

西藏北拉萨地块新元古代中期变质辉长岩及其地质意义

胡培远, 翟庆国, 唐 跃, 王海涛, 朱志才, 吴 昊

HU Peiyuan, ZHAI Qingguo, TANG Yue, WANG Haitao, ZHU Zhicai, WU Hao

中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要:青藏高原各陆块的前寒武纪演化历史及其在冈瓦纳大陆聚合过程中所处的构造位置目前不清楚。通过青藏高原中部北拉萨地块念青唐古拉岩群中变质辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年和锆石 Hf 同位素组成研究, 锆石 U-Pb 定年结果为 663 ± 7 Ma, 相当于新元古代中期, 代表变质辉长岩的原岩形成时代, 这是北拉萨地块首次报道该时代的基性岩浆记录。变质辉长岩中锆石具有较低的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 ($-1.5 \sim +2.3$), 表明其原岩的岩浆来自富集的地幔源区。结合北拉萨地块已有的变质记录可知, 变质辉长岩的原岩可能形成于造山环境。目前定义的“念青唐古拉岩群”实际上是由时代不同、成因不同, 甚至来源不同的构造岩片组成, 随着工作的深入, 有必要对其进行解体。念青唐古拉岩群中的前寒武纪岩浆和变质记录与东非造山带的活动时限较一致, 因而北拉萨地块可能与东非造山带具有亲缘性。

关键词:北拉萨地块; 念青唐古拉岩群; 变质辉长岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 定年; 东非造山带

中图分类号: P534.3; P588.12⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2018)08-1400-06

Hu P Y, Zhai Q G, Tang Y, Wang H T, Zhu Z C, Wu H. The Middle Neoproterozoic meta-gabbro from the North Lhasa terrane of Tibet and its geological implications. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(8):1400-1405

Abstract: The Precambrian evolution of the ancient terranes in the Tibetan Plateau and their roles in the assembly of Gondwana supercontinent remain unclear. This paper reports SHRIMP zircon U-Pb dating and zircon Hf isotopic analysis data of the meta-gabbro from the Nyainqentanglha Group of North Lhasa terrane, Tibet. Zircon U-Pb dating yielded a weighted mean age of 663 ± 7 Ma, which represents the crystallization age of the protolith of meta-gabbro and is reported for the first time for the North Lhasa terrane. The meta-gabbro has low $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values (-1.5 to $+2.3$), suggesting an enriched magma source. Considering previous Precambrian studies in the North Lhasa terrane, the authors hold that the meta-gabbros were probably formed in an orogenic setting. The Nyainqentanglha Group is actually composed of a suite of tectonic slices with different sizes, ages, and petrogeneses. Thus, it should be disassembled in the future research. The metamorphic and magmatic records in the Nyainqentanglha Group are comparable with those of the East African orogen, suggesting that the North Lhasa terrane probably originated from the northern segment of the East African orogen during the assembly of Gondwana supercontinent.

Key words: North Lhasa terrane; Nyainqentanglha Group; meta-gabbro; SHRIMP zircon U-Pb dating; East African orogen

冈瓦纳大陆是在新元古代中期—古生代早期由统一的东冈瓦纳和西冈瓦纳几个大陆块体经过泛非造山运动聚合组成的超级大陆^[1], 其形成、演化

过程一直是中外地球科学家关注和研究的热点。青藏高原处在冈瓦纳大陆与劳亚大陆的交汇部位, 是研究冈瓦纳大陆北缘裂解与聚合过程的关键地

收稿日期: 2018-01-15; 修订日期: 2018-03-13

资助项目: 国家自然科学基金项目《西藏拉萨地块寒武纪火山—沉积事件的构造意义》(批准号: 41502216)、《青藏高原区域构造与大地构造》(批准号: 41522204)、中国地质调查局项目《中国西部重要蛇绿岩带调查与研究》(编号: DD20160123-05)、中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目《青藏高原拉萨地块新元古代洋壳残片及其构造意义》(编号: J1705)

