

河北省西石门金矿稳定同位素特征 及其成矿地质意义

王自力¹, 牛树银^{2,3}, 陈超^{2,3}, 王宝德², 郭忠¹, 沈利霞¹, 高银仓⁴

(1. 天津华北地质勘查局, 天津 300170; 2. 石家庄经济学院, 河北石家庄 050031;
3. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 4. 石家庄综合地质大队, 河北石家庄 050081)

[摘要] 西石门金矿位于阜平幔枝构造轴部, 燕山期麻棚岩体的东南侧。本文对矿区及区域上部分金属矿床的硫、铅、氢、氧、碳同位素进行了系统研究, 研究表明: 矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 介于 $-0.3\text{‰} \sim +1.4\text{‰}$, 平均 0.63‰ , 与区域上硫同位素组成相一致, 均落入幔源硫范围, 表明硫主要来自深源; 铅同位素变化范围较小, 与区域上的铅组成相一致, 表明它们具有相同的来源。在铅构造模式图上, 所有的铅同位素均位于上地幔与下地壳之间; 氢、氧同位素表明成矿流体早期以岩浆水为主, 后期混入了部分大气降水; 碳同位素表明矿区成矿热液中来自地幔, 因此研究认为矿区内的成矿物质主要来源于地球深部, 导致成矿物质向上迁移的动力机制为地幔热柱多级演化。在其上升过程中, 混入了部分壳源物质, 使得同位素往往表现出介于幔源与壳源之间的特征。

[关键词] 金矿 同位素 地质意义 西石门 河北

[中图分类号] P597.2 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)06-1026-9

Wang Zi-li, Niu Shu-yin, Chen Chao, Wang Bao-de, Guo Zhong, Shen Li-xia, Gao Yin-cang.
Characteristics and geological significance of stable isotopes in the Xishimen gold deposit of Hebei Province[J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(6): 1026-1034.

0 引言

近些年来, 太行山中段的地质找矿进展较快, 已发现多处金、银矿床, 石湖金矿即为其中的典型代表, 现已成为河北省西部的大型金矿床, 众多专家学者曾在此开展过工作(张亚雄等, 1995; 张亚雄等, 1996; 刘伟, 2007; 刘伟等, 2007a, 2007b; 牛树银等, 2008; 息朝庄等, 2008; 游先军等, 2008; 黄颖洲, 2008; 陈超, 2008; 陈超等, 2009a, 2009b; 敖翀, 2009; 李真真, 2009; 曹烨等, 2010; 李德东等, 2011), 为本区的地质找矿工作积累了丰富的经验。西石门金矿位于石湖金矿的南东方向, 与其同属一个成矿构造带上, 在成矿地质背景上与其有着诸多的相似之处。本文以幔枝构造视角, 通过对西石门金矿床中的硫、铅、氢、氧、碳同位素、微量元素、包裹体资料的研究, 探讨其成矿物质来源及成矿作用, 为矿山的地质找

矿工作提供理论支撑。

1 成矿地质背景

西石门金矿位于北北东向大兴安岭-太行山-武陵山重力梯级带的中部, 阜平幔枝构造轴部, 燕山期麻棚岩体的东南侧(图1)。区内出露地层主要为中太古代阜平群变质岩系, 可分为上、下两个亚群, 下亚群主要岩石类型为各种片麻岩, 其次为二辉麻粒岩、斜长角闪岩和大理岩, 夹有少量变粒岩和磁铁矿石岩。原岩为基性火山岩, 夹碎屑岩、镁质碳酸盐; 上亚群为浅粒岩、大理岩和斜长角闪岩。原岩主要为陆源碎屑岩夹镁质碳酸盐岩, 变质程度为高角闪岩相(陈超等, 2009)。

岩浆活动以燕山期侵入岩为主, 区域上自北向南形成大河南、王安镇、司各庄、赤瓦屋、麻棚等花岗岩体大规模侵入。矿区北侧为麻棚岩体, 其产出受

[收稿日期] 2009-11-19; [修订日期] 2010-07-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40872137, 40272088)、河北省自然科学基金(D2007000751、D2008000534)资助。

[第一作者] 王自力(1982年—), 男, 2008年毕业于石家庄经济学院, 获硕士学位, 工程师, 主要从事矿产勘查与矿床研究工作。E-mail: wangzili1982@163.com。

