

藏西北黑石北湖一带新近纪火山岩的特征及构造意义

王 权^{1,2}, 杨五宝¹, 张振福¹, 杨月生¹, 武俊高¹, 董挨管¹

WANG Quan^{1,2}, YANG Wubao¹, ZHANG Zhenfu¹,

YANG Yuesheng¹, WU Jungao¹, DONG Aiguan

1. 山西省地质调查院, 山西 晋中 030600;

2. 中国地质大学, 北京 100083

1. *Shanxi Institute of Geological Survey, Jinzhong 030600, Shanxi, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

摘要:青藏高原西北部黑石北湖一带发育的橄榄安粗岩系列火山岩具有由早到晚从基性到中性连续演化的特征, 3期火山活动期次分明, 以中心式喷发为主, K-Ar年龄分别为9.23 Ma、3.19 Ma和3 Ma。该火山岩的稀土元素、微量元素、同位素组成特征与藏北其他地区的新生代火山岩基本相近。火山活动为新构造活动的响应, 受控于青藏高原隆升过程中产生的走滑断裂。

关键词:藏西北; 黑石北湖; 橄榄安粗质火山岩; 新构造活动; 走滑断裂

中图分类号: P588.14

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2005)01-0080-07

Wang Q, Yang WB, Zhang ZF, Yang YS, Wu JG, Dong AG. Geological characteristics of Neogene volcanic rocks in the Heishi North Lake area, northwestern Tibet, and their implications for the Neogene tectonic evolution. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(1): 80-86

Abstract: Volcanic rocks of the shoshonite series in the Heishi North Lake area, northwestern Tibet have the characteristics of continuous evolution from basic andesite in the early period to intermediate volcanic rocks in the late period. Three phases of volcanism may be distinguished. The volcanism was dominated by central eruption. The three phases have K-Ar ages of 9.23 Ma, 3.19 Ma and 3 Ma respectively. The characteristics of the REE, trace elements and isotopic compositions of the volcanic rocks are essentially close to those of Cenozoic volcanic rocks in other areas of northern Tibet, which show that the volcanic rocks have the features of mixing and hybridization of deep magma and shallow magma. Volcanic activities were the response to the neotectonic activities and were controlled by strike-slip faults produced during the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: Heishi North Lake, northwestern Tibet; shoshonitic volcanic rocks; neotectonic activity; strike-slip fault

青藏高原北部(黑石北湖、阿什库勒、可可西里雄鹰台等地)分布有大面积的新生代火山岩, 虽然火山岩的岩性种类繁多, 但以中性钾质甚至高钾质火山岩为主, 多属于高钾钙碱性系列^[1]。该火山岩的时空分布规律、成因机制及其与青藏高原隆升的关系一直是人们研究的热点^[1-5]。

黑石北湖一带的火山岩在整个岩带中较具代表性, 其岩石类型除酸性单元不发育外, 其余岩性从基性到中性皆有分布, 产出位置与区域性大断裂有着密切的联系。本文在总结1:25万区域地质调查成果^[6]的基础上, 通过对黑石北湖火山岩的地质特征、地球化学特征和同位素组成的研究, 结合区域

收稿日期: 2003-12-20; 修订日期: 2004-10-10

地调项目: 中国地质调查局《叶亦克和黑石北湖两幅1:25万区域地质调查》项目成果。

作者简介: 王权(1968-), 男, 在读硕士, 工程师, 从事区域地质调查工作。

地质构造,进一步探讨区内火山活动与断裂活动的关系。

1 地质特征

黑石北湖火山岩分布于东经 $82^{\circ}30'00''\sim 83^{\circ}07'00''$ 、北纬 $35^{\circ}19'30''\sim 35^{\circ}31'30''$, 出露面积约 380 km^2 。根据野外实地观察,区内火山活动至少可以分为3期(图1),第1期分布于岩区的东面,平均厚约 35 m ,面积约 112 km^2 ,呈角度不整合覆盖于新近系砖红色砂质粘土和三叠系砂岩之上,其形成的熔岩台地高出周围地面数十米,根据发育的红顶构造将该期火山岩又可划分为2层,中间无沉积夹层,说明2次火山活动的时间间隔不长;第2期分布于岩区的南面,其出露高度低于第1期,形成的熔岩台地已被风化剥蚀成残丘,平均厚约 15 m ,面积约 200 km^2 ;第3期分布于黑石北湖的南侧,直接覆盖于第2期之上,平均厚约 10 m ,面积约 68 km^2 。各期火山活动以中心式喷发为主,各自有自己的主火山口,每期主火山口 $1\sim 3$ 个不等。第3期只有一个主火山口,似乎反映了地壳拉张程度的降低。各期火山活动的岩浆喷出量逐渐减少(经概略计算,第1期为 $3.92\times 10^9\text{ m}^3$,第2期为 $3.0\times 10^9\text{ m}^3$,第3期为 $6.8\times 10^7\text{ m}^3$),表明火山活动从早到晚具有减弱的趋势。区内第1期和第2期火山机构虽经风化剥蚀,残缺不全,但仍可辨认,第3期火山机构保存完好,地表和遥感图像上清晰可辨。各期火山活动均可划分出爆发相、溢流相、侵出相、潜火山岩相,其中在第3期

