

甘肃李坝金矿床地质特征及成因研究*

黄 杰 王建设 韦龙明

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院, 桂林)

提 要: 李坝金矿床位于中川印支-燕山期复式花岗岩体外热变质带即黑云母变质带中, 带内分布有较多的同类型金矿床(点), 是礼岷金矿带东部最大的金矿床。矿体产出严格受断裂破碎带控制, 矿体主要为脉状、透镜状, 分支复合, 膨大缩小明显。容矿岩石主要为粉砂质板岩, 矿石类型简单, 主要为块状、碎裂状少硫化物浸染型, 次为角砾状硫化物浸染型, 矿化组合为金银系列矿物-黄铁矿-(毒砂)。金矿化富集与中酸性岩脉空间密切伴生, 同位产出。成矿作用可划分为两期四阶段, 成矿物理化学环境为浅成中低温偏酸性还原富硫环境(1~2 km、 t 为 188~256°C、pH 为 3.6~5.6、 $\lg f_{O_2}$ 为 -38.8~-41、 $\lg f_{S_2}$ 为 -14.8~-16)。地质、同位素地球化学综合研究认为矿床成因为岩浆-变质混合成矿流体浅成中低温充填-交代矿床。

关键词: 金矿床 地质特征 成矿物理化学条件 成因 甘肃李坝

中图法分类号: P618.5

1 矿床地质特征

李坝金矿床位于甘肃省礼县罗坝乡。矿床位于西秦岭海西褶皱带东段礼岷岩浆岩区中川印支-燕山期复式花岗岩体外热变质带(距岩体 1.5~4 km)即黑云母变质带中。带内有较多同类型金矿床(点), 如金山、三人沟等(图 1), 是礼岷金矿带东部规模最大的金矿床。

1.1 地层

矿区第四系黄土分布广, 出露地层为中泥盆统舒家坝组(属区域第二层(D_{2S2}))一套浅变质细碎屑-泥质岩, 岩性较单一, 主要为粉砂质板岩和变质石英砂岩, 缺乏碳酸盐岩, 岩层相变大。地层普遍受热变质而发生角岩化, 斑点状构造。地层含碳低, 含量 0.11%~0.39%。按其岩性组成划分为四层(图 2), 由下至上为:

D_{2S2}¹: 灰黑色、暗灰色斑点粉砂质板岩夹变质砂岩透镜体。分布于 F₁ 断裂东侧。厚 > 160 m。

D_{2S2}²: 灰色、灰绿色斑点粉砂质板岩。局部夹变质粉砂岩。厚 300 m。

D_{2S2}³: 灰色、灰白色变质石英砂岩夹斑点粉砂质板岩, 该层沿走向、倾向相变大。厚 157 m。

D_{2S2}⁴: 深灰色斑点粉砂质板岩夹少量的变质粉砂岩。厚 459 m。

1.2 岩浆岩

岩浆活动强烈, 矿区南西侧约 2 km 为中川印支-燕山期复式花岗岩体, 出露面积约 210 km²。矿区内由岩体派生的岩脉发育, 主要为斜闪煌斑岩岩脉、石英闪长岩岩脉、次为斜长细晶岩岩脉、花岗斑岩岩脉等。岩脉宽 0.5~5 m, 长数米至 80 余米。中川岩体为三期五次侵

* 本文是科研项目“秦岭地区卡林型金矿床成矿条件及成矿预测研究”的成果之一, 是集体劳动的成果
第一作者简介: 黄杰, 男, 35 岁, 地质工程师, 多年从事微细粒浸染型金矿科研工作。邮政编码: 541004
1999-03-30 收稿, 1999-09-15 修改回

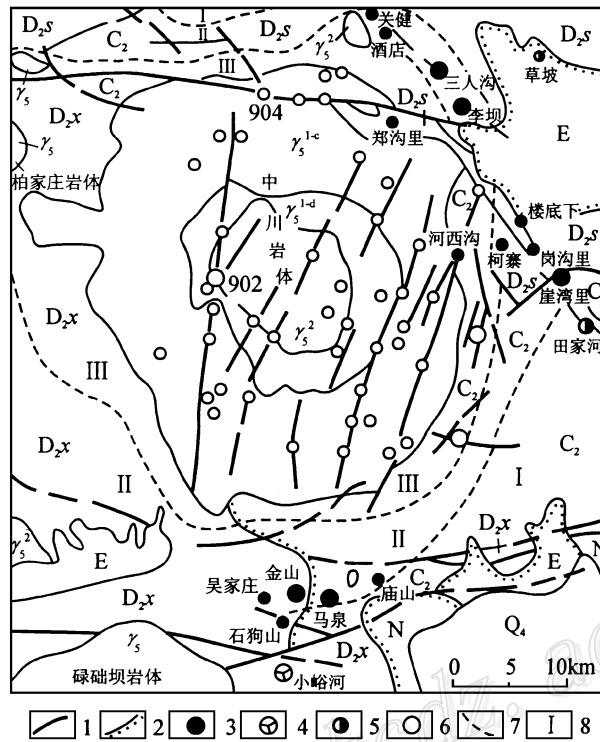


图1 中川岩体接触变质分带及矿产分布
(据甘肃有色勘查局地质研究所资料)

1—断层; 2—不整合线; 3—岩金; 4—铜铅锌; 5—砂金; 6—铀矿及编号; 7—接触变质分带线; 8—接触变质分带及编号; Q₄—第四系; N—上第三系; E—下第三系; C₂—中石炭统; D_{2x}—中泥盆统西汉水组; D_{2s}—中泥盆统舒家坝组; γ₅—印支-燕山期花岗岩; γ_{5^c}—印支期第二次花岗岩; γ_{5^d}—印支期第三次花岗岩; γ₃—燕山期花岗岩; I—绿泥石绢云母带; II—黑云母带; III—红柱石堇青石带

Fig. 1. Geological sketch map of Zhongchuan rock body, showing zoning of contact metamorphism and distribution of ore resources.

