

西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群中斜长角闪岩 ——Rodinia 超大陆裂解的地质纪录

辜平阳¹, 李荣社¹, 何世平¹, 查显锋¹, 于浦生¹, 时超², 潘术娟², 王轶¹

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群中斜长角闪岩原岩恢复为正斜长角闪岩, 地球化学特征显示岩石属于拉斑系列基性火山岩, 具有轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的右倾型稀土元素配分模式。岩石富集大离子亲石元素 Rb、Ba 及高场强元素 Nb、Ta、Sr、Th 和 U 呈现明显的负异常, 在构造环境判别图解中样品均投到板内玄武岩区, 具有与裂谷火山岩相似的地球化学特征。通过高精度的 LA-ICP-MS 激光剥蚀等离子体质谱仪, 锆石微区原位 U-Pb 同位素测年, 西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群片麻状斜长角闪岩中获得 863 ± 10 Ma 的谐和年龄, 为原岩(基性火山岩)的形成时代, 说明聂荣岩群形成于新元古代早期。该年龄相当于 Rodinia 超大陆裂解的地质纪录。此外, 还获得了 2 539~1 006 Ma 之间的捕获锆石年龄信息。

关键词: 聂荣微地块; 聂荣岩群; 片麻状斜长角闪岩; 地球化学; 锆石 U-Pb 年龄; Rodinia 裂解

中图分类号: P588.3; P588.14

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)02-0145-10

The amphibolite from Nyainrong Rock Group in northern Nagqu: geological records of break-up of the supercontinent Rodinia

GU Ping-yang¹, LI Rong-she¹, HE Shi-ping¹, ZHA Xian-feng¹, YU Pu-sheng¹, SHI Chao²,
PAN Shu-juan² and WANG Yi¹

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The protolith of the studied amphibolite is ortho-plagioclase amphibolite, with the geochemical characteristics of tholeiite series basic volcanic rocks. The chondrite-normalized REE patterns are rightward inclined and the primitive mantle normalized trace element spidergrams are characterized by enriched Rb, Ba, Nb and Ta and depleted Sr, Th and U. In addition, the tectonic discrimination diagrams for Nyainrong Rock Group gneissic amphibolite show the attribution to intraplate basalt, which is compatible with the characteristics of rift-related volcanic rocks. High resolution LA-ICP-MS in situ dating yields the age of 863 ± 10 Ma for gneissic amphibolite in Nyainrong Rock Group located in Nyainrong microblock, northern Nagqu County, Tibet, which indicates the protolith age of basic volcanic rocks and further restricts the formation age of Nyainrong rock group. This age is equal to the geological record of Rodinia supercontinent break event. Furthermore, the ages of 2 539~1 006 Ma for captured zircons are also yielded in Nyainrong Rock Group.

Key words: Nyainrong microblock; Nyainrong Rock Group; gneissic amphibolite; geochemistry; zircon U-Pb dating; Rodinia supercontinent break

收稿日期: 2011-01-11; 修订日期: 2011-11-22

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(41002063); 中国地质大调查资助项目(1212010610102)

作者简介: 辜平阳(1982-), 男, 助理研究员, 主要从事构造地质学、地球化学研究, E-mail: pingyang-322@163.com。

聂荣微地块北邻班公湖-丁青-怒江缝合带,南接拉萨地块,是冈底斯-念青唐古拉地块的重要组成部分(西安地质调查中心^①,2010),该地块在前寒武纪已经接受沉积,形成一套以陆源碎屑和基性火山岩为主的活动型沉积建造,随后沉积了一套碎屑岩与碳酸盐交互出现的沉积岩系。这套沉积岩形成以后,聂荣微地块发生了强烈的构造变动,同时伴有较大规模的英云闪长岩和二长花岗岩的侵入。泛非运动使地层和岩石发生逆冲推覆和大型平卧褶皱产生构造增厚作用,并使岩石遭受角闪岩相区域变质作用(中国地质大学,2006)^②。研究聂荣岩群的重要物质组成、形成时代及地球化学特征,对研究聂荣微地块,乃至青藏高原的年龄格架、构造演化等具有指示作用。近年来,国内学者对聂荣岩群构造属性和形成时代有较多的研究,但由于自然条件的限制,认识分歧仍很大。

该岩群曾被称为“阿木岗群”(西藏自治区地质矿产局,1993)或“吉塘群”(西藏自治区地质矿产局,1997)。成都地质矿产研究所(2005)^③认为该岩群是聂荣变质核杂岩的组成部分,时代归属为前寒武纪。中国地质大学(2006)^②经系统的调查研究认为该套变质岩经历了强烈的变形变质作用,尤其是韧性变形较强,变质达到角闪岩相,有别于“阿木岗群”、“吉塘群”及变质核杂岩,将其命名为“聂荣岩群”,并在该岩群中获得了斜长角闪岩 Sm-Nd 等时代年龄为 601 Ma;英云闪长质片麻岩两组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 491 ± 1 Ma 和 492 ± 11 Ma;片麻状二长花岗岩两组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 814 ± 18 Ma 和 515 ± 14 Ma,将聂荣岩群形成时代定为前寒武纪。年龄资料显示曾在安多县附近该岩群片麻岩中获得 519 ± 12 Ma、530 Ma 和 2 000 Ma 三组锆石年龄(西藏自治区地质矿产局,1993)。潘桂棠等(2004)将其形成时代定为中新元古代。

本次利用高精度激光剥蚀等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)对西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群中斜长角闪岩进行了地球化学特征及锆石 U-Pb 微区原位定年研究,据此进一步探讨其地质意义。

1 区域地质背景

聂荣岩群出露于聂荣微地块中南部、西藏那曲县北,主要分布在研究区北西、北东及中南部(图 1)。该岩群主要有两种产出状态:一种是呈面状产出,与前寒武纪片麻状二长花岗岩、英云闪长质片麻岩、早侏罗世中粗粒含斑花岗闪长岩、晚白垩世细粒白云母花岗岩呈侵入接触,中南部被第四系覆盖。另一种是呈大小不等的透镜状、扁豆状、不规则状及浑圆状零星分布于英云闪长质片麻岩和片麻状二长花岗岩中,以包体形式出现。总体上很难严格按地层序列建立地层系统。按现存产状其下部主要岩石组合为黑云斜长角闪岩、辉石斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩和含石榴黑云二长变粒岩;上部主要由(含)夕线二云斜长片麻岩、长石透辉石英岩、石榴黑云二长浅粒岩、黑云斜长变粒岩和大理岩组成。该岩群经过多期次的变质变形作用改造,原始面理和层序已被完全置换,现存构造面理是多期变形置换的结果,具有有层无序的特点,变质程度达到角闪岩相(中国地质大学,2006)^②。

