

doi:10.3799/dqkx.2016.015

陕西双王金矿床矿化富集规律对成矿构造的指示意义

宫勇军¹,姚书振^{1*},谭满堂²,曹瑞荣³,程建军³

1.中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074

2.中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北武汉 430205

3.陕西太白黄金矿业有限责任公司,陕西宝鸡 721607

摘要: 双王金矿床是秦岭地区大型的危机矿山之一,找矿工作是当务之急,但其成因类型特殊,人们对其成矿构造的演化过程和控矿机制尚存在争议.以该矿床KT5矿体为例,研究了角砾岩体、断裂裂隙和金品位的空间分布关系,并结合趋势面分析,探讨了矿化富集规律及其对成矿构造的指示意义.矿床地质特征及对矿区内基性岩墙的测年结果表明其成矿时代为印支期.在印支期秦岭造山过程中的NS向主压应力背景下,成矿断裂早期右行斜向剪切作用奠定了角砾岩带的雏形;断裂中期活动引发的地震及伴生液压致裂作用,使矿区内形成了角砾岩主体和断裂裂隙系统,主成矿阶段角砾岩化作用减弱,断裂裂隙持续发育,并作为流体运移和成矿的主要通道和有利部位,使金的矿化富集呈面状展布,断裂裂隙带的产状变化是金沉淀的重要影响因素;晚期构造应力转换为近EW向拉伸,近NS向基性岩墙群侵位并受到成矿流体的改造.

关键词: 矿化富集;角砾岩体;成矿构造;双王金矿床;矿床地质.

中图分类号: P613

文章编号: 1000-2383(2016)02-0189-10

收稿日期: 2015-07-29

The Regularity of Gold Enrichment and Its Implications to Metallogenic Tectonics in Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi Province

Gong Yongjun¹, Yao Shuzhen^{1*}, Tan Mantang², Cao Ruirong³, Cheng Jianjun³

1.Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2.Wuhan Center of Geological Survey, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

3.Shaanxi Taibai Gold Mining Industry Co., Ltd., Baoji 721607, China

Abstract: Shuangwang gold deposit is one of the largest crisis mines in Qinling area with special genetic type, and it is urgent for us to undertake prospecting. But different scholars have some controversy over the evolution of the metallogenic tectonic as well as over the ore-controlling mechanism in this deposit. This paper studies the relationship of spatial distribution among the breccia bodies, fractures and fissures, and gold grade taking KT5 ore body in the deposit for an example. The regularity of gold enrichment and its implications to metallogenic tectonics are discussed, combined with trend surface analysis. According to mineralization characteristics and the age of the mafic dyke swarms in the mine area, it is suggested that the ore-forming process happened mainly in Indosinian. Under the compressive stress from north to south during Indosinian orogenesis in Qinling area, two sides of the metallogenic fault sheared obliquely with rightward contortion in the early stage, which formed the rudiment of breccia belt. In the intermediate stage, earthquake and associated hydraulic fracturing, which were induced along with the fault movement, produced the main breccia bodies together with fractures and fissures; in the gold mineragenetic process, the brecciation trailed off, while the fractures and fissures developed continuously, and they played important roles of the main pathway as well as advantaged ore-forming space for metallogenic fluid, so the gold enrichment revealed planar distribution, and the change of the fractures and fissures occurrence was the basic factor that resulted in Au precipitation. In the late stage, the extension changed to east-west, and the mafic dyke swarms intruded in the setting, which were altered by metallo-

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿项目(No.20089939);中央高校基本科研业务费专项资金(No.2012029138).

作者简介: 宫勇军(1980-),男,讲师,主要从事矿田构造学、矿床学的教学和科研工作.E-mail: gyjxhz@163.com

* **通讯作者:** 姚书振, E-mail: szyao@cug.edu.cn

引用格式: 宫勇军,姚书振,谭满堂,等,2016.陕西双王金矿床矿化富集规律对成矿构造的指示意义.地球科学,41(2):189-198.

genic fluid.

Key words: gold enrichment; breccia bodies; metallogenic tectonic; Shuangwang gold deposit; ore deposit geology.

双王金矿床位于陕西省太白县境内,其金矿化强度与钠化角砾岩带的空间关系非常密切,是秦岭地区产状和成因类型较为特殊的大型矿床之一,并在区带上有重要指示意义,长期以来受到了广泛的关注(石准立等,1989;樊硕诚,1994;祁思敬和李英,1999;梁华英等,2000;谢玉玲等,2000;史静海,2001;汤静如等,2002;王国富等,2002;王国富,2006;张作衡等,2004).目前,关于钠长角砾岩带对金成矿的控制作用已获得公认,但对成矿构造的形成时限、演化过程及其控矿机制尚存在争议.本文在研究双王金矿床地质特征的基础上,分析了KT5矿体金矿化强度的空间变化规律,探讨了该矿床金矿化富集规律对成矿构造的指示意义.

1 地质概况

双王金矿床位于西秦岭凤一太盆地中(图1).区域地层主要出露上元古界至古生界,其中上古生界以火山物质为主,其他地层几乎均为以陆源为主的碎屑岩和富镁碳酸盐建造,经历了低-低中级区域变质作用.区域构造迹线总体为NW向,以狮子岭复式背斜为骨架,两翼发育有不同级次的次级褶皱,并控制了区内铅锌、金等矿床(点)的产出.区域断裂主

要有商一丹大断裂和酒奠梁—江口断裂,此外还有若干NE向断裂.区域岩浆岩自加里东期至燕山期都有发育,以印支期规模最大,岩性主要为酸性岩,中性岩次之,主要岩体有宝鸡岩体、太白岩体及宁陕杂岩体(王国富,2006).

矿床产于凤一太盆地内王家塬次级盆地中,分布在红崖河王家塬至太白河家庄之间,由若干个大小不等的含金角砾岩体组成(图2).

矿区内地层为一套泥盆系浅海相细碎屑岩—碳酸盐岩系,地层由老至新为下泥盆统王家塬组(D_{1w})、中泥盆统古道岭组(D_{2g})、上泥盆统星红铺组(D_{3x})和九里坪组(D_{3j}).星红铺组又可分为上下两个亚组(D_{3x1}和D_{3x2}),其中下亚组的砂岩、变质砂岩、钠长岩和板岩为赋矿围岩.

矿区构造总体呈NW方向.褶皱主要为狮子岭西坝复式背斜,其南翼受王家塬断层的破坏基本缺失,北翼发育银洞沟次级褶皱,地层倾角一般在70°左右,含金角砾岩带赋存于该次级背斜北翼的星红铺组中.断裂构造主要为NW向王家塬断层和修石崖断层,二者均为地层边界断层,含金角砾岩带即夹持于二者之间.此外矿区内还发育有数条NE向断裂,具左行特征,对矿体有一定错动,为成矿后断层.

