

文章编号: 1000-6524(2004)01-0012-07

# 新疆巴音布鲁克乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义

王志良<sup>1,2</sup>, 毛景文<sup>1,2</sup>, 杨建民<sup>1</sup>, 韩春明<sup>3</sup>, 陈文<sup>4</sup>, 张作衡<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学, 北京 100083;

3. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100039; 4. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 采用单矿物 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学方法, 对乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石进行精确的年龄测定, 获得坪年龄为  $274.78 \pm 0.44$  Ma, 等时线年龄为  $272.7 \pm 3.0$  Ma。鉴于该钾长花岗岩体形成之后未见构造变形和热液蚀变现象, 因此 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄代表钾长花岗岩中钾长石结晶年龄, 即钾长花岗岩体的结晶晚期年龄。根据钾长花岗岩体和乔霍特铜矿体的空间关系、铜矿石的品位变化、钾长花岗岩和铜矿石的稀土元素特征及铜矿石流体包裹体氢氧同位素组成等, 认为乔霍特铜矿床的成矿作用直接与钾长花岗岩的侵入活动有关, 钾长花岗岩中钾长石结晶年龄基本上代表乔霍特铜矿床成矿时代的下限。

**关键词:**  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄; 地质意义; 钾长花岗岩; 乔霍特铜矿; 巴音布鲁克; 新疆

中图分类号: P578.968

文献标识码: A

## $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ isotope dating of K\_feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit, Xinjiang, and its geological implication

WANG Zhi\_liang<sup>1,2</sup>, MAO Jing\_wen<sup>1,2</sup>, YANG Jian\_min<sup>1</sup>, HAN Chun\_ming<sup>3</sup>, CHEN Wen<sup>4</sup>  
and ZHANG Zuo\_heng<sup>1</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Institute of High\_Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Using the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotopic chronological method to analyze K\_feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit, the authors obtained a plateau age of  $274.78 \pm 0.44$  Ma and an isochron age of  $272.7 \pm 3.0$  Ma. As there existed no tectonic deformation and hydrothermal alteration in the moyite intrusive body after its rock-forming stage, the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotopic age should represent the crystallization age of the K\_feldspar in moyite, i. e. the late crystallization age of the moyite intrusive body. Based on such factors as the spatial relationship between the moyite intrusive and the Qiaohuote copper orebodies, the variations of copper ore grade, the REE characteristics of the moyite and the copper orebody, and the H and O isotopic composition of fluid inclusions in the copper ores, it is held that the ore-forming process of the Qiaohuote copper deposit was related directly to the intrusive activity of the moyite, and therefore the crystallization age of the K\_feldspar in moyite should approximately represent the lower limit of the metallogenic epoch of the Qiaohuote copper deposit.

**Key words:**  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age; geological implication; moyite; Qiaohuote copper deposit; Bayinbuluke; Xinjiang

收稿日期: 2003-07-29; 修订日期: 2003-11-20

基金项目: 国土资源大调查资助项目(200310200001\_3, DKD2001027\_2); 国家重点基础研究资助项目(G1999043216)

作者简介: 王志良(1964-), 男, 博士, 副研究员, 现主要从事矿床地质研究工作。

乔霍特铜矿床位于新疆和静县巴音布鲁克镇东50 km, 该矿床于1958年1:100万区调工作时被发现, 后经新疆地质局第三地质大队用槽探揭露进行评价。90年代以后, 当地农民陆续开展小规模地表和浅部开采。1996年国家305项目96\_915\_04\_03专课组和新疆鑫汇地质矿业公司进一步对该矿床进行了评价和勘探, 求得金属铜储量为33.7万吨, 为一中型以上的热液型铜矿床。1971年新疆地质局<sup>①</sup>对乔霍特地区的区域地质构造、火山岩和侵入岩的地球化学特征进行了初步研究, 把乔霍特铜矿区的岩株状钾长花岗岩体的侵入时代确定为晚泥盆世。蔡宏渊等<sup>②</sup>对乔霍特铜矿床的成矿地质背景、矿区火山岩和侵入岩地球化学、矿床地质特征等进行了研究, 采用K-Ar法确定此岩株状钾长花岗岩体的年龄为 $318.29 \pm 5.13 \text{ Ma}$ , 但认为由于K-Ar法的局限性和样品的原因, 此年龄值可能偏低, 应归为晚泥盆世。这表明乔霍特铜矿区岩株状钾长花岗岩体的时代至今仍缺乏直接而精确的年龄证据。该岩株状钾长花岗岩的侵入时代对于认识区域构造-岩浆演化、开展区域矿产预测和找矿勘探具有指导意义, 故笔者采用精确的单矿物 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 测年方法对其中钾长石进行定年。

