2012 年 7 月 地 球 学 报 Jul. 2012
第 33 卷 第 4 期: 559-568 Acta Geoscientica Sinica Vol.33 No.4: 559-568
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

西藏邦铺钼(铜)矿床辉绿玢岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义

冷秋锋[1)], 王立强[2)], 应立娟[2)], 郑文宝[1)], 罗茂澄[3)], 陈 伟[1)], 林 彬[1)], 王艺云[1)]

1)成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059;
2)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;
3)中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

摘 要: 西藏邦铺斑岩型钼(铜)矿床位于冈底斯成矿带东段, 地理位置上与甲玛铜多金属矿床、驱龙斑岩铜矿床毗邻。矿区岩浆活动频繁, 发育不同类型、不同期次的侵入岩体, 辉绿玢岩出露于矿区北部, 地质研究程度相对较低。为了精确限制其成岩时代, 文章通过对辉绿玢岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄精确测试, 获得了 19 颗锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 15.21±0.29 Ma(MSWD=9.6, N=19), 为冈底斯带中新世岩浆侵位年龄, 与区域上邻近的甲玛斑岩矿床辉绿玢岩形成时代基本一致。区域成矿规律研究表明, 邦铺斑岩型钼(铜)矿床与甲玛、驱龙等超大型斑岩型矿床的成岩成矿时代具有统一性和集中性, 显示该矿床与甲玛、驱龙矿床的形成应具有统一的地球化学动力学背景和相关的深部作用过程。

关键词: LA-ICP-MS; 锆石 U-Pb 定年; 辉绿玢岩; 邦铺; 冈底斯; 西藏
中图分类号: P588.13; P597 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.16

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Allgovite in the Bangpu Molybdenum (Copper) Deposit in Tibet and Its Geological Significance

LENG Qiu-feng[1)], WANG Li-qiang[2)], YING Li-juan[2)], ZHENG Wen-bao[1)], LUO Mao-cheng[3)], CHEN Wei[1)], LIN Bin[1)], WANG Yi-yun[1)]

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

Abstract: The Bangpu porphyry Mo (Cu) deposit is located in the eastern part of the Gangdise metallogenic belt in Tibet, near the Jiama copper polymetallic deposit and the Qulong porphyry Cu deposit. The magma invasion is of high frequency in this area, and varied kinds of intrusions were developed in different periods. Researches on the allgovite in the northern part of the Bangpu ore district are very insufficient. The age of allgovite was obtained in this deposit. According to LA-ICP-MS analysis of the zircon U-Pb age precision of the allgovite, 19 zircons from allgovite yielded the weighted average $^{206}Pb/^{238}U$ age of 15.21±0.29 Ma (MSWD=9.6, N=19), suggesting Miocene magma emplacement in Gangdise belt, and the age is consistent with that of allgovite in the Jiama porphyry deposit. Regional ore-forming regularity study shows that the Bangpu porphyry Mo (Cu) polymetallic deposit is in accord with the regional porphyry deposits such as Jiama and Qulong in the ore-forming and rock-forming age, suggesting that this deposit has the same geochemical dynamic background deep process as Jiama, Qulong and some other ore deposits.

本文由国家 973 项目(编号: 2011CB403103)和青藏专项(编号: 1212011085529)联合资助。
收稿日期: 2012-06-02; 改回日期: 2012-06-21。责任编辑: 闫立娟。
第一作者简介: 冷秋锋, 男, 1986 年生。硕士研究生。矿物学、岩石学、矿床学专业。通讯地址: 610059, 四川省成都市成华区二仙桥东三路 1 号。E-mail: lengqiufeng9@126.com。

CAGS

Key words: LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; allgovite; Bangpu; Gangdise; Tibet

位于雅鲁藏布江结合带和班公湖-怒江结合带之间的冈底斯成矿带是青藏高原白垩纪以来岩浆活动期次最多、规模最大、岩浆类型最复杂的构造-岩浆岩带(莫宣学等, 2005)。西藏邦铺钼(铜)矿床位于冈底斯成矿带东段, 是继沙让斑岩型钼矿床(秦克章等, 2008; 唐菊兴等, 2009b; 高一鸣等, 2010)之后, 该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, 与邻近的驱龙、甲玛构成了青藏高原目前规模最大的驱龙-甲玛-邦铺矿集区。前人对该矿床的研究主要集中在含矿岩体的成岩时代、矿床成矿时代以及成矿流体性质和演化等方面(孟祥金等, 2003; 周雄, 2009; 王立强等, 2011, 2012; 罗茂澄等, 2011, 2012; 陈伟等, 2012)。辉绿玢岩产出于矿区北部, 目前尚未开展系统的研究工作。本文在野外地质调查与室内综合研究的基础上, 对邦铺钼(铜)矿床辉绿玢岩地质特征进行了初步研究, 首次采用 LA-ICP- MS 锆石 U-Pb 定年方法对其成岩时代进行了测定, 以期为矿区及区域岩浆岩演化历史提供年代学资料, 为全面了解邦铺超大型斑岩钼(铜)矿床的成岩成矿作用动力学特征提供年代学证据。

