

甘肃省文县阳山金矿床地质及同位素特征

杨贵才¹, 齐金忠¹, 董华芳², 郭俊华³, 李志宏³

(1. 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 廊坊 065000; 2. 甘肃省天水李子金矿有限公司, 天水 741005; 3. 中国人民武装警察部队黄金第十二支队, 成都 610036)

[摘要] 阳山金矿床位于陕甘川交界地带, 在大地构造位置上属西秦岭南亚带。矿床产于中泥盆统三河口组浅变质岩地层中, 受文县弧形构造控制。矿体在平面上呈舒缓波状, 在剖面上为脉状、似层状, 矿石中金属矿物主要有黄铁矿、毒砂和辉锑矿, 金主要以微细粒金赋存于黄铁矿、毒砂和黏土矿物中。矿床的钾-氩、氩-氩、氩-氧、硫、碳同位素研究表明, 阳山金矿形成于侏罗纪早期(195Ma), 与区域上三叠纪末期—侏罗纪早期的岩浆-构造活动关系密切, 其不同于典型的卡林型金矿以及类卡林型金矿, 其成矿流体及成矿物质均与岩浆热液活动有关。

[关键词] 同位素 微细浸染型 金矿床 阳山 甘肃

[中图分类号] P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)03-0037-05

阳山金矿床位于川陕甘交界地带, 地理坐标为东经 $104^{\circ}39'27'' \sim 104^{\circ}40'50''$, 北纬 $33^{\circ}02'27'' \sim 33^{\circ}03'06''$ 。在大地构造位置上处于扬子板块以北、中朝板块以南、松潘—甘孜褶皱系以东的三角区内, 属西秦岭南亚带^[1]。该区原以开采砂金为主, 1997年, 武警黄金十二支队在进行水系沉积物测量时发现了阳山金矿。目前, 该矿床控制的金资源量已超过 200t, 为一超大型金矿床。对于该矿床, 前人已进行过有关矿床地质、地球化学、控矿因素以及流体包裹体方面的研究^[2-5]。文章综合该矿床同位素地质特征, 谈几点认识。

1 成矿地质背景

区内出露地层主要有元古宇碧口群碳酸盐岩、硅质岩、千枚岩、板岩及绿片岩等, 泥盆纪砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、含铁石英岩等, 石炭纪、二叠纪灰岩、白云岩、砂岩、板岩等。此外, 还出露少量三叠纪、侏罗纪地层, 以碎屑岩为主(图1)。其中, 泥盆系三河口组为阳山金矿床的主要容矿围岩, 其特征与杜乐天(1996)所描述的碳、硅、泥质沉积较为一致^[6], 推测为一套热水沉积地层。

区内以文县弧形构造为主, 它由一系列近于平行的断裂构成(图2), 包括松柏—梨坪断裂、安昌

河—观音坝断裂、马家磨—魏家坝断裂、白马—临江断裂。阳山金矿床即位于安昌河—观音坝断裂带中, 该断裂呈 NEE 走向, 向北倾, 倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ^[1]。断裂带内褶皱较为发育, 而且在褶皱翼部有一系列次级层间剪切带或断裂伴生, 其产状与地层产状近于一致, 金矿体主要赋存于这些次级层间剪切带或断裂中。

区内仅出露少量小岩株和岩脉, 沿构造破碎带产出, 其岩性包括中细粒斜长花岗斑岩、细粒黑云二长花岗斑岩、花岗细晶岩以及霏细斑岩等。岩石 $\omega(\text{SiO}_2)$ 为 69.85% ~ 80.77% (7 件样品), $\omega(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 为 3.17% ~ 7.82%, 里特曼指数(RI)一般为 0.3 ~ 0.4, 属钙性系列。其中, 斜长花岗斑岩脉在矿区出露最为广泛, 与金矿体的关系也最为密切(金矿体一般产于斜长花岗斑岩脉的内外接触带附近)。

2 矿床地质特征

2.1 矿体地质特征

阳山金矿主要包括阳山、高楼山、安坝、葛条湾 4 个矿段以及张家山、泥山、汤卜沟 3 个成矿远景区段。在阳山矿带 4 个矿段内, 目前共发现金矿脉 80 余条, 其中规模最大的 305[#]、311[#]、314[#] 矿脉均位于安坝矿段。

[收稿日期] 2006-04-17; **[修订日期]** 2006-11-20; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 武警黄金指挥部专项基金项目(编号: HJ0401)资助。

