

文章编号:文章编号:1008-0244 (2002) 02-0019-06

# 黑龙江老柞山金多金属矿床地质地球化学初探

代立东<sup>1</sup>, 李和平<sup>1</sup>, 王思源<sup>2</sup>, 魏俊浩<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**通过对老柞山金多金属矿床地质背景、硫同位素、铅同位素、碳氧同位素以及包裹体和岩石化学的研究, 得出产金矿带成矿热液为高温岩浆热液, 并有地壳物质混入, 该矿床形成于活动大陆边缘钙碱系列环境。

**关键词:**金多金属矿床; 硫同位素; 铅同位素; 碳氧同位素; 包裹体; 岩石化学; 老柞山

**中图分类号:** P618.51 **文献标识码:** A

老柞山矿床位于中朝地台北侧, 海西期兴蒙地槽系东段佳木斯隆起带上。此矿床发现于1966年。尽管先后有中国有色金属工业总公司七〇一队、中国地质大学等多家单位对该矿床进行了区域地质调查、找矿勘探、物化探异常、成矿条件、成矿时代等方面的研究, 但其中仍存在许多值得探讨的问题。本文拟通过对硫、铅、碳、氧同位素的测试分析, 结合区域地质背景, 对该矿床的形成环境进行探讨。

## 1 成矿地质背景

区内出露地层由老到新为下元古界麻山群柳毛组、中生界侏罗系和第四系松散沉积层<sup>[1]</sup>。地层厚度变化较大, 从3~50 m不等, 倾角在70°~85°, 局部直立, 倾向NE。

区内构造类型主要有两种: 褶皱构造和断裂构造。褶皱构造: 区内柳毛组呈单斜片麻构造, 岩层走向为280°~320°, 倾向NE, 倾角70°~85°, 局部直立, 甚至反倾。断裂构造: 元古代末期, 层间剥离构造控制着金矿体的生成; 华力西期产生了一些新的断裂构造, 这些构造控制着金矿体的分布; 燕山期受新华夏构造运动的影响, 产生了NNE向压性及NWW向的张性裂隙。NWW向这一组断裂控制着燕山期岩浆热液金矿体和岩体、岩脉的分布。包括本矿床在内的NNE向的下元古界片麻岩地体, 夹

于郯庐及乌苏里两大断裂之间。老柞山矿床是在区域新华夏系NNE向的郯庐与乌苏里断裂的控制

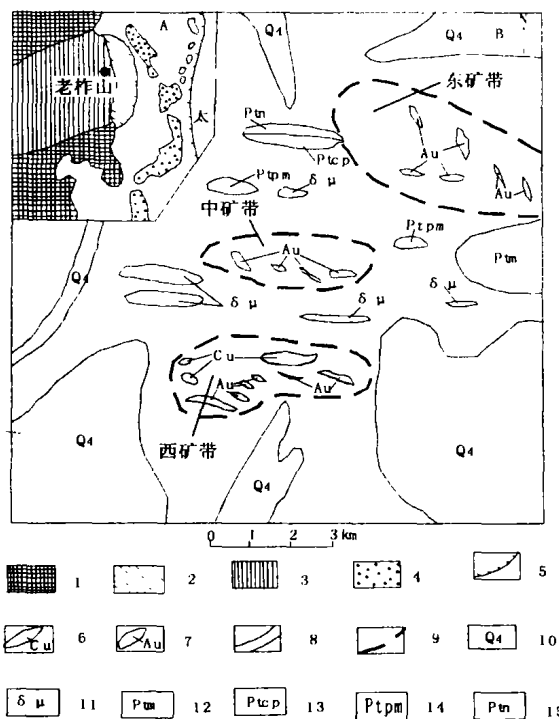


图1 黑龙江老柞山多金属矿床地质背景图

(据中国有色金属工业总公司701地质队)

Fig. 1. Geologic setting of gold-polymetal deposits at Laozhuoshan, Heilongjiang Province.

