

# 冀西北后沟金矿床交代成因钾长石激光探针 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄\*

徐兴旺<sup>①</sup> 蔡新平<sup>①</sup> 刘玉林<sup>②</sup> 张宝林<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; <sup>②</sup>北京大学地质系, 北京 100871)

**摘要** 冀西北后沟金矿床是我国典型的钾化蚀变岩型金矿床, 金矿床的形成与叠置于碱性侵入岩之上的钾交代作用有关. 采用激光探针  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  微区定年法, 测定交代成因钾长石的形成年龄介于 176.7 Ma 至 202.6 Ma 之间, 相应的钾交代作用和伴生的金矿成矿作用发生在燕山早期; 钾交代的脉动周期约为 4 Ma 左右.

**关键词**  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄 激光探针 交代成因钾长石 冀西北

冀西北后沟金矿床是我国典型的钾化蚀变岩型金矿床<sup>[1]</sup>, 其产出于华北地台北缘水泉沟一大南山三叠纪碱性杂岩中<sup>[2,3]</sup>, 金矿的成矿与叠置于碱性岩之上的钾交代作用有关. 前人对该矿床的地质与地球化学做了大量的研究工作<sup>[4,5]</sup>, 但钾交代的时间及其与成矿的时间关系仍不清楚. 矿床成矿时代仍存在不同的认识<sup>[6,7]</sup>, 成矿时代尚待进一步限定与佐证.

与其他许多交代成因的花岗岩和某些矿床一样<sup>[8,9]</sup>, 后沟金矿床的钾交代也具明显脉动性<sup>[1]</sup>. 这种脉动性是钾交代有关金矿床脉动成矿的主要原因. 然而, 我们对钾交代可能的脉动间隔或周期仍知之甚少.

激光显微探针  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  定年法是 20 世纪 80 年代末期发展起来的测年方法<sup>[10]</sup>, 现已被较广泛地用于测定单颗粒矿物的年龄, 如伊利石、黑云母、白云母、普通角闪石、磁铁矿、金刚石和单斜辉石等. 本文采用该方法研究测定后沟金矿床交代成因钾长石的微区年龄, 确定钾交代的时间及其与成矿的关系, 探讨钾交代的脉动周期.

## 1 地质概况

冀西北后沟金矿位于华北地台北缘的赤诚—崇礼东西向深断裂的南侧, 产出于水泉沟一大南山碱性杂岩带中(图 1(a)), 是一个典型的钾化蚀变岩型金矿. 其含矿围岩为在细粒碱性花岗岩基础上交代形成的钾化蚀变岩(图 1(b)), 蚀变岩中交代残余结构发育. 矿区的钾化蚀变岩受走向 NE, EW 和 NW 向的密集节理带控制. 钾化蚀变岩中交代成因的钾长石颗粒粗大, 粒径从 1 mm 到 20 mm 不等. 蚀变岩中交代成因钾长石的含量可达 95%, 并被称为“钾长石岩”. 交代成因钾长石粒内发育一些具特定形态的组构的微破裂构造, 这些仅发育于交代成因的钾长

2000-08-02 收稿, 2001-01-10 收修改稿

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49802021)

1) 徐兴旺. 成矿流体构造动力学研究——以冀西北后沟金矿和山东七宝山金矿为例. 中国科学院地质与地球物理研究所, 1999, 博士后出站报告

石中的微破裂的形成与钾交代作用有关<sup>[11]</sup>。含金的黄铁矿细脉沿微破裂裂隙充填和分布。矿区钾交代作用具明显的脉动性，每一脉动形成了新一世代的钾长石和对应的微破裂构造及相应新一世代的成矿作用。

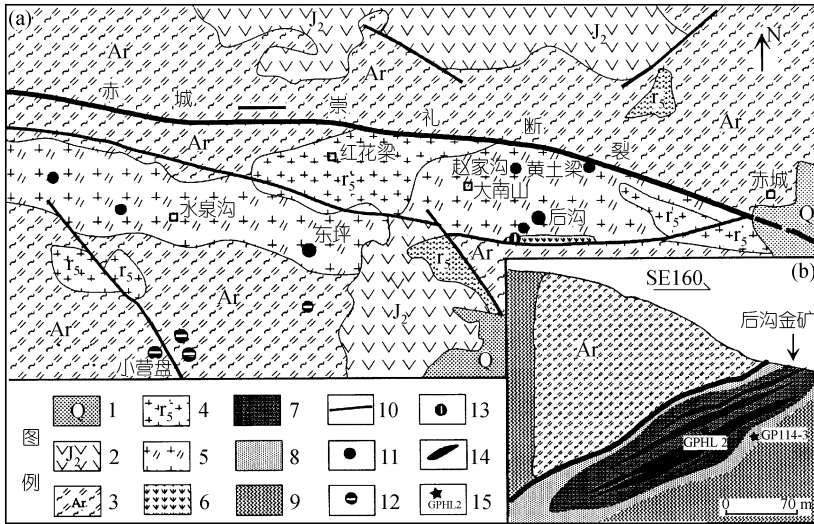


图 1 冀西北地区地质简图(a)及后沟金矿床 3 号线地质剖面 and 采样位置图(b)