作者简介: 胡培远(1987-), 男, 博士, 副研究员, 从事青藏高原大地构造与区域地质研究。E-mail: azure_jlu@126.com

区。近几年的研究工作表明,青藏高原中-南部各陆块广泛存在寒武纪—奥陶纪角度不整合^[2-3]及同时代的岩浆岩^[3-6],这些记录与冈瓦纳大陆聚合完毕之后的构造演化过程密切相关。然而,对于青藏高原新元古代的物质组成及其构造演化过程的研究仍很薄弱,各陆块在冈瓦纳大陆聚合过程中所处的构造位置仍不清楚。

北拉萨地块是青藏高原的主要陆块之一。除安多片麻岩外,北拉萨地块上的大多数前寒武纪岩石均被认为是念青唐古拉岩群的组成部分。截至目前,在念青唐古拉岩群中已经报道了 666~758Ma^[7]、748~787Ma^[8]和 886~897Ma^[9-10]的正片麻岩锆石 U-Pb 年龄信息。这些年龄资料进一步肯定了念青唐古拉岩群是一套前寒武纪岩石,但是不同时代岩石的成因及其相互关系仍不清楚。本文报道了念青唐古拉岩群中新元古代中期(约 663Ma)变质辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成,对念青唐古拉岩群的形成时代给出制约,为探索北拉萨地块的前寒武纪构造演化历史提供新的资料。

1 地质概况及岩石学特征

传统上,青藏高原被划分为 5 个地块,由北至南分别为巴颜喀拉-甘孜、羌北-昌都、羌南-保山、拉萨和喜马拉雅地块(图 1-a)。这些地块又被一系列东西向的特提斯板块缝合带分割,分别为金沙江、龙木错-双湖-澜沧江、班公湖-怒江和雅鲁藏布江板块缝合带^[11-12]。近年来,在拉萨地块内部新识别出一条二叠纪特提斯板块缝合带——北冈底斯板块缝合带^[13],因而拉萨地块被进一步划分为北拉萨和南拉萨 2 个地块(图 1-a)。其中,羌南-保山、北拉萨、南拉萨和喜马拉雅地块被认为来自冈瓦纳大陆北缘,巴颜喀拉-甘孜和羌北-昌都地块则起源于劳亚大陆^[12]。

研究区位于北拉萨地块中部,仁错东南约 20km,纳木错以西约 45km(图 1-b)。该地区断裂构造发育,以东西向断裂为主,岩石、地层受构造活动强烈改造。区内出露的地层包括前寒武系念青唐古拉岩群、泥盆系、二叠系、白垩系和第四系,岩浆岩主要为中生代蛇绿岩和中生代—新生代花岗岩。念青唐古拉岩群主要呈断块状东西向断续出露,与中生代蛇绿岩和古生代地层均为断层接触,

主要岩石类型为变质辉长岩、含石榴子石变质辉长岩、花岗片麻岩、白云母石英片岩、大理岩、石英岩等,不同岩性间常呈断层或韧性剪切带接触。念青唐古拉岩群中岩石普遍受到后期变质作用的改造,前人已经获得 650Ma 左右的榴辉岩相变质年龄^[9]和 680~660Ma 角闪岩相变质年龄^[14]。

本文研究的变质辉长岩(图 2-a)侵入于念青唐古拉岩群副片麻岩中,岩体最宽处约 40m,长度约为 150m。采样位置见图 1-b,采样坐标为北纬 30°49.27'、东经 90°2.71'。岩相学观察发现,辉长岩发生较明显的角闪岩相变质作用,辉石大多已经变质为角闪石,但是仍可见残余的辉长结构(图 2-b);岩石矿物组合以斜长石(45%~50%)和角闪石(45%~55%)为主,此外还有少量绿帘石、钛铁矿、榍石、磁铁矿等,未见石榴子石;矿物粒度为 1~3mm。

2 样品分析方法

U-Pb 测年样品(15T011)中锆石的分选在河北省区域地质调查院完成,采用常规的重液和磁选方法进行分选,最后在双目显微镜下挑纯。随后将锆石与标样一起粘贴在环氧树脂中,磨至约一半,使内部暴露,然后进行反射光、透射光和阴极发光(CL)显微照相。锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院地质研究所离子探针中心用 SHRIMP II 型离子探针测定,详细的分析方法和数据处理流程据参考文献[15-17]。表 1 所列数据均为同一测点连续 5 次分析的平均值,误差为 1 σ 。所有样品均采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,年龄加权平均值为 95% 的置信度。锆石 Hf 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所 Neptune 多接收电感耦合等离子质谱仪(MC-ICPMS)和 193 nm 激光取样系统上进行,仪器的运行条件及详细的分析过程见参考文献[18]。实验测定过程中,MUD 标准锆石 ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 的测定结果是 0.282505±21,与前人获得的结果一致。

