

藏北羌塘戈木错北部新生代钾质火山岩⁴⁰Ar/³⁹Ar定年

翟庆国¹, 李 才², 王 军¹, 陈 文¹

ZHAI Qing-guo¹, LI Cai², WANG Jun¹, CHEN Wen¹

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*

摘要: 1:25 万玛依岗日幅区域地质调查期间, 在藏北戈木错北部发现了一套新生代钾质火山岩。对保存较好的 3 处火山岩的样品进行 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究, 获得了 30.6Ma±0.4Ma、30.0Ma±0.2Ma 和 29.8Ma±0.3Ma 三个坪年龄, 代表该地区火山岩的喷溢时代。戈木错北部火山岩的地球化学特征与钾质火山岩的类似, 它与鱼鳞山、走构由茶错、多格错仁等地区的新生代火山岩共同构成了羌塘地区钾质—超钾质火山岩带, 它们的形成与印度大陆同亚洲大陆的碰撞和青藏高原的隆升密不可分。

关键词: 藏北; 新生代; 火山岩; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年

中图分类号: P534.6; P588.14 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2009)09-1221-08

Zhai Q G, Li C, Wang J, Chen W. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating for Cenozoic potassic volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(9): 1221-1228

Abstract: Cenozoic volcanic rocks are discovered in northern Gemucuo area during 1:250000 Mayigangri regional geological investigation. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating are carried on three samples from this volcanic rocks and yield the plateau ages of 30.6±0.4 Ma, 30.0±0.2 Ma and 29.8±0.3 Ma, which represent the volcanic eruption age. The geochemical characters of the volcanic rocks in the northern Gemucuo are similar with potassic volcanic rocks, together with the Cenozoic volcanic rocks distributing at Yulinshan, Zougouy-ouchacuo, duogecuoren etc. constitute, the Cenozoic potassic-ultrapotassic volcanic belt in Qiangtang area. The formation of these volcanic rocks has relations with the collision between India and Asia and uplift of Qinghai-Tibet plateau.

Key words: northern Tibet; Cenozoic; volcanic rock; ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating

青藏高原是世界上最高、最大、最年轻的高原, 其内部及周缘地区广泛出露新生代钾质—超钾质火山岩^[1]。近几年, 国内外学者掀起了对新生代火山岩研究的热潮, 发表了许多重要文献^[1-21], 对其岩石学、地球化学、岩浆作用等进行了详细的研究, 新生代火山岩的形成与青藏高原陆—陆碰撞造山和高原隆升密切相关。随着研究工作的开展, 在高原内部和周缘地区的新生代钾质—超钾质火山岩中发现了多处地幔岩包体^[22-26], 为揭示高原岩石圈地幔的性质提供

了重要信息, 同时也开拓了青藏高原新生代火山岩的研究。尽管前人已对青藏高原新生代火山岩做了大量研究工作, 但由于青藏高原特殊的自然、地理条件, 对高原腹地, 尤其是藏北羌塘地区新生代火山岩的研究相对不多, 研究工作主要集中在几个点。这与该地区的地质工作程度很低有关, 同时也制约了青藏高原新生代火山岩的深入研究。

近几年的 1:25 万区域地质调查工作为该地区的研究工作提供了大量的新资料, 在高原内部发现

收稿日期: 2009-07-01; 修订日期: 2009-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40872146、40672147)、中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目(编号: J0910)、中国地质调查局项目《1:25 万玛依岗日幅区域地质调查》(编号: 1212010818015、1212010561605)和中国石化项目(编号: PH08005)资助

作者简介: 翟庆国(1980-), 男, 博士, 助理研究员, 从事青藏高原区域构造与大地构造研究。E-mail: zhaiqingguo@126.com

了一些新的新生代火山岩出露点。1:25万玛依岗日幅区域地质调查期间,在改则县古姆乡戈木错北部一带,发现了一套新生代火山岩。本文对这套火山岩进行了详细的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究,并结合岩石学和地球化学资料探讨其地质意义,为青藏高原新生代火山岩的研究提供新资料。

1 采样位置和火山岩的产出状态

羌塘位于青藏高原北部,在构造上位于班公湖-怒江缝合带与金沙江缝合带之间,龙木错-双湖缝合带从中间通过^[27](图1)。羌塘地区地层以中、新生代沉积为主,前中生代地层主要出露在中央隆起地区^[27-28],有化石依据的最老地层为奥陶系^[29]。羌塘地区已有多处新生代火山岩的报道,主要出露在多格错仁、纳丁错、走构由茶错、鱼鳞山等地区^[12-13,15,19,21,30](图1),时代在28~65 Ma之间变化,且以30~40 Ma为主。