2 样品及其岩相学特征

本次选择在扎仁镇北聂荣岩群基岩出露较好,岩石组合较为齐全的地段测制一条近东西向剖面,基本控制了聂荣岩群。主要岩石组合包括黑云斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、石榴黑云二长变粒岩、黑云二长浅粒岩、片麻状二长花岗岩、大理岩及石英岩等(图 2)。用于研究的片麻状斜长角闪岩样品(09NR-2)采样位置如图 2 所示(地理坐标: $N 32^{\circ}01'30.5''$, $E 91^{\circ}41'28.5''$, $H 2 519$ m),以夹层的形式产出于黑云二长浅粒岩、大理岩及石英岩中,近南北向延伸,岩石遭受多期次的变质-变形作用的改造,原始结构构造不复存在,基岩露头片理化较强,其产状与围岩基本一致。岩石呈深灰绿色,片麻状构造、粒状变晶结构,矿物大部分沿片麻理方向呈定向排列,成分主要为弱绿泥石化角闪石(50%~

① 西安地质调查中心. 2010. 青藏高原前寒武纪地质、古生代构造-古地理综合研究说明书.

② 中国地质大学. 2006. 1:25 万安多县幅区域地质调查报告.

③ 成都地质矿产研究所. 2005. 1:25 万那曲县幅区域地质调查报告.

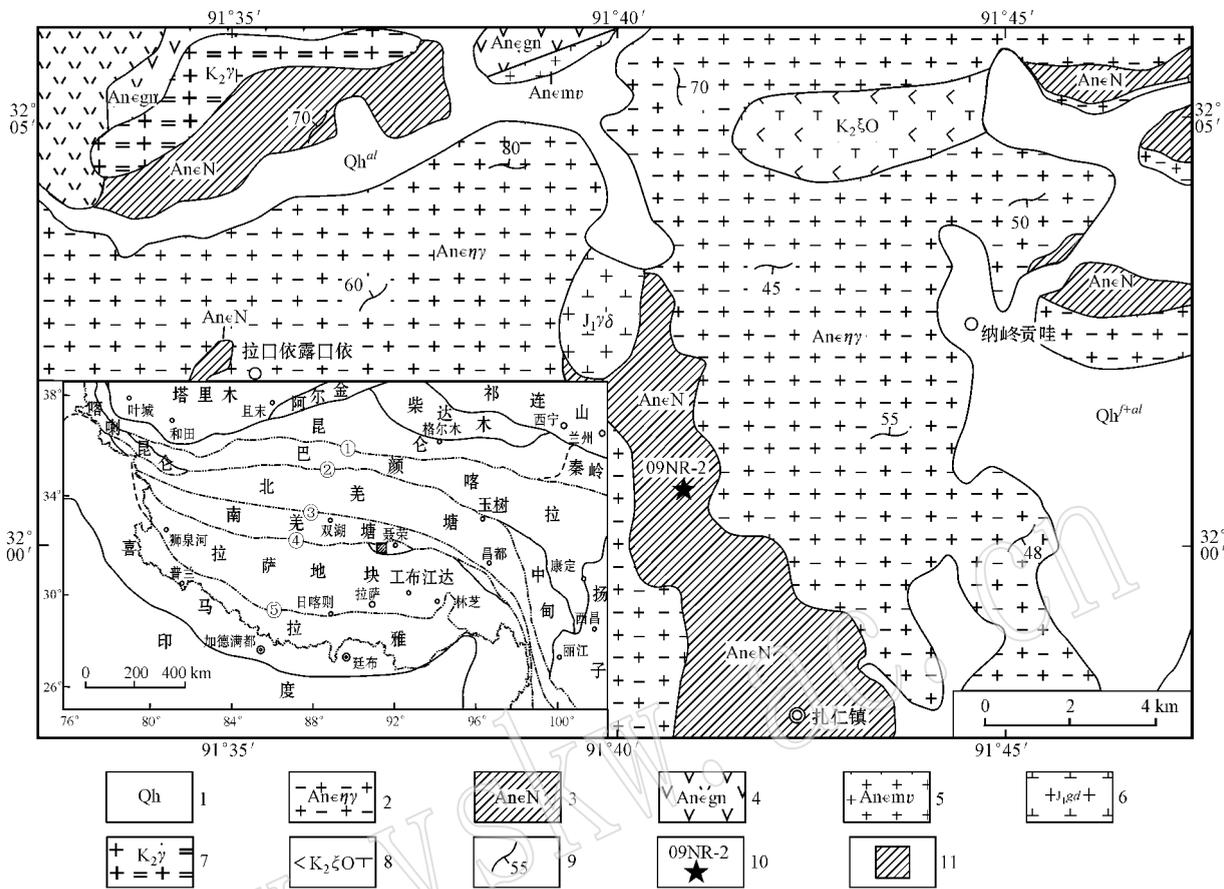


图 1 西藏那曲县北扎仁镇一带地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Zaring, northern Nagqu, Tibet

1—第四系；2—前寒武纪片麻状二长花岗岩；3—前寒武纪聂荣岩群；4—前寒武纪英云闪长质片麻岩；5—变基性岩脉；6—早侏罗世花岗闪长岩；7—晚白垩世花岗岩；8—晚白垩世角闪石英正长岩；9—片麻理产状；10—采样位置及编号；11—研究区范围；①—康西瓦-木孜塔格-玛沁-勉县-略阳缝合带；②—西金乌兰-金沙江缝合带；③—龙木错-双湖-澜沧江缝合带；④—班公湖-丁青-怒江缝合带；⑤—印度河-雅鲁藏布江缝合带

1—Quaternary；2—Precambrian gneissic monzogranite；3—Precambrian Nyainrong Rock Group；4—Precambrian tonalitic gneiss；5—Meta-basic veins；6—Early Jurassic granodiorite；7—Late Cretaceous granite；8—Late Cretaceous amphibole hornblende syenite；9—Gneissosity attitude；10—sampling site and serial number；11—limits of the study area；①—Kangxiwa-Muzitage-Maqin-Mianxian-Lueyang suture zone；②—Xijinwulan-Jinsha River suture zone；③—Lungmu Co-Shuanghu-Lancang River suture zone；④—Bangong Co-Nujiang River suture zone；⑤—Indian River-Yarlung Zangbo River suture zone

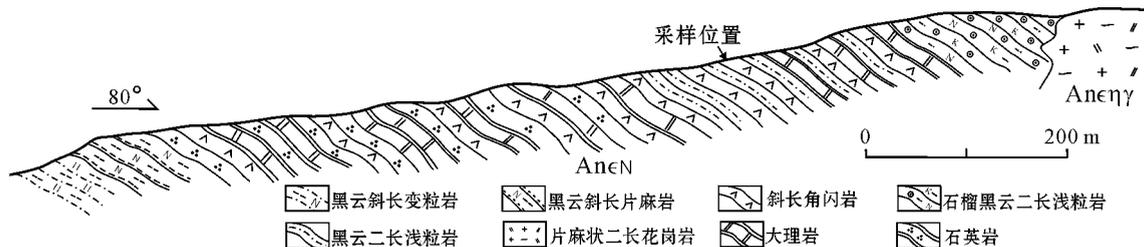


图 2 西藏那曲县北扎仁镇一带聂荣岩群实测剖面

Fig. 2 Stratigraphic section of Nyainrong Rock Group located in Zaring area, northern Nagqu County, Tibet

