

陕西庞家河金矿成矿地质特征 及成矿物质来源研究

吴孔运 高利鹏

(陕西省核工业地质局二一一大队, 陕西 西安 710024)

提要:庞家河金矿产于既是矿源层又是赋矿主岩的上泥盆统下东沟组绢云千枚岩、变质砂岩中。金矿体主要赋存在膨胀、收缩、分枝、复合及波状弯曲的层间挤压片理化带中。矿体形态简单, 主要为似层状、板状及透镜状, 矿体沿走向较稳定, 但倾向及倾角变化较大。主要金矿物为自然金、银金矿, 载金矿物为黄铁矿及毒砂。主要围岩蚀变是中低温黄铁矿化和毒砂化。成矿期主要分为 3 个不同的阶段, 即: 石英-粗粒黄铁矿-水云母阶段、细粒黄铁矿-毒砂阶段和黄铁矿-石英-碳酸盐阶段。此外, 通过对庞家河金矿硫、氧及铅稳定同位素分析, 发现矿石铅主要来源于上地壳, 部分来源于地幔。 $\delta^{34}\text{S}$ 值揭示了金成矿流体主要来源于地壳流体, 部分起源于岩浆。同样, $\delta^{18}\text{O}$ 值显示成矿热液部分来源于岩浆水, 大部分来源于变质水。总之, 庞家河金矿成矿物质来源是储库混合源。

关 键 词:地质特征; 成矿物质来源; 庞家河金矿; 陕西省

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)03-0716-08

庞家河金矿床位于陕西省凤县唐藏镇境内, 距凤县城区约 22 km, 地理坐标为东经 $106^{\circ}30'00'' \sim 106^{\circ}33'52''$, 北纬 $34^{\circ}01'18'' \sim 34^{\circ}02'32''$ 。面积约 2 km²。1987 年原核工业部西北地勘局二一一大队在能谱测量及金矿找矿中发现了庞家河西南罗汉寺 38 号金矿化点, 1988 年至 1992 年间, 发现了庞家河金矿床, 并对其进行了勘查评价。目前, 已发现了 5 条金矿带, 其矿床已达到中大型规模^[1]。过去十几年间, 由于只关注庞家河金矿床的开采, 对其进行专项研究的极少, 致使其资源量日渐枯竭。本文试图对其成矿特征及成矿物质来源进行研究、分析, 为该矿床下一步的地质勘探、开采提供依据。

1 区域地质背景

中国大陆中部呈东西展布的秦—祁—昆地区, 是中国大陆巨型东西向构造带所在, 即广义的中央造山带, 其范围包括了西昆仑、阿尔金、东昆仑、祁连

山、秦岭和大别造山带^[2]。秦岭造山带是中国中央造山带的重要组成部分^[3,4], 由商县—丹凤蛇绿混杂岩带(SD)和康县—石泉—安康增生杂岩带(LA)分割为北秦岭岛弧杂岩带、中秦岭弧前盆地和南秦岭岛弧杂岩带^[5,6]。庞家河金矿床就处于中秦岭弧前盆地内(图 1)。庞家河金矿床区域上出露地层主要有下元古界秦岭群、下古生界丹凤群、中泥盆统青石垭组、上泥盆统下东沟组、石炭系中上统草凉驿组、下白垩统东河群及第四系。主要岩性有大理岩、片麻岩、变中基性火山岩、变质石英砂岩、千枚岩、千枚状粉砂岩及泥质灰岩。区域构造以断裂构造为主, 主要构造带有二组, 即近东西向构造和北东向构造, 近东西向构造被北东向构造斜切, 北东向及近东西向的两组断裂构造控制了矿区的空间展布。区域岩浆活动较频繁, 海西期岩浆活动和印支期岩浆活动以及晚古生代的火山活动强烈。岩石类型主要有石英闪长岩及二云母花岗岩。矿床区内外发现众多金矿床和铅、

收稿日期: 2011-02-16; 改回日期: 2011-03-22

基金项目: 陕西省凤县庞家河金矿接替资源勘查项目(200761105)资助。

作者简介: 吴孔运, 男, 1963 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查与管理工作; E-mail: knoywu@163.com。

