

文章编号: 0258-7106(2009)06-0759-11

西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义*

唐菊兴¹, 张丽², 黄勇^{3,4}, 王成辉¹, 李志军³, 邓起³, 郎兴海^{3,4}, 王友⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;
3 西藏天圆矿业资源开发有限公司, 西藏 日喀则 857000; 4 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059)

摘要 雄村铜金矿 II 号矿体在 2007~2008 年取得了重大的找矿突破, 详细的地质编录成果表明, 矿体同样受含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩和角闪石英闪长玢岩控制。含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩和角闪石英闪长玢岩的锆石 U-Pb 年龄已经确定(164~177 Ma), 因此, 雄村铜金矿不同地质体的云母类、长石类矿物 Ar-Ar 同位素年龄的测定显得尤为关键。文章通过对穿切 I 号矿体的黑云母花岗岩闪长岩、云煌岩脉的黑云母 Ar-Ar 同位素测年, 结合其他研究者的成果, 得到一组十分重要的年龄数据。穿插矿体的黑云母花岗岩闪长岩中的黑云母(样号 6187-335)坪年龄(46.96±0.42) Ma, 穿插矿体的无矿化的云煌岩(5053-324-4) Cu 含量 0.0551%, Au 含量 0.034 g/t, Ag 0.6 g/t 中的黑云母给出了一个较好的似坪年龄, 加权平均年龄为(49.59±0.58) Ma。结合其他研究者测定的中侏罗世侵位的角闪石英闪长玢岩(不含矿)锆石 U-Pb 年龄为(177.1±2.0) Ma 中黑云母的 Ar-Ar 同位素年龄为(48.57±0.31) Ma, 含矿凝灰岩围岩(锆石 U-Pb 年龄为(176±5) Ma, MSWD=0.63)的蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄为(47.07±0.30) Ma, 似伟晶岩中中长石的 Ar-Ar 年龄为(47.62±0.7) Ma, 认为不同形成时代、不同产出空间、不同矿化程度的地质体的云母类、长石类矿物的 Ar-Ar 同位素年龄的一致性, 反映了后期岩浆热事件对中侏罗世早期形成的地质体和矿体的黑云母氩同位素体系产生了较强的扰动或置换。谢通门大岩基黑云母花岗岩闪长岩的侵位致使各地质体发生显著的退变质, 形成典型的角岩化带, 这种退变质的时限在 46~48 Ma 之间的始新世 lutetian 期, 进而认为各地质体中云母类矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄不能作为成矿年龄。

关键词 地球化学; Ar-Ar 年龄; 退变质; 斑岩成矿作用; 雄村铜金矿; 冈底斯; 西藏

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标志码: A

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance

TANG JuXing¹, ZHANG Li², HUANG Yong^{3,4}, WANG ChengHui¹, LI ZhiJun³, DENG Qi³,
LANG XingHai^{3,4} and WANG You⁴

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3 Tibet Tianyuan Minerals Exploration Co. Ltd., Xigaze 857000, Tibet, China; 4 College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract

* 本文得到“十一五”国家科技支撑计划项目(编号 2006BAB01A01)和国家基础研究计划(973 项目)印度-亚洲大陆主碰撞带成矿作用”(2002CB412607)的联合资助

第一作者简介 唐菊兴,男,1964 年生,研究员,主要从事矿床学和矿产普查与勘探研究工作。Email: tangjuxing@126.com

通讯作者 张丽,女,1982 年生,助理工程师,主要从事矿床学和成矿预测研究工作。Email: fish-zl2004@163.com

收稿日期 2009-07-03; 改回日期 2009-09-28。李岩编辑。

The exploration of No. II ore body in the Xiongcu copper-gold deposit made significant breakthrough during 2007~2008. Detailed core logging shows that the deposit is controlled by augen quartz hornblende diorite porphyry and hornblende diorite porphyry. The zircon U-Pb ages of augen quartz hornblende diorite porphyry and hornblende diorite porphyry are 164~177 Ma, indicating that the Ar-Ar ages of mica and feldspar minerals within different rock types are especially important. In this paper, the authors got a group of age data based on biotite Ar-Ar isotopic dating of biotite granodiorite and lamprophyre in combination with the results obtained by other researchers. The plateau age of biotite (Sample No. 6187-335) within biotite granodiorite is (46.96 ± 0.42) Ma. The surface ages of six consecutive heating stages are the same within the error range. Released ^{39}Ar accounts for 94.6 % of total ^{39}Ar . The surface ages of the first two heating stages are lower than the plateau age. The content of radiogenic argon accounts for a small percentage of released radioactivity argon at these two stages. This means that the biotite surface was subjected to a very slight loss of argon. At the same time, a small amount of atmospheric argon was adsorbed on the mineral surface or mixed with the outer crystal lattice of the mineral. The samples don't contain excessive argon and have not been polluted by post-magmatic minerals, as evidenced by an analysis of the surface age. The formation of biotite was not subjected to significant thermal event interference, suggesting that there did not exist significant heating-magma events after the formation of biotite granodiorite. Argon isotopes are in a closed state. The ages of anti-isochron are (46.72 ± 0.81) Ma and (46.84 ± 0.67) Ma respectively, the same as the plateau age in the same error range. This proves that the biotite cooling age of 46~47 Ma is reliable. According to the intercept from anti-isochron to the $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ axis, the initial ratio of $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ is 298 ± 13 , similar to the normal ratio of atmospheric argon. This implies that there was no superposition of late thermal events. Biotite from unmineralized lamprophyre (5053-324.4) (Cu 0.0551%, Au 0.034 g/t, Ag 0.6 g/t) gives a good plateau age. Released ^{39}Ar from four consecutive heating stages accounts for 63.28% of total ^{39}Ar . The surface ages are the same in the same error range, and the weighted average age is (49.59 ± 0.58) Ma. Released ^{39}Ar at the stage 2~3 and stage 4~5 of the sample heating stages accounts for 36.45% of total ^{39}Ar . The surface ages are the same within the same error range. The ages of these two stages show that late thermal events made strong disturbance on argon isotope of biotite from the lamprophyre, and this led to partial loss of radioactive isotope of argon. The Ar-Ar age of biotite from Jurassic unmineralized hornblende quartz diorite porphyry is (48.57 ± 0.31) Ma, with zircon U-Pb age being (177.1 ± 2.0) Ma; the Ar-Ar age of altered sericite from tuff rock is (47.07 ± 0.30) Ma, with zircon U-Pb age being (176 ± 5) Ma; and the Ar-Ar age of feldspar from pegmatite is (47.62 ± 0.7) Ma. According to the above data, the Ar-Ar ages of micas and feldspar-type minerals within different periods, different spatial positions and different mineralized rock types are consistent with each other. This implies that the late thermal event made strong disturbance on argon isotope of biotite and led to partial loss of radioactive isotope of argon. Ar-Ar dating results indicate that biotite granodiorite emplacement resulted in significant retrograde metamorphism. The time limits for retrograde metamorphism were 46~48 Ma in Eocene, and this means that the Ar-Ar ages of mica minerals can not be regarded as the ore-forming age.

