

U-Pb Geochronology Study of Zircon from Porphyry in Middle Section of Xainza - Dinggye North-South Trending Structure

西藏申扎一定结南北向构造中段斑岩 锆石U-Pb年代学研究

李应栩¹, 谢玉玲², 李光明¹, 白劲松³, 唐燕文⁴, 周俊杰², 郭翔²

LI Ying-xu¹, XIE Yu-ling², LI Guang-ming¹, BAI Jing-song³, TANG Yan-wen⁴, ZHOU Jun-jie², GUO Xiang²

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083; 3. 中铁资源地质勘查有限公司, 北京 100161; 4. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002

1. Chengdu Centre of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081; 2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083; 3. China Railway Resources Exploration Co., Ltd., Beijing 100161; 4. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002

摘要: 位于青藏高原南部的南冈底斯斑岩成矿带在西段的朱诺和吉如间百余千米范围内一直缺乏印度—亚洲大陆碰撞后碰撞伸展阶段斑岩活动的报道。论文对该区申扎一定结南北向构造中新发现的拿查和查布斑岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学研究, 发现两套斑岩的侵位结晶时代分别为 13.82 ± 0.25 Ma($n=11$, MSWD=1.7)和 13.80 ± 0.22 Ma($n=12$, MSWD=0.43), 与南冈底斯斑岩矿带中诸多矿床的成矿时代以及成矿斑岩时代一致, 填补了该地区的空白, 证实了后碰撞斑岩岩浆东西向的连续性。该地区后碰撞伸展阶段形成的矿床剥蚀程度不高, 具有进一步开展寻找斑岩型和浅成低温热液型矿床工作的潜力。同时, 斑岩中约40 Ma的变质和岩浆成因继承锆石核的发现暗示, 在晚碰撞阶段南冈底斯也有过构造-岩浆活动。

关键词: 申扎一定结南北向构造; 锆石U-Pb定年; 斑岩; 南冈底斯斑岩成矿带

中图分类号: P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6875(2018)06-0025-08

Abstract: None porphyry and genetically related deposit has been reported in the area almost 100 km between Zhunuo and Jiru porphyry deposits, both located in the southern Gangdese Porphyry Metallogenic Belt (GPMB) in South Tibetan Plateau and genetically related to porphyry activity at the post-collisional extension setting. Nacha and Chabu porphyry located in the Xainza - Dinggye NS trending structure are newly discovered. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the two porphyry are 13.82 ± 0.25 Ma($n=11$, MSWD=1.7) and 13.80 ± 0.22 Ma($n=12$, MSWD=0.43) respectively. The two ages are the same as the mineralogenetic epoch of GPMB, which fills the gap in the region and confirm the EW continuity of post-collisional porphyry activity. The erosion of deposits formed at

来稿日期: 2018-06-05 **DOI:** 10.13937/j.cnki.hbdzdx.2018.06.002

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2016YFC0600308); 中国地质调查局地质调查项目(DD20160015); 国家自然科学基金项目(41702086)。

作者简介: 李应栩(1982—), 男, 四川攀枝花人, 工程师, 从事矿床成因与成矿预测研究。谢玉玲(1963—), 女, 北京人, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学和矿床地球化学研究(通讯作者)。

post-collisional extension stage is not strong, which implies further ore potential of porphyry and epithermal type deposits in this area. Meanwhile, metamorphic and magmatic inherited zircon cores with the age of ~40 Ma find in the porphyry suggest that, in the late stages of the collision south of Gangdese also had tectonic - magmatic activity.

Keywords: Xainza-Dinggye north-south trending structure; Zircon U-Pb dating; porphyry; Gangdese Porphyry Metallogenic Belt

位于青藏高原南部拉萨地块南缘的众多斑岩型及与斑岩有关的矿床构成了与雅鲁藏布江缝合带几近平行的南冈底斯斑岩成矿带^[1]。地质大调查以来,在带内由西至东已发现朱诺、雄村、吉如、白容、总训、冲江、厅宫、达布(南木)、拉抗俄、驱龙、向背山、夏马日和吹斡子等斑岩型矿床,还有甲玛、帮浦、洞中拉、蒙亚啊等与斑岩有关的砂卡岩型矿床。这些矿床东西成群成带、南北成串,在空间上显示出与主活动时代在印度-亚洲陆-陆碰撞后碰撞伸展期的南北向构造有密切的关系。但是,对位于冈底斯地块中段的申扎一定结南北向构造中及附近的斑岩型矿床的年代学研究结果却显示出极为复杂的状况。该地区发育的斑岩型或与斑岩具有成因联系的矿床中包括形成于特提斯洋壳消减期的雄村^[2]、洋壳消减-碰撞转换阶段或初始碰撞阶段的斯弄多^[3]和恰功^[4]、主碰撞期叠加后碰撞期的吉如^[5]以及后碰撞期的朱诺^[6]和甲岗^[7]。同时,南冈底斯斑岩矿带在该区域东起吉如西至朱诺的100多千米范围内尚未见有后碰撞期斑岩及与之有关的矿床的报道,该成矿带东西向连续性上的变化是未来在该区域找矿需要密切关注的问题。