3 分析结果

3.1 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年

阴极发光图像显示,锆石粒度为 100~200 μm ,多具有弱环带或补丁状结构(图 3)。此外,部分锆石还具有窄的变质增生边,但是由于太窄无法进行 U-Pb 同位素分析。16 个分析点的 Th 含量为 128×10⁻⁶~237×10⁻⁶,U 含量为 405×10⁻⁶~1623×10⁻⁶,Th/U

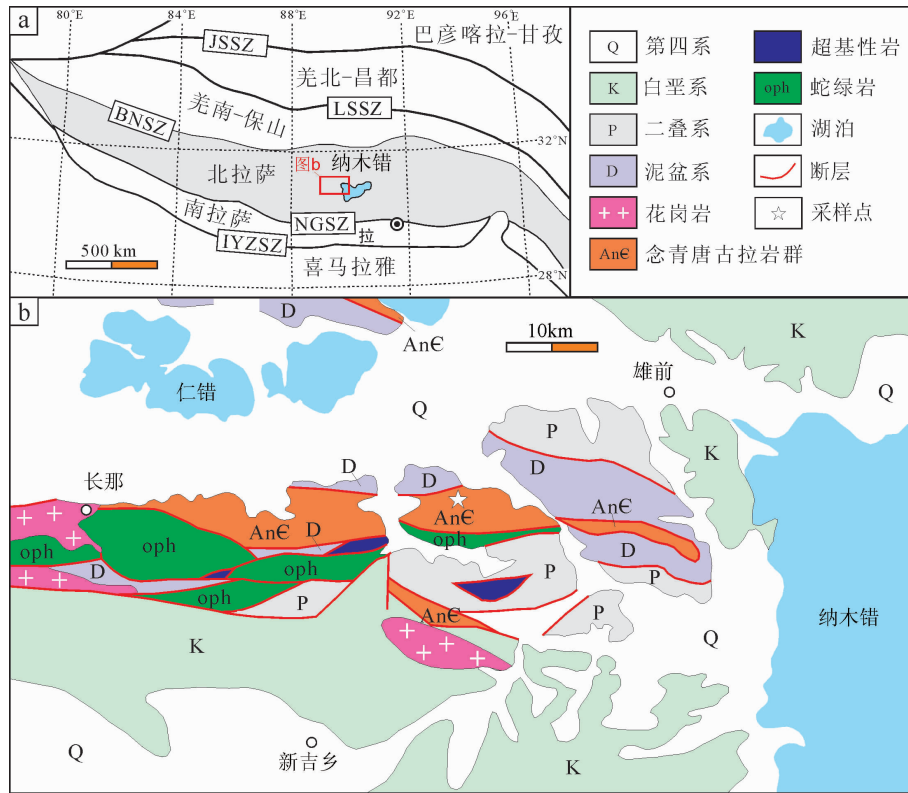


图1 青藏高原板块划分简图(a)和仁错地区区域地质简图(b)

Fig. 1 Simplified tectonic map of the Tibetan Plateau (a) and geological map of the Ren Co area, Tibet (b)
JSSZ—金沙江板块缝合带; LSSZ—龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带; NGSZ—北冈底斯板块缝合带;
BNSZ—班公湖-怒江板块缝合带; IYZSZ—雅鲁藏布江板块缝合带