1 矿床地质特征

矿区出露地层主要为下二叠统洛巴堆组(P_1l)、古近系典中组(E_1d)和少量第四系(Q), 典中组与洛巴堆组呈断层接触关系(图 1)。洛巴堆组地层主要分布于矿区南部, 近东西向展布, 下部主要为弱变质火山角砾岩、砂质粉砂质板岩及透镜状大理岩; 上部为凝灰岩。典中组地层主要分布于矿区中部及北部, 以凝灰岩为主, 含凝灰质板岩、晶屑凝灰岩、凝灰质角砾岩以及薄层帘石板岩。矿区构造较为发育, 以断裂构造为主。矿区岩浆活动频繁, 发育不同类型、不同期次的侵入岩体, 岩浆岩展布与构造方向一致, 呈东西方向。侵入岩体主要包括: 矿区西南的黑云二长花岗岩(62.1±1.9 Ma; 罗茂澄等, 2011), 矿区中部的二长花岗斑岩(16.23±0.19 Ma; 王立强等, 2011)、花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩, 矿区中东部的闪长岩、闪长玢岩, 以及矿区北部呈岩脉、岩株、岩枝状产出的辉绿(玢)岩、安山岩、辉长-辉绿岩。其中与钼矿化关系最为密切的岩体为二长花岗斑岩, 形成富钼矿体以及品位相对较低的铜矿体。闪长岩及闪长玢岩与富铜矿体的产出关系密切, 形成富铜矿体及低品位的钼矿体。

矿床蚀变及分带特征与典型斑岩矿床类似, 按照蚀变岩石和蚀变矿物组合特征可划分为钾硅酸盐化带、黄铁绢云岩化带以及青磐岩化带, 后期粘土化蚀变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, 团斑状、脉状、弥散状黑云母化及硬石膏化; 硅化主要表现为石英斑晶的再生加大、石英脉的大量形成以及基质的硅化等。绢云岩化主要表现为长石分解形成高岭土、绢云母等蚀变矿物。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。矿区钼(铜)矿化的发育与硅化关系最为密切。

邦铺钼(铜)矿床矿体类型根据赋矿岩石不同, 主要分为: 斑岩型钼(铜)矿体、闪长(玢)岩型铜(钼)

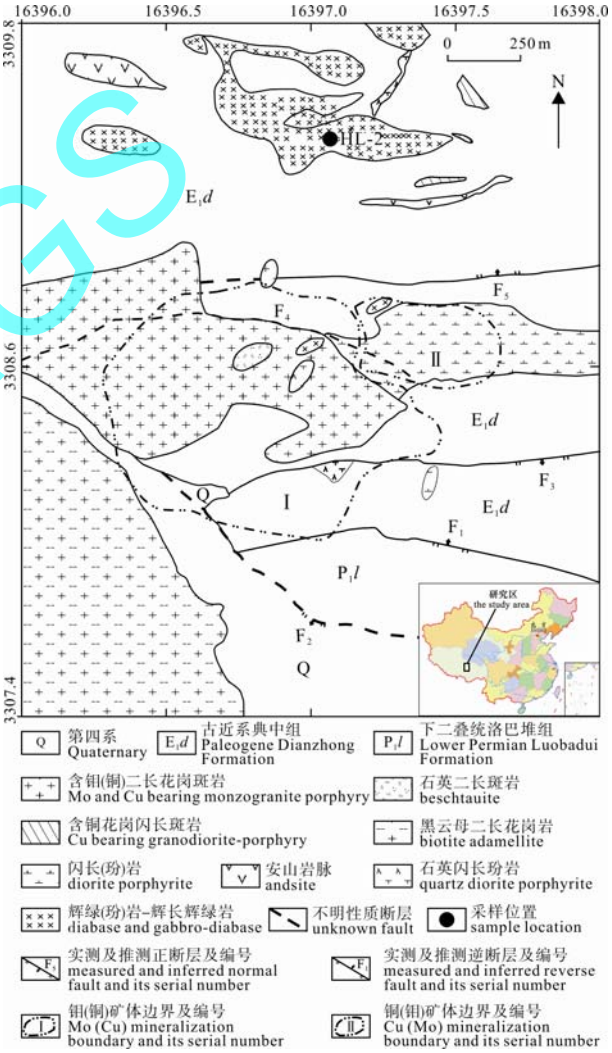


图 1 邦铺钼(铜)矿区地质简图
(据王立强等, 2011; 罗茂澄等, 2011 修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the Bangpu molybdenum (copper) ore district (modified after WANG Li-qiang et al., 2011; LUO Mao-cheng et al., 2011)

CAGS

矿体以及矽卡岩型铅锌矿体。斑岩型钼(铜)矿体主要赋存于矿区中部二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩中，矿体形态与斑岩体形态基本一致，平面上呈椭球形或等轴状，剖面上呈长柱状或筒状；闪长(玢)岩型铜(钼)矿体产出状态主要与矿区闪长(玢)岩的发育空间一致，分布于矿区中东部；矽卡岩型铅锌矿体主要发育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接触带内，矿体呈脉状产出，规模不大，但品位较富。

矿石中金属矿物以辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主，另可见少量磁铁矿、孔雀石和蓝铜矿等；非金属矿物以石英、斜长石、钾长石、黑云母等为主，次为绢云母、角闪石、绿帘石、绿泥石、方解石等。矿石结构以它形为主，次为半自形-自形。矿石构造主要为细脉状浸染状构造，次为团块状、网脉状及条带状构造等。

2　样品采集与分析方法

2.1　样品采集

本次实验样品(HL-2)采自矿区北部呈脉状侵位于典中组地层中的辉绿玢岩(图 1，地理坐标：X=3309412, Y=16397153, H=5002 m)。岩石风化面呈灰绿或浅绿色、新鲜面呈绿色，斑状结构，块状构造。斑晶主要由辉石、斜长石组成，呈无序散布；基质细粒，蚀变较为强烈，主要发育绿泥石化、少量绿帘石化和碳酸盐岩化等。

