

甘肃安家岔金矿床铅同位素地球化学研究

谭立群

(核工业西北应用技术研究院, 咸阳)

提 要: 通过对安家岔金矿床铅同位素地球化学特征研究及其与邻区地层、岩浆岩和有关矿床铅同位素的对比结果表明: ① 本矿床矿石铅是一种以高放射成因铅为主的混合型铅, 且明显表现出有大气降水参与热液成矿的铅同位素地球化学特征, 反映本矿床属于沉积-强烈改造型金矿床; ② 本矿床成矿物质的直接来源主要为志留系; ③ 本区的金矿成矿作用和主要与志留系重熔有关的岩浆岩(I类岩浆岩)的关系最为密切, 因此, 在志留系展布区内, I类岩浆岩密集出现, 可作为本区金矿找矿的重要标志。

主题词: 微细粒浸染型金矿床 石英脉型和蚀变岩型金矿床 铅同位素地球化学 安家岔金矿床

1 矿床地质概况

安家岔金矿床位于甘肃省西成铅锌矿田西部的西和县境内, 属于秦岭褶皱系礼县-樟水海西褶皱带南亚带, 为被动型大陆边缘拉张环境中的高地热流区(孙省利等, 1992)。区内构造线主要为东西向, 以吴家山复式背斜为主体。安家岔金矿床产在该复式背斜的西部倾伏端, 且严格受东西向“早期为层间挤压片理化带, 晚期叠加硅化破碎蚀变”的构造控制^①。

区内出露的地层主要有泥盆系下统清水沟组(D_1q 、中下统安家岔组($D_{1-2}a^{1-2}$)、中统广金坝组(D_2g)和上统铁山群(D_3ts), 为一套浅变质的浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积建造。金矿体分布于中下泥盆统安家岔组上部岩性段(第二层)底部浅变质碎屑岩和碳酸盐岩之间的过渡部位, 具有明显的层控性(图1)。

基底为前泥盆纪地层, 主要有中元古界碧口群和志留系(施俊法等, 1991; 林兵, 1990)。碧口群是一套富含Cu、Pb、Zn等的优地槽沉积地区, 广泛分布于矿区南部武都、康县一带, 为西秦岭地区早期主要含金建造; 而志留系为一套浅海相碎屑岩夹硅质岩、碳酸盐岩(局部夹火山岩)沉积, 在区内广泛出露, 是晚期最有前景的含金建造(衍生金源层)之一^②。值得指出的是: 矿区吴家山背斜轴部还发育有前泥盆纪变质火山岩、火山-沉积岩及大

谭立群, 男, 1966年生, 工程师, 从事轴矿、金矿地质研究。邮政编码: 712000

1994-9-6 收稿, 1995-5-30 修改回

① 胡俊桢等, 1991, 西秦岭泥盆系北带微细浸染型金矿成矿条件及远景预测(科研报告)

② 张承中等, 1989, 甘肃省西秦岭东部地区金成矿条件分析(科研报告)

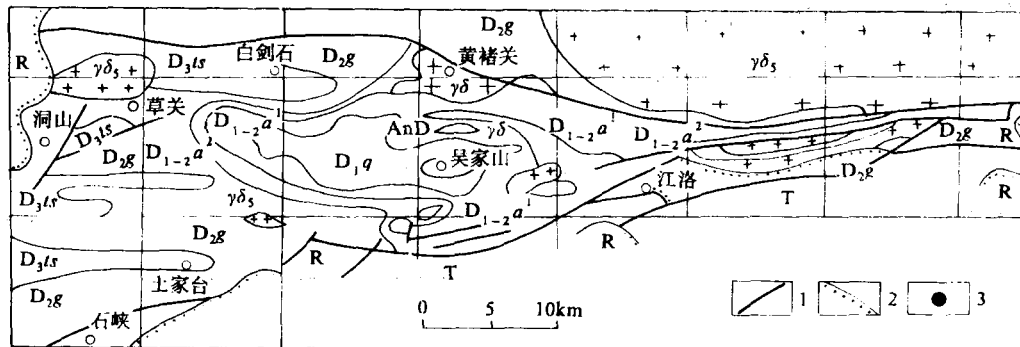


图1 安家岔金矿床地质略图

R—第三系; J—侏罗系; T—三叠系; D_{3ts} —上泥盆统铁山群; D_{2g} —中泥盆统广金坝组; D_{1-2a^2} —中下泥盆统安家岔组第二层; D_{1-2a^1} —中下泥盆统安家岔组第一层; D_{2q} —下泥盆统清水沟组; AnD—前泥盆系(碧口群?); $\gamma\delta_5$ —印支期花岗岩闪长岩; $\gamma\delta$ —印支期花岗岩; 1—断层; 2—不整合; 3—安家岔金矿

Fig. 1. Geological map of the Anjiacha gold deposit.

R—Tertiary; J—Jurassic; T—Triassic; D_{3ts} —Upper Devonian Tieshan Group; D_{2g} —Middle Devonian Guangjinba Formation; D_{1-2a^2} —2nd bed of Middle-Lower Devonian Anjiacha Formation; D_{1-2a^1} —1st bed of Middle-Lower Devonian Anjiacha Formation; D_{2q} —Lower Devonian Qingshigou Formation; AnD—Pre-Devonian (Bikou Group?); $\gamma\delta_5$ —Indosinian granodiorite; $\gamma\delta$ —Indosinian granite; 1—Fault; 2—Unconformity; 3—Anjiacha gold deposit.