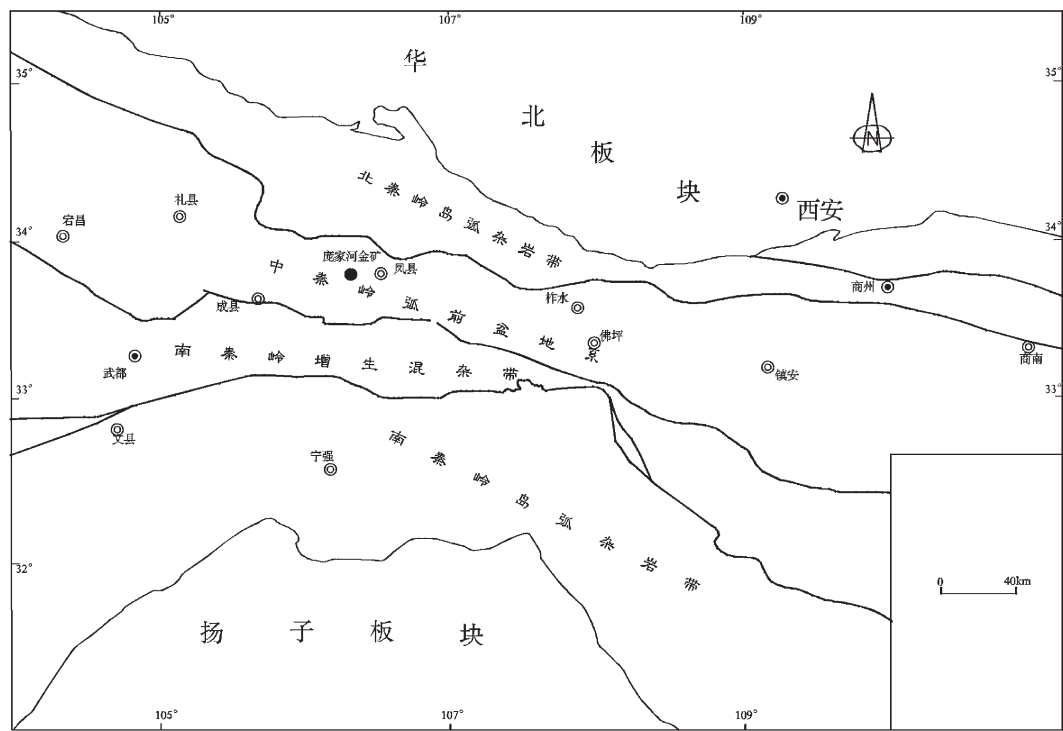


图 1 庞家河金矿床大地构造位置图(据王宗起等修改)
Fig.1 Geotectonic location of the Pangjiahe gold deposit(modifild by Wang Zongqi)

锌矿床,矿床东南部是著名的凤太铅锌矿田,矿区南边有左家庄金矿床。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区内出露地层主要有上泥盆统青石垭组(D_{3q})、下东沟组(D_{3x})及第四系(Q)(图 2)。上泥盆统主要为一套浅变质泥砂质碎屑岩建造,走向近东西,总体倾向南,局部倒转,倾角 45°~85°。主要岩性为含绿泥石绢云母千枚岩夹变质石英砂岩、灰色千枚状粉砂岩、变质石英砂岩夹绿泥石千枚岩、石英岩。其中下东沟组(D_{3x})为含绿泥石绢云母千枚岩夹变质石英砂岩,分布于矿区中部及北部。岩石呈灰绿色显微鳞片变晶结构,千枚状、微片状构造。主要矿物成分有绢云母、石英、绿泥石、白云母、铁质粘土岩及少量碳酸盐岩,其中绢云母、绿泥石呈细小鳞片状变晶体。该岩石片理、劈理发育,扭曲、揉皱多见。青石垭组(D_{3q})为变质石英砂岩夹绿泥石千枚岩,分布于矿区南部。岩石呈灰色,灰褐色,变余结构,块状、微片状构造。由碎屑物和胶结物组成,碎屑物总量占 60%,以石英为主,其次有斜长石、电气石等;胶结物

占 40%,以碳酸盐岩为主,有少量绢云母及白云石等。第四系主要为黄土及坡残积物。

矿区主要地质构造包括褶皱和断裂。褶皱构造主要表现为吴家沟—庞家河背斜,该背斜处于矿区中西部,轴向近东西向,北翼产状 350°∠28°,南翼产状 165°∠60°。矿区内以 EW 向和 NE 向断裂构造最发育,NW 向和 SN 向断裂构造次之。区内构造主要为层间挤压片理化带,其次为构造破碎带。F₃、F₄ 和 F₅ 近 EW 向构造挤压破碎带是区内的主要容矿构造,分布于矿区南北宽 300 m 范围的锣鼓庄—老虎峡一带,长约 2000 m,宽度 0.1 至 10 m,延伸 500 m 以上,倾角 70°,沿走向、倾向具有膨胀、收缩、分枝、复合及波状弯曲的特点。矿区内Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ号矿带分别赋存于 F₃、F₄ 和 F₅ 号构造带中。

