三江北段纳日贡玛黑云母花岗斑岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及其地质意义

宋忠宝[1], 贾群子[1], 张雨莲[1], 陈　博[1], 陈向阳[1],
王富春[2], 田永革[2], 栗亚芝[1], 张晓飞[1], 全守村[1]
SONG Zhong-bao[1], JIA Qun-zi[1], ZHANG Yu-lian[1], CHEN Bo[1], CHEN Xiang-yang[1],
WANG Fu-chun[2], TIAN Yong-ge[2], LI Ya-zhi[1], ZHANG Xiao-fei[1], QUAN Shou-cun[1]

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
2. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012
1. *Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*
2. *Qinghai Geological Survey Institute, Xining 810012, Qinghai, China*

摘要: 西南三江北段是青海省重要的斑岩型铜钼矿成矿带, 纳日贡玛铜钼矿是近年来在三江北段发现的与侵入岩有关的斑岩型铜钼矿。利用锆石 U-Pb 方法测得纳日贡玛黑云花岗斑岩的形成年龄为 41.53Ma ±0.24Ma, 属于喜马拉雅早期。纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代主要在 40.86~40.80Ma 之间。在多期热液叠加、多期成矿作用中, 纳日贡玛斑岩型铜钼矿的热液应是纳日贡玛黑云花岗斑岩(41.53Ma ±0.24Ma)和纳日贡玛斜长花岗斑岩(41.00Ma ±0.18Ma)共同提供的。由于该区有较多的中酸性岩体存在, 因而确定这些侵入体的形成年龄, 对于在该区寻找同时代的斑岩型铜钼矿有重要的理论意义和现实意义。

关键词: 黑云花岗斑岩; 铜钼矿; 成岩时代; 三江北段
中图分类号: P597+.3　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1671-2552(2012)02/03-0439-09

Song Z B, Jia Q Z, Zhang Y L, Chen B, Chen X Y, Wang F C, Tian Y G, Li Y Z, Zhang X F, Quan S C. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Narigongma biotite granite porphyry in northern Sanjiang region and its geological significance. *Geological Bulletin of China,* 2012, 31(2/3):439-447

Abstract: Narigongma biotite granite porphyry in northern Sanjiang region is an important porphyry type copper-molybdenum mineralization belt in Qinghai Province, and the Narigongma copper-molybdenum deposit is an intrusion-related porphyry type ore deposit recently discovered in northern Sanjiang region. The authors obtained the zircon U-Pb age of 41.53±0.24Ma for Narigongma biotite granite porphyry, which should belong to early Himalayan period. The main metallogenic age is between 40.86 and 40.8 Ma. In multi-phase hydrothermal superimposition and mineralization, the hydrothermal solution of the Narigongma porphyry copper-molybdenum deposit must have been derived from biotite granitite porphyry of 41.53±0.24 Ma and plagioclase granite porphyry of 41.0±0.18Ma. In virtue of existence of many intermediate-acid intrusive rocks, the age determination of these intrusive is not only of theoretical importance but also of practical significance in search for porphyry type copper-molybdenum deposits of the same epoch.

Key words: biotite granitite porphyry; Cu-Mo deposit; metallogenic age; northern Sanjiang region

收稿日期: 2011-10-31; **修订日期**: 2012-02-08
资助项目: 中国地质调查局项目《青海省地质调查综合研究》(编号: 1212010918044)和《青海省岩浆岩时空分布与成矿作用研究》(编号: 1212011121089)
作者简介: 宋忠宝(1963-), 男, 硕士, 研究员, 从事青藏高原地区岩石矿产及同位素地质年代学研究。E-mail: szhongbao@cgs.cn

青海省位于中国西部腹地，地处青藏高原东北部，跨古亚洲和特提斯-喜马拉雅两大成矿域，分布有祁连山、柴北缘、东昆仑、西南三江北段等重要的成矿带。西南三江北段是青海省重要的斑岩型铜钼矿成矿带[1]，与西藏玉龙铜矿带处于同一成矿带上。近年来，青海地调院在该区发现了纳日贡玛、陆日格、众根涌、昂拉赛么能、哼赛青等矿床(点)。矿化与喜马拉雅期黑云母二长花岗斑岩、黑云母花岗斑岩、似斑状黑云母花岗岩有关。有关纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代已有报道[2-4]，不同学者对有关斑岩和矿床进行了较为深入的岩石学、岩石地球化学和同位素年代学研究，获得了一些重要的研究成果[5-8]。本文仅对与矿体有关的纳日贡玛黑云母花岗斑岩岩体的成岩时代进行研究。

1 岩体产出的地质环境

纳日贡玛黑云母花岗斑岩行政区划属于青海省杂多县，境内交通条件不便。该岩体位于三江成矿带的西北端。区内出露的地层为下二叠统开心岭群下岩组紫红灰绿色玄武岩，顶底为杂色玄武质凝灰集块岩、凝灰岩、玄武岩，局部相变为安山玄武岩、玄武安山岩。区内构造十分发育，主要有4组断裂，一组为北东方向，一组为北北东方向，其余2组为近南北向和近东西向。斑岩体出露于格龙涌上游纳日贡玛地区，长轴走向北北东向，呈不规则“√”状小岩株。侵入体空间上呈冠大径细的“蘑菇”状，形态特征与玉龙斑岩体极为相似。矿体赋存于岩体内部及其与围岩的接触带，形态呈带状、厚板状、不规则状。共圈定具一定规模的铜钼矿体17条，近年资源量估算合计铜金属量26.6×10^4t，钼金属资源量10.6×10^4t[2]。

