

# 西藏嘎拉勒金铜矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄 及地质意义

张 雄<sup>1,2</sup>, 杨竹森<sup>2</sup>, 何 林<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037;  
3. 西藏自治区第二地质大队, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 西藏嘎拉勒矽卡岩型金(铜)矿床为近几年由西藏自治区第二地质大队发现的具有一定规模和潜力的矿床。本文以嘎拉勒金铜矿床中矽卡岩中金云母为研究对象, 通过 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年的方法, 精确厘定了嘎拉勒矽卡岩型金铜矿床的成矿时代。金云母结晶在石榴子石和透辉石、黄铁矿和黄铜矿形成之间, 并与石榴子石、针状透闪石和放射状阳起石密切共生。测试结果表明, 嘎拉勒矿区金云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为  $85.41 \pm 0.64$  Ma, 与相应的等时线年龄  $85.9 \pm 2.4$  Ma 一致, 推测其成矿作用可能与拉萨地块和羌塘地块碰撞后在拉萨地块北侧发生岩石圈拆沉引起地幔物质上涌而诱发的岩浆活动有关。

**关键词:**  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄; 金云母; 矽卡岩; 嘎拉勒; 西藏

中图分类号: P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)06-1127-07

## Ar-Ar isotopic age of phlogopite from the Galale gold-copper deposit in Tibet and its geological significance

ZHANG Xiong<sup>1,2</sup>, YANG Zhu-sen<sup>2</sup> and HE Lin<sup>3</sup>

(1. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;  
3. No. 2 Geological Party of Tibet, Lhasa 850000, China)

**Abstract:** The Galale skarn gold (copper) deposit in Tibet discovered by No. 2 Geological Party of Tibet in recent years is a deposit of a certain size and potential. In this paper, with the phlogopite from the Galale sharn gold-copper deposit as the study object and by using the method of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic dating, the authors determined the ore-forming age of the Galale sharn gold-copper deposit precisely. Phlogopite crystallized between the formation of garnet and diopside and the formation of pyrite and chalcopyrite, and was closely associated with garnet, tremolite and actinolite. Test results show that the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau age of phlogopite from the Galale deposit is  $85.41 \pm 0.64$  Ma, consistent with the corresponding isochron age  $85.9 \pm 2.4$  Ma. It is thus inferred that mineralization might have been related to the magmatic activities induced by upwelling mantle caused by lithospheric delamination that occurred in the north of Lhasa block after the collision of Lhasa block with Qiangtang block.

**Key words:** Ar-Ar isotopic age; phlogopite; skarn; Galale; Tibet

收稿日期: 2014-03-28; 修订日期: 2014-10-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB403104); 地质调查计划项目(1212010918014); IGCP/SIDA/600 资助项目

作者简介: 张 雄(1988- ), 男, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: bear\_x\_sir@163.com; 通讯作者: 杨竹森  
(1964- ), 男, 博士, 研究员, 从事矿床学和矿床地球化学研究, E-mail: yangzhusen@vip.sina.com。

近年来,在拉萨地块西北部相继发现了尕尔穷、日阿等一批与中生代晚期中酸性岩浆活动相关的矽卡岩型铜金矿床,并对其进行了较多的研究(辛洪波等,2006;李志军等,2011;姚晓峰等,2011;张志等,2012;雷传扬等,2012;于玉帅等,2012;唐菊兴等,2013)。其中由西藏自治区第二地质大队普查的嘎拉勒金铜矿床为一以金为主的大型矽卡岩型金铜矿床(吕立娜等,2011;张志等,2013),产出于尕尔穷斑岩铜矿床的东北3 km处,为研究该区域铜矿床与金矿床的时空关系提供了难得的研究对象。过去对该区域开展过矿床岩体的锆石定年,但未直接对矿化进行定年,到底和那套岩体有关?和尕尔穷斑岩铜矿的关系如何?本文以嘎拉勒金铜矿床中矽卡岩中金云母为研究对象,通过 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年的方法,精确厘定了嘎拉勒矽卡岩型金铜矿床的成矿时代,为深入研究该区域铜、金矿床成矿规律提供有益借鉴。

