

## 三江北段纳日贡玛花岗闪长斑岩成岩时代的确定及地质意义

宋忠宝, 贾群子, 陈向阳, 陈博, 张雨莲, 张晓飞, 全守村, 栗亚芝

西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

**摘要:** 纳日贡玛斑岩型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。作者首次利用锆石 U-Pb 方法测得纳日贡玛花岗闪长斑岩的形成年龄为  $41.44 \pm 0.23$  Ma, 属于喜马拉雅早期。纳日贡玛斑岩型铜钼矿成矿主要在  $40.8 \pm 0.4$  Ma ~  $40.86 \pm 0.85$  Ma 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( $41.53 \pm 0.24$  Ma ~  $43.8 \pm 0.4$  Ma)、纳日贡玛花岗闪长斑岩( $41.44 \pm 0.23$  Ma)和纳日贡玛斜长花岗斑岩( $41.00 \pm 0.18$  Ma)共同提供的。由于该区有较多的中酸性岩体存在, 因而, 这些侵入体的形成年龄确定, 为印度板块与亚洲板块在 65 ~ 45Ma 碰撞提供依据, 对于在该区寻找斑岩型铜钼矿不仅有重要的理论意义, 而且具有重要的现实意义。

**关键词:** 花岗闪长斑岩; 铜钼矿; 成岩时代;  $41.44 \pm 0.23$  Ma; 印度板块与亚洲板块的碰撞时间; 三江北段  
**中图分类号:** P588.121; P597.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.02.03

## The Petrogenic age of Narigongma Granitic Diorite-porphyry in the Northern Part of the Sanjiang Region and Its Geological Implications

SONG Zhong-bao, JIA Qun-zi, CHEN Xiang-yang, CHEN Bo, ZHANG Yu-lian,  
ZHANG Xiao-fei, QUAN Shou-cun, LI Ya-zhi

*Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054*

**Abstract:** The Narigongma porphyry molybdenite copper deposit related to intrusive rocks was discovered recently in the northern part of the Sanjiang Region. U-Pb dating shows that the formation age of Narigongma granodiorite porphyry is  $41.44 \pm 0.23$  Ma, belonging to early Himalayan period. Metallogenic ages of the Narigongma porphyry molybdenite copper deposit are mainly in the range of  $40.8 \pm 0.4$  Ma ~  $40.86 \pm 0.85$  Ma. During multiperiodic hydrothermal activities and multistage ore-forming processes, the metallogenetic hydrothermal solution was provided by Narigongma granite porphyry ( $41.53 \pm 0.24$  Ma), Narigongma granite diorite-porphyry ( $41.44 \pm 0.23$  Ma) and Narigongma plagioclase porphyry ( $41.00 \pm 0.18$  Ma). Due to occurrence of many intermediate-acid mass, the age of these intrusive bodies provide evidence for collision function between India plate and Eurasian plate in 65 ~ 45 Ma, which has theoretical and practical meaning to forecast of porphyry copper-molybdenum deposit in the region.

**Key words:** granodiorite porphyry; Cu-Mo deposit; petrogenic age;  $41.44 \pm 0.23$  Ma; time of India-Asia continental collision; northern part of the Sanjiang Region

关于印度板块与亚洲板块的碰撞时限问题目前尚有争议(莫宜学等, 2003, 2006, 2007; 李荣社等, 2008; 夏林圻等, 2009)。全球斑岩铜矿带主要分布在

三个构造域, 即环太平洋构造域、特提斯-喜马拉雅构造域和古亚洲构造域, 三江地区位于特提斯-喜马拉雅构造域, 不仅是一个重要的构造带, 而且也是

本文由中国地质调查局“青海省地质调查综合研究”(编号: 1212010918044)和“青海省岩浆岩的时空分布与成矿作用研究”项目(编号: 科[2011]01-06-02号)联合资助。

收稿日期: 2011-01-31; 改回日期: 2011-03-17。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 宋忠宝, 男, 1963年生。研究员。主要从事岩石矿产及同位素地质年代学研究。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路438号。电话: 029-87821557。E-mail: szhongbao@cgs.cn。

重要的成矿带, 历来备受关注。三江北段是青海省重要的斑岩型铜钼矿成矿带(宋忠宝等, 2009)。近年来, 青海地调院在该区发现了大型的纳日贡玛斑岩型铜钼矿, 有关纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代已有郭桂恩等(2010)、杨志明等(2008)、王召林等(2008)作了报道, 有关斑岩及矿床的研究已有不少研究成果(陈建平, 2008; 白云等, 2008; 宋忠宝等, 2005a, b); 然而, 与矿体有关的岩体纳日贡玛花岗闪长斑岩的成岩时代却无人问津。从区域上看, 研究纳日贡玛花岗闪长斑岩不仅可以证实三江北段在喜马拉雅早期有一次重要的地质热事件, 在该阶段有铜钼矿形成, 对于三江北段找矿有重要意义; 而且可以对印度板块与亚洲板块的碰撞时限提供同位素年龄方面的证据。本文便是作者在这方面的一些探索。