1. 第四纪, 2. 侏罗系火山岩, 3. 太古代深变质岩, 4. 燕山期花岗岩, 5. 碱性杂岩, 6. 海西期超基性岩, 7. 强钾化蚀变岩(“钾长石岩”), 8. 钾化蚀变带外带, 9. 碱性细粒花岗岩, 10. 断层构造, 11. 钾化蚀变岩型金矿床, 12. 韧性剪切带石英脉金矿床, 13. 与超碱性岩有关的金矿床, 14. 金矿体, 15. 采样位置与编号

## 2 样品特征

我们选择采于后沟金矿床钾交代作用最强的“钾长石岩”和蚀变较弱的蚀变带边缘的两组

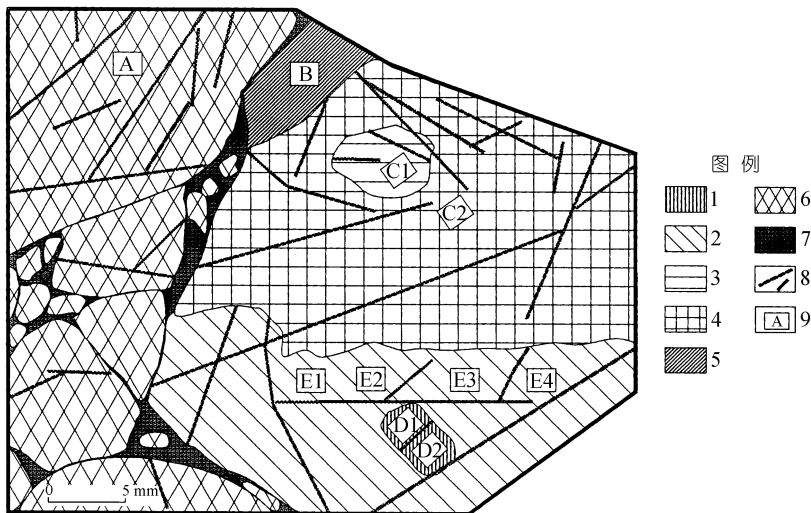


图 2 岩片 GPHL2 显微素描及所选 10 个微区位置

1. 第一世代钾长石, 2. 第二世代钾长石, 3. 第三世代钾长石, 4. 第四世代钾长石, 5. 第五世代钾长石, 6. 时序关系待定的钾长石, 7. 粒间长英质集合体, 8. 粒内微破裂构造, 9. 微区位置及编号

样品进行研究(图 1(b)). 样品采于矿坑 100 多米深的 1240 中段, 岩石新鲜. 第一组样品由 10 个微区(A, B, C1, C2, D1, D2, E1, E2, E3 和 E4)组成, 它们都取自岩片 GPHL2 中的交代成因钾长石(A, B, C1, C2, D 和 E)(图 2). 其中颗粒 B, C1, C2, D 和 E 源于一个钾长石巨斑, 从相互的交切和包容关系可以确定, 他们分属于 5 个世代钾交代的产物, 从老到新依次为 D, E, C1, C2 和 B. 岩片 GPHL2 是后沟地区大量岩石薄片钾交代序次记录最多的一个岩片. 另一组样品由一个微区组成, 取自于钾化蚀变作用较弱岩石中交代成因的钾长石(岩片 GP114-3).

### 3 实验方法与结果

所有微区用铝箔加以包裹, 并置于真空密封的石英瓶中. 真空密封的石英瓶在反应堆的照射过程将起到降低热中子通量的作用. 1999 年 8 月被送到中国原子能科学院 49-2 号反应堆 H8 号仓进行照射. 微区的照射编号为 B4, B5, C2, C3, C4, C5, C6, D1, D2, D3 和 D4. 总照射时间为 52 h 47 min, 所受照射的中子通量为  $6.63 \times 10^{12} \text{ cm}^2/\text{s}$ , 照射参数( $J$ )为  $(0.01160 \pm 0.00005)$ . 通量监测所用标样为房山花岗岩体的黑云母, 其年龄为 131.7 Ma.