[作者简介] 杨贵才(1979年—), 男, 2003年毕业于中国地质大学, 获学士学位, 助理工程师, 现主要从事黄金地质科研工作。

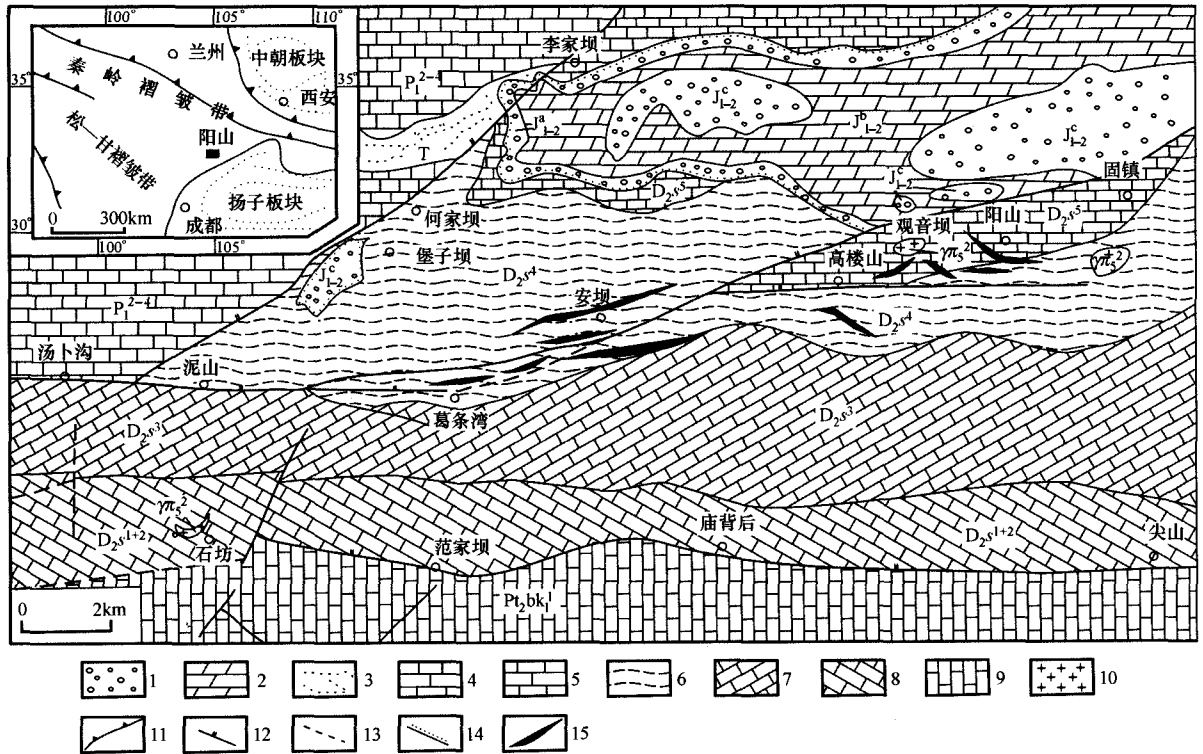


图1 甘肃省文县阳山金矿带地质简图

1—早—中侏罗世红色砾岩(J_1^{1-2} , J_1^{0-2}); 2—早—中侏罗世泥灰岩、页岩(J_1^{0-2}); 3—三叠纪砂岩、板岩(T); 4—下二叠统中部四段板岩、灰岩(P_1^{2-4}); 5—中泥盆统三河口组五段灰岩(D_2s^5); 6—中泥盆统三河口组四段千枚岩夹薄层灰岩(D_2s^4); 7—中泥盆统三河口组三段灰岩、砂质板岩(D_2s^3); 8—中泥盆统三河口组一、二段砂岩、板岩(D_2s^{1+2}); 9—中元古界碧口群下部一段灰岩、变质砂岩(Pt_2bk_1); 10—燕山期斜长花岗斑岩($\gamma\pi_2^2$); 11—俯冲带; 12—断层; 13—推测断层; 14—不整合界线; 15—矿体

