

# 羌北-昌都地块那益雄组火山岩锆石 U-Pb 年代学 及地球化学特征

张 锦<sup>1,2</sup>, 程 鑫<sup>1</sup>, 高 扬<sup>1</sup>, 李玉玉<sup>1</sup>, 朱亚林<sup>1</sup>, 周亚楠<sup>1</sup>, 吴汉宁<sup>1</sup>

(1. 西北大学 地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 深圳市勘察测绘院有限公司, 广东 深圳 518028)

**摘要:** 本文对青藏高原羌北-昌都地块阿布日阿加措地区的晚二叠世那益雄组火山岩进行了年代学和地球化学研究。该火山岩主要由玄武岩、安山玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩组成, 具有碱性玄武岩到酸性熔岩的特征。锆石 U-Pb 年代学研究表明该火山岩的形成时代为  $251.1 \pm 4.8 \sim 249.6 \pm 1.3$  Ma 之间。地球化学分析结果表明, 该地区的流纹岩具有高的  $\text{SiO}_2$  (74.85% ~ 77.55%) 和  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (5.40% ~ 6.61%) 含量, 较低的 MgO、 $\text{K}_2\text{O}$  和 CaO 含量,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量低且稳定, 里特曼指数平均为 1.15, 小于 3.3。安山岩  $\text{SiO}_2$  含量 55.13% ~ 56.28%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量 4.13% ~ 6.15%, 里特曼指数平均为 2.20, 小于 3.3, 属于钙碱性安山岩。碱性玄武岩  $\text{SiO}_2$  含量 51.49%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量 6.34%, 里特曼指数为 4.73, 属于碱性系列。稀土元素配分曲线为富集 LREE 的右倾型。另外, 富集大离子亲石元素 (LILE) Th、U, 亏损高场强元素 (HFSE) Nb、Ta 等特征, 均说明羌北-昌都地块阿布日阿加措地区的火山岩形成于陆缘岛弧环境。

**关键词:** 昌都地块; 晚二叠世; 火山岩; 年代学; 地球化学

中图分类号: P588.14; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)01-0077-13

## Geochemical characteristics and zircon U-Pb dating of Nayixiong Formation volcanic rocks from Northern Qiangtang-Qamdo landmass

ZHANG Jin<sup>1,2</sup>, CHENG Xin<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>, LI Yu-yu<sup>1</sup>, ZHU Ya-lin<sup>1</sup>, ZHOU Ya-nan<sup>1</sup> and WU Han-ning<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;  
2. Shenzhen Geotechnical Investigation and Surveying Institute Co., Ltd., Shenzhen 518028, China)

**Abstract:** Upper Permian Nayixiong Formation volcanic rocks from northern Qiangtang-Qamdo landmass of the Tibetan Plateau have many geochemical characteristics and zircon U-Pb dating data. The main volcanic rocks are basalt, andesite-basalt, andesite, rhyolite, tuff, which have the characteristics of alkaline basalt to acidic rhyolite. The result of the geochronologic study of zircon U-Pb dating data shows that the volcanic eruption ages vary from  $251.1 \pm 4.8$  Ma to  $249.6 \pm 1.3$  Ma. Geochemical characteristics show that the rocks are characterized by high  $\text{SiO}_2$  (74.85% ~ 77.55%) and  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (5.40% ~ 6.61%), low MgO,  $\text{K}_2\text{O}$  and CaO as well as low and stable  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content. The average Rittmann index of the rhyolite is 1.15, less than 3.3. The lithochemistry feature shows that the rhyolite belongs to the calc-alkaline volcanic rocks. Main element features of the andesite show that the  $\text{SiO}_2$  content is 55.13% ~ 56.28% and the  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  content is 4.13% ~ 6.15%. The average Rittmann index of the andesite is 2.20, less than 3.3. The lithochemical features show that the andesite belongs to the calc-alkaline volcanic rocks. The content of the alkaline basalt is 51.49%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  is 6.34%, and the Rittmann index is

收稿日期: 2018-06-10; 接受日期: 2018-10-08; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41774073, 41674070, 41304049)

作者简介: 张 锦(1992-), 女, 助理工程师, 主要从事基础地质学研究, E-mail: zj819421@163.com; 通讯作者: 程 鑫(1982-), 男, 副教授, 主要从事构造磁学研究, E-mail: chengxin@nwu.edu.cn

4.73, which shows that the basalt belongs to the alkaline volcanic rock. In addition, the granodiorite body of Nyixiong Formation volcanic rocks belongs to aluminous-peraluminous series of enriched LREE. These volcanic rocks are characterized by high LILE (Th, U) and LREE and obvious depletion of HFSE (Nb, Ta). The geochemical compositions of volcanic rocks belong to island arc volcanic rocks.

**Key words:** Qamdo landmass; late Permian; volcanic rocks; geochronology; geochemistry

**Fund support:** National Natural Science Foundation of China (41774073, 41674070, 41304049)

羌北-昌都地块位于青藏高原东部,构造位置上位于西金乌兰-金沙江缝合带和班公湖-怒江缝合带之间。羌北-昌都地块出露有大量的晚古生代火山岩,以往的研究多集中于西部地区。

目前,对羌北-昌都晚古生代构造属性的认识尚存在分歧。潘桂棠等(2002)认为羌北地块东部发育晚古生代-中生代的火山弧,而张以菲(1991)则认为发育的是晚古生代开心岭-杂多裂谷。古地磁学者初步认为昌都地块和羌北地块在晚石炭世至早二叠世期间均位于南纬中低纬度地区,并且是相互独立的,其间的北澜沧江洋宽度约1300 km,北澜沧江洋盆残存的岩石学证据已经被发现(邓万明,1996;杨子江等,2006;王剑等,2007;李才等,2009a,2009b)。通过对羌北地块和昌都地块二叠纪古地磁数据定量化分析并结合已有岩石学证据,可以推断出,早二叠世后昌都地块相对于羌北地块有逆时针旋转,并持续北移。中晚二叠世期间两地块在纬向上已无明显差异,其间的北澜沧江洋随着羌北地块和昌都地块发生陆-陆碰撞缓慢拼合而随之消亡(陈守建等,2006;杨子江等,2006;王保弟等,2011;陶琰等,2011;程鑫等,2013;钱辉等,2016)。

本文通过对出露于羌北-昌都地块中部、青海西南部阿布日阿加措地区的那益雄组火山岩中锆石进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年、岩石学及全岩主微量元素分析,旨在探讨该火山岩的构造属性,为厘定晚二叠世羌北-昌都地块的构造属性提供一定的约束。

## 1 区域地质特征

研究区构造上位于羌北-昌都地块中部,紧邻羌北-昌都地块结合带的北澜沧江缝合带,其形成受到特提斯洋演化过程中的动力制约。研究区地理位置上位于青海省格尔木市唐古拉山乡阿布日阿加措地区(图1)。从构造单元划分来看,研究区位于唐古拉山北侧的开心岭隆起带,出露不超过50 m,呈带状展布,且具有西窄东宽的特点。隆起带内出露地层

根据蜓、腕足类、双壳类及植物化石证据主要划分为上石炭统-下二叠统扎日根组、中二叠统诺日巴尕日保组、九十道班组及上二叠统那益雄组。

本文着重研究那益雄组火山岩地层,其岩性以玄武岩、安山玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩为主。研究区内地层由新到老依次为晚二叠世乌丽群那益雄组( $P_3n$ ),中二叠世开心岭群九十道班组( $P_2j$ )、诺日巴尕日保组( $P_2nr$ )和扎日根组( $P_2z$ )(刘广才,1993;牛志军等,2008;潘术娟,2011)。

研究区那益雄组地层出露面积18 km<sup>2</sup>,厚度约70 m,顶部见深灰色流纹岩,产状 $47^\circ \angle 20^\circ$ ,厚约5 m;中部为灰绿色、灰色的凝灰岩,产状 $52^\circ \angle 21.5^\circ$ ,厚约35 m;下部为紫红色、红褐色玄武岩、安山岩,产状 $47^\circ \angle 25^\circ$ ,厚约30 m(图2)。

## 2 岩相学特征

那益雄组火山岩主要是一套基性到中酸性火山熔岩夹凝灰岩,以玄武岩、安山岩、流纹岩为主。

流纹岩位于那益雄组上部,新鲜面呈深灰色,镜下呈现斑状结构,斑晶含有半自形粒状石英和长石,石英颗粒大小为0.2~0.5 mm,单偏光下无色透明,表面干净,正低突起,正交镜下呈I级灰白干涉色,溶蚀边明显;长石主要为碱性长石,基质有碱性长石和石英,粗安结构,可清晰见有流动构造(图3a<sub>2</sub>)。

凝灰岩野外新鲜面呈灰绿色,镜下观察主要由晶屑和火山灰组成。晶屑以斜长石(8%~12%)、石英(5%~10%)为主,斜长石多呈针状,石英多呈次棱角状,部分被溶蚀呈现浑圆状(图3b<sub>3</sub>)。

玄武岩野外新鲜面呈紫红色,镜下观察,其为斑状结构,斑晶主要为斜长石(10%~15%)、辉石(约5%)及方解石(含量小于2%)。斜长石呈自形-半自形板条状,长径大小在0.3~0.5 mm;辉石呈灰色-灰黄色,长径大小0.2~0.5 mm之间,短柱状,正高突起,常见一组解理;方解石有两组解理,闪突起明显(图3c<sub>2</sub>)。

