

藏北火车头山新生代火山岩的岩石特征与时代

李佑国¹ 莫宣学² 马润则¹ 伊海生¹ 陶晓风¹ 刘登忠¹

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

[摘要] 火车头山地区的新生代火山岩位于藏北火山岩带的中段, 火山岩主要以熔岩被、平顶山、火山锥的形式产出, 熔岩厚约 20 ~ 300 m。对其矿物组合、矿物化学和岩石化学的研究表明, 为一套强碱性的碱玄岩-响岩组合。根据火山岩的接触关系、K-Ar 和⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄测定结果, 可分为三期。第一期(年龄为 34 ~ 32 Ma)火山喷发较弱, 形成小范围分布的白榴碧玄岩; 第二期(年龄为 29 ~ 26 Ma)火山喷溢最为强烈, 形成大面积厚层白榴石响岩、响岩质碱玄岩和粗斑状霞石响岩; 第三期(年龄为 24 ~ 19 Ma)火山喷发较弱, 岩性为白榴碱玄岩和白榴碱玄质响岩。

[关键词] 青藏高原; 藏北; 羌塘; 火山岩; 岩石学; 新生代

[分类号] P588.15 **[文献标识码]** A

青藏高原北部新生代火山岩已引起国内外地质学界的广泛关注^{[1]~[7]}, 认为它是高原岩石圈在特定地质条件下演化的产物, 可作为解释深部地球物理异常的“地质探针”, 通过对它的研究可以进一步探讨青藏高原的岩石圈演化与高原隆升机制。

藏北新生代火山岩的岩石组合可以概括为高钾钙碱性火山岩、钾玄岩质火山岩、超钾质(碱性)火山岩和少量钠质火山岩+浅成小侵入体。火山岩的喷发顺序为: 钠质火山岩 高钾钙碱性火山岩 钾玄岩质火山岩 超钾质(碱性)火山岩 钾玄质火山岩(另文发表)。其中, 超钾质(碱性)火山岩主要分布于鱼鳞山和火车头山地区。

火车头山火山岩的发现最早开始于 20 世纪 70 年代后期开展的路线地质调查^[8]以及 1:100 000 区域地质调查。成都理工大学藏北科研队于 1996 年对该地区进行了 1:100 000 精度的火山岩填图, 本文是该项填图成果的一部分。

1 地质背景

在亚克错以南以及错尼以东分布有大面积的

高钾钙碱性火山岩, 在错尼以西以及金泉湖以南分布有一套钾玄岩质火山岩, 而在金泉湖-亚克错以北分布有一套强碱性火山岩(图 1)。

火车头山(邓万明等人称之为巴毛穷宗^{[9]、[10]})位于羌塘盆地腹部, 亚克错北西约 10 km 附近。火山岩分布于平头山、火车头山、火山口、牛心山、素埂梁等地(图 2), 火山岩的下伏地层为古近系康托组砂砾岩, 火山岩露头面积约 99 km²。

经过野外填图、实测火山岩剖面以及室内综合研究, 作者将火车头山新生代火山岩划分为三期。

第一期: 分布于素埂梁、玛尼西侧等地, 以岩颈、潜火山穹窿、熔岩低丘等火山地貌产出, 岩性为白榴碧玄岩。出露面积约 1 km², 厚度约 20 ~ 50 m。

第二期: 为火车头山地区火山岩的主体, 分布于火车头山、平头山、玛尼、牛心山等地, 岩性为响岩质碱玄岩、白榴石响岩和粗斑状霞石响岩。火山地貌主要为平顶山和熔岩被, 局部可见火山口、破火山口、火山锥等, 火山喷发以裂隙式喷发为主, 其次为中心式喷发。

火车头山熔岩被厚约 300 m, 柱状节理(六方

[收稿日期] 2004-11-05

[基金项目] 国家 973 计划项目(2002CB412607)

[作者简介] 李佑国(1963-), 男, 教授, 岩石学及地球化学专业。(E-mail: lyguo@cdut.edu.cn)

