

河北省张一宣地区金矿床的硫、铅 同位素地质研究

王 郁 蒋心明 王正坤

提 要 通过对张宣地区金矿床硫、铅等稳定同位素地球化学研究,阐明该区形成金矿的主要物质来源为太古界桑干群地层,其成矿时代为燕山运动时期,基于矿床地质及硫、铅、氢、氧等稳定同位素研究,建立了本区金矿的成矿模式。

关键词 张宣地区金矿 硫铅同位素 成矿作用

张家口~宣化地区为我国北方重要的黄金生产基地之一。该金矿化集中区位于燕辽金矿成矿带的西段,这里除了有著名的小营盘、张全庄等大中型金矿床外,还有近几年发现的东坪、金家庄、大营盘等一批大、中、小型金矿床。这些金矿床主要分布在宣化、崇礼、赤城等县境内。随着群众采金活动的发展,相继发现的金矿点星罗棋布。前人从不同侧面对本区的小营盘、张全庄等金矿床的地质地球化学特征、矿床成因等进行了研究,做了大量的工作。对小营盘等金矿床的成因提出了几种不同观点,主要有**多期变质再造矿床^[1]、变质热液矿床^[2,3]、混合岩化热液矿床等^[4]。通过对该区两年多金矿成矿条件的研究,我们对该区金矿的地质特征、成矿规律有了深入的了解和一些新的认识,本文旨在通过对金矿床的硫、铅同位素地球化学的研究,探讨张宣地区金矿的成矿机制,进一步总结成矿规律,为今后找矿工作提供有益的信息。

一、区域地质概况

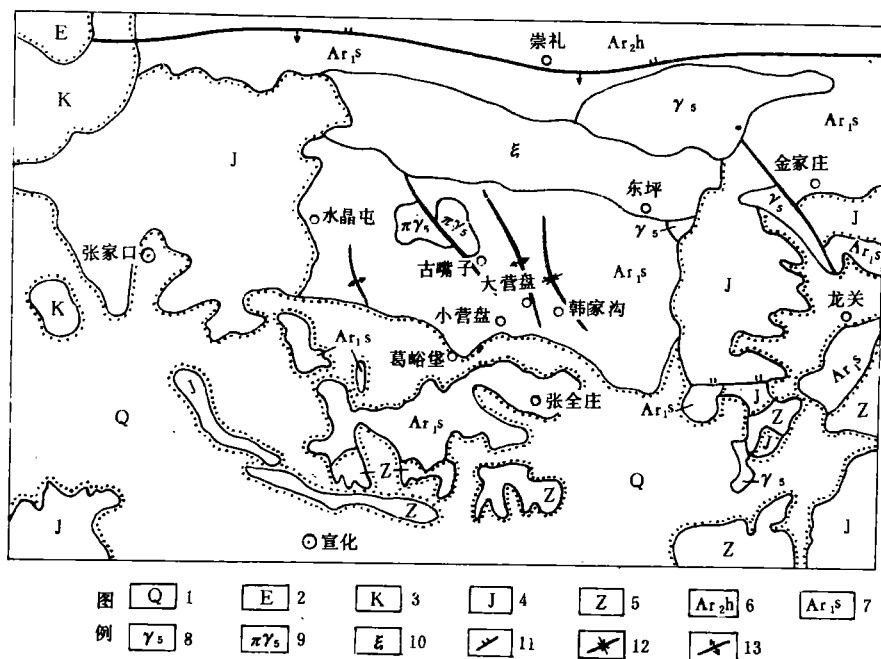
从区域上看、本区横跨中朝准地台两个Ⅱ级构造单元,以崇礼~赤城大断裂为界,北面属内蒙台背斜,南面属燕山沉降带。

本区主要分布下太古界桑干群和上太古界红旗营子群变质岩系地层,南部见少量震旦系长城群石英岩、砂砾岩和白云岩等,不整合于太古界地层之上,西部被侏罗系石英斑岩、凝灰岩等火山熔岩和火山碎屑岩不整合覆盖(图1)。与金矿成矿关系最密切的是下太古界桑干群地层,其变质程度较深,已达角闪岩~麻粒岩相。主要岩石类型有:角闪斜长片麻岩、二辉斜长片麻岩、含石榴二辉斜长麻粒岩、磁铁石英岩和不纯大理岩等。混合岩化作用比较强烈,广泛形成了条带状混合岩、条痕状混合岩、斑状混合岩、花岗质混合岩和均质混合岩等,出露厚度约8300m。通过多种方法进行原岩恢复,这套岩石的原岩主要是中基性火山岩,基性侵入岩、次火山岩、中酸性火山岩、火山碎屑岩、陆源碎屑和化学沉积岩等。

