# 医巫闾山变质核杂岩中金矿的 稳定同位素特征

# 孟宪刚 邵兆刚 曲 玮 王 津 朱大岗

中国地质科学院地质力学研究所 北京 ,100081

摘 要 医巫闾山变质核杂岩中金矿及相关岩石的氢、氧、铅、硅、碳、硫稳定同位素测试结果为:成矿流体 &D 为 -97‰~ -72‰ &<sup>18</sup>O 为 0.3‰~3.8‰,在 &<sup>18</sup>O-&D 分布图上,位于变质水、岩浆水与当地雨水之间;其他稳定同位素数据及综合资料均 说明,以排山楼金矿为代表的该区金矿成矿具有长期性、复杂性和多源性;医巫闾山变质核杂岩构造系统对区内金矿有一定 控制作用。

关键词 变质核杂岩 稳定同位素 医巫闾山 金矿

#### Stable Isotopic Features of the Gold Deposits in the Yiwulunshan Metamorphic Core Complex

MENG Xiangang SHAO Zhaogang QU Wei WANG Jin ZHU Dagang Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081

Abstract The analytical data of such stable isotopes as hydrogen, lead, silicon, carbon and sulfur in ore-forming fluids from gold deposits in Yiwulushan metamorphic core complex are presented in this paper. The analyses show that the  $\delta D$  values of ore-forming fluids are  $-97\% \sim -72\%$ , whereas  $\delta^{18}O$  values vary from 0.3% to 3.8%, implying varied origins of the ore-forming fluids. Analytical data from other types of isotopic elements indicate that the gold deposits, represented by the Paishanlou gold deposit, have experienced multi-stage ore-forming process characterized by complexity and diversification of material sources. It is therefore held that the Yiwulushan metamorphic core complex system must have played an important controlling role in the formation of gold deposits. Key words metamorphic core complex stable isotope Yiwulushan gold deposit

医巫闾山变质核杂岩位于辽西北镇以西、医巫 闾山中段 构造上处于燕山造山带东端、辽河盆地西 缘。该区属于华北地块北缘东部中段,以太古宇结 晶岩系为基底;中新元古代属燕辽坳拉槽的东北端, 长城系、蓟县系、青白口系沉积巨厚;古生代时该区 具典型的地台特征;中生代该区发生了强烈的构造-热事件(辽宁省地质矿产局,1989)。排山楼特大型 金矿、大板中型金矿、大樱桃沟小型金矿、五家子金 矿点分别产于白垩纪形成的医巫闾山变质核杂岩构 造系统的不同部位,其矿床成因、成矿年代均受变质 核杂岩构造系统控制(马寅生等,1999;孟宪刚等, 2002)。本文对上述金矿床的流体氢、氧、铅、硅、硫 及碳等稳定同位素进行了测试,综合前人资料,讨论 了核杂岩拆离断裂带上金矿的稳定同位素特征。

## 1 流体氢、氧同位素

对医巫闾山变质核杂岩中 5 个金矿床(点)的矿 石及近矿围岩的氧同位素进行了分析,主要测定对 象为石英。并根据石英的氧同位素组成、流体包裹 体的均一温度或估算温度和矿物-水之间的氧同位 素分馏方程,计算了成矿溶液的氧同位素组成。成 矿溶液的氢同位素组成则直接用石英和方解石的流 体包裹体的氢同位素组成代替(表1)。在  $\delta^{18}$ O- $\delta$ D 分布图上(图1),医巫闾山变质核杂岩中金矿成矿 溶液的氢、氧同位素组成总体上既不同于变质水,也 不同于岩浆水,主要分布在岩浆水左下方,成为一个 独立的辽西金矿氢、氧同位素组成范围。排山楼围 岩落在变质水与正常岩浆水重叠区域,海棠山岩体

本文由国土资源部定向基金项目" 辽宁阜新地宫-建设金异常区控矿构造研究 (编号 98-04) 国土资源部科技司项目(编号 992049) 和国土资源部地质力学开放研究实验室基金项目(编号 :dlkf-9808)资助。