55%) 和弱钠黝帘石化斜长石(40%~45%)，少量石英、不透明矿物(约2%)，可能是由角闪石等蚀变析出的铁质物体。其他蚀变矿物和副矿物很少(图3)。

经野外调研，片麻状斜长角闪岩与外围的片麻岩、变粒岩、大理岩区域片理方向基本一致，说明经历了同期次的构造事件。

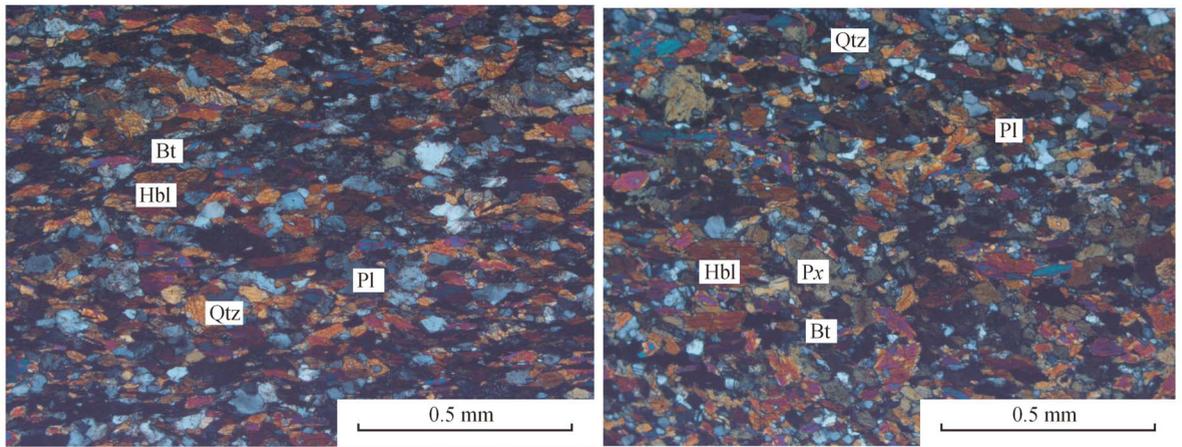


图 3 片麻状斜长角闪岩矿物组合显微照片(正交偏光)

Fig. 3 Photomicrographs showing mineral association of gneissic amphibolite(crossed nicols)

Pl—斜长石; Hbl—角闪石; Qtz—石英; Px—辉石; Bt—黑云母

Pl—plagioclase; Hbl—hornblende; Qtz—quartz; Px—pyroxene; Bt—biotite

3 岩石地球化学特征

斜长角闪岩主量元素扣除烧失量作归一化处理,数值如下(表 1),斜长角闪岩的 SiO_2 含量(质量分数,下同)为 45.83%~49.15%,平均 47.76%,属于基性岩类; TiO_2 为 2.91%~3.19%,平均 3.05%; Al_2O_3 为 14.90%~18.46%,平均 16.24%,二者含量较高; CaO 为 7.68%~9.35%,平均 8.56%; MgO 为 5.76%~6.76%,平均 6.24%, $\text{Mg}^\#$ [$\text{Mg}^\# = 100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$] 介于 33.73~36.08,低于原生岩浆范围(68~75),表明岩石经历了一定程度的分异演化(Willson, 1989); 贫 K_2O (0.17%~1.01%),平均 0.48%; Na_2O (2.73%~

3.17%)含量相对较高,且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。在 $\text{TiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$ 图解(图 4)和 $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{FeO}^*$ 图解(图 5)中所有的斜长角闪岩的样品均落入了正斜长角闪岩区。

在 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ 图解(图 6)上,所有的斜长角闪岩都投在亚碱性玄武岩区,在 AFM 图解(图 7)中进一步划分,岩石属于拉斑系列。综合分析认为所研究的斜长角闪岩为变基性火山岩系。

微量元素分析见表 2,斜长角闪岩 ΣREE 为 $110.71 \times 10^{-6} \sim 142.77 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 2.88~3.50, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 1.39~1.78,轻、重稀土分馏明显。在稀土元素球粒陨石标准化的配分图上表现为轻稀土相对富集,重稀土相对亏损(图 8a)。 δEu 为 0.92~1.01,基本无异常,说明岩浆分异作用强度不大。斜长角闪岩这种稀土配分模式与大陆(板内)裂谷火山岩相似(侯贵廷等,2003;张振利等,2007)。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图中(图 8b),所有样品的微量元素含量大于原始地幔值,大离子亲石元素 Rb、Ba 和高场强元素 Nb 和 Ta 富集, Sr 相对亏损。Th、U 呈现明显的负异常,李益龙等(2006)研究认为裂谷火山岩出现 Th、U 亏损,说明裂谷可能处于拉张的初期阶段。Zr、Hf、Nb 和 Ta 在蚀变和变质作用过程中具有良好的稳定性,是岩石成因和源区性质的良好指示剂。本次研究样品 Zr 丰度为 $170.00 \times 10^{-6} \sim 207.00 \times 10^{-6}$,平均 186.00×10^{-6} , Hf 丰度为 $4.09 \times 10^{-6} \sim 5.03 \times 10^{-6}$,平均 4.51×10^{-6} 与板内拉斑玄武岩相近,高于 MORB; Nb 和 Ta 的丰度平均为 25.24×10^{-6} 和 1.59×10^{-6} ,

表 1 聂荣岩群中斜长角闪岩主量元素含量分析结果 $w_B/\%$

Table 1 Major element compositions of Nyainrong rock Group gneissic amphibolite

样号	09NR-2-1	09NR-2-2	09NR-2-3	09NR-2-4
Al_2O_3	15.83	18.46	14.90	15.79
Fe_2O_3	2.61	3.32	2.03	2.43
FeO	11.74	11.02	11.51	11.36
MnO	0.25	0.27	0.21	0.24
MgO	6.76	5.76	6.41	6.03
CaO	7.91	7.68	9.31	9.35
Na_2O	3.09	3.17	2.73	3.01
K_2O	0.43	1.01	0.32	0.17
P_2O_5	0.45	0.36	0.43	0.40
Total	99.82	100.10	99.80	99.93
$\text{Mg}^\#$	36.08	33.73	35.41	34.24