2.2　分析方法

分析测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。采集的样品经人工破碎，采用浮选和磁选方法分选出锆石，然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，后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；杨承海等，2005；李奋其等，2010)。锆石样品反射光和透射光照相后，用阴极发光(CL)进行图像分析，待测。分析仪器为 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 μm，激光剥蚀样品的深度为 20～40 μm。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 NIST 610 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 NIS610 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 NIST 610 作为外标，^{29}Si 作为内标(第五春荣等，2008；何世平等，2008；刘国仁等，2010)。测试结果通过 GLITTER(ver4.0)软件计算得出，并按照 Anderson(2002)的方法，对数据进行了普通铅校正。应用 Isoplot 3.0 程序对校正后的结果完成年龄计算及谐和图的绘制。

3　分析结果

3.1　锆石特征

样品中分选出来的锆石大部分为无色或浅灰白色，个别锆石颜色较深，少量发生了碎裂，大小略有变化，粒径大小多为 100～150 μm，个别粒度较大。样品中锆石多呈短柱状、个别呈板条状，晶体长宽比介于 2:1～3:1 之间。锆石自形程度较好，发育较为完整的柱面和锥面。阴极发光(CL)图像显示(图 3)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)。

3.2　锆石 U-Pb 年龄

样品(HL-2)19 个点的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果见表 1。样品中 U 含量为(218.81～436.14)×10^{-6}，平均值为 311.92×10^{-6}；Th 的含量为



图 2　样品(HL-2)手标本照片

Fig. 2　Macro features of sample (HL-2) for test

CAGS

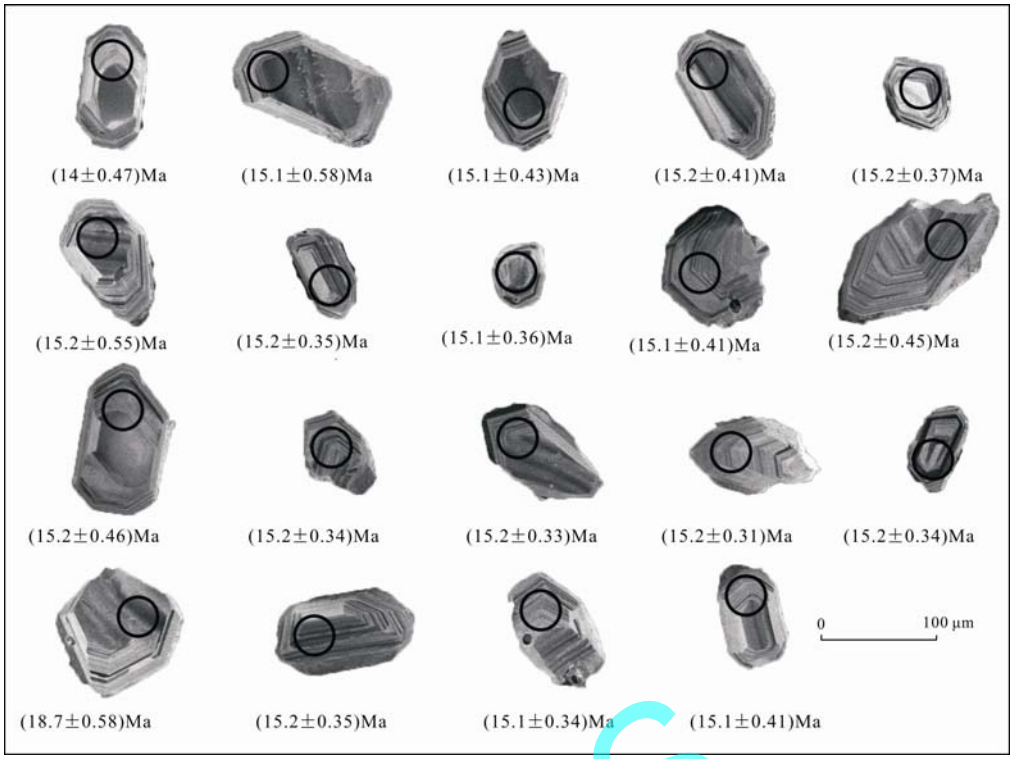


图 3 邦铺矿床辉绿玢岩锆石样品阴极发光图像及测试点位

Fig. 3 Cathodoluminescence images and test points of zircons of allgovite in the Bangpu deposit

(233.61～613.93)×10^{-6}, 平均值为 406.48×10^{-6}; Th/U 比值变化于 1.07～1.65 之间, 远大于 0.4, 属于典型的岩浆成因锆石(吴元保等, 2004)。

用 Isoplot3.0 程序对锆石测年数据进行谐和曲线的投影和 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄的计算。在 $^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$ 谐和图上(图 4), 数据分析点基本上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 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 15.21±0.29 Ma(MSWD=9.6, N=19)。

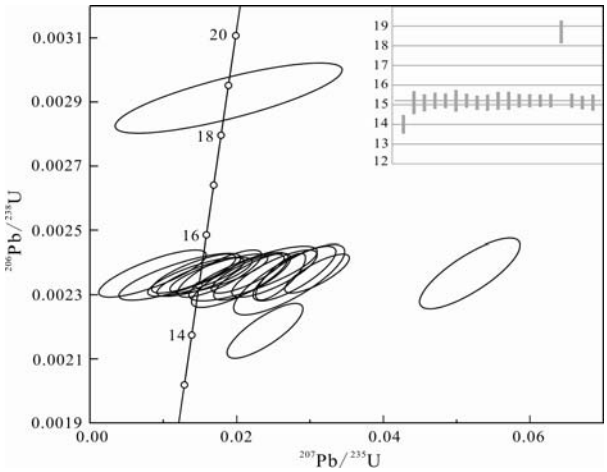


图 4 邦铺辉绿玢岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of Bangpu allgovite