理岩, 具有强烈的塑性流变和剪切应变特征, 与扬子地块北缘的元古界变质基底(碧口群)颇为相似, 而与上覆泥盆系平缓构造形成强烈对照^①。

区内火成岩主要有海西期超基性岩、印支期花岗岩类以及时代不明的黄铁钠长细晶岩脉、煌斑岩脉等中基性脉体。航磁、卫星影象推断: 安家岔金矿床位于一大型环状构造内侧, 预示矿床附近的下部存在隐伏岩体。

安家岔金矿床属于微细粒浸染型金矿床, 其矿化类型为石英脉型和蚀变岩型, 且明显具有多期多阶段的特点, 可分为矿前期(I)、金成矿期(II)、矿后期(III)等三个期, 包括碳酸盐石英脉阶段(I₁)、黄铁钠长细晶岩脉阶段(I₂)、少黄铁石英脉阶段(II₁)、黄铁矿碳酸盐石英脉阶段(II₂)、黄铁石英污浊碳酸盐脉阶段(II₃)、少石英碳酸盐黄铁矿脉阶段(II₄)、闪斜煌斑岩脉阶段(III₁)和石英碳酸盐脉阶段(III₃)等八个演化阶段。成矿期四个阶段在空间上的复合、叠加, 往往形成大而富的工业矿体。矿体形态为似层状、透镜状, 产状与赋存构造产状基本一致。矿石成分较简单, 主要为黄铁矿, 偶见黄铜矿、辉锑矿, 脉石矿物一般为石英、方解石、铁白云石。载金矿物主要为黄铁矿, 其次为辉锑矿、石英。金一般呈次显微小圆球状及链状赋存在黄铁矿的微裂隙中和晶面上, 或被吸附在黄铁矿边缘, 部分呈裂隙金、晶隙金及粒状显微金、包体金与黄铁矿伴生(胡俊祯等, 1991)。与金矿化有关的围岩蚀变有绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化、毒砂化等。

① 刘本培等, 1992, 古大陆边缘沉积地层地质文集, 中国地质大学出版社

2 矿床铅同位素地球化学特征及其成因意义

对安家岔金矿床的 11 个矿石样品进行了铅同位素分析, 结果列于表 1。为了便于对比研

表 1 安家岔金矿床及其邻近地区地层、岩浆岩和矿石铅同位素组成

Table 1. Lead isotope compositions of the Anjiacha gold deposit as well as strata magmatic rocks and ores in neighboring areas

地质体	期次或地区	样号	地质产状(样数)	测试矿物	Pb 同位素比值			H-H 模式年龄 ^① (10 ⁶ a)	源区特征值 ^②				资料来源
					²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb		μ	ν	w	K	
安家岔金矿床	未分期次	89A-88a	硫化物石英脉	Py	20.65±0.01	15.66±0.00	38.13±0.01	-1540					本文(成都地院测定)
		89A-90a	硅化蚀变板岩	Py	19.46±0.02	15.54±0.01	39.05±0.02	-732					
		89A-92a	蚀变斑点板岩	Py	22.56±0.02	15.76±0.01	40.45±0.02	-3208					
		89A-96a	石英-碳酸盐-硫化物脉	Py	18.57±0.01	15.57±0.00	38.16±0.01	6	9.38	0.07	34.27	3.65	
		89A-97a	石英-碳酸盐-硫化物脉	Py	18.56±0.02	15.52±0.01	37.99±0.02	-53					
	Ⅱ ₂	92A-72①	黄铁矿碳酸盐石英脉	Py	18.661±0.01	15.610±0.01	38.366±0.02	-9					本文(宜昌所测定)
	Ⅱ ₃	92A-118	黄铁矿石英污染碳酸盐脉	Py	18.455±0.01	15.591±0.01	38.354±0.01	119	9.44	0.07	35.82	3.80	
		92A-37①	黄铁矿石英污染碳酸盐脉	Py	18.631±0.01	15.611±0.01	38.364±0.01	14	9.46	0.07	35.13	3.72	
	Ⅱ ₄	92A-28	少石英碳酸盐黄铁矿脉	Py	18.633±0.01	15.606±0.01	38.342±0.01	7	9.45	0.07	34.99	3.70	
		92A-49	少石英碳酸盐黄铁矿脉	Py	18.579±0.02	15.652±0.01	38.491±0.01	105	9.45	0.07	36.28	3.80	
	Ⅱ ₁	92A-70	闪斜煌斑岩脉	Py	18.430±0.01	15.608±0.01	38.424±0.01	158	9.47	0.07	36.41	3.84	
泥盆纪地层		Dgt-9	上泥盆统千枚岩	Py	17.483	15.498	36.668	709	9.38	0.07	32.99	3.52	施俊法、陈德兴、陈源等
		Dgt-11	中泥盆统薄层灰岩	Py	17.941	15.426	37.087	291	9.17	0.07	31.82	3.47	
		H3pt-2	中泥盆统厚层灰岩	Py	18.135	15.663	38.068	436	9.61	0.07	37.05	3.85	
		Dgt-12	中泥盆统含生物碎屑灰岩	Py	18.104	15.687	38.577	485	9.67	0.07	39.67	4.10	
		Qt	中泥盆统碳质千枚岩	Py	18.486	15.578	38.775	79	9.41	0.07	37.23	3.96	
		Dd-1	中泥盆统千枚岩	Py	16.686	15.353	37.038	1117	9.24	0.07	38.41	4.16	
		Jp-Ts-7	金钱河剖面 D _{2q} 上部	Py	18.137	15.612	38.673	375	9.51	0.07	39.14	4.12	
			D _{2s} 粉砂质板岩(1)		18.964	15.657	39.080	-173					

