

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.06.003

陕西柞水—山阳金铜银多金属矿集区典型矿床模型和找矿预测

王瑞廷^{1,2,3,4}, 刘凯^{1,2,5}, 冀月飞^{1,2,3}, 成欢^{1,2,3}, 武春林^{1,2,3}, 张启^{1,3}, 李弦^{1,2}
WANG Ruiting^{1,2,3,4}, LIU Kai^{1,2,5}, JI Yuefei^{1,2,3}, CHENG Huan^{1,2,3}, WU Chunlin^{1,2,3},
ZHANG Qi^{1,3}, LI Xian^{1,2}

1. 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 陕西 西安 710054;
2. 西北有色地质矿业集团有限公司院士专家工作站, 陕西 西安 710054;
3. 陕西西北有色地质调查院有限公司, 陕西 西安 710054;
4. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;
5. 商洛西北有色 713 总队有限公司, 陕西 商洛 726000

1. Engineering and Technology Research Center for Comprehensive Utilization of Mineral Resources in Shaanxi Province, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Academician and Expert Work Station of Northwest Geological and Mining Group Co. Ltd. for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
3. Shaanxi Northwest Geological Survey Institute Co. Ltd. for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
4. Faculty of Geosciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
5. No. 713 Party of Northwest GeoExploration Bureau for Nonferrous Metals, Shangluo 726000, Shaanxi, China

摘要:柞水—山阳金铜银多金属矿集区成矿条件优越,找矿潜力较大,区内可划分出与晚侏罗世—早白垩世构造—岩浆热液活动相关的金、铜、银、铁、铅、锌、锑成矿亚系列,与晚三叠世中酸性岩浆活动相关的钼、钨成矿亚系列,与泥盆纪热水喷流沉积作用相关的碳酸盐岩容矿的铜、铁、铅、锌、银成矿亚系列等 5 个。归纳总结了矿集区金铜银多金属矿床找矿标志,分别建立了夏家店金矿床、池沟铜钼矿床、银洞子银铅多金属矿床、龙头沟金矿床、王家坪金矿床的综合找矿模型。通过区内综合找矿方法、找矿模型的具体运用,进行找矿预测,取得了较好的找矿进展。在圈定的夏家店和凤沟—西田家沟 2 个找矿靶区预测金资源量 42 t、银资源量 450 t、铅资源量 4×10^4 t。提出了研究区金铜银多金属矿床找矿预查选区、普查评价和详查勘探 3 个阶段不同的找矿方法技术组合,为研究区进一步的找矿工作提供了参考模型和方法依据。

关键词:柞水—山阳矿集区;金铜银多金属;地球化学;成矿模式;找矿模型;找矿预测;矿产勘查工程;陕西

中图分类号:P618.41;P618.51;P618.52 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)06-0895-14

Wang R T, Liu K, Ji Y F, Cheng H, Wu C L, Zhang Q, Li X. Typical deposit model and prospecting prediction of the Zhashui-Shanyang Au-Cu-Ag polymetallic ore-concentration area, Shaanxi Province. Geological Bulletin of China, 2023, 42 (6): 895-908

Abstract: The Au-Cu-Ag polymetallic deposit has favorable ore-forming conditions and great prospecting potential in the Zhashui-Shanyang ore concentration area. The area can be divided into five sub-series of Au-Cu-Ag-Fe-Pb-Zn-Sb minerogenetic sub-series

收稿日期:2021-07-28;修订日期:2023-05-18

资助项目:中国地质调查局项目《陕西省山阳矿集区找矿预测》(编号:DD20190570-2020-05)、陕西省地质勘查基金项目《陕西省山阳县矿集区夏家店金矿广域电磁法应用及深部找矿》(编号:61202009353)和“十二五”国家科技支撑计划项目课题《陕西山阳—柞水矿集区斑岩铜钼金矿深部找矿模式及勘查技术集成与示范》(编号:2011BAB04B05)

作者简介:王瑞廷(1969—),男,教授级高工,博士生导师,从事矿床地质地球化学研究与矿产勘查工作。E-mail:wrtyf@163.com

related to tectono-magmatic hydrothermal activity in the Late Jurassic-Early Cretaceous, Mo-W minerogenetic subseries related to intermediate-acid magmatic activity in the Late Triassic and Cu-Fe-Pb-Zn-Ag minerogenetic subseries of carbonate-host related to hot water jet deposition in the Devonian period. The prospecting criteria of the Au-Cu-Ag polymetallic deposit are summarized. The comprehensive prospecting models of Xiajiadian Au deposit, Chigou Cu-Mo deposit, Yindongzi Ag-Pb polymetallic deposit, Longtougou Au deposit and Wangjiaping Au deposit are established respectively. Through the concrete application of comprehensive prospecting method and prospecting model in the area, the prospecting prediction has been made, and better prospecting progress has been achieved. The amount of gold, silver and lead resources are 42 tons, 450 tons and 400 000 tons respectively in the two ore-prospecting target areas of Xiajiadian cond Fenggou-Xitianjiagou. In this paper, the author puts forward a combination of different prospecting methods in three stages: pre-prospecting and selecting area, general survey and evaluation, and detailed exploration, which provides a reference model and method basis for further prospecting in the area.

Key words: Zhashui-Shanyang ore-concentrated area; Au-Cu-Ag polymetals; geochemistry; metallogenic model; prospecting pattern; prospecting prediction; mineral exploration engineering; Shaanxi Province

柞水-山阳金铜银多金属矿集区(简称柞-山矿集区)位于南秦岭柞水断陷盆地,该盆地属于中秦岭弧前盆地系。该盆地发育于中泥盆世初,主体为一套沉积于深海—半深海环境的浊积岩,为区内大量成矿活动奠定了自然物质基础,同时区内大量泥质岩与碳酸盐岩互层堆积,形成了主要的赋矿层(张本仁等,1989;黄宾等,1991;李先梓等,1993;方维萱,1999;杨志华等,2000;王瑞廷,2005)。盆地中发育近EW向、NW向、NE向及SN向断裂,断裂交会部位控制金属矿床的产出与分布。柞-山矿集区是南秦岭地区金多金属成矿带的重要组成部分,产

出多个金属矿床(图1)。这些矿床中已勘查提交大—中型金属矿床16处;已评审备案资源/储量金72 t、铜 8.56×10^4 t、银1898 t、钒(V_2O_5) 297×10^4 t、铁矿石 3.32×10^8 t、重晶石 393×10^4 t。同时,矿点、异常星罗棋布,如韭菜沟金矿点、五色沟金矿点、蜜蜂沟铜(银)矿点、万丈沟镍矿点、HS14号水系沉积物综合异常等。自20世纪70年代以来,众多地学研究者和地勘单位在柞-山矿集区开展了大量的地质、矿产调查与找矿勘查工作,在矿床地质、地球化学、控矿因素、成矿模式、找矿标志、靶区筛选等方面取得了丰硕的成果(李先梓等,1993;张本仁等,