矿区内出露的岩浆岩主要为西坝岩体,沿西坝背斜轴部出露,在红崖河以东为早期石英二长闪长

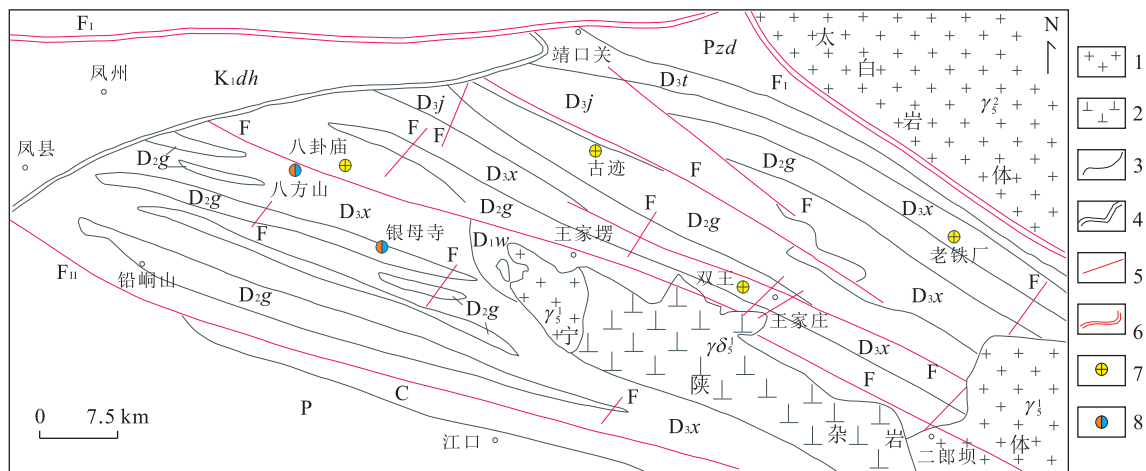


图1 双王金矿区域地质图

Fig.1 Regional geological sketch of Shuangwang mine

K_{1dh}.下白垩统东河群;P.二叠系;C.石炭系;D_{3t}.上泥盆统桐峪寺组;D_{3j}.上泥盆统九里坪组;D_{3x}.上泥盆统星红铺组;D_{2g}.中泥盆统古道岭组;D_{1w}.下泥盆统王家塬组;Pzd.元古界陡岭群;γ₂².燕山期花岗岩;γ₃².印支期花岗岩;γδ₃².印支期花岗岩闪长岩;F₁.商丹缝合带;F₁₁.酒奠梁—江口断裂;1.花岗岩;2.花岗闪长岩;3.地质界线;4.不整合线;5.断裂(F);6.深大断裂;7.金矿床;8.铅锌矿床;据王国富(2006)

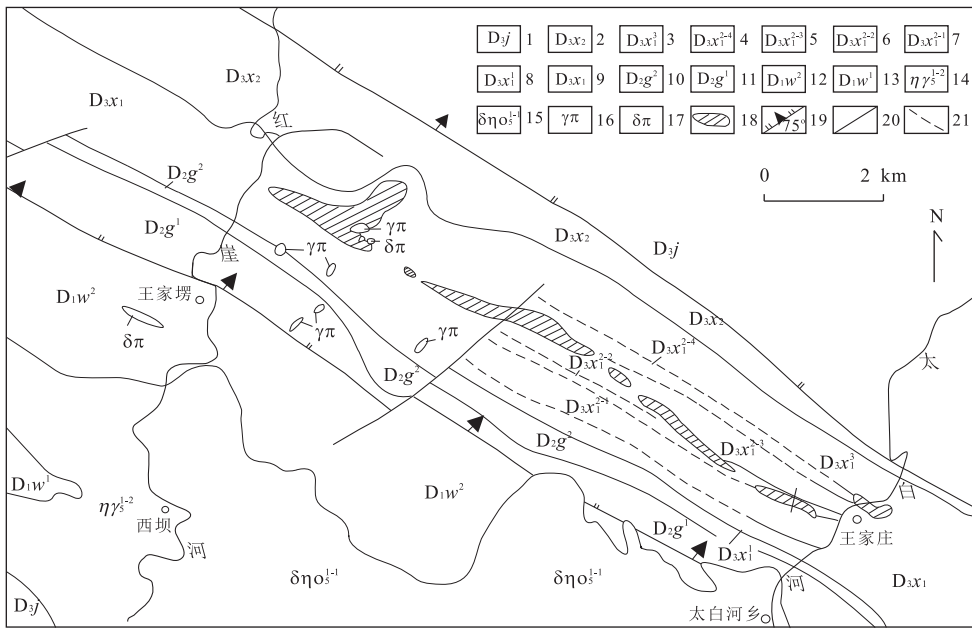


图 2 双王金矿床地质略图

Fig.2 Geological sketch of Shuangwang gold deposit

1. 上泥盆统九里坪组粉砂岩和板岩; 2. 中泥盆统星红铺组含生物碎屑结晶灰岩; 3. 星红铺组绢云粉砂质板岩; 4. 星红铺组变质粉砂岩夹板岩; 5. 星红铺组绢云粉砂质板岩、粉砂岩互层; 6. 星红铺组变质粉砂岩夹绢云板岩; 7. 星红铺组变质粉砂岩、绢云板岩层; 8. 星红铺组绢云板岩、钙质板岩、结晶灰岩; 9. 星红铺组(未分); 10. 中泥盆统古道岭组结晶灰岩夹砂岩; 11. 古道岭组钙质砂岩夹生物灰岩; 12. 下泥盆统王家堡组结晶灰岩、粉砂岩、砂质板岩互层; 13. 王家堡组变质粉砂岩夹结晶灰岩、碳质片岩; 14. 印支期二长花岗岩; 15. 印支早期石英二长闪长岩; 16. 花岗斑岩脉; 17. 中、基性岩脉; 18. 含金钠长角砾岩体; 19. 正断层及其产状; 20. 性质不明断层; 21. 星红铺组下亚组沉积岩性层界线; 据石准立等(1989)

岩,以西为晚期二长花岗岩,张帆等(2009)测得其锆石 U-Pb 年龄为 219~218 Ma,为印支期产物.该岩体对围岩地层的改造和影响较弱.另外,矿区内发育有一些规模不大但密集分布的近 NS 向煌斑岩墙和辉绿岩墙,近于垂直切割角砾岩体.