续表 1

地质体	期次或地区	样号	地质产状(样数)	测试矿物	Pb 同位素比值			H-H 模式年龄 ^① (10 ⁶ a)	源生特征值 ^②				资料来源
					²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb		μ	ν	w	K	
碧口群		Bk-51	砂质千枚岩	AR	17.644	15.471	38.128	563	9.30	0.07	38.37	4.13	周乐尧
		Bk-14	粉砂岩	AR	18.126	15.552	38.394	311	9.39	0.07	37.44	3.98	
		Bk-41	含砾砂质千枚岩	AR	18.018	15.553	38.066	390	9.41	0.07	36.68	3.90	
岩浆岩及有关矿床	西成地区	Dop-4	邓家山蚀变闪长岩	Py	18.020	15.607	37.833	452	9.52	0.07	36.16	3.80	施俊法等
		Ht-1	侯家村花岗闪长岩	Py	17.762	15.421	37.433	418	9.18	0.07	34.18	3.72	
	中川地区	岩浆岩	闪长细晶岩(1)	Py	18.679	15.701	38.626	94	9.63	0.07	36.74	3.82	陈源
			斜闪煌斑岩(4)	Py	18.397	15.621	38.400	202	9.50	0.07	36.63	3.86	
		金矿化	含矿斜闪煌斑岩(2)	Py	18.711	15.672	38.762	34	9.57	0.07	36.85	3.85	
			载金黄铁矿(8)	Py	18.669	15.681	38.620	76	9.59	0.07	36.59	3.82	
	梓山地区	788-7-D ₂	小河口铜矿	Gn	17.726	15.542	38.018	586	9.43	0.07	38.09	4.04	李泽九
		788-10-G ₂	小河口铜矿	Py	17.642	15.474	37.774	568	9.30	0.07	36.85	3.96	
		841	小河口铜矿矿石	Gn	17.674	15.478	38.312	549	9.30	0.07	39.07	4.20	
		820	小河口石英闪长玢岩	Or	17.860	15.506	38.326	448	9.34	0.07	38.26	4.10	
		X ₁ -D ₁	小河口花岗闪长斑岩	Or	17.551	15.462	37.581	620	9.29	0.07	36.41	3.92	
		X ₂ -D ₂	小河口花岗闪长斑岩	Or	17.415	15.405	37.389	652	9.20	0.07	35.82	3.90	
		L-D ₁	冷水沟花岗闪长斑岩	Py	17.786	15.484	38.038	476	9.30	0.07	37.24	4.00	
		L-D ₂	冷水沟砂卡岩铜矿	Py	17.620	15.461	37.647	569	9.28	0.07	36.29	3.91	
		SK-D	沙沟湾二长花岗岩	Or	17.655	15.576	37.815	674	9.51	0.07	37.94	3.99	
		XD	雪花沟二长花岗岩	Or	17.659	15.564	37.806	658	9.48	0.07	37.76	3.98	

注: ①、②—本文计算值, 全部计算采用 B R Doe 参数^[1], 1974; Py—黄铁矿; Gn—方铅矿; Or—钾长石; AR—全岩

究, 表中还列出了最近几年发表的矿床周围及其邻区地层、岩浆岩和有关矿床的铅同位素数据。研究矿床的铅同位素地球化学特征的目的在于揭示矿床的成矿时代、成矿物质来源以及矿床的成因和演化, 为进一步找矿勘探提供指导, 这不但具有理论意义, 而且具有更为重要的实际意义。

2.1 矿床铅同位素地球化学特征及其铅同位素类型的厘定

不同的矿床具有不同的成矿物质来源和矿床成因, 而且其后期改造作用的强弱和复杂程度也不一致, 因而其矿石铅同位素地球化学特征也各不相同, 这必然导致各矿床铅同位素组成表现为不同的类型。陈好寿^[2]曾将我国层控矿床的铅同位素组成成分成三种主要类型, 即正常型、异常型和混合型。其中, 对混合型铅, 按照含放射成因铅的相对高低和其所反映的模式

年龄的大小（相对于围岩而言）又细分为以正常铅为主，以低放射成因铅为主和以高放射成因铅为主的混合型铅三个亚类。安家岔金矿床属以高放射成因铅为主的混合型铅，理由为：

(1) 安家岔金矿床铅同位素（表1）的统计结果表明：本矿床矿石铅同位素组成不是很均一、变化较大，其中， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的变化范围为18.43~22.56，平均值19.199，离差1.23，变化率6.42%； $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.52~15.76，平均15.611，离差0.062，变化率0.395%； $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.99~40.45，平均38.556，离差0.652，变化率1.69%。而且，其中 $^{208}\text{Pb}/(^{206}\text{Pb}+^{207}\text{Pb}) < 1.13$ ， $^{208}\text{Pb} < 52.75\%$ ，明显表现出由铀铅混染形成的异常铅的特点；但从其 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值来看，本矿床部分矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值为1.181~1.196，属于正常铅（其 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 值为0.89~1.20^[3,4]）的范畴；部分矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 值为1.252~1.431，表现为J型铅（其 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 值为1.20~1.95^[3,4]）。这表明：该矿床矿石铅比同期产生的单阶段铅要富含放射性成因铅，但各样品含放射性成因铅的程度并不相同，有的很低或较低，而有的却很高。综上所述，不难看出，安家岔金矿床具有“混合型铅”的铅同位素组成特征。

(2) 在 $^{206}\text{Pb}+^{207}\text{Pb}+^{208}\text{Pb}=100$ 的基础上，将矿床铅同位素样点投到卡农铅同位素演化三角坐标图（图2）上，矿区11个样点中有5个落在J型铅区，4个落在正常铅区，2个落在U型铅区，进一步表明本矿床矿石铅是一种混合型铅。在矿床铅同位素组成分布图（图3）中，一方面，矿石铅同位素样点主要落在 $\mu=9.2\sim 9.6$ 单阶段演化曲线之间、零初始等时线附近，并构成一条大斜率、与零初始等时线斜交且线性关系较明显的直线；这显然是不同年龄、不