爆发相中可见大小约 $15\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 的火山弹,反映了其火山爆发之猛烈。

前人对黑石北湖火山岩进行过多次年龄测试,如新疆地矿局^[7]报道的 3.27 Ma 、 4.64 Ma 、邓万明^[8]报道的 9.23 Ma 、 1.43 Ma 的全岩K-Ar年龄和第3期安粗岩中斜长石斑晶的热释光年龄(67.0 ± 3.3) $\times 10^3\text{ a}$ 。本次工作分别在第2期和第3期熔岩中采集了全岩K-Ar年龄样品(采样位置见图1),样品测试由宜昌地质矿产研究所完成,测试结果第2期为 3.19 Ma ,第3期为 3.0 Ma ,通过与前人结果对比,并结合野外情况,认为邓万明的 9.23 Ma 年龄可能代表第1期的喷发时间, 3.19 Ma 和 3.0 Ma 分别为第2期和第3期的喷发时间。

2 岩石学特征

黑石北湖火山岩以熔岩类为主,形成分布广泛的熔岩被或熔岩台地,次为火山碎屑岩类,堆积于火山口周围形成火山锥,仅有少部分为潜火山岩类。熔岩类岩石结晶程度很低,野外或镜下不易定名,据岩石化学成分TAS图解^[9](图2),区内的火山岩类型较多,其中以橄榄玄武粗安岩、安粗岩为主,另见少量粗面岩、钾玄岩和响岩质碱玄岩^[10]。

安粗岩是第2期和第3期的主要岩石类型,灰黑—灰褐色,玻基斑状结构,气孔杏仁构造、块状构造。斑晶约占 $5\%\sim 10\%$,其中斜长石小于 5% ,板柱状,石英 $1\%\sim 2\%$,角闪石 2% ,微

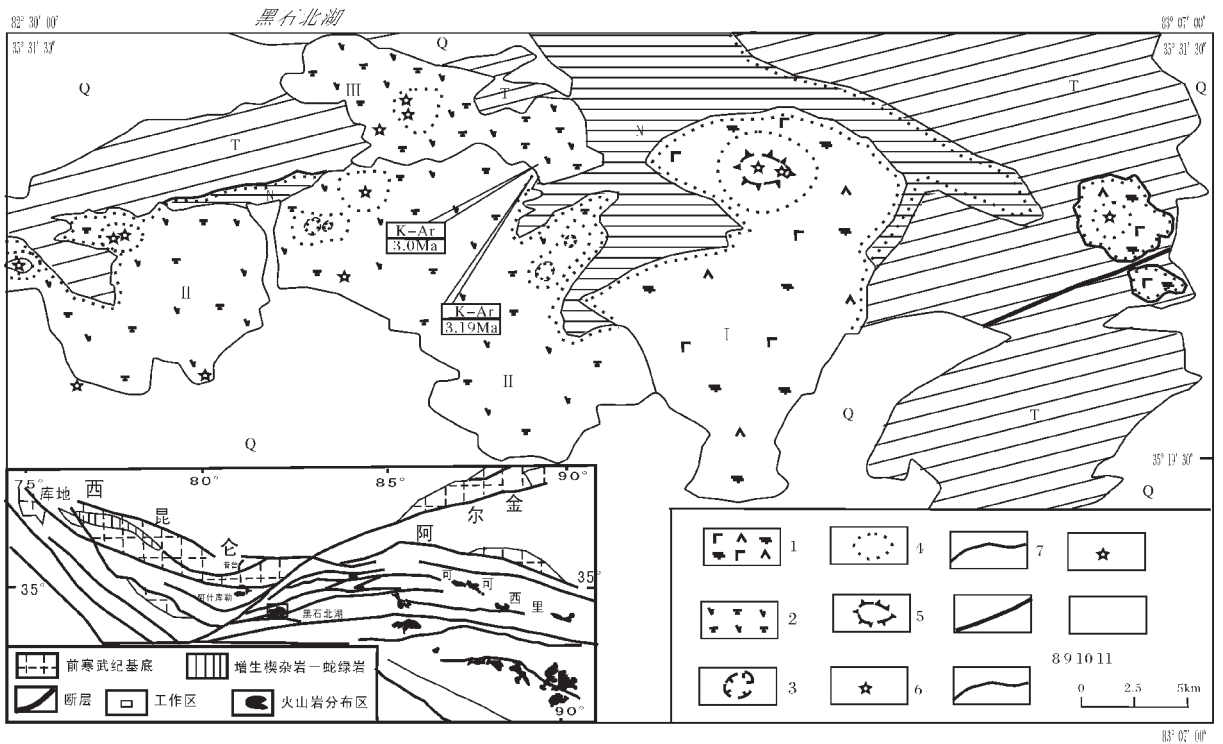
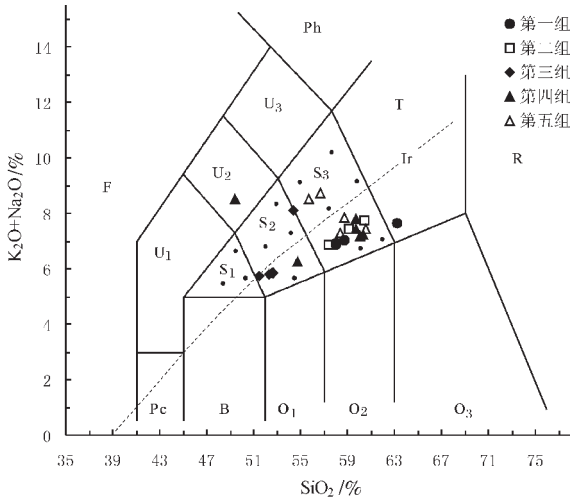