## 1 区域地质概况

巴音布鲁克地区位于中天山和南天山的构造结合带(中天山南缘断裂)(张良臣等, 1985; 王作勋等, 1990; 肖序常等, 1992; 车自成等, 1995; 高俊等, 1995, 1997; 吴世敏等, 1995, 1996; 李向东等, 1996; 何国琦等, 2001; 徐学义等, 2003)(图1)。张良臣等(1985)和高俊等(1995, 1997)认为这一构造结合带是塔里木板块和伊犁中天山板块的碰撞缝合带。区域内断裂构造发育, 以NEE向和EW向为主。出露地层主要为古元古代那拉提群片岩、片麻岩、千枚岩、大理岩和混合岩, 晚志留世巴音布鲁克组安山质火山岩、砂砾岩和灰岩, 中泥盆世萨阿尔明组灰岩和大理岩, 早石炭世牙满苏组中基性火山岩、灰岩和砂砾岩, 早石炭世野沟组粉砂岩、砂岩和灰岩, 侏罗纪砂砾岩夹煤层及第四纪沉积物。区内侵入岩分布广泛, 主要呈近东西向分布, 以岩基和岩株状产出为

主, 岩石类型为中酸性岩, 主要为钾长花岗岩和闪长岩, 这些侵入岩的时代曾被认为是晚泥盆世<sup>①②</sup>。

## 2 矿床地质概况

乔霍特铜矿床位于伊犁中天山板块和塔里木板块的碰撞对接带北侧, 矿区内发育了规模不等的NEE-EW和NNW向的次级脆-脆性和脆性断裂, 控制着铜矿体分布。出露地层主要为晚志留世巴音布鲁克组安山质火山岩、砂砾岩、灰岩和第四纪松散沉积物。乔霍特铜矿床的含矿主岩为晚志留世巴音布鲁克组安山岩、安山玢岩、玄武安山岩和少量角砾熔岩, 这套安山质火山岩的含铜丰度为 $46 \times 10^{-6} \sim 62 \times 10^{-6}$ , 为铜矿床的矿源层<sup>②</sup>。在东西长12 km、南北宽2 km的范围内均有铜矿体分布, 矿体一般长500 m左右, 地表出露宽10 m左右, 厚度25 m左右, 个别矿体的视厚度可达40 m(图2)。矿体呈EW、NEE和NNW向产出, 倾向北, 倾角 $60^\circ$ 左右(图2), 矿体形态以脉状为主, 有分枝复合现象, 规模较大的矿体多为中间膨大的透镜体。铜矿石品位一般为0.88%~3.51%, 富矿石可达15%左右。

矿区南侧20~50 m有一呈EW分布的岩株状钾长花岗岩体, 长25 km, 宽2~3 km, 面积约60 km<sup>2</sup>, 其北端直接侵入到巴音布鲁克组安山质火山岩中, 在岩体顶部和岩体中分别出现火山岩的剥蚀残留体和捕虏体, 在岩体与火山岩的接触带常见同化混染现象。岩体没有明显的岩相分带, 呈肉红-砖红色, 中-粗粒花岗结构, 块状构造, 主要由钾长石(40%~50%)、石英(25%~30%)、斜长石(10%~15%)和黑云母(5%~10%)组成, 副矿物为锆石、磷灰石和磁铁矿等。黑云母呈自形片状, 一组解理发育; 斜长石呈自形-半自形柱状; 钾长石呈半自形板状, 可见交代斜长石现象; 石英呈他形, 有交代钾长石现象。按照矿物之间的相互关系, 主要矿物的结晶顺序为: 黑云母→斜长石→钾长石→石英。

富矿石多产在矿区南部, 靠近钾长花岗岩体, 远离钾长花岗岩体矿石品位越来越低。根据钻孔采样分析数据, 从浅部向深部, 铜矿石品位有变富的趋势。矿石中金属矿物种类较多, 主要有黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿、镜铁矿、斑铜矿、赤铁矿、蓝铜矿、褐铁矿

① 新疆地质局. 1971. 中华人民共和国区域地质矿产报告——巴音布鲁克幅(1/20万)(地质部分和矿产部分).

