

# 陕西石泉县羊坪湾金矿床地质-地球化学特征及金的富集规律

李福让<sup>1</sup> 侯俊富<sup>2</sup> 杨弘<sup>1</sup> 王启<sup>1</sup>

(1.西北有色地质勘查局七一一总队,陕西 勉县 724212;2.西北大学,陕西 西安 710068)

**摘要:**羊坪湾金矿床是在南秦岭造山带石泉—汉阴北部地区继黄龙金矿床和鹿鸣金矿床开发之后近年来新发现的金矿床,对该金矿床的研究对于该区域找矿实践及金成矿理论研究具有重要意义。笔者通过野外调研和室内测试相结合对羊坪湾金矿床地质、地球化学特征及金的富集规律进行了研究。羊坪湾金矿产于下志留统梅子垭组( $S_1m$ )含炭二云母石英片岩中,目前矿区圈出南、北两条平行展布的金矿化蚀变带,在矿带内圈出3条平行展布的金矿体。金矿化特征为硅化、黄铁矿化。金粒度较粗,主要为明金,以粒间金、裂隙金等形式赋存。含炭二云母石英片岩夹石英岩互层有利岩性段和韧(脆)性剪切构造控制着金矿的产出。流体包裹体研究表明:均一温度为170~220℃,属中—低温;氢、氧同位素的特征显示,成矿热液中的水介质是以大气降水和变质分泌水为主的混合水。硫同位素的变化范围是7.5‰~11.7‰,说明成矿物质主要来源于地层。综合地质地球化学特征认为该矿床为沉积—改造型中低温热液矿床。

**关键词:**地质、地球化学特征;金富集规律;羊坪湾金矿;陕西石泉

**中图分类号:** P618.51

**文献标志码:** A

**文章编号:** 100-3657(2009)01-0174-10

陕西石泉—汉阴北部地区金矿床(点)众多,除黄龙金矿、鹿鸣及茅垭子金矿外,尚有八庙沟、金斗坡、沙沟、观音河、金采沟、骆驼项等金矿点(图1)。其中,黄龙金矿、鹿鸣金矿已投入开发多年,产生了良好的经济及社会效益,并有学者对其金矿化特征进行了初步研究<sup>[1,2]</sup>。近年来西北有色地勘局711队又在黄龙—鹿鸣成矿带西端发现了羊坪湾金矿床、水田坪金矿床等,显示该金矿带巨大的找矿潜力,对羊坪湾金矿床地质特征及金富集规律进行研究对于该区域找矿实践乃至区域金成矿理论的探讨均具有重要意义。

## 1 区域成矿地质背景

羊坪湾金矿床产于南秦岭南部逆冲推覆系东段的白水江—白河褶皱束。北邻留凤关—金鸡岭褶皱

束,南接北大巴山加里东褶皱带<sup>[3]</sup>。区域地层属秦岭区的徽县—旬阳分区,总体上由中元古界郧西群、耀岭河群火山岩系构成基底,寒武系—志留系碎屑—化学沉积岩构成盖层<sup>[4]</sup>。志留系梅子垭组为一套深水滞留环境下沉积的含炭泥质碎屑岩建造,其中存在若干个含金层位,其中已发现多处金矿床(点),羊坪湾—黄龙—鹿鸣等金矿床构成了一条呈北西向展布的金成矿带<sup>[5]</sup>(图1)。该成矿带东部构造线呈北西向,向西则由于受巴山弧形断裂带的影响逐渐转为北南向,在主造山期已基本形成的逆冲推覆构造的基础上,又继承中、新生代构造,形成了一套多层次的推覆构造系统。黄龙—沈坝断裂、杨家峡—迎丰断裂为区域范围内两条走向大断裂,长30~40 km,宽10~100 m,走向310~325°,倾向北东,具有韧性剪切及多期活动特点,在这些区域性断裂的旁侧,发育