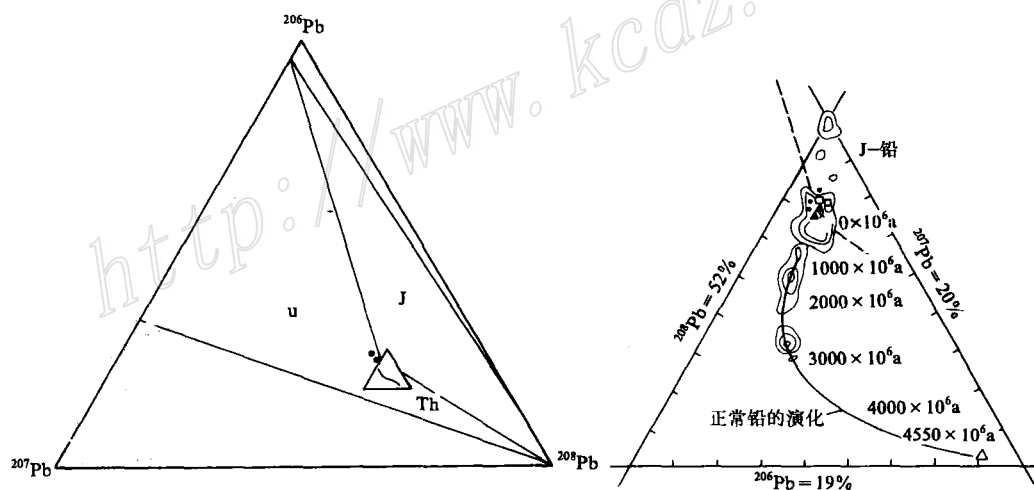


图2 安家岔金矿床矿石铅的卡农铅同位素演化三角坐标图解

图例同图3

Fig. 2. Triangular diagram showing isotopic evolution of ore lead in the Anjiacha gold deposit (symbols as for Fig 3).

同来源（ μ 值不同）的铅混合的结果。另一方面，部分矿石铅同位素样点组成一条斜率（斜率为0.05634）很小的异常铅线（其相关系数为0.955；李占游，1991），表现为典型的多阶段

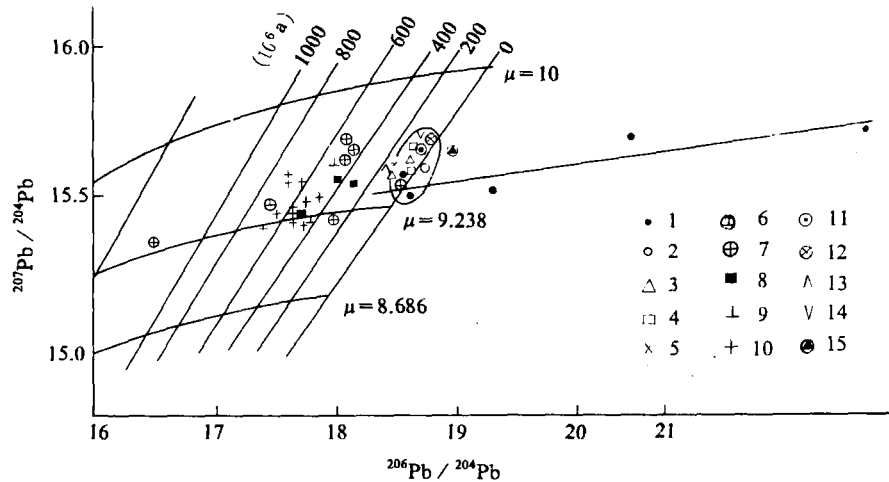


图 3 安家岔金矿床及其邻近地区地层、岩浆岩和有关矿床的铅同位素组成分布图

(据施俊法等, 1991)

安家岔金矿床: 1—未分期次的石英脉型和蚀变岩型矿石; 2—Ⅱ₂ (黄铁矿碳酸盐石英脉阶段); 3—Ⅱ₃ (黄铁矿石英污浊碳酸盐阶段); 4—Ⅱ₄ (少石英碳酸盐黄铁矿脉阶段); 5—Ⅲ₁ (闪斜煌斑岩脉阶段); 地层和岩浆岩: 6—上泥盆统地层; 7—中泥盆统地层; 8—碧口群; 9—西成地区岩浆岩; 10—樟山地区岩浆岩及有关矿床。中川地区: 11—载金黄铁矿 (8); 12—含金矿斜闪煌斑岩 (2); 13—斜闪煌斑岩 (4); 14—闪长细晶岩 (1); 15—D_{2s} 粉砂质板岩 (1)

Fig. 3. Lead isotope compositions of the Anjiacha gold deposit as well as strata, magmatic rocks and related ore deposits in neighboring areas.

The Anjiacha gold deposit: 1—Quartz vein type and altered rock type ores without being divided in phase and stage); 2—Ⅱ₂ (Pyrite-carbonate-quartz vein stage); 3—Ⅱ₃ (Pyrite-quartz-dirty carbonate stage); 4—Ⅱ₄ (Quartz-deficient carbonate-pyrite vein stage); 5—Ⅲ₁ (Spessartite dike stage). Strata and magmatic rocks: 6—Upper Devonian strata; 7—Middle Devonian strata; 8—Bikou Group; 9—Magmatic rocks in Xicheng area; 10—Magmatic rocks and related ore deposits in Zhashan area. Zhongchuan area: 11—Auriferous pyrite (8); 12—Auriferous spessartite (2); 13—Spessartite (4); 14—Dioritic aplite (1); 15—D_{2s} Silty slate (1).

