

西藏那木如辉绿岩岩脉的年代学和地球化学特征

刘立文^{1,3,4}, 李建峰¹, 夏 斌^{1,2}, 邱亮斌¹, 黄强太^{1,4}

1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中山大学, 广州 510275;
3. 广东省地质勘察局 719 地质大队, 广东 肇庆 526020; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

摘要:那木如辉绿岩具有较高的 TiO_2 和 P_2O_5 含量, $\text{Mg}^\#$ 是 0.6~0.7, 表明岩石经中等程度或轻微的斜长石分离结晶作用; 富集 Rb、K、Th、Ba, 亏损 Nb、Ti、Ta 和 Zr、Hf, 轻稀土富集, 且具有负 Eu 的异常, 表明岩石具有岛弧岩浆的性质。对那木如辉绿岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 其形成年龄值为 $64 \pm 1 \text{ Ma}$ (2σ , $\text{MSWD}=2.4$), 即辉绿岩结晶年龄。本次定年的结果正好处于西雅鲁藏布北亚带洋盆向北对拉萨地体南缘之下的俯冲(晚白垩世至早第三纪)时期内, 说明那木如辉绿岩为此次俯冲形成的岛弧岩浆岩。位于冈底斯弧南侧的西雅鲁藏布北亚带蛇绿岩被第三系磨拉石不整合覆盖, 说明蛇绿岩侵位时间早于第三系, 与那木如辉绿岩的侵位年龄接近。由此可见, 正是形成那木如岛弧岩浆岩的俯冲构造事件导致了西雅鲁藏布北亚带蛇绿岩的构造侵位。

关键词: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 地球化学特征; 那木如; 西藏

中图分类号: P619.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2012)02-0114-07

Chronology and Geochemical Characteristics of Namuru Island Arc Volcanics in Tibet

LIU Li-wen^{1,3,4}, LI Jian-feng¹, XIA Bin^{1,2}, QIU Liang-bin¹, HUANG Qiang-tai^{1,4}

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 3. 719 Geological Team, Guangdong Bureau of Geological Exploration, Zhaoqing 526020, China; 4. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: The $\text{Mg}^\#$ of the Namuru diabase is 0.6–0.7 indicates that the Namuru diabase crystallized from primitive magma. The Namuru diabase has relatively high contents of TiO_2 and P_2O_5 , enriches large ion lithophile elements (such as Rb, K, Th, Ba and light rare earth elements), depletes high field strength elements (such as Nb, Ti, Zr, and Hf), and appears negative Eu anomaly. These geochemical characters show that the Namuru diabase resulted from typical island arc magma. The SHRIMP II U-Pb dating gave a weighted average age of $64 \pm 1 \text{ Ma}$ (2σ , $\text{MSWD} = 2.4$) for the crystallization time of the Namuru diabase (Sample 3X-423), showing that the Namuru diabases are island arc igneous rocks formed in the subduction of the north sub-zone of WYYS to south margin of Lhasa block during the late Cretaceous to the early Tertiary. Tertiary molasse covers the north sub-zone of west WYYS of south Gangdise arc unconformably indicates that the emplacement time of ophiolites is earlier than Tertiary and is similar to the emplacement age of the Namuru diabases. Therefore, we think that the subduction tectonic event of developing the Namuru island igneous rocks is the reason for the tectonic emplacement of the ophiolite in the north sub-zone of WYYS.

Key words: zircon SHRIMP U-Pb dating; geochemical characters; Namuru; Tibet

西藏雅鲁藏布江缝合带大致沿雅鲁藏布江河谷两侧呈近东西向延伸 2000 km 以上, 是我国规模最大的蛇绿岩带。长期以来, 该蛇绿岩带由于其时

代新、保存好等而受到国内外地学界的关注。随着分析技术的发展, 越来越多的研究涉及到雅鲁藏布蛇绿岩带的形成时代, 并取得了较好的成果, 如东段

收稿日期: 2010-11-25 收到, 2011-06-13 改回

第一作者简介: 刘立文(1965—), 男, 高级工程师, 研究方向矿产资源勘查。

通讯作者简介: 夏斌(1959—), 男, 研究员, 研究方向: 构造地质与地球物理。E-mail: xiabin01@gmail.com.