收稿日期:2008-08-07;改回日期:2008-09-28

基金项目:国土资源部资源补偿费项目(2001,2003)、西北有色地质勘查局重点地质勘查项目(2005)和科研项目联合资助。

作者简介:李福让,男,1966年生,高级工程师,硕士生,长期从事金属矿产勘查管理与科研工作;E-mail: lifurang@sohu.com。

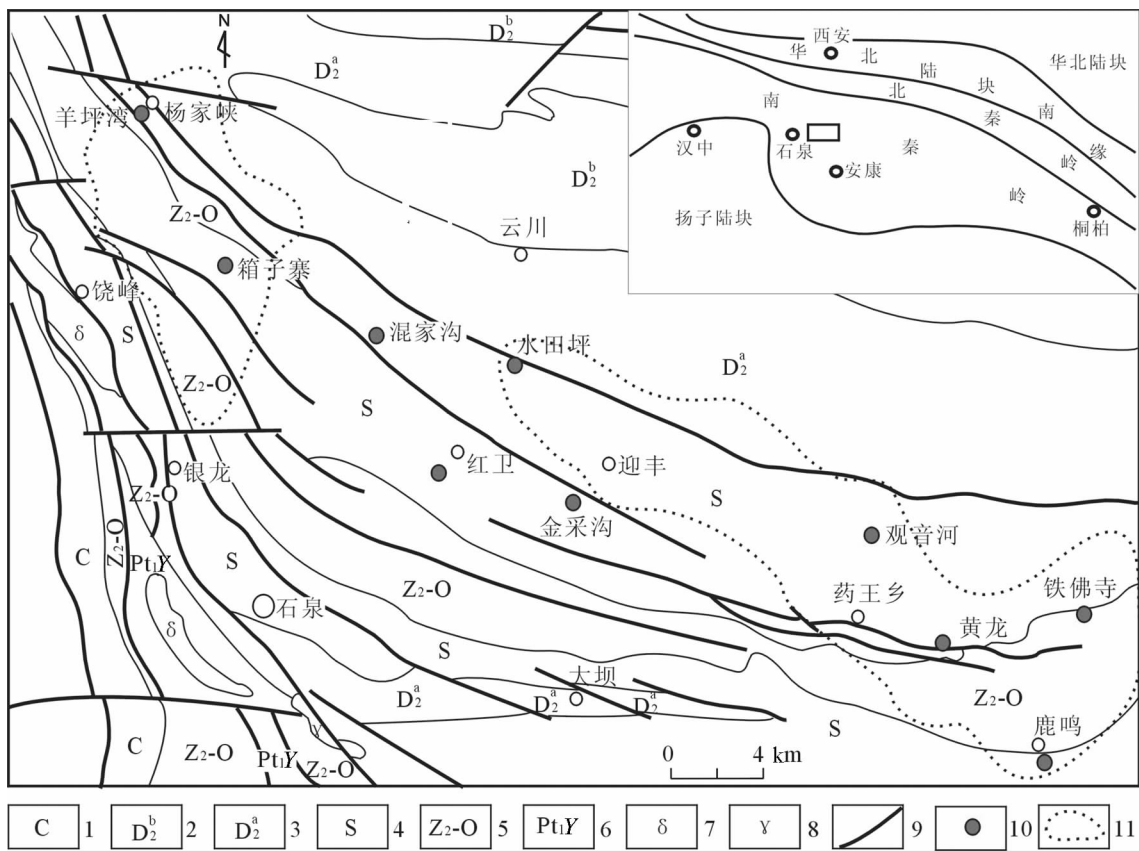


图 1 陕西石泉—汉阴北部地区区域地质图<sup>①</sup>  
1—石炭系;2—中泥盆统上部;3—中泥盆统下部;4—志留系;5—洞河群;6—中元古界耀岭河群;  
7—闪长岩;8—花岗岩;9—断裂;10—金矿床(点);11—金重砂异常  
Fig.1 Regional geological map of northern Shiquan-Hanyin area, Shaanxi Province<sup>②</sup>  
1—Carboniferous; 2—Upper part of Middle Devonian; 3—Silurian; 5—Donghe Group; 6—Mesoproterozoic  
Yaolinghe Group; 7—Diorite; 8—Granite; 9—Fault; 10—Gold deposit; 11—Anomaly of heavy metal placer

一系列次级逆冲推覆剪切带,控制着金矿床(点)的分布。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地层

羊坪湾金矿床产于羊坪湾—黄龙—鹿鸣金矿成矿带的西段,矿区出露地层为下志留统梅子垭组( $S_{1m}$ )上部,呈北西向展布,总体为一向北东缓倾的单斜层,由南而北可分为 3 个岩性段:①含炭绢云石英片岩段:分布在矿区西南部,呈北西向展布,总体北东倾,倾角 15~45°。②含炭二云母石英片岩夹绢云石英岩段:分布在矿区中部,呈北西向展布,总体倾向北东,局部向南西倾,倾角 15~45°,出露宽度 400~500 m,岩石组合以含炭、含石榴石二云母石英片岩为主体,夹薄层绢云石英岩,局部见含炭绢云石

英片岩及炭质片岩,金矿化蚀变带、矿(化)体均产于此岩段中,是金矿赋矿层位。③绢云石英片岩夹薄层二云母片岩段:分布在矿区北部,北西向展布,产状较稳定,倾向北东,倾角 20~50°,是一套以绢云石英片岩为主体夹薄层二云母片岩、钙质片岩及灰岩的岩石组合。

2.2 矿区构造

矿区总体为一单斜层,地层受区域多期次构造作用被复杂化,同时发育多期面理构造。强硬层岩石(绢云石英岩)多形成无根褶皱透镜体,软弱岩层(含炭二云母石英片岩)则形成紧闭尖棱小褶曲及微褶皱劈理构造,特别是在金矿化蚀变带内与其附近更为发育。

断裂构造按其展布方向可分为 3 组:北西向组是矿区内一组早期韧性剪切带,目前发现两条( $F_1^1$ 、 $F_1^2$ ),分布于矿区中部,长 500~1600 m,宽 30~100 m,总

体倾向北东,倾角  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,带内岩石表现为强片理化、强揉皱特点,为一组低角度韧性逆冲推覆剪切带,是矿区内重要的控矿构造,金矿(化)体产于其中;近东西向组( $F_2^1$ )分布在矿区北部,走向近东西,倾向南,倾角  $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,一般见有 1~10 m 宽的破碎带,切割地层和矿(化)体,经取样分析,该组断裂局部有金矿化显示,是成矿期后构造;南北向组( $F_3$ ),在矿区内共见 2 条,长 50~400 m,产状近直立,切割地层、矿(化)体,是成矿期后构造。

2.3 矿区岩浆岩

矿区内侵入岩有花岗岩脉、花岗伟晶岩脉、钠长岩脉。花岗岩、花岗伟晶岩脉主要分布在矿区北部,顺

层或穿层侵入于绢云石英片岩段和南部含炭绢云石英片岩中,长几米至几十米,宽 0.5 m 至十余米。钠长岩脉主要分布在矿区中部,呈脉状顺层或穿层侵入于金矿化蚀变带内或其旁侧,长 5~20 m,宽 0.2~4.5 m。

2.4 矿带、矿体特征

矿区内已圈出南、北两条矿化蚀变带,以南矿带为主。南矿带圈出 2 条矿体,北矿带圈出 1 条矿体。矿带、矿体呈北西—南东向展布,近平行排列(图 2)。主要矿带、矿体特征如下:

南矿带分布于矿区中部,长 1600 m,宽 30~100 m,走向北西,向北东缓倾,倾角  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,受  $F_1^1$  韧性逆冲推覆剪切带控制,带内岩石片理化、微褶皱、劈理