1—Quaternary; N—Neogene; E—Eogene; C₂—Middle Devonian; D_{2x}—Middle Devonian Xihanshui Formation; D_{2s}—Middle Devonian Shujiaba Formation; γ₅—Indosinian-Yanshanian granite; γ_{5^c}—Indosinian 2nd granite; γ_{5^d}—Indosinian 3rd granite; γ₃—Yanshanian granite; I—Chlorite-sericite zone; II—Biotite zone; III—Andalusite-cordierite zone.

入的复式岩体, 其主侵入体从外向内为印支期中粗粒似斑状黑云母花岗岩 (γ_{5^c}) — 印支期中粗粒含斑状黑云母花岗岩 (γ_{5^d}) — 燕山期细粒黑云母花岗岩 (γ₃) (参见图1)。从早到晚, 岩浆活动酸性增加, 角闪石逐渐减少至无, 黑云母递减, 石英递增, 斜长石递增、其种属由中长石演化成更长石, 钾长石递减。化学成分类型按查瓦里茨基分类均属铝过饱和类型 (Al > Na + K + 2Ca (原子数))。Wright 碱度系数中川岩体为 2.5, 斜闪煌斑岩岩脉为 1.6, 石英闪长岩岩脉为 1.8。在 SiO₂-A.R. 图解中属钙碱性系列, 生成于地壳强烈褶皱带^[1], 与实际产出背景相吻合。地球化学背景分析 (单位为 10⁻⁶) 中川复式岩体花岗岩体 Au 0.003、Ag 0.063、As 6.3、Sb 0.85、Cu 9.9、Pb 61、Zn 117, 与同类岩石相比 Au、Ag 相近, As、Sb、Pb、Zn

富集; 斜闪煌斑岩脉 Au 0.022、Ag 1.82、As 167、Sb 5.5、Cu 141、Pb 36、Zn 117, 石英闪长岩脉 Au 0.013、Ag 0.38、As 296、Sb 17.5、Cu 35、Pb 56、Zn 99, 相比 Au、Ag、As、Sb、Cu 明显增加, Pb、Zn 略降低。

1.3 构造

矿区位于区域 NWW 向石家河坝复式向斜北翼的次一级褶皱 NNW 向马坞背斜的南西翼。矿区内断裂发育, 小规模褶皱普遍存在。属于礼县-罗坝-锁龙口深断裂分支的 F_1 断裂是矿区主干断裂, 在其南西侧发育次级 NWW 向、NW 向断裂, 并向南与 F_1 交汇, 将地层切割成不规则的块体。次级断裂控制矿体的产出和分布, F_3 、 F_{12} 断裂是主要的容矿断裂, 分别控制 6 号和 5 号矿体的产出 (见图 2)。

1.4 矿体

矿体主要为脉状、透镜状, 分支复合, 膨大缩小明显, 其产出严格受断裂控制, 切穿地层 (见图 2、3)。已发现 20 余条矿体, 以 5 号、6 号规模最大, 占探明储量 80% 以上。5 号矿体 (带) 断续延长 2000 m, 厚 6~7 m, 延深大于 250 m, 金品位 5×10^{-6} ; 6 号矿体长 600 m, 厚 5~6 m, 延深大于 250 m, 金品位 4×10^{-6} 左右。

矿体围岩蚀变不太发育, 分布范围窄 (几米至 20 m), 主要硅化、绢云母化, 次为绿泥石化, 少量碳酸盐化、电气石化、钠长石化等。

矿石类型简单, 主要为块状、碎裂状少硫化物浸染型, 次为角砾状硫化物浸染形。矿化组合为金银系列矿物-黄铁矿- (毒砂), 矿石矿物组成较简单, 金属矿物占 5%~10%, 主要为黄铁矿, 次毒砂, 少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等; 非金属矿物主要为石英、绢云母, 少量长石、绿泥石、碳酸盐等; 有机碳低 (0.39%)。金银系列矿物以次显微 (粒径 0.15~0.03 μm) 和显微 ($> 0.2 \mu\text{m}$), 少量明金 (1~2 mm), 分布于黄铁矿、毒砂、石英、绢云母粒间和晶体内部, 其分布类型有包体金、粒间和裂隙金, 前者主要分布于绢云母中, 后者主要分布于黄铁矿、石英、毒砂中。金粒形态主要为角粒状、次叶片状、不规则状、圆粒状及少量棒状, 金成色 840 左右。

