

编号: 0258-7106(2011)02-0349-12

# 西藏邦铺钼(铜)矿床含矿二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义\*

王立强<sup>1</sup>, 唐菊兴<sup>1</sup>, 陈毓川<sup>1</sup>, 罗茂澄<sup>2</sup>, 冷秋锋<sup>3</sup>, 陈伟<sup>3</sup>, 王焕<sup>1</sup>

(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 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 3 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要** 邦铺斑岩型钼(铜)矿床位于甲玛铜多金属矿床北东约 30 km 处, 与钼(铜)成矿有关的岩体主要为二长花岗斑岩, 次为花岗闪长斑岩及闪长(玢)岩。通过对二长花岗斑岩体进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试, 获得了含矿母岩的年龄, 二长花岗斑岩的 26 颗锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $(16.23 \pm 0.19)$  Ma (MSWD = 2.0,  $n = 26$ ), 系冈底斯带中新世花岗质岩浆侵位的时间。前人所测的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为  $(15.32 \pm 0.79)$  Ma, 晚于所测的成岩年龄约 1 Ma。邦铺斑岩型钼(铜)矿床与甲玛、驱龙等斑岩-矽卡岩型矿床的成岩成矿时代具有统一性, 区域成矿规律的研究表明, 该矿床与甲玛、驱龙斑岩型矿床应具有一致的构造、岩浆地球化学动力学背景, 系印-亚大陆碰撞过程中伸展背景下的成矿大爆发的产物。

**关键词** 地球化学; LA-ICP-MS; 锆石 U-Pb 定年; 二长花岗斑岩; 邦铺; 冈底斯; 西藏

中图分类号: P618.65; P618.41

文献标志码: A

## LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of ore-bearing monzogranite porphyry in Bangpu molybdenum (copper) deposit, Tibet and its significance

WANG LiQiang<sup>1</sup>, TANG JuXing<sup>1</sup>, CHEN YuChuan<sup>1</sup>, LUO MaoCheng<sup>2</sup>, LENG QiuFeng<sup>3</sup>, CHEN Wei<sup>3</sup> and WANG Huan<sup>1</sup>

(1 MLR Key laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

### Abstract

The Bangpu porphyry Mo (Cu) deposit is located about 30 km northeast of the Jiama copper polymetallic deposit. The rocks related to molybdenum mineralization in this ore deposit are mainly monzogranite porphyry, with minor granodiorite porphyry and diorite (porphyrite). The age of the ore-forming rock was obtained through LA-ICP-MS precise determination of the zircon U-Pb age for the molybdenite-bearing monzogranite porphyry. 26 zircons from the monzogranite porphyry yielded the weighted average  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of  $(16.23 \pm 0.19)$  Ma (MSWD = 2.0,  $n = 26$ ), suggesting Miocene granitic magma emplacement in the Gangdese belt. The previous dating of the molybdenite from this ore deposit had yielded a Re-Os isochron age of  $(15.32 \pm 0.79)$

\* 本文为国家基础研究计划“973”项目(2011CB403103)、国土资源部公益性行业科研专项(200911007-02)和中国地质调查局青藏高原专项(1212010012005)共同资助的成果

第一作者简介 王立强,男,1984年生,在读博士生,矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事矿床学和矿床地球化学研究。Email: wlq060301@163.com

收稿日期 2010-12-21; 改回日期 2011-01-09。张绮玲编辑。

Ma, which is about 1 Ma later than the time of rock cooling. Thus the authors' work has improved the constraint of mineralization in time. Regional minerogenetic regularity shows that the Bangpu porphyry Mo (Cu) polymetallic deposit has an uniformity with the regional porphyry-skarn deposits (such as Jiama, Qulong and other ore deposit in this region) in the age of petrogenesis and mineralization, which shows that this ore deposit has the same tectonic and magmic geochemical dynamic background as other ore deposits in this region, and that this ore deposit was a product of mineralization explosion during the extension phase after India-Asia continental collision.

**Key words:** geochemistry, LA-ICP-MS, zircon U-Pb dating, monzogranite porphyry, Bangpu, Gangdese, Tibet

邦铺矿区位于西藏特提斯构造域冈底斯-念青唐古拉板片中南部,甲玛铜多金属矿床北东侧约 30 km 处。它是继沙让斑岩型钼矿床(秦克章等,2008;唐菊兴等,2009a;高一鸣等,2010a)之后,在冈底斯成矿带发现的又一个达到详查程度的超大型斑岩钼(铜)矿床。西藏邦铺斑岩型钼(铜)矿床最早是作为铅锌矿床受到关注并实施开采的,直至 2007 年才确定其为斑岩型钼(铜)矿床工业类型<sup>①</sup>,致使该矿床重新得到审视,从此拉开了邦铺矿区钼铜矿勘查的序幕。

尽管邦铺矿床现已达到详查程度,但对该矿床的研究程度仍然较低。前人给出了辉钼矿 Re-Os 同位素年龄( $15.32 \pm 0.79$ )Ma(等时线年龄),代表了成矿年龄(孟祥金等,2003),但鉴于当时的工作程度极低,矿业公司和研究者关注的是邦铺含矿斑岩与围岩接触带的矽卡岩型铅锌矿的开发和研究,对于斑岩型钼矿的矿床类型和矿床规模尚未得到充分的研究。另外,周雄等(2010)通过 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年给出了二长花岗斑岩的侵位年龄为( $13.9 \pm 0.3$ )Ma,晚于矿床成矿年龄,成岩时代尚存在疑问。因此,本文选取邦铺斑岩钼(铜)矿的含矿二长花岗斑岩为研究对象,采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法对矿床的成矿母岩进行了年龄测定,这对于厘定矿床岩浆侵位时代、建立矿区岩浆演化序列、梳理区域成矿事件、总结区域成矿规律、建立矿床成矿系列等方面具有十分重要的意义。

## 1 矿床地质特征

邦铺矿区地层出露相对简单,除第四系(Q)外,主要出露古近系典中组( $E_1d$ )以及下二叠统洛巴堆组( $P_1l$ ) (图 1),典中组与洛巴堆组呈断层接触关系。

典中组地层分布面积广泛,出露于矿区北部、中部等大部分地区,岩性以凝灰岩为主,局部发育少量的凝灰质板岩、凝灰质角砾岩以及晶屑凝灰岩等,发育不同程度的青磐岩化。洛巴堆组地层仅见于矿区南部,近东西向展布,主要由底部的弱变质火山角砾岩,上部的杂砂岩夹灰岩和大理岩透镜体组成。矿区岩浆活动频繁,发育不同期次、多种类型的侵入体。主要包括:矿区西南部黑云二长花岗岩,矿区中部二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英二长斑岩等,矿区中东部闪长岩、闪长玢岩以及矿区北部呈岩脉、岩株、岩枝状侵位的辉绿岩、安山岩、辉长-辉绿岩(图 1)。其中,与钼矿成矿关系最为密切的岩体主要为二长花岗斑岩,其次为花岗闪长斑岩、石英二长斑岩等,在上述岩体中形成富钼矿体以及低品位铜矿体。闪长岩及闪长玢岩与富铜矿体的产出关系密切,形成富铜矿体及品位相对较低的钼矿体。矿区构造主要为性质不同的断层构造,走向近东西向,发育规模不等(图 1)。

矿床蚀变及分带特征与典型斑岩型矿床类似(Lowell et al., 1970; Gustafson et al., 1975)。钻孔编录资料表明,蚀变由岩体中心向上依次可划分为钾硅酸盐化带、黄铁绢云岩化带(局部泥化带)以及青磐岩化带,后期石英-绢云岩化及粘土化叠加于早期钾硅酸盐化带之上。钾化主要表现为弥散状钾长石化,脉状、弥散状、团斑状黑云母化及硬石膏化,硅化主要表现为基质的硅化、硅化石英脉的大量形成等。绢云岩化主要表现为长石分解形成高岭石、绢云母、绿泥石等蚀变矿物,叠加于钾硅酸盐化蚀变带之上。青磐岩化带主要发育于围岩典中组中,表现为广泛发育的绿帘石、绿泥石矿物组合及少量碳酸盐化,花岗斑岩中青磐岩化蚀变程度相对较弱,仅局部发育绿泥石化和绿帘石化。辉钼矿和黄铜矿产出

① 张学全. 2007. 西藏自治区墨竹工卡县邦铺钼(铜)多金属矿普查报告. 内部报告.

