

# 南秦岭王家坪金矿构造叠加晕特征及找矿预测

刘新伟<sup>1,2,3</sup>, 薛玉山<sup>1,2,3</sup>

1. 西安西北有色地质研究院有限公司, 陕西 西安 710054;
2. 中国地质学会新能源矿产勘查与综合利用创新基地, 陕西 西安 710054;
3. 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 陕西 西安 710054



**摘要:**王家坪金矿位于南秦岭北部,是近年来新发现的一处受构造控制的中型微细浸染型金矿。为进一步研判深部找矿前景,以王家坪金矿Ⅱ-1主矿体作为研究对象,采用元素地球化学分析、构造叠加晕分析和地质构造控矿因素分析等方法,开展了地球化学特征研究,并构建了构造叠加晕模型。研究表明:王家坪金矿前缘晕特征指示元素为As、Sb和Hg,近矿特征指示元素为Au、Ag和W,尾晕特征指示元素为Bi和Mo(Cu、Pb和Zn),轴向分带特征明显;金矿体构造叠加晕的空间变化特征显示,金矿体深部存在前、尾晕共存现象,确定找矿靶区2处;经钻探工程验证,在找矿靶区均发现了金矿体,找矿预测效果良好。研究结果可为后期矿区深部找矿和同类型矿床勘查提供借鉴。

**关键词:**地球化学特征;成矿元素组合特征;构造叠加晕;找矿预测;王家坪金矿;南秦岭

中图分类号:P612 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)06-1062-11 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2025.06.081

引用格式:刘新伟,薛玉山.南秦岭王家坪金矿构造叠加晕特征及找矿预测[J].黄金科学技术,2025,33(6):1062-1072.LIU Xinwei, XUE Yushan.Characteristics of the Structural Superimposed Halo and Prospecting Prediction of the Wangjiaping Gold Deposit in the Southern Qinling Orogenic Belt[J].Gold Science and Technology,2025,33(6):1062-1072.

王家坪金矿位于柞(水)一山(阳)矿集区东部,处于南秦岭褶皱带东段,山阳一凤镇断裂和镇安一板岩镇断裂之间,是近年来新发现的一处产于碳酸盐岩建造的中型规模微细浸染型(卡林型)金矿床。王家坪金矿的发现,将夏家店一苏岭沟大型金矿床、龙头沟中型金矿床、刘家峡中型金矿床和桐树沟金矿等一大批金矿床(点)(胡西顺等,2015;Li et al, 2022;樊忠平等,2023)连成一片,共同构成了山阳金矿田,目前该矿田已提交黄金资源量大于70 t,是南秦岭地区屈指可数的金资源基地之一。王家坪金矿是南秦岭地区泥盆系地层赋矿层典型代表之一(Wu et al, 2018; You et al, 2024),其找矿研究意义重大。

前人利用地质调查、岩石地球化学、构造控矿

和金属活动态分析等方法对王家坪金矿进行了系统研究,认为该矿床受EW向构造控制,NE、NW和近SN向构造叠加于EW向构造之上,促进了隐伏矿体次生氧化富集(薛玉山等,2020),有机结合态异常可用于金矿体找矿预测(杨海涛等,2021)。研究指出,该矿床属于中浅成低温热液型矿床,成矿过程有岩浆热液参与,具有典型的卡林型金矿特点(刘新伟等,2016a; Large et al, 2016; 汪超等, 2016),并构建了矿床综合找矿地质模型(王瑞廷等, 2023)。然而,目前针对该矿床深部找矿预测评价的研究仍较为缺乏,加之王家坪金矿深部构造复杂,导致深部勘查工程布置缺少理论指导,限制了该金矿进一步勘查进度。作为区内典型的卡林型

收稿日期:2025-02-14;修订日期:2025-04-29

基金项目:西安西北有色地质研究院有限公司科研项目“陕西省王家坪一龙头沟金矿成矿预测研究”(编号:2015J-02)、“陕西省山阳县香沟地区金钨矿成矿地质特征研究”(编号:2017J-02)和陕西省地质勘查基金项目“陕西省山阳中村一商南湘河一带金矿成矿规律与找矿预测研究”(编号:61201707317)联合资助

作者简介:刘新伟(1983—),男,陕西乾县人,高级工程师,从事矿产勘查与评价工作。E-mail:418780973@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

金矿床,王家坪金矿受多期热液叠加明显,热液蚀变强度和规模大,适合开展构造叠加晕方面的深部预测研究工作。鉴于此,本研究通过引入构造叠加晕方法,开展矿区成矿预测工作,在地质构造分析的基础上,结合工程验证,定位和评价有利的金成矿靶区,旨在进一步研判深部找矿前景,为该类型矿床“攻深找盲”提供地质依据。

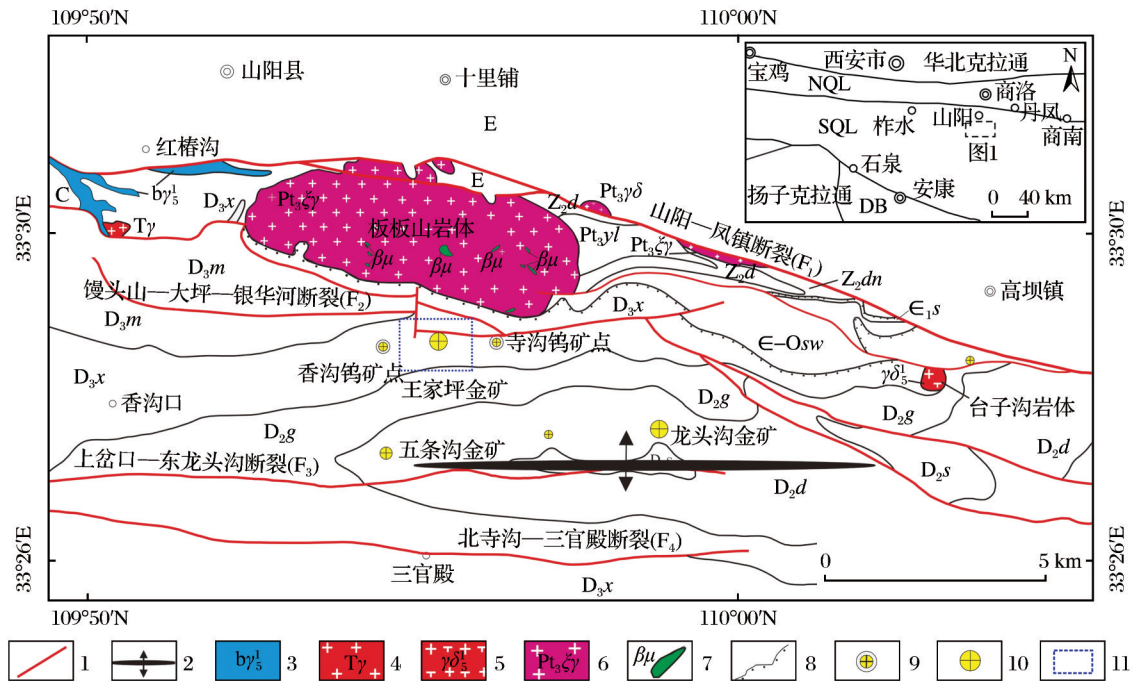
### 1 矿区地质特征

区域上,以山阳—凤镇大断裂为界,北部地层区划属东昆仑—中秦岭地层分区,南部为迭部—旬阳地层分区天竺山地层小区。南部地层分区以上元古宇耀岭河群( $Pt_3yl$ )为基底,出露地层为震旦系、寒武系、泥盆系和石炭系的碳酸盐岩、碎屑岩建造。矿区主体为泥盆系,包括中泥盆统古道岭组( $D_{2g}$ )、上泥盆统星红铺组( $D_{3x}$ )和馒头山组( $D_{3m}$ )。星红铺组主要为一套浅变质黏土岩夹碳酸盐岩的地层,岩性为中—薄层微晶灰岩、含炭泥质灰岩、粉