Key words: geochemistry, Ar-Ar ages, retrograde metamorphism, porphyry metallogenesis, Xiongcu copper-gold deposit, Gangdise belt, Tibet

冈底斯成矿带中延长达数千公里的火山岩浆带,为成矿作用提供了得天独厚的物质和流体来源,成矿地质条件优越。2003年以来,众多研究者在此开展了艰苦卓绝和卓有成效的研究及矿产勘查工作,取得了研究和找矿勘查的多方面、多领域的突破(芮宗瑶等,1984;2003;侯增谦等,2006a;莫宣学等,2003;张洪涛,2004;唐菊兴等,2009a;2009b;李光明等,2005;曲晓明等,2007a;2007b;徐文艺等,2006a;2006b;孟祥金,2003;张丽等,2007;杨志明等,2008a;2008b;丁枫等,2006;郑有业等,2004)。其

中,芮宗瑶等(2003)、侯增谦等(2006a)、莫宣学等(2003)重点对印度大陆与亚洲大陆碰撞及其与成矿的关系进行了阐述,侯增谦等对主碰撞后的伸展背景下的成矿特征及其深部构造演化(侯增谦等,2006b;2006c;2006d;2006e),莫宣学等对岩浆岩演化与成矿的关系做了大量的研究(莫宣学等,2003)。但至今还处于碰撞阶段的青藏高原是否保留有特提斯洋俯冲-印度大陆与亚洲大陆碰撞-伸展的整个岩浆-构造演化及其成矿响应(Hollister,1974;1975;1979;Sillitoe,1972;1997;Richards,2009),形成如巴布亚新几内亚-菲律宾-印度尼西亚-台湾-日本岛弧带发育的岛弧型斑岩型铜金矿(Ford,1978;Gem-mell,2007;Hollister,1975;Richards,2009;Sillitoe,1972;1997;1984;Taylor et al.,1980),则是研究人员一直在关注的重点(唐菊兴等,2006;2007;2008;2009a;张丽等,2007)。

对雄村铜金矿的成因和矿床类型尽管还存在很大的争议,但归纳起来不外乎 5 种观点,包括斑岩型-浅成低温热液型(唐菊兴等,2006^①;2007;2009;张丽等,2007)、浅成低温热液型(芮宗瑶,2004)、海底喷流沉积型(Qin et al.,2005)、破碎带蚀变岩型(曲晓明等,2007)、构造蚀变岩型(芮宗瑶等,2004)等观点。对于该矿床,无论是成矿时代,还是含矿岩系的形成时代及年代地层单位的归属一直存在争议,如 Taftý(2006)^②、唐菊兴等(2006)^①、唐菊兴等(2008;2009a)、曲晓明等(2007a;2007b)提出了含矿围岩是冈底斯火山弧的产物,时代属早-中侏罗世。但成矿时代的观点则有明显的不同,芮宗瑶等(2004)、曲晓明等(2007)、徐文艺等(2006a;2006b)及侯增谦等(2006b)根据矿石中云母类矿物的 Ar-Ar 同位素年龄测定值,认为成矿是在 38.11 Ma 左右。笔者通过对雄村 I、II 号矿体含矿围岩(暂定为雄村组 J₁₋₂x)最老的不含矿浅成岩——角闪石英闪长玢岩(J₂δ_{0μ})、含矿斑岩——具眼球状角闪石英闪长玢岩(J₂δ_{0μ})、穿插矿体的黑云母花岗闪长岩(E₂γδβ)及谢通门大岩基的一部分)穿插矿体的云煌岩和 II 号矿体矿石中的辉钼矿等,开展了系统的成岩成矿年代学研究,结合各类岩体和火山岩中锆石 U-Pb 年龄和矿石中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄,试

图进一步揭示雄村铜金矿的成岩成矿时限,从而为区域找矿指明方向。

1 矿床地质概况

本文的讨论将涉及雄村铜金矿床 I 号矿体和 II 号矿体。

雄村矿区出露的地层单元主要有 2 套:全新统洪积-冲积-崩积物和下-中侏罗统火山-沉积岩,后者由凝灰岩和火山-沉积岩组成,其中凝灰岩是铜金矿体的主要含矿围岩(图 1、图 2)。

在雄村矿区主要发现有 6 种类型的侵入岩(图 1、图 2)。包括:细晶岩脉(墙)(E₂γ)、钻孔中发现,穿插矿体)斜长闪长玢岩(E₂δ_μ)、黑云母花岗闪长岩(E₂γδβ)、花岗斑岩(J₃γπ)(钻孔中,穿插矿体)、石英闪长玢岩(J₃δ_{0μ})、具眼球状石英斑晶的石英闪长玢岩(J₂δ_{0μ})、角闪石英闪长玢岩(J₂δ_{0μ})、其他脉岩常见有闪长岩脉、长英质岩脉、伟晶岩脉、煌斑岩脉,均见其穿切矿体或其他地质体。

2 主要地质体 Ar-Ar 同位素年龄测定

2.1 样品采集和产状

测试采用黑云母 Ar-Ar 法同位素测年技术,样品均为采自钻孔的新鲜样品(采样点位置见图 1)。

本文的样品包括:①采自 ZK5053 钻孔 324 m 处穿插铜金矿体的云煌岩脉,无蚀变,挑选其中的黑云母测年;②采自 ZK6187 钻孔 335 m 处的穿插矿体的黑云母花岗闪长岩中的黑云母。主要目的是为了了解穿插矿体的无矿云煌岩脉和穿插矿体的黑云母花岗闪长岩的成岩年龄,从而间接地判断成矿年龄。

选纯的矿物(纯度>99%)用超声波清洗。先经过 2 次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次,每次 3 min,然后在丙酮中清洗 2 次,每次 3 min。

清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的。使用 B4 孔道,中子流密度约为 $6.3 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 。照射总时间为 3 000 min,积分中子通量为 $1.13 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$;同期接受

① 唐菊兴,李志军,钟康惠. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜(金)矿勘探报告. 成都:成都理工大学档案馆.

② Taftý R, Mortensen J K and Lang J R. 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. 15p. Inner information.