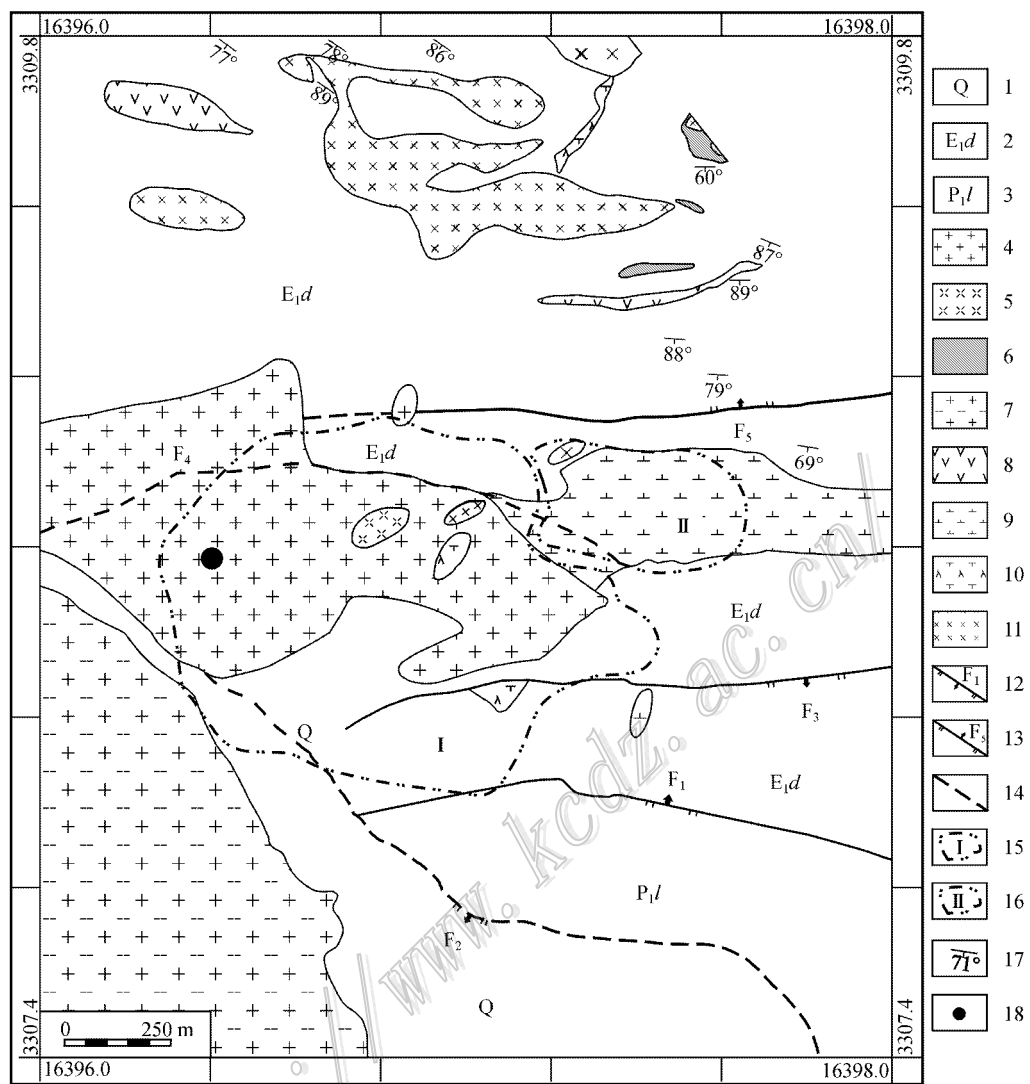


图 1 邦铺钼(铜)矿区地质简图(据<sup>①</sup>修改,坐标为公里网)

1—第四系;2—古近系典中组;3—下二叠统洛巴堆组;4—含钼(铜)二长花岗斑岩;5—石英二长斑岩;6—含铜花岗闪长斑岩;7—黑云母二长花岗岩;8—安山岩;9—闪长(玢)岩;10—石英闪长玢岩;11—辉绿岩-辉长辉绿岩;12—实测及推测正断层及编号;13—实测及推测逆断层及编号;14—不明性质断层;15—钼(铜)矿体边界及编号;16—铜(钼)矿体边界及编号;17—地层产状;18—采样位置(平硐 7001)

Fig. 1 Simplified geological map of the Bangpu molybdenum (copper) ore district (modified after<sup>①</sup>)

1—Quaternary; 2—Paleogene Dianzhong Formation; 3—Lower Permian Luobadui Formation; 4—Mo- and Cu-bearing monzogranite porphyry; 5—Beschtaitite; 6—Cu-bearing granodiorite-porphry; 7—Biotite adamellite; 8—Andesite; 9—Diorite porphyrite; 10—Quartz diorite porphyrite; 11—Diabase and gabbro-d diabase; 12—Measured and inferred normal faults and their serial number; 13—Measured and inferred reverse fault and its serial number; 14—Unknown fault; 15—Mo (Cu) mineralization boundary and its serial number; 16—Cu (Mo) mineralization boundary and its serial number; 17—Attitude of strata; 18—Sampling location (adit 7001)

与硅化关系最为密切,以石英辉钼矿(黄铜矿)脉及浸染状形式直接产出于斑岩体钾硅酸盐化蚀变带中。

矿床主要由斑岩型钼(铜)矿体、斑岩型铜(钼)

矿体及矽卡岩型铅锌矿体组成。斑岩型钼(铜)矿体主要赋存于矿区中部二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英二长斑岩中,少量产出于典中组围岩接触带中。

矿体形态与斑岩体形态基本一致,平面上呈椭圆形

① 西藏自治区地勘局地热地质大队. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县邦铺矿区钼(铜)多金属矿详查报告(1:1000). 内部报告.