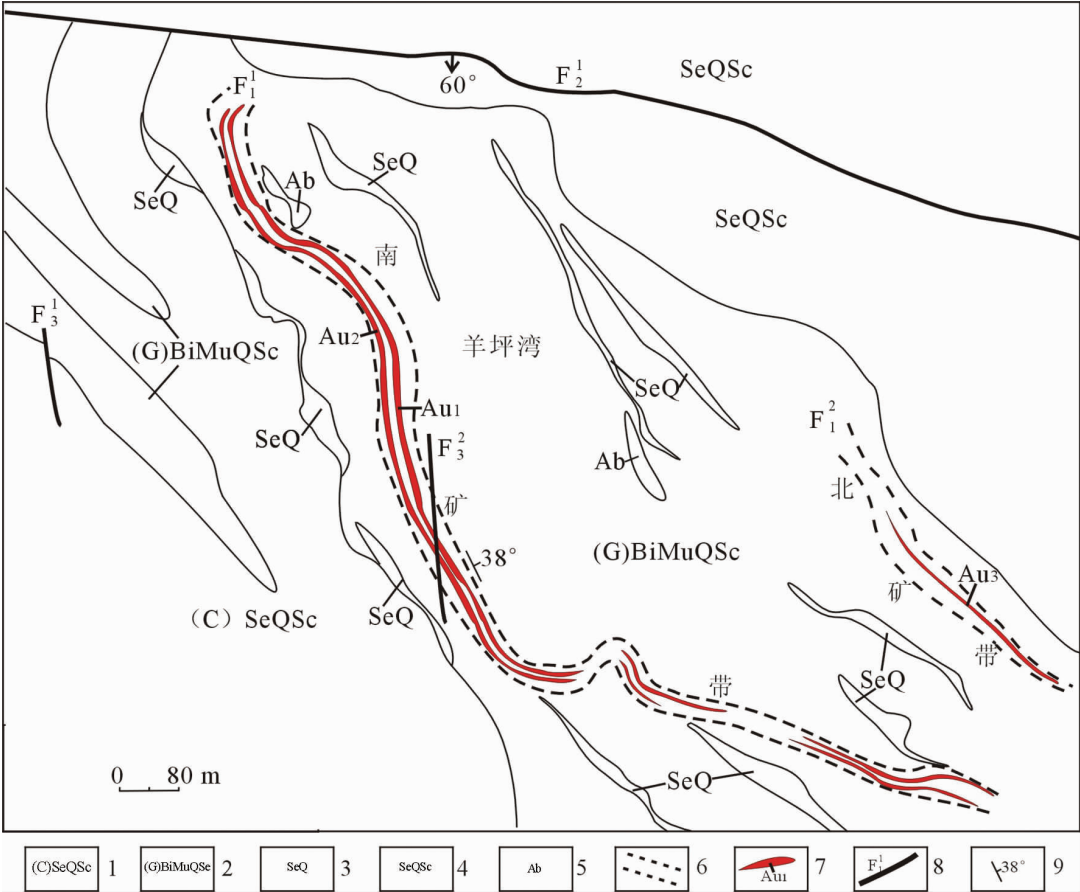


图 2 陕西石泉羊坪湾金矿床地质图

1-含炭绢云母石英片岩;2-含石榴子石二云母石英片岩;3-绢云母石英岩;4-绢云石英片岩;5-钠长岩脉;6-金矿带;  
7-金矿体及其编号;8-断层;9-产状

Fig.2 Geological map of the Yangpingwan gold deposit in Shiquan, Shaanxi Province

1-Carbonaceous sericite quartz schist; 2-Garnet-bearing sericite and biotite quartz schist; 3-Sericite quartzite; 4- Sericite quartz schist; 5-Albitite vein; 6-Gold ore belt; 7-Gold ore body and its serial number; 8-Structure; 9-Attitude

构造发育,岩石组合主要为二云母石英片岩、薄层绢云石英岩,岩石普遍发生强黄铁矿化、硅化及黑云母变斑晶化,其中圈出 Au1、Au2 号矿体,平行分布,特征相似。

Au1 号矿体,分布于南矿化蚀变带中部,产状与南矿化蚀变带近于一致,控制长 1400 m,控制最大斜深 221.8 m,厚度 0.64~6.04 m,平均厚度 2.16 m,厚度变化系数 65%,单样金品位波动于  $0.8\times10^{-6}\sim38.10\times10^{-6}$ ,单工程平均品位  $0.83\times10^{-6}\sim6.62\times10^{-6}$ ,平均品位  $1.94\times10^{-6}$ ,品位变化系数 97%,该矿体占矿床总金属量的 56%。矿体呈似层状,在走向及倾向上有波状起伏和膨缩特征,向南东侧伏,其厚度、品位在倾向方向的变化小于走向方向。

2.5 矿石特征

2.5.1 矿石类型

矿石类型可分为含炭二云母(石英)片岩型金矿石和绢云石英岩型金矿石两种,其中前者为主要矿石类型,占整个矿床矿石量的 90%以上。

2.5.2 矿石成分

含炭二云母石英片岩型金矿石金属矿物主要为黄铁矿 3%~6%,磁黄铁矿 2%~3%,褐铁矿 3%~5%,其次是黄铜矿、毒砂、磁铁矿等,含量均小于 1%;非金属矿物主要为石英 40%~55%、云母 30%~60%,其次是石榴子石 1%~5%、斜长石 1%~3%、方解石 1%~5%、石墨 1%~2%、炭质 3%~5%等,副矿物有楣石、磷灰石、电气石、锆石,含量均小于 1%;贵金属矿物是银金矿。

2.5.3 矿石结构、构造

矿石主要结构有他形一半自形粒状变晶结构、变斑晶结构、自形结构、包含结构、假象结构。①他形一半自形粒状变晶结构:石英在矿石中呈他形一半自形粒状分布。②变斑晶结构:黑云母呈 0.5~2

mm 变斑晶集合体分布于矿石中。③自形结构:部分黄铁矿、磁黄铁矿呈自形立方体或五角十二面体产出。④包含结构:黄铁矿中包含黄铜矿细粒,石英、黄铁矿中包含自然金粒。⑤假象结构:褐铁矿由黄铁矿、磁黄铁矿氧化而来,但仍保留其晶形特征。