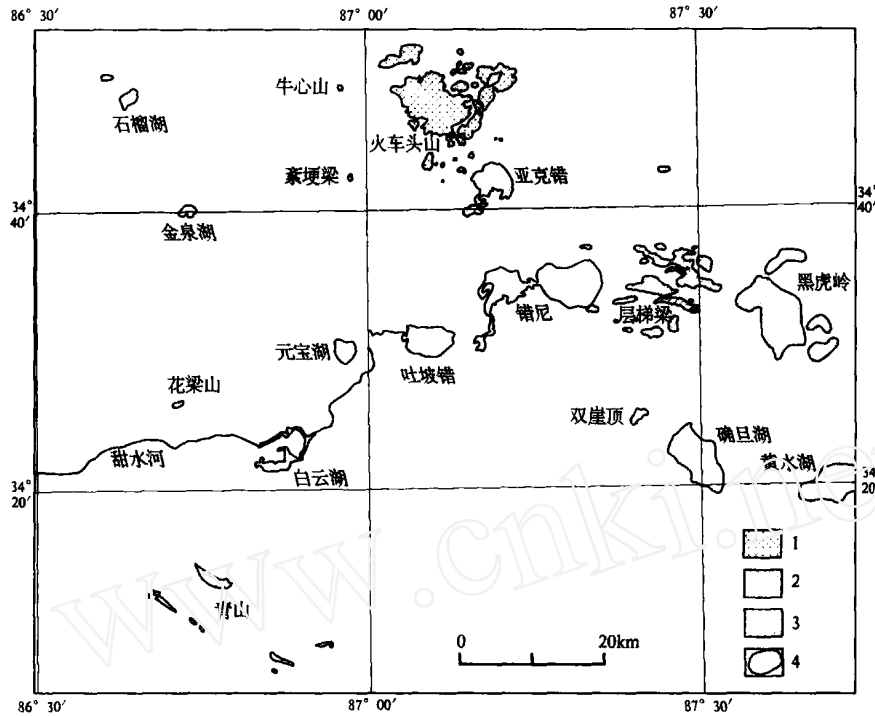


图 1 火车头山 - 错尼地区新生代火山岩分布平面图

Fig. 1 Distribution of the Cenozoic volcanic rocks over the Huochetoushan - Cuoni area

