

东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据*

袁万明 王世成 王兰芬

(中国科学院高能物理研究所核分析研究室, 北京)

摘要 本文将取自五龙沟地区 3 个金矿体(区)的锆石和磷灰石进行裂变径迹热年代学分析, 实测锆石裂变径迹年龄为 197.4~235.0 万年, 实测磷灰石年龄为 200.5 万年, 磷灰石校正年龄为 244 万年。这与已有的锆石和磷灰石同位素年龄范围 207.1~252.9 万年基本一致, 代表了相应温度时的成矿时代。热历史模拟结果显示, 矿区主要经历了 2 次升温 and 降温过程, 不仅体现了成矿作用的长期性, 而且体现了成矿作用多期次的特征, 各矿体矿石中锆石的裂变径迹年龄相差较大亦是佐证, 并且符合多期次成矿的地质特征。

关键词 裂变径迹热年代学 热历史 成矿时代 金矿床 东昆仑

五龙沟地区属于青藏高原北部的东昆仑山, 区内金矿产丰富, 现已发现多个矿床, 矿点星布, 其类型较多, 并以热液型金矿床最为重要。本文应用裂变径迹热年代学方法研究五龙沟金矿的成矿热历史^[1,2], 对查明金成矿的时代, 研究矿床成因、区域成矿规律以及找矿预测有着重要意义。

1 五龙沟地区金成矿背景

区域上发育 3 条近于南北向深大断裂带, 长度大于 25 km, 宽度 10~100 余米, 处于岩体与地层接触带附近, 构成控制矿田的构造。深大断裂带旁侧次级断裂发育, 形成一系列较密集的北东—北西向断裂破碎带, 一般长 3~5 km 以上, 宽 5~40 m。受区域构造活动的影响, 研究区内断裂构造十分发育, 破碎强烈; 地层出露较少, 主要为新元古代丘吉东沟群和古元古代金水口群变质岩, 并以后者为主; 岩浆活动十分强烈, 岩浆岩出露面积占研究区面积 95% 以上, 以中酸性岩为主。主要岩浆事件有 3 次, 即新元古代青白口纪(前兴凯期)、泥盆纪(华力西期)和三叠纪(印支期)。岩石成因类型有岩浆型和变质型, 其中较晚形成的红石岭钾长花岗岩的锆石同位素年龄为 228.25 万年^[3], 磷灰石同位素年龄为 207.1 ± 31 万年。区内金矿化强而广, 金矿规模较大, 品位较富, 沿构造带集中分布, 主要属构造破碎带蚀变岩型。围岩蚀变主要是硅化和绢云母化, 它们与黄铁矿的复合矿化与金成矿直接关联。现已划分出的含金破碎蚀变带有 13 条, 其中 X 带位于岩金沟北东向脆韧性剪切带中, III 带分布于岩金沟与水闸—红旗沟 2 个剪切带所夹持的北东向断层带内。矿体一般赋存于断裂破

* 中国科学院核物理研究所核分析研究室, 北京

第一作者: 袁万明, 男, 1956 年生, 副教授, 从事裂变径迹与地质应用以及岩石学研究, 邮编: 100080

2 青海省地球物理勘查技术研究院, 1995, 内部资料

碎带的中部偏下部位,沿走向和倾向方向矿化分段富集比较明显,常见尖灭再现、膨大狭缩和分枝复合现象。矿体规模一般较大,产状与断层产状一致,其中萤石沟 红旗沟断裂以北倾向 犖卷,以南倾向 犖义,倾角 50 ~ 70。由于矿体受破碎带控制,所以,矿体围岩与破碎带岩石一致,多为不同时代的岩体和元古宇。矿石中金属矿物以黄铁矿、毒砂和褐铁矿为主,脉石矿物以石英、绢云母、黑云母和斜长石为主。金的主要呈自然金产出,亦有类质同象金存在。金的成矿作用与印支期岩浆活动有关。Ⅲ矿带 2 号矿体中绢云母的 犖特还同位素年龄为 252.9 犖夔 另据钱壮志等^[4]资料,石灰沟Ⅲ矿带矿石 犖特还等时线年龄和方铅矿的 犖同位素模式年龄分别为 197 犖夔和 210 犖夔与成矿作用有关的闪长玢岩全岩 犖特还等时线年龄为 209.09 犖夔

