

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.02.012

古碧口洋盆岛弧成矿系列划分

王义忠¹,高政伟¹,王得权²,李波²,焦宏剑¹,蒲长征¹,龙立志¹,程博兴¹,纪东平¹

(1. 中陕核工业集团二一四大队有限公司,陕西 西安 710054;2. 中陕核工业集团,陕西 西安 710054)

摘要:碧口火山岩系中产出铁、铜、铅、锌、金、银、硫铁矿等系列矿床。在“成矿系列”理论的指导下,通过新一轮地勘基金项目新发现 BIF 型金矿、碧玉矿、汉白玉矿等新型资源和一大批新矿床(点),丰富了碧口火山岩系矿产资源内涵。这些矿床多是与原始火山作用有成生联系的岩浆热液、火山热液、火山沉积矿产经后期变质改造叠加而成。笔者在原区域成矿系列划分的基础上,结合新发现和新认识,以碧口岩群为单元重新进行了成矿系列的划分。研究认为碧口—阳坝—黑木林为古碧口洋盆岛弧位置;岛弧火山大致经历了3个大旋回,由此形成岛弧岩浆岩和岛弧火山岩2个成矿系列,5个成矿亚系列,对碧口地区找矿具有一定的指导作用。

关键词:古碧口洋盆;岛弧成矿系列;划分

中图分类号:P618.2

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)02-0200-13

Division of Island arc Metallogenic Series in Gubikou Ocean Basin

WANG Yizhong¹, GAO Zhengwei¹, WANG Dequan², LI Bo², JIAO Hongjian¹, PU Changzheng¹,
LONG Lizhi¹, CHENG Boxing¹, JI Dongping¹

(1. Sino Shaanxi Nuclear Industry Group 214 Brigade Co., Ltd, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Sino Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: in Bikou volcanic rock series, a series of deposits such as iron, copper, lead, zinc, gold, silver and pyrite are produced. Under the theory of “metallogenic series”, new resources as BIF type gold, jasper, and white marble, and also a large number of new deposits (spots), have been discovered in the new round of geological exploration fund project, further enriching the connotation of Bikou volcanic rock series. Most of these deposits are superimposed by magmatic hydrothermal, volcanic hydrothermal and volcanic sedimentary minerals related to the original volcano in the later metamorphism and transformation. Based on the original division of regional metallogenic series, the redivision of metallogenic series is carried out taking Bikou Group as the unit. This research considers that Bikou-Yangba-heimulin is in the position of the island arc in ancient Bikou ocean basin. The island arc volcano has roughly experienced three major cycles, thus forming two metallogenic series and five metallogenic subseries. The result has a cer-

收稿日期:2019-09-23;修回日期:2019-11-07

基金项目:陕西省地质勘查基金“陕西省宁强县阳平关一带下古生界多金属含矿性研究及找矿预测”项目(61201304173),中陕核工业集团公司“黄泥坪、秋树坪地区金成矿规律与成矿预测研究”重大科技攻关项目(61150101)

作者简介:王义忠(1970-),男,地质高级工程师,大学本科,区域地质调查与矿产勘查专业,从事地质调查与矿产勘查工作。

E-mail:2488296218@qq.com

tain guiding role in mineral exploration in Bikou area.

Keywords: Gubikou ocean basin; island arc metallogenic series; division

0 引言

中元古代—青白口纪(1 800~780 Ma),广泛存在晋宁期强烈的构造岩浆-变形变质事件,造就了华北板块与扬子板块汇聚前裂解离散事件之秦岭裂谷-多岛洋盆的存在。发育在扬子陆块西缘的碧口火山岩系总体为一蛇绿混杂岩带,表明了扬子地块西缘新元古代晋宁造山运动晚期曾经发育并存在一个古洋盆-碧口洋盆(裴先治等,2019)。在碧口火山岩系中发现了一系列铁、铜、铅、锌、金、银、黄铁矿、重晶石等有价值的矿床,这些矿床多是与原始火山作用有成生联系的岩浆热液、火山热液、火山沉积矿产经后期变质改造叠加而成。特别是在新一轮地勘基金项目的大力支持下,笔者有幸参与了车渡金矿、阴坝里金矿、阴坝里汉白玉矿、中坝金矿、徐家坪锰金矿、黄泥坪金矿、柳树坪金矿、小流溪铅锌矿、黑木林铁矿、庙坝铜矿、庙坝玉矿、巩家河铅锌矿、龙洞坡铜锌矿、二里坝锰矿、二里坝硫铁矿、三坪铅锌矿、东皇沟铅锌矿等数10个矿山的勘查和资源储量核查工作,在陈毓川、毛景文、秦克令、夏林圻、赵东宏、李宗会等“成矿系列”、“成矿规律”理论的指导下,在碧口岩群中新发现了阳平关车渡BIF型(条带状磁铁矿石英岩型)金多金属矿和阴坝里汉白玉、碧玉矿等新型资源以及阴坝里、徐家坪、小流溪等新矿(床)点,极大地丰富了碧口火山岩系矿产资源内涵。与火山作用有成生联系的矿产在时空分布上具有系列性,厘定岛弧火山带,找准火山活动中心,在前人区域成矿系列及成矿带划分的基础上,结合新发现和新认识,以碧口岩群为单元,借鉴成熟的热水喷流成矿理论,研究碧口洋盆岛弧成矿系列,重新进行成矿系列划分,对碧口群找矿有着重要的意义。

前人对碧口岩群成岩时代、各岩组所属成因环境做了大量系统研究,特别是对铜厂铜矿(陈毓川等,2018)、煎茶岭多金属矿(丁坤等,2018)等与岩浆热液有关的矿床和BIF型铁矿等做了系统研究(闫全人等,2007)。对广泛成矿系列也做了大量研究工作,在秦岭地区主要金属矿床成矿系列中陈毓川院士等将碧口岩群划归为“中、晚元古代扬子地块北

缘—南秦岭地区与海相火山活动有关的Mn、Fe、Nb、Ag、Au、Co多金属矿成矿系列”(晏云翔等,2005);赵东宏等将碧口岩群划归为“与海相火山岩有关的Cu、Fe、Mn、Au、V矿床成矿系列之碧口—阳坝地区中、新元古代与变质火山热液有关的Cu、Fe、Mn、Au矿床成矿亚系列”、“摩天岭—碧口Cu—Au—Fe—Ni—Mn成矿带(Ⅲ-29)之碧口—阳坝(摩天岭隆起)Fe—Au—Ag—Pb—Zn—Cu(Co)—S—石棉—重晶石成矿亚带(Ⅲ-29-①)”(杨恺等,2009)。笔者在前人成熟研究成果的基础上,利用新发现的阳平关车渡BIF型金多金属矿及该区域数10个矿区找矿工作积累的大量剖面、钻孔资料资料(20条剖面、98个钻孔)和针对存在的一些问题,重新恢复古碧口洋盆岩相古地理环境,厘定碧口洋盆岛弧位置,分析研究岛弧火山喷发活动特点及成矿系列,总结成矿规律,旨在指导车渡下一步找矿工作,实现找矿突破。