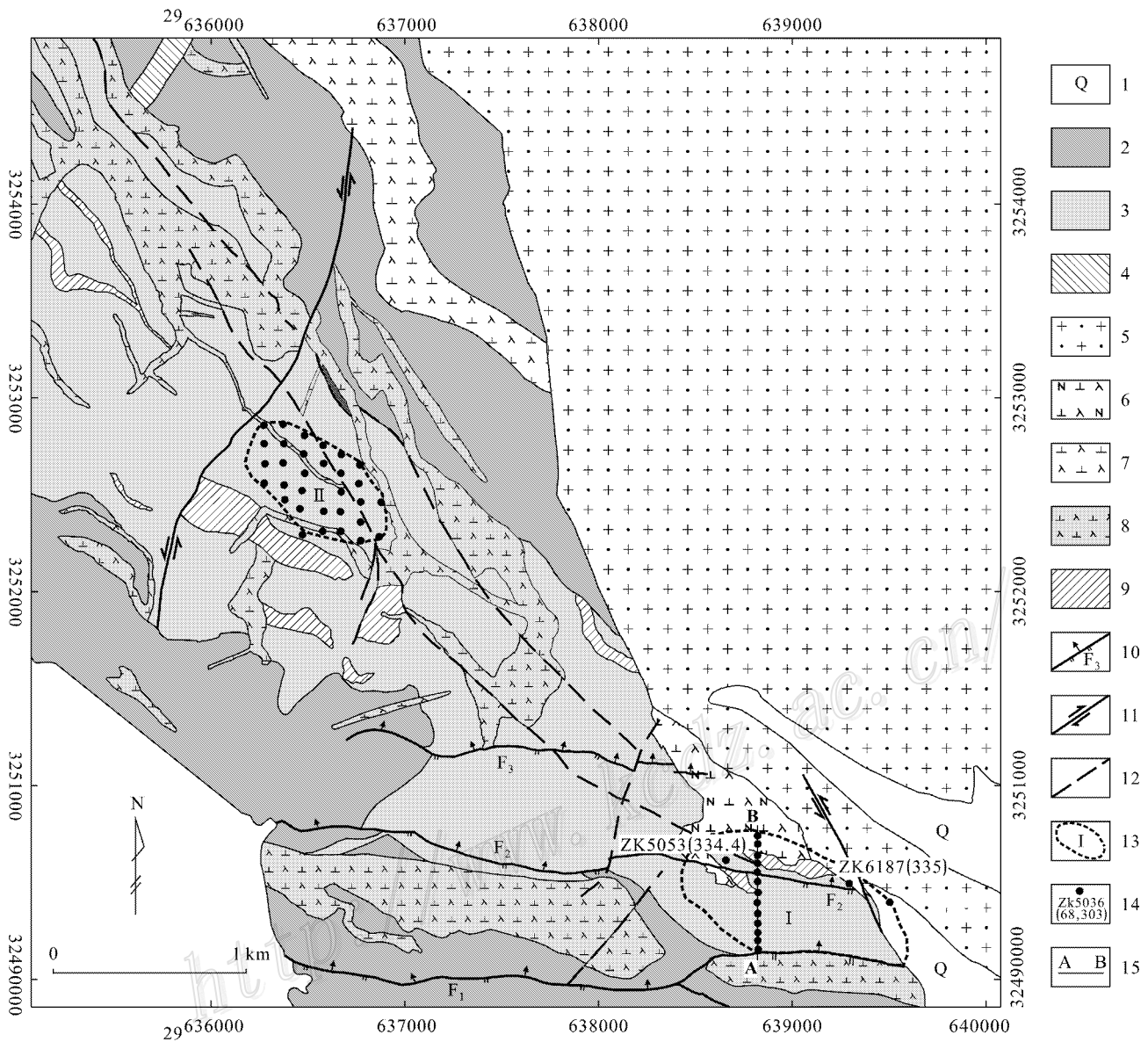


图1 雄村铜金矿区地质简图(据唐菊兴 2006^①、Oliver, 2006^②)(公里网坐标为84坐标)

1—全新统冲积物-崩积物 (Qh^{al+cl}); 2—下-中侏罗统雄村组火山-沉积岩 ($J_{1,2}x^1$); 3—下-中侏罗统雄村组凝灰岩 ($J_{1,2}x^2$); 4—始新世长英质脉 ($E_2\gamma$); 5—始新世黑云母花岗岩长岩 ($E_2\gamma\delta\beta$); 6—始新世含斜长石斑晶的斜长闪长玢岩 ($E_2\delta\mu$); 7—晚侏罗世石英闪长玢岩 ($J_3\delta\mu$); 8—中侏罗世具眼球状石英斑晶的闪长玢岩 ($J_2\delta\mu$); 9—中侏罗世角闪石英闪长玢岩 ($J_2\delta\mu$); 10—逆冲断层; 11—平移断层; 12—产状或性质不明断层; 13—矿体边界及编号; 14—钻孔及编号、采样位置; 15—剖面线

Fig. 1 Geological map of the Xiongcu copper-gold deposit (after Tang et al., 2006^① and Oliver, 2006^②)

1—Holocene overburden (Qh^{al+cl}); 2—Volcanic-sedimentary rocks of Lower-Middle Jurassic Xiongcu Formation ($J_{1,2}x^1$); 3—Tuff of Lower-Middle Jurassic Xiongcu Formation ($J_{1,2}x^2$); 4—Eocene felsic vein ($E_2\gamma$); 5—Eocene biotite granodiorite ($E_2\gamma\delta\beta$); 6—Eocene plagioclase diorite porphyry ($E_2\delta\mu$); 7—Lower Jurassic quartz diorite porphyry ($J_3\delta\mu$); 8—Middle Jurassic diorite porphyry with quartz augens; 9—Middle Jurassic hornblende quartz diorite porphyry; 10—Reverse thrust fault; 11—Flaw fault; 12—Unclear fault; 13—Ore body boundary and its serial number; 14—Borehole and its number, and sampling location; 15—Profile line

① 唐菊兴,李志军,钟康惠. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜(金)矿勘探报告. 成都:成都理工大学档案馆.

② Oliver J. 2006. Geological mapping of the Xietongmen property and contiguous areas, Tibet, People's Republic of China. Private Report to Continental Minerals Corp.

