

华北地台南缘金矿床同位素地球化学及其成因^①

邵世才 胡 宁

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 北京 100012)

摘 要 系统地论述了华北地台南缘不同类型金矿床的硫、铅、氢、氧和碳同位素地球化学, 指出它们一致表明石英脉型和蚀变断层岩型金矿床的成矿元素和介质主要来自太古代变质岩系, 爆破角砾岩型金矿床的成矿元素和介质则来自燕山期钙碱系列岩浆, 它们分别属变质热液型和岩浆热液型矿床。

关键词 同位素地球化学 金矿床 成因 华北地台南缘

中图法分类号 P597

1 区域地质背景

华北地台南缘金矿带主要由小秦岭, 崤山和熊耳山三个金矿密集区组成。出露的地层有太华群、熊耳群、官道口群和栾川群。太华群是本区的主要地层, 由片麻岩类和混合岩类组成, 是本区最主要的容矿层位。中元古代熊耳群大面积分布于崤山和熊耳山地区, 与下伏太华群呈不整合接触, 系一套基性至酸性的火山岩类岩石。该区从元古代至燕山期岩浆活动强烈, 中元古代的岩浆喷发活动, 形成了熊耳群; 至燕山晚期, 形成了华山、文峪和花山等花岗岩基及一些小斑岩体和角砾岩体。断裂构造十分发育, 一级断裂控制隆起区的分布, 二级断裂则控制着该区矿脉的分布。

2 矿床类型

根据矿石类型、结构及构造等宏观特征, 将该区金矿床分为三类: 石英脉型、蚀变断层岩型和爆破角砾岩型。石英脉型和蚀变断层岩型金矿床在空间上和成因上并非截然不同, 而是有内在的成因联系, 包括爆破角砾岩型金矿

床在内, 它们构成了华北地台南缘一个完整的成矿系列。

3 硫同位素地球化学

3.1 石英脉型矿床

$\delta^{34}\text{S}$ 变化范围在 $-9.9 \times 10^{-3} \sim +15.7 \times 10^{-3}$ 之间, 平均值为 $+4.6 \times 10^{-3}$, 呈明显的塔式分布。 $\delta^{34}\text{S}$ 值按黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿的顺序逐次递减, 说明硫同位素达到了平衡。尽管不同矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 差别较大, 但都与其围岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 相差不大, 并有同步增减的趋势(表1), 因此作者认为矿石硫来自容矿围岩, 即太华群中基性火山岩系^[1]。

3.2 蚀变断层岩型矿床

该类矿床的硫同位素组成与石英脉型金矿迥然不同, 各个矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 呈双塔式离散型分布(图1), 且离散程度较高。其原因是由于各个矿床都有从成矿早期至晚期, $\delta^{34}\text{S}$ 从高值到低值再到高值的变化趋势所致。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$ 的范围在 $-3.5 \times 10^{-3} \sim -4.5 \times 10^{-3}$ 之间, 说明矿石硫为深源硫, 主要来自古老基底变中基性火山岩(太华群)。

硫同位素在不同成矿阶段变化如此之大,

① 收稿日期: 1996-10-20; 修回日期: 1997-08-28 邵世才, 男, 33岁, 副研究员(博士后)

表 1 小秦岭金矿黄铁矿和太华群硫同位素组成

Table 1 $\delta^{34}\text{S}$ value of pyrite in deposits and rock of Taihua group			
Mine	Number of samples	$\delta^{34}\text{S}/10^{-3}$	
		Scope	Average
Yangzaiyu	67	- 1. 17~ 6. 8	2. 86
Wenyu	48	- 9. 9~ 6. 91	3. 72
Jindongcha	19	- 7. 8~ 2. 2	- 1. 22
Taihua group	11	- 5. 9~ 10. 7	2. 67
Tongyu Q01	28	4. 76~ 15. 7	11. 61
Tongyu Q8	56	4. 82~ 9. 7	6. 58
Tongyu Q12	12	3. 3~ 8. 49	6. 54
Taihua group	7	3. 4~ 12. 3	6. 53
Shancheyu	3	6. 44~ 7. 06	6. 77
Dawangxiyu	21	4. 12~ 6. 62	5. 44
Taihua group	2	3. 4~ 3. 59	3. 50