## 1 区域地质背景与矿床地质特征

青藏高原中南部经过中生代一系列弧-陆和陆-陆碰撞增生与拼贴,最终由早新生代以来印度-亚洲大陆碰撞奠定现今的格局(Allegre *et al.*, 1984; Yin and Harrison, 2000; 耿全如等,2011),自北向南包括松潘-甘孜地块、羌塘地块、拉萨地块和喜马拉雅地块及分隔其间的金沙江缝合带(JS)、班公湖-怒江缝合带(BNS)和雅鲁藏布江缝合带(YTS)(Yin and Harrison, 2000; 潘桂棠等,2006)。其中拉萨地块由中拉萨古陆块和南北两侧具新生地壳性质的增生岩浆弧组成(Zhu *et al.*, 2011),是整个青藏高原上陆/洋转换和地体拼贴最复杂、壳/幔物质-能量交换最活跃、岩浆-流体活动最强烈的地区,同时也是大规模成矿作用最强烈和金属矿产资源最集中的地带(侯增谦等,2006a,2006b,2006c),其构造演化很可能受班公湖-怒江特提斯洋向南和雅鲁藏布洋向北俯冲以及印-亚大陆碰撞的制约(潘桂棠等,2006;李光明等,2007)。

中拉萨古陆块西部发育古生代浅变质浅海相沉积盖层,其上不整合大范围分布中-上侏罗统拉努群碎屑岩夹火山岩和碳酸盐岩、上侏罗-下白垩统则弄群火山岩系和下白垩统捷嘎组碳酸盐岩夹碎屑岩,局部分布古近纪火山岩(1:25万狮泉河幅、革吉县幅)。区域上见有早白垩世早期的巨斑状石英闪长岩岩株(吕立娜等,2011),并有大量分布的晚白垩世早期细粒闪长(玢)岩、石英闪长(玢)岩、花岗闪长岩和花岗斑

岩岩株和岩脉,其中与细粒石英闪长(玢)岩相关形成有尕尔穷矽卡岩型铜金矿床(雷传扬等,2012;张志等,2012;唐菊兴等,2013),与细粒花岗闪长岩相关形成有嘎拉勒矽卡岩型金铜矿床(吕立娜等,2011;王红星等,2011,2012;张志等,2012)。

嘎拉勒金铜矿床位于中拉萨古陆块西段北缘,向北隔狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错蛇绿混杂岩带与昂龙岗日-班戈岩浆弧西段相望(图1a)。矿区主要出露下白垩统捷嘎组( $K_{1jg}$ )白云岩、白云质灰岩、生物碎屑灰岩夹含砂泥晶灰岩和粉砂岩,东部局部分布下白垩统则弄群朗久组( $K_{1l}$ )凝灰岩(图1b)。矿区构造以断裂构造为主,均为成矿后断裂,其中近东西向F1断裂为逆断层,倾向南,倾角约65°;北西西向F2断裂为正断层,倾向北东,倾角约70°。矿区岩浆侵入活动强烈,先后形成中细粒闪长(玢)岩( $89.09 \pm 0.41$  Ma)、石英闪长岩( $131 \pm 17$  Ma)、花岗闪长岩( $86.52 \pm 0.41$  Ma)岩株和花岗斑岩脉(吕立娜等,2011;唐菊兴等,2013)。其中中细粒花岗闪长岩与成矿关系密切,其与捷嘎组碳酸盐岩接触带上形成宽窄不等的镁质矽卡岩,由石榴子石、镁橄榄石、透辉石、硅灰石、水镁石、金云母、蛇纹石、绿帘石、阳起石、水镁石等组成,在东部KT2号矿体00勘探线见透辉石化花岗闪长岩带→石榴子石镁橄榄石透辉石矽卡岩带→镁橄榄石金云母蛇纹石矽卡岩带→金云母绿帘石阳起石矽卡带→透辉石绿帘石化大理岩带→白云质大理岩带的蚀变分带。矿区已发现11个矿体,其中KT2、KT3和KT8号矿体为主矿体,矿体均产于花岗闪长岩与白云岩接触带的矽卡岩内,主要呈似层状、层状、港湾状及不规则状,产状随接触带矽卡岩的产状而变化。矿石构造以浸染状、块状、条带状构造为主。金属矿物主要可见磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、褐铁矿、铜蓝、孔雀石、自然金和银金矿等,非金属矿物除上述矽卡岩矿物外,还有方解石、石英、绿泥石等。蚀变矿化和后期改造过程可分为岩浆热液成矿期和表生氧化期,其中岩浆热液成矿期包括4个阶段:I 早期矽卡岩阶段,形成石榴子石、镁橄榄石、透辉石和少量硅灰石等;II 退化矽卡岩阶段,形成大量蛇纹石、金云母、绿帘石、方解石和少量阳起石、水镁石、磁铁矿等,交代早期矽卡岩矿物;III 石英-硫化物-金矿物阶段,形成石英、绿泥石、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、自然金、银金矿、自然铋和辉铋矿等,呈细脉状和浸染状产