A. 老柞山矿床大地构造位置图 B. 老柞山矿床地质图  
1. 地台; 2. 加里东褶皱系; 3. 华力西褶皱系; 4. 喜马拉雅褶皱系; 5. 海沟; 6. 铜矿体; 7. 金矿体; 8. 砂金矿体; 9. 推测矿带界线; 10. 第四系; 11. 闪长玢岩; 12. 混合岩; 13. 石墨片岩; 14. 片麻岩; 15. 大理岩

收稿日期: 2001-09-10; 修回日期: 2002-03-04

基金项目: 国家科技部攀登计划预选项目(95-预-39); 中国科学院“百人计划”

第一作者简介: 代立东(1977-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事地球深部物质与流体研究。

下,形成了以老柞山片麻岩地体为砥柱,其旋回层向 SE 收敛,向 NW 撒开的控矿帚状构造体系,可称老柞山帚状构造<sup>[2]</sup>。由砥柱向外旋层依次产有东、中、西矿带(见图 1)。

区内有大面积的岩浆岩出露,主要以侵入岩为主,分华力西和燕山两期侵入。华力西期侵入岩分早晚两期。早期的在矿床东部和西部大面积出露,斜长石约占 30%~40%,微斜长石约占 25%~30%,石英约占 30%,黑云母约占 10%;晚期的仅在 19、12、14、16、18 穿见到,镜下岩石交代结构发育,斜长石含量约占 30%~50%,微斜长石约占 10%~3%,石英约占 10%~15%,黑云母约占 5%左右。燕山期侵入岩分布在矿区的中部,岩性由基性到酸性,以中酸性为主,其中石英闪长岩与成矿关系密切,霏细岩岩体边缘破碎带中具有金矿化或赋存金矿体<sup>[3-4]</sup>。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿带、矿体分布及规模

该矿床分三个矿带,即中矿带和东矿带、西矿带。中矿带长 1 600 m、宽 900 m,总体走向 NW—SE,矿带内已发现金矿体 51 条,其中以 1、2 号矿体规模较大,占矿带金储量的 82.9%,其它矿体规模较小。东、西矿带分别在中矿带的 NE 部和 SW 部,几乎近水平分布,分布范围宽广,矿体品

位变化较大,形状大部分呈不规则的鸡窝状。东矿带主矿体为 1、2、3 号,矿体形态较复杂,主要为脉状、分枝脉状、透镜状以及鸡窝状,规模较小;西矿带主矿体为 304、311 号,矿体形状复杂,主要为鸡窝状和脉状,规模小。

### 2.2 矿石特征

老柞山矿床内出现的矿石类型较单一,主要为金矿石。其中的东矿带和中矿带以金矿石为主;而西矿带有较高品位的铜,可以开采铜矿。金矿石按其天然类型分为原生矿和氧化矿,按原生矿的结构构造又可分为浸染状金矿石和致密块状金矿石。

### 2.3 围岩蚀变

老柞山矿床围岩蚀变类型主要有硅化、绢云母化、矽卡岩化、钾化,其次为碳酸盐化、绿泥石化,其中硅化常伴随着毒砂化、黄铁矿化,在西矿带毒砂化大面积出露,而在中、东矿带以矽卡岩化为主。在众多的蚀变中,以硅化、矽卡岩化、毒砂化与成矿关系最为密切。

### 2.4 成矿期次的划分

作者根据成矿作用、脉体穿插关系、矿物共生组合等特征将矿床的形成划分为两个成矿期五个成矿阶段。

表 1 黑龙江老柞山矿床成矿期次简表

Table 1. Metallogenic phases of gold-polymetal ore deposit at Laozuoshan, Heilongjiang Province

| 成矿期  | 矽卡岩化成矿期   |                  | 石英-硫化物成矿期       |         | 铁帽金成矿期 |
|------|-----------|------------------|-----------------|---------|--------|
| 成矿阶段 | 石英闪长岩侵入阶段 | 方解石-磁黄铁矿-黄铜矿-金阶段 | 磁黄铁矿-黄铜矿-石英-金阶段 | 方解石-金阶段 | 伟晶石英阶段 |
| 石英   | ——        |                  |                 |         |        |
| 闪长岩  | ——        |                  |                 |         |        |
| 透辉石  |           | ——               |                 |         |        |
| 方解石  |           | ——               |                 | ——      |        |
| 磁黄铁矿 |           | ——               | ——              |         |        |
| 黄铜矿  |           | ——               | ——              |         |        |
| 毒砂   |           |                  | ——              | ——      |        |
| 褐铁矿  |           |                  |                 |         | ——     |
| 孔雀石  |           |                  |                 |         | ——     |
| 蓝铜矿  |           | ——               |                 |         | ——     |
| 金    |           | ——               | ——              | ——      | ——     |