矿区内岩浆活动频繁,在区域上南有佐家庄岩体、西有柳条沟岩体、北有凤县岩体。区内岩脉主要有花岗斑岩脉、闪长玢岩脉及辉绿岩脉和细晶岩脉产出。脉体一般宽 3~5 m,长约数十至数百米。矿区岩石变质程度较浅,属板岩—千枚岩相。

2.2 矿体特征

矿体形态简单,主要为似层状、板状及透镜状。

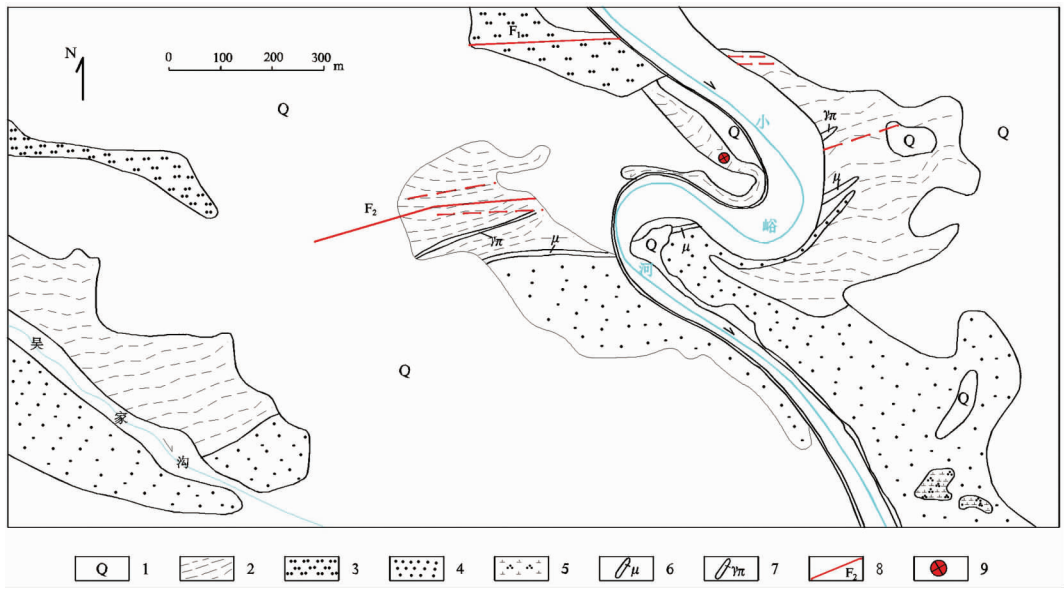


图 2 庞家河金矿床地质简图

1—第四系黄土及残坡积物;2—含绿泥绢云千枚岩;3—灰色变细砂岩、千枚状粉砂岩;4—变质石英砂岩及含砾砂岩;5—石英闪长岩;6—斜长玢岩脉;7—花岗斑岩脉;8—层间挤压破碎带;9—金矿床

Fig.2 Geological map of the Pangjiahe gold deposit

1—Quaternary;2—Chloritized sericite phyllite;3—Gray blastosammitic sandstone with phyllitic fine sandstone;
4— Blastosammitic quartz sandstone with conglomeratic sandstone;5—Quartz diorite;6—Plagioclase dyke;
7—Granite porphyry dike;8—Interlayer compresso-crushed zone;9—Gold deposit

矿体产状沿走向较稳定,走向近 EW,倾向及倾角变化较大,地表及接近地表矿体北倾,向地下深部变为南倾,矿体倾角一般为 55°~ 75°。VI 主矿体长达 600 m,平均厚度 1.8 m。矿体平均品位 6.30×10^{-6} ,最高品位 33.40×10^{-6} ,品位变化系数分别为 96%和 80%。

2.3 矿石特征

主要金矿物为自然金、银金矿。载金矿物为黄铁矿及毒砂。矿石类型为氧化矿石、混合矿石和原生矿石。矿石的结构主要有 4 种,即填隙结构、交代结构、变余砂状结构和碎裂蚀变交代结构。矿石的构造为微细浸染状构造和裂隙脉状构造。

2.4 围岩蚀变

围岩蚀变主要是中低温黄铁矿化、毒砂化、绢云母化及硅化。此外,还有绿泥石化、碳酸盐化、电气石化和褐铁矿化等。与金矿化关系密切的主要蚀变为黄铁矿化及毒砂化。蚀变带中黄铁矿和毒砂含量的多少直接关系到金矿体的贫富。

2.5 成矿期及阶段

庞家河金矿的成矿期主要分为 3 个不同的阶段,即:

(1) 石英-粗粒黄铁矿-水云母阶段

该成矿期以形成粗晶石英、黄铁矿及水云母为特征。石英以细脉状产出,水云母对原岩绢云母有交代现象,黄铁矿呈五角十二面体或立方体,二者呈聚晶出现。该阶段矿化较弱,仅形成低矿化或异常。

(1) 细粒黄铁矿-毒砂阶段

该阶段以形成黄铁矿和少量毒砂及少量黝铜矿为特征。黄铁矿呈微细粒浸染状,晶形主要为五角十二面体和立方体,粒径小于 0.1 mm。毒砂呈浸染状并与黄铁矿伴生。本阶段为主要成矿阶段,矿体的平均品位为 3.55 g/t,最高品位达 33.4 g/t。

(2) 黄铁矿-石英-碳酸盐阶段

该阶段以形成黄铁矿-石英脉、黄铁矿-方解石脉、方解石细脉和石英细脉为特征。本阶段在方铅矿、闪锌矿中金含量降为 $6 \times 10^{-9} \sim 0.1 \times 10^{-9}$,表明金矿化已接近尾声。

3 成矿物质来源

成矿物质来源对探讨矿床成因、成矿规律以及指导地质找矿具有较大的理论和实际意义。研究成矿物质来源可以通过多种途径来解决,其中包括地质学方法、稳定同位素地球化学、矿物包裹体地球化

学、稀土元素地球化学和成岩成矿模拟实验等方法,本文以地质学方法,硫、氧及铅稳定同位素及 REE 地球化学等方法来探讨一下庞家河金矿成矿物质的来源。

3.1 泥盆系下东沟组岩石地球化学特征

为了解庞家河金矿床赋矿主岩上泥盆统下东沟组等各岩性金的丰度值及背景值,笔者在庞家河矿区 120 km 范围内的千枚岩、石英砂岩及微晶灰岩等岩石类型中采样 120 件,送陕西省西安市某实验中心测试,统计了泥盆系下东沟组和青石垭组各岩石类型金的背景值和金丰度值。采样原则是:以基本无蚀变或热液蚀变微弱的岩石含金量作为岩石金背景值;把有热液蚀变与无蚀变岩石金含量一起作为金丰度值。从表 1 中可以看出,地层中各岩石类型金的背景值为 1.3×10^{-9} 左右,丰度值为 3.232×10^{-9} ,前者稍低于上陆壳金丰度 1.8×10^{-9} (泰勒,1964),后者却远高于上陆壳金丰度,下东沟组是主要的富金层位,由此可以说明,庞家河金矿床金的来源很可能是泥盆系的下东沟组。

3.2 铅同位素特征

铅同位素是研究最早、发展最快、取得的成果较多的同位素之一,利用铅同位素组成来判别成矿物质的来源是一种非常有效的手段^[7-9]。矿石铅是指在各种热液环境中沉淀下来的不含 U、Th 的金属矿物

(如方铅矿、黄铁矿等)中的铅,矿石铅的同位素组成主要受源区的初始铅、U/Pb 比值,Th/U 比值及形成时间等因素的制约,基本不受形成后所处的地球化学环境的影响,因此,通过矿石铅同位素组成的分析,可以获得有关成矿物质来源的信息。

本研究分析的矿石铅同位素资料见表 2,铅同位素测定的矿石矿物为该金矿床中与金矿化密切相关的主要载金矿物黄铁矿。从表中可以看出,矿石铅同位素平均比值分别为: $Pb^{206}/Pb^{204}=18.0834$, $Pb^{207}/Pb^{204}=15.5558$, $Pb^{208}/Pb^{204}=38.2370$ 。矿石铅的组成范围相对集中,不同矿体同种矿石矿物的 Pb 同位素组成范围也不具明显的差别,其相应的 Pb^{206}/Pb^{204} 、 Pb^{207}/Pb^{204} 和 Pb^{208}/Pb^{204} 基本一致,表明它们的来源具有一定的相似性。

Stacey J S 认为^[10]:在铅构造模式^[11] $^{206}Pb/^{204}Pb-^{207}Pb/^{204}Pb$ 图上,投影点落在造山带增长线上方的岩石铅必然包含上地壳成分,投影点位于造山带增长线下方的岩石铅必定源于地幔或下地壳,投影点位于造山带增长线附近则表明岩石铅具各储库混合源,投影点位于上地壳线上方表明岩石铅主要来源于上地壳。

研究区矿石铅的同位素组成较为均一,投点相对集中分布在上地壳铅演化线和造山带铅演化线之间(图 3),此外,从表 2 可以看出,矿区的 $\delta^{206}Pb$ 为 18.001~18.152,变异系数 0.8%; $\delta^{207}Pb$ 为 15.521~