3.3 锆石稀土元素特征

样品锆石稀土元素总量为 360.6～1197.24 μg/g, 平均为 559.65 μg/g, 其中, LREE 含量为 44.25～549.36 μg/g, HREE 含量为 316.35～664.33 μg/g, 轻、重稀土元素比值 LREE/HREE 为 0.09～0.84, 表现为相对富集重稀土元素(HREE)而贫轻稀土元素(LREE)的特征, 在稀土元素配分曲线上显示为左倾型(图 5), 具有明显的 Ce 正异常和微弱的 Eu 负异常, U/Yb 比值为 0.90～1.83, 平均为 1.48(表 2)。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线呈向右缓倾升高的配分模式, 显示典型岩浆锆石的特征(Hoskin, 2000)。

4 讨论

4.1 区域构造岩浆演化与成岩时代

冈底斯成矿带位于班公湖-怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带之间, 是青藏高原上岩浆活动期次最多、规模最大、岩浆岩类型最复杂的一个构造岩浆岩带(李廷栋, 2002)。其形成和发展过程记录了雅鲁藏布江特提斯洋壳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, 2009a)。雅鲁藏布洋经历了晚三叠纪开始发育、早-中侏罗世开始向北俯冲、晚侏罗–早白垩世持续

CAGS

表 1　邦铺矿床辉绿玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试数据

Table 1　LA-ICP-MS zircon dating result of the allgotive in Bangpu deposit

分析点号	组成/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
20101118D01	363.71	274.08	1.327021	0.07847	0.01457	0.02361	0.00428	0.00218	0.00007	1158.8	329.89	23.7	4.25	14	0.47
20101118D02	297.31	239.21	1.242883	0.08332	0.01968	0.02694	0.00625	0.00234	0.00009	1276.5	402.26	27	6.18	15.1	0.58
20101118D03	410.74	349.25	1.176063	0.06231	0.01689	0.02014	0.00541	0.00234	0.00007	684.7	492.4	20.2	5.39	15.1	0.43
20101118D04	430.02	332.15	1.294656	0.05345	0.01463	0.01737	0.00472	0.00236	0.00006	347.7	523.17	17.5	4.71	15.2	0.41
20101118D05	613.93	418.56	1.466767	0.02501	0.01856	0.00814	0.00603	0.00236	0.00006	0.1	0	8.2	6.08	15.2	0.37
20101118D06	453.97	362.24	1.25323	0.15928	0.01854	0.05175	0.00561	0.00236	0.00009	2448	184.66	51.2	5.41	15.2	0.55
20101118D07	511.79	436.14	1.173453	0.04253	0.01463	0.01383	0.00474	0.00236	0.00005	0.1	497.19	13.9	4.74	15.2	0.35
20101118D08	409.25	323.14	1.266479	0.07934	0.009	0.02573	0.0028	0.00235	0.00006	1180.7	209.14	25.8	2.77	15.1	0.36
20101118D09	417.62	287.33	1.453451	0.06752	0.01345	0.02185	0.00429	0.00235	0.00006	853.8	366.95	21.9	4.26	15.1	0.41
20101118D10	349.2	237.62	1.469573	0.08503	0.01463	0.02765	0.00465	0.00236	0.00007	1316	301.67	27.7	4.59	15.2	0.45
20101118D11	323.72	263.32	1.229379	0.06751	0.02231	0.02194	0.00721	0.00236	0.00007	853.5	568.18	22	7.16	15.2	0.46
20101118D12	475.85	340.55	1.397298	0.05322	0.01703	0.01729	0.00551	0.00236	0.00005	338.2	597.44	17.4	5.5	15.2	0.34
20101118D13	350	293.46	1.192667	0.0435	0.01679	0.01412	0.00543	0.00235	0.00005	0.1	613.95	14.2	5.44	15.2	0.33
20101118D14	447.79	352.61	1.26993	0.06537	0.01274	0.02123	0.00409	0.00236	0.00005	786.4	363.3	21.3	4.06	15.2	0.31
20101118D15	509.06	351.43	1.448539	0.09468	0.0116	0.03074	0.00364	0.00236	0.00005	1521.7	214.91	30.7	3.59	15.2	0.34
20101118D16	233.61	218.81	1.067639	0.04633	0.0318	0.0186	0.01274	0.00291	0.00009	14.9	1135.31	18.7	12.7	18.7	0.58
20101118D17	401.72	243.01	1.653101	0.07667	0.01492	0.0249	0.00478	0.00236	0.00006	1112.7	346.22	25	4.74	15.2	0.35
20101118D18	361.56	334.24	1.081738	0.04726	0.01668	0.01528	0.00537	0.00235	0.00005	61.9	677.75	15.4	5.37	15.1	0.34
20101118D19	362.28	269.24	1.345565	0.03677	0.02116	0.01192	0.00685	0.00235	0.00006	0.1	526.84	12	6.87	15.1	0.41