图1 黑石北湖火山岩地质略图

Fig.1 Geological sketch map of volcanic rocks in the Heishi North Lake area

Q—第四系;N—新近系;T—三叠系;1—橄榄玄武粗安岩;2—安粗岩;3—爆发相;4—破火山口;5—火山锥;
6—火山口;7—地质界线;8—断裂;9—不整合界线;10—火山岩期次编号;11—年龄测试方法及结果



黑点区 进一步划分	粗面玄武岩	玄武粗安岩	粗安岩
$\text{Na}_2\text{O}-2.0 > \text{K}_2\text{O}$	夏威夷岩	橄榄粗安岩	歪长粗安岩
$\text{Na}_2\text{O}-2.0 < \text{K}_2\text{O}$	钾质粗面玄武岩	橄榄玄武粗安岩	安粗岩

图2 火山岩($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 图解^[9]Fig.2 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 diagrams for volcanic rocks

Pc—苦橄玄武岩; B—玄武岩; O₁—玄武安山岩; O₂—安山岩; O₃—英安岩; R—流纹岩; S₁—粗面玄武岩; S₂—玄武粗安岩; S₃—粗安岩; T—粗面岩、粗面英安岩; F—副长石岩; U₁—碱玄武岩、碧玄武岩; U₂—响岩质碱玄武岩; U₃—碱玄武岩; Ph—响岩; 图中分组与表1一致

量金属矿物、磷灰石。基质约占90%~95%，其中玻璃质约70%~75%，气孔约占20%~25%，气孔多呈椭圆状、不规则状，大小为0.15~5 cm，多数气孔无充填，少部分被方解石、石英、粘土、沸石等充填。

橄榄玄武粗安岩为第1期火山岩的主要岩石类型。岩石呈灰—深灰色，斑状结构，基质具间粒结构，气孔—杏仁构造发育。斑晶约占5%~10%，其中斜长石约3%~5%，橄榄石2%，大小为1.3 mm×1.5 mm，边缘已伊丁石化，辉石2%~8%。基质约占95%~90%，其中斜长石40%~75%、橄榄石0%~3%、辉石1%~5%、磁铁矿1%~2%、气孔20%~50%，大小为0.1~2 cm，多为不规则状，大多数气孔边缘发育一圈放射状—针柱状辉石环边，中间多数无充填，少数被石英、方解石等充填。副矿物为磷灰石、金红石等。区内橄榄石属贵橄榄石，辉石斑晶属紫苏辉石，长石类斑晶为钠透长石和拉长石^[1]。

粗面岩仅见于第3期火山口的侵出相中，灰黑色，玻基斑状结构，含(安山岩)捕虏体2%左右，大小为0.5~2.5 cm，外形呈次棱角状，气孔构造。斑晶小于10%，以斜长石为主，大小为0.85 mm×1.2 mm，钾长石0~1%，石英0~1%，角闪石0~1%。基质85%，其中玻璃质55%、长石3%~5%、角闪石1%、气孔20%左右。气孔呈圆形、椭圆形，长轴定向，大小约0.5 cm，副矿物为

锆石和金属矿物。

3 地球化学特征

3.1 岩石化学

黑石北湖火山岩的岩石化学成分见表1。黑石北湖火山岩 SiO_2 含量变化范围较大，为49.45%~63.21%，以中性岩为主，从早到晚岩石的酸性逐渐增高，在TAS分类图解(图2)上，第1期、第2期和第3期火山岩分属不同的区域，可划分为橄榄玄武粗安岩、安粗岩、粗面岩、响岩质碱玄武岩等。全区样品多数位于亚碱性区，仅个别位于碱性区。岩石中的 TiO_2 、 P_2O_5 含量较高， TiO_2 为1.51%~2.50%，平均1.97%， P_2O_5 为0.66%~1.27%，且从早到晚具增高之趋势。与中国东部新生代大陆裂谷型玄武岩^[9]、大陆裂谷拉斑玄武岩和大陆裂谷碱性玄武岩^[10]一样，均具有富铁的特征。 Na_2O 为2.75%~3.92%，平均为3.32%， K_2O 为2.46%~5.64%，且与 SiO_2 呈正相关。岩石中 Na_2O 、 K_2O 含量较高，多数样品 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$ ，据 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图^[11](图3)，区内火山岩属橄榄安粗岩系列。据里特曼指数(δ)和碱度率(AR)，本区岩石介于钙碱性岩和碱性岩之间。