1.5 成矿规律

(1) 地层无控矿专属性, 但金矿化对容矿岩石岩性有较强的选择性, 最有利的是粉砂质板岩、板岩, 较纯的变质粉 (细) 砂岩、结晶灰岩矿化差。

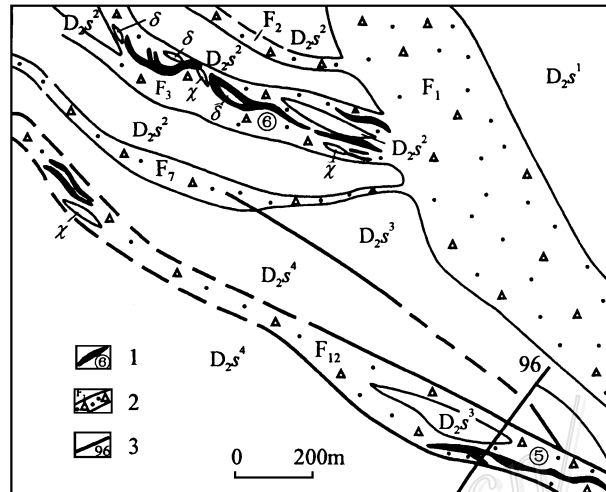


图 2 李坝金矿床地质略图

(据甘肃有色勘查局地质五队资料)

χ —斜闪煌斑岩岩脉; δ —石英闪长岩岩脉;

1—矿体及编号; 2—断裂及编号; 3—勘探剖面线及编号

Fig. 2. Geological sketch map of the Liba gold deposit.

χ —Camptovogsite dike; δ —Quartz diorite dike;

1—Orebody and serial number; 2—Fault and serial number;

3—Exploration line and serial number.

(2) 中川岩体周围热变质晕带控制金矿带、金矿床分布, 围绕岩体从近到远形成Ⅲ红柱石堇青石带—Ⅱ黑云母带—Ⅰ绿泥石绢云母带的变质分带, 金矿化集中于Ⅱ带, 少数矿(化)点分布于Ⅲ带。金矿化与岩浆型铀矿有密切空间联系, 部分相伴生(参见图1)。金矿化与岩体派生的中酸性岩脉空间密切伴生, 多同位产出, 岩脉发育地段一般是金矿化集中地段, 未蚀变岩脉金含量多 $< 0.2 \times 10^{-6}$, 但当其蚀变强烈, 有较多黄铁矿(毒砂)矿化时, 金也有明显的富集。

(3) 断裂构造是金成矿定位的主要因素, 矿化严格受断裂控制, 矿体产状与其控矿断裂基本一致。主干构造 F_1 断裂及南西侧次级断裂构成导矿和容矿构造体系, 在平行小断裂密集分布地段、NW向与NW向断裂交汇处、断裂产状变化部位矿体增厚变富。含矿和不含矿断裂地质特征差异明显, 前者多有中酸性岩脉产出和热液蚀变, 有明显的Au、Ag、As、Sb异常, 从远围岩—近围岩—断裂内Au、Ag、As、Sb含量增加, Mn、Ti、Sr含量递减; 而后者无以上特征。

(4) 金矿化富集与 Fe_2O_3 、 K_2O 含量明显正相关, 与 FeO 、 Na_2O 含量明显负相关, 围岩与矿体 Fe_2O_3/FeO 、 K_2O/Na_2O 比值差异明显, 围岩 Fe_2O_3/FeO 、 K_2O/Na_2O 比值分别为0.18~0.67和3.07~5.97; 而矿体分别为4.67~9.31和23.5~31.1。从围岩—近矿蚀变围岩—矿体, Ag 0.07~0.36~0.82, As 30~942~1283, Sb 0.7~16~21, (单位为 10^{-6})。金矿化与Ag、As、Sb(Pb)呈较明显的正相关, 后者具有良好的成矿指示性。

(5) 含金贱金属硫化物黄铁矿(Au 4.2×10^{-6} ~ 7.8×10^{-6})富As(0.94%~4.2%)、Sb(250×10^{-6} ~ 450×10^{-6})、Ti(1400×10^{-6} ~ 3600×10^{-6})、W(50×10^{-6} ~ 78×10^{-6})和REE(105×10^{-6}), 其金含量与Pb、Zn正相关, Co/Ni < 1 , S/Se 3万~6万; 毒砂(Au 24×10^{-6} ~ 33×10^{-6})、富S(21.5%~26.8%)、Sb(300×10^{-6} ~ 4000×10^{-6})。

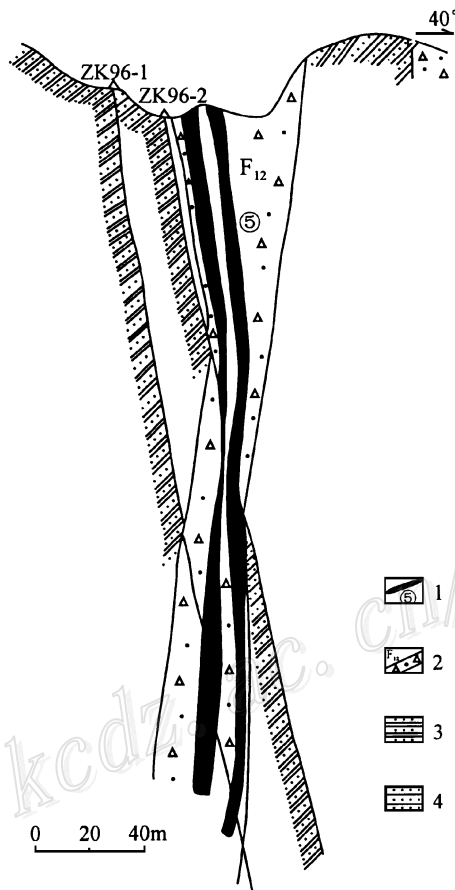


图3 李坝金矿床96线剖面图

(据甘肃有色勘查局地质五队资料)

- 1—矿体及编号; 2—断裂及编号; 3—斑点状粉砂质板岩;
4—变质粉(细)砂岩

Fig. 3. Geological section along No. 96 line of the Liba gold deposit.

