# 云南马厂箐斑岩型铜一钼一金矿床 <sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar 年龄及地质意义

郭晓东<sup>1,2)</sup>, 葛良胜<sup>2)</sup>, 王治华<sup>2)</sup>, 王梁<sup>2)</sup>, 王晓军<sup>2)</sup>

1) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037;2) 武警黄金地质研究所,河北廊坊,065000

**内容提要:**马厂箐矿集区铜、钼、金矿化之间的关系对于认识该矿床的成矿作用过程及地质勘查具有重要意义。 利用<sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar 同位素定年方法对乱硐山矿段夕卡岩型铜钼金矿化和人头箐矿段蚀变岩型金矿石中热液白云母进行 同位素定年,得到夕卡岩化矿石中白云母样品(B119)<sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar 坪年龄为 35.25 ±0.36 Ma,等时线年龄为 35.0 ±1.8 Ma,反等时线年龄为 34.8 ±1.9 Ma。蚀变岩型金矿化矿石中白云母样品(B118)<sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar 坪年龄为 35.35 ±0.32 Ma,等时线年龄为 34.44 ±0.99Ma,反等时线年龄为 34.4 ±1.2 Ma。这与正长斑岩(35.6 ±0.3 Ma)、花岗斑岩(35.0 ±0.2 Ma)、斑岩型铜钼矿化成矿年龄(35.8 ±1.6 Ma)和(33.9 ±1.1 Ma)较为一致,显示马厂箐铜钼金矿床与正长 (斑)岩 + 二长(斑)岩 + 花岗斑岩 + 斑状花岗岩岩性组合有关,铜钼金成矿属于同一个构造一岩浆一成矿系统的产物。

关键词:40Ar-39Ar年龄;成岩成矿时代;成矿系统;马厂箐铜钼金矿;云南

马厂箐铜一钼一金矿化集中区是滇西成矿带上 矿化类型较全、成矿元素复杂、成矿条件独特的斑岩 型矿集区,著名的马厂箐铜钼矿和金厂箐金矿是矿 集区内两个最为重要的金属矿床。自20世纪90年 代以来,马厂箐铜钼矿和金厂箐金矿作为该带上与 喜马拉雅期富碱侵入岩有关的典型矿床受到许多地 质学家的广泛关注,科学研究和地质找矿取得了丰 硕成果。如马厂箐复式杂岩体具有高钾富碱的特 征,属于高钾钙碱性或钾玄岩系列(张玉泉等, 1987;曾普胜等,2002;毕献武等,1999,2005;郭晓东 等,2009a,b),具有 A 型花岗岩特征(毕献武等, 1999)和C型钾质埃达克岩的地球化学亲合性(郭 晓东等,2009a),起源于富集地幔或壳幔混染(胡瑞 忠等,1997;刘显凡等,2004;郭晓东等,2011a,b),产 出于裂谷环境(张玉泉等,1987)或者总体挤压、局 部引张环境(曾普胜等,2002),形成于喜马拉雅期 (吕伯西等,1993;张玉泉等,1997;梁华英等,2004; 彭建堂等,2005;郭晓东,2009a,b)。马厂箐铜钼矿 成矿与富碱斑岩岩浆作用有关,富碱斑岩体提供了 成矿的物质、流体和动力(胡瑞忠等,1997;毕献武 等,1999,2005;刘显凡等,2004;何明勤和杨世瑜, 2004;梁华英等,2004;郭晓东等,2009b,2011a,c); 金厂箐金矿成矿流体以大气降水为主,成矿物质来 源于下奥陶统向阳组地层(杨建琨和唐志国,1996; 何明勤和杨世瑜,2004),富碱斑岩是金的成矿母岩 (俞广钧,1988)。同时,作为认识矿床成因、成矿事 件与其他异常地质事件耦合关系具有至关重要理论 和实际意义的同位素年代学研究也取得了较大进 展,积累了大量的成岩成矿年代学数据(见郭晓东 等,2011c之表2),积累的同位素年龄数据大多数由 K-Ar 法、Rb-Sr 法所获得,个别采用了 Ar-Ar 法等较 为精确的定年方法,由于所采用的年代学测试方法 的局限性以及所测试矿物存在的自身不足,所获得 的年龄数据变化范围较大,很难准确判断成岩成矿 的具体时代,在一定程度上制约着矿床理论研究和 地质找矿的深入开展。随着锆石 U-Th-Pb 法、辉 钼矿 Re-Os 法和云母类 Ar-Ar 法等较为精确的定年 方法在国内外被广泛应用于成岩成矿的年龄测定, 个别学者针对马厂箐矿集区不同的地质体选择不同 的测年技术开展了同位素年代学测定,相继得到一

注:本文为973 国家重点基础研究发展计划(编号2009CB421000)、地质调查项目(1212011121266,1212011182388)和武警黄金指挥部专 项基金(编号 WHY11-08)资助项目的成果。