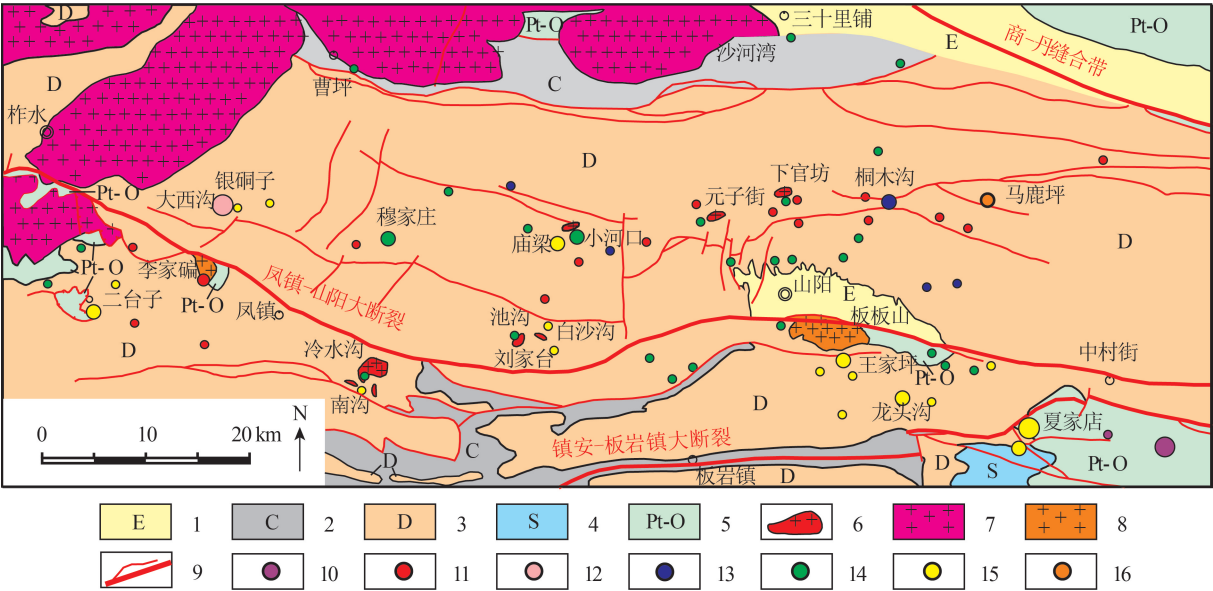


图1 柞水-山阳矿集区地质矿产简图(刘凯等,2020)

Fig. 1 Geological and mineral resources sketch map in Zhashui-Shanyang ore-concentrated area

1—古近系;2—石炭系;3—泥盆系;4—志留系;5—震旦系-奥陶系;6—晚侏罗世-早白垩世岩浆岩;7—三叠纪岩浆岩;
8—新元古代岩浆岩;9—断层;10—钼矿;11—铁矿;12—银矿;13—锌矿;14—铜矿;15—金矿;16—镉矿

1994;炎金才,1995;王相等,1996;卢纪英等,2001;苏瑞侠等,2001;张复新等,2004;朱华平,2004;王瑞廷,2005;王瑞廷等,2008;2010;2012a,b;2015a,b;2016;2021;高菊生等,2006;闫臻等,2007;原莲肖等,2007;2017;曹东宏等,2009;任涛等,2009;2014a,b;樊忠平等,2010;张西社等,2011;2012a,b;2015;陈雷等,2016;2017;刘凯等,2014;2019;2020;孟德明等,2014a,b;代军治等,2015;夏长玲等,2015;刘新伟等,2016;李声浩等,2019;熊潇等,2019;朱赖民等,2019a;薛玉山等,2020a,b;曾志杰等,2021),为区内的地质勘查、矿床研究、找矿部署等提供了坚实的资料依据和理论指导,也推动了该矿集区相关矿床成矿作用研究与综合找矿方法技术的进步。但前人关于区内典型金属矿床找矿模型的研究较少,制约了进一步的找矿预测。本次以重点勘查区找矿预测理论与方法为指导(叶天竺等,2014;2017),划分区内成矿亚系列,对夏家店金矿床、银洞子银铅多金属矿床等5个矿床的关键成矿条件控矿因素开展研究,并在对典型矿床整体解剖研究的基础上,形成了相应的综合找矿模型,为区内典型矿床研究和精准找矿预测工作提供示范和借鉴。

1 矿集区地质背景

柞-山金铜银多金属矿集区位于商丹断裂和镇安-板岩镇断裂中间,出露地层主要为中—上泥盆统,岩石类型主要为变砂岩、板岩、千枚岩、碎屑岩、碳酸盐岩等,发育热水沉积和复理石建造,生物化石较少,为浅海—半深海浊流沉积,处于被动大陆边缘深水—半深水滞留缺氧盆地环境(王瑞廷,2005)。本区主要的金矿赋矿层为水沟口组、西岔河组、大枫沟组、星红铺组。

印支期、燕山期,南秦岭构造带剧烈的陆内造山作用、逆冲推覆及剪切作用在矿集区内形成了多个近EW向为主的断裂。凤镇-山阳大断裂作为柞水-山阳残留海盆与镇安-旬阳裂陷海盆的分界构造,经历了多期构造变动和复杂的演化历史,呈NNW向延展,直接控制着柞-山盆地泥盆系古地理环境及其形成、演化和发展。印支期—燕山期,沿凤镇-山阳断裂发生了剧烈的构造-岩浆运动,为该区多金属矿床的形成创造了有利的地质环境。总体上,凤镇-山阳断裂、镇安-板岩镇断裂及其次

级断裂控制着区内金铜银成矿作用。该区内发育红岩寺-黑山街复式向斜,核部由石炭系组成;北翼被印支期、燕山期花岗岩岩体侵蚀,南翼地层属中—上泥盆统,次级背斜、向斜发育。断裂主要有近EW—NNW向高倾角断裂和近SN向断裂,其中EW—NNW向断裂性质多属剪切构造破碎带,影响着矿集区的矿产分布;近SN向断裂以NNE向断裂最发育,成群(东部)分布,具张扭性特点,部分呈逆时针方向错断EW—NNW向断裂和地层(王瑞廷,2005)。

区内岩浆岩发育,岩浆源区具有地壳熔融岩浆与地幔岩浆高度均一混合的可能性,岩性以花岗岩为主。岩浆活动多集中于盆地的边缘地区(王瑞廷,2005)。该区岩浆活动主要有4个期次,新元古代岩浆岩主要沿山阳-凤镇断裂南侧分布,成岩时间为620~940 Ma(牛宝贵等,2006;刘仁燕等,2009;吴发富等,2012;2014;郭现轻等,2014;王瑞廷等,2016),矿化较弱,主要为铜、磁铁矿和黄铁矿化;加里东期岩浆岩以桐树沟花岗岩体(430 Ma)最典型;印支期岩浆岩规模较大,呈复式岩基状分布,成岩时间197~246.8 Ma,主要集中在210~230 Ma(弓虎军等,2009a,b;杨恺等,2009;刘春花等,2014),并在岩体与地层接触部位容易形成较大的热蚀变角岩化带;燕山期岩浆活动发生于138.1~150.2 Ma,主要在柞-山矿集区的东部,于140~148 Ma形成中酸性小斑岩体(株)群(王晓霞等,2011;2015;王瑞廷等,2012a;陈雷等,2014a,b;2015;吴发富等,2014;闫臻等,2014),如池沟、土地沟、下官坊等岩体,岩性多为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、(石英)闪长(玢)岩等,并伴有少量爆发角砾岩。在围岩接触带发生矽卡岩、角岩化热液蚀变,另有一些基性—超基性岩体零星散布,常伴有铜、铁、钼、金矿化。印支期、燕山期岩浆作用与柞-山矿集区金、铜矿床的成矿关系密切。印支期、燕山期岩体均为高钾钙碱性I型花岗岩,印支期岩体产生在主造山期的后伸展状态下,因构造体系从挤压向伸展过渡,产生了强烈的壳幔相互作用;燕山期岩体形成于晚侏罗世—早白垩世中国东部构造体系过渡时期,造山带在巨大伸展应力条件下,引发了岩石圈的拆沉减薄,以及软流圈上升和强烈的壳幔相互作用(郑俊等,2015;朱赖民等,2019b)。

柞-山矿集区经历了多期的构造-岩浆活动,强

烈的构造活动不但给矿集区的成矿作用带来大量深部成矿物质,并对各个时代含矿层(或矿胚)的金属分异、活化、迁移、富集具有重要影响,成矿前景良好。通过对区内夏家店、庙梁、池沟、娘娘庙等矿区及外围的勘查工作,显示柞-山矿集区还存在很大的找矿潜力。

2 主要金属矿化特征

柞-山矿集区地处秦岭-大别成矿省,属南秦岭地区东段金-铅-锌-铁-汞-锑-蓝石棉-重晶石成矿亚带之山阳-柞水华力西-燕山期铁-银-铜-铅-锌-金红石成矿亚带和镇安-旬阳华力西-燕山期-铅-锌-金-汞-锑成矿亚带。丹凤-商南、凤镇-山阳 2 条区域深大断裂 F_3 、 F_4 基本控制着该矿集区的构造-岩浆-成矿作用(图 2)。区内沉积了巨厚的复理石建造,局部产生热水沉积岩系。泥盆纪发生相当规模的同生成矿,在圈闭状态较好的次级盆地中富集成为含矿层或矿胚,后期的构造岩浆活动对其有重要的改造作用,进而形成泥盆系碳酸盐岩容矿的银-铅-铜-锌矿床(化)。印支期-燕山期,区内形成了深源浅成型中、酸性岩体,其中花岗闪长