改回日期 2003-1-10 责任编辑 : 2月萱。

第一作者 焉宪函数据,1960 年生,研究员,从事区域成矿构造和构造地球化学等方面的研究。

表1 辽西医巫闾山北段金矿的硅同位素和流体的氢氧同位素

Table 1 Results of 51 and 6 isotope of northern part of Thomashan 7 west Endolling									
序号	矿区	样 号	岩 性	测定对象	8 <sup>30</sup> Si∕‰	δ <sup>18</sup> O <b>/</b> ‰	$\delta D_{H_2O} / \%$	$\delta^{18}O_{H_2O}*/\%$	₀ <i>t</i> 均-/℃
1	巴楼子	1999-22	硅化片麻岩	石英	-0.4	+12.8	- 85	+ 3.3	(250)
2	巴楼子	1999-23	蚀变岩矿石	石英	-0.5	+ 12	- 92	+2.5	(250)
3	五家子	1999-2	长英质糜棱岩	石英	-0.2	—	—	—	—
4	五家子	1999-5	花岗质角砾岩	石英	-0.3	_	_	_	—
5	五家子	2000-1	蚀变大理岩	方解石	—	+7.9	- 97	+2.6	309
6	大樱桃沟	1999-33-1	硅质岩矿石	石英	-0.2	+10.7	- 76	+1.2	(250)
7	大樱桃沟	1999-38-I	硅化岩矿石	石英	-0.3	+10.7	- 72	+1.2	(250)
8	大樱桃沟	1999-38-II	硅化糜棱岩	石英	-0.2	+9.8	- 74	+0.3	(250)
9	大樱桃沟	2000-1	含金脉石英	石英	-0.2	+10.0	-81	+1.6	274
10	大板	1999-14	长英质糜棱岩	石英	-0.2	_	—	_	_
11	大板	1999-15	碳质糜棱岩	矿石	石英	-0.2	_	_	_
12	排山楼	2000-8	变质岩型矿石	石英	_	+7.0	- 79	-3.8	224
13	排山楼	2000-9	碳酸岩型矿石	石英	-0.2	+14.5	- 92	+1.5	188

注:中国地质科学院矿产资源研究所万德芳、罗续荣测试;表中 8<sup>30</sup>Si 采用 NBS-28 标准,其他为 SMOW 标准 8<sup>18</sup>O<sub>H20</sub>\* 系采用包裹体均一或估算温度及 R. N. Clayton 等(1972)矿物-水之间氧同位素分馏关系式计算结果,加括号者为估算温度。

与对面沟岩体氢、氧同位素分布区,位于辽西诸矿床 的右下方。总体趋势是,排山楼金矿、包括医巫闾山 北段及整个辽西地区的金矿在300℃中温阶段成矿 时,成矿溶液具有变质水、晚燕山岩浆水与天水混 合的特征。在100~180℃的低温成矿阶段<sup>●</sup>的



Fig. 1 Diagram of  $\delta D - \delta^{18}O_{H,O}$  ore-forming fluid

1-排山楼围岩;2-排山楼矿石;3-大樱桃沟矿石与围岩;4-五家子围 岩 5-巴楼子矿石与围岩 5-海棠山黑云母二长花岗岩;7-金厂沟梁矿 石 8-对面沟岩体 9-二道沟矿石;10-迷力营子矿石;11-小塔子沟矿 石;P.M.W-现代当地雨水位置

1-Paishanlou host rock 2-Paishanlou ore 3-Dayingtaogou host rock and ore A-Wujiazi host rock 5-Balouzi host rock and ore &-Haitangshan biotite admellite 7-Jinchanggouliang ore 8-Duimiangou granite 9-Erdaogou ore ;10-Miliyingzi ore ;11-Xiaotazigou ore ; P. M. W-position of meteoric water δ<sup>18</sup>O<sub>H2O</sub>值为 - 11.4‰~-3.6‰ 在 δD-δ<sup>18</sup>O<sub>H2O</sub>图解 上从主要成矿范围向雨水线作长程漂移,直到逼近 雨水线上。表明,辽西地区的金矿,相当于组合水-复合水热液矿床类型(张理刚,1985)。具体可与漂 塘钨锡矿床的 V、VI、VII 成矿阶段相对比。