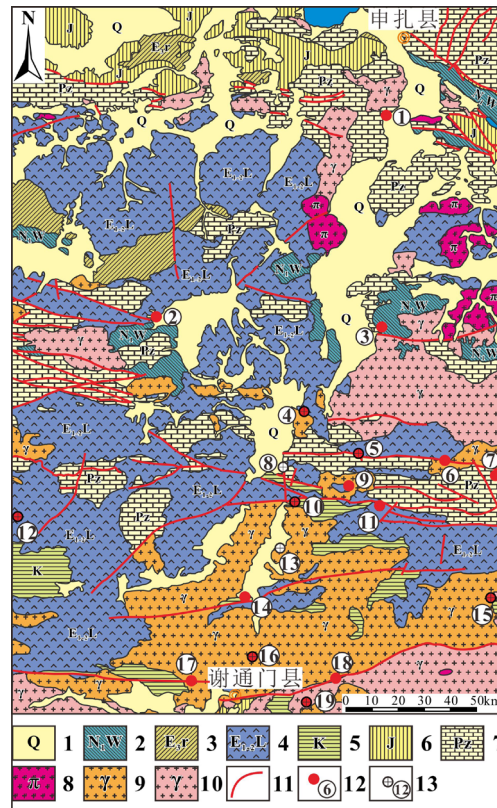
本次研究通过对位于申扎-谢通门南北向构造中雄村和恰功之间新发现的拿查和查布两处斑岩进行LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学研究,确定其活动时代为13.8 Ma左右,与南冈底斯斑岩矿带的成矿斑岩时代一致,显示出冈底斯南缘斑岩成矿带向西的连续性。此外,斑岩体中大量继承岩浆锆石可能还记录了该南北向构造在主碰撞和晚碰撞阶段的岩浆活动。

一、区域地质背景概述

经向纵切青藏高原的申扎一定结南北向构造可分别以纬向的印度河-雅鲁藏布江缝合带(IYS)和洛巴堆-米拉山断裂带(LMF)^[8]为界划为南中北三段。其南段主要位于特提斯喜马拉雅次地体中,切割了藏南拆离系(STDS),在定结附近将STDS右行错动了约30 km^[9];其北段主要位于中冈底斯即隆格爾-念青唐古拉复合火山弧中,切割了时代为5 Ma的岩浆岩,并在申扎以北转入北北西向^[10]。

申扎一定结南北向构造的中段主要位于南冈底斯岩弧,大部分地区主要切割了冈底斯花岗岩基,在

南缘保留有日喀则弧前盆地。除第四系外,区内出露的地层包括南部和北部两个地层分区中的古生界至新生界(图1)。



1-第四系; 2-乌郁群; 3-日贡拉组; 4-林子宗群; 5-白垩系; 6-侏罗系; 7-古生界; 8-斑岩; 9-新生代花岗岩; 10-中生代花岗岩; 11-断裂; 12-矿床(点); 13-斑岩; 14-甲岗; 15-切琼; 16-查藏错; 17-青都; 18-斯弄多; 19-纳如松多; 20-则学; 21-凯仁; 22-加多捕勒; 23-恰功; 24-江嘎; 25-朱诺; 26-查布; 27-那扎; 28-吉如; 29-拿查; 30-安张; 31-仁钦则; 32-雄村-洞嘎

图1 申扎一定结南北向构造中北段地质矿产概图(据文献^[11-12]修绘)

南部地层分区的主要为冈底斯南缘的南倾大反向断裂系(GCT)^[13]活动时推覆于冈底斯岩基之上的“飞来峰”,局限于区域南缘。北部地层分区的根据其岩石学特征和接触关系大致可以划分为古生代海相沉积层、中生代海相沉积层和新生代以火山活动为主的沉积层三个地层组合。其中,古生界主要为变质石英砂岩和灰岩;中生界主要为灰岩和粉砂岩,在区域南缘有少量与下侏罗统叶巴组同期的火山岩,唐菊兴等称之为“雄村组”^[2];新生界主要为林子宗群和乌郁群两套火山岩;地层组合间分别以广泛缺失的三叠

系以及林子宗群下部的区域角度不整合面^[14]为界。

区内构造主要为近东西向的褶皱和断裂以及与南北向构造活动有关的断裂。近东西向的褶皱主要使中生界和古生界变形,发育于区域北部。较大的近东西向断裂有两条,南部一条为冈底斯南缘南倾大反向断裂系(GCT)^[13]的一部分,北部的一条是他自拉-郭拉断裂系^[15],为洛巴堆-米拉山断裂带(LMF)的一部分;另外还有稍小的一条通过那扎附近。近南北向断裂表现为从谢通门县城至申扎县城间的负地形和断续大面积分布的第四系。

区内大面积出露的岩浆岩为南冈底斯花岗岩基的组成部分:新生代的面积最大,主要为曲水花岗岩单元,分布于区域南部,呈岩基、岩株、岩枝、岩脉产出,从粗粒至细粒和斑状均有,岩性以酸性为主,有少量中性和基性呈脉状产出;中生代的面积相对小些,主要分布于中北部,呈岩株或岩枝状产出,主要为中粒到斑状,岩性主要为酸偏中性。

区内目前发现的矿床由北至南依次有甲岗石英脉型W-Mo(-Bi)多金属矿(21.37 Ma, 辉钼矿Re-Os)^[16]、切琼热液脉型Pb-Zn矿(后碰撞期)^[17]、查藏错砂卡岩型Pb-Zn矿^[3]、青都砂卡岩型Fe-Pb-Zn多金属矿、斯弄多砂卡岩-热液脉复合型Fe-Pb-Zn多金属矿(68.8 Ma, LA-ICP-MS锆石U-Pb)^[3]、加多捕勒砂卡岩型Fe-Cu矿^[18](50.9 Ma, LA-ICP-MS锆石U-Pb)^[18]、纳如松多隐爆角砾岩型Pb-Zn-Ag矿^[19-20](57.6 Ma, 绢云母Ar-Ar)^[19-20]、则学热液脉型Pb-Zn-Ag矿^[21]、恰功砂卡岩型Fe-Pb-Zn多金属矿(67.4 Ma, LA-ICP-MS锆石U-Pb)^[4]、江嘎Fe-Pb-Zn多金属矿、朱诺Cu-Mo矿^[6](13.72 Ma, 辉钼矿Re-Os)^[6]、那扎砂卡岩型Fe-Cu-Au矿^[22]、吉如斑岩型Cu-Mo矿(48.30~50.8 Ma并叠加有15.20 Ma的成矿活动, 辉钼矿Re-Os)^[5]、安张Au矿、仁钦则热液脉型Au矿、雄村-洞嘎斑岩-浅成低温热液复合型Cu-Au矿(172 Ma, 辉钼矿Re-Os)^[2, 21]等。从吉如至朱诺百余公里的范围内未见有形成于后碰撞阶段的斑岩及与之有关的矿床的报道,成为了冈底斯南缘斑岩矿带的“空白”。