注:分析单位为西安地质矿产研究所,2010。

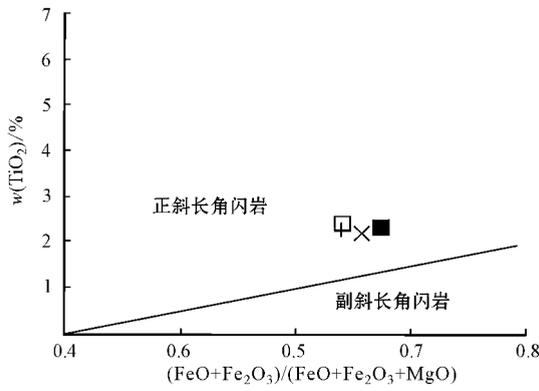


图 4 斜长角闪岩 $TiO_2 - (FeO + Fe_2O_3) / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$ 判别图解(据 Misra, 1971)
Fig. 4 $TiO_2 - (FeO + Fe_2O_3) / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$ diagram for plagioclase amphibolites (after Misra, 1971)

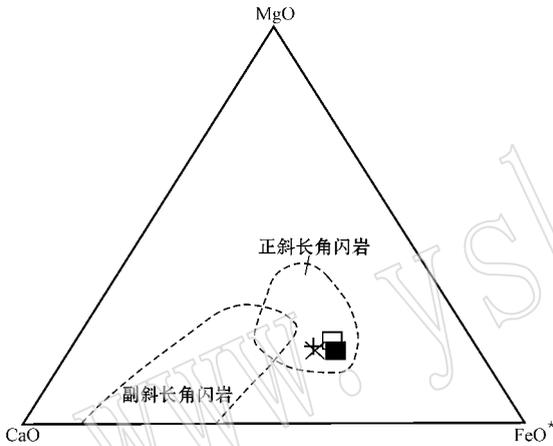


图 5 斜长角闪岩 $MgO - CaO - FeO^*$ 图解(据 Misra, 1971)
Fig. 5 $MgO - CaO - FeO^*$ diagram for plagioclase amphibolites (after Misra, 1971)

介于板内拉斑玄武岩和板内碱性玄武岩之间 (Pearce, 1982)。且研究样品 Ta/Hf 为 0.33~0.39 符合陆内裂谷碱性玄武岩和陆内拉张带(或初始裂谷)玄武岩 $Ta/Hf > 0.1$ 的特征 (Condie, 1989)。

在 $Zr/Y - Zr$ 图解(图 9a)和 $Ti/100 - Zr - 3Y$ 图解上(图 9b)样品均投到板内玄武岩区,在 $2Nb - Zr/4 - Y$ 图解(图 9c)上样品投在了板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩区。综上所述,聂荣岩群斜长角闪岩形成于裂谷环境,且处于拉张的初期阶段。

4 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

4.1 分析方法

锆石的阴极发光 (CL) 图像在西北大学扫描电镜实验室完成,采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束

表 2 聂荣岩群中斜长角闪岩微量元素含量分析结果 $w_B/10^{-6}$

Table 2 Trace element compositions of Nierong rock Group gneissic amphibolite				
样号	09NR-2-1	09NR-2-2	09NR-2-3	09NR-2-4
La	17.90	20.70	14.50	14.30
Ce	42.90	47.10	35.00	35.40
Pr	6.15	6.51	5.12	5.13
Nd	27.40	29.20	23.10	23.80
Sm	7.14	7.31	6.54	6.23
Eu	2.29	2.55	2.15	2.03
Gd	8.09	8.15	7.16	7.02
Tb	1.27	1.32	1.13	1.11
Dy	7.19	8.07	6.87	6.61
Ho	1.55	1.80	1.46	1.36
Er	3.95	4.64	3.86	3.49
Tm	0.58	0.70	0.56	0.52
Yb	3.45	4.11	3.40	3.21
Lu	0.55	0.61	0.50	0.50
Σ REE	130.41	142.77	111.35	110.71
δ Eu	0.92	1.01	0.96	0.94
$(La/Yb)_N$	3.50	3.40	2.88	3.00
Ba	148.00	309.00	101.00	54.20
Rb	11.10	40.60	8.78	2.15
Sr	172.00	280.00	254.00	179.00
Co	52.10	48.20	52.90	50.70
V	383.00	360.00	375.00	348.00
Cr	29.50	36.20	21.50	20.10
Ni	18.60	18.30	15.70	14.80
Nb	26.10	26.20	24.40	23.60
Ta	1.60	1.71	1.50	1.48
Zr	186.00	207.00	181.00	170.00
Hf	4.56	5.03	4.36	4.09
Cs	2.91	3.23	2.52	3.53
Th	0.78	1.08	0.44	0.27
U	0.24	0.33	0.12	0.06
Pb	60.60	44.10	2.16	2.42
Sc	37.20	39.60	37.80	36.40

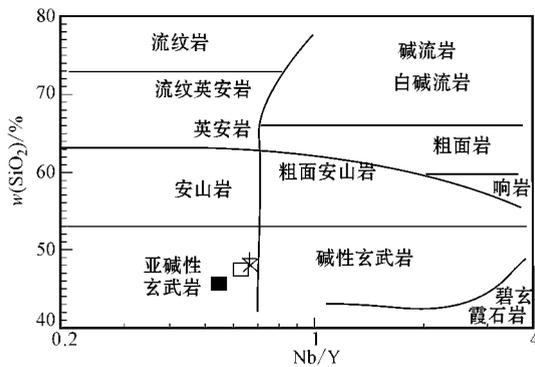
注:分析单位为西安地质矿产研究所,2010。

进行锆石内部结构显微照相分析。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得较准确的年龄信息。

LA-ICP-MS 法锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Agilent7500 型 ICPMS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光学系统的联机上。激光束斑直径为 30 μ m,激光剥蚀深度为 20~40 μ m。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,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 SRM610 进行仪器最佳化,采

表 3 西藏那曲县北聂荣微地块聂荣岩群片麻状斜长角闪岩(09NR-2)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果
 Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis from Nyainrong Rock Group gneiss-sic amphibolite(09NR-2) of Nyainrong microblock, northern Nagqu, Tibet