本区地质构造比较复杂,在区域构造运动过程中,产生三期大规模的褶皱变动:第一期褶

皱使本区桑干群地层形成了巨大的复式倒转向斜,其轴向呈近东西向;第二期是一组呈北北西~北西向展布的复式倒转向斜构造;第三期褶皱为波状褶皱束。断裂构造大致可分为东西向、北西向、近南北向三组。东西向构造带是天山~阴山纬向构造带的组成部分,最主要的是崇礼~赤城东西向断裂带,由一系列密集平行排列的高角度逆断层、挤压破碎带组成,在卫片及航片上都有清楚的显示。北西向断裂分布较广,活动频繁。同时还发育有大量的燕山期北东~北北东向断裂构造。

区内岩浆活动强烈,表现为太古代~元古代、海西期、燕山期三个构造岩浆旋回。太古代~元古代有红花梁黑云母花岗岩体(γ_{1-2})。海西期岩浆活动主要在北部发育,除了有一些花岗岩体之外,还有沿东西向大断裂两侧分布的基性、超基性岩体和水泉沟碱性杂岩体等。燕山期岩浆活动比较发育,且具有多期性,但岩体规模不大,主要有谷嘴子斑状花岗岩体和响水沟花岗岩体等。另外,尚有大量脉岩发育。



图例说明: 1. 第四系; 2. 第三系; 3. 白垩系; 4. 侏罗系; 5. 震旦系; 6. 上太古界红旗营子群; 7. 下太古界桑干群; 8. 花岗岩; 9. 斑状花岗岩; 10. 正长岩; 11. 断层; 12. 向斜; 13. 背斜。

图1 张家口~宣化地区地质略图

Fig. 1 Geological scheme of Zhangjiakou~Xuanhua Area

二、硫、铅同位素样品的一般地质产状

硫、铅同位素样品主要采自小营盘、张全庄、大营盘、东坪、金家庄等金矿床及部分金矿点,另外收集了韩家沟、水晶屯等矿床的同位素资料。从地质产状上看,小营盘、张全庄、大营盘、韩家沟、水晶屯等金矿床均产在桑干群变质岩地层里,以含金石英脉型为主。金家庄金矿的直接围岩既有超基性岩,也有太古代变质岩、超基性辉石岩具有较强的蛇纹石化、碳酸盐化和硅化,岩体侵入于桑干群地层。东坪金矿位于水泉沟碱性正长岩岩体的南部边缘,岩体南北两侧与之接触的也是太古界桑干群地层,类型上亦为含金石英脉型。本区金矿床广泛发育钾长石化、硅化、绢云母化等围岩蚀变。矿石构造一般为块状、浸染状、网脉状及角砾状等。含金矿物主要为自然金,其次为银金矿、碲金矿等,矿石中的其它金属矿物主要由黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等组成。

在已经开采的矿山,如小营盘、张全庄等金矿床,硫、铅同位素测试样品主要采于井下不同的中段;对于正在勘探的大营盘、金家庄、东坪等矿床,测试样主要采自探矿坑道及地表探矿工程内;而一些金矿点的同位素样则主要采自地表。

三、硫同位素组成特征

我们采取的硫同位素样分布在三个矿床内,其矿石硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 均为负值(表1)。小营盘金矿矿石硫化物 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 $-11.3 \sim -14.3$, 均值为 -12.68 ; 大营盘金矿的方铅矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 -13.5 ; 东坪金矿三个黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 -7.4 。从收集到的前人所做的一些金矿床的矿石硫同位素资料来看,小营盘金矿矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 -10.65 (36个样平均); 张全庄金矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 $+1.7$ (31个样品平均); 韩家沟金矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 -10.44 (8个样平均); 水晶屯金矿 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ 为 -9.85 (5个样