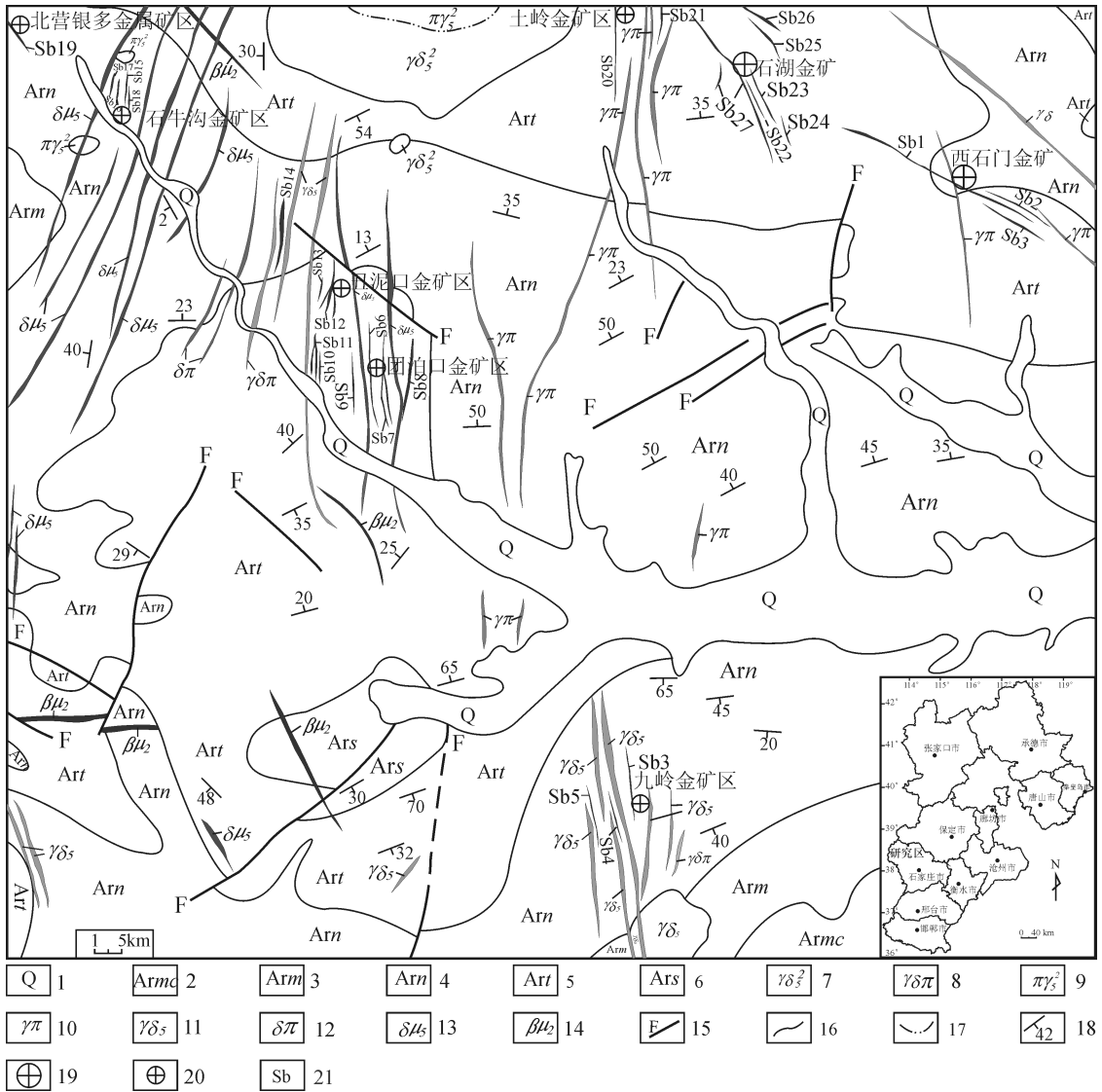


图1 西石门-石湖金矿田地质简图 (据石家庄综合地质大队,2003)

Fig. 1 Geological sketch map of Xishimen-Shihu gold deposits (after Comprehensive Geological Team of Shijiazhuang,2003)

NNE 向紫荆关-灵山深大断裂和 NW 向断裂控制 (喻学惠等,1996),与阜平群呈侵入接触,出露形态呈鞋底状,面积约 65.0km²。岩体由 5 个脉动单元组成,从外到内侵位时代由早到晚 (151 ~ 119Ma),一同构成了从中基性向酸性过渡的同源岩浆演化序列 (王自力等,2007)。此外,在麻棚岩体的外围发育有大量燕山晚期的 NW、SN、NE 向岩脉,主要为花

岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等。

在阜平慢枝构造区核部与东侧,继浮图峪铁铜矿、镰巴岭铅锌多金属矿、石湖金矿、大湾铅锌矿发现以来,相继发现并评价木吉村、西石门-李家庄、土岭、北营西沟、秋卜洞、九集庄等一批中、小型铜金银矿床。而在其西侧,广灵-灵丘-五台一带的地质找矿取得了重要进展,支家地、刁泉、硐沟等大、中型

银(铅锌)银金矿的发现,展示了很好的找矿前景,也使慢枝构造成矿控矿系列更趋完善。诸多勘查和科研成果证实,该区成矿条件独特,找矿潜力极大。

2 矿床地质特征

西石门金矿区出露地层为太古界阜平群团泊口组片麻岩及角闪岩类,由基性-中基性火山岩-碎屑岩-镁质碳酸盐岩等变质表壳岩和基性-酸性变质深成岩类组成。区内地质构造复杂,早期以褶皱及韧性变形带为主,晚期以断裂为主,断裂具有多期次活动特点,晚期构造体系为主要控矿构造。总体为一轴向北西西,并向北西西倾伏的复式背斜,由多个背斜与其间所夹的向斜组成。区内断裂发育,以北北西向、北西向断裂较为发育,倾向北东、北北东,倾角 50°~80°,为本区控矿构造。

矿区内已发现矿化蚀变带 50 余条,其中 1 号矿化蚀变破碎带规模最大,部分区段品位较好。矿脉长 4600m,走向 290°~300°,倾向北东,倾角 70°左右。带宽 3m~10m,由蚀变碎裂岩及矿化石英脉组成,石英脉呈脉状、透镜状,矿石中金属矿物以黄铁矿为主,次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等,次生矿物有褐铁矿、孔雀石等。多呈团块状、脉状、网脉状、角砾状产出,结构主要有致密粒状结构、填隙结构等。蚀变主要为绢云母化、硅化、钾长石化、绿泥石化、碳酸盐化,其中绢云母、硅化、黄铁矿化为主,与成矿关系密切。

3 稳定同位素特征

成矿物质来源是判定矿床成因的重要依据之一,也是矿床研究重点讨论的核心问题。尽管目前尚缺乏指示矿质来源的直接手段和方法,但大量研究表明,氢、氧、碳同位素可以用于判明成矿流体的来源,而硫、铅同位素则可以有效示踪成矿体系中金属元素的来源,借助稳定同位素地球化学的示踪作用,对指示金矿床的成因、成矿流体及成矿物质来源具有重要意义。

3.1 硫同位素特征

西石门金矿矿体中矿石矿物主要以黄铁矿、方铅矿为主,其次为黄铜矿、闪锌矿、银金矿、磁黄铁矿、褐铁矿等。金与这些金属硫化物有着密切的关系,所以分析硫化物硫同位素的组成特征对于判断金的来源有着重要的意义。本次研究在收集前人资料的基础上又做了部分样品的分析测试,以期作出较为客观的结论。

本次研究测定了西石门金矿矿石中黄铁矿、方铅矿的硫同位素组成,测试结果见表 1。从表 1 可以看出:3 个矿石样品 $\delta^{34}\text{S}$ 的变化范围为-0.3‰~+1.4‰,平均为 0.63‰,极差为 1.7‰,矿体中同种或不同种硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 没有明显的差异。据此可以认为矿床硫同位素变化范围窄,硫同位素组成以重硫型为主,接近陨石硫同位素组成,说明本矿床中的硫同位素是来自未发生明显同位素分馏效应的原生硫,反映其物质来源具有深源性,部分可能来自围岩。

