



河南卢氏苇园沟金矿区地球化学特征与找矿前景分析

唐汪忠, 贾志超, 赵常亮, 张书铭, 彭琼斌

河南省地质矿产勘查开发局第四地质勘查院, 河南 郑州 450000

摘 要: 河南卢氏苇园沟金矿区位于华北陆块南缘北秦岭多金属成矿带, 出露地层主要为宽坪岩群, 瓦穴子断层及其次级断裂横贯矿区, 是该区主要控矿构造, 区内变质变形作用强烈。在矿区地质特征、矿区地球化学特征研究的基础上, 通过元素相关性分析、地球化学元素分布与构造展布研究, 发现异常和金矿(化)体与构造在空间上对应关系较好, 异常范围有一定位移; 宽坪岩群有利于成矿, 对岩性具一定选择性。根据元素组合特征判断矿床总体剥蚀较浅。综合认为研究区 Au 元素单一富集, 主成矿元素 Au 与其他元素相关性较低; Au 元素异常主要围绕断裂带分布, 金矿(化)体展布严格受构造控制, 研究区具较大可能形成单一元素金矿床。

关键词: 金矿床; 地球化学; 成矿规律; 找矿标志; 宽坪岩群; 河南省

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTING POTENTIAL OF WEIYUANGOU GOLDFIELD IN LUSHI COUNTY, HENAN PROVINCE

TANG Wang-zhong, JIA Zhi-chao, ZHAO Chang-liang, ZHANG Shu-ming, PENG Qiong-bin

No. 4 Geological Exploration Institute, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhengzhou 450000, China

Abstract: Weiyuangou goldfield of Lushi County, Henan Province, is located in the North Qinling polymetallic metallogenic belt on the southern margin of North China Block, where Kuanping rock group is dominantly exposed. Waxuezi fault and its secondary faults crossing the orefield are the main ore-controlling structures in the area, with strong metamorphism and deformation. Based on the geological and geochemical characteristics of the area, through the element correlation analysis, geochemical element distribution and structural distribution, it is found that the anomalies and gold ore/mineralized bodies are well corresponded to the structure in space, but the anomaly range has a certain displacement. The Kuanping rock group is favorable to mineralization, with certain lithological selectivity. It is considered that the overall denudation of the deposit is shallow according to the element combination characteristics. From above, it is concluded that there is a single enrichment of Au in the area, and the correlation between the main ore-forming element Au and other elements is low. The Au anomalies are mainly distributed around the fault zone. The distribution of gold ore/mineralized body is strictly controlled by structure. Single element gold deposits are possibly formed in the study area.

Key words: gold deposit; geochemistry; metallogenic regularity; prospecting indicator; Kuanping rock group; Henan Province

收稿日期: 2023-03-10; 修回日期: 2023-04-24. 编辑: 李兰英.

基金项目: 河南省自然资源厅项目“河南省卢氏县苇园沟金属矿普查”(豫自然资发[2022]22号).

作者简介: 唐汪忠(1974—), 男, 高级工程师, 现主要从事地质矿产勘查工作, 通信地址 河南省郑州市高新技术开发区科学大道 81 号地质科技大厦,

E-mail/418961648@qq.com

0 引言

苇园沟金矿区地处河南省卢氏县官坡镇北东 1 km, 地理坐标: 东经 $110^{\circ}44'33''$ — $110^{\circ}46'28''$, 北纬 $33^{\circ}52'22''$ — $33^{\circ}53'47''$ 。大地构造位于华北陆块南缘之秦岭褶皱系之秦岭北部褶皱带(图 1), 区域上具长期、复杂的构造演化历史和变质变形特征。瓦穴子断裂横贯苇园沟矿区中部, 是长期活动的深大断裂, 沿断裂在河南境内西部分布有卢氏县涧北沟金矿、双河金矿、桃花沟金矿、东茄子沟金矿、马连金矿等多个金矿区。据区域 1:20 万水系沉积物地球化学测量^[1-2], 瓦穴子断裂存在明显异常的元素有 Au、As、Sb、Li、Bi、B、Sr、Ti、MgO、 Fe_2O_3 等 10 项。与苇园沟矿区有关的 1:5 万水系沉积物地球化学综合异常有 2 个: 1) Au、V、Pb 综合异常, 位于官坡镇东湾一带, 异常面积 1.83 km^2 , Au 最高含量 4.07×10^{-9} , 在该异常内发现 Au2-1 矿化体; 2) Au、Ag、Pb、As 综合异常, 异常面积 0.83 km^2 , 位于龙潭沟附近, Au 最高含量 12.20×10^{-9} , Pb 最高含量 124.0×10^{-6} 。2 个综合异常位于同一断裂带, 均应为矿致异常。

根据区域成矿理论, 苇园沟矿区采用传统的“化探扫面+地表揭露+稀疏钻探验证”找矿模式^[3]。通过 1:5 000 土壤地球化学测量, 按 30° 方位(大致垂直区域断裂)、线距 150 m、点距 20 m 布设测线, 分析本区的地球化学特征来指导找矿, 同时也为秦岭北部构造带相似成矿地质条件的找矿与化探异常评价提供参考。

1 区域地质背景

苇园沟金矿区位于北秦岭多金属成矿带。以黑沟-栾川断裂和朱夏(朱阳关-夏馆)断裂为界, 由北而南划分为华北陆块、秦岭北部构造带和秦岭南部构造带 3 个二级构造单元。秦岭北部构造带以瓦穴子断裂为界分为六里坪-小沟河岩片和官坡-汤河岩片^[4]。区域构造格架以近东西向展布的瓦穴子断裂及其近平行分布的次级断裂为主, 严格控制区域地层、岩浆岩和矿产分布。

