

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.01.019

甘肃碧口地区金铜矿地质特征及找矿潜力浅析

陈彦文

(甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院,甘肃 天水 741020)

摘要:碧口地区地处摩天岭地块,是中国重要的金铜成矿远景区、矿集区。笔者以甘肃碧口地区金铜矿成矿地质背景、矿床地质特征为基础,结合典型矿床剖析,重点从矿床成因、矿床类型、矿床规模、赋矿层位、围岩性质和矿石特征等方面,总结了矿床的分布特征及规律,并提出了同类矿床的找矿标志和找矿潜力。

关键词:碧口地区;金铜矿地质特征;找矿潜力

中图分类号:P618.41

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)01-0206-15

Geological Characteristics and Ore-prospecting Potential of Gold-Copper Deposits in Bikou Area, Gansu Province

CHEN Yanwen

(The First Geological Mineral Exploration Institute of Gansu Provincial Geology
and Mineral Bureau, Tianshui 741020, Gansu, China)

Abstract: The Bikou area is located in the Motianling block of Gansu Province, which is an important copper- gold metallogenic prospective province and ore-centralization area in our country. Based on the geological setting and characteristics of the gold-copper deposit, the genesis, type and scale, and ore-bearing horizon, surrounding rock properties and ore features of typical mineral deposits have been analyzed. And then, the distribution of gold-copper deposits in Bikou area has been summarized in this paper, and the indicators and ore prospecting potential of the similar deposits have been pointed out.

Keywords: Bikou area; geological characteristics of gold-copper deposits; ore-prospecting potential

甘肃碧口地区位处“陕甘川三角区”之甘肃境内,是重要的矿集区(图 1)。近年来,地质工作者们相继发现近百处铜、铅、锌、银、金、铁等矿床(点),特别是金铜找矿工作有一定的突破,其已被列为“甘肃省筏子坝—阳坝地区铜金矿整装勘查区”。

1 区域成矿地质背景

甘肃碧口地区所属的摩天岭地块位于陕、甘、川三省邻接处,北南和西分别以勉—略断裂带、勉县—阳

收稿日期:2018-03-12;修回日期:2018-08-12

基金项目:中国地调局“秦岭成矿带地质矿产调查”计划项目“甘肃省筏子坝—阳坝一带铜金矿远景调查”(12120113047900)

作者简介:陈彦文(1967-),男,本科,高级工程师,主要从事地质矿产勘查及区域地质调查工作。E-mail:1491701562@qq.com

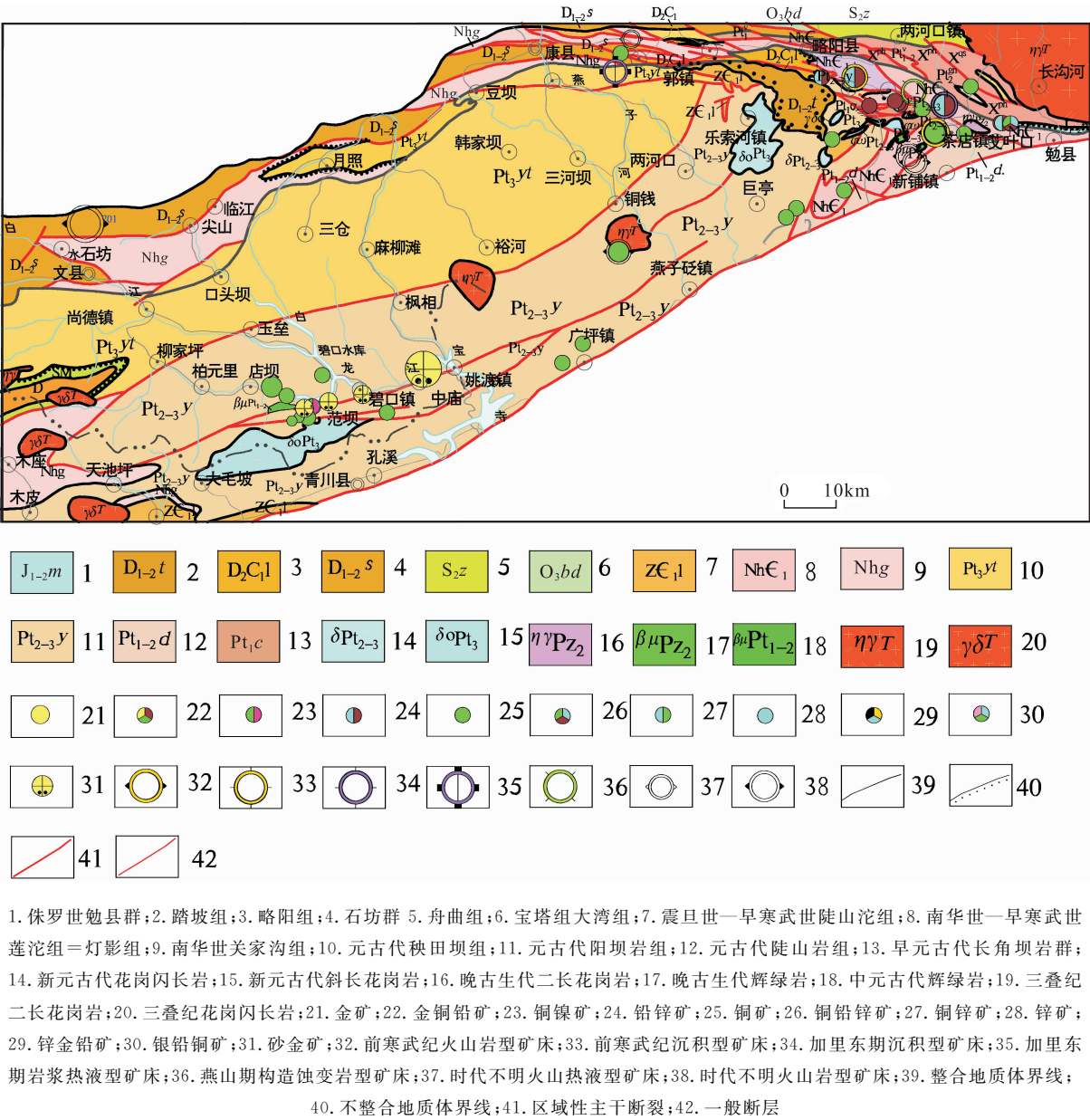


图 1 碧口地区区域地质构造略图

Fig. 1 Simplified geological tectonic map of the BiKou area

平关—平武断裂、虎牙关断裂为界,与扬子地块、秦岭微地块和松潘—甘孜地块相接,呈楔形夹持在上述地块之间和各构造单元的交接部位(丁振举等,2003)。属扬子成矿省摩天岭(碧口)铜—金—铁—镍—钼成矿带碧口—阳坝(摩天岭隆起)铜(钴)—金—铁—镍—钼等成矿亚带(徐志刚等,2008)。

1.1 区域地层

区域出露地层主要有中晚元古界前震旦系(蓟县系、青白口系)碧口群(赵祥生等,1990),为一套次深海相火山岩、火山碎屑岩及正常沉积碎屑岩建造;

震旦系—石炭系为碧口古陆北缘滨海相—浅海相的碎屑岩—碳酸盐岩建造,含有丰富的碳硅质岩、碳质粉砂岩和碳质板岩等黑色岩系;泥盆系(D)观雾山组(Dg)为呈零星断块形式产出的碳酸盐岩建造;三叠系为浅海相碳酸盐岩—碎屑岩建造;白垩系(K)为断陷盆地内近源相山麓堆积。各时代地层特征及其含矿性见表 1。