3.2 微量元素

黑石北湖火山岩中大离子亲石元素Rb、Sr、Ba等、放射性生热元素Th、不活动元素Nb、Zr等富集，且有随岩石酸性程度增高而增高之趋势(表2)。在原始地幔(McDonough, 1992)标准化蛛网图(图4)上，曲线具多隆起的型式，表现为Th、La、Ce、Nd等的正异常，Ta、Nd、Sr、Hf、Ti等的负异常，各微量元素的含量均为原始地幔的数倍到数百倍，富集强不相容元素，曲线形态反映出从不相容元素向相容元素其含量逐渐降低，右倾特点明显。在以球粒陨石(Thompson, 1982)为标准的蛛网图(图5)上，其曲线呈现出5峰4谷、多波多折的形态，总体趋势除Nb、Ta、Sr负异常明显外，其他元素与上地壳和平均地壳的含量极为相近。

3.3 稀土元素

黑石北湖火山岩富含稀土元素(表2)，除响岩质碱玄武岩稀土总量(ΣREE)为 211.38×10^{-6} ，略显偏低外，其他岩类均

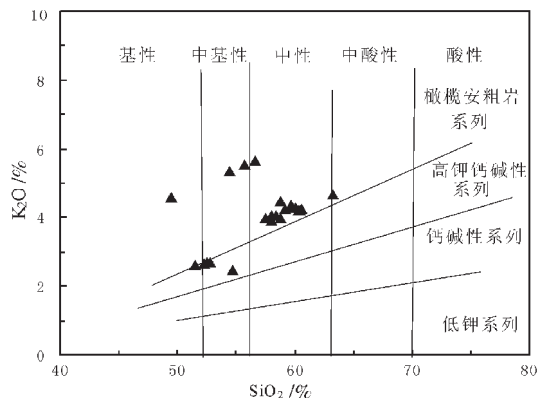
图3 火山岩 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解^[11]Fig.3 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram for volcanic rocks

表1 黑石北湖火山岩化学成分

Table 1 Chemical composition of volcanic rocks in the Heishi North Lake area

序号	野外编号	岩性	期次及分组	氧化物含量/%														有关参数	
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	合计	δ	AR
1	IVGs-3	粗面岩 (侵出相)	第一组 第三期	63.21	1.43	14.17	1.53	4.38	0.11	1.72	3.00	3.80	4.66	0.73	0.49	0.74	99.97	2.86	2.49
2	-1	安粗岩		58.78	2.35	14.08	1.52	6.50	0.13	2.25	3.03	4.98	3.98	1.27	0.34	0.23	99.44	3.06	2.16
3	-2	安粗岩		58.02	2.30	13.96	4.63	4.02	0.12	2.35	2.91	5.11	4.04	1.24	0.50	0.40	99.60	3.14	2.15
4	Gs-254	安粗岩		57.99	2.34	13.87	2.37	5.73	0.12	2.33	2.96	5.58	3.91	1.23	0.37	0.91	99.71	3.06	2.09
5	Gs-252	安粗岩	第二组 第二期	59.13	1.99	14.22	1.37	5.97	0.11	2.13	3.19	5.06	4.23	0.92	0.28	1.13	99.73	3.32	2.25
6	253	安粗岩		57.46	1.75	13.93	1.83	5.50	0.12	2.58	2.93	6.18	3.96	0.87	0.82	1.47	99.39	3.11	2.04
7	353	安粗岩		60.44	1.62	14.56	1.69	5.20	0.11	1.97	3.55	4.36	4.21	0.72	0.65	0.57	99.64	3.38	2.39
8	202	橄粗玄武岩	第一组 第二期	54.38	1.63	13.73	2.17	4.23	0.10	4.15	2.75	5.94	5.35	1.00	0.80	3.06	99.29	5.15	2.40
9	VGs-8	橄粗玄武岩		52.27	1.70	15.07	6.01	3.80	0.16	4.64	3.13	8.22	2.67	0.67	0.45	0.85	99.64	3.43	1.66
10	-7	橄粗玄武岩		52.73	1.69	15.18	6.93	2.93	0.14	4.46	3.16	7.98	2.70	0.68	0.58	0.62	99.78	3.37	1.68
11	-4	橄粗玄武岩		51.47	1.62	14.72	6.19	3.53	0.16	5.72	3.10	7.72	2.63	0.66	0.50	1.36	99.38	3.53	1.69
12	-1	橄粗玄武岩		52.56	1.67	15.04	6.55	3.35	0.15	4.66	3.13	7.58	2.70	0.68	0.77	0.79	99.63	3.34	1.69
13	KP12-2	安粗岩		第四组	60.08	2.05	14.14	0.00	7.34	0.12	2.57	2.88	4.33	4.29	1.11	0.33	0.85	100.09	2.96
14	KP12-3	安粗岩	60.28		1.99	14.50	0.05	6.96	0.12	2.13	3.04	4.66	4.20	1.00	0.16	0.57	99.66	2.99	2.21
15	KP12-5a	橄粗玄武岩	54.69		1.99	13.87	2.88	8.10	0.12	3.14	3.80	5.12	2.46	0.64	1.30	1.20	99.31	3.10	1.98
16	KP12-5b	安粗岩	59.70		1.98	14.24	0.31	6.43	0.11	2.26	3.10	4.44	4.34	1.05	0.37	1.01	99.34	3.21	2.32
17	KP12-5c	安粗岩	59.66		1.95	14.24	0.00	7.32	0.11	2.23	3.49	4.43	4.33	1.05	0.43	0.20	99.34	3.6	2.44
18	KP12-9	响岩质碱玄武岩	49.45		1.53	14.20	3.51	6.50	0.15	10.63	3.92	0.63	4.59	0.56	1.32	2.13	99.12	9.11	3.69
19	GS33010	安粗岩	第五组	58.43	2.50	14.56	1.86	5.70	0.12	2.41	3.25	4.98	4.04	1.24		99.09	3.39	2.19	
20	GS33011	安粗岩		60.60	2.14	14.86	1.61	5.09	0.10	2.14	3.19	4.36	4.26	1.07		99.42	3.13	2.27	
21	XJ-26	安粗岩		58.76	2.13	14.78	0.79	6.10	0.12	2.70	3.40	4.73	4.47	1.06		99.04	3.87	2.35	
22	XJ-27	安粗岩		56.64	1.51	14.96	3.30	2.72	0.12	3.34	3.08	5.74	5.64	0.89	2.08		100.02	5.34	2.46
23	XJ-28	安粗岩		55.70	1.63	14.04	3.35	2.62	0.10	3.17	3.01	6.03	5.52	0.91	2.64		99.72	5.26	2.48