矿石主要构造为片理状构造、浸染状构造、脉状-网脉状构造、条带状构造。①片理状构造:片状矿物呈定向排列,与粒状矿物一起组成了岩石片理。②浸染状构造:金属矿物呈浸染状分布于岩石中。③脉状、网脉状构造:石英、黄铁矿沿岩石裂隙、片理、劈理等呈脉状和网脉状穿入。④条带状构造:石英、黄铁矿、磁黄铁矿呈条带状、长扁豆体状沿岩石片理分布。

2.6 金的赋存状态

2.6.1 金的粒度、外形形态及嵌布特征

金的形态多种多样,主要呈不规则状、浑圆状、椭圆状、三角形、四边形、菱形、哑铃形、S 形、线形等;其中包裹金,以浑圆-椭圆状为主,其他形态多赋存于矿物粒间、岩石层间及岩石裂隙中。

金的赋存状态主要有 3 种,其中以粒间金为主,占 76.06%,金分布于石英与石英、石英与褐铁矿、石英与白云母、石英与黄铁矿、黄铁矿与黄铜矿等粒间;其次为裂隙金,占 14.20%,镜下可见金分布于岩石裂隙中,矿物裂隙中未见;包裹金较少,占 9.74%,金分布于石英、褐铁矿颗粒中。金的粒度较粗,以明金为主,占 63.00%。其中,中粒金占 39.79%,细粒金占 23.21%,显微金为次,占 37.00%(表 1)。

2.6.2 金的分布特征

金粒除以星点状分布于矿石中外,还呈细粒集合体状包裹于石英颗粒中,呈带状分布于岩石裂隙,少数呈弧形分布于岩石层理中。

2.6.3 金的物相分析

不同类型矿石中金的占有率不同,①氧化矿石

表 1 金的赋存状态统计  
Table 1 Statistical table of modes of occurrence of gold

粒度 (mm)	平均粒径 /mm	比 粒径	粒间金		裂隙金			包裹金		含量%
			颗粒数 /n	含量%	颗粒数 /n	比面积	含量 /%	颗粒数 /n	含量%	
-0.08+0.04	0.006	8	5	33.16	1	64	6.63			39.79
-0.04+0.02	0.03	4	13	21.55	1	16	1.66			23.21
-0.02+0.01	0.015	2	33	13.68	11	44	4.56	2	0.83	19.07
-0.01+0.005	0.0075	1	74	7.67	13	13	1.35	86	8.91	17.93
合 计			125	76.06	26	137	14.20	88	9.74	100

注:参加统计的金粒数为 239,测试单位:西北有色地质研究院。



中：金物相中裸露、半裸露金的占有率是 89.25%~94.76%，其他相的占有率为 0.26%~3.81%，以裸露与半裸露金为主，且基本不受矿石品位的影响。②原生矿石中：裸露与半裸露金的占有率是 50.61%~97.91%。受矿石品位影响较大，高品位矿石金是主要为裸露与半裸露金，包裹金较少；低品位矿石中以裸露与半裸露金为主，占有率为 50.61%，包裹金占的较多，其中以硫化物包裹金为主，占有率为 31.33%，其他较少(表 2)。

2.6.4 金的成色

金的电子探针分析结果(表 3)表明：金矿物中银含量为 19.86%~47.23%，羊坪湾金矿金的矿物为银金矿。金的成色总体不高，成色范围为 526.37%~801.20‰，平均为 742.80‰。

2.7 围岩蚀变特征

主要围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、黑云母变斑晶化。

①硅化：硅化在矿体及其围岩中普遍可见，有两种，一种是硅化细脉沿岩石的裂隙、片理、劈理呈条带状、小扁豆体等分布，石英呈烟灰色、青灰色、灰白色等。另一种是呈网脉状沿岩石劈理、裂隙穿入，在矿化部位、构造带中分布密集，与网脉状硫化物在一

起时，对金的形成更为有利。

②黄铁矿化：分三期，Ⅰ期为他形—半自形粒状集合体，沿岩石片理呈透镜状、长粒状、浸染状、条带状与磁黄铁矿一起分布于岩石片理中，此类黄铁矿与金的关系不是很密切；Ⅱ期黄铁矿呈半自形粒状—脉状、网脉状，这种黄铁矿大部分沿岩石裂隙、劈理呈脉状、网脉状产出，黄铁矿呈半自形粒状、纤维状(毛发状)、线状等，这期黄铁矿与金的关系密切，但更为密切的是呈网脉状、纤维状集合体的黄铁矿；Ⅲ期黄铁矿呈自形—半自形粒状，分布于第三期石英脉的裂隙中，与方解石在一起，在黄铁矿的粒间和裂隙中见银金矿。

③黑云母变斑晶化：含矿岩石中黑云母变斑晶比较常见，斑晶黑云母的{001}解理与岩石流劈理(S<sub>1</sub>)和滑劈理有一定的夹角，随着挤压程度的增强，斑晶黑云母的解理方向与 S<sub>2</sub> 的夹角越来越小，甚至为 0°，一般多为 20~35°，有的黑云母变斑晶有破碎扭折和重结晶现象，沿解理有褐铁矿充填。通过对有详细鉴定结果的 62 件样品统计，其中金品位大于 0.5×10<sup>-6</sup> 样品为 42 件，占黑云母变斑晶样品的 66.13%，小于 0.5×10<sup>-6</sup> 者仅占 33.87%，也说明黑云母变斑晶的存在与金的关系密切。

表 2 金的物相分析  
Table 2 Statistics of phase analyses of gold

样号	工程位置 及编号	矿石 类型	品位 /g/t	裸露与 半裸露金/%	碳酸盐 包裹金/%	硫化物 包裹金/%	氧化铁 包裹金/%	硅酸盐 包裹金/%	合计 /%
S-151	TC111,	氧化 矿	4-10	94.76	3.15	1.39	0.35	0.35	100
Yd-67	TC100-3		4-5	93.47	0.26	3.13	0.53	2.61	100
Yd-91	TC106		1-5	91.84	1.72	2.58	1.93	1.93	100
Yd-100	TC110		5-10	89.25	1.60	2.29	3.05	3.81	100
2054	PD826	原生 矿	14.6	97.91	0.27	0.70	0.42	0.70	100
S-62	PD826C	矿	1.10	50.61	10.84	31.33	6.02	1.20	100