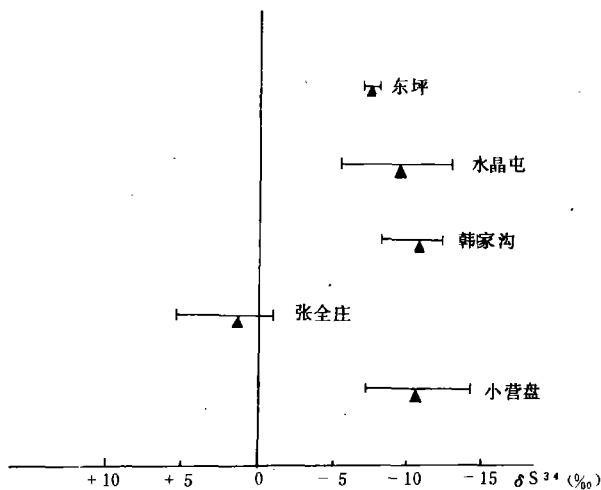


图2 张宣地区金矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 组成图

Fig. 2 $\delta^{34}\text{S}$ plot of Au-ore in Zhang jiakou—Xuanhua Area

平均)。把这些矿床的硫同位素综合起来如图2所示,除了张全庄金矿外,其余矿床的矿石硫同位素值偏离陨硫硫,而且以呈现负值为主。张全庄金矿之所以表现与陨硫硫接近的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,

很可能是由其特殊的成矿环境造成的,地质勘探及矿山开采实践证明,矿区内发育有大量成矿前的中基性岩脉,尤其是闪长玢岩脉往往与含金英脉产在同一断裂中,因此矿石中硫的来源可能部分受到深部岩浆活动的影响。从整体情况来看,张宣地区金矿床的矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 在 0 值左右不太大的范围内摆动, $\delta^{34}\text{S}$ 呈现偏离陨石值的负值可能与成矿溶液中渗入大量的富含 ^{34}S 的地下水有关。

据河北省地质队三队资料^[1](表 2),小营盘、席麻湾、张全庄等矿区的围岩硫同位素均表现为不大的正值,与矿石硫同位素相对比 ^{34}S 更富集一些,但 $\delta^{34}\text{S}$ 的差别不是很大,所以我们仍然有理由认为矿石中的硫与地层中的硫具有一定亲缘关系。只是由于成矿过程中可能受到地表水的影响,才使 $\delta^{34}\text{S}$ 值出现一定偏差。这种情况一方面说明矿床形成过程中的硫具有多来源的特性,另一方面也表明矿石中的硫与地层中硫的依赖关系。由此判断成矿时硫源主要来自围岩,即硫主要来源于桑干群地层。

表 1 矿石硫同位素分析结果表
Table 1 S—Isotopic composition of ore

样 号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	矿 区
B—1—2	方铅矿	-14.3	小营盘
B—6	方铅矿	-13.5	小营盘
B—8—2	黄铁矿	-11.6	小营盘
B—8—3	黄铁矿	-11.3	小营盘
B—36	方铅矿	-13.5	大营盘
A—97	黄铁矿	-7.3	东 坪
A—98	黄铁矿	-7.5	东 坪
A—99	黄铁矿	-7.4	东 坪

分析者:吉林有色地质勘探公司研究所

表 2 张宣地区金矿围岩硫同位素分析结果
Table 2 S—isotope results of wall-rocks of Au-ore in Zhangjiakou-Xuanhua Area

矿 区	样品数	$\delta^{34}\text{S}$ ‰		
		变化范围	极 差	平均值
小营盘	6	-0.04~+3.4	3.44	+1.88
席麻湾	2	+1.0~+1.4	0.4	+1.20
张全庄	1			+4.4

四、铅同位素特征

我们分别从 9 个金矿床(点)采集了 15 件铅同位素样品,所有样品均系矿石中的方铅矿,从分析结果来看(表 3): $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.98\sim 37.63$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.32\sim 15.51$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.65\sim 17.55$,其数值变化范围不大,说明均属正常铅范围。