CAGS

表 2　邦铺矿床辉绿玢岩锆石稀土元素数据

Table 2　Zircon REE data of allgotive in the Bangpu deposit

点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
20101118D01	0.277	43.72	0.142	2.26	3.9	0.71	13.98	4.37	47.29	16.87	70.79	16.39	168.66	27.07
20101118D02	0.097	39.16	0.115	1.55	2.52	0.808	12.5	3.67	40.01	14.01	61.22	14.06	147.17	23.71
20101118D03	0.149	50.11	0.164	2.44	5.03	1.391	16.74	5.23	59.42	20.76	91.83	21.61	228.13	35.03
20101118D04	0.608	48.83	0.266	2.82	4.39	0.998	14.86	4.82	52.18	18.68	81.47	18.82	195.62	31.5
20101118D05	3.61	64.76	1.186	9.06	7.57	1.801	26.73	7.81	87.85	29.89	131.77	29.68	302.08	48.52
20101118D06	111.54	265.87	26.29	118.71	23.85	3.1	36.41	8.62	86.19	29.24	121.76	28.16	293.63	43.87
20101118D07	0.214	47.01	0.11	2.01	3.73	1.082	15.21	4.76	52.34	18.85	83.92	19.44	209.75	35.19
20101118D08	35.64	117.04	8.53	38.31	10.18	2.028	23.22	6.39	67.29	23.21	98.67	22.92	236.86	36.97
20101118D09	0.079	47.31	0.117	2.29	3.97	1.194	14.97	4.49	48.83	17.09	72.99	16.87	174.51	27.88
20101118D10	0.387	42.84	0.248	4.94	7.51	1.831	25	7.57	79.28	26.96	113.56	25.46	263.12	40.86
20101118D11	0.468	43.91	0.176	1.87	3.61	0.895	12.65	3.96	44.92	15.64	67.5	15.62	166.1	25.68
20101118D12	10.04	70.59	2.643	13.17	5.99	1.118	17.38	4.97	52.9	18.21	79.15	18.1	185.76	29.33
20101118D13	0.089	44.7	0.131	1.88	3.79	1.025	13.14	4.52	50.27	17.68	78.46	18.25	191.63	30.69
20101118D14	0.137	49.09	0.1283	1.2	4.06	1.109	14.91	4.89	54.33	19.03	83.58	19.63	206.08	32.98
20101118D15	0.306	51.05	0.266	4.16	7.25	1.848	25.37	7.85	83.11	28.62	121.99	27.59	281.72	43.27
20101118D16	2.73	39.37	0.776	4.87	3.4	0.737	10.8	3.46	39.19	13.97	63.81	14.82	158.56	26.43
20101118D17	3.08	47.19	0.976	7.56	7.94	1.769	25.15	7.04	74.77	25.32	105.19	23.55	240.5	38.14
20101118D18	1.641	52.99	0.498	3.55	4.01	1.042	17.29	5.24	58.8	20.88	93.42	21.87	232.61	38.11
20101118D19	0.091	43.21	0.118	2.56	4.57	1.259	18.61	5.48	60.94	21.12	90.27	20.45	209.87	34.17

CAGS

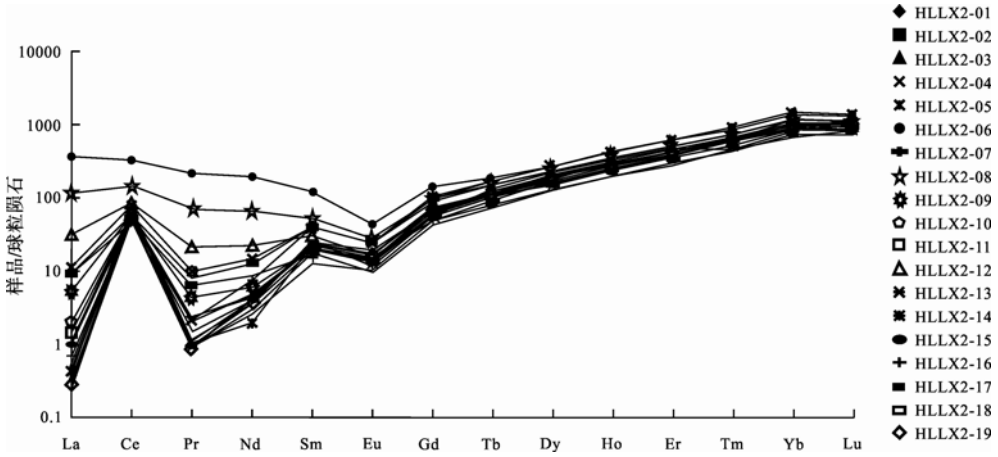


图 5　锆石稀土元素配分模式图(球粒陨石标准值引自 **Boynton, 1984**)

Fig. 5　REE distribution patterns of zircons (chondrite values after Boynton, 1984)

向北俯冲这几个阶段后，到白垩纪/古近纪之交(70～65 Ma)印度大陆才开始与拉萨地块(即欧亚大陆南缘)碰撞对接，经历 20 Ma 时间，约于 40 Ma 完成了两个大陆的碰撞，新特提斯洋完全消失(莫宣学等, 2009)。此后进入印度-欧亚大陆碰撞造山阶段。在中新世，随着雅鲁藏布洋俯冲洋壳板片的断离，冈底斯带发生东西向伸展。在上述构造过程中，青藏高原发生了广泛而强烈的岩浆活动，形成了遍布高原各地且种类繁多的火成岩，而以冈底斯带火成岩分布最为集中(莫宣学等, 2009)，构成了一条平行于主碰撞带的近东西向展布的冈底斯岩浆岩带(曲晓明等, 2002)。