测试单位：西北有色地质研究院。

表 3 金的电子探针分析  
Table 3 Electron microprobe analyses of gold

样号	工程编 号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Fe	Pb	Zn	总和	成色(‰)	测试单位
S-81	PD826 CMI11S	银金矿	80.04	19.86	0.03	0.40	0.03	0.14	100	801.20	西安地质矿产研究所
2076		银金矿	78.78	20.53	0.00	0.33			99.65	793.27	
2076		银金矿	78.53	20.14	0.03	0.34			99.37	795.89	
Yd-259	TC111-I	银金矿	52.49	47.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	526.37	中国地质科学院矿产资 源研究所
Yd-97	TC106	银金矿	79.17	20.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	797.28	

3 矿床地球化学特征

3.1 流体包裹体地球化学

3.1.1 流体包裹体特征

矿物的流体包裹体是成岩成矿流体在矿物结晶生长过程中,被包裹在矿物晶格缺陷或穴窝中的,至今尚在主矿物中封存并与主矿物有着相界限的那一部分物质<sup>[9]</sup>。本次研究流体包裹体的根本目的是了解成矿过程的物理化学条件,揭示成矿实质问题,不仅具有重要的理论意义,而且对矿床的勘查和开发有一定的指导意义。

①围岩中包裹体特征:包裹体不发育,仅见少量石英中含纯液相—气液两相包裹体群。

②热液脉中包裹体特征:根据构造活动及相互穿插关系现将热液活动暂划分为 3 个阶段。

第一阶段(早):含少量黄铁石英脉阶段。石英呈透镜状、钩状、脉状,沿岩石片理分布,石英颗粒透明度好,含炭高者呈青灰色—灰白色,在地表由于铁染而呈褐红色,石英大部分受到构造作用的影响使其微裂隙发育,部分石英可见波状消光。在石英脉的边部可见黄铁矿分布,在脉体附近围岩中或与围岩接触处有金粒存在,此类石英脉与金的关系较为密切。

此类石英中包裹体较发育,包裹体类型为纯液相、气—液两相、三相 CO<sub>2</sub> 包裹体及有机包裹体、子晶包裹体等。包裹体形状多样,以椭圆状为主,其次为不规则状等。包裹体主要分布于石英的边部,呈堆、片、带、串珠状等,有的沿石英微裂隙呈线状、带状分布;包裹体大小多为 5~8 μm,最大可达 15~20 μm,气液比一般为 8%~10%,少数可达 30%左右。

第二阶段(中):含方解石石英脉。石英脉沿片理大量出现,脉宽 20~30 cm,有分支复合现象,石英呈纯白色,干净,不含炭,挤压破碎现象不明显。包裹体多,分布均匀,包裹体类型主要为纯液相、气—液两相、三相 CO<sub>2</sub> 包体及有机包裹体,大小 5~20 μm,最大可达 75 μm,气液比为 5%~10%,最高可达 70%,为气体包裹体,包裹体主要呈片、面状分布,少数呈带状分布,沿裂隙呈带、线状分布的较少,个别呈网格状分布。

第三阶段:含少量多金属硫化物方解石石英脉。此类石英脉分布少,切穿岩石层理,石英透明度较好,未受到后期构造作用影响,裂隙较发育,在其裂隙中分布有少量金属硫化物。包裹体分布较多而均匀,呈

面状、稀疏状分布,包裹体类型有纯液相、气—液两相、三相 CO<sub>2</sub> 包裹体。包裹体特征基本与第二阶段同,所不同的是在此类石英脉中见到不混溶包裹体。

3.1.2 均一温度

早期阶段成矿热液温度范围为:153~218℃,平均为 207.17℃;中期阶段成矿热液温度范围为:105~240℃,平均为 197.35℃;晚期阶段成矿热液温度范围为:138~227℃,平均为 192.3℃。成矿温度(图 3)主要集中在 170~220℃,属中—低温成矿。

3.1.3 成矿压力及矿化深度估算

矿化深度,即包裹体捕获深度,借助压力估计值获得。压力包括流体压力和静岩压力,若不计流体压力,以静岩压力 27000 kPa/km 增长率计算,羊坪湾

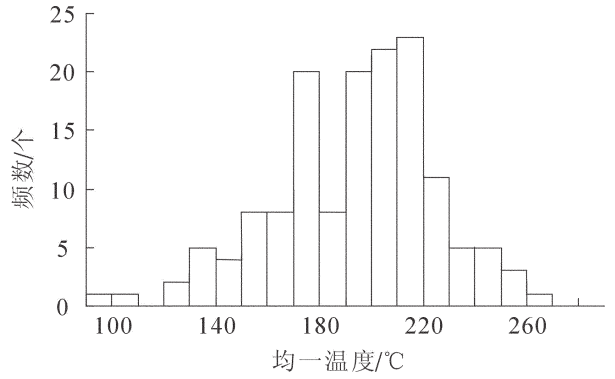


图 3 羊坪湾金矿均一温度直方图  
Fig. 3 Histogram showing homogeneous temperature of the Yangpingwan gold deposit

金矿矿化最深约 3.33 km,随着成矿作用的进行深度有变深的趋势(表 4)。

3.1.4 成矿流体性质

(1)流体包裹体成分

流体包裹体成分主要由气相成分和液相成分两部分组成(表 5~6):

表 4 羊坪湾金矿压力、成矿深度估算参考值 Table 4 Estimated ore-forming pressure and depth of the Yangpingwan gold deposit			
热液阶段	矿物	压力/100 kPa	成矿深度/km
早期热液阶段	石英(I)	100~650	0.37~2.41
中期热液阶段	石英(II)	200~900	0.74~3.33
晚期热液阶段	石英(III)	750	2.78