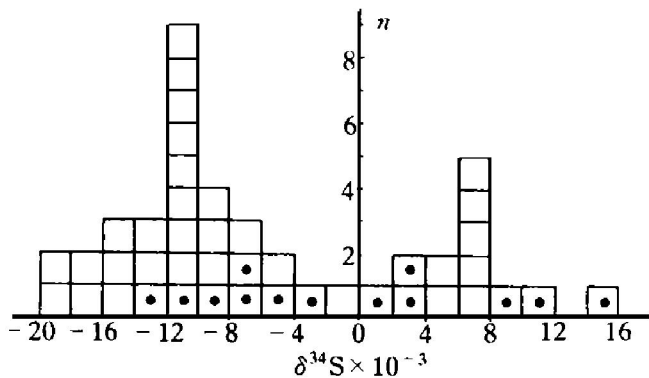


图 1 蚀变断层岩型矿床硫同位素组成

Fig. 1 $\delta^{34}\text{S}$ histogram of
breccia altered gold deposits

有两种解释：一是硫源不同；二是硫源相同， f_{O_2} 、pH 和温度等发生了显著变化。作者认为前者可能性不大，因矿石硫均来源于太华群，更可能是物理化学条件的变化使 $\delta^{34}\text{S}$ 发生了变化，据 Ohmoto (1972) 研究，当 f_{O_2} 高达 $10^{-34} \sim 10^{-32} (\times 10^5 \text{Pa})$ ，共生矿物组合为重晶石(Bar)、黄铁矿(Py)和方解石(Cal)时，矿物中的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化较大，即， $\delta^{34}\text{S} \approx -1 \times 10^{-3} \sim -26 \times 10^{-3}$ ，且 $\delta^{34}\text{S}_{\text{Bar}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{SS}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Py}}$ 。上宫金矿床在主成矿期就沉淀了重晶石，所以 f_{O_2} 较高，导致硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值极低，变化也较大，Roberts(1987)^[2] 也发现在氧化的流体中 $\delta^{34}\text{S}$ 主要分配在硫盐矿物中，致使硫化物贫 ^{34}S ，Gold Mile 和 Hemlo 金矿即如此^[3]。

3.3 爆破角砾岩型矿床

祁雨沟爆破角砾岩型矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 的范围在 $-2.03 \times 10^{-3} \sim +2.70 \times 10^{-3}$ 之间，均值为 -0.38×10^{-3} ，变化范围较窄，呈明显的塔式分布。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 的范围在 $-2 \times 10^{-3} \sim +2.7 \times 10^{-3}$ 之间，平均值为 -0.38×10^{-3} ，该值与陨石硫很接近，表明矿石硫为深源硫，即来自源岩物质为太华群的花岗岩浆。

4 铅同位素地球化学

该区铅同位素具有组成稳定，放射成因铅含量低的特点。不同类型矿床的矿石铅同位素变化范围较小， μ 值在 9.1 左右；但 ω 和 Th/U 值变化相对较大(表 2)，这与中国东部古老变质岩系具弱钼异常有关^[4]。这些特征说明铅同位素来自低 μ 值和 U 亏损的深部源区。蚀变断层和爆破角砾岩型矿床的铅同位素组成较石英脉型金矿稍高，推测前两类矿床在成矿过程中有较多放射成因铅的混染。

该区铅同位素既有正常铅的特点，又有异常铅的特征，即组成变化小，放射成因铅含量低，但 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上，所有样品却不沿单阶段铅增长曲线分布，而是呈线性分布，即落在具不同 μ 值的曲线上，显示了多阶段铅的特征^[5]。铅同位素呈线性分布既可解释为两种不同时代的正常铅之混合线，也可视为二次等时线。它们在数学表达式上完全相同，均为：

$$\frac{(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_1} - (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_2}}{(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_1} - (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{t_2}} = \frac{e^{\lambda_8 t_1} - e^{\lambda_8 t_2}}{137.88(e^{\lambda_8 t_1} - e^{\lambda_8 t_2})} = a$$