砂绢云板岩和千枚岩等,是矿区主要的赋矿层位。

矿区位于纸房沟—瓦房店—中村背斜北翼(图1),北翼地层倾向N,总体为一单斜构造,局部有小褶曲;由南向北出露地层依次为石家沟组、大枫沟组、古道岭组和星红铺组,地层产状一般为 $340^{\circ}\sim 20^{\circ}\angle 50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ;星红铺组是王家坪金矿的赋矿地层。矿区断裂可划分为EW、NW、NNW和NNE向,其中EW向断裂为本区主要的控矿和赋矿构造。馒头山—大坪—银华河断裂为矿区主要断裂( $F_2$ ),呈波浪状近EW向贯通全区,断面整体倾向N,倾角为 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ,断裂中局部可见黄铁矿化、孔雀石化、硅化和铁碳酸盐化等。在该断裂南侧发育一系列EW向次级层间张性断裂,为主要赋矿断裂(刘新伟等,2016b;薛玉山等,2020)。

区域上,岩浆岩主要分布于山阳—凤镇断裂两侧(图1),以新元古代板板山复式岩体(吴发富等,2012;杨志军等,2020)最具规模。研究区内岩浆岩未出露,仅发育石英脉和石英碳酸盐脉。



NQL-北秦岭褶皱带;SQL-南秦岭褶皱带;DB-北大巴山构造区;E-第三系;C-石炭系; $D_{3m}$ -上泥盆统馒头山组; $D_{3x}$ -上泥盆统星红铺组; $D_{2g}$ -中泥盆统古道岭组; $D_{2d}$ -中泥盆统大枫沟组; $D_{2s}$ -中泥盆统石家沟组; $\epsilon-Osw$ -寒武—奥陶统石瓮子组; $\epsilon_1s$ -寒武系水沟口组; $Z_{2dn}$ -震旦系灯影组; $Z_{2d}$ -震旦系陡山沱组; $Pt_{3yl}$ -上元古系耀岭河岩组;1.断层;2.褶皱;3.侵入角砾岩;4.三叠系花岗岩;5.印支期花岗岩闪长岩;6.新元古代正长花岗岩;7.辉绿岩脉;8.不整合地质界线;9.金矿矿点(床);10.金矿床(点);11.矿区位置

图1 研究区区域地质构造简图(修改自薛玉山等,2020)

Fig. 1 Simplified map of regional geological structure of the study area(modified after Xue et al, 2020)

## 2 矿体特征

王家坪金矿圈定 I-1、I-2、I-4、II-1、III-1、III-2、IV-1 和 V-2 共 8 条矿体和多个单工程控制的矿体,其中 I-4、II-1 和 III-1 为王家坪金矿主矿体,走向和倾向延伸规模大(西安西北有色地质研究院有限公司,2017)(图 2)。II-1 金矿体是本文的主要研究对象。

II-1 矿体为半隐伏—隐伏矿体,长度为 600 m,矿体呈透镜状产出,具有分支复合、尖灭再现和膨大收缩等现象,矿体一般金品位为  $1.0 \times 10^{-6} \sim 8.0 \times 10^{-6}$ ,矿体平均品位为  $4.35 \times 10^{-6}$ 。单工程矿体厚度为 0.63~16.11 m,平均厚度为 4.67 m。矿体赋存于 II 号蚀变带中,由构造角砾岩、蚀变泥质灰岩和蚀变钙质板岩组成,发育黄铁矿化、雌(雄)黄化、炭化、硅化、脱钙化和铁碳酸盐化等蚀变,少见辉锑矿化蚀变。矿体上盘围岩为灰岩、含泥灰岩和钙质板岩,矿体下盘基本为灰岩。

III-1 矿体为隐伏矿体,长度为 100 m,矿体呈板条状产出,舒缓波状延展,具有分支复合和膨大收缩等现象,矿体一般金品位为  $1.00 \times 10^{-6} \sim 12.73 \times 10^{-6}$ ,矿体金平均品位为  $5.61 \times 10^{-6}$ 。单工程矿体厚度为 0.53~18.30 m,平均厚度为 6.38 m。矿体赋存于 III 号蚀变带中,发育黄铁矿化、铁碳酸盐化、脱钙化、硅化、雌黄化、雄黄化和炭化。矿体上盘围岩为灰岩和少量钙质板岩,矿体下盘为灰岩和钙质板岩。

王家坪金矿矿物组成中黄铁矿、雌黄、石英与金成矿关系密切(刘新伟,2016a)。其中,黄铁矿主要以草莓状、粒状黄铁矿和(含砷)黄铁矿 3 种形态产出,(含砷)黄铁矿金含量最高。

依据矿脉穿插关系和共生矿物组合特征,王家坪金矿热液成矿期可划分为 3 个阶段,包括石英—铁碳酸盐化阶段、石英硫化物阶段(主成矿阶段)和碳酸盐化阶段(薛玉山等,2020)。石英—铁碳酸盐化阶段:主要表现为广泛分布的顺层、近顺层铁白云石石英脉和方解石—石英脉,局部见镜铁矿和磁黄铁矿等矿物;石英硫化物阶段(主成矿阶段):石英一般具细粒、微晶与黄铁矿等共生的特征,硫化物以雌黄和黄铁矿为主,雌黄化呈浸染状或细脉状产出,与黄铁矿化、炭化和雄黄化共生;碳酸盐化阶段:表现为方解石细脉呈网脉状,多沿蚀变带分布。

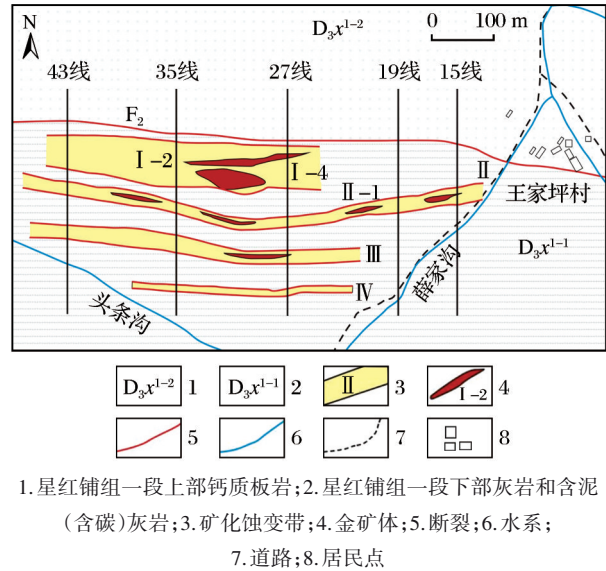


图 2 王家坪金矿地质构造简图  
Fig. 2 Geological structure diagram of the Wangjiaping gold deposit

