

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.206

引用格式: 严康,唐源壑,郭文弟,等. 地球化学勘查在早子沟金矿中的应用及启示[J] 中国地质调查, 2024, 11(5): 120-128. (Yan K, Tang Y H, Guo W D, et al. Application and enlightenment of the geochemical exploration in Zaozigou gold deposit [J] Geological Survey of China, 2024, 11(5): 120-128.)

# 地球化学勘查在早子沟金矿中的应用及启示

严康<sup>1,2</sup>, 唐源壑<sup>1,2\*</sup>, 郭文弟<sup>1,2</sup>, 张瑞<sup>1,2</sup>, 李康宁<sup>3</sup>, 徐永利<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100; 2. 中国地质调查局金矿勘查技术创新中心, 陕西 西安 710100; 3. 甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 早子沟金矿位于西秦岭造山带的西北部, 植被发育, 基岩出露较差, 地球化学勘查是区域最有效的勘查方法之一。在系统梳理早子沟金矿 1:20 万、1:5 万水系沉积物测量及 1:1 万土壤测量地球化学特征的基础上, 结合深部钻孔 SK8314 原生晕特征, 发现 Au 元素与 Sb、As、Hg、Ag、Cu 等元素具有正相关性, 特别是 Au、Sb 元素组合是金矿找矿的直接地球化学标志, 深部原生晕分带序列为 Bi - Cu - Mo - Sb - Ag - Au - W - As - Sn - Zn - Cd - Pb - Cr - Ni - Co - Hg, 尾晕元素 Bi 和近矿晕元素 Cu 位于分带序列前缘晕, Pb、Zn 元素位于分带序列尾晕, 表明矿体具有多期成矿叠加特征, 深部可能存在盲矿体。同时在钻孔 SK8314 孔深 1 850 m 以下, 随着深度增大, 地球化学参数  $(As + Sb)/(Bi + Mo)$  值和  $100 \cdot Sb/(Bi \cdot Mo)$  值呈现逐渐增大的趋势, 指示深部可能存在盲矿体, 依然具有较大的找矿空间。研究成果可为早子沟金矿的深部及外围找矿提供参考。

**关键词:** 水系沉积物测量; 土壤测量; 原生晕; 早子沟金矿

**中图分类号:** P618.51

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2024)05-0120-09

## 0 引言

早子沟金矿位于西秦岭造山带西北部, 夹于华北地块、祁连地块和扬子地块之间, 是区域构造的交汇部位<sup>[1-2]</sup>。区域地质构造复杂, 成矿条件优越, 先后探明(发现)以早子沟、加甘滩超大型金矿及以地南大型铜金矿为代表的 80 余处矿床和矿(化)点<sup>[3]</sup>。早子沟金矿自 1996 年被发现以来, 累计探明金资源量超 100 t, 经历了 20 多年的开采后, 采矿权范围内资源面临枯竭, 急需在矿山深部找矿上有所突破。前人<sup>[4-9]</sup>对早子沟金矿矿体特征、控矿断裂构造特征、原生晕特征和矿床成因类型等进行了研究, 认为矿区主要发育 4 组不同方向的控矿断裂, 其中 NW 向断裂形成最早, SN 向和 NE 向断裂次之, 近 EW 向断裂形成最晚, 金矿体主要赋存

于断裂破碎带中, NE 向断裂控制的矿体成矿早, 矿体规模最大, 为浅成低温热液矿床。然而, 当前对早子沟金矿地球化学方面的研究相对较少, 尤其是缺少深部找矿预测方面的研究。

本文在系统梳理早子沟金矿 1:20 万、1:5 万水系沉积物测量及 1:1 万土壤测量地球化学特征的基础上, 结合深部钻孔 SK8314 原生晕特征, 总结早子沟金矿地球化学特征, 以期对早子沟深部及外围找矿预测和综合评价提供参考。

## 1 研究区概况

### 1.1 区域地质背景

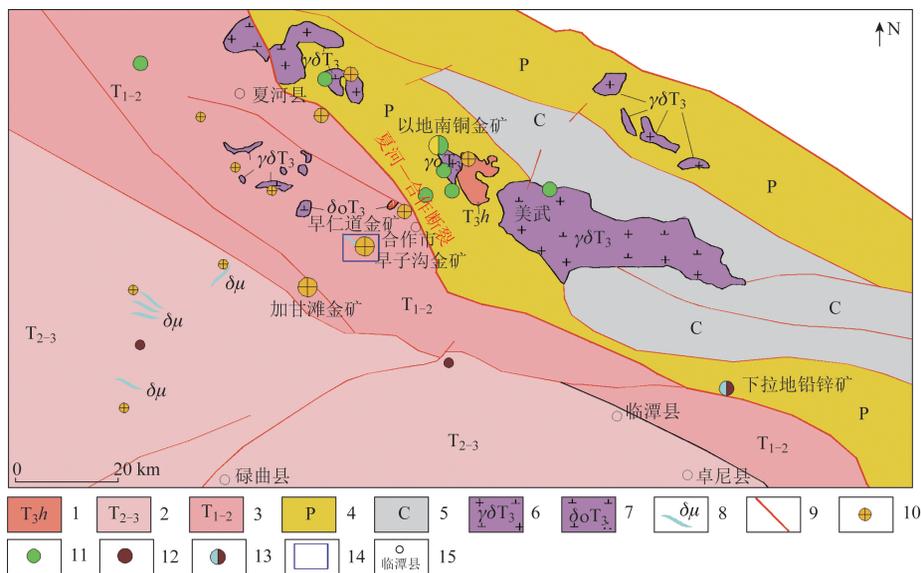
早子沟地区断裂构造发育, 断裂构造对区内中酸性岩体、脉岩、火山岩、化探异常及矿化的分布, 具有明显的控制作用<sup>[10-12]</sup>(图 1)。以夏河—合作