2 岩体地质特征和岩相学特征

纳日贡玛斑岩型铜钼矿床位于纳日贡玛黑云母花岗斑岩中，区内出露的岩浆岩有喜马拉雅期的纳日贡玛花岗斑岩(即纳日贡玛黑云母花岗斑岩、斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩)(图1)。三者之间的关系为：纳日贡玛含矿斑岩体主体部分是黑云母花岗斑岩，少部分为规模较小、生成时代稍晚的花岗闪长斑岩。岩石具有岩相变化，主要表现是矿物粒度、钾长石与斜长石含量比的变化。岩体东枝南端矿物粒度较粗，向西矿物粒度变细，钾长石含量也有减少的趋势。岩体西边缘岩石相变为花岗闪长斑岩，岩体东枝北段和东西枝交汇处局部相变为斜长花岗斑岩(图1)。

纳日贡玛岩体以黑云母花岗斑岩为主(图版Ⅰ-a、b)，次有花岗闪长斑岩。黑云母花岗斑岩呈不规则状小岩株，走向北北东，最大长度1.85km，南段最宽1.15km，面积0.96km^2，南界产状347°∠55°，西界产状225~260°∠55~75°，东接触带产状290°∠75°。岩体具绢云母化、硅化等蚀变，斑岩体是矿区铜钼矿化的母岩，除已构成矿体外，岩体普遍具弱的铜钼矿化。围岩普遍青磐岩化、黄铁矿化。

黑云母花岗斑岩：黄白色，块状构造、斑状结构(图版Ⅰ-a、b、c)，主要有斜长石、石英、黑云母。斑晶含量40%~50%，以斜长石为主，单晶或者聚晶(图版Ⅰ-d、e)，个别聚晶巨大，还出现少量石英。可见酸性斜长石包裹交代中酸性斜长石，斜长石围绕碎屑核长大增生，甚至出现环带构造(图版Ⅰ-d)。斑晶中还出现一定数量的交代条纹长石(图版Ⅰ-h)，粒径粗大，可能是标本中的肉红色斑晶。除了长石斑晶外，还见有石英、黑云母斑晶(图版Ⅰ-f、g)，石英可见被基质交代和溶蚀，黑云母叶片状，被基质交代，但也见黑云母由鳞片状集合体发育而来。基质由石英和斜长石组成，具粒状变晶结构，一般粒度小于0.1mm。但在基质中也出现0.1~0.5mm的半自形—它形斜长石与自形—半自形斑晶过渡，在基质中仍能见变余砂状结构的踪迹。薄片中可见较多锆石。

斜长花岗斑岩：岩石呈黄白色，块状构造、斑状结构，主要有斜长石、石英、黑云母。斑晶含量50%~60%，基质含量40%~50%，粒径分别为0.5~5 mm和0.1~0.3mm。斑晶主要为斜长石，其次为石英，含少量黑云母。斜长石较复杂，有的具板粒状，但内部似几个颗粒重结晶，外围有生长环带，有的内部有斜长石碎屑包裹体。有的似碎屑状变晶，往往有绢云母化，有的有碎屑状内核，外形见板柱状生长，有的为半自形板柱状，与花岗岩中的斜长石一样。石英斑晶形成较早，内部干净，有的系多个晶粒聚合。黑云母叶片状，红褐色，常有金属矿物伴生。基质由石英和斜长石组成，具粒状变晶结构，单偏光下见变余碎屑结构，斜长石一般为它形，少部分半自形。可以看到石英碎屑增长，有的数颗粒连合而光性趋同，长石也可见类似的现象。