此外,矿区还表现出明显的垂向矿化蚀变分带现象,由深部至浅部为炭化、雌黄化→脱钙化、铁碳酸盐化→铁染、砷氧化物;水平方向上自东向西为炭化、铁碳酸盐化→雌黄、炭化、脱钙化、砷氧化物→雌黄、炭化。

## 3 金矿体地球化学特征

### 3.1 背景值的确定

利用在工作区内各类工程采集的原生晕样品选取 283 件进行相关地球化学背景值计算,样品岩性主要为灰岩、含方解石脉灰岩、钙质板岩和钙质粉砂质千枚岩。根据野外观察,对未蚀变样品进行相关统计计算,其中用几何平均值作为工作区地球化学背景值,几何平均值与克拉克值比值为浓度克拉克值(表 1),用以反映本区背景值与地壳丰度之间的关系。

由表 1 可知,工作区内地球化学背景值除了 Pb、W、As 和 Sb 元素呈明显正异常,Co、Ni、Cu、Zn 和 Hg 元素呈明显负异常外,其余元素地球化学背景值均与克拉克值接近。矿区 As 和 Sb 一般与金矿体关系密切(刘新伟等,2016a;汪超等,2016;薛玉山等,2020;丁坤等,2022),其浓度克拉克值大于 1,在金成矿作用下,在含矿构造及其两侧 As 和 Sb 浓度

表1 王家坪金矿床相关元素地球化学背景特征  
Table 1 Geochemical background characteristics of the relevant elements in the Wangjiaping gold deposit

元素	几何平均值 (背景值)	克拉克值(黎 彤, 1992)	浓度克 拉克值	板板山岩体 (吴发富等, 2012)
Cu	15.63	56.00	0.28	10.42
Pb	20.35	14.00	1.45	6.34
Zn	33.75	76.30	0.44	9.16
Co	4.39	24.70	0.18	1.41
Ni	18.52	81.30	0.23	3.51
Mo	0.89	1.43	0.62	0.64
W	3.92	1.13	3.47	1.36
As	9.62	2.03	4.74	1.53
Sb	1.89	0.507	3.73	0.70
Bi	0.19	0.19	1.00	0.03
Ag	71.90	75.00	0.96	
Hg	44.57	103	0.43	
Au	1.62	2.19	0.74	

注: Au、Ag和Hg元素含量单位为 $\times 10^{-9}$ , 其他元素为 $\times 10^{-6}$

有普遍增高趋势,形成了矿区高的背景值。W的背景值较高与本区195 Ma钨矿成矿事件有关(薛玉山等, 2021, 2022),与本区第二期金矿成矿时间(220~200 Ma)基本吻合(刘新伟等, 2024)。与矿区北部的板板山岩体相比,王家坪金矿区相关元素地球化学背景值高于板板山岩体(吴发富等, 2012)数倍,金矿体与围岩地层及板板山岩体在稀土元素配

分模式上均存在一定差异(刘新伟等, 2016a; 杨志军等, 2020),表明成矿热液系统可能与围岩地层和板板山岩体关系不大。

### 3.2 成矿元素组合特征分析

利用各见矿工程对II-1等矿体及其围岩系统采集的构造原生晕样品进行成矿元素组合特征研究。本次共采集构造原生晕样品198件,其中,金矿体样品(Au元素含量 $\geq 1\ 000 \times 10^{-9}$ )22件、金矿化体样品( $500 \times 10^{-9} \leq \text{Au}$ 元素含量 $< 1\ 000 \times 10^{-9}$ )12件和金蚀变体样品( $100 \times 10^{-9} \leq \text{Au}$ 元素含量 $< 500 \times 10^{-9}$ )36件。

分别计算金矿体样品、金矿化体样品及金蚀变体样品含量的几何平均值与衬度值。由表2可知,以各元素衬度值大于1为标准,矿体和矿化体元素基本相同,仅有金矿体出现Pb的弱亏损,在蚀变体中出现Co和Ni的亏损。矿体中Cu、Zn、Co、Ni、Mo、W、As、Hg和Au元素的衬度值高于矿化体和矿化蚀变体,而Sb、Bi、Ag和Pb在矿化体中较高。

以Au衬度值大于等于10和其他元素衬度值大于等于2为标准,对比表明三者共性元素为Au、Ag、As、Sb、Hg和W,矿(化)体比蚀变体增加了Cu、Zn和Mo元素,表明矿化蚀变强度越强,元素组合越复杂。

### 3.3 元素相关性

选择金矿化蚀变岩(70件)开展相关性分析。由表3可知,王家坪金矿Au元素与As、Hg、Ni、W、Mo元素显著相关,其次是Ag、Pb、Zn和Co等,再次

表2 王家坪金矿床矿(化)体和矿化蚀变体地球化学特征

Table 2 Geochemical characteristics of mineralized bodies and altered zones in the Wangjiaping gold deposit

元素	矿体样(22件)		矿化体样(12件)		蚀变体样(36件)		工作区背景值
	几何平均值	衬度值	几何平均值	衬度值	几何平均值	衬度值	
Cu	37.34	2.39	36.73	2.35	26.97	1.73	15.63
Pb	18.76	0.92	28.79	1.41	26.18	1.29	20.35
Zn	101.03	2.99	95.45	2.83	65.57	1.94	33.75
Co	5.96	1.36	4.39	1.00	3.95	0.90	4.39
Ni	24.34	1.31	19.16	1.03	16.98	0.92	18.52
Mo	2.69	3.02	1.96	2.20	1.33	1.49	0.89
W	19.04	4.86	9.20	2.35	8.69	2.22	3.92
As	3 041.66	316.18	1 532.03	159.25	326.71	33.96	9.62
Sb	103.60	54.81	160.08	84.70	68.39	36.19	1.89
Bi	0.26	1.37	0.27	1.42	0.26	1.37	0.19
Ag	518.75	7.21	536.12	7.46	426.29	5.93	71.90
Hg	40 733.34	913.92	35 255.07	791.00	9 702.52	217.69	44.57
Au	3 282.57	2 026.28	762.04	470.40	289.92	178.96	1.62

注: Au、Ag和Hg元素含量单位为 $\times 10^{-9}$ , 其他元素为 $\times 10^{-6}$

表3 王家坪金矿矿化蚀变岩元素相关矩阵

Table 3 Correlation matrix of mineralized alteration rock elements in the Wangjiaping gold deposit