表 3 矿石铅同位素分析结果
Table 3 Pb-isotope results of Au-ore

顺序号	样 号	测试矿物	$\frac{\cdot \text{ }^{208}\text{Pb}}{\cdot \text{ }^{204}\text{Pb}}$	$\frac{\cdot \text{ }^{207}\text{Pb}}{\cdot \text{ }^{204}\text{Pb}}$	$\frac{\cdot \text{ }^{206}\text{Pb}}{\cdot \text{ }^{204}\text{Pb}}$	采样地点
1	B-1	方铅矿	37.1046	15.3703	17.2823	小营盘
2	B-6	方铅矿	37.4784	15.4906	17.3312	小营盘
3	B-8	方铅矿	37.3602	15.4409	17.3783	小营盘
4	B-36	方铅矿	37.1834	15.4036	17.2274	小营盘
5	B-50-2	方铅矿	37.0405	15.3426	16.8755	张全庄
6	Z-13	方铅矿	37.5455	15.4311	17.2634	张全庄
7	3-7	方铅矿	37.1875	15.3449	17.0704	金家庄
8	B-66	方铅矿	37.0224	15.3434	16.6503	金家庄
9	B-67	方铅矿	37.6320	15.5109	17.5491	东 坪
10	B-77	方铅矿	37.4150	15.4426	17.4545	东 坪
11	A-1	方铅矿	37.0595	15.3507	17.2219	大西沟
12	A-33	方铅矿	37.2771	15.4116	17.4022	下新营
13	A-64	方铅矿	37.2539	15.3230	16.8946	三道沟
14	A-67	方铅矿	37.3754	15.4246	17.5237	下榆树林
15	A-113	方铅矿	36.9779	15.3401	17.0644	何阳沟

分析者 本院同位素研究室

据前人对小营盘、张全庄、韩家沟等金矿床铅同位素的研究^[1],矿石铅同位素组成是: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.66\sim 38.50$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14.85\sim 15.72$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.29\sim 17.98$,同样属于正常铅范畴。以前的研究者采用 H. H 法计算单阶段中 Φ 值年龄,得出的结果为 250~923 百万年,大部分集中在 500~900 百万年之间。

根据金矿床的形成具有多期性、多来源的特点,结合本区从太古代直至中新生代的漫长地质发展史,我们认为金乃至铅等金属元素在长期的沉积成岩、区域变质及其以后的构造岩浆活

动中,其演化发展具有多阶段的特性,那么用多阶段演化的模式来探讨本区金、铅等元素的迁移富集规律,则使我们由此而得出的结论更符合于客观发展实际。

基于上述想法,考虑用两阶段演化模式来处理铅同位素分析结果。首先,把铅同位素数据用一元线性回归进行计算,得到线性方程: $y = 0.18x + 12.25$,斜率 $b = 0.18$,相关系数 $r = 0.79$ 。然后在 Stacey (1975) 铅同位素演化图上做出上述直线^[5] (图 3)。该直线与铅演化曲线有两个交点,左边的交点为 t_1 ,其年龄大约在 27 亿年左右,右边的交点为 t_2 ,年龄约为 2 亿

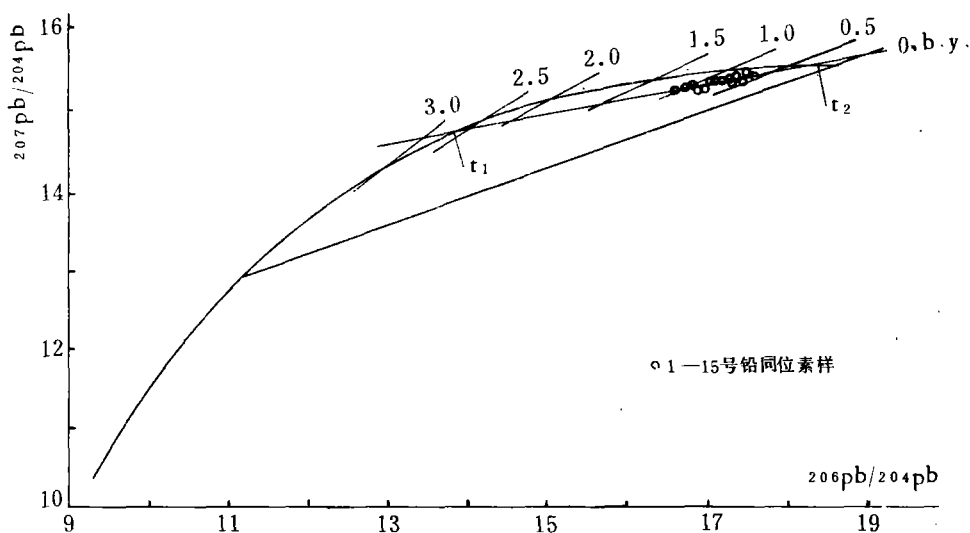


图 3 张宣地区金矿铅同位素两阶段演化模式图

Fig. 3 Two-stage evolution model of pb-isotopes of Au-ore from Zhangjiakou—Xuanhua Area