区域出露地层主要有古元古界秦岭岩群、中新元古界峡河岩群、宽坪岩群、下古生界二郎坪岩群及柿树园组, 总体特点为一套中浅变质的碎屑岩、火山岩建造。研究区处于六里坪-小沟河岩片构造单元, 主要由宽坪岩群^[5-7]组成(图 1), 总体呈北西西向展布。宽坪岩群斜长角闪(片)岩类分两类, 一类分布在广东坪岩

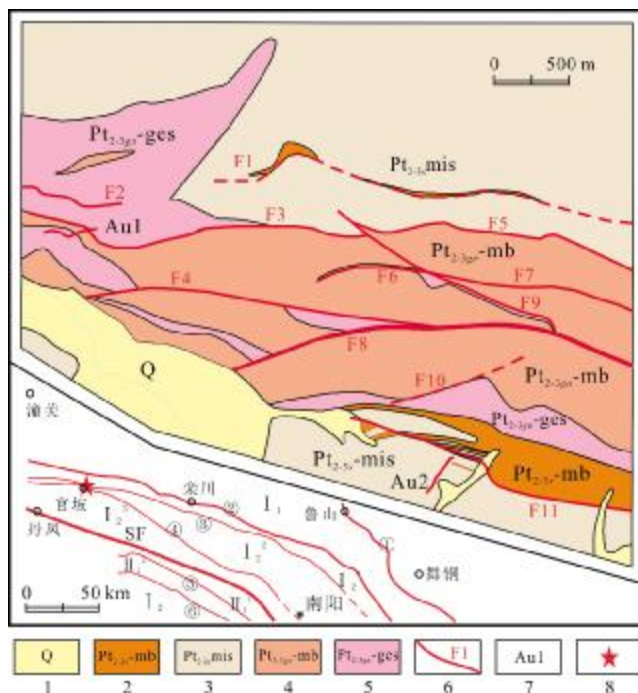


图 1 苇园沟矿区地质构造简图

Fig. 1 Geological and structural map of Weiyuanguo orefield
1—第四系 (Quaternary); 2—宽坪岩群四岔口岩组大理岩 (marble of Sichakou rock fm., Kuanping rock gr.); 3—四岔口岩组二云(黑云)石英片岩 (two-mica/biotite quartz schist of Sichakou rock fm.); 4—宽坪岩群广东坪岩组石英大理岩 (quartz marble of Guangdongping rock fm., Kuanping rock gr.); 5—广东坪岩组阳起绿泥片岩 (actinolite chlorite schist of Guangdongping rock fm.); 6—断层 (fault); 7—含金多金属矿(化)带 (gold-bearing polymetallic ore/mineralized belt); 8—矿区位置 (orefield); I—华北板块 (North China Plate); I₁—华北陆块南缘(south margin of North China block); I₂—北秦岭构造带 (northern Qinling tectonic belt); I₂¹—宽坪构造岩片(Kuanping tectonic slice); I₂²—二郎坪构造岩片 (Erlangping tectonic slice); I₂³—秦岭构造岩片 (Qinling tectonic slice); II—扬子板块 (Yangtze plate); II₁—南秦岭构造带 (southern Qinling tectonic belt); II₁¹—信阳构造岩片 (Xinyang tectonic slice); II₁²—陡岭构造岩块(Douling tectonic block); II₂—扬子陆块北缘 (north margin of Yangtze block); SF—板块主缝合带 (商丹断裂)(plate suture zone, Shangdan fault); ①—三门峡-鲁山断裂 (Sanmenxia-Lushan fault); ②—黑沟-栾川断裂 (Heigou-Luanchuan fault); ③—瓦穴子断裂 (Waxuezi fault); ④—朱夏断裂 (Zhuxia fault); ⑤—木家堰-西峡断裂 (Mujiaya-Xixia fault); ⑥—黄风垭断裂 (Huangfengya fault)

组中, 岩性主要为绿帘钠长阳起片岩、绿帘斜长角闪片岩、斜长角闪岩, 在 SiO_2 -(FeO/MgO)图解上, 样品投在大洋拉斑玄武岩区或岛弧拉斑玄武岩区附近, 成分多在钙碱性火山岩与拉斑玄武岩界线附近, 其形成环境应为大洋环境^[8]; 另一类主要分布在四岔口岩组^[9]中,

其成层性差,延伸不稳定,与二云石英片岩、大理岩等共生,为含钙质泥灰岩变质而成.宽坪岩群变质变形较复杂,峰期变质程度达高绿片岩相-低角闪岩相,面理置换强烈^[10-11],至少经历了3次变形,由顺层固流变形→片理褶皱变形→断裂变形阶段.

瓦穴子断裂由数条近平行断裂面组成,具多期活动特征:加里东中早期,应为一条较大规模的拉张性断裂,与二郎坪弧后盆地形成相关;海西早期,为右行走滑韧性剪切带,与秦岭板块向华北板块之下俯冲有关,使弧后盆地转化为活动陆缘岛弧;印支末期,为拉张型脆性断裂带;至燕山晚期,形成为目前规模较大的挤压逆冲带^[12].深大断裂往往为金矿形成提供热源动力和通道,并将成矿物质运移至次级断裂中.瓦穴子断裂多期活动,一方面使成矿物质不断地从地质体中析出迁移,另一方面也将地壳深部的成矿物质带到浅部并在次级构造中富集成矿.沿瓦穴子断裂分布的岩体呈线状展布,变形强烈,以中酸性岩株、岩枝侵入为主,活动强烈而频繁,也为成矿提供了充足的热源和运移动力^[13-16],成矿地质条件十分有利.