	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	W	As	Sb	Bi	Ag	Hg	Au
Cu	1												
Pb	0.06	1											
Zn	0.35*	0.33*	1										
Co	-0.02	-0.04	0.01	1									
Ni	-0.01	-0.12	0.00	0.73*	1								
Mo	0.07	0.33*	0.15	0.17	0.17	1							
W	0.01	-0.09	0.01	0.07	0.03	-0.13	1						
As	0.05	-0.06	0.21	0.00	0.00	-0.08	0.52*	1					
Sb	0.31*	0.49*	0.45*	0.06	0.06	0.56*	-0.11	0.01	1				
Bi	0.96*	0.03	0.36*	0.00	0.01	0.14	-0.03	0.00	0.26*	1			
Ag	0.56*	0.77*	0.69*	-0.06	-0.14	0.25*	-0.05	0.08	0.40*	0.50*	1		
Hg	0.16	0.14	0.42*	0.19	0.26*	0.33*	0.15	0.38*	0.51*	0.14	0.28*	1	
Au	-0.03	0.12	0.14	0.22	0.33*	0.27*	0.30*	0.44*	0.10	-0.05	0.10	0.75*	1

注:采用SPSS软件计算Pearson相关系数,样本数量N=70件;\*表示在5%置信度下显著相关

为Cu和Bi。元素尺型聚类分析(图3)显示,金矿化蚀变指示元素总体可划分为两类4组,分别是Au-Hg-As-W、Co-Ni、Pb-Ag-Zn-Sb-Mo和Cu-Bi。Au-Hg-As-W元素序列与王家坪金矿中雌黄化是主要找矿标志以及矿区外围发现金钨矿点等契合。

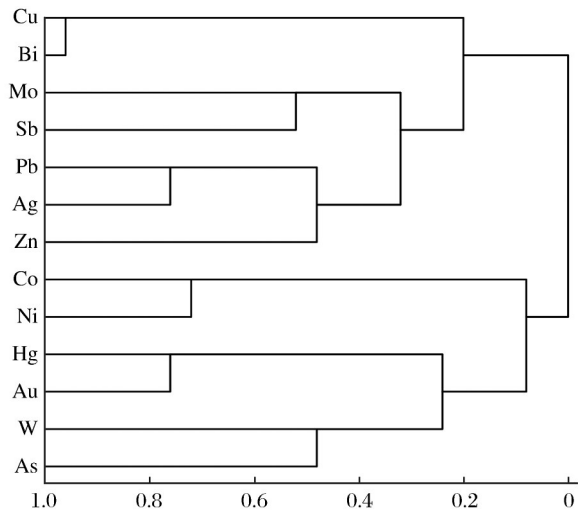


图3 王家坪金矿矿化蚀变岩元素R型聚类图

Fig. 3 R-type cluster diagram of mineralized alteration rock elements in the Wangjiaping gold deposit

#### 4 构造叠加晕特征及模式

构造叠加晕方法是我国地质勘查技术团队研发的一种深部找矿方法(Li et al, 1995),近年来矿

山深边部及外围找矿工作取得了良好的效果(李惠等,2016,2020,2021;文月贵等,2024)。本次基于该理论开展了王家坪金矿构造叠加晕模式构建研究。

#### 4.1 矿床原生叠加晕分带标准

根据各元素背景值及金矿体各指示元素含量分布区间特点,将各指示元素浓度划分为外带(弱异常)、中带和内带(强异常)。为突出各元素在矿体的前缘晕、近矿晕和尾晕的差异,取值参考前人惯例(李惠等,2006)并结合工作区实际情况综合确定,具体取值见表4。

表4 王家坪金矿床元素异常分带参数  
Table 4 Parameters of elements anomaly zoning in the Wangjiaping gold deposit ( $\times 10^{-6}$ )

元素	外带	中带	内带	元素	外带	中带	内带
Au	0.1	1	2	Sb	50	100	500
Ag	0.2	1	2	Bi	0.4	0.8	1.6
Hg	10	50	100	Co	8	16	32
Cu	30	60	90	Ni	30	60	90
Pb	40	80	160	Mo	2	4	8
Zn	100	200	500	W	40	80	160
As	1 000	5 000	10 000				

#### 4.2 王家坪金矿构造叠加晕模式

整体来看,II-1金矿体As、Sb和Hg的异常分布比Au异常范围更大,浓集中心明显与矿体浓集中心一致,为矿体同期成矿元素组合(图4和图5)。Ag、Cu、Pb和Zn元素的异常值较高,分布于金矿体