其中 a 为斜率。该区铅同位素组成的一个显著特点，就是区内所有地质体的铅同位素组成投点至图中，在总体上呈带状分布，而单个矿床的矿石铅则能拟合成一条直线($y = ax + b$)。这既不同于华北地台北缘金矿带的混合铅模式^[6]，也不同于胶西北地区所有金矿可拟合成一直线的特点^[7]。根据年轻的花岗岩岩石铅和

古老变质岩岩石铅均不分布在各金矿床所拟合的直线上，可判断该直线不是混合铅线，而是二次等时线；又因各矿床二次等时线有不同的斜率，说明矿石铅演化具多期性和复杂性，其地质意义在于指明成矿具多期性和复杂性。若将本区所有金矿床的成矿年龄(t_2)定在燕山期(120 Ma)，可得源区年龄 t_1 (表 2)，多在 3.0~4.0 Ga，个别矿床 $t_1 > 4.0$ Ga。理论上 t_1 应为源区年龄，即太华群的形成年龄。大量的同位素资料均表明太华群的形成年龄在 2.3~2.8 Ga。因此用 $t_2 = 120$ Ga 所得之 t_1 年龄明显偏老，这说明主成矿时代不是在燕山期，而在此以前，燕山期是成矿结束的时代，这与同位素测年结果一致。

5 氢氧同位素地球化学

在各类矿床中，以石英脉型矿床的氢、氧同位素变化最大，爆破角砾岩型矿床组成最高。在氢-氧同位素图(图 2)上，石英脉型矿床的成矿流体位于变质水和大气降水线之内(间)，说明成矿流体主要为变质水，并有少量大气降水的参与，特别是成矿晚期， $\delta^{18}\text{O}$ 的

“漂移”更趋明显，大气降水的作用更为重要。蚀变断层岩型矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 主要分布在变质水和大气降水线之间，并有明显的 $\delta^{18}\text{O}$ “漂移”现象，且这种漂移主要发生在晚期的石英-碳酸盐阶段，证明愈到晚期，大气降水愈为重要。爆破角砾岩型矿床的氢、氧同位素组成，在早期均分布在初始岩浆水范围，而晚期却向大气降水线移动。这充分证明了成矿早期的流体为岩浆热液，随着成矿作用的发展演化，逐渐有大气降水的加入，且水/岩比值逐渐降低，导致 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的范围向左上移动，但成矿流体仍以岩浆水为主。因此该类型矿床属岩浆热液型矿床无疑，与国外爆破角砾岩型矿床在地质地球化学特征和成因上完全一致^[8]。