本研究涉及的火山岩主要出露在改则县古姆

乡,分布在戈木错北部向东到嘎尔孔茶卡东岸一带,主要出露点有3个,出露总面积约41 km²(图1),戈木错北部保存有较好的火山口。火山岩由多个旋回构成,每个旋回自下而上依次为火山角砾岩,安山质凝灰岩与火山角砾岩互层,安山质玄武岩(含辉石斑晶)、粗面岩,安山质凝灰岩、火山角砾岩与安山质玄武岩、响岩互层,火山岩总厚为200 m左右,最厚处可达400 m。火山岩产在喷呐湖组中,上、下均为喷呐湖组湖相灰岩、砂岩、砾岩等,在上覆灰岩和砾岩的底部可见火山岩砾石。火山岩以安山质玄武岩为主,气孔状构造发育,并普遍具有定向结构和斑状结构,基质呈间粒结构和间隐结构,局部气孔发育处气孔体积比例在20%~50%之间,镜下观察含有大量的玻璃质,含量在40%~70%之间。斑晶主要是辉石,半自形—自形柱状、粒状,粒度大于0.5 mm,大者达7 mm以上,含量在7%~20%之间;基质由斜长石、辉石和磁铁矿组成,斜长石呈半自形—自形的长板状、长条状,定向分布,占45%左右,辉石呈半自形—自形

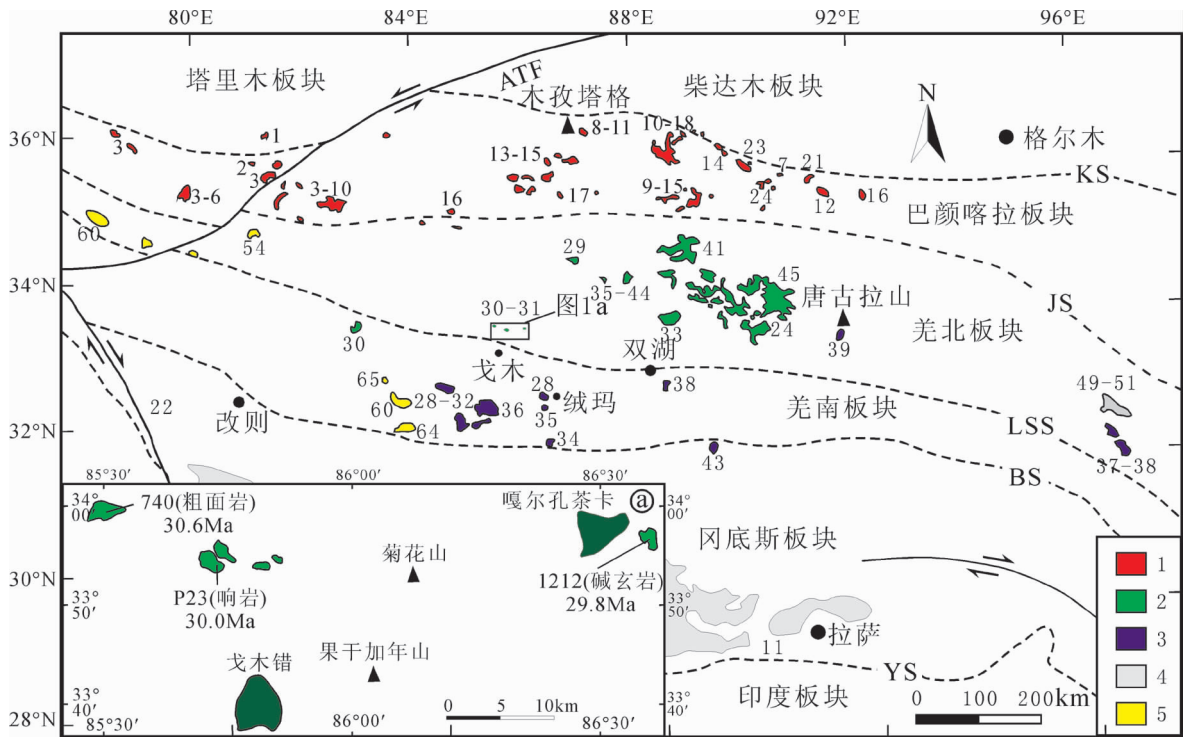


图1 青藏高原新生代火山岩分布简图(其中a图为西藏羌塘戈木错北部火山岩分布简图)(据参考文献[12,14,21]修改)

