

doi:10.3799/dqkx.2017.517

西藏玉龙铜矿带包买矿床含矿斑岩锆石 U-Pb 年代学

林 彬^{1,2}, 王立强¹, 唐菊兴¹, 宋 扬¹, 周 新³, 刘治博¹, 高一鸣¹, 唐晓倩⁴, 徐瑞阁⁵, 陈早军⁶

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

2. 澳大利亚塔斯马尼亚大学卓越矿床研究中心, 塔斯马尼亚霍巴特 7001

3. 西藏地勘局地热地质大队, 西藏拉萨 850000

4. 北京中矿联咨询中心, 北京 100044

5. 西藏大川矿业有限公司, 西藏拉萨 850000

6. 西藏翼龙矿业有限公司, 西藏拉萨 850000

摘要:包买斑岩型铜钼矿床是西藏玉龙铜矿带北段重要组成部分, 具有典型的斑岩型矿化、蚀变特征。最新勘查进展揭示其铜、钼资源量均已达中型矿床规模, 但理论研究工作仍十分薄弱。以矿区基本地质特征为基础, 运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学方法, 精确获得包买矿区与成矿有关的黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩侵位时代分别为: 41.3 ± 0.2 Ma 和 40.8 ± 0.2 Ma, 与玉龙、扎那等矿床一致, 是始新世印度大陆与欧亚大陆碰撞造山过程的产物。综合区域已有年代学证据, 玉龙铜矿带与成矿有关的斑岩体主要集中侵位于 $37 \sim 42$ Ma, 可能不存在明显的早(51 Ma)、中(41 Ma)、晚(33 Ma)三期, 且从北西向南东, 成岩成矿时代也没有明显降低变新的趋势。

关键词: 锆石 U-Pb 年代学; 斑岩铜钼矿床; 玉龙铜矿带; 矿床; 年代学。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2017)09-1454-18

收稿日期: 2016-11-22

Zircon U-Pb Geochronology of Ore-Bearing Porphyries in Baomai Deposit, Yulong Copper Belt, Tibet

Lin Bin^{1,2}, Wang Liqiang¹, Tang Juxing¹, Song Yang¹, Zhou Xin³, Liu Zhibo¹,
Gao Yiming¹, Tang Xiaoqian⁴, Xu Ruige⁵, Chen Zaojun⁶

1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. Centre of Excellence in Ore Deposit, University of Tasmania, Hobart 7001, Australia

3. Geothermal Geological Survey Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa 850000, China

4. China Mining Federation of Beijing Consulting Center, Beijing 100044, China

5. Tibet Dachuan Mining Limited Company, Lhasa 850000, China

6. Tibet Yilong Mining Limited Company, Lhasa 850000, China

Abstract: Baomai porphyry copper-molybdenite deposit is an important part of the northern Yulong copper belt, Tibet, with typical porphyry-type mineralization and alteration. The latest exploration shows that both Cu and Mo resources have reached the medium-sized deposit, but the research work is still very poor. Based on the basic geological characteristics, intrusion ages of biotite granite porphyry and biotite-monzogranite are 41.3 ± 0.2 Ma and 40.8 ± 0.2 Ma, respectively, according to the LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology method. These results are consistent with those of Yulong and Zhanaga deposits. All of them are the products of continent collision orogeny of India with Eurasia in Eocene. Geochronology evidences show that porphyries related to mineralization in the Yulong copper belt are mainly intruded at $37 \sim 42$ Ma, and no obviously early (51 Ma), medium

基金项目: 中国地质调查局公益性行业科研专项(Nos.201511017, 201511022-02); 国家自然科学基金(Nos.41403040, 41402178); 中国地质科学院基本科研业务费(No. YYWF201608); 国家留学基金委资助成果。

作者简介: 林彬(1987—), 男, 博士研究生, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究。ORCID: 0000-0003-1761-081X. E-mail: linbinlx@ sina.com

引用格式: 林彬, 王立强, 唐菊兴, 等, 2017. 西藏玉龙铜矿带包买矿床含矿斑岩锆石 U-Pb 年代学. 地球科学, 42(9): 1454—1471.

(41 Ma) and late (33 Ma) stages magmatic activities. From northwest to southeast, the ages of diagenesis and mineralization in Yulong copper belt do not change to be younger significantly.

Key words: zircon U-Pb geochronology; porphyry copper-molybdenite deposit; Yulong copper belt; ore deposits; geochronology.

斑岩铜(钼)矿床一直是世界上资源储量大、经济效益高、分布范围广的一类矿床(芮宗瑶等,1984,2006;侯增谦,2004;Richard,2009;Sillitoe,2010;冷秋锋等,2016;丁帅等,2017).西藏东部玉龙斑岩铜矿带已产出1个超大型(玉龙)、2个大型(马拉松多、多霞松多)、3个中型(扎那尕、莽总、包买)和20余个小型或矿化岩体,成为世界级的大型铜矿带(芮宗瑶等,1984;侯增谦等,2003a;Hou *et al.*,2003c,2007;Liang *et al.*,2006;吴伟中等,2013)(图1).与南美安第斯山俯冲环境下斑岩铜矿不同,玉龙铜矿带形成于典型的陆陆碰撞造山环境(侯增谦等,2003a,2003b,2006).从发现至今,玉龙铜矿带一直深受广大地质学者的青

睐,并开展了大量的研究工作,这些工作主要集中在矿床地质特征(芮宗瑶等,1984;唐仁鲤等,1995;陈文明等,2006;陈建平等,2009)、含矿斑岩岩石学特征及其与成矿的关系(马鸿文,1983,1989a,1989b;张玉泉等,1998a,1998b,1998c;姜耀辉等,2006a,2006b)、蚀变类型与矿化特征(周宜吉,1985;Hou *et al.*,2003c;吴伟中等,2013)、成矿流体特征(谢玉玲等,2005)、区域构造背景及动力学机制(Hou *et al.*,2003c,2007,2015;Liang *et al.*,2006;吴伟中等,2013)、成岩成矿年代学(梁华英等,2008,2009;唐菊兴等,2009;王成辉等,2009;伍静等,2011;何国朝等,2014;陈喜连等,2016)、成矿物质来源(马鸿文,1988;张玉泉等,

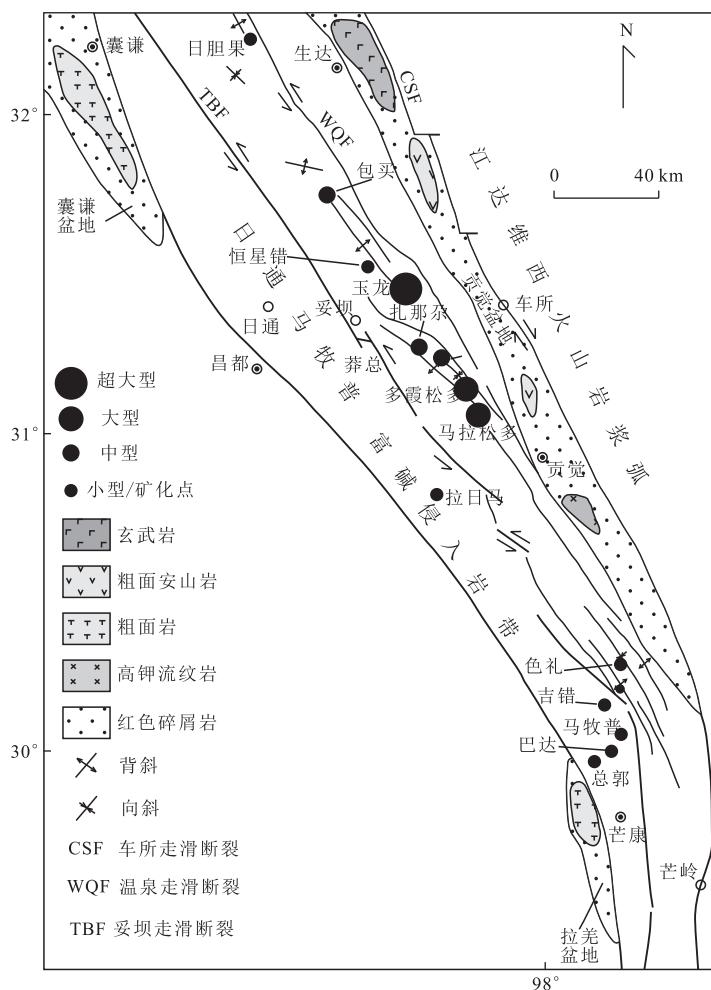


图1 西藏玉龙斑岩铜矿带区域构造位置

Fig.1 Regional tectonic location of the Yulong porphyry copper belt
据 Hou *et al.* (2003c)、唐菊兴等(2006)以及陈喜连等(2016)

1998b; 黄朋等, 2002; 吴伟中等, 2013) 及勘查找矿评价(陈建平等, 2000, 2009) 等方面。由于玉龙铜矿是成矿带内规模最大、勘查程度最高、矿化特征最典型的矿床, 所以上述研究工作也主要以玉龙铜矿为重点(郭利果等, 2006; 唐菊兴等, 2006; 陈建平等, 2009)。然而, 对于成矿带内其他矿床, 如包买斑岩铜钼矿床, 由于其勘查工作较晚, 成矿规模相对较小(李伟, 2014), 所以一直未开展详细的研究工作。本文在包买铜矿最新勘查成果的基础上, 根据钻孔编录认识, 运用激光剥蚀-等离子体质谱仪(LA-ICP-MS), 对矿区内地层及含矿斑岩进行锆石 U-Pb 年代学分析, 确定其成岩时代, 并结合成矿带内已有的年代学证据, 详细总结玉龙成矿带成岩成矿时空演化规律, 为进一步解译区域成矿动力学背景及构造演化机制提供新的地质依据。

1 地质概况

包买斑岩铜钼矿床位于玉龙铜矿带北段, 是目

前北段资源储量较大的矿床之一(李伟, 2014)(图 1)。最新勘查成果表明, 包买铜钼矿床 Cu 资源量超过 21 万 t, 铜平均品位为 0.22%, Mo 资源量为 6 万 t, 钼平均品位为 0.06%, 属于中型斑岩铜钼矿床(西藏大川矿业有限公司, 2014, 西藏自治区昌都县包买铜钼多金属矿区 2014 年度总结报告)。此外, 矿区北侧一系列断裂带中产出的多条矽卡岩型 Pb-Zn 矿化体, 目前尚未工程控制(西藏大川矿业有限公司, 2014, 西藏自治区昌都县包买铜钼多金属矿区 2014 年度总结报告)。

1.1 地层

矿区及区域出露地层(图 2), 由老到新分别为:(1)早远古界宁多岩群(Pt_{1nd}), 主要分布矿区中部, 呈南北向带状分布, 岩性组合为黑云母二长片麻岩、斜长片麻岩等变质杂岩, 发育典型的片麻状构造;(2)中三叠统夏日多组(T_{2x}), 主要分布在矿区中部, 与下伏地层宁多岩群呈角度不整合接触, 上部岩性主要为灰白色灰岩、砂泥岩、下部主要为钙质粉砂岩和泥页岩;(3)上三叠统甲丕拉组(T_{3j}), 主要



图 2 西藏包买斑岩铜钼矿矿区地质图

Fig.2 Geological sketch of Baomai porphyry copper-molybdenite deposit in Tibet
据李伟(2014)

分布在矿区东西两侧,呈不规则条带状分布,上部岩性主要为杂色砂岩、页岩,下部为厚层状钙质粉砂岩,与下伏夏日多组为整合接触;(4)上三叠统波里拉组(T_3b),主要分布在矿区东侧,呈不规则状分布,岩性主要为结晶灰岩,夹少量钙质粉砂岩、泥质灰岩,与下伏甲丕拉组为整合接触,局部为断层接触;(5)上三叠统阿都拉组(T_3a),矿区出露较小,主要呈不规则状产于矿区东部,岩性主要为灰绿色粉砂岩夹长石英砂岩,局部可见少量炭质页岩,与下伏波里拉组呈整合接触。