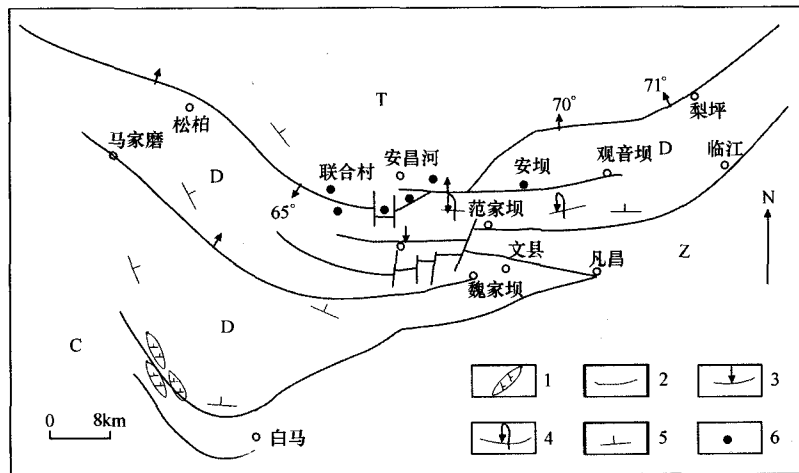


图2 文县弧形构造略图

T—三叠系; C—石炭系; D—泥盆系; Z—震旦系; 1—石英闪长岩脉; 2—断裂; 3—倒转倾向斜; 4—倒转地层产状; 5—地层产状; 6—金矿床

305[#]脉位于安坝背斜南翼的破碎带中,由碎裂岩化、黄铁矿化千枚岩及斜长花岗斑岩组成,矿脉在平面上为舒缓波状,在剖面上为脉状,总体走向为NEE

向,倾向南,倾角45°~70°。其中仅圈定了1个矿体,长1800m,控制斜深440m,平均厚度为5.58m,平均品位为7.06×10⁻⁶。314[#]脉平行于305[#]脉并位于其上

盘,也圈定出1个矿体,长2100m,控制斜深330m,平均厚度5.61m,平均品位 5.52×10^{-6} 。

2.2 矿石特征

矿区矿石按氧化程度可分为原生矿石和氧化矿石,以原生矿石为主。按矿石原岩类型又可将矿石分为蚀变砂岩型、蚀变千枚岩型、蚀变灰岩型和蚀变脉岩型4种,其中以黄铁矿化蚀变千枚岩和黄铁矿化蚀变斜长花岗斑岩型矿石为主。

矿石中金属矿物种类较多,有自然金、银金矿、毒砂、黄铁矿、辉锑矿,其次有钛铁矿、钒钛磁铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、白铁矿、硫锑铅矿、软锰矿、硬锰矿、褐铁矿等,其中主要为细粒(<2mm)黄铁矿和毒砂,并且毒砂含量略高于黄铁矿。

镜下统计分析结果表明,矿石中金矿物以自然金为主,其次为银金矿。金矿物主要赋存于毒砂、褐铁矿、辉锑矿和黏土矿物中,有3种赋存状态(表1):①包裹体金,占镜下统计数的85.46%;②粒间金,占12.72%;③裂隙金,占1.82%。金矿物嵌布粒度细微,镜下见到的最大金矿物颗粒仅 $5 \sim 6 \mu\text{m}$,大部分粒度为 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 或更小。

表1 阳山金矿自然金赋存状态统计表

金赋存状态	矿物	粒数	相对含量/%	累计/%
包裹体金	毒砂	2	3.64	3.64
	臭葱石	1	1.82	5.46
	褐铁矿	1	1.82	7.28
	黏土矿物	43	78.18	85.46
粒间金	黏土矿物	7	12.72	98.18
裂隙金	黄铁矿	1	1.82	100.00

注:由中国地质科学院成都地质研究所测试,2001。

矿石中主要非金属矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、长石,次有高岭土、绿泥石、叶腊石、绿帘石、重晶石、雄黄、石榴子石;微量矿物有锆石、电气石、透辉石、臭葱石、萤石等。

2.3 围岩蚀变特征及成矿期次

矿床围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、黏土矿化、碳酸盐化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化等,总体表现为浅成低温热液蚀变特征,其中绢云母化、黏土矿化、碳酸盐化在区内广泛发育。从矿体到围岩有一定的蚀变分带现象,表现为近矿部位硅化、黄铁矿化较强,而远矿部位黏土矿化、碳酸盐化较发育。但由于受构造破碎以及围岩成分的影响,蚀变分带现象并不十分明显。