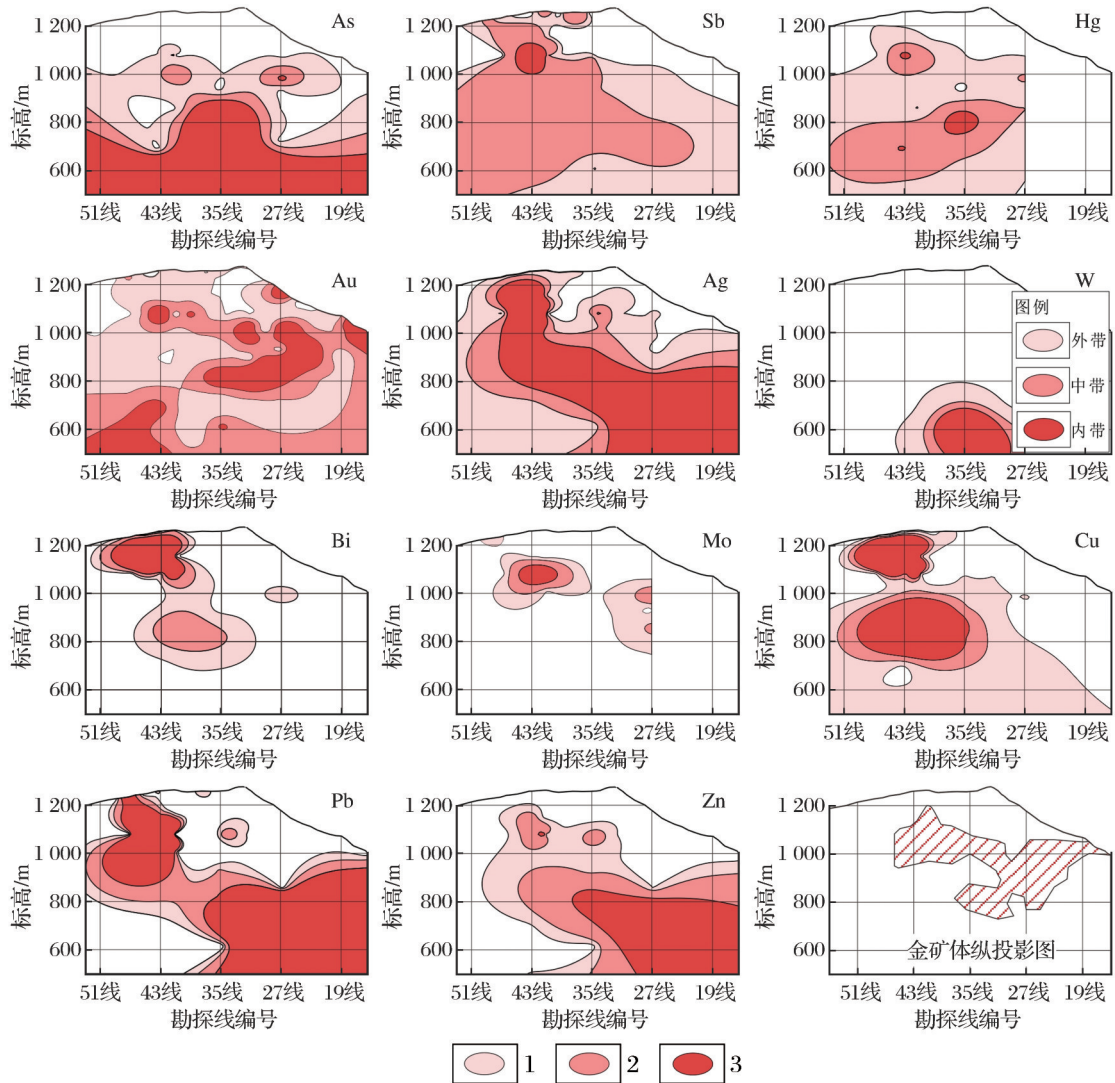


图4 王家坪金矿Ⅱ-1矿体构造叠加晕元素异常分带图

Fig. 4 Anomaly zoning maps of structural superimposed halo elements of II-1 orebody in the Wangjiaping gold deposit

的中部或下部。Co和Ni元素的异常值较低,几乎无异常显示。Bi元素异常值较低,分布在矿体的中部和下部;Mo元素异常值较低,且分布范围小,与矿体分布近似一致;W元素异常值较低,但分布范围较大,浓集中心分布在矿体稍上部位。根据矿体构造叠加晕异常空间分布特征和分带变化规律,综合分析得出本矿床矿体成矿形成原生晕轴向分带序列从上到下依次为Hg、As、Sb、W→Au、Ag、Mo→Cu、Pb、Zn、Bi、Co、Ni。

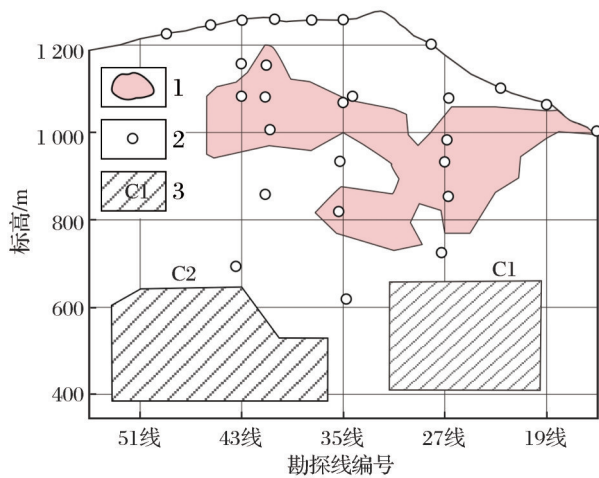
根据以往有关构造叠加晕的研究成果(禹斌等,2017;李惠等,2020,2021;魏江等,2024),结合王家坪金矿床多期热液成矿特点,构建了王家坪金矿

构造叠加晕模式(图6)。模式特点:前缘晕特征指示元素为As、Sb和Hg,近矿特征指示元素为Au、Ag和W,尾晕特征指示元素为Bi和Mo(Cu、Pb和Zn)。

## 5 深部靶区预测

李惠等(2020)研究提出“前强尾弱准则”和“前尾晕共存准则”等可用于预测深部金矿体,即存在较强的前缘晕异常+近矿晕+弱尾晕异常,或者前缘晕异常+尾晕元素异常的情形,往往指示矿区深部可能存在盲矿体。

整体来看,Au异常形态基本与矿体相同,As、Sb、Hg、Ag异常范围与Au异常范围基本吻合(图4



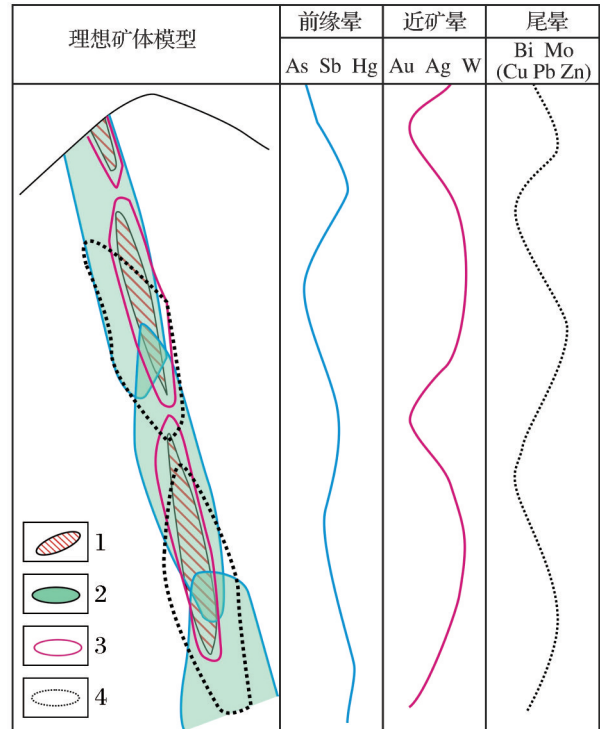
1. 矿体位置;2. 采样点;3. 预测靶区

图5 采样位置与靶区预测示意图

Fig. 5 Schematic diagram of sampling site and the target area prediction

和图6)。Cu、Pb和Zn元素异常范围与Au异常范围存在一定差异,主要位于矿体中下部。W元素异常强度在35~27线深部较高。Bi和Mo元素分布范围较小,主要位于矿体下部。

II-1金矿体在27线从上到下表现为金异常一金矿体一金矿化体的变化特征(表5)。在地表槽探TC27-2(标高1156m)中Au异常值为 $206 \times 10^{-6}$ ,前缘晕As、Sb和Hg异常值分别为 $138 \times 10^{-6}$ 、 $35 \times 10^{-6}$ 和 $8.2 \times 10^{-6}$ ;尾晕Mo、Bi、Cu、Pb和Zn异常值较低,分别为0、 $0.14 \times 10^{-6}$ 、 $20.0 \times 10^{-6}$ 、 $19.29 \times 10^{-6}$ 和 $64.29 \times 10^{-6}$ ;表现为强的前缘晕,弱的尾晕异常,在异常深部800~1020m标高由4个钻探工程控制到厚富金矿体。在该线最低标高工程ZK2703(标高720m)仅控制到金品位为 $0.62 \times 10^{-6}$ 的金矿化体,伴有较强



1. 金矿体;2. 矿体前缘晕;3. 矿体近矿晕;4. 矿体尾晕

图6 王家坪金矿矿体构造叠加晕理想模式图

Fig. 6 Ideal pattern of structural superimposed halo of orebody in the Wangjiaping gold deposit

的前缘晕存在,As、Sb和Hg异常值分别为 $304 \times 10^{-6}$ 、 $153 \times 10^{-6}$ 和 $14 \times 10^{-6}$ ;同时Mo、Cu、Pb和Zn尾晕组合异常值较高,分别为 $3.08 \times 10^{-6}$ 、 $41.3 \times 10^{-6}$ 、 $1.573 \times 10^{-6}$ 和 $1.332 \times 10^{-6}$ 。在该线深部出现较强前缘晕和尾晕共存现象,且在ZK2703钻孔中控制到构造蚀变带,主要蚀变有黄铁矿化、炭化、雌黄化和方解石化等,综合各项特征在27线深部预测找矿靶区C1(图7)。