- 1—Orebody and serial number; 2—Fault and serial number;
3—Spotted silty slate; 4—Metamorphosed (fine) siltstone.

2 矿床成因研究

2.1 成矿阶段划分

根据产状、矿物交代关系及矿物包裹体特征、形成温度将成矿作用划分为两期四阶段(表 1)。从表中可以看出,热液期各阶段石英矿物包裹体具有明显的递变演化关系,既从早到晚,包裹体类型由多到少,个体由大到小,气液比逐渐减少。矿物组合由 I 阶段石英(少量黄铁矿、电气石、磷灰石等)-II 阶段石英+绢云母+黄铁矿(次绿泥石,少量碳酸盐、毒砂)-III 阶段石英+碳酸盐(少量重晶石、石膏、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿等)。热液期金的沉淀作用主要在 II 阶段,伴随硅化、绢云母化、黄铁矿化金沉淀富集,其应为金成矿富集的主要阶段。表生期以氧化作用为主,形成褐铁矿型铁帽,金的次生富集明显,形成氧化富矿。

表 1 李坝金矿床成矿期次划分

Table 1. Ore-forming phases and stages of the Liba gold deposit

成矿期次	阶 段	矿物组合	产 状	矿物包裹体特征	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$ ^①
热液期	I 少硫化物石英阶段	石英,少量黄铁矿毒砂、电气石、磷灰石	≥ 5 cm 脉	发育,类型多,个体大(10~40 μm),形态多样,气液比 10%~50%,部分>50%	$\frac{385 \sim 345 (12)}{366}$
	II 石英绢云母黄铁矿阶段	石英、绢云母、黄铁矿、次绿泥石,少量碳酸盐、毒砂	浸染状、细脉状	发育,以液体、单一液相包裹体为主,个体小,少量达 6~40 μm ,气液比 5%~50%	$\frac{258 \sim 188 (10)}{214}$
	III 石英碳酸盐阶段	石英、碳酸盐、次绿泥石,少量石膏、重晶石、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿	< 1 cm 细脉方解石可呈大脉状	包裹体不发育,呈星点分布,个体小(< 3 μm),单液相包裹体为主,气液比<1%	$\frac{164 \sim 103 (8)}{145}$
表生期	IV 褐铁矿阶段	褐铁矿,少量黄钾铁矾石膏等	风化壳帽		

①分子为均一温度范围,括号内为所测样品数,分母为平均温度

2.2 成矿物理化学条件

(1) 成矿流体化学成分特征

根据矿物包裹体成分测试结果(表 2),成矿流体盐度从成矿作用第 I 阶段到第 II 阶段

表 2 李坝金矿床矿物包裹体成分

Table 2. Chemical composition of mineral inclusions in the Liba gold deposit

样 号	测定矿物	成矿阶段	成分/(mol/L)											$t/^{\circ}\text{C}$	
			K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	CO	CH_4	H_2		N_2
14-3	石英	I	0.03	0.05	0.05	0.07	0.06	0.04	0.03	2.66	0.13	0.14	0.09	0.55	356
38-2	石英	I	0.05	0.29	0.15	0.54	0.11	0.31	0.12	5.61	0.11	0.24	0.28	0.33	356
59	石英	I	0.14	0.61	0.10	0.12	0.00	0.76	0.03	8.92	0.24	0.56	0.55	0.67	348
ZK112-1	石英	II	0.04	0.54	0.75	0.03	0.05	0.44	0.17	7.26	0.12	0.05	0.02	0.15	260
ZK80-7	石英	II	0.31	0.83	1.74	0.09	0.11	0.51	0.98	3.54	0.33	1.55	0.18	0.35	260
ZK80-1	黄铁矿	II	0.18	0.26	1.10	0.18	0.03	0.79		4.24	0.19	0.12	0.00	1.00	240

注:除黄铁矿为爆裂温度外,均为均一温度;由本院同位素室分析

(主成矿阶段)显著增加,前者1.13%~5.63%,后者7.77%~21.69%。成分类型由第I阶段 $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}(\text{F}^-)$ 型到第II阶段 $\text{Na}^+(\text{K}^+) - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}$ 型,其 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < 1$,属钙碱性,气相成分以 CO_2 为主, $(\text{CO} + \text{CH}_4 + \text{H}_2) / \text{CO}_2$ 0.03~0.56(分子数比)。

(2) 成矿物理化学条件

计算方法^[2]

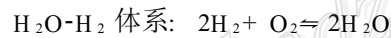
成矿溶液的酸碱度(pH):利用矿物包裹体成分,采用 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ 体系计算氢离子活度。当体系平衡时可推导出:

$$(\alpha_{\text{H}^+})^2 = \frac{2K_{\text{H}_2\text{CO}_3} \times K_{\text{HCl}} \times p_{\text{CO}_2}}{K_{\text{go}}[2K_{\text{HCl}} - K_{\text{NaCl}} + (K_{\text{NaCl}}^2 + 4K_{\text{NaCl}} \times \Sigma\text{Na})^{1/2}]}$$

$$\times \left[1.0 + \frac{K_{\text{NaCl}} + (K_{\text{NaCl}}^2 + 4K_{\text{NaCl}} \times \Sigma\text{Na})^{1/2}}{2K_{\text{NaHCO}_3}} \right]$$