阳山金矿成矿期次可分为热液期和表生期,热液期可分为4个成矿阶段:石英-黄铁矿阶段

(I),石英-黄铁矿-毒砂阶段(II),石英-辉锑矿阶段(III),石英-碳酸盐岩阶段(IV),其中II、III阶段为主要矿化阶段。

3 同位素地质

3.1 钾-氩同位素

从阳山斜长花岗斑岩全岩K-Ar同位素年龄的测试结果来看,矿区斜长花岗斑岩脉的全岩K-Ar年龄为171Ma~209Ma,平均年龄为189.4Ma,显示斜长花岗斑岩脉的形成时代应在三叠纪末至侏罗纪初。

杜子图等^[8]对西秦岭地区岩浆岩同位素年龄进行的统计结果表明,岩浆同位素峰值主要为两个,即180Ma~220Ma和100Ma~160Ma,也反映了在三叠纪末期-侏罗纪初期该区有较强烈的岩浆-构造活动。

3.2 氩同位素

为确定阳山金矿床的形成时间,对矿区微细浸染型矿石中细脉状石英进行了氩同位素年龄测定,结果表明,石英黄铁矿细脉中的石英年龄为 $(195.31 \pm 0.86) \text{Ma}$,显示其成矿时代为侏罗纪。

丁振举等(1999)^[13]对碧口群铜矿床中矿化脉石英作过氩同位素年龄测定,结果表明其年龄为 $(211.3 \pm 1.1) \text{Ma}$,显示铜的形成时代(或被热液叠加改造的时代)为三叠纪末期。

姚书振等(2002)^[12]研究表明秦岭控制金矿成矿的断裂、岩浆活动年代主要为230Ma~131.7Ma,秦岭大型金矿成矿主要集中于210Ma~120Ma。

据此,可以认为,阳山金矿主矿体形成于侏罗纪早期(195Ma),而且其形成与三叠纪末期-侏罗纪早期该区较为强烈的岩浆-构造活动关系密切。

3.3 氢氧同位素

该区氢氧同位素样品采自区内含金脉体以及各种蚀变矿化岩石中的石英和方解石,测定结果见表2。矿区的石英氢氧同位素组成为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 值介于20.6‰~22.7‰之间, δD 值在-60‰~-72‰之间,根据N Clayton^[16]的计算公式并参考阳山金矿床黄铁矿石英细脉流体包裹体平均均一温度(187℃,刘伟等,2003)^[5],计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为8.0‰~10.1‰。

将所测样品的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值投影于图3中可见,该区的氢氧同位素组成主要分布于标准岩浆水、变质水和大气降水组成的混合区域,主要以岩浆水为主,不同于美国卡林型金矿以及我国滇黔桂地区的板其、丫他金矿床,而与我国川西北地区东北寨金

矿、马脑壳金矿接近,反映该区成矿流体的来源与岩浆热液活动关系较为密切,同时,有部分大气降水和变质热液参与。

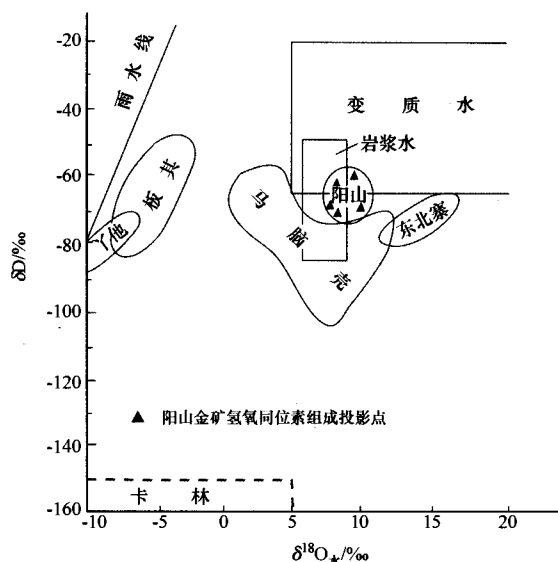


图3 阳山金矿床氢、氧同位素组成及与相关矿床对比图
(东北寨金矿资料据郑明华^[17],1994;马脑壳金矿资料据王可勇等^[18],2001;板其、丫他资料据袁万春^[14],1995;卡林金矿资料据 G B Arehart^[19],1996;岩浆水、变质水资料据 Taylor^[20],1974)

3.4 硫同位素

硫同位素对于硫化物矿床或与硫化物密切相关的矿床来说,硫同位素是研究矿源的较好方法^[11]。该区与金伴生的是以黄铁矿、毒砂为主的各种硫化物,确定成矿流体中硫同位素组成及判断硫的来源,对于探讨成矿物质来源具有重要意义。