表5 王家坪金矿床II-1矿体41~43线各元素变化特征

Table 5 Variation characteristics of elements in 41~43 lines of II-1 orebody in the Wangjiaping gold deposit

勘探线 编号	工程编号	前缘晕			近矿晕			尾晕				
		As	Sb	Hg	Au	Ag	W	Bi	Mo	Cu	Pb	Zn
41	PD1156-CM41	155	72.3	20	1 280	849	14.9	0.5	0.7	73.3	94.9	53.2
41	PD1076-CM41-2	6 239	815	85	1 210	3 252	8.6	4.5	13.8	222.2	88.2	709.2
41	ZK4101	8 555.3	417	48.6	1 779.4	1 229.3	10.2	0.7	1.7	64.5	46.9	144.7
41	ZK4102	21.3	9.3	0.35	12	197	3.1	0.1	2.0	10.7	19.0	58.9
43	PD1156-CM43	141	318	26	280	7 561	19.0	15.9	1.4	1 001	218	280
43	PD1076-CM43	1 139	1 118	116	4 540	10 636	6.2	0.5	14.1	70.9	3 529	288
43	ZK4301	197.7	225.4	103.7	2 806.7	425.7	15.1	0.2	1.7	20	14.9	66.9

注: Au和Ag元素含量单位为 $\times 10^{-9}$ ,其他元素为 $\times 10^{-6}$

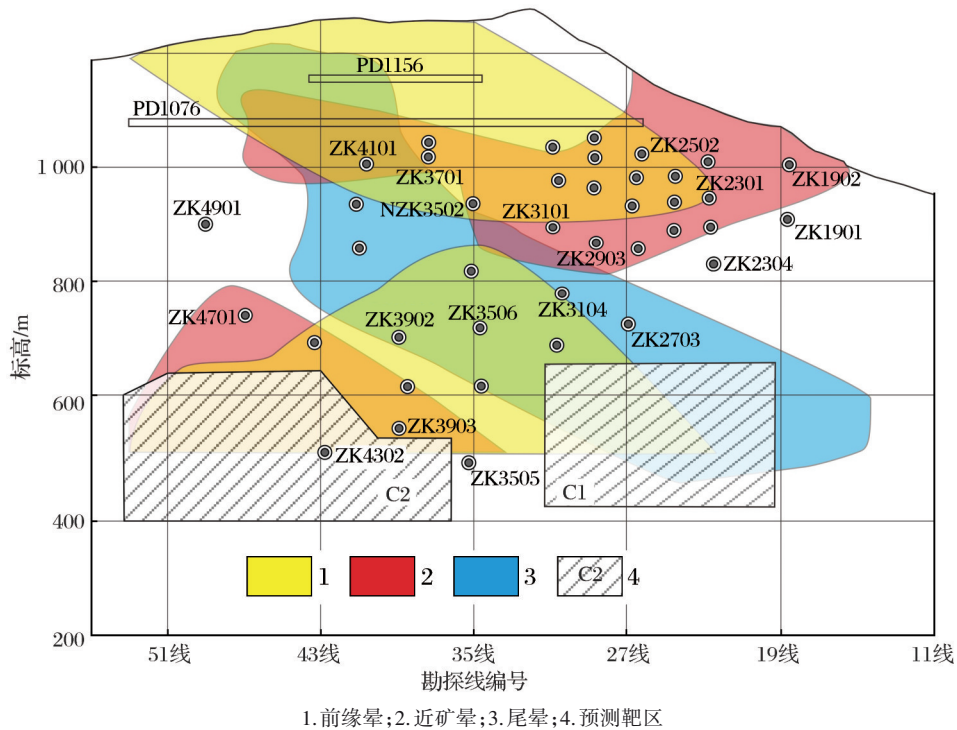


图7 王家坪金矿Ⅱ-1矿体构造叠加晕分带分布及找矿靶区预测图

Fig. 7 Distribution of structure superimposed halo zone of II-1 orebody and the prediction map of prospecting target area of the Wangjiaping gold deposit

Ⅱ-1矿体在41~43线1070~1156 m标高表现为前缘晕、近矿晕和尾晕共存的特征,850~1000 m标高(ZK4101到ZK4102)越往下各元素异常持续降低。在该线最低工程,即钻孔ZK4301(标高700 m)控制到金品位为 $0.37 \times 10^{-6}$ ,在该标高出现较高的As、Sb和Hg前缘晕组合,并伴有Au、Ag和W近矿元素异常,Mo、Bi、Cu、Pb和Zn尾晕异常较低(表5)。

根据以上Ⅱ-1矿体构造叠加晕分带性特征,将异常组合叠加到Ⅱ-1矿体纵投影图上。由图7可以看出,从19线地表到51线深部出现了前缘晕—近矿晕—尾晕—前缘晕—近矿晕的现象,叠加晕有向西侧伏的特征,这与Ⅱ-1矿体向西按 $36^\circ$ 侧伏特征基本一致(薛玉山等,2020)。以往实施的ZK4301和ZK3903钻孔均已控制到Ⅱ-1金矿体,且ZK4301钻孔中有较强的前缘晕异常叠加近矿晕,基本无尾晕异常,综合认为Ⅱ-1金矿体具有向西侧伏特征,根据前、尾晕共存准则,综合预测找矿靶区C2。在后期通过钻探工程对预测靶区进行了验证,ZK4302钻孔在500 m标高处控制到尖灭再现的Ⅱ-1金矿体,金品位为 $1.16 \times 10^{-6} \sim 4.21 \times 10^{-6}$ ,厚度为

3.95 m。

## 6 结论

(1)王家坪金矿热液成矿期划分为3个阶段,其中石英硫化物阶段为主成矿阶段,雌黄化、炭化和铁碳酸盐化等蚀变空间叠加分布特征明显,原生晕元素轴向分带从上至下依次为Hg、As、Sb、W→Au、Ag、Mo→Cu、Pb、Zn、Bi、Co、Ni。

(2)王家坪金矿构造叠加晕理想模型:金矿前缘晕特征指示元素为As、Sb和Hg,近矿特征指示元素为Au、Ag和W,尾晕特征指示元素为Bi和Mo(Cu、Pb和Zn);“前尾晕共存”和“前强尾弱”是矿区内重要的预测标志。

(3)王家坪金矿Ⅱ-1金矿体构造叠加晕分带性特征明显,从上至下叠加晕呈现出向西侧伏的特征,在深部出现前、尾晕共存现象,且前缘晕向深部有不断增强的特征,尾晕无异常,预测找矿靶区2处。后期经钻探工程验证C2靶区控制到厚富矿体,通过分析该工程所揭露的矿体特征,认为在该