斑岩与铜铁矿化有关。柞-山矿集区成矿元素划分带相对复杂,总体表现为从西至东依次为铁铅银(铜)-铜(金)-锌-金,从南至北依次为金(铜)-铜(银铅)-铅锌(金)。前人将区内矿产资源大致分类为南秦岭与构造-岩浆活动相关的金矿床成矿系列、晚古生代复理石建造中的菱铁矿银多金属矿床成矿系列、震旦纪-早古生代铁锰磷重晶石矿床成矿系列及与热水渗滤作用相关的金矿床成矿系列。在系统分析前人研究成果的基础上(杨志华等, 2000;卢纪英等, 2001;胡健民等, 2004;王瑞廷, 2012b;2016;闫臻等, 2014;Xie et al., 2015),根据目前对该矿集区金铜银多金属矿床成矿作用和矿化富集规律的研究,将其成矿亚系列划分如下。

(1)与晚侏罗世-早白垩世构造-岩浆热液过程有关的金、铜、银、铁、铅、锌、锑成矿亚系列,由中低温热液型矿床、斑岩-矽卡岩型矿床、爆破角砾岩型矿床及远成低温热液型矿床组成。成矿时代集中于 140 Ma 左右(王瑞廷等, 2012;陈雷等, 2014a, b;2015;吴发富等, 2014;闫臻等, 2014),在构造-岩浆-流体及动热作用驱动下,一些矿床具有叠加和再造成矿特征。

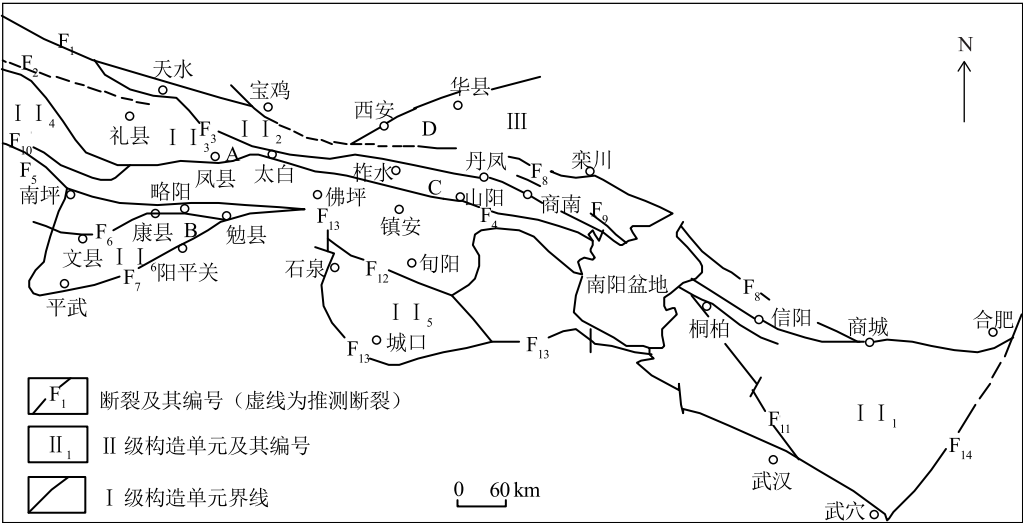


图 2 秦岭造山带陕西段成矿带构造单元划分示意图(陈毓川,1999)

Fig. 2 The tectonic units of metallogenic belt in the Shaanxi part of Qinling orogen

F_1 —青海湖南山-漳县-天水-宝鸡断裂; F_2 —昆中-夏河-娘娘坝断裂; F_3 —武山-唐芒-丹凤-商南-信阳-商城断裂; F_4 —夏河-临潭-宕昌-凤镇-山阳-桐柏断裂; F_5 —昆南-玛沁-迭部-武都-略阳断裂; F_6 —文县-康县-勉县-断裂; F_7 —青川-阳平关-勉县-断裂; F_8 —洛南-栾川-方城-商城断裂; F_9 —朱阳关-夏馆-好溪坡断裂; F_{10} —益哇-舟曲-徽县断裂; F_{11} —新城-黄陂断裂; F_{12} —石泉-安康-竹山断裂; F_{13} —城口-房县-襄樊-广济断裂; F_{14} —郧城-庐山断裂;秦岭造山带 II 级构造单元: II₁—武当-大别隆起; II₂—北秦岭加里东褶皱带; II₃—礼县-柞水(中秦岭)海西褶皱带; II₄—南秦岭印支褶皱带; II₅—北大巴山加里东褶皱带; II₆—摩天岭隆起; III—华北地台南缘中元古代裂谷带; A—凤-太矿集区; B—勉-略-宁矿集区; C—柞-山矿集区; D—小秦岭矿集区

(2)与晚三叠世中酸性岩浆活动相关的钼、钨成矿亚系列,包括杨木沟钼矿、王家坪钨矿等岩浆热液型矿床。

(3)与泥盆纪热水喷流沉积作用有关的碳酸盐岩容矿的铜、铁、铅、锌、银成矿亚系列,包括银洞子银铅多金属矿等热水沉积改造型矿床。该系列又可以分为 2 种,一种是热水喷流沉积改造矿床,以银洞子矿床为典型;另一种是热水喷流充填交代矿床,以锡铜沟矿床为典型。

(4)与寒武纪沉积作用相关的钒成矿亚系列,包括中村钒矿等沉积型矿床。成矿年代为寒武纪,矿体严格受寒武系水沟口组岩层控制。

(5)与新元古代基性岩浆活动相关的铁成矿亚系列,包括李家砭磁铁矿等岩浆结晶分异矿床,成矿成矿时代为 621 ± 6 Ma(郭现轻等,2014),矿体受元古宙中粗粒辉长岩控制。

断裂活动与本区矿产的空间分布有密切联系,在 EW 向的凤镇-山阳断裂两侧,分布许多金属矿床(点)。在该断裂以南 $1.5\sim4.0$ km 范围内的王家坪、龙头沟金矿等,也是构造长期运动的重要作用区域。另外,该区地化异常、矿化带(体)的展布位置与凤镇-山阳断裂一致,充分显示了断裂构造带对该区成矿作用起着决定性作用。

综合区域地质特征分析,认为柞-山矿集区西部地区主要为与燕山期斑岩体发育相关的斑岩型-矽卡岩型铜(钼)矿,成矿地质体为燕山期岩浆岩,成矿流体为岩浆热液流体;东部地区主要为中-低温热液型金矿,成矿地质体为断裂深部产生的隐伏

岩体,成矿流体则为深部岩浆低热液流体。由此看来,晚二叠世—早三叠世为金成矿时期,燕山期则为铜(钼)成矿时期,依据成矿作用、控矿因素等建立了区域综合成矿模式(图 3)。

3 典型矿床找矿模型

通过对夏家店远成低温热液型金矿床、池沟斑岩型铜钼矿床、银洞子热水喷流沉积型银铅多金属矿床、龙头沟构造控制的中温热液型金矿床、王家坪构造控制的远成低温热液型金矿床 5 个不同类型的典型矿床地质背景、成矿作用、富集规律、控矿因素等的系统研究,结合勘查实践,概括柞-山矿集区总体找矿标志为:①花岗斑岩体,岩体提供了热源和物源,也是重要的赋矿岩石;②构造交会部位,构造是岩浆和热液活动的便利通道,区内次级断裂 NE 向和 NW 向断裂中矿化较好,是找矿的重要标志;③矽卡岩化、绢云母化等蚀变现象,一般矿化均与蚀变密切相关,且蚀变强度与矿化程度呈正比,尤其是 2 种或几种蚀变的叠加地段矿化发育较好(王瑞廷等,2015);④羟基异常,通过遥感解译出具有蚀变羟基异常地质体,快速圈定岩体、蚀变范围,结合其他地物化异常进一步确定找矿靶区和矿(化)体范围;⑤Cu-Mo-Ag-Au-As 元素组合的土壤地球化学异常;⑥较高的极化率和磁异常($\Delta T\geq 100$ nT)。