或等轴状,剖面上呈长柱状体或筒状体。斑岩型铜(钼)矿体产出主要与矿区闪长玢岩发育空间一致,分布于矿区中东部,目前钻孔工程控制的矿(化)体范围如图1所示。矽卡岩型铅锌矿体产出于矿区南部下二叠统洛巴堆组矽卡岩中以及矽卡岩与大理岩的接触带内,矿体呈细脉状产出,规模不大,但品位较富(由于矿权问题,图中未标示出铅锌矿体具体产出位置)。

矿石矿物组成较为简单,主要有辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿,发育少量闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、孔雀石等;非金属矿物主要有石英、斜长石、钾长石、黑云母,次为角闪石、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石、萤石、硬石膏等。矿石构造主要有细脉状构造、浸染状构造,次为网脉状、团块状、角砾状、条带状构造等。矿石结构以他形晶结构、半自形-自形晶结构为主,次为交代结构、固溶体分离结构、填隙结构等。

## 2 样品采集

本次测试样品(PD7001YT-5)采自横穿邦铺钼矿体的平硐PD7001的含矿二长花岗斑岩,样品质量约4 kg,采样位置距此平硐开口处(坐标X=0396366; Y=3308582; H=4675)100 m,基本代表了岩体矿化的中心位置(图1)。岩石新鲜面呈灰白色,硅化较强,细粒辉钼矿伴随少量黄铁矿呈浸染状产出,岩石表面因氧化作用形成钼华和褐铁矿化而呈黄褐色(图2)。



图2 测试样品(PD7001YT-5)的宏观特征

Fig. 2 Macro features of the sample (PD7001YT-5) for test

## 3 实验方法和结果

### 3.1 实验技术方法

采集的样品经人工破碎,采用浮选和磁选方法分选出锆石,之后在双目镜下挑选出晶形、色泽较好,透明度较高的锆石颗粒作为测定对象。用双面胶将挑选出的锆石粘附,再用无色透明的环氧树脂充分固定,最后磨制抛光使锆石内部得以充分暴露(宋彪等,2002)。锆石样品经反射光和透射光照相后,用阴极发光(CL)进行图像分析,待测。阴极发光研究和LA-ICP-MS锆石U-Pb分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。分析采用的仪器为Agilent 7500a型ICP-MS,激光剥蚀系统为ComPex 102 Excimer激光器(工作物质ArF,波长193 nm)。激光束斑直径为30  $\mu\text{m}$ ,激光剥蚀样品的深度为20~40  $\mu\text{m}$ 。试验中采用He气作为剥蚀物质的载气,数据分析前用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST610进行仪器最佳化。ICP-MS数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每完成5个测试点的样品测定,加测标样91500和NIST610一次。锆石年龄计算采用国际标准锆石91500作为外标,元素含量采用NIST610作为外标, $^{29}\text{Si}$ 作为内标(第五春荣等,2008;何世平等,2008)。测试结果通过GLITTER(ver4.0)软件计算得出,并按照Andersen(2002)的方法,对数据进行了普通铅校正。校正后的结果应用Isoplot程序完成年龄计算及谐和图的绘制。

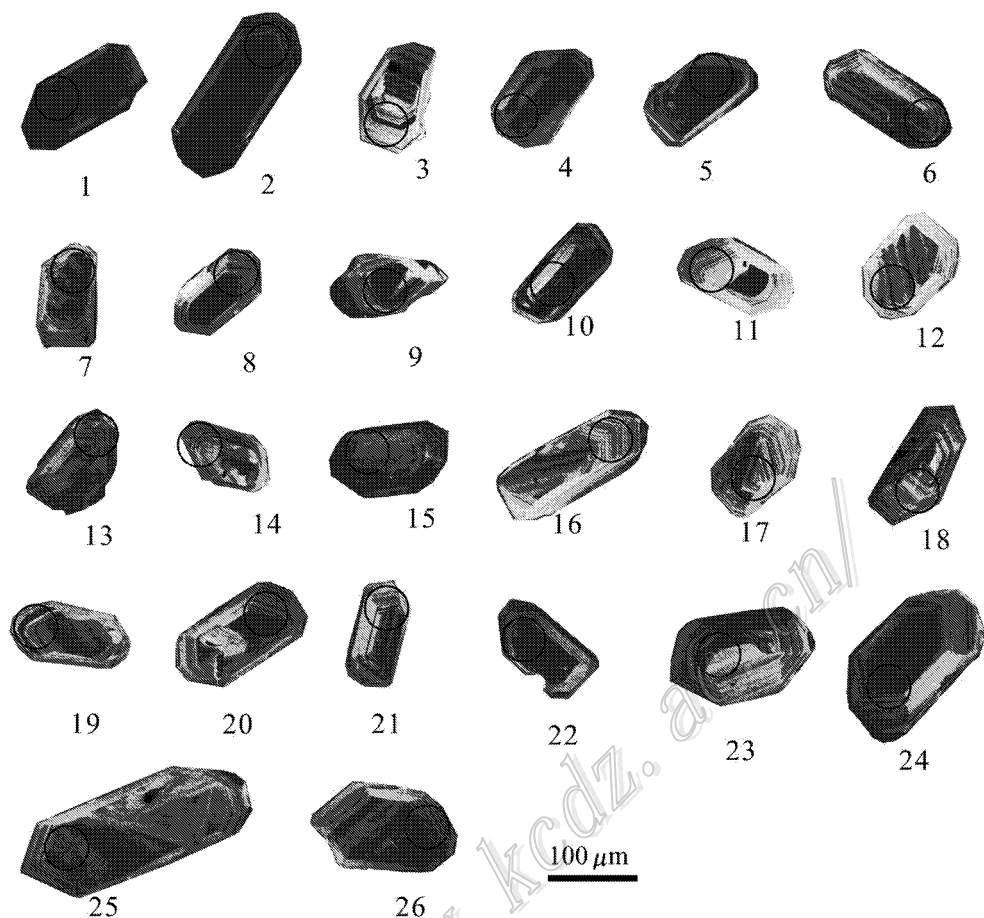


图3 邦铺矿床含矿二长花岗斑岩锆石样品阴极发光图像及测试点位

Fig. 3 Cathodoluminescence images and test points of zircons from ore-bearing monzogranite porphyry in the Bangpu ore deposit

### 3.2 锆石特征及分析结果

样品中锆石大小基本一致,锆石粒径为  $100\ \mu\text{m}$  左右,个别粒度较大,最大可达  $300\ \mu\text{m}$  左右。样品中锆石多呈长柱状或短柱状,个别呈板条状,晶体长宽比介于  $2:1\sim 3:1$  之间。锆石自形程度较好,发育较为完整的柱面和锥面,大部分锆石无色或浅灰白色,个别锆石颜色较深。阴极发光(CL)图像(图3)显示,几乎全部锆石均发育密集震荡环带,具有岩浆成因锆石的典型特征(吴元保等,2004)。

本次对样品 PD7001YT-5 中分选出的锆石共完成了 26 个点的测试,岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果见表 1。样品中  $w(\text{U})$  为  $(209.80\sim 528.82)\times 10^{-6}$ , 平均值为  $311.42\times 10^{-6}$ ;  $w(\text{Th})$  为  $(285.81\sim 999.46)\times 10^{-6}$ , 平均值为  $424.42\times 10^{-6}$ ; Th/U 比值变化于  $1.10\sim 1.89$  之间,远大于 0.4,属于岩浆成因锆石(吴元保等,2004)。

用 Isoplot 3.0 程序对锆石测年数据进行谐和曲

线的投影和  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄的计算。在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图上(图4),所有数据分析点均分布于谐和曲线上或在其附近一个较小的区域内,得到的锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $(16.23\pm 0.19)\text{Ma}$  (MSWD=2.0,  $n=26$ )。

## 4 讨论

### 4.1 区域构造岩浆演化与成岩时代

冈底斯成矿带位于雅鲁藏布江、班公湖-怒江两条缝合带之间,其形成和发展过程(尤其南冈底斯)记录了雅鲁藏布江特提斯洋壳(下文简称雅江洋)向北俯冲直至印度与亚洲大陆碰撞、碰撞后伸展过程的岩浆和构造演化事件(朱弟成等,2009;纪伟强等,2009;莫宣学等,2009;唐菊兴等,2009b)。雅江洋从晚三叠世开始发育(Pierce et al., 1988; Gaetani et al., 1991);早-中侏罗世开始向北俯冲,形成一套与活动

表1 邦辅矿床含矿二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试数据  
Table 1 LA-ICP-MS zircon dating result of the ore-bearing monzogranite porphyry in the Bangpu ore deposit