② 蔡宏渊等. 2000. 南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家“305”项目96\_915\_04\_03\_03专题报告.

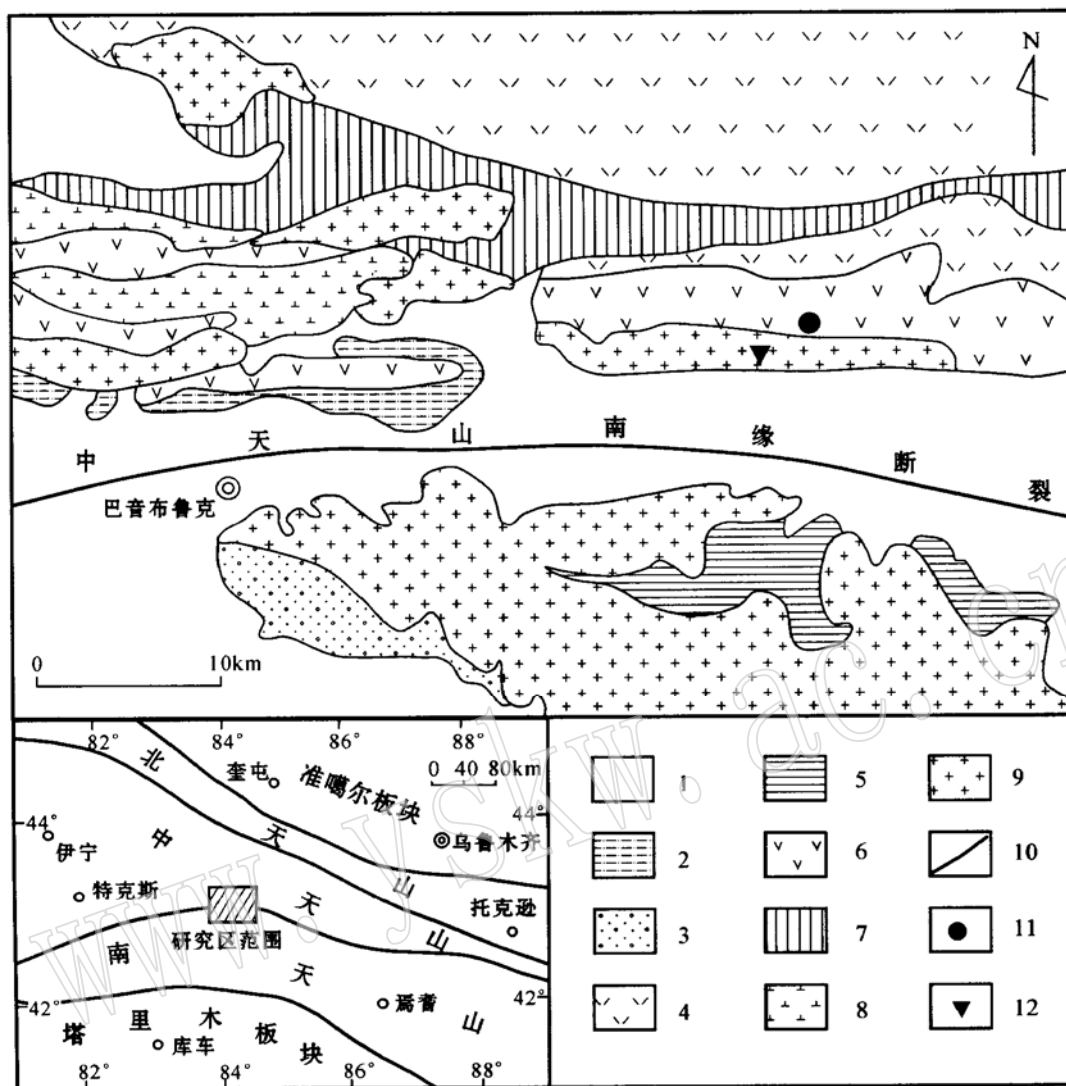


图1 巴音布鲁克地区区域地质简图(据新疆地质局<sup>①</sup>资料改编)

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Bayinbuluke area in Xinjiang (modified from Xinjiang Bureau of Geology<sup>①</sup>)