1. 强碱性火山岩; 2. 钾玄岩质火山岩; 3. 高钾钙碱性火山岩; 4. 湖泊

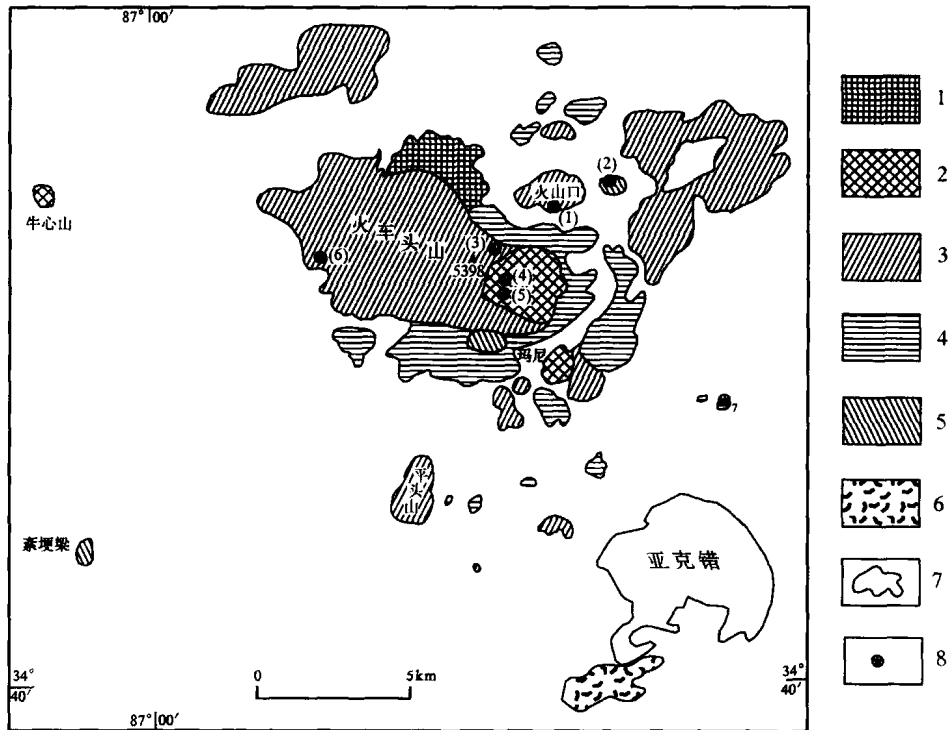


图 2 火车头山地区火山岩分布平面图

Fig. 2 Distribution of the alkali volcanic rocks over the Huochetoushan area

1. 石榴石碱玄岩; 2. 粗斑状霞石响岩; 3. (黝方石) 石榴石响岩、石榴石碱玄质响岩; 4. 响岩质碱玄岩; 5. 石榴石碧玄岩; 6. 英安岩质火山角砾岩; 7. 湖泊; 8. 同位素年龄采样点。同位素年龄说明: (1) 22.05 Ma; (2) 22.68 Ma; (3) 24.23 Ma; (4) 26.37 Ma; (5) 33.93 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$); (6) 26.94 Ma; (7) 26.77 Ma

柱状)极为发育。远观可见 5 个较明显的火山喷发韵律,每一韵律之顶部往往颜色较红且柱状节理不发育,代表一次喷发间隔,各层火山岩的矿物成分并无显著差异(响岩类)。火车头山东侧附近围绕一圈响岩质碱玄岩,其厚度多在 100 m 左右。

火车头山熔岩被的产状较平缓,倾向北,倾角 3°~7°,总体上看,火山岩的喷发具有由南向北逐渐变新的趋势。根据火山岩的压盖关系和出露标高判断,火山岩的喷发顺序为响岩质碱玄岩 粗斑状霞石响岩 白榴石响岩、黝方石响岩。

在火车头山白榴石响岩或黝方石响岩中经常可以见到白榴碧玄岩的岩石捕虏体和暗色细粒包体。

第三期:分布于火山口及其附近,火山地貌为火山口、火山锥以及潜火山穹隆,火山机构保存完整,属于中心式喷发。岩性为白榴碱玄岩和白榴碱玄质响岩,白榴碱玄岩中可以见到 1~2 mm 大小的橄榄石晶体(捕虏晶)。

上述 3 个期次的划分,还需要进一步的同位素年代学和岩石化学方面的证据。

2 火山岩的时代

关于火车头山地区强碱性火山岩的年龄,A. R. Basu 等人于 1989 年提供了 5 个 K-Ar 法同位素年龄数据,年龄范围在 28.6~20.0 Ma^[9];但缺少对应的岩性资料,其年龄值意义虽不确切,但至少给出了该区火山喷发时代的信息。刘红英等人^[11]

于 2004 年发表了 5 个 K-Ar 法和 2 个 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄值,其年龄范围为 18.8~32.4 Ma,其中,年龄值最低(18.8 Ma)的为碱玄岩,年龄值最大(32.4 Ma)的为碧玄岩。由于缺乏不同火山岩岩性的空间分布和采样位置,难以揭示火山活动规律。

我们采集的 6 件 K-Ar 法同位素年龄样品(图 2),测得 22.05~26.94 Ma 的年龄值(表 1)。由于该套岩石中的白榴石蚀变强烈,多数已蚀变为正长石,其 K-Ar 法表面年龄值能否反映火山岩形成的初始年龄还值得探讨。

为了验证 K-Ar 法同位素年龄与 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄的吻合程度,特挑选粗斑状霞石响岩中透长石斑晶进行 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法测试(表 2)。如图 3 所示,在高温阶段(1400 °C)得到(33.93 ±0.52) Ma 的坪年龄,其 ³⁹Ar 析出达 63.37%,根据 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄测定原理,此坪年龄接近火山岩中透长石结晶的真实年龄。

图 3 中 33.93 Ma 的坪年龄值较同种岩石的 K-Ar 法年龄(26.37 Ma)高出 7.56 Ma(表 1 中序号 4),表明在透长石大斑晶结晶过程中经受过后期热力扰动而致使 K-Ar 法年龄偏新。