1.2 构造

受区域走滑断裂系统的影响,包买矿区构造活动发育,以断裂和背斜为主。矿区构造地质工作较为薄弱,对断裂的产状及性质缺乏细致的研究,此处仅对其基本特征进行简述。其中, F_1 断裂位于矿区最北段,贯穿甲丕拉组、夏日多组、宁多岩群,呈近东西向展布,断层内充填有构造角砾岩、断层泥等,长约5.5 km,宽约6 m,为右旋平移断层。 F_3 断裂发育在

矿区中西部,贯穿甲丕拉组、夏日多组、宁多岩群,呈近东西向展布,长约5.4 km,宽约2~15 m,断层内充填有构造角砾及断层泥,为右旋平移断层。 F_{10} 断裂发育于矿区中部与夏日多背斜轴迹近乎平行,主要产于宁多岩群中,笔者初步推测其断裂形成时间与区内岩浆侵位时间相近,断裂南段被 F_3 断裂截断。 F_{10} 断裂长约2.5 km,可能为北部矽卡岩型铅锌矿化提供热液运移和沉淀的通道。 F_{11} 断裂发育于矿区中东部,贯穿夏日多组、宁多岩群及斑岩体,呈北东南西向展布,断裂长约2.5 km,宽约30 m,断面上擦痕特征揭示其为右旋平移断裂(图2)。

除断裂活动外,包买矿区与成矿作用密切相关的是近南北向展布的夏日多背斜,该背斜位于矿区中部,走向近350°,背斜轴部为宁多岩群,两翼地层依次为夏日多组、甲丕拉组、波里拉组和阿都拉组,两翼产状相对较缓,倾角多小于30°。

1.3 岩浆岩

包买矿区岩浆活动较为强烈,主要沿夏日多背

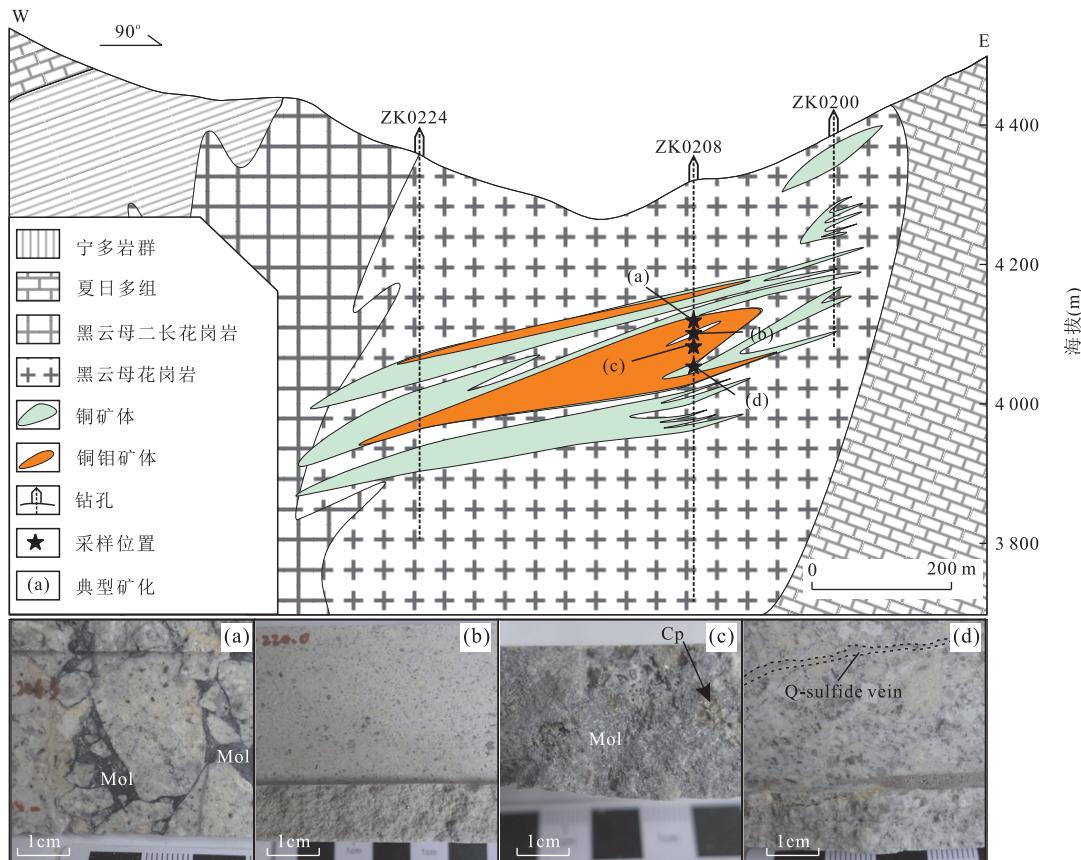


图3 包买斑岩铜矿床02号剖面

Fig.3 No.2 section of Baomai porphyry Cu (Mo) deposit, Tibet

a.ZK0208-206.5 m 辉钼矿化角砾岩;b.ZK0208-220.0 m 闪长岩脉;c.ZK0208-231.0 m 裂隙面上辉钼矿化;d.ZK0208-266.3 m 含矿斑岩中石英-硫化物脉.Mol.辉钼矿;Cp.黄铜矿;Q-sulfide vein.石英-硫化物脉

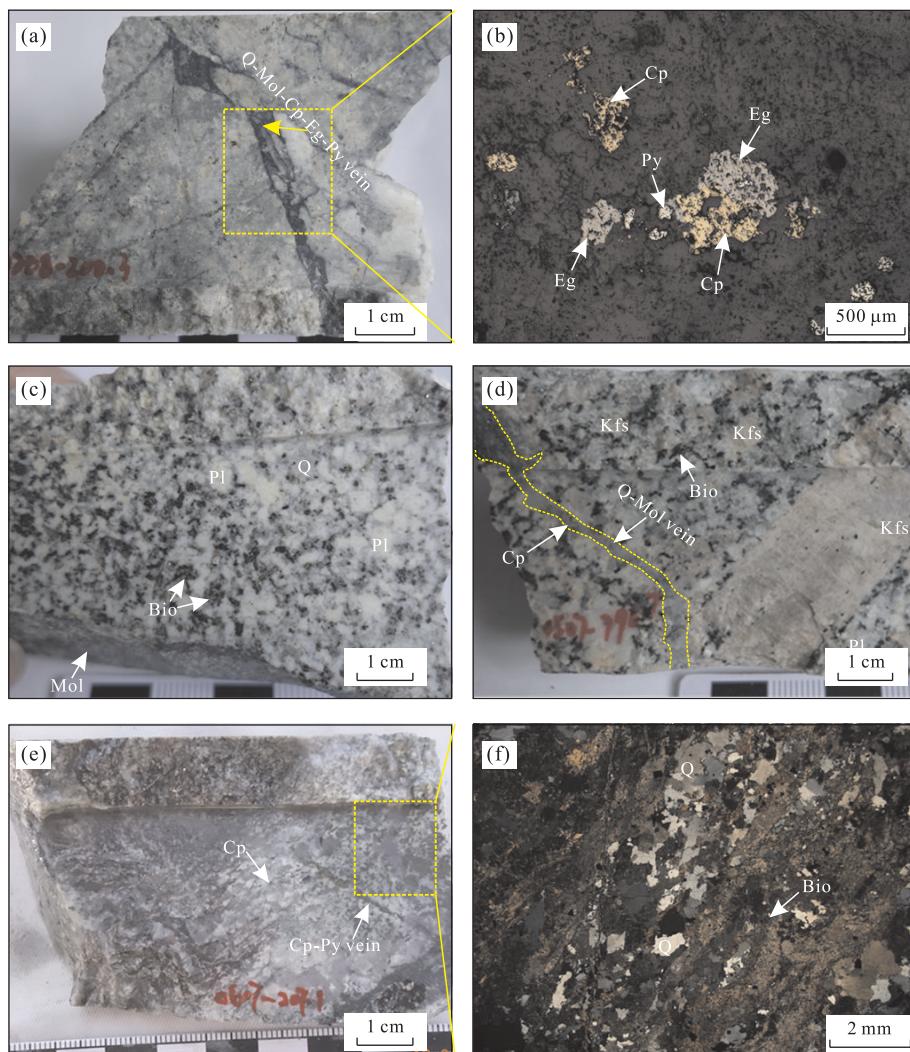


图 4 包买斑岩铜钼矿床主要矿化特征及岩石组成

Fig.4 Mineralized characteristics and petrology of Baomai porphyry Cu (Mo) deposit, Tibet

a.ZK0208-200.3 m 泥化蚀变黑云母花岗岩中的硫化物脉;b.ZK0208-200.3 m 硫化物脉中 Cp、Eg、Py(反射光);c.ZK0208-271.0 m 黑云母花岗岩,裂隙面上可见细粒辉钼矿;d.ZK0507-792.7 m 黑云母二长花岗岩石英—辉钼矿—黄铜矿脉;e.ZK0607-207.1 m 黄铜矿化片麻岩;f.ZK0607-207.1 m 片麻岩(正交偏光).Q.石英;Mol.辉钼矿;Cp.黄铜矿;Eg.硫砷铜矿;Py.黄铁矿;Bio.黑云母;Pl.斜长石;Kfs.钾长石

斜核部侵位,呈岩株状侵入于宁多岩群和夏日多组地层中,形态大致呈椭圆形。据穿切关系显示,斑岩体为多期次侵位杂岩体,早期为黑云母花岗岩、晚期为黑云母二长花岗岩,最晚期可见无矿化的闪长岩脉,明显穿切早期黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩(图 2)。

其中,黑云母花岗岩呈岩株状,产于矿区中部,灰白色,粗粒结构,块状构造。主要矿物组成为斜长石($35\% \sim 40\%$)、钾长石($15\% \sim 25\%$)、石英($20\% \sim 35\%$)、黑云母($8\% \sim 15\%$)等。其中,长石类矿物常发生不同程度的粘土化,并伴生较强的 Cu、Mo 矿化。粘土化蚀变越强、矿化也较好。如 ZK0208 粘土化蚀变强,Cu 矿化品位多 $>0.23\%$,Mo 的矿化

品位多 $>0.08\%$,属于富 Mo 矿化段。黑云母二长花岗岩,呈岩株状产于矿区中南部,浅肉红色—灰白色,粗粒—巨粒似斑状结构,块状构造。矿物组成主要钾长石($25\% \sim 35\%$)、斜长石($25\% \sim 35\%$)、石英($25\% \sim 30\%$)、黑云母($5\% \sim 15\%$)以及少量角闪石($<5\%$)。其中,钾长石晶体较大,直径多大于 1 cm,甚至大于 5 cm,呈“巨斑”状产出。副矿物主要为磷灰石、榍石、锆石、金红石等。黑云母二长花岗岩整体蚀变较弱,主要为长石类矿物发生弱粘土化,但也发育良好的 Cu、Mo 矿化。闪长岩脉,灰白色,中粒—细粒斑状结构、块状构造。主要呈脉状,侵位于早期的黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩以及宁多岩群中。斑晶主要为斜长石、角闪石、少量石英($<5\%$),基质

为闪长质,蚀变为弱泥化,未见明显Cu、Mo矿化.

1.4 矿化及蚀变

包买斑岩铜钼矿床,矿体主要产于黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩及其围岩接触带上(图3).矿化主要以黄铜矿、辉钼矿的形式产出,可见少量硫砷铜矿、黄铁矿等.其中,黄铜矿多呈细脉—浸染状产于黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩中,或呈细脉—浸染状产于围岩—宁多岩群片麻岩中.辉钼矿则主要呈细粒状产于黑云母花岗岩的裂隙面上,或充填形成辉钼矿细脉或石英—辉钼矿细脉,局部可呈热液胶结物胶结斑岩体角砾.硫砷铜矿则多与黄铜矿、辉钼矿共生,产于石英—硫化脉中.黄铁矿则主要呈细粒浸染状产于斑岩体及围岩中,分布范围较广(图3).