双王金矿床的角砾岩体即金矿化体,其展布空间受限于钠化蚀变范围,角砾岩体和钠化蚀变带在出露宽度上有一定的正相关性.矿区内 6 个含金角砾岩体沿 NW 向呈带状断续分布,长约 11.5 km,宽为 4~500 m,由西往东矿体分别为 KT2、KT6、KT5、KT7、KT9 和 KT8,其中以 KT5 和 KT8 矿体规模最大.角砾岩体产状一般上缓下陡,与地层走向多为小角度斜切关系,局部与地层走向一致.西部角砾岩体(如 KT5)倾向为 200°~220°,倾角为 81°~87°;东部角砾岩体(如 KT8)倾向为 20°~40°,倾角为 50°~85°.单个含金角砾岩体一般长为 50~3 050 m,多在 500~2 000 m,宽一般为 50~100 m.

角砾岩体中角砾形态多样、大小混杂,角砾与胶结物之间界线截然,成分差异显著.角砾成分主要为不同程度蚀变的板岩、粉砂岩及少量大理岩或结晶灰岩,在多次破碎发育地段,早期胶结物亦成角砾,

或与被胶结的早期角砾碎块构成复成分角砾.胶结物主要为多阶段热液活动形成的含铁白云石,其次为黄铁矿、钠长石、方解石、石英等集合体.

根据热液矿物的共生组合、包裹和穿切关系,笔者认为石准立等(1989)建立的成矿阶段划分方案更为全面和准确,即:Ⅰ.黄铁矿—含铁白云石—石英—钠长石阶段,Ⅱ.石英—黄铁矿—钠长石—含铁白云石阶段,Ⅲ.黄铁矿—方解石阶段,Ⅳ.黄铁矿阶段,Ⅴ.萤石—迪开石—方解石阶段,Ⅵ.石膏—硬石膏阶段.与金矿化密切相关的主要是Ⅳ阶段,其次为Ⅱ阶段.金除了以片状和粒状的形式产出外,还主要以独立金的形式赋存于黄铁矿、含铁白云石等载金矿物的粒间或裂隙中.自Ⅰ至Ⅲ阶段(含铁)白云石粒度呈细粒致密—中粒—粗粒变化,其包裹体均一温度总体降低,暗示其形成于持续增大的张性空间中.

2 成矿构造特征

2.1 角砾岩体

矿区内角砾岩体的形态在平面上呈透镜状,剖面上在浅部呈不规则透镜状或囊状体,深部为似厚

板状.总的来看,角砾岩体具有以下特征:

(1)角砾大小从数毫米至数米不等,混杂无分选,形态以不规则棱角状居多,次有板条状、次棱角状和透镜状(图 3a~3d).其中,棱角状、板条状角砾占主体地位,各种粒度均有发育,无明显变形,在角砾岩体边缘或粗大角砾附近,这类角砾之间可拼合性较好,显示原地或原地附近碎裂特征,中—细粒度角砾则往往为杂乱排列,多有旋转和位移.透镜状角砾在局部发育,较为细碎,一般具有定向性(图 3b),应为压剪应力下的产物.另外,亦有角砾呈菱形,或沿 X 型节理分布(图 3e),表明其形成与共轭剪切作用有关.

(2)角砾岩体内既有胶结物支撑的“漂浮”状结构(图 3c),亦有较大角砾堆叠成骨架的支撑结构(图 3d).角砾岩体与围岩间的界线有渐变型(图 3e)和截然型(图 3f),前者表现为角砾岩体—网脉(剪切裂隙和不规则张性裂隙均有)—围岩的过渡形式,后者则多为较平直的边界,两种边界在角砾岩体的不同部位可毗邻发育.

(3)早期角砾全部发生了钠化蚀变,随角砾原岩成分和构造不同分别发育均匀、条带状或环带状蚀变(图 3a).结合角砾间胶结物的成分类型来看,压剪性角砾主要形成于热液成矿期的第 1 阶段,张性角砾岩主体则形成于第 2~3 阶段.

2.2 含矿断裂裂隙

对于热液期矿物组合,前人往往从角砾胶结物

的角度予以研究,笔者则发现其另一重要产出形式为热液脉体,规模从数厘米至数米不等.热液脉体既可发育在角砾岩体与围岩的接触带上,亦可穿切角砾岩体产出(图 4a 和 4b),或表现为中心为脉体,向两侧过渡作为角砾间胶结物.总体来看,脉体与角砾岩体相伴而生,但并非限于角砾岩化程度最高的中心地段(图 4c~4f).脉体走向主要为 NWW-NW 向(近沿脉方向)(图 4a, 4c, 4e 和 4f),次为 NEE-NE 向(近穿脉方向)(图 4d),前者平直型和不规则状边界均有发育,为张剪性,与地层走向夹角一般为 20° 左右;后者边界多为不规则状,为张性特征.脉体在热液成矿期各阶段均有发育,从成分上看主要类型有铁白云石脉、黄铁矿脉、石膏脉等,其中以铁白云石为主的脉体主要为第 2 阶段产物,规模往往较大;以黄铁矿为主的脉体为第 4 阶段产物,规模一般不大,但数量众多.

热液脉体的存在是断裂裂隙的表现形式,其与角砾岩体的空间关系表明二者既有同步性,亦有继承性.一方面,部分断裂裂隙是角砾岩体中裂开较大且连通的空间,与角砾岩体同时形成,其内充填物一致;另一方面,断裂裂隙带穿切角砾岩体或发育于角砾岩体与围岩的接触部位,往往追踪角砾岩体产出,致使其部分边界受角砾岩体构造影响而不规则,即断裂的生长和扩展于角砾岩体而言有一定继承性,其内充填脉体与围岩、角砾和早期胶结物的界线截然.

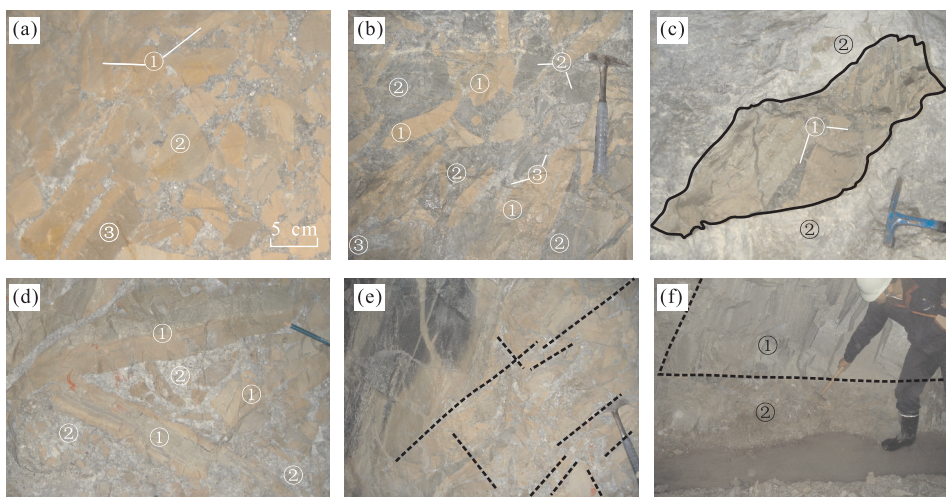


图 3 角砾岩的产出形式

Fig.3 Occurrences of breccia bodies

a. 钠化板岩角砾, ① 对称钠化蚀变, ② 半环状钠化蚀变, ③ 条带状钠化蚀变; b. 早期胶结物角砾化, ① 钠化板岩角砾, ② 早期胶结物: 钠长石和含铁白云石; ③ 晚期胶结物含铁白云石; c. 多期角砾岩化, 黑线所示角砾内部, 早期钠长石含铁白云石 ① 胶结围岩角砾后, 整体破碎, 再次被晚期灰白色含铁白云石 ② 胶结; d. 骨架状构造, ① 钠化板岩角砾, ② 含铁白云石; e. 胶结物充填显示出的 X 型节理(黑线所示); f. 角砾岩体的平直边界, 黑线所示, ① 围岩, ② 角砾岩体