结合找矿标志建立了 5 个典型金属矿床的综合找矿模型(表 1—表 5),并依据综合找矿模型,在区内取得了较好的找矿效果,其中,在凤镇断裂北侧干沟—双元沟—土地沟—池沟一带斑岩型铜矿找

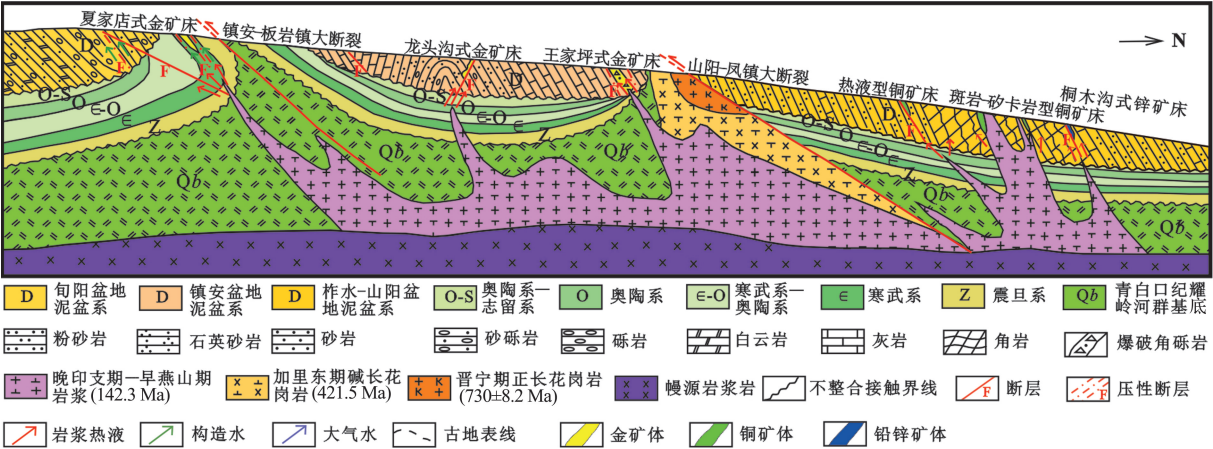


图 3 柞水-山阳矿集区金、铜矿床成矿模式示意图

Fig. 3 The metallogenetic model of gold and copper deposits in Zhazhui-Shanyang ore-concentrated area

表 1 柞水-山阳矿集区夏家店金矿床综合找矿模型

Table 1 The comprehensive exploring model of Xiajiadian gold mineral deposit in Zhashui-Shanyang polymetals ore-concentrated area

方法标志分类		远成低温热液型金矿 ^a
构造位置		区域性镇安-板岩镇大断裂及其南部
成矿地质体		隐伏岩体
成矿时代		139.60±0.98 Ma(单矿物 Sm-Nd 同位素等时线年龄)
容矿岩石		水沟口组炭硅质板岩、西岔河组砾岩
赋矿位置		断裂构造、水沟口组岩石地球化学界面、不整合面
容矿构造		断裂构造面(NNE 向张性构造、EW 向剪切构造)、不整合面、氧化还原界面
地质要素标志	蚀变及矿化类型	蚀变有硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、雌黄化、雄黄化、萤石化、方解石化、绢云母化和(铁)碳酸盐化等,黄铁矿化、萤石化、雌黄化、雄黄化、褐铁矿化、硅化与金矿化关系最密切,矿化类型主要为微细粒浸染状矿化
	地球化学特征	金矿石 Σ REE 含量 $23.89\times10^{-6}\sim94.23\times10^{-6}$, 平均为 54.14×10^{-6} ; $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}>3$, δEu 值为 $0.63\sim0.90$
	成矿流体特征	均一温度为 $50\sim270^{\circ}\text{C}$, 盐度为 $0.88\%\sim14.98\%$ NaCl eqv
	同位素特征	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-2.8\%\sim1.8\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值为 $13.38\%\sim16.6\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $-5.97\%\sim$ 14.02% , δD 值为 $-99\%\sim-67.6\%$, $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-9.4\%\sim5.8\%$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.081\sim$ 18.746 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.555\sim15.612$
物探异常标志	1:10 万航磁异常	位于 EW 向带状磁异常梯度带上,异常最大 1550 nT,最小-461 nT
	1:5 万地面高精度磁异常	长轴近 EW 向的椭圆状中等磁异常边缘
	1:1 万视充电率异常	金矿石具有高充电率、低电阻率电性特征,特别是含炭金矿石最为明显,矿体充电率异常均值为 16.27% ,电阻率几何均值为 $5\ \Omega\cdot\text{m}$,与其他岩石有明显的差异
化探异常标志	1:1 万次生晕异常	异常组合元素为 Hg、Sb、As、Au,异常由内向外有 As-Au-Ag、Sb、Hg 的组合分带特征
	原生晕异常	$\text{Au}>50\times10^{-9}$,指示金矿化异常体, $\text{Au}>500\times10^{-9}$,指示金矿化体, $\text{Au}>1000\times10^{-9}$,指示金矿体
遥感异常标志		环形构造,EW 向与 NE 向线性构造叠加;铁染异常

矿获得突破性进展。

4 综合找矿方法

在长期地质研究和矿产勘查工作实践的基础上,结合柞-山矿集区构造演化、成矿地质条件、不同矿种矿化类型、找矿标志、区域找矿方法技术及其找矿效果,提出了柞-山矿集区的铜钼金多金属矿床综合找矿方法。

(1) 预查选区阶段:通过地质综合研究、水系沉积物测量(在 1:5 万水系沉积物测量基础上进行 1:2.5 万沟系次生晕加密)、1:5 万高精度磁测或 1:10 万航磁解译、地质地球化学剖面、激电/磁法剖

面等方法相互验证,检查异常矿点,以快速圈定矿化带和找矿靶区。

(2) 普查评价阶段:通过 1:1 万~1:2000 比例尺地质填图、大比例尺遥感解译及蚀变信息提取、1:1 万或 1:5000 土壤正规网测量、1:1 万高精度磁测或激电扫面、TEM/CSAMT 剖面、地质-化探原生晕-磁法或激电综合剖面、工程验证的技术方法组合,追索、圈定矿(化)体。

(3) 详查勘探阶段:对初步控制、圈连的矿(化)体利用探槽、坑道、钻孔按照一定的工程网度进行加密控制,进一步确定矿体的产状、形态、规模、品位及其对应连接,估算资源量。在一些重点地段开展

表 2 柞水-山阳矿集区池沟铜钼矿床综合找矿模型

Table 2 The comprehensive exploring model of Chigou copper-molybdenum mineral deposit in Zhushui-Shanyang polymetals ore-concentrated area

方法标志分类		斑岩型铜钼矿
地质要素标志	构造位置	区域性凤镇-山阳大断裂北部 3 km 处
	成矿地质体	石英闪长斑岩、花岗斑岩岩体
	成矿时代	148.1±2.0 Ma(辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄)
	容矿岩石	石英闪长斑岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、石英闪长岩
	赋矿位置	矿体多产于斑岩体内外接触带附近
	容矿构造	EW 向断裂构造、斑岩体顶部及其附近的断裂构造、接触带构造、角砾岩筒
	蚀变及矿化类型	自斑岩体边缘向外,蚀变主要有钾化、硅化、绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化、矽卡岩化、碳酸盐化等。矿化主要有黄铁矿化、黄铜矿化、辉钼矿化等,铜矿化与绿泥石化、绿帘石化叠加钾化和黑云母化关系密切,钼矿化与硅化、钾化关系密切。区内主要矿化类型是斑岩型铜(钼)矿化
	地球化学特征	二长花岗岩、石英闪长岩 SiO ₂ 含量为 58.01%~67.78%,K ₂ O+Na ₂ O 含量为 6.66%~8.75%,K ₂ O/Na ₂ O 值为 0.92~1.15,Al ₂ O ₃ 含量为 14.26%~16.46%,CaO 含量为 2.07%~5.10%
	成矿流体特征	均一温度为 250~400℃,盐度为 5%~10% NaCl eqv
	同位素特征	δ ¹⁸ O 值为 2.7‰~8.5‰,δD 值为-90‰~-107‰,δ ³⁴ S 值为-4‰~4‰
物探异常标志	1:10 万航磁异常	位于区域串珠状航磁异常内,矿区航磁异常面积大,异常值高,多达 100~218 nT
	1:1 万地面高精度磁异常	矿区磁异常发育,多表现为正常,磁异常值在 100 nT 以上,显示深部可能有隐伏含矿斑岩体
	1:1 万视充电率异常	矿体往往显示中等极化率特征,充电率异常 5%~8%
化探异常标志	1:1 万次生晕异常	异常以 Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi 为主,伴有 Ba、Cd、Pb、Zn、Sn 异常,由异常中心向外,呈现 Cu(Mo)-W-Au-Ag-Pb(Zn)元素组分分带特征
	原生晕异常	Cu 100×10 ⁻⁶ ~500×10 ⁻⁶ ,指示铜矿化异常体,Cu 500×10 ⁻⁶ ~1000×10 ⁻⁶ ,指示铜矿化体,Cu 大于 2000×10 ⁻⁶ ,指示铜矿体
遥感异常标志		NNE 向串珠状环形构造,EW 向与 NNE 向线性构造叠加