收稿日期: 2024-05-08; 修订日期: 2024-09-04。

基金项目: 中华人民共和国科学技术部“深部矿产资源三维找矿预测评价示范(编号: 2017YFC0601506)”、中国地质调查局“甘肃李子园—花崖沟金矿重点调查区调查评价(编号: DD20242984)”及“秦岭—豫西地区战略性矿产调查(编号: DD20240019)”项目联合资助。

第一作者简介: 严康(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查与找矿预测方面的工作。Email: 546766283@qq.com。

通信作者简介: 唐源壑(1990—), 男, 工程师, 主要从事固体矿产勘查及调查评价方面的工作。Email: tangyuanhe2021@163.com。



1. 上三叠统华日组; 2. 中—上三叠统; 3. 下一中三叠统; 4. 二叠系; 5. 石炭系; 6. 晚三叠世花岗岩闪长岩; 7. 晚三叠世石英闪长岩; 8. 闪长玢岩; 9. 断裂; 10. 金矿; 11. 铜矿; 12. 铋矿; 13. 铅锌矿; 14. 早子沟金矿矿区范围; 15. 地名

图 1 夏河—合作地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Xiahe - Hezuo area

断裂为界,北侧为中高温多金属成矿亚带,赋矿地层主要为石炭系和二叠系,侵入岩主要为花岗岩闪长岩、石英闪长岩,多为呈 NWW 向展布的小岩株、岩枝、岩脉,具多期脉动性,侵入岩时代集中在 250 ~ 210 Ma,属印支期<sup>[13]</sup>。德乌鲁岩体东南部出露小面积的上三叠统华日组(T<sub>3h</sub>)火山岩,为陆相火山岩,主要以中酸性火山熔岩为主,其次为少量火山碎屑岩<sup>[14]</sup>。矿床类型主要为中高温岩浆热液型和矽卡岩型。早子沟金矿 1:20 万水系沉积物测量<sup>[15]</sup>显示元素组合主要为 Cu、Au、As、Pb、Zn,1:5 万水系沉积物测量<sup>[16]</sup>显示元素组合主要为 Cu、As、W、Sn。夏河—合作断裂南侧为中低温金属成矿亚带,赋矿地层主要为三叠系,

侵入岩多以规模较小的中酸性脉岩产出,矿床类型主要为中低温岩浆热液型。早子沟金矿 1:20 万水系沉积物测量<sup>[15]</sup>显示元素组合主要为 Sb、Hg、Au,1:5 万水系沉积物测量<sup>[16]</sup>显示元素组合主要为 Pb、Zn、Ag、Au、As、Hg、Sb,表明北部成矿地质体多已出露地表甚至遭到剥蚀,而南部成矿地质体可能存在于深部。本文通过收集早子沟金矿 1:5 万水系沉积物测量原始数据,绘制了 Au 元素地球化学图及前缘晕元素(As、Sb、Hg)与尾晕元素(W、Sn、Bi)等值线图,发现夏河—合作断裂以南的早子沟金矿、早仁道金矿等剥蚀程度较弱,深部找矿空间较大,而夏河—合作断裂以北的以地南铜金矿一带剥蚀程度明显较强(图 2)。

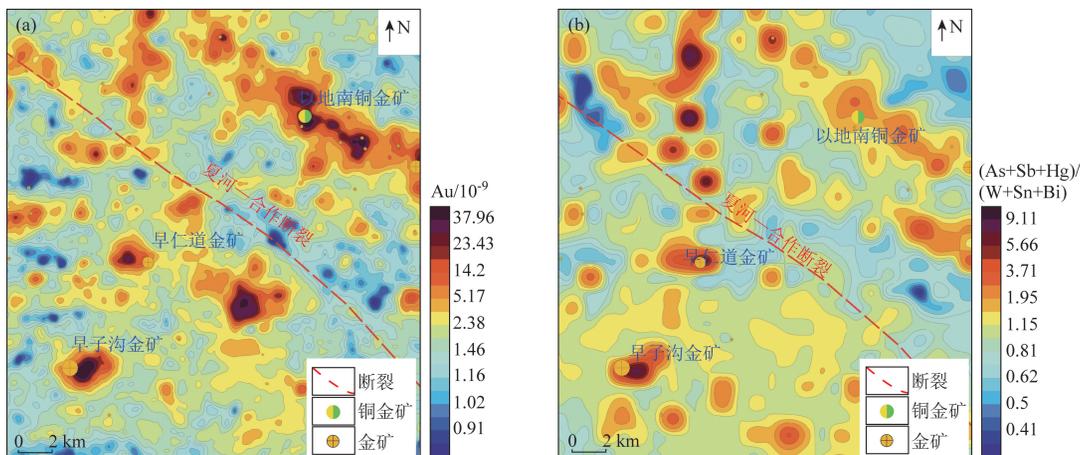


图 2 区域 Au 地球化学图 (a) 和 (As + Sb + Hg) / (W + Sn + Bi) 等值线图 (b) (据文献 [16] 修改)

