

编号: 0258-7106(2011)01-0045-12

云南马厂箐铜多金属矿床的成岩成矿时代 及成矿动力学背景^{*}

王治华 郭晓东 葛良胜 范俊杰 徐 涛

(中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘 要 云南马厂箐铜多金属矿床是西南三江成矿带上著名的与喜马拉雅期富碱斑岩有关的典型矿床。与铜、钼、金等多金属成矿关系密切的马厂箐富碱斑岩为一复式岩体, 存在多期次岩浆侵入活动, 早期岩浆活动始于 54~56 Ma, 中期岩浆活动时间为 45~49 Ma, 晚期岩浆活动最强烈, 发生在 29~37 Ma, 末期岩浆活动时间为 23~25 Ma。采用辉钼矿 Re-Os 测年法, 对马厂箐矿床的斑岩型铜钼矿石进行了精确测年, 获得斑岩型铜钼矿石 Re-Os 模式年龄 $(35.3 \pm 0.7) \text{ Ma}$ 。利用 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素方法对乱硐山地段矽卡岩型铜钼矿石和人头箐地段蚀变岩型金矿石中热液白云母进行同位素定年, 得到矽卡岩化矿石中白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(35.25 \pm 0.36) \text{ Ma}$, 等时线年龄和反等时线年龄分别为 $(35.0 \pm 1.8) \text{ Ma}$ 和 $(34.8 \pm 1.9) \text{ Ma}$, 蚀变岩型金矿石中白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(35.35 \pm 0.32) \text{ Ma}$, 等时线年龄和反等时线年龄分别为 $(34.44 \pm 0.99) \text{ Ma}$ 和 $(34.4 \pm 1.2) \text{ Ma}$ 。证明马厂箐斑岩型铜、钼、金多金属矿形成于同一成岩成矿地质事件, 成矿作用主要与矿区晚期富碱岩浆活动关系密切, 其形成的地球动力学背景应处于印度大陆与欧亚大陆发生碰撞造山之后的晚碰撞走滑阶段, 总体上属于西南三江地区第一次成矿高峰期, 即斑岩型 Cu-Au 成矿高峰期 (65~35 Ma)。

关键词 地球化学 成岩成矿时代 富碱侵入岩 构造环境 云南马厂箐

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Diagenetic and metallogenic epoch and ore-forming dynamic setting of Machangqing copper-polymetallic deposit, Yunnan Province

WANG ZhiHua, GUO XiaoDong, GE LiangSheng, FAN JunJie and XU Tao

(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract

The Machangqing copper-polymetallic deposit in Yunnan Province is a well-known typical ore deposit related to alkaline porphyry of the Himalayan epoch. Intimately relevant to the polymetallic mineralization of copper, molybdenum and gold, the Machangqing complex alkaline-rich rock body has experienced several magmatic activities: the earliest one began at 54~56 Ma, the middle one occurred at 45~49 Ma, the late one (the most violent one) at 29~37 Ma, and the last one at 23~25 Ma. Re-Os dating of molybdenite from the copper-molybdenum-type ore in the Machangqing deposit yields precise Re-Os model age of $(35.3 \pm 0.7) \text{ Ma}$. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of hydrothermal muscovite from the skarn-type copper-molybdenum ore in the Luandongshan ore segment and alteration-type gold ore in the Rentouqing ore segment yields plateau age of $(35.25 \pm 0.36) \text{ Ma}$, isochron

^{*} 本文得到 973 国家重点基础研究发展计划 (2009CB421008) 和武警黄金指挥部专项基金 (编号: HJ09-03) 资助

第一作者简介 王治华, 男, 1978 年出生, 硕士, 工程师。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: zhihuawang686@sina.com

收稿日期 2010-01-23; 改回日期 2010-06-23。张绮玲编辑。

and reverse isochron ages of (35.0 ± 1.8) Ma and (34.8 ± 1.9) Ma for the first type ore, and (35.35 ± 0.32) Ma, (34.44 ± 0.99) Ma and (34.4 ± 1.2) Ma for the second type ore, respectively. These data suggest that the mineralization of copper, molybdenum and gold deposit occurred in the same diagenetic-metallogenic geological event, and the ore-forming process was closely related to late magmatic activity, under the global dynamic background of the late collision-slip stage after collisional orogeny between Indian and Eurasian continents, thus overall belonging to the first summit of mineralization in Sanjiang region of southwestern China, i.e., the ore-forming peak of copper-molybdenum porphyry (65~35 Ma).

Key words: geochemistry, diagenetic and metallogenic epoch, alkaline-rich porphyry, tectonic environment, Machangqing, Yunnan

马厂箐铜多金属矿床是金沙江-哀牢山构造带上的与喜马拉雅期富碱斑岩有关的典型矿床之一, 矿区发育的马厂箐复式杂岩体是金沙江-哀牢山富碱侵入岩带重要组成部分。自 20 世纪 90 年代以来, 该矿床受到许多地质学家的广泛关注。许多学者相继在矿床地质(葛良胜等, 2002; 何明勤等, 2004a; 王治华等, 2010a)、富碱侵入体岩石地球化学(王治华等, 2010b; 曾普胜等, 2002; 毕献武等, 1999; 2005; 张玉泉等, 1987; 1997)、流体包裹体(毕献武等, 1999; 何明勤等, 2004b)、同位素地球化学(胡瑞忠等, 1997a; 1997b; 刘显凡等, 2004; 张玉泉等, 1997; 曾普胜等, 2002)、成岩成矿时代(梁华英等, 2004; 彭建堂等, 2005; 曾普胜等, 2006; 王登红等, 2004; 吕伯西等, 1993; 张玉泉等, 1997)和矿床成因(葛良胜等, 2002; 何明勤等, 2004a)等方面开展了大量的研究工作。以往对该矿床成岩成矿时代的研究多是单纯地研究成岩、成矿的年龄, 没有结合区域构造-岩浆的演化来探讨成岩成矿之间的内在联系以及矿床的成矿动力学背景, 这严重影响到人们对马厂箐铜多金属矿床成矿机理的认识, 在一定程度上制约了人们的找矿思路和勘查工程的部署。本文通过对斑岩型铜钼矿石中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素年龄测定, 对岩体与围岩接触带的矽卡岩型铜钼矿石和围岩中的热液蚀变岩型金矿石中的白云母进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄测定, 结合前人对成岩成矿的定年资料以及区域大地构造环境的演化, 来探讨不同期次的岩浆活动对铜、钼、金矿的制约和多金属矿的成矿动力学背景。

1 地质背景

马厂箐铜多金属矿床位于云南省祥云、弥渡、大理三市县接壤部位, 是金沙江-哀牢山构造带上一个

矿化类型较全、成矿元素复杂、成矿条件独特的斑岩型矿床。马厂箐铜、钼、金矿化带总体呈 NE 向展布, 在长 12 km、宽 2.5 km 矿化带范围内已发现几十条铜、钼、金、铁、铅锌等矿化(脉)体。传统上所称的金厂箐金矿和马厂箐铜钼矿床都属于马厂箐铜多金属矿床的一部分。矿区在大地构造上处于扬子板块西缘与金沙江-哀牢山构造带东侧的交汇部位, 在金沙江-哀牢山断裂带与 NNE 向程海-宾川断裂带所夹的锐角区(何明勤等, 2004a)。