铅。这同样反映出本矿床的矿石铅是由不同年龄和不同来源 (μ 值不同) 的铅与典型多阶段铅 (异常铅) 不均匀混合的结果。

(3) 采用 B R Doe (1974) 的参数, 对矿床铅同位素数据的源区特征值和 H-H 模式年龄的计算结果^[1] (表 1) 表明: 矿石铅的 μ 、 K 和 w 值均波动较大, 这可能与复杂的物源条件有关; 矿床各阶段矿石铅样品的单阶段模式年龄也变化很大, 其中, 部分样品表现为正值年龄, 变化于 $6.56 \times 10^6 \sim 118.60 \times 10^6$ a 之间, 普遍较低, 比含矿脉体石英中的流体包裹体铷-锶等时线年龄 $(269 \pm 21) \times 10^6$ a (胡俊祯等, 1991) 和围岩地层沉积时代 $386 \times 10^6 \sim 350 \times 10^6$ a (李英等, 1993) 都低; 而其余的样品却出现变化范围很大的负值年龄 (即未来年龄)。这些无疑表明成矿过程中有大量放射成因铅的不均匀混入, 明显地表现出以高放射成因铅为主的混合型铅的模式年龄和源区特征值变化特征。据此, 结合前面的讨论, 我们认为, 安家

盆金矿床矿石铅是一种以高放射成因铅为主的混合型铅。

2.2 矿床成矿物质来源的讨论

已有的研究表明：铅同位素对追索成矿物质的来源具有很好的指示意义。根据矿床铅同位素地球化学特征，结合矿床地质背景，我们对本矿床成矿物质来源进行如下讨论。

2.2.1 铅的演化环境和成矿物质的最初来源

矿床成矿物质的最初来源可分为壳源、幔源和混合来源三种^[5]。就本矿床而言，其成矿物质应为壳源或以壳源为主的壳幔混合来源，矿石铅的源区构造环境为上地壳和经历了造山作用改造的幔源岩石组合。现论证如下：

(1) 在铅同位素组成分布图上(图4)中，矿石铅同位素数据点多数落在造山带和上地壳铅平均演化线之间和造山带铅演化曲线之上，个别点落在造山带铅演化曲线的下侧和零等时线右侧，其总体分布域位于B R Doe和R E Zartman(1979)所厘定的克拉通化地壳或非克拉通化地壳铅组成域内。与Stacey等(1975)的两阶段铅增长曲线相比，矿石铅样点均分布在曲线附近偏上或偏下。这些特征反映出：矿床矿石铅属于壳源铅或以上地壳铅为主的壳幔混合铅，其源区构造环境主要为富铀的造山带和上地壳。

(2) 从矿床矿石铅同位素源区特征值 μ 、 K 和 w 的计算结果(表1)来看，其 μ 、 K 和 w 值都有一定程度的变化，其中以 K 值和 w 值的变化较大，三者的变化率分别为：1.02%、9.85%和10.03%。在 μ 、 w 和 K 值频率分布图上，仅 μ 值表现为一个峰值，而 K 值和 w 值均有两个或两个以上的峰值，说明其金属来源复杂，并不是单一的。已有的研究表明^[2,5,6]：不同的地质单元(地质体)铅同位素具有不同的 μ 、 K 和 w 值(表2)。就本矿床而言，大多数样品的 μ 值大于9.25， K 值大于3.5， w 值大于34，明显地反映出矿石铅是以壳源为主的壳幔混合来源。由矿石铅的 μ - w 和 μ - K 相关图(图5)亦可看出：本矿床和 μ 与 K 、 μ 与 w 之间存在三条线性关系良好的相关直线，反映其铅的来源复杂；其中有两相关直线近于平行，明显地显示出有两个体系的没有充分均一化的壳幔混合铅来源；另一条相关直线与上述二者斜交，推测可能是矿床成矿过程中古老陆壳(碧口群地层)铅不均匀混入的结果。

2.2.2 成矿物质的直接来源

(1) 本矿床矿石铅同位素组成(表1)存在明显的变化，表明矿石铅不可能来自某一均一的铀铅体系。取 $a=^{207}\text{Pb}$ 、 $b=^{204}\text{Pb}$ 、 $d=^{206}\text{Pb}$ ，应用三元混合模式 $(\frac{a}{b})_m = K_1 \frac{c_m^d}{c_m^b} + K_2 \frac{1}{c_m^b} + K_3$ 进行判断^[7]，结果表明：本矿床铅同位素组成满足三元混合模式，其回归方程为： $(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}})_m = 2.221 \times 10^{-3} (\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}})_m + 2.517 \frac{1}{^{204}\text{Pb}_m} + 13.704$ ；回归方程在0.05水平上回归显著 $[F_{P,N-P-1}^{0.01} (=9.55) > F (=5.257) \geq F_{P,N-P-1}^{0.05} (=4.74)]$ ，其复相关系数为0.78。明显地显示出本矿床铅同位素组成具有三端员混合结构，表明本矿床矿石铅是多来源多阶段演化的结果，反映成矿物质也是多源的。

(2) 从矿床及其邻区各地质体的铅同位素成分和源区特征值(表1)来看，一方面，本矿床比泥盆系、碧口群和西成、柞山地区的岩浆岩及有关矿床更富放射成因铅(特别是铀铅)，其矿石铅同位素成分多数与中国金矿床扬子铅同位素构造区的铅同位素组成($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.37$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.68$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.59$)相近。另一方面，本矿床的铅同位素成分和源