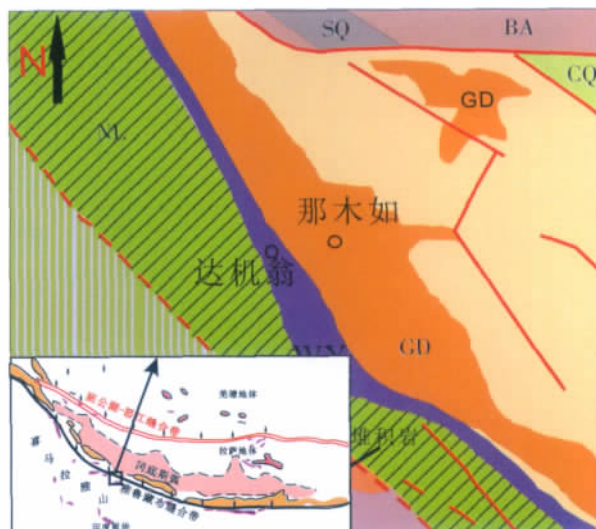
罗布莎蛇绿岩 Sm-Nd 等时线形成年龄为 177 ± 31 Ma^[1], 辉绿岩中锆石 SHRIMP U-Pb 形成年龄为 162.9 ± 2.8 Ma^[2]; 中段大竹卡、吉定蛇绿岩新报道的 SHRIMP 锆石 U-Pb 形成年龄分别为 126 ± 1.5 Ma^[3] 和 123 ± 1.8 Ma^[4]; 西段休古嘎布蛇绿岩的锆石 SHRIMP U-Pb 形成年龄为 122.3 ± 2.4 Ma^[5]。但关于雅鲁藏布蛇绿岩带侵位时代的研究较少, 本文使用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法, 对那木如辉绿岩的形成年龄进行了测定, 其结果对于间接约束其南侧蛇绿岩带的构造侵位具有重要意义。

1 区域地质和岩石矿物学特征

冈底斯火山岩浆弧位于西藏中部, 是一条规模巨大的火山岩浆岩带。朱弟成等^[6]将冈底斯火山岩浆弧以沙莫勒麦拉洛巴堆-米拉山断裂(SMLMF)、噶尔-隆格尔-扎日南木错-措麦断裂带(GLZCF)和狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ)三条断裂为界, 由南向北划分为南冈底斯(传统的冈底斯)、冈底斯弧背断隆带(隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带)、中冈底斯和北冈底斯三条断裂四个部分。那木如位于南冈底斯火山岩浆弧带西段(图 1)。该区脉岩发育, 基性-中性-酸性脉岩均有出露。基性脉岩有蚀变辉绿岩、石英辉绿岩; 中性脉岩有黑云石英正长岩、石英闪长岩; 酸性脉岩有花岗斑岩、文象花岗岩等。岩脉广泛侵入白垩系、第三系地层中, 出露宽度一般为几十米至几百米, 长几百米至数千米。脉岩具有不同程度的绿泥石化、绿帘石化、透闪石化、阳起石化、绢云母化(基性岩)、次闪石化(中性岩)、高岭土化(酸性岩)等蚀变。本次研究选取那木如脉岩中的辉绿岩样品, 对其进行了地球化学和年代学分析。

那木如辉绿岩样品具块状构造, 辉绿-辉长结构。其主要组成矿物为长石(60%), 其中钠长石约 23%, 钙长石约 30%, 钾长石约 7%; 辉石(20%), 其中紫苏辉石约 16%, 透辉石约 4%。次要矿物为石英约 8%。副矿物磁铁矿 6%、钛铁矿 4%、磷灰石 2%。岩石矿物粒度大约为 1.5 mm 左右。薄片可见辉石已退变质为角闪石(淡黄色), 但留有辉石痕迹; 部分破碎的角闪石裂隙处可见黑云母(蚀变矿物)出现。斜长石变形强烈, 发生较为严重的碎裂、细粒化、可见错位和扭折现象。有些样品中可见斜长石绢云母化, 岩石中也可见一定程度的碳酸盐化。