注:序号1~12为本文结果,测试者为武汉岩矿实验室,测试方法为X-射线荧光薄片法(XRF);13~19为邓万明著《青藏高原北部新生代板内火山岩》(1998)资料;20~24引自《新疆维吾尔自治区区域地质志》(新疆地矿局,1993)

高,达 $316.35 \times 10^{-6} \sim 837.97 \times 10^{-6}$,LREE为 $144.96 \times 10^{-6} \sim 175.17 \times 10^{-6}$,HREE为 $13.35 \times 10^{-6} \sim 18.07 \times 10^{-6}$,LREE/HREE为14.50~37.93,为轻稀土强烈富集型,稀土元素球粒陨石标准化型式图为略向右陡倾斜的曲线型式(图6), δEu 为0.62~1.00,多数样品具弱的负 δEu 异常,且从早到晚逐渐增大。

4 火山岩的同位素特征及源区性质

本次研究测试了1件样品的Sr、Nd同位素,由天津地质矿产研究所完成。由于所测样品很年轻,所以未对分析结果进行时间校正。火山岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为0.706138, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为0.511715, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 为0.1039, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 为0.4065。Sr、Nd同位素组成与青藏高原北缘新生代火山岩(阿什库勒、普鲁、雄鹰台)^[1,3]比较接近,具有相对高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的和低的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值,反映各地火山岩具有相近或相同的源区特征。通过对青藏高原北部新生代火山岩同位素组成特征的研究,多数学者认为该类火山岩的源区为EM II型富集地幔^[1,3]。对于EM II型富集地幔的成因解释,有的学者认为是俯冲带大陆物质进

入上地幔再循环的结果^[2];有的学者将青藏高原的EM II型地幔解释为壳幔混合层,模拟的壳幔混合层的物质组成为中性—基性麻粒岩^[4]。孟繁聪等^[5]在综合前人认识的基础上再次论证了EM II型地幔的形成与缝合带的形成演化有密切关系。但由于地幔岩的起始熔融温度大大高于地壳岩石,故壳幔混合源的源区性质令人难以理解,同时由于不相容元素很容易受到流体的影响,故从痕量元素的角度也难以说明火山岩的源区性质。黑石北湖火山岩位于金沙江缝合带西延部分的北部,其源岩与该缝合带的形成与演化是否有关,值得今后注意。

5 火山活动与构造运动的关系

黑石北湖火山岩产于分割东西昆仑的阿尔金断裂西延部分(有人将其称做库牙克断裂的南缘),受控于发育多条以北东—北东东向为主的具走滑性质的断裂带内(可称其为黑石北湖断裂带)。阿尔金断裂是世界上最大的左行走滑断裂之一,具有多期多次活动的特点,其东段总体呈NEE向展

表2 黑石北湖火山岩微量、稀土元素含量

Table 2 Trace element and REE contents of volcanic rocks in the Heishi North Lake area