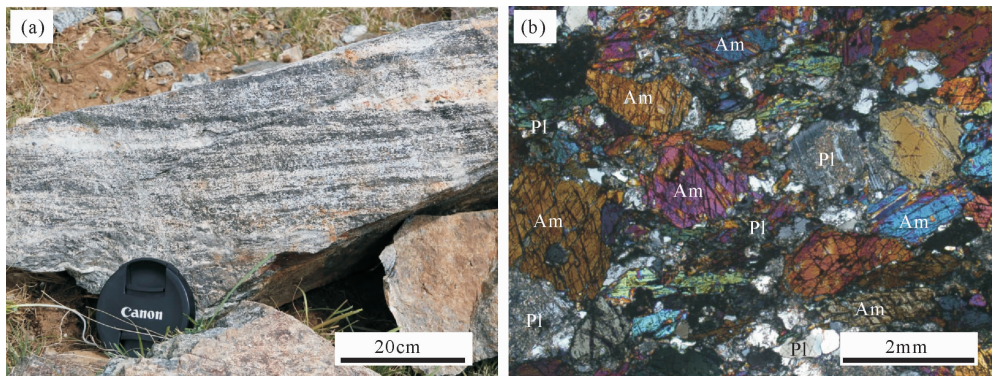


图2 变质辉长岩野外露头照片(a)和镜下照片(正交偏光)(b)

Fig. 2 Photograph (a) and micrograph (b) of the meta-gabbro
Pl—斜长石; Am—角闪石

值为0.11~0.44,与典型岩浆成因锆石相似^[19]。所有分析点的U-Pb同位素年龄在误差范围内谐和,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄的变化范围为621~696Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为663±7Ma(MSWD=2.20)(图3),

相当于新元古代中期,代表变质辉长岩的原岩形成年龄。

3.2 锆石 Hf同位素

锆石 Hf同位素分析点的位置与锆石 U-Pb测

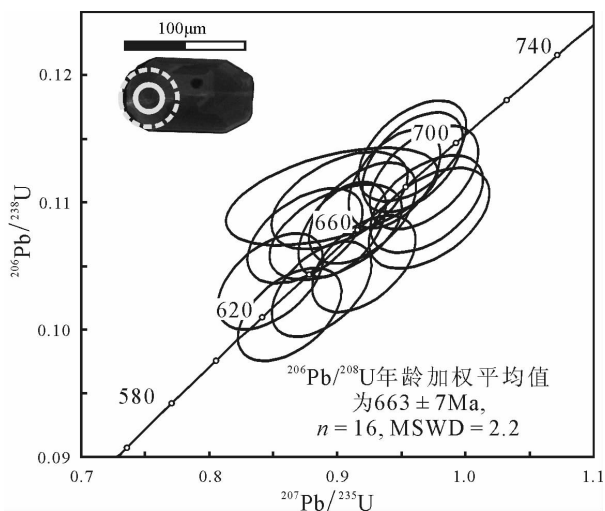


图3 变质辉长岩中典型锆石阴极发光(CL)

图像和锆石U-Pb谐和图

(实线圈和虚线圈分别代表SHRIMP U-Pb测年位置和Hf同位素分析位置)

Fig. 3 Representative CL images and U-Pb concordia diagram of the zircons separated from the meta-gabbro

年点相对应,分析结果见表2。全部分析点的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值小于0.002,表明这些锆石在形成后基本没有明显的放射性成因Hf的积累,测定的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值可以代表锆石形成时体系的Hf同位素组成^[18]。所有分析点均具有较低的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值(-1.5~+2.3)和古老的Hf模式年龄($T_{\text{DM}}=1145\sim 1292\text{Ma}$; $T_{\text{DM}}^{\text{C}}=1449\sim 1682\text{Ma}$),表明变质辉长岩原岩的岩浆来自于富集的地幔源区。

4 讨论

4.1 念青唐古拉岩群的解体

念青唐古拉岩群是一套由正片麻岩(斜长角闪岩、角闪片岩、花岗片麻岩等)和副片麻岩(大理岩、石英岩、板岩等)组成的变质地质体,自建立以来被认为是北拉萨地块古老变质基底的代表^[20]。然而,由于念青唐古拉岩群岩石组成复杂,且受到多期强烈变形、变质作用的改造,其时代和属性长期以来争论很大。除本文报道的约663Ma的变质辉长岩外,目前已经在念青唐古拉岩群中识别出多种不同时代的岩石。在纳木错以西地区获得斜长角闪岩和糜棱岩原岩的岩浆侵位年龄为748~787Ma^[8];在永珠地区获得斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩和斜长