从表 2 和图 3 可以看出,在中温阶段(905~1200 °C)得到一系列介于 25.45~29.7 Ma 的单阶段坪年龄值,而该地区 56% 的 K-Ar 法年龄值与上述单阶段坪年龄值相当。由于粗斑状霞石响岩喷发于火山活动的早期,因此,透长石大斑晶

表 1 火车头山地区新生代火山岩全岩 K-Ar 同位素测定结果
Table 1 K-Ar dating of the Cenozoic volcanic rocks from the Huochetoushan area

序号	样号	岩石名称	K ₂ O w/ %	⁴⁰ K c/10 ⁻⁷ mol · g ⁻¹	⁴⁰ Ar [*] c/10 ⁻¹⁰ mol · g ⁻¹	⁴⁰ Ar [*] / ⁴⁰ K	年龄 T/ Ma
1	GI1063N	白榴石碱玄质响岩	8.65	2.143091	2.762572	0.001289060	22.05 ±0.28
2	GI1241N	白榴石碱玄岩	4.41	1.092605	1.449129	0.001326306	22.68 ±0.43
3	P0520N	白榴石碱玄质响岩	5.2	1.288332	1.825994	0.001417332	24.23 ±0.31
4	GI1072N	粗斑状霞石响岩	7.43	1.840828	2.840956	0.001543303	26.37 ±0.31
6	GI1055N	黝方石响岩	8.51	2.108405	3.325752	0.001577378	26.94 ±0.35
7	GI4053N	响岩质碱玄岩	4.52	1.119858	1.754625	0.001566828	26.77 ±0.40

注:样品由中国地质科学院地质所同位素室张思红用 K-Ar 稀释法测定,采样位置按序号标绘于图 2 中。

表 2 火车头山火山岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法同位素年龄测定表
Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Cenozoic volcanic rocks from the Huocetoushan area

t/	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar [*] / ³⁹ Ar	³⁹ Ar/10 ⁻¹⁴ mol	视年龄 T/ Ma	³⁹ Ar 累计百分数
568	5.2461	0.0167	2.3809	0.4731	220.32	9.68 ±0.21	1.84 %
905	1.9519	0.0021	0.1547	1.3277	1387.02	27.03 ±0.06	13.40 %
994	1.7927	0.0019	0.1558	1.2498	1243.74	25.45 ±0.07	23.76 %
1075	2.0655	0.0021	0.0991	1.4601	665.66	29.70 ±0.13	29.31 %
1200	2.2714	0.0028	0.1108	1.4585	878.39	29.67 ±1.70	36.63 %
1400	1.9430	0.0009	0.0750	1.6698	7603.41	33.93 ±0.52	100.00 %

注: * 为放射性成因 ⁴⁰Ar,样品由中国地质科学院地质所同位素室测定。样品号:GI1073B1,透长石斑晶。

(可达 3 ~ 5 cm 大小)所测得的中温阶段坪年龄值,可能代表了后期热扰动的年龄值,大致相当于该地区火山活动最强烈的时段。

根据火车头山地区火山岩的地质特征以及表 1 和已发表的年龄数据^{[9], [11]},从图 4 可以得出,火山岩可以划分为 3 期,其喷发年龄大致为:

第一期火山岩(白榴碧玄岩):34 ~ 32 Ma。

第二期火山岩(响岩质碱玄岩、粗斑状霞石响岩、白榴石响岩):29 ~ 26 Ma。

第三期火山岩(白榴碱玄岩、白榴碱玄质响岩):24 ~ 19 Ma,主要为 23 ~ 20 Ma。

3 岩石学和矿物学特征

白榴碧玄岩:灰褐色 - 灰绿色,斑状结构。斑晶由橄榄石(10 % ~ 25 %)、透辉石(20 % ~ 25 %)、

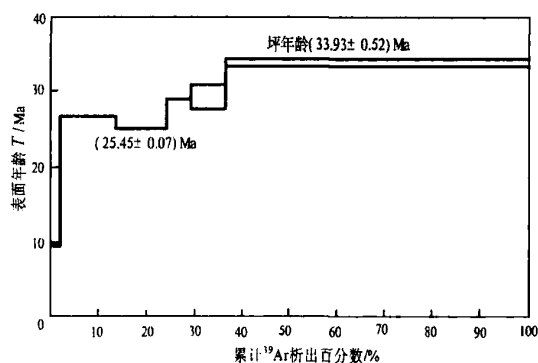


图 3 火车头山碱性火山岩中透长石大斑晶⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectra for sanidine megacryst in the Houchetoushan alkali volcanic rocks