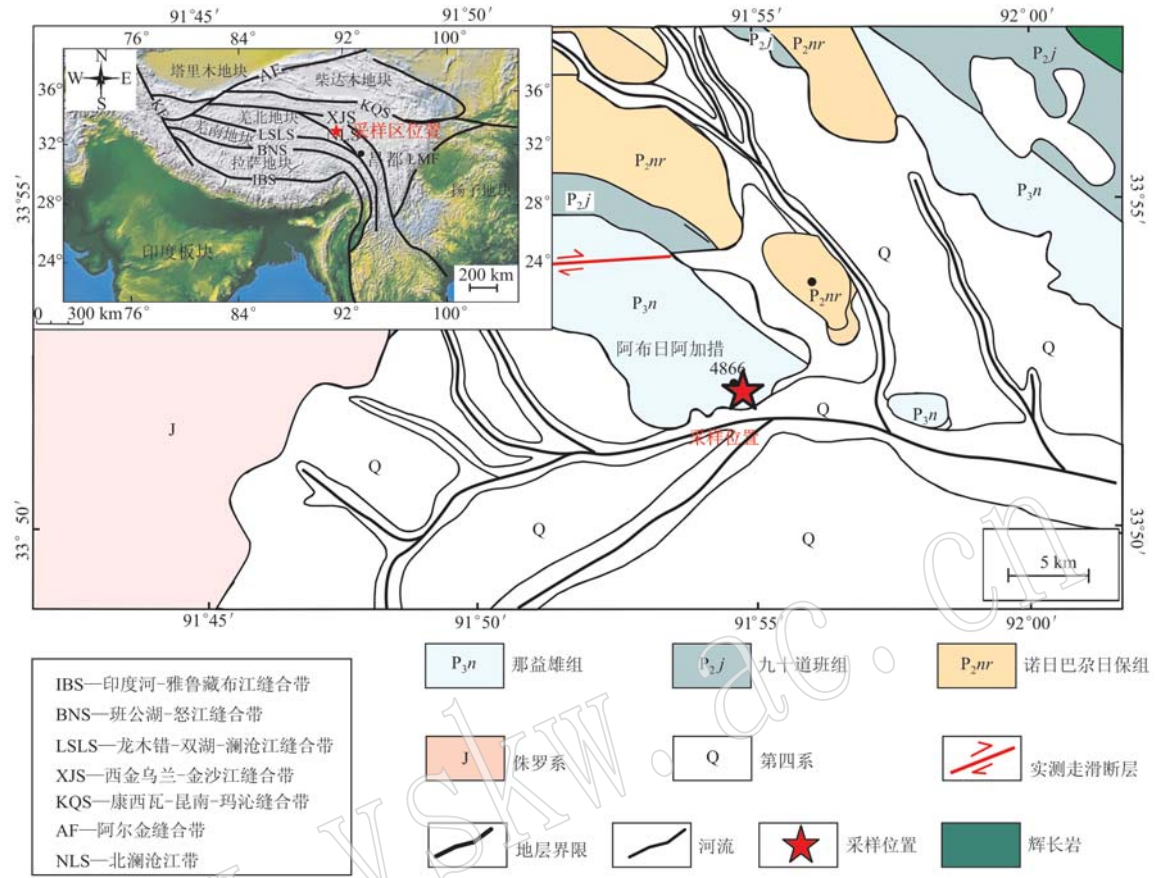


图 1 采样区地质简图(据成都理工大学地质调查研究院温泉兵站区调队, 2005<sup>①</sup>)  
 Fig. 1 Geological sketch map of the sampling area (after Wenquanbingzhan District Team of Chengdu Institute of Geological Survey, 2005<sup>①</sup>)



图 2 采样地层剖面图(拍摄于格尔木市唐古拉山乡通天河西北侧)

Fig. 2 Sampling stratigraphic section (on the northwest side of Tongtian River in Tanggula Mountain Township, Golmud City)

安山岩野外新鲜面呈紫红色-红褐色,斑状结构和块状构造。由斑晶和基质组成,斑晶所占比例为 25% ~ 30%,主要有正长石、斜长石、角闪石;基质所

占比例为 75% ~ 70%,石英含量较少,主要为石英、长石交生物质(图 3c<sub>3</sub>)。

### 3 测试方法

锆石的挑选在河北廊坊区域地质调查研究院完成。在西北大学大陆动力学国家重点实验室对锆石进行了透射光、反射光和阴极发光 (CL) 照相、U-Pb 年龄和微量元素分析的测定,U-Pb 年龄和微量元素分析测定是在连接 193 nm 深紫外 ArF 激光器的 Agilent 7500a 型 ICP-MS 上进行的。后续数据处理及图件绘制采用 Glitter (Ver 4.0) 程序和 Isoplot 软件,具体的数据测试、分析原理见文献(柳小明等, 2002; 袁洪林等, 2003; Ludwig, 2003; 何艳红等, 2005)。

另外,在详细的野外地质基础上,选取 7 件那益

① 成都理工大学地质调查研究院温泉兵站区调队. 2005. 1:25 万地质图温泉兵站幅.

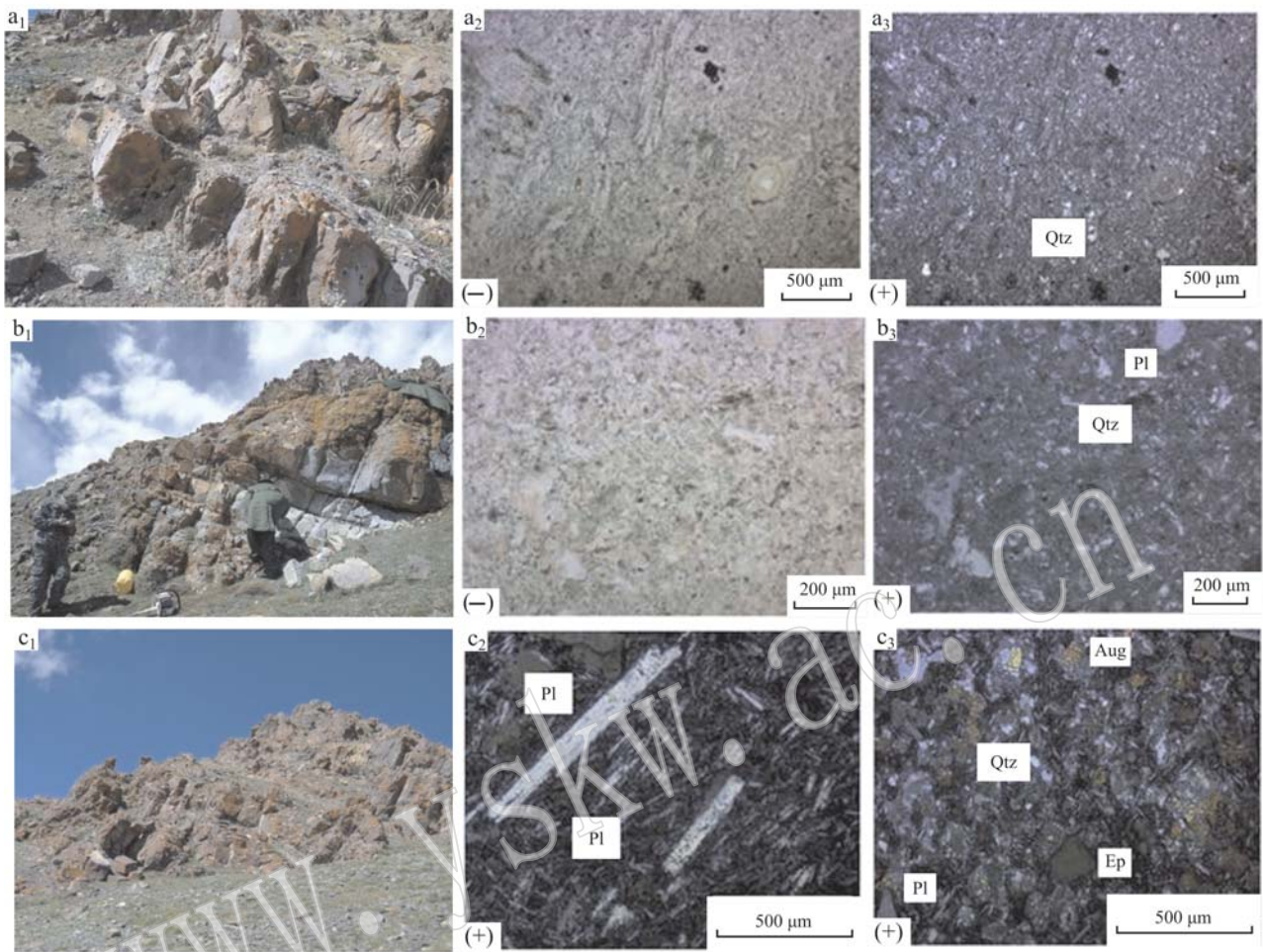


图3 采样地层野外照片及薄片鉴定图

Fig. 3 The photos and sheet identification of the sampling strata in the field

a—流纹岩; b—凝灰岩; c—玄武岩、安山岩; Qtz—石英; Pl—斜长石; Cal—方解石; Aug—普通辉石; Ep—绿帘石  
a—rhyolite; b—tuff; c—basalt and andesite; Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Cal—calcite; Aug—augite; Ep—epidote

雄组代表性的火山岩样品用于主量元素和微量元素地球化学分析测试。主微量实验测试均在西北大学大陆动力学国家重点实验室采用 RIX2100XRF 法和 ICP-MS 测定。

#### 4 锆石 U-Pb 同位素测定结果

本次实验采用 LA-ICP-MS 方法对那益雄组顶部流纹岩及底部安山岩分别选取的一块样品(B01 和 B02)进行锆石 U-Pb 同位素定年。所选样品新鲜,成分相对均一,均未有变形变质现象。

流纹岩样品 B01 中的锆石大多数无色透明,少数淡黄色,大多数呈自形-半自形短柱状,少数为长柱状,粒径范围为 30 ~ 180  $\mu\text{m}$ ,长短轴之比 1:1 ~

3:1。部分锆石表面可见裂缝,可能为后期遭受构造运动所致。在阴极发光图像(CL)中,几乎所有的锆石都显示有典型的韵律振荡环带和扇形分带结构,说明其为岩浆成因(图4)。安山岩样品 B02 锆石大多数无色透明,部分黄褐色,呈自形-半自形短柱状,极少数为长柱状,粒径范围为 30 ~ 190  $\mu\text{m}$ ,长短轴之比 1:1 ~ 5:1(图5)。