表 1 庞家河地区泥盆系各岩石类型金含量(10⁻⁹)统计
Table 1 Au content of main rocks in Pangjiahe area

层位	样品 数量	绢云(绿泥)千枚岩		变质砂(砾)岩		微晶灰岩		平均值	
		背景值	丰度值	背景值	丰度值	背景值	丰度值	背景值	丰度值
下东沟组	120	1.25	3.14	1.44	3.33	1.90	3.50	1.35	3.23
青石垭组	118	1.27	2.88	1.42	3.44			1.36	3.25
平均值		1.25	3.125	1.440	3.35	1.90	3.5	1.351	3.232

表 2 庞家河金矿矿石铅同位素组成
Table 2 Pb isotopic compositions of ores in the
Pangjiahe gold deposit

样 品 编 号	铅 同 位 素 组 成				铅 同 位 素 比 值		
	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴
YD445 支 2	1.370±0.003	24.802±0.004	21.344±0.007	52.484±0.008	18.104±0.037	15.580±0.032	38.309±0.079
YD445 支 5	1.371±0.003	24.887±0.005	21.331±0.010	52.411±0.010	18.152±0.039	15.559±0.034	38.228±0.083
YD445 支 7	1.369±0.001	24.826±0.003	21.330±0.005	52.475±0.006	18.134±0.009	15.581±0.009	38.331±0.021
YD445 支 11	1.374±0.001	24.787±0.001	21.372±0.003	52.464±0.003	18.001±0.015	15.521±0.013	38.100±0.031
YD445 支 21	1.374±0.001	24.768±0.002	21.349±0.003	52.510±0.004	18.026±0.010	15.538±0.009	38.217±0.021

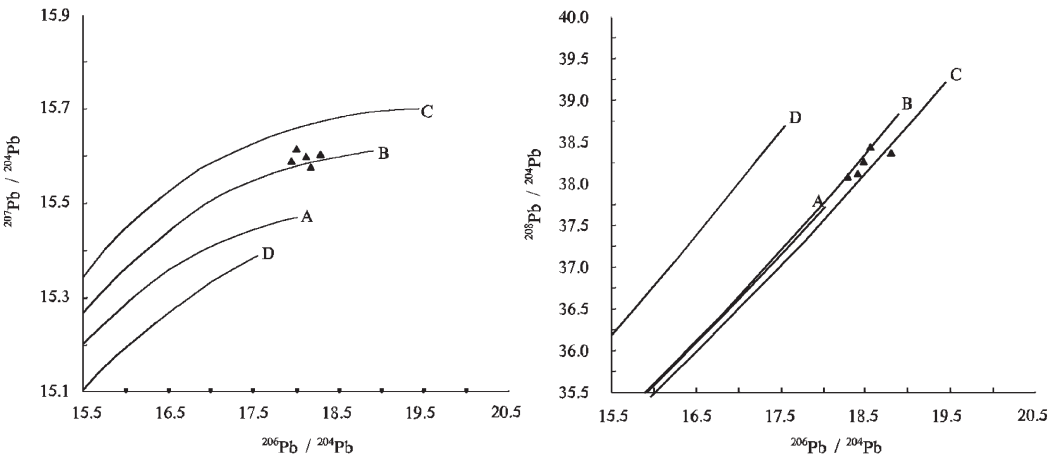


图 3 铅构造演化曲线(Zzreman and Doe,1981)
A-地幔;B-造山带;C-上地壳;D-下地壳
Fig.3 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ evolution curves
A-Mantle;B-Orogenic;C-Upper Crust;D-Lower Crust

表 3 庞家河金矿床硫同位素组成
Table 3 S isotopic compositions of rocks in the Pangjiahe gold deposit

样 品 编 号	岩石名称	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}(\text{CDT})$
STWS-01	硅化千枚岩	8.70
STWS-02	蚀变千枚岩	10.20
STWS-03	蚀变千枚岩	8.10
STWS-04	硅化粉砂岩	8.40
STWS-05	构造碎裂千枚岩	9.30
STWS-06	蚀变千枚岩	2.10
STWS-07	蚀变千枚岩	12.74
STWS-08	蚀变千枚岩	8.20
STWS-09	硅化粉砂岩	9.00
STWS-10	蚀变千枚岩	7.60
STWS-11	构造碎裂千枚岩	9.80
STWS-12	蚀变千枚岩	12.33
STWS-13	硅化千枚岩	8.44
STWS-14	蚀变千枚岩	3.33
STWS-15	构造碎裂千枚岩	8.88
STWS-16	硅化粉砂岩	8.60

表 4 庞家河金矿床氧同位素组成
Table 4 Oxygen isotopic compositions of rocks in the Pangjiahe gold deposit