式中 α_{H^+} 为氢离子活度, K 为化学平衡常数, ΣNa 为 NaCl 、 Na^+ 摩尔浓度之和, p_{CO_2} 为逸度,计算时用 CO_2 摩尔浓度代替作近似计算。

成矿溶液氧逸度(f_{O_2}):假定矿物包裹体开始封闭时为水溶气体,且为理想混合,平衡时有 $f_i = p_{\text{总}} \cdot X_i \cdot Y_i$ (f_i 为气体逸度, $p_{\text{总}}$ 为气体压力, Y_i 为气体逸度系数, i 表示混合气体中的某项组分)。



$$\lg(f_{\text{O}_2})_{(\text{I})} = -\lg K_{\text{H}_2\text{O}} + 2 \lg \frac{Y_{\text{H}_2\text{O}}}{Y_{\text{H}_2}} + 2 \lg \frac{X_{\text{H}_2\text{O}}}{X_{\text{H}_2}}$$



$$\lg(f_{\text{O}_2})_{(\text{II})} = \lg p_{\text{总}} - \frac{1}{2} \lg \frac{Y_{\text{CO}_2} \times Y_{\text{H}_2\text{O}}^2}{Y_{\text{CH}_4}} + \frac{1}{2} \lg \frac{X_{\text{CO}_2} \times X_{\text{H}_2\text{O}}^2}{X_{\text{CH}_4}}$$

热力学化学平衡有:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K = \Delta H^0 - \Delta S^0 T$$

式中 ΔG^0 为反应生成物与反应物的标准自由能差, ΔH^0 为反应生成物与反应物的标准焓差, ΔS^0 为反应生成物与反应物的标准熵差, T 为反应绝对温度, R 为气体常数。

成矿溶液硫逸度(f_{S_2})是采用 Fe-As-S 体系200℃时矿物稳定图解来估计的。

结果分析

根据矿物包裹体测试结果进行计算获得成矿的物理化学参数列于表3。成矿溶液的酸碱度pH为3.6~5.0,为偏酸性性质(中性点350℃时5.44、200℃时5.65、150℃时5.85),从第I阶段到第II阶段随温度降低,pH值减小,酸度增大,成矿物质富集沉淀。

成矿作用的温度压力,成矿温度103~385℃,主成矿阶段为188~256℃,平均214℃,属中低温。根据 CO_2 含量估计成矿压力 $400 \times 10^5 \text{ Pa}$,按地压梯度 $275 \times 10^5 \text{ Pa/km}$ 计算成矿深度相当于1~2 km,属浅成带。

徐文炳、陈民扬、喻铁阶等,1985,矿物包裹体成分数据的热力学计算方法及应用,矿产与地质,中国有色金属工业总公司矿产地质研究院学报,第43页

表 3 李坝金矿床成矿物理化学参数一览表

Table 3. Metallogenic physical-chemical parameters of the Liba gold deposit

物理化学参数		I 阶段	II 阶段
均一温度/°C		385~345 (12) 366	258~188 (10) 214
压力/10 ⁵ Pa		350~500 400	
S _{NaCl} /%		9.1 1.33~5.63 ^① 4.1	7.74~21.69 ^① 12.8
成分	液相	主要 Na ⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻ (F ⁻), 次 K ⁺ 、Ca ²⁺ 、F ⁻ 、SO ₄ ²⁻	主要 Na ⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻ , 次要 K ⁺ 、Mg ²⁺ 、F ⁻ 、SO ₄ ²⁻ , K ⁺ 、SO ₄ ²⁻ 增加
	气相	主要 CO ₂ , 次要 N ₂ 、CH ₄ 、CO, 少量 H ₂	主要 CO ₂ , 次要 N ₂ 、CH ₄ 、CO, 少量 H ₂
	类型	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ (F ⁻)	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻ (SO ₄ ²⁻)
流体 pH 值		4.3~5.0	3.0~4.0
氧逸度 (lg f _{O₂})		-29.2~-30.7 (-29.9)	-38.8~-41.0 (-40)
硫逸度 (lg f _{S₂})			-14.8~-16.0

① 为成分分析计算结果, 分子为变化范围, 分母为平均值; 均一温度同表1

成矿溶液氧、硫逸度, 第 I 阶段相对富氧环境, lg f_{O₂} = -29.2~-30.7, 平均-29.9。第 II 阶段相对高硫还原环境, 导致金属硫化物和金的沉淀, lg f_{O₂} = -38.4~-40, lg f_{S₂} = -14.8~-16.0。这与该阶段矿物组合相对富集金属硫化物一致。

金的沉淀富集为中低温浅成^[3]、相对富硫还原、偏酸性的物理化学环境。

2.3 同位素地球化学特征

(1) 硫同位素组成及硫的来源分析

矿床各类型硫化物硫同位素测试结果见表4。特点是矿石各类硫化物硫同位素组成较均一, δ³⁴S 黄铁矿为+7.7‰、方铅矿为+8.8‰、闪锌矿为+7.6‰, 极差5.5‰~5.9‰, 根据 Ohmoto 模式^[4]获得成矿流体总硫 δ³⁴S 为+8.0‰。对于金属硫化物 δ³⁴S = +4‰~+10‰ 来说, 硫的来源较复杂, 可能是沉积硫与岩浆硫的混合, 也可能