费光春等(2010)对冈底斯东段墨竹工卡县洞中拉矿区的辉绿玢岩进行了 SHPIMP U-Pb 定年，结果显示洞中拉辉绿玢岩的年龄为 117.1±1.0 Ma，为早白垩世中期。与冈底斯带中北部地区带状岩浆大爆发的年龄(大约 110 Ma)时限和冈底斯弧后裂谷拉张作用的时限(120～95 Ma)相一致。认为洞中拉辉绿玢岩可能是冈底斯弧背断隆东段早白垩世弧间裂谷阶段岩浆侵位的产物，与班公湖-怒江特提斯洋壳向南、新特提斯洋壳向北的双向俯冲有关。本文得到的邦铺辉绿玢岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 15.21±0.29 Ma(MSWD=9.6, N=19)，岩体的锆石年龄基本可代表矿区辉绿玢岩的侵位年龄，确定了其侵位冷却形成于中新世。此结果与区域上邻近的甲玛斑岩矿床辉绿玢岩成岩时代(秦志鹏, 2010)基本一致，系印度-亚洲大陆碰撞后伸展构造背景下形成的岩浆岩体。区域成矿规律研究表明，邦铺斑岩型钼(铜)矿床与甲玛、驱龙等超大型斑岩型矿床的成岩成矿时代具有统一性和集中性，显示该矿床与甲玛、驱龙矿床的形成应具有统一的地球动力学背景和相关的深部作用过程。

4.2　矿区成岩-成矿时代

对于矿区含矿斑岩体的成岩时代及矿床成矿时代，前人已做过大量研究工作。罗茂澄等(2011)对成矿前黑云二长花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年，获得岩体锆石年龄为 62.1±1.9 Ma，确定岩体侵位冷却形成于古新世。王立强等(2011)通过对矿区含矿主岩二长花岗斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄精确测试，获得了其年龄为 16.23±0.19 Ma (MSWD=2.0, N=26)，系冈底斯带中新世花岗质岩浆侵位的结果。孟祥金等(2003)采用辉钼矿 Re-Os 测年方法对邦铺矿床的成矿年龄进行研究，获得成矿年龄为 15.32±0.79 Ma，与冈底斯成矿带东段南侧斑岩铜矿化带的矿化时间具有一致性，认为其基本代表了矿床成矿年龄。王立强等(待刊)通过对矿区辉钼矿 Re-Os 测试，给出的等时线年龄为 14.09±0.49 Ma，认为矿床系中新世成矿作用产物。成岩、成矿时代的厘定显示邦铺钼(铜)多金属矿床系冈底斯成矿带东段与中新世岩浆侵位有关的岩浆热液作用的产物。

本文得到的辉绿玢岩脉体锆石 U-Pb 年龄 15.21±0.29 Ma，代表了矿区基性岩浆的侵位时代，其晚于含矿二长花岗斑岩成岩时代(16.23 Ma)，而早于矿床成矿时代(14.09 Ma)。至此，矿床成岩-成矿时限基本得以构建。

4.3　锆石稀土元素的启示

样品锆石稀土元素配分模式(图 5)显示具有明显的 Ce 正异常和弱负 Eu 异常。岩浆锆石中由于 Ce^{4+} 与 Zr^{4+} 具有相同的电价和十分接近的离子半径，可

CAGS

以置换 Zr^{4+}，比 Ce^{3+}更容易进入锆石结构中(Belousova et al, 2002; Hoskin et al, 2003)，因此，锆石稀土元素中表现出的 Ce 正异常一般可解释为 Ce^{4+}进入锆石中(Hinton et al, 1991)。在氧化状态下，Eu 通常为+3 价，一般不会置换 Zr^{4+}表现为负 Eu 异常；在亚氧化状态下，Eu^{2+}与 Zr^{4+}电价不等且离子半径大于 Zr^{4+}(Hoskin et al, 2003)，同样不会形成负 Eu 异常，但锆石稀土元素配分模式图中显示不同测点均表现出不同程度的弱负 Eu 异常，这可能主要是由于受到岩浆源区长石的残留及其演化过程中长石结晶分异程度的影响(Wooden et al, 2006)。

5 结论

1)西藏墨竹工卡县邦铺斑岩型钼(铜)矿床辉绿玢岩脉体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果为 15.21±0.29 Ma，结合野外实地调研表明，其为冈底斯带中新世岩浆侵位年龄。

2)厘定的矿床辉绿玢岩成岩时代代表了矿区基性岩浆的侵位时限，丰富了矿床岩浆演化序列，完善了矿区成岩-成矿时代格架。

致谢：西藏天仁矿业公司邦铺矿区陈在元矿长及相关人员为笔者的野外地质调查提供了大量帮助。西北大学柳小明老师、第五春荣老师等为样品分析测试给予了无私指导。审稿过程中，相关专家指出了本文的许多不足并提出了宝贵的意见和建议，在此一并致谢。

参考文献:

陈伟, 王立强, 胡正华, 罗茂澄, 冷秋锋, 唐晓倩, 王艺云, 杨毅, 张志. 2012. 西藏邦铺铅锌矿区石英二长斑岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和稀土元素特征及其地质意义[J]. 地球学报, 33(4): 569-578.

第五春荣, 孙勇, 袁洪林, 王洪亮, 钟兴平, 柳小明. 2008. 河南登封地区嵩山石英岩碎屑锆石 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.