序号 样品 岩性	1 IVGS-3 安粗岩	2 IVGS-1 粗面岩	3 VGS-1 橄粗岩	4 VGS-8 武粗岩	5 GS-252	6 GS-253	7 GS-254 安粗岩	8 KP12-2	9 KP12-2P	10 KP12-5a 钾玄岩	11 KP12-5b 安粗岩	12 KP12-5c 安粗岩	13 KP12-7 钾玄岩	14 KP12-9 响岩质碱玄岩
Nb	67.2	52.2	30.8	31.5	57.8	53.4	63.6							
Sc	9.7	7.1	17.8	17.6	8	9.4	9.4	8.0	8.4	16.0	8.0	8.4	10.0	8.4
Zr	764	541	263	270	590	516	575	590	590	400	640	680	420	300
Th	36.1	57	15	12.3	41.9	36.9	34.6					21.8	17.5	
Sr	820	558	833	852	827	765	804	750	750	825	825	800	600	575
Ba	1774	1233	1187	1216	1890	1706	1933	1400	1350	1450	1600	1600	1050	775
V	115	73.6	154	160	95.1	95.3	103.9	80	88	230	80	88	130	115
Co	16.1	11.8	28.6	29.4	15.8	17.1	18.4							40
Cr	17.7	19.9	102	104	20.3	38.4	6.2	20	10	11	10	11	60	71
Ni	13.4	13.7	28.9	30.6	14.3	22.8	15.4	82	74	60	88	86	78	310
Rb	180	297	88	84	182.2	158.1	169.1							
Ta	4	3	1.7	1.2	3.4	3.4	3.4					2.00	2.3	
Hf	12.8	10.3	5.1	5.5	12.3	8.9	12.3					2.8	102	
Y	30.5	20.2	23.16	25.11	22.71	25.45	29.49	30	27	32	30	32	24	16
La	181	158	68.6	70.2	172	160	188	172	184		180		110	56
Ce	398	317	139	148	375	337	405	312	320		320		182	92
Pr	41	32.9	16	16.3	36.1	33.9	41.8	36	36		34		19	9.2
Nd	149	112	60.1	63.3	127	117	148	120	120		112		60	32
Sm	21.2	15.2	9.82	9.8	18.4	17.1	22.2	17	17.5		16		10.7	6.6
Eu	4.43	2.59	2.79	2.85	3.71	3.56	4.38	3	3		2.9		2.2	1.9
Gd	14.3	9.71	8.23	8.5	11.2	11.1	14.1	9	9.1		8.3		6.2	4.7
Tb	1.77	1.2	1.09	1.11	1.32	1.3	1.61	1.2	1.2		1.03		0.64	0.6
Dy	6.76	4.76	5.21	5.03	5.26	5.54	6.8	4.9	4.6		4.1		3.8	3.8
Ho	1.22	0.84	0.89	0.93	0.9	0.99	1.16	0.89	0.91		0.76		0.76	0.76
Er	2.58	1.75	2.2	2.28	1.89	2.52	2.51	1.9	1.9		1.7		1.7	1.8
Tm	0.34	0.25	0.3	0.34	0.26	0.33	0.33	0.22	0.22		0.19		0.2	0.23
Yb	1.89	1.21	1.86	1.94	1.42	1.8	1.83	1.4	1.4		1.3		1.3	1.53
Lu	0.26	0.16	0.26	0.28	0.19	0.26	0.25	0.17	0.18		0.15		0.18	0.21
ΣREE	823.75	657.57	316.35	330.86	754.65	692.4	837.97	679.68	700.01		682.43		398.88	211.33
LREE	794.63	637.69	296.31	310.45	732.21	668.56	809.38	660	680.5		664.9		383.9	197.7
HREE	29.12	19.88	20.04	20.41	22.44	23.84	28.59	19.68	19.51		17.53		14.78	13.63
LREE/HREE	27.29	32.08	14.79	15.21	32.63	28.04	28.31	33.54	34.88		37.93		25.97	14.50
δ Eu	0.74	0.62	0.93	0.94	0.74	0.75	0.71	0.67	0.66		0.70		0.76	1.00
δ Ce	1.05	0.99	0.96	1.00	1.07	1.03	1.04	0.89	0.88		0.91		0.87	0.88

注:1~7为本文结果,测试者为武汉岩矿实验室;稀土元素采用ICP-AES法,微量元素采用ICP-AES、XRF及C-ICP-AES法分析;
8~14据参考文献[1];微量和稀土元素含量 10^{-6}

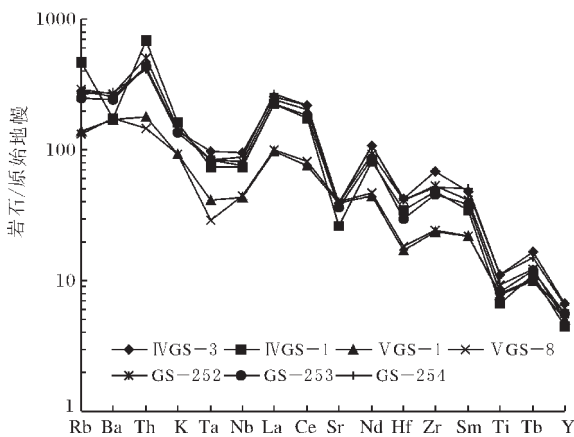


图4 黑石北湖火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图
Fig.4 Primitive mantle-normalized trace element spidergram for volcanic rocks in the Heishi North Lake area
原始地幔据McDonough(1992)

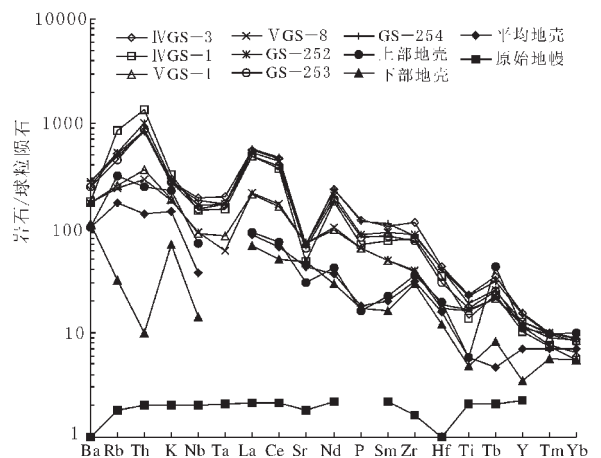


图5 黑石北湖火山岩微量元素球粒陨石比值蛛网图
Fig.5 Chondrite-normalized trace element diagrams for volcanic rocks in the Heishi North Lake area
球粒陨石据Thompson, 1982;原始地幔据McDonough, 1992;
上部地壳据Taylor, 1981;下部地壳和平均地壳据Weaver, 1984