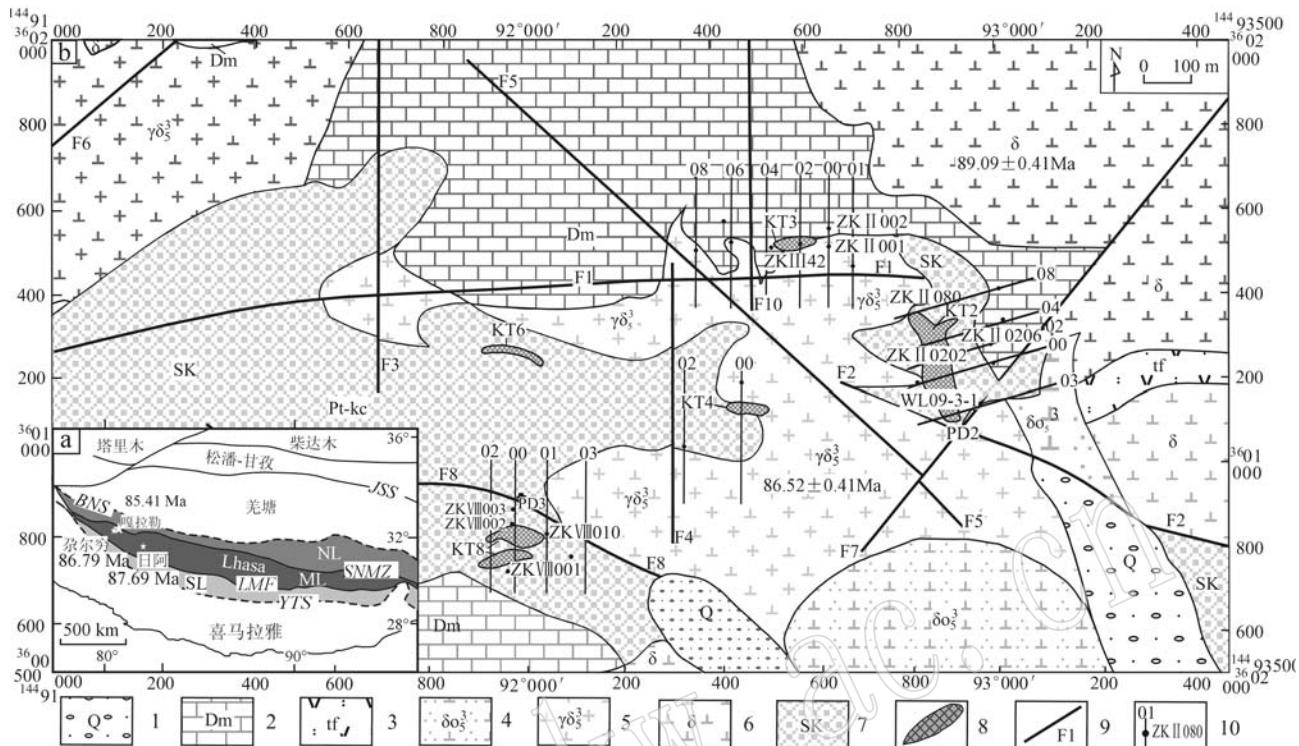


图 1 嘎拉勒金铜矿区构造位置图(a, 据 Zhu et al., 2011)和嘎拉勒金铜矿区地质图(b, 据张志等, 2013)

Fig. 1 Structural location map of the Galale gold-copper deposit (a, after Zhu et al., 2011) and geological sketch map of the Galale gold-copper deposit (b, after Zhang Zhi et al., 2013)