## 3 矿床地球化学

为弄清成矿物质的来源,对老柞山矿床同位素、包裹体以及岩石化学进行了研究。

### 3.1 硫同位素

Ohmoto<sup>[5]</sup>提出,成矿流体中硫同位素组成受流体中物理化学条件(pH 值, Eh 值,  $t$ ,  $p$ ,  $I$  等)

变化的限制,且从热液沉积出来的硫化物的同位素不等于成矿热液的总硫同位素。热液中总硫同位素近似等于:

$$\delta^{34}S_{\Sigma S} = \delta^{34}S_1 + X_{\Sigma SO_4^{2-}} \cdot \Delta_{HS^-}^{SO_4^{2-}} - \Delta_{HS^-}^i$$

其中  $\delta^{34}S_{\Sigma S}$  表示  $^{34}S$  总硫同位素,  $\delta^{34}S_1$  表示流体中的  $^{34}S$  同位素组成,  $X_{\Sigma SO_4^{2-}}$  表示相对富集系数,  $\Delta_{HS^-}^{SO_4^{2-}}$  表示  $SO_4^{2-}$  对  $HS^-$  的差值,  $\Delta_{HS^-}^i$  第  $i$  类型的硫

与  $HS^-$  差值,它的数值很小可略去。

据 Ohmoto<sup>[6-7]</sup> 等的意见,岩浆成因的 S 具有  $\delta^{34}S$  值不超过  $\pm 5.0\%$  范围的特点,初步推测区内成矿热液的硫是“就地取材”,即从混合岩中淋取,但同时有少量其它硫源的混入。结合矿区地质特征分析,认为该区硫以幔源为主,有少量壳源硫的混入,即以幔源为主的壳源混源型(表 2)。

表 2 黑龙江老柞山矿床硫同位素组成表(‰)

Table 2. Sulphur isotopic composition of Laozuoshan gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province(‰)

| 测定矿物 | 样品数 | $\delta^{34}S$ 变化范围 | 均值    | 极差  | 均方差  | 矿体与围岩      |
|------|-----|---------------------|-------|-----|------|------------|
| 磁黄铁矿 | 33  | +3.5 ~ +4.02        | +3.72 | 1.7 | 0.42 | 混合花岗岩与闪长玢岩 |
| 毒砂   | 31  | +3.9 ~ +5.3         | +4.46 | 1.4 | 0.36 | 矿体蚀变带      |
| 黄铁矿  | 25  | +3.8 ~ +7.1         | +4.56 | 3.7 | 0.89 | 混合岩        |
| 黄铜矿  | 18  | +3.6 ~ +4.2         | +3.8  | 1.4 | 0.43 | 含金矿体与混合花岗岩 |
| 辉钼矿  | 1   | +6.6                | +6.6  |     |      | 花岗岩        |

分析测试单位:中国地质大学(武汉)测试中心。

### 3.2 铅同位素

通过对铅同位素组成的测定分析可知(表 3),老柞山金矿床铅同位素组成为  $^{206}Pb/^{204}Pb = 18.151 \sim 18.36$ ,  $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.472 \sim 15.643$ ,  $^{208}Pb/^{204}Pb = 37.764 \sim 38.131$ , 变化范围小于 0.22, 具有相对稳定的特点。通过在 Cannon 演化三角图的投点, 铅同位素样品全部落于正常铅小三角形范围内。且从矿区内  $^{206}Pb/^{204}Pb$  的比值来看, 属于正常铅。Cannon 认为, 正常铅来自地球内部深处或来自构造基本封闭系统, 矿质具有深源性<sup>[8]</sup>。