2 矿区地质特征

2.1 基本地质特征

矿区内出露地层主要为宽坪岩群,F3与F10挟持区域主要出露广东坪岩组,岩性主要有斜长角闪片岩、绿泥阳起片岩、二云石英片岩、石英大理岩等.矿区南、北均为四岔口岩组,岩性主要为黑云石英片岩,夹薄层状石英大理岩等(图1).岩组内普遍见有变质分异的石英细脉,呈条带状、条纹状、鱼群状、钩状等沿片理产出,并与片理一致形成塑性同步褶皱.区内构造发育,断裂主要有2组,一组总体呈280~310°方向展布,主要有F1、F2、F3、F4、F5、F7、F9、F11等,控制了矿化带及矿体的展布;另一组呈30~55°方向展布,主要有F6、F8、F10等,均为瓦穴子断裂的次级断裂(图1).受瓦穴子深大断裂影响,区内岩石揉皱强烈,节理发

育.区内未见岩浆岩及脉岩出露.

2.2 矿(化)体特征

卢氏苇园沟一带在研究工作开展前为找矿空白区,通过矿区土壤地球化学测量成果分析及异常查证,共发现5条含矿构造带,其中Au1、Au2两条含矿构造规模较大.通过进一步实施槽探工程控制,在综合异常区内圈定Au1-1和Au2-1两个金矿(化)体,其矿化特征如下:

Au1-1矿(化)体:位于矿区西部HT4综合异常带内,严格受Au1含矿构造带控制,是F3断裂的次级构造.地表断续出露约220 m,视厚度0.8~1.5 m,走向近东西,北倾,倾角65°,Au品位 $0.81\times10^{-6}\sim3.46\times10^{-6}$.矿石类型以蚀变岩夹石英网脉型为主,石英内残留黄铁矿风化后形成的孔洞,多见褐铁矿.矿石矿物为黄铁矿,极少量方铅矿等.脉石矿物主要为斜长石、石英、黑云母等.通过矿石光谱全分析(表1),伴生有用组分主要为Ag、Pb.矿(化)体与顶底板围岩界线较清晰,有断层角砾或断层泥发育,主要蚀变为黄铁绢英岩化、强硅化、绿泥石化、绢云母化、绿帘石化、褐铁矿化.

Au2-1矿(化)体:赋存于Au2含金构造带内,为F11断裂的次级构造,位于矿区东部HT11综合异常带上游.Au2构造带总体呈舒缓波状起伏,带内黑云石英片岩表现为强烈揉皱,多呈紧闭褶皱、鞘褶皱等形态,地表断续出露长度300 m,宽0.5~10 m,走向50°左右,北西倾,倾角55°.矿(化)体地表断续出露约150 m,视厚度0.24~1.38 m,Au品位 $1.87\times10^{-6}\sim6.46\times10^{-6}$,矿石类型以黄铁绢英岩化蚀变岩型为主,严格受Au2构造带控制.顶底板氧化程度较高,呈灰一灰黑色,矿石矿物为黄铁矿,脉石矿物主要为长石、石英、云母,主要蚀变为黄铁矿化、弱硅化、绿泥石化、帘石化、镜铁矿化等.

2.3 围岩蚀变

矿区内宽坪岩群经历了长期区域变形变质作用和动力变质作用的改造,峰期变质程度达到高绿片岩相-低角闪岩相,整体以低绿片岩相变质为主,普遍发

表1 矿石光谱全分析结果表
Table 1 Full spectrum analysis results of ore

样品号	Cu	Pb	Zn	Ag	W	Mo	Bi	Sn	Ni	Co	Mn	Ba	Cr	V	Ti	Sb	As
K2-H1	38.1	668	36.3	5.67	1.56	15.6	9.69	17.0	27.3	35.2	686	848	46.6	75.1	1569	25.0	59.2

含量单位:10⁻⁶.

育区域片状构造,主要变质矿物有白云母、黑云母、绿泥石、绿帘石,常见蚀变有弱硅化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化、高岭石化等。

野外观察发现,矿(化)体围岩蚀变总体较弱,范围较小,一般仅限于矿体顶底板 0.05~0.2 m 范围内,与金矿化有关的主要蚀变有黄铁矿化、烟灰色硅化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化和白云母化等。

3 矿区地球化学特征

3.1 元素分布特征

矿区 1:5 000 土壤地球化学测量,共采集土壤样品 1 495 件,分析了 11 种元素,经统计,W、V、Zn、Mn 元素浓集比率分别为 1.54、1.64、1.73、1.87,呈富集分布;Mo、Ag、Cu、Pb、Au、As、Sb 元素浓集比率分别为 2.12、2.20、2.32、2.39、3.38、6.47、7.22,呈强富集分布,整体上各元素富集性均较强(表 2)。

表 2 苇园沟金矿区单元素地球化学特征

Table 2 Geochemical characteristics of single element in Weiyuangou goldfield

元素	富集性	分异性	极大值	分布特征
Au	强	极强	159.2	带状,与区域断裂方向一致
Ag	强	分异	1.711	带状,北东或近东西向分布
As	强	极强	1 069.0	浓集中心分散,面状分布
Sb	强	弱	17.98	浓集中心分散,面状分布
Cu	强	弱	194.0	浓集中心分散,带状分布
Pb	强	分异	616.0	带状,北东或近东西向分布
Zn	富集	不均匀	728.0	带状,北东向分布
W	富集	不均匀	8.3	浓集中心分散
Mo	强	不均匀	3.97	不规则带状,浓集中心分散
V	富集	不均匀	342.0	不规则带状,近东西向分布
Mn	富集	弱	9 668	不规则带状,浓集中心分散