1—第四纪沉积物; 2—侏罗纪砂砾岩夹煤层; 3—早石炭世野云沟组粉砂岩、砂岩和灰岩; 4—早石炭世牙满苏组中基性火山岩、灰岩和砂砾岩; 5—中泥盆世萨阿尔明组灰岩和大理岩; 6—晚志留世巴音布鲁克组安山质火山岩、砂砾岩和灰岩; 7—古元古代那拉提群片岩、片麻岩、千枚岩、大理岩和混合岩; 8—闪长岩; 9—钾长花岗岩; 10—大断裂(碰撞带); 11—乔霍特铜矿床; 12—采样位置

1—Quaternary sediments; 2—Jurassic sandstone, conglomerate and coal seam; 3—Early Carboniferous Yeyungou Formation: siltstone, sandstone and limestone; 4—Early Carboniferous Yamansu Formation: intermediate-basic volcanic rock, limestone, sandstone and conglomerate; 5—Middle Devonian Saaerming Formation: limestone and marble; 6—Late Silurian Bayinbuluke Formation: andesitic volcanic rock, sandstone, conglomerate and limestone; 7—Early Proterozoic Nalati Group: schist, gneiss, phyllite, marble and migmatite; 8—diiorite; 9—moyite; 10—large fault (collision belt); 11—Qiaohuote copper deposit; 12—sampling location

和孔雀石, 脉石矿物主要有石英、方解石、重晶石、绢云母、绿泥石和绿帘石等。矿石为他形粒状结构、半自形粒状结构、残余结构、交代结构和熔蚀结构, 细脉状构造、细脉浸染状构造、条带状构造、团块状构

造和角砾状构造。成矿作用可分为2个阶段, 即富硫化物-绿帘石-石英阶段(早期成矿阶段)和含硫化物石英方解石阶段(晚期成矿阶段)。早期成矿阶段的矿化较强, 矿体赋存在安山质火山岩的断裂破碎

① 新疆地质局. 1971. 中华人民共和国区域地质矿产报告——巴音布鲁克幅(1/20万)(地质部分和矿产部分).

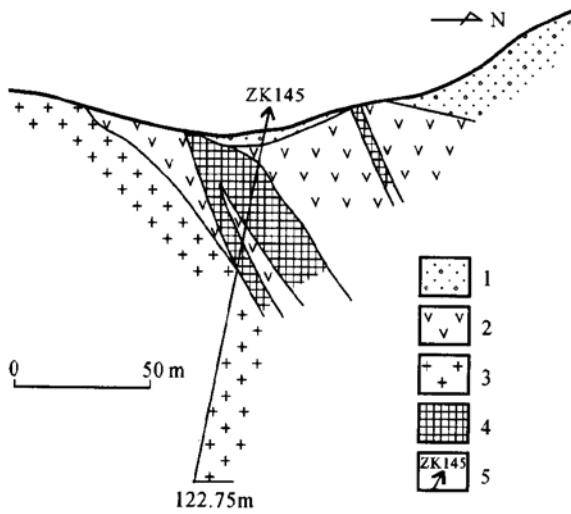


图 2 乔霍特铜矿床 14 勘探线剖面图(据蔡宏渊等<sup>①</sup>)  
 Fig. 2 Geological section along No. 14 exploration line of the Qiaohuote copper deposit (after Cai Hongyuan *et al.*<sup>①</sup>)  
 1—第四纪沉积物; 2—晚志留世巴音布鲁克组安山质火山岩;  
 3—钾长花岗岩; 4—铜矿体; 5—钻孔及编号  
 1—Quaternary sediments; 2—Late Silurian Bayinbuluke Formation andesitic volcanic rock; 3—moyite; 4—copper orebody;  
 5—drill hole and its serial number

带中, 蚀变在断裂破碎带中呈线形分布, 蚀变主要以绿帘石化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化和绢云母化为特征, 其中绿帘石化、硅化和碳酸盐化与矿化关系密切, 铜矿物呈浸染状、细脉状和团块状赋存在石英碳酸盐绿帘石脉中。晚期成矿阶段的矿化作用发生在安山质火山岩与碳酸盐岩(灰岩)的接触破碎带中, 蚀变主要以绿泥石化、碳酸盐化和硅化为特征, 铜矿物呈细脉浸染状赋存在石英碳酸盐绿帘石脉中。

