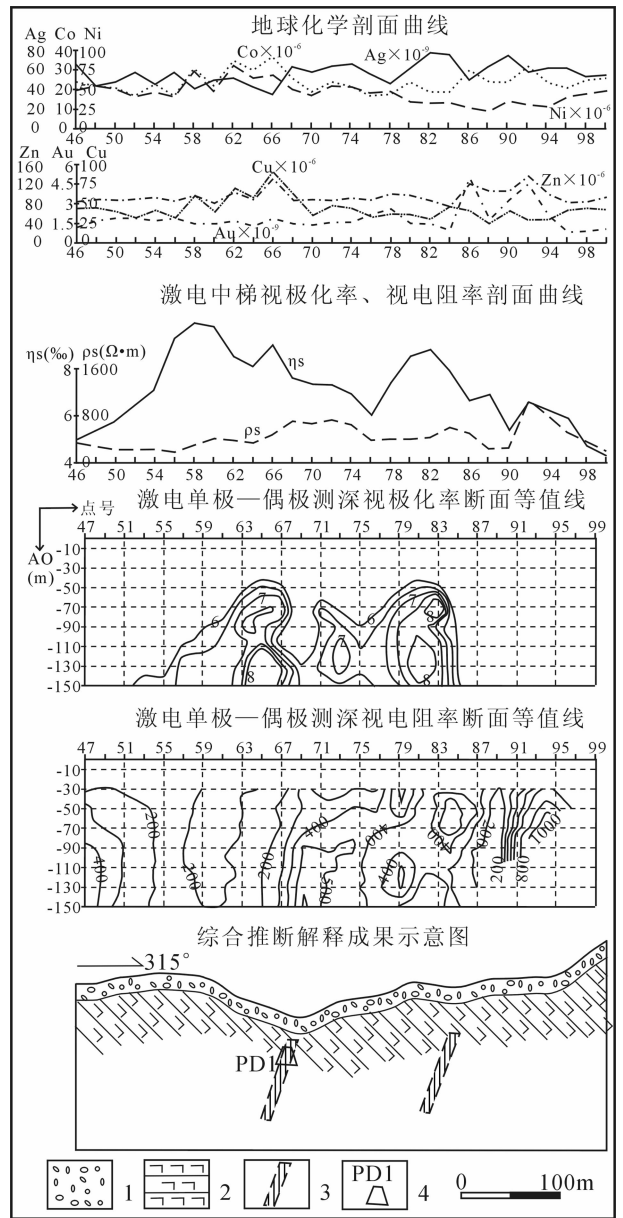


图 8 200 线地质综合剖面图

1-第四系;2-细碧岩;3-推测矿体;4-平硐

Fig.8 Composite geological section along No.200 line

1-Quaternary; 2-Spilitite; 3-Inferred ore body; 4-Adit

进行单极—偶极测深,测深数据再次验证了激电中梯异常的存在,并推测异常体顶端埋深为 40~50 m,异常体南倾,倾角较陡。同时,在 190、200 两条线上进行的土壤地球化学测量,也表现出在异常体上方具有明显的元素地球化学异常,剖面上元素异常峰值与物探所推测的异常体顶端位置有偏差,这主要是由于地形、矿脉产状以及各种岩矿石抗风化能力强弱的影响,使残坡积物异常发生位移所致。通过地