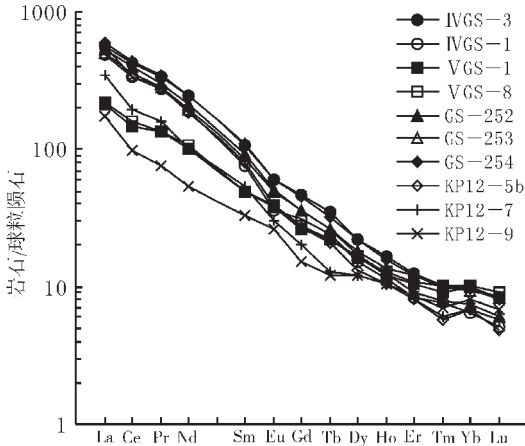


图6 黑石北湖火山岩稀土元素配分型式

Fig.6 REE distribution patterns of volcanic rocks in the Heishi North Lake area

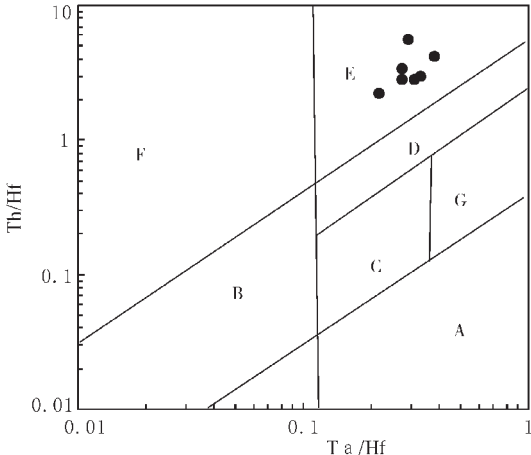


图7 火山岩构造环境Th/Hf-Ta/Hf判别图^[23]

Fig.7 Th/Hf-Ta/Hf discrimination diagram of the tectonic setting of volcanic rocks

A—亏损大洋地幔;B—洋中脊玄武岩;C—大洋板内玄武岩;
D—洋岛玄武岩和富集洋中脊玄武岩;E—大陆板内拉张带
或初始裂谷区玄武岩;F—俯冲带及岛弧区;G—地幔柱

布,本次研究发现,阿尔金断裂在区内的库牙克断裂一段方向变为NE向,且向西延伸有逐渐散开、减弱的趋势,其构造形迹表现为中晚期左行走滑作用和新近纪以来形成的由多条近于平行的正断层组成的堑垒式系统。控制黑石北湖火山岩的产出和分布的黑石北湖断裂带与阿尔金断裂一样,也具有多期活动和以左行走滑为主兼具张性的特点,表现为沿这些断裂有三叠纪壳源性质的含石榴子石闪长岩体的侵位,断裂活动牵引造成新近纪湖相地层的左行褶皱及受其控制发育的新生代断陷湖泊。同时,沿断裂带局部可见基底变质岩系——大理岩的出露,表明该断裂具有较深的切割深度。黑石北湖断裂各方面的特征分析表明,其与阿尔金断裂处于同一动力学系统中。近年来有不少地质学家提出了青藏高原经

历过45~38 Ma、25~17 Ma、3.4~1.7 Ma、1.1~0.8 Ma 4次隆升和夷平过程^[23],同时中外学者对阿尔金断裂变形测年大致也可以分为4组,即46~35 Ma、24~22 Ma、3~2.6 Ma、1~0.7 Ma,与青藏高原的4次隆升相对应,说明伴随着青藏高原的每次隆升事件,阿尔金断裂都有一次脉冲式的走滑错移^[24]。直观对比藏北岩浆活动、阿尔金断裂走滑和青藏高原隆升三者的时间关系,也可以发现青藏高原北部新生代的火山活动与高原隆升、阿尔金断裂的走滑存在着某种对应与耦合关系。通过对比可以发现,黑石北湖火山岩与可可西里鲸鱼湖、雄鹰台、双泉子等地的火山岩具有相同或相近的岩性组合、岩石地球化学和同位素组成特征等。吴才来等^[25]通过研究青藏高原北缘火山岩中辉石岩包体,得出了岩浆来源深度大于150 km的结论,进一步证实了该类火山岩的来源较深。但来源如此之深的岩浆在青藏高原陆-陆碰撞持续挤压的构造背景下是如何产生并喷发的,是值得思考的问题。黑石北湖火山岩乃至青藏高原北缘的新生代火山岩产出于陆陆碰撞后的板内构造演化阶段是多数学者的共识,据图7可知,区内火山岩产出于大陆拉张带或初始裂谷区的构造环境,也反映了黑石北湖火山岩产出于拉张环境的可能性。从包括黑石北湖火山岩在内的青藏高原北部新生代火山岩带总体呈近东西向展布的特征来看,火山岩带的分布受近东西向、北东东向走滑性质断裂的控制作用明显,因而此类火山岩的成因与青藏高原隆升过程中的构造演化关系密切。