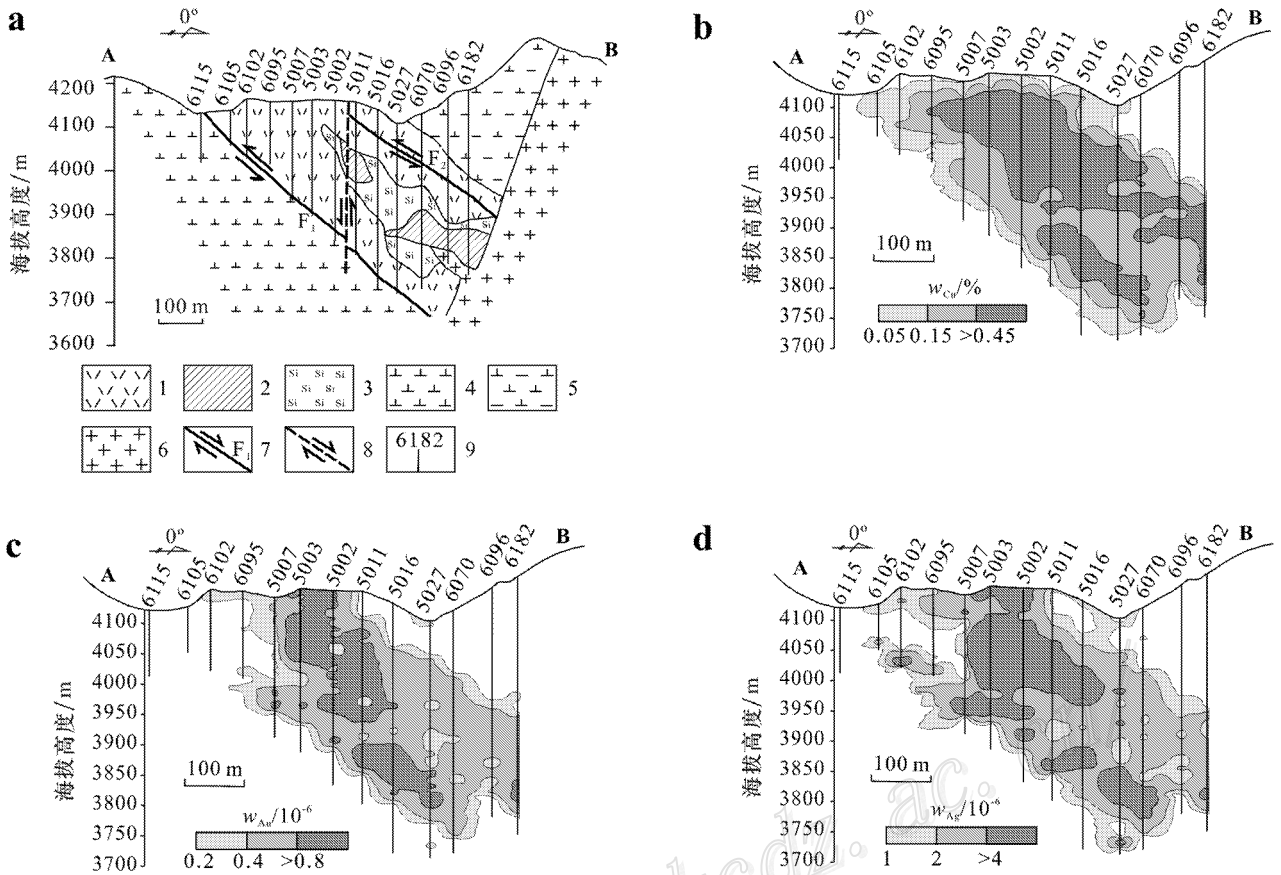


图2 雄村铜金矿区第三勘探线(图1中AB)剖面地球化学异常图

1—凝灰岩；2—含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩；3—强硅化蚀变岩；4—角闪石英闪长玢岩；5—斜长闪长玢岩；6—花岗闪长岩；7—断层；8—推测断层；9—钻孔及编号

Fig. 2 Primary geochemical anomalies along No.3 exploration line in the Xiongcu ore deposit

1—Tuff；2— Hornblende quartz diorite porphyry with quartz augens；3—Intensely silicified rock；4—Hornblende quartz diorite porphyry；5—Plagioclase diorite porphyry；6—Granodiorit；7—Fault；8—Inferred fault；9—Location and serial number of borehole

中子照射的还有用作监控样的标准样：ZBH-25 黑云母国内标样，其标准年龄为 132.7 Ma，K 含量为 7.6%。由中国地质科学院地质研究所陈文研究员测试。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉，每个阶段加热 30 min，净化 30 min。质谱分析在 MM-1200B 质谱计上进行，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。系统空白水平： $m/e = 40、39、37、36$ 分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}$ 、 $4 \times 10^{-16} \text{ mol}$ 、 $8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。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 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得，其值为 $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ ($^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射

性衰变校正； ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ；用 ISOPLLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线。坪年龄误差以 1σ 给出。详细实验流程见陈文等(2006)和张彦等(2006)。

各样品的 ^{39}Ar - ^{40}Ar 同位素分析结果列于表 1，相应的坪年龄和等时线年龄见图 3。

从图表中可看出，云煌岩脉的黑云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(49.59 \pm 0.58) \text{ Ma}$ ；黑云母花岗闪长岩的黑云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(46.96 \pm 0.42) \text{ Ma}$ ，反等时线年龄为 $(46.72 \pm 0.81) \text{ Ma}$ 。

穿插矿体的谢通门大岩基黑云母花岗闪长岩中的黑云母(6187-335)给出了一个很好的坪年龄 $(46.96 \pm 0.42) \text{ Ma}$ ；6 个连续加热阶段产生的表面年龄在误差范围内完全一致，所释放的 ^{39}Ar 占 ^{39}Ar 总量的 93.67% (图 3b)。最初的 2 个加热阶段的表面

表 1 雄村铜金矿黑云母氩同位素测年结果

Table 1 Ar isotope age of biotite from the Xiongcu copper-gold deposit

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	F^{**}	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar 累积/ $\%$	t/Ma	$\pm 1\sigma/\text{Ma}$
样品 5053-324-4 云煌岩黑云母, $m = 68.49 \text{ mg}$, $J = 0.006542$										
500	422.8911	1.3460	0.0000	0.2557	5.94	25.1379	0.05	0.17	275	62
600	61.5978	0.1943	0.4832	0.0493	6.85	4.2180	0.27	1.16	49.10	4.40
700	63.2649	0.2010	0.4772	0.0486	6.18	3.9081	0.33	2.37	45.50	3.90
800	17.2484	0.0432	0.0895	0.0199	26.00	4.4851	1.44	7.69	52.17	0.79
900	7.2522	0.0118	0.0519	0.0137	51.92	3.7658	3.22	19.58	43.90	0.49
1000	5.5343	0.0068	0.0145	0.0127	63.51	3.5150	4.61	36.62	41.01	0.47
1100	6.6799	0.0078	0.0149	0.0130	65.25	4.3589	6.82	61.86	50.72	0.52
1200	6.5853	0.0079	0.0066	0.0137	64.27	4.2326	8.11	91.85	49.27	0.51
1300	6.4701	0.0082	0.0542	0.0136	62.68	4.0558	1.89	98.84	47.24	0.60
1400	13.0442	0.0305	0.2985	0.0166	31.04	4.0494	0.31	100.00	47.2	3.4
样品 6187-335 黑云母花岗闪长岩黑云母, $m = 61.15 \text{ mg}$, $J = 0.006141$										
500	42.8968	0.1407	0.2298	0.0422	3.11	1.3361	0.28	0.93	14.70	2.60
600	13.7395	0.0411	0.1531	0.0226	11.70	1.6074	1.18	4.86	17.72	0.52
700	8.6732	0.0148	0.0510	0.0170	49.66	4.3075	2.38	12.81	47.10	0.55
800	5.0207	0.0025	0.0288	0.0148	85.19	4.2771	4.42	27.56	46.77	0.49
900	4.7344	0.0016	0.0300	0.0147	89.80	4.2514	4.08	41.16	46.49	0.53
1000	4.7473	0.0011	0.0140	0.0144	92.90	4.4103	4.44	55.96	48.21	0.53
1100	4.4541	0.0007	0.0176	0.0145	95.46	4.2519	8.63	84.76	46.50	0.52
1200	4.5723	0.0010	0.0606	0.0145	93.56	4.2781	4.41	99.46	46.78	0.49
1300	27.7604	0.0712	0.4784	0.0288	24.28	6.7439	0.16	100.00	73.20	6.00