分析点号	$w(B)/10^{-6}$		同位素比值										年龄/Ma	
	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
20101118B01	354.66	285.82	1.240851	0.0456	0.00652	0.016	0.00224	0.00255	0.00005	0.1	290.78	16.1	2.24	0.32
20101118B02	311.35	276.83	1.124697	0.04852	0.00486	0.01706	0.00164	0.00255	0.00005	124.9	220.35	17.2	1.64	0.32
20101118B03	303.69	271.18	1.119883	0.12548	0.00781	0.04413	0.0024	0.00255	0.00006	2035.6	106.21	43.8	2.34	0.36
20101118B04	285.81	250.32	1.141779	0.10064	0.00683	0.03533	0.00217	0.00255	0.00005	1635.9	121.07	35.3	2.13	0.33
20101118B05	430.37	335.71	1.28197	0.04828	0.00413	0.01696	0.00138	0.00255	0.00005	113.2	190.14	17.1	1.37	0.29
20101118B06	400.91	325.04	1.233417	0.08183	0.00735	0.02892	0.00243	0.00256	0.00006	1241.4	166.52	28.9	2.4	0.37
20101118B07	461.46	410.96	1.122883	0.1292	0.0073	0.04561	0.00219	0.00256	0.00005	2087.1	96.15	45.3	2.13	0.32
20101118B08	549.23	369.62	1.485931	0.04589	0.00442	0.01498	0.00138	0.00237	0.00004	0.1	209.36	15.1	1.38	0.27
20101118B09	999.46	528.82	1.889981	0.05085	0.00416	0.01782	0.00136	0.00254	0.00005	233.8	178.45	17.9	1.36	0.3
20101118B10	692.01	450.27	1.536878	0.04775	0.00409	0.01541	0.00125	0.00234	0.00004	86.2	192.35	15.5	1.25	0.25
20101118B11	408.94	318.32	1.284682	0.10984	0.00631	0.03876	0.00192	0.00256	0.00005	1796.8	101.06	38.6	1.88	0.3
20101118B12	306.39	278.3	1.100934	0.04939	0.00643	0.01747	0.00221	0.00256	0.00006	166.3	278.65	17.6	2.2	0.38
20101118B13	337.34	276.37	1.22061	0.03727	0.00623	0.01318	0.00216	0.00256	0.00006	0.1	0	13.3	2.17	0.38
20101118B14	378.95	307.49	1.232398	0.04742	0.00569	0.01569	0.00182	0.0024	0.00005	69.8	263.49	15.8	1.82	0.3
20101118B15	296.09	247.9	1.194393	0.03666	0.01213	0.01288	0.00424	0.00255	0.00006	0.1	137.38	13	4.25	0.41
20101118B16	306.01	240.21	1.273927	0.04962	0.01092	0.01745	0.00378	0.00255	0.00008	177	445.7	17.6	3.77	0.54
20101118B17	288.4	209.8	1.374643	0.06646	0.00832	0.02329	0.00282	0.00254	0.00006	820.9	241.65	23.4	2.8	0.38
20101118B18	391.11	302.4	1.293353	0.04756	0.00601	0.01672	0.00205	0.00255	0.00005	76.9	276.15	16.8	2.05	0.34
20101118B19	657.79	402.24	1.635317	0.05166	0.00509	0.0182	0.00171	0.00256	0.00005	270.3	210.66	18.3	1.71	0.31
20101118B20	497.54	333.49	1.491919	0.03452	0.00749	0.01215	0.00261	0.00255	0.00005	0.1	0	12.3	2.62	0.33
20101118B21	459.34	281.61	1.631121	0.05344	0.0063	0.01877	0.00214	0.00255	0.00006	347.4	246.71	18.9	2.13	0.36
20101118B22	376.16	280.99	1.338695	0.05397	0.00574	0.01902	0.00195	0.00256	0.00005	369.7	223.82	19.1	1.94	0.33
20101118B23	395.69	283.2	1.39721	0.05905	0.00584	0.02076	0.00196	0.00255	0.00005	568.8	201.7	20.9	1.95	0.33
20101118B24	342.56	227.14	1.508145	0.04793	0.00634	0.01688	0.00218	0.00256	0.00005	94.7	287.32	17	2.17	0.34
20101118B25	307.89	229.34	1.342505	0.03564	0.00839	0.01252	0.00292	0.00255	0.00006	0.1	0	12.6	2.93	0.39
20101118B26	496.27	373.66	1.328133	0.03724	0.00471	0.01311	0.00162	0.00255	0.00005	0.1	0	13.2	1.62	0.33

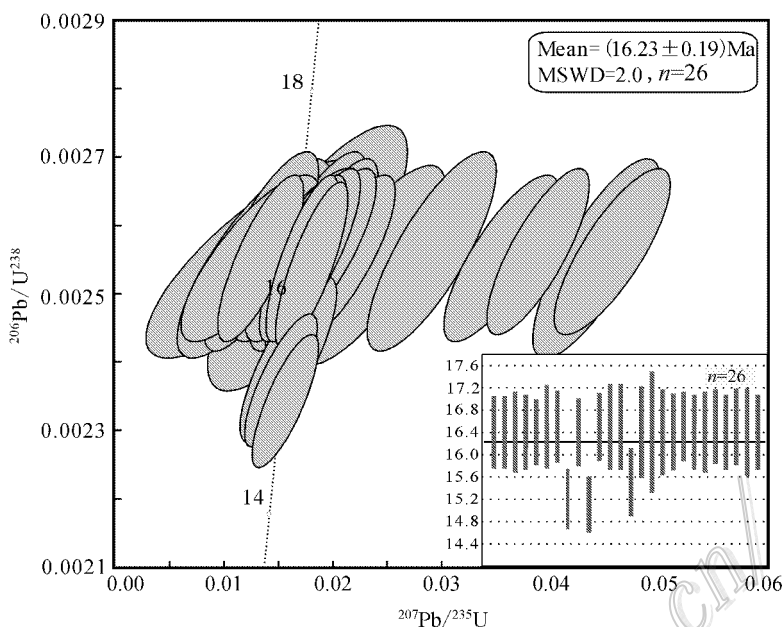


图4 邦铺含矿二长花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb Concordia diagram of Bangpu ore-bearing monzogranite porphyry

大陆边缘弧环境有关的,以叶巴组为代表的火山岩(潘桂棠等,2006;Zhu et al.,2008;曾忠诚等,2009)经历了晚侏罗世—早白垩世继续向北俯冲这一阶段,雅江洋于古近纪早中期开始关闭,随之进入印-亚大陆碰撞造山阶段;中新世随着雅江洋俯冲洋壳板片的断离(Miller et al.,1999;Maheo et al.,2002)冈底斯带发生东西向伸展,形成了数量众多的花岗质斑岩体(曲晓明等,2002),年龄集中于20~14 Ma之间(Hou et al.,2004)构成了一条平行于主碰撞带的近东西向展布的冈底斯花岗斑岩带(曲晓明等,2002)。

本文得到的邦铺含矿二长花岗斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为 $(16.23 \pm 0.19)$  Ma (MSWD=2.0,  $n=26$ ), 确定了邦铺钼(铜)矿床含矿斑岩体形成于中新世,与区域上邻近的甲玛铜多金属矿床赋矿花岗斑岩体成岩时代15.31~16.27 Ma(秦志鹏等,2011),驱龙斑岩型铜矿床含矿斑岩体成岩年龄16.35~17.58 Ma(芮宗瑶等,2003;Hou et al.,2004;王亮亮等,2006)乃至整个斑岩成矿带含矿斑岩体成岩年龄(集中于17~12 Ma,张刚阳等,2008;唐菊兴等,2009b)基本一致,这些斑岩均系印-亚大陆碰撞后伸展背景下形成的斑岩体。