年左右。

一般来看, t_1 即铅演化第一阶段开始的年龄。也就是说,本区矿石中的铅大约在 27 亿年左右就开始在一个特定的 U—Th—Pb 系统中演化,而这一年龄可能正是桑干群地层的沉积年龄。据河北省地质三队的桑干群地层研究资料^[5],采自地层中的样品所测得的锆石 U—Pb 等时线年龄为 24 亿年。天津地矿所也对桑干群地层形成的时代进行了研究,得出的 Rb—Sr 全岩等时线年龄为 2790 ± 155 百万年。说明桑干群地层最初形成的年龄在 24~27 亿年之间,这些数据与我们所得出的 t_1 的年龄基本吻合。 t_2 的年龄为方铅矿的最后定位年龄,即金矿床矿石中的方铅矿在 2 亿年前后开始了第二阶段演化,最终定位于金矿矿体中,代表方铅矿定位的 t_2 的时间相当于燕山运动早期。显而易见,用两阶段演化模式解释铅同位素分析结果,即展示了铅的原始沉积年代,又确定了金矿的成矿时代。

为进一步追溯铅的来源,把铅同位素数据投影到 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 座标图上^[6] (图 4、5)。图中表示大部分样品分布在克拉通化地壳区,说明铅主要来源于太古界桑干群地层。同时,还注意到有一部分铅落在地幔铅平均演化曲线附近,表明这些铅是在太古代伴随海底火山活动,由上地幔升至地表,在地层中沉积下来,并参与了后来的成矿作用。

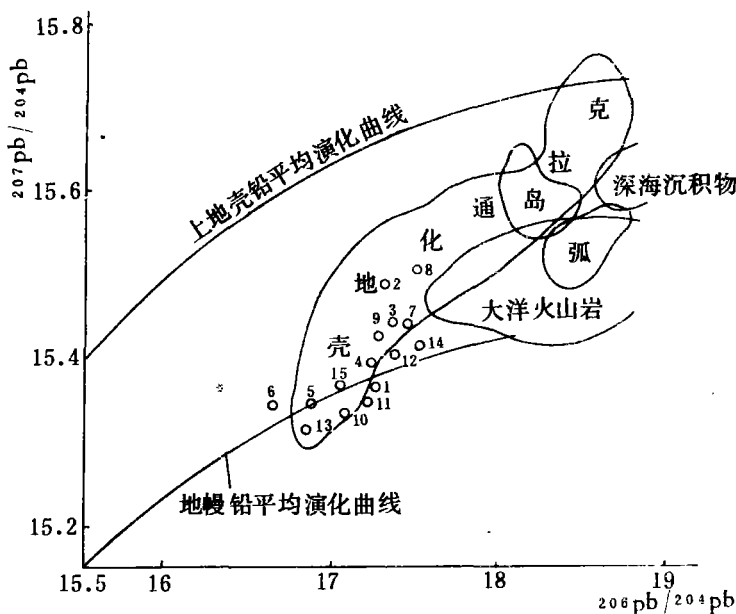


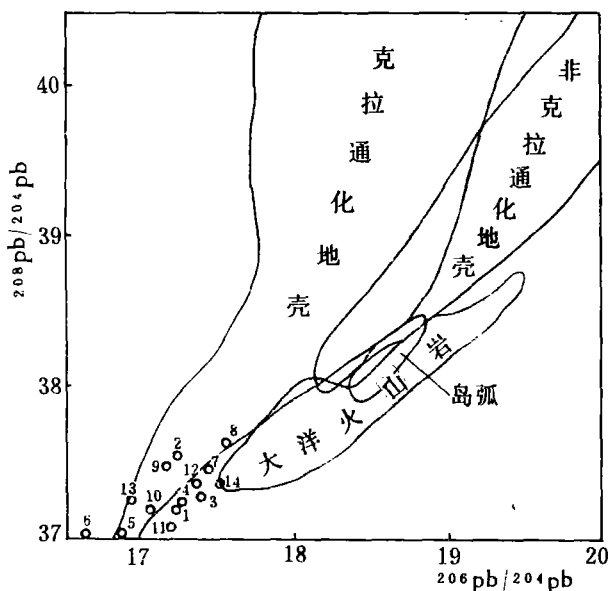
图 4 铅同位素 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 环境图