### 1 岩体产出的地质环境

纳日贡玛花岗闪长斑岩行政区划属于青海省杂多县境内, 海拔在 5000 m 以上, 交通条件不方便。

该岩体位于三江成矿带的西北端。区内出露的地层主要为早-中二叠世杂筭考组的紫红灰绿色玄武岩, 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, 主要有四组断裂, 一组为北东方向, 一组为北北东方向, 其余两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, 长约 2 km, 宽约 1 km, 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。斑岩体具绢云母化、硅化等蚀变, 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(图 1)。矿体赋存于岩体内部及与围岩的接触带, 形态呈带状、厚板状、不规则状。共圈定具有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 万吨; 钼金属资源量 10.6 万吨(郭桂恩等, 2010)。纳日贡玛斑岩型铜钼矿床位于纳日贡玛黑云母花岗岩斑岩、斜长花岗岩斑岩、花岗闪长岩中(图 1)。纳日贡玛含矿斑岩体主体部分是黑云母花岗岩斑岩, 少部分为规模较小, 生成时

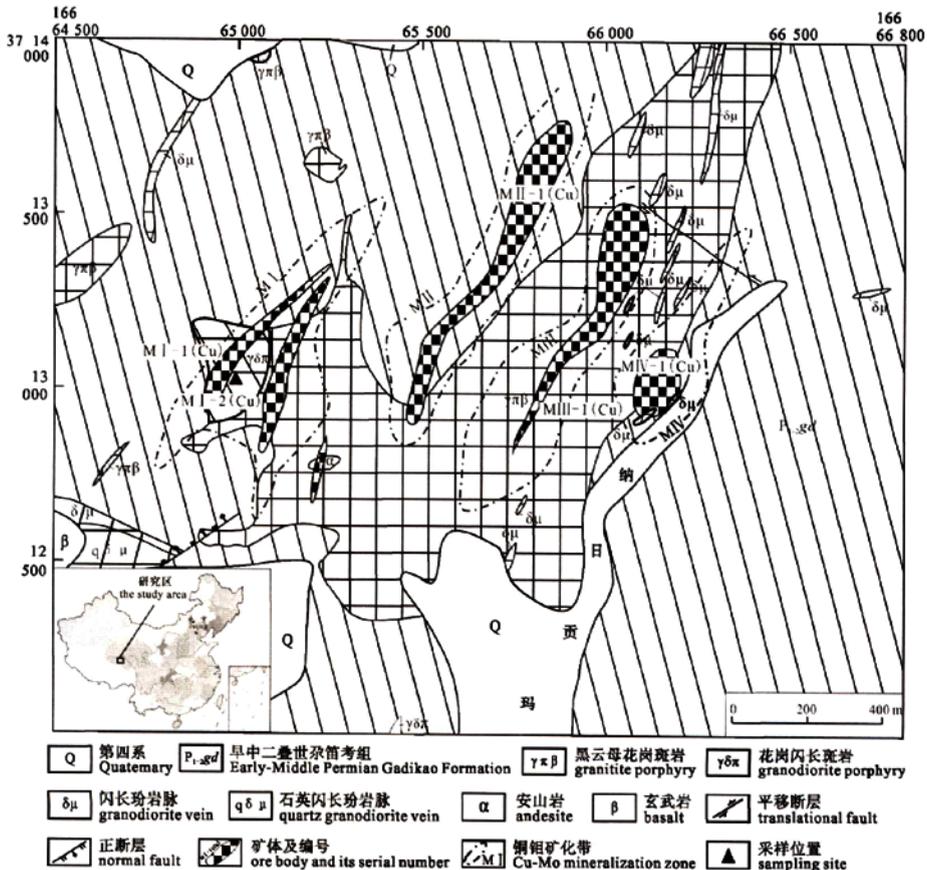


图 1 青海纳日贡玛斑岩地质略图  
Fig. 1 Geological sketch map of Narigongma porphyry, Qinghai

代稍晚的花岗闪长斑岩。岩石具有岩相变化,主要表现在矿物粒度、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,岩体东枝北段及东西枝交汇处局部相变为斜长花岗岩(图 1)。

## 2 同位素测试方法和结果

### 2.1 样品和处理

样品采自纳日贡玛花岗闪长斑岩中(采样位置见图 1)。岩石中锆石分选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并晾干、粉碎至 80 目,然后经过用水粗淘、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。

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 测年工作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法(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 193 nm,脉冲宽度小于 5 ns,束斑直径为 1、2、10、20、25、35、50、75、76、100 和 150  $\mu$  可调,脉冲频率 1~200 Hz 连续可调。本次