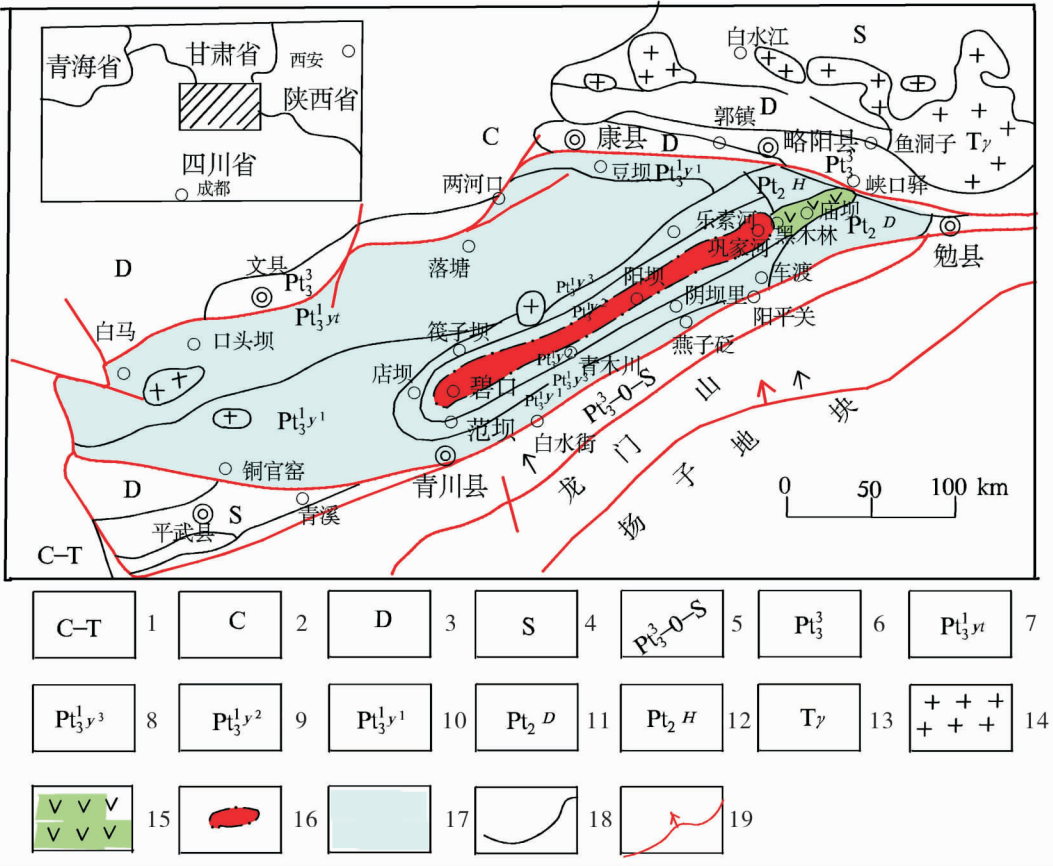
1 碧口岩群地质矿产概况

碧口岩群仅分布在略阳与阳平关之间(文县—勉县地层分区何家岩小区),向西延入甘肃碧口、文县和川北一带,向东止于勉县。呈北东南西向,主体在甘肃,陕西省只占据其北东端的一部份。总体为一套巨厚的海相陆源碎屑—火山喷发沉积岩系,组成一轴向北东南西的背斜造,厚度大于2万m。目前解体为3个群和一个岛弧岩浆岩带(图1)(赖绍聪等,2006)。

1.1 变质火山岩

1.1.1 何家岩岩群(Pt_2H)

分布于峡口驿—黑木林基地结合带北侧何家岩、陈家坝、黑水一带,为一套变基性、酸性火山岩组合。主要岩性为绿泥绿帘钠长片岩、绢云绿泥石英片岩、角闪绿帘片岩及变质基性凝灰岩、基性熔岩等,并夹有少量中酸性变质火山岩。原岩为玄武岩、基性凝灰岩、安山质玄武岩、玻屑晶屑凝灰岩,含火山集块—角砾岩及流纹岩等。岩石化学分析总体属低钾拉斑—钙碱性过度系列,在Zr—Zr/Y图解中,集中分布于板内玄武岩一侧;在 $Nb \times 2 - Zr/4 - Y$



1. 石炭系—三叠系;2. 石炭系;3. 泥盆系;4. 志留系;5. 震旦系—奥陶系—志留系;6. 震旦系;7. 碧口群秧田坝岩组;8. 碧口群阳坝岩组上岩段;9. 碧口群阳坝岩组中岩段;10. 碧口群阳坝岩组下岩段;11. 大安岩群;12. 何家岩岩群;13. 三叠纪花岗岩;14. 花岗岩;15. 辉长岩;16. 古碧口洋盆岛弧;17. 古碧口洋盆;18. 地质界线;19. 断裂构造

图 1 古碧口洋盆体系及碧口岩群构造分区示意图

Fig. 1 Map of Gubikou Ocean Basin System and Bikou Group Structural Zoning

图解中,集中分布于碱性板内玄武岩区;微量元素分配模式图呈标准的“W”形,具有板内裂谷火山岩的曲线特征,并由拉斑玄武岩及酸性火山岩构成了双峰式组合(杨阳等,2017)。反映出其形成构造环境具有从大陆裂谷向大陆边缘拉张减薄环境的过度性质,为一套经变质改造的中元古代裂谷火山岩建造。目前发现与其有关的矿产有何家岩金矿等。

1.1.2 大安岩群(Pt_2D)

分布于黑木林—峡口驿基地结合带南侧红岩沟、菜坝河一带,呈穹窿状,为一套变基性火山岩组合,主要岩性为变质玄武岩、变基性玻屑凝灰岩、火山角砾—集块熔岩及绿帘阳起片岩、辉石细碧玢岩、变安山质玄武岩等。岩石化学分析总体属钙碱性拉斑玄武岩系列。在微量元素蛛网图上,具有与洋中脊玄武岩相似的配分模式;在 $Zr - Zr/Y$ 图解中,集

中分布于 MORB 洋中脊玄武岩区;在 $Nb \times 2 - Zr/4 - Y$ 图解中,集中分布于 P 型和 N 型 MORB 玄武岩区;微量元素分配模式图呈平坦型,具有小洋盆火山岩的曲线特征,反映出其形成构造环境已从大陆裂谷演化为小洋盆,为一套经变质改造的中元古代裂解期火山岩建造(杨阳等,2017)。目前发现与其有关的矿产有庙坝多金属矿、菜坝河铜金矿、红岩沟硫铁矿等。

1.1.3 碧口岩群($Pt_{31}Bk$)

广泛分布于黑木林—峡口驿基地拼合带两侧碧口—青木川—阳坝—阳平关一带,是大安岩群地体向北俯冲与何家岩岩群地体碰撞形成的弧前、弧后盆地火山沉积变质岩及岛弧火山变质岩。按最新划分为阳坝和秧田坝两个岩组。

(1)阳坝岩组($Pt_{31}y$)。火山岩样品在 $Zr - Zr/Y$

Y图解中,大部分分布于IAB岛弧玄武岩区;在 $Nb \times 2 - Zr/4 - Y$ 图解中,集中分布于C型火山岛弧玄武岩区;微量元素分配模式图与俯冲碰撞型的弧区玄武岩一致(杨阳等,2017)。说明阳坝岩组是一套岛弧变质火山岩建造。分为3个大的喷发旋回,每一旋回下部为基性火山岩,上部为酸性火山岩,具有较为清晰的双峰式结构(张本仁等,2002);在每一旋回顶部发育一层变质石英岩,反映其火山喷发间歇期以热液喷流沉积为主的环境(张成立等,2008)。

下岩段($Pt_{31}y^1$)为一套变质正常沉积碎屑岩夹少量火山岩,主要岩性为石英变粒岩、绢云石英片岩,夹钠长绿帘绿泥阳起片岩(变玄武岩)、钠长绢云片岩(变酸性凝灰岩)、长英质变粒岩、变石英砂岩及少量含铁石英岩、碧玉岩、硅质岩。在其顶部发育厚度5~20 m的灰白色变质石英岩为标志层,局部具金矿化,已发现有筏子坝金矿、阳坝碧玉矿等。

阳坝岩组中岩段($Pt_{31}y^2$)为一套以变质基性火山岩为主的火山沉积岩,主要岩性为变玄武岩、变中基性凝灰岩、绿片岩夹板岩、粉砂岩极少量千枚岩、变石英砂岩,已发现有阳坝铜多金属矿、三坪铅锌矿、东皇沟铅锌矿、二里坝铁矿、巩家河锰矿、巩家河硫铁矿、龙洞坡铜锌多金属矿、小流溪铅锌矿、东沟坝铅锌金多金属矿、杨家坝铁矿等,这些矿产具有典型的海底喷流块状硫化物特征,反映其火山活动中心或近火山中心的环境。

阳坝岩组上岩段($Pt_{31}y^3$)为一套变中酸性火山岩夹变基性火山岩及少量变质正常沉积碎屑岩。又分为3个小旋回:下部($Pt_{31}y^{3-1}$)为变基性凝灰岩及少量角斑岩,中部($Pt_{31}y^{3-2}$)夹变基性熔岩、凝灰岩及变凝灰质砂岩,上部($Pt_{31}y^{3-3}$)为变中酸性凝灰岩及薄层大理岩。变质为绢云钠长片岩、绢云石英片岩、透辉透闪石大理岩。在每个旋回的顶部发育1~5 m的(磁铁)石英岩为标志层,反映其火山喷发间歇期以热液喷流沉积为主的环境,具铜、铁、银、金矿化,是主要含矿层(张国伟等,2009)。已发现有铈厂沟、豆坝、仓社、乐素河、碧口、范坝、青木川、张家坝、玉泉坝金矿、关口垭金铜矿、阴坝里铜金矿、阴坝里汉白玉矿、车渡金多金属矿、柳树坪铜金矿、徐家坪锰矿、徐家坪金矿、巨亭金矿等。