### 2 铅同位素

由于辽西地区金矿及医巫闾山变质核杂岩中金 矿已作大批铅同位素测试 故此次只对大樱桃沟金 矿矿石作检验性分析,由石英脉型金矿石中的方铅 矿测得 :<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 为 17.605 ± 0.010、<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 为15.431±0.008、<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb为37.588±0.015, 并列入区域的综合图解上(图2)。辽西地区铅同位 素经历多种 U-Th-Pb 体系的演化过程,但主体在正 常铅范围。在单阶段增长曲线上与μ值近于9的增 长曲线一致,明显显示单 U-Th-Pb 体系的演化态 势。排山楼地区展现从岩石铅开始,演化到中后期 产生矿化 最后以白云质大理岩铅同位素结束。模 式年龄从 1 900 Ma 开始至 200 Ma 结束 金矿化过 程的铅则表现从 1 296 Ma 起至 627 Ma,并可延续 到 200 Ma 之后的剪切带糜棱岩化作用过程。模式 年龄虽不能代表铅同位素演化年龄,但可反映成岩 成矿的阶段性和相关性。

在构造图解上(据 Doe 等,1974)铅同位素分布 域比较宽,主要分布在地幔铅区域及由此向造山带 铅过渡范围。表明排山楼、大樱桃沟与辽西地区相 似,铅以地幔铅为主,显示成矿物质来源主要与太古 宙变质岩有关,并有晚期上地壳、造山带铅影响,表 现为后期改造成矿因素。







上图为:1-排山楼矿石:2-排山楼白云质大理岩:3-排山楼黑云斜长糜 棱岩:4-排山楼大樱桃沟矿石;下图为:1-金厂沟梁矿石及围岩:2-二 道沟矿石及围岩:3-迷力营子矿石及围岩:4-小塔子沟矿石:5-小塔子 沟围岩:6-大樱桃沟矿石;据骆辉:1997补充

The upper one :1-the Paishanlou ore 2-the Paishanlou dolomitic marble; 3-the Paishanlou biotitite plagio-mylonite 'A-the Paishanlou Dayingtaogou ore ;The below one :1-the host rock and ore of Jinchanggouliang ;2-the host rock and ore of Erdaogou ;3-the host rock and ore of Miliyingzi 'Athe ore of Xiaotazigou ;5-the host rock of Xiaotazigou ;6-the ore of Davingtaogou ;that of the modified from Luo Hui in 1997

### 3 硅同位素

硅在地球上的丰度仅次于氧元素 在地球化学 方面占有重要地位。在自然界其稳定同位素的相对 **丰度依次为**<sup>28</sup>Si 为 92.23%、<sup>29</sup>Si 为 4.6%、<sup>30</sup>Si 为 3.10% <sup>32</sup>Si 是放射性同位素。由于硅同位素组成 变化小 长期以来分析精度低造成地质应用方面滞 后于硫、碳、氧等稳定同位素。20世纪80年代末, 国外只着重对硅同位素组成变化较显著的陨石、月 岩样品进行研究;丁悌平等(1994)改进分析方法、提 高分析精度 对不同地质体测定了近千个数据 初步 建立了硅同位素地球化学的框架。此次工作测定了 12 个样品的硅同位素组成(表1图3) 经对比得出 初步认识如下 医巫闾山地区与金矿化有关的脉石 英、硅化岩、糜棱岩的  $\delta^{30}$ Si 为  $-0.5\% \sim -0.2\%$  大 部分位于-0.3‰~-0.2‰之间,八楼子矿区稍低, 为-0.5‰~-0.4‰。其 δ<sup>30</sup>Si 值为单边峰 峰值在 -0.2‰处 与对比组的花岗岩石、脉石英、硅化岩峰 值基本一样,并与地壳岩石的平均 8<sup>30</sup>Si 值接近 这 与该区样品原岩或围岩大多为片麻岩是一致的。

- 4 碳、硫同位素=
- 4.1 碳同位素 医亚酒孢酸质核杂岩北端五家子金矿点附近蚀

变大理岩的  $\delta^{13}$ C 为 – 1.2‰,与海相沉积碳酸盐的  $\delta^{13}$ C 值基本一致,这比排山楼金矿矿石中蚀变岩石 的  $\delta^{13}$ C 为 – 6.7‰ ~ – 7.0‰大(曲亚军,1991)。