冈底斯火山岩浆弧岩浆弧南侧即为西雅鲁藏布北亚带蛇绿岩带。该带与冈底斯近乎平行分布, 东



XG-修古嘎布地体; WY-西雅鲁藏布地体; GD-冈底斯火山岩浆弧; SQ-狮泉河蛇绿岩推覆体; BA-班公错-安多地体; CQ-措勒地体; NL-拉昂错北地体, 早古生代~晚中生代沉积地层; TR-定日地体, 早古生代-晚中生代沉积地层(以 AnZ 为沉积基底)
XG-Xugugab terrain; WY-WYzs terrain; GD-Gangdisi Belt; SQ-Shiquan He ophiolite nappe; BA-Bangong Co-Amdo terrain; CQ-Cuoqin terrain; NL-North La'nga Co terrain, early Paleozoic to late Mesozoic basement; TR-Dingri terrain, early Paleozoic to late Mesozoic basement(to AnZ for sedimentary basement)

图 1 那木如区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch Map of the Namuru pluton

向西延伸大约 600 km。目前普遍认为冈底斯火山岩浆弧中南亚带广泛发育的晚白垩-早第三纪的一次火山岩浆作用是西雅鲁藏布北亚带蛇绿岩所代表的新特提斯洋向北对着冈底斯陆块南缘之下的俯冲作用诱发的火山岩浆事件^[7]。

2 地球化学特征

2.1 主量元素

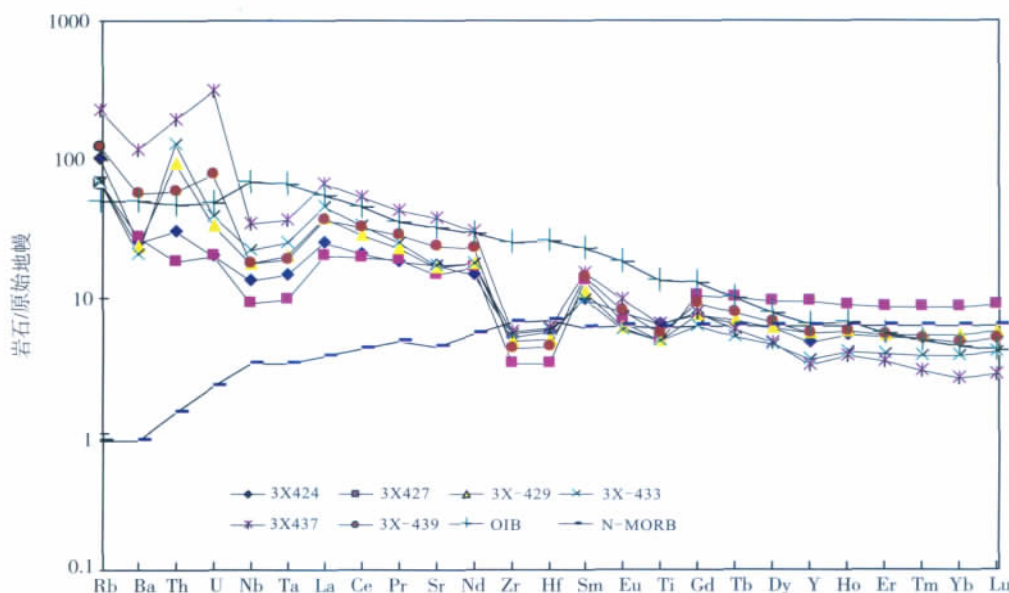
由表 1 可见, 那木如蛇辉绿岩大多数样品的烧失量 LOI 小于 5%, 比较新鲜; 其中样品 3X-437 的烧失量为 6.76%, 显示一定程度的蚀变。这与薄片观察到的一定程度的碳酸盐化和绿泥石化现象一致。扣除烧失量重新归一化之后, 岩石中 SiO₂ 质量分数为 51.19%~55.2%, 平均 52.91%, 高于 OIB 玄武岩 SiO₂ 质量分数(48.28%), 与洋中脊玄武岩 SiO₂ 质量分数(49.56%)接近; Al₂O₃ 质量分数为 15.94%~17.91%, 平均 16.86%, 高于洋中脊玄武岩(MORB) Al₂O₃ 质量分数(15.97%), 接近洋岛玄武岩 Al₂O₃ 质量分数(16.27%); CaO 质量分数为 5.95%~8.01%, 平均 7.24%, 低于 MORB 和 OIB