收稿日期:2011-02-03;改回日期:2012-01-20;责任编辑:章雨旭。

作者简介:郭晓东,男,1969年生。博士,高级工程师。主要从事黄金地质勘查和研究工作。通讯地址:065000,河北省廊坊市丰盛路159 号武警黄金地质研究所。Email:Xdguo191@ sohu. com。

些精确的同位素年龄数据。如正长(斑)岩锆石 U—Th—Pb年龄为35.6±0.3 Ma,花岗斑岩锆石 U—Th—Pb年龄为35.0±0.2 Ma(梁华英等, 2004);斑岩型铜钼矿体辉钼矿 Re-Os等时线年龄为 35.8±1.6 Ma(曾普胜等,2006)和33.9±1.1 Ma (王登红等,2004),模式年龄为35.3±0.7 Ma(郭晓 东等,2008),这些精确的年龄数据大多数集中在宝 兴厂矿段,反映出宝兴厂矿段铜、钼矿化与马厂箐岩 体密切相关。

然而,乱硐山矿段发育的接触交代型(或夕卡 岩型)铜、钼(伴生金)矿化以及人头箐一金厂箐矿 段破碎蚀变岩型金矿化尚未获得精确的同位素年龄 数据,这在一定程度上制约着对马厂箐矿集区岩浆 活动与成矿作用之间、以及不同矿种、矿化类型之间 关系的深入认识,并进一步影响该区地质找矿工作 的深入开展。本文就是想通过对乱硐山矿段、人头 箐一金厂箐矿段金矿化的精确定年,以解决马厂箐 矿集区岩浆活动与成矿之间的关系,以及不同矿种、 矿化类型之间关系问题,并进一步促进矿床成因的 深入研究。

## 1 矿床地质特征

马厂箐铜一钼一金多金属矿集区位于云南省祥 云、弥渡、大理三市县接壤部位。大地构造位置处于 扬子板块西缘与金沙江一哀牢山深大断裂带东侧交 会部位,NW向金沙江一哀牢山断裂带与 NNE 向程 海—宾川断裂带所夹锐角区(毕献武等,1999)。马 厂箐矿化带(或岩带)总体呈 NE 向展布,矿集区内 已发现几十条铜、钼、金、铁、铅锌等矿化脉体,从 NE 向 SW 划分成金厂箐—人头箐、乱硐山、宝兴厂和双 马槽4个矿段。金厂箐金矿位于金厂箐—人头箐矿 段,马厂箐铜钼矿床则位于宝兴厂矿段(见郭晓东 等,2011c 之图1)。

马厂箐复式杂岩体是矿集区主要地质体,属于 滇西喜马拉雅期富碱侵入岩带的重要组成部分。岩 体出露面积约1.36km<sup>2</sup>,平面上呈不规则似圆形,剖 面上呈不对称的蘑菇状,呈上大下小的形态。该岩 体由260多个小岩体组成,主要包括斑状花岗岩、花 岗斑岩、正长斑岩和二长斑岩等,其中以大面积出露 的斑状花岗岩为主。各类斑岩体(脉)以岩株、岩 脉、岩墙或岩床等产出,并侵位于下奥陶统向阳组长 石石英砂岩、粉砂岩、碳泥质细砂岩夹条带状灰岩、 泥质白云岩透镜体以及下泥盆统康廊组灰岩中。马 厂箐岩体具有多期次活动特征,可分为3期;1期为 斑状花岗岩床 + 煌斑岩脉组合,形成于 45 ~ 48 Ma; Ⅱ期为正长(斑)岩 + 二长(斑)岩 + 花岗斑岩 + 斑 状花岗岩组合,形成于 33 ~ 37 Ma;Ⅲ期为碱长花岗 斑岩 + 煌斑岩组合,形成于 29 ~ 32 Ma(郭晓东等, 2009b),以Ⅱ期岩性组合,斑状花岗岩近中心部位 发育强硅化核,矿区构造主要为控制马厂箐富碱侵 入岩带和矿带空间展布的 NEE 或近 EW 向断裂,以 及岩浆侵入过程中,由于岩浆侵入作用形成的一套 接触构造体系,是主要的控矿构造。NNE 向响水断 裂(F<sub>1</sub>)、乱硐山断裂(F<sub>3</sub>)和九顶山—梯子水顶断裂 (F<sub>2</sub>)的左行走滑剪切作用将 NEE 或近 EW 向马厂 箐岩(矿)带错移成金厂箐—人头箐、乱硐山、宝兴 厂和双马槽 4 个矿段,显示出 NE 向展布的构造格 局。