** $F = ^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 之比值, $^{40}\text{Ar}^*$ 放射性氩。下标 m 代表测定值。

年龄较坪年龄偏低很多,而且误差较大,这 2 个阶段释放的氩气中放射性成因氩的百分比(表 1、图 3b)也较低,说明黑云母表面遭受了很轻微的氩丢失,同时有少量大气氩吸附在矿物晶体表面。从表面年龄分析,该样品不含过剩氩,也不存在后期岩浆矿物的污染,黑云母形成后没有遭受明显的热事件干扰,表明黑云母花岗闪长岩形成以后,没有明显的大的热-岩浆事件,其氩同位素体系基本处于封闭状态。利用所有 6 个连续加热阶段产生的数据拟合出了很好的等时线和反等时线,反等时线年龄为 $(46.72 \pm 0.81) \text{ Ma}$ (图 3c),在误差范围内与坪年龄完全一致,证明分析结果可靠,即黑云母的冷却年龄为 $46 \sim 47 \text{ Ma}$ 。根据等时线和反等时线在 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 轴上的截距所计算的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 297.1 ± 5.6 和 298 ± 13 ,相似于正常的大气氩比值(295.5),也显示没有后期热事件的叠加,也就是说黑云母花岗闪长岩的侵位是本区最重要及规模最大的岩浆-热事件。

穿插矿体的无矿化云煌岩(5053-324-4) w_{Cu} 为 0.0551%, w_{Au} 为 0.034 g/t, w_{Ag} 为 0.6 g/t,其黑云母给出了一个较好的似坪年龄(图 3a),4 个连续加热阶段所释放的 ^{39}Ar 占 ^{39}Ar 总量的 63.28%,其表面年龄在误差范围内一致,计算出的加权平均年龄

为 $(49.59 \pm 0.58) \text{ Ma}$ 。但由于各阶段的表面年龄相差较大,且构成年龄坪的阶段数偏少,该样品未拟合出等时线年龄。该样品第 2~第 4 三个连续加热阶段所释放的 ^{39}Ar 占 ^{39}Ar 总量的 7.52%,在误差范围内其加权平均年龄与最后的 4 个连续加热阶段的加权平均年龄基本一致。但第 5~第 6 两个连续加热阶段释放的 ^{39}Ar 占 ^{39}Ar 总量的 28.93%,在误差范围内其表面年龄一致,这 2 个阶段的表面年龄平均为 42.46 Ma ,显然反映后期热事件对云煌岩的黑云母氩同位素体系产生较强的扰动或置换(张彦等, 2006)。这一热事件很可能与晚于云煌岩侵位的谢通门大岩基的侵入有关。其他研究者测定的中侏罗世石英闪长玢岩中黑云母的 Ar-Ar 同位素年龄也具有相似的特征,测定的年龄也是 46 Ma 左右,详细内容将在下节进行讨论。

4 讨论

到目前为止,不同的研究者共分析了 6 个 Ar-Ar 同位素年龄,结果见表 2。

基本地质事实表明,雄村铜金矿 I 号矿体北东出露的黑云母花岗闪长岩(属谢通门大岩基的一部

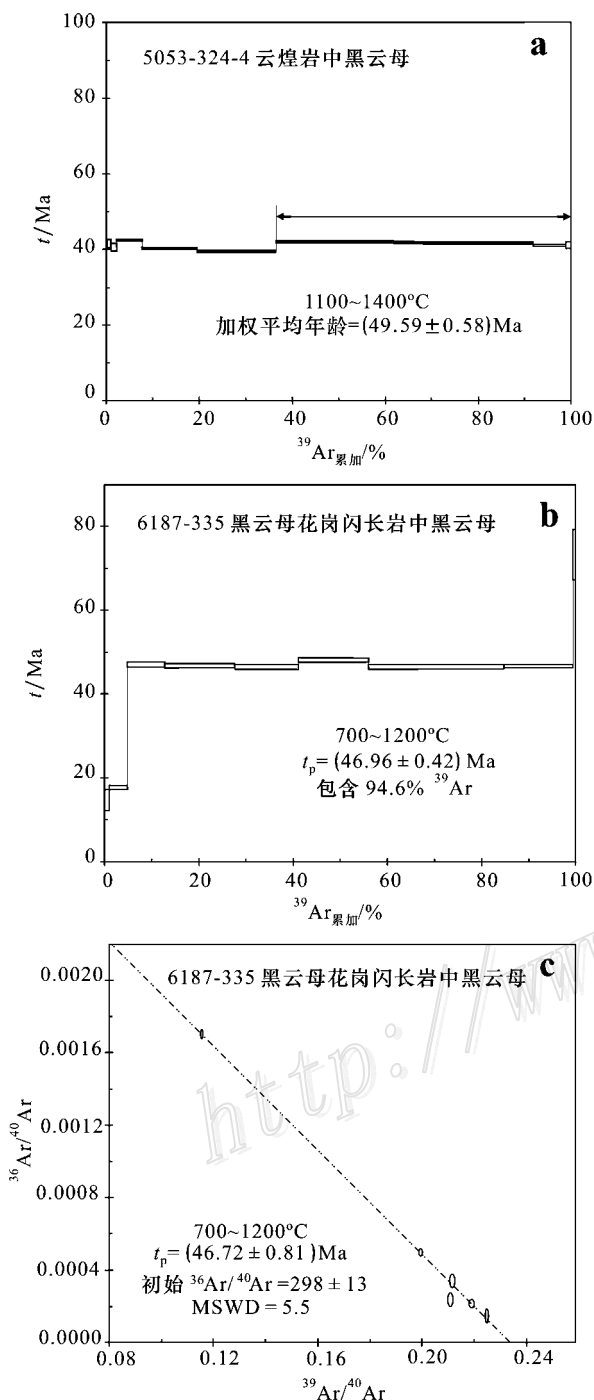


图 3 雄村矿区煌斑岩和黑云母花岗闪长岩中黑云母

$^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 同位素坪年龄 (a、b) 和等时线年龄 (c) 图

Fig. 3 Plateau age (a、b) and isochron diagram (c) of biotite $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ isotopes in the Xiongcu copper-gold deposit