二、样品和测试方法概述

本次研究的斑岩分别发现于谢通门县拿查和查布附近,查布斑岩附近建有少量细脉状磁铁矿化,拿查斑岩附近见有粘土矿化和零星的孔雀石化。用于分析测试的样品均为采集于岩体露头的新鲜岩石,在显微镜下对两套斑岩薄片的观察显示(图2),查布斑岩和拿查斑岩均为斑状结构,斑晶主要为钾长石(约25%),少量斜长石(约8%)、石英(约10%)黑云母(约5%),基质为结晶极细的长石和石英(共约

50%),副矿物包括磁铁矿、钛铁矿、锆石、独居石和磷灰石等,为钾长花岗岩。

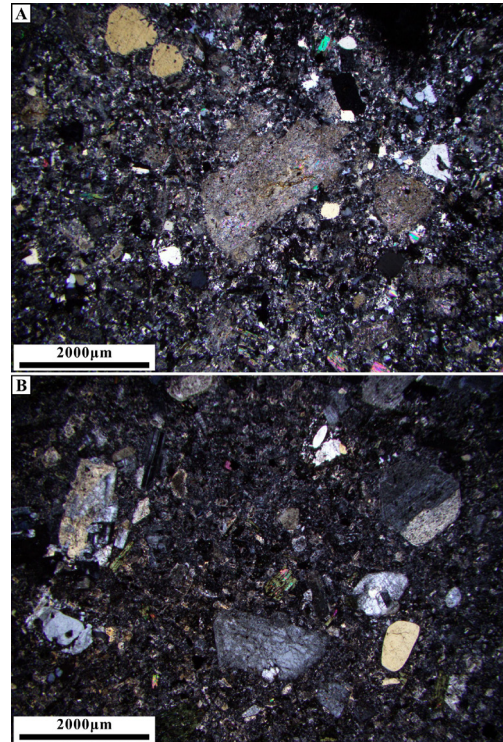


图2 查布(A)和拿查(B)斑岩薄片透射正交偏光显微照片

锆石单矿物的分离工作在廊坊地质服务有限公司利用标准技术分选完成。锆石LA-ICP-MS分析的制靶和反光观察以及测试工作在西北大学大陆动力学国家重点实验室按照文献^[22-24]中的方式进行。激光剥蚀系统为德国Lambda Physik AG公司生产的GeoLas2005(ArF紫外准分子193 nm激光器),测试时选用的激光束斑直径为30 μm,激光脉冲频率10 Hz,单脉冲能量34~40 mJ,剥蚀时间45~70 s,剥蚀深度20~40 μm,背景测量时间20 s;用He作为剥蚀物质的载气,载气流速0.67 L/min。分析时室温20℃,相对湿度30%。电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)系统为Hewlett packard公司生产的带有Shield Torch的Agilent 7500a ICP-MS,本次研究在标准模式下进行。仪器工作时分析参数为雾化气流速0.60~0.80 L/min,辅助气流速0.89 L/min,等离子气流速14.9 L/min,离子镜电压10 V,自动离子透镜关,跳峰扫描方式,停留时间分别是²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb为63 ms;²³⁸U、²³²Th为20 ms,²⁹Si为10 ms,扫描1次,读数350次。比值测量采用国际标准锆石91500(其U-Th-Pb同位素体系比值为²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb为0.074 88,²⁰⁶Pb/²³⁸U为0.179 17,²⁰⁷Pb/²³⁵U为1.850 2,²⁰⁸Pb/²³²Th为0.053 74^[25])作为外标标准物质,每5个样品分析

点前后测一次标准锆石,通过标样确定的仪器工作曲线参数保证样品的分析质量。微量元素含量分析采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃NIST 610作为外标准物质,²⁹Si作为内标元素(锆石中Si的含量为15.32%,NIST 610为32.71%)进行标定,每10次锆石的分析点前后各测1次NIST 610,以获得锆石的微量元素含量。测试所获得的质谱数据采用GLITTER(ver4.0,Macquarie University)^[26]程序计算处理获得样品的同位素比值及元素含量,锆石年龄计算依据经普通铅校正的测点Th-U-Pb同位素比值。普通铅校正采用Anderson(2002)提出的方法^[27]进

行,年龄计算及作图采用Isoplot(Ver3.70)^[28]完成。锆石的阴极发光观察和照相工作在中国科学院地质与地球物理研究所电镜室完成。

三、分析测试结果

本次研究经普通铅校正的锆石微区分析测点的U-Pb同位素比值及年龄结果如表1所示,测点的锆石阴极发光照片、²³⁸U-²⁰⁶Pb加权平均年龄和U-Pb谐和图如图3所示,稀土和部分微量元素含量如表2所示,稀土元素配分模式如图4所示。