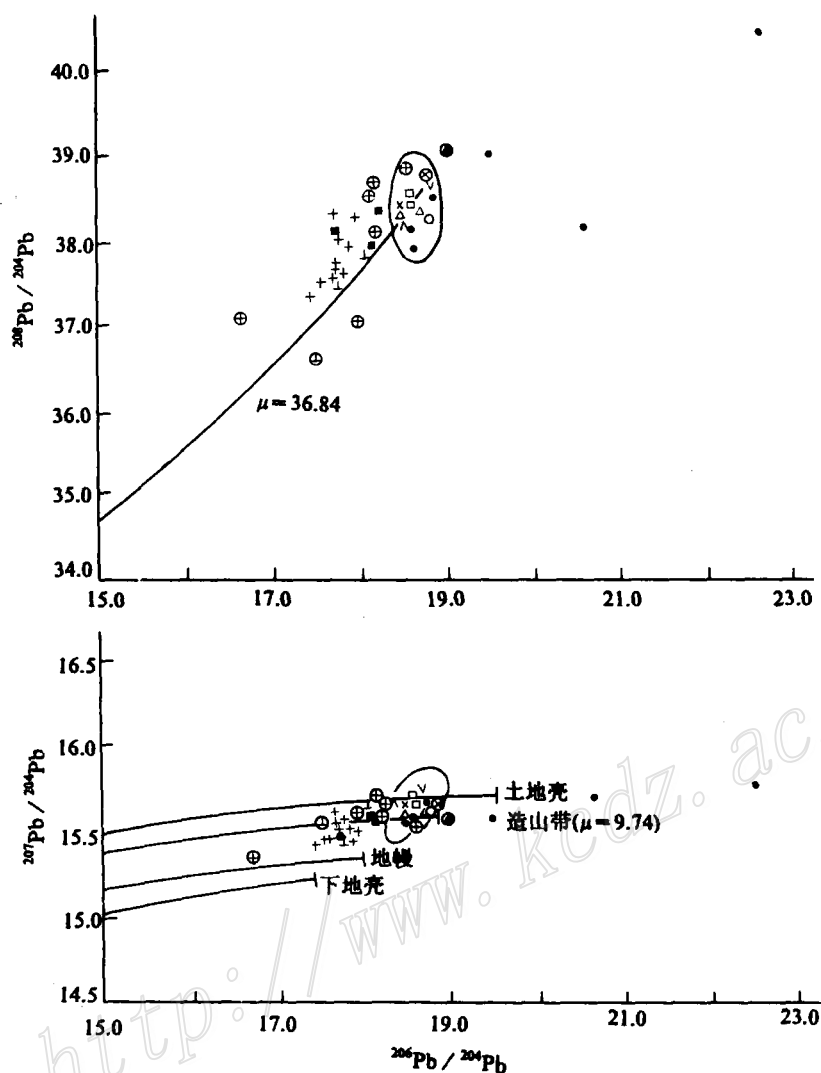


图 4 安家岔金矿床及其邻近地区地层、岩浆岩和有关矿床的铅同位素组成分布图

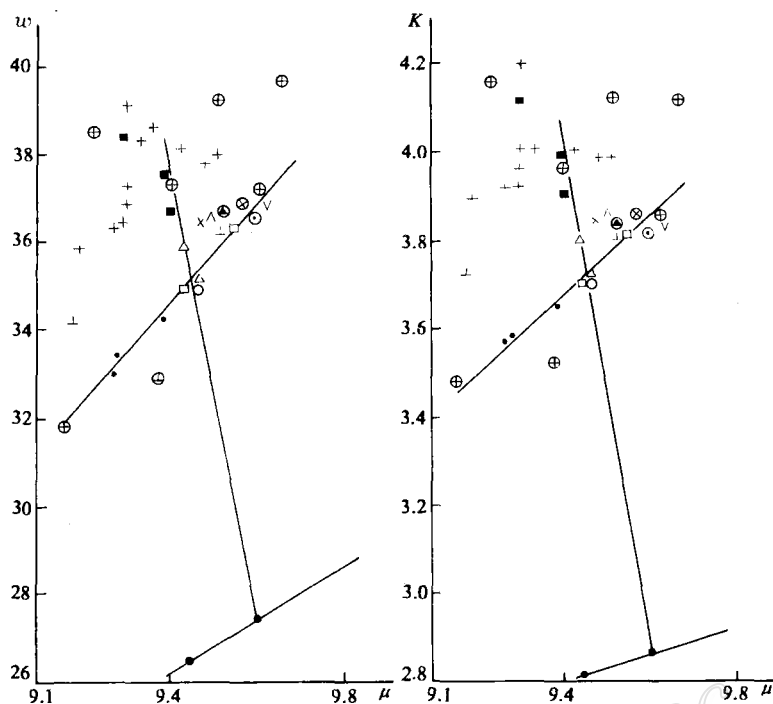
(据丁梯平等修编, 1992)

图例同图 3

Fig. 4. Lead isotope compositions of the Anjiacha gold deposit as well as strata, magmatic rocks and related ore deposits in neighboring areas.

(Symbols as for Fig. 3.)

区特征值的变化特征与碧口群、泥盆系表现出一定程度的相似性, 它们均具有类似的变化特点, 只是变化程度存在较大的差别, 矿床的变化幅度较大。而与西成、梓山地区的岩浆岩及有关矿床相比, 则差别明显。在铅同位素组成分布图中, 除个别中泥盆统地层铅同位素数据点落在本矿床矿石铅分布域内以外, 西成地区的邓家山蚀变闪长岩样点和多数碧口群、中泥盆统地层样点均邻近并沿分布域在左外侧分布, 而西成地区的侯家村花岗闪长岩和梓山地区

图 5 安家盆矿床 μ - w 、 μ - K 相关图

图例同图 3

Fig. 5. μ - w and μ - K correlogram of the Anjiacha gold deposit.

(Symbols as for Fig. 3.)

的岩浆岩及有关矿床的数据点则明显远离矿石铅分布域集中分布(图 3, 4)。由此我们推测, 邓家山蚀变闪长岩、碧口群和中泥盆统地层与本矿床之间具有一定的成因联系, 而侯家村花岗闪长岩和柞山地区的岩浆岩显然与本金矿床成矿无关。张承中等(1989)对西秦岭东部地区含金建造的分析研究表明: 碧口群为本区已知最早的金源层, 志留系、泥盆系(特别是中泥盆统地层)是本区含金性最好的衍生含金建造。由西成、柞山地区岩体产出的地质条件及其铅同位素组成分布特征与碧口群、泥盆系的对比结果(图 3, 4)来看, 邓家山蚀变闪长岩体应是碧口群局部熔融上侵的产物, 且在其侵位成岩的过程中, 可能还同化混染了泥盆纪地层组分; 而柞山地区的岩浆岩及有关矿床和侯家村花岗闪长岩显然有更深的来源。结合前面的推测, 可以认为: 本矿床成矿过程中, 碧口群、中泥盆统地层及与碧口群有成因联系的岩浆作用提供了一定数量的成矿物质。