表 3 黑龙江老柞山矿床矿石及围岩的铅同位素组成

Table 3. Lead isotopic composition of Laozuoshan gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province

| 样号       | 样品名称   | 矿物   | $^{206}Pb/^{204}Pb$ | $^{207}Pb/^{204}Pb$ | $^{208}Pb/^{204}Pb$ |
|----------|--------|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 8334-62  | 花岗岩    | 钾长石  | 18.345              | 15.534              | 38.007              |
| 8208-192 | 黑云母花岗岩 | 钾长石  | 18.365              | 15.530              | 37.884              |
| 8358-266 | 斜长花岗岩  | 钾长石  | 18.367              | 15.547              | 37.972              |
| 8363-35  | 闪长花岗岩  | 磁黄铁矿 | 18.151              | 15.526              | 37.944              |
| 5111     | 混合花岗岩  | 钾长石  | 18.229              | 15.634              | 37.855              |
| 穿 32-1   | 矿石     | 毒砂   | 18.165              | 15.566              | 38.131              |
| 8239-113 | 浅色花岗岩  | 黄铁矿  | 18.328              | 15.472              | 38.050              |
| 8343-48  | 矿石     | 黄铁矿  | 18.247              | 15.452              | 37.764              |

分析测试单位:中国地质大学(武汉)测试中心。

### 3.3 碳同位素和氧同位素

通过对成矿期热液方解石的碳氧同位素测定

(表 4)可知,老柞山金矿  $\delta^{13}C = -5.33\% \sim -2.64\%$ , 因此确定区内矿床碳酸盐矿物沉淀时溶液的  $\delta^{13}C_{\Sigma C}$  值为  $-5.33\% \sim -2.64\%$ , 在岩浆平均壳源 ( $\approx -8\% \sim -5\%$ )<sup>[9]</sup> 和海相沉积源碳同位素 ( $\approx 0\%$ )<sup>[10]</sup> 变化范围内, 说明成矿流体中碳的主要来源可能是深部地壳及上地幔且少部分来自于矿床围岩。在测定方解石中碳同位素的同时, 还对其中的氧同位素进行了测定。氧同位素测定结果表明,  $\delta^{18}O = 10.27\% \sim 13.70\%$ , 平均为  $11.74\%$ , 计算公式<sup>[10]</sup>:

$$1000 \ln \alpha = 2.78 \times 10^6 / T^2 - 3.39$$

其中  $\alpha$  是同位素比值,  $T$  是绝对温度 (K),  $A$  和  $B$  是实验确定的常数, 经过换算<sup>[10]</sup> 的  $\delta^{18}O$  (水) =  $3.73\% \sim 7.58\%$ , 平均为  $5.40\%$ , 由于在未被混染的幔源岩浆中流体  $\delta^{18}O$  的平均值不可能低于岩浆水 ( $+5.5 \sim +10.0\%$ )<sup>[9]</sup>, 因此区内岩体在形成过程中, 有地壳物质混入。

表 4 黑龙江老柞山矿床碳酸盐矿物碳氧同位素组成(‰)

Table 4. Carbon and oxygen isotopic composition of carbonate minerals from Laozuoshan gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province(‰)

| 样品编号    | 样品名称       | 矿物  | $\delta^{18}O/SMOW$ | $\delta^{13}C/PDB$ |
|---------|------------|-----|---------------------|--------------------|
| 8209-64 | 毒砂方解石脉     | 方解石 | 10.81               | -5.23              |
| 8460-14 | 磁黄铁矿方解石脉   | 方解石 | 12.22               | -5.33              |
| 8456-74 | 毒砂磁黄铁矿方解石脉 | 方解石 | 10.27               | -2.64              |
| 穿 32-3  | 方解石石英脉     | 方解石 | 13.70               | -3.88              |