矿区出露地层简单, 除矿区北部出露二叠系玄武岩外, 其余大部分地区为下奥陶统向阳组(O_1x^4)碎屑岩和下泥盆统康郎组(D_1k)白云质灰岩、青山组(D_1q)灰岩和莲花曲组(D_1l)灰岩和第四系(Q)(图 1)。矿区处于不同方向构造的交叉复合部位, 褶皱、断裂均较发育。岩浆岩主要为海西期的辉长辉绿岩和喜马拉雅期的马厂箐复式杂岩。马厂箐复式岩体由 260 多个小岩体组成, 具有多期次侵入的特征, 由各种类型的斑岩组成, 主要包括正长斑岩、石英二长斑岩、花岗斑岩、斑状花岗岩和煌斑岩。铜钼矿体主要分布在马厂箐斑杂岩体的内部及岩体的内外接触带上, 矿化体形态多呈透镜状或似层状, 但其中也有透镜状、囊状及其组合形状, 矿体向深部成条状尖灭。金矿体产于围岩地层中, 并受地层中的构造破碎带的控制, 在近南北向构造带与东西向构造带的交汇部位往往形成较为厚大的富矿体。矿体形态多为似层状、板状, 其次为透镜状或扁豆状。

2 辉钼矿 Re-Os 测年

2.1 样品的采集与处理

Re-Os 测试样品(07BB50、07BB51)采自马厂箐铜钼矿三段中的斑岩型铜钼矿体(具体采样位置见图 1)。斑岩型铜钼矿体在空间上与马厂箐斑岩

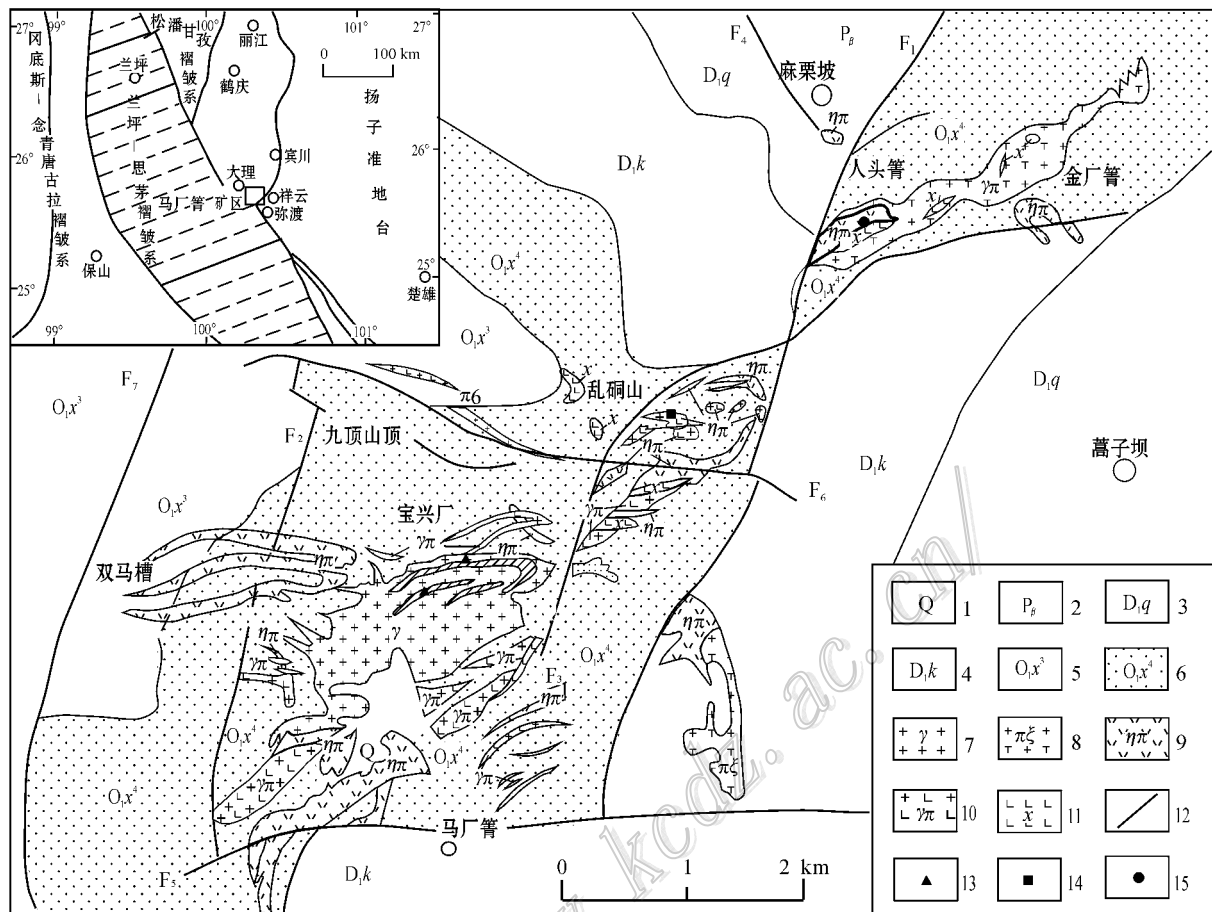


图 1 马厂箐矿区地质简图(据西南冶金地质勘探公司 310 地质队,1981^①修改)

1—第四系;2—二叠系玄武岩;3—青山组灰岩;4—康郎组白云质灰岩、白云岩;5—向阳组三段,黑色页岩夹粉砂岩,底部为灰白色石英砂岩;6—长石英砂岩、砾岩夹灰岩透镜体;7—斑状花岗岩;8—正长斑岩;9—二长斑岩;10—花岗斑岩;11—煌斑岩;12—断层;13—07BB50 和 07BB51 采样位置;14—B119 采样位置;15—B118 采样位置

Fig. 1 Simplified geological map of the Machangqing ore district(modified after No. 301 Geological Party, Southwest Metallurgic Exploration Co. Ltd., 1981)

1—Quaternary;2—Permian basalt;3—Limestone of Qingshan Formation;4—Dolomitic limestone, dolomite of Kanglang Formation;5—Black shale intercalated with siltstone of 3rd member of Xiangyang Formation, with grayish quartz sandstone at the bottom;6—Arkosic sandstone, conglomerate intercalated with limestone lens;7—Porphyritic granite;8—Syenite porphyry;9—Monzonitic porphyry;10—Granitic porphyry;11—Lamprophyre;12—Fault;13—Sampling locations of 07BB50 and 07BB51;14—Sampling location of B119;15—Sampling location of B118

体紧密相伴,有些斑岩体本身就是矿体。斑岩型铜钼矿石中裂隙比较发育,裂隙发育程度控制着矿化的强度,裂隙多呈相互交错、穿插的网脉状产出,常充填有石英、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿和碳酸盐等矿物。辉钼矿呈细脉状、网脉状、浸染状产于花岗斑岩中,伴生少量黄铜矿化(图 2)。斑岩型铜钼矿体形成于岩浆热液成矿期的中温热液阶段(硫化物阶段),是马厂箐多金属矿床铜钼成矿的主成矿期。

辉钼矿均采用人工破碎重砂淘洗法从样品中分离出来,最后在双目镜下挑纯,挑选出的辉钼矿单矿物在显微镜下检查,纯度大于 99%,晶体无氧化、无污染。样品挑选工作由河北省廊坊市区域地质调查队完成。

2.2 样品化学处理流程及测试方法

Re-Os 同位素定年是一种相对成熟而运用比较广泛的同位素定年方法,已经积累了不少测试资料

① 西南冶金地质勘探公司 310 队. 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告(内部资料).