1—第四系残坡积物; 2—白垩系捷嘎组白云岩; 3—白垩系郎久组凝灰岩; 4—石英闪长岩; 5—花岗闪长岩; 6—闪长岩; 7—矽卡岩;  
8—矿体; 9—断层及编号; 10—勘探线及钻孔编号; JSSZ—金沙江缝合带; BNS—班公湖-怒江缝合带; SNMZ—狮泉河-纳木错蛇绿  
混杂岩带; LMF—落巴堆-米拉山断裂带; YTS—印度河-雅鲁藏布江缝合带; NL—北拉萨地块; ML—中拉萨地块; SL—南拉萨地块  
1—Quaternary residual-slopewash material; 2—dolomite of Cretaceous Jiega Formation; 3—tuff of Cretaceous Langjiu Formation; 4—quartz diorite;  
5—granodiorite; 6—diorite; 7—skarn; 8—ore body; 9—fault and its serial number; 10—serial number of exploration line and drill hole;  
JSSZ—Jinshajiang suture zone; BNS—Banggong Co-Nujiang River suture zone; SNMZ—Shiquan River-Nam Tso ophiolite mélange zone; LMF—  
Luobadui-Mila Mountain Fault; YTS—Yarlung Zangbo River Suture Zone; NL—North of Lhasa block; ML—Middle of Lhasa block; SL—South  
of Lhasa block

出; IV 碳酸盐-硫化物阶段, 形成方解石、白云石和少量方铅矿、闪锌矿等, 呈细脉状产出。

## 2 样品分析及结果

样品采自矿区东部 KT2 号矿体所在的矽卡岩带(图 1b), 主要由金云母、蛇纹石和少量镁橄榄石、石榴子石、针状透闪石和放射状阳起石组成。金云母呈浅绿、浅黄绿色, 自形片状, 最大片径可达 8 mm。岩相学观察表明, 金云母与蛇纹石、阳起石和透闪石共生(图 2b), 为退化矽卡岩阶段形成, 在后期成矿过程中其周边发生弱绿泥石化(图 2a)。

从样品中手工挑选出金云母, 粉碎后, 先用超声波清洗干净, 再放入中国原子能科学研究院的“游泳池堆”中完成中子照射。照射时使用 H8 孔道, 在中

子流密度约为  $6.0 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  的条件下照射 3 223 min, 其积分中子通量为  $1.16 \times 10^{18} \text{ n.cm}^{-2}$ 。同期接受中子照射的还有用作监控样的标准样: 黑云母 ZBH-25 标样, 其标准年龄为  $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ , K 含量为 7.6%。

金云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年测试由国土资源部同位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 样品分析在 MM-1200B 质谱计上完成。所有数据均经过质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的  $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  获得, 其值为:  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000\,238\,9$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004\,782$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000\,806$ 。 $^{37}\text{Ar}_{\text{O}}$  表示经过放射性衰变校正的 $^{37}\text{Ar}$ 值。采用的半衰期为 35.1 d, 衰变常数 =  $5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$  (Steiger and

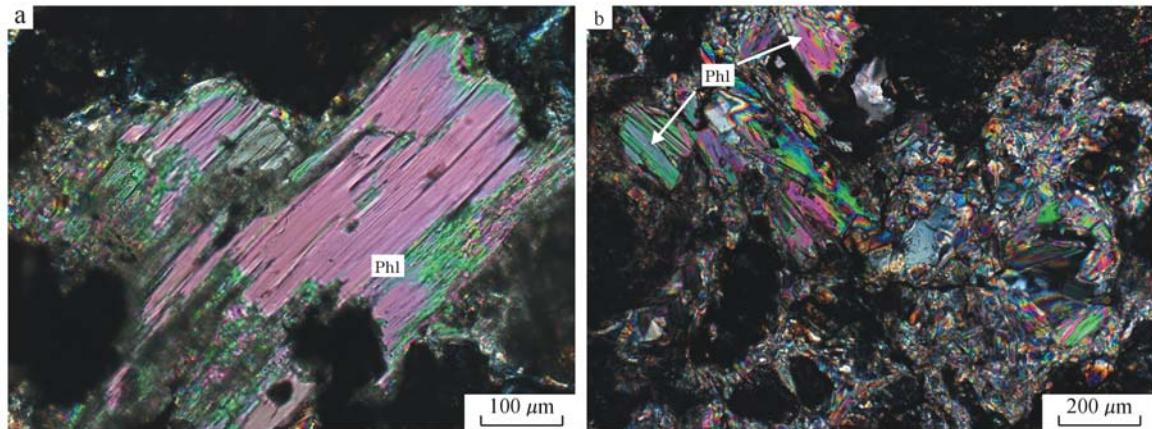


图2 嘎拉勒矿区蚀变金云母正交偏光照片

Fig. 2 Photograph of phlogopite from the Galale deposit (crossed nicols)

Jager, 1977);用 Isoplot 程序计算坪年龄及正, 反等时线年龄(Ludwig, 1991)。坪年龄误差以  $2\sigma$  为标准, 详细的实验流程见有关文献(Chen *et al.*, 2002)。