2 采样位置与实验结果

研究样品取自五龙沟Ⅲ矿带 1 号矿体(样号 犖60),Ⅲ矿带 2 号矿体(犖66-3),X 矿带红旗沟矿体(犖11),X 矿带红旗沟眼球状花岗岩体(犖3),基本上代表了矿区的主体部分。每个样品原计划同时进行锆石和磷灰石的裂变径迹分析,但实际分选矿物时,样品中锆石均已选出,而磷灰石没能全部选出,仅 2 个样可用。五龙沟金矿床样品中磷灰石缺乏,除样品量不足外,可能是由于金矿石样品蚀变程度高,原磷灰石已不同程度蚀变消失^[5]之故。

每个样经常规方法尽可能分离出足够测试需要的单矿物。将若干磷灰石颗粒放在聚四氟乙烯板上,滴调配好的环氧树脂,然后烘干固化。对于锆石样则是将若干锆石颗粒放在载玻片上,在电热板上烘烤后用聚四氟乙丙烯塑料盖于其上,加盖载片并冷却。制好的样片抛光为光薄片。磷灰石在恒温 25 ℃的 6.6% 犖犖犖 溶液中蚀刻 30 夔。锆石样蚀刻条件为 8% 犖犖犖 和 11.5% 犖犖犖 在 220 ℃下融化恒温,蚀刻 33 夔。采用外探测器法定年,将低铀白云母贴在光薄片上,与 犖犖犖962 标准铀玻璃一起构成定年组件。样品均置于反应堆内辐照,锆石样和磷灰石样照射的中子注量分别为 1×10^{15} 中子/夔² 和 1×10^{16} 中子/夔²。反应堆照射后将云母外探测器置于 25 ℃的 犖犖酸中蚀刻 35 夔,揭示诱发裂变径迹,在奥林巴斯光学显微镜 15 × 100 倍下测量径迹密度。径迹长度的测量是采用中子径迹法,完全统计矿物内部的封闭径迹长度。

实验结果列于表 1,各样品所测年龄经 χ^2 检验,摩(χ^2)均大于 5%,属于同一年龄组。其年龄计算采用 犖犖犖常数法^[6,7],即:

$$\tau_{\text{样品}} = \frac{1}{\lambda_{\text{衰}}} \ln \left[1 + \lambda_{\text{衰}} \xi \rho_{\text{灰}} (\rho_{\text{灰}} / \rho_{\text{灰}}^{\text{样品}}) \right] \tag{1}$$

式中²³⁸犖衰变常数 $\lambda_{\text{衰}} = 1.55125 \times 10^{-10}$ 夔 几何因子 $\xi = 0.5$; $\rho_{\text{灰}}$ 和 $\rho_{\text{灰}}^{\text{样品}}$ 分别为矿物中自发裂变径迹密度和诱发裂变径迹密度; $\rho_{\text{灰}}$ 为标准铀玻璃的外探测器云母记录的裂变径迹密度。 ξ 常数法年龄误差 $\sigma_{\text{示}}$ 样品用下式求得:

$$\sigma_{\text{样品}} = \tau_{\text{样品}} \left[\frac{1}{\rho_{\text{灰}}} + \frac{1}{\rho_{\text{灰}}^{\text{样品}}} + \frac{1}{\rho_{\text{灰}}^{\text{标准}}} + \left(\frac{\sigma_{\xi}}{\xi} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{2}$$

ξ 为 犖犖犖常数, $\rho_{\text{灰}}$ 为自发径迹数; $\rho_{\text{灰}}^{\text{样品}}$ 为诱发径迹数; $\rho_{\text{灰}}^{\text{标准}}$ 为标准铀玻璃的外探测器白云母记录的径迹数。每次照射后的 $\rho_{\text{灰}}$ 和 $\rho_{\text{灰}}^{\text{标准}}$ 值列于表 1。实验方法是选用国际裂变径迹定年标准化工作组推荐的年龄标准样品^[8],其中磷灰石和锆石各 2 种,用外探测器法定年年龄标