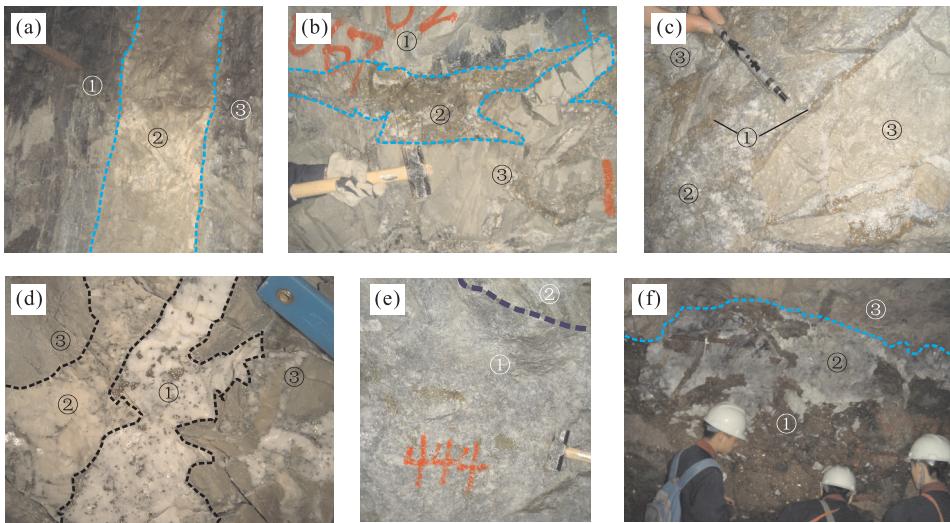


图 4 热液脉体的产出形式

Fig.4 Occurrences of hydrothermal veins

a.石膏脉,1420 m 标高 75 线,①围岩,②石膏脉,③角砾岩体;b.黄铁矿脉,1690 m 中段 67 线,①围岩,②黄铁矿脉,③角砾岩体;c.黄铁矿脉,1690 m 中段 75 线,①黄铁矿细脉,②含铁白云石,③角砾岩体;d.黄铁矿方解石脉,1420 m 中段 73 线,①黄铁矿方解石脉,②含铁白云石脉,③角砾岩体;e.铁白云石大脉,1420 m 中段 79 线,①铁白云石脉,②角砾岩体;f.巨晶黄铁矿铁白云石大脉,1550 m 中段沿脉,①黄铁矿,②含铁白云石,③角砾岩体

2.3 角砾岩体、断裂裂隙与金矿化的空间关系

双王金矿床的金矿体主要产在角砾岩体内,但在不同角砾岩体中和同一角砾岩体的不同部位金矿化度均有较大差异,工业矿体只是穿行和占据各个角砾岩体的一部分,矿体产出部位既可在角砾岩体的中部,也可在其边缘,总体呈断续状分布.当角砾岩体内胶结物(尤其是黄铁矿)含量较高时,金矿化程度较好.

热液脉体的发育部位及密度对金矿化有重要影响.笔者对 1420 m 中段进行实地考察发现,金品位高值区段与热液脉体的发育部位(图 4a 和 4e)有较好的对应关系,其他中段富矿地段脉体亦较发育(图 4b,4c 和 4f),表明该矿床中断裂裂隙系统是金成矿阶段的重要控矿构造.总的来看,金矿化度与角砾岩带中的张性空间、张开程度和热液脉体规模具有正相关关系.

3 金矿化富集特征

3.1 金品位线性分析

通过对 KT5 矿体 1420 m 中段坑道编录、坑内钻岩心编录和金品位进行综合分析,笔者研究了角砾岩体空间展布与金矿化的关系(图 5).

(1)图 5 表明,角砾岩体具有膨大狭缩的现象.沿走向在平面上呈左阶侧列,在剖面上向东侧伏;在

勘探线剖面上其底界标高一般为北高南低(如 ZK67-3 和 ZK43-1 分别在 67 线和 43 线南端,ZK67-2 和 ZK43-2 分别在 ZK67-3 和 ZK43-1 的偏北位置),即具有向南倾斜的特点.金矿体产状亦有相应变化,平面上表现为在 NW 向矿体厚度相对较宽,在 NE 向矿体厚度相对较窄或不发育,全矿区内矿体沿走向在剖面上也呈现向东侧伏的产状(图 6).因此,角砾岩体和矿体的展布均反映出其受断裂右行斜向剪切压扭作用的控制.

(2)对 1420 m 中段不同穿脉刻槽样品的金品位数据进行权值计算和滑动平均,并作趋势线.从图 5 中可以看出,金品位高值区明显集中在两个线性带上,并且沿走向有较好的延续性,即品位峰值主要沿基本平行的 I 和 II 两线分布,远离两线金品位多急剧降低.由钻孔岩心数据得到的品位曲线亦有同样特点,峰值区集中在 I' 和 II' 两线分布.由于所分析的钻孔位置均在对应穿脉的南端,钻孔方位为 19° ,倾角为 $60^\circ \sim 78^\circ$,将样品位置还原到实际空间部位后,I' 和 II' 分别为 I 和 II 在纵向上顺层的延深.

