

青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿年龄及意义*

Metallogenic age of the Kendekeke Co, Bi, Au deposit in East Kunlun Mountains, Qinghai Province, and its significance

赵财胜^{1,2}, 杨富全², 代军治²

(1 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

ZHAO CaiSheng^{1,2}, YANG FuQuan² and DAI JunZhi²

(1 Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

摘要 肯德可克钴铋金矿床为多矿种叠生型矿床, 与辉长岩脉密切相关的矽卡岩化热液成矿期为该矿床的主要成矿期。采用高精度⁴⁰Ar-³⁹Ar中子活化定年法测试辉长岩脉中的斜长石, 得到阶段升温坪年龄(207.8±1.9) Ma, 等时线年龄(211.13±4.46) Ma。这些年龄基本代表了肯德可克钴铋金矿床主成矿期年龄。

关键词 Ar-Ar 年龄; 斜长石; 肯德可克钴铋金矿床; 东昆仑; 青海

肯德可克钴铋金矿床位于东昆仑祁漫塔格早古生代晚期的弧后裂陷槽中, 于20世纪90年代末期由青海有色地质勘査局发现并评价。国内地质同行对其从不同方面做了大量的研究工作, 积累了丰富的地质、物化探资料, 但在矿床成因上仍存在分歧。概括起来主要有矽卡岩型(胡正国等, 1998; 钱壮志等, 2003)和热水沉积成因(高章鉴等, 2001; 潘彤等, 2001)。同时也缺乏可靠的年代学证据。最新研究表明, 肯德可克钴铋金为多矿种、多成因的叠生型矿床, 经历了多期、多阶段矿化作用, 依次为热水喷流-沉积作用期、矽卡岩化热液成矿作用期、中温热液成矿作用期、低温热液活动期及表生氧化作用期(王力等, 2001; 匡俊等, 2002; 孙丰月等, 2003^①; 赵财胜, 2004)。矽卡岩化热液成矿作用期是肯德可克钴铋金矿床形成的主要成矿期。为探讨该矿床主成矿期的形成时代, 本文选取与矽卡岩化热液成矿作用期密切相关的辉长岩中的斜长石进行⁴⁰Ar-³⁹Ar中子活化法年龄测定。

1 地质概况

肯德可克矿床地处柴达木盆地西南缘—塔柴板块的祁漫塔格弧后裂陷槽中部的加里东火山盆地。矿区主要出露有上奥陶统铁石达斯群火山岩, 局部见有上泥盆统火山岩及上石炭统结晶灰岩(图1)。与钴铋金多金属成矿关系密切的为上奥陶统铁石达斯群火山岩。岩层中硅质岩多呈层状, 厚度为数米到200 m, 层面平整, 其中矽卡岩化硅质岩中的矽卡岩, 呈层状、面状产出。矿区及其附近地表和钻孔所及的数百米深处, 未发现大规模侵入岩体, 仅在矿区西部发现小规模辉长岩侵入体(罗世清等, 1985; 孙丰月等, 2003)。斜井和钻孔中零星出露石英斑岩、闪长玢岩和石英二长岩等脉岩, 规模均较小, 其同位素年龄测定为燕山期产物^②。矿体严格受控于线性断裂构造, 整个构造破碎带延长约1 000 m(潘彤等, 2003), 目前已发现沿构造破碎带分布有3条钴铋金矿体, 长60~130 m, 宽约2~6 m, 钴品位为0.023%~0.053%, 铋品位为0.22%~2.74%, 金品位最高可达十数克/吨。同时在井下编录过程中, 新圈出数个铜、钼矿体, 规模不大, 但品位较高。矿体在剖面上呈层状、

*本文得到中国地质调查局国土资源大调查项目(200110200021和200310200012)和国家重大基础研究项目(G1999043211)的联合资助
第一作者简介 赵财胜, 男, 1976年生, 博士, 主要从事热液矿床成矿理论及预测研究。E-mail: zhaocsh@sina.com

①孙丰月, 等. 2003. 新疆-青海东昆仑成矿规律和找矿方向综合研究. 科研报告. 120~132.

②青海省地质局第一地质队. 1982. 青海省格尔木市肯德可克铁矿详查地质报告. 科研报告. 1~30.