样品编号	测试矿物	$\delta \text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}(\text{SMON})$
HOTWS-01	石英	43.22	15.12
HOTWS-02	石英	42.50	15.45
HOTWS-03	石英	45.83	10.30
HOTWS-04	石英	43.11	15.22
HOTWS-05	石英	43.20	15.20
HOTWS-06	石英	45.68	15.00
HOTWS-07	石英	48.32	15.12
HOTWS-08	石英	48.63	15.60
HOTWS-09	石英	46.34	14.86
HOTWS-10	石英	48.90	14.90
HOTWS-11	石英	40.11	11.13
HOTWS-12	石英	40.18	12.58

15.581, 变异系数 0.4%; $\delta^{208}\text{Pb}$ 为 38.100~38.331, 变异系数 0.6%; 铅同位素比较稳定, 铅同位素模式年龄值为 391.35~491.85Ma, 时间跨度大, 说明这些矿石铅应为储库混合源^[12,13], 主要来源上地壳, 部分来源于地幔。

3.3 S 同位素特征

S 同位素样品主要采自地表Ⅱ矿体和 5 个坑道中的Ⅲ、Ⅳ矿体。测试结果如表 3。矿石中黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ (‰) 均为正值, 且主要落在+2.10‰~

12.74‰, 其低 $\delta^{34}\text{S}$ 端与当地花岗岩中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相当, 因此, 具有岩浆起源。另外, $\delta^{34}\text{S}$ 值主要在+8.10‰~8.88‰, 表明成矿流体硫同位素均一化程度较高^[15], 并具地壳沉积物特征。总之, $\delta^{34}\text{S}$ 值揭示了地壳流体与深源高温地幔流体的混合作用是引起庞家河金矿成矿的主要机理。

3.4 氧同位素特征

氧同位素样品取自与金矿化关系较密切的石英, 测试结果如表 4。从中可以看出, $\delta^{18}\text{O}$ 的变化范

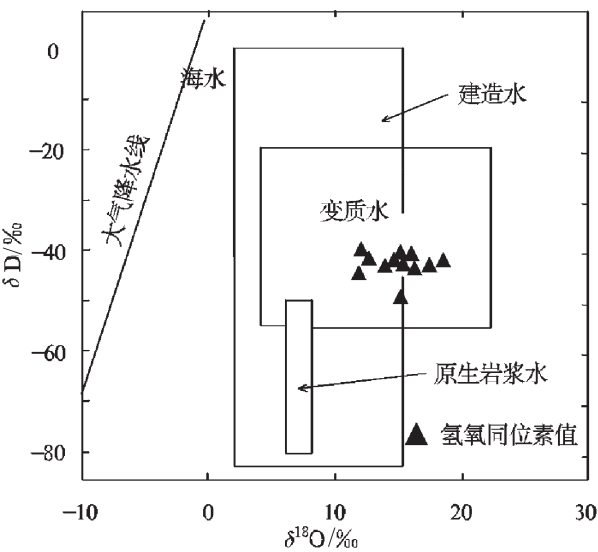


图 4 自然界不同成因水的氢氧同位素组成
Fig.4 Oxygen and hydrogen isotopic compositions of different fluids in nature

围为 10.30‰~15.60‰，但主要集中在 14.86‰~15.60‰； δD 的变化范围为 40.11‰~48.90‰，但主要集中在 43.11‰~46.34‰。其低 $\delta^{18}O$ 端 (10.3‰) 与花岗质岩浆平衡水的中 $\delta^{34}O$ 值相当^[16]，反映了成矿热液部分来源于岩浆水。从图 4 可知， $\delta^{18}O$ 值和 δD 值集中反映了庞家河金矿的成矿热液大部

表 5 庞家河金矿代表性岩(矿)石稀土元素含量 (10⁻⁶)
Table 5 REE content of representative rocks and ores in the Pangjiahe gold deposit

岩(矿)石名称	正常岩石	含矿砂岩	含矿千枚岩
样品数	5	6	8
La	35.65	33.83	36.45
Ce	64.05	55.70	66.35
Pr	7.40	6.42	7.05
Nd	33.95	24.53	30.35
Sm	6.30	4.90	6.20
Eu	1.34	1.02	1.15
Gd	5.65	4.03	4.63
Tb	0.93	0.67	0.77
Dy	5.05	3.57	4.43
Ho	1.08	0.72	0.91
Er	3.05	2.13	2.60
Tm	0.47	0.31	0.43
Yb	2.85	2.00	2.45
Lu	0.41	0.29	0.40
Y	25.05	21.00	23.88
ΣREE	194.11	161.15	188.02
δ Eu	0.67	0.70	0.64
LREE/HREE	3.27	3.64	3.64