花岗闪长斑岩：也有学者称之为浅色细粒花岗

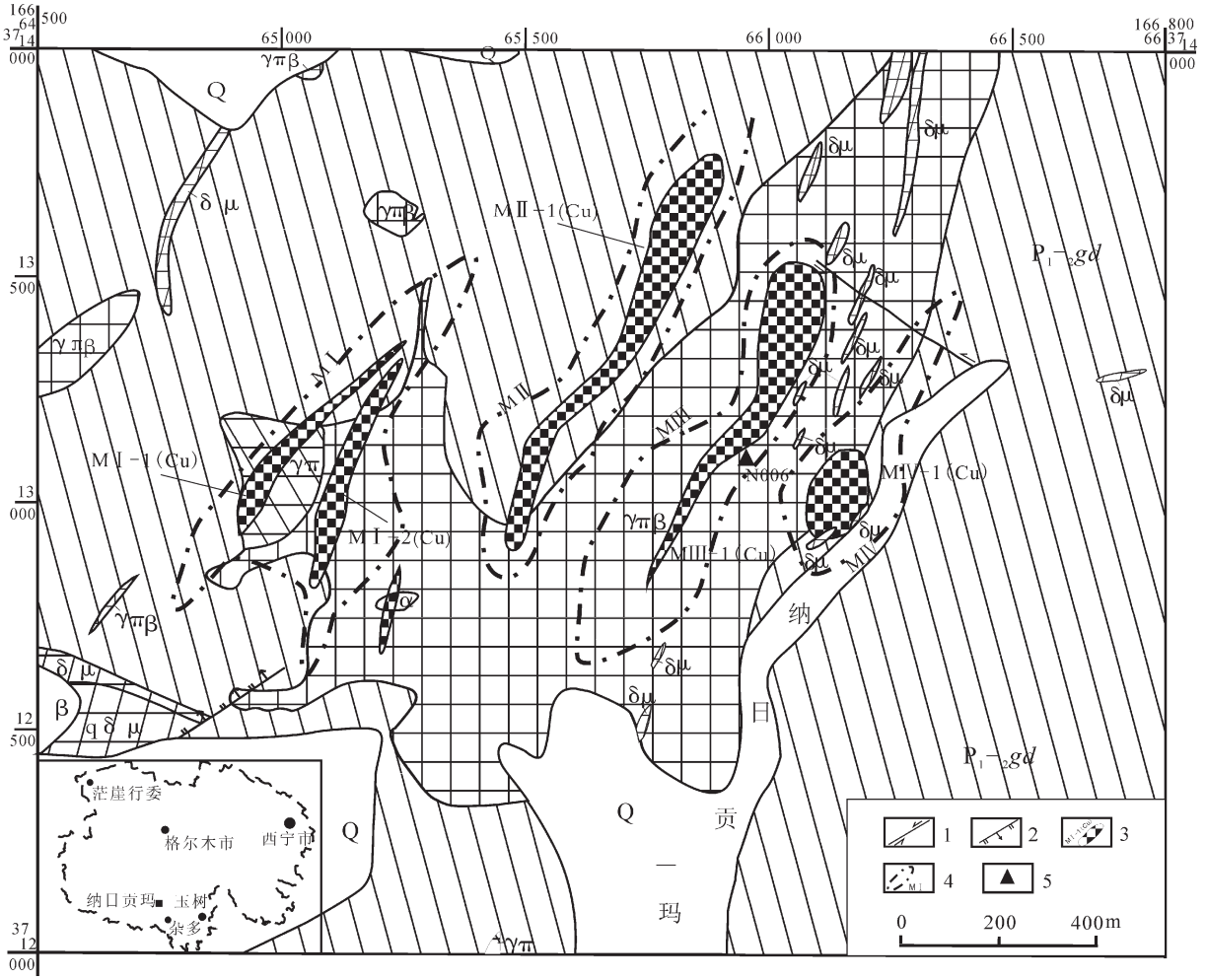


图 1　纳日贡玛斑岩地质略图

Fig. 1　Geological sketch map of Narigongma porphyry

Q—第四系;$P_{1-2}gd$—早中二叠世尕笛考组;γπβ—黑云母花岗斑岩;γπ—花岗闪长斑岩;δμ—闪长玢岩脉;qδμ—石英闪长玢岩脉;α—安山岩;β—玄武岩;1—平移断层;2—正断层;3—矿体及编号;4—铜钼矿化带;5—采样位置

斑岩,面积仅有 0.038km^2,块状构造、斑状结构,主要矿物为斜长石、石英、黑云母、角闪石。

3　同位素测试方法和结果

3.1　样品采集和测试结果

样品采自纳日贡玛黑云花岗斑岩中(采样位置见图 1),岩石中锆石的分选工作由河北省廊坊区域地质调查所实验室完成。首先用水将样品表面清洗、晾干、粉碎至 80 目,然后用水粗淘、强磁分选、电磁分选和用酒精细淘之后, 在实体显微镜下手工挑选锆石,锆石的基本特征见表 1 和图 2。

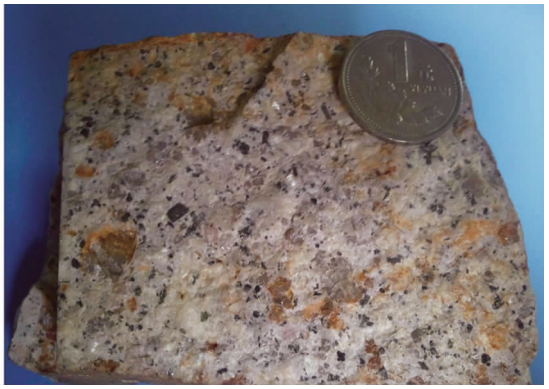
锆石的制靶工作是在北京奥金顿科技有限公司完成的,在实体显微镜下挑选裂隙相对少、表面尽量洁净、透明度相对较高的锆石约 100 粒制作环氧树脂样品靶,并对其进行打磨和抛光。锆石的阴极发光图像照相在北京离子探针中心完成, 锆石的反射光和透射光图像拍摄在天津地质矿产研究所同位素实验室完成。

锆石 U-Pb 测年在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)完成。激光烧蚀接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)系统的多接收器电感耦合等离子体质谱仪为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune, 其离子光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦设计,并采用动态变焦(Zoom)使质量色散达到 17%; 仪器配有 9 个法拉第杯接收器