片麻岩原岩的岩浆结晶时代在730~758Ma之间^[7];在永珠和尼玛地区报道有寒武纪(492~536Ma)的变质流纹岩^[3,5,21-22];在念青唐古拉山主峰西侧一带的念青唐古拉岩群片麻岩中获得的锆石岩浆结晶时代为古近纪(59~64Ma)^[23]。此外,根据现有资料,已报道的念青唐古拉岩群的岩石组成,既有洋壳或岛弧成因的变质岩浆岩,又有大陆成因的变质沉积岩^[3,5,21-24]。因此,目前定义的“念青唐古拉岩群”实际上是由时代不同、成因不同,甚至来源不同的构造岩片组成,它们在多期构造的作用下最终聚合到一起。随着下一步研究工作的不断深入,有必要对其进行解体。

4.2 北拉萨地块的起源

北拉萨地块出露有念青唐古拉岩群、安多片麻岩等前寒武纪岩石,因而是一个前寒武纪陆块。此外,Zhu等^[25]对北拉萨地块中生代岩浆岩的锆石Hf同位素研究也表明,北拉萨地块有古元古代甚至更老的地壳。目前,这一古老陆块在冈瓦纳大陆形成和演化过程中所处的构造位置仍然存在争议,主要有以下3种观点:①印度大陆北缘^[11];②澳大利亚大陆北缘^[25-26];③东非造山带北段^[9]。本文报道的变质辉长岩为追踪北拉萨地块的起源提供了新的前寒武纪证据。

张修政等^[7]在念青唐古拉岩群中识别出了新元古代中期(约742Ma)的岛弧变质基性岩;Zhang等^[9]和Dong等^[15]分别在念青唐古拉岩群中获得了时代相近的榴辉岩相(约650Ma)和角闪岩相(680~660Ma)变质年龄。这些资料暗示,在新元古代中期北拉萨地块应处于造山环境。本文首次报道了念青唐古拉岩群中存在新元古代中期(约663Ma)的基性岩浆记录,进一步确定了这一期造山事件。

东非造山带(750~620Ma)是地球上最大的造山带之一,形成于东冈瓦纳和西冈瓦纳的聚合过程,其从阿拉伯地区经过非洲西部一直延伸到南极大陆,总长超过8000km^[27]。依据目前有限的前寒武纪地质资料,北拉萨地块念青唐古拉岩群中既包括742Ma^[7]和663Ma(本文报道)的基性岩浆记录,也包括720~650Ma的榴辉岩相-角闪岩相变质岩^[9,15],还发育同时代的洋壳残片^[7,10]。这些资料与东非造山带的活动时限较一致,而印度和澳大利亚大陆北缘未见同时代的地质记录,支持了拉萨地块起源于东非造山带北段的观点。但是,陆块

表1 北拉萨地块新元古代中期变质辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1 SHRIMP zircon U-Th-Pb data of the Middle Neoproterozoic meta-gabbros from the North Lhasa terrane, Tibet

点号	$^{206}\text{Pb}_e/\%$	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
1.1	--	504	204	0.42	47.0	0.0648	2.2	0.972	3.2	0.1088	2.4	666 ±15
2.1	0.26	521	204	0.40	49.0	0.0611	1.9	0.92	3	0.1092	2.4	668 ±15
3.1	0.17	461	138	0.31	40.9	0.0624	1.7	0.888	2.9	0.1032	2.4	633 ±14
4.1	0.10	410	142	0.36	39.5	0.0627	1.7	0.968	2.9	0.112	2.4	684 ±15
5.1	0.39	405	128	0.33	36.3	0.0593	2.1	0.848	3.2	0.1038	2.4	637 ±14
6.1	0.33	468	148	0.33	40.8	0.0619	2	0.863	3.1	0.1012	2.4	621 ±14
7.1	--	495	134	0.28	44.7	0.0635	1.6	0.921	2.9	0.1052	2.4	645 ±15
8.1	0.09	582	237	0.42	56.7	0.0614	1.3	0.959	2.7	0.1132	2.3	691 ±15
9.1	--	557	236	0.44	53.5	0.06129	1.1	0.945	2.5	0.1119	2.3	684 ±15
10.1	0.16	553	204	0.38	52.1	0.064	1.9	0.97	3	0.1099	2.3	672 ±15
11.1	0.13	1623	168	0.11	151	0.0608	0.94	0.904	2.5	0.1079	2.3	661 ±14
12.1	0.79	496	180	0.37	45.6	0.0605	3	0.899	3.8	0.1077	2.3	660 ±15
13.1	1.17	479	184	0.40	44.8	0.0594	3.1	0.902	3.9	0.1102	2.3	674 ±15
14.1	0.52	561	209	0.38	54.7	0.061	1.8	0.959	2.9	0.1141	2.3	696 ±15
15.1	0.54	540	200	0.38	49.6	0.0591	2.5	0.875	3.4	0.1074	2.3	658 ±14
16.1	0.59	515	205	0.41	48.6	0.0588	5.6	0.896	6.1	0.1105	2.3	676 ±15