注:成矿热液压力范围为 10000~90000 kPa。不同成矿阶段,其压力范围有所变化。

①气相成分:成矿包裹体中气相成分以 H<sub>2</sub>O 为主,其次是 CO<sub>2</sub>,还含有其他有机成分 H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>。随着成矿作用进行,从早期(Ⅰ)→中期(Ⅱ)→中期(Ⅲ),CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>+CO+CH<sub>4</sub> 含量均有所降低。

②液相成分:①阳离子:阳离子为 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>,且总体上,Na<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>K<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>。随着成矿作用进行,从早期(Ⅰ)→中期(Ⅱ)→中期(Ⅲ)K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 含量均有所降低。②阴离子:阴离子以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>为主,F<sup>-</sup>很少,对成矿起作用不大,随着成矿作用的进行,Cl<sup>-</sup>相对有所升高,F<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>有所降低。

综上所述,成矿溶液是以 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 为主的热液体系。

③比值变化规律:①Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>比值,从Ⅰ阶段→Ⅱ阶段→Ⅲ阶段变化不明显;②F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 从Ⅰ阶段→Ⅱ阶段→Ⅲ阶段有所降低。

④包体成分与金的关系:将包体成分与金进行相关系数计算,根据包体成分相关关系计算结果可知,金与 N<sub>2</sub>+CO+NH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>、Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、Na<sup>+</sup> 等均成正比,而金与 N<sub>2</sub>+CO+NH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub> 的关系尤为密切,其次是 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O,这说明有机气体的存在对金的富集有利。

⑤成因标志:①F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup><<1,为原生沉积或热卤水型<sup>⑤</sup>。②当 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup><2,Na<sup>+</sup>/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)>4 为典型岩浆热液型;当 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>>10,Na<sup>+</sup>/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)<1.5 时,为典型热卤水型;当 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) 介于二者之间时为沉积型或层控热液型<sup>⑤</sup>。

研究区 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 的变化范围是 3.034~7.198,平均 5.85,Na<sup>+</sup>/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) 的变化范围是 2.003~8.351,平均 4.06,与沉积型或层控热液型比较接近,但又有一定差异,这可能与本区受到后期改造作用有关。从以上情况看,本区热液来源与地层关系比较密切,但有一定差异,早期包裹体成分中 Na<sup>+</sup>/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) 变化范围较大,而晚期阶段变化范围比较小,这与早期热液脉受到构造作用改造相吻合。从以上情况看,本区属于沉积-改造型金矿。

(2)盐度、密度

将所测盐度、密度数据列于表 7,本区成矿溶液盐度范围是 1.7%~15.3%,为低盐度。且随着成矿作用的进行有降低的趋势。

(3)酸碱度(PH)、氧化还原电位(Eh)

羊坪湾金矿成矿溶液早期酸碱度 pH=6.95~7.01,中期酸碱度 pH=6.88~7.60,晚期酸碱度 pH=

表 5 羊坪湾金矿流体包裹体气相成分(10<sup>-6</sup>)分析结果  
Table 5 Analyses of gas phase in fluid inclusions of the  
Yangpingwan gold deposit

样号	主矿物名称	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
S-7	石英(Ⅰ)	0.817	痕	2.550	1.767	19.901	531
S-108	石英(Ⅰ)	0.017	3.317	0	0	41.351	499
S-118	石英(Ⅰ)	0.317	4.033	0.167	1.817	42.100	714
S-17	石英(Ⅱ)	0.550	1.233	2.550	0.833	37.203	376
S-19	石英(Ⅱ)	0.651	2.201	0.217	0.167	12.500	880
S-127	石英-方解石(Ⅱ)	0.233	3.933	0	0	101.901	411
S-29	石英(Ⅲ)	0.683	2.683	0.950	2.233	15.833	908

注:测试单位:桂林矿产地质研究院。

表 6 羊坪湾金矿流体包裹体液相成分分析结果(10<sup>-6</sup>)  
Table 6 Analyses of liquid phase in fluid inclusions of the  
Yangpingwan gold deposit (10<sup>-6</sup>)

样号	主矿物名称	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
S-7	石英(Ⅰ)	1.272	10.029	1.101	0.100	0.100	9.678	7.036
S-108	石英(Ⅰ)	3.971	18.179	8.075	1.001	0.450	4.667	71.721
S-118	石英(Ⅰ)	0.958	6.848	1.518	0.250	0.245	2.491	9.449
S-17	石英(Ⅱ)	1.753	9.536	3.771	0.860	0.120	1.498	21.309
S-19	石英(Ⅱ)	2.190	6.732	1.758	0.400	0.145	5.074	11.509
S-127	石英-方解石(Ⅱ)	1.645	9.321	1.314	0.747	0.186	8.245	9.727
S-29	石英(Ⅲ)	1.059	7.623	1.524	0.150	0.155	6.014	8.825

注:测试单位:桂林矿产地质研究院。

6.97~6.99(表 8)。总体上,成矿溶液性质属弱酸—弱碱性,随着成矿作用的进行,酸性有所增强。

氧化还原电位早期为-0.60~-0.52,中期为-0.538~-0.45,晚期为-0.60~-0.40,成矿环境属弱还原环境。

3.2 氢、氧同位素特征

流体包裹体氢同位素与根据 N. Clayton<sup>[6]</sup>水岩平衡计算公式计算得到的氧同位素分析结果如表 9。将氢、氧同位素值平均值投入图 4 中。由图 4 可

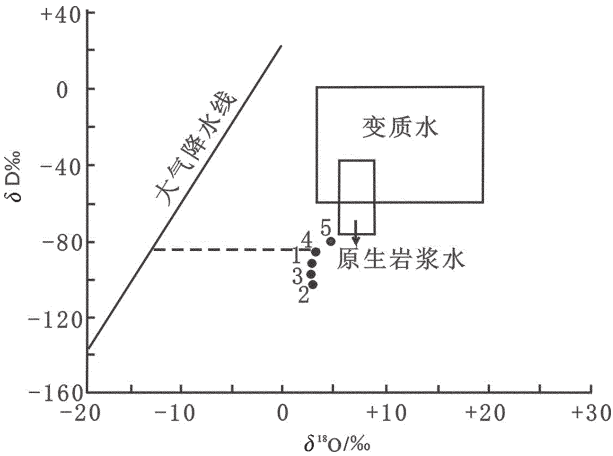


图 4 羊坪湾金矿氢、氧同位素组成  
Fig.4 H and O isotope composition of the Yangpingwan gold deposit