分) 在剖面上可以看到其包裹或穿切铜金矿体, 其铜、金、银含量极低 (唐菊兴等 2009)。因此, 判断该岩体是在矿体形成之后侵位的。根据唐菊兴等 (待刊^①)、曲晓明等 (2007)、Tafty 等 (2006)^② 提供的锆石 U-Pb 年龄分析, 至少存在 3 套年龄不同的火山岩-侵入岩, 即早-中侏罗世的火山岩 (含矿围岩) (195~176 Ma)、中侏罗世的闪长玢岩 (177~145 Ma)、始新世鲁帝特 (Lutetian) 期的黑云母花岗闪长岩和各类岩脉 (46~50 Ma), 其中黑云母花岗闪长岩和各类岩脉均穿切矿体。

通过 Ar-Ar 同位素年龄测定, 笔者发现几乎所有地质体的 Ar-Ar 同位素年龄均在 50~46 Ma (本文, Tafty et al., 2006^②, 徐文艺等, 2006), 甚至是 38.11 Ma (徐文艺等 2006)。

穿切矿体的黑云母花岗闪长岩、花岗闪长岩脉、闪长岩脉的锆石 U-Pb 年龄分别为 (46.5 ± 1.1) Ma (MSWD = 0.83) (唐菊兴等, 待刊^①) ~ (47.22 ± 0.73) Ma (Tafty et al., 2006^②)、41 Ma 和 47 Ma, 该组年龄与本文测得的黑云母花岗闪长岩中的黑云母 Ar-Ar 年龄是基本一致的, 也就是说 47 Ma 左右是谢通门大岩基侵位的年龄。

矿体内穿切矿体的云煌岩脉的黑云母 Ar-Ar 年龄为 (49.59 ± 0.58) Ma, 在误差范围内与谢通门大岩基、闪长岩脉、花岗闪长岩脉的侵位年龄是一致的。

Tafty 等 (2006)^② 对采自 ZK5001 钻孔 368 m 处的浅成岩——角闪石英闪长玢岩样品分别做了黑云母 Ar-Ar 同位素年龄和锆石 U-Pb 年龄测定, 结果分别为 (48.57 ± 0.31) Ma (图 4) 和 (177.1 ± 2.0) Ma, 反映了后期热事件对中侏罗世早期侵位角闪石英闪长玢岩中的黑云母氩同位素体系产生了较大的影响。这一热事件很可能与谢通门大岩基的侵入有关。

Tafty 等 (2006)^② 还从地表采集了矿体的围岩凝灰岩 (成岩年龄约为 180 Ma 左右, 唐菊兴等, 待刊^①; 曲晓明等, 2007a; Tafty et al., 2006^②), 测定了其中绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素坪年龄为 (47.07 ± 0.30) Ma (图 5)。徐文艺 (2006) 测定的矿石中绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄为 38.11 Ma。

① 唐菊兴, 黎枫佳, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成时限: 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据 (待刊).

② Tafty R, Mortensen J K and Lang J R. 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. 15p. Inner information.

5 结论

(1) 穿插矿体的黑云母花岗闪长岩中的黑云母 Ar-Ar 测年结果表明黑云母矿物表面遭受了很轻微的氩丢失, 不含过剩氩, 也不存在后期岩浆矿物的污

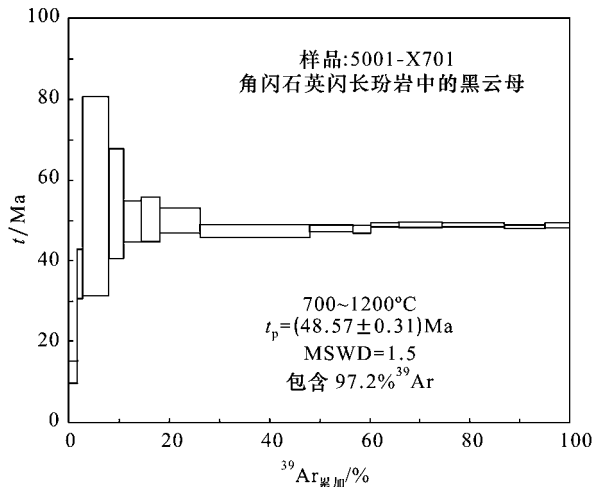


图 4 成矿前角闪石英闪长玢岩中黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素坪年龄 样品来自 5001 孔的 701 岩体 (Tafty et al., 2006^①)

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of biotite in the pre-mineralized hornblende quartz diorite of the Xiongcu copper-gold deposit (sample from No. 701 porphyry body in No. 5001 borehole) (after Tafty et al., 2006^①)

染, 黑云母形成时没有遭受明显的热事件干扰, 表明黑云母花岗闪长岩形成以后, 没有明显的大的热-岩浆事件, 其氩同位素体系基本处于封闭状态。坪年龄 (46.96 ± 0.42) Ma 与反等时线年龄 (46.72 ± 0.81) Ma 及等时线年龄 (46.84 ± 0.67) Ma 在误差范围内完全一致, 证明分析结果可靠, 即黑云母的冷却年龄为 46~47 Ma。根据等时线和反等时线在 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 轴上的截距所计算的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值分别为 297.1 ± 5.6 和 298 ± 13 , 相似于正常的大气氩比值 (295.5), 也显示没有后期热事件的叠加。穿插矿体的无矿化云煌岩测定结果反映后期热事件对云煌岩中黑云母的氩同位素体系产生了较强的扰动, 导致放射性成因氩同位素的部分丢失。

(2) 黑云母花岗闪长岩与不同侵入期、不同形成时代、不同空间位置的火山-侵入岩中云母类、长石类矿物的 Ar-Ar 同位素年龄基本一致, 是由于谢通门大岩基黑云母花岗闪长岩的侵位这一热事件导致围绕其的各类地质体 (包括铜金矿体) 发生退变质作用所致, 镜下常见显著的角岩化, 绢云母化, 黑云母的细化等特征。这种退变质的时限在 46~48 Ma 之间的始新世鲁帝特 (lutetian) 期。

(3) 谢通门大岩基黑云母花岗闪长岩的侵位这一事件与谢通门雄村铜金矿集区的成矿没有关系, 相反还对矿体起到了破坏作用, 地质事实反映其侵吞穿切了铜金矿体, 它的侵位对围绕其分布的各地

表 2 雄村铜金矿不同地质体矿物 Ar-Ar 同位素年龄测定结果

Table 2 Ar-Ar isotope age of minerals from different rock types in the Xiongcu copper-gold deposit

测试矿物	样品产状	测试结果	备注	资料来源
黑云母	1号矿体 ZK6187 孔 335 m 上下, 黑云母花岗闪长岩穿切矿体, 属于谢通门大岩基的一部分	坪年龄 (46.96 ± 0.42) Ma, 反等时线年龄 (46.72 ± 0.81) Ma, 等时线年龄 (46.84 ± 0.67) Ma	样品号 6187-335,	本文
黑云母	ZK5053 孔 324.4 m 上下, 云煌岩穿切矿体	(49.59 ± 0.58) Ma	样号 5053-324-4	本文
蚀变黑云母	701 岩体 ZK5001 孔 368 m 上下	(48.57 ± 0.31) Ma	强烈的绢云母化, 是角岩化过程中的退变质产物	Tafty et al., 2006 ^①
蚀变绢云母	红山地区地表, 156638742E, 3248815N (84 坐标)	(47.07 ± 0.30) Ma	样品号 XE-149, 强烈的绢云母化, 是角岩化过程中的退变质产物	Tafty et al., 2006 ^①
绢云母	XD-07	38.11 Ma	与黄铜矿共生的绢云母?	徐文艺等, 2006
钾长石	不明	(47.62 ± 0.7) Ma	似伟晶岩脉中的钾长石, 脉体产状和采样点不明	徐文艺等, 2006

① Tafty R, Mortensen J K and Lang J R. 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. 15p. Inner information.