矿区含矿斑岩及围岩整体蚀变较弱,主要为粘土化、绢云母化、弱角岩化和硅化蚀变.其中,粘土化主要发育在ZK0208附近,以高岭石化为主.斑岩体中长石类矿物发生蚀变分解,形成高岭石等粘土矿物,呈弥散状或者团斑状产出,多与绢云母化叠加.粘土化蚀变发育的地段,裂隙率相对较高,大部分多于4~5条/米,局部裂隙十分发育的地段可形成角砾岩化(图3).裂隙多被石英和硫化物充填形成脉体,如石英—辉钼矿脉、辉钼矿脉、石英—黄铜矿—辉钼矿脉、石英—黄铁矿脉等.脉壁多不规则,宽度变化较大,0.2~0.8 cm均有,通常粘土化蚀变带中,矿化较发育,Cu矿化品位多大于0.2%,Mo矿化品位多大于0.04%.绢云母化也多产于斑岩体中,多为长石类矿物分解蚀变的产物,呈弥散状产出,部分被粘土化蚀变叠加.绢云母化蚀变段,裂隙发育程度一般,仅2~3条/米,多被辉钼矿等硫化物充填形成硫化物细脉(宽多小于0.3 cm).绢云母蚀变段常伴有

细粒浸染状的黄铜矿、黄铁矿矿化,整体Cu矿化品位约0.2%.弱角岩化和硅化,主要产于矿区中东部(ZK0607),黑云母花岗岩与宁多岩群片麻岩接触带附近,主要指片麻岩发生弱硅化、弱角岩化(图4),可能受斑岩体热烘烤蚀变所致.硅化和角岩化片麻岩中常可见浸染状、细脉状的黄铜矿、黄铁矿化,局部可见少量石英—辉钼矿细脉,Cu矿化品位多大于0.2%,Mo矿化品位多大于0.02%.

此外,受矿区断裂及背斜构造的影响,矿区北部夏日多背斜两翼夏日多组中,发育多条近平行的脉状矽卡岩化,受断裂控制明显,且伴有明显方铅矿、闪锌矿化,厚20~50 cm,长约300~500 m(图2),可能为中酸性岩浆热液与夏日多组碳酸盐岩地层接触交代的产物.

2 样品采集及测试方法

本次研究的样品主要为与成矿关系最为密切的黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩.样品1黑云母花岗斑岩(ZK0208-266.0 m)发育弱的粘土化蚀变,有强细脉浸染状辉钼矿化和黄铜矿化.样品2黑云母二长花岗岩(ZK0507-789.2 m)为新鲜的岩石,断面上可见清晰的浸染状黄铜矿、黄铁矿化(图5).

样品经破碎后分选出锆石,在双目镜下挑选晶型、色泽较好、无包裹体和无裂隙的锆石颗粒,粘在双面胶上,并用环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,将锆石靶表面抛光,使锆石内部得以充分暴露(宋彪等,2002).锆石样品经过反射光和透射光照相后,用阴极发光(CL)进行图像分析,选择待测颗粒位置.LA-ICP-MS锆石U-Pb定年在中国地质科学院矿产

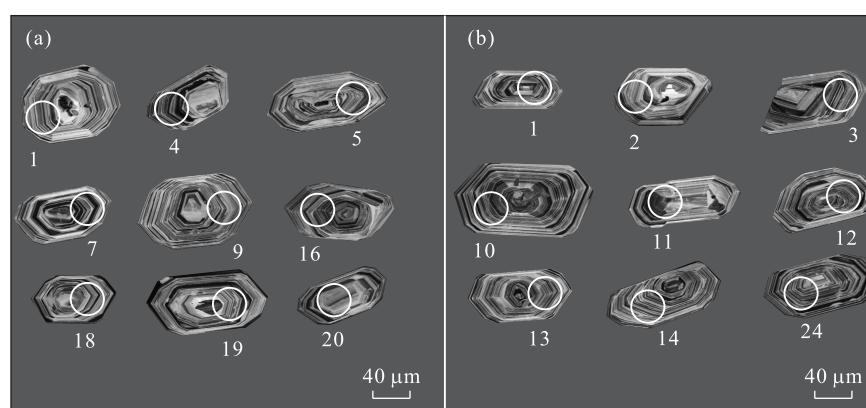


图5 包买矿床含矿斑岩部分锆石CL图及U-Pb测点

Fig.5 CL diagram of part of zircons and analysis point in ore-bearing porphyry of Baomai deposit, Tibet

a.样品1,黑云母花岗斑岩(ZK0208-266.0 m);b.样品2,黑云母二长花岗岩(ZK0507-789.2 m)

资源研究所 LA-ICP-MS 实验室完成。其中,锆石定年分析所采用的仪器为 Finnigan Neptune 型 ICP-MS 及与之配套的 Newwave U-Pb 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所采用的束斑直径为 $25 \mu\text{m}$, 频率 10 Hz, 能量密度约为 2.5 J/cm^2 , 以 He 为载气。锆石 U-Pb 定年以锆石 CJ-1、U/Th 含量及锆石 M127 ($\text{U}:923 \times 10^{-6}$; $\text{Th}:439 \times 10^{-6}$; $\text{Th}/\text{U}:0.475$, Nasdala *et al.*, 2008) 为外标

进行校正、数据处理和图绘制采用 ICPMS Data-Cal 和 Isoplot 3.0 程序 (Liu *et al.*, 2010) 获得。详细的实验测试流程参考侯可军等 (2009)。

3 分析结果

阴极发光结果显示, 样品 1 黑云母花岗岩、样品

表 1 包买铜钼矿床含矿斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of the Baomai ore-bearing porphyry

样品编号	$\text{Th}(10^{-6})$	$\text{U}(10^{-6})$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}(\text{Ma})$	1σ
黑云母花岗岩											
ZK0208-266.0 m-1	629	903	0.7	0.051 6	0.003 2	0.044 6	0.002 9	0.006 3	0.000 1	40.7	0.8
ZK0208-266.0 m-2	497	958	0.5	0.051 5	0.003 7	0.044 4	0.003 2	0.006 2	0.000 1	40.1	0.7
ZK0208-266.0 m-4	1 531	1 626	0.9	0.052 3	0.004 4	0.045 5	0.003 6	0.006 4	0.000 1	41.0	0.8
ZK0208-266.0 m-5	675	1 294	0.5	0.052 1	0.002 6	0.045 4	0.002 2	0.006 3	0.000 1	40.8	0.5
ZK0208-266.0 m-6	686	1 161	0.6	0.052 4	0.002 2	0.045 8	0.001 8	0.006 4	0.000 1	41.2	0.5
ZK0208-266.0 m-7	1 723	2 497	0.7	0.048 1	0.002 3	0.041 4	0.001 9	0.006 3	0.000 1	40.2	0.5
ZK0208-266.0 m-9	789	1 360	0.6	0.051 0	0.002 0	0.044 2	0.001 6	0.006 4	0.000 1	41.3	0.5
ZK0208-266.0 m-10	608	1 205	0.5	0.050 9	0.002 9	0.044 0	0.002 5	0.006 4	0.000 1	40.9	0.6
ZK0208-266.0 m-11	354	1 124	0.3	0.050 6	0.002 5	0.044 2	0.002 2	0.006 5	0.000 1	41.7	0.6
ZK0208-266.0 m-12	541	1 083	0.5	0.051 8	0.002 3	0.045 2	0.002 1	0.006 4	0.000 1	41.2	0.6
ZK0208-266.0 m-13	1 068	2 050	0.5	0.048 2	0.001 9	0.042 9	0.001 8	0.006 5	0.000 1	41.6	0.5
ZK0208-266.0 m-14	483	1 194	0.4	0.050 1	0.002 6	0.044 3	0.002 3	0.006 6	0.000 1	42.1	0.6
ZK0208-266.0 m-15	611	1 343	0.5	0.047 7	0.002 7	0.042 8	0.002 3	0.006 5	0.000 1	41.9	0.5
ZK0208-266.0 m-16	745	1 424	0.5	0.049 9	0.002 2	0.044 3	0.002 0	0.006 5	0.000 1	41.7	0.5
ZK0208-266.0 m-19	729	1 014	0.7	0.048 1	0.007 2	0.042 4	0.006 7	0.006 5	0.000 2	41.7	1.4
ZK0208-266.0 m-20	744	1 188	0.6	0.052 2	0.002 6	0.045 3	0.002 1	0.006 5	0.000 1	41.7	0.6
ZK0208-266.0 m-21	1 642	1 990	0.8	0.050 7	0.002 1	0.044 2	0.001 9	0.006 3	0.000 1	40.7	0.5
ZK0208-266.0 m-22	316	713	0.4	0.050 5	0.008 1	0.040 6	0.004 8	0.006 2	0.000 3	40.0	2.0
ZK0208-266.0 m-23	469	688	0.7	0.052 7	0.019 9	0.044 3	0.012 9	0.006 4	0.000 5	41.3	2.9
ZK0208-266.0 m-24	707	1 610	0.4	0.051 2	0.002 8	0.043 7	0.002 3	0.006 3	0.000 1	40.3	0.5
ZK0208-266.0 m-25	618	900	0.7	0.052 7	0.002 7	0.046 0	0.002 3	0.006 5	0.000 1	41.5	0.6
ZK0208-266.0 m-26	739	1 583	0.5	0.051 0	0.002 2	0.044 8	0.002 0	0.006 4	0.000 1	41.1	0.5
ZK0208-266.0 m-27	1 381	2 204	0.6	0.048 9	0.002 0	0.043 4	0.001 8	0.006 5	0.000 1	41.9	0.5
ZK0208-266.0 m-28	1 697	1 317	1.3	0.050 0	0.003 0	0.044 1	0.002 6	0.006 5	0.000 1	41.7	0.6
ZK0208-266.0 m-29	783	1 599	0.5	0.046 2	0.002 1	0.041 0	0.001 9	0.006 5	0.000 1	41.8	0.6
ZK0208-266.0 m-30	1 182	1 246	0.9	0.052 2	0.002 7	0.045 5	0.002 4	0.006 4	0.000 1	41.1	0.7
黑云母二长花岗岩											
ZK0507-789.2 m-1	592	1 014	0.6	0.043 4	0.002 8	0.037 4	0.002 5	0.006 2	0.000 1	40.2	0.6
ZK0507-789.2 m-2	661	1 076	0.6	0.052 7	0.002 0	0.046 3	0.002 0	0.006 3	0.000 1	40.6	0.5
ZK0507-789.2 m-3	541	1 514	0.4	0.050 5	0.001 7	0.043 3	0.001 5	0.006 3	0.000 1	40.4	0.5
ZK0507-789.2 m-5	376	905	0.4	0.051 4	0.003 0	0.046 2	0.002 9	0.006 5	0.000 1	41.6	0.8
ZK0507-789.2 m-6	1 100	1 689	0.7	0.052 6	0.004 6	0.044 3	0.003 4	0.006 2	0.000 1	40.1	0.8
ZK0507-789.2 m-7	844	1 665	0.5	0.050 6	0.002 7	0.043 5	0.002 3	0.006 2	0.000 1	40.1	0.6
ZK0507-789.2 m-8	623	1 346	0.5	0.052 8	0.004 6	0.045 4	0.003 8	0.006 4	0.000 1	41.2	0.9
ZK0507-789.2 m-9	726	1 365	0.5	0.050 9	0.002 7	0.043 6	0.002 2	0.006 3	0.000 1	40.3	0.7
ZK0507-789.2 m-10	951	1 555	0.6	0.048 3	0.003 5	0.041 3	0.002 9	0.006 2	0.000 1	40.1	0.8
ZK0507-789.2 m-11	807	1 248	0.7	0.051 8	0.002 7	0.044 9	0.002 4	0.006 3	0.000 1	40.3	0.5
ZK0507-789.2 m-12	848	1 505	0.6	0.050 3	0.002 4	0.043 1	0.002 0	0.006 3	0.000 1	40.3	0.5
ZK0507-789.2 m-13	648	1 437	0.5	0.048 5	0.002 1	0.042 4	0.001 8	0.006 4	0.000 1	40.9	0.5
ZK0507-789.2 m-14	746	1 125	0.7	0.051 3	0.002 1	0.044 6	0.001 8	0.006 4	0.000 1	41.0	0.5
ZK0507-789.2 m-15	1 002	1 648	0.6	0.051 2	0.001 9	0.045 3	0.001 7	0.006 4	0.000 1	41.2	0.5
ZK0507-789.2 m-16	712	1 481	0.5	0.050 2	0.002 0	0.043 8	0.001 9	0.006 4	0.000 1	41.2	0.6
ZK0507-789.2 m-17	629	1 586	0.4	0.050 7	0.002 2	0.043 2	0.001 8	0.006 2	0.000 1	40.0	0.5
ZK0507-789.2 m-18	872	1 444	0.6	0.049 1	0.002 1	0.042 5	0.001 8	0.006 3	0.000 1	40.6	0.5
ZK0507-789.2 m-19	1 035	1 059	1.0	0.050 3	0.004 0	0.042 8	0.003 5	0.006 2	0.000 1	39.6	0.8
ZK0507-789.2 m-20	544	1 242	0.4	0.049 8	0.002 3	0.043 5	0.002 1	0.006 3	0.000 1	40.7	0.5
ZK0507-789.2 m-21	282	644	0.4	0.054 3	0.004 4	0.044 8	0.003 2	0.006 2	0.000 2	40.2	1.0
ZK0507-789.2 m-22	517	1 144	0.5	0.047 5	0.002 0	0.041 4	0.001 7	0.006 4	0.000 1	41.2	0.5
ZK0507-789.2 m-23	732	1 566	0.5	0.050 5	0.002 1	0.044 6	0.001 9	0.006 5	0.000 1	41.6	0.5
ZK0507-789.2 m-24	1 011	1 182	0.9	0.049 9	0.002 4	0.044 4	0.002 1	0.006 5	0.000 1	41.8	0.6
ZK0507-789.2 m-25	975	1 520	0.7	0.044 7	0.002 2	0.039 4	0.002 0	0.006 5	0.000 1	41.5	0.6
ZK0507-789.2 m-26	1 051	1 399	0.8	0.051 7	0.002 3	0.045 2	0.001 9	0.006 5	0.000 1	41.6	0.5
ZK0507-789.2 m-27	479	1 015	0.5	0.052 1	0.002 6	0.045 8	0.002 1	0.006 5	0.000 1	41.7	0.6
ZK0507-789.2 m-28	920	1 407	0.7	0.049 6	0.002 0	0.043 5	0.001 8	0.006 4	0.000 1	41.1	0.5
ZK0507-789.2 m-29	993	1 292	0.8	0.051 5	0.002 3	0.043 8	0.001 9	0.006 3	0.000 1	40.3	0.5
ZK0507-789.2 m-30	606	1 049	0.6	0.051 1	0.004 8	0.045 6	0.004 1	0.006 5	0.000 2	41.9	1.2