样品 B01 中锆石的 Th/U 值平均值为 0.18,而岩浆锆石的 Th/U 值一般大于 0.1(吴元保等,2004),因此,所测锆石为典型岩浆成因锆石,其年龄可代表流纹岩成岩年龄。在锆石靶中挑选 84 颗锆石进行了 84 个点的定年分析,其中 64 个点的数据集集中在 250 Ma 左右,而且这 64 个测点的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  值均集中在 0.011 7 ~ 0.022 6 之间(表1),表明该

流纹岩中锆石为同期岩浆结晶而成，为典型的岩浆成因锆石 (Belousova *et al.*, 2002)。去掉谐和度较低的 3 个点，最终对 61 个点的数据进行统计，其  $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$  年龄介于 259 ~ 241 Ma 之间，加权平均年龄值为  $249.6 \pm 1.3$  Ma (图 4)。

样品 B02 中锆石的 Th/U 值平均值为 0.49，表明所测锆石为典型岩浆成因锆石，其年龄可代表安山岩成岩年龄。锆石靶中挑选 30 颗锆石进行了 30 个点的定年分析 (表 2)，其中 11 个测点的 U-Pb 同

位素比值谐和度较高，数据均集中在谐和线附近。11 个点在置信度为 95% 时的  $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$  加权平均年龄值为  $251.1 \pm 4.8$  Ma (MSWD = 5.7) (图 5)。11 个测点的同位素校正曲线集中分布于谐和线两侧，没有离散的数据，这表明安山岩中锆石对 U-Pb 同位素体系保持封闭状态，未受后期热事件及变质事件的影响，这使得源岩的地球化学数据更加可靠。因此，其 U-Pb 同位素谐和和年龄可以代表安山岩成岩年龄。

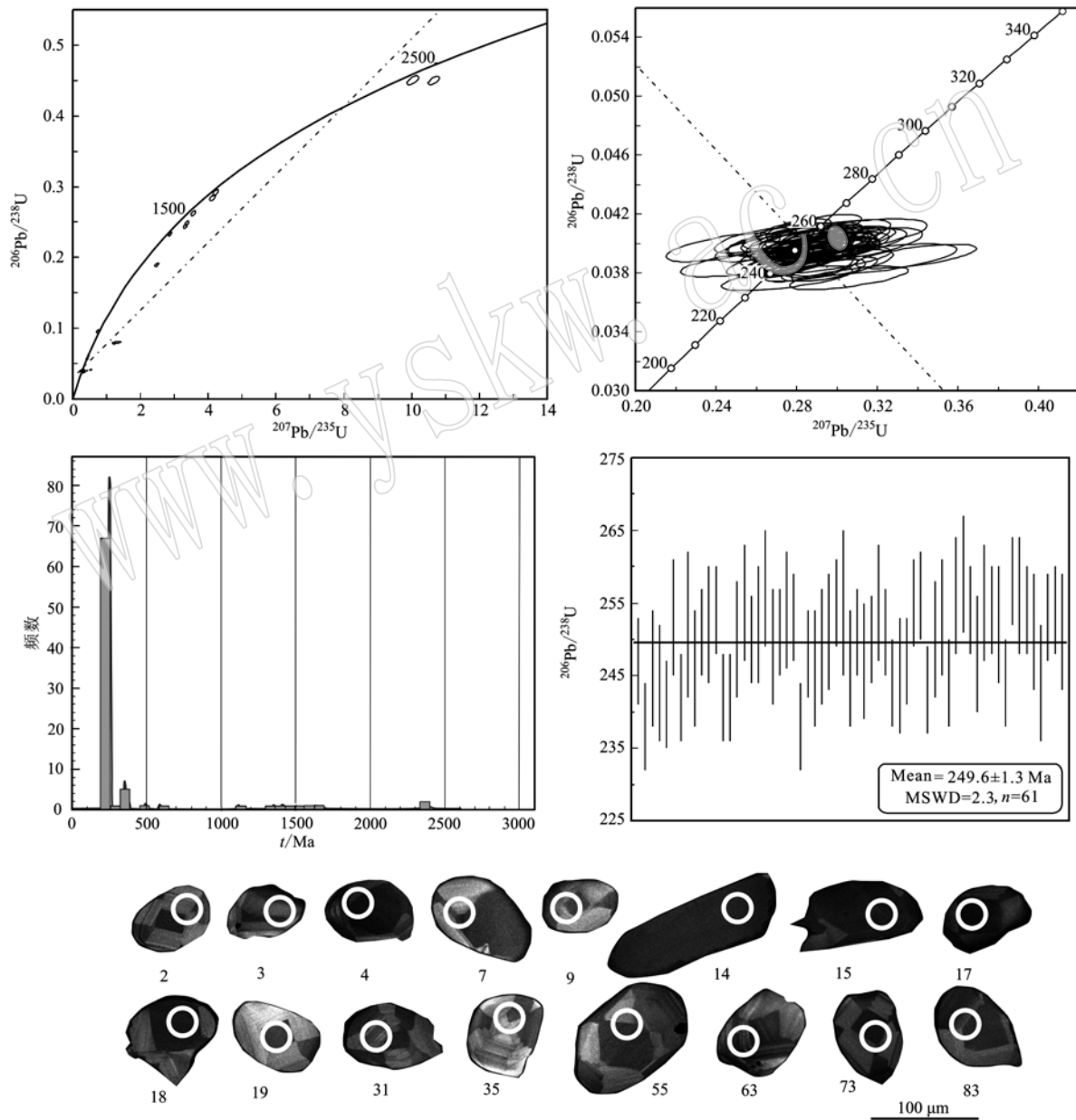


图 4 流纹岩样品 B01 锆石年龄谐和图和阴极发光照片

Fig. 4 Zircon CL images and U-Pb concordia diagrams of B01 rhyolite sample

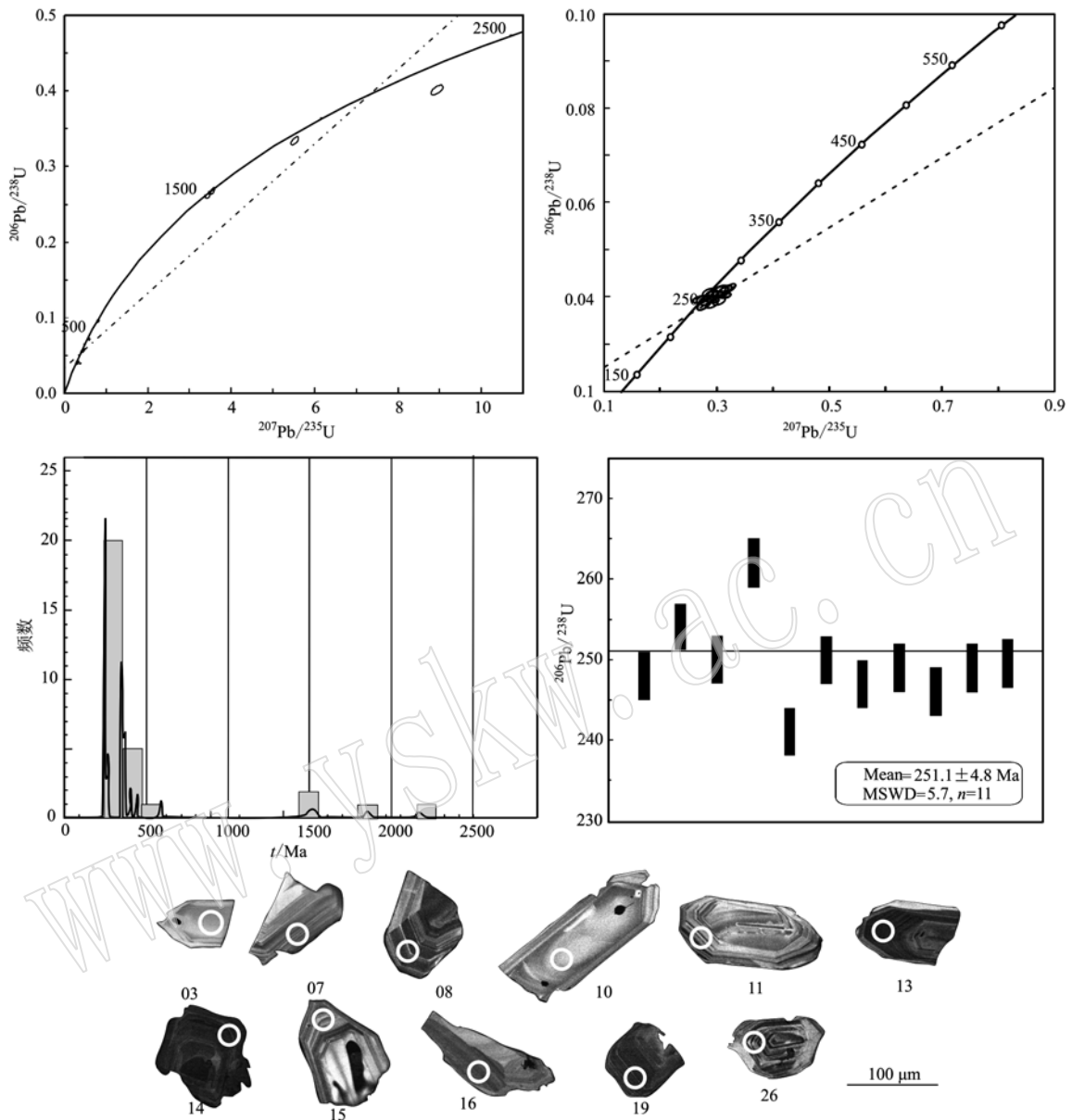


图5 安山岩样品 B02 锆石年龄谱和图和阴极发光照片

Fig. 5 Zircon CL images and U-Pb concordia diagrams of B02 andesite sample

## 5 岩石地球化学

### 5.1 主量元素及主要参数特征

岩石化学成分见表3。结合野外资料和镜下鉴定结果,发现安山岩和玄武岩样品存在有轻微的蚀变。在  $Zr/TiO_2 - Nb/Y$  图解中(图6), TTH04、05、06、07 样品基本都投影到流纹岩区域,属于流纹岩; TTH09 投影在安山岩区域,属于安山岩; TTH01 投影在亚碱性玄武岩区域,里特曼指数 4.73,属于碱性玄