#### 4.2 成矿时代

对应于区域上碰撞前俯冲阶段、主碰撞阶段及

碰撞后伸展阶段构造演化与岩浆事件,冈底斯带大规模的不同构造地质背景和时代的成矿事件无疑是一种响应。不久前,俯冲阶段成矿作用(180~65 Ma)在谢通门县雄村铜金矿床得到成岩、成矿年代学(唐菊兴等,2010a)和岩石地球化学(郎兴海等,2010)等方面的初步证实,并取得重大找矿突破。主碰撞阶段的成矿作用通过在亚贵拉-洞中拉矿集区发现亚贵拉铅锌钼多金属矿床(高一鸣等,2009),发现沙让斑岩型钼矿床(唐菊兴等,2009a;高一鸣等,2010a)以及吉如斑岩型铜矿(张刚阳等,2008)等先后被识别出来。对应于后碰撞伸展阶段的大规模成矿作用在冈底斯东段朱诺-冲江-厅宫-白容-驱龙-甲玛一带,得到了找矿成果的验证。邦铺斑岩型钼(铜)矿床含矿斑岩体成岩年龄为16.23 Ma,与孟祥金等(2003)得到的该矿床辉钼矿年龄15.32 Ma相差1 Ma,这2个年龄基本上较为精准地反映了该矿床的成岩、成矿年龄,表明辉钼矿的形成时间比成矿斑岩体冷却结晶时间晚1 Ma左右。其成矿事件与冈底斯成矿带东段中亚带(唐菊兴等,2009b)大规模集中的斑岩成矿事件极其一致,成岩时代的精确厘定从某种意义上表明,甲玛-驱龙矿集区中的矿床形成在相同的地球化学动力学背景下。

#### 4.3 成矿规律

冈底斯铜多金属成矿带东西向展布,近年来由

青藏高原地质大调查带动的商业性勘查成果表明冈底斯成矿带,尤其是冈底斯东段已成为中国重要的国家级资源接续基地(唐菊兴等,2010b)。按照地理位置、元素分带、矿化元素分带等特征,发现在冈底斯成矿带东段南亚带形成克鲁、劣布、努日-明则等大中型钼(铜)、铜金(钼)矿床(闫学义等,2010a;2010b);中亚带发育驱龙、甲玛、邦铺等大型、超大型斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床(唐菊兴等,2009b);北亚带即当雄-嘉黎-工布江达一带,是铅锌钼矿的集中区,包括拉屋铅锌铜矿床、蒙亚啊-亚贵拉矿集区,其中亚贵拉铅锌钼矿、洞中拉铅锌铜矿、沙让斑岩型钼

矿、龙马拉铅锌矿、蒙亚啊铅锌矿达到详查程度(图5)。部分矿床地质特征见表2。

程文斌等(2010)在冈底斯-念青唐古拉成矿带中进行的典型矿床Pb同位素研究表明,驱龙、冲江、南木等斑岩型矿床成矿物质来自于俯冲阶段楔形地幔部分熔融并与下地壳发生物质交换形成的新生下地壳,而甲玛铜多金属矿床成矿物质兼具新生下地壳物质与地幔物质的特点,包括沙让在内的亚贵拉-蒙亚啊矿集区的成矿物质来源于念青唐古拉群基底片麻岩。此外,冈底斯成矿带南亚带程巴、明则矿床成矿元素以钼为主,努日矿区以钨钼铜为主;中亚

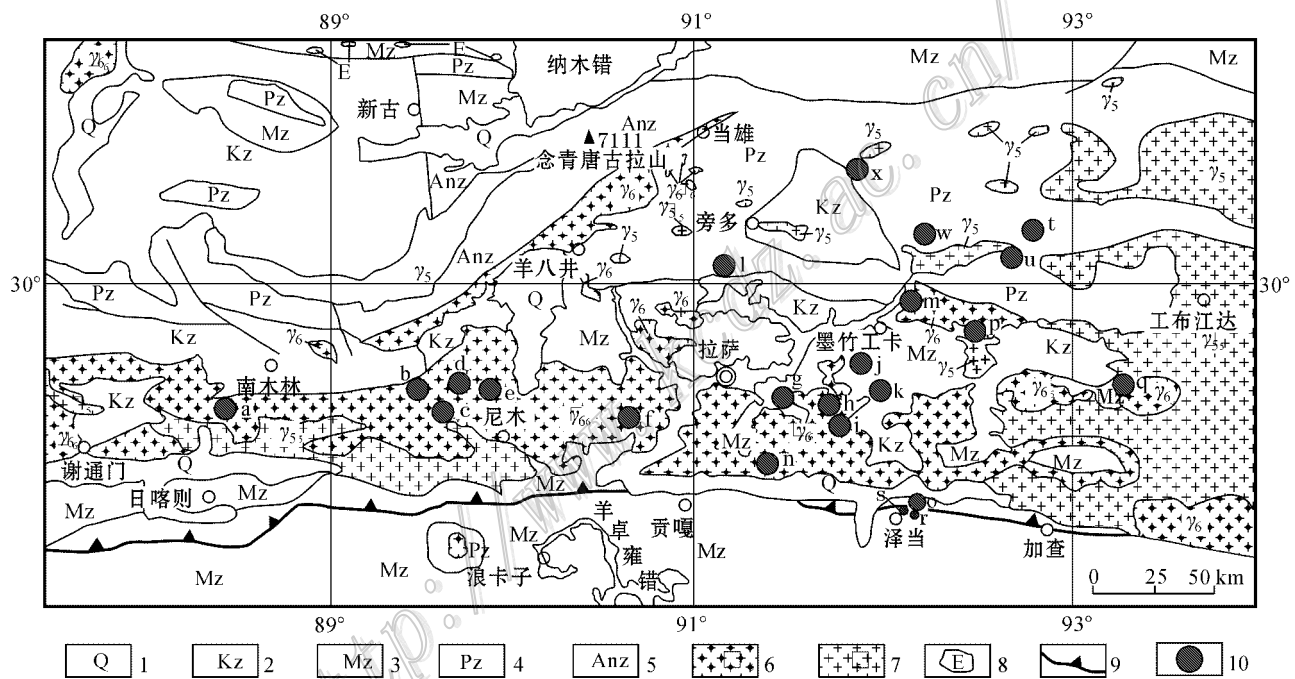


图5 西藏冈底斯成矿带东段部分金属矿床分布图(据李光明等,2005a和<sup>①</sup>修改)

1—第四系;2—新生界;3—中生界;4—古生界;5—前震旦系;6—喜马拉雅期花岗岩;7—燕山期花岗岩;8—超基性岩;9—结合带;10—矿床(点):a. 吉如铜矿;b. 白容铜矿;c. 总训铜矿;d. 冲江铜矿;e. 厅宫铜矿;f. 达布铜矿;g. 拉抗俄铜矿;h. 驱龙铜(钼)矿;i. 知不拉铜多金属矿;j. 甲玛铜多金属矿;k. 向背山铜矿;l. 勒青拉铅锌矿;m. 邦铺钼(铜)矿;n. 克鲁铜矿;o. 冲木达铜矿;p. 夏马日铜矿;q. 吹败子铜矿;r. 明则铜钼矿;s. 劣布铜钼矿;t. 亚贵拉铅锌多金属矿;u. 沙让钼矿;v. 蒙亚啊铅锌矿;x. 拉屋铅锌铜矿