表 2 那木如辉绿岩微量元素含量

Table 2 Trace elements contents of the Namuru diabase

w_B (%)

样品编号	3X-424	3X-427	3X-429	3X-433	3X-437	3X-439	样品编号	3X-424	3X-427	3X-429	3X-433	3X-437	3X-439
Sc	32.51	28.57	24.70	22.77	15.23	20.86	Tb	0.69	1.06	0.72	0.55	0.63	0.82
Ti	8123.50	6144.70	6177.07	6193.25	8155.60	7079.10	Dy	4.31	6.74	4.42	3.26	3.37	4.76
V	287.50	242.30	206.19	188.14	155.60	194.17	Ho	0.87	1.42	0.90	0.64	0.60	0.92
Cr	38.45	78.79	63.48	55.82	63.14	70.53	Er	2.41	3.98	2.54	1.83	1.59	2.51
Mn	1318.60	1245.30	1796.90	2072.70	861.30	1035.65	Tm	0.36	0.63	0.39	0.27	0.21	0.36
Co	34.28	30.93	27.10	25.19	23.33	26.86	Yb	2.26	4.14	2.59	1.81	1.26	2.28
Ni	20.23	37.76	28.27	23.52	48.27	42.69	Lu	0.36	0.65	0.41	0.29	0.20	0.36
Ga	18.23	18.36	18.74	18.93	23.04	20.57	Hf	1.71	1.00	1.53	1.79	1.83	1.35
Ge	1.27	1.92	2.67	3.04	1.69	1.80	Ta	0.59	0.39	0.80	1.00	1.50	0.77
Rb	64.70	42.65	43.15	43.41	145.70	78.83	Th	2.55	1.51	7.85	11.02	16.15	4.94
Sr	357.40	299.90	339.90	359.90	781.30	484.06	U	0.42	0.41	0.68	0.81	6.53	1.63
Y	20.67	42.23	24.51	15.65	14.39	24.65	Ce/Zr	0.65	0.94	0.95	0.95	1.51	1.19
Zr	56.52	36.39	52.55	60.64	61.83	47.43	Zr/Nb	6.12	5.76	4.19	3.87	2.56	3.84
Nb	9.23	6.32	12.54	15.66	24.16	12.35	Th/Yb	1.13	0.36	3.03	6.08	12.83	2.16
Ba	170.20	190.20	159.30	143.85	806.10	391.56	Zr/Y	2.73	0.86	2.14	3.88	4.30	1.92
La	16.71	13.36	25.22	31.15	44.82	24.47	Ti/Y	393.01	145.51	252.06	395.86	566.75	287.17
Ce	36.56	34.13	49.94	57.85	93.34	56.44	(La/Sm) _N	2.58	1.48	3.42	4.75	4.37	2.55
Pr	4.92	5.16	6.21	6.74	11.56	7.72	(La/Yb) _N	5.32	2.31	6.99	12.32	25.55	7.69
Nd	19.56	22.20	23.27	23.81	40.56	30.01	δEu	0.92	0.55	0.66	0.73	0.83	0.68
Sm	4.19	5.82	4.77	4.24	6.63	6.21	LREE/HREE	5.32	3.32	6.72	10.11	15.92	7.30
Eu	1.30	1.08	1.00	0.96	1.58	1.31	ΣREE	98.87	106.36	126.84	137.08	210.96	143.44
Gd	4.38	6.01	4.46	3.68	4.62	5.27							



原始地幔值引自[12]

The primitive mantle data are from ref. [12]