激电测深、TEM 等物探工作为钻孔布设提供依据或通过构造叠加晕等化探工作预测盲矿体(王瑞廷等,2015b)。

5 找矿预测

在该矿集区地质矿产资料集成研究和勘查实践分析的基础上,依据建立的成矿模式、综合找矿模型和总结的找矿标志,开展大比例尺综合找矿预测,指导区内找矿工作,取得了较好的找矿效果。

5.1 夏家店Ⅱ号矿带与Ⅰ号矿带交汇部位偏Ⅱ号矿带一侧金钒找矿靶区

该靶区位于山阳县中村镇夏家店金矿区(图

4),地质、物探、化探、遥感资料综合研究表明,这是夏家店金矿床寻找盲矿体的首选靶区。

(1)夏家店金矿床Ⅱ号矿化蚀变带的寒武系水沟口组有利层位(硅质岩、硅质板岩、炭质板岩、灰岩、白云岩等)稳定出露,且该层位由于富含对金具有强烈吸附作用的炭质,构成区域上一套有利金、钒成矿的岩石地球化学界面。

(2)该靶区处于夏家店金矿床 NNE 向 F4 断裂和 EW 向 F5 断裂交会部位,Ⅱ号矿带一侧构造条件十分有利。夏家店金矿床矿体均产出于 NNE 向断裂和 EW 向断裂交会处,且北部靠近镇安-板岩镇区域性控矿大断裂,目前靠近Ⅰ号矿带一侧已

表 3 柞水-山阳矿集区银洞子银铅多金属矿床综合找矿模型

Table 3 The comprehensive exploring model of Yindongzi silver lead polymetals mineral deposit in Zhashui-Shanyang ore-concentrated area

方法标志分类		海底热水喷流沉积 (SEDEX) 型银铅多金属矿
构造位置		柞水-山阳泥盆纪沉积盆地
成矿地质体		三级沉积洼地及同生断裂
成矿时代		374~386 Ma (Rb-Sr 同位素等时线年龄和铅同位素模式年龄)
容矿岩石		浅海相泥质-碳酸盐建造, 岩性为绿泥绢云千枚岩、磁铁 (菱铁) 千枚岩、铁白云质绿泥绢云千枚岩、绢云母结晶灰岩、粉砂质千枚岩夹重晶石岩、似碧玉岩、钠长岩
赋矿位置		大西沟组第二岩性段上部地层
容矿构造		矿体与围岩产状一致, 界线清楚, 具有明显的层控矿床特征
地质要素标志	蚀变及矿化类型	无明显围岩蚀变, 仅在矿体上下盘附近围岩有褪色化现象和弱的绿泥石化、硅化、黄铁矿化及碳酸盐化
	地球化学特征	千枚岩: SiO ₂ 含量为 52.99%~54.33%, K ₂ O+Na ₂ O 含量为 2.15%~5.53%, K ₂ O/Na ₂ O 值为 1.39~15.10, Al ₂ O ₃ 含量为 16.30%~19.94%, CaO 含量为 3.72%~4.51%
	成矿流体特征	均一温度小于 200℃, 总硫值+22.6‰~+23.8‰, pH 值 7~8, Eh 值-0.40~-0.17 V, logf _{O₂} 值-44.91~-38.12
	同位素特征	主矿体硫化物 δ ³⁴ S 值为 13‰~19‰, 重晶石 δ ³⁴ S 值为 21‰~28.48‰, δ ¹⁸ O 值为 19.1‰~19.6‰ (含矿硅质岩), δ ³⁰ Si 值为-0.2‰~0.1‰ (含矿硅质岩); 方铅矿 ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb 值为 18.01~18.25, ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb 值为 15.55~15.85, ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb 值为 37.97~38.94
物探异常标志	1:1 万地面高精度磁异常	200~500 nT 的中等正磁异常, 通常可指示矿体; -50~200 nT 的磁异常, 是含矿层位的反映
	1:1 万电阻率异常	1000~1500 Ω·m 的低电阻率异常, 一般指示矿体; 800~1500 Ω·m 的电阻率异常, 往往反映含矿层位
化探异常标志	1:1 万次生晕异常	异常组合元素为 Cu、Ag、Pb、Zn、As、Fe、Ba, 异常由内向外具有 CuAg-PbAg-Pb-Fe-Ba 的组合分带特征
遥感异常标志		环形构造, NWW 向与 NE 向线性构造叠加

经控制了 I-2 号金矿体。

(3) Au、As、Hg 异常为夏家店金矿床的主要化探找矿预测标志, 而该靶区附近多发育 Au、As、Hg 等元素为主的化探异常。

(4) 夏家店金矿床 II 号和 I 号金矿化蚀变带交汇处发育数个激电异常, 显示深部存在水沟口组炭质板岩有利建造或富含硫化物的地质体。

夏家店 II 号金矿带与 I 号金矿带交汇部位通过实施 12 条激电剖面测量, 所获视充电率异常呈扇形展布。在视充电率异常等值线平面图上, 分别以 6%、4% 和 3.5% 为异常下限, 圈定出 M1、M2、M3 和 M4 四个视充电率异常 (丁坤, 2020), 其异常特征见表 6。

II 号金矿带一侧的 M4 异常为激电工作所获最好充电率异常, 呈环带状展布, 该异常规模长约 695 m, 宽 27~87 m, 最大值 11.24%。激电异常显示地段与已探明 I、II 号矿化带展布位置吻合。激电异常地段为寒武系水沟口组中段, 其岩性为炭质板岩, 激电体产状北倾。分析认为, 该异常地段成矿条件好, 找矿空间大, 预测 II 号金矿化蚀变带 56-72 线间、900 m 标高以下具有较好的找矿前景。

目前该靶区内实施的 ZK5201 钻孔于深部已控制一厚大金钒矿体, 金矿体主要分布于 II 号含金 (钒) 构造蚀变带内中、上部, 钒矿体分布于蚀变带内中、下部, 金矿体累计真厚度 16.33 m, 金品位 1.06~2.41 g/t, 平均品位 1.32 g/t; 钒矿体真厚度为

表 4 柞水-山阳矿集区龙头沟金矿床综合找矿模型

Table 4 The comprehensive exploring model of Longtougou gold mineral deposit in Zhashui-Shanyang polymetals ore-concentrated area