表1 拿查和查布斑岩锆石 LA-ICP-MS 分析普通铅校正 U-Pb 结果

测点号	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb			²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		
	比值	(±1δ)	比值	(±1δ)	比值	(±1δ)		比值	(Ma)	(±1δ)	(Ma)	(±1δ)	(Ma)
NC-01	0.051 29	0.005 65	0.015 46	0.001 67	0.002 19	0.000 05	2.25	254	248	16.0	2.0	14.1	0.3
NC-02	0.050 81	0.003 96	0.014 81	0.001 07	0.002 12	0.000 05	1.35	232	121	15.0	1.0	13.7	0.3
NC-03.1	0.054 38	0.006 44	0.065 42	0.007 41	0.008 73	0.000 26	0.92	387	200	64.0	7.0	56.0	2.0
NC-03.2	0.046 06	0.003 73	0.013 05	0.001 02	0.002 05	0.000 05	2.17	1.0	178	13.0	1.0	13.2	0.3
NC-04	0.049 57	0.003 31	0.014 71	0.000 89	0.002 15	0.000 04	0.54	175	104	14.8	0.9	13.8	0.3
NC-05	0.047 51	0.004 71	0.013 59	0.001 32	0.002 08	0.000 04	1.18	75	218	14.0	1.0	13.4	0.3
NC-06	0.051 79	0.003 35	0.015 03	0.000 87	0.002 10	0.000 04	2.55	276	98	15.1	0.9	13.5	0.3
NC-07	0.047 54	0.003 15	0.014 45	0.000 86	0.002 20	0.000 04	0.48	76	98	14.6	0.9	14.2	0.3
NC-08	0.047 28	0.001 58	0.032 79	0.000 68	0.005 03	0.000 08	4.18	63	23	32.8	0.7	32.3	0.5
NC-09	0.046 90	0.003 51	0.014 00	0.000 97	0.002 16	0.000 04	0.65	44	116	14.1	1.0	13.9	0.3
NC-10	0.046 05	0.000 98	0.014 06	0.000 21	0.002 22	0.000 03	0.98	-	42	14.2	0.2	14.3	0.2
NC-11	0.051 45	0.003 47	0.014 84	0.000 91	0.002 09	0.000 04	0.70	261	106	15.0	0.9	13.5	0.3
NC-12	0.044 15	0.003 23	0.013 05	0.000 87	0.002 14	0.000 04	1.38	-63	109	13.2	0.9	13.8	0.3
CB-01	0.046 06	0.011 27	0.013 45	0.003 26	0.002 12	0.000 07	0.68	1.0	399	14.0	3.0	13.6	0.5
CB-02	0.046 09	0.006 26	0.013 50	0.001 82	0.002 12	0.000 04	2.39	2.0	252	14.0	2.0	13.7	0.3
CB-03	0.046 13	0.003 10	0.013 92	0.002 87	0.002 19	0.000 14	1.22	4.0	1107	14.0	12.0	14.1	0.9
CB-04	0.048 95	0.011 45	0.014 03	0.003 26	0.002 08	0.000 07	0.16	145	362	14.0	3.0	13.4	0.5
CB-05	0.050 99	0.012 00	0.015 60	0.003 90	0.002 22	0.000 10	1.72	241	986	16.0	10.0	14.3	0.6
CB-06	0.046 81	0.005 51	0.040 06	0.004 62	0.006 21	0.000 14	1.08	39	236	40.0	5.0	39.9	0.9
CB-07	0.050 45	0.005 66	0.056 49	0.006 19	0.008 12	0.000 19	0.36	216	252	56.0	6.0	52.0	1.0
CB-08	0.049 53	0.007 21	0.014 88	0.002 25	0.002 18	0.000 06	0.48	173	270	15.0	2.0	14.0	0.4
CB-09	0.050 91	0.007 98	0.015 07	0.002 33	0.002 15	0.000 06	0.61	237	317	15.0	2.0	13.8	0.4
CB-10	0.051 44	0.011 28	0.015 31	0.003 31	0.002 16	0.000 08	0.51	260	352	15.0	3.0	13.9	0.5
CB-11	0.046 51	0.003 70	0.013 57	0.001 05	0.002 12	0.000 04	0.50	24	177	14.0	1.0	13.6	0.2
CB-12	0.053 56	0.006 12	0.016 31	0.001 83	0.002 21	0.000 06	0.53	352	203	16.0	2.0	14.2	0.4
CB-13	0.053 70	0.008 28	0.016 28	0.002 44	0.002 20	0.000 07	0.52	359	280	16.0	2.0	14.2	0.5
CB-14	0.048 47	0.008 06	0.014 44	0.002 36	0.002 16	0.000 07	0.66	122	308	15.0	2.0	13.9	0.4
CB-15	0.046 05	0.004 25	0.041 62	0.003 72	0.006 55	0.000 15	0.61	-	199	41.0	4.0	42.1	1.0

分析结果显示,本次研究的锆石边部均发育岩浆锆石特征的震荡环带或扇形分带,显示最后一期结晶作用应发生在岩浆中^[29]。锆石的核部根据阴极发光图像可分为两类,以第一类具有震荡环带或扇形分带的在岩浆中结晶的锆石为主,第二类仅为拿查NC-08和查布CB-06,其核部显示非分带结构,可能为遭受了变质的继承锆石^[29]。本次研究的锆石测点Th/U比值均大于0.1,除BC-08高至4以上外,其余测点与岩浆锆石的Th/U比值^[30]范围基本一致。在稀土元素

配分模式图中(图4),除NC-08外,本次研究的样品测点均为左倾;其较强的Eu负异常(δEu<0.62)显示锆石结晶时斜长石也在结晶;强烈的Ce正异常(δCe>3)岩浆具有较高的氧逸度^[31]。结合阴极发光显示的结构特征,本次研究的测点除NC-08所在部位外应均为岩浆中结晶的锆石,其中NC-03.1、CB-06、CB-07和CB-15代表了继承的岩浆锆石,分别具有56.0±2.0 Ma、39.9±0.9 Ma、52.0±1.0 Ma和42.1±1.0 Ma的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄。