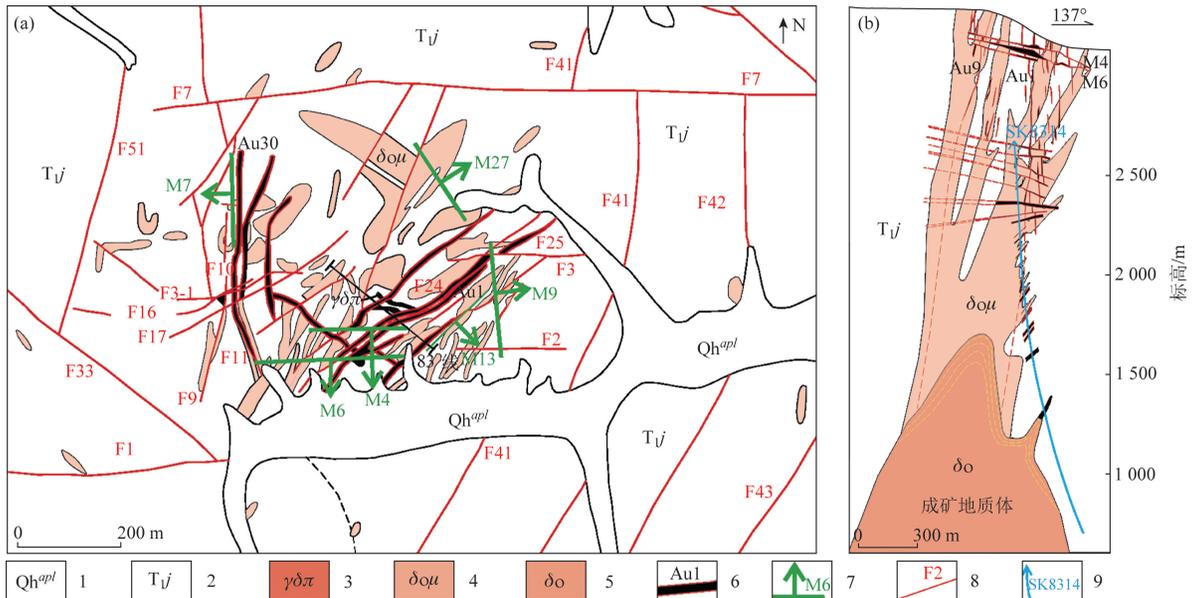
Fig. 2 Regional Au geochemical map (a) and (As + Sb + Hg) / (W + Sn + Bi) contour map (b) (modified after reference [16])

### 1.2 研究区地质背景

#### 1.2.1 地质特征

早子沟金矿赋矿地层为下三叠统江里沟组 ( $T_{1j}$ ), 岩性主要为由硅质板岩、薄—厚层岩屑长石细砂岩夹粉砂质板岩组成的细碎屑岩。矿区广泛分布各类岩脉, 总体存在4次岩浆活动, 依次形成(石英)闪长玢岩(包体)、黑云石英闪长玢岩、花岗斑岩及蚀变石英闪长岩(脉)。早期的闪长玢岩—黑云石英闪长玢岩—花岗斑岩((249~236) Ma)为依次侵入就位正演化序列, 而后期的蚀变石英闪长岩((231±1) Ma)可能为另一来源的后期岩浆活动产物, 因此早子沟金矿成矿发生于230 Ma之后, 集中形成于(230~210) Ma<sup>[3,17]</sup>。早子沟金矿断裂构造发育, 断

裂具相互交叉、多期次活动的特点, 按走向可分为近EW向、NE向、近SN向、NW向和NNE向五组, 形成的先后顺序依次为NW向、近SN向、NE向、NNE向和近EW向, 其中, 近SN向、NE向和NW向三组断裂是研究区的主要控矿构造, 控制着相应矿体的产出。不同方向的断裂交汇部位以及不同方向的各主干断裂与其旁侧次一级的派生分支断裂交汇部位, 往往是成矿的有利部位<sup>[6-7,18-20]</sup>。根据矿化带的空间展布特征, 将研究区划分为东矿段和西矿段。东矿段矿化带总体展布方向为NE向, 是研究区最主要的矿化带, 代表性矿体有Au1、Au9、Au15等。西矿段矿化带总体展布方向为近SN向, 代表性矿体有Au29、Au30、Au31等(图3(a))。



1. 第四系; 2. 下三叠统江里沟组; 3. 花岗闪长斑岩; 4. 石英闪长玢岩; 5. 石英闪长岩; 6. 金矿体及编号; 7. 缓倾斜矿体投影及编号; 8. 断裂及编号; 9. 深部钻孔及编号

图3 早子沟金矿地质简图(a)及83勘查线剖面(b)<sup>[17]</sup>

Fig. 3 Geological sketch of Zaozigou gold deposit (a) and profile of No. 83 exploration line (b)<sup>[17]</sup>

#### 1.2.2 地球化学特征

甘肃省地质矿产局地球化学探矿队和甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院先后在早子沟开展了1:20万<sup>[15]</sup>、1:5万<sup>[16]</sup>水系沉积物测量和1:1万土壤测量地球化学特征<sup>[21]</sup>。1:20万水系沉积物测量<sup>[15]</sup>显示异常组合元素主要为Sb、Au, 具有中、外浓度分带, 异常衬度较高, 规模较大; 1:5万水系沉积物测量<sup>[16]</sup>对1:20万化探异常进行了浓缩, 异常重现性好, 异常主元素为Au、Sb, 伴生有As、Hg、W元素异常, Au、Sb元素异常浓集中心明显, 且重合度高, 均具内、中、外带, 与已知矿带基本吻合。1:1万土壤测量地球化学特征<sup>[21]</sup>显示异常组合元素主要为Au、Sb、Ag、Hg, 总体上Au元素与Sb、As、Hg、Ag、Cu元素具有正相关性, 特别是Au、Sb元素组合是矿区找金的直接地球化学标志,

Au、As、Hg、Sb元素异常是近矿异常组合, 尤其Hg元素具有更强的活动性和挥发性, 常是中低温矿床的典型头晕元素。

## 2 样品采集与测试

2019年, 中国地质调查局发展研究中心联合甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院在早子沟金矿83勘查线十二中段(2660 m标高)实施坑内钻孔SK8314, 倾角85°, 方位137°。钻孔SK8314见矿情况较好, 共发现并圈定金矿体42条, 累计视厚度181.23 m, 单工程视厚度0.8~19.57 m, 平均品位0.82~6.61 g/t; 锑矿体13条, 累计视厚度20.00 m, 单工程视厚度0.80~4.00 m, 平均品位2.37%~33.82%(图3(b))。