研究表明,马厂箐矿区矿种、蚀变矿化类型、控 矿构造、成矿元素组合等围绕马厂箐岩体在空间上 具有明显的分带性。斑岩型铜、钼矿化主要呈细脉 状、网脉状和浸染状发育在岩体内部,以钼矿化为 主,受控于岩体内的构造裂隙;接触交代型铜、钼、 金、铁矿化呈细脉状、大脉状、透镜状发育在岩体与 围岩的接触带附近,以铜、钼(伴生金)矿化为主。 矿体形态严格受岩体与围岩接触带形状控制,接触 带犬牙交错部位、岩体内湾、槽凹处都是有利的赋矿 部位,多呈透镜体或似层状;热液型金银铅锌矿化呈 脉状发育在围岩中,以金矿化为主,受控于围岩中的 构造破碎带。反映出从岩浆中分异出来的含矿流体 在岩浆热压力和流体内压力驱动下由岩体向外运 移,在不同的物理化学条件下堆积沉淀不同种类的 金属,形成一系列不同类型矿床的特点。铜、钼矿体 呈半环状沿北、东接触带分布,构成规模较大的矿化 地段或似层状矿体。南接触带和西接触带矿化强度 和矿体规模不如北、东接触带。1号矿体规模最大, 由彼此相连的复脉群组成,分布于北接触带,呈似层 状、透镜状、囊状,向深部成条状尖灭。沿走向具有 分枝复合、尖灭再现现象。金矿体主要产在围岩向 阳组地层中,受断裂破碎带、层间滑脱带或引张裂隙 带控制。由断裂破碎带和层间滑脱带控制的石英脉 和蚀变岩复合型矿化分布于乱硐山矿段和宝兴厂矿 段,多呈脉状、似层状、透镜状、囊状等,脉体规模大 品位低;金厂箐一人头箐矿段和双马槽矿段则发育 石英脉型矿化,受引张裂隙控制,多呈脉状、板状、透 镜状等,矿化体上下盘常发育正长斑岩、二长斑岩、 辉绿岩、煌斑岩等,规模小品位高。主要金属矿物为 黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、辉铜矿和磁铁矿

等;非金属矿物为石英、方解石、石榴子石、阳起石、 透闪石和蛇纹石等。近矿围岩蚀变有硅化、钾化、绢 云母化和绿泥石化等。

## 2 样品及测试方法

## 2.1 样品特征及处理

用于白云母 Ar-Ar 定年样品分别采自乱硐山矿 段夕卡岩型铜钼(金)矿化脉体中的白云母(图1A) (样品编号:B119,坐标:东经100°26′58″,北纬25° 31′57″)和金厂等一人头箐矿段蚀变岩型金矿化脉 体203 号脉中的白云母(图1B)(样品编号:B118, 坐标:东经100°27′49″,北纬25°32′50″)。

乱硐山矿段夕卡岩型铜钼(金)矿体呈不规则 状赋存于岩体与向阳组地层接触带附近,矿体形态 严格受岩体与围岩接触带形状的控制,呈透镜体或 似层状。矿化富集程度是通过接触带发育的构造裂 隙表现出来的,裂隙的发育程度控制矿化的强度。 矿石多呈稠密浸染状、网脉状、脉状、多孔状、角砾状 和块状产出。主要发育石英、绿帘石、绿泥石、阳起 石、白云母、方解石等中温热液蚀变矿物。金属硫化 物主要为黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、辉钼矿,多数呈细 脉浸染状、细脉状和条带状,少数呈团块状分布于夕 卡岩中。金厂箐一人头箐矿段破碎蚀变岩型金矿化 主要受围岩地层中的层间滑脱带和引张裂隙带控 制。矿体以稳定延伸的板状为主,其次为透镜状、扁 豆体、似层状,其产状与破碎带基本一致。含矿岩石 主要为破碎蚀变岩,矿体与围岩无明显界限,呈渐变 过渡关系。构造破碎带中常见二长斑岩或正长斑岩 脉与矿化体相伴产出。围岩蚀变主要有硅化、黄铁 矿化、绢云母化和毒砂化。金属硫化物主要为细粒 浸染状黄铁矿和毒砂,其次包括黄铜矿、方铅矿和闪 锌矿等。

用于测试年龄的样品 B119 和 B118 均采自矿 化脉体(破碎蚀变带), 矿化主要与硅化、黄铁矿化 有关, 距石英一黄铁矿脉(金矿化脉体)较近的围岩 中发育浅绿色的白云母, 而在距矿化脉体较远的围 岩中则不发育白云母, 即白云母与矿化脉体相伴产 出, 显然, 白云母是石英一黄铁矿脉(金矿化脉体) 成矿阶段热液蚀变的产物, 可以作为 Ar-Ar 同位素 测年的矿物来确定成矿时代。白云母多呈鳞片状, 最大可达 1mm 左右, 易于挑选, 单矿物纯度大于 99%。白云母样品挑选工作由河北省区域地质矿产 调查研究所承担。