样点编号	比值		比值		比值		年龄/Ma		年龄/Ma		年龄/Ma		Th/U	谐和度/%				
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ			$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ		
09NR-2-1	0.069 8	0.000 9	1.391 8	0.018 6	0.144 63	0.001 63	0.040 7	0.000 4	921	12	885	8	871	9	807	9	0.81	101.61
09NR-2-2	0.096 5	0.001 1	3.675 1	0.045 2	0.276 09	0.003 08	0.078 8	0.000 8	1 557	10	1 566	10	1 572	16	1 533	16	0.71	99.05
09NR-2-3	0.064 9	0.001 0	1.057 4	0.017 0	0.118 04	0.001 36	0.039 2	0.000 5	772	16	733	8	719	8	777	9	0.64	101.95
09NR-2-4	0.142 2	0.003 8	7.321 6	0.170 8	0.373 39	0.004 77	0.105 2	0.001 3	2 254	47	2 151	21	2 045	22	2 022	23	0.96	110.22
09NR-2-5	0.068 5	0.000 9	1.371 7	0.018 1	0.145 27	0.001 64	0.042 4	0.000 5	882	12	877	8	874	9	839	9	0.76	100.34
09NR-2-6	0.073 0	0.000 9	1.700 1	0.021 8	0.168 92	0.001 9	0.052 5	0.000 6	1 013	12	1 009	8	1 006	10	1 035	11	0.48	100.70
09NR-2-7	0.080 0	0.001 0	2.361 2	0.030 3	0.213 92	0.002 41	0.059 4	0.000 7	1 198	11	1 231	9	1 250	13	1 166	13	0.33	95.84
09NR-2-8	0.096 1	0.001 2	3.656 5	0.046 3	0.276 01	0.003 11	0.072 7	0.000 8	1 549	11	1 562	10	1 571	16	1 418	15	0.53	98.60
09NR-2-9	0.121 0	0.001 5	6.005 4	0.079 4	0.359 98	0.004 1	0.100 7	0.001 1	1 970	11	1 977	12	1 982	19	1 939	21	1.10	99.39
09NR-2-10	0.096 0	0.001 2	3.682 6	0.047 2	0.278 09	0.003 14	0.077 5	0.000 9	1 548	11	1 568	10	1 582	16	1 509	16	0.49	97.85
09NR-2-12	0.070 7	0.000 9	1.680 8	0.022 1	0.172 33	0.001 95	0.048 1	0.000 5	950	12	1 001	8	1 025	11	949	10	0.79	97.66
09NR-2-13	0.066 0	0.000 9	1.192 6	0.017 4	0.130 98	0.001 5	0.042 8	0.000 5	808	14	797	8	793	9	848	10	0.49	100.50
09NR-2-14	0.070 8	0.001 0	1.378 2	0.019 4	0.141 24	0.001 62	0.039 4	0.000 5	950	13	880	8	852	9	780	10	0.31	103.29
09NR-2-15	0.064 3	0.000 8	1.135 6	0.015 4	0.128 16	0.001 46	0.036 8	0.000 4	750	13	770	7	777	8	731	8	0.61	99.10
09NR-2-17	0.150 3	0.002 0	8.198 8	0.116 7	0.395 66	0.004 6	0.113 3	0.001 4	2 349	11	2 253	13	2 149	21	2 169	25	1.12	109.31
09NR-2-18	0.070 3	0.001 1	1.477 9	0.023 6	0.152 57	0.001 78	0.046 7	0.000 6	936	16	921	10	915	10	922	12	0.73	100.66
09NR-2-19	0.110 9	0.001 5	4.933 2	0.068 3	0.322 58	0.003 71	0.094 7	0.001 2	1 815	11	1 808	12	1 802	18	1 828	21	0.32	100.72
09NR-2-20	0.072 3	0.002 0	1.391 0	0.038 7	0.139 57	0.001 88	0.046 9	0.000 8	994	35	885	16	842	11	927	16	0.86	105.11
09NR-2-21	0.188 3	0.002 5	12.533 0	0.178 2	0.482 73	0.005 59	0.122 7	0.001 6	2 727	11	2 645	13	2 539	24	2 338	28	0.29	107.40
09NR-2-22	0.076 4	0.003 1	1.440 6	0.055 7	0.136 72	0.001 83	0.041 1	0.000 5	1 106	84	906	23	826	10	814	9	0.77	109.69
09NR-2-23	0.097 5	0.002 7	3.634 1	0.087 8	0.270 25	0.003 35	0.079 1	0.000 9	1 577	52	1 557	19	1 542	17	1 539	17	0.62	102.27
09NR-2-24	0.156 8	0.002 2	9.882 3	0.144 5	0.457 17	0.005 32	0.124 6	0.001 6	2 421	11	2 424	13	2 427	24	2 373	29	0.87	99.75
09NR-2-25	0.071 3	0.001 1	1.402 6	0.022 2	0.142 64	0.001 68	0.042 3	0.000 6	967	15	890	9	860	9	838	11	1.02	103.49
09NR-2-26	0.160 3	0.002 4	10.205 6	0.159 6	0.461 81	0.005 49	0.130 2	0.001 8	2 459	12	2 454	14	2 448	24	2 474	32	0.94	100.45
09NR-2-29	0.073 2	0.001 1	1.733 9	0.027 9	0.171 83	0.002 03	0.053 3	0.000 7	1 019	16	1 021	10	1 022	11	1 050	14	1.25	99.71
09NR-2-30	0.114 2	0.001 7	5.358 8	0.084 5	0.340 45	0.004 02	0.073 2	0.001 0	1 867	13	1 878	13	1 889	19	1 428	20	0.35	98.84
09NR-2-31	0.106 9	0.001 7	4.807 2	0.077 9	0.326 02	0.003 87	0.101 1	0.001 4	1 748	14	1 786	14	1 819	19	1 946	26	0.55	96.10
09NR-2-32	0.064 9	0.002 8	1.188 2	0.048 9	0.132 73	0.001 77	0.040 6	0.000 5	772	93	795	23	803	10	805	9	0.77	99.00
09NR-2-33	0.118 8	0.002 0	5.611 3	0.096 7	0.342 62	0.004 14	0.114 7	0.001 8	1 938	15	1 918	15	1 899	20	2 195	32	0.45	102.05
09NR-2-34	0.068 6	0.001 2	1.369 4	0.024 1	0.144 76	0.001 74	0.048 1	0.000 8	886	18	876	10	872	10	949	15	0.37	100.46
09NR-2-35	0.071 2	0.001 4	1.406 6	0.027 5	0.143 24	0.001 76	0.046 3	0.000 7	963	21	892	12	863	10	915	14	1.70	103.36

图 6 斜长角闪岩 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ 图解

(据 Winchester and Floyd, 1977)

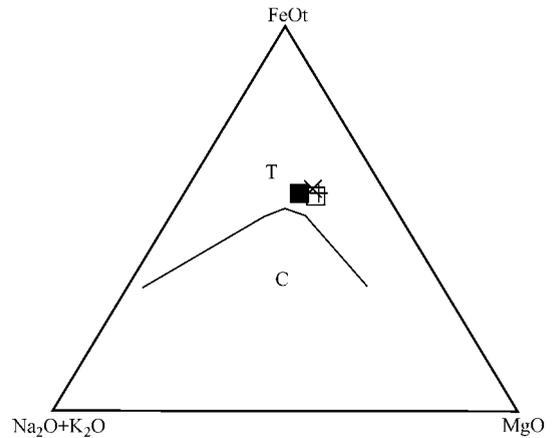
Fig. 6 $\text{SiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ diagram for plagioclase amphibolites (after Winchester and Floyd, 1977)