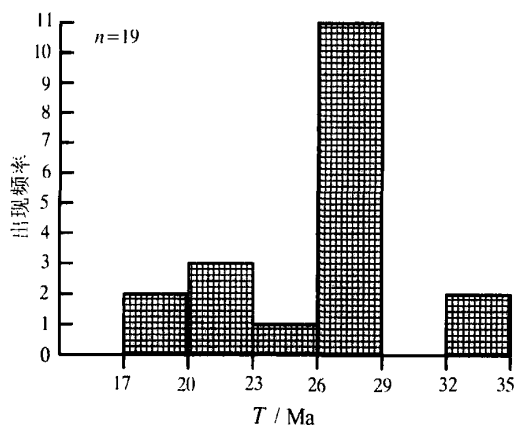


图 4 火车头山地区火山岩年龄分布频率图

Fig. 4 Distribution frequency of the ages of the volcanic rocks in the Houchetoushan area
(图中 n 代表样品数,部分数据取自文献^{[9], [11]})

金云母(3 % ~ 5 %)所组成;基质由透辉石(11 % ~ 21 %)、白榴石(12 % ~ 18 %)、橄榄石(0 % ~ 6 %)、正长石和歪长石(10 % ~ 25 %)、磁铁矿(10 % ~ 25 %)、细小的斜长石等组成。

橄榄石为贵橄榄石($Fo = 87 \sim 89$),透辉石中的 Al_2O_3 含量低(1.27 %)。

白榴碱玄岩:灰色 - 灰绿色,斑状结构。斑晶由透辉石(13 %)、金云母(2 %)、白榴石(5 %)、透长石(3 %)所组成;基质由斜长石、次透辉石、白榴石和钾长石等组成。

响岩:为灰褐色 - 深绿色,斑状结构,斑晶占 5 % ~ 50 %,基质约占 50 % ~ 95 %。斑晶由似长石(3 % ~ 40 %)、透长石(1 % ~ 5 %)、单斜辉石(1 % ~ 5 %)和少量金云母所组成。其中,似长石包括白榴石、黝方石、蓝方石、霞石和方钠石,单斜辉石包括次透辉石和透辉石。基质由细小的透长石、似长石、次透辉石和透长石组成。副矿物常见楣石和磷灰石,白榴石基本上已蚀变为假白榴石(主要由钾长石组成)。按照似长石的矿物种属和含量,进一步划分为白榴石响岩、黝方石响岩、蓝方石响岩。

粗斑状霞石响岩:为灰色 - 浅灰色,斑状结构,致密块状。斑晶由自形板状透长石(晶体变化于 1 mm × 2 mm ~ 30 mm × 50 mm,含量约 10 % ~ 30 %),单斜辉石(透辉石、次透辉石,含量约 5 % ~ 10 %),金云母(3 % ~ 8 %)和磷灰石(1 % ~ 2 %)组成。基质由钾长石(30 % ~ 50 %)、单斜辉石(8 % ~ 14 %)、霞石(7 % ~ 11 %)和磁铁矿(2 % ~ 4 %)以及少量磷灰石(0.5 % ~ 1 %)所组成。根据矿物的包裹关系,斑晶矿物的结晶顺序为:磷灰石 - 金云母 - 透辉石、次透辉石 - 透长石。

响岩质碱玄岩:灰褐色 - 灰绿色,斑状结构,块状构造。斑晶由橄榄石假象(0 % ~ 4 %)、透辉石、次透辉石(13 % ~ 21 %);金云母(0 % ~ 16 %)构成,基质由透长石(5 % ~ 23 %)、透辉石(3 % ~ 23 %)、金云母(0 % ~ 5 %)、似长石类矿物(10 % ~ 23 %)和不透明金属矿物所组成。