武岩; TTH02 投影在靠近安山岩的亚碱性玄武岩区域,从薄片上看,其中有少量火山喷发带上来的玄武安山玢岩角砾,属于早期捕获物,但最新一期火山喷发形成的岩石属于安山岩,最终将其定名为安山岩。

流纹岩  $SiO_2$  含量较高(74.85% ~ 77.55%);  $Na_2O + K_2O$  含量较高(5.40% ~ 6.61%, 平均 6.18%); 里特曼指数平均为 1.15, 小于 3.3, 属于钙碱性系列;  $Al_2O_3$  含量低且稳定, 平均含量 12.23%,  $MgO$  含量较低, 平均含量 0.46%,  $CaO$  含量较低, 平均含量 0.38%,  $K_2O$  含量较低, 平均含量 1.24%。

表 1 流纹岩样品 B01 锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果  
Table 1 U-Th-Pb composition of the zircons from B01 rhyolite sample

点号	$w_B/\%$					Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$			同位素年龄/Ma
	Th	U	$^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	12.12	61.23	8.33	0.68	0.77	0.197 9	0.037 7 $\pm$ 0.000 5	0.305 8 $\pm$ 0.019 4	0.011 7 $\pm$ 0.000 1	238 $\pm$ 3
2	8.51	54.57	7.30	0.46	0.45	0.155 9	0.038 3 $\pm$ 0.000 6	0.296 2 $\pm$ 0.015 7	0.012 3 $\pm$ 0.000 4	242 $\pm$ 3
3	9.76	63.29	8.26	0.49	0.53	0.154 2	0.038 3 $\pm$ 0.000 6	0.286 6 $\pm$ 0.015 4	0.012 5 $\pm$ 0.000 4	242 $\pm$ 3
4	11.89	76.04	10.36	0.59	0.66	0.156 4	0.040 2 $\pm$ 0.000 6	0.282 3 $\pm$ 0.014 1	0.013 5 $\pm$ 0.000 4	254 $\pm$ 3
5	11.06	70.20	9.32	0.57	0.59	0.157 5	0.038 3 $\pm$ 0.000 6	0.285 6 $\pm$ 0.014 7	0.012 2 $\pm$ 0.000 4	242 $\pm$ 3
6	11.68	73.19	9.93	0.64	0.68	0.159 6	0.039 4 $\pm$ 0.000 6	0.291 8 $\pm$ 0.019 6	0.012 3 $\pm$ 0.000 1	249 $\pm$ 4
7	11.19	74.97	10.02	0.57	0.61	0.149 3	0.038 5 $\pm$ 0.000 5	0.276 4 $\pm$ 0.013 0	0.012 5 $\pm$ 0.000 4	244 $\pm$ 3
8	11.36	76.51	10.30	0.63	0.57	0.148 5	0.038 2 $\pm$ 0.000 5	0.295 8 $\pm$ 0.012 2	0.011 7 $\pm$ 0.000 3	241 $\pm$ 3
9	61.00	203.03	26.90	1.53	3.06	0.300 4	0.039 0 $\pm$ 0.000 4	0.280 5 $\pm$ 0.009 2	0.011 8 $\pm$ 0.000 2	247 $\pm$ 3
10	13.20	56.63	8.33	0.72	1.02	0.233 1	0.040 3 $\pm$ 0.000 5	0.419 2 $\pm$ 0.015 9	0.016 5 $\pm$ 0.000 4	255 $\pm$ 3
11	11.01	63.02	8.68	0.49	0.58	0.174 7	0.040 0 $\pm$ 0.000 6	0.286 8 $\pm$ 0.014 9	0.012 4 $\pm$ 0.000 4	253 $\pm$ 4
12	21.13	92.20	12.40	0.71	1.08	0.229 2	0.038 4 $\pm$ 0.000 5	0.274 0 $\pm$ 0.011 3	0.011 9 $\pm$ 0.000 3	243 $\pm$ 3
13	15.77	84.72	11.74	0.71	0.85	0.186 1	0.039 6 $\pm$ 0.000 5	0.302 7 $\pm$ 0.012 2	0.012 5 $\pm$ 0.000 3	251 $\pm$ 3
14	7.80	30.87	4.20	0.24	0.41	0.252 7	0.039 9 $\pm$ 0.000 8	0.305 8 $\pm$ 0.024 1	0.013 2 $\pm$ 0.000 5	252 $\pm$ 5
15	13.10	78.66	10.51	0.60	0.72	0.166 5	0.039 0 $\pm$ 0.000 6	0.283 9 $\pm$ 0.014 7	0.012 9 $\pm$ 0.000 4	246 $\pm$ 4
16	10.43	64.25	9.20	0.77	0.83	0.162 3	0.039 5 $\pm$ 0.000 6	0.287 6 $\pm$ 0.018 3	0.012 4 $\pm$ 0.000 1	249 $\pm$ 4
17	10.84	67.11	9.38	0.54	0.56	0.161 5	0.040 5 $\pm$ 0.000 6	0.288 5 $\pm$ 0.015 8	0.012 2 $\pm$ 0.000 4	256 $\pm$ 4
18	13.53	79.18	11.25	0.63	0.74	0.170 9	0.040 2 $\pm$ 0.000 5	0.280 8 $\pm$ 0.011 9	0.012 5 $\pm$ 0.000 3	254 $\pm$ 3
19	10.91	72.94	10.13	0.59	0.61	0.149 6	0.040 0 $\pm$ 0.000 5	0.295 6 $\pm$ 0.012 9	0.012 7 $\pm$ 0.000 4	253 $\pm$ 3
20	24.92	131.85	18.28	1.06	1.40	0.189 0	0.039 8 $\pm$ 0.000 5	0.289 3 $\pm$ 0.009 9	0.013 2 $\pm$ 0.000 3	251 $\pm$ 3
21	9.33	61.94	8.76	0.45	0.52	0.150 6	0.040 2 $\pm$ 0.000 6	0.259 5 $\pm$ 0.013 5	0.012 7 $\pm$ 0.000 4	254 $\pm$ 3
22	9.04	60.83	8.33	0.46	0.49	0.148 6	0.039 3 $\pm$ 0.000 6	0.274 3 $\pm$ 0.014 7	0.012 6 $\pm$ 0.000 4	248 $\pm$ 4
23	16.13	79.88	11.12	0.63	0.84	0.201 9	0.039 6 $\pm$ 0.000 5	0.287 2 $\pm$ 0.012 9	0.012 1 $\pm$ 0.000 3	250 $\pm$ 3
24	8.60	55.58	7.76	0.43	0.46	0.154 7	0.039 9 $\pm$ 0.000 6	0.277 6 $\pm$ 0.015 2	0.012 4 $\pm$ 0.000 4	252 $\pm$ 4
25	8.30	58.12	7.87	0.46	0.44	0.142 8	0.038 9 $\pm$ 0.000 6	0.282 7 $\pm$ 0.015 0	0.012 2 $\pm$ 0.000 4	246 $\pm$ 4
26	8.88	59.68	8.15	0.47	0.47	0.148 8	0.039 2 $\pm$ 0.000 6	0.287 5 $\pm$ 0.014 1	0.012 2 $\pm$ 0.000 4	248 $\pm$ 3
27	13.38	71.53	10.15	0.57	0.76	0.187 1	0.040 5 $\pm$ 0.000 5	0.292 0 $\pm$ 0.013 5	0.013 1 $\pm$ 0.000 4	256 $\pm$ 3
28	14.82	48.55	6.64	0.38	0.80	0.305 3	0.039 1 $\pm$ 0.000 6	0.283 3 $\pm$ 0.016 9	0.012 5 $\pm$ 0.000 3	247 $\pm$ 4
29	10.14	59.63	8.85	0.95	1.05	0.170 0	0.041 4 $\pm$ 0.000 6	0.533 0 $\pm$ 0.019 9	0.022 6 $\pm$ 0.000 6	261 $\pm$ 4
30	9.64	69.04	9.59	0.55	0.54	0.139 6	0.039 8 $\pm$ 0.000 5	0.286 7 $\pm$ 0.014 1	0.012 7 $\pm$ 0.000 4	251 $\pm$ 3
31	12.56	79.00	11.37	0.62	0.72	0.159 0	0.040 9 $\pm$ 0.000 5	0.279 1 $\pm$ 0.012 1	0.013 1 $\pm$ 0.000 4	258 $\pm$ 3
32	11.55	74.84	10.48	0.56	0.63	0.154 3	0.040 0 $\pm$ 0.000 5	0.264 0 $\pm$ 0.012 7	0.012 5 $\pm$ 0.000 4	253 $\pm$ 3
33	6.79	45.36	6.27	0.31	0.37	0.149 7	0.039 7 $\pm$ 0.000 6	0.243 5 $\pm$ 0.018 6	0.012 6 $\pm$ 0.000 5	251 $\pm$ 4
34	8.65	58.85	8.12	0.48	0.49	0.147 0	0.039 8 $\pm$ 0.000 6	0.300 8 $\pm$ 0.016 6	0.013 3 $\pm$ 0.000 5	252 $\pm$ 4
35	11.93	73.43	10.34	0.67	0.69	0.162 5	0.040 2 $\pm$ 0.000 6	0.302 8 $\pm$ 0.017 3	0.012 6 $\pm$ 0.000 1	254 $\pm$ 3
36	8.77	56.06	8.09	0.46	0.50	0.156 4	0.041 1 $\pm$ 0.000 6	0.288 4 $\pm$ 0.015 5	0.013 3 $\pm$ 0.000 4	259 $\pm$ 4
37	51.02	185.24	26.56	1.55	2.84	0.275 4	0.040 4 $\pm$ 0.000 4	0.296 3 $\pm$ 0.008 0	0.012 6 $\pm$ 0.000 2	255 $\pm$ 3
38	45.95	150.54	21.06	1.31	2.58	0.305 2	0.039 5 $\pm$ 0.000 5	0.294 0 $\pm$ 0.014 7	0.012 3 $\pm$ 0.000 1	250 $\pm$ 3
39	8.09	56.41	7.80	0.46	0.42	0.143 4	0.039 6 $\pm$ 0.000 6	0.295 3 $\pm$ 0.016 0	0.012 1 $\pm$ 0.000 5	250 $\pm$ 4
40	12.72	76.04	10.65	0.57	0.71	0.167 3	0.040 2 $\pm$ 0.000 5	0.272 5 $\pm$ 0.013 4	0.012 9 $\pm$ 0.000 4	254 $\pm$ 3
41	13.23	82.56	11.63	0.67	0.73	0.160 2	0.040 3 $\pm$ 0.000 5	0.291 0 $\pm$ 0.013 0	0.012 8 $\pm$ 0.000 4	255 $\pm$ 3
42	44.98	161.71	22.47	1.42	2.54	0.278 2	0.039 7 $\pm$ 0.000 5	0.294 2 $\pm$ 0.015 0	0.012 4 $\pm$ 0.000 1	251 $\pm$ 3
43	10.57	69.31	9.79	0.58	0.61	0.152 5	0.040 7 $\pm$ 0.000 6	0.303 9 $\pm$ 0.014 9	0.013 3 $\pm$ 0.000 4	257 $\pm$ 4
44	9.82	64.42	10.16	1.69	1.81	0.152 4	0.038 9 $\pm$ 0.000 6	0.295 5 $\pm$ 0.020 6	0.012 1 $\pm$ 0.000 1	246 $\pm$ 4
45	19.82	90.14	12.70	1.14	1.36	0.219 9	0.039 1 $\pm$ 0.000 5	0.339 2 $\pm$ 0.019 8	0.012 0 $\pm$ 0.000 1	247 $\pm$ 3
46	3.85	22.14	3.23	0.24	0.27	0.173 9	0.040 4 $\pm$ 0.000 9	0.295 4 $\pm$ 0.032 6	0.012 7 $\pm$ 0.000 3	255 $\pm$ 5
47	9.84	67.34	9.44	0.55	0.52	0.146 1	0.039 9 $\pm$ 0.000 6	0.296 9 $\pm$ 0.014 2	0.012 3 $\pm$ 0.000 4	252 $\pm$ 4
48	10.15	69.41	9.50	0.51	0.55	0.146 2	0.039 7 $\pm$ 0.000 6	0.264 3 $\pm$ 0.016 3	0.012 9 $\pm$ 0.000 5	251 $\pm$ 4
49	12.31	66.49	9.25	0.56	0.68	0.185 1	0.040 3 $\pm$ 0.000 6	0.302 5 $\pm$ 0.015 5	0.012 8 $\pm$ 0.000 4	255 $\pm$ 4
50	10.13	67.41	9.42	0.58	0.59	0.150 3	0.040 1 $\pm$ 0.000 6	0.311 2 $\pm$ 0.015 3	0.013 2 $\pm$ 0.000 4	253 $\pm$ 4
51	9.35	64.39	9.14	0.53	0.51	0.145 2	0.040 3 $\pm$ 0.000 6	0.293 1 $\pm$ 0.014 7	0.012 5 $\pm$ 0.000 4	255 $\pm$ 4