(3) 已有的研究表明: 矿石普通铅同位素成分的变化不但与其源区火山沉积岩层的初始铅同位素组成有关, 而且还受其源区构造化学环境的控制。具体表现在不同的构造化学环境具有不同的 U、Th 含量及 U/Pb、Th/Pb 和 Th/U 比值, 而这些含量和比值却强烈地影响着铅同位素的演化^[8]。例如, 上地壳 U、Th 强烈富集, 故上地壳物质中富集放射成因铅; 而下

表 2 安家岔金矿床矿石铅和不同地质单元铅同位素的 μ 、 K 和 w 值对比表Table 2. Comparison of μ , K and w values of lead isotopes between the Anjiacha gold deposit and various geological units

地质体	源区特征值			资料来源
	μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$)	K ($^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$)	w ($^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$)	
安家岔金矿床	9.25~9.62 平均 9.43	3.50~3.88 (主要) 2.75~2.88 (次要) 平均 3.52	34.0~36.5 (主要) 33.0~33.5 (次要) 27.0~27.5 (少量) 26.0~26.5 (少量) 平均 33.16	本文, 1993
现代地幔	8.92	3.57		B R Doe, 1979
现代下地壳	5.89	5.98		
上地壳	12.24	3.42		
造山带或岛弧区	10.87	3.64		
原始地幔	5~7.8	3.8~4.0		立本等
原始地壳	12	4.2~4.5		
一些被认为是来自地幔的层控矿床的矿石铅	8.79 $\pm$ 0.18	3.9 (陨石的 K 值为 3.8, 该处 $K=3.9$ 可能代表化学上未分异的地球物质的 K 值)		
备 注 ^[5,6]	①从深海沉积物的 μ 值推测地壳的平均 μ 值为 11; ②从北美大陆不同年代的长石混合样品推测地表的 μ 值为 9~10; ③从大量矿石铅和长石铅的同位素比值及其它地球化学资料来看, 大陆地壳的平均 μ 值为 9.0, K 值为 4.1; ④地幔在地球历史的大部分时间里 μ 值近于 7.8~7.9, 直到元古代时才发生铀相对于铅、钍的富集, 使 μ 值有所增高。			

地壳铀、钍强烈亏损, 因此缺乏放射成因铅。本矿床矿石明显富含放射成因铅 (特别是铀铅), 其模式年龄小于围岩地层沉积时代和成矿时代并出现未来年龄, 这是沉积-强烈改造型矿床所具有的铅同位素地球化学特征^[2,9], 无疑更是源区很富铀的表现^[5]。就西秦岭东部地区已知金源层和衍生含金建造的铀钍特征而言, 碧口群的 U 含量为 4.75×10^{-6} , Th 含量为 21.59×10^{-6} , Th/U 比值为 4.55; 而中泥盆统地层的 U 、 Th 含量和 Th/U 比值则分别为 3.25×10^{-6} 、 10.45×10^{-6} 和 3.22, 这显然与矿床矿石铅同位素组成特征及由矿石铅同位素成分计算出的源区 $^{232}\text{Th}/\text{U}=3.64$ ^[6] 不是很一致。从上述意义上来说, 推测碧口群、中泥盆统地层可能并非本矿床成矿的主要矿源层。而该区最具金成矿前景的志留系同时也是该区最突出的富铀层, 其 U 含量高达 18.95×10^{-6} , Th/U 值为 3.57, 与本矿床矿石铅同位素地球化学特征表现出一定程度的协调性。结合矿床产出的地质背景, 可推测其成矿物质主要来自志留纪地层。

(4) 本矿床与中川地区的李坝、庙山、三人沟等一系列金矿床 (点) 都发育在罗坝-高桥金成矿亚带中 (张承中等, 1989), 成矿地质条件相似。从本矿床金成矿后的闪斜煌斑岩脉 (M_1) 和多数金成矿期矿石及中川地区的李坝、庙山、三人沟等一系列金矿床 (点) 的矿石 (或矿化岩石) 与斜闪煌斑岩、闪长细晶岩等脉岩的 Pb 同位素成分特征来看, 它们具有近似

一致的铅同位素组成(表1),且都处在同一分布域中(图3,4),说明它们成岩、成矿的物源条件相同。陈源等^[10]对西秦岭北带与金矿化有关的脉岩研究后认为:中川地区的中川花岗岩杂岩体及其周围与金矿化有密切空间伴生关系的细晶岩脉、煌斑岩脉等脉岩均为深部地层局部熔融所产生的深部岩浆房同源演化于不同时期先后上侵成岩的产物,并构成一个具有同源性成因特点的岩浆岩演化序列;而李坝、庙山等一系列的金矿化则是围绕岩浆热源的大气降水热水循环系统不断萃取深部地层中的成矿物质并向上迁移沉淀成矿的结果。从中川地区金矿石和脉岩的Pb同位素地球化学特征并结合脉岩的Rb-Sr同位素地球化学特征来看,陈源所指的“深部地层”主要为志留纪地层。这与志留系为富铀层位及中川花岗岩杂岩体外围除发育金矿床(点)外还产有三个铀矿床、两个铀矿点、14个铀矿化点的特点是一致的。无疑,这从一个侧面反映出:安家岔金矿床的矿源层主要为基底志留系。

(5)前已述及,安家岔金矿床金成矿后的闪斜煌斑岩脉(Ⅲ₁)与多数金矿石有着相同的来源。且本矿床成矿前发育有黄铁钠长细晶岩脉,矿床附近存在隐伏岩体,推测它们是同源性成因。结合前面的讨论和陈源^[10]的研究结果,我们认为:在本矿床成矿过程中,岩浆活动确实提供了一定数量的成矿物质;但是岩浆活动对本矿床金成矿的主要贡献还在于提供热源。

综上所述,可知本矿床的成矿物质主要来自基底志留系,同时具有多源特征,碧口群、中泥盆统地层以及与碧口群和志留系重熔有关的岩浆活动也提供了部分成矿物质。需要指出的是,岩浆活动在本矿床成矿过程中的主要作用并非提供成矿物质而是提供热源。