本次研究对钻孔 SK8314 进行了系统的原生晕样品采集,每 3 ~ 5 m 取一件样品,共采集样品 411 件,单个样品重量大于 200 g。测试由自然资源部兰州矿产资源检测中心完成,分析 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、W、Sn、Mo、Cd、Co、Cr、Ni 等 16 种元素,依据相关标准规范拟定了分析配套方案<sup>[22-23]</sup>,其中 Au 元素采用泡沫塑料吸附 - 电感耦合等离子体质谱法(P-ICP-MS)分析,分析仪器为电感耦合等离子体质谱仪(NEXION300X); W、Mo、Bi、Cd 采样等离子体质谱法(ICP-MS)分析,分析仪器为电感耦合等离子体质谱仪(Xseries2 ICP-MS); Ag、Sn 元素采用发射光谱法测定法分析,分析仪器为两米光栅摄谱仪控制器/微机平面光栅摄谱仪(WPP2); As、Sb、Hg 元素采用原子荧光光谱法(AFS)分析,分析仪器为原子荧光光度计(AFS-820、XGY1011A); Cu、Pb、Zn、Co、Cr、Ni 元素采用 X 荧光光谱法分析,分析仪器为 X 射线荧光光谱仪(ZSX Primus II),测试的 16 种元素分析配套方法正确、精密度、准确度均达到规范要求<sup>[22-23]</sup>。

### 3 原生晕特征

#### 3.1 元素的分布特征

钻孔 SK8314 元素的分布总体呈现出地层中 Cr、Co、Ni 等元素含量略高于岩体;地层中 W、Mo、Sn、Bi 等元素含量略低于岩体;1 521 ~ 2 001 m, Cr、Co、Ni 等元素含量整体偏高,Cr + Co + Ni、Cr · Co · Ni 元素组合明显高于其他地层,主要岩性有泥质板岩、含砂泥微晶灰岩、微晶白云岩、砂屑灰岩、板状千枚岩等。钙质、碳质成分增多,岩石有钙质、碳质聚集形成的深细条纹。该段 Cr、Co、Ni 等元素整体偏高可能是由于钙质、碳质成分增多所致。矿体附近 Au、Ag、As、Sb、Hg 等元素整体为高异常,与矿体对应较好。岩性总体上有以下特征:孔深 0 ~ 850 m,以(黑云母)石英闪长玢岩为主;孔深 850 ~ 1 000 m(黑云母)石英闪长玢岩与板岩交替出现孔深 1 000 ~ 1 300 m 以(黑云母)板岩为主,含砂质条带;1 300 m 以深为板岩夹砂质白云岩、泥晶灰岩(图 4)。

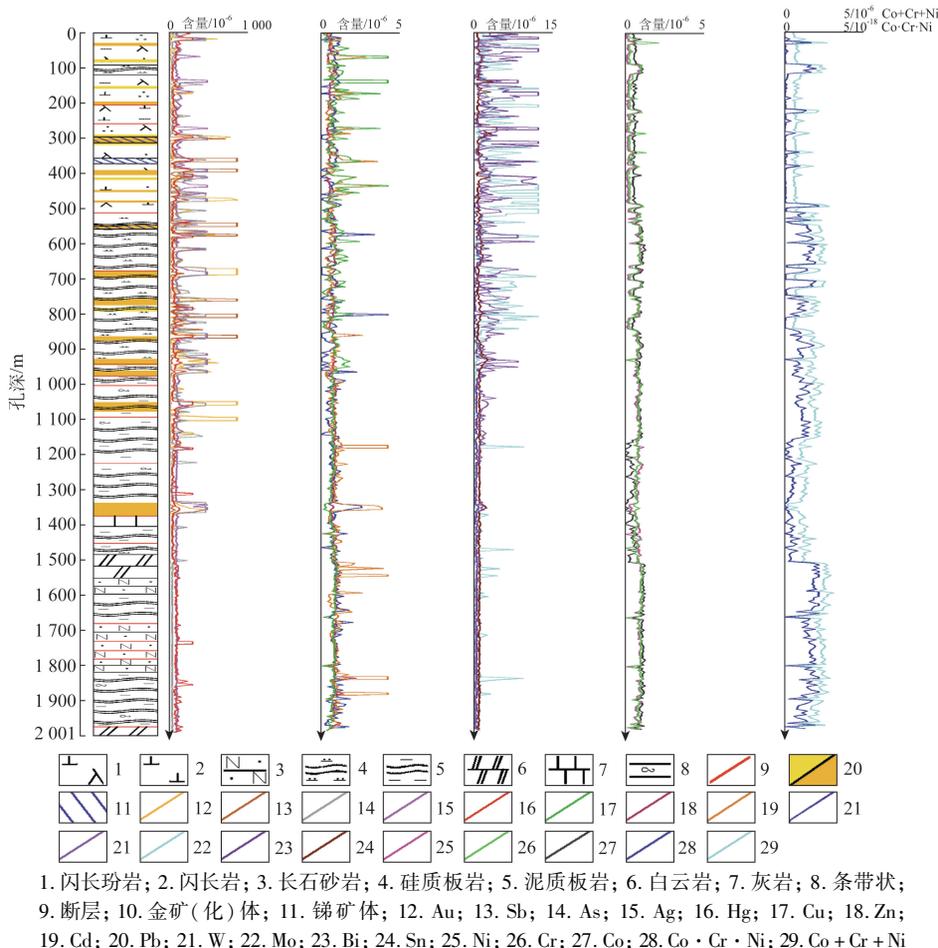


Fig. 4 Primary halo curve of drilling hole SK8314

### 3.2 原生晕分带序列

本文采用迭代剔除法确定异常下限,将标准化处理的数据以均值  $X \pm 3$  倍标准差  $S$  进行检验,若数据符合则进入下一轮计算,直至数据全部落入均值  $X \pm 3$  倍标准差  $S$  范围内。将求得的平