Fig. 1 Sketch geological map of Cenozoic volcanic rocks in Qinghai-Tibet Plateau

- 1—中新世钾质-超钾质火山岩(数字代表火山岩年龄,单位:Ma);
- 2—始新世-渐新世钾质-超钾质火山岩;
- 3—始新世-渐新世钙碱性火山岩;
- 4—林子宗群火山岩;
- 5—古新世钠质火山岩;
- ATF—阿尔金断裂;KS—昆仑山缝合带;
- JS—金沙江缝合带;LSS—龙木错-双湖缝合带;BS—班公湖-怒江缝合带;YS—雅鲁藏布江缝合带

的粒状,约占 25%,副矿物为磁铁矿、磷灰石等。

2 测试方法

火山岩全岩基质样品挑选在河北廊坊地质调查研究所实验室完成, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年由 中国地质科学院地质研究所国土资源部同位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,质谱分析

在 MM-1200B 质谱计上进行,每个峰值均采集 8 组数据;所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_0\text{Ca}=0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_0\text{K}=0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_0\text{Ca}=0.000806$ 。 $^{37}\text{Ar}_0$ 表示经过

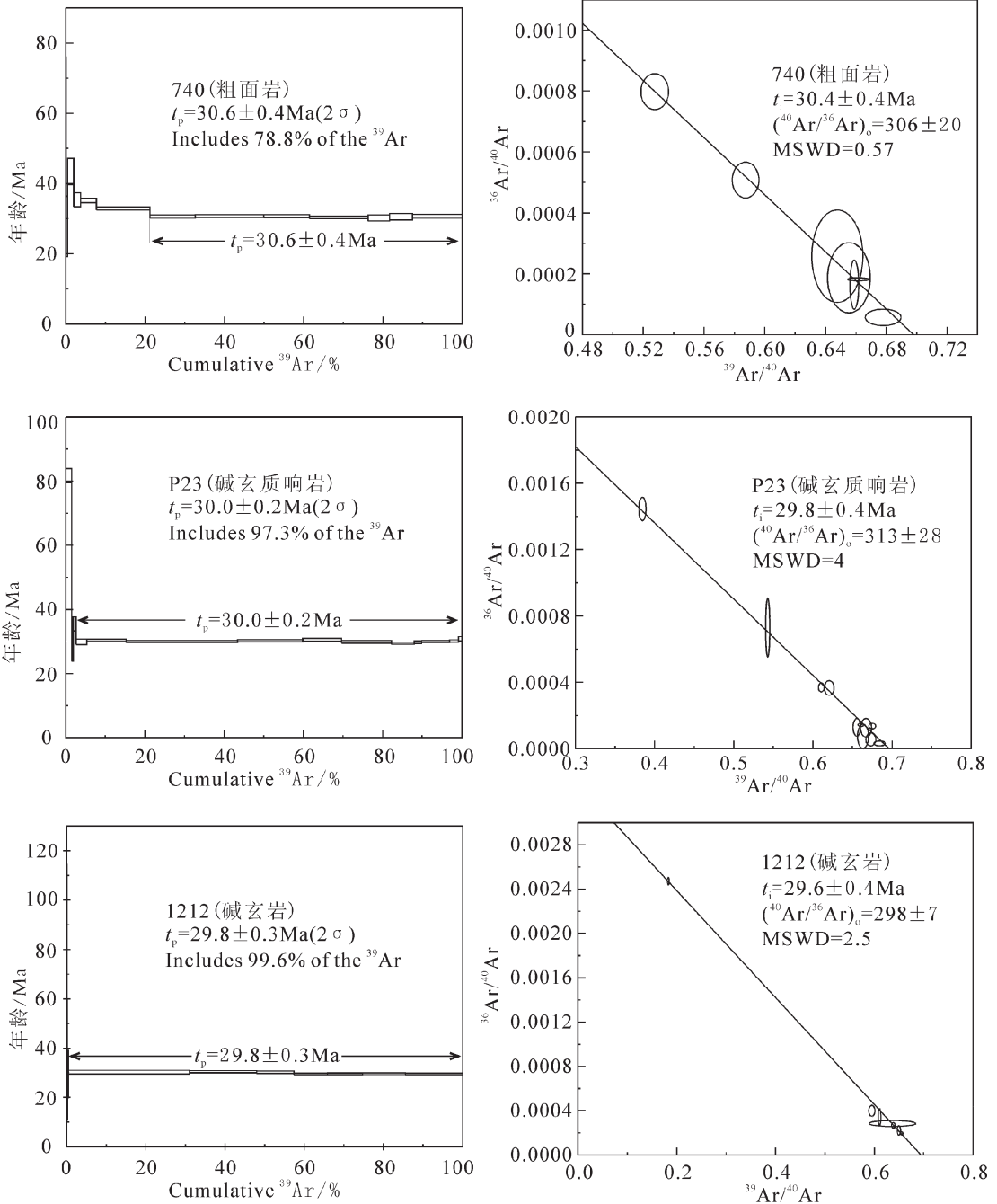


图 2 西藏羌塘戈木错北部火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄

Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra and isochron for volcanic rock in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