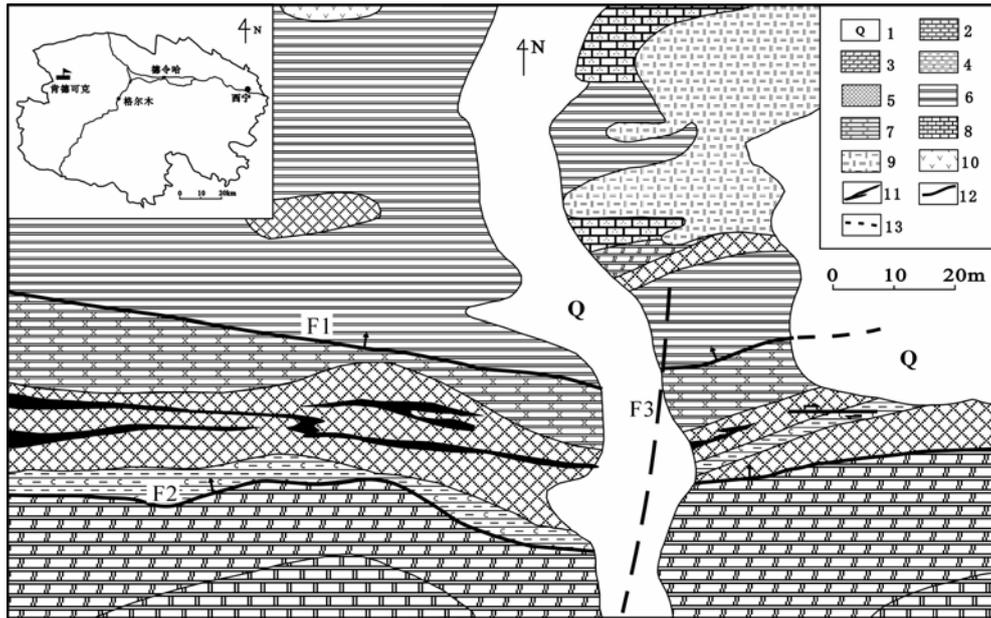


图1 肯德可克钴铌金矿床矿区地质简图(据潘彤等, 2003及实测资料修编)

1—第四系冲积物、洪积物; 2—大理岩; 3—白云质大理岩; 4—含碳钙质板岩; 5—砂卡岩; 6—硅质岩; 7—砂卡岩化硅质岩; 8—硅化灰岩;
9—英安质凝灰熔岩; 10—安山岩; 11—矿体; 12—断裂; 13—推测断层

似层状, 沿构造破碎带分布。地表受构造控制产出明显, 沿构造裂隙分布的矿体呈脉状, 多数切穿岩层, 具有后期热液改造的显著特征; 平面上矿体具膨大收缩、尖灭再现的特征, 水平方向呈弧形。矿体总体产状随地层产状变化而变化, 一般北倾, 倾角较陡, 约为 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

笔者认为矿区内广泛的砂卡岩化与辉长岩体的侵入密切相关。同时, 罗世清等(1985)也认为肯德可克矿区的砂卡岩与中基性岩浆岩有关。本次年龄测试的斜长石样品采自肯德可克矿区西部的辉长岩侵入体。辉长岩为矿区内主要的基性侵入岩, 岩体展布受北西-南东向断裂构造控制, 呈长条状, 面积约 12 km^2 。辉长岩为深灰色, 呈堆晶结构, 块状构造, 样品较新鲜, 未见明显的变质和蚀变。矿物成分: 斜长石(50%~68%), 辉石(25%~43%)。