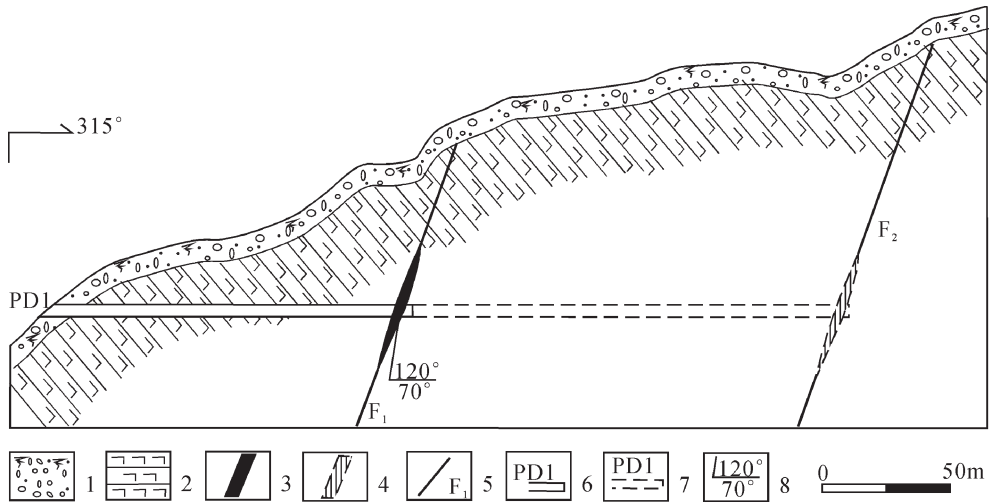


图9 王家沟金矿190勘探线剖面图

1—第四系;2—细碧岩;3—矿体;4—推测矿体;5—断裂;6—平洞;7—设计平洞;8—产状

Fig.9 Geological section along No.190 exploration line of the Wangjiagou Au deposit

1- Quaternary; 2-Spilitite; 3-Ore body; 4-Inferred ore body; 5-Fault; 6-Adit; 7-Designed adit; 8-Attitude

质填图,在两条异常带上正好有两条辉绿岩脉侵入,结合区域成矿规律及研究区的构造地质特征,推测这两个异常带是由两个隐伏的含金属硫化物的断裂引起的。

F2断裂走向上在两张平面等值线图上均延伸大,且十分吻合。F1断裂在激电平面图上走向延伸较短,本次考虑到其东侧辉绿岩体的存在,故将F1断裂继续向东延伸至测区边界。而且,在电阻率平面图上,电阻率的密集梯度带反映存在断层或断裂带<sup>[8]</sup>,故向东延是合理的。F1断裂东段在激电平面图上无显示,可能是因为断裂带中无含黄铁矿的石英脉充填所致。

根据区内的地形条件,在靠近河道的190线上布置穿脉平洞PD1,沿315°方向掘进136m,在I号异常带下部见到厚0.4m含黄铁矿的石英脉,围岩为强蚀变的细碧岩,脉体产状 $120^{\circ} \angle 70^{\circ}$ ,取样分析金品位为 $17.3 \times 10^{-6}$ 。向东西两侧施工沿脉平洞对矿体进行追索(图5~6),目前工程控制矿体长度190m,矿体宽度0.35~0.98m,金品位为 $8.0 \times 10^{-6}$ ~ $20.7 \times 10^{-6}$ 。目前正沿I号异常带向东西两侧施工平洞,以确定该矿带的走向延伸情况。

经过工程验证,根据物化探异常圈定的I号异常矿良好,进而推测规模和强度均大于I号的II号异常带下部具有更大规模的金矿体存在,II号异常带是下一步勘查工作的重点。拟沿190线315°方

向继续向前施工穿脉平洞,验证II号异常带的含矿性(图9)。

## 6 结 论

1)本文通过对区域成矿规律研究和对研究区进行成矿条件分析,认为区内具有寻找与断裂构造有关金矿的有利条件,首先选用激电中梯法在矿区快速准确地圈定了I、II两个NE向平行排列的高极化率、中低电阻率异常带,然后垂直异常带采用单极-偶极测深及土壤地化剖面测量,从纵向上摸清地下有利矿化位置,进而布置洞探工程进行验证,快速找到了I号异常带下隐伏的金矿体,并预测在II号异常带下部极有可能存在更大规模的与I号异常带相同的金矿体。该找矿方法在勉略宁三角区南部成矿带寻找金矿是有效的。

2)勉略宁三角区南部成矿带的找矿标志为:①地层为元古宇基底变质火山岩系以及靠近该岩系的碎屑岩、碳酸盐岩沉积;②呈NE-NNE向的断裂构造活动发育;③沿构造充填的中基性-基性岩脉发育区;④Au、Ag、Cu、Zn等为代表的地球化学异常区。