的测定工作是根据锆石阴极发光照片、反射光和透射光照片选择锆石的合适的测年晶域,利用 193 nm 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 35  $\mu$ m,激光能量密度为 10~11 J $\cdot$ cm $^{-2}$ ,频率为 8 Hz,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 $^{\circ}$ C 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(Black et al., 2003; Jackson et al., 2004),采用中国地质大学刘勇胜博士研发的 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2009)和 Ludwig KR. 的 Isoplot 程序(Ludwig, 2003)进行数据处理,采用  $^{208}\text{Pb}$  校正法对普通铅进行校正(Andersen, 2002)。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,  $^{204}\text{Pb}$ ; L3,  $^{206}\text{Pb}$ ; L2,  $^{207}\text{Pb}$ ; L1,  $^{208}\text{Pb}$ ; C, 219.26; H2,  $^{232}\text{Th}$ ; H4,  $^{238}\text{U}$ 。冷却气体 16 L $\cdot$ min $^{-1}$ ,辅助气体 0.75 L $\cdot$ min $^{-1}$ ,Ar 载气 0.895 L $\cdot$ min $^{-1}$ ,He 载气 0.86 L $\cdot$ min $^{-1}$ 。RF 功率 1251 W,积分时间为 0.131 s,样品信号采集时间 60 s(其中 20 s 为空白的测定)。

### 2.2 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,作者测定了各种形态和颜色不同的锆石类型。纳日贡玛花岗闪长斑岩(N008)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 42 个。其中 1-40 和 42 号数据 Th/U=0.1930—1.3451,均大于 0.1,除一个点外其它均大于 0.3,属岩浆成因锆石(Claesson et al., 2000; 何世平等, 2010)。说明锆石的结晶年龄可以代表花岗闪长斑岩的成岩年龄。在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谱和图(图 3)上,41 个锆石测点  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄比较集中,介于 39.9~42.7 Ma 之间。 $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为 41.44 $\pm$ 0.23 Ma(MSWD=2.4),在这种情况下,以这 41 个数据点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄统计权重平均值作为这些锆石的生成年龄是最为精确可靠的。这一年龄值为 41.44 $\pm$ 0.23 Ma。这一年龄应解释为该花岗闪长斑岩的生成(侵位)年

表 1 纳日贡玛花岗闪长斑岩锆石基本特征表  
Table 1 Zircon features of granodiorite porphyry in Narigongma

颜色	晶形	透明度	熔蚀裂纹	粒径(mm)
浅黄色为主,浅棕黄色、无色乳白色次之	自形粒状、双锥柱状为主,不规则粒状次之	多数透明,玻璃光泽,少数含暗色包体	晶体轮廓多数清晰,晶面多数光滑,少数凹凸不平,少数呈麻面出现,裂纹不发育	0.15 $\times$ 0.10~0.10 $\times$ 0.05 长宽比: 4: 1~2: 1

表 2 纳日贡玛花岗闪长斑岩锆石铀-铅同位素地质年龄测试结果  
Table 2 Single-zircon U-Pb isotope age of Narigongma granodiorite porphyry