表2 北拉萨地块新元古代中期变质辉长岩锆石 Hf 同位素分析结果

Table 2 Hf isotopic data of zircon of the Middle Neoproterozoic meta-gabbros from the North Lhasa terrane, Tibet

点号	年龄/Ma	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	2σ	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$2s$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_i$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	T_{DM}/Ma	$T_{\text{DM}}^c/\text{Ma}$	f_{LwHf}
1.1	666	0.001565	0.000013	0.000059	0.000001	0.282422	0.000030	0.282421	-12.4	2.3	1.1	1145	1449	-1.00
2.1	668	0.001423	0.000011	0.000063	0.000000	0.282377	0.000020	0.282376	-14.0	0.7	0.7	1208	1550	-1.00
3.1	633	0.000419	0.000011	0.000015	0.000000	0.282391	0.000017	0.282391	-13.5	0.5	0.6	1186	1538	-1.00
4.1	684	0.000449	0.000032	0.000019	0.000002	0.282338	0.000018	0.282338	-15.4	-0.3	0.6	1259	1625	-1.00
5.1	637	0.000464	0.000006	0.000018	0.000000	0.282349	0.000016	0.282349	-14.9	-0.9	0.6	1244	1629	-1.00
6.1	621	0.003762	0.000184	0.000158	0.000007	0.282348	0.000020	0.282346	-15.0	-1.4	0.7	1250	1646	-1.00
7.1	645	0.001646	0.000054	0.000074	0.000002	0.282344	0.000018	0.282343	-15.2	-1.0	0.6	1253	1639	-1.00
8.1	691	0.000934	0.000015	0.000035	0.000001	0.282401	0.000022	0.282401	-13.1	2.1	0.8	1173	1479	-1.00
9.1	684	0.001658	0.000022	0.000078	0.000001	0.282369	0.000020	0.282368	-14.3	0.8	0.7	1219	1558	-1.00
10.1	672	0.002666	0.000188	0.000115	0.000008	0.282369	0.000016	0.282367	-14.3	0.5	0.6	1221	1567	-1.00
12.1	660	0.002276	0.000042	0.000096	0.000002	0.282325	0.000015	0.282324	-15.8	-1.3	0.5	1279	1671	-1.00
13.1	674	0.001705	0.000010	0.000064	0.000000	0.282388	0.000021	0.282387	-13.6	1.3	0.8	1192	1520	-1.00
15.1	658	0.011370	0.000981	0.000486	0.000040	0.282326	0.000018	0.282320	-15.8	-1.5	0.6	1292	1682	-0.99

的古地理位置需要综合沉积相、岩浆事件、古地磁等多方面的资料来确定,目前拉萨地块上取得的前寒武纪资料远远不够,有待更深入的研究工作确认。

5 结论

(1)北拉萨地块念青唐古拉岩群中变质辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为 $663 \pm 7\text{Ma}$, 相当

于新元古代中期,代表其原岩的形成时代,这是北拉萨地块上首次报道该时代的基性岩浆记录。

(2)综合已有资料可知,目前定义的念青唐古拉岩群实际上是由时代不同、成因不同,甚至来源不同的构造岩片组成,随着下一步研究工作的不断深入,有必要对其进行解体。

(3)念青唐古拉岩群中的前寒武纪岩浆和变质记录与东非造山带的活动时限较一致,因而拉萨地块可能与东非造山带具有亲缘性。

致谢: SHRIMP 锆石 U-Pb 定年得到中国地质科学院地质研究所宋彪研究员的帮助; 锆石 Hf 同位素分析得到中国科学院地质与地球物理研究所吴福元研究员的帮助,在此一并致以衷心的感谢。