(2)秧田坝岩组($Pt_{31}yt$)。是一套弧前盆地次深海相变质碎屑岩夹变质火山岩建造,超覆于阳坝岩组之上,呈断层接触,分为上下2个沉积旋回。下

岩段($Pt_{31}yt^1$)为一套次深海相变质沉积碎屑岩夹变质火山岩建造。岩性主要为变凝灰质砂岩、凝灰质千枚岩夹互变岩屑砂岩、粉砂质板岩,夹变中基性火山岩和少量变中酸性火山岩、凝灰质角砾岩;上岩段($Pt_{31}yt^2$)为一套次深海相变质沉积碎屑岩,下部夹少量变中酸性火山岩。岩性中上部为变岩屑石英砂岩、变长石石英砂岩、变岩屑杂砂岩,下部为变凝灰质砂岩。该岩组矿化较弱,目前仅发现有口头坝金矿点。

1.2 峡口驿-阳坝-碧口岛弧岩浆岩带($\delta\mu$ 、 δ 、 σ 、 $\gamma\delta$ 、 $\phi\omega$ 、 ν) Pt_{31}

峡口驿-黑木林一带为一套以蛇纹岩、橄榄辉长岩、辉长岩等基性岩为主组成的次火山超铁镁质蛇绿混杂岩基底拼合带;黑木林-阳坝-碧口一带伴随与碧口群阳坝岩组同源的闪长岩、花岗闪长岩、闪长玢岩等中酸性侵入岩共同构成了呈NEE向带状展布的岛弧岩浆岩带。与其有关的矿产目前发现的有煎茶岭、黑木林、小流溪等铁金多金属矿、冯家里铜矿、百全山铜矿、老君山铜矿、铜厂铜矿等。

2 古碧口洋盆岛弧厘定

在中一新元古代,古秦岭南缘裂解形成一系列裂谷,由裂谷逐渐演化为裂陷小洋盆,在古扬子西缘形成碧口洋盆。新元古代初期的晋宁运动,发生板块汇聚形成超大陆,碧口洋盆由拉张裂解构造体制逐渐转向汇聚-碰撞构造体制,大安岩群地体向北俯冲与何家岩岩群地体碰撞,形成峡口驿-黑木林基底拼合次火山超铁镁质蛇绿混杂岩带和岛弧火山岩(阳坝岩组)及弧前海槽火山-浊流沉积岩(秧田坝岩组)。

宁强庙坝大干沟、巩家河一带,下部出现较多的安山玄武质角砾熔岩、集块熔岩、火山角砾岩等爆发相产物,预示临近岛弧火山活动中心;宝成铁路以西火山岩减少,陆源碎屑岩大增,主要由砂岩及千枚岩组成,表明受火山活动影响较弱,已离开喷发中心;在阳坝一带,又出现较多的安山玄武质角砾熔岩、集块熔岩、火山角砾岩等爆发相产物,阳坝铜多金属矿具有典型的VMS型特点,反映出在阳坝一带存在另一火山活动中心;碧口一带出现次火山岩,凝灰质含量变多;阳坝岩组中—上段岩性与以蛇纹岩、橄榄辉长岩、辉长岩等基性岩为主组成的次火山超铁镁

质蛇绿混杂岩基底拼合带关系极为密切,沿拼合带以熔岩为主体,远离拼合带以凝灰岩为主,而火山集块岩-角砾岩-次火山岩沿峡口驿-黑木林拼合带向西南阳坝-碧口一带呈点式、线状分布,反映出它们是受岛弧线状点式喷发火山作用形成,火山喷发中心沿此带分布。阳坝岩组火山岩与属于铜厂超单元的石英闪长岩类(包括铜厂、二里坝、袁坝子、白雀寺、罗素河、仓社、关口垭等岩体)在稀土元素配分形式上一致,表明是同期异相产物(张帆等,2009),它们共同构成了一个碧口-阳坝-黑木林的 NEE 向岛弧岩浆岩带,由此推断碧口-阳坝-黑木林为碧口洋盆岛弧位置(图 1)。

在碧口-阳坝-黑木林岛弧两侧及岛弧南侧弧后盆地主要为阳坝岩组岛弧火山岩发育区;远离岛弧北侧主要为秧田坝岩组弧前海槽火山-浊流沉积岩发育区;黑木林一峡口驿一线主要为基底拼合带超铁镁质蛇绿混杂岩发育区,其北侧为何家岩岩群裂谷火山岩发育区,南侧为大安岩群洋脊火山岩发育区。

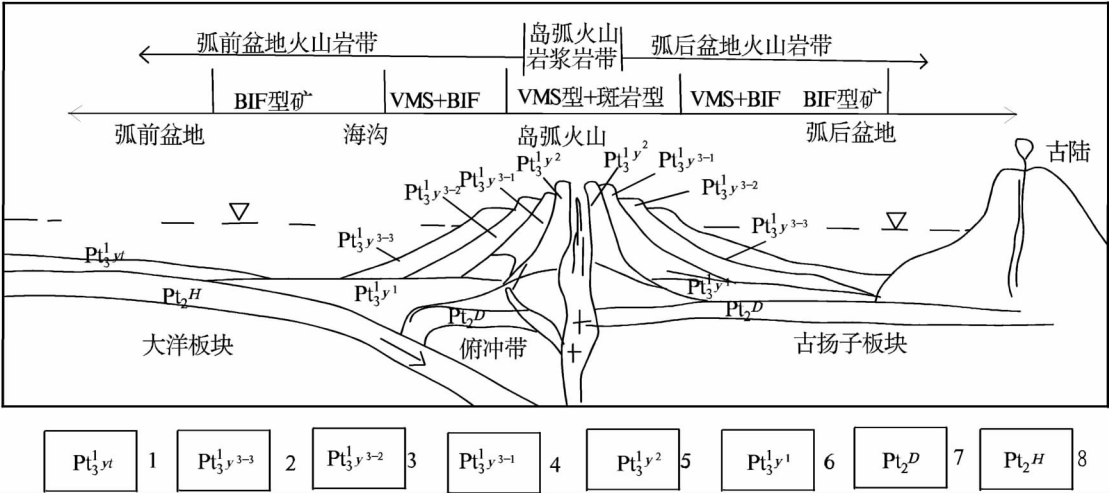
3 古碧口洋盆岛弧成矿系列划分

勉略宁地区的碧口岩群火山岩系中,通过近年来的矿产勘查和综合研究工作,在该区中部的碧口-阳坝-黑木林一带发现了近火山口相的火山岩组分,呈线状分布,范围较大。这一带的铜及含铜黄

铁矿、黄铁矿以及其他有色金属矿产地较多,矿化可能与该区的古火山构造有关。火山期以后的岩浆侵入活动亦存在,与铜矿化的关系密切。碧口岩群目前发现的矿产集中分布在碧口-阳坝-黑木林岛弧岩浆岩带及其岛弧火山岩阳坝岩组中。这些矿产多是与岛弧岩浆-火山作用有成生联系的岩浆热液、火山热液、火山沉积矿产经后期变质改造叠加而成,在时空分布上具有系列性(图 2),在宏观上符合热水喷流沉积矿床成矿模式,形成在宏观上火山喷流中心以 VMS 型为主,向两侧 VMS+BIF 型的混合型,远离火山喷流中心单一 BIF 型的成矿系列。在区域上,碧口岩群属于“与海相火山岩有关的 Cu、Fe、Mn、Au、V 矿床矿成矿系列之碧口-阳坝地区中、新元古代与变质火山热液有关的 Cu、Fe、Mn、Au 矿床成矿亚系列”(晏云翔等,2005)。本次以古碧口洋盆为单元,结合新发现的 BIF 型金多金属矿化类型和新的成矿系列理论,将已发现的碧口岩群矿产重新厘定划分为岛弧岩浆岩成矿和岛弧火山岩成矿 2 个成矿系列、5 个成矿亚系列。