样点 编号	含量( $\times 10^{-6}$ )		同位素比值										年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$
N008.1	13	1862	0.0065	0.0001	0.0431	0.0033	0.0478	0.0036	0.0017	0.0000	0.5853	0.0080	42.0	0.4	42.8	3.3	89.3	179.1
N008.2	11	1571	0.0064	0.0001	0.0430	0.0035	0.0484	0.0038	0.0017	0.0000	0.6970	0.0064	41.4	0.4	42.8	3.5	121.3	187.0
N008.3	14	2120	0.0065	0.0001	0.0428	0.0026	0.0474	0.0027	0.0019	0.0000	0.5376	0.0067	42.0	0.4	42.5	2.5	69.1	135.1
N008.4	22	3558	0.0064	0.0002	0.0427	0.0029	0.0483	0.0030	0.0021	0.0001	0.1930	0.0048	41.2	1.0	42.5	2.9	116.4	146.9
N008.5	9	1211	0.0064	0.0001	0.0384	0.0052	0.0438	0.0058	0.0018	0.0000	0.9092	0.0029	40.9	0.6	38.2	5.2	-124.7	329.5
N008.6	13	1976	0.0062	0.0001	0.0425	0.0035	0.0497	0.0039	0.0022	0.0001	0.4948	0.0114	39.9	0.5	42.3	3.5	181.4	184.8
N008.7	10	1182	0.0065	0.0001	0.0430	0.0051	0.0480	0.0056	0.0027	0.0001	0.8973	0.0036	41.8	0.4	42.8	5.1	99.7	275.7
N008.8	15	2116	0.0062	0.0001	0.0435	0.0031	0.0505	0.0035	0.0018	0.0000	0.7794	0.0291	40.2	0.4	43.2	3.1	217.6	158.5
N008.9	20	3146	0.0063	0.0001	0.0417	0.0021	0.0480	0.0023	0.0017	0.0000	0.4649	0.0164	40.5	0.4	41.5	2.1	101.5	110.8
N008.10	13	1970	0.0063	0.0001	0.0435	0.0032	0.0505	0.0036	0.0018	0.0001	0.6598	0.0280	40.2	0.4	43.3	3.2	218.6	163.0
N008.11	16	2397	0.0063	0.0001	0.0435	0.0025	0.0500	0.0026	0.0015	0.0000	0.5929	0.0066	40.6	0.4	43.3	2.4	195.5	122.7
N008.12	16	2271	0.0065	0.0001	0.0431	0.0030	0.0482	0.0031	0.0016	0.0000	0.7649	0.0080	41.7	0.4	42.9	2.9	111.0	151.8
N008.13	11	1547	0.0065	0.0001	0.0412	0.0040	0.0457	0.0042	0.0016	0.0000	0.7042	0.0016	42.0	0.5	41.0	3.9	-18.1	223.5
N008.14	13	1752	0.0065	0.0001	0.0423	0.0036	0.0472	0.0039	0.0018	0.0000	0.8423	0.0071	41.7	0.4	42.0	3.6	61.1	195.8
N008.15	10	1450	0.0065	0.0001	0.0431	0.0038	0.0480	0.0041	0.0018	0.0001	0.5167	0.0037	41.8	0.4	42.9	3.8	101.1	204.0
N008.16	13	1870	0.0066	0.0001	0.0406	0.0033	0.0449	0.0035	0.0019	0.0000	0.6088	0.0047	42.1	0.5	40.4	3.3	-63.5	192.3
N008.17	9	1294	0.0066	0.0001	0.0425	0.0043	0.0464	0.0045	0.0019	0.0000	0.7449	0.0047	42.6	0.6	42.2	4.2	18.8	230.7
N008.18	16	2288	0.0066	0.0001	0.0422	0.0024	0.0464	0.0022	0.0020	0.0000	0.6759	0.0055	42.3	0.6	41.9	2.4	19.2	112.7
N008.19	2	244	0.0066	0.0002	0.0433	0.0065	0.0473	0.0069	0.0023	0.0002	1.3451	0.0284	42.7	1.4	43.0	6.4	63.0	349.1
N008.20	15	2031	0.0065	0.0001	0.0427	0.0034	0.0475	0.0036	0.0021	0.0000	0.7004	0.0082	41.8	0.4	42.4	3.4	75.7	179.3
N008.21	17	2404	0.0066	0.0001	0.0444	0.0028	0.0487	0.0028	0.0023	0.0000	0.5667	0.0089	42.4	0.5	44.1	2.8	135.2	133.0
N008.22	13	1811	0.0064	0.0001	0.0450	0.0044	0.0508	0.0048	0.0020	0.0000	0.8507	0.0046	41.3	0.4	44.7	4.3	229.8	219.6
N008.23	10	1478	0.0065	0.0001	0.0430	0.0043	0.0477	0.0045	0.0019	0.0001	0.4432	0.0070	42.0	0.6	42.7	4.3	85.0	222.2
N008.24	17	2307	0.0065	0.0001	0.0433	0.0030	0.0482	0.0032	0.0019	0.0000	0.8430	0.0259	41.9	0.5	43.1	3.0	107.7	156.8

续表 2

样点 编号	含量( $\times 10^{-6}$ )		同位素比值										年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 $\sigma$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$
N008.25	17	2339	0.0065	0.0001	0.0425	0.0023	0.0473	0.0023	0.0018	0.0000	0.9029	0.0099	41.9	0.4	42.3	2.2	62.9	114.7
N008.26	14	2085	0.0066	0.0001	0.0411	0.0027	0.0453	0.0028	0.0019	0.0000	0.4750	0.0084	42.3	0.4	40.9	2.6	-38.6	147.5
N008.27	15	2145	0.0065	0.0001	0.0426	0.0037	0.0473	0.0040	0.0020	0.0001	0.5116	0.0041	42.0	0.5	42.4	3.7	62.0	201.3
N008.28	11	1624	0.0066	0.0001	0.0431	0.0059	0.0475	0.0060	0.0017	0.0001	0.6442	0.0163	42.3	0.9	42.9	5.9	75.9	302.0
N008.29	7	1102	0.0065	0.0001	0.0421	0.0061	0.0469	0.0067	0.0017	0.0001	0.5264	0.0135	41.8	0.5	41.9	6.1	44.7	343.6
N008.30	14	1993	0.0065	0.0001	0.0435	0.0031	0.0487	0.0030	0.0019	0.0000	0.7663	0.0205	41.6	0.7	43.2	3.1	134.2	145.5
N008.31	14	2064	0.0065	0.0001	0.0431	0.0030	0.0484	0.0031	0.0019	0.0001	0.4604	0.0032	41.5	0.4	42.8	2.9	117.8	151.6
N008.32	6	913	0.0066	0.0001	0.0431	0.0050	0.0476	0.0054	0.0028	0.0002	0.4510	0.0109	42.3	0.6	42.9	5.0	77.4	269.7
N008.33	11	1535	0.0065	0.0001	0.0440	0.0039	0.0495	0.0042	0.0022	0.0000	0.7770	0.0027	41.5	0.4	43.8	3.8	171.9	197.6
N008.34	13	1938	0.0064	0.0001	0.0422	0.0032	0.0475	0.0034	0.0025	0.0001	0.5059	0.0021	41.3	0.4	41.9	3.1	76.2	171.1
N008.35	19	2615	0.0065	0.0001	0.0410	0.0021	0.0460	0.0022	0.0020	0.0000	0.8979	0.0138	41.6	0.4	40.8	2.1	-4.4	113.6
N008.36	19	2758	0.0064	0.0001	0.0445	0.0022	0.0507	0.0023	0.0020	0.0000	0.5502	0.0114	40.9	0.5	44.2	2.2	228.1	106.1
N008.37	18	2586	0.0064	0.0001	0.0424	0.0036	0.0479	0.0040	0.0021	0.0001	0.5588	0.0067	41.3	0.4	42.2	3.6	92.8	198.9
N008.38	8	1237	0.0063	0.0001	0.0420	0.0044	0.0486	0.0050	0.0019	0.0001	0.5834	0.0028	40.3	0.6	41.8	4.4	127.7	241.7
N008.39	16	2329	0.0065	0.0001	0.0431	0.0028	0.0478	0.0029	0.0023	0.0000	0.5322	0.0064	41.9	0.6	42.8	2.8	91.6	143.4
N008.40	15	2261	0.0063	0.0001	0.0426	0.0029	0.0493	0.0032	0.0018	0.0000	0.5607	0.0043	40.3	0.5	42.4	2.9	162.6	152.5
N008.41	31	746	0.0387	0.0005	0.2655	0.0097	0.0498	0.0017	0.0097	0.0001	0.8024	0.0171	244.7	3.4	239.1	8.7	184.7	78.6
N008.42	17	2384	0.0063	0.0001	0.0423	0.0032	0.0490	0.0036	0.0020	0.0000	0.8535	0.0145	40.3	0.4	42.1	3.1	146.6	171.3