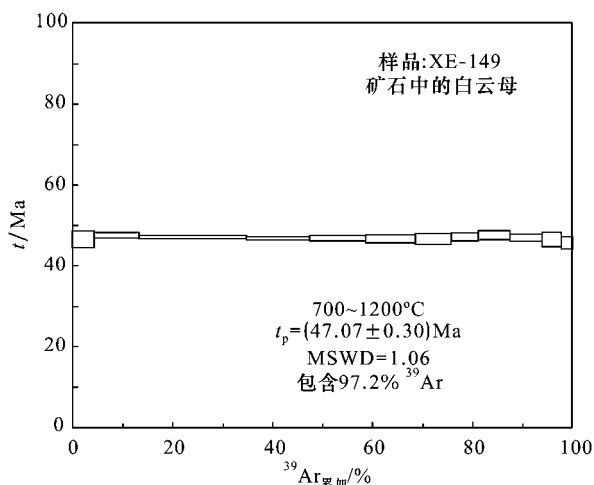


图5 雄村铜金矿矿石中白云母 Ar-Ar 同位素坪谱年龄 ((样品采自红山 156638742E, 3248815N(84 坐标)) 据 Taftý et al. , 2006^①)

Fig. 5 Ar-Ar plateau age of sericite in the Xioncun copper-gold deposit [Sample location : 156638742E, 3248815N(84 coordinate) in the Red Mountain] after Taftý et al . , 2006^①)

质体发生退变质作用,同时侵位的各类岩脉也对矿体起到了穿切作用,甚至形成了规模很大的无矿夹石。

(4)最老的浅成岩体、含矿岩体、铜金矿体、含矿围岩凝灰岩这些形成于早-中侏罗世的火山-岩浆岩的云母类矿物 Ar-Ar 同位素年龄相近,均在 47 Ma 左右,与谢通门大岩基的侵位时间一致。以上地质体中云母类矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄不能作为成矿年龄,仅仅代表了地质体的退变质时间。

志 谢 本文在陈毓川院士、多吉院士、芮宗瑶研究员、叶天竺研究员、王登红研究员、粟登达高级工程师、黄卫教授级高级工程师、李金高教授级高级工程师、陆彦教授级高级工程师、刘鸿飞教授级高级工程师的指导下完成,在此深表谢意!感谢西藏天圆矿业资源开发有限公司提供了大量的资料,并为笔者的野外工作和室内工作提供了资助。

References

Chen W, Zhang Y, Zhang Y Q, Jin G S and Wang Q L. 2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau-evidence from Ar-Ar thermochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867-872(in Chinese with English abstract).

- Ding F, Tang J X and Cui X L. 2006. The indication of S-Pb isotopic and trace elements to the source of Xioncun copper-gold deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(Supp.): 399-402(in Chinese).
- Ford J H. 1978. A chemical study of alteration at the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea[J]. *Econ. Geol.*, 73(5): 703-720.
- Gemmell J B. 2007. Hydrothermal alteration associated with the Gosowong epithermal Au-Ag deposit, Halmahera, Indonesia: Mineralogy geochemistry, and exploration implications[J]. *Econ. Geol.*, 102(5), 893-922.
- Hollister V F. 1974. Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America[J]. *Trans. AIME*, (1): 45-53.
- Hollister V F. 1975. An appraisal of nature and source of porphyry copper deposits[J]. *Miner. Sci. & Eng.*, (3): 225-230.
- Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang A J, Pan G T, Qu X M and Nie F J. 2006a. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geol. in China*, 33(2): 348-359(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Yang Z S, Xun W Y, Mo X X, Ding L, Gao Y F, Dong F L, Li G M, Qu X M, Li G M, Zhao Z D, Jiang S H, Meng X J, Li Z Q, Qin K Z and Yang Z M. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337-358(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Yang Z S, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521-543(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Zhao Z D, Gao Y F, Yang Z M and Jiang W. 2006d. Tearing and dischronal subduction of the Indian continental slab: Evidence from Cenozoic Gangdese volcano-magmatic rocks in south Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 761-774(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Yang Z S, Meng X J, Li Z Q, Yang Z M, Zheng M P, Zheng Y Y, Nie F J, Gao Y F, Jiang S H and Li G M. 2006e. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651(in Chinese with English abstract).
- Li G M, Rui Z Y, Wang G M, Lin F C, Liu B, She H Q, Feng C Y and Qu W J. 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 482-489(in Chinese with English abstract).
- Meng X J, Hou Z Q, Gao Y F, Huang W, Qu X M and Qu W J. 2003. Re-Os dating for molybdenite from Qulong porphyry copper deposit in Gangdese metallogenic belt, Xizang and its metallogenic significance[J]. *Geol. Rev.*, 49(6): 660-666(in Chinese with English abstract).

① Taftý R, Mortensen J K and Lang J R. 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. 15p. Inner information.