### 3 样品和测试方法

用于 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素测年的钾长石样品采自乔霍特铜矿区的岩株状钾长花岗岩体(图 1)。将钾长花岗岩全岩粉碎、过筛和淘洗, 然后在双目镜下挑选钾长石单矿物(纯度 $> 99\%$ ), 用超声波清洗, 再用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次, 每次 3 min, 在此过程中矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除; 然后在丙酮中清洗两次, 每次 3 min, 在此过程中, 矿物表面吸附的油污等有机物质被清除。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应接受中子辐射。辐射是在中国原

子能科学研究所的“游泳池核”中进行的, 使用 H8 孔道, 其中子流密度为  $6 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 辐射总时间为 3 540 min, 积分中子通量为  $1.3 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。同期接受中子辐射的还有用作监控样的标准样(ZBH\_25 黑云母), 其标准年龄为 132.7 Ma(王松山等, 1985), K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 每一个阶段加热 30 min, 净化 30 min。质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的, 每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子辐射过程所产生的干扰同位素校正系数通过分析辐射过的  $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  来获得, 其值为:  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 $^{37}\text{Ar}$  经过放射性衰变校正,  $^{40}\text{K}$  衰变常数  $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ , 年龄误差以  $1\sigma$  给出。

### 4 测试结果

乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石的阶段加热升温氩同位素测年结果见表 1。从  $400^\circ\text{C}$  到  $1300^\circ\text{C}$ , 共对钾长石进行了 10 个阶段的分步加热。10 个视年龄组成了一个微受扰动的年龄谱(图 3), 从  $700^\circ\text{C}$  到  $1200^\circ\text{C}$  的 6 个加热阶段的视年龄组成了一个平坦的年龄坪, 坪年龄为  $274.78 \pm 0.44 \text{ Ma}$ , 对应了 81.75% 的  $^{39}\text{Ar}$  累积释放量。组成年龄坪的各点构成一条线性关系良好的  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线, 等时线年龄为  $272.7 \pm 3.0 \text{ Ma}$ (图 4), 在误差范围内与坪年龄一致。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  的初始比值为  $304.5 \pm 6.2$  ( $\text{MSWD} = 0.093$ ), 在误差范围内接近于现代大气氩比值 295.5(Nier, 1950)。以上事实表明, 所测试的钾长石样品中不含过剩氩,  $274.78 \text{ Ma}$  的坪年龄是有地质意义的。

### 5 讨论与结论

单矿物 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素年龄记录的是被测试矿物的冷却年龄, 可能是矿物的结晶年龄, 也可能是使矿物改造后 $^{40}\text{Ar}^*$  重新积累的后期热事件的年龄(王义天等, 2001)。在图 3 中, 低温区( $400^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ ) 出现一些氩同位素组成变化, 表明钾长石矿物颗粒

① 蔡宏渊等. 2000. 南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家“305”项目 96\_915\_04\_03\_03 专题报告.

表 1 乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄分析结果Table 1  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  incremental heating analytical data of K\_feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit

加热阶段	温度/℃	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	$^{39}\text{Ar}$ 累积/%	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	视年龄/Ma
1	400	50.579 7	0.138 2	0.307 6	9.743 1	34.50	3.65	2.34	176.0±21.0
2	500	26.943 0	0.048 2	1.217 2	12.797 9	57.90	9.70	5.10	227.7±7.6
3	600	24.722 5	0.039 3	2.973 1	13.348 6	56.75	15.64	5.22	236.9±6.5
4	700	23.088 4	0.025 3	0.859 7	15.685 1	80.30	23.98	8.62	275.3±4.7
5	800	20.879 6	0.017 3	0.181 0	15.763 2	99.14	34.31	10.72	276.6±3.9
6	900	19.945 9	0.014 2	0.150 2	15.766 5	110.80	45.88	12.02	276.6±3.6
7	1000	17.813 4	0.007 7	0.112 2	15.536 3	130.80	59.54	13.98	272.9±3.0
8	1100	18.613 7	0.010 2	0.060 8	15.609 0	284.20	89.16	30.44	274.1±3.2
9	1200	22.215 2	0.022 3	0.049 8	15.631 3	79.00	97.39	8.48	274.4±6.1
10	1300	40.841 7	0.077 3	0.535 5	18.024 3	27.90	100.00	3.09	313.0±19.0