参考文献

- [1] Meert J G. A synopsis of events related to the assembly of eastern Gondwana[J]. *Tectonophysics*, 2003, 362(1/4): 1-40.
- [2] 李才, 吴彦旺, 王明, 等. 青藏高原泛非—早古生代造山事件研究重大进展——冈底斯地区寒武系和泛非造山不整合的发现[J]. *地质通报*, 2010, 29(12): 1733-1736.
- [3] Hu P Y, Li C, Wang M, et al. Cambrian volcanism in the Lhasa terrane, southern Tibet: Record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc along the Gondwana proto-Tethyan margin[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 77(21): 91-107.
- [4] Wang X X, Zhang J J, Santosh M, et al. Andean-type orogeny in the Himalayas of south Tibet: Implications for early Paleozoic tectonics along the Indian margin of Gondwana[J]. *Lithos*, 2012, 154(4): 248-262.
- [5] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasa Terrane, southern Tibet: Record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. *Chemical Geology*, 2012, 328(11): 290-308.
- [6] Hu P Y, Zhai Q G, Jahn B M, et al. Early Ordovician granites from the South Qiangtang terrane, northern Tibet: Implications for the early Paleozoic tectonic evolution along the Gondwanan proto-Tethyan margin[J]. *Lithos*, 2015, 220/223: 318-338.
- [7] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 青藏高原拉萨地块北部新元古代中期蛇绿混杂岩带的厘定及其意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(2): 698-722.
- [8] Hu D G, Wu Z H, Jiang W, et al. SHRIMP zircon U-Pb age and Nd isotopic study on the Nyainqentanglha Group in Tibet[J]. *Science China Series D(Earth Science)*, 2005, 48(9): 1377-1386.
- [9] Zhang Z M, Dong X, Liu F, et al. The making of Gondwana: Discovery of 650Ma HP granulites from the North Lhasa, Tibet[J]. *Precambrian Research*, 2012, 212/213(8): 107-116.
- [10] 胡培远, 翟庆国, 唐跃, 等. 青藏高原拉萨地块新元古代(~925Ma) 变质辉长岩的确立及其地质意义[J]. *科学通报*, 2016, 61(19): 2176-2186.
- [11] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan - Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211-280.
- [12] 李才. 青藏高原龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带研究二十年[J]. *地质论评*, 2008, 54(1): 105-119.
- [13] Yang J S, Xu Z Q, Li Z L, et al. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: a new border for Paleo-Tethys? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34(1): 76-89.
- [14] Dong X, Zhang Z M, Santosh M, et al. Late Neoproterozoic thermal events in the northern Lhasa terrane, south Tibet: zircon chronology and tectonic implications[J]. *Journal of Geodynamics*, 2011, 52(5): 389-405.
- [15] Compston W, Williams I S, Meyer C. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012)*, 1984, 89(S02): 525-534.
- [16] Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 97(2): 196-204.
- [17] Ludwig K R. Users' Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 2003.
- [18] Wu F Y, Yang J H, Xie L W, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 2006, 234(1/2): 105-126.
- [19] 吴元保, 郑永飞. 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*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [20] 李璞. 西藏东部地质的初步认识[J]. *科学通报*, 1955, 7: 62-71.
- [21] 潘晓萍, 李荣社, 王超, 等. 西藏冈底斯北缘尼玛地区帮勒村一带寒武纪火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. *地质通报*, 2012, 31(1): 63-74.
- [22] Ding H X, Zhang Z M, Dong X, et al. Cambrian ultrapotassic rhyolites from the Lhasa terrane, south Tibet: Evidence for Andean-type magmatism along the northern active margin of Gondwana[J]. *Gondwana Research*, 2015, 27(4): 1616-1629.
- [23] 胡道功, 吴珍汉, 叶培盛, 等. 西藏念青唐古拉山冈长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 2003, 22(11): 936-940.
- [24] 西藏地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [25] 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.
- [26] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 2011, 39(8): 727-730.
- [27] Jacobs J, Thomas R J. Himalayan-type indenter-escape tectonics model for the southern part of the late Neoproterozoic-early Paleozoic East African-Antarctic orogen[J]. *Geology*, 2004, 32(8): 721-724.