图 7 斜长角闪岩 AFM 图解 (据 Irvine and Baragar, 1971)

Fig. 7 AFM diagram for plagioclase amphibolites (after Irvine and Baragar, 1971)

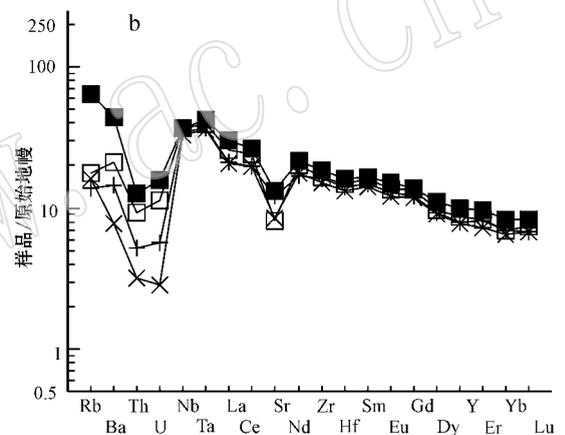
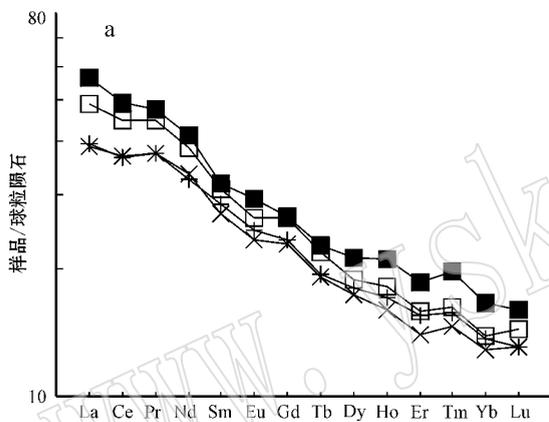


图 8 聂荣岩群斜长角闪岩稀土元素球粒陨石标准化图解 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b)

(标准化值据 McDonough and Sun, 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive-mantle normalized spidergram (b) for Nyainrong Rock Group gneissic amphibolite (norm values from McDonough and Sun, 1989)

样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每完成 4~5 个待测样品测定,插入测标样一次。在所测锆石样品 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用标准锆石 91500 作为外部标准物质,元素含量采用 NIST SRM610 作为外标。由于 SiO_2 在锆石中的含量较恒定,选择 ^{29}Si 作为内标来消除激光能量在点分析过程中以及分析点之间的漂移,对于大多数元素单点分析的相对标准偏差为 5%~15%。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献 (Gao *et al.*, 2002; 袁洪林等, 2003)。

采用 Glitter (ver4.0, Macquarie University) 程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算,并按照 Andersen Tom 的方法 (Andersen, 2002), 用

LAMICPMS Common Lead Corrector (ver3.15) 对其进行了普通铅校正,年龄计算及谐和图采用 Isoplot (ver3.0) 完成 (Ludwig, 2003)。

4.2 测试结果

对那曲县北扎仁镇聂荣岩群片麻状斜长角闪岩 (09NR-2) 进行锆石内部结构阴极发光 (CL) 观察和 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年,锆石的 U-Pb 同位素比值和不同表面年龄测试数据列于表 3,阴极发光图像见图 10。双目镜下显示,所测锆石多呈无色透明,半自形-浑圆粒状 (部分残缺锆石属于碎样时机械破损),少数略带浅黄色,粒径较小,多在 $60 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m} \sim 120 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$ 之间。依据锆石阴极发光内部结构的差异,大体可以分为两类:第一类锆石颜色较浅,总体呈浅灰色,呈半自形短柱状,内部发育弱

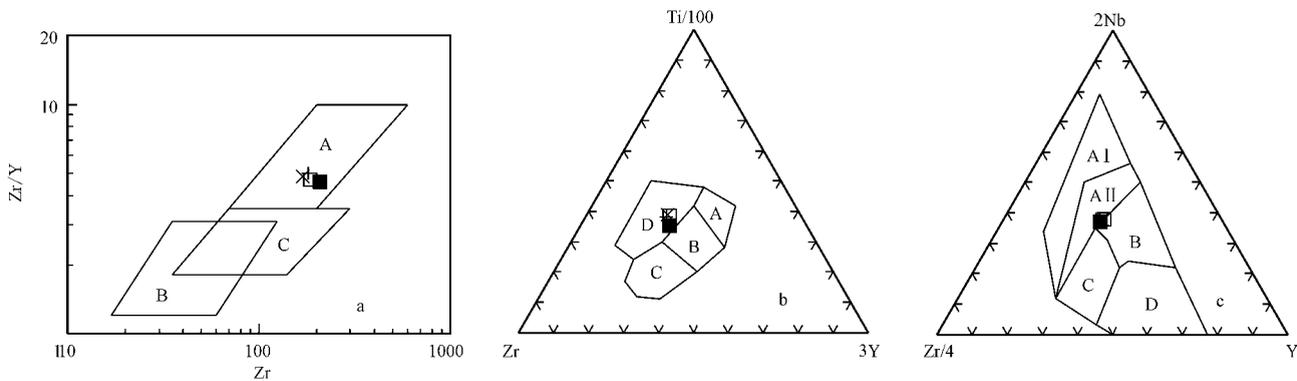


图 9 聂荣岩群斜长角闪岩构造环境判别图解

Fig. 9 Tectonic discrimination diagrams for Nyainrong Rock Group gneissic amphibolite

a, $Zr/Y - Zr$ 图解 (据 Pearce, 1982): A—板内玄武岩; B—岛弧玄武岩; C—洋脊玄武岩; b, $Ti/100 - Zr - 3Y$ 图解 (Pearce *et al.*, 1973): A—岛弧拉斑玄武岩; B—岛弧拉斑玄武岩、钙碱性玄武岩和 MORB; C—钙碱性玄武岩; D—板内玄武岩; c, $2Nb - Zr/4 - Y$ 图解 (Meschede, 1986): A I—板内碱性玄武岩; A II—板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B—E-MORB; C—板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D—N-MORB 和火山弧玄武岩

a $Zr/Y - Zr$ diagrams (after Pearce *et al.*, 1982): A—intraplate basalt; B—Island basalt; C—ocean ridge basalt; b, $Ti/100 - Zr - 3Y$ diagrams (after Pearce and Cann, 1973): A—Island-arc tholeiite basalt; B—Island tholeiite basalt, calc-alkaline basalt and MORB; C—calc-alkaline basalt; D—intraplate basalt; c, $2Nb - Zr/4 - Y$ diagrams (after Meschede, 1986): A I—intraplate alkali basalt; A II—intraplate alkali basalt and Intraplate tholeiite basalt; B—E-MORB; C—intraplate tholeiite basalt and volcanic arc basalt; D—N-MORB and volcanic arc basalt