2.3 矿石铅同位素找矿意义初探

铅同位素的研究成果可用来指导找矿^[9],由以上的讨论可知,与志留纪地层有成因联系的细晶岩脉、煌斑岩脉等具有与本矿床有一致的铅同位素成分,因此,在志留纪地层展布区内,与本矿床矿石铅同位素成分一致的煌斑岩脉、细晶岩脉的发育区,就是类似本矿床的金成矿远景区。

3 结 论

(1)本矿床矿石铅同位素组成变化较大,为一种以高放射成因铅为主的混合型铅。

(2)本矿床铅同位素成分不仅取决于源区岩石的初始铅同位素组成,且受含矿岩系U、Th含量和U/Pb、Th/Pb比值的控制。其“模式年龄”既不指示成矿地质时代,也不代表含矿岩系和围岩的沉积年代,但可用来判断源区岩石的U、Th含量及U-Th-Pb体系的特点。这是有大气降水参与热液成矿的铅同位素地球化学特征^[8,11],与本矿床矿物包裹体及氢、氧、硫同位素研究结果^[12]是一致的。

(3)本矿区矿石铅是多来源多阶段演化的结果,其源区构造环境为上地壳和造山带,反映成矿物质的最初来源为壳源或以壳源为主的壳幔混合来源。具体地讲,成矿物质主要来自志留系,同时在成矿过程中,碧口群、中泥盆统岩层和岩浆活动也提供了部分成矿物质。

(4)据铅同位素地球化学特征,西秦岭地区岩浆岩可分为三类:I)主要与志留系重熔有关的岩浆岩,如中川杂岩体、煌斑岩脉和细晶岩脉等;II)主要与碧口群重熔有关的岩浆岩,如邓家山蚀变闪长岩体;III)来源更深的岩浆岩,包括侯家村花岗闪长岩体和榨山地区的岩浆岩等。其中以I类岩浆岩与金成矿作用关系密切,因此,在志留纪地层展布区内,有这类岩浆岩密集出现,就可能找到与本矿床类似的金矿床,这是本区金矿找矿的重要标志之一。

(5)本矿床具有沉积-强烈改造型矿床的铅同位素地球化学特征^[2,9],岩浆活动在本矿床金

成矿过程中的主要作用是提供热源，虽然它同时也为金成矿提供了一定数量的成矿物质。

参 考 文 献

- 1 魏菊英等. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1988, 59~80
- 2 陈好寿. 南岭地区泥盆系层控矿床的铅同位素地球化学研究. 大地构造与成矿学, 1985, 9 (3): 231~244
- 3 地科院地质矿产所等. 稳定同位素地质译文集. 北京: 地质出版社, 1974, 185~200
- 4 卢武长. 稳定同位素地球化学. 成都: 成都地质学院出版社, 1986, 262~282
- 5 陈好寿. 铅同位素地质研究的基本问题. 北京: 地质出版社, 1979, 1~235
- 6 G 福尔. 同位素地质学原理. 潘曙兰等译. 北京: 科学出版社, 1983, 156~210
- 7 李献华. 同位素和微量元素的三元混合模式判据及其应用. 地球化学, 1985, (3): 250~254
- 8 张理刚. 铅同位素地质研究现状及展望. 地质与勘探, 1992, 28 (4): 21~29
- 9 陈好寿. 我国层控多金属矿床的铅同位素特征及其矿床成因意义. 科学通报, 1981, 26 (10): 612~615
- 10 陈源. 西秦岭北带与金矿有关的脉岩. 黄金, 1993, 14 (8): 1~6
- 11 张理刚. 大气降水热液矿床铅同位素组成研究. 地质与勘探, 1986, 22 (9): 31~35
- 12 谭立群. 甘肃省安家岔金矿床矿物包裹体研究. 贵金属地质, 1994, 3 (4): 248~261

LEAD ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE ANJIACHA GOLD DEPOSIT, GANSU PROVINCE

Tan Liqun

(Northwest Application Technical Institute of Nuclear Industry, Xianyang 712000)

Key words: micro-fine-grained disseminated gold deposit, quartz vein type and altered rock type gold deposit, lead isotope geochemistry, Anjiacha gold deposit

Abstract

Located in Xihe County, Gansu Province and in the west of the Xicheng lead-zinc ore belt, the Anjiacha gold dpeosit is a micro-fine-grained disseminated gold in Devonian strata, with its natural type belonging to quartz vein type and altered rock type. Being of multiphase and multi-stage composite origin, the ore deposit might be metallogenically divided into three (pre-ore, principal ore-forming and post-ore) phases consisting of eight mineralization superimposition or transformation of multiphase and multistage mineralizations. Having analysed various geological bodies and mineralized bodies in the deposit for lead isotope compositions and compared these data with lead isotope compositions of strata, magmatic rocks and gold deposits of various ages in neighboring areas, the author has concluded that lead isotope compositions of the Anjiacha gold deposit vary in a very wide range and are of mixed type dominated by radiogenic lead. The isotope compositions of ore lead depend not only on initial lead isotope compositions of the source rock but also on U, Th contents and U/Pb, Th/Pb ratios of the ore-bearing rocks. What is more, they have something to do with lead isotope geochemistry of the hydrothermal system. Regional geological setting and the above lead isotope data demonstrate that ore lead of the deposit was derived mainly from Silurian and partly from Proterozoic Bikou Group, Middle Devonian sediments and magmatic activity. A comparison of lead isotope geochemical characteristics also reveals that source magmatic rocks might be classified into three types, derived respectively from ① remelting of Silurian materials, ② remelting of materials of Bikou Group, and ③ remelting of deeper materials. Granite from remelting of Silurian materiald was closely related to the ore-forming process of this deposit, and served as the main heat source besides providing part of ore-forming materials. Therefore, the Anjiacha gold deposit exhibits lead isotope geochemical characteristics of sedimentary-strongly transformed ore deposit.