表1 西藏羌塘戈木错北部火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果Table 1 Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

$T/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	F	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	年龄/Ma	$\pm 1\text{s}/\text{Ma}$
740	粗面岩							
500	20.9123	0.061	0.5753	0.03	2.9206	10.49	61	15
600	14.7185	0.0455	0.7431	0.033	1.3098	61.45	27.8	8.6
700	7.8538	0.0197	0.5013	0.0192	2.0541	219.86	43.4	3.8
800	4.1846	0.0086	0.3078	0.0171	1.6724	265.7	35.4	2
900	2.2239	0.002	0.2701	0.0135	1.6608	599.29	35.17	0.63
950	1.6925	0.0005	0.1657	0.0119	1.5524	2028.23	32.89	0.42
1000	1.5223	0.0003	0.1186	0.0122	1.4436	1709.59	30.61	0.47
1050	1.4798	0.0001	0.1271	0.0123	1.4504	2591.84	30.75	0.4
1100	1.7072	0.0009	0.1477	0.0146	1.4468	1731.71	30.67	0.47
1150	1.5164	0.0003	0.1989	0.0126	1.4304	2219.81	30.33	0.33
1200	1.5483	0.0005	0.3188	0.013	1.4262	812.25	30.24	0.84
1300	1.5294	0.0005	0.9934	0.0123	1.4414	867.37	30.56	0.91
1400	1.6021	0.0009	1.7344	0.0138	1.4484	1879.73	30.71	0.55
P23	碱玄质响岩							
500	5.2758	0.0044	0.2737	0.0393	4.0034	230.8	81.7	2.2
600	2.4925	0.0042	0.2097	0.0435	1.2559	45.4	26	4.5
700	2.0627	0.0012	0.1401	0.0368	1.7157	114.74	35.5	2.2
800	1.8463	0.0014	0.0831	0.0303	1.4442	396.47	29.91	0.88
900	1.5301	0.0002	0.0387	0.0204	1.4672	1467.88	30.38	0.38
950	1.466	0.0001	0.0194	0.0172	1.448	4148.66	29.99	0.33
1000	1.4902	0.0001	0.0176	0.0185	1.4614	2428.85	30.27	0.36
1050	1.5123	0.0001	0.0238	0.0197	1.4746	1450.36	30.54	0.44
1100	1.5034	0.0002	0.0643	0.0179	1.4431	1846.48	29.89	0.4
1150	1.486	0.0002	0.1185	0.0145	1.4218	853.63	29.45	0.31
1200	1.6158	0.0006	0.1639	0.0129	1.4368	278.69	29.76	0.38
1300	1.5179	0.0003	0.4713	0.0136	1.4492	1034.48	30.02	0.31
1350	1.6401	0.001	1.69	0.0135	1.4591	341.51	30.22	0.36
1400	2.5968	0.0047	3.8342	0.0138	1.4899	122.11	30.85	0.7
1212	碱玄岩							
500	9.364	0.0136	1.9535	0.0325	5.489	6.62	110.3	4.1
600	13.1166	0.037	0.4497	0.0888	2.2037	5.74	45.1	7.3
700	28.9996	0.0895	0.8727	0.1178	2.6068	2	53.2	6.4
800	37.8191	0.1253	1.6423	0.1353	0.9012	12.49	18.6	7.7
900	40.7953	0.1347	1.0932	0.0452	1.0531	24.54	21.7	1.8
1000	5.4673	0.0136	0.586	0.0173	1.4723	3507.31	30.26	0.73
1050	1.6849	0.0007	0.2478	0.0125	1.4825	1943.89	30.47	0.4
1130	1.6418	0.0006	0.367	0.0127	1.4715	1079.05	30.24	0.47
1180	1.5747	0.0006	0.4969	0.013	1.4389	975.17	29.58	0.33
1240	1.5429	0.0005	0.7254	0.0133	1.4383	1013.55	29.57	0.39
1320	1.569	0.0008	1.6096	0.014	1.4421	1244.68	29.64	0.35
1400	1.5261	0.0011	3.4603	0.0141	1.4375	1655.8	29.55	0.37

注:表头中下标 m 表示质谱测量同位素比值; F 指放射成因 ^{40}Ar 与 K 生成的 ^{39}Ar 的比值

放射性衰变校正的 ^{37}Ar 值; 采用的半衰期为 35.1d; 衰变常数 $=5.543 \times 10^{-10} \cdot \text{a}^{-1[3]}$ 。坪年龄误差以 2s 给出。详