1.2 岩浆岩

1.2.1 火山岩

本区以基性火山岩为主,岩性主要为变玄武岩、

表 1 区域地层特征及含矿性简表

Tab. 1 The regional stratigraphic characteristic and ore-bearing properties

界	系	统	组		地层代号	岩 性 特 征	含 矿 性
新生界	第四系				Q	砾石、砂、岩屑、粉砂质黏土	冲积物中富含砂金矿
中生界	白垩系	下统			K ₁	砾岩、砂岩夹粉砂岩、页岩、泥灰岩	局部砾岩中含砂金
	三 叠 系	上统			T ₃	砂岩、粉砂岩、板岩夹灰岩	为卡林型金矿的赋矿层
		中统	上组		T ₂	灰岩夹钙质板岩、砂岩、碳酸盐化硅质岩	
			下组		T ₁	细砂岩、钙质粉砂岩、钙质板岩夹灰岩	
古生界	石炭系	下统			C ₁	灰岩、绢云千枚岩，偶夹钙质千枚岩	为石灰岩的重要含矿层
	泥 盆 系	中统			D ₂	上部为灰岩、页岩夹粉砂岩； 下部为石英细砂岩、粉砂质页岩、石英岩	泥盆系中赋存金矿、沉积型铁、磷、煤、硅石、化工灰岩、白云岩等矿产
		下统	岷堡沟组		D _{1m}	上部为砂岩、板岩互层，鲕状赤铁矿；下部为灰岩夹粉砂质板岩	
		下统	石坊群		D _{1sh}	石英细砂岩、粉砂岩、含泥质粉砂岩、含砾粗砂岩、细砾岩等，中、上部常夹薄层状劣质煤及含碳泥质粉砂岩	
			河口群	羊汤寨组	D _{1y}	上部为灰岩夹千枚岩；下部为灰岩、绢云千枚岩夹石英砂岩	
				屯寨组	D _{1t}	灰岩、绢云石英千枚岩、绢云片岩互层，夹少量碳质千枚岩	
				桥头组	D _{1q}	绢云石英千枚岩与灰岩互层，偶夹变细粒石英砂岩	
		寒武系	干沟组		Є _{1g}	粉砂质板岩、下部含黄铁矿	含黄铁矿
元古宇	震旦系	上统	临江组		Z _{2l}	白云岩、白云质灰岩、硅质岩、夹碳质板岩、灰岩，底部为变细砂岩、粉砂质板岩	赋存有沉积型磷、锰及黄铁矿、重晶石矿，具有黄铁矿型金矿的找矿前景
		下统	关家沟组		Z _{1g}	上部为粉砂质板岩、冰碛砂砾岩、泥岩、变冰碛砾岩。底部为变基性-中基性火山熔岩、凝灰岩	
	前震 旦系 (碧口群)	青白口系	秧田坝组		Q _{ny}	变岩屑砂岩与变粉砂岩、粉砂质板岩互层，底部为变砾岩	赋存与火山岩及火山活动关系密切的铜、锌、金、钴、银、铁等矿产，黄铁矿型铜钴矿集中分布于白果树组顶部及阳坝组底部
			白杨组		Q _{nb}	变砂岩、粉砂岩、粉砂质千枚岩夹变砾岩，变质中-基性火山岩及其凝灰岩	
		蓟县系	管子沟组		J _{xg}	变酸性火山岩、凝灰岩、绢云千枚岩，底部为变玄武岩、绿泥绿帘片岩及硅化绢云千枚岩	
			阳坝组		J _{xy}	变玄武岩、绿泥绿帘片岩，变安山岩夹绿泥绢云石英千枚岩、变砂岩、凝灰质千枚岩	
			白果树组		J _{xb}	粉砂质千枚岩、变砂岩、硅化绢云千枚岩夹变玄武岩	

变安山质玄武岩等。由东向西总体上呈现火山熔岩减少,火山碎屑岩增多的趋势。火山碎屑岩岩性主要为变玄武质角砾熔岩、变流纹质凝灰岩和火山角砾岩等。火山岩具有较高的 Al_2O_3 、 Na_2O , 较低的 MgO 、 CaO , 同时富铁、富铝特性, 说明岩石具有拉斑质和高铝质的双重特性, 属亚碱性系列之拉斑玄武岩。

本区不但火山作用强烈, 而且具多期次、多旋回、多(喷发)中心、大规模的火山作用特点, 为成矿提供了极为有利的条件。

1.2.2 侵入岩

本区岩浆侵入活动较弱, 但岩石类型齐全, 从超基性岩到酸性岩均有分布。

超基性-基性岩多形成于晋宁期, 分布于白水-燕子砭断裂带上, 以岩脉为主。

闪长岩类形成于晋宁期至加里东期, 岩浆活动较强, 岩体规模较大。阳坝岩体和鹰咀山岩体均呈岩株状产出、剥蚀浅, 具热液型硫化物矿床的找矿前景。

中酸性侵入岩形成于印支期及燕山期, 主要分布于文-康构造带中。围岩具强烈的硅化、绢云母化、黄铁矿化等矿化蚀变现象, 说明伴随着中酸性岩浆侵入, 热液活动强烈, 促进了成矿物质的迁移和富集, 为热液型金矿的形成提供了有利条件。

1.3 构造

碧口地块地处扬子板块西北缘特殊的大地构造部位, 经历了自晋宁期以来多期次构造变形旋回叠加改造, 并伴随着沉积作用、岩浆作用、变质作用及成矿作用的发生。将区内构造发展演化划分为5个阶段, 即扬子板块北缘沟、弧、盆体系发展演化阶段、板块碰撞造山阶段、陆内伸展及陆盆形成演化阶段、陆内逆冲推覆造山阶段和断块活动及差异性抬升阶段。其中, 以板块碰撞造山为主造山期, 奠定了碧口地块构造格架的基础。

晋宁晚期随着构造体制的转化, 北北西-南南东向收缩, 在地壳深层次环境中形成同斜紧闭褶皱和逆冲韧性剪切带, 卷入变形地层为蓟县系和青白口系。随着剪应变量的不断增大, 由变形初期的不对称剪切褶皱向逆冲韧性剪切带转换。

加里东期地壳经历碰撞隆升作用之后, 区内在中部构造层次环境中, 发生大规模伸展, 形成北东东向区域性脆-韧性走滑断裂, 该断裂由于左行平移走

滑, 使晋宁晚期同斜紧闭褶皱呈不完整的残存褶皱分布于断裂两盘, 从而在多处可见白果树组和阳坝组的重复接触面。

华力西-印支期为地壳浅层次变形, 岩石以脆性变形为主导。华力西期主要发育挠曲、膝折及褶皱理等, 而印支期随着南北向主应力的加强, 发展为逆冲断层系统。

进入燕山期, 在区域构造应力场向东挤压的构造环境控制下, 地壳表层发生脆性剪切变形, 形成以柳家坡断裂为代表的高角度走滑断层。

喜山期主要表现为地壳的差异性抬升, 抬升区遭受剥蚀, 河流下切和侧蚀作用形成现代“V”形河谷和阶地地貌。

1.3.1 褶皱

阳坝复式背斜大褶皱系形成大的同斜紧闭褶皱, 规模宏大, 控制着碧口群的纵向展布。岩层内构造层型为 II_c 型, 以 S_1 面理为基础变形面, 两翼不对称, 平面形态呈Z形, 北翼倒转而南翼正常, 为枢纽向北东东倾伏的同斜紧闭褶皱。其形成机制为北北西-南南东向斜向逆冲剪切作用形成的剪切褶皱类型。

1.3.2 断裂

本区各类断裂构造相当发育, 既有韧性断裂, 又有脆性断裂。以碧口群南北边界断裂为主体, 形成了北部文-康断裂带和南部中庙-姚渡-白水-燕子砭断裂带。

(1) 文-康断裂带由南西-北东向主干断裂叠加晚期近东西向断裂和南北向断裂组成。南西-北东向主干断裂常形成数百米的破碎带, 带内岩石具角砾岩化、糜棱岩化、泥化、褐铁矿化, 构成区内一级控岩控矿构造。东西向断裂常叠加于主干之上, 具多期活动特点, 局部表现为分枝、复合现象, 其两侧次级断裂发育, 常形成宽几米至几十米的破碎带, 是主要容矿构造。而南北向构造对前二者起不同程度的破坏作用。

(2) 发育于阳坝复式背斜北翼的层间左型走滑断裂, 断裂产状与地层产状一致, 海相火山喷流沉积岩型铜矿即产于该走滑断裂中。

(3) 区内晋宁期推覆-剪切变形作用强烈, 形成了一系列呈北东向展布的韧性剪切带, 不仅控制了区内岩浆和热液活动, 而且在韧性剪切变形过程中, 扩容作用使含矿热液直接向其迁移、富集, 形成金、铜初始富集部位。

在后期,热液沿晚期叠加的脆性断裂活动,对成矿控制占主导地位,既有北东东向、北东向主干断裂,又有低序次的分枝断裂和弧形断裂,各类构造有机结合,为变质热液型金-铜矿形成提供了有利的构造条件。

(4)白水-燕子砭断裂规模大、切割深,常形成数百米宽的破碎带,沿断裂带有超基性-中酸性岩浆侵入,变质作用强烈,热液活动普遍,形成区内重要的控岩控矿断裂。且该断裂具多期活动特征,次级断裂发育,为热液成矿提供了有利的容矿空间。

1.4 地球物理特征

1:10 万航空磁法扫面显示,本区南北以 ΔT 线性梯度带为界,其分布与广元-宁强、成县-徽县磁场区相邻,整体以区域负磁场为背景,磁场特征线以北东向为主,局部异常成群成带分布,强度由几十纳特到数百纳特不等。

区内 ΔT 异常较多,其中由侵入岩、蚀变岩引起的环状磁力高值和断裂破碎带引起的线性磁力低值发育,如已知的筏子坝铜矿、阳坝铜矿、旧房梁金矿等均位于 ΔT 局部异常边部、线性磁力低值带内。同时位于重力剩余异常北东向梯度带上,遥感环形和线性构造发育区。