对金云母样品进行了 12 个  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段的加热分析氩实验(表 1)。在其年龄图谱(图 3a)上, 较低温度区( $<700^\circ\text{C}$ )出现一些氩同位素的变化, 说明矿物颗粒边缘有一定量的氩发生丢失, 从而引起视年龄的波动(Faure, 1998)。中-高温区的视年龄构成了平坦的坪年龄图谱, 表明矿物内部的氩同位素组成稳定, 边缘氩的丢失未影响到矿物的内部, 说明在其形成之后未受到高于其封闭温度的构造-热事件的影响。7 个中-高温阶段谱线的坪年龄为  $85.41 \pm 0.64\text{ Ma}$ (图 3a), 等时线年龄值为  $85.9 \pm 2.4\text{ Ma}$ (图 3b), 坪年龄与等时线年龄一致, 说明数据可信。

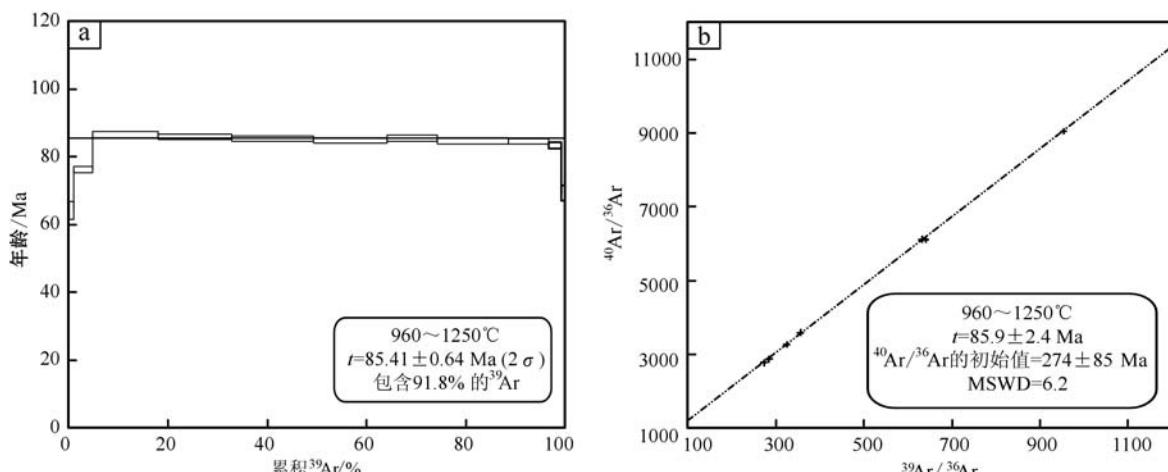
### 3 讨论

(1) 金云母的晶体结构与黑云母相似, 其对 K-Ar 同位素体系的封闭温度为  $350\sim450^\circ\text{C}$ (陈文等, 2011)。嘎拉勒矿床的金云母形成于Ⅱ(退化矽卡岩)阶段, 与蛇纹石、阳起石等共生, 形成温度在  $350\sim400^\circ\text{C}$ (陈文等, 2011)之间, 与其封闭温度相近, 因此其  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄( $85.41 \pm 0.64\text{ Ma}$ )可代表其结晶年龄。由于形成金云母的Ⅱ(退化矽卡岩)阶段介于Ⅰ(早期矽卡岩)阶段和Ⅲ(石英-硫化物-金矿物主成矿)阶段之间, 故金云母的结晶年龄略早于硫化物和金矿物的结晶年龄, 可近似代表嘎拉勒金铜矿床的成矿年龄, 即嘎拉勒金铜矿床的成矿年龄约为

表 1 西藏嘎拉勒矿区蚀变金云母(WL09-3-1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段升温测年数据Table 1  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analytical data of phlogopite samples from the Galale ore district, Tibet