图 4 那木如辉绿岩 REE 模式配分图

Fig. 4 REE pattern diagram for the Namuru diabase

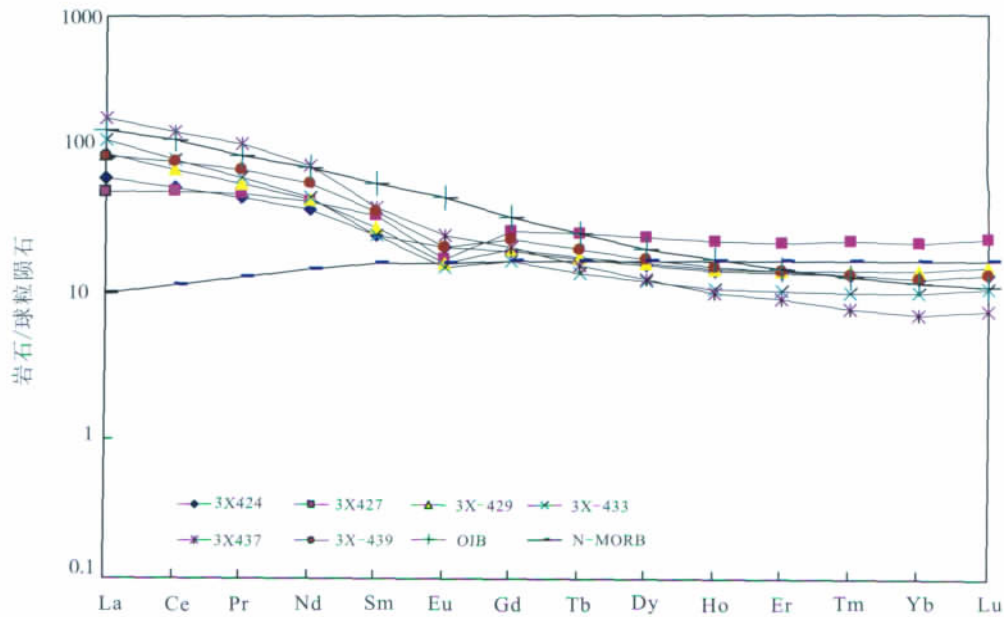
斜长石分离结晶作用。(La/Sm)_N 为 1.48~4.75, 平均 3.19; 其 (La/Yb)_N 为 2.31~25.55, 平均 10.03; LREE/HREE 为 3.32~15.92, 平均 8.12。总之, 上述 3 个样品的稀土各特征值明显与 MORB 不同。

由那木如辉绿岩微量元素分析结果及部分不相容元素的比值(表 2)可见, 那木如辉绿岩的 Ce/Zr、Zr/Nb、Th/Yb、Zr/Y 和 Ti/Y 比值分别为 0.65~1.51、2.56~6.12、0.36~12.83、0.86~4.3 和 145.51~566.75, 平均值分别为 1.03、4.39、4.27、

2.64 和 340.06, 与 N-MORB 的对应值(0.1、31.8、0.04、2.64 和 254)明显不同, 同 OIB 对应值(0.3、5.8、1.9、9.7、594)较为接近; 但又具有高的 Ce/Zr、Th/Yb 比值, 略低的 Zr/Nb 值, 和明显偏低的 Zr/Y 和 Ti/Y 值, 表明本区辉绿岩显示出 OIB 的性质, 但又不是典型的洋岛玄武岩(OIB)。

将所有的微量元素丰度对原始地幔的相应丰度进行标准化, 所得蛛网图(图 5)可见, 4 个样品的大

离子亲石元素(Rb-Ba-Sr)相对高场强富集且具有较大的波动范围(可能受后期蚀变影响的结果); 高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf、Ti)明显亏损, 在蛛网图上为下陷的谷, 与岛弧玄武岩相似。表 2 中 Ce 以后的微量元素在蛛网图上整体表现为明显的右倾分布模式, 与洋岛玄武岩(OIB)相似。由此可见, 那木如辉绿岩兼具洋岛玄武岩和岛弧玄武岩的地球化学特征。



N-MORB 标准值引自[13], 原始地幔标准值引自[12]

the normal date of N-MORB are from ref. [13] and primitive mantle data are from ref. [12]

图 5 那木如微量元素蛛网图

Fig. 5 Spider diagram of trace elements for the Namuru diabase

3 锆石 SHRIMP 定年

3.1 锆石分选

辉绿岩为基性岩石, 锆石量少、粒小、分选困难, 为挑选到足量、大小合适、晶形良好的锆石, 将 3 kg 样品人工破碎至 1 cm。放入直径 20 cm 不锈钢钵中, 置于 XZW100 型振动磨样机(1.1/0.75 KW)研磨 3~5 s 后过 0.4 mm 一次性孔径筛经铝制淘沙盘淘洗富集重矿物, 磁选和电磁选获非电磁性矿物, 再进行淘洗富集锆石, 最后在双目镜下手工挑选锆石, 整个分选流程使用装置彻底清洗, 避免混染。