本区火山岩中常见的造岩矿物有贵橄榄石($Fo = 87 \sim 89$)、透辉石、次透辉石、金云母,似长石(白榴石、黝方石、蓝方石、霞石和方钠石等,绝大多数已经蚀变为矿物假象)、透长石、正长石(多数为似长石蚀变的产物)等(表 3)。

透辉石、次透辉石中 Al_2O_3 的含量与结晶环

表 3 火车头山地区有代表性的火山岩中主要矿物电子探针成分 (w/ %)
Table 3 The electron microprobe analyses of the main minerals from the Huochetoushan area

	G11055B1				G11063N1		P0520N		G11072N				G11241N				G14053N1			
	黝方石响岩				石榴石 碱玄质响岩		石榴石 碱玄质响岩		粗斑状霞石响岩				石榴石碱玄岩				响岩质碱玄岩			
	透	次	次	次	正	正	正	透	透	基	次	透	透	贵	贵	贵	透	透	透	金
	长	透	透	透	长	长	长	辉	长	质	透	辉	辉	橄	橄	橄	长	辉	辉	云
	石	石	石	石	石	石	石	石	石	长	石	石	石	石	石	石	石	石	石	母
SiO ₂	65.02	49.57	48.77	48.96	64.11	65.24	65.65	50.2	64.53	65.16	51.13	50.64	54.7	40.93	41.4	40.15	64.44	53.75	53.12	39.98
TiO ₂	0.5	1.04	1.36	1.16	0.02		0.08	1.42	0.82	0.14	1.04	0.42	0.4				1.43	0.48	0.22	4.19
Al ₂ O ₃	19.69	4.31	4.03	3.42	17.5	17.3	18.66	3.94	20.84	18.62	3.45	3.58	1.27	0.15	0.22	0.17	19.55	2.18	1.35	15.28
FeO		9.79	10.52	10.93	0.71	0.69	0.74	6.94	0.52	0.55	8.2	7.68	4.06	10.69	10.37	12.42	0.7	5.11	4.46	5.71
MnO		0.3	0.35	0.4				0.22	0.18		0.48	0.05		0.34					0.16	0.13
MgO		12.38	11.49	11.27				14.2			13.54	13.85	17.09	46.31	46.96	45.54		16.33	17.09	20.55
CaO		22.28	21.48	21.38				22.29	0.3		21.43	22.46	22.99	0.15		0.25	0.16	21.65	21.95	
Na ₂ O	3.68	0.71	0.87	0.99	1.09	1.03	3.83	0.63	4.85	3.62	0.69	0.69	0.39				5.29	0.67	0.37	0.77
K ₂ O	10.14	0.11	0.04	0.05	14.53	14.79	10.74	0.09	8.44	11.74	0.04	0.01		0.08		0.1	7.81			8.93
P ₂ O ₅		0.11	0.19	0.26	0.27	0.26		0.07			0.31	0.01	0.06	0.18	0.13	0.14				0.09
总量	99.03	100.6	99.1	98.82	98.23	99.31	99.7	100	100.48	99.83	100.31	99.39	100.96	98.83	99.08	98.77	99.38	100.17	98.72	95.63
O	8	6	6	6	8	8	8	6	8	8	6	6	6	4	4	4	8	6	6	22
Si	2.962	1.839	1.846	1.861	3.005	3.024	2.991	1.854	2.898	2.98	1.893	1.881	1.974	1.017	1.021	1.007	2.922	1.958	1.959	5.659
Ti	0.017	0.029	0.039	0.033	0.001	0	0.003	0.04	0.028	0.005	0.029	0.012	0.011				0.049	0.013	0.006	0.446
Al	1.057	0.188	0.18	0.154	0.967	0.945	1.002	0.172	1.103	1.004	0.151	0.157	0.054	0.004	0.006	0.005	1.045	0.094	0.059	2.549
Fe ³⁺		0.121	0.094	0.106				0.085			0.027	0.109						0.012	0.039	0.676
Fe ²⁺		0.183	0.239	0.242	0.028	0.027	0.028	0.129	0.02	0.021	0.226	0.13	0.123	0.222	0.214	0.26	0.027	0.144	0.099	0.016
Mn		0.01	0.011	0.013				0.007	0.007		0.015	0.002		0.007				0.005	4.336	
Mg		0.685	0.649	0.638				0.781			0.747	0.767	0.919	1.715	1.727	1.703		0.887	0.94	0.211
Ca		0.886	0.871	0.87				0.882	0.014		0.85	0.894	0.889	0.004		0.007	0.008	0.845	0.867	
Na	0.325	0.051	0.063	0.073	0.099	0.093	0.338	0.045	0.422	0.321	0.05	0.05	0.027				0.465	0.047	0.027	
K	0.589	0.005	0.002	0.002	0.868	0.874	0.624	0.004	0.483	0.685	0.002			0.003		0.003	0.451			1.612
P		0.003	0.006	0.008	0.011	0.01		0.002			0.01		0.002	0.004	0.003	0.003				0.011
总计	4.95	4.00	4.00	4.00	4.979	4.97	4.99	4.00	4.98	5.02	4.00	4.00	4.00	2.98	2.97	2.99	4.97	4.00	4.00	15.52