2 样品制备及测试

单矿物挑选由廊坊区调队单矿物分离室完成, 测试工作在中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 法定年实验室完成。选取纯斜长石(纯度大于 99%)用超声波清洗。先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次, 每次 3 min。接着在丙酮或酒精中清洗 2 次, 每次 3 min。要特别注意每次超声波作用的时间不要超过 3 min, 否则过长时间的超声波作用会破坏矿物晶格导致放射性成因 ^{40}Ar 逸出。清洗后的样品放在 80°C 的烘箱内 12 h, 烘去样品表面吸附水分。把样品包入铝箔中, 和标样一同封入石英瓶中并封口。然后, 装在铝筒里送核反应堆接受中子照射。照射是在中国原子能科学研究院“游泳池堆”H8 孔道中进行的, 其中子流密度为 $6\times 10^{12}\text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$, 照射总时间为 60 h, 积分通量为 $(1\sim 2)\times 10^{18}\text{ n/cm}^2$ 。斜长石样品的重量为 120.00 mg, 照射参数 J 为 0.002171。同期接受中子照射的用作监控样的标准样为北京房山的 ZBH-25 黑云母国内标样, 相关标准参数值为: $K=(7.597\pm 0.030)\%$, $^{40}\text{Ar}^*=1.824\times 10^{-9}\text{ mol/g}$, 其标准年龄为 $(132.7\pm 1.2)\text{ Ma}$ 。 J 值计算中的 $\lambda\cdot t_s=5.543\times 10^{-10}\times 132.7\times 10^6=0.07356$ 。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 质谱分析是在英国 VG 公司生产的 MM-1200B 质谱计上进行的。所有的数据都经过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正、K, Ca, Cl 干扰元素校正及 ^{37}Ar 放射性衰变校正。中子照射过程所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得, 其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}}=0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}}=0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}}=0.000806$ 。 ^{40}K 衰变常数 $\lambda=5.543\times 10^{-10}\text{ a}^{-1}$, 年龄误差以 2σ 给出。详细试验流程及校正参数等见陈文等(2002a;

2002b; 1994) 的文章。测试结果列于表 1 和示于图 2。

表 1 斜长石 KK04-B3 样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温测年结果

阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	t/Ma	^{39}Ar 积累/%
1	500	71.55180	0.12010	0.56150	36.10540	77.48	136.1±1.4	10.41
2	600	59.21310	0.08230	2.37090	35.13570	78.78	132.6±1.3	21.00
3	700	79.53440	0.08010	1.30800	56.02270	85.26	207.1±5.6	32.45
4	800	67.41230	0.03680	0.72810	56.62190	164.13	209.1±2.0	54.51
5	900	66.03880	0.03480	0.85980	55.85380	101.51	206.5±5.0	68.15
6	1000	65.98130	0.03930	1.23110	54.49570	90.63	201.7±4.9	80.33
7	1100	38.10040	0.04140	1.00580	25.95000	123.66	98.9±2.0	96.94
8	1200	61.56980	0.13380	5.15460	22.48540	22.76	86.0±3.1	100.00

$m=120.00\text{ mg}$, 照射参数 $J=0.002171$, $^{40}\text{Ar}^*$ 为放射成因 Ar; 测试单位: 中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 法定年实验室; 测试人: 张思红, 任宝路; 测试仪器: MM-1200B 质谱计; $\lambda=5.543\times 10^{-10}\text{ a}^{-1}$ 。

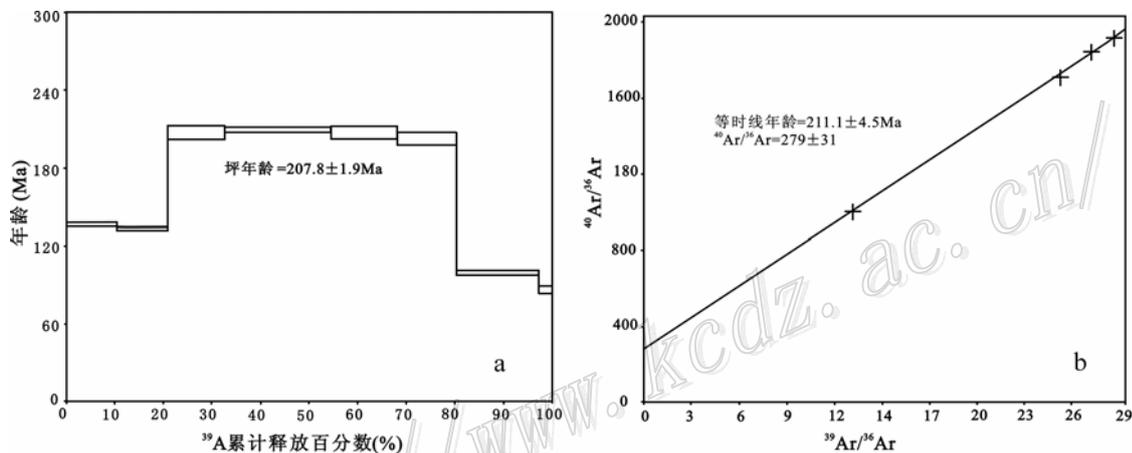


图 2 斜长石的 Ar-Ar 坪年龄 (a) 及等时线年龄 (b)