3.2 测试方法和精度

将待测锆石以环氧树脂固定, 抛光至暴露出锆石中心面, 用反光、透光及阴极发光(CL)照相, 在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 型离子探针仪上完成 U-Pb 测年。应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正, 并用标准锆石

SL13(572 Ma, U=238 $\mu\text{g/g}$) 标定样品的 U, Th 及 Pb 含量^[14]。详细实验流程和原理见文献[15,16], 数据处理同文献[17,18]。采用实测²⁰⁶Pb 校正普通铅, 单个数据点的分析误差均为 2 σ , 采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 其加权平均值为 95% 的置信度。

3.3 分析结果

分析结果见表 3, 及图 6、图 7。

由测年结果(表 3)可见, U、Th 变化范围较大(分别为 105~3330 $\mu\text{g/g}$, 54~4755 $\mu\text{g/g}$), 放射成因 Pb 含量非常低(<29 $\mu\text{g/g}$), Th/U 为 0.53~1.48, 均大于 0.5, 所有测点的 Th 和 U 含量呈正相关关系, Th/U 比值的平均值为 0.89, 表明锆石为典型的岩浆结晶锆石, 与阴极发光图像的特征一致。14 个测点²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 56.1~69.6 Ma, 加权平均值为 64 \pm 1 Ma(2 σ , MSWD=2.4, 图 3), 即辉绿岩结晶年龄。

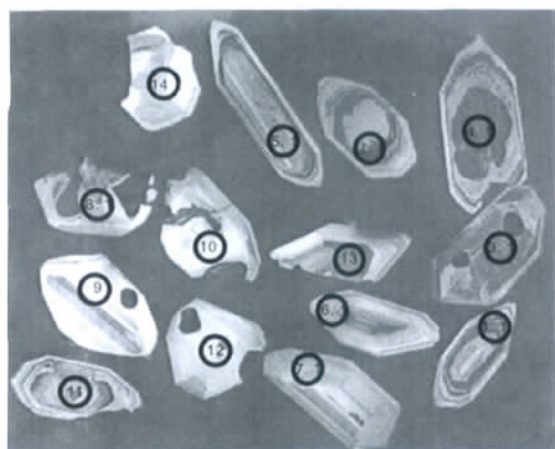


图6 那木如辉绿岩锆石阴极发光图像
Fig. 6 Cathodoluminescence images of zircons from the Namuru Diabase

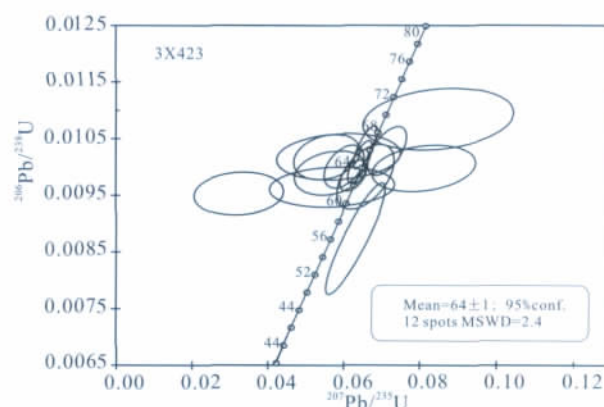


图7 那木如辉绿岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 7 Concordia diagram of the SHRIMP U-Pb dating for zircons from the Namuru diabase