异常元素单位: Au 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} 。

Mo、Zn、V、W 元素变异系数分别为 0.33、0.37、0.41、0.46,呈不均匀分布;Cu、Mo、Sb 元素变异系数分别为 0.59、0.60、0.74,呈弱分异分布;Ag、Pb 元素变异系数均为 0.80,呈分异性分布;Au、As 元素变异系数分别为 2.48、3.19,呈极强分异分布,各元素分异性均不一致。

从表 2 可以看出,各单元素均出现较强浓集区,浓集中心分散或呈不规则带状分布,总体与断裂构造位置相关,特别是 Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn 等多种单元素浓集区总体呈近东西向展布,各单元素的富集应与断裂构造带有关。

3.2 元素相关性特征

区内 11 种元素聚类分析与相关性分析如图 2。一般在相对距离为 17 的水平下,按元素相关性可将元素分为如下 4 组。

(1) Cu-V-Mo-Mn: 以中高温元素为主,元素相关性较高,多处形成多元素叠加的浓集区。

(2) As-Pb-Zn-Ag-Sb: 以中低温元素为主,相关性较高,多处形成多元素叠加的浓集区。

(3) Au: 与 As 元素相关系数为 0.475,相关性一般,与其他元素相关系数较低,表明区内 Au 元素富集形式较为单一,含 Au 元素的组合异常较少。

(4) W: 与所有其他元素相关系数均在 0.35 以下,表明 W 元素富集形式单一,未大面积形成含 W 元素的组合异常。

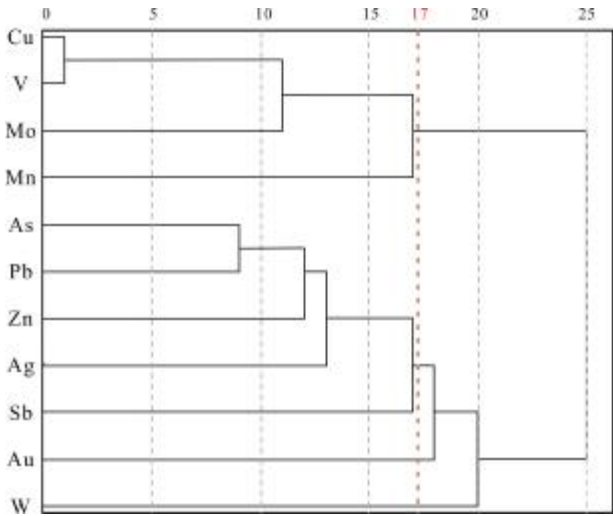


图 2 苇园沟金矿区土壤地球化学 R-型聚类分析谱系图

Fig. 2 R-type cluster analysis pedigree of soil geochemistry in Weiyuangou goldfield

为便于对矿区元素分类,利用 SPSS 软件处理现有数据,进行主成分分析,KMO 值为 0.767,适合做因子分析。元素含量旋转后的成分矩阵见表 3(提取方法:主成分分析;旋转方法:凯撒正态化最大方差法,旋转在 5 次迭代后已收敛)。主因子方差贡献值见表 4。

表 3 苇园沟金矿区旋转后的成分矩阵

Table 3 Rotated component matrix of Weiyuangou goldfield

元素	f1	f2	f3
Au		0.738	
Ag		0.505	
As		0.814	
Sb		0.705	
Cu	0.894		
Pb		0.590	0.554
Zn	0.522		0.580
W			0.786
Mo	0.672		0.531
V	0.920		
Mn	0.583		

表 4 苇园沟金矿区主因子方差贡献值

Table 4 Variance contribution values of principal factors in Weiyuangou goldfield

主因子	f1	f2	f3
特征值	2.806	2.539	1.891
方差贡献/%	25.513	23.085	17.194
累计方差/%	25.513	48.598	65.792

从表 3、4 中可以看出,以累计方差值 65.792%为准可提取 3 个主因子,其中因子 f1 代表以 V-Cu-Mo-Mn-Zn 为主的元素组合,方差贡献值 25.513%,主要为近矿元素,Cu、Zn 强异常多出现于金矿床中部偏下;因子 f2 代表以 As-Au-Sb-Pb-Ag 为主的元素组合,方差贡献值 23.085%,亦为近矿元素,主要出现于金矿床中部偏上;因子 f3 代表以 W-Zn-Pb-Mo 为主的元素组合,方差贡献值 17.194%,以 W 元素为主,主要反应金矿体下部及尾晕^[17]。

综上所述,关系较为紧密的元素有 Cu、V、Mo、Mn 等中高温元素组合及 As、Pb、Zn、Ag、Sb 等中低温元素组合,有一定找矿指示意义;而 Au、W 元素,尤其是 W 元素,与其他元素相关性相对较差。

3.3 主要单元素异常特征

根据矿区内的土壤样品分析结果,各单元素分布符合对数正态分布特征,因此对原始数据先做对数转换,逐步剔除大于 $\bar{x} \pm 3S_0$ 的数据,重新计算剩余数据的平均值($\bar{x}$)、标准离差(S_0),循环剔除 $\bar{x} \pm 3S_0$ 的数值之后,统计计算各元素数据的算术平均值($\bar{x}$)与标准离差(S_0),以 $\bar{x} + 2S_0$ 的值为主,与 92%的累积频率分位值及原始数据循环剔除后 $\bar{x} + 2S_0$ 值对比,并参考实际成图情况调整后确定异常下限等特征参数值(表 5)。