通过以上分析可看出，石英脉型和蚀变断层岩型矿床成矿流体的主要或大部分为变质流体，属变质热液型矿床，而爆破角砾岩型矿床则为岩浆热液型矿床。

6 碳同位素地球化学

本区金矿床的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化在 -1.6×10^{-3}

表 2 不同类型岩石和矿床铅同位素组成

Table 2 Lead isotope composition of different types of gold deposits and rocks

Type	Deposit/ Rock	n	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	ω	Th/ U	t ₁ / Ma
Quartz vein	Wenyu	17	17.038	15.420	37.520	9.11	40.1	4.25	3.92
	Tongyu	10	17.461	15.368	37.967	8.59	38.8	4.19	3.53
	Tongguan	8	17.009	15.396	37.612	9.12	39.9	4.24	4.04
	Jindongcha	13	17.096	15.398	37.677	9.03	39.9	4.28	—
	Wenyu granite	2	17.172	15.439	37.510	9.10	39.3	4.15	—
	Taihua group	4	17.070	15.463	37.684	9.20	40.7	4.32	—
Fault rock altered	Kangshan	9	17.772	15.518	38.248	9.20	39.5	4.16	3.03
	Shanggong	12	17.165	15.438	37.676	9.13	40.1	4.25	4.30
	Hugou	12	17.167	15.418	37.659	9.28	38.8	4.05	—
	Huashan granite	9	17.407	15.419	37.743	9.07	38.6	4.10	—
	Taihua group	5	17.400	15.400	37.998	9.02	39.6	4.25	—
	Xionger group	6	16.780	15.356	36.876	9.04	38.0	4.07	—
Explosive breccia	Qiyugou	16	17.344	15.495	37.817	9.25	40.4	4.22	3.99
	Qiyugou porphyry	4	17.544	15.354	37.710	8.85	36.5	3.95	—
	Taihua group	3	16.487	15.456	36.830	8.60	—	—	—

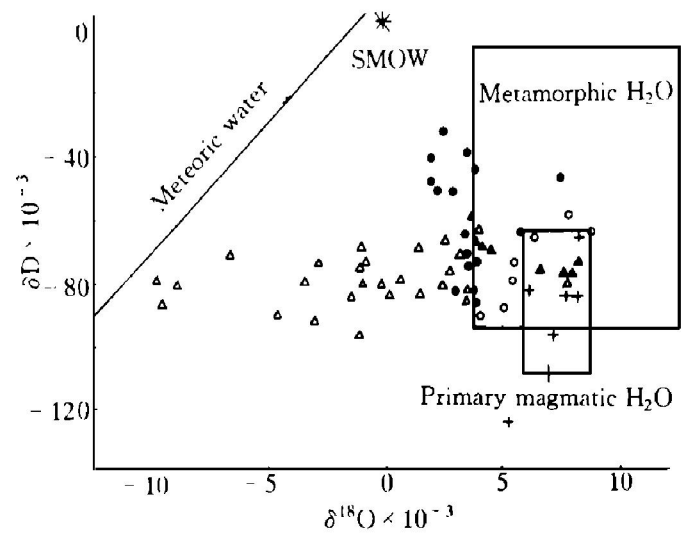


图 2 矿床氢氧同位素组成图

Fig. 2 Plot of δD vs. $\delta^{18}O$ for ore-forming fluids of deposits

$\sim -7.6 \times 10^{-3}$ 之间, 主要在 $-2 \times 10^{-3} \sim -5 \times 10^{-3}$ 间, 且石英脉型矿床的 $\delta^{13}C$ 小于蚀变断层岩型矿床(表 3)。碳酸盐矿物的 $\delta^{13}C$ 值严格受其沉淀时的 T 、 Eh 、 pH 和流体的 $\delta^{13}C_{\Sigma C}$ 的控制^[9]。一般地, 当溶液中 $CH_4 + CO_2$ 摩尔分数小于 10% 时, 溶液与矿物之间的 $\delta^{13}C$ 分馏在 -2% 左右^[10]。根据前述分析, 本区所有

表 3 不同类型金矿床的碳和氧同位素组成

Table 3 Carbon and oxygen isotope composition of deposits

Type	Mineral	$\delta^{13}C \times 10^{-3} (PDB)$		
		<i>n</i>	Scope	Average
Quartz vein	Calcite	10	$-1.40 \sim -7.60$	-4.97
	Ankerite	9	$-3.19 \sim 6.67$	-5.27
	Siderite	6	$-1.90 \sim -6.47$	-4.10
Breccia altered	Calcite	3	$-2.18 \sim -4.89$	-3.50
	Ankerite	8	$-0.79 \sim -2.90$	-1.91
Explosive breccia	Calcite	6	$-1.60 \sim -5.80$	