刘桢等^[26]提出的青藏高原形成与隆升机制模式,可以较好地解释青藏高原(特别是藏北高原)大面积的高钾富含放射性生热元素火山岩类和岩带的形成机制。印度板块和欧亚板块长期碰撞,印度板块持续北移受阻,同时青藏高原北移也受到来自北方板块(塔里木-阿拉善)的阻挡,在南北向强大的挤压作用下,青藏高原经历了多次陆内叠加压扁变形,岩石圈南北向压扁缩短、垂向上拉伸增厚,在地壳增厚的过程中,伴随着矿物相变,岩石密度不断增加,岩石圈处于重力不稳定状态。当强烈的挤压转换为大型剪切作用时,沿青藏高原北部发生大规模北东东—近东西方向走滑作用(阿尔金断裂在区内新近纪的复活和藏北发育的一系列北东东向、近东西向走滑断层的活动正是这一机制的体现)。在岩石圈缩短的同时,地壳内U、Th、K等的含量比正常地壳的高得多,这样高原地壳的衰变热就比其他地区的高。由于热能的长期积累,能量加大,加之大型剪切断裂导致岩石圈重力不稳定性 and 垮塌,深部物质上升并有可能达到减压熔融的条件,奠定了发生部分熔融的基础。剪切作用产生的热量的聚集可以作为这种部分熔融作用的催化剂,深部流体的介入也有可能对深部物质的部分熔融有重要影响。黑石北湖火山岩也与这样的作用过程有关。当一系列北东东向、近东西向深断裂带的活动切割到这种岩浆房时,岩浆即喷出地表,形成了沿北东东向、近东西向走滑断裂带分布的火山岩。

致谢: 本文地球化学数据的处理运用了宜昌地质矿产研究所路远发研究开发的《Geokib for VBA version 4.5.0》软

件,中国地质大学罗照华教授在本文编审过程中提出了许多指导性的建议,在此一并致以衷心的感谢。

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,1998.1-180.

[2]迟效国,李才,金巍,等.藏北新生代火山岩作用的时空演化与高原隆升[J].地质论评,1999,45(增刊):978-986.

[3]孟繁聪,杨经绥,等.可可西里雄鹰台中新世橄辉安粗质火山岩的成因[J].地球化学,2002,31(3):243-252.

[4]谭富文,潘桂棠,徐强.羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征与青藏高原隆升[J].岩石矿物学杂志,2000,19(2):121-130.

[5]吴才来,杨经绥,李海兵,等.青藏高原北缘火山岩中辉石岩包体研究[J].地球学报,2001,22(1):61-64.

[6]张振福,魏荣珠,王权,等.叶亦克幅、黑石北湖幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5-6):595-601.

[7]新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.368-380.

[8]Le Bas M J, Le Maitre R W, Strckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. J. Petrol.,1986,27(3):745-750.

[9]池际尚.中国东部新生代玄武岩及上地幔研究(附金伯利岩)[M].武汉:中国地质大学出版社,1988.

[10]K.C.康迪.板块构造与地壳演化[M].张雯华,李继亮译.北京:科学出版社,1986.134-161.

[11]Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Mineral. Petrol.,1976,24(1): 64-81.

[12]Zinder A,Hart S R .Chemical geodynamics[J].Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1986,14:493-573.

[13]施雅风,李吉均,李炳元,等.晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J].地理学报,1999,54(1):10-20.

[14]葛肖虹,刘永江,任收麦.青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J].中国地质,2002,29(4):346-350.

[15]刘燊,迟效国,李才,等.青藏高原的形成和隆升机制综述[J].世界地质,2001,20(2):105-112.

《地质通报》第24卷第2期要目预告

全球地质学复兴:我们正进入“人类纪”——第32届国际地质大会环境地质评述 殷跃平

燕山地区晚三叠世火山作用的证据:辽西水泉沟组辉石安山岩锆石SHRIMP U-Pb定年 胡健民等

辽西凌源地区张家口组的重新厘定及其意义——来自激光ICP-MS锆石U-Pb年龄的制约 张宏等

内蒙古中部重、磁场特征与地壳密度结构 张季生等

渤海湾滨海平原全新统层型剖面地层划分与建组 李凤林等

采矿诱发地震的震源机制特征——以辽宁省抚顺市老虎台煤矿为例 李铁等

云南禄丰中侏罗世弓鲛(软骨鱼类)化石新材料 卢立伍等

甘肃西部平原区地下水同位素特征及更新性 张光辉等

东北地区地下水资源可持续利用的主要问题和对策浅析 王晓光等

鲁北小清河流域土壤中元素分布特征及环境质量评价 庞绪贵等

内蒙古额济纳旗苏泊淖尔石制品的发现及其环境意义 迟振卿等

江西九江ZK08钻孔孢粉记录及其古环境信息 谢振东等

桂西北南丹地区大厂超大型锡多金属矿床中发现高稀土元素方解石 王登红等

滇西北兰坪盆地金满脉状铜矿床绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄对成矿时代的约束 王彦斌等

海底可视技术在天然气水合物勘查中的应用 张汉泉等

河北省涞水县野三坡国家地质公园:地质遗迹的地质意义和4期节理的导控作用 梁定益等