测试单位: 天津地质矿产研究所同位素实验室



图2 纳日贡玛花岗闪长斑岩锆石 CL 图像  
Fig. 2 CL images of zircon from Narigongma granodiorite porphyry

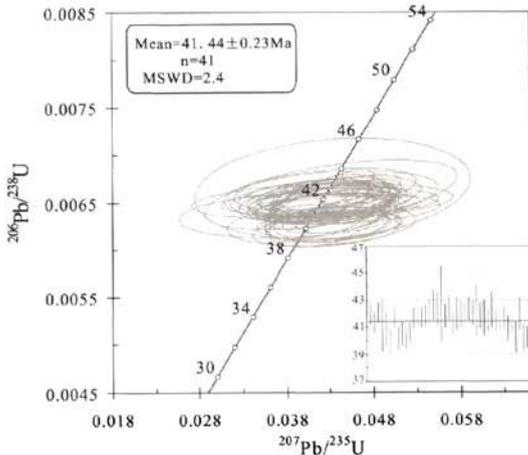


图3 纳日贡玛花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果谐和图  
Fig. 3 Zircon U-Pb concordant diagram of granodiorite porphyry from Narigongma

龄。而 41 号数据点的锆石明显老于 1~40 和 42 号数据点的锆石, 而且数据点并不落在谐和曲线上。这表明 41 号数据点的锆石有不同程度的放射成因铅丢失。在这种情况下, 其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄较为接近, 但仍然小于锆石的真实结晶年龄。我们认为 41 号数据点的锆石可能是岩石中的捕获晶锆石或残留的继承性锆石。其年龄不能代表岩石(花岗闪长斑岩)的生成(侵位)年龄, 但可能反映了该花岗闪长斑岩浆受到了围岩下二叠统开心岭群下岩组紫红灰

绿色玄武岩的混染。

### 3 讨论

杨志明等(2008)利用锆石 U-Pb 同位素方法测得纳日贡玛黑云母花岗斑岩的成岩年龄为  $43.3 \pm 0.5 \text{ Ma}$ , 宋忠宝等利用锆石 U-Pb 同位素方法测得纳日贡玛黑云母花岗斑岩的成岩年龄为  $41.53 \pm 0.24 \text{ Ma}$ (另文发表), 郭桂恩等(2010)提供的锆石 U-Pb 同位素方法测得纳日贡玛黑云母花岗斑岩的表面年龄分别为 21 Ma、39 Ma、66 Ma, 不具代表性, 由此可见, 纳日贡玛黑云母花岗斑岩的成岩年龄应为  $41.53 \pm 0.24 \text{ Ma} \sim 43.8 \pm 0.4 \text{ Ma}$ ; 陈向阳等利用锆石 U-Pb 同位素方法测得纳日贡玛斜长花岗斑岩的成岩年龄为  $41.00 \pm 0.18 \text{ Ma}$ (另文发表); 作者利用锆石 U-Pb 同位素方法测得纳日贡玛花岗闪长斑岩的成岩年龄为  $41.44 \pm 0.23 \text{ Ma}$ ; 从现有的同位素年龄看, 纳日贡玛花岗斑岩的成岩年龄应为  $41.00 \pm 0.18 \text{ Ma} \sim 43.3 \pm 0.5 \text{ Ma}$ , 属于喜马拉雅早期。由此可见, 三江地区在喜马拉雅早期有一次重要的构造岩浆事件发生, 表现为大多数侵入岩的成岩年龄都为  $41.00 \pm 0.18 \text{ Ma} \sim 43.8 \pm 0.4 \text{ Ma}$ 。