#### 2.2 样品测试方法

样品测年工作在中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar同位素实验室完成。将选纯的矿物(纯度 > 99%)用超声波清洗;清洗后的样品被封进石英瓶 中送核反应堆中接受中子照射;照射工作是在中国 原子能科学研究院的"游泳池堆"中进行的,使用 H8孔道,中子流密度约为2.65×10<sup>13</sup> n cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。 照射总时间为2880 min,积分中子通量为4.58× 10<sup>18</sup> n cm<sup>-2</sup>;同期接受中子照射的还有用做监控样 的标准样:ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为 (132.7±1.2)Ma,K含量为7.6%。



图 1 云南马厂箐斑岩型铜—钼—金矿床<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄测试样品照片 Fig. 1 The photos of the samples for <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating from the Machangqing Cu—Mo—Au deposit, Yunnan (a)—夕卡岩型金矿脉中白云母;(b)—蚀变岩型金矿脉中白云母 (a)—muscovite form the skarn-type gold ore vein;(b)—muscovite form the alteration-type gold ore vein 样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段 加热 30 min,净化 30 min。质谱分析是在多接收惰 性气体质谱仪 Helix MC 上进行的,每个峰值均采集 20 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  $K_2 SO_4 和 CaF_2 来获$ 得,其值为:(<sup>36</sup> Ar/<sup>37</sup> Ar<sub>o</sub>)<sub>Ca</sub> = 0.0002389,(<sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar)<sub>K</sub> = 0.004782,(<sup>39</sup> Ar/<sup>37</sup> Ar<sub>o</sub>)<sub>Ca</sub> = 0.000806。<sup>37</sup> Ar 经 过放射性衰变校正;<sup>40</sup> K 衰变常数  $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}$ a<sup>-1</sup>,年龄误差以 2(给出。详细实验流程见有关文 章(陈文等,2006;张彦等,2006)。

## 2.3 测试结果

乱硐山矿段夕卡岩型铜钼(金)矿石中白云母 样品(B119)的阶段加热过程中氩同位素测试结果 见表1(同郭晓东等,2011c之表2)。白云母经过10 个阶段的分步加热,加热区间为700~1400℃,其中 1120~1280℃之间4个加热阶段析出的<sup>39</sup>Ar累计为 79.8%,获得坪年龄(35.25±0.36)Ma(2σ),等时 线年龄(35.0±1.8) Ma(2 $\sigma$ ),反等时线年龄(34.8 ±1.9) Ma(2 $\sigma$ )(图2)。金厂箐一人头箐矿段蚀变 岩型金矿化 203 号脉矿加热,加热区间为 600 ~ 1300℃,其中 1000 ~ 1300℃之间 6 个加热阶段析出 的<sup>39</sup> Ar 累计为 52.7%,所获得坪年龄(35.35 ± 0.32) Ma(2 $\sigma$ ),等时线年龄(34.44 ± 0.99) Ma (2 $\sigma$ ),反等时线年龄(34.4 ± 1.2) Ma(2 $\sigma$ )(图3)。 可以看出,B119 和 B118 两件样品的坪年龄、等时线 和反等时线年龄均较为一致。

从表1测试结果看,乱硐山矿段夕卡岩型铜钼 (金)矿化脉(体)中的白云母(B119)在较低温度区 间(小于1120℃)和高温区间(大于1280℃),金厂 箐一人头箐矿段破碎蚀变岩型金矿化203 号脉体中 的白云母(B118)在较低温度区间(小于1000℃)和 高温区间(大于1300℃),均出现一些氩同位素组成 的变化,这说明在白云母矿物颗粒边缘存在一定量 的氩的丢失而引起视年龄的波动(Faure,1998)。而 乱硐山矿段夕卡岩型矿石中白云母在1120~ 1280℃之间和金厂箐一人头箐矿段破碎蚀变岩型矿

表1 滇西马厂箐矿田矿石中白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 快中子活化法测年结果

Fable 1	40 Ar/3	<sup>®</sup> Ar fast ∙	– neutron da	ting re	esults of	the	muscovite in	ores o	of the	Macha	ngqing	orefield,	western	Yunnan
---------	---------	------------------------	--------------	---------	-----------	-----	--------------	--------	--------	-------	--------	-----------	---------	--------