3.1 岛弧岩浆岩 Cu、Fe、Au、Co、Ni、玉、石棉矿床成矿系列

岛弧岩浆岩成矿系列是指沿岛弧岩浆岩带分布,与岛弧岩浆岩有密切成生联系的成矿系列,又分为基性-超基性岩浆岩成矿亚系列和中酸性岩浆岩成矿亚系列。



1. 碧口群秧田坝岩组;2. 碧口群阳坝岩组上岩段上部;3. 碧口群阳坝岩组上岩段中部;4. 碧口群阳坝岩组上岩段下部;5. 碧口群阳坝岩组中岩段;6. 碧口群阳坝岩组下岩段;7. 大安岩群;8. 何家岩岩群

图 2 古碧口洋盆岩相古地理横切面示意图

Fig. 2 Map of lithofacies and palaeogeography cross section of Gubikou ocean basin

3.1.1 基性-超基性岩浆岩 Cu、Fe、Au、Co、Ni、玉、石棉矿床成矿亚系列

主要有蛇纹岩、橄榄辉长岩、辉长岩等。超基性岩受低-中温热液交代作用,使原岩中的橄榄石和辉石发生蛇纹石化形成蛇纹岩。蛇纹岩在较大的超基性岩中常分布于岩体顶部呈帽盖状或分布于岩体边缘,有时也呈脉状或不规则状。较小岩体往往全部蚀变成蛇纹岩。在此蚀变过程中,形成一系列矿产,与其有关的矿产有铬、铁、镍、钴、铂、石棉、滑石、菱镁矿、蛇纹石玉、墨玉、透辉石玉(硬玉)等。在空间上铬、铁、镍、钴、铂等矿发育于岩体的内外接触带及岩体中的断裂带中;蛇纹石玉、墨玉普遍发育,石棉、透辉石玉(硬玉)则发育于节理裂隙中。已发现的矿床有:煎茶岭金镍钴铁金多金属矿、黑木林铁矿、黑木林滑石矿、黑木林玉矿、陕南石棉矿、小流溪铬铁矿、小流溪铜镍矿等。

3.1.2 中酸性岩浆岩 Cu、Fe、Au 矿床成矿亚系列

主要有闪长岩、花岗闪长岩、闪长玢岩等。由岩体中心向两侧形成斑岩型铜矿(岩体)-岩浆热液型铜、铁、金矿(岩体内外接触带)-岩浆热液型金、铁矿-岩浆热液型金矿。已发现的矿床(点)有冯家里铜矿、百全山铜矿、老君山铜矿、关口垭金铜矿、阳坝铜多金属矿、铜厂铜矿等。

3.2 岛弧火山岩 Cu、Fe、Pb、Zn、Mn、Au、Ag、Co、S、Si 矿床成矿系列

从碧口岩群阳坝岩组岛弧火山岩原岩性质推断,岛弧火山大致经历了3个大的旋回:第一旋回以正常碎屑沉积与火山气液沉积、少量酸性火山碎屑沉积为主;第二旋回以中基性熔岩溢出为主;第三旋回以酸性熔岩溢出和酸性火山碎屑堆积为主(图2)。火山活动从早到晚由基性→酸性、由喷溢→爆发、由强→弱(杨恺等,2009)。由此形成3个成矿亚系列。

3.2.1 第一旋回 Cu、Au、Si、碧玉矿床成矿亚系列

第一旋回,岛弧发育初期。只有少数火山小规模间断性喷发,以海相酸性火山岩和火山气液沉积为主。该阶段持续时间长,形成叠置厚度大于4 000 m的以正常沉积碎屑岩与以富含二氧化硅胶凝体的火山气液沉积为主的互层,夹少量酸性火山岩的阳坝岩组下性段($Pt_{31}y^1$)。其顶部有一层厚数十米的灰色变质石英砂岩为火山活动间歇期标志层。

由于火山活动处于初期,喷发作用微弱,以富含二氧化硅胶凝体的火山气液沉积为主的成矿作用,在火山活动中心附近可能形成小规模 VMS 型矿床(目前尚未发现),由火山活动中心向两侧成矿元

素由 Cu、Au、Si 多元素向单一 Si 元素过度,可形成小规模的金矿床和大型的硅石类非金属矿床,金矿多以后期沿石英岩发育的韧脆性剪切带型金矿为主。对应阳坝岩组第一岩性段。其顶部有一层厚数十米的灰色变质石英砂岩和夹碧玉条带的变质岩是主要的含矿层,目前已发现有筏子坝金矿和阳坝-阴坝里碧玉矿等。

3.2.2 第二旋回 Cu、Fe、Pb、Zn、Mn、Au、Ag、Co、S、Si 矿床成矿亚系列

第二旋回,岛弧成熟期。该阶段大量的岛弧火山喷发,以海相基性火山岩为主。该阶段持续时间相对较短,形成叠置厚度不到 500 m 的以玄武岩、基性熔岩为主夹少量酸性火山岩的阳坝岩组中岩性段($Pt_{31}y^2$),在弧前洋盆小范围和弧后盆地覆盖于阳坝岩组第一岩性段之上。其顶部有一层厚数米灰紫色含磁铁矿的变石英角斑岩为火山活动间歇期标志层。阳坝铜多金属矿即为该层成矿。

第二旋回大量的岛弧火山喷发,在火山活动中心形成典型的 VMS 型(黑矿型)矿床,在垂向上具底部硅矿(强硅化黄铁矿、黄铜矿)-中部黄矿(黄铜矿、黄铁矿)-顶部黑矿(方铅矿、闪锌矿、磁铁矿)的特征;水平方向上由火山活动中心向两侧成矿元素由多元素 Cu、Fe、Pb、Zn、Mn、Au、Ag、Co、S、Si 向单一 Si 元素过度,沿岛弧两侧形成一系列矿床(点),对应阳坝岩组第二岩性段,其顶部有一层厚数米灰紫色含磁铁矿的变石英角斑岩为含矿层,形成缓倾角似层状矿呈锅盖状覆盖于火山中心 VMS 型(黑矿型)矿床之上,上缓下陡的矿产组合。目前已发现有阳坝铜多金属矿、小流溪铅锌矿、三坪铅锌矿、东皇沟铅锌矿、巩家河锰矿、巩家河硫铁矿、东沟坝铅锌金银多金属矿等 VMS 型矿床和杨家坝、二里坝 BIF 型铁矿床等。

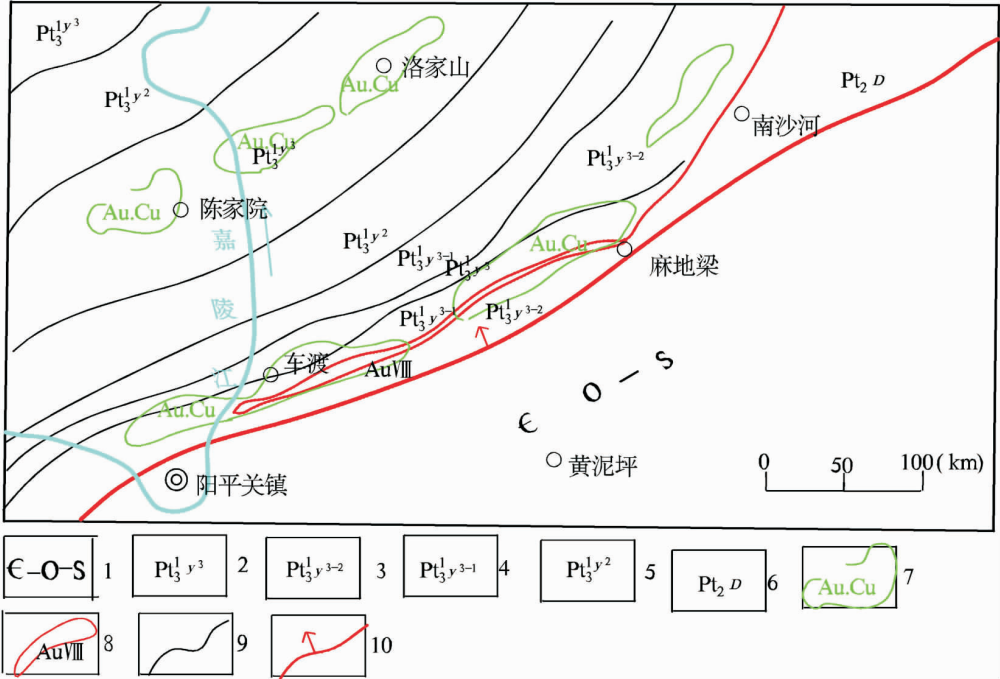
3.2.3 第三旋回 Cu、Fe、Zn、Mn、Au、Ag、S、Si、玉矿床成矿亚系列