均值  $X$  作为背景值,  $X \pm 3S$  作为异常下限。采用 3 级浓度分带标准<sup>[24-26]</sup>,以异常下限的 1 倍、2 倍、4 倍作为各个元素的外带、中带、内带,结合地质特征和矿体在空间上的分布将浓度分带见表 1。

表 1 早子沟金矿床各元素浓度分带阈值

Tab.1 Thresholds of element concentration zoning in Zaozigou gold deposit

分带	$\omega(\text{Au})/10^{-9}$	$\omega_B/10^{-6}$											
		As	Sb	Hg	Co	Cu	Pb	Zn	Sn	Ag	Mo	W	Bi
外带	15	101	126	93	27	161	40	159	12	0.4	5	37	4
中带	30	202	252	187	54	321	80	319	24	0.8	9	73	9
内带	60	404	505	373	108	643	160	637	48	1.6	18	146	18

本文采用改进后的格里戈良法进行原生晕分带序列的计算。为了进一步确定元素在同一标高分带序列中的具体位置,通过成矿成晕元素分带指数(表 2),初步确立原生晕分带序列: Cu - Bi - Th - U、Sb - Ag - Mo、Au - W、As、Sn、Zn - Cd、Hg - Co - Ni - Pb - Cr。由于同一高程上可能出现多个元素分带指数的最大值,它们在分带序列中的更确

切位置则由变异性指数及变异性指数梯度差来确定:当两个以上元素的分带指数最大值同时位于剖面的最上截面或最下截面时,用变异性指数来进一步确定它们相对顺序位置,值大者排在相对前的位置;当两个以上元素的分带指数最大值同时位于中部截面时,用变异性指数梯度差来确定相对顺序位置,值大者排在相对前的位置<sup>[9]</sup>。

表 2 早子沟金矿钻孔 SK8314 成矿成晕元素分带指数

Tab.2 Element zoning indexes of minerlization and halo in drilling hole SK8314 in Zaozigou gold deposit

孔深/m	Au	As	Sb	Hg	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Sn	Ag	Mo	Cd	W	Bi
285.8	0.005	0.014	0.003	0.055	0.026	0.095	0.025	0.047	0.169	0.083	0.071	0.023	0.036	0.021	0.148	0.036
570.8	0.023	0.093	0.028	0.051	0.021	0.072	0.025	0.025	0.139	0.076	0.061	0.033	0.048	0.019	0.155	0.020
855.8	0.026	0.094	0.023	0.038	0.025	0.062	0.043	0.025	0.165	0.102	0.058	0.020	0.029	0.012	0.184	0.008
1 140.8	0.023	0.104	0.009	0.041	0.026	0.067	0.055	0.019	0.180	0.122	0.064	0.028	0.005	0.016	0.149	0.009
1 425.8	0.004	0.020	0.004	0.039	0.013	0.070	0.072	0.046	0.231	0.157	0.084	0.020	0.005	0.026	0.094	0.010
1 710.8	0.001	0.004	0.002	0.057	0.033	0.087	0.076	0.050	0.253	0.157	0.080	0.016	0.010	0.029	0.052	0.011
2 000.8	0.001	0.003	0.001	0.078	0.040	0.077	0.077	0.052	0.241	0.175	0.073	0.016	0.009	0.027	0.043	0.010

因此,确认原生晕分带序列从上至下为 Bi - U - Th - Cu - Mo - Sb - Ag - Au - W - As - Sn - Zn - Cd - Pb - Cr - Ni - Co - Hg,与我国典型金矿床指示元素分带序列 B - As - Hg - F - Sb - Ba(前缘元素)→Pb - Ag - Au - Zn - Cu(近矿元素)→W - Bi - Mo - Mn - Ni - Cd - Co - Ti(尾晕元素)对比,可以看出尾晕元素 Bi 和近矿晕元素 Cu 位于分带序列前缘晕位置,Pb、Zn 元素位于分带序列尾晕位置,表明矿体具有多期成矿叠加特征,深部可能存在盲矿体。

含矿性评价的定量化指标。通常,在矿体附近前两类比值会出现较大的波动和峰值;而后两类比值强化了前缘晕的变化特征,从矿体头部到尾部一般呈现逐渐减小的规律,高值往往反映的是矿体的上部<sup>[27-28]</sup>。

### 3.3 原生晕地球化学参数特征

为了探索深部找矿潜力,选择  $(\text{Pb} \cdot \text{Zn})/(\text{Bi} \cdot \text{Mo})$  值、 $(\text{Pb} \cdot \text{Zn})/(\text{Au} \cdot \text{Ag})$  值和  $(\text{As} + \text{Sb})/(\text{Bi} + \text{Mo})$  值、 $100 \cdot \text{Sb}/(\text{Bi} \cdot \text{Mo})$  值作为深部

钻孔 SK8314 地球化学参数比值  $(\text{Pb} \cdot \text{Zn})/(\text{Bi} \cdot \text{Mo})$ 、 $(\text{Pb} \cdot \text{Zn})/(\text{Au} \cdot \text{Ag})$ 、 $(\text{As} + \text{Sb})/(\text{Bi} + \text{Mo})$ 、 $100 \cdot \text{Sb}/(\text{Bi} \cdot \text{Mo})$  整体呈波动变化,表明发生过多期矿体叠加作用,表明孔深 20 m、400 m、500 m、700 m、1 000 m、1 350 m 等区域是成矿的有利地带。同时孔深 1 850 m 以下,随着深度的增大,地球化学参数  $(\text{As} + \text{Sb})/(\text{Bi} + \text{Mo})$ 、 $100 \cdot \text{Sb}/(\text{Bi} \cdot \text{Mo})$  比值呈现逐渐增大的趋势,指示深部可能存在盲矿体,依然具有较大的找矿空间(图 5)。