表 1 西石门金矿硫同位素特征表
Table 1 Sulfur isotopic characteristics of the Xishimen gold deposit

矿区	样品号	矿石名称	测定结果	资料来源
			$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}\text{‰}$	
西石门金矿	Fxs-1	黄铁矿	+0.8	本课题组
西石门金矿	Fxs-1	方铅矿	-0.3	
西石门金矿	Fxs-11	黄铁矿	+1.4	

注:硫同位素样品分析由中国地质科学院矿产资源研究所同位素室完成,2007。

对比区域上多个金矿、银多金属矿硫同位素特征,可以清楚地看出,除北营外,其余矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 主要集中在-5‰~+5‰(表 2),因此可以认为阜平地区在燕山期有过强烈而广泛的金、银多金属成矿作用,其共同的硫源应主要源自地球深部。

表 2 西石门地区金、银多金属矿硫同位素统计表
Table 2 Sulfur isotopic characteristics of gold-silver polymetallic deposits in the Xishimen area

矿区	样品数	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}\text{‰}$ (平均值)	变化范围(‰)	资料来源
石湖金矿	25	1.9	-2.15~+5.0	①②③
杨树沟铅锌矿	2	-3.2	-3.2~+0.2	②
秋卜洞银矿	1	4.4	+4.4	
北营银多金属矿	2	-8.7	-8.7~-10.2	
银洞钼矿	1	1.0	1.0	
丑泥口金矿	1	1.6	+1.6	

资料来源:① 据中南大学“河北石湖金矿成矿规律及深边部找矿预测研究”研究报告,2006;② 据本课题组;③ 据杨殿范等,1991。

3.2 铅同位素组成特征

铅同位素组成特征对于示踪金属成矿物质来源和成矿作用及环境具有重要的意义,其作用越来越受到人们的关注(Zhang Ligang, 1989; 张理刚, 1991)。Doe 等(Doe B R *et al.*, 1979)和 Zartman 等

(Zartman R E *et al.* ,1981; Zartman R E,1984) 根据世界上不同构造环境中来源的铅同位素组成作出了铅的平均增长曲线,为探讨矿床中铅的来源提供了有效途径。

西石门矿区 3 个样品铅同位素分析结果见表 3。从表中可以看出,西石门金矿的铅同位素组成变化很小,样品值较为集中。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.2886\sim 16.3225$,极差为 0.0339,均值为 16.3009, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.2231\sim 15.2272$,极差为 0.0041,均值为 15.2252, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.2109\sim 37.3017$,极差为 0.0908,均值为 37.2564。将西石门金矿铅同位素投影于铅同位素演化曲线图上,其落点均位于上地幔与下地壳铅演化曲线附近(图 2),说明西石门金矿的成矿物质来自地球深部。

表 3 西石门金矿铅同位素组成

矿区名	样品编号	矿石名称	测定结果			资料来源
			$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
西石门金矿	Fxs-1	黄铁矿	16.2886	15.2253	37.2109	
西石门金矿	Fxs-1	方铅矿	16.2915	15.2231	37.2567	本文
西石门金矿	Fxs-11	黄铁矿	16.3225	15.2272	37.3017	

注:铅同位素组成测试由中国地质科学院地质研究所同位素室完成,2007。

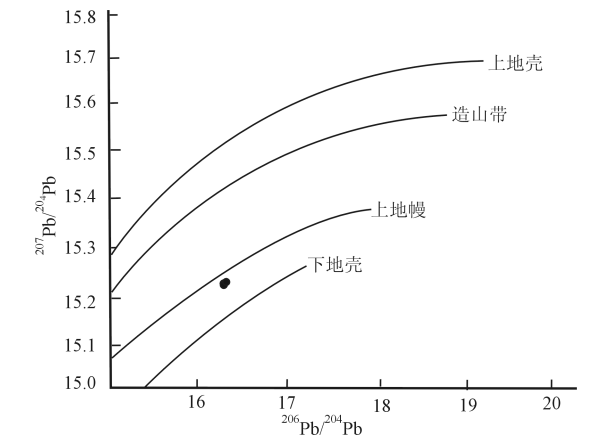


图 2 西石门金矿铅同位素组成(据 Doe 等,1979)
Fig. 2 Lead isotopic composition of Xishimen gold deposit (after Doe *et al.* , 1979)

对比区域上多个金矿、银多金属矿十余个铅同位素组成(表 4),可以清楚地看到,各矿床铅同位素平均值十分相近,投点于 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图

解中(图 3),可见投点均位于上地幔和下地壳之间,说明阜平地区在燕山期的成矿作用有一个共同的、来自于地球深部的铅源,并有部分壳源物质加入。

表 4 西石门地区金、银多金属矿铅同位素组成表

矿区名	样品数字	测定结果(平均值)			资料来源
		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
石湖金矿	12	16.48913	15.24759	37.08668	①②
杨树沟铅锌矿	2	16.04515	15.16975	37.0324	①
秋卜洞银矿	1	16.0447	15.1663	37.4227	①
北营银多金属矿	2	15.76585	15.08875	38.73685	①
银洞沟钼矿	1	16.0338	15.1449	38.4986	①
丑泥口金矿	1	16.0233	15.1676	36.8813	①

资料来源:① 据本课题组;② 据杨殿范等,1991。

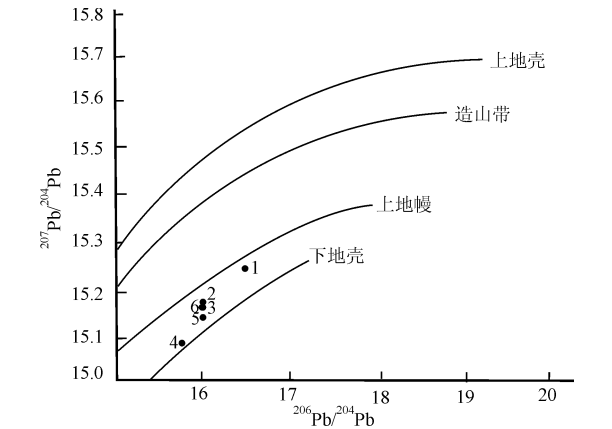


图 3 西石门地区金、银多金属矿床铅同位素组成
(据 Doe 等,1979)