杨家山-阿陀咀、石盖上-头道坪断裂以南,以负磁场为背景,局部异常极为发育,强度变化也大。出露地层为蓟县系,为一套中基性火山岩、碎屑岩夹磁铁石英岩等,是区内重要的矿源区。

基性-超基性岩体多沿断裂侵入,磁场上反映为椭圆形磁异常,磁性相对较弱。中酸性岩体磁性变化较大,磁场上反映也各不相同。

竹林湾断裂位于碧口、姚渡的中南部,走向北东,磁场上反映为可连续追踪的线性梯度带,并与遥感的线性影像吻合。

1:5万高精度磁测显示,测区范围内,磁场变化较大,异常呈条带状近东西向展布,由南向北呈负—正—负—正—负的规律。区内磁异常规模较大,异常分布与地层有良好的对应关系,异常带内出露地层主要为蓟县系阳坝组、青白口系白杨组。由历年磁法测量可知,已知矿体均有明显的磁异常反映,矿体一般赋存在正、负磁异常的过渡部位,与异常走向一致,具有向正异常区倾斜特征。说明磁法测量是寻找火山岩型铜矿的一种有效手段。

1.5 地球化学特征

通过 1:5 万水系沉积物测量,反映出单元素地

球化学高低背景区带严格受区域构造单元的制约,多呈近东西向带状分布;不同的构造单元反映出不同的元素组合,高低背景区带的分布受单元分界断裂及岩浆岩带和地质背景的控制,不同的元素组合反映出不同地质背景和热液活动的地球化学行为。总结归纳各异常的所处地质背景、主要成矿类型、成矿组合以及地球化学异常组合等信息,将区内异常大致划分为 2 大类(表 2)。

表 2 综合异常成因分类表
Tab. 2 Genetic classification of synthetic anomaly

类别	矿产类型	成矿类型	备 注
I 类	铜	海相火山喷流-沉积型	产于变基性-超基性火山岩地层,以磁铁石英岩为找矿标志
II 类	金	北:岩浆热液型 南:变质热液型	大致以刘家坪-碧口一带为界

I 类为以铜矿为主的异常,以伴随 Mo、Cr、Ag、Mn、Hg、Zn、V、U、Au 元素异常为特征,为典型的基性火山岩系元素组合叠加后期热液元素,其中 Cu、Mo、Ag、Zn 异常尤为发育,一般异常面积大,强度高,浓度分带明显,是铜矿成矿的有利部位。异常明显受含铜磁铁石英岩或磁铁石英岩影响,呈条带状围绕矿体展布,可作为火山岩型铜矿的找矿标志。

II 1 类为以 Au 为主的异常,其元素组合为 Au、Ag、As、Hg、Cr、Ga、Mo 等,矿的产出类型为蚀变岩型,成矿与岩浆热液有关。

II 2 类为以 Au 为主的异常,此类异常为韧性剪切带型金矿化异常,以 Au、Ag、Hg、Sb 为主要元素组合的综合异常。Au 异常多沿主要构造线呈北东—南西西向串珠状分布,异常强度大、浓集中心明显,异常平均值为 21.39×10^{-9} ,峰值为 $1\,443 \times 10^{-9}$,衬度为 1.43,并且有一定的面积。尤其金厂湾-姚渡 Au 单元异常带长达 40 余千米,元素组合为 Au、As、Sb、Cu、Hg、Zn,并有一定的分带性,Au、As、(Cu)常组成内带,在该带已发现多处金矿点、矿化点,找矿效果比较好,为寻找韧性剪切带型金矿的有利地段。

2 主要矿化类型及其分布特征

2.1 金矿化特征

按金的成因类型,可将区内金矿类型分为 2 种。

围岩为碧口群白果树组和阳坝组的赋存于韧性剪切带中的变质-热液型金矿或构造蚀变岩型金矿(翟裕生,2011)(文县曹家山金矿、渭沟金矿和何家湾金矿等);南北断裂带上的与岩浆热液及构造有关的岩浆热液型金矿(陈国忠等,2017)(文县才马地金矿)。各类型金矿特征见表 3。

表 3 碧口地块主要类型金矿特征简表
Tab. 3 Characteristics of major types copper Deposits in Bikou block

矿床类型		岩浆热液型金矿	变质-热液型金矿(石英脉型金矿)
成矿条件	赋矿地层	该类金矿地层属元古界蓼县系管子沟组,为一套浅绿色中基性火山碎屑岩。该地层经受了区域低温动力变质作用,形成了浅绿片岩相变质岩	金矿围岩为白果树组及阳坝组
	控矿构造	本区经历了多期构造运动改造。金矿体主要赋存于近东西向、北西西向的区域次级挤压断裂破碎带中,明显受断裂控制	矿体严格受近东西向、北东东向韧性剪切带控制
	岩浆岩	中酸性侵入岩	中基性火山碎屑岩
矿体特征	含矿岩性	绢云母片岩、绿泥石英片岩	金主要赋存于透镜状碎裂石英脉中,少量碎裂绢云石英片岩夹层也含矿,围岩主要为浅灰色糜棱岩化中-酸性凝灰岩、变安山质凝灰岩、绢云绿泥片岩和绢云石英片岩
	矿体形态	不规则脉状、豆荚状	矿体形态呈层状、似层状
	成矿作用	主要成矿作用为区域变质作用、动力变质作用及热液充填交代作用,具多期成矿特点	动力变质-热液成矿作用
	矿石类型	矿石类型为黄铁矿化蚀变岩型	矿石自然类型主要为碎裂石英脉型及部分碎裂绢云片岩型、断层角砾岩型
	矿物组合	矿物组合以中低温为主,矿石中的金属矿物主要为黄铁矿,地表多氧化为褐铁矿,但仍保留立方体晶形。偶而可见方铅矿。脉石矿物主要为绢云母、石英(破碎的脉石英)、碳酸盐类矿物	金属矿物主要为黄铁矿,极不均匀分布于矿石内,偶见明金。脉石矿物主要为绿泥石、绢云母和石英等
	矿石结构	矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、碎裂结构及细粒状鳞片变晶结构	矿石结构主要有碎裂结构及鳞片变晶结构
	矿石构造	矿石构造有浸染状、网脉状、蜂窝状、块状构造等	矿石构造有条带状、块状构造等、角砾状构造
	围岩蚀变	黄铁矿化、硅化、钾长石化、碳酸盐化等。其中以黄铁矿化最为明显	具硅化、绢云母化、黄铁矿化。石英脉中具较强黄铁矿化
	矿体与围岩界线	矿体界线不规则,与围岩呈渐变过渡关系	界线清晰、断层接触
	矿体变化规律	金矿体呈较稳定的不规则脉状体产出,中部厚,两端变薄,沿走向也有膨大缩小的变化。矿体向深部增厚明显,Au品位由地表贫向深部变富	石英脉连续性较差,厚度一般 5~50cm 不等,长一般为 0.5~1.5m,褐铁矿化愈强,碎裂石英脉含金量愈高
代表性矿床		文县才马地金矿	曹家山金矿、渭沟金矿、何家湾金矿
找矿标志	①地层标志:蓼县系管子沟组火山岩、火山碎屑岩建造。 ②构造标志:近东西向、北西西向断裂构造及配套的次级断裂。 ③岩浆岩:周围有中酸性岩体。 ④基岩:石英脉露头。 ⑤围岩蚀变:褐铁矿化、黄铁矿化、硅化、钾长石化、碳酸盐化蚀变带。 ⑥古采矿遗迹		①地层标志:中-酸性火山碎屑岩广泛分布区。 ②构造标志:近东西向、北东东向韧性剪切带。 ③基岩:石英脉露头。 ④围岩蚀变:褐铁矿化、绢云母化、硅化、黄铁矿化。 ⑤古采矿遗迹

2.2 铜矿化特征

区内铜矿按成因可分为 3 种类型:海相火山喷流-沉积型铜矿(叶天竺等,2014),热液充填交代型铜矿;岩浆熔离型铜镍矿。其中,火山岩型铜矿产于蓼

县系白果树组和阳坝组中,构成呈北东向展布的碧口-阳坝铜矿带。在该带已发现中、小型矿床 4 处(阳坝、杜坝、筏子坝、白皂山)及矿(化)点 20 余处,是本区最有前景的铜矿类型。各类型铜矿特征见表 4。

表 4 碧口地块主要类型铜矿特征简表
Tab. 4 Characteristics of major types gold Deposits in Bikou block