细的实验流程见有关文献^[3]。主量、微量和稀土元素测试在国土资源部武汉综合岩矿测试中心完成。

3 火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学

3 个火山岩年龄样品采样位置见图 1-a, 火山岩全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分析数据见表 1, 年龄图谱见图 2。样品 740 (粗面岩) 释放氩的 78.8% 集中在坪年龄 $30.6\text{Ma}\pm 0.4\text{Ma}$, 相应的反等时线年龄为 $30.4\text{Ma}\pm 0.4\text{Ma}$ (MSWD=0.57), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 306 ± 20 , $30.6\text{Ma}\pm 0.4\text{Ma}$ 代表粗面岩的形成年龄。样品 P23 (碱玄质响岩) 释放氩的 97.3% 获得的坪年龄为 $30.0\text{Ma}\pm 0.2\text{Ma}$, 相应的反等时线年龄为 $29.8\text{Ma}\pm 0.4\text{Ma}$ (MSWD=4), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 313 ± 28 , $30.0\text{Ma}\pm 0.2\text{Ma}$ 代表碱玄质响岩的形成年龄。样品 1212 (碱玄岩) 释放氩的 99.6% 获得的坪年龄为

$29.8\text{Ma}\pm 0.3\text{Ma}$, 相应的反等时线年龄为 $29.6\text{Ma}\pm 0.4\text{Ma}$ (MSWD=2.5), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 298 ± 7 , $29.8\text{Ma}\pm 0.3\text{Ma}$ 代表碱玄质响岩的形成年龄。综上所述, 戈木错北部火山岩喷发的时代集中在 $30\sim 31\text{Ma}$ 之间, 这与鱼鳞山、走构由茶错、纳丁错等地区新生代火山岩的时代一致, 说明羌塘地区渐新世早期发生过大规模的区域性火山岩浆事件。

4 火山岩的地球化学特征

戈木错北部火山岩主量元素、微量元素和稀土元素分析结果见表 2。火山岩以中性岩为主, SiO_2 含量变化比较大, 在 $45.47\%\sim 66.06\%$ 之间, Al_2O_3 含量在 $16.68\%\sim 23.99\%$ 之间, TiO_2 含量在 $1.03\%\sim 3.17\%$ 之间, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量在 $6.26\%\sim 11.41\%$ 之间, 7 个样品中 4 个样品 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值在 $1.10\sim 1.26$ 之间, 属于钾质火山岩, 另外 3 个样品 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值在 $0.72\sim 0.84$ 之间。在火山岩硅碱图上 (图 3), 样品投影点分别位于碱玄岩、碱玄质响岩、粗面玄武岩、粗安岩和粗面岩的范围内, 均属碱性玄武岩系列。在火山岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解 (图 4) 上, 火山岩的点均位于橄榄粗安岩系列的区域。火山岩稀土元素含量很高, $\sum\text{REE}$ 平均为 687.2×10^{-6} , 轻稀土元素强烈富集, LREE/HREE 的比值较高, 平均为 12.24, 稀土元素球粒陨石标准配分曲线 (图 5)^[33] 为强烈向右倾斜的曲线, 无明显的负 Eu 异常。微量元素中富集 Rb、Ba、Th、K、Sr 等大离子亲石元素, Nb、Ta、Ti 和 Y 相对亏损。以原始地幔标准化的微量元素比值蛛网图呈右倾曲线 (图 6)^[33]。

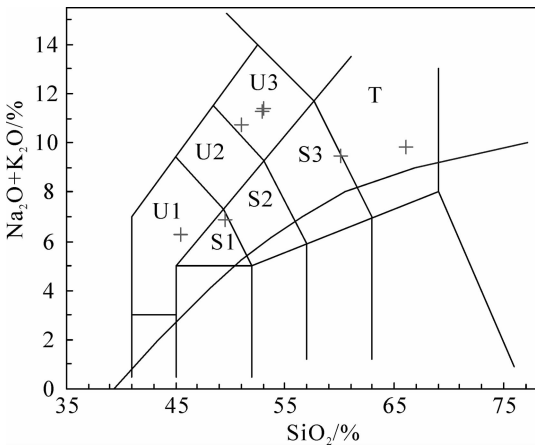


图 3 西藏羌塘戈木错北部火山岩硅碱图

Fig. 3 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ diagram for volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