图 2 斑岩型铜钼矿石照片

Fig. 2 Photos of porphyritic copper-molybdenum ores



图 3 蚀变岩型金矿石照片

Fig. 3 Photos of alteration-type gold ores

(杜安道等, 1994; 2001; 屈文俊等, 2003)。辉钼矿的 Re-Os 同位素测试在国家地质实验测试中心进行, Re、Os 化学分析分离步骤和质谱测定主要包括分解样品、蒸馏分离 Os、萃取分离 Re 和质谱测定 4 个步骤(具体分离步骤见 Du et al., 2004)。实验全流程空白 Re 约 10 pg, 普通 Os 约 1 pg, 远远小于所测样品中的铼、钨含量, 因此, 不会影响实验中铼、钨含量的准确测定。

2.3 测试结果

Re-Os 模式年龄 t 按下式计算

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{{}^{187}\text{Os}}{{}^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 $\lambda({}^{187}\text{Re} \text{ 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。从表 1 可以看出, 马厂箐斑岩型铜、钼矿的 Re-Os 模式年龄为 $(34.9 \pm 0.8) \text{ Ma} \sim (36.0 \pm 0.5) \text{ Ma}$, 加权平均值为 $(35.3 \pm 0.7) \text{ Ma}$ 。

3 白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年

3.1 样品描述与处理

B119 矽卡岩型铜钼矿石样品采自马厂箐矿区乱硐山地段(图 1), 地理坐标: 东经 $100^{\circ}27'08''$, 北纬 $25^{\circ}32'02''$ 。B118 蚀变岩型金矿石样品采自马厂箐矿区人头箐地段(图 1), 地理坐标: 东经 $100^{\circ}27'50''$, 北纬 $25^{\circ}32'00''$ 。蚀变岩型金矿石照片见图 3。

矽卡岩型铜钼矿体产于二长斑岩和康郎组白云质灰岩接触带, 形态较为复杂, 其形态、产状严格受接触界面的控制。矿体形态呈似层状, 但其中也有透镜状、囊状及其组合形状。矿石围岩蚀变为碳酸盐岩蚀变, 出现中温热液矿物, 如石英、绿帘石、绿泥石、阳起石、白云母、方解石等。金属硫化物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿, 黄铜矿呈细脉浸染状, 辉钼矿呈细脉状、条带状, 少数呈团块状分布于

表 1 云南省马厂箐铜钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 1 Re-Os isotope data of molybdenite from the Machangqing Cu-Mo deposit, Yunnan Province

编号	m/g	$w(\text{Re})/\text{ng/g}$		$c(\text{普 Os})/\text{ng/g}$		$w({}^{187}\text{Re})/\text{ng/g}$		$w({}^{187}\text{Os})/\text{ng/g}$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
071212-19	0.03104	26229	232	3.499	0.026	16486	146	9.893	0.077	36.0	0.5
071220-3	0.05276	25998	492	0.0413	0.0063	16341	309	9.492	0.089	34.9	0.8
071220-4	0.04995	103532	1829	0.6245	0.0165	65076	1149	37.95	0.36	35.0	0.8

注: ① 由国家地质实验中心测试, 分析者: 屈文俊, 曾法刚。② 数据是用本所电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 进行测量而得到的。③ 表中误差为 2σ , Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%), 置信水平 95%。

矽卡岩中。

金矿体主要产于二长斑岩和围岩的破碎蚀变带中,矿石类型主要为蚀变岩型,矿体形态以较稳定的板状为主,其次为透镜状或扁豆状,其产状与有关的构造破碎带基本一致。矿体与围岩无明显界限,呈渐变过渡关系。在近 SN 向构造带与 EW 向构造带的交汇部位往往形成较为粗大的富矿柱。矿石围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化和白云母化,金矿化与硅化、黄铁矿化和白云母化有关,距石英-黄铁矿脉较近的围岩中发育白云母(图 3),而在距矿化脉体较远的围岩中则不发育白云母,即白云母化与矿化脉体相伴产出,显然,白云母为石英-黄铁矿化脉体热液蚀变的产物。金矿化主要形成于中低温热液阶段,以发育广泛的硅化作用为标志,伴有白云母化、绿泥石化等蚀变作用,与之相伴的金属硫化物主要为细粒浸染状的黄铁矿、毒砂等,形成毒砂-黄铁矿型矿石。 $^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 测试样品为样品 B119 和 B118 中的白云母,均系成矿阶段形成的热液蚀变矿物。热液蚀变矿物是成矿流体与围岩互相作用的产物,和金属矿物是同一地质事件中的两种产物,两者形成时间是基本一致的。白云母多呈鳞片状,最大可达 1 mm 左右,易于挑选,样品挑选工作由河北省廊坊市区域地质调查队完成,单矿物纯度大于 99%。

3.2 样品化学处理流程及测试方法

$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$ 样品测年工作在中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室完成。将选纯的矿物用超声波清洗。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 $2.65 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 2 880 min,积分中子通量为 $4.58 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$;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 $(132.7 \pm 1.2) \text{ Ma}$, $\omega(\text{K})$ 为 7.6%。

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_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为 $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0002389$ $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正, ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$,年龄误差以 2σ 给出。详细实验流程见有关文章(陈文等 2006,彭建堂等 2007)。

3.3 测试结果

马厂箐乱硐山地段矽卡岩型矿石中白云母(B119)的阶段加热过程中氩同位素测试结果见表 2,可以看出,白云母经过 10 个阶段的分步加热,加热区间为 700~1 400℃,其中 1 120~1 280℃ 之间 4 个加热阶段析出的 ^{39}Ar 累计为 79.8%,所获得坪年龄为 $(35.25 \pm 0.36) \text{ Ma}$ (2σ),正等时线年龄为 $(35.0 \pm 1.8) \text{ Ma}$ (2σ),反等时线年龄为 $(34.8 \pm 1.9) \text{ Ma}$ (2σ)。坪年龄、正等时线年龄和反等时线年龄较为一致(图 4)。人头箐地段蚀变岩型金矿化矿石中白云母(B118)的阶段加热过程中氩同位素测试结果见

表 2 马厂箐乱硐山地段矽卡岩型铜钼金矿石中白云母(B119) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年结果

Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fast-neutron dating results of muscovite(B119) from skarn-type Cu-Mo-Au ore in Luandongshan ore section of Machangqing

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}/\%$	$^{39}\text{Ar}/(\times 10^{-14} \text{ mol})$	^{39}Ar 累积/ $\%$	t/Ma	$\pm 2\sigma/\text{Ma}$
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

样品重量 $m = 48.85 \text{ mg}$ 照射参数 $J = 0.009764$ 测试单位:中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室。

表 3 马厂箐金厂箐-人头箐地段蚀变岩型金矿石中白云母(B118)⁴⁰Ar/³⁹Ar 快中子活化法测年结果
Table 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar fast-neutron dating results of muscovite(B118) from alteration-type Au-ore in Jinchangqing-Rentouqing ore section of Machangqing

θ/℃	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar/%	³⁹ Ar/(×10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar累积/%	t/Ma	±2σ/Ma
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

样品重量 $m = 48.35$ mg, 照射参数 $J = 0.009761$, 测试单位: 中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室。

表 3 可以看出,白云母经过 12 个阶段的分步加热,加热区间为 600~1 300℃,其中 1 000~1 300℃ 之间 6 个加热阶段析出的³⁹Ar 累计为 52.7%,所获得坪年龄为(35.35±0.32)Ma(2σ),正等时线年龄为(34.44±0.99)Ma(2σ),反等时线年龄为(34.4±1.2)Ma(2σ)(图 5)。