分析测试单位:中国地质大学(武汉)测试中心。

### 3.4 包裹体

从中矿带 280 m 中段和西矿带各采一样品,并作包裹体测试分析。测试结果表明,西矿带方解石中几乎无包裹体,而中矿带 280 m 中段石英中包裹体大量出现。所观察的石英包裹体,均为气液二相包裹体,形状大都不规则,少量呈规则的圆状、椭圆状,大小中等(4 μm ~ 18 μm)。所测均一温度如图 2 所示,从中看出,石英包裹体温度范围区间为 360 °C ~ 385 °C,属于高温岩浆热液型。

### 3.5 岩石化学

从岩石化学成分参数表中可以来看,尽管岩浆活动频繁,老柞山矿床及外围岩石化学里特曼指数( $\sigma$ )基本上在 1.8 ~ 3.3 之间。据邱家骧<sup>[11]</sup>,当  $\sigma < 1.8$  时,属于钙性;当  $1.8 < \sigma < 3.3$  时,属于钙碱性;当  $3.3 < \sigma < 9$  时,属于碱性;当  $\sigma > 9$  时,属于超碱性。老柞山矿床及外围岩石化学里特曼指数( $\sigma$ )大部分落在 1.8 ~ 3.3 之间,属于钙碱系列环境。从  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  图解中可以看出,研究区样品大部分落在 ACM 区,属于活动大陆边缘,即老柞山矿床属于活动大陆边缘钙碱系列环境(图 3)。

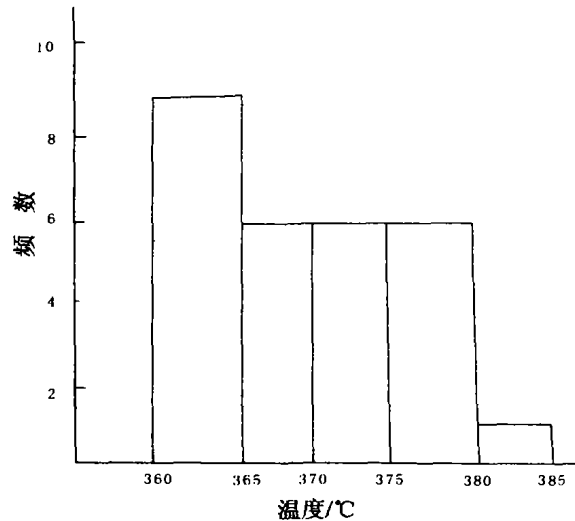


图 2 黑龙江老柞山金多金属矿床中矿带石英包裹体均一温度直方图

Fig. 2. Histogram of homogenization temperatures of quartz inclusions in the ore band of gold-polymetal ore field of Laozuoshan, Heilongjiang Province.

表 5 黑龙江老柞山矿床及外围的岩石化学表

Table 5. Petrochemistry of Laozuoshan gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province

| 侵入期  | 岩石类型  | 样品数 | 氧化物含量/%          |                  |                                |                                |      |       |      |      |                   |                  |                               | 特征数值                                 |                                    |          |
|------|-------|-----|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------|
|      |       |     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO   | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O | $\sigma$ |
|      | 闪长岩   | 1   | 55.16            | 1.00             | 17.12                          | 3.22                           | 5.46 | 0.16  | 3.81 | 6.06 | 3.68              | 2.30             | 0.40                          | 5.89                                 | 0.63                               | 2.94     |
|      | 石英闪长岩 | 1   | 64.44            | 0.61             | 15.40                          | 2.53                           | 2.17 | 0.125 | 1.86 | 2.83 | 4.61              | 3.94             | 0.20                          | 8.55                                 | 0.85                               | 3.41     |
| 早燕山期 | 花岗闪长岩 | 5   | 62.08            | 0.67             | 17.40                          | 3.53                           | 2.77 | 0.08  | 2.83 | 4.25 | 4.19              | 2.82             | 0.08                          | 7.00                                 | 0.68                               | 2.73     |
|      |       | 1   | 69.58            | 0.40             | 15.33                          | 0.73                           | 1.97 | 0.10  | 1.37 | 2.55 | 3.80              | 3.22             | 0.15                          | 7.02                                 | 0.85                               | 1.85     |
|      |       | 5   | 64.08            | 0.63             | 15.21                          | 1.73                           | 3.03 | 0.07  | 2.32 | 3.25 | 4.28              | 3.18             | 0.90                          | 6.94                                 | 0.74                               | 2.29     |
|      |       | 8   | 67.84            | 0.52             | 15.11                          | 1.54                           | 3.23 | 0.06  | 1.55 | 3.28 | 3.68              | 2.63             | 0.15                          | 6.30                                 | 0.71                               | 1.60     |
|      |       | 2   | 64.40            | 0.71             | 16.32                          | 0.99                           | 3.65 | 0.09  | 1.77 | 4.43 | 3.75              | 2.89             | 0.32                          | 6.60                                 | 0.79                               | 2.05     |
|      | 二长花岗岩 | 5   | 68.30            | 0.48             | 15.03                          | 0.83                           | 3.11 | 0.20  | 1.10 | 2.74 | 3.71              | 3.55             | 0.15                          | 7.17                                 | 0.85                               | 1.89     |