Fig. 5 Distribution of some ore deposits in the east section of the Gangdise metallogenic belt, Tibet

1—Quaternary; 2—Cenozoic; 3—Mesozoic; 4—Paleozoic; 5—Pre-Sinian; 6—Himalayan granite; 7—Yanshanian granite; 8—Ultrabasic rocks; 9—Collision juncture zone; 10—Ore deposit (ore spot): a. Jiru copper deposit; b. Bairong copper deposit; c. Zongxun copper deposit; d. Chongjiang copper deposit; e. Tinggong copper deposit; f. Dabu copper deposit; g. Lakang'e copper deposit; h. Qulong copper(molybdenite) deposit; i. Zhibula copper polymetallic deposit; j. Jiama copper polymetallic deposit; k. Xiangbeishan copper deposit; l. Leqingla lead-zinc deposit; m. Bangpu molybdenite(copper) deposit; n. Kelu copper deposit; o. Chongmuda copper deposit; p. Xiamari copper deposit; q. Chuibaizi copper deposit; r. Mingze copper molybdenite scheelite deposit; s. Liebu copper molybdenite scheelite deposit; t. Yaguila lead-zinc polymetallic deposit; u. Sharang molybdenite deposit; v. Mengya'a Pb-Zn deposit; x. Lawu Pb-Zn-Cu deposit

① 张丽,等. 2008. 冈底斯东段谢通门-工布江达地区大中型矿床分布图. 内部资料.



表 2 冈底斯成矿带部分斑岩型矿床地质特征

Table 2 Geology of some porphyry ore deposits in the Gangdese metallogenic belt

矿床名称	矿床类型	含矿岩体	围岩	矿床规模	成矿元素	成岩时代/Ma	成矿时代/Ma
沙让	斑岩型钼	斜长花岗斑岩、角闪闪长岩	前奥陶系松多岩群;上石炭统一二叠统来姑组细碎屑岩夹碳酸盐岩;中二叠统洛巴堆组碳酸盐岩夹火山岩、凝灰质砂岩	大型	Mo 为主	5.3 ± 1( 锆石 U-Pb 法,秦克章等, 2008 ); 55.1 ± 0.79( Ar-Ar 法,高一鸣等 2010a)	5.1 ± 1( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 唐菊兴等 2009a)
亚贵拉	斑岩-矽卡岩型多金属	石英斑岩	上石炭统一二叠统来姑组砂板岩、碳酸盐岩	超大型	Pb, Zn, Mo 为主,伴生 Cu, Ag 等	6.6.50 ± 0.77( LA-ICP-MS 锆石 U-Pb, 高一鸣, 2010b)	6.5 ± 1.9( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄:(高一鸣, 2010b)
邦铺	斑岩-矽卡岩型钼(铜)	二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩	典中组凝灰岩;洛巴堆组弱变质火山角砾岩、砂岩、杂砂岩夹灰岩、大理岩	超大型	Mo, Cu 为主, 外围 Pb, Zn 等	1.6.23 ± 0.19( LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 本文)	1.5.32 ± 0.79( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄,孟祥金等, 2003)
驱龙	斑岩型铜(钼)	二长花岗斑岩、石英二长花岗斑岩	中侏罗统叶巴组酸性熔岩、火山碎屑岩夹灰岩;古近系林子宗组英安岩、安山玢岩、流纹玢岩等	超大型	Cu, Mo 为主	1.7.58 ± 0.74( SH-RIMP 锆石 U-Pb, 芮宗瑶等, 2003 ); 15.77( 钾长石 K-Ar, 李光明等 2004)	1.5.36 ~ 16.85( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄,王亮亮等, 2006; 郑有业等, 2004; 李光明等, 2003; 孟祥金, 2004)
甲玛	斑岩-矽卡岩-角岩型铜多金属	偏中性斑岩体	下白垩统林布宗组砂板岩、角岩;上侏罗统多底沟组灰岩大理岩	超大型	Cu 为主,伴生 Mo, Pb, Zn, Ag, Au 等	1.5.31 ~ 16.27( LA-ICP-MS 锆石 U-Pb, 秦志鹏等, 2011)	1.5.22 ± 0.79( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄,应立娟等, 2010)
努日-明则(程巴)	斑岩-矽卡岩型铜钼	钾长花岗(斑)岩、二长花岗斑岩	下白垩统比马组安山质火山岩夹碳酸盐岩及碎屑岩	大型	Cu, Mo, W, Au 为主,伴生 Ag 等		2.3.62 ± 0.97, 30.26 ± 0.69( 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄,闫学义等, 2010b)

带驱龙矿床以铜钼为主,甲玛为铜钼多金属矿,玛雄朗-哈海岗为钨钼多金属矿;北亚带蒙亚啊-洞中拉-亚贵拉-沙让以铅锌为主、次为钼。冈底斯成矿带东段矿床的成矿元素组合及分带自南而北的变化,亦反映出成矿物质由壳源→壳幔岩浆混合→壳源物质来源的演化过程,同时显示出在中新世碰撞后背景下,伸展作用在冈底斯成矿带中部的响应最为显著。

在矿床的组合规律上,邦铺矿区也存在斑岩铜钼矿传统上的矿体分带现象,即岩体中的斑岩型钼(铜)矿化,接触带的矽卡岩型铅锌矿化。矿区斑岩体南部外围(距斑岩体不足 1 km)的洛巴堆组灰岩、大理岩透镜体中发育强烈的矽卡岩化,形成品位极丰富的块状和稠密浸染状铅锌矿石。在同一矿集区的甲玛铜多金属矿、驱龙铜钼矿也是如出一辙,如现已证实甲玛铜多金属矿床角岩型矿体、矽卡岩型矿体、深部隐伏的斑岩钼(铜)矿体,三位一体,组合完美,各自形成独立的矿体。驱龙斑岩型铜多金属矿床也

显示同样的特点,斑岩铜钼矿外围 1~2 km 范围内知不拉矽卡岩型铜铅锌多金属矿体、绒木错拉矽卡岩型铜铅锌矿体亦属于与斑岩系统发育有关的岩浆接触交代成因矽卡岩型矿床(李光明等 2005b)。唐菊兴等(2010)已经初步总结了甲玛铜多金属矿床的成矿模型,确认了甲玛斑岩型-矽卡岩型-角岩型三位一体的矿床成因模式。驱龙斑岩-知不拉铜铅锌多金属矿床研究结果亦表明,铅锌成矿与斑岩体系岩浆热液活动密切相关。因此,按照斑岩-矽卡岩成矿系列理论指导思想,在冈底斯东段众多斑岩系统外围寻找与之有关的岩浆热液接触交代型矽卡岩矿床的问题值得思考。

## 5 结 论

(1) 西藏墨竹工卡县邦铺斑岩型钼(铜)矿床成矿母岩二长花岗斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为

( $16.23 \pm 0.19$ ) Ma, 岩体侵位冷却于中新世。这与前人给出的辉钼矿  $\text{Re-Os}$  同位素年龄测试结果一致。

(2) 厘定的矿床成岩成矿时限表明, 邦铺钼(铜)矿床与同一矿集区的甲玛、驱龙等斑岩-矽卡岩型矿床具相似的地质地球化学动力学背景, 系印-亚大陆碰撞后侧向伸展阶段形成的区域性花岗质岩浆侵入所致, 并构成驱龙-甲玛-邦铺矿集区的重要组成部分。

(3) 邦铺斑岩型钼(铜)矿体、铜(钼)矿体及接触带矽卡岩型铅锌矿体属于同一斑岩成矿体系的产物。

志谢 野外地质调查过程中得到西藏地热地质大队张学全高级工程师(邦铺详查项目总技术负责)、西藏天仁矿业公司邦铺矿区陈在元矿长及相关人员的大力支持。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试过程中得到西北大学柳小明老师、第五春荣老师等的热情指导和帮助。审稿过程中, 相关专家提出了宝贵的意见和建议, 在此一并致谢。

## References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [J]. *Chem. Geol.*, 192 : 59-79.

Cheng W B, Gu X X, Tang J X, Wang L Q, Lv P R, Zhong K H, Liu X J and Gao Y M. 2010. Lead isotope characteristics of ore sulfides from typical deposits in the Gangdese-Nyainqentanglha metallogenic belt: Implications for the zonation of ore-forming elements [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3350-3362 (in Chinese with English abstract).