Fig.3 Lead isotopic composition of gold, silver and polymetallic deposits in Xishimen area
(after Doe *et al.* ,1979)
1-石湖金矿;2-杨树沟铅锌矿;3-秋卜洞银矿;4-北营银多金属矿;5-银洞沟钼矿;6-丑泥口金矿
1-Shihu gold deposit;2-Yangshugou lead-zinc deposit;3-Qiubudong silver deposit;4-Beiyong silver poly-metallic deposit;
5-Yindonggou molybdenum deposit;6-Chounikou gold deposit

3.3 碳、氢、氧同位素特征

根据矿床石英流体包裹体的均一温度,利用(200℃~500℃)(Clayton R N *et al.* ,1972)分馏公式计算石英流体包裹体的氧同位素,结果列于表 5。矿区内 1 个石英样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 13.1‰。换算成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为+4.2‰,与 Ohmoto (Ohmoto H,1986)和 Sheppard (Sheppard S W F,1986)界定的典型岩浆

水+5.5‰~+9.5‰较为相近。石英样品包裹体的 δD_{V-SMOW} 为-83‰,亦与标准岩浆水 $\delta D_{V-SMOW}=-40\text{‰} \sim -80\text{‰}$ 接近。将石英包裹体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 与 δD_{V-SMOW} 数据投影于 $\delta D-\delta^{18}O$ 组成图(Sheppard S W F *et al*, 1974)上(图4),可以看出投影点位于岩浆水附近,远离大气降水与变质水,说明矿区成矿流体早期应主要来自岩浆水,在后期的演化过程中明显受大气降水的影响,使得成矿流体显示出由岩浆水向大气降水“漂移”的特征,而且混入的大气水愈多,“漂移”愈强烈(张理刚,1985)。这与区域上其它金矿、银多金属矿样品测试结果相似(表6)。包裹体中 $\delta^{13}C_{PDB}$ 为-3.5‰,完全落在了地幔碳 $\delta^{13}C$ ($\delta^{13}C=-3\text{‰} \sim -8\text{‰}$)(Rollinson H R,1993)范围中,与其它矿区样品测试结果(-4.9~-5‰)相似,表明矿区成矿热液中的碳来自地幔或地壳岩浆房(Sheppard S W F,1986)。

表5 西石门金矿氧、氢、碳同位素数据统计表

Table 5 The characteristics of oxygen, hydrogen and carbon isotopes of the Xishimen gold deposit

矿区	样品号	矿石名称	测定结果				备注
			$\delta^{18}O_{\text{石英}}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}$	δD_{SMOW}	$\delta^{12}C_{PDB}$	
西石门金矿	Fxs-4	石英	13.1	4.2	-83	-3.5	本课题组

注:氧同位素组成测试由中国地质科学院矿产资源研究所同位素室完成,2007。

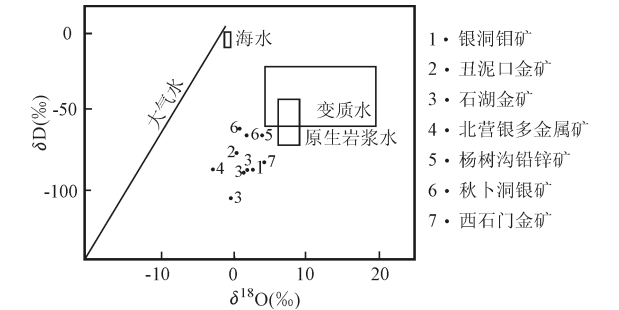


图4 西石门地区金、银多金属矿床 $\delta^{18}O-\delta D$ 相关图
(据 Sheppard ,1974)

Fig.4 Correlation of $\delta^{18}O-\delta D$ for gold-silver polymetallic deposits in the Xishimen area
(after Sheppard ,1974)

4 微量元素特征

研究分析了矿石中黄铁矿、方铅矿部分微量元素,分析结果列于表7。由表7可以看出以下特征:

表6 西石门地区金、银多金属矿床氧、氢、碳同位素组成表

Table 6 The composition of oxygen, hydrogen and carbon isotopes of gold-silver polymetallic deposits in the Xishimen area

矿区	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$	平均温度	$\delta^{18}O_{\text{水}}$	$\delta D_{V-SMOW} \text{‰}$	$\delta^{13}C_{PDB} \text{‰}$
石湖金矿	13.8		1.83	-87	-4.9
石湖金矿	13.3	196	1.33	-89	-5.0
石湖金矿	11.5		-0.47	-105	-
杨树沟铅锌矿	16	198	4.16	-66	-
秋卜洞银矿	9.8	271	1.78	-66	-4.2
秋卜洞银矿	9.6	253	0.78	-62	-
北营银多金属矿	14.3	132	-2.91	-87	-
银洞钼矿	10.2	281	2.59	-87	-3.5
丑泥口金矿	12.2	204	0.74	-77	-4.9

(1) 西石门金矿区硫化物石英脉中黄铁矿含金 $1.55 \times 10^{-6} \sim 25.79 \times 10^{-6}$,平均 7.92×10^{-6} ;含银 $278 \times 10^{-6} \sim 1115 \times 10^{-6}$,平均 439×10^{-6} 。Au/Ag 介于 0.001~0.093 之间,平均 0.035。从金、银含量相关图(图5)中可以看出金含量随着银含量的增加而呈现出下降的趋势,反映出金和银此消彼长的负相关性。

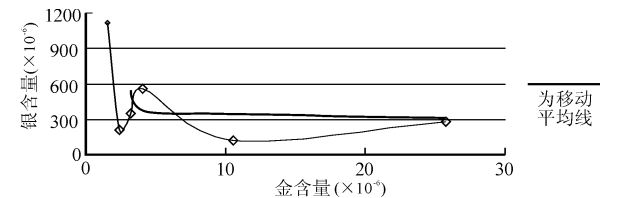


图5 西石门金矿金、银含量相关图

Fig. 5 Correlation of content for Au-Ag in pyrite, galena of Xishimen gold deposit

(2) 矿脉黄铁矿中含 Co $0.3 \times 10^{-6} \sim 128.1 \times 10^{-6}$,平均 57.3×10^{-6} ;含 Ni $0.4 \times 10^{-6} \sim 100.3 \times 10^{-6}$,平均 45.93×10^{-6} ;Co/Ni 变化于 0.61~1.85 之间,平均值为 1.04。据世界其它地区的统计结果,火山成因的黄铁矿 Co/Ni 大于 10;沉积成因的黄铁矿 Co/Ni 小于 1;岩浆热液成因的黄铁矿 Co/Ni 介于 1~5 之间。这反映出西石门金矿为岩浆热液成因的特点。