3 结果

对 KK04-B3 斜长石样品从低温 (500 $^\circ\text{C}$) 到高温 (1200 $^\circ\text{C}$), 按 100 $^\circ\text{C}$ 的温度间隔, 分 8 个加热阶段熔样, 获得一个受扰动的年龄谱, 总气体年龄为 169.8 Ma。阶段性年龄变化于 (86.0±3.1) Ma 和 (209.1±2.0) Ma 之间 (表 1), 其中 4 个中温 (700~1000 $^\circ\text{C}$) 阶段的视年龄接近, 构成了一段平坦的年龄坪 (图 2a), 坪年龄为 (207.8±1.9) Ma, 对应 ^{39}Ar 析出量约为 60%。对组成坪年龄的 4 个视年龄, 采用 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 进行等时线处理, 得到一条拟合得很好的等时线 (图 2b), 计算得到等时线年龄为 (211.1±4.5) Ma (MSWD=0.60), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 的初始值为 279±31, 略小于尼尔值 (295.5)。坪年龄与等时线年龄在误差范围内一致, 相差不超过 5 Ma, 说明此坪年龄数据可靠且有地质意义。211.1~207.8 Ma 的年龄值可解释为斜长石的形成年龄, 即岩浆冷却穿过斜长石氩同位素封闭温度 (270~170 $^\circ\text{C}$) 的年龄。

500 $^\circ\text{C}$ 至 600 $^\circ\text{C}$ 的 2 个低温阶段视年龄值较小, 分别为 136.1 Ma 和 132.6 Ma, 对应 ^{39}Ar 析出量为 21%。这组数据表明在早白垩世的 132.6~136.1 Ma 之间斜长石的氩同位素体系受到一次强构造热事件 (可能为燕山运动) 的影响, 导致斜长石氩同位素体系部分开放, 引起部分放射成因 Ar 的丢失。第 7 个加热阶段 (1100 $^\circ\text{C}$) 视年龄值较小, 为 98.9 Ma, 对应 ^{39}Ar 析出量约为 16.6%, 同样为 Ar 丢失, 这次的构造热事件应该为上次构造热事件的延续。总之, 500 $^\circ\text{C}$ 、600 $^\circ\text{C}$ 及 1100 $^\circ\text{C}$ 阶段加热多对应的这 3 组视年龄数据均具有地质意义, 但在本研究不具有定年意义。

第 8 高温加热阶段 (1200 $^\circ\text{C}$) 的视年龄值为 86.0 Ma, 对应 ^{39}Ar 累积释放量约为 3%。从表 1 中明显可以看出, 第 8 阶

段的 $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 值远大于其他阶段的 $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, 说明斜长石的矿物相已发生改变, 氩同位素体系有别于其他温度阶段的同位素体系, 具体原因不详, 无地质意义。

4 讨论与结论

依据本次斜长石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 中子活化法测年结果, 可确定肯德可克钴铋金矿床的主成矿年龄为 207.8 Ma 左右, 应属中生代晚三叠世, 即印支晚期。张德全等 (2001)^① 曾测得肯德可克钙矽卡岩中金云母的 K-Ar 年龄为 214 Ma, 虽然其测定方法的精确度不高, 但仍然具有一定的参考价值, 可以互为印证。已有的年代学证据表明, 印支期为东昆仑重要的成矿期 (孙丰月, 2003^②; 赵财胜, 2004)。

加里东期, 原特提斯洋洋壳开始自南向北向柴达木地块南缘俯冲, 使得原本稳定统一的柴达木地块发生南北向分化。祁漫塔格地区从早古生代晚期开始就处于拉张裂解环境的弧后盆地裂陷槽, 其间发生的热液沉积成矿作用相对洋壳环境较弱, 但热水沉积形成了有利的矿源层。该裂陷槽在早古生代闭合造山后, 经历了海西、印支、燕山期构造-岩浆作用的叠加, 为该区形成多矿种、多矿床类型叠生或共存提供了有利的动力学背景条件, 使该区从热水沉积成矿作用到各类热液成矿作用均可发生, 产出有肯德可克叠生型钴铋金矿床、杂林格矽卡岩型铜矿、野马泉矽卡岩型铜金矿以及沙柳河热液脉型多金属矿床等。肯德可克钴铋金矿床主成矿时代的确定, 无疑会给祁漫塔格地区金属矿床成因及成矿机理带来新的启迪。