第三旋回,岛弧衰退期。该阶段大量的火山岛露出洋面,形成岛弧。火山喷发以中酸性火山岩为主,火山岩大部分以海相沉积为特点。该阶段持续时间较第二旋回长,形成叠置厚度 700 余米的以中酸性火山岩为主的阳坝岩组上岩性段($Pt_{31}y^3$)。又分为3个亚旋回:第一亚旋回以中基性熔岩喷溢为主($Pt_{31}y^{3-1}$),岩性为变基性凝灰岩及少量角斑岩,其顶部有一层具条带状沉积纹理厚 1~6 m 的 BIF 型灰紫色石英岩为火山活动间歇期标志层,新发现的阳平关车渡金矿Ⅷ号铜银铁金矿体、阴坝里铜金

矿体即为该层 BIF 型磁铁矿石岩经后期韧性剪切变形变质而成;第二亚旋回以中酸性熔岩喷发为主($Pt_{31}y^{3-2}$),岩性为变基性熔岩、凝灰岩及变凝灰质砂岩,其顶部有一层具条带状沉积纹理厚 1~3 m 的灰色变石英岩为火山活动间歇期标志层,新发现的阳平关车渡金矿 I 号金矿体即为该层石英岩经后期韧性剪切变形变质而成;第三亚旋回以中酸性火山岩喷发为主($Pt_{31}y^{3-3}$),岩性主要为变中酸性凝灰岩,其顶部有一层厚 1~2 m 的灰色变石英岩-石英大理岩和厚 10~80 m 的白色大理岩为火山活动间歇期和静止期标志层,新发现的阴坝里金矿和阴坝里汉白玉矿即为该层石英岩和大理岩经后期韧性剪切变形变质而成。

第一亚旋回以中基性熔岩喷溢为主,由火山活动中心向两侧成矿元素由多元素 Cu、Fe、Zn、Mn、Au、Ag、S、Sia 向单一 Si 元素过度,沿岛弧两侧形成一系列矿床(点),火山活动中心为 VMS 型,向外侧逐渐过渡为 VMS+BIF 型,到 BIF 型金多金属矿,最后演变为不含金属矿的硅质岩非金属矿。对应阳坝岩组第三岩性段下部,其顶部有一层具条带状沉积纹理厚 1~6 m 的 BIF 型灰紫色石英岩为含矿

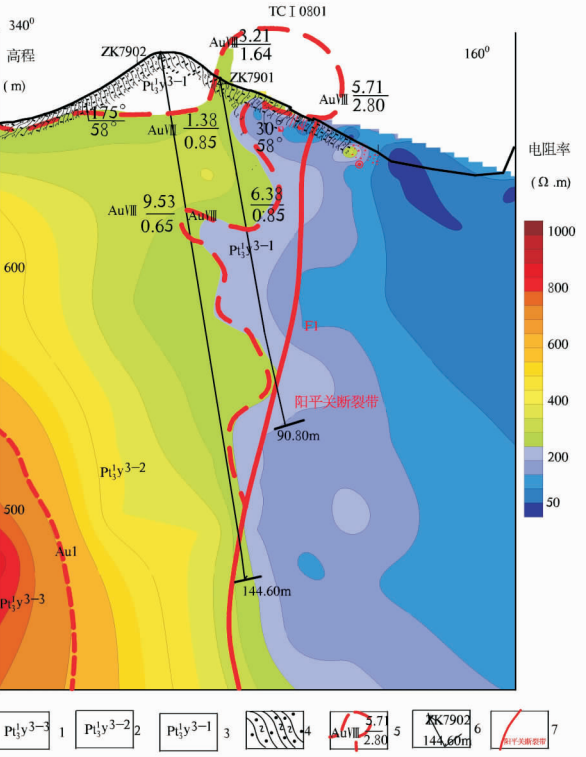
层;第二亚旋回以中酸性熔岩喷发为主,由火山活动中心向两侧成矿元素由多元素 Au、Ag、S、Si 向单一 Si 元素过度,沿岛弧两侧形成一系列矿床(点),对应阳坝岩组第三岩性段中部,其顶部有一层厚 1~3 m 的灰色变石英岩(局部具弱磁性)为含矿层;第三亚旋回以中酸性火山岩喷发为主,由火山活动中心向两侧成矿元素由多元素 Au、Ag、S、Si 向 Si、Ca 元素过度,沿岛弧两侧形成一系列矿床(点),其顶部有一层厚 1~2 m 的灰色变石英岩-石英大理岩和厚 10~80 m 的白色大理岩为含矿层。这 3 个亚旋回形成的具有不同特点的 3 个成矿层,自上而下分别为汉白玉矿(局部被后期侵入辉长岩、闪长岩交代蚀变形成透辉石玉、透闪石玉等高档玉石)-金矿-银金矿-铜(锌)铁(锰)银金矿,组成了第三旋回成矿亚系列。目前已发现有徐家坪锰矿、龙洞坡铜锌多金属矿、铍厂沟、豆坝、仓社、乐素河、碧口、范坝、青木川、张家坝、玉泉坝金矿,关口垭金铜矿、阴坝里铜金矿、车渡 BIF 型金多金属矿、柳树坪铜金矿、徐家坪金矿、巨亭金矿、阴坝里汉白玉矿等。第一亚旋回代表性矿床为阳平关车渡Ⅷ号铜银铁金矿体(图 3、图 4)和阴坝里铜金矿体;第二亚旋回代表性矿体为阳平



1. 寒武系至奥陶系至志留系;2. 碧口群阳坝岩组上岩段;3. 碧口群阳坝岩组上岩段中部;4. 碧口群阳坝岩组上岩段下部;5. 碧口群阳坝岩组中岩段;6. 大安岩群;7. 金铜化探异常;8. 金矿化带及编号;9. 地质界线;10. 断裂构造

图 3 车渡金矿地质简图

Fig. 3 Geological sketch map of gold deposit



1. 碧口群阳坝岩组上岩段上部;2. 碧口群阳坝岩组上岩段中部;
3. 碧口群阳坝岩组上岩段下部;4. 石英片岩;5. 金矿体及编号(Ag
含量为 10⁻⁶,矿体厚度单位为 m);6. 钻孔(孔深 m);7. 断裂构造

图 4 车渡金矿 79 勘探线地质物探综合剖面示意图
Fig. 4 Comprehensive Profile of Geological and Geophysical
Prospecting of Chedu Gold Mine 79 Exploration Line

关车渡Ⅰ号金矿体;第三亚旋回代表性矿体为阴坝里金矿+汉白玉矿。

3.3 古碧口洋盆岛弧成矿系列的演化

与古碧口洋盆岛弧原始火山作用有生成联系的岩浆热液、火山热液、火山沉积矿产形成的成矿系列,经后期构造、变质改造叠加,特别是岛弧火山喷流沉积硅铁建造和硅质建造矿化带在扬子地块与碧口地块俯冲印力作用下,由于能干性差异沿含矿石英岩韧性剪切变形变质改造叠加,使该区不同特性的矿产又具有相对集中成带的特点。成矿时间主要集中在晋宁期(1 611~764 Ma)和燕山期(85~220 Ma),前者为原生成矿期,后者为主要的叠加改造期。

铬、铁、镍、钴、铂、石棉、滑石、菱镁矿、蛇纹石玉、墨玉、透辉石玉(硬玉)等矿产集中分布在黑木林一峡口驿基性-超基性岩浆岩带;斑岩型铜矿,岩浆热液型铜、铁、金矿集中分布在碧口-阳坝中酸性