阳山金矿床黄铁矿石英脉中黄铁矿硫同位素组成值 $\delta^{34}\text{S}$ 均以较小的负值为特征(表2),其变化范围为 $-2.2\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$ (平均为 -1.6‰)。矿区泥盆系中层状沉积黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 以较高的正值(10.9‰)为特征,与矿区黄铁矿化泥盆纪千枚岩的值($9.56\text{‰} \sim 13.23\text{‰}$)较为一致。可见矿石黄铁矿中的硫与泥盆系中沉积成因的硫有着明显的差别,因而矿石中的硫并非来自地层,而接近于平衡岩浆水热液矿床($-2\text{‰} \sim +3\text{‰}$)^[9-10]。同位素资料也显示,与岩浆活动有关的矿床的硫同位素组成一般接近于零并且变化小,因而阳山金矿床矿石硫应为岩浆硫。

阳山金矿不同于美国卡林型金矿(其围岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $11.7\text{‰} \sim 14.3\text{‰}$,矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $4.2\text{‰} \sim 16.1\text{‰}$,均以较高的正值为特征^①),也不同于我国滇黔桂地区的板其金矿床(其围岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $9.5\text{‰} \sim 17.7\text{‰}$,矿石中的为 $6.7\text{‰} \sim 14.7\text{‰}$)^[14]。而与西秦岭地区微细浸染型金矿床^[15](围岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.9\text{‰} \sim 14.9\text{‰}$,矿石中的为 $-5\text{‰} \sim +5\text{‰}$)较为接近。

3.5 碳同位素

该区全岩碳同位素组成见表2,其中矿化方解石-石英脉 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.19\text{‰} \sim -8.36\text{‰}$,较为离散。据于津生的资料^[9],岩浆源或深部源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -7‰ 左右,沉积碳酸盐源的值在 0 左右。据此认为该区碳的来源是多样的,比较接近岩浆成因碳的分布范围。另外,矿化石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 全岩值为 $-13.54\text{‰} \sim -9.06\text{‰}$,接近斜长化岗斑岩脉 $\delta^{18}\text{O}$ 的全岩值(-9.77‰),显示了成矿作用与岩浆活动有关。

表2 阳山金矿床碳、氢、氧、硫同位素分析结果

样号	采样位置	测定对象	$\delta^{34}\text{S}$	δD	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{全岩}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}$
AB40	安坝矿段	斜长花岗斑岩					-9.14	-9.77
402*V	葛条湾矿段	石英黄铁矿脉					-2.19	-13.54
AB11	安坝矿段	石英黄铁矿脉					-8.36	-9.06
SG-1	阳山13*脉	黄铁矿石英脉		-72	21.3	8.7		
AB-5	安坝305*脉	黄铁矿石英脉		-72	22.5	9.9		
PD13-3	安坝311*脉	黄铁矿石英脉		-69	20.6	8.0		
GTW-1	葛条湾403*脉	黄铁矿石英脉		-61	22.7	10.1		
Y03-172	冯家楞坎	黄铁矿石英脉		-60	21.4	8.8		
PD1301-13	安坝311*脉	石英脉中黄铁矿	-2.1					
GLS-1	高楼山矿段	石英脉中黄铁矿	-0.7					
YM2-26	安坝305*脉	石英脉中黄铁矿	-2.2					
YA-4	安坝305*脉	石英脉中黄铁矿	-1.6					
LJ-6	桥头东	泥盆系中黄铁矿	10.9					

注:AB40、402*V、AB11 为宜昌矿产地质研究所李华芹 2001 年测试,其余样品为国土资源部矿产资源研究所 2003 年测试,空白为未测。

① 拉德克 A S. 卡林金矿地质. 季文明,邓少清,陈 波,等译,1985.

4 结 论

1) 阳山金矿主矿体形成于侏罗纪早期(195Ma),而且其形成与三叠纪末期—侏罗纪早期该区较为强烈的岩浆—构造活动有关。

2) 矿石石英的 δD 值为 $-60\text{‰} \sim -72\text{‰}$, $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值为 $8.0\text{‰} \sim 10.1\text{‰}$,表明成矿流体是一种混合源,以岩浆热液为主,有部分大气降水和变质热液参与。

3) 矿石黄铁矿硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 值为 $-2.2\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$,而泥盆系中沉积黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为 10.9‰ ,表明矿石硫应为岩浆硫。

4) 阳山金矿不同于典型的卡林型金矿以及类卡林型金矿床,其成矿流体与成矿物质均与岩浆热液活动有关。

[参考文献]