3)在已知的成矿带上,特别是在第四系覆盖较大的勘查区进行找矿勘查,正确总结该成矿带上已知矿床的成矿规律,并据此选择合理的物化探手段,对实现找矿突破至关重要。

致谢:衷心感谢评审人对文章进行了认真细致的

修改,使论文得以进一步完善。

## 参考文献(References):

- [1] 卢纪英,李作华,张复新,等. 秦岭板块金矿床[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2001:100-110.  
Lu Jiyong, Li Zuohua, Zhang Fuxin, et al. Gold Deposits of Qinling Plate[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2001:100-110(in Chinese with English abstract).
- [2] 王相,唐荣扬,李实,等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996:273-301.  
Wang Xiang, Tang Rongyang, Li Shi, et al. Qinling Orogeny and Metallogenesis[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996:273-301(in Chinese with English abstract).
- [3] 任小华,金文洪,王瑞廷,等. 南秦岭略阳干河坝金矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质,2007,34(5):878-886.  
Ren Xiaohua, Jin Wenhong, Wang Ruiting, et al. Geological and geochemical features of the Ganheba gold deposit, Lueyang, South Qinling [J]. Geology in China, 2007, 34 (5):878-886 (in Chinese with English abstract).
- [4] 周圣华. 陕西铜厂铜金多金属矿床地质特征及成矿流体地球化学[J]. 中国地质,2008,35(2):298-304.  
Zhou Shenghua. Geological characteristics and geochemistry of ore-forming fluid in the Tongchang copper-gold polymetallic deposit, Shaanxi [J]. Geology in China, 2008, 35 (2):298-304 (in Chinese with English abstract).
- [5] 任小华. 陕西勉略宁地区金属矿床成矿作用及找矿靶区预测研究[D]. 西安:长安大学,2008:1-150.  
Ren Xiaohua. Research on Metalliferous Deposit Mineralization and Survey and Prediction of Target Area for Mineral Prospecting Mian-Lue-Ning Region, Shaanxi[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008:1-150(in Chinese with English abstract).
- [6] 叶天竺,薛建玲. 金属矿床深部找矿中的地质研究[J]. 中国地质,2007,34(5):855-869.  
Ye Tianzhu, Xue Jianling, et al. Geological study in search of metallic ore deposits at depth [J]. Geology in China, 2007, 34(5):855-869(in Chinese with English abstract).
- [7] 汪军谊. 秦岭“勉略宁”三角地块成矿地质背景、矿化类型、成矿规律及找矿方向[D]. 西安:西北大学,2001:1-56.  
Wang Junyi. The Metallogenic Geological Background, Type of Mineralization, Metallogenic Rule and Ore-prospecting Target of the Qinling Mian-Lue-Ning Triangle Block[D]. Xi'an: Northwest University, 2001:1-56(in Chinese with English abstract).
- [8] 韩润生,金世昌,刘丛强,等. 陕西勉略阳铜厂矿田矿床(化)类型及其特征[J]. 地质与勘探,2000,36(4):11-15.  
Han Runsheng, Jin Shichang, Liu Congqiang, et al. Deposit types and their characteristics in Tongchang orefield, Mian county - Lueyang- Yangpingguan area, Shaanxi[J]. Geology and Prospecting, 2000, 36(4):11-15(in Chinese with English abstract).
- [9] 韩润生,刘丛强,马德云,等. 铜厂矿田陈家坝地区断裂构造地球化学特征及定位预测[J]. 地质与勘探,2000,36(5):66-69.  
Han Runsheng, Liu Congqiang, Ma Deyun, et al. Fault tectonogeochemical features and metallogenic prognosis of orientation in Chenjiaba area, Tongchang orefield, Shaanxi [J]. Geology and Prospecting, 2000, 36 (5):66-69 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张本仁,骆庭川,高山,等. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1994:257-311.  
Zhang Benren, Luo Tingchuan, Gao Shan, et al. Geochemical Study of the Lithosphere, Tectonism and Metallogenesis in the Qinling-Dabieshan Region[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1994: 257-311(in Chinese with English abstract).
- [11] 张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京:科学出版社,2001:280-569.  
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001:280-569(in Chinese with English abstract).
- [12] 李亚林,李三忠,张国伟. 秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化[J]. 中国地质,2002,29(2):129-134.  
Li Yalin, Li Sanzhong, Zhang Guowei. Composition of the Mianlue suture zone and its relation with the evolution of the old oceanic basin [J]. Geology in China, 2002, 29 (2):129-134 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王靖华,张复新,于再平,等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J]. 中国地质,2002,29(2):192-196.  
Wang Jinghua, Zhang Fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. Geology in China, 2002, 29(2):192-196(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质,2010,37(4):854-865.  
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China [J]. Geology in China, 2010, 37(4):854-865(in Chinese with English abstract).
- [15] 韩润生,马德云,刘丛强,等. 陕西铜厂矿田构造动力学[M]. 昆明:云南科技出版社,2003:1-164  
Han Runsheng, Ma Deyun, Liu Congqiang, et al. Dynamics of Tectonic Ore-forming Processes of Tongchang Orefield in Shaanxi [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House, 2003:1-164(in Chinese with English abstract).
- [16] 任小华. 陕西勉县—略阳—平阳关及周边地区矿产资源调查新进展[J]. 中国地质,2001,28(11):38-39.  
Ren Xiaohua. The new progress of mineral resources in Mianxian-Lueyang-Yangpingguan and surrounding areas, Shaanxi [J]. Geology in China, 2001, 28(11):38-39(in Chinese).
- [17] 任小华,王瑞廷,毛景文,等. 勉略宁多金属矿集区区域地球化学特征与找矿方向[J]. 地球科学与环境学报,2007,29(3):221-226.  
Ren Xiaohua, Wang Ruiting, Mao Jingwen, et al. Regional geochemistry characters and exploration direction for Mianxian -