Type	Mineral	$\delta^{18}O \times 10^{-3} (SMOW)$		
		<i>n</i>	Scope	Average
Quartz vein	Calcite	6	$8.38 \sim 10.26$	9.75
	Ankerite	4	$8.23 \sim 9.76$	9.05
	Siderite	3	$17.54 \sim 18.06$	17.76
Breccia altered	Calcite	3	$5.83 \sim 16.11$	11.03
	Ankerite	8	$10.19 \sim 15.09$	11.75
Explosive breccia	Calcite			

矿床的成矿流体体系中 $CH_4 + CO_2$ 的含量均在 1% (Mol) 以内, 所以可估算出石英脉小型矿床、变角砾岩型矿床和爆破角砾岩型矿床的成矿流体之 $\delta^{13}C_{\Sigma C}$ 值分别在 $-2.1 \times 10^{-3} \sim 3.3 \times 10^{-3}$ 、 $0 \sim 1.5 \times 10^{-3}$ 和 $0.4 \times 10^{-3} \sim 3.8 \times 10^{-3}$ 之间, 它们与原生碳组成较为接近, 反映了深源特征。在碳酸盐的 $\delta^{13}C - \delta^{18}O$ 图上^[10], 样品主要落在太古代细碧岩范围内, 并与 Superior 省太古代金银矿床的分布范围一致, 反映了它们的深源特征, 为变质来源。

7 结论

通过上述系统的硫、铅、氢、氧和碳同位素研究, 可得以下结论:

- (1) 石英脉型和蚀变断层岩型金矿床的成矿元素和介质主要来自太古代古老变质岩系, 但在成矿晚期有大气降水和少量岩浆热液的参与, 其成矿具有多期性。
- (2) 蚀变断层岩型矿床稳定同位素受壳源物质的混染程度比石英脉型矿床高, 大气降水在成矿介质中所起的作用也较显著。
- (3) 爆破角砾岩型矿床的成矿元素和介质均来自钙碱系列岩浆。因此, 本区存在两种成因的金矿床, 即变质热液型和岩浆热液型矿床, 它们在该区构成一个完整的成矿系列。

REFERENCES

1 Shao Shicai(邵世才) and He Shaoxun(何绍勋). *Geology and Prospecting* (地质与勘探), 1993, 29(4): 1.

2 Roberts A G. *Geosci Canada*, 1987, 14: 37.

3 Lambert I B. In: *Proc Gold' 82*, 1984: 373- 387.

4 Ma Zhendong(马振东). *Earth Sciences*(地球科学), 1988, 13(4): 395.

5 Shao Shicai(邵世才). *J Cent-South Inst of Min and Metal*(中南矿冶学院学报), 1992, 23: 639.

6 Lin Erwei *et al*(林尔为等). *J Changchun Univ Geosc*(长春地质学院学报), 1985, 15(4): 1.

7 Wang Yiwen(王义文). *J Changchun Univ Geosc*(长

- 春地质学院学报), 1988, 18(3): 277.
- 8 Baker E M *et al.* Econ Geol, 1991, 86: 810.
- 9 Ohmoto H *et al.* In: Barnes H L ed, Geochem Hydrothermal Ore Deposits: 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons Inc, 1979: 509– 567.
- 10 Kerrich R. Can J Earth Sci, 1990, 27: 40.

ISOTOPIC GEOCHEMISTRY OF GOLD DEPOSITS IN SOUTHERN MARGIN OF NORTH CHINA PLATFORM AND THEIR GENESIS

Shao Shicai and Hu Ning

Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Beijing 100012, P. R. China

ABSTRACT The isotopic features of sulfur, lead, hydrogen, oxygen and carbon for different types of gold deposits in the southern margin of North China Platform were described in detail, which all unanimously indicated that the ore-forming elements and media of the gold deposits of quartz vein type and altered rock type derived from the Archean metamorphic series and their geneses belong to metamorphic hydrothermal type, and that of the deposits of explosive breccia type derived from the calc-alkaline magma and its genesis belongs to magmatic hydrothermal type. In the two types of derived deposits, the meteoric water participated in their formation.

Key words isotopic geochemistry gold deposit genesis North China Platform

(编辑 何学锋)