5 石英包裹体研究

矿物包裹体研究对于测定矿床形成温度和成矿溶液的组分是一个比较直接的方法,也是较为可靠的方法之一。

表 7 西石门金矿黄铁矿、方铅矿微量元素含量表

Table 7 Content of trace elements in pyrite, galena of the Xishimen gold deposit

样品号	Au	Ag	As	Bi	Co	Ga	In	Ni	Sb	Te	Au/Ag	Co/Ni
Fxs-1-F	1.55	1115	52.0	13.8	0.3	0.7	0.17	0.48	1307.5	2.60	0.001	0.61
Fxs-331	2.41	206.4	44.5	119.90	128.1	0.30	0.014	69.4	0.5	97.56	0.012	1.85
Fxs-11	3.20	349	476.5	146.9	110.6	1.0	0.05	75.73	3.1	142.14	0.009	1.46
Fxs-330	4.05	561.8	13.8	34.20	0.3	0.32	0.313	0.4	104.4	4.45	0.007	0.85
Fxs-332	10.53	121.6	9.9	33.21	86.4	0.27	0.035	100.3	0.8	43.84	0.087	0.86
Fxs-1-H	25.79	278	3100.0	3.4	17.9	2.7	0.42	29.23	220.3	1.67	0.093	0.61

分析单位:中国地质科学院物化探所,单位:×10⁻⁶, 2007。

本次研究对西石门金矿的石英包裹体进行了测温,其平均温度为 251℃,石湖金为矿的测温结果 196℃,表明矿床为中低温热液型。

据太行山科研队对西石门和石湖金矿区的含金石英脉、硅化岩及岩体中石英包裹体进行的分析研究,发现以气液包裹体为主,其次是液体包裹体,少量含 CO₂ 包裹体,偶见含石盐子矿物包裹体。石英包裹体液相成分中阳离子有 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺,其中 Na⁺、K⁺、Ca²⁺ 占明显优势;阴离子主要有 F⁻、SO₄²⁻、Cl⁻,以后两者居多。气相成分以 H₂O、CO₂ 为主,水含量占包裹体总成分的 68% 以上,其次还有 H₂、N₂、CH₄ 和 CO (见表 8)。CO₂/H₂O = 0.08 (0.21,表明成矿流体以岩浆水为主。流体中绝大多数 K⁺ > Na⁺ (K⁺/Na⁺ = 0.23 (0.42), Cl⁻ > F⁻ (F⁻/Cl⁻ = 0 (0.93)), Na⁺、Cl⁻ 含量相对较高。据邱检生等 (邱检生等,1994) 对包裹体气液相成分与金矿化关系的研究,认为成矿流体中的盐度对成矿具有重要的控制作用,可能有利于成矿。

表 8 西石门金矿石英包裹体成分

Table 8 Inclusion composition in quartz of the Xishimen gold deposit

	CO ₂ /H ₂ O	F ⁻ /Cl ⁻	K ⁺ /Na ⁺
石英脉	0.09	0.10	4.73
石英脉	0.08	0	0.35
石英脉	0.21	0.93	0.23
石英脉	0.17	0.09	0.42
石英脉	0.16	0.26	0.31

上述硫、铅、碳、氢、氧同位素证据、Co/Ni 比值特征及及金元素的地球化学特征表明,本区成矿物质应来自地球深部,甚至主要来自核-幔源 (王自力等,2010)。热流体主要为岩浆水,但确有水加入。深源物质的上侵是通过地幔热柱多级演化。在地球的深部,成矿物质的上升主要搭载岩浆活动,王

安镇、大河南、麻棚等较大型的复式杂岩体携带着成矿物质随地幔热柱-地幔亚热柱向上运移 (牛树银等,1996;牛树银等,2001;牛树银等,2002;牛树银等,2007;王宝德等,2010)。到了岩石圈浅部,除了受岩浆活动影响,还会受到地壳构造应力场的控制,在幔枝构造的不同构造扩容带中沉淀成矿。

6 深部成矿制约机制探讨

进入燕山期,由于阜平幔枝构造轴部变质-岩浆杂岩强烈隆升,规模巨大的太行山深大断裂带在其活动过程中导致了太行山岩浆带的强烈活动,自北向南形成大规模的大河南、王安镇、司各庄、赤瓦屋、麻棚等花岗岩体,并形成了 NNE 向阜平幔枝构造构造岩浆-成矿带 (邓晋福,1999;陶奎元等,1999;华仁民,1999;董树文,2000;毛景文,2000)。

阜平幔枝构造中的王安镇、大河南、麻棚等较大型的复式杂岩体携带着成矿物质随地幔热柱-地幔亚热柱向上运移 (牛树银等,1996;牛树银等,2001;牛树银等,2002;牛树银等,2007;王宝德等,2010),到达岩石圈浅部,除了受岩浆活动影响,还会受到地壳构造应力场的控制,在幔枝构造的不同构造扩容带中沉淀成矿。

大规模的岩浆侵位,致使主拆离带上盘盖层大幅度正向拆离滑脱,并相应形成一系列 (可具有一定的等间距性) 北东向次级拆离滑脱带和北西向的横张断裂 (西石门金矿)。由于主拆离带的大幅度拆离及较大的延深,以及深部一定的温度、压力条件,使岩浆沿主拆离滑脱带活动,可形成沿主拆离滑脱带展布的席状岩体,也可在主拆离滑脱带上盘形成沿裂隙展布的陡倾岩脉,在远离主拆离滑脱带的上盘,由于盖层岩石较厚,往往在两组断裂的交汇部位形成潜火山岩体。岩浆的多次活动及冷却形成的裂隙,为后期含矿流体的活动提供场所,成为非常有利的成矿储矿空间。岩浆期后热液及通过地幔热柱

多级演化向上迁移的深源含矿流体,在其迁移过程中不断地沿构造薄弱带贯入聚集成矿,并依所处构造条件不同,形成不同的矿床类型。如可沿主拆离滑脱带形成拆离带型金、铜矿床,在主拆离带上盘裂隙中可形成裂隙型银、铅锌多金属矿床。与此同时,幔枝构造的多期次活动,导致含矿流体的多期次活动,使成矿期次叠加,矿化更富、规模更大。