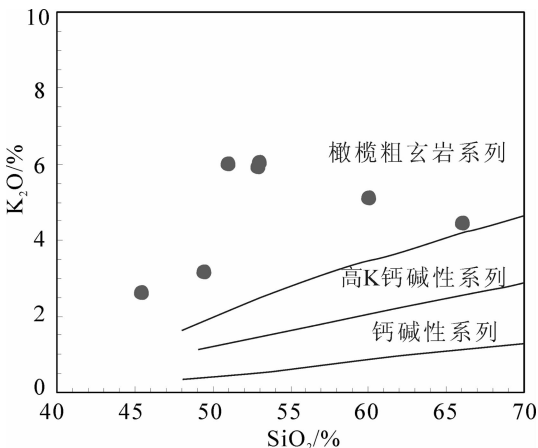


图 4 西藏羌塘戈木错北部火山岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图

Fig. 4 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram for volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

5 讨论

前人对青藏高原内部新生代火山岩的成因已做了较为深入的研究, 主要代表性观点有: ①青藏高原不断加厚的地幔岩石圈去根作用 (或拆沉作用)^[3,5,8,11]; ②印度和亚洲大陆碰撞后, 青藏高原内部发生大规模的陆内俯冲作用^[1-2,4,7,10]; ③青藏高原南部的新生代火山岩是印度板块向北俯冲消减板块的断离所致, 而北部的火山岩是岩石圈地幔的拆沉作用的结果^[12-13]; ④富钾质新生代火山岩是印度大陆岩石圈向亚洲大陆俯冲消减, 进而促使热的软流圈上涌导致的熔融作用^[17]。本文对新生代火山岩的成因不作深入讨论, 但不论它是在何种机制下形成的, 其形成与印度大陆同亚洲大陆的碰撞和青藏高原的

表2 西藏羌塘戈木错北部新生代火山岩地球化学分析结果
 Table 2 The results of geochemical analysis for Cenozoic volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

样品号	0453b2	0740b2	0740b5	1212b2	P23b1-2	P23b2-2	P23b3-2
岩性	粗安岩	粗面玄武岩	粗面岩	碱玄岩	碱玄响岩	碱玄响岩	碱玄响岩
SiO ₂	60.03	49.47	66.06	45.47	52.95	51.05	53.08
TiO ₂	2.33	2.33	1.03	3.17	1.77	1.9	1.7
Al ₂ O ₃	20.17	18.32	17.03	16.68	21.72	23.99	21.79
Fe ₂ O ₃	2.78	2.83	1.34	3	2	2.64	2.64
FeO	0.36	3.1	0.5	4.87	1.25	1.05	1.5
MnO	0.01	0.14	0.05	0.08	0.2	0.24	0.26
MgO	0.54	3.06	0.2	5.75	0.8	0.86	0.76
CaO	2.12	8.39	1.99	9.1	3.84	3.74	3.07
Na ₂ O	4.38	3.74	5.44	3.65	5.39	4.74	5.37
K ₂ O	5.08	3.15	4.42	2.61	5.91	5.99	6.04
P ₂ O ₅	0.83	1.9	0.67	2.2	0.6	0.67	0.51
LOI	1.05	1.25	0.98	2.6	3.01	3.01	3.11
总计	99.68	97.68	99.71	99.18	99.44	99.88	99.83
K	42171	26149	36692	21666	49061	49725	50140
Ba	1668	1665	655	1391	1100	1182	1119
Rb	207	118	386	62.5	269	253	264
Sr	1368	1901	844	1762	2606	2814	2571
Ta	3.81	2.61	2.17	0.94	3.75	3.43	4.24
Nb	78.5	47.8	43.9	23.1	89.8	78.6	101
Hf	21.6	9.7	14.6	8	25.1	24.5	26.4
Zr	778	400	583	344	1034	1018	1065
Ti	13968	13968	6175	19004	10611	11391	10192
Y	20.81	28.16	17.07	23.41	34.07	31.76	35.84
Th	50.4	37.2	68.8	21.4	58.7	61.1	64.8
U	3.2	3.56	7.34	3.06	3	2.47	1.83
La	178.1	148.7	189.3	138.9	182.1	184.4	186.4
Ce	302.9	281.4	267.1	256.7	324.6	328.7	337.8
Pr	32.45	31.43	25.58	30.06	35.49	35.48	36.85
Nd	104.7	110.7	73.34	104.7	118.8	118.4	125.1
Sm	14.82	17.56	9.38	16.58	18.14	18.09	18.99
Eu	3.57	4.48	2.17	4.36	4.64	4.63	4.8
Gd	9.21	12.02	6.07	11.31	12.27	11.73	12.6
Tb	1.21	1.53	0.8	1.43	1.63	1.63	1.74
Dy	5.8	7.5	4.02	6.69	8.11	7.73	8.84
Ho	1.04	1.35	0.73	1.18	1.44	1.4	1.52
Er	2.58	3.08	1.77	2.74	3.58	3.51	3.81
Tm	0.35	0.4	0.26	0.35	0.5	0.54	0.56
Yb	2.05	2.33	1.54	1.99	3.15	3.2	3.43
Lu	0.31	0.37	0.24	0.3	0.46	0.44	0.5