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 65~45 Ma, 至此, 青藏高原完成了诸块体的拼合(李荣社等, 2008)。在西藏设兴镇设兴组与林子宗组间的不整合, 从区域上看, 该不整合面的下伏地层(二叠系到上白垩统)均属海相, 褶皱强

烈;其上覆地层林子宗群属古新统一始新统,为陆相,地层近水平,与下伏地层在沉积相、变形程度和样式上截然不同。这表明,在不整合面上、下地层之间确实发生过一次规模巨大的地质事件(莫宣学等,2007)。夏林圻等(2009)研究认为印度-亚洲大陆的碰撞开始于 65 Ma 左右,大约在 45/40 Ma 完成,之后转入碰撞后阶段至今。碰撞过程(约 65 ~ 40 Ma)中,已消减的新特提斯大洋板片回转,不仅导致会聚速率提高,还诱使青藏岩石圈之下的对流软流圈上涌,并发生减压熔融,产生碰撞期(或同碰撞)火山作用。西藏中部和南部的古新世-始新世早期(约 65 ~ 40 Ma)火山岩即是此碰撞期(或同碰撞)火山作用的产物。莫宣学等(2007)研究认为印度-亚洲大陆碰撞的起始时间是国际地学界争论的热点,至今尚无一致的认识,从主张晚白垩世(约 70Ma)到主张始新世/渐新世之交(约 34 Ma)等各种观点都有。根据主碰撞带中具同碰撞性质的林子宗火山岩(40.84 ~ 64.47 Ma)、南冈底斯花岗岩(47 ~ 52.5 Ma, 峰值 50 Ma 左右)、白云母型强过铝花岗岩(56 ~ 50 Ma),以及沉积学和地层学的综合证据,特别是横贯整个冈底斯带延伸达 1500 km 的巨大区域性角度不整合的时间(约 65 Ma),认为印度-亚洲大陆开始碰撞的时间在西藏为 65 Ma 左右,完成碰撞的时间在 40/45 Ma 左右。大致从 40/45 Ma 开始,青藏高原进入后碰撞期。

莫宣学等(2007)研究认为印度-亚洲大陆碰撞完成(即新特提斯洋完全闭合)的时间标志不如其开始的时间那样明显。但以下的一些标志表明,印度-亚洲大陆碰撞完成的时间大致应在 45 ~ 40 Ma 之间。林子宗火山岩最年轻的年龄为 40 Ma 左右,而其晚期的地球化学特点已与后碰撞钾质火山岩一致。而且,林子宗晚期还出现了石榴斑(响)岩这样的钾质岩石。后碰撞钾质火山岩最早的年龄为 45 Ma 左右,说明同碰撞性质的林子宗火山岩在 45 ~ 40 Ma 已被后碰撞钾质火山岩所取代。李国彪(2004)厘定藏南最高海相层的时代为晚始新世 Bartanian 早期(约 40 Ma),可以认为是新特提斯洋完全闭合(即碰撞完成)的最晚时限。三江地区造山带碰撞造山阶段的时限大约为 65~45 Ma,凡在此时限内发生的变形变质事件、中酸性岩浆侵入事件,以及成矿作用事件均可能与碰撞造山作用有关。纳日贡玛地区不论是黑云花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩侵位年龄均属于喜马拉雅早期(41.00±0.18 Ma ~ 43.3±0.5 Ma);郭桂恩等(2010)提供的纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代为 40.8±0.4 Ma,王召林等(2008)测定的纳日贡玛

斑岩型铜钼矿的成矿时代为 40.86±0.85 Ma,从现有的同位素年龄看,纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代为 40.8±0.4 Ma ~ 40.86±0.85 Ma,属于喜马拉雅早期。成矿时代的年龄数据也为印度板块与亚洲板块的碰撞时间在 65~45 Ma 提供了有利的证据。也进一步证明了该区的中酸性岩浆侵入事件,以及成矿作用事件均与碰撞造山作用有关。

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的广泛角度不整合。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,时间更加滞后。我们的同位素年龄数据为印度板块与亚洲板块的碰撞时间在 65~45 Ma 提供了有利的证据。

#### 4 地质意义

(1)作者首次测定了纳日贡玛花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 41.44±0.23 Ma,属于喜马拉雅早期;为在该区进一步寻找同时代的斑岩型矿床提供了理论依据。

(2)纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时代为 40.8±0.4 Ma ~ 40.86±0.85 Ma(郭桂恩等,2010;王召林等,2008)。有多期热液叠加,有多期成矿作用,据陈建平等(2008)研究,纳日贡玛矿床矿脉的稀土元素特征及稀土配分型式与花岗斑岩的一致,说明成矿元素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。因此,作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岩(41.53±0.24 Ma)、纳日贡玛花岗闪长斑岩(41.44±0.23 Ma)和纳日贡玛斜长花岗岩(41.00±0.18 Ma)共同提供的。据郭桂恩等(2010)研究,三江北段中酸性侵入体的成岩时代在 21 ~ 66 Ma 间,而斑岩型铜钼矿的成矿时代为 40.8±0.4 Ma ~ 40.86±0.85 Ma(王召林等,2008;郭桂恩等,2010)。不难发现,中酸性侵入体在本区铜钼矿成矿过程中提供热源是可以肯定的。这告诉我们一个信息,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。