4 讨论

4.1 成岩时代

马厂箐岩体属于滇西金沙江-哀牢山的富碱斑岩带重要组成部分,对于岩体形成时代的研究,前人已经取得很大的成果,并积累了丰富的资料。然而在对马厂箐岩体研究中,许多文献在引用年龄资料时较为混乱。本文根据所收集到的资料(表 4)对积累的年龄数据进行系统整理。图 6 则是根据所有数据做出的不同年龄区间范围内数据出现的频率图。由图 6 及表 4 可以看出,马厂箐富碱杂岩体形成的时间跨度为 23.18~55.49 Ma,存在 4 期次岩浆侵入活动。最早岩浆活动始于 54~56 Ma,中期岩浆活动为 45~49 Ma,晚期岩浆活动最强烈,其时间为 29~37 Ma,末期岩浆活动为 23~25 Ma,与区域上其他与富碱侵入岩的形成时间非常吻合(马鸿文, 1989; 张玉泉等, 1997; 罗君烈等, 2001; 侯增谦等, 2003a; 葛良胜等, 2005)。

4.2 成矿年龄

4.2.1 铜钼矿成矿年龄

本文研究所获得的马厂箐三段斑岩型铜钼矿

石中的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为(34.9±0.8)Ma~(36.0±0.5)Ma,加权平均值为(35.3±0.7)Ma。乱硐山地段矽卡岩型铜钼矿石中白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为(35.25±0.36)Ma(2σ),正等时线年龄为(35.0±1.8)Ma(2σ),反等时线年龄为(34.8±1.9)Ma(2σ)。坪年龄、正等时线年龄和反等时线年龄较为一致。王登红等(2004)测得该矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为(33.9±1.1)Ma,曾普胜等(2006)得到该矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为(35.8±1.6)Ma。以上数据表明马厂箐斑岩型铜钼矿与乱硐山地段矽卡岩型铜钼矿是同一期成矿活动的产物,主要与矿区的晚期岩浆活动有关。

4.2.2 金矿成矿年龄

人头箐地段蚀变岩型金矿石中白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为(35.35±0.32)Ma(2σ),正等时线年龄为(34.44±0.99)Ma(2σ),反等时线年龄为(34.4±1.2)Ma(2σ)(图 5)。彭建堂等(2005)测定含矿石英的 Ar-Ar 坪年龄为(33.7±0.1)Ma,等时线年龄为(33.70±0.04)Ma。蚀变岩型金矿与斑岩型铜钼和矽卡岩型铜钼矿也是同一期成矿活动的产物,热液型金矿化略晚于斑岩型和接触交代型铜钼矿化。

4.3 成矿系统

从上面的讨论可以看出,产于斑岩体内部的斑岩型铜钼矿、产于岩体与围岩接触带附近的矽卡岩型铜钼(伴生金)矿和产于岩体和围岩地层断裂破碎带中蚀变岩型金矿,它们的形成时代极为接近,蚀变岩型金的成矿年龄略晚于斑岩型和矽卡岩型铜钼的成

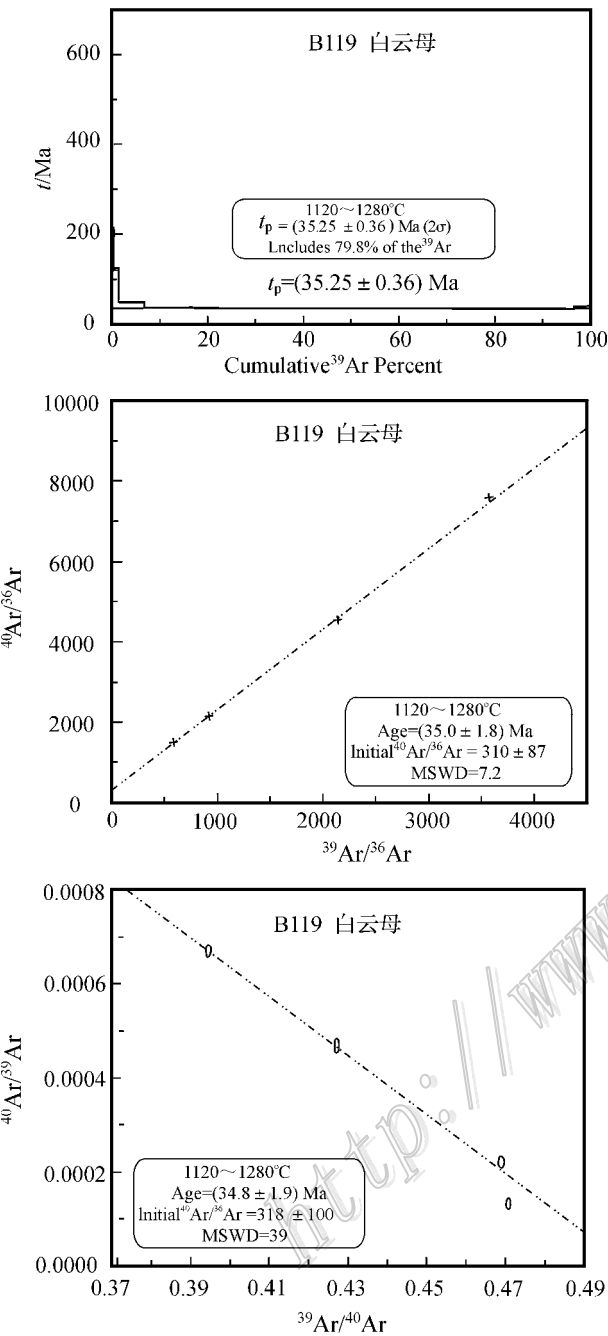


图 4 乱铜山地段矽卡岩型矿石白云母样品(B119)

$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄、等时线年龄和反等时线年龄图

Fig. 4 $^{40}Ar/^{39}Ar$ plateau, normal isochron and inverse isochron ages of muscovite(B119) from skarn-type Cu-Mo-Au ore in Luandongshan ore section of Machangqing