照射后的微区被送往北京大学地质系同位素地球化学实验室测试分析. 其先被安置于镍网上, 然后放入一个与真空系统相连的玻璃腔内. 样品在  $160^\circ\text{C}$  下的热背景下烘干达 50 h 以上, 以排除样品从大气中吸附的氩. 系统的真空度为  $1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ . 研究用的激光器为俄罗斯产的钷铝石榴石脉冲激光器, 其激光探针的直径为  $250 \mu\text{m}$ . 为了保证精度, 每个样品都进行了 40 次的激光轰击和测量. 氩是在英国制造的、经改进的 RGA-10 质谱仪上测量的.

测试结果如表 1 所示. 11 个微区的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  表观年龄介于 176.7 Ma 和 202.6 Ma 之间, 测试误差为 0.2 Ma 至 2.6 Ma, 该误差小于测试结果的 2%, 实验测试结果较理想.

表 1 激光探针  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  测年结果<sup>a)</sup>

实验号	微区号	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}(2\sigma)$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 表观年龄/Ma
9901	A	9.1738	0.000478	0.002681	0.01167	$9.0268 \pm 0.074$	$179.7 \pm 1.6$
9902	B	9.5439	0.002275	0.004728	0.01186	$8.8660 \pm 0.028$	$176.7 \pm 0.6$
9903	C1	10.3157	0.002204	0.000714	0.01200	$9.6644 \pm 0.128$	$191.7 \pm 2.6$
9904	C2	10.1021	0.002194	0.001116	0.01212	$9.4538 \pm 0.128$	$187.7 \pm 2.6$
9905	D1	10.6021	0.001731	0.001966	0.01178	$10.0906 \pm 0.108$	$199.7 \pm 2.2$
9906	D2	10.6035	0.001482	0.002456	0.001238	$10.1591 \pm 0.064$	$201.0 \pm 1.3$
9907	E1	10.8019	0.003086	0.002556	0.01229	$9.8842 \pm 0.0304$	$195.8 \pm 0.6$
9908	E2	10.5941	0.002611	0.002839	0.01218	$9.8109 \pm 0.0238$	$194.4 \pm 0.4$
9909	E3	10.4572	0.001840	0.000388	0.01207	$9.9135 \pm 0.086$	$196.4 \pm 1.8$
9910	E4	10.0948	0.000813	0.000903	0.006351	$9.8546 \pm 0.0070$	$195.3 \pm 0.2$
9911	F	10.7872	0.001818	0.008406	0.01232	$10.2448 \pm 0.050$	$202.6 \pm 1.0$

a)表中  $^{40}\text{Ar}^*$  为放射性成因氩

### 4 钾交代年龄与金矿成矿年龄

这些交代成因钾长石微区年龄结果表明后沟金矿床钾交代作用及其伴生的金矿成矿作用发生在 176.7 Ma 至 202.6 Ma 之间. 即, 后沟地区在燕山早期曾发生较大规模的钾交代作用, 并伴生大规模的金矿成矿作用. 这一地质事件是华北地台北缘地区燕山期地质构造和成矿作用时空结构的一部分<sup>[12,13]</sup>.

### 5 钾交代年龄与脉动间隔

上述激光探针 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 微区测年结果(表 1)显示, 同一颗粒同一世代钾长石中不同微区的年龄相近, 略有差异. 这种差异可能与钾长石内部不同微区矿物结晶时序有关. 第一组样品钾长石巨斑内 5 个钾长石颗粒的年龄构成的时序(从老到新依次为 D, E, C1, C2 和 B)与显微结构观察的结果是一致的. 若取同一颗粒不同微区钾长石年龄的平均值作为该颗粒钾长石的形成时间, 则岩片 GPHL2 中 6 个钾长石颗粒(A, B, C1, C2, D 和 E)形成时间的间隔为 3 Ma 到 8 Ma(图 3). 倘若我们暂不考虑 8 Ma 的间隔值, 可以求得另外 4 个年龄间隔的平均值为 4 Ma. 此平均值正好是年龄间隔值 8 Ma 的一半. 这可能意味着 8 Ma 的间隔值包含了 2 个平均间隔时间, 即在颗粒 C2 和 A 形成的中间曾发生一次钾交代事件. 该次钾交代事件没有在岩石薄片 GPHL-2 中留下记录. 第二组样品钾长石 F 微区的年龄值(202.6 Ma)在误差范围内与第一组样品 D 颗粒的年龄相当, 两者形成于同一世代的交代作用. 因此, 4 Ma 的年龄间隔可能是后沟金矿床钾交代的脉动间隔.

如上所述, 岩片 GPHL2 是后沟金矿床钾化蚀变岩中记录钾交代序次最多的一个岩片, 其中所记录的钾交代的时序可以最大程度地反映后沟地区钾交代的史. 据此, 我们可以推断后沟地区大概经历了 6 次钾交代作用, 年龄 201 Ma 或 202.6 Ma 可能代表该地区钾交代的开始时间, 年龄 176.7 Ma 为结束时间.