表3 那木如辉绿岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果

Table 3 Zircon SHRIMP U-Pb dating results for the Namuru diabase

点号	% ²⁰⁶ Pb _c	10 ⁻⁶ U	10 ⁻⁶ Th	Th/U	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±%	err corr	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Age
3X-423-1.1	1.18	1234	1143	0.96	0.07	4.80	0.01	3.00	0.616	65.7	±2.0
3X-423-2.1	1.62	1431	1091	0.79	0.06	18.00	0.01	2.90	0.156	65.1	±1.9
3X-423-3.1	0.17	2953	3169	1.11	0.07	3.40	0.01	2.70	0.795	66.1	±1.8
3X-423-4.1	0.26	3330	4755	1.48	0.06	3.50	0.01	2.70	0.774	64.5	±1.7
3X-423-5.1	0.85	2485	2937	1.22	0.06	5.90	0.01	2.70	0.462	64	±1.7
3X-423-6.1	1.45	928	478	0.53	0.06	10.00	0.01	2.80	0.27	65.1	±1.8
3X-423-7.1	1.58	1106	795	0.74	0.06	11.00	0.01	2.80	0.254	63.3	±1.8
3X-423-8.1	3.26	936	661	0.73	0.03	24.00	0.01	2.80	0.118	61	±1.7
3X-423.9	3.69	105	54	0.53	0.09	15.00	0.01	3.30	0.217	69.6	±2.3
3X-423.10	1.42	193	245	1.31	0.06	19.00	0.01	2.40	0.126	61.9	±1.5
3X-423.11	1.11	953	897	0.97	0.06	8.20	0.01	7.40	0.9	56.1	±4.1
3X-423.12	2.06	478	250	0.54	0.08	11.00	0.01	2.70	0.247	64	±1.7
3X-423.13	0.36	902	712	0.82	0.06	3.70	0.01	1.80	0.495	63.2	±1.1
3X-423.14	1.03	621	482	0.80	0.07	7.50	0.01	3.80	0.511	63	±2.4

注: %²⁰⁶Pb_c 为普通²⁰⁶Pb 占²⁰⁶Pb 的百分数, Pb* 为放射性成因铅, 标准校正值误差 0.38%

4 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄地质意义

(1) 前述研究表明那木如辉绿岩具有 SiO₂ 质量分数为 51.19%~55.2%, 平均 52.91%; 全碱质量分数 (Na₂O + K₂O) 为 3.71%~4.72%, 平均 4.22%, (Na₂O > K₂O); CaO 质量分数为 5.95%~8.01%, 平均 7.24%, 全铁 (FeO_t) 含量为 7.41%~8.94%, 平均 8.10%; 岩石富 Rb、K、Th、Ba, 亏损 Nb、Ti、Ta 和 Zr、Hf。轻稀土富集, 且具有负 Eu 异常等特征, 具有陆缘岛弧火山岩性质。

(2) 锆石年代学研究可见, 所挑选锆石具有较好的晶形, 粒度。阴极发光结构比较简单, 大多显示较宽的振荡结晶环带, 少数锆石结构均一、不具振荡结晶环带, 为典型的基性岩中的岩浆结晶锆石。因此其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄 (64 Ma) 即为那木如辉绿岩脉

的侵位年龄。结合辉绿岩具有陆缘岛弧岩浆的地球化学特点。所以认为其属于冈底斯南亚热带晚白垩-早第三纪火山岩浆事件。

(3) 那木如位于达机翁东北约 20 km, 与达机翁蛇绿岩空间上紧密伴生。那木如火山岩的 SHRIMP U-Pb 年龄证明 64 Ma 左右的白垩纪末 (早第三纪) 在达机翁附近存在着西雅鲁藏布北亚带洋盆向北对拉萨地体南缘之下的俯冲, 这说明那木如岛弧火山岩所代表的俯冲事件很可能就是达机翁蛇绿岩构造侵位事件。在北亚带蛇绿岩带的打昌地区可见第三系磨拉石不整合覆盖在北亚带蛇绿岩之上, 亦说明蛇绿岩侵位时间早于第三系。由此可见, 正是形成那木如岛弧岩浆岩的俯冲构造事件导致了西雅鲁藏布北亚带蛇绿岩的构造侵位。

参考文献 (References):