测试单位: 中国地质科学院地质研究所同位素实验室; m 表示实测比值;  $^{40}\text{Ar}^*$  为放射成因同位素; 样品质量 65.05 mg; 辐射参数  $J=0.010511$ 。

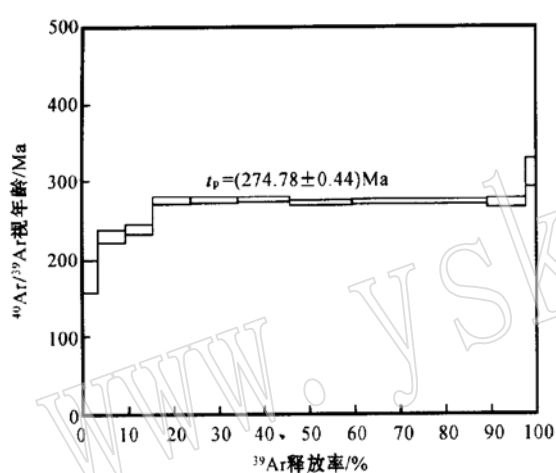


图 3 乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  阶段升温年龄谱图

Fig. 3  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  stepwise heating age spectra of K\_feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit

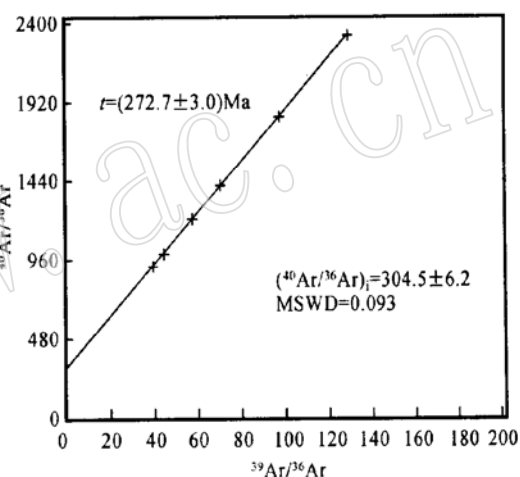


图 4 乔霍特铜矿区钾长花岗岩中钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线图

Fig. 4  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  versus  $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  isochron diagram of K\_feldspar from moyite in the Qiaohuote copper deposit

边缘可能发生了少量的 Ar 丢失而引起视年龄的波动 (Faure, 1998)。但是, 在中高温区的视年龄构成了平坦的年龄坪, 这表明矿物内部的 Ar 同位素组成稳定, 边缘的 Ar 丢失没有影响到矿物内部, 指示所测试的钾长石矿物在坪年龄 274.78 Ma 形成之后没有经历高于其封闭温度的热扰动, 这与野外钾长花岗岩采样地点未见构造变形和热液蚀变现象吻合, 因此本次所测的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素年龄值就是钾长石的结晶年龄。

野外观察呈 EW、NEE 和 NWW 向分布的铜矿体均沿着钾长花岗岩体的北侧分布, 铜矿体与钾长

花岗岩体在地表相距仅 20~50 m; 在铜矿体剖面图 (图 2) 上, 在地下深度超过 40 m 的部位铜矿体与钾长花岗岩体直接接触; 根据化学分析结果, 富铜矿体多产在靠近钾长花岗岩体附近, 离钾长花岗岩体越远矿石品位越低<sup>①</sup>; 稀土元素分析显示铜矿石石英中流体包裹体和钾长花岗岩的 LREE/HREE 及  $\delta\text{Eu}$  值一致, REE 配分曲线非常相似 (王志良等, 2004); 铜矿石石英中流体包裹体的氢氧同位素值在  $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$  图中投点基本上落入原生岩浆水的范围 (王志良等, 2004), 原生岩浆水可能由海西晚期侵入到安山质火山岩中的钾长花岗岩浆在结晶成岩过程中释

① 蔡宏渊等. 2000. 南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家“305”项目 96\_915\_04\_03\_03 专题报告。