矿床类型		海相火山喷流-沉积型铜矿	热液充填交代性铜矿	岩浆熔离型铜镍矿
成矿条件	赋矿地层	铜矿产于碧口群的白果树组和阳坝组中,矿体多赋存于绿色火山岩向浅色正常沉积岩的过渡部位	碧口群白果树组	晚古生代早期基性岩体
	控矿构造	阳坝复式背斜北翼层间左型走滑断裂	热液型铜矿明显受姚渡-八海大断裂带及其派生的次级脆性断裂控制,形成近东西向展布的大山里-铜锡崖热液型铜矿带	本类型铜矿化分布于区内南部姚渡-八海大断裂带中
	岩浆岩	海底火山喷发-沉积的拉斑玄武岩	中基性、中酸性侵入岩	主要为辉长辉绿岩和辉绿岩
矿体特征	含矿岩性	主要为磁铁矿石岩和绿泥片岩	赋存于硅化灰岩、钙质粉砂岩及千枚岩中	铜矿化以 3 种形式产出:①呈星散状赋存于基性岩中。②呈小的浸染状矿化透镜体或小透镜体群赋存于基性岩中的构造裂隙内。③呈块状及稠密浸染状矿化透镜体赋存于基性岩内带
	矿体形态	多呈似层状、透镜状,与围岩整合产出	不规则脉状	主要呈透镜体,一般长数米至数十米,宽 1~2m
	矿石类型	分为 3 种矿石类型,含铜磁铁矿石岩型、块状黄铁黄铜矿型和含铜绿片岩型	局部为块状矿石及浸染状铜、铅、锌多金属矿石,而在硅化强烈地段形成次生石英岩型铜矿石	含铜辉绿岩型
	矿物组合	矿石矿物:磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿,极少量闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、辉铜矿;脉石矿物:碧玉、石英、绿泥石、绿帘石、绢云母、碳酸盐	金属矿物有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及黄铁矿等,次生矿物为孔雀石、褐铁矿等。局部为块状矿石及浸染状铜、铅、锌多金属矿石,而在硅化强烈地段形成次生石英岩型铜矿石	金属矿物主要为镍黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿及斑铜矿,其中镍黄铁矿以固溶体状态赋存于磁黄铁矿粒间
	矿石结构	他形-自形粒状结构、充填胶结结构、筛孔状结构、交代熔蚀结构、鳞片变晶结构、粒状变晶结构	半自形粒状结构、充填胶结结构、交代假象结构	他形-半自形粒状结构、充填胶结结构、交代熔蚀结构、粒状变晶结构
	矿石构造	块状构造、变余层纹状构造、条带状构造、稀疏浸染状-稠密浸染状构造、片状构造	块状构造、脉状构造、网脉状构造、稀疏浸染状构造	块状构造、脉状构造、浸染状构造
	围岩蚀变	绿泥石化、绿帘石化、硅化、铁碧玉化	硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化及透闪石化等	绿泥石化、透闪石化、绿帘石化
	矿体与围岩界线	界线清晰、突变关系	界线不规则	渐变过渡、不太明显
	矿体变化规律	延深远远大于延长	已发现的矿(化)点规模小、矿化分散	含矿岩体规模小、矿化零星且铜、镍含量较低
找矿标志	①矿体赋存于碧口群白果树组及阳坝组中,一般产于基性火山岩与沉积岩交接部位。 ②层间走滑断裂对矿体有明显的控制作用。 ③原生和次生铜矿化及黄铁矿化、磁铁矿化、“铁帽”等为直接找矿标志。 ④前人采矿老硐亦为直接找矿标志		①在姚渡-八海大断裂带及其派生的次级脆性断裂。 ②发育中酸性侵入岩。 ③地表有孔雀石化、黄铜矿化。 ④古采坑或硐	①在姚渡-八海大断裂带内发育的基性岩体。 ②基性岩体中裂隙发育地段。 ③地表发现有孔雀石化、褐铁矿化及黄铜矿化等。 ④绿泥石化、绿帘石化等蚀变强烈地段。 ⑤古采硐

3 代表性矿床地质特征

3.1 筏子坝铜矿

筏子坝铜矿位于碧口-阳坝火山岩型铜矿带的西段。矿区出露地层为阳坝组下部层位,由中-浅变质的绿色火山岩系和浅色正常沉积岩系组成,火山岩十分发育。铜矿(化)体受火山韵律控制,赋存于基性火山岩向正常沉积岩的过渡部位(图 2)。矿体在平面上表现为走向上尖灭再现和侧向上错落排列再现(图 3),矿体(特别是磁铁石英岩型铜矿体)呈似层状、透镜状,矿体总体为一近东西向展布,向南

陡倾的单斜层。一般延深/延长>4m(图 4),具向东南侧伏的特征。块状矿体与围岩界线截然。

筏子坝矿区共发现铜矿体 4 个,长为 90 ~ 300m,厚为 1.37 ~ 8.15m,Cu 品位为 0.74% ~ 6.40%,单样最高达 18.46%。主矿体(Cu I-1)已控制 10 个中段,控制斜深大于 800m。按含矿岩石类型可分为 3 种矿石类型,含铜磁铁石英岩型、块状黄铁黄铜矿型和含铜绿片岩型(图 5)。矿体伴生有 Au(约 0.24×10^{-6})、Ag(约 7.70×10^{-6})及 Zn、S、Fe 等有益组分(表 5、表 6)。矿石结构、构造种类较多(表 7)。矿体与围岩界线清晰,严格受层位和岩性控制,属典型的火山岩型铜矿床。岩石构造变形