Ⅲ矿带2号矿体的锆石(儀66 3)裂变径迹年龄为 235.0 ± 8.9 年, 磷灰石(儀66 3)裂变径迹年龄为 200.5 ± 7.1 年。五龙沟X矿带红旗沟岩体(儀3)和矿体(儀11)的锆石裂变径迹年龄分别为 223.3 ± 12.7 年和 197.4 ± 18.9 年。五龙沟不同矿区金矿石中锆石和磷灰石的裂变径迹年龄在 $197.4 \sim 235.0$ 年之间, 与前述各种同位素年龄范围相符, 属于印支晚期(晚三叠世)和燕山早期(早侏罗世)。

Ⅲ矿带2号矿体中磷灰石的裂变径迹长度为 $12.0 \pm 2.6 \mu\text{m}$, Ⅲ矿带1号矿体中磷灰石的裂变径迹长度为 $11.2 \pm 2.2 \mu\text{m}$, 二者相近, 而且均较短, 表明磷灰石的裂变径迹已遭较强的退火, 相应的裂变径迹年龄属于表观年龄。因此, 有必要进行年龄校正。依照 [12] 建议的方法, 取标准长度 $L_0 = 14.5 \mu\text{m}$, 样品儀66 3磷灰石裂变径迹校正年龄为 $200.5 / (11.98 / 14.5)$, 即 244 年左右。考虑到这种校正方法导致的误差在 10% 左右, 所以, 该校正年龄实际上与同一样品中的锆石裂变径迹年龄 (235.0 年) 以及Ⅲ矿带2号矿体中绢云母同位素年龄 252.9 年相符, 代表热液为 $300 \sim 350$ °C (锆石裂变径迹和绢云母同位素的封闭温度) 时的成矿时代。由此可见, 五龙沟地区金的成矿作用主要发生在印支期, 而从印支早期到燕山早期均有热液活动。

4 热液金成矿的热历史

磷灰石裂变径迹长度远比标准径迹长度 ($16.3 \mu\text{m}$) 短, 而与之对应的裂变径迹年龄相对较大, 这表明一次较高温热事件后, 磷灰石在退火带温度范围经历时间较长。五龙沟Ⅲ矿带1号矿体(儀60)和2号矿体中磷灰石(儀66 3)裂变径迹长度分布直方图见图 1 和图 2, 平均长度分别为 $12.0 \pm 2.2 \mu\text{m}$ 和 $12.0 \pm 2.6 \mu\text{m}$, 儀66 3 样的年龄为 200.5 ± 7.1 年。应用磷灰石退火模型对 儀66 3 样的模拟结果见图 3, 其中图 3a 为模拟的热史图, 图 3b 为径迹长度分布直方图。径迹模拟长度为 $12.14 \mu\text{m}$, 长度标准差为 $2.66 \mu\text{m}$, 年龄模拟值为 197 年, 长度实测值为 $11.98 \pm 2.57 \mu\text{m}$, 实测年龄为 200.5 年。显然, 模拟值与实测值十分相近, 长度分布特征类似, 所以, 可反映样品所经历的热历史。热历史模拟显示, 约于 250 °C 热事件温度为 300 °C 左右, 之后快速冷却, 最低温度达到 70 °C (230 年), 之后开始升温, 至 190 年时温度达到 90 °C, 然后缓慢冷却, 直到现今地表温度, 其中 145 年时为 70 °C。总体特征是先快速降温, 后降温速率变小, 其间经历较小的升温过程。热演化历史体现如下地质特征:

(1) $300 \sim 70$ °C 的中低温段冷却很快, 冷却速率为 11.5 °C/年, 随后的升温速率仅为 0.5 °C/年, 由 90 °C 冷却到现今地表温度的速率为 0.4 °C/年。快速冷却可能是由于成矿热液体系进入开放系统 (如进入断裂带, 活动断裂伸入热液体系, 矿区地块整体上升等), 诱发温度骤降; 之后当温度升至一定程度时开始冷却, 但冷却速率明显变小的原因, 可能与环境已被加温至一定程度以及深部热液 (源) 的补给等有关。