特征,热液中的水介质是以大气降水和变质分泌水为主的混和水<sup>[7,8]</sup>。

3.3 硫同位素特征

硫同位素的变化范围是 7.5‰~11.7‰,偏差是 4.2‰(表 10)且均富重硫,硫同位素组成与岩浆和生物硫同位素差距很大,但同样条件下的黄铁矿和磁黄铁矿中硫同位素组成基本相同,说明黄铁矿中硫来源于地层。

4 控矿因素及金富集规律

4.1 金矿化受有利岩相控制

原始沉积形成的泥砂质岩石薄层互层部位是金赋存的可利岩性段,矿化主要富集于含炭二云母石英片岩及二云母片岩中。金矿化地段岩性多为片岩与石英岩互层部位,如 PD826-CM111S、TC100-3 探槽中岩性为二云母石英片岩、石英二云母片岩与石

表 7 羊坪湾金矿区盐度、密度测试数据

Table 7 Analytical data of salinity and density of the Yangpingwan gold deposit

热液阶段	矿物	盐度% (NaCl <sub>eq</sub> )	密度(g/cm <sup>3</sup> )
I 期热液阶段	石英(I)	1.7~15.3	0.871~0.998
		8.63(24)	0.931(23)
II 期热液阶段	石英(II)	1.84~10.1	0.865~0.968
		5.63(10)	0.912(10)
III 期热液阶段	石英(III)	3.35~8.00	0.904~0.945
		5.68(4)	0.917(4)

注:盐度、密度列中括号内数据为样品数。

表 8 羊坪湾金矿 pH、Eh 值

Table 8 PH, Eh values of the Yangpingwan gold deposit

热液阶段	矿物	pH 值	Eh 值
早期热液阶段	石英(I)	6.95~7.01	-0.60~-0.52
中期热液阶段	石英(II)	6.90~7.22	-0.538~-0.45
晚期热液阶段	石英(III)	6.97~6.99	-0.60~-0.40

见,流体的来源比较复杂,在成矿作用的早期,一般以变质分泌水和大气降水为主,随着成矿作用的进行,水向大气降水线漂移。热液活动晚期阶段,水的来源向岩浆水靠近,根据流体包裹体氢、氧同位素的

表 9 羊坪湾金矿床流体包裹体氢、氧同位素分析结果

Table 9 Analyses of H and O isotopes in fluid inclusions of the Yangpingwan gold deposit

序号	样 号	矿物名称 (期次)	$\delta D_{V-SMOW}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}(\text{矿物})$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}(\text{水})$	均一温度 (℃)
			(‰)			
1	S-108	石英(I)	-86	12.5	3.96~6.09	218~262
2	S-118	石英(I)	-81	14.5	3.51~5.33	210~245
3	S-7	石英(I)	-79	14.6	1.97~3.95	184~216
4	S-127	石英(II)	-66	18.0	1.96~6.77	141~206
5	S-29	石英(III)	-72	17.8	1.48~7.74	138~227

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。



表 10 羊坪湾金矿床硫同位素分析结果

Table 10 S isotope analyses of the Yangpingwan gold deposit			
样 号	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SM}}(\%)$	岩    性
S-48	磁黄铁矿	7.5	磁黄铁矿沿岩石片理穿入
S-48	黄铁矿	8.9	黄铁矿沿岩石片理穿入
2076	磁黄铁矿	11.7	磁黄铁矿沿岩石片理穿入
2053	黄铁矿	11.3	黄铁矿沿岩石片理及裂隙穿入
2102	黄铁矿	9.4	

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。

英岩薄层互层地段,金品位为  $0.50\times10^{-6}\sim8.60\times10^{-6}$ ,在镜下可见金赋存于石英二云母片岩的石英粒间,且金赋存于软岩性的一侧较多。但在 PD906-CM100S 坑道中,岩石以较厚层的石英片岩和二云母石英片岩为主,二云母片岩少见,沿岩石裂隙有马尾丝状黄铁矿充填,金品位为  $0.0008\times10^{-6}\sim0.0055\times10^{-6}$ 。

4.2 构造对金矿化的改造与富集

4.2.1 金矿化富集于早期韧性逆冲推覆剪切带中

矿区处于南秦岭逆冲推覆系迎丰—桐河口推覆体岩片,经历了主造山期逆冲推覆及造山期后中新生代的多次构造叠加、改造作用。矿区内已发现的南、北矿化蚀变带即为早期的韧性逆冲推覆剪切带,矿化蚀变带及其附近又叠加了晚期向南陡倾的透入性面理,致使在地表对剪切带(矿化蚀变带)产状难以确定。勘查实践表明,金矿化受早期的韧性逆冲推覆剪切带控制,且剪切带总体产状与矿区地层原始产状趋于一致,上陡下缓,向东北缓倾。

4.2.2 矿化蚀变带内特定的构造对金的富集有利

①强烈的揉皱构造对金的富集有利:根据矿床勘查中见矿工程统计,在矿体相对富、厚地段揉皱均较强烈,镜下可见金粒沿岩石揉皱呈弧形分布。

②平行于片理的岩石裂隙有利于金的富集:镜下可见金沿平行于片理的岩石裂隙呈带状分布,有的与细粒黄铁矿在一起,此种裂隙可能是由片理演化形成。

③脆性变形使岩石形成了碎裂结构、碎斑结构,局部形成角砾状构造,对金的富集有利:如 TC111-1 石英、长石破碎形成碎裂结构、PDCM111 中的黄铁矿破碎形成碎斑的结构、TC108 中的石英脉破碎形成角砾状构造,前二者含矿品位分别是 3.15g/t 和 0.57g/t,后者本身虽然不含矿,但在其上盘围岩中金品位为 60g/t。