续表 1  
Continued Table 1

点号	$w_B/\%$					Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$			同位素年龄/Ma
	Th	U	$^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
52	8.73	54.70	7.66	0.44	0.47	0.159 6	0.040 3 $\pm$ 0.000 6	0.282 0 $\pm$ 0.016 6	0.012 4 $\pm$ 0.000 5	255 $\pm$ 4
53	9.81	64.06	8.92	0.52	0.53	0.153 1	0.040 2 $\pm$ 0.000 6	0.298 4 $\pm$ 0.015 2	0.012 5 $\pm$ 0.000 4	254 $\pm$ 4
54	11.01	68.43	9.71	0.53	0.61	0.160 9	0.040 5 $\pm$ 0.000 6	0.276 1 $\pm$ 0.015 1	0.012 8 $\pm$ 0.000 4	256 $\pm$ 4
55	11.15	75.18	10.02	0.57	0.59	0.148 3	0.038 8 $\pm$ 0.000 6	0.278 5 $\pm$ 0.016 1	0.012 4 $\pm$ 0.000 5	245 $\pm$ 4
56	11.18	63.52	8.68	0.49	0.63	0.176 0	0.039 7 $\pm$ 0.000 7	0.290 0 $\pm$ 0.019 6	0.013 9 $\pm$ 0.000 5	251 $\pm$ 4
57	12.30	81.00	10.95	0.61	0.65	0.151 9	0.038 6 $\pm$ 0.000 5	0.273 6 $\pm$ 0.014 0	0.012 3 $\pm$ 0.000 4	244 $\pm$ 3
58	8.59	59.96	8.37	0.47	0.47	0.143 3	0.039 6 $\pm$ 0.000 6	0.282 5 $\pm$ 0.017 1	0.012 6 $\pm$ 0.000 5	250 $\pm$ 4
59	14.14	75.77	10.21	0.63	0.77	0.186 6	0.038 6 $\pm$ 0.000 6	0.300 8 $\pm$ 0.018 0	0.013 3 $\pm$ 0.000 4	244 $\pm$ 4
60	24.40	62.23	8.86	0.78	1.64	0.392 1	0.038 7 $\pm$ 0.000 6	0.254 8 $\pm$ 0.021 4	0.012 3 $\pm$ 0.000 2	244 $\pm$ 4
61	13.18	64.75	8.78	0.70	0.81	0.203 6	0.038 9 $\pm$ 0.000 7	0.315 5 $\pm$ 0.029 1	0.012 0 $\pm$ 0.000 2	246 $\pm$ 4
62	23.44	102.84	13.64	0.97	1.47	0.227 9	0.038 3 $\pm$ 0.000 5	0.356 6 $\pm$ 0.015 1	0.015 0 $\pm$ 0.000 4	243 $\pm$ 3
63	12.84	79.00	10.78	0.58	0.69	0.162 5	0.038 6 $\pm$ 0.000 5	0.266 9 $\pm$ 0.014 2	0.012 4 $\pm$ 0.000 4	244 $\pm$ 3
64	19.07	82.17	11.38	1.01	1.34	0.232 1	0.037 6 $\pm$ 0.000 6	0.275 1 $\pm$ 0.021 5	0.011 8 $\pm$ 0.000 1	238 $\pm$ 3

表 2 安山岩样品 B02 锆石年龄数据表

Table 2 U-Th-Pb composition of the zircons from B02 andesite sample

点号	$w_B/\%$					Th/U	同位素比值			同位素年龄/Ma
	Th	U	$^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	64.85	466.87	175.38	11.82	3.93	0.138 9	0.041 5 $\pm$ 0.000 5	0.314 8 $\pm$ 0.010 4	0.055 0 $\pm$ 0.002 1	262 $\pm$ 3
2	193.2	480.46	493.39	52.62	26.23	0.402 1	0.039 6 $\pm$ 0.000 5	0.302 8 $\pm$ 0.009 0	0.055 4 $\pm$ 0.001 9	250 $\pm$ 3
3	37.58	1 802.72	1 242.94	116.48	10.19	0.020 8	0.039 6 $\pm$ 0.000 4	0.292 3 $\pm$ 0.005 8	0.053 6 $\pm$ 0.001 4	250 $\pm$ 3
4	59.22	149.27	40.82	2.86	2.32	0.396 7	0.040 2 $\pm$ 0.000 5	0.309 3 $\pm$ 0.010 8	0.055 8 $\pm$ 0.002 2	254 $\pm$ 3
5	782.74	926.68	153.88	9.99	17.05	0.844 7	0.038 1 $\pm$ 0.000 4	0.281 3 $\pm$ 0.005 3	0.053 6 $\pm$ 0.001 4	241 $\pm$ 3
6	148.50	493.90	134.34	8.73	6.11	0.300 7	0.039 1 $\pm$ 0.000 4	0.283 8 $\pm$ 0.004 5	0.052 7 $\pm$ 0.001 2	247 $\pm$ 3
7	85.40	308.33	70.03	4.56	3.06	0.277 0	0.039 6 $\pm$ 0.000 5	0.320 8 $\pm$ 0.008 4	0.058 7 $\pm$ 0.001 9	250 $\pm$ 3
8	128.96	264.19	82.00	5.11	5.29	0.488 1	0.039 3 $\pm$ 0.000 5	0.301 5 $\pm$ 0.007 3	0.055 6 $\pm$ 0.001 7	249 $\pm$ 3
9	127.59	138.05	129.27	14.66	16.73	0.924 2	0.039 2 $\pm$ 0.000 4	0.380 3 $\pm$ 0.006 9	0.070 4 $\pm$ 0.001 8	248 $\pm$ 3
10	247.28	416.32	127.95	9.35	10.53	0.594 0	0.038 8 $\pm$ 0.000 4	0.276 6 $\pm$ 0.004 6	0.051 7 $\pm$ 0.001 2	246 $\pm$ 3
11	192.52	192.77	60.90	9.86	13.86	0.998 7	0.039 7 $\pm$ 0.000 4	0.306 6 $\pm$ 0.005 4	0.056 1 $\pm$ 0.001 4	251 $\pm$ 3

安山岩  $\text{SiO}_2$  含量 55.13% ~ 56.28%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量较高(4.13% ~ 6.15%, 平均 5.14%), 里特曼指数平均为 2.20, 小于 3.3, 属于钙碱性系列;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高, 平均含量 16.74%,  $\text{MgO}$  含量高, 平均含量 3.45%,  $\text{CaO}$  含量高, 平均含量 6.54%,  $\text{K}_2\text{O}$  含量较低, 平均含量 0.17%。