(2) 本区热液金的低温成矿作用持续时间较长, 在相当长时间内温度既未超过磷灰石裂变径迹的退火带底界温度 120 °C, 又未低于磷灰石裂变径迹退火带上界温度 60 °C, 以致磷灰石一直没有发生全退火, 而是径迹长度缩短, 长径迹形成较少。 235.0 ± 8.9 年的锆石裂变径迹年龄, 亦与模拟热史初始状态 (250 年时为 300 °C) 相符, 说明在 235.0 年之后, 温度未曾超过 300 °C, 否则, 锆石的裂变径迹年龄便会变小, 因为锆石退火带的温度范围约为

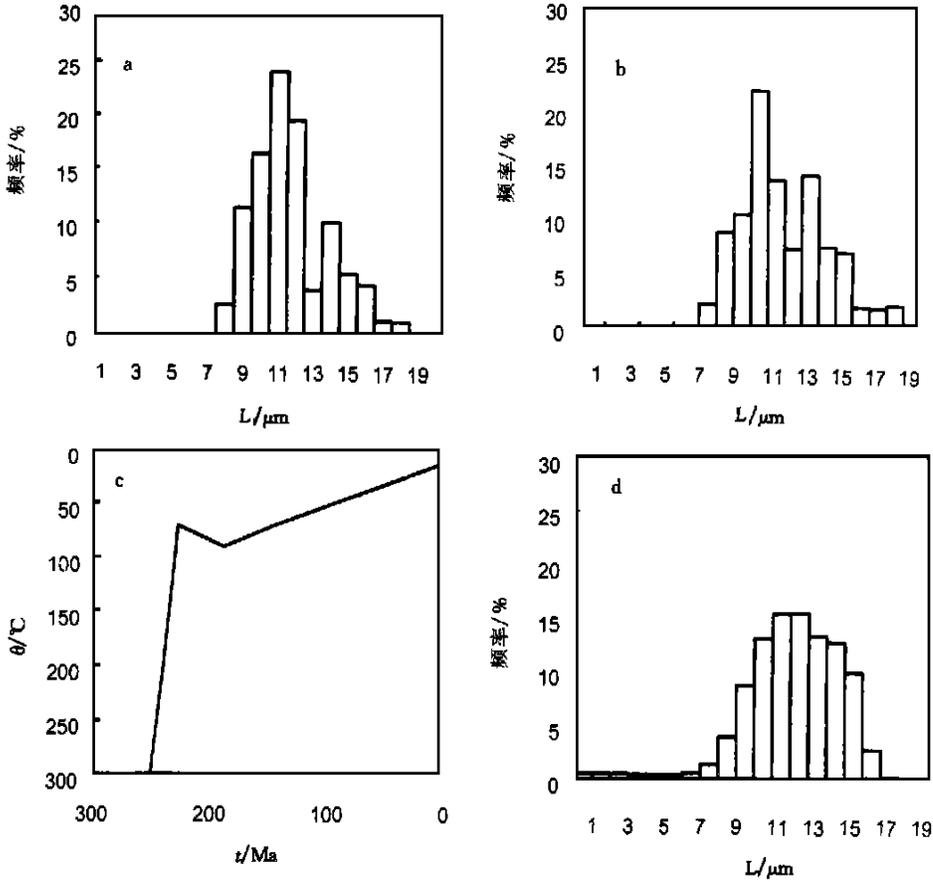


图 1 五龙沟金矿磷灰石裂变径迹实测长度与磷灰石裂变径迹对热历史的模拟

图 1 五龙沟金矿磷灰石裂变径迹实测长度与磷灰石裂变径迹对热历史的模拟

图 1 五龙沟金矿磷灰石裂变径迹实测长度与磷灰石裂变径迹对热历史的模拟

(190 ~ 350) ± 50 °C^[11]。

(3) 成矿作用发生在海西期末晚二叠世,直到燕山早期的中侏罗世仍在进行,其中早侏罗世曾发生一次较为明显的热液活动。

5 成矿的多期次性

五龙沟Ⅲ矿带 1 号矿体 (216.0 捕獲)、Ⅲ矿带 2 号矿体 (200.5 ~ 235.0 捕獲) 和 X 矿带红旗沟矿区 (197.4 ~ 223.3 捕獲), 锆石和磷灰石裂变径迹年龄相差不大, 反映成矿时代比较集中。Ⅲ矿带 2 号矿体锆石和磷灰石的裂变径迹年龄相差 24.5 捕獲, 由于该矿区锆石和磷灰石的封闭温度均与成矿温度相符, 所以, 这无疑是该矿体成矿时限区间的最小值。