样品	t	$\left[\frac{n(^{40}\mathrm{Ar})}{1}\right]$	$\left[\frac{n(^{36}\mathrm{Ar})}{2}\right]$	$\left[\frac{n(^{37}\mathrm{Ar})}{1}\right]$	$\left[\frac{n(^{38}\mathrm{Ar})}{1}\right]$	$(40 \text{ A}_{\text{m}}) (61)$	<i>n</i> ( <sup>39</sup> Ar)	$n(^{39}\mathrm{Ar})$	年龄(Ma)	
	(°C)	$\left[ n \left( {}^{39} \mathrm{Ar} \right) \right]_{\mathrm{m}}$	$\left[ n \left( {}^{39}\mathrm{Ar} \right) \right]_{\mathrm{m}}$	$\left[ n \left( {}^{39} \mathrm{Ar} \right) \right]_{\mathrm{m}}$	$\left[ n \left( {}^{39} \mathrm{Ar} \right) \right]_{\mathrm{m}}$	n(-Ar)(%)	$(\times 10^{-14} \text{ mol})$	( Cum. ) ( % )	测值	±lσ
铜钼金矿石中的白云母乱硐山矿段夕卡岩型	700	904.4482	2.9333	0.3942	0.6061	4.17	0.08	0.1	565	49
	800	245.6897	0.7897	0.1096	0.1761	5.02	0.23	0.38	205.2	9.4
	900	118.8538	0.3779	0.0843	0.0904	6.05	0.88	1.43	122.4	2.3
	1000	18.3865	0.0527	0.0276	0.0251	15.23	4.44	6.71	48.67	0.60
	1070	3.4408	0.0045	0.0529	0.0143	61.23	8.47	16.81	36.74	0.39
	1120	2.5396	0.0017	0.1196	0.0135	80.09	13.20	32.55	35.48	0.36
	1170	2.3463	0.0011	0.0179	0.0134	85.96	17.30	53.16	35.18	0.36
	1220	2.1373	0.0005	0.0093	0.0132	93.29	22.10	79.51	34.78	0.35
	1280	2.1290	0.0003	0.0157	0.0131	95.89	14.39	96.65	35.60	0.36
	1400	2.3280	0.0005	0.0728	0.0132	94.01	2.81	100.00	38.15	0.52
独变岩型金矿石中白云母金厂箐 ─ 人头箐矿段	600	44.0464	0.1439	0.0000	0.0422	3.45	0.41	0.27	26.5	6.6
	700	7.0443	0.0230	0.0063	0.0175	3.61	3.38	2.45	4.47	0.67
	800	2.9887	0.0061	0.0010	0.0133	39.78	17.99	14.07	20.81	0.24
	860	2.6083	0.0023	0.0028	0.0124	73.92	26.87	31.44	33.64	0.34
	910	2.4255	0.0012	0.0010	0.0122	85.77	11.70	39.00	36.26	0.37
	960	2.7997	0.0017	0.0051	0.0123	81.80	14.42	48.32	39.88	0.40
	1000	2.5813	0.0019	0.0015	0.0123	78.26	18.05	59.98	35.23	0.35
	1040	2.5681	0.0019	0.0000	0.0123	78.21	20.59	73.29	35.02	0.35
	1080	2.6804	0.0023	0.0015	0.0124	74.87	17.62	84.67	35.00	0.35
	1120	2.8514	0.0027	0.0047	0.0125	71.64	12.38	92.68	35.62	0.37
	1180	3.3858	0.0045	0.0035	0.0128	60.68	7.87	97.76	35.82	0.46
	1300	3.8273	0.0058	0.0000	0.0136	54.80	3.47	100.00	36.56	0.75

注:① 乱硐山矿段夕卡岩型铜钼金矿石中的白云母,样号 B119,样品重量 W=48.85mg;照射参数 J=0.009764;② 金厂箐 - 人头箐 矿段蚀变岩型金矿石中白云母,样号 B118,样品重量 W=48.35mg;照射参数 J=0.009761;③ 测试单位:中国地质科学院地质研究所 同位素地质实验室,2009。







## 图 2 乱硐山矿段夕卡岩型矿石白云母(B119)<sup>40</sup>Ar/ <sup>39</sup>Ar 坪年龄、等时线年龄和反等时线年龄

Fig. 2  $^{40}\,{\rm Ar}/^{39}\,{\rm Ar}$  plateau, normal isochron and inverse isochron ages for muscovite ( B119 ) of skarn-type ore in Luandongshan ore section

图 3 金厂箐一人头箐矿段破碎蚀变岩型矿石白云母 (B118)<sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar 坪年龄、等时线年龄和反等时线年龄 Fig. 3 <sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar plateau, normal isochron and inverse isochron ages for muscovite(B118) of alteration-type Au-ore in Jinchangqing—Rentouqing ore section

石中白云母在1000~1300℃之间分别构成了平坦的坪年龄谱,说明矿物内部的氩同位素组成稳定,边缘氩的丢失并未影响到矿物的内部。因此,以上两件样品的数据特征表明,本次研究所获得的乱硐上 矿段夕卡岩型铜钼金矿化白云母(B119)和人头 箐一金厂箐矿段破碎蚀变岩型金矿化白云母(B118)的 Ar 封闭年龄是精确的,具有很高的可靠 性,可以代表夕卡岩型铜钼金矿化和破碎蚀变岩型 金矿化的形成时代。