由此可见,金的高品位区在立体空间上有较为稳定的两个带,这表明 I-I' 和 II-II' 所代表的两个面是重要的成矿结构面,是金的矿化中心.从产状特征来看,两个结构面紧随角砾岩体发育,可穿切后者,亦可发育在后者的端部或边缘,不受角砾岩体大小的限制,其走向和延深稳定,明显具有断裂裂隙的性

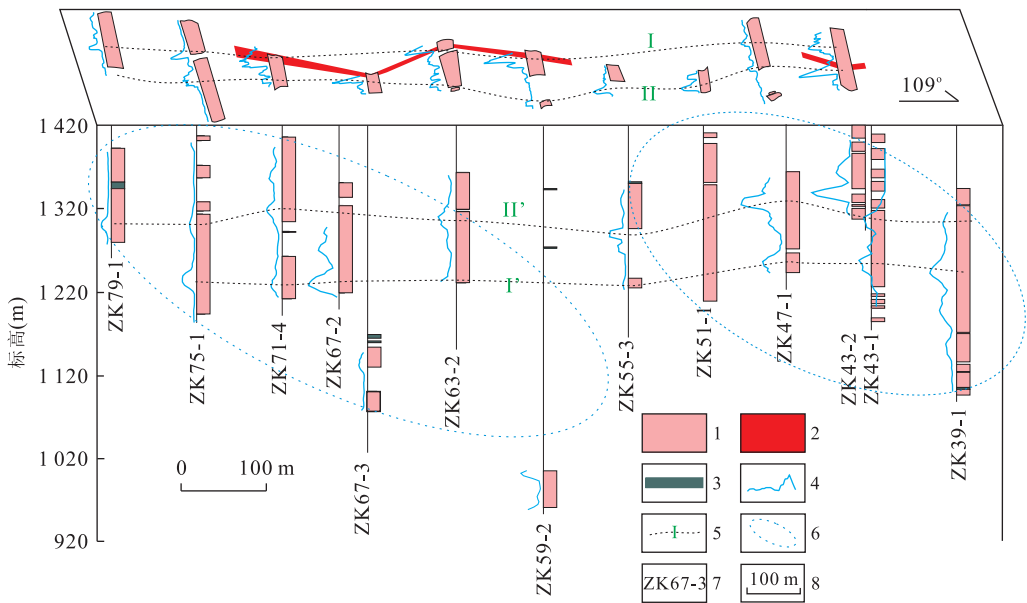


图 5 KT5 矿体 1 420 m 中段以下矿体品位与角砾岩体水平、垂向分布

Fig.5 Horizontal and vertical distributions of Au grade and breccia bodies for KT5 ore body below 1 420 m level adit

1.角砾岩体;2.矿体;3.煌斑岩墙;4.品位滑动平均趋势线(图示各角砾岩体的边界为零,向左为高值);5.品位峰值连线;6.角砾岩体侧伏趋势;7.钻孔编号;8.勘探线间距(相邻勘探线间距 100 m,如 79 线与 75 线,75 线与 71 线,以此类推;同一勘探线水平间距为 0 m,如 ZK43-1,ZK43-2)

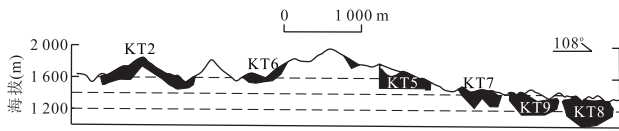


图 6 双王金矿床主要矿体垂直纵投影分布

Fig.6 Vertical longitudinal projection of the main ore bodies in Shuangwang gold deposit

据陕西省地矿局第三地质队(2009)修绘

质.另外,金的品位与胶结物中黄铁矿和含铁白云石的含量呈正相关.因此,品位曲线的展布特征表明,在金的主成矿阶段热液矿物主要是沿结构面沉淀的,而非均匀分布于角砾岩体内充当胶结物,故而矿化中心也不是整个角砾岩体或其中心空间,这也意味着在该阶段角砾岩体的大规模生成已趋于结束,控制成矿流体运移和沉淀的是具有明显结构面的断裂裂隙系统,金品位峰值区的展布则指示了其发育部位.成矿阶段热液脉体与金高品位区段的空间吻合性亦有力地证明了这一点.

3.2 金矿化趋势面分析

对矿体的品位和厚度作趋势面分析,可以有效地指示矿化富集规律和控矿构造特征(谭满堂等,2014).对 KT5 矿体 1 420 m 中段以上矿体厚度和金品位的 98 对测试数据进行处理:首先利用 surfer 软件对原始数据进行多项回归分析,分别筛分出各自的趋势值和剩余值,继而对手度和品位的原始值、趋

势值和剩余值利用克里格方法进行网格化处理,并用 surfer 软件作等值线(图 7),从图中可以看出:

(1)矿体厚度与金品位的原始值、趋势值和剩余值图总体形态均有一定差异.

(2)在原始值图上(图 7a 和 7b),矿体厚度和金品位等值线均在 1 600 m 中段和 1 500 m 中段附近较为密集,并呈串珠状分布,但二者峰值中心位置不一致,表现为品位等值线高值区落于矿体厚度等值线变化的梯度带上.如前所述,矿体及矿化中心发育部位受断裂裂隙系统控制,矿体厚度变化亦是含矿断裂裂隙的张开程度、密度(分散与集中程度)等产状变化的反映,而厚度等值线的梯度带则代表了其变化部位.因此,厚度和品位等值线分布的相互关系表明,断裂裂隙产状的变化是金成矿的重要影响因素,由产状变化引起的局部应力场转变和物化参数的相应变化导致了含金流体的沉淀和卸载.

(3)在趋势图上:①厚度趋势反映出矿体明显具有向东侧伏的特征(图 7c),与前述角砾岩体总的侧伏方向及侧伏角度(图 5)均较为吻合,结合含矿断裂裂隙与角砾岩体的接触关系,可以看出含矿断裂裂隙的发育相对角砾岩体的形成而言具有一致性,尽管二者在空间上不完全重合,但实为同一构造活动在不同部位和不同阶段的产物;②品位趋势线向西侧伏,等值线中心仍然分布于厚度等值线的梯度带上(图 7d),二者变化方向基本垂直,亦充分表明