根据土壤样品分析结果,区内 11 种元素共圈出

表 5 苇园沟金矿区各元素异常下限特征值表

Table 5 Anomaly threshold eigenvalues of each element in Weiyuangou goldfield

元素	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	W	Mo	V	Mn
苇园沟金矿区极大值	159.2	1.711	1069.00	17.98	194.0	616.0	728.0	8.29	3.97	342.0	9668
苇园沟金矿区算术平均值	2.5	0.121	12.3	1.30	41.8	40.6	104.0	1.39	1.27	111.7	1073
苇园沟金矿区原始数据($\bar{X} + 2S_0$)	4.55	0.219	20.90	2.41	86.2	73.6	160.7	2.38	2.10	201.1	1965
苇园沟金矿区反对数($\bar{X} + 2S_0$)	6.48	0.237	25.90	2.60	106.3	88.1	171.3	2.73	2.37	228.6	2244
苇园沟金矿区累积(92%)	4.50	0.209	18.93	2.17	75.3	65.1	142.0	2.11	1.84	179.0	1752.9
六里坪-小沟河岩片异常下限(T) ^①	3.0	0.2	15.0	1.50	60.0	60.0	160.0	4.00	2.0	160.0	1500
1:5 万龙驹街幅异常下限(T) ^①	5.0	0.2	20.0	2.0	60.0	60.0	160.0	4.00	2.0	150.0	1500
卢氏地区宽坪岩群算术平均值 ^①	8.82	0.1	5.48	0.62	42.7	35.4	106	2.75	1.05	105.8	818.6
苇园沟金矿区异常下限(T)	4.5	0.21	20.0	2.3	80.0	60.0	160.0	2.50	2.0	180.0	1800

异常元素单位: Au 为 10⁻⁹,其他元素为 10⁻⁶。

① 彭松民,等. 河南省卢氏地区矿产远景调查说明书-龙驹街幅(I49E013012). 河南省地质调查院, 2009.

131 个单元素异常,与 Au 相关性较高的元素主要有 As、Pb、Zn、Ag 等,分别进行统计分析。

Au 元素异常下限取值 4.5×10^{-9} ,共圈出金单元素异常 18 处(表 6),其中Ⅰ级异常 8 处,Ⅱ级异常 5 处,Ⅲ级异常 5 处。异常形状为近圆形、带状,整体呈北西向展布,与瓦穴子断裂方向一致,除中西部异常规模较大,其他多以单点异常为主。

表 6 苇园沟金矿区 Au 元素异常特征值表
Table 6 Anomaly eigenvalues of Au in Weiyuangou goldfield

异常 编号	面积/km ²	极大值	异常 点数	异常 平均值	异常 衬度	异常 规模/km ²	异常 形态
1-Ⅰ	0.0055	23.9	4	10.3	2.289	0.0126	带状
2-Ⅲ	0.0032	6.6	2	5.7	1.267	0.0041	近圆形
3-Ⅰ	0.0031	159.2	2	83.6	18.58	0.0576	条带状
4-Ⅲ	0.0047	6.4	2	5.9	1.311	0.0062	近圆形
5-Ⅰ	0.1017	93.9	33	12.7	2.822	0.2870	带状
6-Ⅰ	0.0282	87.1	11	23.1	5.133	0.1448	带状
7-Ⅱ	0.0042	12.8	2	9.2	2.044	0.0086	带状
8-Ⅱ	0.0041	10.8	5	6.0	1.333	0.0055	椭圆形
9-Ⅱ	0.0402	13.6	14	6.1	1.356	0.0545	带状
10-Ⅰ	0.0540	24.5	17	7.8	1.733	0.0936	条带状
11-Ⅱ	0.0267	10.0	7	6.4	1.422	0.0380	条带状
12-Ⅰ	0.0172	17.0	6	9.9	2.200	0.0378	条带状
13-Ⅲ	0.0115	5.9	5	5.2	1.156	0.0133	条带状
14-Ⅲ	0.0135	7.1	4	5.6	1.244	0.0168	条带状
15-Ⅲ	0.0028	9.7	1	9.7	2.156	0.0060	椭圆形
16-Ⅰ	0.0012	18.1	1	18.1	4.022	0.0048	椭圆形
17-Ⅱ	0.0023	13.9	1	13.9	3.089	0.0071	椭圆形
18-Ⅰ	0.0010	37.1	1	37.1	8.244	0.0082	椭圆形

含量单位:10⁻⁹。

As 元素异常 12 处,其中Ⅰ级异常 4 处,Ⅱ级异常 3 处,Ⅲ级异常 5 处,异常形状多为带状、近椭圆状,多为北西向展布,主要分布于矿区南部,较分散。

Pb 元素异常 15 处,其中Ⅰ级异常 4 处,Ⅱ级异常 5 处,Ⅲ级异常 6 处,异常形状多为条带状、近椭圆状,多为北西向及东西向展布,主要分布于矿区中部和北部,低值异常面积较大。

Zn 元素异常 7 处,其中Ⅰ级异常 1 处,Ⅱ级异常

1 处,Ⅲ级异常 5 处,异常形状多为条带状、近椭圆状,长轴方向多呈北西向展布,主要分布于矿区西部和东北部。

Ag 元素异常 16 处,其中Ⅰ级异常 3 处,Ⅱ级异常 6 处,Ⅲ级异常 7 处,异常形状多为带状、椭圆状、不规则状,多为近东西向展布,主要分布于矿区北部,较分散,且规模较小。

除矿区西部单元素异常规模较大外,其他位置单点异常较多,异常区整体呈近东西向展布,展布方向或长轴指示方向明显,与瓦穴子断裂方向一致。

3.4 元素组合异常特征

根据元素相关性特征,矿区主要分为中高温元素 Cu-Mo-V-Mn 组合和中低温元素 Ag-As-Sb-Pb-Zn 组合,因 Au 与 As 相关系数较高,可将其划分到中低温元素组合。