## 3 讨论

## 3.1 成矿时代

金厂箐—人头箐矿段破碎蚀变岩型金矿石白云 母(B118)坪年龄(35.35±0.32)Ma(2σ),等时线年 龄(34.44±0.99)Ma(2σ),反等时线年龄(34.4± 1.2) Ma(2σ),反映了金的成矿时代。乱硐山矿段 夕卡岩型铜钼(金)矿石中白云母(B119)坪年龄 (35.25±0.36) Ma(2σ),等时线年龄(35.0±1.8)  $Ma(2\sigma)$ ,反等时线年龄(34.8±1.9) $Ma(2\sigma)$ ,反映 了接触带型(夕卡岩型)铜钼(金)的成矿时代。曾 普胜等(2006)测得斑岩型矿石中辉钼矿 Re-Os 同 位素等时线年龄为(35.8 ± 1.6) Ma, 王登红等 (2004)测得矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年 龄为(33.9±1.1)Ma, MSWD = 1.07, 辉钼矿 Re-Os 模式年龄为(35.3±0.7)Ma(郭晓东等,2008)。彭 建堂等(2005)测得马厂箐铜钼矿石英+黄铜矿+ 斑铜矿型矿石石英40 Ar-39 Ar 同位素年龄为 34~ 35Ma,金厂箐矿段石英+方解石+自然金矿石石英 的40 Ar-39 Ar 同位素坪年龄为 33.7 ±0.1 Ma,等时线 年龄为33.7±0.04 Ma。以上数据表明马厂箐铜钼 金矿床与乱硐山矿段接触交代型(或夕卡岩型)铜 钼(金)以及金厂箐一人头箐破碎蚀变岩型金是同 一期构造—岩浆—热液成矿作用的产物。

## 3.2 成岩成矿之间关系

对马厂箐矿集区已有的成岩成矿资料统计(图 4),结合地质认识将马厂箐复式杂岩体划分为3 期:Ⅰ期为斑状花岗岩床+煌斑岩脉组合,形成于 45~48 Ma;Ⅱ期为正长(斑)岩+二长(斑)岩+花 岗斑岩+斑状花岗岩组合,形成于 33~37 Ma;Ⅲ期 为碱长花岗斑岩+煌斑岩组合,形成于 29~32 Ma。 成矿时代主要集中在 33~36 Ma。铜钼金矿(化)体 在空间上与正长斑岩+二长斑岩+花岗斑岩+斑状 花岗岩岩性组合(Ⅱ期)紧密相伴的基本地质事实, 以及富碱侵入岩体、斑岩型铜钼矿化、接触交代型铜 钥(金)矿化、热液脉型金矿化氢氧、硫、铅同位素组成和稀土、微量元素变化特征均反映它们之间具有成因上的联系(郭晓东等,2011b)。而Ⅱ期岩性组合发育浸染状黄铁矿化、黄铜矿化和镁铁质、闪长质暗色微粒包体,反映铜钼金的成矿与这套岩性组合有关,且这套岩性组合为壳幔岩浆混合作用的产物(Zorpi,1989;Poli and Tonunasini,1999;Nitoi et al, 2002;Perugini et al,2003),大量幔源组分存在说明这套岩性组合具有提供成矿物质的基础(郭晓东等,2011b)。可见,马厂箐富碱侵入岩体提供了成矿的物质、流体和动力。





## 3.3 成矿动力学背景

侯增谦等(2008)研究认为,青藏高原大陆碰撞 造山带经历了主碰撞汇聚(65~41 Ma)、晚碰撞转 换(40~26 Ma)和后碰撞伸展(25~0 Ma)三个阶段 的连续演化历程。马厂箐矿集区属于滇西成矿带的 重要组成部分,富碱侵入岩体以及铜钼金的成岩 (Ⅲ期 33~37 Ma) 成矿时代(33~36 Ma) 反映其与 青藏高原晚碰撞转换阶段的产物。40~26 Ma 正是 与区域上大规模走滑断裂系统有关的斑岩型 Cu— Mo(Au) 成矿时期, 成矿高峰期集中于 36 Ma 左右 (侯增谦等,2004,2006a,b)。这一时期区域应力场 正处于从剪切挤压(>40 Ma)向剪切伸展(<31 Ma)的应力过渡阶段,而从剪切挤压背景向剪切伸 展背景应力转换促使了多期次高位长英质岩浆的侵 位和成矿流体的出溶,也是大规模的成矿时期(图 ,进一步反映该期成矿具有区域上的地球动力学 背景(曾普胜等,2006)。可见,印度板块向亚洲板 块之下的俯冲碰撞晚期导致"三江"构造带发生大 规模的走滑剪切,诱发深部富碱岩浆的上升侵位,是 马厂箐矿集区及其区域铜钼金成矿的地球动力学背景。另外,这一时期也是世界上斑岩铜矿最重要的成矿期,南美智利等地的斑岩铜矿也主要形成于40.8~32.6 Ma(Marsh, et al., 1997)。反映马厂箐斑岩型铜一钼一金多金属矿床具有与区域及全球斑岩型矿床成矿作用的一致性,不是一个偶然的成矿事件。