排山楼远矿围岩在太古宙白云质大理岩和高于 庄白云石大理岩中测得白云石  $\delta^{13}$ C 为 – 1.2‰和 – 1.3‰( 骆辉等 ,1997 ),与此次测定结果一致。矿 体顶板白云质大理岩  $\delta^{13}$ C 为 – 3.6‰ ,而其矿石中 蚀变矿物白云石则为 – 6.67‰ ~ – 7.0‰ ," 与岩浆 或深源碳同位素一致 "。说明成矿溶液中的碳主要 不是来自大理岩 ,而是来自深部 ;或者为二者的混 合。



#### 图 3 某些岩石类型的硅同位素组成对比 (a,b 图解引自丁悌平等,1994)

Fig. 3 Contrast of Si-isotope component of some rocks (a,b from Ding et al.,1994)
1-变粒岩或浅粒 2-片麻岩 3-混合岩 a-中国和北美某些花岗岩;
b-辽宁、云南某些变质岩、混合岩 a-中国某些矿床中的脉石英;
d-湖南、四川的硅化岩 a-辽宁医巫闾山北段金矿的脉石英、硅化岩、糜棱岩

1-leptynite and leptit ;2-gneiss ;3-migmatite ;a-the granit in China and North Americ ;b-the metamorphic rock and migmatite in Liaoning and Yunnan province ;c-the vein quartz in some ore deposits in China ;d-the siliceous rock in Hunan and Sichuan provience ;c-the vein quartz , silico-altered rock involonite at the norther part

#### of Yiwulushan in Liaoning province

### 4.2 硫同位素

22 件排山楼金矿矿石、蚀变岩和太古宇变质岩 围岩的 <sup>34</sup>S 变化范围在 +0.3‰ ~ +4.8‰之间,3 类样品均值变化在 +2.5‰ ~ +3.5‰之间,平均为 +3.0% (曲亚军,1991)。结果表明各类样品的 8<sup>34</sup>S 基本相同,都为较小的正值,分布范围窄,极差小,均 一化程度高,近于陨石硫特点。从金矿石、强蚀变岩 石的 8<sup>34</sup>S 与围岩 8<sup>34</sup>S 的相似性,反映金矿石黄铁矿 的硫同位素组成受赋矿岩石制约,矿石硫来源于太 古宙变质岩。

### 5 结论

(1)流体氢、氧同位素组成表达了区内金成矿溶 液来源的多元性。区域变质水、变质核杂岩中心热 隆上升的晚燕山期海棠山岩体岩浆水,以及雨水是 成矿溶液的3个组成部分。

(2) 矿石铅同位素和多种样品的硫稳定同位素 研究表明,成矿物质主要来源于太古宙变质岩。

(3) 碳同位素表明,成矿溶液中的碳主要来自深 部,或深源碳与地层碳的混合。

(4)各种稳定同位素反映的综合信息说明以排 山楼金矿为代表的该区金矿成矿的长期性、复杂性 和多源性。但是,各种稳定同位素信息都将成矿的 物源指向晚燕山期北镇岩体的中心岩株海棠山花岗 岩、近矿岩枝大石头沟花岗岩,以及含矿剪切带的糜 棱岩。前者的成岩时代为161~70.1 Ma(辽宁省地 质矿产局,1989;马寅生等,1999),中者的 SHRIMP 锆石年龄为126~124 Ma<sup>•</sup>,后者变形成因的绢云母 年龄为184~121 Ma(李树勋,1994)。因此该区金 矿的富集成矿时期是晚燕山期,而这正是笔者曾经 专门论述过的医巫闾山核杂岩形成的时段(孟宪刚 等 2002)。所以笔者认为该区金矿床各种稳定同位 素特征说明矿床形成是受核杂岩的控制。

致谢 野外工作期间得到了辽宁省地质勘查局 曲亚军、关玉波、杨占兴 岸新市地质矿产局王福志, 辽宁省地质勘查局三大队史益学,四大队王永春,九 大队刘忠元,辽宁省地质勘查院张国仁等人的热情 帮助,在成文过程中得到了王建平研究员的具体指 导和帮助,在此一并深表谢意。

#### 参考文献

- 丁悌平,蒋少涌,万德芳等.1994. 硅同位素地球化学.北京 地质 出版社.1~102.
- 何知礼. 1982. 包体矿物学. 北京 地质出版社 1~304.
- 辽宁省地质矿产局.1989. 辽宁省区域地质志. 北京 地质出版社,1 ~856.
- 李树勋. 1994. 华北陆台北缘基础地质问题与找矿前景. 辽宁地质, 11(1~2):6~11.
- 骆辉、赵运起. 1997. 辽宁阜新排山楼金矿地质和成矿作用. 前寒武

纪研究进展 20(4):13~23.