注:中国地质大学(北京)电子探针室测定,橄榄石、云母、辉石、长石分别以 4、22、6 和 8 个氧为基础计算的矿物晶格式。

境有关,在响岩、碱玄质响岩中相对富铝 (Al₂O₃ 含量为 3.42 % ~ 4.31 %,平均 3.79 %)、富钛 (TiO₂ 含量为 0.42 % ~ 1.42 %,平均 1.07 %),而石榴石碱玄岩和响岩质碱玄岩中相对贫铝 (Al₂O₃ 含量为 1.27 % ~ 2.18 %,平均 1.60 %)、贫钛 (TiO₂ 含量为 0.42 % ~ 1.42 %,平均 0.37 %)。前者的透辉石贫 MgO 而富 FeO,后者则正好相反。

由似长石蚀变而来的正长石以及火山岩基质中的透长石,其化学成分表现为低钛 (TiO₂ 含量 < 0.15 %)、贫铝 (Al₂O₃ 含量 < 18.7 %) 和富钾 (K₂O 含量 > 10.7 %) 的特征(表 3);而透长石斑晶的晶体化学成分呈现出高钛 (TiO₂ 含量 > 0.5 %)、高铝 (Al₂O₃ 含量 > 19.5 %) 和贫钾 (K₂O 含量 < 10.2 %) 的特点,这反映了矿物结晶过程中岩浆成分的演化。

4 火山岩系列与组合

火车头山新生代火山岩中 SiO₂ 含量低而碱含量很高, SiO₂ 含量为 42.4 % ~ 56.5 %, Na₂O + K₂O 含量为 5.53 % ~ 14.80 %,以至于岩石中 SiO₂ 不饱和,出现了 SiO₂ 不饱和的强碱性矿物——似长石。

在 (K₂O + Na₂O) - SiO₂ 图上(图 5),所有成分点全部投入强碱性的碱玄岩(碧玄岩)、响岩质碱玄岩、碱玄质响岩和响岩区域。

尽管火山岩中只含有大量石榴石、霞石、黝方石等强碱性矿物,但基本不含碱性暗色矿物,在岩石化学上,绝大多数样品具有 (CaO + K₂O + Na₂O) > Al₂O₃ > (K₂O + Na₂O) (分子数) 的特征,属于铝正常系列。因此,研究区的火山岩属于强碱性的碱玄岩 - 响岩质碱玄岩 - 响岩组合。