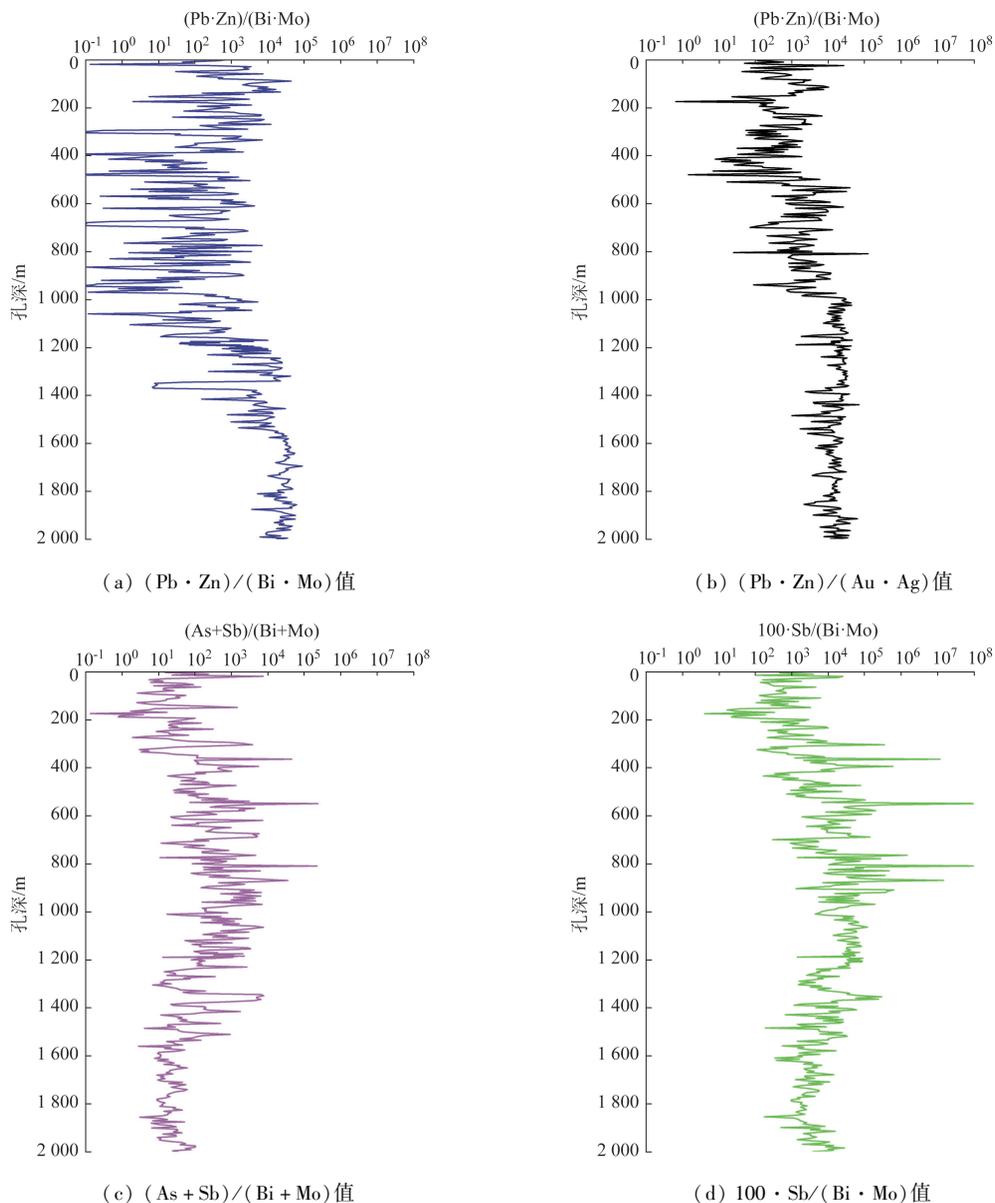


图 5 早子沟金矿原生晕地球化学参数

Fig. 5 Geochemical parameters of primary halo in Zaozigou gold deposit

## 4 结论

(1)早子沟金矿区域上自北向南元素具有明显的组分分带特征,即由中高温向中低温元素组合过渡,而且呈现出夏河—合作断裂以南剥蚀程度较弱,深部找矿空间较大。

(2)SK8314 钻孔原生晕轴向分带序列为 Bi - Cu - Mo - Sb - Ag - Au - W - As - Sn - Zn - Cd - Pb - Cr - Ni - Co - Hg,可以看出尾晕 Bi 元素和近矿晕 Cu 元素位于分带序列前缘晕位置,近矿晕

Pb、Zn 元素位于分带序列尾晕位置,表明矿体具有多期成矿叠加特征。

(3)钻孔 SK8314 的地球化学参数比值显示早子沟金矿发生过多期矿体叠加作用,同时孔深 1 850 m 以下,随着深度的增大, $(As + Sb)/(Bi + Mo)$  值和  $100 \cdot Sb/(Bi \cdot Mo)$  值呈现逐渐增大的趋势,指示深部可能存在盲矿体,依然具有较大的找矿空间。

**致谢:** 感谢甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院各位同仁在工作期间提供的诸多帮助;感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见和建议。