- [1] 齐金忠,赵小坡,陈 样. 甘肃省文县阳山金矿带成矿规律与找矿方向研究[A]. 武警黄金地质研究所. 中国西部地区金矿地质学术讨论会议文集[C]. 北京:地震出版社,2001:143-149.
- [2] 齐金忠,袁士松,李 莉,等. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质地球化学特征[J]. 矿床地质,2003,22(1):24-31.
- [3] 齐金忠,袁士松,李 莉,等. 甘肃省文县阳山金矿床地质特征及控矿因素研究[J]. 地质论评,2003,49(1):85-92.
- [4] 罗锡明,齐金忠,袁士松,等. 甘肃阳山金矿床微量元素及稳定同位素的地球化学研究[J]. 现代地质,2004,18(2):203-209.
- [5] 刘 伟,范永香,齐金忠,等. 甘肃文县阳山金矿床流体包裹体的地球化学特征[J]. 现代地质,2003,17(4):444-452.
- [6] 杜乐天. 地壳流体与地幔流体间的关系[J]. 地学前缘,1996,3(4):172-180.
- [7] 徐永柏. 岩浆岩石学[M]. 北京:地质出版社,1985:210-212.
- [8] 杜子图,吴淦国. 西秦岭地区构造体系及金成矿构造动力学[M]. 北京:地质出版社,1998:5-50.
- [9] 于津生,李耀崧. 中国同位素地球化学研究[M]. 北京:科学出版社,1997:621.
- [10] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985:267.
- [11] 陈好寿. 成矿作用年代学及同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社,1991:1-30.
- [12] 姚书振,丁振举,周宗桂,等. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2002,27(5):599-604.
- [13] 丁振举,刘从强,姚书振,等. 碧口群铜矿床的成矿时限及其意义[J]. 大地构造与成矿学,1999,23(4):368-372.
- [14] 袁万春,李院生,张国平. 滇黔桂地区汞锑金锗等低温矿床组合碳、氢、氧、硫同位素地球化学[J]. 矿物学报,1997,17(4):422-426.
- [15] 毛景文. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿[J]. 矿物岩石地球化学通报,2001,20(1):11-13.
- [16] R N Clayton, J RO' Neil. Oxygen isotope of exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Res., 1972,77:3057-3067.
- [17] 郑明华,周渝峰,刘建明,等. 喷流型与浊流型层控矿床[M]. 成都:四川科学技术出版社,1994:1-255.
- [18] 王可勇,姚书振,吕新彪. 川西北马脑壳金矿床成矿流体地球化学特征及性质[J]. 地球化学,2001,30(3):273-281.
- [19] G B Arehart. Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: A review[J]. Ore Geology Review, 1996,11(6):383-403.
- [20] H P Taylor. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problem of hydrothermal alteration and deposition[J]. Economic Geology, 1974,69:843-883.

GEOLOGY AND ISOTOPE CHARACTERS OF YANGSHAN GOLD DEPOSIT, GANSU

YANG Gui - cai¹, QI Jin - zhong¹, DONG Hua - fang², GUO Jun - hua³, LI Zhi - hong³

(1. Institute of Gold Geology, Chinese Armed Police Force, Langfang 065000;

2. Lizi Gold Deposit Limited Company, Tianshui Country, Tianshui 741005;

3. No. 12 Detachment, Chinese Armed Police Force, Chengdu 610036)

Abstract: Yangshan gold deposit, located in the border area of Shanxi, Gansu and Sichuan provinces, belongs to the south Subzone of the west Qinling structure belt. The deposit is distributed in the middle Devonian Sanhekou formation epimetamorphic strata, and controlled by Wenxian arc structure. Ore bodies show gentle wave-like in plane and tabular and vein-like forms in profile. Ore minerals are mainly pyrite, arsenopyrite and zinckenite, and gold (mainly electrum) usually occurs as micro-grained inclusions in pyrite, arsenopyrite and argillaceous. Isotope analyses of K-Ar, Ar-Ar, H, O, S and C show that Yangshan gold deposit was formed in the early Jurassic, and related to strong magmatic-tectonic activities in the area from late Tertiary to early Jurassic. The deposit is different from typical Carlin-type gold deposit and Carlin-like gold deposit. Ore-forming fluids and materials are related to magmatic hydrothermal activities.

Key words: isotope, fine-grained disseminated type, gold deposit, Yangshan, Gansu