矿体西延及深部仍有较大的找矿潜力。

### 参考文献 (References):

- Large S J E, Bakker E Y N, Weis P, et al, 2016. Trace elements in fluid inclusions of sediment-hosted gold deposits indicate a magmatic-hydrothermal origin of the carlin ore trend [J]. *Geology*, 44(12): 1015-1018.
- Li B, Zhu L M, Xiong X, et al, 2022. Genesis of the Longtougou gold deposit, South Qinling Orogen, China: constraints from ore geology, trace element, and S-Pb-H-O isotopes [J]. *Ore Geology Reviews*, 149: 105104.
- Li H, Wang Z N, Li F G, 1995. Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 55(1/2/3): 329-336.
- Wu Y F, Li J W, Evans K, et al, 2018. Ore-forming processes of the Daqiao Epizonal orogenic gold deposit, west Qinling Orogen, China: constraints from textures, trace elements, and sulfur isotopes of pyrite and marcasite, and Raman spectroscopy of carbonaceous material [J]. *Economic Geology*, 113(5): 1093-1132.
- You J L, Yang Z, Gou L L, et al, 2024. Metamorphism and geochronology of the Foping gneiss dome: insights into Early Triassic collision of the Qinling Orogen, Central China [J]. *Lithos*, 488/489: 107827.
- 丁坤, 王瑞廷, 王智慧, 等, 2022. 南秦岭柞水—山阳矿集区王家坪金矿床地质特征及矿床成因探讨 [J]. *西北地质*, 55(1): 167-178. Ding Kun, Wang Ruiting, Wang Zhihui, et al, 2022. Geological characteristics and genesis of the Wangjiaping gold deposit in Zhashui-Shanyang ore concentration area of south Qinling [J]. *Northwestern Geology*, 55(1): 167-178.
- 樊忠平, 张望, 王卫, 2023. 陕西省山阳—商南金矿成矿规律及找矿预测研究 [J]. *黄金科学技术*, 31(4): 560-579. Fan Zhongping, Zhang Wang, Wang Wei, 2023. Study on metallogenic regularity and prospecting prediction of Shanyang-Shangnan gold deposits in Shaanxi Province [J]. *Gold Science and Technology*, 31(4): 560-579.
- 胡西顺, 李建斌, 刘新伟, 等, 2015. 山阳中村—商南湘河一带金矿成矿地质背景、矿床类型与找矿方向 [J]. *陕西地质*, 33(2): 70-77. Hu Xishun, Li Jianbin, Liu Xinwei, et al, 2015. Geology, mineralization type and ore prospecting of gold deposit in Zhongcun of Shanyang and Xianghe of Shangnan area [J]. *Geology of Shaanxi*, 33(2): 70-77.
- 黎彤, 1992. 地壳元素丰度的若干统计特征 [J]. *地质与勘探*, 28(10): 1-7. Li Tong, 1992. The statistical characteristics of the abundance of chemical elements in the earth's crust [J]. *Geology and Exploration*, 28(10): 1-7.
- 李惠, 禹斌, 马久菊, 等, 2016. 构造叠加晕找盲矿法的先进性及典型案例 [J]. *黄金科学技术*, 24(6): 15-23. Li Hui, Yu Bin, Ma Jiuju, et al, 2016. The progressiveness of structural superimposed halos method for prospecting blind orebody and typical examples of ore prospecting [J]. *Gold Science and Technology*, 24(6): 15-23.
- 李惠, 禹斌, 魏江, 等, 2020. 热液型矿床深部盲矿预测的构造叠加晕实用理想模型及其意义 [J]. *地质与勘探*, 56(5): 889-897. Li Hui, Yu Bin, Wei Jiang, et al, 2020. A new practical ideal model of structural superimposed halos for prediction of deep blind hydrothermal deposits and its significance [J]. *Geology and Exploration*, 56(5): 889-897.
- 李惠, 禹斌, 魏江, 等, 2021. 勘查(新)区构造叠加晕研究方法及其预测参照实用理想模型 [J]. *地质与勘探*, 57(2): 351-359. Li Hui, Yu Bin, Wei Jiang, et al, 2021. Research on prediction of hidden ore bodies at depth in exploration (new) areas using structural superimposed halos and a reference practical ideal model [J]. *Geology and Exploration*, 57(2): 351-359.
- 李惠, 张国义, 禹斌, 2006. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果 [M]. 北京: 地质出版社. Li Hui, Zhang Guoyi, Yu Bin, 2006. Deep-seated blind ore prediction using structural superimposed halo modeling and its application in gold exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- 刘新伟, 汪超, 韩璐, 等, 2016a. 王家坪金矿床地质地球化学特征及成因探讨 [J]. *黄金科学技术*, 24(4): 39-46. Liu Xinwei, Wang Chao, Han Lu, et al, 2016a. Geological geochemical characteristics and genesis of Wangjiaping gold deposit [J]. *Gold Science and Technology*, 24(4): 39-46.
- 刘新伟, 汪超, 李英, 等, 2016b. 陕西王家坪金矿床地质特征及成矿规律 [J]. *矿产勘查*, 7(4): 592-597. Liu Xinwei, Wang Chao, Li Ying, et al, 2016b. Geological characteristics and metallogenic regularities of Wangjiaping gold deposit, Shaanxi [J]. *Mineral Exploration*, 7(4): 592-597.
- 刘新伟, 薛玉山, 寸小妮, 2024. 南秦岭龙头沟金矿床石英 Rb-Sr 同位素测年及其地质意义 [J]. *地质找矿论丛*, 39(4): 469-477. Liu Xinwei, Xue Yushan, Cun Xiaoni, 2024. Rb-Sr age dating of quartz from Longtougou Au deposit in South Qinling area and the geological significance [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 39