注:测试单位为湖北省武汉综合岩矿测试中心

隆升密不可分。最近,赵芝等^[34]对戈木错地区的新生代钾质火山岩地球化学特征做了研究,认为其岩浆起源于软流圈流体交代的古俯冲地幔楔的低

程度熔融,它的形成与羌塘陆内俯冲板片断离导致的软流圈上涌、岩石圈减薄作用有关。

戈木错北部新生代火山岩产在喷呐湖组湖相灰

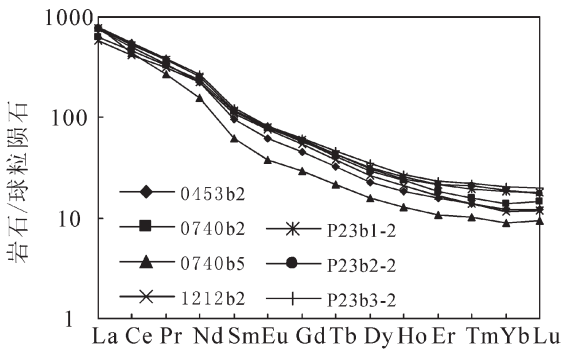


图 5 西藏羌塘戈木错北部火山岩 REE 配分图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE diagram for volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

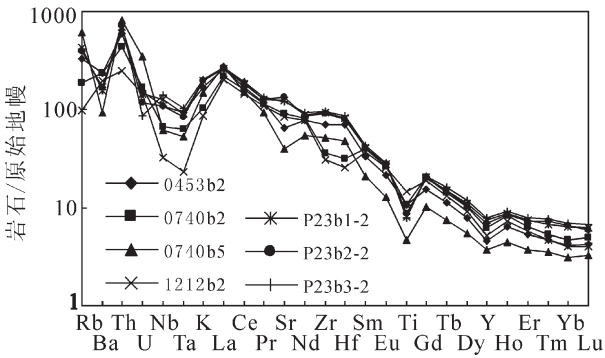


图 6 西藏羌塘戈木错北部火山岩微量元素蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace elements diagram for volcanic rocks in northern Gemucuo from Qiangtang, Tibet

岩、砂岩、砾岩中,在上覆岩石的底部见有火山岩砾石等火山喷出物,并且火山作用对沉积地层产生了明显的扰动,这与走构由茶错地区新生代火山岩与康托组地层之间的产出状态一致^[30],反映了羌塘地区新生代火山岩是在喷呐湖组和康托组沉积过程中喷发的,康托组和喷呐湖组的时代与这套火山岩一致。火山岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄在 30~31Ma 之间,均为渐新世早期。戈木错北部的新生代火山岩具有钾质火山岩的特征,与羌塘地区鱼鳞山、走构由茶错、多格错仁等地区的钾质、超钾质火山岩的地球化学特征类似^[12-13,15,19,21,30],并且喷溢的时间也较接近,它们共同构造了青藏高原北部地区钾质—超钾质火山岩带,是青藏高原早期隆升作用的标志。

6 结 论

(1)戈木错北部的火山岩具有钾质火山岩的地

球化学特征,它与鱼鳞山、走构由茶错、多格错仁等地区的钾质—超钾质火山岩,共同构造了羌塘地区新生代钾质—超钾质火山岩带。

(2)戈木错北部的火山岩产在喷呐湖组中,是地层沉积过程中喷溢的。火山岩的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄在 30~31Ma 之间,指示喷呐湖组的时代为渐新世早期。

(3)戈木错北部新生代钾质火山岩与印度同亚洲大陆碰撞和青藏高原的隆升密切相关。

参 考 文 献

- [1]邓万明. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [2]Arnaud N O, Vidal P, Tapponnier P, et al. The high K₂O volcanism of northwestern Tibet: geochemistry and tectonic implications [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1992, 111: 351-367.
- [3]Turner S, Hawkesworth C, Liu J, et al. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks[J]. Nature, 1993, 364: 50-54.
- [4]Willet S D, Beaumont C. Subduction of Asian lithospheric mantle beneath Tibet inferred from models of continental collision [J]. Nature, 1994, 369: 642-645.
- [5]Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. Journal of Petrology, 1996, 37: 45-71.
- [6]Chung S L, Lo C H, Lee T Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan Plateau starting 40 Myr ago[J]. Nature, 1998, 394: 769-773.
- [7]Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau[J]. Geophysical Journal International, 1998, 135: 1-47.
- [8]Miller C, Schuster R, Klotzli U, et al. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. Journal of Petrology, 1999, 40: 1399-1424.
- [9]Roger F, Tapponnier P, Arnaud N, et al. An Eocene magmatic belt across central Tibet: mantle subduction triggered by the Indian collision? [J]. Terra Nova, 2000, 12: 102-108.
- [10]Wang J H, Yin A, Harrison T M, et al. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 188: 123-133.
- [11]Williams H, Turner S, Kelley S, et al. Age and composition of dikes in Southern Tibet: new constraints on the timing of east-west extension and its relationship to postcollisional volcanism [J]. Geology, 2001, 29: 339-342.
- [12]Ding L, Kapp P, Zhong D, et al. Cenozoic volcanism in Tibet: evidence for a transition from oceanic to continental subduction [J]. Journal of Petrology, 2003, 44: 1833-1865.
- [13]Williams H M, Turner S P, Pearce J A, et al. Nature of the source