注: 测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所, 测试者为王倩, 测试手段为激光剥蚀—等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)。

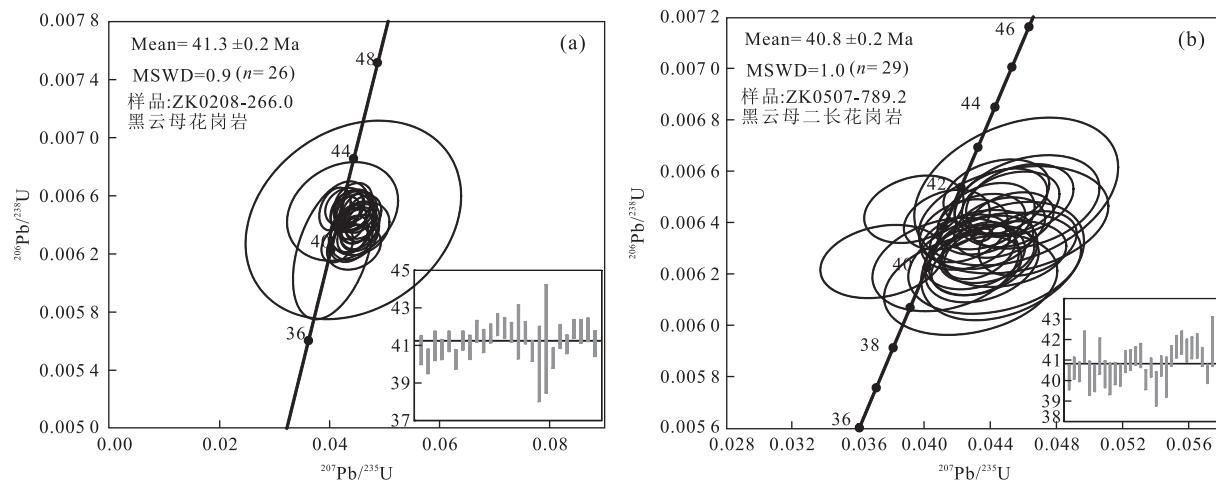


图6 包买矿床含矿斑岩U-Pb谐和年龄

Fig.6 U-Pb zircon concordia plots for ore-bearing porphyry of Baomai deposit, Tibet

2 黑云母二长花岗岩的锆石均具有清晰的振荡环带结构(图5),二者Th/U比值均大于0.3,属于典型的岩浆锆石(Hoskin *et al.*, 2000)。

样品1黑云母花岗岩的26个有效测点中(表1,图6a),Th的变化范围为 $316 \times 10^{-6} \sim 1723 \times 10^{-6}$,U的变化范围为 $688 \times 10^{-6} \sim 2497 \times 10^{-6}$;测点的表面年龄范围在(40.0 ± 2.0)~(42.1 ± 0.6)Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 41.3 ± 0.2 Ma($n=26$),MSWD=0.9,为黑云母花岗岩的结晶年龄。样品2黑云母二长花岗岩的29个有效测点中(表1,图6b),Th的变化范围为 $282 \times 10^{-6} \sim 1100 \times 10^{-6}$,U的变化范围为 $644 \times 10^{-6} \sim 1689 \times 10^{-6}$;测点的表面年龄范围在(39.6 ± 0.8)~(41.9 ± 1.2)Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 40.8 ± 0.2 Ma($n=29$),MSWD=1.1,为黑云母二长花岗岩的结晶年龄。其中,黑云母花岗二长花岗斑岩的协和曲线整体偏移在等时线,可能说明锆石样品有轻微的Th/U丢失。

4 讨论

4.1 包买铜钼矿床岩浆活动演化

斑岩型矿床,精确厘定含矿斑岩的形成时代,对正确认识和判断矿床成矿作用有十分重要的意义(郭利果等,2006;梁华英等,2008)。前人曾利用钾长石的K-Ar法获得包买矿区外围(夏日多)二长花岗岩形成时代为46.0 Ma(马鸿文,1989b;Hou *et al.*, 2003c),但该年龄值明显老于区域上已有的含矿斑岩形成时间(37~42 Ma)(王成辉等,2009;伍静等,2011;何国朝

等,2014;陈喜连等,2016),而且K-Ar法容易受蚀变影响,在准确性上相对较差。为此,本文利用最新也是最成熟的锆石微区激光剥蚀—等离子体质谱分析法(LA-ICP-MS),有效获得矿区2类含矿斑岩的形成时代。结果显示:含矿的黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩结晶年龄分别为 41.3 ± 0.2 Ma和 40.8 ± 0.2 Ma。上述年龄值与整个玉龙成矿带已报道的年龄值一致(Liang *et al.*, 2006;王成辉等,2009;伍静等,2011),说明测试结果可信。从基本地质事实和测试结果看,包买铜钼矿床确实经历了多期次岩体侵位,虽然两种主要含矿岩体(黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩)在岩石学特征上有一定的差异,但同位素年龄却基本一致,说明这两类岩体可能是含矿岩浆在较短时间内2次脉动侵位形成的。

斑岩铜钼矿床中含矿斑岩的形成时间是由锆石U-Pb年代学测定,而硫化物成矿时间则多选用辉钼矿的Re-Os年代学测定。据有效测试结果显示,包买矿床辉钼矿Re-Os同位素年龄为 42.7 ± 0.3 Ma(另文发表),误差范围内与含矿斑岩侵位时间一致。这说明包买矿区从含矿岩浆侵位到热液成矿,经历了十分快速降温、降压等物理化学条件变化的过程,整个过程持续的时间~1 Ma或<1 Ma,这不仅与已有的实验结果一致(Chiaradia *et al.*, 2013),也与成矿带内玉龙矿床成矿作用时限(1.0~1.5 Ma)基本一致(梁华英等,2008;唐菊兴等,2009),都反映这段时间内高强度成矿作用的特征(郭利果等,2006;Deckart *et al.*, 2014)。

侯增谦等(2006)曾基于印度—亚洲大陆碰撞以来主要的构造岩浆事件及时空坐标,将碰撞造山作

用过程划分为主碰撞(65~41 Ma)、晚碰撞(40~26 Ma)、后碰撞(25~0 Ma)三个阶段。其中,玉龙铜矿带成矿作用发生于晚碰撞期藏东构造转换带压扭/张扭转化阶段,严格受大规模走滑断裂系统控制(秦建华等,2010)。而包买斑岩铜钼矿床含矿斑岩锆石年代学证据表明,其斑岩体侵位时代为40~41 Ma,属于晚碰撞初期,与区域岩浆活动事件一致。构造上包买矿床位于温泉左行走滑断裂西侧、妥坝左行走滑断裂东侧,受大尺度走滑断裂和小尺度背斜、断离控制明显,也充分反映了碰撞造山过程中对应力应变的调节作用。所以,无论成岩成矿活动还是控矿断裂构造,均揭示包买铜钼矿是印度—亚洲陆陆碰撞过程中的40 Ma左右构造岩浆事件的产物。

马鸿文等(1988, 1989a, 1989b)初步探究玉龙铜矿带含矿斑岩的岩石学特征,认为带内以黑云母花岗斑岩—二长花岗斑岩的中酸性岩体与成矿密切相关,这类岩体钾含量较高,Rb/Sr比值和Ce/Yb_N比值与典型的斑岩铜矿含矿斑岩相似,其⁸⁷Sr/⁸⁶Sr初始值变化范围为0.706~0.708,说明其属于壳幔混源花岗岩。与典型岛弧型和大陆边缘弧含矿斑岩不同,玉龙铜矿带含矿斑岩有明显的高K₂O、富Rb、Ba的特征,属钾玄岩系列(Hou et al., 2003c),同时,具有强Nb、Ta、P、Ti负异常,Th和LREE正异常的弧岩浆特征。Sr、Nd同位素比值变化范围较窄(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd为0.512 43~0.512 53; ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr为0.706 5~0.707 7),主要位于富集地幔(Ⅱ型)和大洋中脊玄武岩之间,并接近于前者,说明其可能起源于富水地幔熔融或古生代金沙江俯冲大洋板片的熔融(Hou et al., 2003c)。吴伟中等(2013)则进一步强调玉龙铜矿带含矿斑岩不同于冈底斯成矿带,玉龙成矿带含矿斑岩更富碱、高K、高Al,富集轻稀土和大离子亲石元素,亏损高场强元素,略高于地幔现代值⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值和较低的ε_{Nd}(t)、相对均一的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb,其源区可能为富集地幔交代成因的石榴石角闪岩或角闪榴辉岩的部分熔融,有低程度结晶分异,可能有地壳物质的混染。初步分析岩石学分析表明,包买矿区含矿斑岩同样属于高钾性岩石,富轻稀土和高场强元素,且⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值和ε_{Nd}(t)值,位于富集地幔(Ⅱ型)和大洋中脊玄武岩之间,且靠近富集地幔(Ⅱ型),其岩石源区与玉龙铜矿带同时代含矿斑岩一致,同属于富集地幔部分熔融的产物,可能混染有少量地壳物质(Lin et al., under review)。