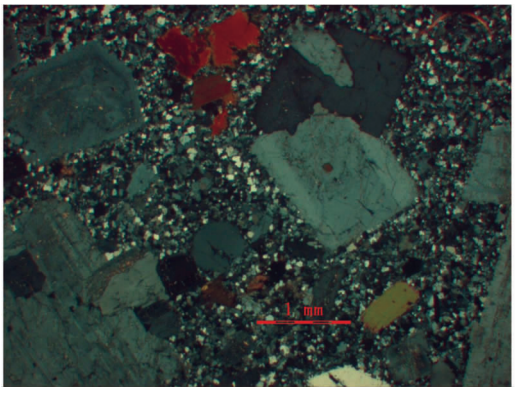
图版 I Plate I



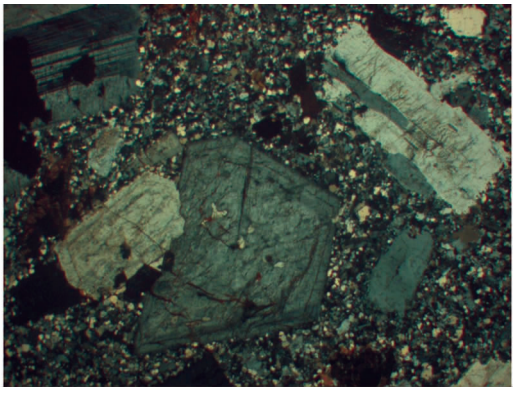
a. 黑云母花岗斑岩



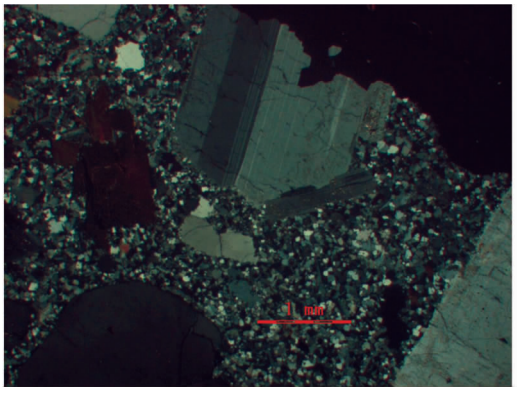
b. 黑云母花岗斑岩



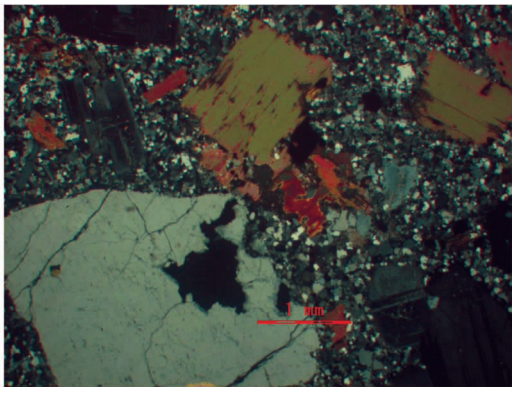
c. 斑状结构



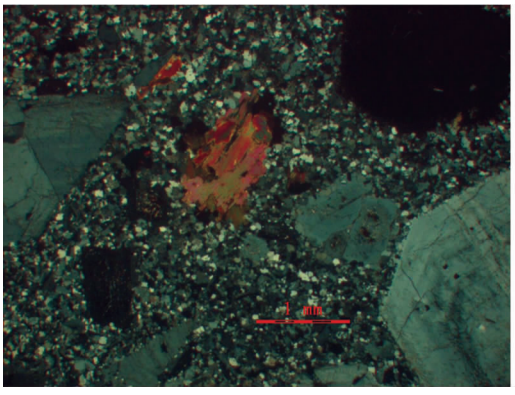
d. 板条状斜长石斑晶的复合双晶、环带结构



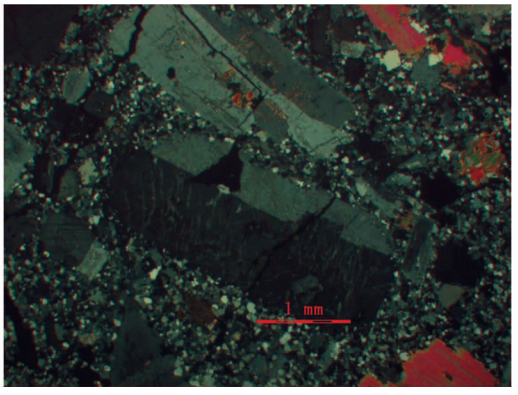
e. 板条状斜长石斑晶的复合双晶



f. 黑云母、石英斑晶



g. 黑云母



h. 斜长石、条纹长石

表 1　纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石基本特征

Table 1　Zircon basic features of biotite granitite porphyry in Narigongma

颜 色	晶 形	透明度及光泽	熔 蚀 裂 纹	粒径/mm
以浅黄色为主，浅棕黄色、无色次之	自形粒状和双锥柱状为主，不规则粒状次之	多数透明玻璃光泽	晶体轮廓清晰，晶面光滑少数呈麻面，裂纹不发育	0.15×0.10~0.10×0.05 长宽比：4.5∶1~2∶1