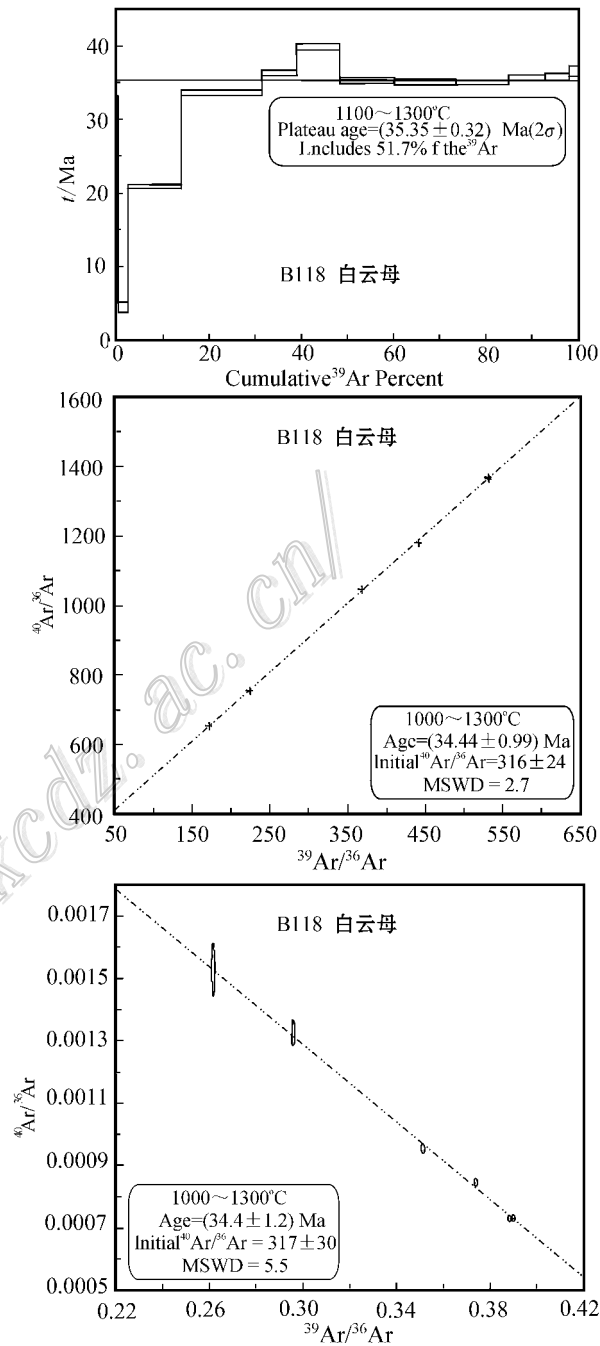


图 5 人头箐地段蚀变岩型金矿石白云母样品(B118)

$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄、等时线年龄和反等时线年龄图

Fig. 5 $^{40}Ar/^{39}Ar$ plateau, normal isochron and inverse isochron ages of muscovite(B118) from alteration-type Au ore in Jinchangqing-Rentouqing ore section of Machangqing

矿年龄,是同期岩浆作用的产物。结合正长(斑)岩[(35.6 ± 0.3) Ma]、花岗斑岩[(35.0 ± 0.2) Ma]的形成年龄,可以看出,马厂箐矿区不同矿种、矿化类型是同一期成矿活动的产物,主要与矿区晚期形成

正长斑岩+二长斑岩+花岗斑岩岩浆活动有关。根据成矿系统(翟裕生,1999)或成矿系列(程裕淇等,1983;陈毓川等,1998;2006)的思想,含矿岩浆侵位以后,在同一能量驱动机制下,岩浆热压力和地幔流

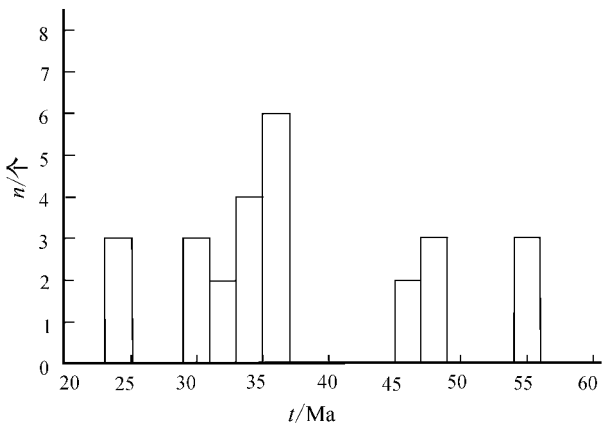


图 6 马厂箐岩体的同位素年龄统计图

Fig. 6 Statistical diagram of isotope ages for the Machangqing intrusive body

体内压力可能驱动含矿流体在不同位置上堆积不同种类的金属 ,从而在含矿流体通过的路径上发生不同性质的成矿作用 ,并形成一系列不同类型的矿床 (於崇文 2006)。尽管其作用机制有所不同 ,这些成矿作用都是在同一动力驱动下发生的 ,只是成矿物

质沉淀的边界条件有所不同 ,成矿作用发生在混沌边缘 (於崇文 2006)。由此建立了马厂箐多金属矿床不同矿种、矿化类型是在同一能量驱动机制下 ,即岩浆热压力驱动含矿流体在不同的位置上堆积不同种类的金属 ,从而在含矿流体通过的路径上发生不同性质的成矿作用 ,并形成一系列不同类型的矿床的成矿模式。总之 ,马厂箐铜、钼、金多金属矿属于同一个构造-岩浆-流体热液成矿系统的产物。

4.4 成矿动力学背景

马厂箐矿区位于金沙江-哀牢山成矿带的大理段 ,处于多个古大地构造单元的交汇部位(何明勤等 ,2004)。金沙江-哀牢山构造带作为特提斯构造带的重要组成部分 ,其区域构造演化与特提斯演化密切相关。因此 ,可从分析区域特提斯构造演化入手 ,对本区 ,特别是前新生代大地构造演变历程进行探讨。

金沙江-哀牢山造山带是在被动大陆边缘裂谷环境基础上发展起来的一条陆内造山带。晚二叠世末期 ,扬子板块西缘出现大规模的东西向收缩 ,迫使哀牢山地区的裂谷夭折 ,继而沿薄弱带发生陆内俯冲作用 ,一方面将地表古生代地层带往地壳深部 ,另一方

表 4 马厂箐岩体同位素年龄值表

Table 4 Isotope ages of the Machangqing intrusive body

地区	岩体或岩性	测定对象	年龄/Ma	测定方法	资料来源
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	55.49±0.09	Ar-Ar 坪 1	王登红等 2001
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	23.18±0.03	Ar-Ar 坪 2	王登红等 2001
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	54.27±0.12	Ar-Ar 等 1	王登红等 2001
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	54.84±0.09	Ar-Ar 反 1	王登红等 2001
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	23.24±0.03	Ar-Ar 等 2	王登红等 2001
祥云金厂箐(JCQ1)	正长斑岩	钾长石	23.81±0.04	Ar-Ar 反 3	王登红等 2001
祥云九顶山	花岗斑岩	黑云母	49	K-Ar	杨建民等 2001
祥云马厂箐	角闪正长岩	钾长石	29.00	K-Ar	张玉泉等 1987
祥云马厂箐	含矿斑岩		34.00	Rb-Sr	傅德明 1996
祥云马厂箐	二长花岗斑岩	黑云母	35.1±0.5	K-Ar	张玉泉等 1997
祥云马厂箐	花岗斑岩	全岩	36	Rb-Sr 等时线	吕伯西等 1993
祥云马厂箐	花岗斑岩	黑云母	48	K-Ar	罗君烈等 1994
祥云马厂箐	斑状花岗岩	钾长石	46.5	K-Ar	罗君烈等 1994
祥云马厂箐	煌斑岩	黑云母	45.7	K-Ar	罗君烈等 1994
祥云马厂箐	角闪正长岩	锆石	35.6±0.3	U-Th-Pb	梁华英等 2004
祥云马厂箐	花岗斑岩	锆石	35.0±0.2	U-Th-Pb	梁华英等 2004
祥云马厂箐	花岗斑岩	黑云母	48	K-Ar	胡祥昭等 1997
祥云马厂箐(MCQ-1)	浅色花岗斑岩	全岩	31.36±0.49	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-2)	肉红色花岗斑岩	全岩	29.88±0.32	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-4)	正长斑岩	全岩	35.5±0.40	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-8)	正长斑岩	全岩	36.5±0.46	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-22)	正长斑岩	全岩	31.99±0.35	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-25)	正长斑岩	全岩	30.02±0.38	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-37)	暗色斑岩	全岩	33.54±0.38	K-Ar	彭建堂等 2005
祥云马厂箐(MCQ-39)	花岗斑岩	全岩	33.65±0.41	K-Ar	彭建堂等 2005