4.2 区域地质意义

前人曾对玉龙成矿带内多个矿床/点进行过细

致的年代学研究,针对不同的测试对象,选用不同的测试方法,早期主要利用钾长石、黑云母K-Ar法或全岩Rb-Sr法(马鸿文,1989b; Hou et al., 2003c),后期多采用锆石的LA-ICP-MS、SHRIMP法和黑云母的Ar-Ar法(王成辉等,2009)(表2)。马鸿文(1989b)和Hou et al.(2003c)曾对早期测试结果进行初步总结,认为玉龙铜矿带含矿斑岩侵位时代集中分布在55.0~48.2 Ma、41.5~37.9 Ma和34.6~30.9 Ma,并因此划分为早、中、晚3个峰值,即52 Ma、41 Ma、33 Ma(Hou et al., 2003c)(图7)。Liang et al.(2006)曾利用LA-ICP-MS锆石测年获得玉龙、扎那尕、莽总、多霞松多、马拉松多的含矿斑岩侵位时代,并认为玉龙含矿斑岩侵位时代从北西向南东向有逐渐下降的趋势。那么玉龙成矿带3期含矿岩浆侵位是否真的存在?不同矿床的斑岩侵位时代是否真的具有逐渐下降时趋势?为解答上述疑问,首先需要对玉龙铜矿带的基本地质特征进行总结,查明整个玉龙铜矿带是否属于同一构造—岩浆—成矿作用事件。本次研究在对包买矿床基本地质特征和含矿斑岩年代学的基础上,充分收集成矿带各矿区矿床地质特征(表2)和含矿斑岩年代学资料,总结玉龙铜矿带成岩成矿时空分布规律(表3)。

区域尺度,玉龙铜矿带段南北两段均主要受控于NW-SE向走滑断裂及其次级小断裂,矿区尺度

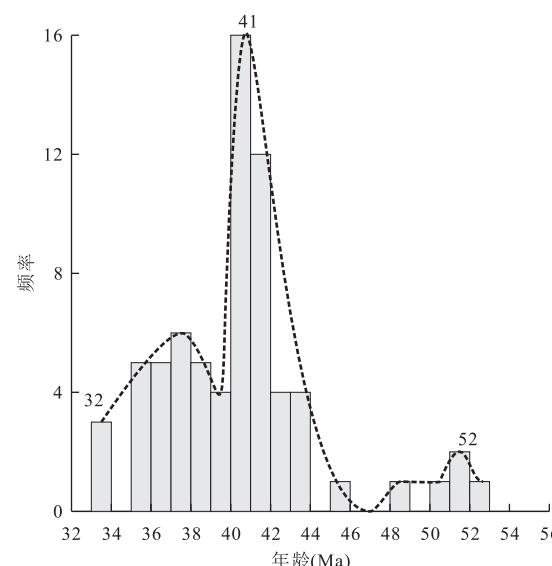


图7 西藏玉龙铜矿带斑岩体同位素年龄值直方图

Fig.7 Histogram of isotopic ages of porphyry bodies in the Yulong porphyry copper belt, Tibet

数据来源见表3

表 2 玉龙铜矿带各矿床地质特征对比

Table 2 Comparison of the characteristics of deposits in Yulong copper belt

矿床	纳日贡玛	包买	玉龙	扎那杂	多霞砾多	马拉松多	色礼	马牧普	总郭
控矿构造	受 NW-SE 向深大断裂控制,位于杂多复式背斜北翼,发育 NE、EW、NS 向小断裂	受控于 NW-SE 向走滑断裂系统及夏末多背斜,矿区发育多组小断裂	受控于金沙江—红河断裂,位于桓星错—甘龙拉短轴背斜南端转端	受控于 NW-SE 向走滑断裂系统向走滑断层中段	受控于 NW-SE 向走滑断层,葬总背斜中段	受控于 NW-SE 向走滑断层系统	受控于 NW-SE 向走滑断层,葬斜核部	受控于近南北向红河—哀牢山断裂,产于色礼背斜核部	受控于近南北向红河—哀牢山断裂,产于吉措背斜南段西翼
赋矿地层	下二叠统开心岭群中基性火山熔岩	早元古界宁多岩群片麻岩和中三叠统夏日多组灰岩、页岩	上三叠统灰岩、粉凝灰质泥岩,粉砂岩,砂岩	下二叠统火山岩及上三叠统甲丕拉组砂泥岩	上三叠统砂岩、粉砂岩和页岩	上三叠统甲丕拉组泥岩、粉砂岩及下三叠统流纹岩和凝灰岩	晚三叠统砂页岩和二叠一白垩系砂砾岩中	晚三叠统巴贡组紫红色砂砾岩及页岩夹凝灰岩、灰岩	晚三叠统巴贡组紫红色砂砾岩及页岩夹凝灰岩、灰岩
岩体特征	含矿斑岩主要为黑云母花岗斑岩	黑云母花岗斑岩,黑云母二长花岗岩	黑云母二长花岗斑岩,其次为花岗闪长斑岩、碱长花岗岩	二长花岗斑岩,正长花岗斑岩	二长花岗斑岩和碱长花岗斑岩	二长花岗斑岩,正常花岗斑岩	正长斑岩	正长斑岩	正长斑岩
蚀变特征	母化、绢云钾硅酸盐化、青磐岩化、泥化	发育绢云母化、钾硅酸盐化、泥化、矽卡岩化	发育钾硅酸盐化、石英—绢云母化,泥化、青磐岩化;矽卡岩化	发育钾硅酸盐化,黄铁绢英岩化,泥化、青磐岩化	钾硅酸盐化,石英—绢云母化,青磐岩化	钾长石化、硅化、绢云母化和泥化	绿帘石化、绿泥石化	角岩化、绿泥石化、绿帘石化	—
矿体形态	条带状、透镜状产出	脉状、透镜状脉出	矽卡岩型层状矿体、斑岩型透镜状矿体	柱状,透镜状	不规则状,透镜状	透镜状、不规则状	不规则状	不规则状	—
矿石类型	细脉—细脉状脉出	细脉状,细脉状,脉状	细脉浸染状、网脉状	细脉浸染状	细脉浸染状,网脉状	细脉浸染状	浸染状	浸染状	—
矿物组合	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、蓝铜矿、黄铁矿	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、硫砷铜矿	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、赤铜矿	黄铜矿、黄铁矿、少量辉钼矿、斑铜矿、磁铁矿、铅矿、闪锌矿等	黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿	黄铜矿、黄铁矿	黄铜矿	黄铜矿
成矿元素组合	Cu、Mo	Cu、Mo、Fe、As	Cu、Mo、Fe、W、Au、Ag、Pb、Zn、Ni、Co	Cu、Mo、Au、Fe	Cu、Mo、Au、Ag	Cu、Mo、Au、Ag、PGE	Cu、Mo	Cu、Au、Ag	Cu
矿床规模	中型; Cu 金属量 25 万 t @ 0.33%; Mo 金属量 68 万 t @ 0.06%	中型; Cu 金属量 21 万 t @ 0.22%; Mo 金属量 6 万 t @ 0.99%	超大型; Cu 资源量 6.22 Mt @ 0.028%、0.35 g/t	中型; Cu 金属量 30 万 t @ 0.36%; Mo @ 0.03%, Au 0.03 g/t	大型; Cu 金属量 50 万 t @ 0.38%; Mo @ 0.04%, Au 0.05 g/t	大型; Cu 金属量 100 万 t @ 0.44%; Mo 0.014%	矿化点	矿化点	矿化点
参考文献	杨志明等,2008; 王召林等,2008;	本文	吴伟中等,2013	何国朝等,2014	吴伟中等,2013	梁华英等,2009	陈喜连等,2016	陈喜连等,2016	陈喜连等,2016

注:@表示平均品位; “—”表示暂无相关资料。

表 3 西藏玉龙铜矿带年代学数据
Table 3 Geochronology of Yulong porphyry copper belt, Tibet

矿区	岩石类型	测试对象	矿化特征	测试方法	年龄(Ma)	均值(Ma)	数据来源	处理
纳日贡玛	辉钼矿	辉钼矿	矿化	Re-Os	40.8	40.9	郝金华等,2012	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	矿化	Re-Os	40.9		王召林等,2008	
	黑云母花岗斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	43.4	42.3	郝金华等,2012	
	黑云母花岗斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	42.9		郝金华等,2012	
	黑云母花岗斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	41.5		宋忠宝等,2011	
	花岗闪长斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	41.4		宋忠宝等,2011	
	斜长花岗斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	41.0		宋忠宝等,2011	
日胆果	黑云母花岗斑岩	锆石	含矿	SHRIMP	43.3		杨志明等,2008	
	二长花岗斑岩	长石	含矿	K-Ar	41.5	41.5	Hou <i>et al.</i> ,2003c	参考
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	41.5		Hou <i>et al.</i> ,2003c	参考
夏日多	二长花岗斑岩	钾长石	无矿	K-Ar	46.0		马鸿文,1990	删除
包买	黑云母花岗岩	锆石	含矿	LA U-Pb	41.3	41.1	本文	
	黑云母二长花岗岩	锆石	含矿	LA U-Pb	40.8		本文	
恒星错	花岗闪长岩	钾长石	含矿	K-Ar	40.7		刘荣漠和赵定华,1981	参考
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	41.5	41.3	唐仁鲤和罗怀松,1995	参考
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	41.0		唐仁鲤和罗怀松,1995	参考
	二长花岗斑岩	全岩	含矿	K-Ar	42.7		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	K-Ar	40.7		马鸿文,1989b	删除
玉龙	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	K-Ar	48.2		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	K-Ar	41.5		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	K-Ar	40.0		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	37.9		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	38.2		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	55.0		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	55.0		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	Rb-Sr	41.0		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	Rb-Sr	41.0		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	38.0		张玉泉等,1987	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	41.0		张玉泉等,1987	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	Ar-Ar	52.8		马鸿文,1989b	删除
	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	Rb-Sr	52.0		马鸿文,1989b	删除
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿	Re-Os	40.1	40.9	曾普胜等,2006	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿	Re-Os	41.6		唐菊兴等,2009	
	石英二长花岗斑岩	锆石	成矿前	LA U-Pb	41.3	42.1	梁华英等,2008	
	含矿斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	41.2		Liang <i>et al.</i> ,2006	
玉龙北甘龙拉	二长花岗岩	锆石	含矿	SHRIMP	40.9		曾普胜等,2006	
	石英二长花岗斑岩	锆石	无矿	SHRIMP	41.4		王成辉等,2009	
扎那尕	二长花岗斑岩	黑云母	含矿	K-Ar	40.0		张玉泉等,1987	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	33.9		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	34.0		张玉泉等,1987	删除
	含矿斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	38.5	38.5	Liang <i>et al.</i> ,2006	
莽总	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	33.9		刘荣漠和赵定华,1981	删除
	二长花岗斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	37.6	37.6	Liang <i>et al.</i> ,2006	
	二长花岗斑岩	钾长石	含矿	K-Ar	42.7		马鸿文等,1989b	删除
多霞松多	含矿斑岩	锆石	含矿	LA U-Pb	37.5	37.5	Liang <i>et al.</i> ,2006	
	花岗斑岩	锆石	含矿	U-Pb	41.0		马鸿文等,1990	删除
	二长花岗斑岩	全岩	含矿	Rb-Sr	52.0		马鸿文等,1990	删除