$t/\text{℃}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	F	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{ mol}$	$^{39}\text{Ar}$ 积累/%	$t/\text{Ma}$	$\pm 1\sigma/\text{Ma}$
700	340.294 2	1.126 7	0.000 0	0.238 7	2.16	7.362 5	0.03	0.08	69	40
800	82.320 3	0.255 5	0.414 7	0.065 3	8.32	6.855 3	0.34	0.93	64.3	2.6
900	17.671 7	0.032 2	0.063 3	0.019 2	46.22	8.168 2	1.55	4.79	76.33	0.92
960	10.127 3	0.002 8	0.000 0	0.013 2	91.74	9.291 1	5.31	18.05	86.57	0.86
1 000	9.694 8	0.001 6	0.010 2	0.013 0	95.13	9.222 3	5.92	32.84	85.95	0.85
1 050	9.484 2	0.001 0	0.002 5	0.013 0	96.68	9.169 8	6.60	49.31	85.47	0.84
1 100	9.578 1	0.001 6	0.012 6	0.013 1	95.13	9.111 3	5.90	64.04	84.94	0.84
1 150	10.095 6	0.003 1	0.000 0	0.013 3	90.93	9.180 1	4.07	74.20	85.56	0.86
1 200	10.181 7	0.003 7	0.000 0	0.013 4	89.32	9.094 3	5.74	88.52	84.78	0.84
1 250	10.122 5	0.003 5	0.048 1	0.013 4	89.69	9.078 8	3.22	96.57	84.64	0.85
1 300	10.830 1	0.006 4	0.090 7	0.014 1	82.60	8.946 5	1.03	99.14	83.4	1.0
1 400	12.631 1	0.018 2	2.018 8	0.015 9	58.56	7.409 4	0.34	100.00	69.4	2.2

注: 表中  $m$  代表样品中测定的同位素比值。

图 3 嘎拉勒金铜矿床金云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图(a)与等时线图(b)Fig. 3  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectrum (a) and isochron (b) of phlogopite from the Galale gold-copper deposit

$85.41 \pm 0.64 \text{ Ma}$ , 形成时代为晚白垩世早中期。

(2) 嘎拉勒矿区的闪长(玢)岩锆石 U-Pb 年龄为  $89.09 \pm 0.41 \text{ Ma}$ , 花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为  $86.52 \pm 0.41 \text{ Ma}$ (吕立娜等, 2011)。本文所获矽卡岩中金云母的结晶年龄与花岗闪长岩的成岩年龄最接近, 同成矿与花岗闪长岩密切相关的地质事实相吻合, 进一步说明所测结果的可靠性, 即矿床形成与花岗闪长岩成岩时代几近一致。这一成矿年龄与西南侧的尕尔穷矽卡岩型铜金矿床(图 1a)的成矿年龄(辉钼矿 Re-Os 年龄为  $86.79 \text{ Ma}$ ; 李志军等, 2011)相近, 反映尕尔穷-嘎拉勒矿田内成岩成矿的时空一致性, 而尕尔穷是以铜为主的矽卡岩型铜金矿床, 嘎拉勒却是以金为主的矽卡岩型金铜矿床, 显示出该矿田具有北侧金成矿能力增高的特征。此外, 该矿床的成矿年龄与措勤县日阿矽卡岩型铜钼矿床的成矿年龄(金云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $87.69 \pm 0.64 \text{ Ma}$ ; 辛洪波等, 2006)相近, 晚于同处一个构造单元内的尼雄矽卡岩型铁矿床(成矿岩体锆石 U-Pb 年龄为  $113.6 \pm 1.2 \text{ Ma}$  和  $112.6 \pm 1.6 \text{ Ma}$ ; 于玉帅等, 2011, 2012), 暗示中拉萨古陆块内可能存在一条晚白垩世铜金成矿带。

(3) 对于拉萨地块中北部白垩纪大规模的岩浆作用起因有多种观点, 一种观点将其归因于拉萨地块和羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔(Xu *et al.*, 1985; Pearce and Mei, 1988); 另一种观点认为是拉萨地块和羌塘地块碰撞后软流圈上涌引起的地壳重熔(Harris *et al.*, 1990); 还有一种观点认为是班公湖-怒江洋壳的南向俯冲所致(莫宣学等, 2004,

2005; 潘桂棠等, 2006; 朱第成等, 2006)。然而, 朱第成等(2006, 2009)认为中拉萨地块在大约  $110 \text{ Ma}$  发生了岩浆大爆发, 并将其归因于向南俯冲的班公湖-怒江洋壳岩石圈的断离。换言之, 晚白垩世中拉萨地块由俯冲引起的岩浆活动基本停息。此外, 日阿矿区内的辉绿玢岩脉( $87.2 \pm 1.6 \text{ Ma}$ )与二长花岗斑岩( $90.1 \pm 1.5 \text{ Ma}$ )具有相近的年龄及相似的岩石地球化学特征, 它们共同构成了一套含铜的双峰式岩石组合(辛洪波等, 2006; 曲晓明等, 2006), 表明晚白垩世中拉萨地块处于后碰撞伸展环境, 并有地幔物质的上涌。因此, 笔者推测晚白垩世中拉萨地块可能发生了岩石圈拆沉, 由此引起的岩浆活动是嘎拉勒矿床形成的主要驱动机制。