## 参考文献(References):

- [1] 杜宛鸽,严康,高永宝,等.西秦岭花崖沟一带金矿找矿新进展[J].中国地质调查,2024,11(1):9-15.  
Du W G, Yan K, Gao Y B, et al. New progress of gold mineral prospecting in Huayagou area of West Qinling[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(1): 9-15.
- [2] 刘彦良,高雅,罗维斌,等.西秦岭温泉-中川一带金属矿床的成矿规律及找矿预测[J].中国地质调查,2018,5(4):40-49.  
Liu Y L, Gao Y, Luo W B, et al. Metallogenic regularity and prospect prediction of metallic deposits in Wenquan-Zhongchuan area of western Qinling[J]. Geological Survey of China, 2018, 5(4): 40-49.
- [3] 李康宁,贾儒雅,李鸿睿,等.西秦岭早子沟金矿黑云母成分特征及成岩成矿指示意义[J].岩石矿物学杂志,2022,41(5):865-879.  
Li K N, Jia R Y, Li H R, et al. Composition characteristics of biotite and its implications for diagenesis and mineralization in Zaozigou gold deposit, western Qinling[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2022, 41(5): 865-879.
- [4] 第鹏飞.西秦岭夏河-合作早子沟金矿床地球化学特征及成矿机制研究[D].兰州:兰州大学,2018.  
Di P F. Geochemistry and Ore-Forming Mechanism on Zaozigou Gold Deposit in Xiahe-Hezuo, West Qinling, China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [5] 王涛.甘肃夏河-合作矿集区早子沟金矿成矿作用与找矿预测地质模型研究[D].北京:中国地质大学(北京),2018.  
Wang T. Research on Mineralization and Geological Model of Prospecting and Prediction of the Zaozigou Gold Deposit in the Xiahe-Hezuo Ore Concentration Area, Gansu Province, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [6] 梁志录,陈国忠,麻红顺,等.西秦岭早子沟金矿控矿断裂形成演化[J].大地构造与成矿学,2016,40(2):354-366.  
Liang Z L, Chen G Z, Ma H S, et al. Evolution of ore-controlling faults in the Zaozigou gold deposit, western Qinling[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40(2): 354-366.
- [7] 刘春先,陈耀宇,雒晓刚,等.甘肃合作早子沟特大型金矿床主矿带、主矿体特征及勘查、研究意义剖析[J].矿产与地质,2018,32(6):969-977.  
Liu C X, Chen Y Y, Luo X G, et al. Study on characteristics and exploration significance of main ore belt and orebody of Zaozigou super large gold deposit in Hezuo, Gansu[J]. Mineral Resources and Geology, 2018, 32(6): 969-977.
- [8] 陈国忠,梁志录,王建龙,等.甘肃合作早子沟金矿原生叠加晕特征及深部预测[J].物探与化探,2014,38(2):268-277.  
Chen G Z, Liang Z L, Wang J L, et al. Characteristics and deep prediction of primary superimposed halos in the Zaozigou gold deposit of Hezuo, Gansu Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2): 268-277.
- [9] 林成贵,程志中,吕志成,等.甘肃省早子沟金矿原生晕分带特征及深部找矿预测[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(1):70-84.  
Lin C G, Cheng Z Z, Lü Z C, et al. Characteristics of primary halo zonation and deep ore prediction in Zaozigou gold deposit, Gansu Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2020, 50(1): 70-84.
- [10] 李康宁,贾儒雅,李鸿睿,等.西秦岭甘肃夏河-合作地区与中酸性侵入岩有关的金铜多金属成矿系统及找矿预测[J].地质通报,2020,39(8):1191-1203.  
Li K N, Jia R Y, Li H R, et al. The Au-Cu polymetallic mineralization system related to intermediate to felsic intrusive rocks and the prospecting prediction in Xiahe-Hezuo area of Gansu, West Qinling orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(8): 1191-1203.
- [11] 柳生祥,陈耀宇,刘强,等.甘肃夏河-合作金矿密集区控矿因素及资源潜力分析[J].矿床地质,2012,31(S1):757-758.  
Liu S X, Chen Y Y, Liu Q, et al. Ore-controlling factors and ore-controlling factors in Xiahe-Hezuo gold deposit intensive area, Gansu resource potential analysis[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(S1): 757-758.
- [12] 严康,韦乐乐,张建鹏,等.甘肃省根沙塘地区地球化学、地球物理特征及找矿模型[J].黄金,2020,41(8):8-12,30.  
Yan K, Wei L L, Zhang J P, et al. Geochemical and geophysical characteristics and prospecting model of Genshatang area, Gansu Province[J]. Gold, 2020, 41(8): 8-12, 30.
- [13] 秦江锋.秦岭造山带晚三叠世花岗岩类成因机制及深部动力学背景[D].西安:西北大学,2010.  
Qin J F. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt[D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- [14] 刘伯崇,李康宁,史海龙,等.西秦岭甘青交界一带晚三叠世火山岩岩石成因及构造指示意义[J].现代地质,2018,32(4):704-717.  
Liu B C, Li K N, Shi H L, et al. Petrogenesis and tectonic implications of late triassic volcanic rocks at the Gansu-Qinghai junction in the West Qinling mountains[J]. Geoscience, 2018, 32(4): 704-717.
- [15] 王忠良.合作幅I-48-(7)地区化学图说明书[R].甘肃省地质矿产局地球化学探矿队,1988.  
Wang Z L. Cooperation i-48-(7) Regional Chemical Diagram Description[R]. Geochemical Prospecting Team of Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, 1988.
- [16] 齐建宏,李注苍,杨志勇,等.甘肃省合作-美武一带1:5万矿产远景调查报告[R].甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院,2022.  
Qi J H, Li Z C, Yang Z Y, et al. Gansu Province Cooperation - Meiwu Area 1:50,000 Mineral Prospect Survey Report[R]. The Third Geological and Mineral Exploration Institute of Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, 2022.
- [17] 李康宁,程志中,李鸿睿,等.西秦岭早子沟金矿中酸性侵入岩地球化学、年代学特征及成矿地质体的确定[J].岩石矿物

学杂志,2023,42(2):205-219.