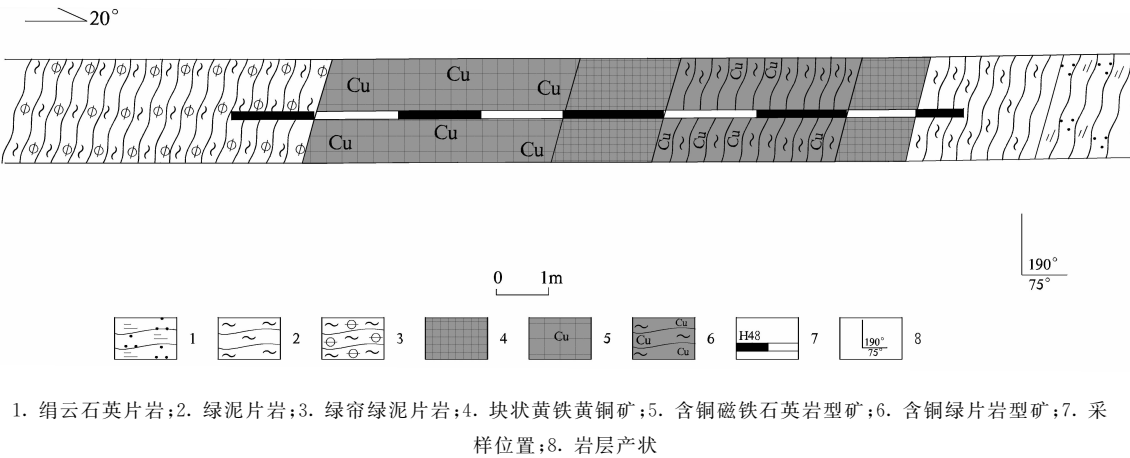


图 2 筏子坝铜矿 PD3 - CM3 西壁素描图

Fig. 2 The sketch map of the west wall of Faziba copper deposit in PD3 - CM3

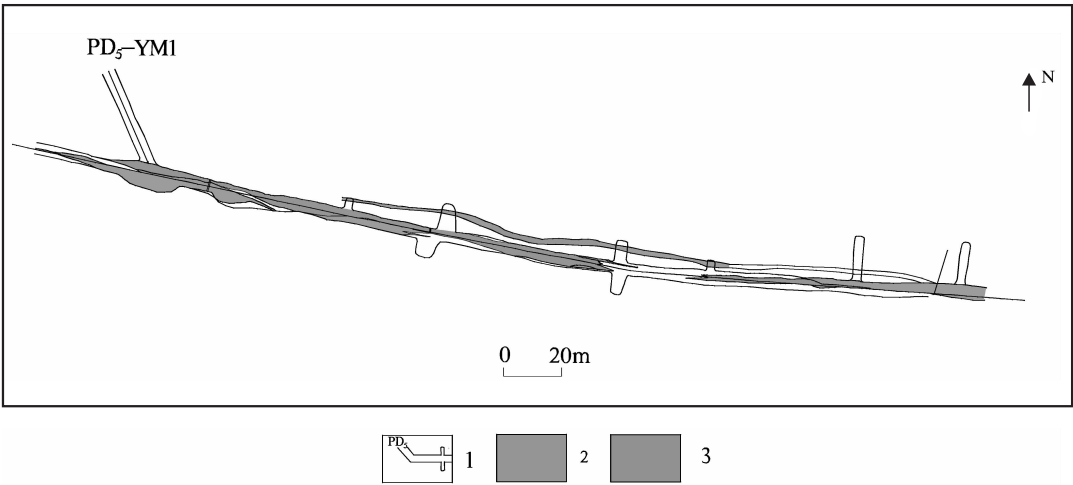
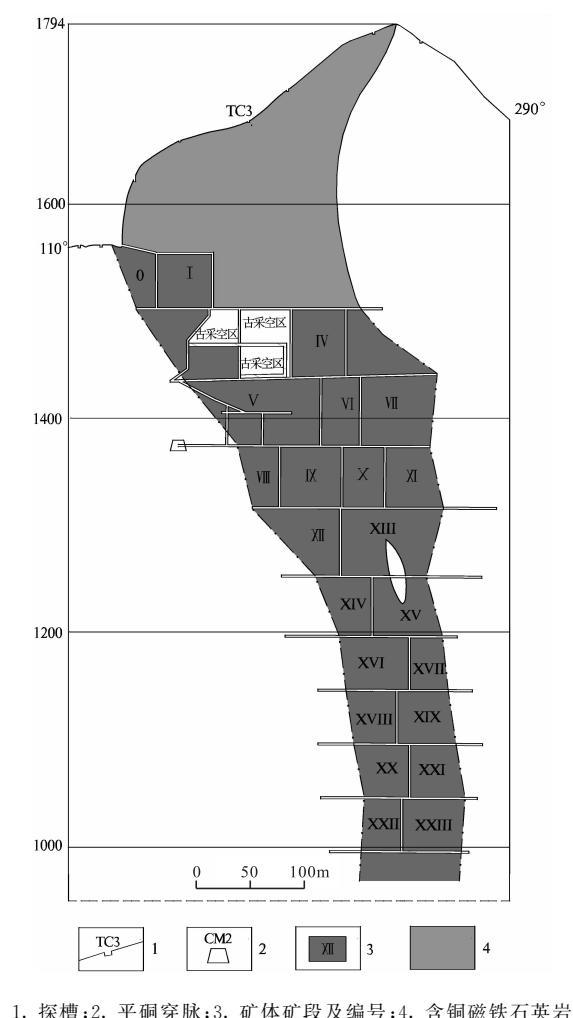


图 3 筏子坝铜矿 PD5 - YM1 中段平面示意图

Fig. 3 The planimetric map of the middle of Faziba copper deposit PD5 - YM1



1. 探槽;2. 平硐穿脉;3. 矿体矿段及编号;4. 含铜磁铁矿石英岩

图 4 文县筏子坝铜矿 I - 1 矿体垂直纵投影图

Fig. 4 Vertical projection map of Faziba copper deposit I - 1 ore body

强烈,大致经历了早期深部构造层次的紧闭同斜褶皱变形、中期深部构造层次的顺层韧性剪切变形及晚期表层构造层次的折劈理变形。其中,中期变形为主变形期,其对铜矿的形成具有控制和改造作用。

筏子坝铜矿床的成矿模式可以概括如下(图 6)。蓟县纪四堡期古秦岭大洋出现扩张和俯冲作用,俯冲于扬子板块之下,构成包括“碧口古陆”在内的陆缘沟、弧、盆体系,随着“碧口岛弧”的不断发展,在弧后拉张环境中形成了夹于岛弧和大陆之间的“碧口弧后盆地”沉积的火山-沉积岩系。其火山岩既有岛弧拉斑玄武岩性质,又有大洋拉斑玄武岩性质。蓟县系白果树组主要是火山碎屑岩、正常沉积碎屑岩夹少量基性火山熔岩,代表“碧口岛弧”发育初期(雏形)。

至青白口纪早期,随着岛弧的进一步发展,“月照岛弧”雏形开始形成,“碧口岛弧”火山活动趋于减弱,岛弧开始萎缩,在“碧口岛弧”的弧前区,堆积了青白口系白杨组正常沉积碎屑岩夹中-基性火山岩,形成浊积岩复理石建造。

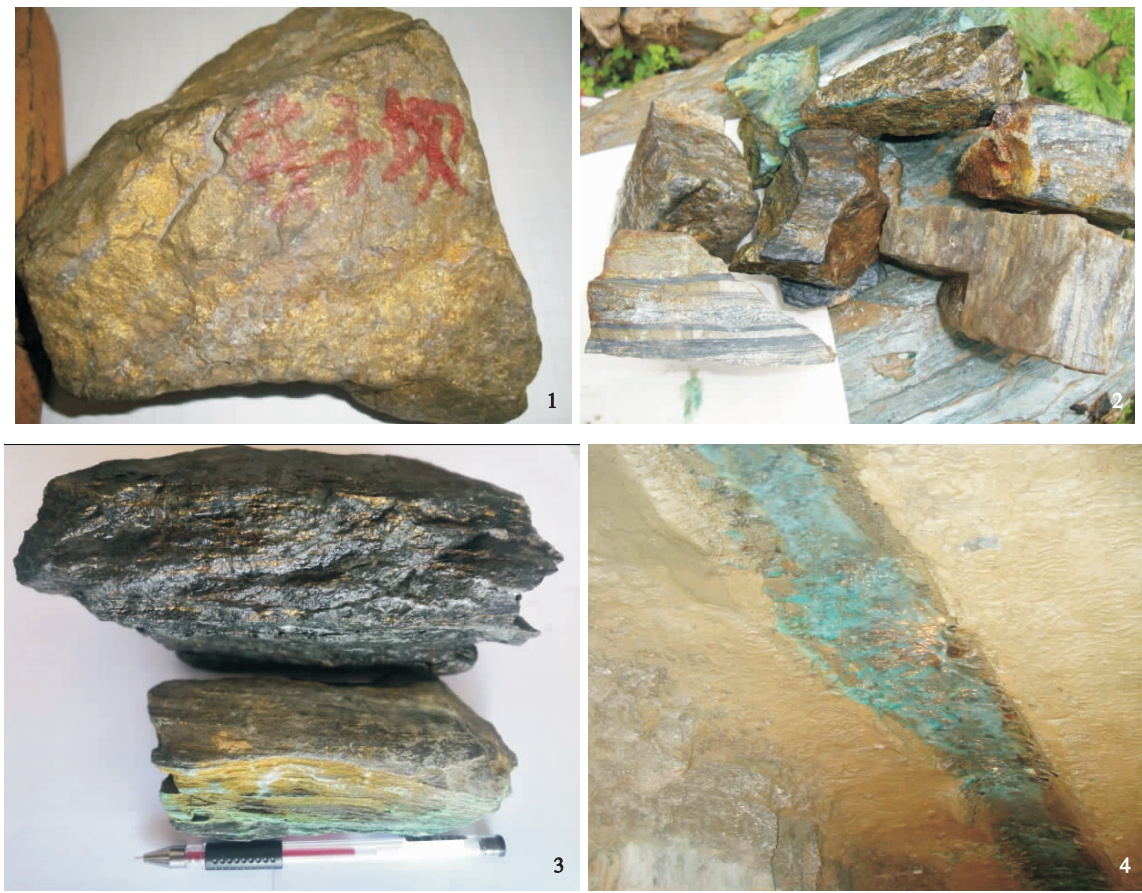
青白口纪中期,“月照岛弧”趋于成熟,大量火山喷发,而“碧口岛弧”已发展为“残弧”,在“残弧”两侧盆地内沉积了工作区及以北地区秧田坝组碎屑浊积岩,由“残弧”和大陆供给大量的碎屑物质,并在后期构造运动趋于稳定,沉积了稳定大陆环境中的高成熟度碎屑岩。从此,扬子板块相对古秦岭洋向北增生叠积,工作区扩张作用停止,进入碰撞造山阶段。

伴随着弧后扩张拉伸作用的进行,处于下部构造层次环境中的蓟县系发生顺层韧性伸展,形成顺层伸展构造,发育顺层韧性剪切带及顺层掩卧褶皱,岩层发生横向面理置换,形成区域性面状构造—S1 构造面理。同时,蓟县系发生了低绿片岩相区域动力变质。磁铁矿石英质岩叠加火山热液铜、锌矿化、黄铁矿化和铁碧玉化,在其下部或附近层间断裂内沉积了块状黄铁黄铜矿、含铜磁铁矿石英岩矿,即现在筏子坝铜矿床(表 8)。

表 5 筏子坝铜矿矿石物质成分表

Tab. 5 The ore composition of Faziba copper deposit

矿石类型	含铜磁铁矿石英岩型及块状黄铁黄铜矿型		含铜绿片岩型		
矿物类别	矿石矿物		脉石矿物	矿石矿物	脉石矿物
主要矿物	黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿		石英	黄铁矿、黄铜矿	绿泥石、绿帘石、阳起石
	褐铁矿、孔雀石、铜蓝			孔雀石、铜蓝	
次要矿物	闪锌矿、辉铜矿、黝铜矿		白云母	磁铁矿、赤铁矿	石英、白云母、钠长石
			绢云母		
稀少矿物	蓝铜矿	绿泥石、绿帘石、阳起石		磷灰石、榍石	