- (4):469-477.
- 汪超, 陈文强, 刘新伟, 等, 2016. 陕西王家坪金矿床与国内外典型卡林型金矿床地质特征对比: 兼论卡林型金矿床的判定原则[J]. 矿产勘查, 7(6): 904-913. Wang Chao, Chen Wenqiang, Liu Xinwei, et al, 2016. Comparison of geological characteristics between Wangjiaping gold deposit in Shaanxi and the domestic and foreign carlin-type gold deposits: discussion on judgment principles of carlin-type gold deposit[J]. Mineral Exploration, 7(6): 904-913.
- 王瑞廷, 刘凯, 冀月飞, 等, 2023. 陕西柞水一山阳金铜银多金属矿集区典型矿床模型和找矿预测[J]. 地质通报, 42(6): 895-908. Wang Ruiting, Liu Kai, Ji Yuefei, et al, 2023. Typical deposit model and prospecting prediction of the Zhashui-Shanyang Au-Cu-Ag polymetallic ore-concentration area, Shaanxi Province[J]. Geological Bulletin of China, 42(6): 895-908.
- 魏江, 李惠, 禹斌, 等, 2024. 再论构造叠加晕找盲矿三个核心理论的创新性及应用效果[J]. 矿产勘查, 15(1): 82-91. Wei Jiang, Li Hui, Yu Bin, et al, 2024. Re-discussion on the innovation and application effect of three core theories of blind ore prospecting by structural superimposed halo[J]. Mineral Exploration, 15(1): 82-91.
- 文月贵, 张欢欢, 郭宣讲, 等, 2024. 构造叠加晕法在陕西小秦岭陈耳金矿床深部找矿中的应用——以 Q507 号金矿脉为例[J]. 矿产勘查, 15(7): 1224-1237. Wen Yuegui, Zhang Huanhuan, Guo Xuanjiang, et al, 2024. Application of the tectonic superimposed halo method for deep mineral exploration at Chen'er gold mine in Xiaoqinling, Shaanxi Province: a case study of the Q507 Vein[J]. Mineral Exploration, 15(7): 1224-1237.
- 吴发富, 王宗起, 王涛, 等, 2012. 南秦岭山阳板板山钾长花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 矿物岩石, 32(2): 63-73. Wu Fafu, Wang Zongqi, Wang Tao, et al, 2012. Shrimp zircons U-Pb ages and geochemical characteristics of the Banbanshan K-feldspar granite in Shanyang, southern Qinling orogenic belt[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 32(2): 63-73.
- 西安西北有色地质研究院有限公司, 2017. 陕西省山阳县王家坪金矿勘探地质报告[R]. 西安: 西安西北有色地质研究院有限公司. Xi'an Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals Co., Ltd., 2017. Geologic exploration report on Wangjiaping gold deposit, Shanyang County, Shaanxi Province[R]. Xi'an: Xi'an Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals Co., Ltd.
- 薛玉山, 刘新伟, 胡西顺, 等, 2021. 南秦岭香沟金钨矿白钨矿原位微区分析及方解石 Sm-Nd 同位素定年: 对钨成矿过程的限定[J]. 中国地质, 48(6): 1818-1837. Xue Yushan, Liu Xinwei, Hu Xishun, et al, 2021. Scheelite geochemical signature and calcite Sm-Nd dating of the Xianggou Au-W deposit in south Qinling orogen, Central China: constraints on the ore-forming process[J]. Geology in China, 48(6): 1818-1837.
- 薛玉山, 门文辉, 刘新伟, 2022. 南秦岭山阳县香沟—寺沟钨矿流体包裹体及 C-H-O 同位素特征[J]. 地质与勘探, 58(5): 940-953. Xue Yushan, Men Wenhui, Liu Xinwei, 2022. Fluid inclusions and C-H-O isotope characteristics of the Xianggou-Sigou tungsten deposit, Shanyang County, south Qinling [J]. Geology and Exploration, 58(5): 940-953.
- 薛玉山, 王瑞廷, 汪超, 等, 2020. 陕西省山阳县王家坪金矿断裂构造控矿规律[J]. 地质力学学报, 26(3): 391-404. Xue Yushan, Wang Ruiting, Wang Chao, et al, 2020. Ore-controlling rules of fault structures in the Wangjiaping gold deposit in Shanyang County, Shaanxi Province[J]. Journal of Geomechanics, 26(3): 391-404.
- 杨海涛, 康文贵, 汪超, 等, 2021. 金活动态提取 ICP-MS 法测定王家坪金矿床深穿透地球化学样品中的金[J]. 岩矿测试, 40(5): 774-782. Yang Haitao, Kang Wengui, Wang Chao, et al, 2021. Determination of Au in deep-penetrating geochemical samples of the Wangjiaping gold deposit by ICP-MS with extraction elements of mobile forms [J]. Rock and Mineral Analysis, 40(5): 774-782.
- 杨志军, 魏丽, 蔡文春, 等, 2020. 南秦岭板板山二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 39(5): 539-551. Yang Zhijun, Wei Li, Cai Wenchun, et al, 2020. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of the Banbanshan monzogranite in Southern Qinling orogenic belt and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 39(5): 539-551.
- 禹斌, 李惠, 李永才, 等, 2017. 典型矿床深部盲矿预测的构造叠加晕实用模式[J]. 黄金科学技术, 25(2): 1-6. Yu Bin, Li Hui, Li Yongcai, et al, 2017. Structural superimposed halo practical model for deep blind ore prediction in typical deposits[J]. Gold Science and Technology, 25(2): 1-6.

## Characteristics of the Structural Superimposed Halo and Prospecting Prediction of the Wangjiaping Gold Deposit in the Southern Qinling Orogenic Belt

LIU Xinwei<sup>1,2,3</sup>, XUE Yushan<sup>1,2,3</sup>

1. Xi'an Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals Co., Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Innovation Base for New Energy Mineral Resource Exploration and Comprehensive Utilization, Geological Society of China, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Shaanxi Engineering Technology Research Centre of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China

**Abstract:** The Wangjiaping gold deposit, situated in the northern segment of the South Qinling orogenic belt, constitutes a recently identified medium-sized, tectonically influenced, micro-disseminated gold deposit. The orebodies are hosted within interlayer fractures of the Upper Devonian Xinghongpu Formation carbonate rocks, which exhibit intricate structural features such as branching, compounding, tip termination and reappearance, and expansion-contraction characteristics. These features indicate a significant structural control on mineralization, corroborated by the multi-phase hydrothermal superposition mineralization observed in the deposit. To assess the deep exploration potential of the deposit, a comprehensive geochemical investigation was conducted on the primary orebody( II -1), employing elemental geochemical analysis, structural superposition halo analysis, and tectonic control factor analysis. The findings reveal distinct geochemical zonation patterns: leading-edge halo elements (As, Sb, Hg), proximal ore elements(Au, Ag, W), and trailing halo elements(Bi, Mo, with minor Cu, Pb, Zn), all exhibiting pronounced axial zoning. The spatial distribution analysis of the II -1 ore body reveals that anomalies of antimony(Sb), mercury(Hg), and silver(Ag) are notably more extensive and elevated than the orebody itself, overlapping with proximal ore elements. Conversely, anomalies of copper(Cu), lead(Pb), and zinc(Zn) are predominantly concentrated in the central to lower sections of the orebody, while bismuth(Bi) and molybdenum(Mo) are primarily distributed in the lower parts, demonstrating varying degrees of superposition with leading-edge and proximal ore elements. Two critical predictive signatures, namely the "coexistence of front and tail halos" and "strong front and weak tail halos" were identified, indicating the potential presence of blind orebodies at depth. These signatures, in conjunction with the geological structural characteristics, facilitated the delineation of two prospective target zones for further exploration. Subsequent drilling confirmed the predicted target zone C2, with drill hole ZK4302 intersecting the II-1 gold orebody at an elevation of 500 m. The intersection yielded a gold grade ranging from  $1.16 \times 10^{-6}$  to  $4.21 \times 10^{-6}$  and a thickness of 3.95 m, thereby validating the exploration model and underscoring the efficacy of the predictive approach. This study elucidates the practical significance of the tectonic superposition halo model in ore prospecting and prediction, while also serving as a valuable reference for deep exploration within the Wangjiaping mining area. Additionally, the findings offer critical insights into the exploration of analogous micro-disseminated gold deposits in the South Qinling orogenic belt, thereby enhancing the understanding of the regional metallogenic framework and augmenting the potential for future discoveries.

**Key words:** geochemical characteristics; characteristics of ore-forming element combination; tectonic superimposed halo; prospecting prediction; Wangjiaping gold deposit; South Qinling orogenic belt