Au-Ag-As-Sb-Pb-Zn 元素组合中,各单元素异常形态与位置基本一致,相关性较高,形态多呈带状,长轴方向指示一致。异常分布多集中于矿区中西部,呈北西向展布,总体与瓦穴子断裂方向一致。该组合异常多指示断裂构造,尤其应注意异常组合元素多、长轴方向一致的位置。

Cu-Mo-V-Mn 组合中,异常形态多不规则,整体分布杂乱,异常长轴方向较一致,套合程度一般。

3.5 综合异常特征

根据分析结果,区内圈定综合异常 12 个,呈不规则椭圆状,长轴方向总体呈北西向或近东西向(图 3),其中 2 个乙类综合异常内异常元素组合丰富,异常明显,规模较大。根据图 3 显示,规模较大的综合异常主要分布在 F1 与 F4 两断裂之间,且多沿断裂展布,显示与断裂构造密切相关,面积最大者约 0.25 km²,位于矿区西部纪家湾一带,是主要找矿靶区。其他综合异常普遍规模较小,零星分布。

4 讨论

通过开展土壤地球化学测量工作和资料整理,圈出的异常范围与矿区主要含矿构造展布方向一致。在异常查证过程中,以 HT4 综合异常为例,该异常几乎涵盖了矿区所有元素,异常范围主体位于 F2、F3 之间偏断裂走向下游(地势低),出露岩性以斜长角闪片岩、绿泥阳起片岩、二云石英片岩为主,与 F3 断裂的次级

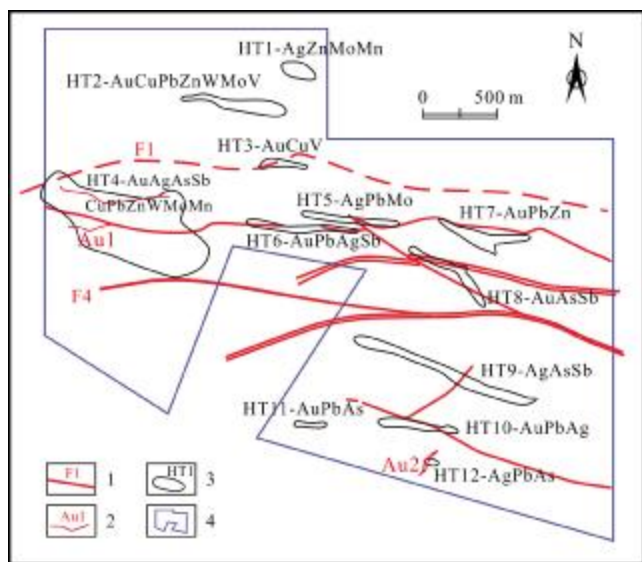


图3 苇园沟金矿区土壤地球化学综合异常分布图

Fig. 3 Comprehensive soil geochemical anomalies in Weiyuanguo goldfield

- 1—断裂及编号(fault and number); 2—含矿带及编号(ore-bearing zone and number); 3—综合异常及编号(comprehensive anomaly and number); 4—土壤测量范围(矿区范围)(soil survey range/orefield)

含金构造带 Au1 吻合,带内充填动力变质岩石,有碎裂岩、断层角砾岩、断层泥等,为脆性断裂;探槽工程(通天槽查证异常)揭露 F2 断裂,表现为与 Au1 构造带倾向相反,该断裂内有不连续弱黄铁矿化石英脉(团块),Au 品位最高 0.64×10^{-6} ,走向近东西,南倾,倾角 70° ,地表延伸 570 m,总体呈隐伏产出,有构造片岩、压性断层角砾岩、糜棱岩等,为韧脆性断裂。HT4 综合异常与 2 个金矿(化)体在空间上完全对应,且各元素均呈高值异常,反映出矿(化)带总体剥蚀较浅的特征。另外,HT11 综合异常以 Ag、Pb、As 为主,在其上游发现了 Au2 含金构造带,Au 品位最高 6.46×10^{-6} ,单元素 As 异常与构造带完全扣合,但 Ag、Pb 异常与构造带偏移约 25 m,一方面反映出土壤元素异常范围与矿化带有一定的位移,一般向下游偏移,另一方面,Ag、Pb、As 作为矿体的前缘晕元素,是指导找矿的地球化学标志,也反映出矿(化)带未剥蚀或剥蚀较浅特征。

基于上述异常查证结果,矿区含矿构造严格受断裂控制,综合异常及单元素异常主要围绕断裂分布。瓦穴子断裂带是区域性切壳断裂,是一个长期活动的构造薄弱带^[18],活动时间从加里东早—中期到燕山期,

不同时期断裂变形性质、主断面相对位置和伴随的产物均有变化,次级断裂控矿明显。土壤地球化学测量结果表明,Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn 等主元素(或指示元素)的高浓度异常区,是地表或者浅部金矿化的直接标志。

矿区内含矿构造带主要分布于广东坪岩组斜长角闪片岩、绿泥阳起片岩中,四岔口岩组二云石英片岩也有含金矿脉分布,但石英大理岩中未见含矿构造,也未见明显矿化蚀变带;地球化学综合异常也在二云石英片岩内集中发育,因此,本区成矿对岩性具一定的选择性。主要原因可能是各种片岩在发生韧性剪切(变形)过程中,片理面(滑脱面)之间的空隙是深部成矿流体向上运移的良好通道和富集场所,次级构造有利于矿质充填成矿;而石英大理岩整体致密,通过野外观察,其内断裂多为成矿后期断裂。