表 4 李坝金矿床硫同位素组成

Table 4. Sulfur isotopic composition of the Liba gold deposit

矿 物	样数	产状特征	δ ³⁴ S/‰	
			范围	平均值
黄铁矿	11	矿石中浸染状	4.7~10.5	7.7
毒砂	1	脉状		10.9
闪锌矿	2	脉状	6.0~10.5	7.6
方铅矿	2	脉状	6.0~11.5	8.8

注: 由本院同位素室分析

可能是地壳中各种成因硫的混合^[5]。结合该矿床地质环境及与西秦岭地区内生铜矿床, 层控型铅锌矿床硫同位素组成对比分析, 前者 δ³⁴S = -7.0‰~+7.0‰, 后者 δ³⁴S = +14.8‰~+27.8‰ (54件)^[1], 该矿床硫同位素组成更类似于同地区的内生铜矿床, 与层控型铅锌矿床差异较大。同地区侵入岩体中黄铁矿 δ³⁴S = +8.0‰~+10.1‰[●], 也与该矿床硫化物硫同位素组成相似。对比分析认为成矿硫可能为重熔型花岗质岩浆分异硫与地层沉积硫的混合硫。

甘肃地质局研究所, 1980, 甘肃省西秦岭内生铜矿成矿条件及找矿方向

中国有色金属工业总公司甘肃地质勘探公司、西北地质勘探公司、矿产地质研究院, 1989, 秦岭泥盆系铅锌矿带成矿规律及找矿方向

(2) 铅同位素组成及成矿物质来源分析

矿床各地质体铅同位素测试结果见表5。矿石硫化物铅同位素组成较均一，极差小于0.5，平均组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.629、15.616、38.321；与矿体相伴产出的岩脉为18.479、15.629、38.491，中川岩体为19.091、15.705、38.321，其共同特点是组成较均一，极差小于1，平均组成相似，相比中川岩体较富集 ^{206}Pb （与岩体富铀有关）。同地区泥盆纪地层沉积黄铁矿铅同位素组成（据施俊发）明显分散， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 极差分别为1.0和2.11，平均组成为18.025、15.560、38.035，相对贫 ^{206}Pb 和 ^{208}Pb 。两阶段模式计算成矿母源 μ_2 为9.46~9.96、Th/U为3.33~3.87；中川岩体岩浆母源 μ_2 为9.75~10.19、Th/U为3.37~3.68；与矿体伴生岩脉母源 μ_2 为9.10~10.23、Th/U为3.51~3.96。其相似性明显，说明成矿母源与岩浆母源可能一致，均为深部壳源成因。据R E Zartman铅构造模式^[6]（图4）可知中川岩浆岩与矿床硫化物铅同位素组成具相似分布图形，源区均位于造山带上地壳。

表5 李坝金矿床铅同位素组成

Table 5. Lead isotopic composition of the Liba gold deposit

样号	测定对象	产状特征	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ_2 ^①	Th/U
7	斜闪煌斑岩	6号矿体上盘呈脉状	18.2780	15.7163	38.6304	10.23	3.96
18	斜闪煌斑岩	呈脉状穿插矿体中	18.5526	15.6387	38.5211	9.81	3.70
90-234	斜闪煌斑岩	6号矿体上盘呈脉状	18.381	15.577	38.448	9.58	3.75
46	石英闪长岩	呈岩脉穿插矿体中	18.7803	15.6970	38.8537	10.01	3.74
48	石英闪长岩	呈岩脉穿插矿体中	18.6794	15.7013	38.6257	10.05	3.69
91-28	石英闪长岩	呈岩脉穿插矿体中	18.334	15.463	38.014	9.10	3.51
91-160	石英闪长岩	呈岩脉穿插矿体中	18.349	15.607	38.387	9.72	3.75
29	黄铁矿	6号矿体矿石中浸染状	18.507	15.668	38.522	9.96	3.87
91-142	黄铁矿	6号矿体矿石中浸染状	18.749	15.648	38.392	9.81	3.52
91-111	方铅矿	6号矿体硫化物石英脉	18.327	15.626	38.435	9.81	3.75
PD2-1	方铅矿	6号矿体硫化物石英脉	18.768	15.567	38.127	9.46	3.35
91-240	辉铋矿	6号矿体硫化物脉	18.792	15.570	38.127	9.47	3.33
90-243	花岗岩	中川岩体边缘相	18.953	15.747	38.912	10.19	3.68
90-244	细晶花岗岩	中川岩体	19.339	15.723	38.725	10.02	3.37
90-245	斑状花岗岩	中川岩体	18.980	15.644	38.695	9.75	3.53

①两阶段模式 μ_2 ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$)；由本院同位素室分析

(3) 氢氧同位素组成及成矿流体水的来源

热液成因石英的氢氧同位素测试结果及按Becken (1976)^[7]给出的石英-水氧同位素平衡公式计算成矿流体水氧同位素组成列于表6。可知成矿流体水氢氧同位素组成较均一， $\delta\text{D} = -92\text{‰} \sim -63\text{‰}$ ，极差 -29‰ ； $\delta^{18}\text{O} = +4.9\text{‰} \sim +9.6\text{‰}$ ，极差 4.7‰ ，在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 图解中（图5）集中分布于岩浆水（ $\delta\text{D} = -50\text{‰} \sim -80\text{‰}$ ， $\delta^{18}\text{O} = +7.0\text{‰} \sim +9.5\text{‰}$ ）分布区左下角外附近和秦岭地区层控型铅锌矿床石英氢氧同位素分布斜线右端附近 \bullet 。推测成矿流体水可能为岩浆水和地层变质水的混合水性质，受到地热水的混染。