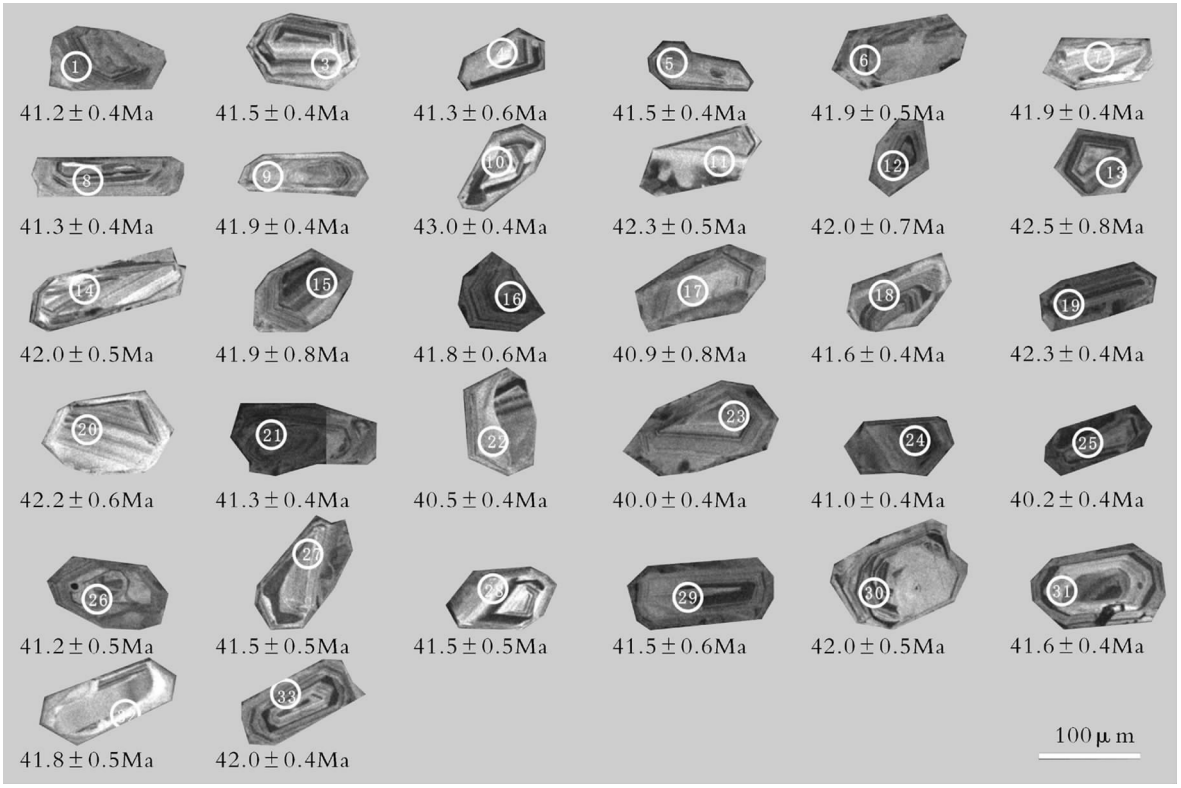


图 2　纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石 CL 图像

Fig. 2　CL images of zircon from Narigongma biotite granitite porphyry

和 4 个离子计数器接收器，除了中心杯和离子计数器外,其余 8 个法拉第杯配置在中心杯的两侧,并以马达驱动进行精确的位置调节,4 个离子计数器捆绑在 L4 法拉第杯上。与等离子质谱仪配套的进样设备激光器为美国 ESI 公司生产的 UP193-FX ArF 准分子激光器，激光波长为 193nm，脉冲宽度小于 5ns,束斑直径为 1、2、10、20、25、35、50、75、76、100 和 150(μm)可调,脉冲频率 1~200Hz 连续可调。本次测定工作根据锆石阴极发光照片和反射光、透射光照片选择锆石的合适的测年晶域,利用 193nm 准分子激光器对锆石进行剥蚀，激光剥蚀采用的斑束直径为 35μm，激光能量密度为 10~11 J/cm^2，频率为 8Hz,激光剥蚀物质以 He 为载气送入 Neptune 电感耦合等离子体质谱仪,在 8000℃以上的高温等离子体中离子化,从而进行锆石微区 U-Pb 同位素测定。采用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正[9-10],采用中国地质大学 Liu 等[11]研发的 ICPMSDataCal 程序和 Ludwig[12]的 Isoplot 程序[12]进行数据处理，采用 ^{208}Pb 校正法对普通铅进行校正[13]。利用 NIST610 玻璃标样作为外标,计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。LA-MC-ICPMS 年龄测定实验条件和关键参数：接收器设置 L4,^{204}Pb;L3,^{206}Pb;L2,^{207}Pb;L1,^{208}Pb;C,219.26;H2,^{232}Th;H4,^{238}U。冷却气体 16 L/min，辅助气体 0.75 L/min,Ar 载气 0.895 L/min,He 载气 0.86 L/min。RF 功率1251W，积分时间为 0.131s,样品信号采集时间 60s(其中 20s

表 2 纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2 U-Th-Pb isotope determination results of zircons from Narigongma biotite granite porphyry