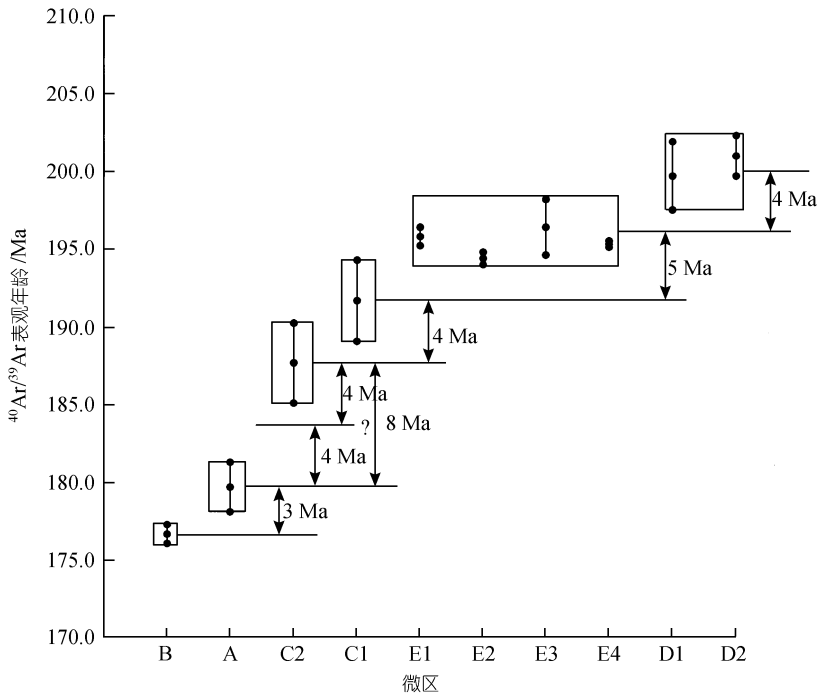


图 3 岩片 GPHL2 中 6 个不同颗粒钾长石平均年龄的间隔

### 6 结论

后沟金矿床钾化蚀变岩中交代成因钾长石的形成时间介于 176.7 Ma 至 202.6 Ma 之间, 钾

交代及其相应的金矿成矿作用发生在燕山早期。后沟地区约经历了 6 次钾交代作用, 脉动间隔为 4 Ma。

**致谢** 在实验过程中得到穆治国和黄宝玲的帮助; 成文过程中得到潘元明, 裴荣富, 王杰, 柴育成和姜能的有益讨论和建议, 在此均表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

1. 王玉荣, 胡受奚. 钾交代蚀变过程中金活化转移实验研究——以华北地台金矿为例. 中国科学, D 辑, 2000, 30(5): 499~508
2. 阎国翰, 牟保磊, 许保良, 等. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr, Nd, Pb 同位素特征及意义. 中国科学, D 辑, 2000, 30(4): 383~387
3. 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与太平洋域构造叠加过程中的地质作用. 中国科学, D 辑, 1997, 27(5): 390~394
4. 李 瑞. 后沟金矿地质地球化学特征及其成矿模式初步探讨. 地质与勘探, 1992, 28(3): 46~50
5. 向树元, 范永香, 印纯清. 河北赤诚“后沟式”金矿床地质特征初步分析. 地质与勘探, 1991, 27(3): 15~20
6. 魏菊英, 苏 琪. 河北东坪金矿区水泉沟岩体的地球化学特征. 地质科学, 1994, 29(3): 257~266
7. 胡达骧, 罗桂玲. 河北张-宣金矿区含金石英脉  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄. 地质科学, 1994, 29(2): 151~158
8. Orville P M. Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases. American Journal of Sciences, 1963, 261: 201~237
9. Laurent R. The origin and kinematic evolution of a metasomatic granite of the Aiguilles Rouges, western Alps. Special Publication of the Geological Society of South Africa, 1973, 3: 499~505
10. 穆治国, 卡尔宾柯 M I. 激光探针  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年系统. 科学通报, 1994, 39(8): 734~737
11. Xu Xing-Wang, Cai Xing-Pin, Zhang Bao-Ling, et al. Microfractures induced by K-metasomatic pumping pressures in the Hougou area, Northwestern Hebei province, China. Tectonophysics (In reviewing).
12. Jin Chengwei. Tectonic framework and main gold mineralizing belts in northern part of China. In: Jin Chengwei ed. Geology of Main Gold Metallogenic Belts in Northern Part of China. Beijing: Seismological Press, 1996. 1~6
13. 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社, 1998. 107~150