综合阴极发光和微区微量元素特征, 本次研究的代表最后一次岩浆活动中结晶的锆石测点的加权平均年龄分别为拿查斑岩 13.82 ± 0.25 Ma ($n=11$,

MSWD=1.7)、查布斑岩 13.80 ± 0.22 Ma ($n=12$, MSWD=0.43)。

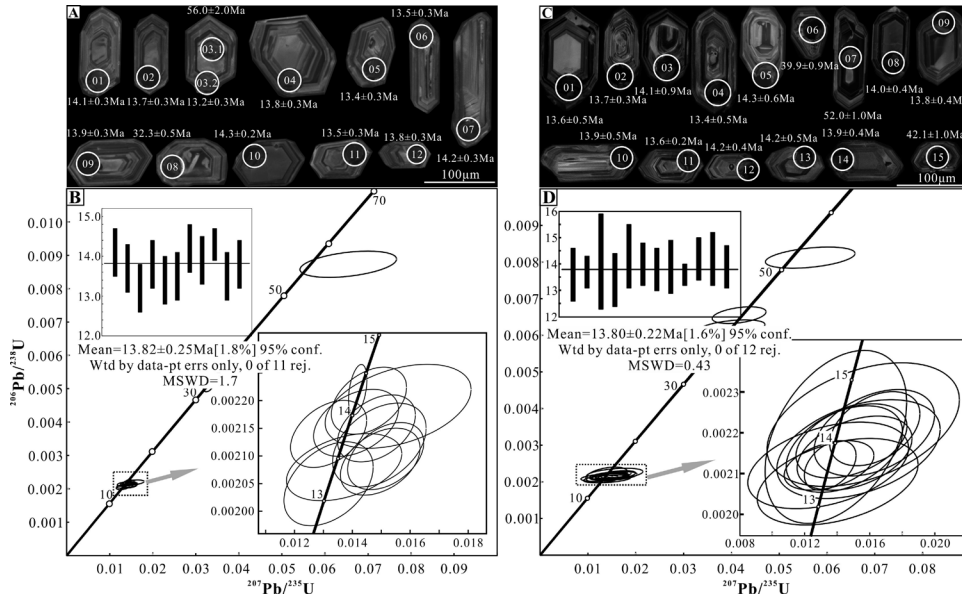


图3 拿查斑岩锆石阴极发光 (A) 和 U-Pb 分析图解 (B) 及查布斑岩阴极发光 (C) 和 U-Pb 分析图解 (D)

表2 拿查和查布斑岩 LA-ICP-MS 锆石测点微量元素含量分析结果

测点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Hf	Y	δ Ce	δ Eu
NC-01	8.15	185.83	2.00	14.71	17.73	4.55	59.08	16.17	145.96	50.29	188.67	38.59	352.88	62.46	4704.0	6836.4	1379.9	11.08	0.43
NC-02	<0.03	62.72	0.26	4.23	6.90	2.34	21.54	6.12	52.34	17.05	63.60	13.62	132.77	23.68	1553.3	8658.9	502.4	-	0.59
NC-03.1	0.04	14.90	0.08	0.96	2.40	0.82	12.41	5.07	59.09	24.97	109.25	25.57	255.83	49.45	192.3	6635.3	692.0	63.80	0.46
NC-03.2	9.87	91.70	3.29	22.17	19.10	5.02	59.08	15.80	135.82	43.96	156.87	31.60	279.59	48.31	1393.9	7297.6	1187.9	3.87	0.46
NC-04	1.31	30.73	0.26	1.27	1.49	0.62	6.72	2.06	22.49	9.34	42.68	10.93	123.94	27.17	558.6	9543.0	306.5	12.60	0.60
NC-05	2.39	67.15	0.97	8.84	10.86	2.88	32.58	8.56	74.89	24.57	94.04	20.46	200.28	37.94	1648.2	7517.5	717.7	10.64	0.47
NC-06	1.74	140.23	1.91	27.91	36.34	7.09	92.82	21.80	161.66	46.51	155.21	29.63	263.79	46.27	2982.2	7776.6	1235.8	18.51	0.37
NC-07	<0.04	32.21	0.05	0.85	1.73	0.69	8.67	3.00	32.43	13.81	65.27	16.98	200.85	45.82	680.6	8698.8	463.8	-	0.54
NC-08	41.36	221.55	12.63	58.32	14.28	2.73	26.46	6.04	54.31	17.72	71.84	15.37	147.58	29.15	6315.4	7330.3	616.2	26.29	0.25
NC-09	0.62	30.91	0.19	1.42	1.89	0.67	7.18	2.06	20.33	8.02	35.94	9.17	104.21	23.79	635.0	8493.5	268.5	21.87	0.56
NC-10	0.15	53.94	0.17	2.40	4.38	1.30	17.29	5.09	47.06	16.23	66.33	15.19	157.98	30.93	942.8	8006.1	495.9	80.09	0.46
NC-11	1.41	42.37	0.48	3.52	4.69	1.28	17.14	5.31	53.00	20.46	90.25	22.04	240.25	50.57	821.7	8634.6	636.7	12.45	0.44
NC-12	<0.04	116.24	0.23	4.57	8.02	2.14	29.01	8.51	82.45	30.74	126.15	28.51	289.01	56.16	2866.1	8581.1	886.2	-	0.43
CB-01	0.45	29.71	0.19	1.88	2.18	0.62	6.23	1.93	19.56	7.33	35.95	8.64	93.62	22.29	633.5	9110.5	256.8	24.58	0.51
CB-02	1.06	114.19	0.74	7.59	9.84	2.86	35.87	10.42	100.27	33.05	133.15	27.27	256.38	46.72	9557.6	6888.8	1077.9	31.03	0.47
CB-03	2.71	32.37	0.79	6.82	4.81	1.95	19.47	5.27	51.65	16.99	74.78	15.00	155.08	31.84	735.6	8059.4	560.0	5.32	0.62
CB-04	0.31	25.49	0.18	1.58	4.46	1.02	34.20	15.24	168.56	63.24	254.98	55.46	524.47	91.93	1085.7	12099.0	1714.2	26.29	0.25
CB-05	20.46	137.95	4.51	27.46	26.72	5.35	73.87	17.62	152.94	44.48	169.70	32.62	299.24	56.95	2500.1	8127.2	1305.2	3.46	0.37
CB-06	0.78	93.89	0.36	4.24	7.67	0.58	37.36	13.98	163.43	58.80	249.02	50.48	465.43	86.03	1369.1	9780.7	1705.6	42.65	0.10
CB-07	12.78	94.21	5.15	24.48	6.88	0.54	13.86	4.04	48.47	19.37	94.57	22.19	224.23	46.58	257.6	9608.4	607.4	2.39	0.17
CB-08	30.12	46.95	5.84	22.45	5.67	1.16	10.01	2.90	30.63	11.57	56.63	14.92	175.97	42.39	884.9	9670.2	420.5	0.71	0.47
CB-09	1.90	44.70	0.42	3.07	4.12	1.17	13.32	4.13	41.64	15.11	68.78	15.72	161.74	38.02	832.3	7836.4	520.7	12.00	0.48
CB-10	0.22	22.94	<0.135	<1.11	1.14	0.38	5.82	2.06	24.35	10.08	51.60	13.84	168.91	40.46	572.0	10624.7	451.2	-	0.45
CB-11	4.11	73.98	1.05	5.85	5.10	1.27	14.71	4.23	44.31	16.66	78.66	18.54	221.01	52.24	1511.2	9960.6	634.8	8.57	0.45
CB-12	<0.15	43.61	<0.11	<1.23	2.44	0.87	11.20	3.23	33.54	12.07	59.64	14.49	163.14	38.79	901.5	9648.7	439.1	-	0.51
CB-13	<0.19	26.75	<0.12	0.97	1.50	0.59	6.71	1.69	20.35	7.79	37.72	9.74	119.65	28.00	570.9	9397.9	277.9	-	0.57
CB-14	<0.16	43.83	0.13	1.64	3.72	1.00	13.58	4.04	42.48	16.28	74.73	17.29	208.58	46.55	893.2	9464.8	544.5	-	0.43
CB-15	2.51	26.07	1.13	5.92	5.66	0.48	19.27	6.27	68.42	25.19	111.52	23.59	235.51	49.51	376.7	9238.9	755.0	3.73	0.14