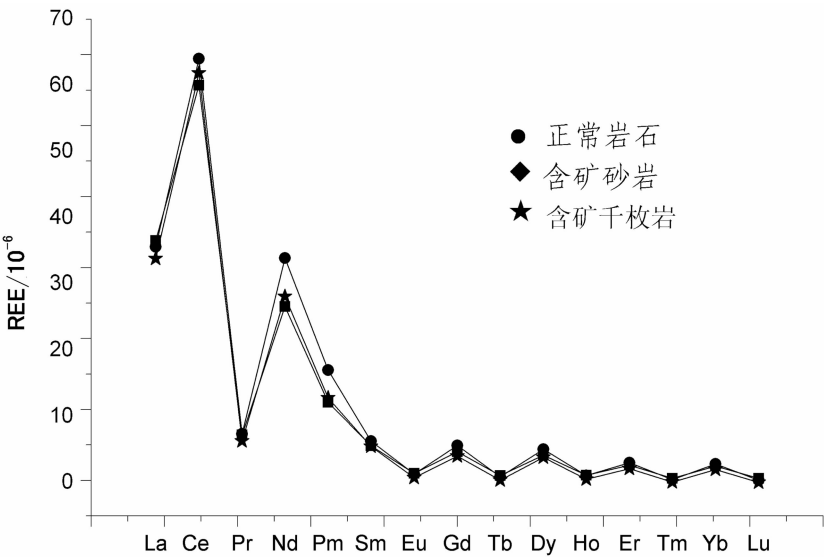


图 5 庞家河金矿代表性岩(矿)石稀土元素配分曲线
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of representative rocks and ores in the Pangjiahe gold deposit

分来源于变质水。

3.5 REE 特征

稀土元素是探索地质地球化学过程的示踪剂^[4],研究区代表性含矿岩石及正常岩石稀土总量差别不大,正常岩石为 194.11×10^{-6} ,矿化岩石为 $161.15\times 10^{-6}\sim 188.02\times 10^{-6}$ 。正常岩石和含矿岩石的 LREE/HREE 比值为 7.63~9.21,正常岩石为 7.63,矿化岩石为 8.88~9.21,铈族稀土含量明显偏高,含矿岩石与正常岩石相比,更富集轻稀土,但均属铈族稀土富集型(表 5)。REE 分布曲线(图 5)总体上表现为左高右低倾斜的右倾型曲线,铕(Eu)无明显亏损,含矿岩石的 REE 分布曲线与正常岩石基本一样,表明矿化岩石和正常岩石具有同源性。

4 结 论

庞家河金矿有利的岩性组合层位,既是矿源层之一,又是赋矿主岩。下东沟组(D_{3x})含绿泥石绢云母千枚岩及变质石英砂岩较为复杂的岩性组合层给外来矿液的沉淀富集提供了极为有利的地球化学环境。区内层间挤压片理化带及构造破碎带是主要的富矿地段,即 F₃、F₄ 和 F₅ 近 EW 向构造挤压破碎带是区内的主要容矿构造,同样,控矿构造的多次活动,为成矿热液的运移提供热动力条件。区内花岗斑岩脉、闪长玢岩脉及辉绿岩脉和细晶岩脉的侵位,从地壳深部带来了热、水、气及丰富的成矿物质。庞家河金矿区硫、氧及铅稳定同位素及 REE 研究表明:庞家河金矿床的成矿物质主要是壳源,其次才是幔源,即成矿热液部分来源于岩浆水,大部分来源于变质水。

参考文献(References):

[1] 核工业西北地质勘探局二一一大队.陕西省凤县唐藏乡庞家河地区金矿普查评价报告[R]. 1992.
Geologic Party No.211, Nuclear Geological Bureau of Northwest China. Gold Survey Appraisal Report of Pangjiahe Area, Tangzang town, Feng County, Shaanxi Province[R]. 1992(in Chinese).

[2] 姜春发, 王宗起, 李锦铁. 中央造山带开合构造[M]. 北京:地质出版社, 2000:1-144.
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jingyi. The opening -closing Tectonics of China central orogenic system [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2000:1-144(in Chinese).

[3] 肖思云, 张维吉, 宋子季. 北秦岭变质地层[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1998:1-320.
Xiao Siyun, Zhang Weijie, Song Ziji. Metamorphic Strata in North

Qinling[M]. Xi 'an:Xi 'an Jiaotong University Press, 1998:1-320(in Chinese).

[4] 王东生, 王瑞廷, 代军治, 等. 秦岭造山带金属矿床的“二元控矿”特征[J]. 地质学报, 2009, 83(11):1719-1729.
Wang Dongsheng, Wang Ruiting, Dai Junzhi, et al. “Dual ore -controlling factors”characteristics of metallic deposits in the Qinling orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(11):1719-1729 (in Chinese with English abstract).