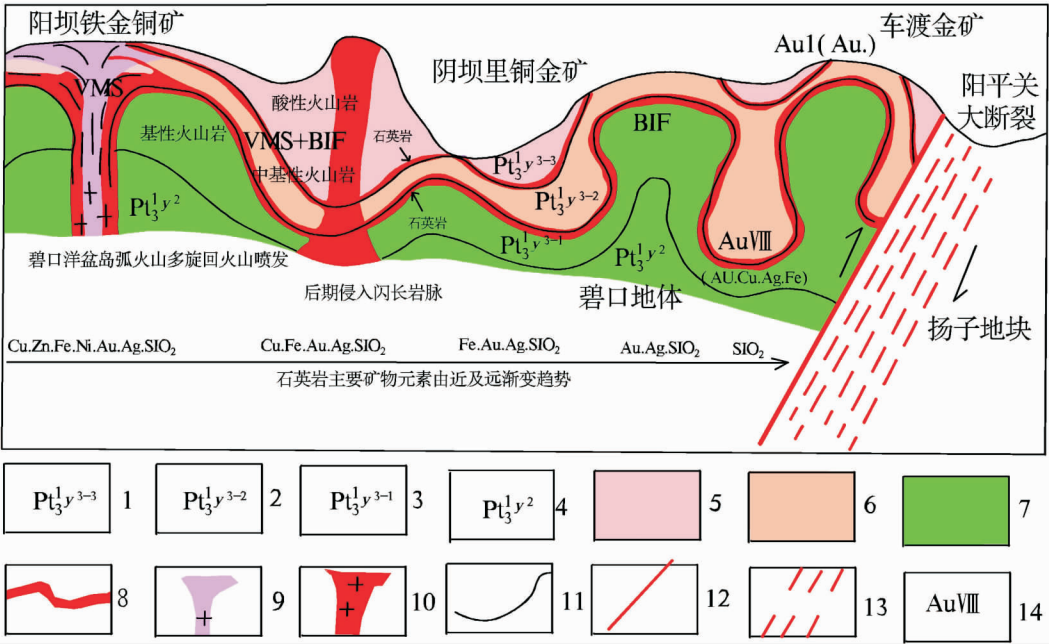
岩浆岩带;桦长沟、阳坝、筏子坝金多金属矿集中分布在豆坝-乐素河-店坝弧前盆地岛弧火山岩带;关口垭铜多金属矿、车渡 BIF 型金多金属矿、巩家河锰矿等集中分布在范坝-青木川-阳平关-巩家河弧后盆地岛弧火山岩带。

区域上,碧口-阳坝-黑木林岛弧岩浆岩带分布区和岛弧火山岩分布区找矿潜力大,近年已新发现了车渡 BIF 型中-大型金多金属矿、徐家坪锰矿、徐家坪金矿、阴坝里铜金矿、阴坝里汉白玉碧玉矿、阳坝碧玉矿等,部分区域可能被上覆围岩覆盖,应加强攻深找盲研究工作。近岛弧火山活动中心以寻找 VMS 型(黑矿型)多金属矿为主;沿岛弧岩浆岩带向两侧以寻找 BIF 型铁、金多金属矿为主。

3.4 成矿系列划分的作用和意义

按笔者划分的成矿系列,阳平关车渡金矿属于岛弧火山岩成矿系列之第三旋回成矿亚系列。是巩家河岛弧火山喷流沉积硅铁建造和硅质建造矿化带在扬子地块与碧口地块俯冲印力作用下,由于能干性差异沿含矿石英岩韧性剪切变形变质而成(图 5)。总体呈轴向 NE 向的紧闭倒转复式背形,目前发现的矿带位于车渡复式背形南翼。车渡金矿位于宁强县阳平关镇附近,2015 年通过陕核工业集团二一四大队有限公司承担的陕西省地勘基金“陕西省宁强县南沙河地区金矿普查”项目中发现,在碧口岩群中共圈定 AuⅠ和 AuⅧ两条金矿化蚀变带。其中,AuⅧ矿化蚀变带具有明显的 BIF 型特征,在陕西省比较少见。

AuⅧ蚀变带产于阳平关断裂北侧约 30~100 m处碧口岩群阳坝岩组第三岩性段下部,赋存于阳平关大断裂的次级韧性剪切带中,由 22 个探槽、26 个钻孔控制,总长度 2 800 m,蚀变带宽 10~50 m,矿体长 400~1 200 m。矿体厚 0.15~6 m,金品位一般为 2×10⁻⁶~9×10⁻⁶,最高达 34×10⁻⁶。伴生有铁(10%~20%)、银(2×10⁻⁶~15×10⁻⁶)、铜(0.1%~0.4%)矿。赋矿岩性为灰紫色条带状碎裂磁铁石英岩(BIF),底部围岩为阳坝岩组上岩段第一亚旋回(Pt₃₁y³⁻¹)中基性熔岩为主绿片岩,物性表现为相对的高阻异常;顶部围岩为阳坝岩组上岩段第二亚旋回(Pt₃₁y³⁻²)中酸性熔岩为主绿片岩,物性表现为相对低阻异常。主要蚀变为磁铁矿化、硅化、黄铁矿化、碳酸盐化。蚀变带总体北倾(350°/68°),受韧性剪切作用,走向及倾向上均具有膨



1. 碧口群阳坝岩组上岩段上部;2. 碧口群阳坝岩组上岩段中部;3. 碧口群阳坝岩组上岩段下部;4. 碧口群阳坝岩组中岩段;5. 酸性火山岩;6. 中基性火山岩;7. 基性火山岩;8. 金矿化带;9. 石英闪长岩;10. 花岗岩;11. 地质界线;12. 断裂构造;13. 构造片理化带;14. 金矿体编号

图 5 古碧口洋盆弧后盆地火山成矿及后期改造示意图

Fig. 5 Volcanic Mineralization and Late Reconstruction of Gubikou Ocean Basin Back-arc Basin

胀、狭缩的特征,褶皱变形强烈;Au I 蚀变带产于阳平关断裂北侧约 100~200 m 处碧口岩群阳坝岩组第三岩性段中部,赋存于阳平关大断裂的次级韧脆性剪切带中,由 9 个探槽、4 个钻孔控制,走向东西长约 2 000 m,南北宽 20~120 m,矿体长 600 m,矿体厚 0.8~2 m,金品位一般为 $1\times 10^{-6}\sim 3\times 10^{-6}$,最高达 4×10^{-6} 。赋矿岩性为灰色碎裂变石英砂岩,底部围岩为阳坝岩组上岩段第二亚旋回($Pt_{31}y^{3-2}$)中酸性熔岩为主绿片岩,顶部围岩为阳坝岩组上岩段第三亚旋回($Pt_{31}y^{3-3}$)中酸性凝灰岩为主绿片岩。主要蚀变为硅化、黄铁矿化、碳酸盐化,局部微弱磁铁矿化。蚀变带总体北倾($35^{\circ}\angle 82^{\circ}$),走向及倾向上均具有膨胀、狭缩的特征,褶皱变形强烈。

车渡金矿自 2015 年发现以来,通过近 3 年的勘查,先后施工探槽 3 000 多立方米、钻孔 4 000 多米,开展地质测量、高精度磁测、激电测量等大量的基础地质工作,也开展了一些生产中的科研工作,大致圈定了矿体的空间位置,确定了矿床成矿时代(810~764 Ma)和成因类型(BIF 型)(王得权等,2017),初步估算金资源量 6 t 多,找矿取得了初步突破。但随着找矿工作的深入,工程见矿率越来越低,有的钻

孔见矿厚度仅 10~20 cm,是矿体本身在走向倾向上尖灭了? 还是对成矿规律没搞清? 找矿陷入迷茫之中。

车渡金矿赋矿层位在阳坝岩组第三岩性段,层位产状为北倾倒转复式背形。已发现的Ⅷ号铜银铁金矿体和 I 号金矿体特征与碧口洋盆岛弧火山岩成矿系列第三旋回成矿亚系列吻合,可用该成矿系列认识指导车渡找矿工作。矿体走向向东追索至 40 线麻地梁一带尖灭,原区域地质图中车渡一带划为碧口岩群二亚群上岩组,一直向北东延伸至何地垭一带。据最新《中国区域地质志·陕西志》(李廷栋等,2017)重新划分,从麻地梁一带划分为大安岩群,说明 40 线麻地梁以东沉积环境已不同,属于另一成矿体系(在该段发现了镍、钴矿化异常,却没有金异常),矿带尖灭合乎情理,向东没有扩大成果的潜力;矿体倾向延伸问题可以从 2 个方面来分析,首先第三旋回成矿亚系列其成矿物质来源为北部玢家河一带火山第三旋回喷发,车渡距喷发中心相对较近,矿源充足;产出位置为紧闭倒转复式背形南翼,钻孔未见其底部的阳坝岩组第二岩性段(或第一岩性段),含矿层位倾向仍然存在。因此,矿体倾向未见矿或见薄层矿可能与矿体倾向具膨胀夹缩、尖灭再现的