方法标志分类		受构造控制的中温热液型金矿
地质要素标志	构造位置	区域性山阳-凤镇大断裂与镇安-板岩镇断裂之间
	成矿地质体	断裂深部存在的隐伏岩体
	成矿时代	141.70 ± 0.92 Ma(单矿物 Sm-Nd 同位素等时线年龄)
	容矿岩石	泥盆系大枫沟组砂岩、板岩、砾岩
	赋矿位置	EW 向层间南倾的剪切断裂构造
	容矿构造	近 EW 向 F ₁ 、F ₂ 等层间剪切断裂构造
	蚀变及矿化类型	硅化、重晶石化、黄铁矿化、褐铁矿化、(铁)碳酸盐化和绢云母化、黄铜矿化、镜铁矿化等。与成矿关系最密切的是黄铁矿化和褐铁矿化,其次为硅化
	地球化学特征	金矿石 Σ REE 含量 $56.1\times10^{-6}\sim291.0\times10^{-6}$, 平均 173.55×10^{-6} ; Σ Ce/ Σ Y 值为 0.362~1.304, 平均 0.941; δ Eu 值为 3.35~8.58, 平均 5.12; δ Ce 值为 0.73~0.74;Sm/Nd 值为 0.313~0.447, 平均为 0.356。金矿石中黄铁矿 Co/Ni>1 围岩 Σ REE 含量 179.1×10^{-6} , Σ Ce/ Σ Y 值为 4.740, δ Eu 值为 0.680, δ Ce 值为 0.89,Sm/Nd 值为 0.183
	成矿流体特征	均一温度 260~280℃,盐度 1.5%~4% NaCl eqv,成矿压力 140~200 MPa
	同位素特征	矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 0.39‰~5.91‰,平均 2.74‰;石英包裹体中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 值为 17.1‰~19.5‰,平均 18.6‰; δD 值为 -105‰~-113‰,平均 -109.2‰;黄铁矿化石英脉矿石中石英 $\delta^{30}\text{Si}$ = 0.2‰
物探异常标志	区域航磁异常	区域航磁正异常
	布格重力异常	布格重力负异常带相对平缓的 EW 向带状异常
	激电测深异常	视充电率几何平均值为 1.25%~3.31%,常反映金矿体,低于 1.25% 一般指示围岩;视电阻率几何平均值达 524~577 $\Omega\cdot\text{m}$,指示金矿体,低于 524 $\Omega\cdot\text{m}$ 或高于 600 $\Omega\cdot\text{m}$ 一般反映围岩
化探异常标志	1:2.5 万沟系次生晕异常	Au、Cu、As、Sb、Hg 元素异常组合
	原生晕异常	元素组合 Au、Ag、Hg、Cu、Pb、Zn、As、Mn、Bi、Sb、Co,其中前缘晕元素为 As、Sb、Hg,近矿晕元素 Ag、Cu、Pb、Zn,尾晕元素 Bi、Mo、Co
遥感异常标志		环形构造边部的线性断裂构造及其叠加构造,铁染异常、羟基异常受断裂控制明显,异常的发育与断裂构造关系明显

15.54 m, V₂O₅ 品位 0.73% ~ 1.40%, 平均品位 0.96%。该靶区预测金资源量 5 t。

5.2 风沟-西田家沟金、银、铅矿多金属找矿靶区

该靶区位于柞水县风沟—西田家沟一带(图 5),靶区内找矿工作程度较低,以前的找矿工作仅发现几个银、铅矿点及一些金矿化线索。近年通过矿集区矿产调查及综合研究,认为该区找矿条件有利,具有寻找大型金、银、铅多金属矿床的潜力。

(1)靶区内地质条件良好,发育青石垭组有利含矿沉积建造,岩性为碎屑岩夹碳酸盐岩互层,该套岩性互层是本矿集区利于成矿的“硅钙面”;区内

NWW 向层间断裂构造发育,其次还发育后期 NE 向、NNW 向断裂构造,局部 NNW 向断裂构造中发育煌斑岩脉体。热液蚀变较显著,主要有硅化、铁白云石化、碳酸盐化、绢云母化等现象,目前在风沟—西田家沟一带新发现多条金、银、铅多金属矿体,矿体发育明显受 NW 向层间断裂构造控制。

(2)前期开展的 1:5 万水系沉积物测量工作,圈定了 HS10 异常,该异常呈 NW 向带状展布,长约 4.2 km,宽 1.7~3.8 km,总面积约 11.5 km²,以 Ag、Au、Pb 异常为主,伴有 As、Cd、Sb、Zn、Hg 等异常,异常相互套合,强度较高。Au、As、Sb 元素的多个浓

表 5 柞水-山阳矿集区王家坪金矿床综合找矿模型

Table 5 The comprehensive exploring model of Wangjiaping gold mineral deposit in Zhashui-Shanyang polymetals ore-concentrated area

方法标志分类		受构造控制的远成低温热液型金矿
构造位置		山阳-凤镇断裂和镇安-板岩镇断裂之间
成矿地质体		断裂深部存在的隐伏岩体
成矿时代		195 Ma(单矿物 Sm-Nd 同位素等时线年龄)
容矿岩石		泥盆系星红铺组含炭泥质灰岩、钙质板岩、生物碎屑灰岩
赋矿位置		EW 向断裂构造与 NE 向、NW 向形成的“井”字形构造中部
容矿构造		近 EW 向 F ₂ 断裂及其平行的次级断裂构造
地质要素标志	蚀变及矿化类型	黄铁矿化、硅化、雌黄化、炭化、铁碳酸盐化、雄黄化,少量辉锑矿化、黄铜矿化、白钨矿化;与成矿关系最密切的是黄铁矿化、硅化、雌黄化,其次是铁碳酸盐化、雄黄化
	地球化学特征	金矿石 Σ REE 含量 $94.71\times 10^{-6}\sim 141.03\times 10^{-6}$,平均 117.30×10^{-6} ; Σ Ce/ Σ Y 值为 7.62~16.30,平均 11.03; δ Eu 值为 0.43~0.55,平均 0.49; δ Ce 值为 0.73~0.78,平均 0.76, $(La/Sm)_N$ 值为 3.86~4.52,Sm/Nd 值为 0.17~0.19。金矿石中黄铁矿 Co/Ni 值为 1~4。围岩 Σ REE 含量 $42.45\times 10^{-6}\sim 61.22\times 10^{-6}$,平均 51.84×10^{-6} ; Σ Ce/ Σ Y 值为 6.71~7.66,平均 6.92; δ Eu 值为 0.49~0.76,平均 0.63; δ Ce 值为 0.95, $(La/Sm)_N$ 值为 2.8~3.6,Sm/Nd 值为 0.21~0.31
	成矿流体特征	均一温度 90~250℃,平均 118℃;盐度 4.61%~22.38% NaCl eqv,平均 15.96% NaCl eqv;成矿压力 82~345 MPa,平均 133 MPa;流体密度 0.967~1.12 g/cm ³
	同位素特征	金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值为-1.51‰~12.8‰,平均 6.54‰;石英-方解石 $\delta^{18}O_{\text{石英}}$ 值为6.6‰~21.7‰; $\delta^{13}C$ 值为-1.2‰~1.4‰; δD 值为-104‰~-52.1‰
物探异常标志	区域航磁异常	位于区域航磁正异常区
	布格重力异常	布格重力负异常带相对平缓的 EW 向带状异常
	激电异常	视极化率为 3%~7%,平均 5.63%,视电阻率 500~1500 $\Omega\cdot m$,平均 851 $\Omega\cdot m$ 的中高极化中低阻特征指示金矿体,高阻低极化和低阻低极化特征反映围岩
化探异常标志	1:1 万土壤地球化学异常	元素异常组合 Au、As、Sb、Hg
	原生晕异常	元素组合 Au、Ag、Hg、Sb、As、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo,其中前缘晕元素为 As、Sb、Hg,近矿晕元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn,尾晕元素 Bi、Mo
遥感异常标志		环形构造边部,铁质异常和羟基异常条带状发育,控矿断裂呈断续的线性影像

集中心呈串珠状 NW 向展布;Ag、Pb、Zn、Cd 元素的多个浓集中心呈 NW 向、NE 向展布。Ag、Au、Pb 最高值分别为 42750×10^{-9} 、 689×10^{-9} 、 6300×10^{-6} 。Ag、Pb、Au 等异常范围较大、浓集中心明显、各元素套合较好。推测异常区深部可能存在隐伏岩体,地球化学找矿条件较好。