Li K N, Cheng Z Z, Li H R, et al. Geochemical and chronological characteristics of intermediate - acid intrusive rocks in Zaozigou gold deposit, western Qinling, and the determination of metallogenic geological body [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2023, 42(2):205-219.

- [18] 李康宁,李鸿睿,贾儒雅,等. 甘肃早子沟金矿“三位一体”找矿预测地质模型的构建[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(6):1397-1408.

Li K N, Li H R, Jia R Y, et al. Construction of the geological model of “trinity” prospecting prediction in Zaozigou gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(6):1397-1408.

- [19] 陈国忠,梁志录,麻红顺,等. 甘肃省合作市早子沟金矿床地质模型的建立及资源总量估算[J]. *西北地质*, 2013, 46(4):173-181.

Chen G Z, Liang Z L, Ma H S, et al. The establishment of geological model and total resources estimate of the Zaozigou gold deposit, Hezuo, Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(4):173-181.

- [20] 陈国忠,李康宁,张愿宁,等. 早子沟金矿流体包裹体特征及矿床成因[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(S1):1-2.

Chen G Z, Li K N, Zhang Y N, et al. Characteristics of fluid inclusions and genesis of Zaozigou gold deposit [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2015, 45(S1):1-2.

- [21] 李康宁,李鸿睿,严康,等. 甘肃省玛曲—合作整装勘查区深部找矿预测与钻探工程项目成果报告[R]. 甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院, 2020.

Li K N, Li H R, Yan K, et al. Gansu Province Maqu - Cooperative Integrated Exploration Area Deep Prospecting Prediction and Drilling Project Results Report [R]. *The Third Geological and Mineral Exploration Institute of Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources*, 2020.

- [22] DZ/T 0011—2015 地球化学普查规范(1:50 000) [S].

DZ/T 0011—2015 Specification of geochemical reconnaissance survey (1:50 000) [S].

- [23] DZ/T 0130.4—006 地质矿产实验室测试质量管理规范 第4部分:区域地球化学调查(1:50 000和1:200 000)样品化学成分分析[S].

DZ/T 0130.4—2006 The specification of testing quality management for geological laboratories: Part 4: chemical component analysis of regional geochemical samples (for 1:50,000 and 1:200,000 geochemical mapping) [S].

- [24] 刘崇民,马生明,胡树起. 金属矿床原生晕勘查指标[J]. *物探与化探*, 2010, 34(6):765-771.

Liu C M, Ma S M, Hu S Q. A study of primary halo exploration indexes for metallic ore deposits [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2010, 34(6):765-771.

- [25] 李惠,禹斌,李德亮,等. 化探深部预测新方法综述[J]. *矿产勘查*, 2010, 1(2):156-160.

Li H, Yu B, Li D L, et al. Summary of new methods on deep prediction of geochemical exploration [J]. *Mineral Exploration*, 2010, 1(2):156-160.

- [26] 李惠,张国义,禹斌,等. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. *地学前缘*, 2010, 17(1):287-293.

Li H, Zhang G Y, Yu B, et al. Structural superimposed halos method for prospecting blind ore - body in the deep of ore - districts [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(1):287-293.

- [27] 严康,王滔,韦乐乐,等. 甘肃大水金矿原生晕特征及深部矿体预测[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(6):1444-1452.

Yan K, Wang T, Wei L L, et al. Primary halo feature and deep orebody prediction of Dashui gold deposit in Gansu province [J]. *Mineral Exploration*, 2019, 10(6):1444-1452.

- [28] 李惠,张文华,刘宝林,等. 金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则[J]. *地质与勘探*, 1999, 35(6):41-44.

Li H, Zhang W H, Liu B L, et al. Ideal model and principle of staching structure of axial geochemical parameter of gold deposit [J]. *Geology and Exploration*, 1999, 35(6):41-44.

## Application and enlightenment of the geochemical exploration in Zaozigou gold deposit

YAN Kang<sup>1,2</sup>, TANG Yuanhe<sup>1,2</sup>, GUO Wendi<sup>1,2</sup>, ZHANG Rui<sup>1,2</sup>, LI Kangning<sup>3</sup>, XU Yongli<sup>3</sup>

(1. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Shaanxi Xi'an 710100, China; 2. Technology Innovation Center for Gold Ore Exploration, China Geological Survey, Shaanxi Xi'an 710100, China; 3. The Third Geological and Mineral Exploration Institute of Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, Gansu Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Zaozigou gold deposit is located in the northwest of West Qinling orogenic belt, with well - developed vegetation and poor bedrock outcropping. The geochemical exploration is one of the most effective exploration methods in the region. On the basis of systematically combing the geochemical characteristics of 1:200,000 and 1:50,000 water sediment measurements and 1:10,000 soil measurements of Zaozigou gold deposit, the authors

found that Au has a positive correlation with Sb, As, Hg, Ag and Cu, combined with the characteristics of the primary halo of the deep borehole SK8314. Especially, the combination of Au and Sb is a direct geochemical marker for gold prospecting. The deep primary halo zoning sequence is Bi - Cu - Mo - Sb - Ag - Au - W - As - Sn - Zn - Cd - Pb - Cr - Ni - Co - Hg, and Bi is located in the leading halo of the zoning sequence. Cu is located in the leading halo of the zoning sequence, and Pb and Zn are located in the tail halo of the zoning sequence, indicating that the ore body has the characteristics of multi - stage metallogenic superposition, probably with blind ore body in the depth. At the same time, the ratios of geochemical parameters  $(As + Sb)/(Bi + Mo)$  and  $100 \cdot Sb/(Bi \cdot Mo)$  gradually increased with the increasing depth at hole SK8314 below 1 850 m, indicating blind ore bodies in the deeper part and a large prospecting space. The research results could provide some references for deep and peripheral prospecting in Zaozigou.

**Keywords:** water sediment measurement; soil measurement; primary halo; Zaozigou gold deposit

(责任编辑: 王晗)