[5] Mattauer M, Matte Ph, Malavieille, et al. Tectonics of the Qinling belt; build up and evolution of eastern Asia. [J]. Nature. 1985, 317: 496-500.

[6] 王宗起, 闫全人, 闫臻, 等. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报, 2009, 83(11):1527-1546.
Wang Zongqi, Yan Quanren, Yan Zhen, et al. New division of the main tectonic units of the Qinling orogenic belt, central China [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (11):1527-1546 (in Chinese with English abstract).

[7] 朱炳泉. U-Pb 同位素三阶段模式研究[J]. 地质地球化学, 1975, 2, 123-135.
Zhu Bingquan. U -Pb third -stage model research [J]. Geology - Geochemistry, 1975, 2:123-135(in Chinese with English abstract).

[8] Doe B R. The application of the lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evolution: A review [J]. Econ. Geol., 1974, 69:757-776.

[9] Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead evolution by a two-stage model[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1975, 26:207-221.

[10] Stacey J S. Implications of common lead measurements [J]. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1983:286-287.

[11] Zartman R E, Doe B R. Lead-isotope evolution. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1981:169-170.

[12] 肖晓林, 陈岑. 青海松树南沟金矿矿床地质特征[J]. 地质与勘探, 2010, 46(02):191-197.
Xiao Xiaolin, Chen Cen. Geological characteristics of the Songshunangou gold deposit in Qinghai Province [J]. Geology and Prospecting, 2010, 46 (02):191-197 (in Chinese with English abstract).

[13] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿床铅、硫同位素研究 [J]. 地质与勘探, 2006, 42(02):49-53.
Li Yingshu, Qin Dexian, Dang Yutao, et al. Lead and sulphur isotope of Gejiu tin deposit in Yunnan Province [J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(02):49-53(in Chinese with English abstract).

[14] 邱瑞龙. 贵池铜山铜矿矽卡岩稀土元素地球化学特征[J]. 地质学报, 1987, 1:91-100.
Qiu Ruilong. Geochemical behaviors of rare earth elements of skarn in Guichitongshan copper deposit [J]. Acta Geologica Sinica, 1987, 1:91-100(in Chinese with English abstract).

[15] 张拴宏, 周显强, 于宏东, 等. 青海省巴硬格莉沟-哇沿河多金属矿化带稳定同位素地质与成矿物质来源 [J]. 地质地球化学, 2003, 31(02):32-38.
Zhang Shuanhong, Zhou Xianqiang, Yu Hongdong, et al. Stable

isotopic geology and source of ore forming materials in Baying
geligou -Wayanhe polymetal mineralization zones, Qinghai
Province [J]. *Geology -Geochemistry*, 2003, 31 (02):32 -38 (in

Chinese with English abstract).

[16] Taylor H P Jr. Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic
granitic rocks[J]. *Earth Planet. Sci. Let.*, 1977, 38:177-210.

Geological characteristics and ore-forming material sources of the Pangjiahe gold deposit in Shaanxi Province

WU Kong-yun, GAO Li-peng

(No. 211 Geological Party, Nuclear Geological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710024, Shaanxi, China)

Abstract: Ores in the Pangjiahe gold deposit are mainly distributed in upper Devonian Xiadonggou Formation rocks consisting of chloritized sericite phyllite and blastosammitic quartz sandstone, which constitute a gold-bearing rock series and abundant source layers of gold. Gold ore bodies are mostly preserved in interlayer compresso-crushed zones which assume expansion, contraction, branching, compounding and wavelike bending. Ore bodies exhibit layered and lenticular shapes. Minerals mainly include native gold and electrum. Gold-bearing minerals are pyrite and arsenopyrite. The relevant gold mineralization alterations include pyritization and arsenopyritization. The metallogenic epoch can be mainly divided into three stages, namely quartz-coarse pyrite-hydromica stage, fine pyrite-arsenopyrite stage and pyrite-quartz-carbonate stage. The analyses of $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{18}\text{O}$ and stable lead isotope show that Pb of gold ore bodies was derived mainly from the upper crust and partly from the mantle. $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ also show that gold ore-forming fluid was derived mostly from the crust and partly from magma in the mantle. In a word, gold ore-forming materials were derived from mixed sources.

Key words: geological characteristics; source of ore-forming materials; Pangjiahe gold deposit; Shaanxi province

About the first author: WU Kong-yun, male, born in 1963, doctor and senior engineer, mainly engages in exploration and management of mineral resources; E-mail: knoywu@163.com.