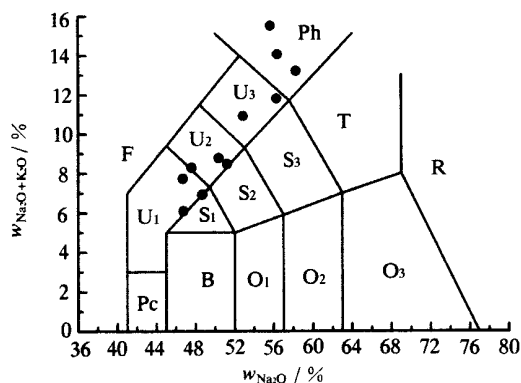


图 5 火车头山地区新生代火山岩 TAS 图

Fig. 5 The total alkali vs silica (TAS) diagram of the Cenozoic volcanic rocks in the Huochetoushan area
F. 副长石岩; Pc. 苦橄玄武岩; U₁. 碱玄岩 + 碧玄岩; U₂. 响岩质碱玄岩; U₃. 碱玄质响岩; Ph. 响岩; 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; B. 玄武岩; O₁. 玄武安山岩; O₂. 安山岩; O₃. 英安岩; R. 流纹岩(图中界线据 Le Maitre, 1989)

5 结论

火车头山新生代火山活动分为三期:第一期(年龄为 34 ~ 32 Ma)火山喷发较弱,形成小范围分布的白榴碧玄岩;第二期(年龄为 29 ~ 26 Ma)火山喷溢最为强烈,形成大面积分布的响岩质碱玄岩、白榴石响岩和粗斑状霞石响岩;第三期(年龄为 24 ~ 19 Ma)火山喷发较弱,主要以潜火山作用为主体,岩性为白榴碱玄岩和白榴碱玄质响岩。

火车头山新生代火山岩为一套强碱性的碱玄岩-响岩质碱玄岩-响岩组合。

[参 考 文 献]

- [1] 赖绍聪,刘池阳. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区——来自新生代火山岩的岩石地球化学证据[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 459 - 468.
- [2] 李才,朱志勇,迟效国,等. 藏北改则地区鱼鳞山组火山岩同位素年代学[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 732 - 734.
- [3] 林金辉,伊海生,赵兵,等. 藏北祖尔肯乌拉山地区新生代火山岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素定年及其意义[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 31 - 34.
- [4] 丁林,张进江,周勇,等. 青藏高原岩石圈演化的记录: 藏北超钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 408 - 421.
- [5] Arnaud N O, Vidal Ph, 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.
- [6] 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(1): 45 - 71.
- [7] Turner S, Hawkesworth C, Liu Jiaqi, et al. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks[J]. Nature, 1993, 364(1): 50 - 54.
- [8] 邓万明. 藏北第四纪火山岩岩石学和岩石化学初步研究[J]. 地质学报, 1978, (2): 148 - 162.
- [9] 邓万明. 西藏阿里北部的新生代火山岩——兼论陆内俯冲作用[J]. 岩石学报, 1989, (3): 1 - 11.
- [10] 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.
- [11] 刘红英,夏斌,邓万明,等. 藏北巴毛穷宗羌巴欠火山岩 K-Ar 和⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究[J]. 矿物岩石, 2004, 24(1): 71 - 75.

Petrology and ages of the Cenozoic volcanic rocks in the Huochetoushan, North Tibet, China

LI You-guo¹, MO Xuan-xue², MA Run-ze¹, YI Hai-sheng¹, TAO Xiao-feng¹, LIU Deng-zhong¹

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. School of Earth Sciences & Resources, China university of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: The Cenozoic volcanic rocks in Huochetoushan are distributed over the middle segment of the Cenozoic volcanic rock belt in the northern Tibetan plateau, occurring mainly as lava sheets, mesas and volcanic cones, about 20 ~ 300 m in thickness. The studies of petrography, mineralogical chemistry and petrochemistry show that the lavas formed a tephrite-phonolite suit. Three stages of volcanic activity are recognized in the Huochetoushan area on the basis of geological contact relation among lavas and K-Ar and ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotopic dating. In Stage (34 ~ 32 Ma), the volcanic eruption was relatively weak, and only small-scale of leucite basanite formed. In Stage (29 ~ 26 Ma), the volcanic eruption reached its peak, resulting in the formation of widespread thick beds of leucite phonolite, phonotephrite and macro-porphyrific nepheline phonolite. In Stage (19 ~ 24 Ma), the volcanic eruption was relatively weak again, and leucite tephrite and leucite tephriphonolite formed.

Key words: Qinghai-Tibet plateau; North Tibet; Qiangtang; volcanic rock; petrology; Cenozoic