续表 3

矿区	岩石类型	测试对象	矿化特征	测试方法	年龄(Ma)	均值(Ma)	数据来源	处理
马拉松多	花岗斑岩	锆石	含矿 [*]	U-Pb	41.0		马鸿文等,1990	删除
	正长花岗斑岩	钾长石	含矿 [*]	K-Ar	35.8		唐仁鲤和罗怀松,1995	删除
	二长花岗斑岩	锆石	含矿 [*]	U-Pb	40.9		马鸿文等,1990	删除
	二长花岗斑岩	全岩	含矿 [*]	K-Ar	50.9		唐仁鲤等,1995	删除
	石英二长斑岩	锆石	成矿前	LA U-Pb	36.9	36.9	梁华英等,2009	
	碱长花岗斑岩	锆石	含矿 [*]	LA U-Pb	36.9		梁华英等,2009	
	碱长花岗斑岩	黑云母	含矿 [*]	K-Ar	36.9		梁华英等,2009	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿 [*]	Re-Os	35.9	35.8	唐仁鲤和罗怀松,1995	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿 [*]	Re-Os	35.4		唐仁鲤和罗怀松,1995	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿 [*]	Re-Os	36.2		唐仁鲤和罗怀松,1995	
	石英—辉钼矿脉	辉钼矿	含矿 [*]	Re-Os	35.8		杜安道等,1994	
拉日玛	石英正长斑岩	全岩	含矿 [*]	K-Ar	36.0		Hou <i>et al.</i> ,2003c	删除
色礼	二长花岗斑岩	钾长石	含矿 [*]	K-Ar	96.8		刘荣漠和赵定华,1981	删除
吉错	正长斑岩	全岩	含矿 [*]	LA U-Pb	39.4	39.4	陈喜连,2016	
马牧普	正长斑岩	锆石	含矿 [*]	LA U-Pb	38.5	38.5	陈喜连,2016	
	角闪石正长斑岩	全岩	含矿 [*]	Rb-Sr	37.6		Hou <i>et al.</i> ,2003c	删除
巴达	石英正长岩	全岩	不含矿 [*]	K-Ar	38.4		Hou <i>et al.</i> ,2003c	删除
总郭	石英二长斑岩	锆石	含矿 [*]	LA U-Pb	39.4	39.4	陈喜连,2016	

而言,含矿岩体及铜矿体受褶皱和多组断裂控制,多产于背斜轴迹与断裂交汇处。与铜矿化有关的斑岩体,则多以黑云母花岗斑岩、二长花岗斑岩或正长斑岩为主,均属于高钾碱性岩系列,且含矿斑岩侵位时限主要集中在 37~42 Ma。除玉龙铜矿和包买铜矿外,成矿带内均主要为细脉浸染状斑岩型矿化,发育钾硅酸盐化、石英—绢云母化、青磐岩化和泥化等典型斑岩型蚀变。而玉龙铜矿还可见大规模的矽卡岩型铜矿体,这主要与矿区存在碳酸盐岩地层有关。包买矿区外围也发育少量的矽卡岩型矿化体,有望成为下一步找矿的方向。矿化特征方面,玉龙铜矿带南北两侧均主要以铜矿化为主,但成矿带北段还含有丰富钼矿化和少量的金矿化。就矿化规模而言,成矿带中北段矿化规模较大,以玉龙、马拉松多、多霞松多等矿床为代表,多为中型一大型矿床,甚至超大型矿床(如玉龙),而南段色礼、总郭等矿床,目前仍属于小矿化点,还需进一步加强勘查找矿工作。总之,就各矿床目前的基础地质特征而言,玉龙成矿带南、北两段矿床基本属于受控于同一构造背景,与同一时间段,同一类型岩浆活动有关的铜多金属成矿作用,除北段矿化比南段矿化强之外,二者在矿床成因上无明显差异。

前人曾根据上述数据,绘制玉龙铜矿带斑岩年龄直方图(图 7),并总结认为玉龙铜矿带存在 3 期大规模岩浆活动,峰值分别为 52 Ma、41 Ma、33 Ma(马鸿文等 1989b; Hou *et al.*, 2003c)。仔细考虑

上述方法和结论,存在两个重要问题:(1)同一矿床不同方法获得斑岩体年龄值差距大。以玉龙矿床为例,早期针对二长花岗斑岩测年主要利用黑云母、钾长石的 K-Ar 法和 Rb-Sr 法,获得最低 37.9 Ma(刘荣漠等,1981),最高 55.0 Ma(马鸿文,1989b),即使同一类样品,同一测试单位也出现近 15 Ma 的差距,所以,“差距大”的特征可能暗示当时条件下测试方法或测试精度存在问题,其获得的部分年龄值并不十分可靠。同时,K-Ar、Rb-Sr 测年方法,对样品要求较高,其同位素体系封闭温度较低(300~500 °C, Chiaradia *et al.*, 2013),容易受后期热液活动干扰。尤其是与全岩 K-Ar 测年与 K-Ar、Rb-Sr 法相比,锆石 U-Pb 法无论是封闭温度还是精准度都要高很多,以玉龙矿区为例,无论 LA-ICP-MS 还是 SHRIMP,其含矿斑岩体侵位结晶时代都集中分布在 40.1~43.6 Ma,在误差范围,年龄值基本一致(Liang *et al.*, 2006; 王成辉等,2009),说明就目前而言锆石 U-Pb 法获得的年龄值较为可信。所以,玉龙矿区乃至整个玉龙铜矿带,可能均不存在 52~55 Ma(或者 32 Ma 左右)与成矿有关的斑岩体,至少目前尚无有精准的年代学数据报道;(2)统计直方图,不适宜用作年代学峰值讨论。前人所确定 3 期峰值,是将所有的年代学数据放在一起作直方图,从而人为划分 3 个峰值。这样的直方图中不同矿区测试样品数目不一样,如玉龙矿区测试样品多($n=24$),数据多,容易形成峰值,而马牧普等矿区测试样品少

($n=2$), 数据少, 即使年代值准确, 也不易形成峰值(马鸿文, 1989b; Hou *et al.*, 2003c). 所以, 将所有数据综合起立做直方图, 再据此来判定岩浆活动峰值, 存在不妥。

本次工作首先对已有年代学数据进行适当处理, 同一矿区同一类样品, 尽量采用最新的锆石 U-Pb 年代学数据, 弃用 20 世纪 80 年代 K-Ar 或 Rb-Sr 法数据。然后针对整个玉龙成矿带, 不再采用汇总所有矿区数据再综合作直方图的形式来确定年龄峰值, 而是不同矿区利用可信数据, 单独计算平均值, 再综合对比, 其中日胆果和恒星错矿区, 由于目前尚未见 U-Pb 年代学值, 故将原有的年龄值作为参考。所以, 最终获得各矿区的斑岩体侵位时代分别为: 日胆果 (41.5 Ma)、包买 (41.1 Ma)、恒星错 (41.3 Ma)、玉龙 (42.1 Ma)、扎那尕 (38.5 Ma)、多霞松多 (37.5 Ma)、马拉松多 (36.9 Ma)、色礼 (39.4 Ma)、马牧普 (38.5 Ma)、总郭 (39.4 Ma)(图 8)。各矿区的年代学数据均主要集中为 37~42 Ma, 并不存在 3 个明显的时间峰值, 也并未见明显的降低(陈喜连等, 2016), 说明整个玉龙成矿带与斑岩铜钼成矿作用有关的岩浆可能受控于一期主要的岩浆活动(40 Ma 左右)(图 8)。

此外, 对于玉龙成矿带是否存在从北西向南东含矿岩浆侵位时代逐渐下降的趋势? 就上述各矿区最终确定的年龄值来看, 该现象似乎并不明显。从日胆果到玉龙, 斑岩体侵位时间缓慢增大(由 41.5 Ma

至 42.1 Ma); 玉龙到马拉松多, 斑岩体侵位时代又明显降低(由 42.1 Ma 至 36.9 Ma); 马拉松多到总郭, 斑岩体侵位时代又明显增大(由 36.9 Ma 至 39.4 Ma), 并没有呈现所谓的逐渐降低变新的趋势。同时, 辉钼矿的 Re-Os 测年是现在测定硫化物形成时代最有效最可靠的方法之一(杜安道等, 1994; 李晶等, 2010; 李超等, 2012), 已有数据表明, 包买矿区辉钼矿成矿时代为 42.7 ± 0.3 Ma(Lin *et al.*, under review), 玉龙为 $(40.1 \pm 1.8) \sim (41.6 \pm 1.4)$ Ma(曾普胜等, 2006; 唐菊兴等, 2009), 马拉松多为 35.8 Ma(唐仁鲤等, 1995), 上述数据与各矿区含矿斑岩侵位时代基本一致, 除马拉松多矿区外, 各矿区辉钼矿成矿时代基本集中在 40 Ma 左右。而马拉松多矿区辉钼矿 Re-Os 年代学值的突然降低, 可能与其成矿斑岩侵位时代相对较晚有关。至于玉龙成矿带南段, 是否也存在辉钼矿成矿时代逐渐降低趋势, 目前未见准确数据报道, 所以尚不十分清楚。然而对于玉龙成矿带北段, 杨志明等(2008)、王召林等(2008)根据区域构造背景、基础地质特征等证据, 揭示青海纳日贡玛斑岩铜钼矿是玉龙铜矿带北延的产物(宋忠宝等, 2011; 栗亚芝等, 2012)。而纳日贡玛的含矿斑岩 U-Pb 年代学和辉钼矿 Re-Os 年代学数据分别为 41.0~43.4 Ma 和 40.9 ± 0.9 Ma(王召林等, 2008; 杨志明等, 2008; 郝金华等, 2010; 郝金华等, 2012; 宋忠宝等, 2012), 这与玉龙铜矿带北中段的包买、玉龙等矿床相比, 也并没有进一步变老的趋势。所以, 玉龙

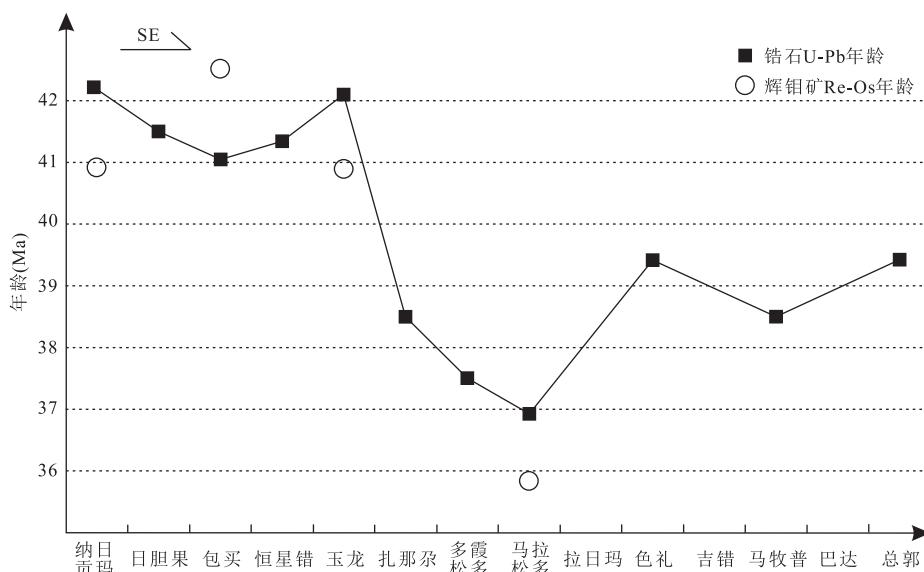


图 8 西藏玉龙铜矿带成岩成矿时代分布

Fig.8 Distribution diagram of isotopic ages in the Yulong porphyry copper belt, Tibet
数据来源见表 3

成矿带成岩成矿时代由北西向南东逐渐降低变新的趋势并不明显。

综上所述,现有玉龙铜矿带含矿斑岩年代学证据表明,含矿斑岩侵位时间集中在37~42 Ma,可能不存在前人所指出的3期岩浆活动。同时,成矿带从北西到南东,各Cu(Mo)矿床成岩成矿时代逐渐降低变新的趋势并不明显,可能为同一期含矿岩浆活动的产物(40 Ma左右),所以,后续解析玉龙成矿带成矿作用的关键,是这一期40 Ma左右的岩浆活动机制。

5 结论

(1)西藏包买铜钼矿床,具有典型的斑岩型矿床矿化、蚀变特征。矿化以黄铜矿、辉钼矿为主,呈细脉浸染状产出,同时发育粘土化、绢云母化和弱角岩化、硅化蚀变。

(2)锆石U-Pb年代学揭示,矿区含矿黑云母花岗岩和黑云母二长花岗岩侵位时代分别为41.3±0.2 Ma和40.8±0.2 Ma,是始新世印度大陆与欧亚大陆碰撞造山的产物。