Di Wu C R, Sun Y, Yuan H L, Wang H L, Zhong X P and Liu X M. 2008. U-Pb Zircon geochronology, Hf isotope composition and its geological significance of Detrital Quartzite from Songshan district of Dengfeng, Henan Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 53(16): 1923-1934 (in Chinese with English abstract).

Gaetani M and Garzanti E. 1991. Multicyclic history of the northern India continental margin (northwestern Himalaya) [J]. *Am. Assoc. Per. Geol. Bull.*, 75 : 1427-1446.

Gao Y M, Chen Y C, Tang J X, Du X, Li X F, GAO M and Cai Z C. 2009. SHRIMP U-Pb dating of zircon from Quartz porphyry in the Yaguila Pb-Zn-Mo deposit, geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1436-1444 (in Chinese with English abstract).

Gao Y M, Chen Y C and Tang J X. 2010a. SHRIMP zircon U-Pb and amphibole  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of amphibole diorite from Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo 'gyamda County, Tibet and its geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 29(2): 323-331 (in Chinese with English abstract).

Gao Y M. 2010. Regional metallogenic rule and geological characteristics of Yaguila-Sharang mineralization concentration area (dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor: Chen Y C and Tang J X. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 78-119 (in Chinese

with English abstract).

Gustafson L B and Hunt J P. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile [J]. *Econ. Geol.*, 70 : 857-912.

He S P, Wang H L, Chen J L, Xu X Y, Zhang H F, Ren G M and Yu J Y. 2008. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of Basic Dikes within Maxianshan rock group in the central Qilian mountains and its tectonic implication [J]. *Earth Science*, 33(1): 35-45 (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220 : 139-155.

Ji W Q, Wu F Y, Zhong S L and Liu C Z. 2009. Petrogenesis and ages of granites in the Gangdese batholith, South Tibet [J]. *Science in China (Series D)*, 39(7): 849-871 (in Chinese with English abstract).

Lang X H, Chen Y C, Tang J X, Li Z J, Huang Y, Wang C H, Chen Y and Zhang L. 2010. Characteristics of rock geochemistry of ore-body No. I in the Xiongen porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen County, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings [J]. *Geology and Exploration*, 46(5): 887-898 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Yang J R and Ding J. 2003. New advances in mineral exploration in Yarlung Zangbo metallogenic province, Tibet [J]. *Geological Bulletin of China*, 22(9): 699-703 (in Chinese with English abstract).

Li G M and Rui Z Y. 2004. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the Gangdese metallogenic belt, southern Tibet [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Liu B, Qu W J, Lin F C, She H Q and Feng C Y. 2005a. The porphyry-skarn ore-forming system in Gangdese metallogenic belt, southern Tibet: Evidence from molybdenite Re-Os age of porphyry-type copper deposits and skarn-type copper polymetallic deposits [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(4): 482-490 (in Chinese with English abstract).

Li G M, Rui Z Y, Wang G M, Lin F C, Liu B, She H Q, Feng C Y and Qu W J. 2005b. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 481-489 (in Chinese with English abstract).

Lowell J D and Guilbert J M. 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposit [J]. *Econ. Geol.*, 65 : 373-408.

Maheo G, Guiuot S, Blichert-Toft J M, Rollaud Y and Pecher A. 2002. A slab breakoff model for the Neogene thermal evolution of south Karakorum and south Tibet [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 195 : 45-58.

Meng X J, Hou Z Q, Gao Y F, Huang W, Qu X M and Qu W J. 2003. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in east Gangdese Belt, Tibet: Evidence from Re-Os age of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit [J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 246-252 (in Chinese with English abstract).

Meng X J. 2004. The metallogeny of the Miocene Gangdese porphyry copper belt in Tibetan collisional orogen (dissertation for Doctor de-