| 侵入期 | 岩石类型       | 样品数       | 氧化物含量/%          |                  |                                |                                |      |       |      |      |                   |                  |                               | 特征数值                                 |                                    |      |      |
|-----|------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------|------|
|     |            |           | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO   | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O | σ    |      |
| 早   | 花岗岩<br>闪长岩 | 3         | 68.03            | 0.37             | 16.02                          | 1.84                           | 2.09 | 0.03  | 1.41 | 2.60 | 3.95              | 4.12             | 0.09                          | 8.10                                 | 1.05                               | 2.63 |      |
|     |            | 4         | 67.02            | 0.48             | 15.52                          | 1.60                           | 2.51 | 0.075 | 1.43 | 3.47 | 3.68              | 3.25             | 0.25                          | 7.10                                 | 0.84                               | 1.58 |      |
|     |            | 1         | 67.46            | 0.56             | 16.22                          | 1.61                           | 2.47 | 0.10  | 1.56 | 3.42 | 4.00              | 3.32             | 0.20                          | 7.32                                 | 0.83                               | 2.19 |      |
|     |            | 3         | 65.70            | 0.50             | 15.46                          | 2.56                           | 1.87 | 0.10  | 2.37 | 3.69 | 4.18              | 2.89             | 0.23                          | 7.07                                 | 0.70                               | 2.17 |      |
| 中   | 二长<br>闪长岩  | 7         | 66.50            | 0.51             | 15.33                          | 2.40                           | 2.30 | 0.05  | 1.18 | 2.11 | 4.16              | 4.00             | 0.19                          | 8.18                                 | 0.96                               | 2.85 |      |
|     |            | 1         | 68.96            | 0.30             | 17.00                          | 1.63                           | 0.47 | 0.05  | 0.22 | 0.66 | 3.36              | 4.40             | 0.04                          | 7.76                                 | 1.31                               | 2.32 |      |
| 晚   | 花岗岩<br>长斑岩 | 2         | 65.52            | 0.45             | 15.65                          | 1.95                           | 2.47 | 0.08  | 1.72 | 3.23 | 3.75              | 3.03             | 0.14                          | 6.78                                 | 0.79                               | 2.04 |      |
|     |            | 2         | 74.76            | 0.18             | 12.55                          | 0.85                           | 1.42 | 0.01  | 0.19 | 0.51 | 4.10              | 4.79             | 0.065                         | 8.76                                 | 1.16                               | 2.39 |      |
|     | 期          | 花岗岩<br>斑岩 | 1                | 76.70            | 0.11                           | 12.48                          | 0.31 | 1.08  | 0.05 | 0.12 | 0.29              | 4.29             | 4.77                          | 0.10                                 | 9.06                               | 0.11 | 2.44 |
|     |            | 闪长<br>斑岩  | 3                | 58.68            | 0.52                           | 16.16                          | 1.60 | 4.86  | 0.13 | 3.67 | 6.60              | 2.95             | 1.40                          | 0.17                                 | 4.36                               | 0.54 | 1.23 |