(3)综合分析区域成矿规律认为,玉龙成矿带与成矿有关的斑岩体侵位时代主要为37~42 Ma,可能并不存在明显的早(51 Ma)、中(41 Ma)、晚(33 Ma)3期。区域成岩成矿年代学及岩石学研究表明,40 Ma左右的含矿岩浆形成机制,可能是解析玉龙铜矿带成因的关键。

致谢:野外工作中得到西藏大川矿业股份有限公司和西藏地热队的帮助和支持。感谢中国地质科学院矿产资源研究所王倩老师对锆石U-Pb测年及微量元素分析的帮助。感谢匿名审稿专家对本文提出的宝贵审改意见。

References

- Chen, J.P., Gu, X.X., Tang, J.X., 2000. Synthetical Research on Targets of Cu-Mo-(Au) Deposit in the Northern Sector of Yulong Metallogenic Zone, Xizang(Tibet). *Geological Review*, 46(Z1): 64—70 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J.P., Tang, J.X., Cong, Y., et al., 2009. Geological Characteristics and Metallogenic Model in the Yulong Porphyry Copper Deposit, East Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 83(12): 1887—1900 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W.M., Sheng, J.F., Qian, H.D., 2006. Degrees of Ordering and Origin of K-Feldspar Phenocrysts in a Mineralized Porphyry of the Yulong Porphyry Copper Deposit, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 1017—1022 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X. L., Huang, W. T., Zou, Y. Q., et al., 2016. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of Ore-Bearing Porphyries in the Southern Yulong Porphyry Copper Belt, and Factors Resulting in the Differences in Scale of Mineralization between the Southern and Northern Yulong Porphyry Copper Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2522—2534 (in Chinese with English abstract).
- Chiaradia, M., Schaltegger, U., Spikings, R., et al., 2013. How Accurately can We Date the Duration of Magmatic-Hydrothermal Events in Porphyry Systems? —An Invited Paper. *Economic Geology*, 108(4): 565—584. doi: 10.2113/econgeo.108.4.565
- Deckart, K., Silva, W., Spröhnle, C., et al., 2014. Timing and Duration of Hydrothermal Activity at the Los Bronces Porphyry Cluster: An Update. *Mineralium Deposita*, 49(5): 535—546. doi: 10.1007/s00126-014-0512-9
- Ding, S., Tang, J.X., Zheng, W.B., et al., 2017. Geochronology and Geochemistry of Naruo Porphyry Cu (Au) Deposit in Duolong Ore-Concentrated Area, Tibet, and Their Geological Significance. *Earth Sciences*, 42(1): 1—23. doi: 10.3799/dqkx.2017.001
- Du, A.D., He, H.L., Yin, N.W., et al., 1994. A Study on the Rhodium-Osmium Geochro-Nometry of Molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339—347 (in Chinese with English abstract).
- Guo, L.G., Liu, Y.P., Xu, W., et al., 2006. Constraints to the Mineralization Age of the Yulong Porphyry Copper Deposit from SHRIMP U-Pb Zircon Data in Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 1009—1016 (in Chinese with English abstract).
- Hao, J.H., Chen, J.P., Tian, Y.G., et al., 2010. Mineralogical Features of Porphyries in the Narigongma Mo(-Cu) Deposit, Southern Qinghai and Their Implications for Petrogenesis and Mineralization. *Geology and Prospecting*, 46(3): 367—376 (in Chinese with English abstract).
- Hao, J. H., Chen, J. P., Dong, Q. J., et al., 2012. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating for Narigongma Porphyry Molybdenitecopper Deposit in Southern Qinghai Province and Its Geological Implication. *Geoscience*, 26(1): 45—53 (in Chinese with English abstract).
- He, G.C., Wang, G.Q., Huang, W.T., et al., 2014. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Age of the Zalaga Porphyry Associated with Cu-Mo Mineralization in the Yulong Ore Belt and Its Geological Implication. *Geochimica*, 43(4): 399—407 (in Chinese with English abstract).

- Hoskin, P. W. O., Ireland, T. R., 2000. Rare Earth Element Chemistry of Zircon and Its Use as a Provenance Indicator. *Geology*, 28(7): 627–630. doi: 10.1130/0091-7613(2000)028<0627:recoz>2.3.co;2
- Hou, K.J., Li, Y.H., Tian, Y.R., 2009. In Situ U-Pb Zircon Dating Using Laser Ablation-Multi Ion Counting-ICP-MS. *Mineral Deposit*, 28(4): 481–492 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z.Q., 2004. Porphyry Cu-Mo-Au Deposits: Some New Insights and Advances. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 131–144 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z.Q., Lü, Q.T., Wang, A.J., et al., 2003a. Continental Collision and Related Metallogeny: A Case Study of Mineralization in Tibetan Orogen. *Mineral Deposits*, 22(4): 319–333 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z.Q., Mo, X.X., Gao, Y.F., et al., 2003b. Adakite, a Possible Host Rock for Porphyry Copper Deposits: Case Studies of Porphyry Copper Belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile. *Mineral Deposits*, 22(1): 1–12 (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. *Economic Geology*, 98(1): 125–145. doi: 10.2113/98.1.125
- Hou, Z.Q., Pan, G.T., Wang, A.J., et al., 2006. Metallogenesis in Tibetan Collisional Orogenic Belt: II. Mineralization in Late-Collisional Transformation Setting. *Mineral Deposits*, 25(5): 521–543 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z.Q., Xie, Y.L., Xu, W.Y., et al., 2007. Yulong Deposit, Eastern Tibet: A High-Sulfidation Cu-Au Porphyry Copper Deposit in the Eastern Indo-Asian Collision Zone. *International Geology Review*, 49(3): 235–258. doi: 10.2747/0020-6814.49.3.235
- Hou, Z.Q., Zhang, H.R., 2015. Geodynamics and Metallogeny of the Eastern Tethyan Metallogenic Domain. *Ore Geology Reviews*, 70: 346–384. doi: 10.1016/j.oregeorev.2014.10.026
- Huang, P., Gu, X.X., Tang, J.X., et al., 2002. Sources of Ore-Forming Materials of the Yulong Porphyry Copper (Molybdenum) Deposit, Tibet. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 429–435 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y.H., Jiang, S.Y., Dai, B.Z., et al., 2006a. Comparison on Elemental and Isotopic Geochemistry of Ore-Bearing and Barren Porphyries from the Yulong Porphyry Cu Deposit, East Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2561–2566 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y.H., Jiang, S.Y., Ling, H.F., et al., 2006b. Petrogenesis of Cu-Bearing Porphyry Associated with Continent-Continent Collisional Setting: Evidence from the Yulong Porphyry Cu Ore-Belt, East Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 697–706 (in Chinese with English abstract).
- Leng, Q.F., Tang, J.X., Zheng, W.B., et al., 2016. Geochronology, Geochemistry and Zircon Hf Isotopic Compositions of the Ore-Bearing Porphyry in the Lakang'e Porphyry Cu-Mo Deposit, Tibet. *Earth Science*, 41(6): 999–1015. doi: 10.3799/dqkx.2016.083.
- Li, C., Qu, W.J., Du, A.D., et al., 2012. Study on Re-Os Isotope in Molybdenite Containing Common Os. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 702–708 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., Sun, Y.L., He, K., et al., 2010. The Improved Molybdenite Re-Os Dating Method and Its Application. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 642–648 (in Chinese with English abstract).
- Li, W., 2014. The Geochemical Characteristics, Rock-Forming Mechanism and Metallogenic Potential of Xiariduo Rockbody in Eastern Tibet, China (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Li, Y.Z., Song, Z.B., Du, Y.L., et al., 2012. Metallogenic Characteristics Comparative Study of Narigongma Porphyry Copper-Molybdenum Deposit and Yulong Porphyry Copper Deposit. *Northwestern Geology*, 45(1): 149–158 (in Chinese with English abstract).
- Liang, H.Y., Campbell, I.H., Allen, C., et al., 2006. Zircon Ce⁴⁺/Ce³⁺ Ratios and Ages for Yulong Ore-Bearing Porphyries in Eastern Tibet. *Mineralium Deposita*, 41(2): 152–159. doi: 10.1007/s00126-005-0047-1
- Liang, H.Y., Mo, J.H., Sun, W.D., et al., 2008. Study on the Duration of the Ore-Forming System of the Yulong Giant Porphyry Copper Deposit in Eastern Tibet, China. *Acta Petrologica Sinica*, 24(10): 2352–2358 (in Chinese with English abstract).
- Liang, H.Y., Mo, J.H., Sun, W.D., et al., 2009. Study on Geochemical Composition and Isotope Ages of the Malasongduo Porphyry Associated with Cu-Mo Mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 385–392 (in Chinese with English abstract).
- Liu, R.M., Zhao, D.H., 1981. A Discussion on the Isotopic Ages of the Intrusive Rocks in Eastern Xizang (Tibet), China. *Geological Review*, 27(4): 362–332 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y.S., Hu, Z.C., Zong, K.Q., et al., 2010. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546. doi: 10.1007/s11434-010-3052-4