面致使地表相对隆起,海水退出,缺失早三叠世沉积。自中三叠世拉丁期开始,陆内俯冲作用所导致的地块碰撞,结束了以下冲作用为主的造山前期阶段,转入了以逆冲推覆作用为主的造山抬升阶段——造山主期(张志斌等,2005)。自古近纪开始,喜马拉雅阶段的造山作用影响云南全境,在65~41 Ma时,印度大陆与欧亚大陆发生大规模碰撞之后,三江地区进入陆内碰撞造山阶段,相继经历了晚碰撞(40~26 Ma)和后碰撞(25~0 Ma)造山作用(侯增谦等,2006a)。

始于40 Ma的晚碰撞造山作用,发生于印-亚大陆的持续会聚和南北挤压背景之下,以大陆内部地体(陆块)间的相对运动,即陆内俯冲和逆冲-推覆-走滑活动为特征(侯增谦等,2006b)。青藏高原晚碰撞转换成矿作用主要发生于40~24 Ma,形成于以壳-幔物质流动、幔源或壳-幔混源岩浆活动、大规模走滑断裂和大规模走滑剪切为特征的陆内俯冲和构造转换环境。成矿作用主要发育于藏东构造转换带,与晚碰撞期钾质斑岩、钾质煌斑岩及岩浆碳酸岩-正长岩密切相关,受大规模走滑断裂带和剪切带控制。印度大陆与欧亚大陆碰撞变形的大规模走滑与剪切主要发生在青藏高原东缘的三江地区。沿金沙江缝合带展布的大型走滑断裂控制了规模巨大的始新世-渐新世富碱侵入岩带、大型剪切带和一系列喜马拉雅期走滑拉分盆地,沿扬子地台西缘发育的大型断裂控制了近SN向展布的大型剪切带和碱性杂岩与钾质煌斑岩群(Wang et al., 2001; Hou et al., 2003c)。大规模走滑剪切作用形成了受走滑断裂控制的斑岩型铜多金属矿化带,它们总体上沿大型剪切带分布,形成时代相近,空间上与富碱侵入岩存在某种联系(侯增谦等,2003b)。

受控于走滑断裂的斑岩矿带以北段玉龙铜矿带和南段鹤庆-祥云斑岩铜钼金矿带为代表。玉龙铜矿带是高原造山带最大的斑岩铜矿带,长约200 km,宽约15~30 km,大约由20余个含矿斑岩体构成。早期的测年资料限定了一个较长的岩浆活动期(52~33 Ma;马鸿文,1994),但最近的锆石SHRIMP年龄数据表明,斑岩侵位年龄介于40.9~35.0 Ma之间(梁华英,2002)。辉钼矿的Re-Os同位素年龄为35~36 Ma(杜安道等,1994)。尽管玉龙斑岩铜矿带产于碰撞造山环境,但它与岛弧或陆缘弧环境形成的斑岩铜矿特征类似(Camus et al., 2001)。鹤庆-祥云斑岩铜钼金矿带的含矿斑岩侵位年龄与玉龙斑岩铜矿带的相当,主要集中于48~32 Ma之间(骆耀南等,1998;张玉泉等,1998),但岩性偏碱质,以石英正长斑岩为主,花岗

斑岩次之。矿化组合以Au、Cu为主,伴生少量Pb、Zn。马厂箐斑岩型铜多金属矿就位于鹤庆-祥云斑岩铜钼金矿带上。

本文研究所获的马厂箐中段斑岩型铜钼矿石中的辉钼矿Re-Os同位素模式年龄为 (35.3 ± 0.7) Ma,矽卡岩型铜钼矿石中白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 (35.25 ± 0.36) Ma(2σ),正等时线年龄为 (35.0 ± 1.8) Ma(2σ),反等时线年龄为 (34.8 ± 1.9) Ma(2σ)。蚀变岩型金矿石中白云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 (35.35 ± 0.32) Ma(2σ),正等时线年龄为 (34.44 ± 0.99) Ma(2σ),反等时线年龄为 (34.4 ± 1.2) Ma(2σ) (图5)。显而易见,马厂箐斑岩型铜、钼、金多金属矿形成于同一成岩成矿地质事件,其形成的地球动力学背景应处于印度大陆与欧亚大陆发生碰撞造山之后的晚碰撞走滑阶段,总体上属于西南三江地区第一次成矿高峰期,即斑岩型Cu-Au成矿高峰期(65~35 Ma)(王登红等,2006)。这也与侯增谦等(2003b, 2006a, 2006b)厘定的青藏高原晚碰撞阶段(40~26 Ma)与大规模走滑断裂系统有关的斑岩型Cu-Mo(Au)成矿事件,成矿高峰期集中于 (35 ± 5) Ma较为一致。由此,可以确定马厂箐斑岩型铜多金属矿床与玉龙斑岩铜矿带的玉龙斑岩铜矿床、冈底斯斑岩铜矿带的驱龙斑岩铜矿一样都属于产于碰撞造山环境中的斑岩型矿床(侯增谦等,2007;杨志明等,2009),只不过马厂箐斑岩铜多金属矿床和玉龙铜矿处于碰撞造山之后的晚碰撞走滑阶段,驱龙斑岩铜矿处于碰撞造山之后的伸展阶段。

5 结 论

(1) 马厂箐矿区岩浆活动频繁,矿区富碱杂岩体形成的时间跨度为23.18~55.49 Ma,存在4期岩浆侵入活动。最早岩浆活动始于54~56 Ma,中期岩浆活动发生在45~49 Ma,晚期岩浆活动最强烈,其时间为29~37 Ma,末期岩浆活动为23~25 Ma。

(2) 通过辉钼矿Re-Os同位素测年,获得马厂箐矿区斑岩型铜钼矿的成矿年龄为 (35.3 ± 0.7) Ma。对矿石中白云母进行 ^{40}Ar - ^{39}Ar 测年,获得马厂箐矿区矽卡岩型铜钼矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 (35.20 ± 0.36) Ma,正等时线年龄为 (35.0 ± 1.8) Ma,反等时线年龄为 (34.8 ± 1.9) Ma,蚀变岩型金矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄为 (35.35 ± 0.32) Ma,正等时线年龄为 (34.44 ± 0.99) Ma,反等时线年龄为 (34.4 ± 1.2) Ma。表明马厂箐斑岩型铜、钼、金多金属成矿作用主要与矿区的晚期富

碱岩浆活动有关,属于同一个构造-岩浆-流体热液成矿系统的产物。

(3) 马厂箐斑岩型铜、钼、金多金属矿形成的地球动力学背景应处于西南三江地区印度大陆与欧亚大陆发生碰撞造山之后的晚碰撞走滑阶段,总体上属于西南三江地区第一次成矿高峰期,即斑岩型 Cu-Au 成矿高峰期 (65~35 Ma)。这也与青藏高原晚碰撞阶段 (40~26 Ma) 大规模走滑断裂系统有关的斑岩型 Cu-Mo(Au) 成矿事件,成矿高峰期集中于 (35±5) Ma 较为一致。