Fig. 4 Environment plot of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

因此,硫、铅同位素研究得出了相同的结论,金等成矿物质主要来自太古代地层,还有一部分成矿物质来自其它方面。

五、成矿作用中金的演化

研究稳定同位素的主要目的是解决金等成矿物质的来源、金的富集成矿及金的演化等问题。据地质三队的研究,下太古界桑干群地层除下部的西葛峪组,水地庄组含金低于地壳平均丰度外,上部的花家营组、涧沟河组地层金、银含量高于地壳克拉克值的 1~3 倍,达 7.0~9.3ppb。桑干群地层中发育大量中基性火山岩,含金丰度很高,这是形成金矿的物质基础。另外从本区含金石英脉的空间分布来看,约有 90% 的含金石英脉分布于桑干群变质岩系中,而

图5 铅同位素 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 座标图Fig. 5 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Plot

且具有工业意义的金矿床(点)大部分分布在花家营组、涧沟河组及其附近。此外,本区印支~燕山运动期间大规模的构造岩浆活动为金从地层中活化运移提供了所需的能量。因此,太古代地层是本区金的主要矿源层。从上述硫、铅同位素的讨论可知,金主要来源于地层,其成矿作用可以作如下概括:大约在 25~27 亿年前,伴随火山—沉积作用,由地壳深部带来的金以细分散状态沉积于太古代海盆中,经沉积成岩作用以及后来的区域变质及混合岩化作用,金可能产生一定程度的聚集,但未形成工业矿体。直至对本区成矿有重要

影响的燕山运动期间,强烈的构造岩浆活动为地层中金的活化和富集创造了条件,岩浆作用,地热流及构造活动提供了大量的热源,使金在地层中产生活化迁移,以络合物形式进行搬运。而含矿热液可能主要是由地表水和岩浆水等组成的混合溶液,这可以从我们所分析的东坪金矿石英包体水的氢、氧同位素数据及其它资料得到证明,样品采自东坪的含金石英脉, $\delta^{18}\text{O}\text{‰} = -8.4$, $\delta\text{D}\text{‰} = -72.1$, 在 δD — $\delta^{18}\text{O}$ 组成图上(图 6),其投影点落在雨水线附近。另据五一六地质队和武汉地质学院内部资料,采于金家庄矿区含金石英脉中五个石英的氢、氧同位素分析结果为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰} = 1.26 \sim 7.39$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰} = -86.3 \sim -115.8$, 在氢、氧同位素坐标图上,样品点既不在岩浆水范围,也不在变质水范围,五个样品点均落在岩浆水附近,但不同程度的向雨水偏移。据王时麒等人的研究^[2]、小营盘、张全庄等金矿床矿石中七个石英的氢、氧同位素组成特征, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 2.94 \sim 7.46\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -50.5 \sim -115.0\text{‰}$ 。综合上述资料,说明矿液主要由地下水、岩浆水及原生水所组成,这些含金混合热液由于热动力的推动不断地在地层中淋滤循环,最后由于物理化学条件的改变,在压力降低的断裂构造及破碎带中,金与其它硫化物共沉淀形成工业矿体(图 7)。

张宣地区金矿的形成至少经过这样两个阶段:太古代火山~沉积作用阶段和中生代燕山运动早期的热液成矿阶段,硫、铅同位素研究及矿床地质特征可提供的信息表明上述金演化的可能性。金的来源是太古代地层,经燕山期构造岩浆活动活化后,金既可在桑干群地层中的有利构造部位成矿(如小营盘、张全庄等),含矿热液也可以迁移至基性~超基性岩中,在超基性岩体的构造破碎带中成矿(金家庄),含金成矿流体还可以运移到碱性正长岩体的容矿构造中淀积成矿(东坪等地)。因此,尽管金矿床的产出围岩不同、实际上均为同一物质来源,同一时

期的成矿作用形成的矿床。

六、结 论

1. 张家口~宣化地区金矿床矿石硫同位素组成具有极其相似的特征,除张全庄金矿外,绝大部分矿床的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值为与陨硫硫有一定偏离的负值,表明硫的来源具有多源性,而成矿过程中的硫主要来自于太古界桑干群地层。