资料显示^[19-20],金在基性岩浆岩中的克拉克值高于酸性岩浆岩,根据原岩恢复,宽坪岩群广东坪岩组形成环境为大洋环境,成矿物质可能来源于海底基性火山岩建造。据采样统计^①,宽坪岩群中,微金质量分数在广东坪岩组中低于四岔口岩组,即地层中微金由下向上有增高趋势,四岔口岩组中金离散度最大,可能在构造热液事件中存在矿化作用叠加。

本区外圈有卢氏县双河金矿^[21-23]、卢氏县鹿耳沟金矿、卢氏县鸡笼山铅金矿等。根据已有资料,双河金矿、鹿耳沟金矿有用组分为 Au,其他元素含量很低,包括 Ag 在内,均未形成可利用的伴生组分,Au 与其他元素相关性差。鸡笼山铅金矿有用组分为 Au、Pb、Zn,三者形成共伴生关系,相关性强。本区 Au 与 As 相关性一般,与其他元素相关性差,推断含矿流体中除 Au 处,其他元素均较低,Au 富集较单一,可能形成单一金矿床。

综合上述讨论,本区圈出的地球化学综合异常区内套合的元素涵盖了矿区主攻矿种,其他元素的套合性在成矿地质条件上也有相似性。构造控矿是本区矿床最基本特征,总体剥蚀较浅,一般脆性断裂(北倾为主)控制的矿床品位相对较高,但规模较小;而韧(脆)性断裂(南倾为主)控制的矿床规模较大,但矿体连续性差。由于金矿成矿过程对岩性具一定的选择性,且与其他元素相关性差,本区较大可能形成单一小型金矿床。

① 河南省地质矿产厅第一地质调查队. 河南省二郎坪群、宽坪群金银矿成矿预测研究报告. 1991.

5 结论

(1)本研究圈出的异常区整体呈近东西向展布,展布方向或长轴指示方向明显,与瓦穴子断裂方向一致。

(2)研究区矿(化)体分布严格受断裂控制,单元素异常及综合异常主要围绕断裂附近分布,综合异常区内套合的元素涵盖了矿区主攻矿种。

(3)区内金矿床总体剥蚀较浅,规模较小,岩石地球化学分析金与其他元素相关性差,本区较大可能形成单一小型金矿床。

致谢:本文成文过程中得到了河南省地质矿产勘查开发局第四地质勘查院化探组及相关专家的帮助,在此表示感谢。

参考文献(References):

- [1]高怀雄. 北秦岭宽坪群地球化学异常特征及成矿条件的初步分析[J]. 陕西地质科技情报, 1991(2): 31-36.
Gao H X. Geochemical anomaly characteristics and metallogenic conditions of Kuanping Group in Northern Qinling [J]. Shaanxi Geological Science and Technology Information, 1991(2): 31-36. (in Chinese)
- [2]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 Z Q, Zhang G W, Liu D Y, et al. Isotopic chronology and geochemistry of ophiolite, granite and clastic sedimentary rocks in Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [3]王春女, 吕军, 韩彦东, 等. 地球化学勘查快速圈定找矿靶区——以黑龙江省黑河市大新屯—金矿床的发现为例[J]. 地质与资源, 2016, 25(2): 186-191.
Wang C N, Lv J, Han Y D, et al. Delineation of prospecting target by geochemical survey: The discovery of the Daxintun antimony-gold deposit in Heihe, Heilongjiang Province [J]. Geology and Resources, 2016, 25(2): 186-191.
- [4]河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
Henan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989 (in Chinese)
- [5]高洪学, 李栓禄, 成学涛. 中元古界宽坪群岩石化学及微量元素特征[J]. 陕西地质, 1989, 7(1): 11-27.
Gao H X, Li S L, Cheng X T. The characteristics of the petrochemistry and the trace elements in the Kuanping Group of the Middle Proterozoic Erathem [J]. Geology of Shaanxi, 1989, 7(1): 11-27.
- [6]张寿广, 万渝生, 刘国惠, 等. 北秦岭宽坪群变质地质[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 1-119.
Zhang S G, Wan Y S, Liu G H, et al. Metamorphic geology of the Kuanping Group in the Northern Qinling Mountains [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1991: 1-119.
- [7]李承东, 赵利刚, 许雅雯, 等. 北秦岭宽坪群变质沉积岩年代学及地质意义[J]. 中国地质, 2018, 45(5): 992-1010.
Li C D, Zhao L G, Xu Y W, et al. Chronology of metasedimentary rocks from Kuanping Group complex in North Qinling Belt and its geological significance [J]. Geology in China, 2018, 45(5): 992-1010.
- [8]闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 秦岭造山带宽坪群中的变铁镁质岩的成因、时代及其构造意义[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1475-1492.
Yan Q R, Wang Z Q, Yan Z, et al. Origin, age and tectonic implications of metamafic rocks in the Kuanping Group of the Qinling Orogenic Belt, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(9): 1475-1492.
- [9]陈泳霖, 李瑞强, 李春艳. 豫西新元古代四岔口组变基性火山岩地球化学特征[J]. 华北国土资源, 2018(1): 52-53.
Chen Y L, Li R Q, Li C Y. Geochemical characteristics of Neoproterozoic basic-metamorphic volcanic rocks in Sichakou Formation, western Henan Province [J]. Huabei Land and Resources, 2018(1): 52-53. (in Chinese)
- [10]宋子季, 周青山. 宽坪群区域变质作用特征[J]. 陕西地质, 1988, 6(2): 21-32.
Song Z J, Zhou Q S. The characteristics of regional metamorphism of the Kuanping Group [J]. Geology of Shaanxi, 1988, 6(2): 21-32.
- [11]王敬宇. 北秦岭宽坪群浅变质沉积岩沉积时代、物质源区和构造背景[D]. 西安: 西北大学, 2019.
Wang J Y. Depositional age, provenance and tectonic setting of the Kuanping Group in the North Qinling Orogenic Belt, China [D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [12]燕长海, 刘国印, 彭翼, 等. 豫西南地区铅锌银成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
Yan C H, Liu G Y, Peng Y, et al. Regularity of Pb, Zn and Ag mineralization in southwest Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [13]张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-190.
Zhang Z Q, Liu D Y, Fu G M. Isotopic chronology of metamorphic strata in the North Qinling Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-190. (in Chinese)
- [14]河南省地质矿产厅. 河南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-299.
Henan Provincial Department of Geology and Mineral Resources. Lithology and stratigraphy of Henan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 1-299. (in Chinese)
- [15]郭进京, 李怀坤, 陈志宏. 秦岭造山带秦岭杂岩研究中有关问题讨