- Lin, B., Wang, L.Q., Tang, J.X., 2017. Geology, Geochronology, Geochemical Characteristics and Origin of Baomai Porphyry Cu (Mo) Deposit, Yulong Belt, Tibet. *Ore Geology Reviews* (Under Review).
- Ma, H.W., 1983. On the Petrology of the Porphyry of Malsongduo, Eastern Xizang, China, with Special Reference to the Relationship between Magmatism and Mineralization. *Earth Sciences*, 19(1): 147—159 (in Chinese with English abstract).
- Ma, H.W., 1988. On the Source of Rock-And Ore-Forming Material in Yulong Porphyry Copper Belt Eastern Tibet. *Geoscience*, 2(4): 429—439 (in Chinese with English abstract).
- Ma, H.W., 1989a. On the Tectonic Environment of Magmatism in Yulong Porphyry Copper Belt, Eastern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 5(1): 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Ma, H.W., 1989b. Emplacement Age of Granitic Magma in the Yulong Porphyry Copper Belt, Eastern Tibet. *Geochimica*, 18(3): 210—216 (in Chinese with English abstract).
- Ma, H.W., 1990. Granitoid and Mineralization of the Yulong Porphyry Copper Belt in Eastern Tibet. Beijing: Press of China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese).
- Qin, J.H., Ding, J., Liu, C.Z., et al., 2010. Relationship between Porphyry Deposits and Strike Slip Faults and Its Implications to Exploration in Southwestern China. *Geology and Prospecting*, 46(6): 1028—1035 (in Chinese with English abstract).
- Richards, J.P., 2009. Postsubduction Porphyry Cu-Au and Epithermal Au Deposits: Products of Remelting of Subduction-Modified Lithosphere. *Geology*, 37(3): 247—250. doi:10.1130/g25451a.1
- Rui, Z.Y., Huang, C.K., Qi, G.M., et al., 1984. The Porphyry Cu (Mo) Deposits in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Rui, Z.Y., Zhang, H.T., Chen, R.Y., et al., 2006. An Approach to Some Problems of Porphyry Copper Deposits. *Mineral Deposits*, 25(4): 491—500 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1): 3—41. doi:10.2113/gsecongeo.105.1.3
- Song, B., Zhang, Y.H., Wan, Y.S., et al., 2002. Mount Making and Procedure of the Shrimp Dating. *Geological Review*, 48(S1): 26—30 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z.B., Jia, Q.Z., Chen, X.Y., et al., 2011. The Petrogenic Age of Narigongma Granitic Diorite-Porphyry in the Northern Part of the Sanjiang Region and Its Geological Implications. *Acta Geoscientia Sinica*, 32(2): 154—162 (in Chinese with English abstract).
- Tang, J.X., Wang, C.H., Qu, W.J., et al., 2009. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Yulong Porphyry Copper-Molybdenum Deposit in Tibet and Its Metallogenetic Significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 215—218 (in Chinese with English abstract).
- Tang, J.X., Zhang, L., Li, Z.J., et al., 2006. Porphyry Copper Deposit Controlled by Structural Nose Trap: Yulong Porphyry Copper Deposit in Eastern Tibet. *Mineral Deposits*, 25(6): 652—662 (in Chinese with English abstract).
- Tang, R.L., Luo, H.S., 1995. The Geology of Yulong Porphyry Copper (Molybdenum) Ore Belt, Xizang (Tibet). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, C.H., Tang, J.X., Chen, J.P., et al., 2009. Chronological Research of Yulong Copper-Molybdenum Porphyry Deposit. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1445—1455 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z.L., Yang, Z.M., Yang, Z.S., et al., 2008. Narigongma Porphyry Molybdenite Copper Deposit, Northern Extension of Yulong Copper Belt: Evidence from the Age of Re-Os Isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 503—510 (in Chinese with English abstract).
- Wu, J., Liang, H.Y., Mo, J.H., et al., 2011. Petrochemistry and Zircon LA-ICP-MS U-Pb Age of the Mangzong Porphyry Associated with Cu-Mo Mineralization in the Yulong Ore Belt. *Geotectonica et Metallogenesis*, 35(2): 300—306 (in Chinese with English abstract).
- Wu, W.Z., Xia, B., Zhang, Y.Q., et al., 2013. Geochemical Characteristics and Metallogenetic Mechanism of the Porphyry Cu-Mo Deposits in the Yulong Ore Belt, Eastern Tibet: A Case Study of the Yulong and Duoxiasongduo Porphyries. *Geotectonica et Metallogenesis*, 37(3): 440—454 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y.L., Hou, Z.Q., Xu, J.H., et al., 2005. Evolution of Multi-Stage Ore-Forming Fluid and Mineralization: Evidence Form Fluid Inclusions in Yulong Porphyry Copper Deposit, East Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5): 1409—1415 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z.M., Hou, Z.Q., Yang, Z.S., et al., 2008. Genesis of Porphyries and Tectonic Controls on the Narigongma Porphyry Mo (-Cu) Deposit, Southern Qinghai. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 489—502 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P.S., Hou, Z.Q., Gao, Y.F., et al., 2006. The Himalayan Cu-Mo-Au Mineralization in the Eastern Indo-Asian Collision Zone: Constraints from Re-Os Dating of Molybdenite. *Geological Review*, 52(1): 72—84 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, Y.Q., Xie, Y.W., Liang, H.Y., et al., 1998a. Petrogenesis Series and the Ore-Bearing Porphyry of the Yulong Copper Ore Belt in Eastern Tibet. *Geochimica*, 27(3): 236—243(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Xie, Y.W., Qiu, H.N., et al., 1998b. Shoshonitic Series: Sr-Nd, and Pb Isotopic Compositions of Ore-Bearing Porphyry for Yulong Copper Ore Belt in the Eastern Xizang (Tibet). *Chinese Journal of Geology*, 33(3): 359—366(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Xie, Y.W., Qiu, H.N., et al., 1998c. Shoshonitic Series: Geochemical Characteristics of Elements for Ore-Bearing Porphyry from Yulong Copper Ore Belt in Eastern Tibet. *Earth Science*, 23(6): 557—561(in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y.Q., Xie, Y.W., Tu, G.Z., 1987. Preliminary Studies of the Alkali-Rich Intrusive Rocks in Their Ailaoshan-Jinshajiang Belt and Their Bearing on Rift Tectonics. *Acta Petrologica Sinica*, 3(1): 17—26.(in Chinese with English abstract).
- Zhou, Y.J., 1985. Alteration and Mineralization Zoning of Ore Deposits in the Yulong Porphyry Copper Belt. *Mineral Deposits*, 4(2): 23—30 (in Chinese with English abstract).
- 何国朝,王广强,黄文婷,等,2014.藏东玉龙斑岩铜矿带扎拉
杂含矿斑岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.地球化
学,43(4):399—407.
- 侯可军,李延河,田有荣,2009.LA-MC-ICP-MS 锆石微区原
位 U-Pb 定年技术.矿床地质,28(4):481—492.
- 侯增谦,2004.斑岩 Cu-Mo-Au 矿床:新认识与新进展.地学前
缘,11(1):131—144.
- 侯增谦,吕庆田,王安建,等,2003a.初论陆—陆碰撞与成矿
作用——以青藏高原造山带为例.矿床地质,22(4):
319—333.
- 侯增谦,潘桂棠,王安建,等,2006.青藏高原碰撞造山带:Ⅱ.
晚碰撞转换成矿作用.矿床地质,25(5):521—543.
- 侯增谦,莫宣学,高永丰,等,2003b.埃达克岩:斑岩铜矿的一
种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为
例.矿床地质,22(1):1—12.
- 黄朋,顾雪祥,唐菊兴,等,2002.西藏玉龙斑岩铜(钼)矿床物
质来源研究.大地构造与成矿学,26(4):429—435.
- 姜耀辉,蒋少涌,戴宝章,等,2006a.玉龙斑岩铜矿含矿与非
含矿斑岩元素和同位素地球化学对比研究.岩石学报,
22(10):2561—2566.
- 姜耀辉,蒋少涌,凌洪飞,等,2006b.陆—陆碰撞造山环境下
含铜斑岩岩石成因——以藏东玉龙斑岩铜矿带为例.
岩石学报,22(3):697—706.
- 冷秋锋,唐菊兴,郑文宝,等,2016.西藏拉抗俄斑岩 Cu-Mo
矿床含矿斑岩地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位
素组成.地球科学,41(6):999—1015.
- 李超,屈文俊,杜安道,等,2012.含有普通锇的辉钼矿 Re-Os
同位素定年研究.岩石学报,28(2):702—708.
- 李晶,孙亚莉,何克,等,2010.辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法
的改进与应用.岩石学报,26(2):642—648.
- 李伟,2014.藏东夏日多岩体岩石地球化学特征及其成岩机
制与成矿潜力(硕士学位论文):成都:成都理工大学.
- 栗亚芝,宋忠宝,杜玉良,等,2012.纳日贡玛斑岩型铜钼矿与
玉龙斑岩铜矿成矿特征对比研究.西北地质,45(1):
149—158.
- 梁华英,莫济海,孙卫东,等,2008.藏东玉龙超大型斑岩铜矿
床成岩成矿系统时间跨度分析.岩石学报,24(10):
2352—2358.
- 梁华英,莫济海,孙卫东,等,2009.玉龙铜矿带马拉松多斑岩
体岩石学及成岩成矿系统年代学分析.岩石学报,25
(2):385—392.
- 刘荣漠,赵定华,1981.西藏东部中酸性侵入岩同位素年龄讨
论.地质论评,27(4):362—332.
- 马鸿文,1983.藏东马拉松多铜矿区斑岩岩石学及其与成矿
关系的研究.地球科学,(1):147—158,191.
- 马鸿文,1988.论藏东玉龙斑岩铜矿带成岩成矿物质来源.现
代地质,2(4):429—439.
- 马鸿文,1989a.论藏东玉龙斑岩铜矿带岩浆活动的构造环境.

附中文参考文献

- 陈建平,顾雪祥,唐菊兴,2000.玉龙成矿带北段铜钼(金)矿
靶区优选综合研究.地质论评,46(Z1):64—70.
- 陈建平,唐菊兴,丛源,等,2009.藏东玉龙斑岩铜矿地质特征
及成矿模型.地质学报,83(12):1887—1900.
- 陈文明,盛继福,钱汉东,2006.西藏玉龙斑岩铜矿含矿斑岩
体钾长石斑晶的有序度及成因探讨.岩石学报,22(4):
1017—1022.
- 陈喜连,黄文婷,邹银桥,等,2016.玉龙斑岩铜矿带南段含矿
斑岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及南北段成矿规
模差异分析.岩石学报,32(8):2522—2534.
- 丁帅,唐菊兴,郑文宝,等,2017.西藏拿若斑岩型铜(金)矿含
矿岩体年代学、地球化学及地质意义.地球科学,42(1):
1—23.
- 杜安道,何红蓼,殷宁万,等,1994.辉钼矿的铼—锇同位素地
质年龄测定方法研究.地质学报,68(4):339—347.
- 郭利果,刘玉平,徐伟,等,2006.SHIRIMP 锆石年代学对西藏
玉龙斑岩铜矿成矿年龄的制约.岩石学报,22(4):
1009—1016.
- 郝金华,陈建平,董庆吉,等,2012.青海省纳日贡玛斑岩铜
矿床成矿花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及地质
意义.现代地质,26(1):45—53.
- 郝金华,陈建平,田永革,等,2010.青海纳日贡玛斑岩铜(铜)
矿含矿斑岩矿物学特征及成岩成矿意义.地质与勘探,
46(3):367—376.

- 岩石学报,5(1):1—11.
- 马鸿文,1989b.论藏东玉龙斑岩铜矿带岩浆侵入时代.地球化学,18(3):210—216.
- 马鸿文,1990.西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿.武汉:中国地质大学出版社.
- 秦建华,丁俊,刘才泽,等,2010.我国西南地区斑岩矿床与走滑断裂关系及其勘查意义.地质与勘探,46(6):1028—1035.
- 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,等,1984.中国斑岩铜(钼)矿床.北京:地质出版社.
- 芮宗瑶,张洪涛,陈仁义,等,2006.斑岩铜矿研究中若干问题探讨.矿床地质,25(4):491—500.
- 宋彪,张玉海,万渝生,等,2002.锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论.地质论评,48(S1):26—30.
- 宋忠宝,贾群子,陈向阳,等,2011.三江北段纳日贡玛花岗闪长斑岩成岩时代的确定及地质意义.地球学报,32(2):154—162.
- 唐菊兴,王成辉,屈文俊,等,2009.西藏玉龙斑岩铜钼矿辉钼矿铼—锇同位素定年及其成矿学意义.岩矿测试,28(3):215—218.
- 唐菊兴,张丽,李志军,等,2006.西藏玉龙铜矿床——鼻状构造圈闭控制的特大型矿床.矿床地质,25(6):652—662.
- 唐仁鲤,罗怀松,1995.西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质.北京:地质出版社.
- 王成辉,唐菊兴,陈建平,等,2009.西藏玉龙铜钼矿同位素年代学研究.地质学报,83(10):1445—1455.
- 王召林,杨志明,杨竹森,等,2008.纳日贡玛斑岩钼铜矿床:玉龙铜矿带的北延——来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据.岩石学报,24(3):503—510.
- 伍静,梁华英,莫济海,等,2011.玉龙斑岩铜矿带莽总含矿斑岩体岩石学特征及锆石 U-Pb 年龄研究.大地构造与成矿学,35(2):300—306.
- 吴伟中,夏斌,张玉泉,等,2013.西藏玉龙成矿带斑岩 Cu-Mo 矿床地质地球化学特征及成矿机制探讨——玉龙和多霞松多对比研究.大地构造与成矿学,37(3):440—454.
- 谢玉玲,侯增谦,徐九华,等,2005.藏东玉龙斑岩铜矿床多期流体演化与成矿的流体包裹体证据.岩石学报,21(5):1409—1415.
- 杨志明,侯增谦,杨竹森,等,2008.青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床:岩石成因及构造控制.岩石学报,24(3):489—502.
- 曾普胜,侯增谦,高永峰,等,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.地质论评,52(1):72—84.
- 张玉泉,谢应雯,梁华英,等,1998a.藏东玉龙铜矿带含矿斑岩及成岩系列.地球化学,27(3):236—243.
- 张玉泉,谢应雯,邱华宁,等,1998b.钾玄岩系列:藏东玉龙铜矿带含矿斑岩 Sr、Nd、Pb 同位素组成.地质科学,33(3):359—366.
- 张玉泉,谢应雯,邱华宁,等,1998c.钾玄岩系列:藏东玉龙铜矿带含矿斑岩元素地球化学特征.地球科学,23(6):557—561.
- 张玉泉,谢应雯,涂光炽,1987.哀牢山—金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究.岩石学报,3(1):17—26.
- 周宜吉,1985.试论玉龙斑岩铜矿带内矿床的蚀变和矿化分带.矿床地质,4(2):23—30.