特性有关,可能个别未见矿孔正好打在尖灭部位,再往深矿体还会再现。其次,有多个未见矿空实际打到了目标层——条带状磁铁石英岩,分析没有品位可能与金的赋存状态有关,通过物相分析得知,有62%以上的金以中粗粒自然金形态存在于磁铁矿和石英岩裂隙中,且分布不均,分析没有品位可能是粒金效应引起的,实际可能已控制住矿体。因此,倾向有扩大成果的潜力,应该树立信心,用几个深孔探索远景;另外,车渡金矿是背形的南翼,其北翼陈家院—洛家山一带铜金化探异常好,在这一带有找矿潜力,应该加强异常查证(图3)。车渡金矿目前已落矿床规模为中型,通过研究应树立信心,加大下一步找矿工作力度,有望落实一大型金多金属矿床。

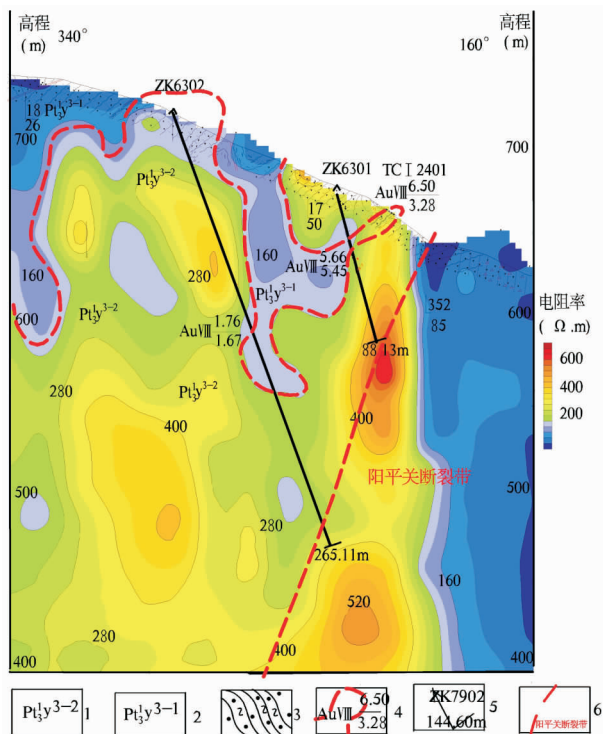
基于以上认识,在停顿了 5 个月后,通过多方论证,在基金管理中心的支持下,在 95、23、22、40 线设计了 4 个深孔(倾向控制 420 m),有 3 个孔见到了 4~8 层不等的赋矿层位——碎裂石英岩,石英岩厚度一般为 0.8~4 m,最厚达到了 10 m;金品位一般为 $1 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-6}$,最高 26.5×10^{-6} 。在车渡背形北翼陈家院—洛家山一带铜金化探异查证,已发现了与 AuⅧ金矿体相似的金矿化点。新的找矿成果印证了上述认识,使车渡金矿找矿打开了新的局面(图 6)。

重新进行成矿系列划分后,在此基础上,总结成矿规律,对车渡及该地区找矿工作发挥了较好的指导作用,对碧口群找矿有着重要的意义。

4 结论

(1)通过研究、借鉴前人资料,结合笔者在该区进行的数十个矿山的勘查实践经验和资料分析总结,在前人的基础上,重新厘定碧口—阳坝—黑木林为古碧口洋盆岛弧位置。

(2)重新划分了岛弧岩浆岩和岛弧火山岩2个成矿系列、5个成矿亚系列;与古碧口洋盆岛弧原始火山作用有成生联系的岩浆热液、火山热液、火山沉积矿产形成的成矿系列,经后期构造、变质改造叠加,特别是岛弧火山喷流沉积硅铁建造和硅质建造矿化带在扬子地块与碧口地块俯冲印力作用下,由于能干性差异沿含矿石英岩韧性剪切变形变质改造叠加,使该区不同特性的矿产又具有相对集中成带的特点。



1. 碧口群阳坝岩组上岩段中部;2. 碧口群阳坝岩组上岩段下部;3. 石英片岩;4. 金矿体及编号(金品位含量为 10^{-6} , 矿体厚度单位为 m);5. 钻孔(孔深 m)6. 断裂构造

图 6 车渡金矿 63 勘探线地质物探综合剖面示意图

Fig. 6 Comprehensive Profile of Geological and Geophysical Prospecting of Chedu Gold Mine 63 Exploration Line

(3)借鉴前人成熟的研究成果,重新进行成矿系列划分后,在此基础上,总结成矿规律,对车渡及该地区找矿工作发挥了较好的指导作用,对碧口群找矿有着重要的意义。这些认识融入了最新找矿成果,对新发现的矿床(点)的成因进一步归类、明确,对这些矿区找矿突破有一定的借鉴作用。由于对每个具体的矿床(点)的成因没有进一步详细阐述、研究,难免有错漏之处,在今后的工作中需进一步研究,也请同仁谅解。

致谢:该研究得到了陕西省地勘基金项目的大力支持;得到了西安地调中心秦克令、赵东宏、王凯、李宗会及基金管理中心刘平、朱红周、王北颖、王向利、任苍智和中陕核工业集团王建国、李靠社、肖民禄、方民强、张贵金、王得权等专家的指导;野外调查研究期间,中陕核工业集团二一四大队有限公司南沙河项目组提供了大量基础地质资料和调研工作;审稿老师为本文提出了许多宝贵的意见,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- 穆可斌,裴先治,李瑞保,等. 南秦岭白龙江群中花岗岩脉群年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 西北地质, 2019, 52(3): 111-135.
- MU Keping, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of the Granite Veins in the Bailongjiang Group, South Qinling[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(3): 111-135.
- 陈毓川,王平安,秦克令,等. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨[J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 289-298.
- CHEN Yuchuan, WANG Pingan, QIN Keling, et al. Division of metallogenic series and regional metallogenic law of main metal deposits in Qinling area[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(4): 289-298.
- 丁坤,梁婷,王瑞廷,等. 陕南勉略阳地区陈家坝铜铅锌多金属矿床稀土元素地球化学特征[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 93-104.
- DING Kun, LIANG Ting, WANG Ruiting, et al. REE Characteristics of the Chenjiaba Cu-Pb-Zn Polymetallic Deposit in Mian-Lue-Yang Area, Southern Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(3): 93-104.
- 闫全人,王宗起,闫臻,等. 秦岭勉略构造混杂带康县-勉县段蛇绿岩块-铁镁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 755-764.
- YAN Quanren, WANG Zongqi, YAN Zhen, et al. Shrimp analyses for ophiolitic-mafic blocks in the Kangxian-Mianxian section of the Mianxian-Lueyang melange: Their geological implications[J]. Geological Review, 2007, 53(6): 755-764.
- 晏云翔,张成立. 南秦岭张家坝岩体和新院岩体地球化学特征及其形成环境[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 425-433.
- YAN Yunxiang, ZHANG Chengli. Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Zhangjiaba and Xinyuan Plutons in South Qinling[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(3): 425-433.
- 杨恺,刘树文,李秋根,等. 秦岭梓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)网络版(预印本), 2009, (01): 36-42.
- YANG Kai, LIU Shuwen, LI Qiugen, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Zhashui Granitoids and Dongjiangkou Granitoids from Qinling, Central China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Peldnensis (Online First), 2009, (01): 36-42.
- 杨阳. 秦岭造山带中段花岗岩的时空格架、源区物质及其对地壳深部物质组成的示踪[D]. 北京: 中国地质科学院, 2017.
- YANG Yang. Spatial-Temporal Distribution and Sources of Granitoids in the Middle Qinling Orogenic Belt, Central China: Implications for the Nature of Deep Crustal Basement[D]. Beijing: A Dissertation Submitted to Chinese Academy of Geological Sciences for Doctoral Degree, 2017.
- 张本仁,高山,张宏飞,等. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-187.
- ZHANG Benren, GAO Shan, ZHANG Hongfei, et al. Geochemistry of Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 2002: 1-187.
- 张成立,王涛,王晓霞,等. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 304-316.
- ZHANG Chengli, WANG Tao, WANG Xiaoxia, et al. Origin and Tectonic Setting of the Early Mesozoic Granitoids in Qinling Orogenic Belt[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(3): 304-316.
- 张成立,张国伟,晏云翔,等. 南秦岭勉略带北光头山花岗岩体群的成因及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 711-720.
- ZHANG Chengli, ZHANG Guowei, YAN Yunxiang, et al. Origin and dynamic significance of Guangtoushan granitic plutons to the north of Mianlue zone in southern Qinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 711-720.
- 张帆,刘树文,李秋根,等. 秦岭西坝花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(5): 833-840.
- ZHANG Fan, LIU Shuwen, LI Qiugen, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb geochronology and geological significance of Xiba granitoids from Qinling, Central China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekin-