- 马寅生,崔盛芹,吴淦国等. 1999. 医巫闾山变质核杂岩构造特征. 地球学报,20(4):385~391.
- 孟宪刚,冯向阳,邵兆刚等.2002.辽西医巫闾山变质核杂岩构造 系统及其对金矿的控制.地质通报 21(12)841~847.
- 曲亚军. 1991. 韧性剪切带内金矿床类型及找矿标志. 辽宁地质 8 (2):139~147.
- 曲亚军 高殿生. 1990. 排山楼金矿地质特征及金质来源. 辽宁地 质 ,7(4) 302~314.
- 沈保丰,彭晓亮等.1994.华北陆台太古宙绿岩带及矿床.见:中国 前寒武纪矿床和构造.北京,地震出版社,69~74.
- 王建平,刘永山,董法宪等. 1992. 内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿分 析. 北京 地质出版社,1~124.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液 成矿作用及找矿. 西安 陕西科学技术出版社,1~267.

#### References

- Bureau of Geology and Mineral. 1989. Regional geology of Liaoning province. Beijing : Geological Publishing House ,1  $\sim$  856( in Chinese ).
- Doe B R Stacoy J S. 1974. The application of lead isotopies to the problems of ore genesis and ore prospect evolution : a review. Econ. Geol. 69 757~776.
- Ding Tiping , Jiang Shaoyong ,Wan Defang et al. 1994. Geochemistry of Si isotope. Beijing : Geological Publishing House ,1  $\sim$  102( in Chinese ).
- He Zhili. 1982. Inclusion mineralogy. Beijing : Geological Publishing House  $1\!\sim\!304$  ( in Chinese ).
- Luo Hui , Zhao Yunqi. 1997. Geology in the Paishanlou golden deposit , Fuxian , Liaoning province and its metallogenesis. Progress in Pre-Cambrian Research 20(4):13  $\sim$  23( in Chinese with English abstract).
- Li Shuxun. 1994. Basic geology in northern edge of the Huabei block and ore-perspective. Liaoning Geology ,  $11(1 \sim 2):6 \sim 11($  in Chinese ).
- Ma Yinsheng , Cui Shengqin ,Wu Gan'guo et al. 1999. The structural feature of metamorphic core complex in Yiwulushan Mountains , west Liaoning. Acta Geoscientia Sinica ,20(4):385~391( in Chinese with English abstract).
- Meng Xiangang Feng Xiangyang Shao Zhaogang et al. 2002. A study of complex core structure system and its controlling gold deposits in Yiwulushan Mts. Geological Bulletin of China 21(12) 841~847.
- Qu Yajun. 1991. Golden deposits in ductile-shear zone and oreprospecting indicators. Liaoning Geology, & 2):139~147 in Chinese).
- Qu Yajun , Gao Diansheng. 1990. Geology in the Paishanlou golden deposit and the origin of gold. Liaoning Geology , 7(4)  $302 \sim 314$ (in Chinese).
- Shen Baofeng, Peng Xiaoliang et al. 1994. Archaean greenstone belt and deposits in the Huabei block. In : Pre – Cambrian deposits and tectonic of China. Beijing : Seismic Publishing House ,69 ~ 74( in Chinese ).
- Wang Jianping , Liu Yongshan , Dong Faxian et al. 1992. Study on orecontrolling tectonics of Jinchanggouliang gold deposits , Inner Mongolia. Beijing : Geological Publishing House ,1~124.
- Zhang Ligang. 1985. Geological applicance for the stable isotope. Xi'an : Shaanxi Science and Technology Publishing House  $,1 \sim 267$  in Chinese ).