Fig. 5 The diagram of the ore-forming events vs. tectonic stress field in the eastern sector of the collisional belt of the India and Asia plates

4 结论

从上面的讨论可以得出:

(1) 乱硐上矿段夕卡岩型(接触交代型)铜钼
(金)矿化坪年龄为 35.25±0.36 Ma,等时线年龄为 35.0±1.8 Ma,反等时线年龄为 34.8±1.9 Ma;人 头箐一金厂箐矿段破碎蚀变岩型金矿化坪年龄为 35.35±0.32 Ma,等时线年龄为 34.44±0.99 Ma, 反等时线年龄为 34.4±1.2 Ma。其年龄能够分别 代表夕卡岩型和蚀变岩型金的成矿年龄。

(2)马厂箐矿区斑岩型铜钼矿化、夕卡岩型 (接触交代型)铜钼(金)矿化和热液脉型金矿化与 33~37 Ma 侵入的正长斑岩 +二长斑岩 +花岗斑岩 +斑状花岗岩岩性组合(II期)时间上较为一致、空 间上紧密相伴、成因上密切相关,反映马厂箐富碱侵 入岩体、斑岩型铜钼矿化、夕卡岩型(接触角带型) 铜钼(金)矿化和热液脉型金矿化为同一期构造一 岩浆一热液成矿系统的产物,属于同一个斑岩成矿 系统。

#### 注释 / Note

西南冶金地质勘探公司 310 地质队. 1981. 云南省祥云县马厂等 矿区铜钼矿评价地质报告.

#### 参考文献 / References

- 毕献武,胡瑞忠,叶造军,邵树勋. 1999. A 型花岗岩类与铜成矿关系 研究——以马厂箐为例.中国科学(D), 29(6):489~495.
- 毕献武,胡瑞忠,彭建堂,吴开兴,苏文超,战志新. 2005. 姚安和马 厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征. 岩石学报,21(1):113~ 124.
- 陈文,张彦,金贵善,张岳桥. 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. 岩石学报,22(4):867~872.
- 郭晓东,王治华,屈文俊. 2008. 云南省马厂箐斑岩型铜、钼矿辉钼 矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 2008 年第九届全国矿床会议论文 集. 453~454.
- 郭晓东,侯增谦,陈祥,王治华.2009a.云南马厂箐富碱斑岩埃达克 岩性质的厘定及其成矿意义.岩石矿物学杂志,28(4):375~ 386.
- 郭晓东,王治华,陈祥,王欣. 2009b. 云南马厂箐斑岩型铜钼(金)矿床:地质特征与矿床成因. 地质学报,83(12): 1901~1914.
- 郭晓东,王治华,王梁,杨玉震,陈晓吾. 2011a. 云南马厂箐岩体 (似)斑状花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地质意义. 中国 地质,38(3):610~622.
- 郭晓东,牛翠祎,王治华,王淑贤,王梁. 2011b. 滇西马厂箐岩体及 其中深源包体地球化学特征. 吉林大学学报,41(增1):141~ 153.
- 郭晓东,王治华,王梁,闫家盼,杨玉霞,陈晓吾. 2011c. 滇西马厂等 斑岩型铜一钼一金矿集区成岩成矿时代探讨. 地质论评,57 (5):659~669.
- 何明勤,杨世瑜. 2004. 滇西小龙潭一马厂箐地区铜金多金属矿床 地质地球化学及成因研究.北京;地质出版社.
- 侯增谦,王二七,莫宣学,丁林,潘桂堂,张忠杰,等. 2008. 青藏高原 碰撞造山与成矿作用.北京:地质出版社.
- 侯增谦,钟大赉,邓万明. 2004. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的 构造模式.中国地质,31(1):1~14.
- 侯增谦,莫宣学,高永丰,杨志明,董国臣,丁林. 2006a.印度大陆与 亚洲大陆早期碰撞过程与动力学模型——来自西藏冈底斯新生 代火成岩证据[J].地质学报,80(9):1233~1248.
- 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,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. 矿床地质,25 (4):337~358.
- 胡瑞忠,毕献武,Turner G,Burnard P G. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿 流体包裹体 He—Ar 同位素体系.中国科学(D 辑),27(6):503 ~508.
- 梁华英,谢应雯,张玉泉. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿 制约-----以马厂箐铜矿为例. 自然科学进展, 14(1):116~120.
- 刘显凡,刘家铎,张成江,阳正熙,吴德超,李佑国. 2004. 滇西富碱 斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究.矿物岩石地球化 学通报,23(1):32~39.
- 吕伯西,王增,张能德,段建中,高子英,沈敢富,潘长云,姚鹏. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性. 北京:地质出版社.
- 彭建堂,毕献武,胡瑞忠,吴开兴,桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜

(钼)矿床成岩成矿时限的厘定.矿物学报,25(1):69~74.