费光春, 温春齐, 王成松, 吴鹏宇, 温泉, 周雄. 2010. 西藏冈底斯东段墨竹工卡地区洞中拉辉绿玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及意义[J]. 地质通报, 29(8): 1138-1142.

高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴. 2010. 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.

何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 徐学义, 张宏飞, 任光明, 余吉远. 2008. 中祁连马衔山岩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(中国地质大学学报), 33(1): 35-45.

纪伟强, 吴福元, 锺孙霖, 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: 地球科学, 39(7): 849-871.

李奋其, 刘伟, 耿全如. 2010. 西藏冈底斯带那曲地区中生代火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地质意义[J]. 地球学报, 31(6): 781-790.

李廷栋. 2002. 青藏高原地质科学研究的新进展[J]. 地质通报, 21(7): 370-376.

刘国仁, 董连慧, 高福平, 陈剑祥, 赵华, 王定胜, 宋志勇, 何立新, 秦纪华. 2010. 新疆阿尔泰克兰河中游泥盆纪花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地球学报, 31(4): 519-531.

罗茂澄, 毛景文, 王立强, 冷秋锋, 陈伟. 2012. 西藏邦铺斑岩钼铜矿床岩浆-热液流体演化:流体包裹体研究[J]. 地球学报, 33(4): 471-484.

罗茂澄, 王立强, 冷秋锋, 陈伟. 2011. 西藏邦铺钼(铜)矿床二长花岗斑岩、黑云二长花岗岩锆石 Hf 同位素和 Ce4+/Ce3+比值研究[J]. 矿床地质, 30(2): 266-278.

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: 帮铺铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证明[J]. 矿床地质, 22(3): 246-252.

莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张凤琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3): 281-290.

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-中国地质大学学报, 34(1): 17-24.

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. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床似埃达克岩的成岩成矿作用[D]. 成都: 成都理工大学.

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.

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, 多吉, 刘鸿飞, 杜欣, 张金树, 郑文宝, 高一鸣. 2009a. 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, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009b. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698-704.

王立强, 罗茂澄, 袁志洁, 陈伟, 冷秋锋, 张学全. 2012. 西藏邦铺铅锌矿床 S、Pb、C、O 同位素组成及成矿物质来源研究[J]. 地球学报, 33(4): 435-443.

王立强, 唐菊兴, 陈毓川, 罗茂澄, 冷秋锋, 陈伟, 王焕. 2011.

CAGS

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[J]. 矿床地质, 30(2): 349-360.

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.

杨承海, 许文良, 杨德彬, 刘长春, 柳小明, 胡兆初. 2005. 鲁西济南辉长岩的形成时代: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年证据[J]. 地球学报, 26(4): 321-325.

周雄. 2009. 西藏邦铺钼铜多金属矿床流体包裹体研究[D]. 成都: 成都理工大学.

朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 牛耀龄, 潘桂堂, 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): 1-20.

References:

ANDERSON T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report 204Pb[J]. Chemical Geology, 192(1-2): 59-79.

BELOUSOVA E A, GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, FISHER N J. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602-622.

BOYNTON W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[M]// HENDERSON P. Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier: 63-114.

CHEN-Wei, WANG Li-qiang, HU Zheng-hua, LUO Mao-cheng, LENG Qiu-feng, TANG Xiao-qian, WANG Yi-yun, YANG Yi, ZHANG Zhi. 2012. Zircon U-Pb Ages, Hf Isotope and REE of Quartz Monzonite Porphyry in the Bangpu Pb-Zn Mining Area of Tibet and Their Geological Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 569-578(in Chinese with English abstract).

DIWU Chun-rong, SUN Yong, YUAN Hong-lin, WANG Hong-liang, ZHONG Xing-ping, LIU Xiao-ming. 2008. U-Pb Zircon Geochronlogy, 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).

FEI Guang-chun, WEN Chun-qi, WANG Cheng-song, WU Peng-yu, WEN Quan, ZHOU Xiong. 2010. Zircon SHRIMP U-Pb age and its geological significance in Dongzhongla allgovite, Mozhugongka area, eastern segment of Gangdise, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 29(8): 1138-1142(in Chinese with English abstract).

GAO Yi-ming, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing. 2010. SHRIMP zircon U-Pb and amphibole 4r-39Ar 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).

HE Shi-ping, WANG Hong-liang, CHEN Juan-lu, XU Xue-yi, ZHANG Hong-fei, REN Guang-ming, YU Ji-yuan. 2008. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Geochrnology of Basic Dikes within Maxianshan Rock Group in the Central Qilian Mountains and Its Tectonic Implication[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 33(1): 35-45(in Chinese with English abstract).

HINTON R W, UPTON B G J. 1991. The chemistry of zircon: variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55(11): 3287-3302.

HOSKIN P W O, SCHALTEGGER U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53(1): 27-62.

HOSKIN P W O. 2000. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator[J]. Geology, 28(7): 627-630.

JI Wei-qiang, WU Fu-yuan, ZHONG Sun-lin, LIU Chuan-zhou. 2009. Petrogenesis and Ages of Granites in the Gangdese Batholith, South Tibet[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 39(7): 849-871(in Chinese with English abstract).

LI Fen-qi, LIU Wei, GENG Quan-ru. 2010. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Ages of the Mesozoic Volcanic Rocks in Nagqu Area of Gangdise in Tibet and Their Geological Significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(6): 781-790(in Chinese with English abstract).

LI Ting-dong. 2002. New progress in the geoscience study of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 21(7): 370-376(in Chinese with English abstract).