1. 块状黄铁黄铜矿石;2. 条带状含铜磁铁矿石英岩型矿石;3. 含铜绿片岩型矿石;4. 铜矿体

图 5 筏子坝各类型铜矿石、铜矿体图

Fig. 5 Copper ore and copper bodies of Faziba

表 6 筏子坝铜矿矿石全分析结果表

Tab. 6 Ore total analysis of Faziba copper deposit

样品编号	检 测 项 目 及 含 量														
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	SiO ₂	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
2010 X BKQ-1	0.22	7.20	1.40	0.09	0.10	34.94	6.13	16.63	2.39	9.91	14.99	11.37	0.14	0.75	0.46
2010 X BKQ-2	0.24	7.90	0.70	0.10	0.60	34.02	7.32	15.30	3.66	9.80	10.54	13.91	0.06	1.12	1.09
2010 X BKQ-3	0.23	7.70	0.64	0.11	0.32	47.38	4.39	4.81	3.66	3.23	6.62	27.48	0.10	0.14	0.10
2010 X BKQ-4	0.44	7.60	4.20	0.10	0.88	33.32	9.74	7.20	4.57	4.14	7.91	26.65	0.12	0.11	0.14

注: Au、Ag 含量为 10⁻⁶, 其他元素含量为 10⁻²。1、2 号样为含铜绿泥片岩型矿石; 3、4 号样为含铜磁铁矿石英岩型矿石; 数据来源: 天水中矿地质综合实验室。

表 7 矿石结构、构造一览表

Tab. 7 The structural feature of ore

矿石类型	块状黄铁黄铜矿石	含铜磁铁矿石英岩型矿	含铜绿片岩型矿
主要结构	他形粒状结构、交代熔蚀结构、充填胶结结构、筛孔状结构	粒状变晶结构、他形-自形粒状结构、交代残余结构、交代假象结构、充填胶状结构	鳞片变晶结构、半自形粒状结构、纤维鳞片花岗变晶结构
主要构造	块状构造、变余团块状构造、稀疏浸染-稠密浸染构造	变余层纹状构造、条带状构造、稀疏浸染状-稠密浸染状构造、块状构造	片状构造

表 8 筏子坝式海相火山喷流沉积岩型铜矿成矿模式(丁胜江等,2016)

Tab. 8 Metallogenic model of Faziba marine volcanic exhalation-sedimentary copper deposit (DING et al. , 2016)		
地质环境	大地构造环境	Ⅶ-1 巴颜喀拉地块,Ⅶ-1-4 康西瓦-泉水沟前陆盆地,火山岛弧与弧后盆地交界处
	火山机构	裂隙式多中心火山喷发机制
	火山岩	海底火山喷发-沉积的拉斑玄武岩系列
	成矿时代	中元古代蓟县纪
矿床特征	矿床类型	海相火山喷流沉积岩型
	矿体形态	矿床产于基性火山喷出岩相与细碎屑沉积岩的过渡部位,矿体呈层状、透镜状分布,主要定位于水岩界面之下,受层位控制,且与地层整合产出
	控矿构造	复背斜北翼层间断裂,矿体主要赋存于火山喷气形成的化学沉积岩(碧玉岩)及其变质产物磁铁矿石英岩和绿片岩中
	矿石类型和矿物组合	分为 3 种矿石类型,含铜磁铁矿石英岩型、块状黄铁黄铜矿型和含铜绿片岩型。矿石矿物:磁铁矿、黄铁矿及黄铜矿,赤铁矿、黝铜矿、闪锌矿。脉石矿物:石英、绿泥石、绢云母、碳酸盐
	矿石结构构造	变余层纹状、条带状构造;交代熔蚀结构、鳞片变晶结构、粒状变晶结构、他形-自形粒状结构
	矿床规律	矿体厚度、Cu 品位随着埋深的加大,逐渐变厚变富
	矿床规模	中型铜矿床
	蚀变特征	绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、铁碧玉化
	热水沉积岩	喷口附近热水沉积岩-铁硅质岩
成矿作用	成矿元素富集模式	具垂直向下富集和由外向内浓缩中心
	成矿流体的水源、物源、热源	水源:主要为海水与岩浆水混合平衡后的混合水 物源:成矿物质主要来源于基性岩浆及其火山岩,其中硫来源于海水 热源:火山喷发浅部岩浆房
	成矿机理	在火山作用晚期,下渗海水在火山喷发的浅部岩浆房的降温减压作用下被抽吸进入岩浆房,经加热和与岩浆热液混合平衡,在高温高压下萃取岩浆岩中的成矿物质形成成矿热液流体,同时沿继承性断裂系统向上喷流继续萃取周围火山岩中成矿元素形成富含成矿物质的成矿热液,当热液体向上喷流至喷口或水岩界面之下的通道系统,由于降温减压作用,在碱性或弱碱性还原环境中成矿元素沉淀,形成铜矿床
	控矿因素	控矿因素一方面取决于成矿沉积环境海底局部坳陷,另一方面取决于变质热水的产生和容矿构造的发育。因此,在绿泥片岩发育、构造强烈挤压地段,寻找磁铁矿石英岩(含碧玉)是区内的主要找矿前提
找矿标志	①地层标志:矿体赋存于碧口群白果树组顶部或阳坝组底部地层中,一般产于基性火山岩与沉积岩交接部位。 ②构造标志:矿床受构造控制明显,层间断裂对矿体,特别是晚期矿化有明显的控制作用,也是重要的找矿标志。 ③原生和次生铜矿化及黄铁矿化、磁(赤)铁矿化、“铁帽”等为直接找矿标志。 ④前人采矿老硐亦为直接找矿标志。 ⑤异常连续性好、强度高,浓度分带明显的条带状 Cu、Zn、Co、Ag 化探异常,可作为火山岩型铜矿的找矿标志;磁异常的正、负磁异常的过渡部位,是寻找火山岩型铜矿的有利部位;遥感的线、环构造交切处往往富集成矿	

3.2 才马地岩浆热液蚀变岩型金矿

才马地金矿区地层属中元古界蓟县系管子沟组(J_{xg}),为一套浅绿色中基性火山碎屑岩。该地层经受了区域低温动力变质作用,形成了绿片岩相变质岩。本区经历了多期构造运动改造,区域总体构

造线呈北东向,规模较大的走向断层和次级派生断裂构造发育,是本区金及多金属成矿的最主要控矿因素,创造了极为有利的构造环境。

才马地金矿体主要赋存于近东西向、北西西向的区域次级挤压断裂破碎带中,因矿体明显受断裂

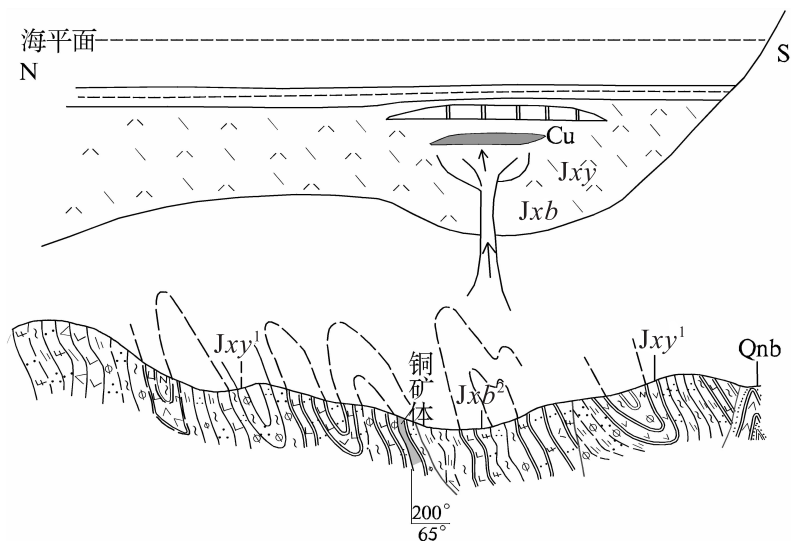


图6 筏子坝铜矿成矿模式图(宋学信等,2002)

g. 6 Metallogenic model of Faziba copper deposit(SONG Xuexin et al. ,2002)

控制。所以,其分布、产状均与断裂构造线基本一致。金矿体长度一般为 149~290m,厚度一般为 0.89~2.43m,地表 Au 品位一般为 $1.50 \times 10^{-6} \sim 5.20 \times 10^{-6}$,单样最高 Au 品位为 11.36×10^{-6} ;深部厚度一般为 3.10~3.52m,Au 品位一般为 $5.28 \times 10^{-6} \sim 7.01 \times 10^{-6}$,单样最高 Au 为 24.80×10^{-6} 。金矿体呈较稳定的不规则脉状体产出,中部厚,两端变薄,沿走向也有膨大缩小的变化,矿体向深部增厚明显,Au 品位由地表贫向深部变富。

矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、碎裂结构及细粒状鳞片变晶结构,矿石构造有浸染状、脉状、蜂窝状、条带状、块状构造等。矿石中的金属矿物主要为黄铁矿,地表多氧化为褐铁矿,但仍保留立方体晶形。偶而可见方铅矿;脉石矿物主要为绢云母、石英(破碎的脉石英)、碳酸盐类矿物;矿石类型为黄铁矿化构造蚀变岩型。

才马地金矿成矿机理及模式。该矿床产于区域浅变质绿片岩区,严格受近东西或北西西向断裂破碎带控制,矿石类型主要为蚀变岩型,热液蚀变强烈,矿物组合以中低温为主,主要成矿作用为区域变质作用、动力变质作用及充填交代作用,具多期成矿特点。该矿床成矿过程是厚度巨大的碧口群海相火山沉积建造经多期次区域变质作用,使得地层中的 Au 活化、迁移,在有利的部位形成以绿片岩系为特征初始富集层。燕山期运动,伴随岩浆侵入活动,使得该区深度较大的北东向断裂再度复活,深部多来

源的含矿热液(变质水、岩浆水等)在构造应力的驱动下向应力释放区迁移,在有利的成矿空间充填交代沉积成矿。

4 找矿潜力分析

4.1 地层条件

碧口群为一套次深海相火山岩、火山碎屑岩及正常沉积碎屑岩建造,中基性火山岩及其碎屑岩广泛分布其中。微量元素测定结果显示,碧口群中 Au、Cu、Zn、Co、Mo、W 等成矿元素高于中国陆壳和秦巴地区陆壳的丰度值,其中的中基性火山碎屑岩成矿元素是后者的 2~10 倍,呈明显的 Au、Cu 高背景场,为 Au、Cu 成矿提供了丰富的物质来源,是中国中、晚元古代重要的含 Au、Cu 建造。

根据地、物、化、遥和已实际发现的成矿事实,可将碧口地块中寻找海相火山喷流沉积型铜矿划分为 2 个远景区。

(1)丰都山-吴家沟-麻地沟-河坝里铜成矿远景区。除原有已发现并个别开采的杜坝铜矿、丰都山铜矿、周家坡铜金矿点、田梁铜矿等铜矿外,近年相继发现的有吴家沟铜矿点、赵家坡铜矿化点、大竹园铜矿化点、麻地沟铜矿化点、梨园坪铜矿化点、河坝里铜矿点等。这些铜矿(化)点均赋存于碧口群白果树组和阳坝组中,沿近北东东-南西西向顺层走滑断裂分布,地表普遍出露磁铁矿石岩或含铜磁铁矿石

英岩,具明显层控成矿特点,矿(化)体沿倾向延深较稳定,无明显构造破坏。

经 1:5 万水系沉积物测量,在该远景区共圈定了甲、乙类综合异常 6 个。已发现的周家坡铜矿点、赵家坡矿化点、河坝里铜矿点等分别处于 Hs-14 属甲 1 类异常及 Hs-15 属乙 2 类异常中。其中, Hs-14 属甲 1 类异常,异常元素组合主要为 Cu、Ag、Cd、Sn、Sb,异常套合度较好,其中 Cu、Ag 异常强度大,分带性明显,具内、中、外分带。通过航磁测量异常及遥感影像特征解译,这些物探异常、化探异常及遥感异常相互的套合性较好,表明该地区具有非常好的 Cu 找矿前景。

(2)百全山-白皂山-筏子坝铜成矿远景区。远景区内已知中型矿床有筏子坝铜矿、小型矿床有白皂山铜矿、冯家里铜矿点、百全山铜矿点共 4 处。这些铜矿床(点)亦均赋存于碧口群白果树组和阳坝组中,沿近东西向顺层左型走滑断裂分布,地表普遍出露含铜磁铁矿英岩,也具明显层控成矿特点,已知矿(化)体沿倾向延深较稳定,无明显构造破坏。

通过 1:5 万水系沉积物测量,在该远景区共圈定了甲、乙类综合异常 4 个。尤其是 Hs-31 属乙 3 类异常,异常元素组合主要为 Cu、Ag、Zn,异常强度大。通过与航磁测量及遥感特征的对比研究,这些物探异常、化探异常及遥感异常相互的套合性较好,并且已发现的白皂山铜矿床和冯家里铜矿点均在该异常内,表明该地区具有较好的铜找矿前景。

根据已有勘查资料证实,笔者目前掌握信息可知,筏子坝铜矿已达中型,其探矿深度达 800 多米,铜矿体还继续向下延深;白皂山铜矿同样已达小型,其探矿深度达 530 多米。深部探矿工程探明,目前此深度铜矿厚度 6m 多,Cu 平均品位大于 2%。以上 2 个铜矿床其延深均是延长的 4 倍以上。并且,随着深度增大,Au 品位有逐渐增高趋势,深部个别地段 Au 品位已达边界品位以上,成为铜、锌、金多金属矿。由于诸多因素,近年来未作深部勘探;而对冯家里铜矿点、百全山铜矿点等多年来仅做了地表及浅部地质勘查工作,未进行深部探矿。

4.2 岩浆岩条件

碧口地块内岩浆活动强烈,岩浆活动与金属矿产关系密切,其一方面提供了丰富的矿源和成矿流体,另一方面提供了大量的成矿必须的热源。

(1)超基性-基性岩多形成于晋宁期,以岩脉为

主。岩体内普遍具有铬、镍、铜矿化。与基性岩有关的金属矿产主要为镍、铜等,本类型铜矿化分布于测区南部姚渡-八海构造岩浆岩带内的基性岩体中。例如,黑阴沟岩浆熔离型铜镍矿(化)体,成矿以铜为主,伴生镍等,铜矿化以 3 种形式产出:一是呈星散状赋存于基性岩中;二是呈小的浸染状矿化透镜体或小透镜体群赋存于基性岩中的构造裂隙内;三是呈块状及稠密浸染状矿化透镜体赋存于基性岩内。矿化透镜体一般长数米至数十米,宽 1~2m,Cu 含量为 $0.10 \times 10^{-2} \sim 0.46 \times 10^{-2}$,Ni 含量为 $0.10 \times 10^{-2} \sim 0.39 \times 10^{-2}$ 。金属矿物主要为镍黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿及斑铜矿,其中,镍黄铁矿以固溶体状态赋存于磁黄铁矿粒间。

该类铜矿的形成与晚元古代岩浆热液关系密切,基性岩浆的侵入带来了大量的气液和丰富的 S 源,使得分散于岩体中的 Cu、Ni 等金属元素活化、迁移,与岩浆中的 S 发生反应,在岩体构造裂隙中沉淀富集,形成该类铜镍矿化(代军治等,2016)。但因含矿岩体规模小,矿化零星分布,且铜、镍含量较低,尚未发现有价值的工业矿化。

(2)中性闪长岩类形成于晋宁期至加里东期,岩浆活动较强,岩体规模较大,以岩株为主,个别以岩基产出。与中性闪长岩有关的金属矿产主要有热液充填交代型铜及多金属矿化。热液型铜矿明显受姚渡-八海大断裂带及其派生的次级脆性断裂控制,形成近东西向展布的大山里-铜锡崖热液型铜矿带。铜矿(化)体长数十米至数百米,厚零点几至几米,一般厚 1m 左右,Cu 品位一般小于 1%。该类铜矿已发现的矿(化)点虽然规模小,矿化分散,不具工业价值,但该类铜矿成矿条件良好,具有一定的找矿前景。

(3)中酸性侵入岩形成于印支期及燕山期,以岩脉为主,小型岩株为次,主要分布于姚渡-八海断裂带中。围岩具强烈的硅化、绢云母化、黄铁矿化等矿化蚀变现象,说明伴随着中酸性岩浆侵入,热液活动强烈,促进了成矿物质的迁移和富集,部分脉岩直接矿化为金矿体。与中酸性侵入岩有关的金属矿产主要为金,伴生砷、锑、银等。例如,才马地金矿严格受近东西或北西西向断裂破碎带控制,矿石类型主要为蚀变岩型,热液蚀变强烈,矿物组合以中低温为主。因此,该区分布中酸性侵入岩是寻找岩浆热液蚀变岩型金矿的有利地区,故在该区内寻找与中酸