放出来的岩浆水组成。以上这些证据均表明乔霍特铜矿床的成矿作用明显地受钾长花岗岩控制, 钾长花岗岩中钾长石年龄代表钾长花岗岩体的结晶晚期年龄, 274.78 Ma的坪年龄可以近似地作为乔霍特铜矿床成矿时代的下限。从天山造山带的演化历史来看, 大陆碰撞在晚石炭世末已基本结束, 早二叠世进入挤压应力松弛阶段, 地壳深部拉张破裂, 形成钾质花岗岩、双峰式火山岩和局部碱性岩带, 这一挤压应力松弛阶段也是新疆最重要的有色金属和贵金属成矿阶段(徐新, 1998)。大量测年数据(李华芹等, 1998)表明, 成矿作用主要发生在挤压向伸展的过渡期, 晚石炭世—早二叠世(300~270 Ma)是天山最主要的成矿期, 与本文成矿时代的推算相符。

根据乔霍特铜矿床的区域地质和矿床地质特征以及获得的钾长花岗岩中钾长石的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年龄, 初步认为乔霍特铜矿床的成矿过程为: 中寒武世, 新疆古克拉通沿中天山北缘断裂带发生拉张解体作用, 形成早古生代的准噶尔洋, 该洋盆自晚奥陶世向南侧伊犁中天山板块俯冲(肖序常等, 1992), 使伊犁中天山板块南缘的地壳发生解体作用, 在志留纪出现具有一定规模的“早古南天山洋”; 晚志留世, “早古南天山洋”板块向北侧伊犁中天山俯冲消减, 形成中天山南缘的晚志留世巴音布鲁克组岛弧型安山质火山岩, 这套火山岩的含铜丰度为 $46 \times 10^{-6} \sim 62 \times 10^{-6}$ , 为铜矿床的矿源层<sup>①</sup>, 而此时的南天山地区为塔里木板块北部的被动陆缘; 晚志留世末, “早古南天山洋”闭合; 早泥盆世, 原塔里木板块北部的被动陆缘发生拉张作用, 形成具有一定规模的南天山裂陷槽型初始洋盆(“晚古南天山洋”); 早石炭世, 通过洋内剪切和相对仰冲作用, “晚古南天山洋”开始消减闭合。中石炭世, “晚古南天山洋”完全闭合, 伊犁中天山板块与塔里木板块发生碰撞对接, 中天山与南天山一起进入板内演化阶段(高俊等, 1995; 李向东等, 1996; 何国琦等, 2001); 晚石炭世, 南天山接受陆表海碎屑岩和碳酸盐岩建造, 伊犁中天山板块南部遭受海侵; 早二叠世进入陆内裂谷作用阶段, 地壳深部拉张破裂, 钾质花岗岩浆侵入到安山质火山岩中, 同时钾质花岗岩浆结晶成岩过程中释放出的流体逐渐与浅部少量的大气降水和变质水相遇形成混合流体, 由于花岗质岩浆的热效应作用, 使混合流体产生对流循环系统, 不断从晚志留世巴音布鲁

克组岛弧型安山质火山岩中萃取成矿金属元素而形成成矿流体, 成矿流体最终在有利构造部位因温压条件改变而卸载成矿。

**致谢** 笔者在野外工作期间得到了新疆地勘局董连慧总工、新疆地调院王庆明副院长、新疆国土资源厅林卓斌高工、新疆鑫汇地质矿业公司、新疆和静县巴音布鲁克镇人民政府和乔霍特铜矿的大力支持和热心帮助, 在此一并表示感谢。

## References

- Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, *et al.* 1995. Division of the central Tianshan orogeny based on isotopic ages[J]. *Geological Review*, 41(3): 261~270 (in Chinese with English abstract).
- Faure G. 1998. Isotope geochronology and its applications to geology [J]. *Earth Science Frontiers*, 5(1~2): 17~39.
- Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, *et al.* 1995. Preliminary research on the tectonostratigraphy in the southwestern Tianshan Mountains[J]. *Journal of Stratigraphy*, 19(2): 122~128 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Zhang Lifei, Wang Zongxiu, *et al.* 1997. Metamorphic minerals and evolution of the western Tianshan high-pressure low-temperature metamorphic belt, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 16(3): 244~254 (in Chinese with English abstract).
- He Guoqi, Li Maosong and Han Baofu. 2001. Geotectonic research of Southwest Tianshan and its west adjacent area, China[J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 7~11 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, *et al.* 1998. Study on Metallogenic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1~264 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiangdong and Li Maosong. 1996. Tectonic correlation between western Chinese Tianshan and its western adjacent area[J]. *Geological Review*, 42(2): 107~115 (in Chinese with English abstract).
- Nier A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotope of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium[J]. *Phys.*, 77: 789~793.
- Wang Songshan, Sanghaiqing, Hu Shiling, *et al.* 1985. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age determination using 49\_2 reactor and <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age spectrum for amphibolite from Oianan. China[J]. *Acta Petrologica Sinica*. 2(3): 35~44 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian, Mao Jingwen and Lu Xinxiang. 2001. Ar-Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County, Henan Province[J]. *Geological Review*, 47(5): 551~555 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Yang Jianmin, *et al.* 2004. Geochem-