样号	含量/10^{-6}		同位素比值										年龄/Ma					
N006	Pb	U	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{232}Th/^{238}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ
1	17	2527	0.0064	0.0001	0.0428	0.0027	0.0483	0.0029	0.0020	0.0000	0.5159	0.0038	41.2	0.4	42.5	2.7	116	140
3	10	1458	0.0065	0.0001	0.0425	0.0039	0.0477	0.0043	0.0022	0.0001	0.5391	0.0094	41.5	0.4	42.3	3.9	86	210
4	13	1736	0.0064	0.0001	0.0430	0.0037	0.0485	0.0040	0.0022	0.0000	0.7228	0.0037	41.3	0.6	42.8	3.7	125	190
5	17	2435	0.0065	0.0001	0.0435	0.0027	0.0489	0.0029	0.0024	0.0000	0.5890	0.0091	41.5	0.4	43.2	2.7	142	140
6	14	1947	0.0065	0.0001	0.0432	0.0035	0.0481	0.0037	0.0020	0.0000	0.6226	0.0045	41.9	0.5	43.0	3.5	104	180
7	13	1789	0.0065	0.0001	0.0447	0.0045	0.0498	0.0049	0.0024	0.0001	0.5935	0.0111	41.9	0.4	44.4	4.5	184	220
8	10	1325	0.0064	0.0001	0.0461	0.0050	0.0521	0.0055	0.0025	0.0001	0.7460	0.0113	41.3	0.4	45.8	5.0	290	240
9	9	1234	0.0065	0.0001	0.0433	0.0059	0.0482	0.0063	0.0023	0.0001	0.8738	0.0282	41.9	0.4	43.1	5.8	110	300
10	12	1757	0.0067	0.0001	0.0407	0.0032	0.0442	0.0034	0.0018	0.0000	0.6431	0.0129	43.0	0.4	40.5	3.2	–	–
11	10	1460	0.0066	0.0001	0.0428	0.0043	0.0471	0.0046	0.0020	0.0001	0.4959	0.0234	42.3	0.5	42.5	4.3	56	230
12	11	1682	0.0065	0.0001	0.0436	0.0037	0.0485	0.0039	0.0020	0.0001	0.5028	0.0059	42.0	0.7	43.4	3.7	121	180
13	16	2196	0.0066	0.0001	0.0443	0.0032	0.0486	0.0032	0.0019	0.0000	0.8058	0.0080	42.5	0.8	44.0	3.1	128	150
14	10	1322	0.0066	0.0001	0.0432	0.0048	0.0478	0.0052	0.0020	0.0000	0.9778	0.0400	42.1	0.5	42.9	4.7	89	250
15	16	2386	0.0065	0.0001	0.0440	0.0040	0.0489	0.0042	0.0022	0.0001	0.3652	0.0143	41.9	0.8	43.7	4.0	142	200
16	14	2068	0.0065	0.0001	0.0429	0.0026	0.0478	0.0028	0.0018	0.0000	0.5435	0.0078	41.8	0.6	42.7	2.6	90	130
17	8	1242	0.0064	0.0001	0.0399	0.0033	0.0455	0.0037	0.0018	0.0001	0.5635	0.0166	40.9	0.8	39.7	3.3	–	–
18	9	1406	0.0065	0.0001	0.0408	0.0044	0.0458	0.0048	0.0019	0.0001	0.3672	0.0009	41.6	0.4	40.6	4.3	–	–
19	10	1442	0.0066	0.0001	0.0431	0.0041	0.0475	0.0044	0.0022	0.0001	0.5916	0.0094	42.3	0.4	42.9	4.1	75	220
20	12	1826	0.0066	0.0001	0.0418	0.0034	0.0462	0.0036	0.0018	0.0000	0.5430	0.0284	42.2	0.6	41.6	3.4	6	180
21	10	1336	0.0064	0.0001	0.0422	0.0056	0.0476	0.0062	0.0020	0.0001	0.7726	0.0310	41.3	0.4	42.0	5.6	79	300
22	19	2632	0.0063	0.0001	0.0409	0.0022	0.0472	0.0025	0.0019	0.0000	0.8779	0.0230	40.5	0.4	40.7	2.2	57	120
23	12	1804	0.0062	0.0001	0.0391	0.0029	0.0455	0.0032	0.0019	0.0000	0.6084	0.0129	40.0	0.4	38.9	2.9	–	–
24	15	2078	0.0064	0.0001	0.0410	0.0028	0.0467	0.0031	0.0020	0.0000	0.7546	0.0153	41.0	0.4	40.8	2.8	32	160
25	12	1736	0.0063	0.0001	0.0442	0.0034	0.0512	0.0038	0.0023	0.0001	0.5554	0.0108	40.2	0.4	43.9	3.3	250	170
26	11	1721	0.0064	0.0001	0.0423	0.0035	0.0478	0.0038	0.0023	0.0001	0.3999	0.0036	41.2	0.5	42.0	3.5	91	180
27	11	1512	0.0065	0.0001	0.0423	0.0037	0.0474	0.0040	0.0020	0.0000	0.8342	0.0194	41.5	0.5	42.0	3.7	72	190
28	13	1825	0.0065	0.0001	0.0439	0.0030	0.0494	0.0033	0.0022	0.0000	0.7710	0.0151	41.5	0.5	43.7	3.0	167	150
29	12	1780	0.0065	0.0001	0.0424	0.0041	0.0476	0.0045	0.0020	0.0001	0.5587	0.0133	41.5	0.6	42.1	4.1	78	220
30	23	3156	0.0065	0.0001	0.0438	0.0018	0.0485	0.0019	0.0022	0.0000	0.7237	0.0044	42.0	0.5	43.5	1.8	126	90
31	14	2009	0.0065	0.0001	0.0418	0.0028	0.0468	0.0031	0.0021	0.0000	0.6680	0.0031	41.6	0.4	41.5	2.8	39	150
32	10	1420	0.0065	0.0001	0.0413	0.0041	0.0461	0.0045	0.0018	0.0001	0.6291	0.0102	41.8	0.5	41.1	4.1	2	230
33	21	2701	0.0065	0.0001	0.0429	0.0024	0.0476	0.0026	0.0023	0.0000	0.9289	0.0109	42.0	0.4	42.7	2.4	80	120

注:测试单位为天津地质矿产研究所同位素实验室

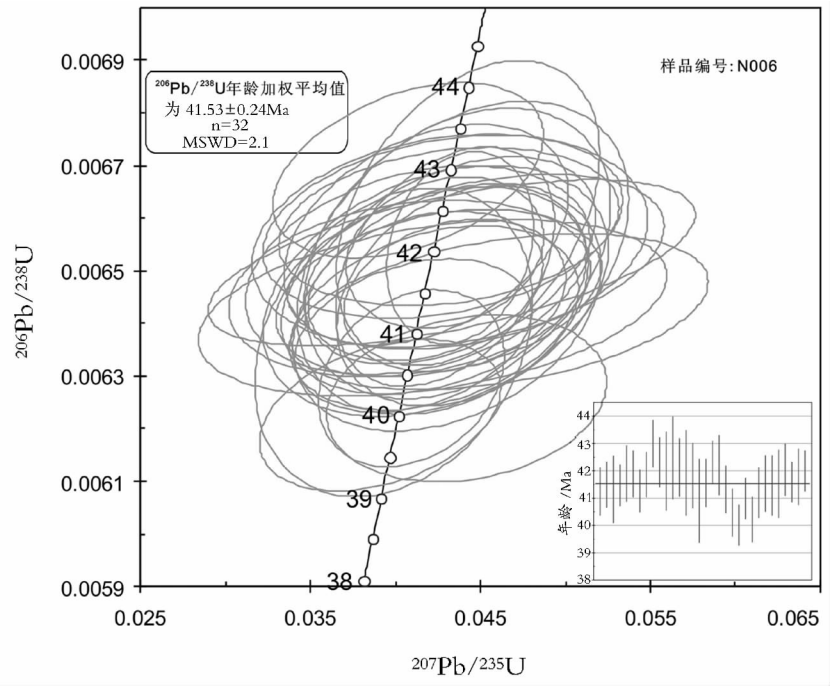


图 3　纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3　Zircon U-Pb concordant diagram of biotite granitite porphyry in Narigongma