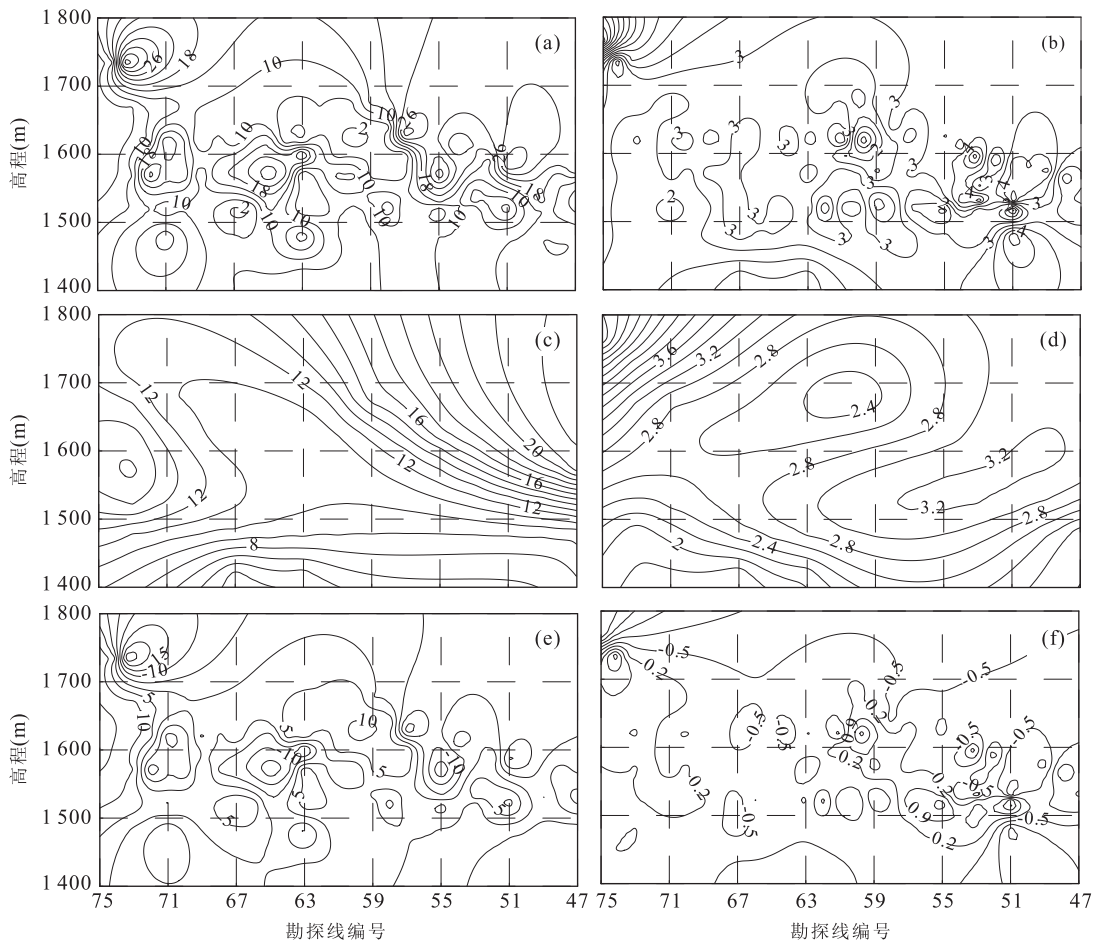


图 7 双王金矿床 KT5 矿体 1420 m 中段以上矿体厚度及金品位趋势面分析

Fig.7 Diagrams of trend surface analysis for thickness and Au grade of KT5 above 1420 m level adit

a. 矿体厚度等值线; b. 金品位等值线; c. 矿体厚度三次趋势图; d. 金品位三次趋势图; e. 矿体厚度剩余值等值线; f. 金品位剩余值等值线 (各等值线上所标注数字仅表示线值相对大小); 剖面方向向右为 109°

金矿化与含矿断裂裂隙的产状变化关系密切。

(4) 在剩余值图上, 厚度与品位的分布与其原始值相似(图 7e 和 7f): 高值区集中在 1500 m 中段和 1600 m 中段, 后者高值区同样位于前者的梯度变化部位, 二者的剩余值在近水平和向东侧伏的方向上均有呈串珠状展布的特征。这种分布形式表明, 矿体赋存部位和矿化强度均与成矿深度(标高)及侧伏方向有密切关系, 由于成矿主要受断裂裂隙控制, 因而这些特征也反映了成矿断裂裂隙在空间上具有同样的变化规律。

4 讨论

4.1 成矿构造及其控矿作用

前人对双王金矿床角砾岩的形成机制存在不同认识, 代表性观点有: 区域断裂活动形成的构造角砾

岩(石准立等, 1989), 热液隐爆成因(张复新, 1997; 张作衡等, 2004), 液压致裂(汪劲草等, 2001), 锥形断裂和液压致裂作用(王国富, 2006), 钠化蚀变岩石体积收缩所致(蒲关虎, 1997), 同生沉积角砾岩(祁思敬和李英, 1999)。

各角砾岩体的产状及其总体呈带状展布的现象表明, 角砾岩带的展布受区域断裂控制。角砾的形态和分布特征则说明其形成有两种机制: 其一为细碎的透镜状、菱形角砾岩, 具有定向性, 为压剪作用下的产物; 其二为大量的不规则棱角状角砾, 混杂无序分布, 表现为明显的张性特征, 这类角砾大部分在宏观及微观尺度范围内均有一定位移和偏转, 既有角砾呈骨架状嵌合堆积, 亦有角砾彼此孤立为胶结物所支撑, 兼有震碎和液压致裂角砾岩(李建威和李先福, 1997)的特点。结合矿区内各角砾岩体在空间上横向成串、纵向分节的波状分布形式, 笔者认为断

裂活动引起的震动和能量波状释放以及流体液压致裂的联合作用是形成双王金矿床张性角砾岩主体的主要机制,压剪性角砾岩和大量张性角砾岩共存的现象表明断裂具有先压剪、后张性的活动过程。

矿化期内各热液脉体所充填的断裂裂隙系统是角砾岩体的同期构造产物,二者共同构成了区域断裂在矿区内的组成部分.空间关系及物质成分结构表明二者在早期成矿阶段中是同步演化、相辅相成的:断裂裂隙的扩展可形成部分角砾岩,并为液压致裂所需的流体提供了主要通道;角砾岩体促进了断裂裂隙的进一步发育,无论是角砾岩体本身亦或是其与围岩的接触带,均是构造薄弱地段,对裂隙系统的形成较为有利,角砾岩化作用减弱、结束后,断裂裂隙仍在继承性和持续性发展。

矿化特征及对 KT5 矿体 1 420 m 中段、坑内钴金品位的线性分析表明,角砾岩化作用在金的主成矿阶段已趋于减弱或结束,金矿化富集在横向、纵向上均受结构面控制,呈“面型”展布,而非前期研究中认为的“体型”分布(受角砾岩体控制).实际空间中,该结构面与断裂裂隙带有良好的匹配关系,表明在金的主成矿阶段,断裂裂隙是成矿流体运移和卸载的主要空间部位。

对 KT5 矿体 1 420 m 中段以上矿体厚度和金品位的趋势面分析显示,矿化富集主要发生在断裂裂隙产状变化的梯度带上,表明在主成矿阶段,随着断裂裂隙发育的规模、密度等产状在空间上的变化,构造应力场在这些变化部位发生了相应转换,并诱使流体在该地段发生物化条件突变而卸载成矿。

4.2 成矿构造演化

4.2.1 成矿时限 石准立等(1989)对双王金矿床

主成矿期的 2 个黄铁矿样品进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年,获得成矿年龄为 $183.09 \pm 20 \text{ Ma}$ 和 $168.0 \pm 16.2 \text{ Ma}$,据此将成矿时限定于燕山期,大部分后续研究对此未作深入分析,基本采纳了燕山期成矿的观点.但由于方法的局限性,该成矿年龄的精确性值得商榷。