注:分析数据引自文献[12]。

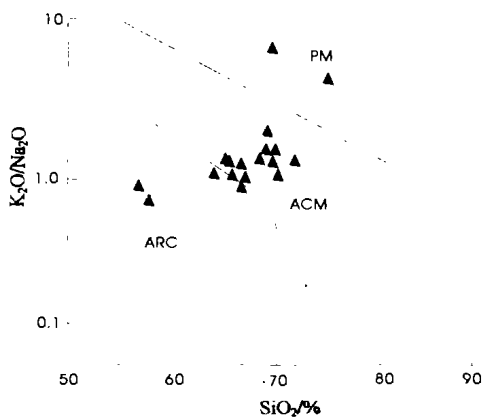


图 3 黑龙江老柞山金多金属矿床 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 投点图

Fig. 3. K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram of Laozuoshan

gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province.

PM. 被动大陆边缘; ACM. 活动大陆边缘; ARC. 大洋岛弧

## 4 结 论

矿床同位素、包裹体及岩石化学资料表明,成矿热液主要为岩浆水,可能有少量的地壳物质的混入,成矿物质主要来自幔源,成矿环境是活动大陆边缘钙碱系列环境,主要产金矿带属于高温热液型金矿带,高温岩浆热液为老柞山金矿床的形成提供了热源,而且提供了成矿物质。

本论文在成文过程中,曾得到中国科学院地球化学研究所黄智龙研究员和王多君博士的热心指导和大力帮助,文中的部分图件曾得到李营硕士的指导,谨表谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 张红军.老柞山金矿床地质特征及同位素地球化学特征[J].黄金,1999,20(12):4~7.
- [2] 李春昱,郭令智,朱夏,等.板块构造基本问题[M].北京:地震出版社,1986,176~462.
- [3] 邓翔云,宋涛,胡明春,等.黑龙江省勃利县至宝清县老柞山金矿区东西矿带勘探报告(第一期)[R].中国有色金属总公司黑龙江地质勘探公司七〇一队,1994:15~21.
- [4] 邓翔云,戴福林,张裕信,等.黑龙江省七台河市老柞山金矿区中矿带勘探报告[R].中国有色金属总公司黑龙江地质勘探公司七〇一队,1994:37~41.
- [5] Ohmoto H. Systematics of sulphur and carbon isotope in hydrothermal ore-deposits[J]. *Econ Geol*, 1972(17):551~578.
- [6] Ohmoto H. Isotopes of sulphur and carbon. in: Barnes Hied geochemistry of hydrothermal ore deposits[M]. New York: John Wiley&sons, 1979:509~567.
- [7] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984,458~471.
- [8] Doe B R, Stacey J S. The application of lead isotope to the problems of ore genesis and ore prospect evolution[J]. *Econ. Geol.*, 1974, (69):757~776.
- [9] 袁见齐,朱上庆,翟裕生.矿床学[M].北京:地质出版社,1993,148~151.
- [10] Hugh R. Rollison. 杨学明,杨晓勇,陈双喜(译).岩石地球化学[M].安徽:中国科学技术大学出版社,2000,167~239.
- [11] 邱家骧.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1984,34~50.
- [12] 黑龙江省地质矿产局.黑龙江省区域地质志[M].北京:地质出版社,1993,70~415.

## GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF LAOZUOSHAN GOLD-POLYMETAL ORE DEPOSIT IN HEILONGJIANG PROVINCE

Dai Lidong<sup>1</sup>, Li Heping<sup>1</sup>, Wang Siyuan<sup>2</sup>, Wei Junhao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. China University of Geosciences, Wuhan 430074)

### Abstract

In this paper, through the study of ore-deposit geologic settings, sulphur isotopes, lead isotopes, carbon isotopes, oxygen isotopes, fluid inclusions and petrochemistry, the authors have drawn a conclusion that gold ore deposits were derived from high-temperature magmatic hydrothermal solutions with underground water involved. It is the first time that the authors put forward that the Laozuoshan gold-polymetal ore deposit in Heilongjiang Province was formed in a calc-alkaline environment at the continental margin.

**Key words:** gold-polymetal ore deposit; sulphur isotope; lead isotope; carbon isotope; oxygen isotope; inclusion; petrochemistry; Laozuoshan