为空白的测定)。

3.2　岩体测年结果

由表 1 和图 2 可知，所测锆石为岩体中的主要锆石。纳日贡玛黑云母花岗斑岩样品(N006)中的锆石 U-Pb 同位素测试数据经普通铅校正后,U-Pb 测试结果列于表 2，锆石有效测试点共 32 个。Th/U=0.3652~0.9778,均大于 0.1,属岩浆成因锆石[14-15]，锆石的结晶年龄可以代表黑云花岗斑岩的成岩年龄。在 $^{207}Pb/^{235}U$-$^{206}Pb/^{238}U$ 谐和图(图 3)上,32 个锆石测点的 $^{207}Pb/^{238}U$ 年龄比较集中，介于 40.0~43.0Ma 之间。这 32 个点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 41.53Ma±0.24Ma(MSWD=2.1),这一年龄解释为该黑云花岗斑岩的侵位年龄。

4　讨　论

4.1　成岩构造环境判别

三江北段中酸性岩类的产出与整个青藏高原的地质构造演化密切相关。笔者采用 Pearce[16]的花岗岩类构造环境判别图解对纳日贡玛黑云母花岗斑岩形成的构造环境进行判别(图 4)。由图 4 可知,纳日贡玛黑云母花岗斑岩属后碰撞花岗岩类。郭贵恩等[2]

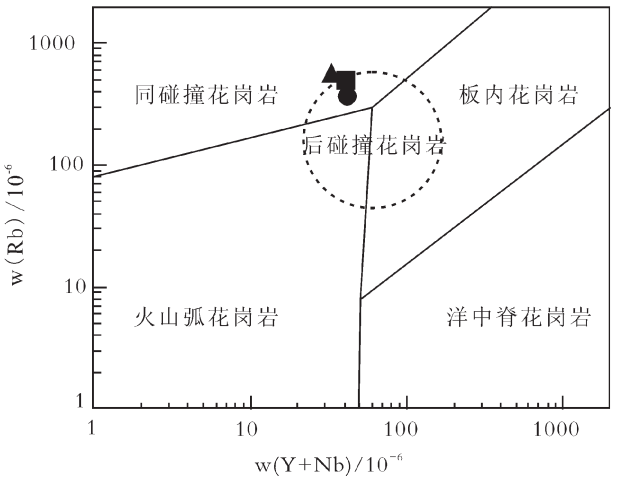


图 4　纳日贡玛斑岩构造环境判别图解

(底图据参考文献[16])

Fig. 4　Tectonic discrimination diagram of porphyry in Narigongma

根据对纳日贡玛斑岩体岩石地球化学特征的研究认为,本期花岗岩应为壳源型。在 Rb-(Y+Nb)图解中,本期花岗斑岩样品点全部落入 Syn-COLGA 区(同碰撞花岗岩区)，而在花岗岩构造环境类型划分图解中,样品点均位于 POG 区(后造山花岗岩类)。

综合分析认为，纳日贡玛斑岩体可能来源于陆内碰撞而加厚的下地壳。俯冲板块撕裂导致软流圈上涌，引起下地壳物质熔融，产生岩浆侵位而成。三江地区造山带碰撞造山阶段的时限为 65~45Ma，凡在此时限内发生的变形变质事件、中酸性岩浆侵入事件和成矿作用事件均可能与碰撞造山作用有关[7,17]。因此根据纳日贡玛斑岩的同位素年龄和三江地区构造演化阶段推断，该岩体应属于后造山花岗岩类。

4.2 构造–岩浆演化

目前大多数研究者认为，印度板块与亚洲板块的碰撞时间在 65~45Ma（西藏设兴镇设兴组与林子宗组之间的不整合时限），至此青藏高原完成了诸块体的拼合[18-19]。在班公湖–怒江洋盆和印度河–雅鲁藏布江洋盆的裂解、拼合到印度板块与亚洲板块的碰撞过程中，瓦卡–麻扎–康西瓦–木孜塔格–玛沁断裂多次活动，相继对两侧的前侏罗纪和前白垩纪地层、构造线、沉积盆地消减破坏和截切，如松潘甘孜–巴颜喀拉褶皱带被其直接截切。印度板块与亚洲板块碰撞之后，除在塔里木南缘局部有古近系与白垩系的连续海相沉积外，高原北部主体表现为古近系与下伏不同层位广泛的角度不整合。同样由于应力和变形的远程效应，不同地区对于该构造事件的反映方式和时间有差异，总体上距离越远，反映程度越弱，时间越滞后。即在塔里木地区古近系与上白垩统为连续海相沉积，其它地区为不整合接触，其中昆北地层区为河湖相沉积，含膏盐和含油建造；昆中地层区为紫红色粗碎屑沉积，含膏盐和沉积型铜矿；巴颜喀拉及其南部多为陆相的紫红色富含膏盐的碎屑岩，并有大量的中基性、中酸性火山喷发岩。在陆日格—打古贡卡地区酸性岩浆侵入活动由燕山晚期—喜马拉雅期，时代从晚白垩世、古近纪古新世—渐新世至新近纪中新世，共圈定大小侵入体 23 个，划分为 4 个岩石组合，9 个单元。其中纳日贡玛地区花岗斑岩由纳日贡玛黑云母花岗斑岩（$E_{1-2}\gamma\pi\beta$）、乌葱察别钾长花岗斑岩（$E_{1-2}\xi\gamma$）、迪拉亿二长花岗斑岩（$E_{1-2}\eta\gamma\pi$）、哼赛青花岗闪长斑岩（$E_{1-2}\eta\gamma\pi$）、奥纳赛莫能石英闪长斑岩（$E_{1-2}\delta o\pi$）5 个单元组成，共圈定大小花岗斑岩侵入体 12 个。纳日贡玛黑云母花岗斑岩（$E_{1-2}\gamma\pi\beta$）是区内主要的含矿斑岩岩体，次为乌葱察别钾长花岗斑岩（$E_{1-2}\xi\gamma$）、哼赛青花岗闪长斑岩（$E_{1-2}\eta\gamma\pi$）等。这些岩体代表了碰撞造山作用之后，三江北段地区进入到陆内造山期。