- ensis, 2009, 45(5):833-840.
- 张国伟,程顺有,郭安林,等. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识-兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10):846-853.
- ZHANG Guowei, CHENG Shunyou, GUO Anlin, et al. Mianlüe paleo-suture on the southern margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie; with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10):846-853.
- 张国伟. 秦岭勉略构造带与大陆构造[M]. 北京:科学出版社, 2016, 1-501.
- ZHANG Guowei. The Mianlüe tectonic zone of the Qinling Orogen and China continental tectonics[M]. Beijing: Science Press, 2016, 1-501.
- 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, 1-855.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001, 1-855.
- 张宏飞, 肖龙, 张利, 等. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2007, 37(4): 460-470.
- ZHANG Hongfei, XIAO Long, ZHANG Li, et al. Geochemistry and Pb-Sr-Nd Isotopic Composition of the Indosinian Granitoids in the Northwestern Margin of the Yangtze Block: Limiting the Genesis and Dynamic Background of the Rocks[J]. Science in China (Series D), 2007, 37(4): 460-470.
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等. 西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, (10): 10-22.
- ZHANG Hongfei, JIN Lanlan, ZHANG Li, et al. Geochemistry of granitoids and limitation of Pb-Sr-Nd isotope composition on basement properties and tectonic properties in the Western Qinling Mountains[J]. Science in China, Ser. D, 2005, (10): 10-22.
- 张旗, 金惟俊, 王元龙, 等. 大陆下地壳拆沉模式初探[J]. 岩石学报, 2006b, 22(02): 265-276.
- ZHANG Qi, JIN Weijun, WANG Yuanlong, et al. A model of delamination of continental lower crust[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006b, 22(02): 265-276.
- 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006a, 22(09): 2249-2269.
- ZHANG Qi, WANG Yan, LI Chengdong, et al. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006a, 22(9): 2249-2269.
- 张彦, 陈文, 郭彦如. 迷坝花岗岩形成时的构造环境判别及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. 地质论评, 2002, 48(S1): 110-114.
- ZHANG Yan, CHEN Wen, GUO Yanru. Tectonic Discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Isotope Geochronology of the Miba Granite[J]. Geological Review, 2002, 48(S1): 110-114.
- 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.
- ZHANG Zongqing, ZHANG Guowei, LIU Dunyi, et al. I-sotopic Chronology and Geochemistry of Ophiolite, Granite and Clastic Sedimentary Rocks in the Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 秦岭沙河湾奥长环斑花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 981-983.
- ZHANG Zongqing, ZHANG Guowei, TANG Suohan, et al. Age of Ordovician Ring Porphyry Granite in Shahe-wan, Qinling Mountains and Its Restriction on the End Time of the Main Orogenic Period of the Qinling Orogenic Belt[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(9): 981-983.
- 丁振举, 姚书振. 东沟坝多金属矿床喷流沉积成矿特征的稀土元素地球化学示踪[J]. 岩石学报, 2003, (4): 210-216.
- DING Zhenju, YAO Shuzhen. REE geochemical tracing of ore-forming characteristics of exhalative deposits in Donggouba polymetallic deposit[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, (4): 210-216.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 等. 碧口群硅质岩成因与地质意义[J]. 矿物学报, 1998a, 18(3): 331-336.
- DING Zhenju, YAO Shuzhen, ZHOU Zonggui, et al. Genesis and geological significance of siliconites in Bokou

- Group[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998a, 18(3): 331-336.
- 丁振举,姚书振,周宗桂. 陕西略阳铜厂铜矿床成矿时代及其地质意义[J]. *西安工程学院学报*, 1998b, 2(3): 24-27.
- DING Zhenju, YAO Shuzhen, ZHOU Zonggui. Metallogenic age and geological significance of Tongchang copper deposit in Lueyang, Shaanxi Province[J]. *Journal of Xi'an Institute of Engineering*, 1998b, 2(3): 24-27.
- 赖绍聪,李永飞. 扬子板块北缘碧口火山岩系岩石地球化学研究[R]. 西安:西北大学, 2006.
- 李廷栋,卢民杰,丁孝忠,等. 中国区域地质志. 陕西志[M]. 北京:地质出版社, 2017.
- LI Tingdong, LU Minjie, DING Xiaozhong, et al. Regional Geological Records of Shaanxi Province, China[M]. Beijing: Geology Press, 2017.
- 廖俊红. 陕西略阳煎茶岭金矿床成矿规律及成矿模式[J]. *有色金属矿产与勘探*, 1999, 8(1): 21-26.
- LIAO Junhong. Metallogenic regularity and metallogenic model of Jianchaling gold deposit in Lueyang, Shaanxi Province[J]. *Nonferrous Metal Minerals and Exploration*, 1999, 8(1): 21-26.
- 陶洪祥,何恢亚,王全庆,等. 扬子板块北缘构造演化史[M]. 西安:西北大学出版社, 1993.
- TAO Hongxiang, HE Huiya, WANG Quanqing, et al. Tectonic evolution history of the north margin of yangzi plate[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1993.
- 王得权,王义忠,龙立志,等. 黄泥坪、秋树坪地区金成矿规律与成矿预测研究报告[R]. 西安:中陕核工业集团公司, 2016.
- 吴利仁,徐贵忠. 东秦岭-大别山碰撞造山带的地质演化[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- WU Liren, XU Guizhong. Geological evolution of the east Qinling-dabie collision orogenic belt[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 南秦岭中-晚元古代火山岩性质与前寒武大陆裂解[J]. *中国科学 D 辑*, 1996, 26(3): 237-243.
- XIA Linxi, XIA Zuchun, XU Xueyi. The characteristics of middle-late proterozoic volcanic rocks and precambrian continental cracking in south Qinling[J]. *Science in China(Series D)*, 1996, 26(3): 237-243.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 碧口群火山岩岩石成因研究[J]. *地学前缘*, 2007, (3): 84-101.
- XIA Linxi, XIA Zuchun, XU Xueyi, et al. Petrogenesis of Bikou Group volcanic rocks[J]. *Geoscience Frontiers*. 2007, (3): 84-101.
- 叶琳,刘铁庚. 铜厂铜矿稳定同位素研究[J]. *矿物岩石*, 1999, 19(4): 74-77.
- YE Xuan, LIU Tiegeng. Stable isotope studies of Tongchang copper deposit[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1999, 19(4): 74-77.
- 张国伟,张本仁,袁学成,等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- 张本仁,张宏飞,赵志丹,等. 东秦岭及临区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义[J]. *中国科学 D 辑*, 1996, 26(3): 201-208.
- ZHANG Benren, ZHANG Hongfei, ZHAO Zhidan, et al. Geochemical division and evolution of crust and mantle and their tectonic significance in eastern Qinling and its adjacent areas[J]. *Science in China(Series D)*, 1996, 26(3): 201-208.
- 赵东宏,杨忠堂,李宗会,等. 秦岭成矿带成矿地质背景及优势矿产成矿规律[M]. 西安:科学出版社, 2018.
- ZHAO Donghong, YANG Zhongtang, LI Zonghui, et al. Metallogenic geological background and metallogenic regularity of dominant minerals in Qinling metallogenic belt[M]. Xi'an: Science Press, 2018.
- 赖绍聪,李永飞. 扬子板块北缘碧口火山岩系岩石地球化学研究[R]. 西安:西北大学, 2006.