矿区内密集发育的 NS 向基性岩墙穿切了角砾岩体,或俘虏了角砾岩,但在 1 100 m 中段 44 线亦见到含黄铁矿的含铁白云石细脉自角砾岩体内楔入到煌斑岩墙的褪色蚀变边中(图 8a),表明角砾岩体形成于岩墙侵位之前,但成矿流体的活动延续到了岩墙侵位之后,因此基性岩墙的侵位时间可能始于成矿作用晚期,其侵位年龄可以较为精确地指示成矿时间的下限.本次研究对代表性基性岩墙的测年结果显示,1 100 m 中段 44 线煌斑岩墙锆石 U-Pb 谐和年龄为 $242 \pm 17 \text{ Ma}$ (图 8b 和 8c)(中国地质大学(武汉),陕西省太白县双王金矿床成矿规律研究报告,2012).角砾岩体与基性岩墙的空间关系及岩体年龄数据表明,双王金矿床的成矿时代为印支期。

4.2.2 成矿构造演化 礼县—山阳断裂是秦岭板块内的一条高序次 NWW 向同生断裂,控制了区内碱性热流体的成岩和成矿作用,形成了沿其分布、长 400 余公里的钠长角砾岩带,并发育有八卦庙、双王、李坝、金山、马泉、庞家河等一系列大型金矿床(张作衡,2002).该断裂及其次级断裂(王家塬断裂等)是区内的导矿、配矿构造,钠长角砾岩带及沿其发育的断裂裂隙系统则是良好的容矿构造。

如前所述,双王金矿床中钠长角砾岩带形成于印支期秦岭造山过程中,构造背景为近 NS 向的挤压应力场.根据上述研究,可以将其成矿构造演化大致划分为 4 个主要阶段:

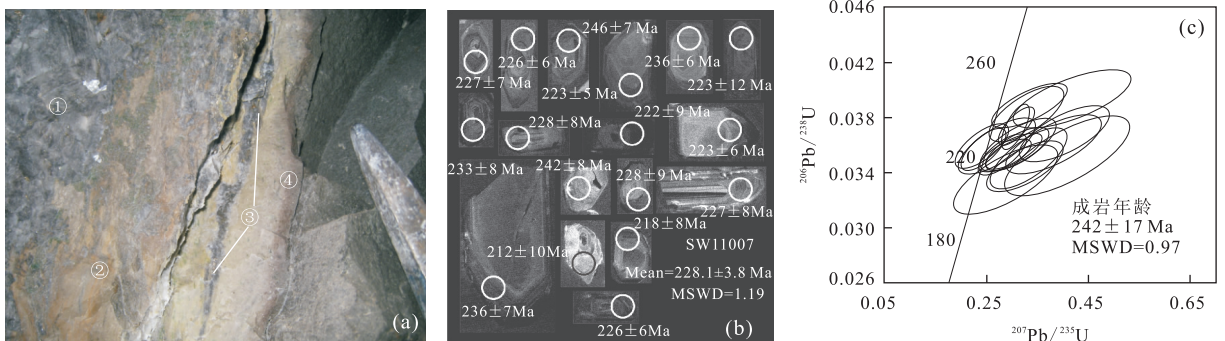


图 8 1 100 m 中段 44 线煌斑岩墙成岩年龄

Fig.8 Age of the lamprophyre dyke at No.44 exploratory profile, 1 100 m level adit

a.1 100 m 中段 44 线煌斑岩墙与角砾岩体接触关系,①含铁白云石,②钠化板岩角砾,③黄铁矿含铁白云石脉,④煌斑岩墙;b,c.岩墙锆石 U-Pb 年龄

第1阶段.在近NS向主压应力下,发育了现今钠长岩带所在部位的NW向断裂,并具有NE盘右行向下斜向剪切的特征,限定了角砾岩带展布的格局,并在局部形成了压剪性的细碎角砾岩.该阶段成矿断裂处于雏形期,主要为不连续的裂隙系统和小规模角砾岩体,为富钠热液的运移和交代提供了有利条件,富钠热液沿其活动,造成了围岩广泛的钠长岩化蚀变,致使围岩脆性程度增高,更易于破碎.

第2阶段.近NS向的主压应力进入到松弛阶段,断裂活动中引发的地震和流体液压致裂联合作用形成了成群分布的张性角砾体.图3a中可见,沿张性裂隙的钠化蚀变和部分张性围岩角砾的环带状钠化蚀变,表明富钠流体的交代作用持续到该阶段中.而角砾间胶结物主要为含铁白云石,次为钠长石、方解石等,指示了该阶段成矿流体从以富钠为主到以富碳酸根为主的转变.热液矿物相对均匀地分布于整个角砾岩体中,表明角砾岩体的张性空间是成矿流体沉淀的主要场所.

第3阶段.角砾岩化作用基本结束,断裂裂隙系统持续发育,成矿流体主要沿断裂裂隙活动,并在其产状变化地段发生物化参数的相应转变和卸载成矿.该过程与黄铁矿阶段对应,即控制了主成矿阶段.

第4阶段.主要成矿作用基本结束后,在NS向主压应力下,发生近EW向的拉张作用,近NS向基性岩墙群侵位,并受到了成矿流体的改造.

总的来看,双王金矿床的成矿作用受区域断裂控制,在矿区内成矿断裂经历了断裂雏形+初期角砾岩体—角砾岩体+断裂裂隙—断裂裂隙的构造形式发育过程,并分别与不同阶段成矿流体的运移、演化和卸载有较好的耦合关系.

5 结论

(1)通过测定穿切角砾岩体的基性岩墙群成岩年龄,结合矿区构造和金矿化的发育特征,笔者认为将双王金矿床的成矿时限定为印支期较为合理.

(2)对矿化特征和金矿化富集规律的分析表明:金矿化主要受断裂裂隙系统的控制,富集空间呈面型展布,而非受角砾岩体控制的体型分布.断裂裂隙带的产状变化部位是金沉淀的有利地段.

(3)控矿断裂裂隙系统与角砾岩体同属区域断裂活动的产物,在早期二者同步演化,主成矿阶段角砾岩化趋于结束,断裂裂隙持续发育,在局部继承角

砾岩体构造,并控制了成矿流体的迁移和沉淀.

致谢:本文在野外调研、室内研究及成文过程中得到了陕西省地质矿产勘查开发局、陕西太白黄金矿业有限责任公司等有关领导及同仁的大力协助,对此表示诚挚谢意!两位审稿专家和编委对本文提出了中肯而宝贵的指导意见,在此深深地感谢.