- Mo X X, Zhao Z D, Deng J F, Dong G C, Zhou S, Guo T Y, Zhang S Q and Wang L L. 2003. Response of volcanism to The India-Asia collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135-148(in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Li G M, Li J X, Ding K S and Xie Y H. 2005. The Xiongcu Cu-Zn-Au deposit in the western segment of the Gangdese, Tibet: A Mesozoic HMS-type deposit cut by late veins[A]. In: Mao J W and Bierlein F P, ed. *Mineral deposit research: Meeting the global challenge*[C]. Springer. 2: 1255-1258.
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007a. Collation of age of ore-hosting volcanics in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages[J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 512-518(in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007b. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 81(7): 964-971(in Chinese with English abstract).
- Richards J P. 2009. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere[J]. *Geology*, 37(3): 247-251.
- Rui Z Y and Huang C K. 1984. Porphyry copper(molybdenum) deposits in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-322(in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Li Y L. 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 217-225(in Chinese with English abstract).
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits[J]. *Econ. Geol.*, 67: 184-197.
- Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 14: 161-174.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian J. Earth Sci.*, 44: 373-388.
- Tang J X, Li Z J, Zhang L, Huang Y, Deng Q and Lang X H. 2007. The geologic feature of porphyry epithermal copper-gold deposit on Xiongcu pattern, Tibet[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 27(Supp.): 127-128(in Chinese).
- Tang J X, Chen Y C, Jiang Y H and Wang R J. 2008. Deposit characteristics of the main skarn type deposits in Tibet[A]. In: The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits, China[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 36-37(in Chinese).
- Tang J X, Huang Y, Li Z J, Deng Q, Lang X H, Chen Y and Zhang L. 2009a. Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xaitongmoin County, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 28(1): 15-28(in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Chen Y C, Wang D H, Wang C H, Xu Y P, Qu W J, Huang W and Huang Y. 2009b. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbuijiangda County, Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 698-704(in Chinese with English abstract).
- Taylor D and Leeuwen T V. 1980. Porphyry-type deposit in southwest Asia[J]. *Mining Geol. Special Issue*, 8: 159-174.
- Xu W Y, Qu X M, Hou Z Q, Yang Z S, Pan F C, Cui Y H, Chen W S, Yang D and Lian Y. 2006a. The Xiongcu copper-gold deposit in Tibet: Characteristics, genesis, and geodynamic application[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1392-1406(in Chinese with English abstract).
- Xu W Y, Qu X M, Hou Z Q, Yang Z S, Pan F C, Cui Y H, Chen W S, Yang D and Lian Y. 2006b. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Xiongcu copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 243-251(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Song Y C, Li Z Q, Xia D X and Pan F C. 2008a. Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet: Geology, alteration and mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 27(3): 279-318(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Xia D X, Song Y C and Li Z. 2008b. Relationship between western porphyry and mineralization in Qulong copper deposit of Tibet and its enlightenment to further exploration[J]. *Mineral Deposits*, 27(1): 28-36(in Chinese with English abstract).
- Zhang H T, Chen R Y and Han F L. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 150-163(in Chinese with English abstract).
- Zhang L, Tang J X, Deng Q, Huang Y, Lang X H, Lang J and Taft Y R. 2007. Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcu Cu(Au) deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. *J. Chengdu Univ. Technol. (Sci. & Technol. Edition)*, 34(3): 318-326(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Chen W, Chen K L and Liu X Y. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ³⁹Ar recoil loss: Examples from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province[J]. *Geol. Rev.*, 52(4): 556-561(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y Y, Gao S B and Cheng L J. 2004. Finding and significances of Chongjiang porphyry copper(molybdenum, Aurum) deposit, Tibet [J]. *Earth Sci.—J. China University of Geosciences*, 29(3): 333-339(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 王清利. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. *岩石学报*, 22(4): 867-872
- 丁枫, 唐菊兴, 崔晓亮. 2006. 硫、铅同位素及微量元素对西藏雄村铜金矿成矿物质来源的指示[J]. *矿床地质*, 25(增刊): 399-402.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006a. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 348-359.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 莫宣学, 丁林, 高永丰, 董方浏, 李光明, 曲晓明, 李光明, 赵志丹, 江思宏, 孟祥金, 李振清, 秦克

- 章,杨志明. 2006b. 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(4): 337-358.
- 侯增谦,潘桂棠,王安建,莫宣学,田世洪,孙晓明,丁林,王二七,高永丰,谢玉玲,曾普胜,秦克章,许继峰,曲晓明,杨志明,杨竹森,费红彩,孟祥金,李振清. 2006c. 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,赵志丹,高永丰,杨志明,江万. 2006d. 印度大陆板片前缘撕裂与分段俯冲:来自冈底斯新生代火山-岩浆作用证据[J]. 岩石学报, 22: 761-774.
- 侯增谦,曲晓明,杨竹森,孟祥金,李振清,杨志明,郑绵平,郑有业,聂凤军,高永丰,江思宏,李光明. 2006e. 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.
- 李光明,芮宗瑶,王高明,林方成,刘波,余宏全,丰成友,屈文俊. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及意义[J]. 矿床地质, 24(5): 482-489.
- 孟祥金,侯增谦,高永丰,黄卫,曲晓明,屈文俊. 2003. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义[J]. 地质论评, 49(6): 660-666.
- 孟祥金,侯增谦,李振清. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿 S、Pb 同位素组成:对含矿斑岩与成矿物质来源的指示[J]. 地质学报, 80(4): 554-560.
- 莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮. 2003. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10(3): 135-148.
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007a. 三个锆石 U-Pb SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿火成岩时代的重新厘定[J]. 矿床地质, 26(5): 512-518.
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007b. 西藏雄村特大型铜金矿床容矿火山岩的成因及对成矿的贡献[J]. 地质学报, 81(7): 964-971.
- 芮宗瑶,黄崇柯. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿[M]. 北京:地质出版社. 1-322.
- 芮宗瑶,侯增谦,曲晓明,张立生,王龙生,刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3): 217-225.
- 唐菊兴,李志军,张丽,黄勇,邓起,郎兴海. 2007. 雄村式斑岩型-浅成低温热液型铜金矿地质特征[J]. 矿物学报, 127(增刊): 127-128.
- 唐菊兴,陈毓川,江云华,王瑞江. 2008. 西藏主要夕卡岩矿床特征[A]. 见:第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京:地质出版社. 36-37.
- 唐菊兴,黄勇,李志军,邓起,郎兴海,陈渊,张丽. 2009a. 西藏谢通门县雄村铜金矿元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 28(1): 15-28.
- 唐菊兴,陈毓川,王登红,王成辉,许远平,屈文俊,黄卫,黄勇. 2009b. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698-704.
- 徐文艺,曲晓明,侯增谦,杨丹,杨竹森,崔艳合,陈伟十. 2006a. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3): 243-251.
- 徐文艺,曲晓明,侯增谦,杨竹森,潘凤雏,崔艳合,陈伟十,杨丹,连玉. 2006b. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景[J]. 地质学报, 80(9): 1392-1406.
- 杨志明,侯增谦,宋玉财,李振清,夏代详,潘凤雏. 2008a. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床地质、蚀变与成矿[J]. 矿床地质, 27(3): 279-318.
- 杨志明,侯增谦,夏代详,宋玉财,李政. 2008b. 西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定:对矿床未来勘探方向的重要启示[J]. 矿床地质, 27(1): 28-36.
- 张洪涛,陈仁义,韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 23(2): 150-163.
- 张丽,唐菊兴,邓起,黄勇,郎兴海,Lang J, Taftý R. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石物质成分研究及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学学报), 34(3): 318-326.
- 张彦,陈文,陈克龙,刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型及³⁹Ar 核反冲丢失机理研究——以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 53(4): 556-561.
- 郑有业,高顺宝,程力军. 2004. 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义[J]. 地球科学, 29(3): 333-339.