- gree [J]. Supervisor: Hou Z Q. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 81-86 (in Chinese with English abstract).
- Miller C, Schuater R, Klotzli U, Frank N and Purtacher F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis [J]. *Journal of Petrology*, 40(9): 1399-1424.
- Mo X X, Zhao Z D, Zhu D C, Yu X H, Dong G C and Zhou S. 2009. On the lithosphere of Indo-Asia collision zone in southern Tibet: Petrological and geochemical constraint [J]. *Earth Science*, 34(1): 17-24 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, Zhu D C, Wang L Q, Li G M, Zhao Z D, Geng Q R and Liao Z L. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic belt and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract).
- Pierce J A and Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud [J]. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A*, 327: 203-213.
- Qin K Z, Li G M, Zhao J X, Li J X, Xue G Q, Yan G, Su D K, Xiao B, Chen L and Fan X. 2008. Discovery of sharang large-scale porphyry molybdenum deposit, the first single Mo deposit in Tibet and its significance [J]. *Geology in China*, 35(6): 1101-1112 (in Chinese with English abstract).
- Qin Z P, Wang X W, Dor J, Tang X Q, Zhou Y and Peng H J. 2011. LA-ICP-MS U-Pb zircon age of intermediate-acidic intrusive rocks in Jiama of Tibet and its metallogenic significance [J]. *Mineral Deposits*, 30(2): 339-348 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q and Li Y G. 2002. Implications of S and Pb isotopic compositions of the Gangdise porphyry copper belt for the ore-forming material source and material recycling within the orogenic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 768-776 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Liu Y L. 2003. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau [J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 217-223 (in Chinese with English abstract).
- Song B, Zhang Y H, Wan Y S and Jian P. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. *Geological Review*, 48 (Supp): 26-30 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Chen Y C, Wang D H, Wang C H, Xu Y P, Qu W J, Huang W and Huang Y. 2009a. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo 'gyamda county, Tibet and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 698-704 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Chen Y C, Duo J, Liu H F, Du X, Zang J S, Zheng W B and Gao Y M. 2009b. Main types, region minerogenetic regularity and prospecting evaluation on deposits in the east section of Gandise metallogenic belt, Tibet [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (Supp): 476-478 (in Chinese).
- Tang J X, Li F J, Li Z J, Zhang L, Tang X Q, Deng Q, Lang X H, Huang Y, Yao X F and Wang Y. 2010a. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 461-475 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010b. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(4): 495-500 (in Chinese with English abstract).
- Wang L L, Mo X X, Li B, Dong G C and Zhao Z D. 2006. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Qulong Cu (Mo) ore deposit, Tibet [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 1001-1008 (in Chinese with English abstracts).
- Wu Y B and Zheng Y F. 2004. Zircon Genesis mineralogy and its restriction for U-Pb age [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589-1604 (in Chinese with English abstract).
- Yan X Y and Huang S F. 2010a. Discovery of large Zedang tungsten copper-molybdenum orefield, eastern gangdese arc, and new understanding on strike-slip type epicontinental mineralization [J]. *Geological Review*, 56(1): 9-19 (in Chinese with English abstract).
- Yan X Y, Huang S F and Du A D. 2010b. Re-Os ages of large tungsten, copper and molybdenum deposit in the Zetang orefield, Gangdese and marginal strike-slip transforming metallogenesis [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(3): 398-405 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J, Wang D H, Tang J X, Chang Z S, Qu W J, Zheng W B and Wang H. 2010. Re-Os dating of molybdenite from the Jiama copper polymetallic deposit in Tibet and its metallogenic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(8): 1165-1173 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Z C, Liu D M, ZeRen Z X and NiMa C R. 2009. Geochemistry and tectonic setting of lavas in the Yeba Formation in the eastern part of the Gangdese belt [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(3): 435-445 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G Y, Zheng Y Y, Gong F Z, Gao S B, Qu W J, Pang Y C, Shi Y R and Yin S Y. 2008. Geochronologic constraints on magmatic intrusions and mineralization of the Jiru porphyry copper deposit, Tibet, associated with continent-continent collisional process [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 473-479 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y Y, Xue Y C, Cheng L J, Fan Z H and Gao S B. 2004. Finding, characteristics and significances of Qulong superlarge porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet [J]. *Earth Science*, 29(1): 103-108 (in Chinese with English abstract).
- Zhou X, Wen C Q, Wen Q, Wu P Y, Cao S Y, Fei G C, Huo Y and Zhou Y. 2010. Zircon U-Pb SHRIMP dating of the Monzonite granite-porphyry from the Bangpu large porphyry molybdenum-copper deposits, Tibet, and its geological significance [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 29(4): 373-377 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Pan G T, Chung S L, Liao Z L, Wang L Q and Li G M. 2008. SHRIMP zircon age and geochemical constraints on the origin of Lower Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation, southern Gangdese, South Tibet [J]. *International Geology Review*, 50: 442-471.
- Zhu D C, Mo X X, Zhao Z D, Niu Y L, Pan G T, Wang L Q and Liao Z L. 2009. Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: New perspective [J]. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 1-20 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 王立强, 吕鹏瑞, 钟康惠, 刘晓吉, 高一鸣. 2010. 西藏冈底斯-念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征——对成矿元素组合分带性的指示[J]. 岩石学报, 26(11):3350-3362.
- 第五春荣, 孙勇, 袁洪林, 王洪亮, 钟兴平, 柳小明. 2008. 河南登封地区高山石英岩碎屑锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 科学通报, 53(16):1923-1934.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 杜欣, 李新法, 高明, 蔡志超. 2009. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌钼多金属矿床石英斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 83(10):1436-1444.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴. 2010a. 西藏沙让斑岩钼矿床锆石 SHRIMP 定年和角闪石 Ar-Ar 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 29(2):323-331.
- 高一鸣. 2010b. 西藏工布江达县亚贵拉-沙让多金属矿床地质特征及区域成矿研究[博士论文][D]. 导师:陈毓川, 唐菊兴. 北京:中国地质科学院. 78-119.
- 何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 徐学义, 张宏飞, 任光明, 余吉远. 2008. 中祁连马街山群内基性岩墙群锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球科学, 33(1):35-45.
- 纪伟强, 吴福元, 鍾孙霖, 刘传周. 2009. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 中国科学(D辑), 39(7):849-871.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 李志军, 黄勇, 王成辉, 陈渊, 张丽. 2010. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的岩石地球化学特征:对成矿构造背景的约束[J]. 地质与勘探, 46(5):887-898.
- 李光明, 杨家瑞, 丁俊. 2003. 西藏雅鲁藏布江成矿区矿产资源评价新进展[J]. 地质通报, 22(9):699-703.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学, 28(2):165-170.
- 李光明, 刘波, 屈文俊, 林方成, 余宏全, 丰成友. 2005a. 西藏冈底斯成矿带的斑岩-矽卡岩成矿系统:来自斑岩矿床和矽卡岩型铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 大地构造与成矿学, 29(4):482-490.
- 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 林方成, 刘波, 余洪全, 丰成友, 屈文俊. 2005b. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24(5):481-489.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 黄卫, 曲小明, 屈文俊. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限:邦铺铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 22(3):246-252.
- 孟祥金. 2004. 西藏碰撞造山带冈底斯中新世斑岩铜矿成矿作用研究[博士论文][D]. 导师:侯增谦. 北京:中国地质科学院. 81-86.
- 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 喻学惠, 董国臣, 周肃. 2009. 西藏南部印度-亚洲碰撞带岩石圈 岩石学-地球化学约束[J]. 地球科学, 34(1):17-24.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖中礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3):521-533.
- 秦克章, 李光明, 赵俊兴, 李金祥, 薛国强, 严刚, 粟登奎, 肖波, 陈雷, 范新. 2008. 西藏首例独立钼矿——冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 35(6):1101-1112.
- 秦志鹏, 汪雄武, 多吉, 唐晓倩, 周云, 彭慧娟. 2011. 西藏甲玛中酸性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿意义[J]. 矿床地质, 30(2):339-348.
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国. 2002. S、Pb 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和造山带物质循环的指示[J]. 地质通报, 21(11):768-776.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3):217-223.
- 宋彪, 张云海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊):26-30.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009a. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿-钼同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5):698-704.
- 唐菊兴, 陈毓川, 多吉, 刘鸿飞, 杜欣, 张金树, 郑文宝, 高一鸣. 2009b. 西藏冈底斯成矿带东段主要矿床类型、成矿规律和找矿评价[J]. 矿物学报(增刊):476-478.
- 唐菊兴, 黎枫信, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010a. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成时限:锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. 矿床地质, 29(3):461-475.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 钟康惠, 应立娟, 郑文宝, 黎枫信, 郭娜, 秦志鹏, 姚晓峰, 李磊, 王友, 唐晓倩. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4):495-506.
- 王亮亮, 莫宣学, 李冰, 董国臣, 赵志丹. 2006. 西藏驱龙斑岩铜矿含斑岩的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 22(4):1001-1008.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16):1589-1604.
- 闫学义, 黄树峰. 2010a. 冈底斯东段泽当大型钨铜钼矿新发现及走滑型陆缘成矿新认识[J]. 地质论评, 56(1):9-19.
- 闫学义, 黄树峰, 杜安道. 2010b. 冈底斯泽当大型钨铜钼矿 Re-Os 年龄及陆缘走滑转换成矿作用[J]. 地质学报, 84(3):398-405.
- 应立娟, 王登红, 唐菊兴, 畅哲生, 屈文俊, 郑文宝, 王焕. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其成矿意义[J]. 地质学报, 84(8):1165-1173.
- 曾忠诚, 刘德民, 泽仁扎西, 尼玛次仁. 2009. 西藏冈底斯东段叶巴组火山岩地球化学特征及其地质构造意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 39(3):435-445.
- 张刚阳, 郑有业, 龚福志, 高顺宝, 屈文俊, 庞迎春, 石玉若, 殷世艳. 2008. 西藏吉如斑岩铜矿:与陆陆碰撞过程相关的斑岩成岩成矿时代约束[J]. 岩石学报, 24(3):473-479.
- 郑有业, 薛迎春, 程力军, 樊子瑛, 高顺宝. 2004. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义[J]. 地球科学, 29(1):103-108.
- 周雄, 温春齐, 温泉, 吴鹏宇, 曹盛远, 费光春, 霍艳, 周玉. 2010. 西藏邦铺大型斑岩铜-钼矿床二长花岗斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 29(4):373-377.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 牛耀龄, 潘桂棠, 王立全, 廖忠礼. 2009. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化:新观点[J]. 地学前缘, 16(2):1-15.