说明: δ Ce=Ce_N/(La_N×Pr_N)^{0.5}; δ Eu=Eu_N/(Sm_N×Gd_N)^{0.5}; “-”表示低于达检测限。

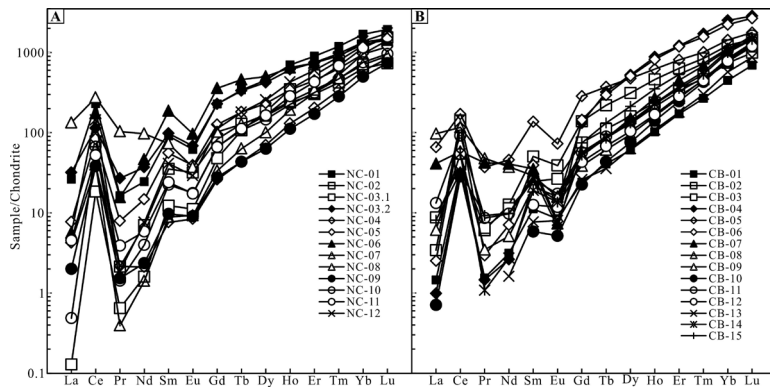


图4 拿查斑岩 (A) 和查布斑岩 (B) 锆石测点稀土元素球粒陨石标准化配分模式图 (球粒陨石数据自文献^[32])

四、讨论

本次研究获得的拿查斑岩和查布斑岩的结晶年龄分别为 13.82 ± 0.25 Ma ($n=11$, MSWD=1.7)、 13.80 ± 0.22 Ma ($n=12$, MSWD=0.43), 与南冈底斯斑岩矿带的朱诺、白容、总训、冲江、厅宫、达布(南木)、拉抗俄、驱龙、向背山、夏马日和吹败子等斑岩型矿床以及甲玛矽卡岩型矿床的成矿时代(17~12 Ma)^[1,33-41]非常一致, 显示出该成矿带在印度-亚洲陆陆碰撞的后碰撞伸展阶段岩浆活动空间上的连续性, 暗示与斑岩活动有关的成矿作用的连续性。两套斑岩锆石的U/Yb-Hf和U/Yb-Y图解^[42](图5)显示, 这些锆石结晶于陆壳环境, 与南冈底斯斑岩矿带的形成环境一致。同时, 锆石的 δ Eu为0.37~0.62, 集中于0.40~0.60, δ Ce为3.73~63.80, 与南冈底斯斑岩成矿斑岩锆石的值^[31,43]接近, 也显示出含矿潜力。但目前为止, 本次研究的申扎-定结南北向构造带中北段尚未见有成规模的后碰撞阶段形成的矿床正式报道, 仅在该区域东西两侧分别发现了吉如和朱诺。但在区域的成矿条件和矿床保存条件上, 区内是有找矿潜力的。

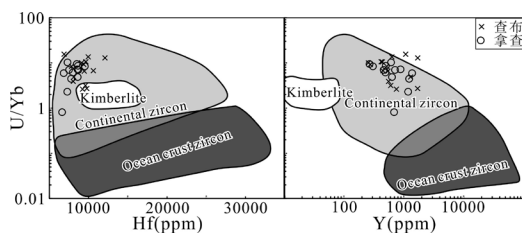


图5 查布斑岩和拿查斑岩锆石结晶环境图解(底图据文献^[42])

在成矿带尺度上, 申扎一定结南北向构造带中段正好位于南冈底斯斑岩矿带中, 而本次研究也已证实了成矿期岩浆活动的空间上的连续性, 斑岩体周围的矿化线索也显示出一定的成矿潜力。