References

- Bi X W, Hu R Z, Peng J T, Wu K X, Su Y C and Zhan X Z. 2005. The Geochemistry characteristics of The Yao an and Machangqing alkaline-rich intrusion[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):113-124 (in Chinese with English abstract).
- Bi X W, Hu R Z, Ye Z J and Shao S X. 1999. Study on the relationship between A-type granitoid and copper mineralization—take Machangqing copper deposit as an example[J]. *Science in China (Series D)*, 29(6): 489-495 (in Chinese).
- Camus F and Dilles J H. 2001. A special issue devoted to porphyry copper deposits of northern Chile—preface[J]. *Econ. Geol.* 96: 233-238.
- Chen W, Zhang Y, Jing G S and Zhang Y Q. 2006. Evidence of Ar-Ar thermal chronology on episodic lift in late Cenozoic southeastern rim of Qinghai-Tibet high plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867-872 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Pei R F and Song T R. 1998. Preliminary discussion on metallogenic series of deposit in China[M]. Beijing Geol. Pub. House. 104 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. Third discussion on metallogenic series of deposit[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1501-1508 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983. Further discussion on metallogenic series of deposit[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, (6): 1-63 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin W N, Zou X Y, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. The study on the analytical methods of Re-Os age for molybdenites[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68: 339-346 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q and Sun D Z. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDX[J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41-52.
- Fu D M. 1996. Metallogeny series and regulations of nonferrous, rare, precious metal deposits in intra-continental orogeny in southwestern margin of Yangtze platform[A]. In Lu Y N ed. *Monograph of ore and geology for intra-continental orogeny in southwestern margin of Yangtze platform* [C]. Chengdu Sichuan Science & Technology Press. 120-128 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Zou Y L, Li Z H, Guo X D, Xing J B and Zhang X H. 2002. Geological features and genesis of Machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan Province[J]. *Geology and Exploration*, 38(5): 11-17 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Wang W C, Li H G, Liang X S, Xiang Y S and Guo X D. 2005. Alkaline-rich rockbody and gold mineralization in northwestern Yunnan Province[M]. Beijing Seismic Press. 1-190 (in Chinese).
- He M Q, Yang S Y and Chen C Y. 2004a. Geological geochemistry and genesis of Xiaolongtan-Machangqing Cu-Au polymetallic ore deposit in Western Yunnan[M]. Beijing Geol. Pub. House (in Chinese).
- He M Q, Yang S Y, Liu J J and Li C Y. 2004b. Characteristics of ore-forming fluids and their origin in Jinchangqing gold(copper) ore deposits in Xiangyun, Yunnan[J]. *Mineral and Rock*, 24(2): 35-40 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D and Huang W. 2003a. Re-Os ages of molybdenite in the Gangdese porphyry copper belt in south Tibet: Duration of mineralization and application of the dynamic setting[J]. *Science in China (Series D)*, 33: 509-618 (in Chinese).
- Hou Z Q, Lv Q T, Wang A J, Li X B, Wang Z Q and Wang E Q. 2003b. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan Orogen[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 319-333 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Ma H W, Zaw K et al. 2003c. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike slip faulting in eastern Tibet[J]. *Econ. Geol.* 98: 125-145.
- 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]. *Geology in China*, 33(2): 340-351 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sui X M, Ding L and Wang E Q. 2006b. 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, Pan X F, Yang Z M and Qu X M. 2007. Preliminary study on continental porphyry copper deposit[J]. *Modern Geology*, 21(2): 332-348 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Bi X W, Shao S X, Turnery G and Burnard P G. 1997a. Study on helium isotope composition of copper deposit in Machangqing, Yunnan, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 42(14): 1542-1545 (in Chinese).
- Hu R Z, Bi X W, Turner G and Burnard P G. 1997b. He-Ar isotope system of inclusions in pyrite, Machangqing copper deposit[J]. *Science in China (Series D)*, 27(6): 503-508 (in Chinese).
- Hu X Z and Huang Z. 1997. The petrology and petrogenesis of the Yangtze platform Western margin's alkali-rich granite porphyry[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(2): 173-180 (in Chinese with English abstract).
- Liang H Y. 2002. New advances in the research on diagenetic mineralization of porphyry copper deposits in east south margin of Qinghai-Xizang plateau[J]. *Mineral Deposits*, 21(4): 365 (in Chinese with English abstract).
- Liang H Y, Xie Y W and Zhang Y Q. 2004. Formation and evolution of

- alkaline-rich rockbody and its constrain on the copper mineralization—take Machangqing copper deposit as an example[J]. Natural Science Progress 21(1):116-120(in Chinese with English abstract).
- Liu X F , Liu J D , Zhang C J , Yang Z X , Wu D C and Li Y G . 2004 . Isotopic geochemistry of rock mass and ore-vein from alkali-rich porphyry type deposits in Western Yunnan , China[J]. Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry , 23(1):32-39(in Chinese with English abstract).
- Luo J L and Li Z W . 2001 . The new advance in the study on Himalayan magmatism and metallogenesis in Central-Western Yunnan[J]. Yunnan Geology 20(3):229-242(in Chinese with English abstract).
- Luo J L , Yao Y H , Zhao Z , et al . 1994 . Mineralization of main metallic deposits and the evolution of Tethys[M]. Beijing : Geol. Pub. House(in Chinese).
- Luo Y N , Yu R L and Hou L W . 1998 . Longmenshan-Jinpingshan intracontinental orogenic belt[M]. Chengdu Sichuan Sci. and Tech. Pub. House. 1-17(in Chinese).
- Lv B X , Wang Z , Zhang N D , et al . 1993 . Granitoids in Sanjiang Region and their metallogenic specialization[M]. Beijing : Geol. Pub. House(in Chinese).
- Ma H W . 1989 . Study on geochronology of magmatic intrusion in Yulong porphyry copper deposit belt , Tibet[J]. Geochemica 3(3):210-216(in Chinese with English abstract).
- Ma H W . 1994 . Granitoids and mineralization of the Yulong porphyry copper belt in eastern Tibet[M]. Beijing : China University of Geosciences Press. 1-158(in Chinese).
- Peng J T , Bi X W , Hu R Z , Wu K X and Sang H Q . 2005 . Determination of ore- and rock- forming time of the Machangqing porphyry Cu (Mo) deposit , western Yunnan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica , 25(1):69-74(in Chinese with English abstract).
- Peng J T , Hu R Z , Bi X W , Dai T M , Li Z L , Li X M , Shuang Y , Yuan S D and Liu S R . 2007 . $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits 26(3):237-248(in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D . 2003 . Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion[J]. Rock and Mineral Analysis 22(4):254-257(in Chinese with English abstract).
- Wang D H , Yang J M , Xue C J , Yan S H , Chen Y C and Xu J . 2001 . Himalaya gold mineralization based on Isotope chronology , in Sanjiang-Daduhe region , southwestern China[M]. Beijing : Seismic Press. 84-87(in Chinese).
- Wang D H , Qu W J , Li Z W , Ying H L and Chen Y C . 2004 . Concentrate metallogeny epoch of porphyry copper , molybdenum at Honghe , Yunnan Province :Re-Os isotopic chronology[J]. Science in China(Series D) 34(4):345-349(in Chinese).
- Wang D H , Ying H L , Liang H Y , Huang Z L and Luo Y N . 2006 . Cenozoic continental geodynamics and large scale mineralization in the Sanjiang , Nujiang , Lancangjiang and Jinshajiang Region , China [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-208(in Chinese).
- Wang J H , Yin A and Harrison T M . 2001 . A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone[J]. Earth Planet. Sci. Lett. , 199 :123-133.
- Wang Z H , Guo X D , Yu W Q , Zhou Y L , Xu T and Zhang Y . 2010a . Geological features and mineralization rules of the Machangqing Cu-Mo-Au multiple-metallic deposit , Yunnan Province[J]. Geology and Exploration 46(2):1-10(in Chinese with English abstract).
- Wang Z H , Guo X D , Chen X , Ge L S and Zou Y L . 2010b . Geochemistry characteristics of Machangqing alkaline-rich rockbody and its forming tectonics , Yunnan[J]. Geological Review 56(1):125-135(in Chinese with English abstract).
- Yang J M , Xue C J and Xu J . 2001 . Geologic characteristics of alkaline-rich porphyry rockbody and its mineralization in Himalaya Epoch , northwestern Yunnan Province[A]. In : Chen Y C . Study on endogenesis in Himalaya Epoch[C]. Beijing : Geol. Pub. House. 57-68(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M and Hou Z Q . 2009 . Porphyry Cu deposits in collisional orogen setting : A preliminary genetic model[J]. Mineral Deposits 28(5):515-538(in Chinese with English abstract).
- Yu C W . 2006 . Fractal growth of mineral deposits at the edge of chaos (book 1) [M]. Hefei : Anhui Education Press. 705p(in Chinese).
- Zeng P S , Mo X X and Yu X H . 2002 . Nd , Sr and Pb isotopic characteristics of the alkaline-rich porphyries in western Yunnan and its compression strike slip setting[J]. Acta Petrologica et Mineralogica 21(3):231-241(in Chinese with English abstract).
- Zeng P S , Hou Z Q , Gao Y F and Du A D . 2006 . The Hinalayan Cu-Au mineralization in the Eastern Indo-Asian collision zong : Constraints from Re-Os dating of molybdenite[J]. Geological Review 52(1):72-84(in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S . 1999 . Discussion on metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers , 6(1):13-27(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q , Xie Y W and Tu G C . 1987 . Preliminary study of alkaline-rich porphyry and its relationship with rift in Ailaoshan-Jinshajiang[J]. Acta Petrologica Sinica 1(1):17-25(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q and Xie Y W . 1997 . Geochronology of alkalic intrusive rocks in Ailaoshan-Jinshajiang region and its isotope characteristics of Nd , Sr[J]. Science in China(Series D) 27(4):289-293(in Chinese).
- Zhang Y Q , Xie Y W , Liang H Y , Qiu H N , Li X H and Zhong S L . 1998 . Petrogenesis series and the ore-bearing porphyries of the Yulong copper ore belt in eastern Tibet[J]. Geochim. 27(3):236-243(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z B , Liu F G and Bao J F . 2005 . The Steuctural Evolution of Ailaoshan Orogen[J]. Yunnan Geology 24(2):137-141(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 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——以马厂箐铜矿为例[J]. 中国科学(D 辑) , 29(6):489-495.
- 毕献武 , 胡瑞忠 , 彭建堂 , 吴开兴 , 苏又超 , 战新志 . 2005 . 姚安和马厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征[J]. 岩石学报 21(01):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[J]. 岩石学报 22(4):867-872.
- 陈毓川 , 裴荣富 , 宋天锐 . 1998 . 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京 : 地质出版社. 104.
- 程裕淇 , 陈毓川 , 赵一鸣 , 宋天锐 . 1983 . 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报 6(1):1-63.

- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10):1501-1508.
- 杜安道, 何红廖, 殷万宁, 邹晓燕, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 68:339-346.
- 杜安道, 赵敏敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Garius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4):247-252.
- 傅德明. 1996. 扬子地台西南缘陆内造山带有色稀贵金属矿床成矿系列及成矿规律[A]. 见: 骆耀南, 主编. 扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 120-128.
- 葛良胜, 邹依林, 李振华, 郭晓东, 邢俊兵, 张晓辉. 2002. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 38(5):11-17.
- 葛良胜, 王文成, 李汉光, 梁绪树, 向永生, 郭晓东. 2005. 滇西北富碱岩体与金矿成矿[M]. 北京: 地震出版社, 1-190.
- 何明勤, 杨世瑜, 陈昌勇. 2004a. 滇西小龙潭-马厂箐地区铜金多金属矿床地质地球化学及成因研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 何明勤, 杨世瑜, 刘家军, 李朝阳. 2004b. 云南祥云金厂箐金(铜)矿床的成矿流体特征及流体来源[J]. 矿物岩石, 24(2):35-40.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003a. 青藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿^{Re-Os}年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D辑), 33:609-618.
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 李晓波, 王宗起, 王二七. 2003b. 初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例[J]. 矿床地质, 22(4):319-333.
- 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):340-351.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七. 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, 23(5):521-543.
- 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 曲晓明. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 21(2):332-348.
- 胡瑞忠, 毕献武, 邵树勋, Turnery G, Burnard P G. 1997a. 云南马厂箐铜矿床氩同位素组成研究[J]. 科学通报, 42(14):1542-1545.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, Burnard P G. 1997b. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D辑), 27(6):503-508.
- 胡祥昭, 黄震. 1997. 扬子地台西缘富碱花岗岩特征及成因研究[J]. 大地构造与成矿学, 21(2):173-180.
- 梁华英. 2002. 青藏高原东南缘斑岩铜矿成岩成矿研究取得新进展[J]. 矿床地质, 21(4):365.
- 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[J]. 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[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(1):32-39.
- 罗君烈, 杨友华, 赵准, 等. 1994. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 罗君烈, 李志伟. 2001. 云南中西部喜马拉雅期岩浆及成矿研究新进展[J]. 云南地质, 20(3):229-242.
- 骆耀南, 俞如龙, 侯立纬. 1998. 龙门山-锦屏山陆内造山带[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1-171.
- 吕伯西, 王增, 张能德. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社.
- 马鸿文. 1989. 论西藏玉龙斑岩铜矿带岩浆侵入时代[J]. 地球化学, (3):210-216.
- 马鸿文. 1994. 藏东玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1-158.
- 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[J]. 矿物学报, 25(1):69-74.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴樟谟, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 26(3):237-248.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4):254-257.
- 王登红, 杨建民, 薛春纪, 闫升好, 陈毓川, 徐珏. 2001. 西南三江-大渡河地区喜马拉雅期金成矿作用同位素年代学依据[A]. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生矿作用研究[M]. 北京: 地震出版社, 84-87.
- 王登红, 屈文俊, 李志伟, 应汉龙, 陈毓川. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学(D辑)地球科学, 34(4):345-349.
- 王登红, 应汉龙, 梁华英, 黄智龙, 骆耀南. 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1-208.
- 王治华, 郭晓东, 喻万强, 邹依林, 徐涛, 张勇. 2010a. 云南省马厂箐铜钼金多金属矿床地质特征及成矿规律[J]. 地质与勘探, 46(2):1-10.
- 王治华, 郭晓东, 陈祥, 葛良胜, 邹依林. 2010b. 云南祥云马厂箐富碱斑岩体的地球化学特征及其形成的构造环境[J]. 地质论评, 56(1):125-135.
- 杨建民, 薛春纪, 徐珏. 2001. 滇西北喜马拉雅期富碱斑岩地质特征及其成矿作用[A]. 见: 陈毓川, 主编. 喜马拉雅期内生矿作用研究[C]. 北京: 地质出版社, 57-68.
- 杨志明, 侯增谦. 2009. 初论碰撞造山环境斑岩铜矿成矿模型[J]. 矿床地质, 28(5):515-538.
- 於崇文. 2006. 矿床在混染边缘分形生长(上)[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 705.
- 曾普胜, 莫宣学, 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[J]. 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-亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜-钼-金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用[J]. 地质论评, 52(1):72-84.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1(1):13-27.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1987. 哀牢山-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-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D辑), 27(4):289-293.
- 张玉泉, 谢应雯, 梁华英, 邱华宁, 李献华, 钟孙霖. 1998. 藏东玉龙斑岩铜矿带含矿斑岩及成岩系列[J]. 地球化学, 27(3):236-243.
- 张志斌, 刘发刚, 包佳凤. 2005. 哀牢山造山带构造演化[J]. 云南地质, 24(2):137-141.