- 王登红,屈文俊,李志伟,应汉龙,陈毓川. 2004. 金沙江一红河成矿 带斑岩铜钼矿的成矿集中期:Re-Os 同位素定年. 中国科学(D 辑),34(4):345~349.
- 杨建琨,唐志国. 1996. 云南省新生代浅成侵入斑岩型金矿成矿特 征及找矿预测.北京地质, 3:27~31.
- 俞广钧. 1988. 马厂箐金矿床成矿地质条件及其成因探讨. 昆明工 学院学报,13(1):1~10.
- 曾普胜,真宣学,喻学惠. 2002. 滇西富碱斑岩带的 Nd、Sr、Pb 同位素 特征及其挤压走滑背景. 岩石矿物学杂志,21(3):231~241.
- 曾普胜,侯增谦,高永峰,杜安道. 2006. 印度一亚洲碰撞带东段喜 马拉雅期铜一钼一金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用. 地质论评, 52(1):72~84.
- 张彦,陈文,陈克龙,刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型 及<sup>39</sup>Ar 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. 地质论评,52(4):556~561.
- 张玉泉,谢应雯,涂光炽. 1987. 哀牢山一金沙江富碱侵入岩及其裂谷构造关系初步研究[J].岩石学报,(1):17~25.
- 张玉泉,谢应雯. 1997. 哀牢山一金沙江富碱侵人岩年代学和 Nd,Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D辑), 27(4):289~293.

- Faure. 1998. Isotope geochronology and its applications to geology. Earth Frontiers,  $5(1 \sim 2)$ :  $17 \sim 39$ .
- Marsh T M, Einaudi M T and Mcwilliams M. 1997. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup> Ar geochronology of Cu—Au and Au—Ag mineralization in the Potrerillos district, Chile. Econ Geol, 92:784 ~ 806.
- Nitoi E, Munteanu M and Marince S. 2002. Magma enclave interactions in the East Carpathian Subvolcanic Zone, Romania: petrogenetic implications. J. Volcanology and Geothermal Research, 118 (1 ~ 2):229 ~ 259.
- Perugini D, Poli G, Christofides G and Eleftheriadis G. 2003. Magma mixing in the Sithonia Plutonic Complex, Greece: evidence from mafic microgranular enclaves. Miner alogy ang Petrology, 78 (3 ~ 4):173 ~ 200.
- Poli G and Tonunasini S. 1999. Geochemical modeling of acid basic magma interaction in the Sardinia Corsica Batholith: the case study of Sarrabus, southeastern Sardinia, Italy, Lithos, 46(3):553 ~ 571.
- Zorpi M J. 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calcalkaline granitoid pluton. Tectonophysics, 157:315.

## <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Ages and Its Geologic Significances of the Machangqing Porphyry Cu—Mo—Au Deposit, Yunnan Province

GUO Xiaodong<sup>1,2)</sup>, GE Liangsheng<sup>2)</sup>, WANG Zhihua<sup>2)</sup>, WANG Liang<sup>2)</sup>, WANG Xiaojun<sup>2)</sup>

1) Institute of Geology, Chinese Acadeny of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) Gold Geology Institute of CAPF, Langfang, Hebei, 06500

**Abstract**: The relationship between Cu—Mo—Au mineralization in Machangqing ore deposit is significant to understanding the process of ore-forming and geological exploration.  $^{40}$  Ar/ $^{39}$  Ar isotopic dating method is performed on two hydrothermal muscovite samples collected from skarn-type Cu—Mo—Au ore in Luandongshan segment and altered-rock-type Au ore in Rentouqing segment. Muscovite from the skarn-type (B119) ore yields the plateau age of 35. 25 ± 0. 36 Ma\_the normal isochron age of 35. 0 ± 1. 8 Ma and the inverse isochron age of 34. 8 ± 1. 9 Ma; Muscovite from altered-rock-type ore (B118) yields the plateau age of 35. 35 ± 0. 32 Ma\_the normal isochron age of 34. 4 ± 1. 2 Ma. These ages are consistent with the syenite age (35. 6 ± 0. 3 Ma), granitic porphyry age (35. 0 ± 0. 2 Ma) and the age of Cu—Mo mineralization (35. 8 ± 1. 6 Ma), which indicates that the Machangqing Cu—Mo—Au deposit has link with the magmatic combination of syenite porphyry + monozonite porphyry + granitic porphyry + porphyritic granite and that Cu—Mo—Au mineralization is the product of the identical structural—magmatic— metallogenic system.

Key words: <sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar age; rock-forming and ore-forming epoch; metallogenic system; Machangqing Cu-Mo-Au deposit; Yunnan