- regions for postcollisional, potassic magmatism in southern and northern Tibet from geochemical variations and inverse trace element modeling [J]. *Journal of Petrology*, 2004, 45: 555-607.
- [14] Chung S L, Chu M F, Zhang Y, et al. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. *Earth Science Review*, 2005, 68: 173-196.
- [15] Wang Q, McDermott F, Xu J F, et al. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting[J]. *Geology*, 2005, 33: 465-468.
- [16] 迟效国, 李才, 金巍. 藏北羌塘地区新生代火山作用与岩石圈构造演化[J]. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(5): 399-410.
- [17] Guo Z F, Wilson M, Liu J Q, et al. Post-collisional, potassic and ultrapotassic magmatism of the northern Tibetan Plateau: constraints on characteristics of the mantle source, geodynamic setting and uplift mechanisms[J]. *Journal of Petrology*, 2006, 47: 1177-1220.
- [18] Mo X X, Zhao Z D, Deng J, et al. Petrology and geochemistry of post-collisional volcanic rocks from the Tibetan Plateau: implications for lithosphere heterogeneity and collision induced asthenospheric mantle flow[M]//Dilek, Yildirim, Pavlides, Spyros. *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*. Geological Society of America Special Paper, 2005, 409: 507-530.
- [19] Ding L, Kapp P, Yue Y, et al. Postcollisional calc-alkaline lavas and xenoliths from the southern Qiangtang terrane, central Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 254: 28-38.
- [20] Liu S, Hu R Z, Feng C X, et al. Cenozoic high Sr/Y volcanic rocks in the Qiangtang terrane, northern Tibet: geochemical and isotopic evidence for the origin of delaminated lower continental melts[J]. *Geology Magazine*, 2008, 145: 463-474.
- [21] Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. Eocene melting of subducting continental crust and early uplifting of central Tibet: Evidence from central-western Qiangtang high-K calc-alkaline andesites, dacites and rhyolites[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 272: 158-171.
- [22] 刘显凡, 战新志, 高振敏, 等. 云南六合深源包体与富碱斑岩成岩成矿的关系[J]. *中国科学(D 辑)*, 1999, 29(5): 413-420.
- [23] 罗照华, 张文会, 邓晋福, 等. 西昆仑地区新生代火山岩中的深源包体[J]. *地学前缘*, 2000, 7(1): 295-298.
- [24] 喻学惠, 莫宣学, 廖忠礼, 等. 西秦岭石榴石二辉橄榄岩和石榴石二辉岩包体的温度和压力条件[J]. *中国科学(D 辑)*, 2001, (增刊): 128-133.
- [25] 喻学惠, 莫宣学, 曾普胜, 等. 云南马关地区新生代碧玄岩中地幔包体研究[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 621-630.
- [26] 赵志丹, 莫宣学, 孙晨光, 等. 青藏高原南部地幔包体的发现及其意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(2): 193-202.
- [27] 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [28] 西藏自治区地矿局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [29] 李才, 程立人, 张以春, 等. 西藏羌塘南部发现奥陶纪—泥盆纪地层[J]. *地质通报*, 2004, 23(5/6): 602-604.
- [30] 李才, 黄小鹏, 牟世勇, 等. 藏北羌塘南部走构由茶错地区火山岩定年与康托组时代的厘定[J]. *地质通报*, 2006, 25(1/2): 226-228.
- [31] Steiger R H, Jager E. Subcommission on geochronology: Convention or the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, 36: 359-362.
- [32] 陈文, 刘新宇, 张思红. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 127-134.
- [33] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes[M] //Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geol. Soc. Spec. Pub., 1989, 42: 528-548.
- [34] 赵芝, 迟效国, 刘建峰, 等. 西藏羌塘地区戈木错渐新世钾质火山岩的地球化学特征及其构造意义[J]. *地质通报*, 2009, 28(4): 463-473.