- [1] 周肃, 莫宣学, Mahoney J J. 西藏罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 定年及 Pb, Nd 同位素特征[J]. 科学通报, 2001, 46(16): 1387-1390.
Zhou Su, Mo Xuanxue, Mahoney J J. Sm-Nd dating and Pb, Nd isotope characteristics of gabbro-diabase in the Luobusha ophiolite, Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(16): 1387-1390. (in Chinese with English abstract)
- [2] 钟立峰, 夏斌, 周国庆, 张玉泉, 王冉, 韦栋梁, 杨之青. 藏南罗布莎蛇绿岩辉绿岩中锆石 SHRIMP 测年[J]. 地质论评, 2006, 52(2): 224-229.
Zhong Lifeng, Xia Bin, Zhou Guoqing, Zhang Yuquan, Wang Ran, Wei Dongliang, Yang Zhiqing. SHRIMP age determination of the Diabase in Luobusha ophiolite, southern Tibet[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 224-229. (in Chinese with English abstract)
- [3] Malpas J, Zhou M F, Robinson P T, Reynolds P H. Geochemical and geochronological constraints on the origin and emplacement of the Yarlung Zangbo ophiolites, southern Tibet [A]. Dilek Y, Robinson P T. Ophiolites in earth history[C]. Geological Society, London, Spec. Publ., 2003, 218: 147-164.
- [4] 王冉, 夏斌, 周国庆, 张玉泉, 杨之青, 李文铅, 韦栋梁, 钟立峰, 徐力峰. 西藏吉定蛇绿岩中辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 114-117.
Wang Ran, Xia Bin, Zhou Guoqing, Zhang Yuquan, Yang Zhiqing, Li Wenqian, Wei Dongliang, Zhong Lifeng, Xu Lifeng. SHRIMP U-Pb zircon age of gabbro Geding ophiolite, Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(1): 114-117. (in Chinese with English abstract)
- [5] 韦振权, 夏斌, 张玉泉, 王冉, 杨之青, 韦栋梁. 西藏休古嘎布蛇绿岩辉绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(1): 93-97.
Wei Zhenquan, Xia Bin, Zhang Yuquan, Wang Ran, Yang Zhiqing, Wei Dongliang. SHRIMP zircon dating of diabase in the Xiugugabu ophiolite in Tibet and its geological implications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30(1): 93-97. (in Chinese with English abstract)
- [6] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1535-1550.
Zhu Dicheng, Pan Guitang, Wang Liquan, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Changyong, Liao Zhongli, Dong Guochen, Yuan Sihua. Temporal-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(9): 1535-1550. (in Chinese with English abstract)
- [7] 莫宣学. 青藏高原岩浆岩成因研究: 成果与展望[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1693-1703.
Mo Xuanxue. A review of genesis study on magmatic rocks of the Qinghai-Tibet Plateau: Achievements and remaining problems[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1693-1703. (in Chinese with English abstract)
- [8] Pearce J A. Statistical analysis of major element patterns in basalt[J]. Journal of Petrology, 1976, 17(1): 15-43.
- [9] Basaltic Volcanism Study Project. Basaltic volcanism on the terrestrial planets[M]. New York: Progamon Press, 1981: 1-1286.
- [10] Le Maitre, Roger Walter ed, Bateman P, Dudek A, Keller J, Lameyre J, Le Bas M J, Sabine P A, Schmid R, Sorensen H, Streckeisen A, Woolley A R, Zanettin B. A classification of igneous rocks and glossary of terms, recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks [M]. Oxford. Blackwell Scientific, 1989: 1-193.
- [11] Cox K G, Bell J D, Pankhurst R J. The interpretation of igneous rocks[Z]. George, Allen and Unwin, London, 1979, 2-35.
- [12] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[A]. A D Saunders, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins[C]. Geological Society Special Publication, 1989: 313-345.
- [13] Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins[A]. Hawkesworth *et al.*, Continental basalts and mantle xenoliths[C]. Nantwich Shiva, 1983, 230-249.
- [14] Black L P, Kamo S L, Allen C M, Aleinikoff J N, Davis D W, Korsch R J. Foudoulis C TEMORA1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2003, 200(1-2): 155-170.
- [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]. J. G. R., 1984, 89: 525-53.
- [16] 宋彪, 张玉海, 刘敦一. 微区原位分析仪器 SHRIMP 的产生与锆石同位素地质年代学[J]. 质谱学报, 2002, 23(1): 58-62.
Song Biao, Zhang Yuhai, Liu Dunyi. Introduction to the naissance of SHRIMP and its contribution to isotope geology [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2002, 23(1): 58-62. (in Chinese with English abstract)
- [17] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[A]. Mckibben M A, Shanks W C, Ridley W I. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes[C]. Review of Economic Geology, 1998, 7: 1-35.
- [18] 简平, 刘敦一, 张旗, 张福勤, 石玉若, 施光海, 张履桥, 陶华. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 439-456.
Jian Ping, Liu Dunyi, Zhang Qi, Zhang Fuqin, Shi Yuruo, Shi Guanghai, Zhang Luqiao, Tao Hua. Shrimp dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(4): 439-456. (in Chinese with English abstract)