## 4 结论

(1) 嘎拉勒金铜矿床的金云母年龄坪图平缓, 与对应的等时线年龄高度一致, 数据可信, 能够代表矿床的成矿年龄( $85.41 \pm 0.64 \text{ Ma}$ ), 表明嘎拉勒矿床形成于晚白垩世。

(2) 处于同一矿带的嘎拉勒矽卡岩型金铜矿床、尕尔穷矽卡岩型铜金矿床和日阿矽卡岩型铜钼矿床具有相近的时空分布特征, 暗示中拉萨古陆块内可能存在一条晚白垩世铜金成矿带。

致谢  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素测试得到了中国地质科学院地质研究所陈文研究员的大力帮助, 在此表示感谢。

## References

- Allegre C J, Courtillot V, Tapponnier P, et al. 1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt[J]. *Nature*, 307: 17~22.
- Chen Wen, Wan Yusheng, Li Huaqin, et al. 2011. Isotope geochronology: technique and application[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(11): 1917~1947(in Chinese with English abstract).
- Chen Wen, Zhang Yan, Ji Qiang, et al. 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain [J]. *Science in China (B)*, 45: 20~27.
- Faure G. 1998. Isotope geochronology and its applications to geology [J]. *Earth Science Frontiers*, 5(1~2): 17~39.
- Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, et al. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1 261~1 274(in Chinese with English abstract).
- Harris N B W, Inger S and Xu R. 1990. Cretaceous plutonism in central Tibet: An example of post-collision magmatism? [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44: 21~32.
- Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, et al. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II . Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(05): 521~543(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhusen, et al. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III . Mineralization in post-collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(06): 629~651(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Yang Zhusen, Xu Wenyi, et al. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I . Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(04): 337~358(in Chinese with English abstract).
- Lei Chuanyang, Li Zhijun, Zhang Zhi, et al. 2012. Geochemical Characteristics and Geodynamic Significance of the Granites in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33 (4): 601~612(in Chinese with English abstract).
- Li Guangming, Li Jinxiang, Qin Kezhang, et al. 2007. High temperature , salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuzha gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. *Acta Petrologic Sinica*, 23(5): 935~952(in Chinese with English abstract).
- Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, et al. 2011. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 38(6): 678~683(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1991. Isoplot: A plotting and regression program for radioactive-isotope date[J]. US Geological Survey Open-FileReport, 39: 91~445.
- Lü Lina, Cui Yubin, Song Liang, et al. 2011. Geochemical characteristic and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold (copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 18 (5): 224~242(in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, et al. 2005. Spatial and tempoal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evlution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281 ~ 290(in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, et al. 2004. Mesozoic-Cenozoic igneous rocks in Tibetan Plateau as lithoprobe to the lithosphere [A]. Chen Yuntai, Teng Jiwen, et al. *Progress in Seismology and Physics of the Earth Interior in China*[C]. Beijing: Seismology Press, 499~461(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic belt and its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521~533(in Chinese with English abstract) .
- Pearce J A and Mei H. 1988. Vocanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud[J]. Royal Society of London Philosophical Transaction, Series A, 327: 169~201.
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Xu Wenyi, et al. 2006. Discovery and singnificance of copper-bearing bimodal rock series in Cuojin area of Tibet[J]. *Atca Petrologica Sinica*, 22(3): 707~716(in Chinese with English abstract).
- Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology [J]. *Earth Planet and Science Letters* 36: 359~362.
- Tang Juxing, Zhang Zhi, Li Zhijun, et al. 2013. The Metallogensis, Deposit Model and Prospecting Direction of the Ga' erqiong-Galale Copper-gold Ore Field, Tibet[J]. *Atca Geoscientica Sinica*, 34(4): 385~394(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongxing, He Lin, Li Zhijun, et al. 2011. Geological characteristics and significance of Galale Copper-gold deposit, Geji, Tibet[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, Suppl.: 848~849(in Chinese with English abstract).
- Wang Hongxing, Yao Xiaofeng, Li Zhijun, et al. 2012. Lithogeochemical anomaly characteristics and ore-search targeting of the gaerqiong gold copper ore districtin gegyai county, Tibet[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 33(4): 693~702(in Chinese with English abstract).
- Xin Hongbo and Qu Xiaoming. 2006. Geological characteristics and ore-forming epoch of Ri'a copper deposit related to bimodal rock series in Coqen County, western Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 477~482(in Chinese with English abstract).
- Xu R H, Scherer U and Allegre C J. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block(Tibet): A geochronological study[J]. *Journal of Geology*, 93: 41~57.

- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Wang You, et al. 2011. Characteristic of gold-bearing minerals in the Ga'erqiong copper-gold deposit, Tibet [J]. Geology and Exploration, 47(6): 1 018~1 025(in Chinese with English abstract).
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28: 211~280.
- Yu Yushuai, Gao Yuan, Yang Zhusen, et al. 2011. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and geochemistry of intrusive rocks from Gunjiu iron deposit in the Nixiong ore field, Coqen, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 1 949~1 960(in Chinese with English abstract).
- Yu Yushuai, Yang Zhusen, Liu Yingchao, et al. 2012. Mineralogical characteristics of skarn in Ri'a copper deposit of Nixiong orefield, Tibet, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 31(4): 775~790(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. 2013. Geological and skarn mineral characteristics of Galale Cu-Au deposit in Tibet[J]. Mineral Deposits, 32(5): 915~931(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhi, Tang Juxing, Yang Yi, et al. 2012. Element Spatial Distribution of the Gaerqiong Copper-gold Deposit in Tibet and Its Geochemical Exploration Model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 663~672(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dichen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, et al. 2009. Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: New perspective[J]. EarthScience Frontiers, 16(2): 1~20(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dichen, Pan Guitang, Wang Liqun, et al. 2006. Late Jurassic-Earth Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 534~546(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dichen, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, et al. 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth [J]. Earth and Planetary Science Letters, 301: 241~255.
- ## 附中文参考文献
- 陈文, 万渝生, 李华芹, 等. 2011. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. 地质学报, 85(11): 1 917~1 947.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 2011. 班公湖-怒江带羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 30(8): 1 261~1 274.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5): 521~543.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 25(6): 629~651.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 25(04): 337~358.
- 雷传扬, 李志军, 张志, 等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床花岗岩类的地球化学特征及其地球动力学意义[J]. 地球学报, 33(4): 601~612.
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 等. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 23(5): 935~952.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 2011. 班公湖-怒江成矿带西段尕尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 成都理工大学学报, 38(6): 678~683.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 等. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224~242.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3): 281~290.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓普福, 等. 2004. 青藏高原中新生代火成岩的深部探针意义: 若干新成果与新认识[A]. 陈运泰, 滕吉文, 等. 中国大陆地震学与地球内部物理学研究进展[C]. 北京: 地震出版社, 449~461.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(03): 521~533.
- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺, 等. 2006. 藏西措勤含铜双峰岩系的发现及意义[J]. 岩石学报, 22(03): 707~716.
- 唐菊兴, 张志, 李志军, 等. 2013. 西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向[J]. 地球学报, 34(4): 385~394.
- 王红星, 何林, 李志军, 等. 2011. 西藏革吉县嘎拉勒铜金矿床地质特征及其意义[J]. 矿物学报, 增刊, 848~849.
- 王红星, 姚晓峰, 李志军, 等. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿区岩石地球化学勘探异常特征及找矿方向[J]. 地球学报, 33(4): 693~702.
- 辛洪波, 曲晓明. 2006. 藏西措勤县日阿与斑(玢)岩有关的铜矿床的矿床地质特征与成矿时代[J]. 矿床地质, 25(4): 477~482.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 等. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿矿物特征研究[J]. 地质与勘探, 47(6): 1 018~1 025.
- 于玉帅, 高原, 杨竹森, 等. 2011. 西藏措勤尼雄矿田滚纠铁矿侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 岩石学报, 27(7): 1 949~1 960.
- 于玉帅, 杨竹森, 刘英超, 等. 2012. 西藏尼雄矿田日阿铜矿床矽卡岩矿物学特征及地质意义[J]. 矿床地质, 31(4): 775~790.
- 张志, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 2013. 西藏嘎拉勒铜金矿床地质特征及矽卡岩矿物学特征研究[J]. 矿床地质, 32(5): 915~931.
- 张志, 唐菊兴, 杨毅, 等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿元素空间分布规律及地球化学勘探模型[J]. 地球学报, 33(4): 663~672.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 2009. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点[J]. 地学前缘, 16(2): 1~20.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. 岩石学报, 22(3): 534~546.