玄武岩  $\text{SiO}_2$  含量 51.49%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  含量 6.34%, 里特曼指数平均为 4.73, 大于 3.3, 属于碱性系列;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高, 含量 17.34%,  $\text{MgO}$  含量高, 含量 4.87%,  $\text{CaO}$  含量高, 含量 6.41%,  $\text{K}_2\text{O}$  含量很低, 含量 0.26%。

总之, 样品整体表现为具高硅碱、低钙镁、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量偏高的特点。

## 5.2 稀土元素及微量元素地球化学特征

流纹岩稀土元素总量为  $97.49 \times 10^{-6} \sim 240.84$

$\times 10^{-6}$ , LREE 为  $77.79 \times 10^{-6} \sim 207.27 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $19.70 \times 10^{-6} \sim 33.57 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE = 3.95 ~ 6.40, 具富集轻稀土型分布模式。(La/Yb)<sub>N</sub> = 3.23 ~ 6.83, 说明轻稀土元素与重稀土元素之间有一定的分馏; (La/Sm)<sub>N</sub> = 3.56 ~ 4.21, 说明轻稀土元素之间也存在一定的分馏; (Gd/Lu)<sub>N</sub> = 0.71 ~ 1.37, 说明重稀土元素之间存在轻度分馏 (< 1 表示无分馏)。从图 7a 可以看出粗安流纹岩样品存在明显的 Eu 负异常,  $\delta\text{Eu} = 0.27 \sim 0.42$ 。

安山岩稀土元素总量为  $142.11 \times 10^{-6} \sim 157.74 \times 10^{-6}$ , LREE 为  $120.01 \times 10^{-6} \sim 134.68 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $22.10 \times 10^{-6} \sim 23.06 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE = 5.43 ~ 5.84, 为右倾的富集轻稀土元素型分布模式。(La/Yb)<sub>N</sub> = 5.00 ~ 5.84, 说明轻稀土元素与重稀土元素之间有一定的分馏; (La/Sm)<sub>N</sub> = 2.72 ~ 2.87, 说明



表 3 那益雄组火山岩主量元素( $w_B/\%$ ), 稀土元素和微量元素( $w_B/10^{-6}$ )测试结果

Table 3 Whole-rock major elements( $w_B/\%$ ), trace elements and REE data( $w_B/10^{-6}$ ) of the Nayixiong Formation

样号	玄武岩		流纹岩				安山岩
	TTH01	TTH02	TTH04	TTH05	TTH06	TTH07	TTH09
SiO <sub>2</sub>	51.49	56.28	77.28	77.55	75.57	74.85	55.13
TiO <sub>2</sub>	1.93	1.72	0.25	0.23	0.25	0.36	1.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.34	16.22	11.84	11.76	12.68	12.64	17.26
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.06	9.99	2.31	2.17	2.74	2.82	8.53
MnO	0.14	0.11	0.02	0.01	0.02	0.05	0.09
MgO	4.87	5.18	0.21	0.15	0.55	0.91	1.72
CaO	6.41	6.12	0.24	0.30	0.32	0.67	6.95
Na <sub>2</sub> O	6.08	3.85	5.33	5.26	5.60	3.55	6.10
K <sub>2</sub> O	0.26	0.28	1.22	1.35	0.55	1.85	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.42	0.25	0.04	0.03	0.04	0.02	0.13
LOI	0.01	0.01	0.84	0.72	1.35	1.91	2.26
TOTAL	100.01	100.01	99.58	99.53	99.67	99.63	99.50
Li	35.30	51.60	7.74	6.04	13.30	12.10	16.70
Be	1.68	1.62	1.64	1.97	2.23	2.28	1.66
Sc	31.30	27.70	10.40	9.86	11.20	7.04	19.50
V	204.00	144.00	10.10	6.84	11.70	43.60	170.00
Cr	144.00	127.00	4.23	3.94	3.54	36.80	98.10
Co	38.50	40.90	30.90	33.30	24.50	16.20	35.20
Ni	37.10	38.00	2.66	2.73	3.02	18.20	27.80
Cu	7.44	6.42	1.99	4.83	3.64	41.90	10.10
Zn	98.00	101.00	83.70	52.60	115.00	51.10	50.60
Ga	18.80	17.80	11.80	8.88	11.80	16.10	19.80
Ge	2.07	1.98	0.84	0.82	1.02	1.86	1.78
Rb	7.50	10.20	22.00	27.70	24.00	74.40	1.06
Sr	624.00	725.00	208.00	194.00	172.00	528.00	1691.00
Y	38.50	36.20	44.30	32.30	54.00	43.10	34.90
Zr	242.00	222.00	226.00	222.00	235.00	198.00	231.00
Nb	17.10	16.10	14.40	14.10	14.30	18.70	16.10
Cs	0.99	0.93	0.54	0.59	1.56	5.46	0.13
Ba	131.00	46.20	204.00	282.00	212.00	327.00	37.20
La	30.60	28.00	31.60	18.90	47.40	41.30	24.30
Ce	64.70	60.80	63.10	35.60	96.70	75.00	53.70
Pr	7.98	7.41	7.37	4.12	11.20	8.41	6.74
Nd	32.90	30.20	28.00	15.40	42.80	31.40	27.80
Sm	6.99	6.30	5.73	3.36	8.50	6.34	5.77
Eu	2.36	1.98	0.52	0.34	0.75	0.86	1.69
Gd	6.87	6.34	5.84	3.60	8.49	6.25	5.81
Tb	1.10	1.02	1.09	0.72	1.45	1.07	0.95
Dy	6.80	6.28	7.43	5.12	9.25	6.85	6.00
Ho	1.37	1.29	1.59	1.16	1.92	1.45	1.24
Er	3.91	3.66	4.74	3.66	5.54	4.26	3.56
Tm	0.57	0.54	0.73	0.61	0.83	0.66	0.53
Yb	3.69	3.44	4.81	4.21	5.32	4.34	3.49
Lu	0.55	0.50	0.70	0.63	0.77	0.63	0.51
Hf	5.25	4.95	6.38	6.27	6.82	5.55	5.56
Ta	1.05	1.03	1.33	1.34	1.35	1.66	1.14
Pb	11.00	8.34	11.30	13.20	11.70	8.20	13.00
Th	3.76	4.78	16.50	18.00	17.80	14.60	7.45
U	1.42	1.48	3.51	3.29	3.74	3.74	1.33

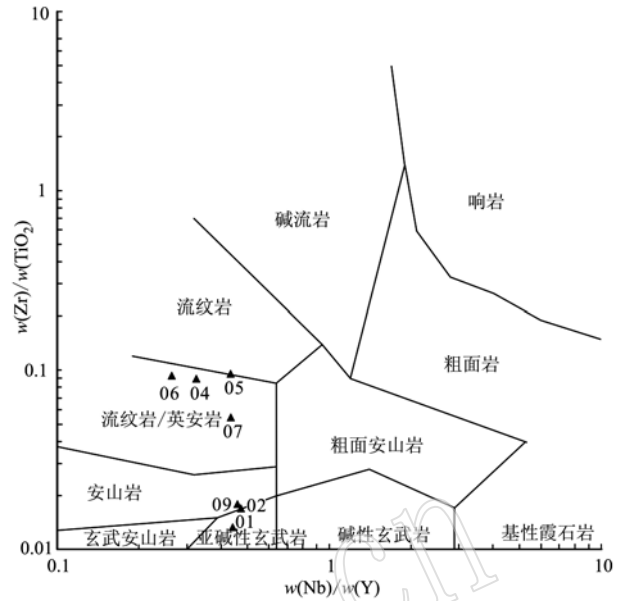


图 6 那益雄组火山岩 Zr/TiO<sub>2</sub> - Nb/Y 图解 (底图据 Winchester and Floyd, 1977)

Fig. 6 Zr/TiO<sub>2</sub> - Nb/Y diagrams of Nayixiong Formation volcanic rocks (after Winchester and Floyd, 1977)

轻稀土元素之间也存在一定的分馏;  $(Gd/Lu)_N$  介于 1.42 ~ 1.56, 说明重稀土之间存在轻度分馏。安山岩样品具弱负 Eu 异常,  $\delta Eu = 0.89 \sim 0.96$  (图 7b)。

玄武岩稀土元素总量为  $170.37 \times 10^{-6}$ , LREE 为  $145.51 \times 10^{-6}$ , HREE 为  $24.86 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE = 5.85, 为右倾的富集轻稀土元素型分布模式。 $(La/Yb)_N = 5.94$ , 说明轻稀土与重稀土元素之间有一定的分馏;  $(La/Sm)_N = 2.82$ , 说明轻稀土元素之间也存在一定的分馏;  $(Gd/Lu)_N = 1.55$ , 说明重稀土元素之间存在轻度分馏。玄武岩样品具弱正 Eu 异常,  $\delta Eu = 1.04$ 。

从图 7 中可以看出, 稀土元素配分样式图和微量元素原始地幔标准化蛛网图整体形态与目前公认的新西兰克马德克 (Kermadec) 岛弧火山岩相一致 (Ewart *et al.*, 1998), 大离子亲石元素 (LILE) Th、U 及 LREE 富集, 高场强元素 (HFSE) Nb、Ta 亏损, 与岛弧火山岩地球化学特征一致 (周华等, 2016; 张腾蛟等, 2017)。