(3)由于三江北段有较多的中酸性岩体存在,现成岩时代和成矿时代的确定对于该区在喜马拉雅早期寻找斑岩型铜钼矿不仅有重要的理论意义,而且有更重要的现实意义。

(4)纳日贡玛花岗闪长斑岩的成岩时代(41.44±0.23 Ma)和纳日贡玛斑岩型铜钼矿的成矿时

代( $40.8 \pm 0.4 \text{ Ma} \sim 40.86 \pm 0.85 \text{ Ma}$ )的确定为三江地区的晚古生代以来经历三次大的构造体系转化(潘桂棠等, 2002)提供了有力的同位素年龄佐证。

(5)三江地区造山带碰撞造山阶段的时限大约为65~45 Ma, 凡在此时限内发生的变形变质事件、中酸性岩浆侵入事件, 以及成矿作用事件均可能与碰撞造山作用有关。纳日贡玛地区不论是黑云花岗斑岩、斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩侵入年龄均属于喜马拉雅早期( $41.00 \pm 0.18 \text{ Ma} \sim 43.3 \pm 0.5 \text{ Ma}$ ); 在陆日格—打古贡卡地区酸性岩浆侵入活动有燕山晚期—喜山期, 时代从晚白垩世、古近纪古-渐新世、新近纪中新世, 共圈定大小侵入体 23 个, 划分为四个岩石组合, 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( $E_{1-2}\delta\sigma\pi$ )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。铜钼矿的成矿时代也为喜马拉雅早期( $40.8 \pm 0.4 \text{ Ma} \sim 40.86 \pm 0.85 \text{ Ma}$ )。进一步证明了该区的中酸性岩浆侵入事件, 以及成矿作用事件均与碰撞造山作用有关。

致谢: 在野外工作过程中, 得到青海地调院项目组的大力支持和帮助, 审稿人认真的审阅及提出的建设性意见在此表示衷心感谢!

## 参考文献:

- 白云, 唐菊兴, 郭文铂, 李葆华, 董树义. 2007. 纳日贡玛(铜)矿床地质特征及成矿作用初探[J]. 矿业快报, 23(4): 75-78.
- 陈建平, 唐菊兴, 陈勇, 李葆华, 尚北川. 2008. 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, 22(1): 9-17.
- 郭贵恩, 马彦青, 王涛, 张永涛, 叶继龙, 刘宝山. 2010. 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, 43(3): 28-35.
- 何世平, 李荣社, 王超, 于浦生, 辜平阳, 时超. 2010. 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, 29(9): 1275-1280.
- 李国彪. 2004. 西藏南部古近纪微体古生物及盆地演化特征[D]. 北京: 中国地质大学: 171.
- 李荣社, 计文化, 杨永成, 于浦生, 赵振明, 陈守建, 孟勇, 潘晓平, 史秉德, 张维吉, 李行, 洛长义. 2008. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京: 地质出版社.
- 莫宜学, 潘桂棠. 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 13(6): 43-51.

- 莫宜学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10(3): 135-148.
- 莫宜学, 赵志丹, 周肃, 董国臣, 廖忠礼. 2007. 印度-亚洲大陆碰撞的时限[J]. 地质通报, 26(10): 1240-1244.
- 潘桂棠, 徐强, 王立全. 2002. 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, 21(z1): 40-43.
- 宋忠宝, 杜玉良, 李智明, 贾群子, 高永宝, 刘振宏, 袁光平, 常革红, 童海奎. 2009. 青海省矿产资源发育特征概述[J]. 地球科学与环境学报, 33(1): 30-33, 47.
- 宋忠宝, 李智佩, 任有祥, 杨建国, 栗亚芝, 谢春林. 2005a. 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, 24(3): 15-19.
- 宋忠宝, 任有祥, 李智佩, 杨建国, 栗亚芝, 王伟. 2005b. 北祁连山白山子花岗闪长岩成岩时代研究[J]. 地球学报, 26(z1): 84-86.
- 王召林, 杨志明, 杨竹森, 田世洪, 刘英超, 马彦青, 王贵仁, 屈文俊. 2008. 纳日贡玛斑岩铜钼矿床: 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, 24(3): 503-510.
- 夏林圻, 马中平, 李向民, 夏祖春, 徐学义. 2009. 青藏高原古新世-始新世早期(65~40Ma)火山岩——同碰撞火山作用的产物[J]. 西北地质, 42(3): 1-25.
- 杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 王淑贤, 王贵仁, 田世洪, 温德银, 王召林, 刘英超. 2008. 青海纳日贡玛斑岩(铜)矿床: 岩石成因及构造控制[J]. 岩石学报, 24(3): 489-502.