④流劈理和滑劈理同时发育的岩石含矿性好:特别是在含云母高的岩石中,流劈理和滑劈理都比

较发育,说明岩石不是一次变形,而是多次受到构造作用影响,在这种情形下,较硬岩层往往发生弯曲,但片状矿物仍然可见有组成滑劈理的趋向,矿石品位相对较高。

5 结 论

(1)羊坪湾金矿床位于黄龙—鹿鸣金矿成矿带西延部位,矿化赋存于志留系梅子垭组含炭二云母石英片岩中,受韧性剪切带控制,原始沉积泥、砂质互层地段为金矿化有利岩性段,硅化、黄铁矿化及黑云母变斑晶化与金矿化关系密切。

(2)流体包裹体均一温度 170~220℃,说明成矿温度属中—低温;成矿溶液盐度范围是 1.7%~15.3%,为低盐度;氢、氧同位素的特征显示,成矿热液中的水介质是以大气降水和变质分泌水为主的混和水。硫同位素的变化范围是 7.5‰~11.7‰,说明成矿物质来源于地层。综合地质地球化学特征认为该矿床为沉积—改造型中低温热液矿床,具有类卡林金矿地质特征<sup>[9,10]</sup>。

参考文献(References):

[1] 李会民. 石泉—汉阴北部金矿带地质特征[J]. 陕西地质, 1997, 18(2):48-57.  
Li Huimin. The geological characteristic of gold deposit belt in the north Shiquan -Hanyin, Shaanxi [J]. Geology of Shaanxi, 1997, 18(2):48-57 (in Chinese with English abstract).  
[2] 卢纪英, 李作华, 张复新, 等. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西科技出版社, 2001:135-157, 394-402.  
Lu Jiying, Li Zuohua, Zhang Fuxin, et al. Gold Deposit of Qinling Block [M]. Xian: Shaanxi Science and Technology Press, 2001: 135-157, 394-402 (in Chinese).  
[3] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001:1-855.  
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 2001, 1-855 (in Chinese with English abstract).

- [4] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989:1-690.  
Geology and Mineral Resource Bureau of Shaanxi Province, Regional Geology of Shaanxi Province, People's Republic of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:1-690 (in Chinese with English abstract).
- [5] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 2004:1-487.  
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid Inclusions [M]. Beijing: Science Press, 2004:1-487 (in Chinese).
- [6] Clayton R N, O'Neil J R. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. J Geophys Res., 1972, 77:3057-3067.
- [7] 原莲肖, 任涛, 李英, 等. 陕西山阳县夏家店金矿物质组分和成矿流体特征及成矿物质来源探讨[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5):68-73.  
Yuan Lianxiao, Ren Tao, Li Ying, et al. Component, ore-forming fluids and material sources in the Xiajiadian gold deposit of Shanyang county Shaanxi [J]. Geology and Prospecting, 2007, 43 (5):68-73 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高菊生, 王瑞廷, 张复新, 等. 南秦岭寒武系黑色岩系中夏家店金矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1371-1378.  
Gao Jusheng, Wang Ruiting, Zhang Fuxin, et al. Geology and Geochemistry of Xiajiadian Gold Deposit in Black Rock Series of Cambrian in South Qinling [J]. Geology in China, 2006, 33 (6): 1371-1378 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张复新, 季军良, 龙灵利, 等. 南秦岭卡林型—似卡林型金矿床综合地质地球化学特征[J]. 地质论评, 2001, 47(5):492-499  
Zhang Fuxin, Ji Junliang, Long Lingli, et al. Comparative features of Carlin Para-Carlin type gold deposits in the south Qinling and gold deposits in other areas[J]. Geological Review, 2001, 47(5):492-499 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张复新, 肖丽, 齐亚林. 卡林型—类卡林型金矿床勘查与研究回顾及展望[J]. 中国地质, 2004, 31(4):407-412.  
Zhang Fuxin, Xiao Li, Qi Yalin. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: review and prospect [J]. Geology in China, 2004, 41(4):407-412 (in Chinese with English abstract).

## Geological and geochemical characteristics and gold enrichment regularity of the Yangpingwan gold deposit in Shiquan, Shaanxi Province

LI Fu-rang<sup>1</sup>, HOU Jun-fu<sup>2</sup>, YANG Hong<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>

(1. No. 711 Geological Party, Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Mianxian 724212, Shaanxi, China;

2. Northwest University, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

**Abstract:** The Yangpingwan gold deposit was found after the discovery of the Huanglong and Luming gold deposits in the northern Shiquan—Hanyin area of the Qinling orogenic belt. The study of regional gold prospecting and gold metallogeny is of great importance. Geological and geochemical characteristics were studied in this paper through field investigation and laboratory experiment. Gold mineralization occurs in schist of the Lower Silurian Meiziya Formation (*S<sub>1m</sub>*). The northern and southern ore-forming belts which contain three ore bodies have been delineated. Gold mineralization is characterized by silicon and pyrite. Gold exists mainly as visible gold between mineral grains or in cracks. Gold mineralization is controlled by schist strata intercalated with quartzite layer and shearing structure. Metallogenic temperature of fluid inclusions is 170–220°C, suggesting mesothermal–epithermal mineralization. D and O isotopes show that ore-forming fluids were derived from precipitation and metamorphosed water. S values vary in the range of 7.5‰–11.7‰, implying that metallogenic materials came from strata. Geological and geochemical characteristics indicate that the Yangpingwan gold deposit is a sedimentary–reformation type deposit formed at middle–low temperatures.

**Key words:** gold deposit; geological and geochemical characteristics; enrichment regularity; Yangpingwan

---

**About the first author:** LI Fu-rang, male, born in 1966, senior engineer, master candidate, engages in mineral exploration management and study; E-mail: lifurang@sohu.com.