(3)该靶区内磁异常发育,位于柞-山高磁异常区,在凉水沟-西田家沟之间发育一高磁异常中心,异常中心磁异常值达 115 nT,通过解释推断,

解译出大面积热液蚀变岩,与地质工作发现的煌斑岩脉及热液蚀变较吻合,显示靶区深部发育隐伏侵入岩。

(4)1:5 万遥感解译工作在风沟-西田家沟解译出 2 个由侵入岩引起的环形构造,其次还有一些 NW 向线性构造。

结合此靶区的地质矿产调查工作,开展资源潜力评价,预测金资源量 37 t、银资源量 450 t、铅资源量 40×10^4 t,显示该靶区找矿潜力很大。

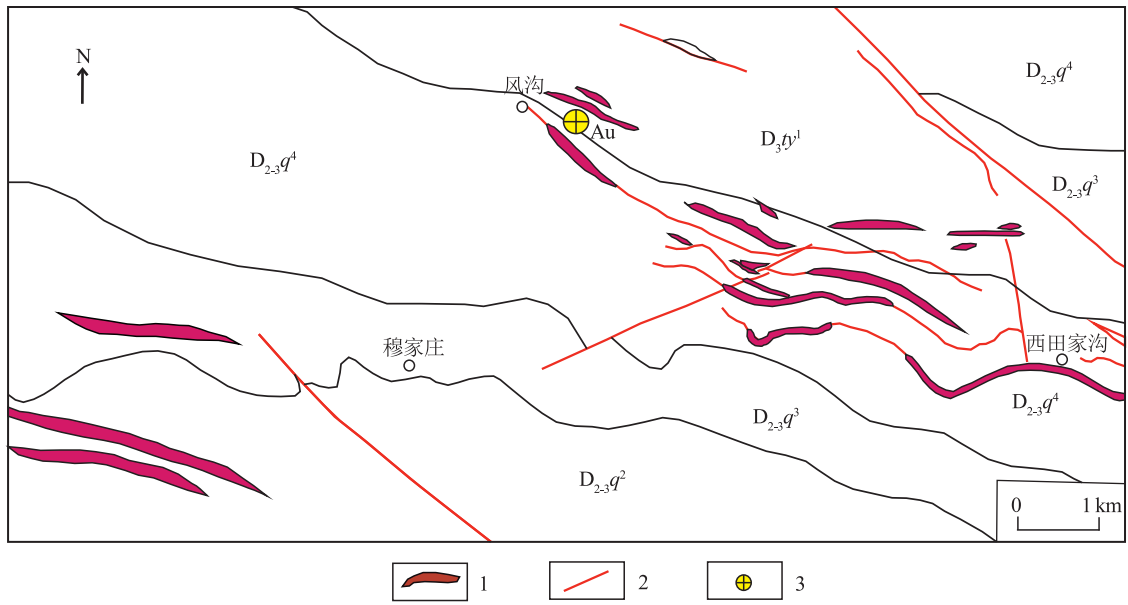


图 5 风沟—西田家沟一带地质简图

Fig. 5 Geological sketch map of the Fenggou-Xitianjiagou

D_3ty^1 —上泥盆统峒峪寺组 1 段; $D_{2-3}q^4$ —中-上泥盆统青石砭组 4 段; $D_{2-3}q^3$ —中-上泥盆统青石砭组 3 段;
 $D_{2-3}q^2$ —中-上泥盆统青石砭组 2 段;1—金、银、铅多金属矿体;2—断层;3—金银铅矿点

(4)对于区内金铜银多金属矿床找矿,预筛选区阶段建议选择质、物探、化探、遥感等多手段综合找矿方法,根据地质情况选择水系沉积物测量或沟系次生晕加密、航磁或地面高精度磁测、TEM/CSAMT 或激电综合剖面等综合方法技术,找矿成效较好。

因此,加大综合研究力度,建立科学精准的找矿模型,采用综合方法技术,柞-山矿集区地质找矿必定会实现更大的突破。

参考文献

Xie G Q, Mao J W, Wang R T, et al. Origin of Late Mesozoic granitoids in the newly discovered Zha - Shan porphyry Cu district, South Qinling, central China, and implications for regional metallogeny [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 103: 184-197.

曹东宏,朱赖民,李森,等.陕西省柞水县王家沟卡林型金矿床地质特征及成因初探[J].地质与勘探,2009,45(1): 23-29.

陈雷,王宗起,闫臻,等.秦岭山阳-柞水矿集区 150-140 Ma 斑岩-矽卡岩型 CuMoFe(Au) 矿床成矿作用研究[J].岩石学报,2014a,30(4): 415-436.

陈雷,闫臻,王宗起,等.陕西山阳柞水矿集区燕山期岩体矿物学特征:对岩浆性质及成矿作用的指示[J].地质学报,2014b,88(1): 109-132.

陈雷,闫臻,王宗起,等.东秦岭 160-140Ma Cu(Mo)和 Mo(W)成矿作

用的差异性:来自成矿岩体的地球化学及其岩浆源区的证据[J].岩石学报,2015,31(4): 2383-2401.

陈雷,闫臻,王宗起,等.南秦岭山阳-柞水矿集区大西沟-银铜子铁-银-铅锌-铜矿床地球化学特征:对矿床成因的约束[J].矿物岩石,2016,36(4): 38-49.

陈雷,闫臻,王宗起,等.东秦岭 160~140 Ma Cu(Mo)和 Mo(W)矿床磷灰石成分特征[J].地质学报,2017,91(9): 1925-1941.

陈毓川.中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M].北京:地质出版社,1999: 8-118.

代军治,张西社,王鹏,等.南秦岭柞水县冷水沟铜钼金矿床成矿流体、H-O-S 同位素特征及成矿作用[J].地质与勘探,2015,55(1): 13-22.

丁坤.南秦岭柞-山矿集区典型金矿床成矿作用与成矿动力学背景[D].长安大学博士学位论文,2020.

樊忠平,任涛,王瑞廷,等.基于 Surpac 软件的矿床模型构建及矿体资源量估算——以陕西山阳夏家店金钒矿床为例[J].地质与勘探,2010,46(5): 977-984.

方维萱.柞水银铜子特大型银多金属矿床矿物地球化学研究[J].矿物学报,1999,19(3): 349-357.

高菊生,王瑞廷,张复新,等.南秦岭寒武系黑色岩系中夏家店金矿床地质地球化学特征[J].中国地质,2006,33(6): 1371-1378.

弓虎军,朱赖民,孙博亚,等.南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J].岩石学报,2009a,25(2): 248-264.

弓虎军,朱赖民,孙博亚,等.南秦岭地体东江口花岗岩及其基性包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[J].岩石学报,2009b,25(11):