## References:

- ANDERSON T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. Chem. Geol., 192: 59-79.
- BAI Yun, TANG Jü-xing, GUO Wen-bo, LI Bao-hua, DONG Shu-yi. 2007. The geological feature and the mineralization initially searches of Narigongma Cu(Mo) deposit[J]. Express information of Mining Industry, 23 (4): 75-78(in Chinese).
- BLACK L P, KAMO S L, ALLEN C M, ALEINIKOFF J N, DAVIS D W, KOSCH R J, FOUODOULIS C. 2003. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chem. Geol., 200: 155-170.
- CHEN Jian-ping, TANG Jü-xing, CHEN Yong, LI Bao-hua, SHANG Bei-chuan. 2008. Geological Characteristics and Metallogenic Model of the Narigongma Copper-Molybdenum Deposit in the North Part of the Sanjiang Region, Southwest China[J]. Geoscience, 22(1): 9-17(in Chinese with English abstract).
- CLAESSON S V, VERTIN, BAYANOVA H D. 2000. 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, 51: 95-108.
- GUO Gui-en, MA Yan-qing, WANG Tao, ZHANG Yong-tao, YE Ji-long, LIU Bao-shan. 2010. The Formation Mechanism and

- Mineralization Pattern of Ore-bearing Granite-porphry in Narigongma[J]. *Northwestern geology*, 43(3): 28-35(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, LI Rong-she, WANG Chao, YU Pu-sheng, GU Ping-yang, SHI Chao. 2010. Geochronology of gneissic plagioclase-amphibolite from Beidahe Groupcomplex in western segment of Qilian Mountains, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1275-1280(in Chinese with English abstract).
- JACKSON S E, PEARSON N J, GRIFFIN W L, BELOUSOVA E A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. *Chemical Geology*, 211: 47-69.
- LI Guo-biao. 2004. Southern Tibet Micropaleontology of Paleogene and basin evolution[D]. Beijing: China University of Geosciences: 171.
- LI Rong-she, JI Wen-hua, YANG Yong-cheng, YU Pu-sheng, ZHAO Zhen-ming, CHEN Shou-jian, MENG Yong, PAN Xiao-ping, SHI Bing-de, ZHANG Wei-ji, LI Hang, LUO Chang-yi. 2008. The Geology in Kunlun and its Adjacent Rengion[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LIU Y S, GAO S, HU Z C, GAO C Q, ZONG K Q, WANG D B. 2009. 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*, 51(1-2): 537-571.
- LUDWIG K R. 2003. User's manual for Isoplot/Ex, version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication.
- MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, ZHOU Su, DONG Guo-chen, LIAO Zhong-li. 2007. On the timing of India-Asia continental collision[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1240-1244(in Chinese with English abstract).
- MO Xuan-xue, PAN Gui-tang. 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau:constrained by tectono-magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43-51(in Chinese with English abstract).
- MO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, DENG Jin-fu, DONG Guo-chen, ZHOU Su, GUO Tie-ying, ZHANG Shuang-quan, WANG Liang-liang. 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135-148(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, XU Qiang, WANG Li-quan. 2002. Theory and practice of mineral resource prognosis and evaluation: form research on "sanjiang" region, West-eastern China[J]. *Mineral Deposits*, 21(z1): 40-43(in Chinese with English abstract).
- SONG Zhong-bao, LI Zhi-pei, REN You-xiang, YANG Jian-guo, LI Ya-zhi, XIE Chun-lin. 2005a. Chronology and Geological significance of Chelugou dacite porphyry in North Qilian Mts[J]. *Geological Science and Technology Information*, 24(3): 15-19(in Chinese with English abstract).
- SONG Zhong-bao, REN You-xiang, LI Zhi-pei, YANG Jian-guo, LI Ya-zhi, WANG Wei. 2005b. A Preliminay Study of the petrogenic age of granodiorite in Baishanzhi, North Qilian Mts[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26(z1): 84-86(in Chinese with English abstract).
- SONG Zhong-bao, DU Yu-liang, LI Zhi-ming, JIA Qun-zi, GAO Yong-bao, LIU Zhen-hong, YUAN Guang-ping, CHANG Ge-hong, TONG Hai-kui. 2009. The Distributing Characteristics of Mineral Resources in Qinghai Province[J]. *Journal of earth sciences and environment*, 33(1): 30-33, 47(in Chinese with English abstract).
- WANG Zhao-lin, YANG Zhi-ming, YANG Zhu-sen. TIAN Shi-hong, LIU Ying-chao, MA Yan-qing, WANG Gui-ren, QU Wen-jun. 2008. Narigongma porphery molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt: evidence from the age of Re-Os isotope[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 503-510(in Chinese with English abstract).
- XIA Lin-qi, MA Zhong-ping, LI Xiang-min, XIA Zu-chun, XU Xue-yi. 2009. Paleocene-Early Eocene(65-40 Ma) Volcanic Rocks in Tibetan Plateau:the Products of Syn-Collisional Volcanism[J]. *Northwestern Geology*, 42(3): 1-25(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhi-ming, HOU Zeng-qian, YANG Zhu-sen, WANG Shu-xian, WANG Gui-ren, TIAN Shi-hong, WEN De-yin, WANG Zhao-lin, LIU Ying-chao. 2008. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry Mo(-Cu) deposit, southern Qinghai[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 489-502(in Chinese with English abstract).