LIU Guo-ren, DONG Lian-hui, GAO Fu-ping, CHEN Jian-xiang, ZHAO Hua, WANG Ding-sheng, SONG Zhi-yong, HE Li-xin, QIN Ji-hua. 2010. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Dating and Geochemistry of the Devonian Granites from the Middle Kelan River Valley of Altay in Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(4): 519-531(in Chinese with English abstract).

LUO Mao-cheng, MAO Jing-wen, WANG Li-qiang, LENG Qiu-feng, CHEN Wei. 2012. Fluid Inclusion Evidence for Magmatic-Hydrothermal Evolution in the Bangpu Porphyry Molybdenum-Copper Deposit, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 471-484(in Chinese with English abstract).

LUO Mao-cheng, WANG Li-qiang, LENG Qiu-feng, CHEN Wei. 2011. Zircon Hf Isotopic and Ce4+/Ce3+Ratio of the Monzogranite Porphyry and Biotite Monzonitic Granite In Bangpu Mo(Cu) Deposit, Tibet[J]. Mineral Deposits, 30(2): 266-278(in Chinese with English abstract).

MENG Xiang-jin, HOU Zeng-qian, GAO Yong-feng, HUANG Wei, QU Xiao-ming, QU Wen-jun. 2003. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in east Gangsese Belt, Tibet: Evidence from Re-Os age of molyb-

CAGS

denite in Bangpu copper polymetallic deposit[J]. Mineral Deposits, 22(3): 246-252(in Chinese with English abstract).

MO Xuan-xue, DONG Guo-chen, ZHAO Zhi-dan, ZHOU Su, WANG Liang-liang, QIU Rui-zhao, ZHANG Feng-qin. 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution[J]. Geological Joural of China Universities, 11(3): 281-290(in Chinese with English abstract).

MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, DEPAOLO D J, ZHOU Su, DONG Guo-chen. 2006. Three types of collisional and post-collisional magmatism in the Lhasa block, Tibet and implications for India intra-continental subdution and mineralization: evidence from Sr-Nd isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 795-803(in Chinese with English abstract).

MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, ZHU Di-cheng, YU Xue-hui, DONG Guo-chen, ZHOU Su. 2009. On the Lithosphere of Indo-Asia Collision Zone in Southern Tibet: Petrological and Geochemical Constraints[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 34(1): 17-24(in Chinese with English abstract).

QIN Ke-zhang, LI Guang-ming, ZHAO Jun-xing, LI Jin-xiang, XUE Guo-qiang, YAN Gang, SU Deng-kui, XIAO Bo, CHEN Lei, FAN Xin. 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 Zhi-peng. 2010. The diagenesis and Mineralization of adakite-Like rock form JiaMa Copper polymetallic of Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).

QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, LI You-guo. 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).

SONG Biao, ZHANG Yun-hai, WAN Yu-sheng, JIAN Ping. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. Geological Review, 48(Suppl): 26-30(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, DUO Ji, LIU Hong-fei, DU Xin, ZHANG Jin-shu, ZHENG Wen-bao, GAO Yi-ming. 2009a. Main types, region minerogenetic regularity and prospecting evaluation on deposits in the east section of Gandise metallogenic belt, Tibet[J]. Acta Mineralogica Sinica, (Suppl): 476-478(in Chinese).

TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, WANG Chen-hui, XU Yuan-ping, QU Wen-jun, HUANG Wei, HUANG Yong. 2009b. 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).

WANG Li-qiang, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LÜ Peng-rui, LUO Mao-cheng, WANG Huan, CHEN Wei, LENG Qiu-feng. 2012. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Intermediate-Acidic Intrusive Rocks and Molybdenite Re-Os Dating from the Bangpu Mo(Cu) Deposit, Tibet and Its Geological Implication[J]. Acta Geologica Sinica, 86(5): In Press.

WANG Li-qiang, LUO Mao-cheng, YUAN Zhi-jie, CHEN Wei, LENG Qiu-feng, ZHANG Xue-quan. 2012. Sulfur, Lead, Carbon and Oxygen Isotope Composition and Source of Ore-forming Materials of the Bangpu Pb-Zn Ore Deposit in Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 435-443(in Chinese with English abstract).

WANG Li-qiang, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LUO Mao-cheng, LENG Qiu-feng, CHEN Wei, WANG Huan. 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Ore-Bearing Monzogranite Porphyry in Bangpu Molybdenum (Copper) Deposit, Tibet and Its Significance[J]. Mineral Deposits, 30(2): 349-360(in Chinese with English abstract).

WOODEN J L, MAZDAB F K, BARTH A P, MILLER C F, LOWERY L E. 2006. Temperatures (Ti) and compositional characteristics of zircon: Early observations using high mass resolution on the USGS-Stanford SHRIMP-RG[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70(18): A770.

WU Yuan-bao, ZHENG Yong-fei. 2004. Zircon Genesis mineralogy and its restrication for U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589-1604(in Chinese with English abstract).

YANG Cheng-hai, XU Wen-liang, YANG De-bin, LIU Chang-chun, LIU Xiao-ming, HU Zhao-chu. 2005. Chronology of the Jinan Gabbro in Western Shandong: Evidence from LA-ICP-MS Ziron U-Pb Dating[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(4): 321-325(in Chinese with English abstract).

ZHOU Xiong. 2009. Study on the fluid inclusions of the Bangpu molybdenum copper polymetallic deposit, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).

ZHU Di-cheng, MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, NIU Yao-ling, PAN Gui-tang, WANG Li-quan, LIAO Zhong-li. 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).

CAGS