- 3029-3042.
- 郭现轻,闫臻,王宗起,等.山阳-柞水矿集区李家砭 Ti-Fe 矿床成矿构造背景研究[J].岩石学报,2014,30(2): 437-450.
- 胡健民,崔建堂,孟庆任,等.秦岭柞水岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质论评,2004,50(3): 323-329.
- 黄宾,姚仲友.陕西柞水银洞子银、铅多金属矿床物质来源初探[J].西北地质,1991,12(4): 24-28.
- 李声浩,朱赖民,丁乐乐,等.南秦岭夏家店金矿床赋矿黑色岩系元素地球化学及其成矿意义[J].地学前缘,2019,26(5): 129-145.
- 李先梓,严阵,卢欣祥.秦岭-大别山花岗岩[M].北京:地质出版社,1993: 1-212.
- 刘春花,吴才来,郝源红,等.南秦岭东江口、柞水和梨园堂花岗岩类锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学与锆石 Lu-Hf 同位素组成[J].岩石学报,2014,30(8): 2402-2420.
- 刘凯,任涛,孟德明,等.秦岭造山带柞水-山阳矿集区斑岩型铜矿成矿规律及找矿方向分析[J].地质与勘探,2014,50(6): 1096-1108.
- 刘凯,王瑞廷,樊中平,等.秦岭造山带柞水-山阳矿集区夏家店金矿床成矿时代及其地质意义[J].矿床地质,2019,38(6): 1278-1296.
- 刘凯,赵亮,任涛,等.南秦岭柞水-山阳矿集区成矿特征及找矿方向[J].矿产勘查,2020,11(5): 849-857.
- 刘仁燕,牛宝贵,和政军,等.陕西柞水地区小茅岭复式岩体东段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J].地质通报,2009,30(2/3): 448-460.
- 刘新伟,汪超,韩璐,等.王家坪金矿床地质地球化学特征及成因探讨[J].黄金科学技术,2016,24(4): 39-46.
- 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: 1-104.
- 孟德明,王瑞廷,刘凯,等.陕西山阳县池沟地区地质特征与构造-岩浆-成矿作用分析[J].西北地质,2014a,47(1): 116-126.
- 孟德明,王瑞廷,王鹏,等.陕西柞水-山阳矿集区冷水沟铜钼矿床成矿特征及成矿机制探讨[J].矿床地质,2014b,33(4): 833-846.
- 牛宝贵,和政军,任纪舜,等.秦岭地区陡岭-小茅岭隆起带西段几个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].地质论评,2006,52(6): 826-835.
- 任涛,王瑞廷,王向阳,等.秦岭造山带柞水-山阳沉积盆地铜矿勘查思路与方法[J].地质学报,2009,83(11): 1730-1738.
- 任涛,王瑞廷,孟德明,等.南秦岭造山型金矿地质特征及成矿模式—以陕西山阳夏家店金(钼)矿床为例[J].西北地质,2014a,47(1): 150-158.
- 任涛,王瑞廷,谢桂青,等.陕西池沟斑岩型铜矿床含矿岩体地球化学特征、成岩成矿时代及其意义[J].矿床地质,2014b,33(4): 807-820.
- 苏瑞侠,刘平.秦岭穆家庄铜矿地球化学特征[J].地质地球化学,2001,29(4): 20-27.
- 王瑞廷.秦岭造山带陕西段主要矿集区典型金属矿床成矿模式和找矿预测研究[D].中国地质大学(北京)博士后研究报告,2005: 1-173.
- 王瑞廷,李剑斌,任涛,等.柞水-山阳多金属矿集区成矿条件及找矿潜力分析[J].中国地质,2008,35(6): 1291-1298.
- 王瑞廷,任涛,李建斌,等.柞水银洞子银铅多金属矿床地球化学特征、成矿模式及找矿预测[J].地质学报,2010,84(3): 418-430.
- 王瑞廷,任涛,孟德明,等.柞-山矿集区侵入岩与成矿[J].西北地质,2012a,45(S1): 29-33.
- 王瑞廷,王东生,代军治,等.秦岭造山带陕西段主要矿集区铅锌银铜金矿综合勘查技术研究[M].北京:地质出版社,2012b: 1-275.
- 王瑞廷,王向阳,任涛,等.山阳-柞水矿集区斑岩-矽卡岩型多金属矿床找矿方法组合研究[J].岩石学报,2015a,31(1): 245-260.
- 王瑞廷,李剑斌,代军治,等.陕西山阳-柞水矿集区综合找矿方法和典型矿床找矿模型[C]//2015 年中国地球科学联合学术年会论文集.2015b: 717-719.
- 王瑞廷,代军治,张西社,等.陕西秦岭地区与小岩体有关的铜钼多金属矿床成矿背景与找矿预测[M].北京:地质出版社,2016: 1-226.
- 王瑞廷,冀月飞,成欢,等.南秦岭柞水-山阳矿集区金铜矿床成矿规律与找矿方向[J].现代地质,2021,35(6): 1487-1503.
- 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: 170-182.
- 王晓霞,王涛,齐秋菊,等.秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演变及构造意义[J].岩石学报,2011,27(6): 1573-1593.
- 王晓霞,王涛,张成立.秦岭造山带花岗岩浆作用与造山带演化[J].中国科学:地球科学,2015,45(8): 1109-1125.
- 吴发富,王宗起,王涛,等.南秦岭山阳板板山钾长花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J].矿物岩石,2012,32(2): 63-73.
- 吴发富,王宗起,闫臻,等.秦岭山阳-柞水地区燕山期中酸性侵入岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Lu-Hf 同位素组成[J].岩石学报,2014,30(2): 451-471.
- 夏长玲,赵晓龙,王瑞廷,等.陕西省山阳县夏家店金(钼)矿地质特征、成矿模式与找矿预测[J].西北地质,2015,48(1): 164-171.
- 熊潇,朱赖民,张国伟,等.南秦岭柞水-山阳矿集区小河口矽卡岩型铜矿床矿物化学及其成矿意义[J].岩石学报,2019,35(8): 2597-2614.
- 薛玉山,王瑞廷,汪超,等.陕西省山阳县王家坪金矿断裂构造控矿规律[J].地质力学学报,2020a,26(3): 391-404.
- 薛玉山,寸小妮,刘新伟,等.陕西山阳县龙头沟金成矿带元素及硫同位素组成特征研究[J].现代地质,2020b,34(5): 1077-1091.
- 炎金才.陕西柞水银洞子银铅矿床硫同位素地质研究[J].矿物岩石,1995,15(1): 80-86.
- 闫臻,王宗起,王涛,等.秦岭造山带泥盆系形成构造环境:来自碎屑岩组成和地球化学方面的约束[J].岩石学报,2007,23(5): 1023-1042.
- 闫臻,王宗起,陈雷,等.南秦岭山阳-柞水矿集区构造-岩浆-成矿作用[J].岩石学报,2014,30(2): 401-414.
- 姚书振,丁振举,周宗桂,等.秦岭造山带金属成矿系统[J].地球科学,2002,27(5): 599-604.
- 杨恺,刘树文,李秋根,等.秦岭柞水岩体和东江口岩体的锆石 U-Pb 年代学及其意义[J].北京大学学报(自然科学版),2009,45(5): 841-847.
- 杨志华,姜常义,赵太平,等.秦岭造山带成矿作用概述[J].大地构造与成矿学,2000,24(1): 44-50.
- 叶天竺,吕志成,庞振山,等.勘查区找矿预测理论与方法(总论)[M].北京:地质出版社,2014: 231-420.
- 叶天竺,韦昌山,王玉往,等.勘查区找矿预测理论与方法(各论)[M].北京:地质出版社,2017: 234-550.
- 原莲肖,任涛,李英,等.陕西山阳县夏家店金矿物质组分和成矿流体特征及成矿物质来源探讨[J].地质与勘探,2007,43(5): 68-73.

原莲肖,王瑞廷,李英,等.陕西秦岭地区主要矿床岩矿石光薄片图册[M].北京:地质出版社,2017: 1-325.

曾志杰,陈雷.南秦岭山阳-柞水矿集区夏家店金矿床微量-铂族元素地球化学特征及其对矿床成因的指示[J].吉林大学学报(地球科学版),2021,51(3): 704-722.

张本仁,陈德兴,李泽九,等.陕西柞水-山阳成矿带区域地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,1989: 162-171.

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.

张复新,杜孝华,王伟涛,等.秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应[J].地质科学,2004,39(4): 486-495.

张西社,王瑞廷.陕西省山阳县池沟地区斑岩成矿特征、成矿规律及找矿预测[J].西北地质,2011,44(2): 72-79.

张西社.南秦岭柞山地区铜矿成矿类型、成矿规律及找矿预测[J].地质与勘探,2012a,48(4): 728-741.

张西社,代军治,王瑞廷,等.陕西柞-山地区冷(水沟)-池(沟)-色(河铺)金钼铜矿带特征及其区域找矿意义[J].中国地质,2012b,39(6): 1727-1742.

张西社,王瑞廷,代军治,等.陕西山阳色河铺地区隐爆角砾岩特征及其铜矿找矿意义[J].地质学报,2015,89(4): 766-778.

张宗清,张国伟,刘敦一,等.秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M].北京:地质出版社,2006: 208-217.

郑俊,朱赖民,姜航,等.南秦岭柞水-山阳矿集区印支期和燕山期花岗岩对比研究[J].矿物岩石地球化学通报,2015,34(6): 1155-1172.

朱华平.柞山地区铜锌多金属矿床地质-地球化学-后生成矿作用的重要性[D].中国地质科学院博士学位论文,2004: 1-117.

朱赖民,任仓智,郑俊,等.南秦岭柞水-山阳矿集区下官坊含铜岩体矿化特征与岩石地球化学[J].矿产勘查,2019a,10(4): 810-820.

朱赖民,郑俊,熊潇,等.南秦岭柞水-山阳矿集区园子街岩体岩石地球化学与成矿潜力探讨[J].地学前缘,2019b,26(5): 189-205.