7 结论

西石门金矿及区域上部分多金属矿床的硫、铅、碳、氢、氧同位素证据、Co/Ni 比值特征及金元素的地球化学特征表明,本区成矿物质应来自地球深部,甚至主要来自核-幔源(王自力等,2010),呈气态-气液态-液态-固态随地幔热柱多级演化到达地表;成矿热流体早期以岩浆水为主,后期混入了大量地壳流体。含金成矿热液在沿断裂从地球深部向上迁移的过程中,由于成矿系统中的构造环境、温度、压力等因素的骤然改变,以及含矿热液与地壳内浅部流体地混合作用,并不断与围岩相互交代,从中萃取了部分成矿金属元素,致使含矿热液的成分不断变化,导致流体内的成矿物质在适宜的物理化学条件下沉淀析出,进而在有利的构造部位聚集成矿。在地幔热柱多级演化过程中,特别是在通过地幔进入地壳后,不可避免地会融入部分壳源物质,这就使得所测数据往往位于典型幔源区与壳源区之间,而不是位于其中,大多为过渡型特征。

[References]

Ao Chong. 2009. The genetic mineralogy and deep forecast of the Ling-shou Shihu gold mine in Hebei[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing): 4-66 (in Chinese)

Cao Ye, Li Sheng-rong, Zhang Hua-feng, Ao Chong, Li Zhen-zhen, Liu Xiao-bin. 2010. Characteristics of cell parameters of pyrite and quartz and their geological significance at Shihu gold deposit in western Hebei, North China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 29(2): 185-191 (in Chinese with English abstract)

Chen Chao. 2008. Research on the mineralization of Shihu gold deposit in Hebei Province[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics: 8-63 (in Chinese)

Chen Chao, Niu Shu-yin, Kong Fan-hui, Wang Zi-li, Sun Ai-qun, Wang Bao-de, Wang Wen-xue, Jiang Xiao-ping, Zhao Yong-li, Gao Yin-cang, Liu Hua-bin, Qiu Jian-ping. 2009. Analysis on ore-controlling structures of Shihu gold deposit in the middle part of the Taihang Mountain[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 24(2): 123-130 (in Chinese with English abstract)

Chen Chao, Niu Shu-yin, Wang Bao-de, Sun Ai-qun, Ma Bao-jun, Wang Wen-xue, Gao Yin-cang. 2009. A tentative discussion on ore-forming material sources and mineralization of the Shihu gold de-

posit in western Hebei Province[J]. Geology in China, 36(6): 1340-1349 (in Chinese with English abstract)

Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. Journal of Geophysical Research, 3057-3067

Deng Jin-fu, Mo Xuan-xue, Zhao Hai-ling, Luo Zhao-hua, Zhao Guo-chun, Dai Sheng-qian. 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in east China[J]. Mineral Deposits, 18(4): 309-315 (in Chinese with English abstract)

Doe B R, Zartman R E. 1979. Plumbotectonics of the Phanerozoic[M]. In: Barnes H L ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. 2nd ed. New York: Wiley-Interscience: 22-26

Dong Shu-wen, Wu Xi-hao, Wu Zhen-han, Deng Jin-fu, Gao Rui, Wang Cheng-shan. 2000. On Tectonic Seesawing of the East Asia Continent-Global implication of the Yanshanian Movement[J]. Geological Review, 46(1): 8-13 (in Chinese with English abstract)

Huang Ying-zhou. 2008. Analysis on the ore-controlling factors and the geological feature of Shihu gold deposits in Hebei Province[D]. Changsha: Central South University of Technology: 9-64 (in Chinese)

Hua Ren-min, Mao Jing-wen. 1999. A preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. Mineral Deposits, 18(4): 300-308 (in Chinese with English abstract)

Li De-dong, Luo Zhao-hua, Zhou Jiu-long, Yang Zhong-feng, Liu Cui. 2011. Constraints of dike thicknesses on the metallogenesis and its application to the Shihu gold deposit[J]. Earth Science Frontiers, 18(1): 166-178 (in Chinese with English abstract)

Liu Wei. 2007. Research on the geochemical feature, genesis and metallogenic prognosis in the Shihu gold deposit, western Hebei Province[D]. Changsha: Central South University of Technology: 18-105 (in Chinese)

Liu Wei, Dai Ta-gen, Fu Wen-jie, Sun Sang-dun, Hu Bin. 2007. Characteristics of ore-forming fluids of the Shihu gold deposit, west Hebei[J]. Geology in China, 34(2): 335-341 (in Chinese with English abstract)

Liu Wei, Dai Ta-gen, Fu Wen-jie, Sun Sang-dun, Hu Bin. 2007. Ore occurrence regularity and prospecting of Shihu gold deposit in the western Hebei Province[J]. Geology and Prospecting, 43(3): 25-30 (in Chinese with English abstract)

Li Zhen-zhen. 2009. Geochemistry, zircon genetic mineralogy, U-Pb geochronology of the dykes around Shihu gold mine, Hebei Province and its implication on gold mineralization[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing): 7-74 (in Chinese)

Mao Jing-wen, Wang Zhi-liang. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China[J]. Mineral Deposits, 19(4): 289-296 (in Chinese with English abstract)

Niu Shu-yin, Chen Chao, Sun Ai-qun, Wang Bao-de, Ma Bao-jun, Jiang Xiao-ping, Zhao Yong-li, Gao Yin-cang. 2008. Metallogenic geological characteristics of Shihu gold deposit in the western Hebei Province[J]. Gold Science and Technology, 16(6): 1-5 (in Chinese

with English abstract)

Niu Shu-yin, Li Hong-yang, Sun Ai-qun, Wang Bao-de, Xu Chuan-shi, Xie Ru-bin, Yang Zhi-hong, Bi Fu-ke. 2002. Mantle Branch Structure Theory and Exploration Practice [M]. Beijing: Seismological Press; 1-243 (in Chinese with English summary)

Niu Shu-yin, Luo Dian-wen, Ye Dong-hu, Li Hong-yang, Wang Jin-suo. 1996. Mantle-branch structure and its mineralization in North China [M]. Beijing: Geological Publishing House; 1-124 (in Chinese)

Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Shao Zhen-guo, Wang Bao-de, Zhao Ming-he, Wang Li-feng, Jiang Wei, Xu Chuan-shi. 2001. The multiple evolution of mantle plume and its mineralization [M]. Beijing: Seismological Press; 41-175 (in Chinese)

Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Wang Bao-de. 2007. Mantle plume and natural resources environment [M]. Beijing: Geological Publishing House; 1-183 (in Chinese with English abstract)

Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits [J]. Reviews in Mineralogy, 16: 491-559

Qiu Jian-sheng, Wang De-zi, Ren Qi-jiang, Xu Zhao-wen. 1994. Geological-geochemical characteristics and material sources for mineralization of the Yuerya gold deposit in Kuancheng County, Hebei Province [J]. Mineral Deposits, 13 (2): 137-147 (in Chinese with English abstract)

Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation [M]. New York: Longman Scientific and Technical Press; 1-315

Sheppard S W F. 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters [J]. Reviews in Mineralogy, 16: 165-183

Zhang Li-gang. 1989. Lead Isotopic Compositions of Feldspars and Ores and Their Geologic Significance [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 8 (1): 25-36

Sheppard S W F, Taylor H P. 1974. Hydrogen and oxygen isotope evidence for the origins of water in the Boulder batholith and the Butte ore deposits, Montana [J]. Economic Geology, 69 (6): 926-946

Tao kui-yuan, Mao Jian-ren, Xing Guang-fu, Yang Zhu-liang, Zhao Yu. 1999. Strong Yanshanian volcanic-magmatic explosion in east China [J]. Mineral Deposits, 18 (4): 316-322 (in Chinese with English abstract)

Wang Bao-de, Niu Shu-yin, Sun Ai-qun, Zhang Jian-zhen. 2010. Deep source of ore-forming materials and the metallogenesis of mantle branch structure [M]. Beijing: Geological Publishing House; 1-245 (in Chinese with English summary)

Wang Zi-li, Chen Chao, Niu Shu-yin, Wang Bao-de, Wang Wen-xue, Jiang Xiao-ping, Zhao Yong-li, Gao Yin-cang, Liu Hua-bin, Qiu Jian-ping. 2007. A tentative discussion on genesis of Mapeng intrusive in the middle of Taihang Mountains [J]. Hebei Geology, (4): 6-9 (in Chinese)

Wang Zi-li, Niu Shu-yin, Wang Bao-de, Chen Chao, Ma Bao-jun, Guo Zhong, Gao Yin-cang, Shen Li-xia. 2010. Xishimen gold mineralization and mineral potential of the central part of the Taihangshan area [J]. Jilin Geology, 29 (3): 12-19 (in Chinese with English abstract)

Xi Chao-zhuang, Dai Ta-gen, Liu Wei. 2008. Geological-geochemical characteristics of the Shihu gold deposit in western Hebei Province [J]. Acta Geoscientica Sinica, 29 (4): 451-458 (in Chinese with English abstract)

Yang Dian-fan, Li Gao-shan, Jia Ke-shi, Wang Xue-chun, Ju Gui, Wang Jing-shu. 1991. Study on the ore-forming conditions and genesis of Tuling and Shihu gold deposit in the Taihang Mountain Region [J]. Journal of Changchun College of Geology [J]. 21 (1): 47-53 (in Chinese with English abstract)

You Xian-jun, Xi Chao-zhuang, Dai Ta-gen, Liu Wei. 2008. Research on the geological-geochemical characteristics of Shihu gold deposit, western Hebei Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 23 (4): 292-297 (in Chinese with English abstract)

Yu Xue-hui, Ren Jian-ye, Zhang Jun-xia. 1996. Ore-forming conditions and prospecting targets of copper-gold in the middle of Taihang Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House; 61-84 (in Chinese)

Zartman R E. 1984. Lead, strontium and neodymium isotopic characterization of mineral deposits relative to their geologic environments [A]. In: Metallogenesis and Mineral Ore Deposits. Vol. 12. Proceedings of 27th International Geological Congress [C], VNU Science Press; 83-106

Zartman R E, Doe B E. 1981. Plumbotectonics-the model [J]. Tectonophysics, 75: 135-162

Zhang Li-gang. 1985. The application of stable isotope to geology [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Publishing House; 54-251 (in Chinese)

Zhang Li-gang, Wang Ke-fa. 1991. Studies of meso-cenozoic tectonic isotopic geology in eastern China [J]. Journal of Guilin College of Geology, 11 (1): 35-48 (in Chinese with English abstract)

Zhang Ya-xiong, Chen Song-lin, Peng Sheng-lin, Wu Yan-zhi. 1996. Study on the gold ore structural controlling over TS ore-field, Linshou, Hebei Province [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 20 (1): 71-80 (in Chinese with English abstract)

Zhang Ya-xiong, Zhu Hui-chao, Chen Song-ling, Hu Xiang-zhao. 1995. Researchs on the metallogenic regularities of the Shihu gold ore deposit and its exploration prospect [J]. Journal of Central South University of Technology, 26 (5): 570-574 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

敖 翀. 2009. 河北省灵寿县石湖金矿成因矿物学与深部预测 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京): 4-66

曹 烨, 李胜荣, 张华锋, 敖 翀, 李真真, 刘小滨. 2010. 冀西石湖金矿黄铁矿和石英的晶胞参数特征及其地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 29 (2): 185-191

陈 超. 2008. 河北省石湖金矿成矿作用研究 [D]. 石家庄: 石家庄经济学院: 8-63

陈 超, 牛树银, 孔繁辉, 王自力, 孙爱群, 王宝德, 王文学, 姜晓平, 赵永利, 高银仓, 刘华宾, 仇建平. 2009. 太行山中段石湖金矿控矿构造分析 [J]. 地质找矿论丛, 24 (2): 123-130

陈 超, 牛树银, 王宝德, 孙爱群, 马宝军, 王文学, 高银仓. 2009. 冀西石湖金矿成矿物质来源及成矿作用探讨 [J]. 中国地质, 36 (6): 1340-1349

邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 1999. 中国东部燕

山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境[J]. 矿床地质,18(4):309-315

董树文,吴锡浩,吴珍汉,邓晋福,高 锐,王成善. 2000. 论东亚大陆的构造翘变-燕山运动的全球意义[J]. 地质论评,46(1):8-13

黄颖洲. 2008. 河北省石湖金矿床地质特征及控矿因素分析[D]. 长沙:中南大学:9-64

华仁民,毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质,18(4):300-308

李德东,罗照华,周久龙,杨宗锋,刘 翠. 2011. 岩墙厚度对成矿作用的约束:以石湖金矿为例[J]. 地学前缘,18(1):166-178

刘 伟. 2007. 冀西石湖金矿床地球化学特征、矿床成因及成矿预测研究[D]. 长沙:中南大学:18-104

刘 伟,戴塔根,傅文杰,孙礞礞,胡 斌. 2007. 冀西石湖金矿成矿流体特征[J]. 中国地质,34(2):335-341

刘 伟,戴塔根,傅文杰,孙礞礞,胡 斌. 2007. 冀西石湖金矿矿体赋存规律及深边部找矿前景[J]. 地质与勘探,43(3):25-30

李真真. 2009. 冀西石湖金矿区脉岩的岩石学、锆石成因矿物学和年代学及其与金矿化的关系[D]. 北京:中国地质大学(北京):7-74

毛景文,王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质,19(4):289-296

牛树银,陈 超,孙爱群,王宝德,马宝军,姜晓平,赵永利,高银仓. 2008. 冀西石湖金矿成矿地质特征[J]. 黄金科学技术,16(6):1-5

牛树银,李红阳,孙爱群,王宝德,许传诗,谢汝斌,杨志宏,毕伏科. 2002. 幔枝构造理论与找矿实践[M]. 北京:地震出版社:1-243

牛树银,罗殿文,叶东虎,李红阳,王金锁. 1996. 幔枝构造及其成矿规律[M]. 北京:地质出版社:1-124

牛树银,孙爱群,邵振国,王宝德,赵明合,王立峰,蒋 威,许传诗. 2001. 地幔热柱多级演化及其成矿作用[M]. 北京:地震出版社,:41-175

牛树银,孙爱群,王宝德. 2007. 地幔热柱与资源环境[M]. 北京:地质出版社:1-183

邱栓生,王德滋,任启江,徐兆文. 1994. 河北宽城峪耳崖金矿床地质地球化学特征及成矿物质来源[J]. 矿床地质,13(2):137-147

陶奎元,毛建仁,邢光福,杨祝良,赵 宇. 1999. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发[J]. 矿床地质,18(4):316-322

王宝德,牛树银,孙爱群,张建珍. 2010. 深部矿源与幔枝构造成矿[M]. 北京:地质出版社:1-245

王自力,陈 超,牛树银,王宝德,王文学,姜晓平,赵永利,高银仓,刘华宾,仇建平. 2007. 太行山中段麻棚岩体的成因探讨[J]. 河北地质,(4):6-9

王自力,牛树银,王宝德,陈 超,马宝军,郭 忠,高银仓,沈利霞. 2010. 太行山中段西石门金矿成矿作用与找矿潜力分析[J]. 吉林地质,29(3):12-19

息朝庄,戴塔根,刘 伟. 2008. 冀西石湖金矿床地质地球化学特征[J]. 地球学报,29(4):451-458

杨殿范,李高山,贾克实,汪学纯,鞠 贵,王景书. 1991. 太行山土岭、石湖金矿床成矿条件及成因探讨[J]. 长春地质学院学报,21(1):47-53

游先军,息朝庄,戴塔根,刘 伟. 2008. 冀西石湖金矿床地质地球化学特征研究[J]. 地质找矿论丛,23(4):292-297

喻学惠,任建业,张俊霞. 1996. 太行山中段铜-金成矿条件及找矿方向[M]. 北京:地质出版社:61-84

张理刚. 1985. 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:54-251

张理刚,王可法. 1991. 中国东部中(新)生代构造同位素地质学研究[J]. 桂林冶金地质学院学报,11(1):35-48

张亚雄,陈松岭,彭省临,吴延之. 1996. 河北灵寿县土岭-石湖金矿田控矿构造研究[J]. 大地构造与成矿学,20(1):71-80

张亚雄,朱慧超,陈松岭,胡祥昭. 1995. 石湖金矿成矿规律与找矿预测[J]. 中南工业大学学报,26(5):570-574

Characteristics and Geological Significance of Stable Isotopes
in the Xishimen Gold Deposit of Hebei Province

WANG Zi-li¹, NIU Shu-yin^{2,4}, CHEN Chao^{2,4}, WANG Bao-de², GUO Zhong¹, SHEN Li-xia¹, GAO Yin-cang³
(1. Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170;
2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Shijiazhuang, Hebei 050031;
3. Comprehensive Geological Team of Shijiazhuang, Shijiazhuang, Hebei 050081;
4. China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: Xishimen gold deposit is located in axis of Fuping mantle branch structure, Southeast of Yanshanian Mapeng granitic intrusion. In this paper, based systematic analysis on sulfur, lead, hydrogen, oxygen and carbon isotopic composition of Xishimen deposit and deposits in the region, the results show that: the sulfide $\delta^{34}\text{S}$ ranges from $-0.3\text{‰} \sim +1.4\text{‰}$, average 0.63‰ , consistent with sulfur isotopic composition of the region, Falling into the range of mantle-derived sulfur, indicating that sulfur is mainly deep source; lead isotope range narrowly, consistent with lead isotopic composition of the region, indicating that they are of the same source. In the Lead isotopic composition, all the lead isotopes falled between the upper mantle and lower crust; hydrogen and oxygen isotopes show that the ore-forming fluids are mainly magmatic water in the early stage and mixed with some of the meteoric water in the later; carbon isotopes show that the ore-forming hydrothermal fluids derived from the mantle, Therefore, it have shown that the ore-forming materials of Xishimen gold deposit should come from the deep interior of the Earth, and the dynamic mechanism of ore-forming materials moving upwards is the multi-stage evolution of mantle plume. During the multi-stage evolution of mantle plume, especially the ore-forming materials found their way into the crust vias the mantle, it is inevitable that some crustal material would have been involved. Therefore, the measured isotope data always fall between the typical mantle-source area and the crust-source area.

Key words: gold deposit, isotope, geological significance, Xishimen, HeBei Province