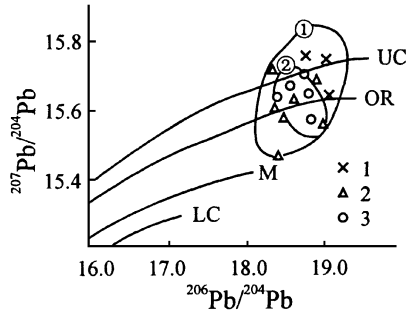


图4 李坝金矿床铅同位素构造模式图

1—中川岩体; 2—矿区岩脉; 3—矿石硫化物; ①—岩浆岩分布图形; ②—矿石硫化物分布图形; UC—上地壳演化线; LC—下地壳演化线; G—造山带演化线; M—地幔演化线

Fig. 4. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

diagram of the Liba gold deposit.

1—Zhongchuan rock body; 2—Dike in the ore district; 3—Ore sulfide; 1—Distribution of ore sulfide; 2—Distribution of ore sulfide; UC—Evolutionary line of upper crust; LC—Evolutionary line of lower crust; G—Evolutionary line of orogenic belt; M—Evolutionary line of mantle.

表6 李坝金矿床氢氧同位素组成

Table 6. Hydrogen and oxygen isotopic composition of the Liba gold deposit

序号	样号	矿物	成矿阶段	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (矿物)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (流体水)	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	14-3	石英	I	-63	14.7	9.5	356
2	38-2	石英	I	-71	11.1	5.8	356
3	59	石英	I	-92	13.4	8.0	348
4	ZK80-7	石英	II	-83	13.4	4.9	260
5	ZK112-1	石英	II	-84	15.2	6.7	260

注: 由本院同位素室分析

2.4 成矿年龄

铅一致法年龄 与矿体相伴产出的斜长煌斑岩脉为 142×10^6 a, 石英闪长岩脉 200×10^6 a, 矿石硫化物 184×10^6 a, 中川复式岩体 K-Ar 法年龄为 $117 \times 10^6 \sim 229 \times 10^6$ a (15件) [1]。首次对矿石黄铁矿流体包裹体进行 Rb-Sr 等时法年龄测定 (分析单位: 本院同位素室), 结果见图6, 等时年龄为 172×10^6 a,

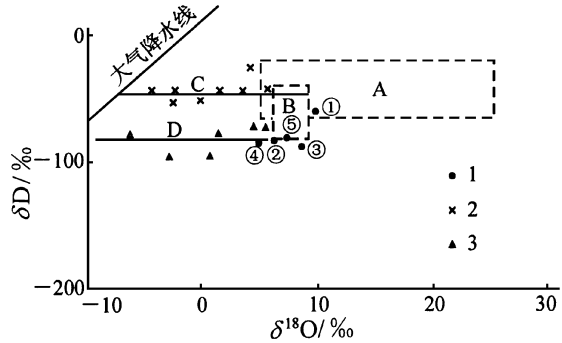


图5 李坝金矿床成矿流体 H₂O 的 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解

1—李坝金矿床石英; 2—秦岭地区铅锌矿床闪锌矿; 3—秦岭铅锌矿床石英; A—变质成因水; B—岩浆成因水; C—秦岭地区铅锌矿床闪锌矿包裹体水拟合线; D—秦岭地区铅锌矿床石英包裹体水拟合线; ①~⑤—测试样品编号

Fig. 5. $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ diagram of H₂O in

ore-forming fluids of the Liba gold deposit.

1—Quartz from the Liba gold deposit; 2—Sphalerite from lead-zinc deposits of Qinling district; 3—Quartz from lead-zinc deposits of Qinling area; A—Water of metamorphic origin; B—Water of magmatic origin; C—Fitting line of inclusion water in sphalerite from lead-zinc deposits of Qinling area; D—Fitting line of inclusion water in quartz from lead-zinc deposits in Qinling area.

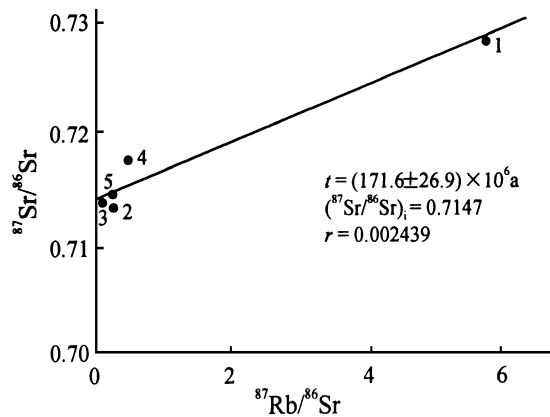


图6 李坝金矿床矿石黄铁矿包裹体 Rb-Sr 等时线

Fig. 6. Rb-Sr isochron line of ore pyrite inclusions in the Liba gold deposit.