环带结构(5、18、31号测点锆石), $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄为 842~863 Ma, Th/U 介于 0.76~1.69 之间(表 3), 比值较高, 具有岩浆成因锆石特征; 第二类锆石颜色较深, 呈深灰色, 自形程度不佳, 多为半自形-他形柱状或浑圆状, 内部发育宽缓或条带状结构(1、13、23、30号测点锆石), $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄为 860~872 Ma, Th/U 比值介于 0.30~1.01 之间, 同样具有岩浆结晶锆石特征。个别锆石具有窄的浅色变质增生边(13、23号测点锆石)。锆石内部结构差异较大, 可能影响因素很多, 如岩浆结晶过程中岩浆动力学变化、晶体-岩浆界面特征的差异、熔体中元素的饱和度、元素扩散等 (Corfu *et al.*, 2003; Black *et al.*, 2003)。本次所测锆石内部结构不均一, 可能是经历了构造事件、浅变质或蚀变等影响, 导致原始结构被改造。

片麻状斜长角闪岩(09NR-2)中的锆石 U-Pb 同位素测试数据经普通铅校正后测试结果列于表 3, 锆石有效测试点共 31 个。在 $^{206}Pb/^{238}U - ^{207}Pb/^{235}U$ 谐和图(图 11)上, 多数老锆石(2、4、6~12、17、19、21、23、24、26、30、31、33号测点锆石) $^{207}Pb/^{206}Pb$ 表面年龄介于 2 539~1 006 Ma 之间, 分布较分散, 无明显集中区, 其中 1 557~2 022 Ma 的年龄数据相对较多, 依据锆石特征, 可能为古老捕获岩浆锆石的年龄信息。

但有 7 个锆石测试点(1、5、13、18、23、30、31 测

点)在 U-Pb 谐和图中成群集中分布于谐和线上, $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄介于 842~871 Ma 之间, $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 863 ± 10 Ma (MSWD = 1.4), 谐和年龄和加权平均年龄在误差范围内基本一致, 这些测点所对应的锆石大部分多具有环带结构, Th/U 比值多数大于 0.32, 且岩石地球化学显示斜长角闪岩原岩为基性火山岩, 综合表明这些锆石应为同期岩浆结晶成因, 代表片麻状斜长角闪岩的形成年龄。

5 讨论与结论

研究表明, Rodinia 超大陆的聚合造山发生在 1 300~1 000 Ma, 并在 1 000~900 Ma 继以伸展作用, 裂解作用发生于 830 Ma 之后, 但其过程具有明显的时空分布不均一性(徐备, 2001)。最近, Li 等 (2008) 对于 Rodinia 超级大陆汇聚-裂解过程进行了比较全面的综合分析研究, 借鉴这些研究成果, 可以对于全球性新元古中晚期大陆裂谷火山活动萌生-发展的始末作出比较清楚的解析: ① 大约 900 Ma 前的 Grenville 造山事件(相当于中国地质界所称的晋宁造山运动、四堡造山运动), 使得包括塔里木、澳大利亚、大印度、东南极、西伯利亚、华南(包括南秦岭、扬子、华夏)、华北、劳伦(北美)、非洲地块群、南美地块群、波罗的和西非等地球上几乎所有的陆

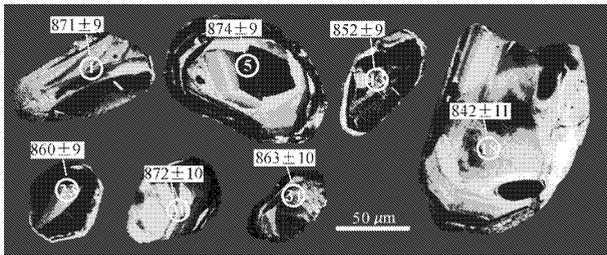


图 10 聂荣岩群片麻状斜长角闪岩锆石 CL 图像
Fig. 10 CL images of zircon from Nyainrong rock Group gneissic amphibolite

块会聚-拼合成为 Rodinia 超级联合大陆。② 根据目前查明的地质记录, Rodinia 古大陆上最早的裂谷化和与之相伴的大陆裂谷火山事件应发生于 830~780 Ma, 这一时期的裂谷岩浆事件主要发育于澳大利亚、华南和劳伦(北美)陆块中, 裂谷火山岩系不整合覆盖于中元古代和时代更老的地层之上。③ 780 Ma 之后, 大陆裂谷火山活动开始向澳大利亚-华南-劳伦四周更大范围(塔里木、西伯利亚、非洲)蔓延。④ 大约 750 Ma 左右, 从 Rodinia 超大陆的西半部开始逐渐发生裂离。⑤ 直至 540~530 Ma 除了华南、

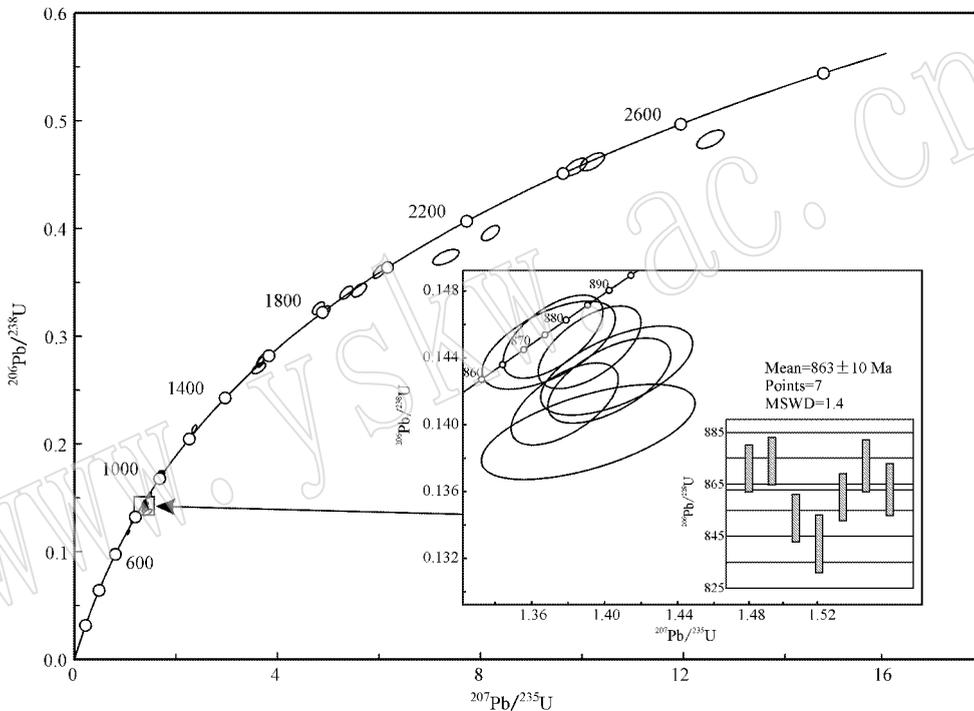


图 11 聂荣岩群片麻状斜长角闪岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 11 Zircon U-Pb concordia diagrams from Nyainrong Rock Group gneissic amphibolite