① 蔡宏渊等. 2000. 南天山大型贵重、有色金属矿床成矿条件研究、靶区优选与评价. 国家“305”项目 96\_915\_04\_03\_03 专题报告.

- istry of ore-forming fluids from the Qiaohuote copper deposit in Hejing, Xinjiang[J]. Acta Geoscientia Sinica(in Chinese with English abstract, in press).
- Wang Zuoxun, Wu Jiyi, Lu Xichao, *et al.* 1990. Polycyclic Tectonic Evolution and Metallogeny of the Tianshan Mountains[M]. Beijing: Science Press, 1~ 218(in Chinese with English abstract).
- Wu Shimin, Lu Huafu, Ma Ruishi, *et al.* 1995. Classification of tectonic facies and their evolutionary features in the western Tianshan Mountains[J]. Regional Geology of China, (2): 149~ 156(in Chinese with English abstract).
- Wu Shimin, Ma Ruishi, Lu Huafu, *et al.* 1996. The Paleozoic tectonic evolution of the western Tianshan, Xinjiang[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 16(2): 95~ 101(in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, *et al.* 1992. Tectonic Evolution of the Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 169(in Chinese with English abstract).
- Xu Xin. 1998. On opening-closing tectonics of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 16(1): 1~ 12(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Ma Zhongping, Li Xiangmin, *et al.* 2003. The discovery of P-MORB in Jigen area of southwest Tianshan Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 22(3): 245~ 253(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liangchen and Wu Naiyuan. 1985. The geotectonics and its evolution of Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 3(3): 1~ 14(in Chinese with English abstract).
- 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 等. 1995. 西南天山构造地层学初步研究[J]. 地层学杂志, 19(2): 122~ 128.
- 高俊, 张立飞, 王宗秀, 等. 1997. 新疆西天山高压变质带的变质矿物及其变质作用演化[J]. 岩石矿物学杂志, 16(3): 244~ 254.
- 何国琦, 李茂松, 韩宝福. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究[J]. 新疆地质, 19(1): 7~ 11.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 1~ 264.
- 李向东, 李茂松. 1996. 中国西天山地质构造与西邻区的对比研究[J]. 地质论评, 42(2): 107~ 115.
- 王松山, 桑海清, 胡世玲, 等. 1985. 应用 49\_2 反应堆进行<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 定年及迁安曹庄群斜长角闪岩年龄谱的地质意义[J]. 岩石学报, 2(3): 35~ 44.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年代学证据[J]. 地质论评, 47(5): 551~ 555.
- 王志良, 毛景文, 杨建民, 等. 2004. 新疆和静县乔霍特铜矿床成矿流体地球化学特征[J]. 地球学报(待刊).
- 王作勋, 邬继易, 吕喜朝, 等. 1990. 天山多旋回构造演化及成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1~ 218.
- 吴世敏, 卢华复, 马瑞士, 等. 1995. 西天山一带大地构造相划分及其构造演化特征[J]. 中国区域地质, (2): 149~ 156.
- 吴世敏, 马瑞士, 卢华复, 等. 1996. 新疆西天山古生代构造演化[J]. 桂林工学院学报, 16(2): 95~ 101.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1~ 169.
- 徐新. 1998. 概论新疆开合构造[J]. 新疆地质, 16(1): 1~ 12.
- 徐学义, 马中平, 李向民, 等. 2003. 西南天山吉根地区 P-MORB 残片的发现及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 22(3): 245~ 253.
- 张良臣, 吴乃元. 1985. 天山地质构造及演化史[J]. 新疆地质, 3(3): 1~ 14.

## 附中文参考文献

- 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 1995. 中天山造山作用同位素年代分期[J]. 地质论评, 4(3): 261~ 271.