- Lueyang-Ningqiang multi-metal deposit cluster area, Shaanxi Province, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29(3):221-226(in Chinese with English abstract).
- [18] 任文清, 周鼎武, 刘方杰. 勉略宁三角地区构造演化与金属矿产成矿特征[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2):60-67.
- Ren Wenqing, Zhou Dingwu, Liu Fangjie. Regional tectonic evolution and features of metal mineral resources of Mian-Lue-Ning triangle area[J]. Northwest Geoscience, 1999, 20(2):60-67(in Chinese with English abstract).
- [19] 任文清. 陕西勉略宁三角地区地质构造特征、演化与成矿作用关系探讨[D]. 西安:西北大学, 2001:1-69.
- Ren Wenqing. Discussing the Relation between the Tectonic Evolution and Ore-forming Process in the Mian-Lue-Ning Triangle Area, Shaanxi[D]. Xi'an:Northwest University, 2001:1-69(in Chinese with English abstract).
- [20] 汪军谊, 张复新. 勉略宁地区区域地质背景、矿床类型及其成矿特点[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2):68-75.
- Wang Junyi, Zhang Fuxin. The regional geology background, types of deposits and characters of ore-formation in Mian-Lue-Ning area[J]. Northwest Geoscience, 1999, 20(2):68-75(in Chinese with English abstract).
- [21] 涂怀奎. “勉略宁”区金矿分带研究[J]. 贵金属地质, 1998, 7(4):281-287.
- Tu Huaikui. Study on the gold deposit zonation in MLN area[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1998, 7(4):281-287(in Chinese with English abstract).
- [22] 方维萱, 卢纪英, 张国伟. 南秦岭及邻区大陆动力成矿系统及成矿系列特征与找矿方向[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2):1-12.
- Fang Weixuan, Lu Jiying, Zhang Guowei. Southern Qinling and adjacent regions Continental dynamic metallogenic system and metallogenic series features and prospecting direction[J]. Northwest Geoscience, 1999, 20(2):1-12(in Chinese with English abstract).
- [23] 蒋元安, 李永年, 雷建华, 等. 激电中梯勘探深度探讨[J]. 西部探矿工程, 2010, 10:145-147.
- Jiang Yuanan, Li Yongnian, Lei Jianhua, et al. Discussing the exploration depth of IP Gradient Method [J]. West-china Exploration Engineering, 2010, 10:145-147(in Chinese).
- [24] 刁理品, 韩润生, 方维萱. 沟系土壤地球化学测量在贵州普晴锑金矿勘查区应用与找矿效果[J]. 地质与勘探, 2010, 46(1):120-127.
- Diao Lipin, Han Runsheng, Fang Weixuan. Application of soil geochemical survey in the Puqing Antimony-gold exploration area deposit and prospecting effect [J]. Geology and Exploration, 2010, 46(1):120-127(in Chinese with English abstract).
- [25] 刁理品, 韩润生, 方维萱. 贵州西南部普安—晴隆一带锑金矿勘查区沟系土壤地球化学测量试验 [J]. 地质通报, 2010, 29(11):1712-1720.
- Diao Lipin, Han Runsheng, Fang Weixuan. Experiment of soil geochemical survey of valley in the Puan-Qinglong antimony-gold exploration area, southwestern Guizhou, China [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(11):1712-1720 (in Chinese with English abstract).
- [26] 雒志锋, 高明程, 朱向泰. 时域激电法单极-偶极装置在铅-锌矿勘查中的应用效果[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4):75-80.
- Luo Zhifeng, Gao Mingcheng, Zhu Xiangtai. Application effect of time-domain induced polarization pole-dipole array method in exploration of lead-zinc deposit[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(4):75-80(in Chinese with English abstract).
- [27] 汪玉琼. 激电中梯和激电测深在织金新麦铅锌矿区的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(5):551-553.
- Wang Yuqiong. Application of IP intermediate gradient and IP sounding to Xinmai Lead-Zinc Ore [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(5):551-553 (in Chinese with English abstract).
- [28] 陈乐寿, 王光粤. 大地电磁测深法[M]. 北京:地质出版社, 1990:291-306.
- Chen Leshou, Wang Guangue. Magnetotelluric Sounding Method [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1990:291-306 (in Chinese with English abstract).