在矿床的空间分布上, 查布斑岩点位于朱诺矿床和吉如矿床之间, 暗示该区应有一定潜力。同时, 申扎一定结南北向构造的南段在特提斯喜马拉雅南缘将藏南拆离断裂右行错动了约30 km, 虽然其中北段的运动情况不甚明了, 但右行的总体趋势暗示位于构造带东盘的矿床位置可能略偏南侧, 因此拿查附近的成矿潜力值得期待。

在矿床的剥蚀和保存条件上, 对位于申扎一定结南北向构造带中北段中形成于晚白垩-古新世的恰功矽卡岩型Fe-Pb-Zn(-Ag-Cu)多金属矿床的成矿深度的研究显示, 其目前地表以下约90 m处即约4 800 m标高位置的成矿古深度为7 km, 矿体的剥蚀程度可能较高^[44]。对形成于早侏罗世的雄村斑岩-浅成低温热液型矿床成矿流体的研究显示, 其地表400 m以浅矿体形成的古深度为1~2 km^[45], 显示其剥蚀程度并不高。本次研究的新发现的拿查和查布斑岩位于恰功和雄村之间, 形成时代更为年轻, 暗示其剥蚀程度可能更低。同时, 构造带北段还保存有后碰撞伸展阶段形成的甲岗矿床, 也显示该阶段的形成矿床具备在申扎一定结南北向构造中保存的条件。

1:25万区域地质调查的成果显示(图1), 申扎一定结南北向构造中北段主要的地质体为南冈底斯火山岩浆弧的岩基, 大面积出露的侵入岩时代为50 Ma左右^[46], 而本应覆盖其上林子宗群火山岩则剥蚀殆尽, 残留少量早白垩世沉积岩。从围岩条件出发, 区内寻找的矿床类型应以斑岩型和浅成低温热液型为主, 热液脉型和矽卡岩型矿化可能尽在那扎附近有一定潜力, 矿种上则应以Cu为主。

已有的对形成于陆内环境的南冈底斯斑岩矿带中的矿床的矿体-蚀变研究显示, 这些矿床的蚀变分带与产于弧环境下的斑岩型矿床蚀变分带形式相似, 从成矿岩体中心向两侧依次出现强硅化、钾硅化、石英-绢云母化、泥化以及青磐岩化^[1,36,47-49]。但可能由于目前区内矿体和成矿岩体的剥蚀程度尚浅, 这一分带

未在地表出露,也给区内的找矿带来了困难,新的解释手段亟待开发应用。

此外,本次研究发现的继承锆石核中保留的40 Ma左右的岩浆和变质成因锆石。而在南冈底斯斑岩矿带南侧更靠近缝合带的位置上,还发生了可能与晚碰撞阶段走滑系统有关的斑岩成矿作用,形成了冲木达^[50]等矿床。而这一作用在冈底斯斑岩矿带是否也有相关地质事件响应目前尚未见报道。这些继承锆石的发现也为研究冈底斯在晚碰撞阶段的岩浆构造活动打开了窗口。

五、结论

1. 本次研究通过LA-ICP-MS锆石U-Pb分析确定,申扎一定结南北向构造带中段新发现的拿查和查布斑岩分别侵位结晶于 13.82 ± 0.25 Ma($n=11$, MSWD=1.7)和 13.80 ± 0.22 Ma($n=12$, MSWD=0.43)。上述年龄与南冈底斯斑岩成矿带内矿床的成矿时代和成矿斑岩成岩时代一致,填补了该成矿带西段朱诺至

吉如间100多千米的空白。

2. 拿查和查布斑岩中约14 Ma的岩浆锆石结晶于陆壳环境,其强烈的 δ Eu负异常和 δ Ce正异常特征表明锆石在氧逸度较高的岩浆中结晶时长石也在结晶,显示拿查和查布斑岩出与南冈底斯斑岩矿带内成矿斑岩相似的地球化学特征。

3. 申扎一定结南北向构造带中段矿床的保存条件尚可,具有进一步工作寻找与后碰撞伸展阶段斑岩活动有关斑岩型-浅成低温热液型矿化的潜力。

4. 拿查和查布斑岩中约40 Ma的变质成因和岩浆成因继承锆石核的发现表明南冈底斯在晚碰撞阶段可能也有构造-岩浆活动。

【致谢:本次研究的野外工作得到了西藏泰盛公司赵洪昌经理的大力帮助,LA-ICP-MS分析得到了西北大学柳晓明老师的大力帮助,在此一并表示感谢。】

参考文献:

- [1] 侯增谦,郑远川,杨志明,等.大陆碰撞成矿作用: I.冈底斯新生代斑岩成矿系统[J].矿床地质,2012,31(4): 647-670.
- [2] 唐菊兴,黎凤佳,李志军,等.西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限: 锆石U-Pb、辉钼矿Re-Os年龄的证据[J].矿床地质,2010,29(3): 461-475.
- [3] 刘波,董随亮,李光明,等.西藏斯弄多铅锌矿岩体地球化学特征及年龄地质意义[J].矿床地质,2010,29(s1): 472-473.
- [4] 李应翔,谢玉玲,陈伟,等.西藏恰功铁矿二长花岗斑岩锆石的U-Pb年代学与地球化学特征及意义[J].岩石学报,2011,27(7): 2023-2033.
- [5] 孙祥,郑有业,游智敏,等.冈底斯二期叠加斑岩铜矿化: 以西藏吉如斑岩铜矿床为例[J].矿床地质,2013,31(S): 1061-1062.
- [6] 郑有业,张刚阳,许荣科,等.西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成矿时代约束[J].科学通报,2007,52(21): 2542-2548.
- [7] 葛良胜,邹依林,邢俊兵,等.西藏冈底斯地块北部甲岗雪山钨钼铜金多金属矿产地的发现及意义[J].地质通报,2004,23(22): 1033-1039.
- [8] ZHU D C, ZHAO Z D, NIU Y L, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 301(1-2): 241-255.
- [9] ZhANG J J, GUO L, DING L. Structural characteristics of middle and southern Xainza-Dinggye Normal Fault System and its relationship to Southern Tibetan Detachment System[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(13): 1063-1069.
- [10] 李才,翟庆国,徐锋,等.西藏查藏错-申扎南北向活动构造带运动学特点[J].地质论评,2005,51(4): 353-359.
- [11] 程立人,李才.西藏1/25万申扎幅(H45C002004)区域地质调查报告[R].长春:吉林大学地质调查院,2005.
- [12] 西藏自治区地质矿产厅.1:20万谢通门幅区域地质调查报告[R].拉萨:西藏自治区地质矿产厅,1996.
- [13] YIN A, HARRISON T M, RYERSON FJ, et al. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(B9): 18175-18201.
- [14] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003,10: 135-148.
- [15] 王明,李才,董永胜,等.西藏谢通门斯弄多地区新生代逆冲推覆构造的基本特征[J].地质通报,2010,29(12): 1851-1856.
- [16] 王治华,王科强,喻万强,等.西藏申扎县甲岗雪山钨钼(铋)多金属矿床的Re-Os同位素年龄及其意义[J].安徽地质,2006,16(2): 112-115.
- [17] 孟祥金,侯增谦,叶培盛,等.西藏冈底斯银多金属矿化带的基本特征与成矿远景分析[J].矿床地质,2007,26(2): 153-162.
- [18] 于玉帅,杨竹森,多吉,等.西藏加多捕勒铁铜矿成矿岩体时代与成因: 锆石U-Pb年龄、Hf同位素与稀土元素证据[J].矿床地质,2011,30(3): 420-434.
- [19] 杨勇,罗泰义,黄智龙,等.西藏纳如松多银铅矿S、Pb同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J].矿物学报,2010,30(3): 311-318.
- [20] 纪现华,杨竹森,于玉帅,等.西藏纳如松多铅锌矿床成矿岩体

- 形成机制: 岩浆锆石证据[J]. 矿床地质, 2012, 31(4): 758-774.
- [22] 郎兴海, 唐菊兴, 陈毓川, 等. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 II 号矿体中辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 矿物岩石, 2010, 30(4): 55-61.
- [23] YUAN H L, WU F Y, GAO S, et al. Determination of U-Pb age and rare earth element concentration of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2411-2421.
- [24] YUAN H L, GAO S, LIU X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(3): 353-370.
- [25] YUAN H L, GAO S, DAI M N. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser ablation quadrupole and multiple collector ICP-MS[J]. *Chemical Geology*, 2008, 247(1): 100-117.
- [26] WIEDENBECK M, ALLE P, CORFU F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards Newsletter*, 1995, 19: 1-23.
- [27] VAN ACHTERBERGH E, RYAN C, JACKSON S, et al. Appendix 3 data reduction software for La-ICP-MS in "Laser-Ablation-ICPMS in the Earth Sciences" [C]//SYLVESTER P. *Mineralogical Association of Canada Short Course*, 2001, 29: 239-243.
- [28] ANDERSON T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.
- [29] LUDWIG R K. User's manual for Isoplot 3.70[J]. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 2008, (4): 1-76.
- [30] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究-高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. 地学前缘, 2001, 8(3): 183-191.
- [31] HOSKIN P W O, SCHALTEGGER U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53(1): 27-62.
- [32] 辛洪波, 曲晓明. 西藏冈底斯斑岩铜矿带含矿岩体的相对氧化状态: 来自锆石 Ce(IV)/Ce(III) 比值的约束[J]. 矿物学报, 2008, 28(2): 152-160.
- [33] BOYNTON W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[A]. Henderson P (ed). *Rare Earth Element Geochemistry*[M]. *Elsevier Science*, 1984: 63-114.
- [34] 李光明, 芮宗瑶. 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, 2004, 28(2): 165-170.
- [35] 李光明, 刘波, 屈文俊, 等. 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, 2005, 29(4): 482-490.
- [36] 李光明, 芮宗瑶, 王高明, 等. 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, 2005, 24(5): 481-489.
- [37] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2003, 33(7): 609-618.
- [38] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 629-651.
- [39] 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 217-225.
- [40] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 西藏冈底斯东段斑岩铜铅锌成矿系统的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 246-252.
- [41] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 660-666.
- [42] 李金祥, 秦克章, 李光明, 等. 冈底斯中段尼木斑岩铜矿田的 K-Ar、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄: 对岩浆-热液系统演化和成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 953-966.
- [43] GRIMES C B, JOHN B E, KELEMEN P B, et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. *Geology*, 2007, 35(7): 643-646.
- [44] 罗茂澄, 王立强, 冷秋锋, 等. 邦铺钼(铜)矿床二长花岗岩斑岩、黑云二长花岗岩锆石 Hf 同位素和 Ce⁴⁺/Ce³⁺ 比值[J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 266-278.
- [45] 谢玉玲, 李应翔, David R COOKE, 等. 西藏恰功铁岩岩浆演化序列及斑岩出溶流体特征[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1869-1886.
- [46] 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 等. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25(3): 243-251.
- [47] 纪伟强, 吴福元, 鍾孙霖, 等. 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), 2009, 39(7): 849-871.
- [48] 侯增谦, 潘小非, 杨志明, 等. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 2007, 31(2): 332-351.
- [49] 杨志明, 侯增谦. 初论碰撞造山环境斑岩铜矿成矿模型[J]. 矿床地质, 2009, 28(5): 515-538.
- [50] 侯增谦, 杨志明. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1779-1817.
- [51] 李光明, 刘波, 余宏全, 等. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用: 来自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1481-1486.

(责任编辑: 张国瑞)