然而,同样是锆石裂变径迹年龄,而不同矿体样品年龄却不尽一致。Ⅲ矿带2号矿体的锆石裂变径迹年龄为235.0 Ma,Ⅲ矿带1号矿体的锆石裂变径迹年龄为216.0 Ma,Ⅲ矿带1号矿体锆石年龄比Ⅲ矿带2号矿体锆石年龄小19 Ma,2号矿体中磷灰石的裂变径迹年龄与之相差更大。X矿带红旗沟矿体的锆石裂变径迹年龄分别为197.4 Ma和223.3 Ma,X矿带同一剪切带内红石岭钾长花岗岩岩体的蚀变绢云母铷-锶同位素年龄为207.1 Ma,而绢云母铷-锶同位素与锆石裂变径迹的封闭温度相近,均表明X矿带红旗沟矿体成矿时代比Ⅲ矿带各矿床形成晚。这些特点是该区成矿作用多期次性的体现。本区成矿作用的多期次特征,与成矿构造的多期次一致,具体可分为成矿构造面向北东倾斜(倾向20°~30°和40°~55°)和成矿构造面向北西倾斜(倾向240°~260°和200°~220°)2大类。前者成矿时间较早,后者较晚,而Ⅲ矿带构造面向北东倾,X矿带构造面向北西倾,故X号矿带红旗沟矿床成矿时间较晚。其他地质特征亦表明,五龙沟金矿地区具有多期次的成矿作用,各矿床间普遍存在不同时间的成矿活动,只是相隔时间比较短而已,具备成矿作用多期次性的地质依据^[13]。地质热史模拟表明,矿区冷却速率总体由快变慢,但这期间温度有升降变化,其中第2期成矿作用发生在190 Ma前后,成矿温度为90℃左右,尽管升温速率和升温幅度均较小,却依然显示了多期次成矿作用的存在,只是成矿温度较低,不同期次的成矿作用叠加后,成矿温度总体变化不是很明显而已。由于铷-锶同位素的封闭温度较高,所以,与成矿有关的闪长玢岩的铷-锶同位素年龄209.09 Ma,是此次成矿作用发生时间的另一佐证。正是这种成矿叠加作用,才使得整体成矿时间延长,从而加强了矿化强度。

6 几点认识

(1) 五龙沟各金矿区矿石和蚀变岩石中锆石和磷灰石的裂变径迹年龄,与已有同位素年龄基本一致,反映了金矿床在相应温度时的成矿时代;

(2) Ⅲ矿带2号矿体中磷灰石裂变径迹资料对热历史的模拟结果,结合锆石的裂变径迹资料分析可知,本区自250 Ma以来先后主要经历了2次升温 and 2次降温过程,其中250 Ma和190 Ma时温度约分别升至300℃和90℃,230 Ma和145 Ma时温度均降至70℃左右。总体上是先快速降温,后缓慢降温,这期间经历的升温速率较低;

(3) 同是矿石中的锆石裂变径迹年龄,而不同矿体却相差较大,特别是X矿带红旗沟矿体明显比Ⅲ矿带小。热历史模拟显示,本区曾经历2次升温和降温过程。这些均表明了成矿作用的多期次性,并且与矿区地质特征相符。多期次成矿作用的相互叠加,使得整体成矿时间延长,因而加大了矿化强度;

该文是在第一作者博士学位论文的基础上完成的,在此十分感谢中国地质大学(北京)莫宣学教授、喻学惠教授和罗照华教授的支持和帮助。

参考文献

- 1 王世成,袁万明,王兰芬等. 花海拗陷的演化和生烃期的磷灰石裂变径迹证据. 地球学报, 1999, 20(4): 428-432.
- 2 王世成,康铁笔,王兰芬等. 鄂尔多斯盆地钻井样品的锆石裂变径迹年龄及意义. 地球学报, 18(增刊): 221-223.
- 3 钱壮志,胡正国,刘继庆. 东昆仑北西向韧性剪切带发育的区域构造背景. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 201~