5 地质意义

（1）LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 测年结果表明，纳日贡玛黑云花岗斑岩的锆石 U–Pb 年龄为 41.53Ma±0.24Ma，属于喜马拉雅早期，为在三江北段地区进一步寻找同时代的斑岩型矿床提供了理论依据。

（2）从区域构造演化的角度来看，三江北段地区大部分花岗质岩体的形成都与印度板块与亚洲板块的碰撞造山作用相关，表现为多数同位素年龄都集中在 65~45Ma 之间，纳日贡玛黑云花岗斑岩也不例外。一般认为碰撞造山期是板块或者地体的最大汇聚期，不利于岩浆上升[7]。对于三江北段地区，碰撞造山的最大汇聚期相当于晚白垩世—古新世，可称为碰撞作用早期，同位素年龄证明，这一时期的岩浆活动并不多。花岗质岩体的大量形成应发生在最大汇聚期之后，即碰撞作用后期和期后（不包括俯冲作用阶段的花岗岩），这也与同位素测年结果相一致[17]。

（3）纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代为（40.86±0.85）~（40.80±0.4）Ma[2,4]，有多期热液叠加，发生了多期成矿作用。据陈建平等[5]的研究，该矿床为斑岩型铜钼矿床，其成矿物质主要来源于花岗斑岩体，成矿流体为岩浆水和大气降水组成的混合热液[5]。因此笔者认为，纳日贡玛斑岩型铜钼矿的热液应是纳日贡玛黑云花岗斑岩（41.53Ma±0.24Ma）和纳日贡玛斜长花岗斑岩（41.0Ma±0.18Ma）共同提供的。据郭桂恩等[2]的研究，三江北段中酸性侵入体的成岩时代在 21~66Ma 之间，而斑岩型铜钼矿的成矿时代为（40.86±0.85）~（40.80±0.4）Ma[2,4]，不难发现，中酸性侵入体在本区铜钼矿成矿过程中提供了热源是可以肯定的。从而可以得到一个信息，三江北段中酸性侵入体的成岩时代为喜马拉雅早期，而铜钼矿的成矿期也为喜马拉雅早期。三江北段有较多的中酸性岩体存在，对成岩时代和成矿时代的确定对于在该区寻找喜马拉雅早期的斑岩型铜钼矿具有重要的理论意义和现实意义。

（4）纳日贡玛黑云母花岗斑岩的成岩时代（41.53Ma±0.24Ma）和纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代（40.86Ma±0.85Ma~40.80Ma±0.4Ma）的确定

为三江地区晚古生代以来经历了 3 次大的构造体系转化提供了有力的同位素年龄佐证[20]。

致谢:在野外工作过程中得到青海地调院领导和项目组其他成员的大力支持和帮助,审稿专家提出了建设性的修改意见,在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]宋忠宝,杜玉良,李智明,等.青海省矿产资源发育特征概述[J].地球科学与环境学报,2009,33(1):30-33,47.

[2]郭贵恩,马彦青,王涛,等. 纳日贡玛含矿斑岩体形成机制及其成矿模式分析[J].西北地质,2010,43(3):28-35.

[3]杨志明,侯增谦,杨竹森,等.青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床:岩石成因及构造控制[J].岩石学报,2008,24(3):489-502.

[4]王召林,杨志明,杨竹森,等. 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[J].岩石学报,2008,24(3):503-510.

[5]陈建平,唐菊兴,陈勇,等.西南三江北段纳日贡玛铜钼矿床地质特征与成矿模式[J].现代地质,2008,22(1):9-17.

[6]白云,唐菊兴,郭文铂,等.纳日贡玛铜(钼)矿床地质特征及成矿作用初探[J].矿业快报, 2007, 23 (4) : 75-78.

[7]宋忠宝,李智佩,任有祥,等.北祁连山车路沟英安斑岩成岩时代及地质意义[J].地质科技情报 2005,24(3):15-19.

[8]宋忠宝,任有祥,李智佩,等.北祁连山白山子花岗闪长岩成岩时代研究[J].地球学报,2005,26(增刊):84-86.

[9]Black L P,Kamo S L,Allen C M,et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J].Chem.Geol., 2003,200:155-170.

[10]Jackson S E,Pearson N J,Griffin W L ,et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectronmetry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology,2004,211:47-69.

[11]Liu Y S,Gao S,Hu Z C,et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt -peridotite interactions in the Trans -North China Orogen:U-Pb dating,Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology,2009,51(1/2): 537-571.

[12]Ludwig K R. User′s manual for Isoplot/Ex,version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4:1-70.

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

[14]Claesson S V,Vertin,Bayanova H D. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke,Kola peninsula,Russia:a record of geological evolution from the Archaen to the Palaeozoic [J].Lithos, 2000,51: 95-108.

[15]何世平,李荣社,王超,等.祁连山西段甘肃肃北地区北大河岩群片麻状斜长角闪岩的形成时代[J].地质通报,2010,29(9):1275-1280.

[16]Pearce J A. Source and setting of granitic rocks[J]. Episodes, 1996,19: 120-125.

[17]夏林圻,夏祖春,任有祥,等.北祁连构造-火山岩浆-成矿动力学[M].北京:中国大地出版社,2001.

[18]李荣社,计文化,杨永成,等.昆仑山及邻区地质[M].北京:地质出版社. 2008.

[19]莫宣学,赵志丹,周肃,等.印度-亚洲大陆碰撞的时限[J].地质通报, 2007, 26(10):1240-1244.

[20]潘桂棠,徐强,王立全.矿产资源预测的理论和实践——以西南三江研究为例[J].矿床地质,2002,21(增刊):40-43.