## 6 构造环境

研究区紧邻羌北-昌都地块结合带的北澜沧江缝合带。前人对羌北地块和昌都地块的古地磁学研

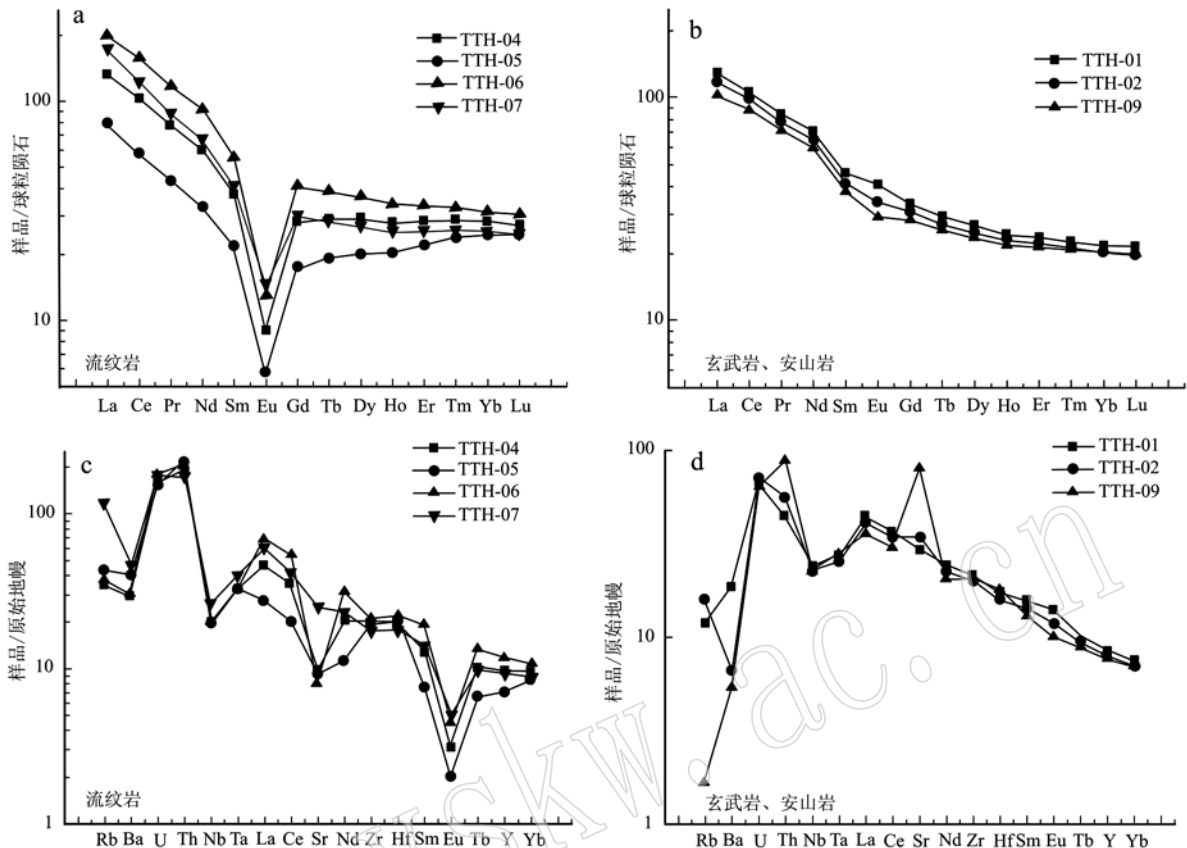


图7 那益雄组火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(a,b)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(c,d)

(据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a, b) and primitive mantle-normalized trace element diagrams (c, d) for Nayixiong Formation volcanic rocks (after Sun and McDonough, 1989)

究表明,中晚二叠世期间,羌北地块和昌都地块在纬向上已无明显差异,加之定量化计算结果显示,晚二叠世之后,羌北地块相对于昌都地块进一步旋转,最终完成拼合,其间的北澜沧江洋随之消亡(程鑫等, 2013)。李莉(2009b)通过对昌都地块中部早二叠世栖霞期火山岩进行的全岩主微量及 Sr、Nd、Pb 同位素测试分析表明,栖霞期火山岩形成于大陆边缘拉张构造环境,属陆缘初始裂谷环境。李善平等(2008)对北羌塘盆地结扎乡一带二叠系杂笛考组火山岩进行了岩石学、岩石化学、微量元素的分析及研究表明北羌塘地块在早中二叠世处于岛弧环境。李莉(2009a)对昌都地块中部晚三叠世地层进行的岩石学及地球化学研究结果显示,甲丕拉组火山岩呈现岛弧火山岩的特征,并且反映了板块俯冲环境中火山岩的典型特征。岩石化学上表现为低 Ti、高 Al、轻稀土元素富集、轻重稀土元素呈现较强的分馏并具有轻微的负 Eu 异常,大离子亲石元素富集,高场强元素 Nb、Zr、Ta 亏损,这些地球化学特征

均为岛弧火山岩所常见。

研究区岩石组合从基性-中性-酸性均有出露,见有玄武岩、安山质玄武岩、安山岩、流纹岩等,具有较为典型的岛弧火山岩特征;稀土元素特征表现为轻稀土元素富集,为典型的右倾富集轻稀土型分布模式,具有无 Eu 异常到轻微的负 Eu 异常;大离子亲石元素富集,高场强元素亏损,这些特征与岛弧岩浆岩的地球化学特征较为一致。在非活动性元素 Nb - Y、Ta - Yb、Rb - Y + Nb、Rb - Yb + Ta 图解中(图8),样品均投在岛弧火山岩区域。在 Hf/3 - Th - Ta 图解(图9)中,样品也投在岛弧火山岩区域, Th/Ta 值约为 8.05,远远大于 1.6,而且  $Th \times Ta/Hf^2$  值为 0.39,远远小于 0.035,说明其为陆缘岛弧火山岩(大洋岛弧火山岩  $Th \times Ta/Hf^2 < 0.035$ ,陆缘岛弧火山岩  $> 0.035$ ;汪云亮等, 2001)。以上证据表明,那益雄组火山岩形成的大地构造环境总体应属于陆缘岛弧环境。

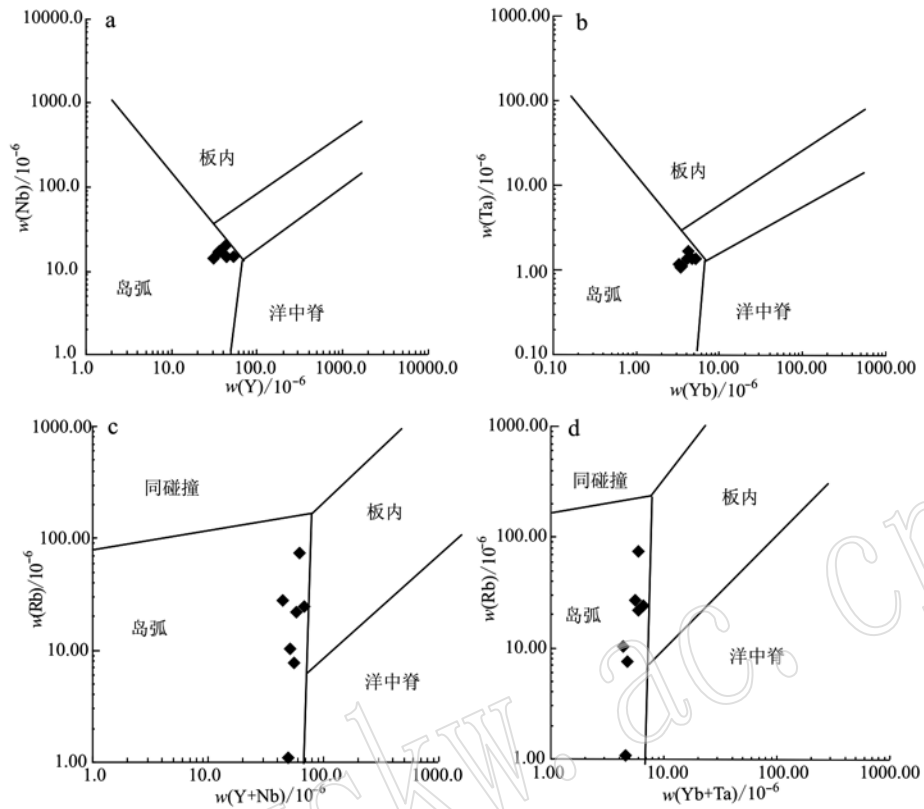


图 8 那益雄组火山岩构造背景判别图(底图据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 8 Discrimination diagrams for tectonic settings of the volcanic rocks in the Nayixiong Formation (after Pearce *et al.*, 1984)

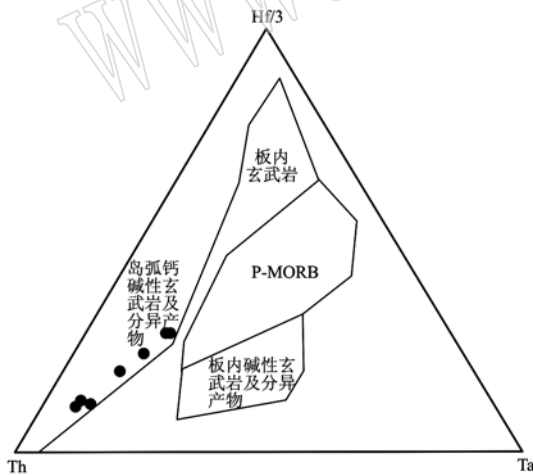


图 9 那益雄组 Hf/3 - Th - Ta 图解(据 Meschede, 1986)

Fig. 9 Hf/3 - Th - Ta diagrams of Nayixiong Formation volcanic rocks (after Meschede, 1986)

### 7 结论

(1) 那益雄组火山岩锆石 U-Pb 定年结果表明, 其顶部火山岩的年龄为  $249.6 \pm 1.3$  Ma, 底部火山岩的年龄为  $251.1 \pm 4.8$  Ma, 确定其形成时代为晚

二叠世。

(2) 地球化学分析结果表明, 那益雄组火山岩形成于陆缘岛弧环境, 具有大离子亲石元素(LILE) Th、U 及 LREE 富集, 高场强元素(HFSE) Nb、Ta 亏损的特征。

### References

Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, *et al.* 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 143(5): 602 ~ 622.

Chen Shoujian, Li Rongshe, Ji Wenhua, *et al.* 2006. Study of the late maokouan hiatus in northern Qinghai-tibet plateau[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(3): 231 ~ 236(in Chinese with English abstract).

Cheng Xin, Wu Hanning, Diao Zongbao, *et al.* 2013. Paleomagnetic data from the Late Carboniferous-Late Permian rocks in eastern Tibet and their implications for tectonic evolution of the northern Qiangtang-Qamdo block[J]. *Science China: Earth Sciences*, 43(8): 1 312 ~ 1 323(in Chinese).