前已述及, 肯德可克为多矿种、多成因的叠生型矿床, 经历了多期多阶段矿化作用。奥陶纪热水喷流沉积作用带来了 Co、Bi、Au、Cu、Pb、Zn 等成矿元素, 并使其初步预富集。同时, 在盆地内沉积富含 Co、Bi、Au 等成矿元素的硅质岩和沉积碎屑岩, 为后期热液改造成矿提供物质基础; 印支晚期矽卡岩化热液成矿期为该矿区 Co、Bi、Au 等最主要的成矿期, 形成大量的矿石矿物和非金属矽卡岩矿物 (王力等, 2003), 此次成矿作用发生在 207.8 Ma。该区经历了加里东期区域构造变形之后, 深部岩浆活动 (基性辉长岩侵入体) 提供热源, 促使深部热液沿构造裂隙发生运移, 导致硅质岩与含碳钙质板岩之间发生 Si、Ca 双交代, 形成矽卡岩化 (孙丰月等, 2003^②), 同时带动了成矿物质运移, 沿构造带在破碎的矽卡岩内矿化并富集成矿。该矽卡岩既非传统意义的矽卡岩, 也非高章鉴等 (2001) 认为的热水沉积层矽卡岩 (孙丰月等, 2003^②; 赵财胜, 2004); 燕山期中温热液铜钼矿化作用期, 该期矿化规模较小, 仅在弱矽卡岩化的硅质岩内发生, 形成的矿脉穿切矽卡岩化小裂隙, 明显晚于矽卡岩化; 更晚期低温热液萤石矿化, 与矿区东部正长斑岩侵入体关系密切, 并沿 F2 断裂两侧发生萤石矿化; 表生氧化期主要形成钴华、镍华、褐铁矿和孔雀石等表生氧化矿物。

参 考 文 献

- 陈文, 罗修泉, 郑宝英, 等. 1994. 激光显微探针 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年方法研究[J]. 地球学报, (1-2): 197-205.
- 陈文, 郭彦如, 崔彬, 等. 2002a. 东昆仑西大滩岩系变质和变形事件的同位素年代学研究[J]. 地质论评, 48(增刊): 103-109.
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002b. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. 地质论评, 48(增刊): 127-134.
- 高章鉴, 罗才让, 井继锋. 2001. 青海省肯德可克金矿热液沉积矽卡岩特征及成矿意义[J]. 西北地质, 34(2): 50-53.
- 胡正国, 刘继庆, 钱壮志, 等. 1998. 东昆仑区域成矿规律初步研究[J]. 黄金科学技术, 6(5-6): 6-13.
- 匡俊, 孙丰月, 陈国华, 等. 2003. 青海肯德可克钴铋金矿床地质特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 33(增刊): 47-52.
- 罗世清, 赵寅芳, 高应华. 1985. 青海肯德可克矿床金属矿物的标型特征及矿床成因类型的探讨[J]. 岩石矿物及测试, 4(1): 39-44.
- 潘彤, 马梅生, 康祥瑞. 2001. 东昆仑肯德可克及外围钴多金属矿找矿突破的启示[J]. 中国地质, 28(2): 17-21.
- 潘彤, 孙丰月. 2003. 青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 39(1): 18-22.
- 钱壮志, 汤中立, 李文渊, 等. 2003. 秦祁昆成矿域古生代区域成矿规律[J]. 西北地质, 36(1): 34-40.
- 王力, 孙丰月, 陈国华, 等. 2003. 青海东昆仑肯德可克金-有色金属矿床矿物特征研究[J]. 世界地质, 22(1): 50-56.
- 赵财胜. 2004. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用 (博士论文) [D]. 导师: 孙丰月. 长春: 吉林大学. 73-93.

①张德全. 2001. 柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景对比研究. 科研报告. 118-119.

②孙丰月, 等. 2003. 新疆-青海东昆仑成矿规律和找矿方向综合研究. 科研报告. 103-104.