# The application of geophysical and geochemical exploration and metallogenic prediction in the Wangjiagou gold ore district of Mianxian County, Shaanxi Province

LI Sai-sai<sup>1,2</sup>, WEI Gang-feng<sup>1,2</sup>, CUI Min-li<sup>3</sup>

- (1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Key Laboratory of Western Mineral Resource and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 3. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Based on a study of regional metallogenic regularity, this paper summarizes the prospecting criteria for the southern metallogenic belt in the Mian-Lue-Ning triangle area as follows: ① strata composed of Proterozoic basement metamorphic volcanic rocks and adjacent clastic rock and carbonate rocks; ② well-developed NE-NNE trending faults; ③ areas where fractures are filled with intermediate-basic veins; ④ geochemical anomaly areas of such elements as Au, Ag, Cu and Zn. The authors analyzed the metallogenic conditions of the study area and considered that the study area had favorable conditions in search for gold deposits related to fractures. First, using the IP intermediate gradient method, the authors quickly and accurately delineated two parallel NE-trending anomaly zones (No. I, No. II) which had high polarizability and low resistivity, and then disposed two polarization pole-dipole array sounding and soil geochemical profiles perpendicular to the anomaly zones. Combining geological data with interpretation, the authors predicted that the two anomaly zones were caused by two concealed ore-bearing fractures. Using adit engineering under the No. I anomaly zone, the authors found a quartz vein type gold ore body which contained polymetallic sulfides. It is thus inferred that there exists a larger gold ore body under the No. II anomaly zone, which has stronger and greater anomaly intensity than No. I.

**Key words:** Mian-Lue-Ning triangle area; gold deposit; IP intermediate gradient method; soil geochemical survey; buried fault

---

**About the first author:** LI Sai-sai, male, born in 1983, doctor candidate, engages in the study of dynamics of mineralization and accumulation; E-mail: lanqi178@163.com.