华北、劳伦、西伯利亚和波罗的等陆块仍处于分离状态外, 地球上其余的陆块又经过 Malagasy 造山运动, 会聚-拼合成为“冈瓦纳大陆”(Gondwanaland)。

前人通过对聂荣岩群中片麻岩及后期变质侵入体的测年研究, 年龄信息集中在 491~530 Ma, 从而限定聂荣岩群的形成时代。但由于片麻岩中锆石来源比较复杂, 变质侵入体只能提供聂荣岩群形成的下限年龄, 从而不能准确限定其形成时代。本文依据野外地质特征, 选择测年的片麻状斜长角闪岩以夹层形式与外围片麻岩、变粒岩、大理岩构造面理接触, 且片麻理方向与区域片麻理、片理方向基本一致, 与变质侵入体之间的侵入接触关系局部较为明

显。本次通过高精度的 LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 同位素测年, 结果表明那曲县北聂荣微地块聂荣岩群片麻状斜长角闪岩的形成年龄为 863 ± 10 Ma, 时代归为新元古代晚期, 进一步限定了聂荣岩群的形成时代。聂荣岩群形成时代的重新厘定对研究聂荣微地块, 乃至青藏高原的年龄格架、构造演化等具有重要的地质意义。

聂荣岩群斜长角闪岩原岩为基性火山岩, 具有裂谷火山岩的岩石地球化学特征, 结合 863 ± 10 Ma 的形成年龄, 说明斜长角闪岩应为 Rodinia 超大陆伸展裂解事件的地质记录, 是 Rodinia 超大陆伸展裂解事件在聂荣微地块的反应, 为研究超大陆的发展演

化提供了地质依据。

测年结果还显示出一些古老捕获岩浆锆石年龄信息, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄介于 2 539~1 006 Ma, 其中 1 557~2 022 Ma 的年龄数据较多, 与前人在研究区片麻岩中获得 2 000 Ma 的锆石 U-Pb 年龄大体一致, 表明那曲县北可能发生过中条-吕梁期的构造-岩浆事件。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.

Black L P, Kamo S L, Allen C M, *et al.* 2003. TEMORA1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J]. *Chem. Geol.*, 200: 155~170.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region. 1997. Stratigraphy (Lithostratic) of Tibet Autonomous Region [M]. Wuhan: Chinese University of Geosciences Publishing House (in Chinese with English abstract).

Condie K C. 1989. Geochemical changes in basalts and andsities across the Archaean-Proterozoic boundary: identification and significance [J]. *Lithos*, 23: 1~18.

Corfu F, Hancher J M, Hoskin P O W, *et al.* 2003. Atals of zircon texture [A]. Hancher J M and Hoskin P O W. Zircon [C]. *Reviews of Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469~500.

Gao Shan, Liu Xiaoming, Yuan Honglin, *et al.* 2002. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICPMS [J]. *Geostand News*, 22: 181~195.

Hou Guiting, Qian Xianglin and Cai Dongsheng. 2003. Cretaceous-paleogene rifting in the Bohai Sea and western Shangdong: geochemical evidence from volcanic rocks [J]. *Chinese Journal of Geology*, 38 (1): 13~21 (in Chinese with English abstract).

Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guid to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523~548.

Li Yilong, Zhou Hanwen, Yan Rong, *et al.* 2006. Petrological and geochemical characteristics and tectonic implication of Cenozoic basalts in Tunka basin in Ikal rift belt [J]. *J. Mineral Petrol.*, 26 (3): 56~63 (in Chinese with English abstract).

Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, *et al.* 2008. Assembly, configuration, and breakup history of Rodinia: a synthesis [J]. *Precambrian Res.*, 168 (1~2): 179~210.

Ludwig K R. 2003. 3.0-A geochronology toolkit for Micro-soft Exce [J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication (4): 1~70.

McDonough W F and Sun S S. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process [A]. Souders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*

[C]. Geological Society Special Publication, 42: 313~345.

Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. *Chem. Geol.*, 56: 207~218.

Misra S N. 1971. Chemical distinction of high-grade ortho and parmetabasites [J]. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 51: 311~316.

Pan Guitang and Ding Jun. 2004. 1:1 500 000 Geological Map of Qinghai-Tibet Plateau and Adjacent Regions (with instructions) [M]. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House (in Chinese).

Pearce J A and Cann J R. 1973. Tectonic setting of basaltic volcanic rocks using trace element analysis [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19: 290~300.

Pearce J A. 1982. Trace element characteristic of lavas from destructive plate boundaries [A]. Thorpe R S. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks* [C]. Chichester: Willy, 525~548.

Willson M. 1989. *Igneous Petrogenesis* [M]. London: Unwin Hyman, 21~22.

Winchester J A and Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements [J]. *Chem. Geol.*, 20: 325~343.

Xu Bei. 2001. Recent study of the Rodinia Supercontinent evolution and its main goal [J]. *Geological Science and Technology Information*, 20 (1): 15~19 (in Chinese with English abstract).

Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 48 (14): 1 511~1 520 (in Chinese).

Zhang Zhenli, Zhuang Shaopeng, Li Guangdong, *et al.* 2007. Discovery of metabasaltic rocks in the Caibalong Formation in the Zhongba stratigraphic area, southern Tibet, China and their significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 26 (4): 410~416 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 2003. 渤海-鲁西地区白垩-早第三纪裂谷活动——火山岩的地球化学证据 [J]. *地质科学*, 38 (1): 13~21.

李益龙, 周汉文, 严溶, 等. 2006. 贝加尔裂谷带通京盆地新生代火山岩石学与地球化学特征及其构造意义 [J]. *矿物岩石*, 26 (3): 56~63.

潘桂棠, 丁俊. 2004. 青藏高原及邻区地质图 (1:150 万) [M]. 成都: 成都地质出版社.

西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.

西藏自治区地质矿产局. 1997. 西藏自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

徐备. 2001. Rodinia 超大陆构造演化研究的新进展和主要目标 [J]. *地质科技情报*, 20 (1): 15~19.

袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析 [J]. *科学通报*, 48 (14): 1 511~1 520.

张振利, 专少鹏, 李广栋, 等. 2007. 藏南仲巴地层分区才巴弄组变质玄武质火山岩的发现及其意义 [J]. *地质通报*, 26 (4): 410~416.