是指在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中铅同位素线性回归线与铅增长曲线交点的年龄
[1] 戴天富, 1980, 秦岭地区花岗岩类侵入岩成因分类及成矿特点

与上述测算结果一致。成矿作用与中川岩体侵入活动晚期(印支晚期—燕山早期)是同时的。成矿流体锶同位素初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为0.715,也说明成矿物质为壳源,与该区同时期长英质岩浆活动的重熔成因间不是偶然的相符,应有一定的成因联系。

2.5 矿床成因

(1) 成矿物质金的来源

赋矿地层金的地球化学背景低,中泥盆统含金平均 1.17×10^{-9} (其中舒家坝组为 2.79×10^{-9}),上泥盆统为 0.91×10^{-9} 。从矿体—近矿蚀变围岩—远矿围岩剖面上金呈阶梯状降低,矿体两侧未见金的负异常带,说明金从成矿流体向围岩扩散,地层不具矿源层意义。根据上述对矿床地质、同位素地质特征分析,认为金主体应具深源性,与密切相伴的岩脉为“亲兄弟”关系,它们可能共同来自地壳深部。

(2) 成矿流体的形成

成矿流体氢、氧同位素研究,矿床产于造山带岩浆岩区的深断裂旁侧次级构造中,金的矿化与中酸性盐脉密切相伴的地质背景和成矿作用与中川岩体岩浆侵入活动的晚期的同时性,认为成矿流体为深部地壳印支晚期—燕山早期重熔岩浆分异水溶液和深部地层变质水溶液混合流体。

(3) 矿床成因

综上所述,认为李坝金矿床成因与印支晚期—燕山早期地壳重熔的中酸性岩浆活动密切相关,岩浆分异水溶液和深部地层变质水溶液混合形成成矿流体,并在岩浆热动力驱使下沿深大断裂上升移动,并有渗流水混染。在深大断裂旁侧屏蔽较好的次级断裂内压力、温度降低,在还原富硫的物理化学条件下,随着硅化、绢云母化等热液蚀变,金富集沉淀,共生黄铁矿,少量毒砂等金属硫化物。同时伴有中酸性岩脉同位侵入,形成与矿体空间上密切伴生关系。其成因类型应为岩浆-变质混合成矿流体的中浅成中低温热液充填-交代矿床。

参 考 文 献

- 1 南京大学地质系矿物岩石教研室编. 火成岩石学. 北京: 地质出版社, 1982, 272.
- 2 Edwin Roedder [美]. 流体包裹体(上册). 卢焕章、王卿译. 长沙: 中南工业大学出版社, 1985, 221~252.
- 3 弗伊 斯米尔诺夫(苏). 矿床地质学. 北京: 地质出版社, 1985.
- 4 В А 格里年科, Л Н 格里年科. 硫同位素地球化学. 赵瑞译. 北京: 科学出版社, 1980, 130~131.
- 5 地质科学研究院地质矿产所. 稳定同位素地质论文集——在矿床中的应用. 北京大学地质地理系译. 北京: 地质出版社, 1974, 201~219.
- 6 B R 多伊(美). 铅同位素地质. 中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地质研究室译. 北京: 科学出版社, 1975, 70~80.
- 7 丁梯平编. 氢氧同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1980, 57~69.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE LIBA GOLD DEPOSIT, GANSU PROVINCE

Huang Jie, Wang Jianye and Wei Longming

(Institute of Geology for Mineral Resources, CNRC, Guilin 541004)

Key words: gold deposit, geological characteristics, ore-forming physicochemical conditions, genesis, Liba in Gansu

Abstract

The Liba gold deposit lies in the exo-thermometamorphic zone (biotite metamorphic zone) of Zhongchuan Indosinian-Yanshanian complex granite body within Limin magmatic area in the eastern part of West Qinling Hercynian folded belt. Inside the exo-thermometamorphic zone there exist quite a number of gold deposits (ore spots) of the same type, and the Liba deposit is the largest gold deposit in the eastern part of the Limin gold ore belt. The deposit occurs in fine clastic-agricillaceous rocks of Middle Devonian Shujiaba Formation which suffered epimetamorphism, and the host rocks are dominated by silty slate together with a small number of quartz diorite dikes. Controlled strictly by fractured zones, orebodies are mainly in veinlike and lenticular forms with obvious phenomena of branching, compounding, expansion and contraction. Ores seem rather simple, belonging mainly to massive and cataclastic sulfide dissemination types and subordinately to brecciated sulfide dissemination type. The mineralization association comprises minerals of gold-silver series-pyrite (arsenopyrite). The ore-forming process might be divided into two phases consisting of four stages, and the ore-forming physicochemical environment is a shallow-seated mesothermal-epithermal acid reduced sulfur-rich environment ($1 \sim 2 \text{ km}$, $t = 188 \sim 256^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 3.6 \sim 5.0$, $\lg f_{\text{O}_2} = -38.8 \sim -41$, $\lg f_{\text{S}_2} = -14.8 \sim -16.0$). The Rb-Sr isochron age of inclusions in pyrite, the main gold-bearing mineral, is $172 \times 10^6 \text{ a}$, and the initial ratio is 0.715, suggesting that it was formed simultaneously with the magmatic intrusion of Zhongchuan rock body. Geological and isotopic geochemical integrated studies show that the ore deposit is genetically a shallow-seated mesothermal-epithermal filling-metasomatic deposit formed by magmatic-metamorphic mixed ore-forming fluids.