References

- Fan, S. C., 1994. Discussion of Metallogenic Mode and the Prospecting Forecasting of Shuangwang Large Gold Deposit, Shaanxi Province. *Geology of Shaanxi*, 12(1): 27—37 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. W., Li, X. F., 1997. Hydraulic Fracturing and Its Study Significance. *Geological Science and Technology Information*, 16(4): 29—34 (in Chinese with English abstract).
- Liang, H. Y., Wang, X. Z., Cheng, J. P., 2000. Characteristics of Gold-Hosted Stratabound Albitite and Forming Stage of Shuangwang Gold Deposit in Shaanxi Province. *Geotectonic et Metallognia*, 24(4): 350—356 (in Chinese with English abstract).
- Pu, G. H., 1997. Discussion on the Genesis of Albitite and the Breccia Belt in Eastern Qinling, Shaanxi, China. *Geology of Shaanxi*, 15(1): 46—50 (in Chinese with English abstract).
- Qi, S. J., Li, Y., 1999. The Upper Paleozoic Submarine Exhalative Sedimentary Metallogenic System in South Qinling. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 171—179 (in Chinese with English abstract).
- Shi, J. H., 2001. Classification of Breccia in Shuangwang Au Deposit, Shaanxi Province and the Signification to Au Ore Prospect. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 16(3): 206—209 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Z. L., Liu, J. X., Fan, S. C., et al., 1989. Geological Characteristics and Genesis of Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi Province. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an (in Chinese).
- Shi, Z. L., Liu, J. X., Jin, Q. H., 1993. A Study of Shuangwang Gold Deposit Related to Alkali-Carbonatite. In: Qinling and Daba Mountains Scientific Research Project Office of the Ministry of Geology and Mineral Resources, Qinling and Daba Mountains Gold Deposits Scientific Research Office of Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, ed., *Contributions to Gold Deposits of the Qinling and Daba Mountains*. Geological Publishing House, Beijing, 133—146 (in Chinese with English ab-

stract).

Tan, M. T., Yao, S. Z., Ding, Z. J., et al., 2014. Trend Surface Analysis of Main Ore Veins with Applications in Mineral Resources Prediction in Xiaoqinling Gold Ore Field. *Earth Science*, 39(3): 303–311 (in Chinese with English abstract).

Tang, J. R., Wang, J. C., Wang, G. F., et al., 2002. The Geological Features and Preliminary Study of Gold-Hosted Breccia in Shuangwang Ore Deposit, Shaanxi. *Northwestern Geol.*, 35(1): 60–64 (in Chinese with English abstract).

Wang, G. F., Sun, Z. J., Peng, E. S., et al., 2002. A Discussion on Dynamic Genesis of the Breccia Developed in the Shuangwang Gold Deposit in Shaanxi Province, China. *Geotectonic et Metallogenia*, 35(1): 81–85 (in Chinese with English abstract).

Wang, G. F., 2006. Researches on Tectono-Metallogenesis and Metallogenic Prognosis in Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi Province, China (Dissertation). Central South University, Changsha (in Chinese with English abstract).

Wang, J. C., Tang, J. R., Wang, G. F., et al., 2001. Forming of Gold-Bearing Hydrofracturing Breccia Body and Prognosis of Gold Ore Body in the Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi Province. *Geological Review*, 47(5): 508–516 (in Chinese with English abstract).

Xie, Y. L., Xu, J. H., He, Z. L., et al., 2000. The Discovery of Daughter Minerals in Fluid Inclusions of the Taibai Gold Deposit and Their Genetic Significance. *Mineral Deposits*, 19(1): 54–60 (in Chinese with English abstract).

Zhang, F., Liu, S. W., Li, Q. G., et al., 2009. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Xiba Granitoids from Qinling, Central China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 833–840 (in Chinese with English abstract).

Zhang, F. X., 1997. Study on Mineralization and Hosting State of Gold of Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi Province. *Northwest Geology*, 18(2): 28–32 (in Chinese).

Zhang, Z. H., 2002. The Mineralization and Metallogenic Process of Orogenic Gold Deposits, Western Qinling Region (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).

Zhang, Z. H., Mao, J. W., Li, X. F., 2004. Geology, Geochemistry and Metallogenic Mechanism of Shuangwang

Breccia Type Gold Deposit. *Mineral Deposits*, 23(2): 241–252 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

樊硕诚, 1994. 陕西双王大型金矿床成矿模式成矿规律与找矿前景探讨. *陕西地质*, 12(1): 27–37.

李建威, 李先福, 1997. 液压致裂作用及其研究意义. *地质科技情报*, 16(4): 29–34.

梁华英, 王秀璋, 程景平, 2000. 陕西双王钠长石岩特征及金矿床形成期次分析. *大地构造与成矿学*, 24(4): 350–356.

蒲关虎, 1997. 东秦岭钠长岩及角砾岩带成因讨论. *陕西地质*, 15(1): 46–50.

祁静敬, 李英, 1999. 南秦岭晚古生代海底喷气—沉积成矿系统. *地质前缘*, 6(1): 171–179.

石准立, 刘瑾漩, 樊硕诚, 等, 1989. 陕西双王金矿床地质特征及其成因. 西安: 陕西科技出版社.

石准立, 刘瑾漩, 金勤海, 1993. 与碱性碳酸盐有关的双王金矿床. 见: 地质矿产部秦巴科研项目办公室和陕西省地质矿产局秦巴金矿科研办公室, 编, 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 133–146.

史静海, 2001. 陕西双王金矿床含金角砾岩分类及其找矿意义. *地质找矿论丛*, 16(3): 206–209.

谭满堂, 姚书振, 丁振举, 等, 2014. 小秦岭金矿田典型矿脉矿化趋势面分析与深部预测. *地球科学*, 39(3): 303–311.

汤静如, 汪劲草, 王国富, 等, 2002. 陕西双王含金角砾岩地质特征及成因初探. *西北地质*, 35(1): 60–64.

汪劲草, 汤静如, 王国富, 等, 2001. 太白双王含金角砾岩体形成过程和金矿体预测. *地质论评*, 47(5): 508–513.

王国富, 孙振家, 彭恩生, 等, 2002. 陕西双王金矿床角砾岩动力学成因探讨. *大地构造与成矿学*, 35(1): 81–85.

王国富, 2006. 陕西双王金矿床构造成矿作用及成矿预测研究(博士学位论文). 长沙: 中南大学.

谢玉玲, 徐九华, 何知礼, 等, 2000. 太白金矿流体包裹体中黄铁矿和铁白云石等子矿物的发现及成因意义. *矿床地质*, 19(1): 54–60.

张帆, 刘树文, 李秋根, 等, 2009. 秦岭西坝花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. *北京大学学报(自然科学版)*, 45(5): 833–840.

张复新, 1997. 陕西双王金矿床成矿作用及金的赋存状态研究. *西北地质*, 18(2): 28–32.

张作衡, 2002. 西秦岭地区造山型金矿床成矿作用和成矿过程(博士学位论文). 北京: 中国地质科学院.

张作衡, 毛景文, 李晓峰, 2004. 双王角砾岩型金矿床地质地球化学及成矿机制. *矿床地质*, 23(2): 241–252.