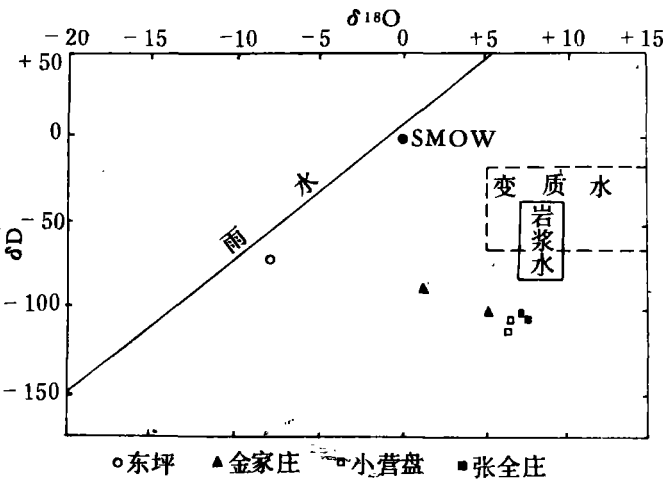


图 6 张宣地区金矿床成矿热液的氢、氧同位素组成
Fig. 6 Ore fluid O and H isotopic composition

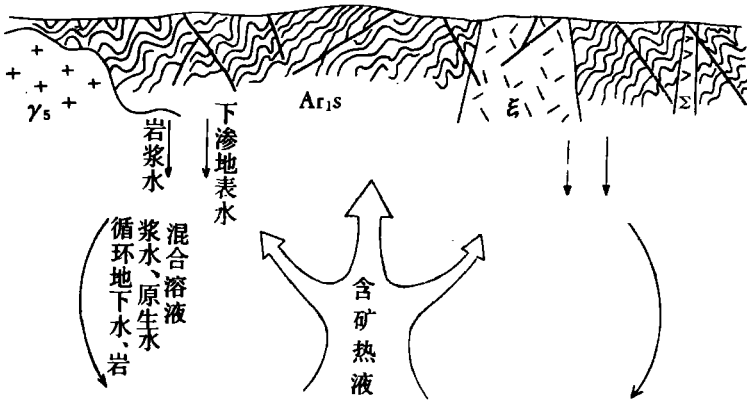


图 7 张宣地区金矿成矿模式简图
Fig. 7 Metallogenic model for Zhang-Xuan Area

2. 矿石铅同位素组成 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.9779 \sim 37.6320$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.3230 \sim 15.5109$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.6503 \sim 17.5491$, 均为正常铅,用最小二乘法处理铅同位素得出 $t_1 = 27$ 亿年, $t_2 = 2$ 亿年, 分别代表铅的原始沉积年龄和成矿就位年龄。铅同位素环境图显示出铅源主要与桑干群地层有关。

3. 硫、铅同位素研究均证明该区金矿的成矿物质来源于太古代地层, 铅同位素研究结果还表明金矿的成矿时代主要是在燕山运动期间。很明显, 矿源层及成矿时代的确定对于明确本区的找矿方向、扩大找矿远景起着重要作用。

参考文献

- [1] 宋瑞先等, 张家口地质, 11, 1984。
[2] 王时麒等, 矿床地质, 4 (1) 1985, 84~89。
[3] 胡小蝶等, 天津地质矿产研究所刊, (11) 1985, 39~55。
[4] 夏治平, 张家口地质, 13, 1986。
[5] Stacey, J. S. et al, Earth planet. sci. Lett, 2, 1975, 207~221。
[6] Barnes, H. L., Geochemistry of Hydrothermal ore Deposits, 2nd edition, 1979, 22~26

CHARACTERISTICS OF LEAD AND SULFUR ISOTOPE OF THE GOLD DEPOSITS IN ZHANGJIAKOU XUANHUA AREA HEBEI PROVINCE

*Wang Yu, Jiang Xin ming,
Wang Zheng Kun*

Abstract

The geological characteristics of lead and sulfur isotope of the gold deposits in Zhang Xuan region are studied and the minerogenetic model of this area is established in this paper. Based on the isotopic data and the source of sulfur, lead and gold come from Archean strata. The lead isotope composition shows that the mineralization epoch is during Yanshan Movement. Hydrogen-Oxygen isotope composition of the hydrothermal solution of this area is predominantly composed of underground water, original water and magmatic water.