性侵入岩有关的岩浆热液型金矿潜力较好。

(4)本区火山作用强烈,火山岩发育,而且具多期次、多旋回、多(喷发)中心、大规模的火山作用特点。火山岩以中基性火山碎屑岩为主,中酸性较少。强烈的火山喷发作用带来了大量的 Au、Cu 等成矿物质,形成了初始矿源(化)层。其中, Au 在中基性火山碎屑岩平均含量达 $23.5 \times 10^{-9} \sim 51.16 \times 10^{-9}$ (其蚀变产物铁白云岩和次生石英岩分别高达 600×10^{-9} 和 $1\,641 \times 10^{-9}$), 变异系数达 5.5, 其富集程度与 Cr、Ni、Co、Mn、Cu 等亲基性元素及 Hg、Ag、As 等低温矿化元素关系密切。碧口群内所有的金矿化均与中基性火山碎屑岩有关,在韧性剪切带上中基性火山碎屑岩发育地段,往往是金矿形成的有利部位。与中基性火山碎屑岩有关的金属矿产主要为金,伴生锑、银等。例如,曹家山金矿、渭沟金矿、何家湾金矿等。其中曹家山金矿区出露地层为碧口群白果树组,为绢云石英片岩、绢云千枚岩及少量绿帘绿泥片岩。地表韧性剪切带上已控制金矿化带长大于 330m,深部由硐探工程控制,厚度一般在 1.00~5.00m, Au 品位一般在 $1.30 \times 10^{-6} \sim 12.58 \times 10^{-6}$, 单样最高 Au 品位为 26.61×10^{-6} 。矿石自然类型为含金石英脉型及构造蚀变岩型,呈层状、似层状分布。金矿具有规模较大、变化较稳定的特点,初步认为该矿床可达到中型规模。其发现使我们从以往在碧口群中寻找零星小矿体到从较大规模韧性剪切带中寻找大规模矿床指明了方向,该类型金矿资源潜力较大。据此推断,由于长期风化淋滤流失进而在特定区域又沉淀富集,在碧口-姚渡河流域由冲洪积作用形成的砂矿型金矿丰富(李文渊等, 2012),其主要来源于周围水域内的赋存于韧性剪切带中变质-热液型金矿。

4.3 构造条件

区内经历了多期构造运动,各类构造相当发育,既有褶皱构造,又有断裂构造;即有韧性断裂,又有脆性断裂。而在本区对成矿控制占主导地位的脆性断裂,即有北东东向、北东向主干断裂,又有低序次的分枝断裂和弧形断裂,各类构造有机结合,为铜-金成矿提供了极为有利的构造条件。

(1)阳坝复式背形大褶皱系。形成大的同斜紧闭褶皱,规模宏大,控制着碧口群的近东西向展布,向南陡倾,产状为 $200^\circ \angle 55^\circ$ 。走滑断裂面往往是变质基性火山岩向浅色正常沉积岩过渡的薄弱部位。

碧口地块中海相火山喷流沉积型铜矿均产于阳坝复式背斜北翼层间左型走滑断裂中,矿体与围岩走向接触面常呈“锯齿状”、相互“犬牙交错”(图 3),矿体产状与地层产状一致。纵观全区,从文县百全山铜矿点—白皂山铜矿—筏子坝铜矿—康县丰都山铜矿—杜坝铜矿—阳坝铜矿,该类型铜矿沿碧口群由西向东纵向不连续呈间断性分布规律。

(2)文-康断裂带由北西—北东向主干断裂叠加了晚期近东西向断裂和南北向断裂组成。北西—北东向主干断裂常形成数百米的破碎带,构成区内一级控岩构造。近东西向断裂具多期活动特点,局部表现为分枝、复合现象,其两侧次级断裂发育;常形成宽几米至几十米的破碎带,是主要容矿构造。而南北向构造对前二者起不同程度的破坏作用。由此可见,文-康断裂是一个完整的控岩、控矿体系,严格控制着区域地球化学异常的分布和金属成矿作用,在该断裂带的近东西向次级断裂带上形成极具前景的金及多金属成矿。目前已发现的文县口头坝石英脉型金矿、武都青崖沟石英脉型金矿等均产出于该次级断裂带中。

(3)区内晋宁期推覆-剪切变形作用强烈。形成了一系列呈近北东东向展布的韧性剪切带,主要分布于金厂湾—范坝—碧口—姚渡一带,韧性剪切带及其派生的次级脆性断裂控制了区内岩浆和热液活动。通过 1:5 万水系沉积物测量, (Hs-35(甲1)、Hs-26(乙2))以及金厂湾—姚渡一带的 Au 单元素异常带,近北东东走向展布,异常走向延长达 40 余千米,并且所处空间位置上与韧性剪切带相当吻合一致。在该韧性剪切带及其晚期脆性断裂中发育形成近东西向展布的才马地岩浆热液蚀变岩型金矿、曹家山变质热液蚀变岩(石英脉)型金矿及何家湾变质热液蚀变岩(石英脉)型金矿等。矿体严格受近东西向、北东东向韧性剪切带及其后期脆性断裂控制,矿石类型主要为蚀变岩型,矿物组合以中低温为主。由此可见,该韧性剪切带内岩浆和热液活动普遍而强烈,为成矿提供了有利条件,是寻找岩浆热液型和变质热液型金成矿的非常有利地带。

5 结论

综上所述,经多年的地质勘查工作,相继在碧口群中发现并开发利用多处铜、金矿床(点),结合已有

物、化、遥异常与已成事实的矿化带、控矿构造等套合性较好等特点,显示该区具备了良好的成矿地质条件,是寻找海相火山喷流沉积型等铜矿和中低温热液型金矿的有利区域。区内已知开发铜矿体普遍延深较大,并继续向下延深;新发现的铜、金矿(化)点工作程度低;韧性剪切带显示金矿化强烈。由此可见,本区铜金矿找矿前景好,资源潜力大。

致谢:姜洪颖工程师对文中译文校对;党燕俐、冯召弟工程师对文中附图进行了修正及整饰。在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- 丁振举,姚书振,刘丛强,等. 摩天岭地块古海底热水喷流沉积及其成矿作用地球化学示踪[M]. 北京:地质出版社,2003.
- DING Zhenju, YAO Shuzhen, LIU Congqiang, et al. The ancient hydrothermal spout sediments and migmatization geochemical tracing of Bikou Block [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社,2008.
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Unite in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- 赵祥生,马少龙,邹湘华,等. 秦巴地区碧口群时代层序、火山作用及含矿性研究[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1990,29.
- ZHAO Xiangsheng, MA Shaolong, ZOU Xianghua, et al. The study of the age, sequence, volcanism and mineralization of Bikou Group in Qinling-Dabashan volcanic rocks and volcanism[J]. Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources, 1990, 29.
- 翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,2011.
- ZHAI Yusheng. Mineraldeposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- 陈国忠,龚全胜,梁志录,等. 西秦岭甘肃段特大型金矿床的地质地球化学特征及其成岩成矿年龄[J]. 西北地质,2017,50(4):91-104.
- CHEN Guozhong, GONG Quansheng, LIANG Zhilu, et al. Geological, Geochemical Characteristics and Diagenetic Age of the Super-large Gold Deposits in Western Qinling, Gansu Province [J]. Northwestern Geology, 2017, 50(4):91-104.
- 叶天竺,吕志成,庞振山,等. 勘查区找矿预测理论与方法[M]. 北京:地质出版社,2014.
- YE Tianzhu, LÜ Zhicheng, PANG Zhenshan, et al. Theory and Method of Prospecting Prediction in Exploration Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- 宋学信,郭月敏,徐珏,等. 筏子坝别子型铜锌矿床构造环境与演化[J]. 矿床地质,2002,21(增刊):453-458.
- SONG Xuexin, GUO Yuemin, XU Jue, et al. Tectonic Setting and Evolutive Model of Besshi-type Cu-Zn Deposit at Faziba, SE Gansu, NW China [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(Supl.): 453-458.
- 代军治,陈荔湘,王瑞廷,等. 陕西省略阳县徐家沟铜矿床地质、地球化学特征及成矿模式[J]. 西北地质,2016,49(4):99-109.
- DAI Junzhi, CHEN Lixiang, WANG Ruiting, et al. Geological, Geochemical Characteristics and Metallogenic Model of the Xujiagou Cu Deposit in Lueyang County, Shanxi Province [J]. Northwestern Geology, 2016, 49(4):99-109.
- 李文渊,董福辰,张照伟,等. 西北地区矿产资源成矿远景与找矿部署研究[M]. 北京:地质出版社,2012.
- LI Wenyuan, DONG Fuchen, ZHANG Zhaowe, et al. The Metallogenic Prospect and Prospecting Deployment of Mineral Resources in Northwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.
- 丁胜江,刘文龙,魏金涛,等. 甘肃省筏子坝-阳坝地区矿产地质调查成果报告[R]. 甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院,2016.
- DING Shengjiang, LIU Wenlong, WEI Jintao, et al. Results report of geological and mineral surveys and mineral exploration of Faziba-Yangba area[R]. The First Geological and Mineral Exploration Institute, Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, 2016.