- 论[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(2): 95-102.
- Guo J J, Li H K, Chen Z H. Brief review of the study of Qinling complex, Qinling Orogenic Belt[J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(2): 95-102.
- [16] 第五春荣, 孙勇, 刘良, 等. 北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代 N-MORB[J]. 岩石学报, 2010, 26(7): 2025-2038.
- Diwu C R, Sun Y, Liu L, et al. The disintegration of Kuanping Group in North Qinling orogenic belts and Neo-proterozoic N-MORB [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(7): 2025-2038.
- [17] 曹强, 刘家军, 吴杰, 等. 秦岭西部铀厂沟金矿床主矿带原生晕分带特征及深部预测[J]. 地质与资源, 2021, 30(1): 27-36, 98.
- Cao Q, Liu J J, Wu J, et al. Primary halo zoning and deep prediction of the main ore belt in Huachanggou gold deposit, western Qinling Mountains[J]. Geology and Resources, 2021, 30(1): 27-36, 98.
- [18] 梁文艺, 孙继东, 姜修道. 活动剪切带的有序叠加与金矿的形成[M]. 西安: 西北大学出版社, 1993.
- Liang W Y, Sun J D, Jiang X D. Order superposition structure and formation of gold ore in morable shear zone[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1993.
- [19] 李晶, 陈衍景, 刘迎新. 华北克拉通若干脉状金矿的黄铁矿标型特征与流体成矿过程[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3): 93-102.
- Li J, Chen Y J, Liu Y X. Typomorphic characteristics of pyrite from the lode gold deposits in North China Craton: Implications for fluid mineralization [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2004, 24(3): 93-102.
- [20] 付超, 党智财, 李俊建, 等. 华北地区金矿成矿规律及资源潜力[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1179-1197.
- Fu C, Dang Z C, Li J J, et al. Regional metallogeny and resource potential of gold deposits in North China[J]. Geology in China, 2022, 49(4): 1179-1197.
- [21] 梁文艺, 李金宝, 孙继东, 等. 河南省卢氏县石门金矿区成矿规律及找矿方向研究[M]. 西安: 西安地质学院资源系, 1997.
- Liang W Y, Li J B, Sun J D, et al. Study on metallogenic regularity and prospecting direction of Shimen gold deposit in Lushi County, Henan Province[M]. Xi'an: Department of Resources, Xi'an College of Geology, 1997. (in Chinese)
- [22] 何文平, 陈全树, 赵建新. 河南省卢氏县桃花-石门金矿带地质特征及成矿规律[J]. 地质找矿论丛, 2002, 17(3): 180-185.
- He W P, Chen Q S, Zhao J X. Geological features and ore-forming regularity of Taohua-Shimen gold ore belt, Lushi County, Henan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2002, 17(3): 180-185.
- [23] 李金宝, 李荣西, 李伍平. 河南卢氏石门金矿床载金矿物及微量元素特征[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(4): 44-47.
- Li J B, Li R X, Li W P. Trace element characteristics of gold-bearing minerals in the Shimen gold deposit, Lushi, Henan Province [J]. Journal of Chang'an University (Earth Science Edition), 2003, 25(4): 44-47.

(上接第 208 页/Continued from Page 208)

- [17] 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土肥管理站. 黑龙江省耕地质量主要性状数据集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019: 3-11.
- Institute of Soil Fertilizer and Environmental Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang Soil and Fertilizer Management Station. The main character data set of cultivated land quality in Heilongjiang Province [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019: 3-11. (in Chinese)
- [18] 奚小环, 杨忠芳, 崔玉军, 等. 东北平原土壤有机碳分布与变化趋势研究[J]. 地学前缘, 2010, 17(3): 213-221.
- Xi X H, Yang Z F, Cui Y J, et al. A study of soil carbon distribution and change in Northeast Plain[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(3): 213-221.
- [19] 奚小环, 杨忠芳, 廖启林, 等. 中国典型地区土壤碳储量研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(3): 573-583.
- Xi X H, Yang Z F, Liao Q L, et al. Soil organic carbon storage in typical regions of China [J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(3): 573-583.
- [20] 刘驰, 刘希瑶, 刘澎. 松辽平原典型黑土区有机质的变化及影响因素分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 550-555.
- Liu C, Liu X Y, Liu P. Analysis on the changes of organic matters and their influencing factors of typical black soil areas in Songliao Plain[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 550-555.
- [21] 杨佳佳, 林楠, 于秀秀, 等. 东北典型黑土区有机碳遥感定量反演研究[J]. 地质与资源, 2020, 29(4): 357-362.
- Yang J J, Lin N, Yu X X, et al. Study on quantitative inversion of remote sensing for organic carbon in the typical black soil areas of Northeast China[J]. Geology and Resources, 2020, 29(4): 357-362.