Deng Wanming. 1996. Paleo Tethyan ophiolites and "the northern bound-

- ary of the gondwanaland" in the Qinghai-Xizang plateau[A]. Ophiolite and Geodynamics Seminar[C]. Beijing: Geological Publishing House, 172~176(in Chinese).
- Ewart A, Collerson K D, Regelous M, *et al.* 1998. Geochemical evolution within the Tonga-Kermadec-Lau arc-back-arc systems: The role of varying mantle wedge composition in space and time[J]. *Journal of Petrology*, 39(3): 331~368.
- He Yanhong, Sun Yong, Chen Liang, *et al.* 2005. Zircon U-Pb chronology of Longshan complex by LA-ICP-MS and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 125~134(in Chinese with English abstract).
- Li Cai, Xie Yaowu, Dong Yongsheng, *et al.* 2009a. Discussion on the age of Jitang Group around Leiwuqi area, eastern Tibet, China and primary understanding[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1178~1180(in Chinese with English abstract).
- Li Cai, Xie Yaowu, Dong Yongsheng, *et al.* 2009b. The North Lancangjiang suture: The boundary between Gondwana and Yangtze? [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1711~1719(in Chinese with English abstract).
- Li Li, Bai Yunshan, Ma Liyan, *et al.* 2009a. Characteristics and tectonic setting of Jiabeila Formation volcanic rocks in the area between Suojia and Zhiduo, Eastern Qiangtang[J]. *Geological Survey and Research*, 32(1): 8~14(in Chinese with English abstract).
- Li Li, Bai Yunshan, Ma Liyan, *et al.* 2009b. Geochemical characteristics and tectonic significance of Qixianian volcanic rocks in Zhigengaka area, Zhiduo County, eastern Qiangtang[J]. *Geology in China*, 36(6): 1289~1301(in Chinese).
- Li Shanping, Ma Haizhou, Shen Cunxiang, *et al.* 2008. Geochemical characteristics and tectonic of volcanic rocks of the Permian Gadikao Formation in the Jiezha Area, Northern Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Northwestern Geology*, 41(2): 31~40(in Chinese with English abstract).
- Liu Guangcai. 1993. Age assignment of Kaixinling Group and Wuli Group in the middle Tanggula mountain[J]. *Geology in Qinghai*, 2(1): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaoming, Gao Shan, Yuan Honglin, *et al.* 2002. Analysis of 42 major and trace elements in glass standard reference materials by 193 nm LA-ICPMS[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 408~418(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT, a geochronological toolkit for Microsoft Excel 3.00[J]. *Berkeley Geochronology Centre Special Publication*, 5: 1~75.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. *Chemical Geology*, 56(3~4): 207~218.
- Niu Zhijun, Xu Anwu, Wang Jianxiang, *et al.* 2008. Permian Luodian period volcanic island sedimentary facies model of Southern Qinghai and the control of the fauna distribution as bamboo, dragonfly[J]. *Science China: Earth Sciences*, 32(2): 145~156(in Chinese).
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, *et al.* 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 701~707(in Chinese with English abstract).
- Pan Shujuan. 2011. Sedimentary Characteristics and Significance of Kaixinling Group in Western Qamdo Block, Xizang[D]. *China University of Geosciences (Beijing)* (in Chinese with English abstract).
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25(4): 956~983.
- Qian Hui, Li Haibing, Liu Dongliang, *et al.* 2016. Crustal structure in Qiangtang and its southern neighborhood[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(8): 1715~1724(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 42: 313~345(in Chinese with English abstract).
- Tao Yan, Bi Xianwu, Xin Zhonglei, *et al.* 2011. Geology, geochemistry and origin of Lanuoma Pb-Zn-Sb deposit in Changdu area, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 30(4): 599~615(in Chinese with English abstract).
- Wang Baodi, Wang Liquan, Qiangba Zhaxi, *et al.* 2011. Early Triassic collision of northern Lancangjiang suture: Geochronological, geochemical and Hf isotope evidences from the granitic gneiss in Leiwuqi area, East Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2752~2762(in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Wang Zhengjiang, Chen Wenxi, *et al.* 2007. New evidences for the age assignment of the Nadi Kangri Formation in the North Qiangtang basin, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(4): 404~409(in Chinese with English abstract).
- Wang Yunliang, Zhang Chengjiang and Xiu Shuzhi. 2001. Th/Hf-Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 413~421(in Chinese with English abstract).
- Winchester J A and Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. *Chemical Geology*, 20(4): 325~343.
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its con-

- straints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(15): 1 554 ~ 1 569(in Chinese).
- Yang Zijiang and Li Xianyang. 2006. Early Triassic collision of northern Lancangjiang suture: Geochronological, geochemical and Hf isotope evidences from the granitic gneiss in leiwuqi area east Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 25(1): 118 ~ 123(in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. Zircon U-Pb age and REE contents analysis of Cenozoic era intrusion in North-east area[J]. Chinese Science Bulletin, 48(14): 1 511 ~ 1 520(in Chinese).
- Zhang Tengjiao, Chen Ying and Li Youguo. 2017. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry characteristics of the North Qingcaoshan granodiorite in the southern margin of Qiangtang, Tibet, and their metallogenic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 91(8): 1 729 ~ 1 742(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yifu. 1991. The characteristics of Kekexili-Bayankala and nearby Tethys ocean[J]. Geological of Qinghai, (1): 62 ~ 72 (in Chinese).
- Zhou Hua, Qiu Jiansheng, Yu Sibin, *et al.* 2016. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks from Coqen District of Tibet and their implications for petrogenesis[J]. Acta Geologica Sinica, 90(11): 3 173 ~ 3 191(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 等. 2006. 青藏高原北部茅口晚期地层缺失研究[J]. 地层学杂志, 30(3): 231 ~ 236.
- 程 鑫, 吴汉宇, 刁宗宝, 等. 2013. 藏东地区晚石炭-晚二叠世古地磁新结果: 对羌北-昌都地块构造演化的制约[J]. 中国科学: 地球科学, 43(8): 1 312 ~ 1 323.
- 邓万明. 1996. 青藏古特提斯蛇绿岩与“冈瓦纳古陆北界”[A]. 蛇绿岩与地球动力学研究[C]. 北京: 地质出版社, 172 ~ 176.
- 何艳红, 孙 勇, 陈 亮, 等. 2005. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 21(1): 125 ~ 134.
- 李 才, 谢尧武, 董永胜, 等. 2009a. 藏东类乌齐一带吉塘岩群时代讨论及初步认识[J]. 地质通报, 28(9): 12 ~ 14.
- 李 才, 谢尧武, 董永胜, 等. 2009b. 北澜沧江带的性质——是冈瓦纳板块与扬子板块的界线吗? [J]. 地质通报, 28(12): 1 711 ~ 1 719.
- 李 莉, 白云山, 马丽艳, 等. 2009a. 羌塘东部治多县索加一带甲丕拉组火山岩特征及其构造环境[J]. 地质调查与研究, 32(1): 8 ~ 14.
- 李 莉, 白云山, 马丽艳, 等. 2009b. 羌塘东部治多县直根杂卡一带二叠纪栖霞组火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. 中国地质, 36(6): 1 289 ~ 1 301.
- 李善平, 马海州, 沈存祥, 等. 2008. 青藏高原北美塘盆地结扎乡一带二叠系杂岩组火山岩的特征及构造环境[J]. 西北地质, 41(2): 31 ~ 40.
- 刘广才. 1993. 唐古拉山中段开心岭群乌丽群的时代定义问题[J]. 青海地质, 2(1): 1 ~ 9.
- 柳小明, 高 山, 袁洪林, 等. 2002. 193 nm LA-ICPMS 对国际地质标准参考物质中 42 种主量和微量元素的分析[J]. 岩石学报, 18(3): 408 ~ 418.
- 牛志军, 徐安武, 王建雄, 等. 2008. 青海南部二叠纪罗甸期火山岛沉积相模式及对蜓类动物群分布的制约[J]. 中国科学: 32(2): 145 ~ 156.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 21(11): 701 ~ 707.
- 潘术娟. 2011. 昌都地块西段二叠纪开心岭群沉积特征及其构造意义[D]. 北京: 中国地质大学.
- 钱 辉, 李海兵, 刘栋梁, 等. 2016. 羌塘及南缘地区的地壳结构[J]. 地质学报, 90(8): 1 715 ~ 1 724.
- 陶 琰, 毕献武, 辛忠雷, 等. 2011. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌铜多金属矿床地质地球化学特征及成因分析[J]. 矿床地质, 30(4): 599 ~ 615.
- 王保弟, 王立全, 强巴扎西, 等. 2011. 早三叠世北澜沧江结合带碰撞作用: 类乌齐花岗岩片麻岩年代学、地球化学及 Hf 同位素证据[J]. 岩石学报, 27(9): 2 752 ~ 2 762.
- 王 剑, 汪正江, 陈文西, 等. 2007. 藏北羌塘盆地那底岗日组时代归属的新证据[J]. 地质通报, 26(4): 404 ~ 409.
- 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 2001. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf-Ta/Hf 图解判别[J]. 岩石学报, 17(3): 413 ~ 421.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 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, 49(16): 1 554 ~ 1 569.
- 杨子江, 李咸阳. 2006. 藏北若拉岗日结合带中的浅变质地层及其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定[J]. 地质通报, 25(1): 118 ~ 123.
- 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.
- 张腾蛟, 陈 颖, 李佑国. 2017. 西藏羌塘南缘青草山北花岗岩闪长岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其成矿意义[J]. 地质学报, 91(8): 1 729 ~ 1 742.
- 张以菲. 1991. 可可西里-巴颜喀拉及邻区特提斯海的特征[J]. 青海国土经略, (1): 62 ~ 72.
- 周 华, 邱检生, 喻思斌, 等. 2016. 西藏措勤地区火山岩的年代学与地球化学及其对岩石成因的制约[J]. 地质学报, 90(11): 3 173 ~ 3 191.