

新疆卡拉麦里姜巴斯套组火山岩 地球化学特征与构造意义

汪帮耀¹, 姜常义^{1,2}, 李永军^{1,2}, 吴宏恩³

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 西部矿产资源与地质工程教育部
重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 通过对新疆卡拉麦里姜巴斯套组火山岩野外地质特征、岩石学和高精度同位素年代学的研究, 发现姜巴斯套组火山岩具典型双峰式组合, 岩石类型包括玄武岩-酸性火山碎屑岩-玄武粗面安山岩; 得到玄武粗面安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(319.8 \pm 2) \text{ Ma}$ (加权均方偏差值为 3), 表明姜巴斯套组火山岩形成于早石炭世谢尔普霍夫阶。对火山岩地球化学特征的研究表明, 姜巴斯套组火山岩钙碱性系列、高钾钙碱性系列和钾玄岩系列岩石兼而有之, 岩石的稀土元素配分曲线均为轻稀土元素富集型, 无明显 Eu 异常, 玄武岩和玄武粗面安山岩具有 K 正异常和 Sr 负异常, 酸性火山碎屑岩表现出 Nb、Ta 和 Ti 显著亏损。总体来说, 姜巴斯套组火山岩富集大离子亲石元素, 相对亏损高场强元素。玄武岩和玄武粗面安山岩表现出大陆裂谷(大陆板内拉张区域)岩石特征; 酸性火山碎屑岩表现出岛弧或者活动大陆边缘岩石属性。总之, 姜巴斯套组火山岩形成于卡拉麦里洋盆闭合碰撞造山后的拉张伸展环境, 卡拉麦里地区在早石炭世末期就进入了碰撞后的陆内伸展拉伸阶段。

关键词: 火山岩; 大陆裂谷; 岩石地球化学; 谢尔普霍夫阶; 姜巴斯套组; 卡拉麦里; 新疆

中图分类号: P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)03-0237-09

Geochemical Characteristics and Tectonic Implications of Karamaili Jiangbasitao Formation Volcanic Rock in Xinjiang

WANG Bang-yao¹, JIANG Chang-yi^{1,2}, LI Yong-jun^{1,2}, WU Hong-en³

(1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of
Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Xinjiang Institute of
Geological Exploration for Nonferrous Resources, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: Geochemical characteristic and the chart of tectonic of volcanic rocks and dating of high-precision geochronology in Karamaili Jiangbasitao Formation of Xinjiang were studied. The results showed that there were typical bimodal volcanic rocks of Jiangbasitao Formation, which included basalt-acid volcanolastic rock-basaltic trachyte andesite; LA-ICP-MS U-Pb zircon age of basaltic trachyte andesite was $(319.8 \pm 2) \text{ Ma}$ (weighted mean square deviation was 3), and indicated that the volcanic rocks of Jiangbasitao Formation formed in Serpukhovian Stage of Early Carboniferous. The study on geochemical characteristic of volcanic rocks showed that the rocks of Jiangbasitao Formation were composed of calc-alkaline series, high-K calc-alkaline series and shoshonite series; light rare earth element (REE) enriched patterns in chondrite-normalized REE diagram with no exception of Eu was shown in rocks; basalt and basaltic trachyte andesite were positive K anomaly and negative Sr anomaly, and acid volcanolastic rock were depleted in Nb, Ta and Ti. On the whole, the volcanic rocks of Jiangbasitao Formation were enriched in large ion lithophile elements, and depleted in high field strength element. Characteristics of basalt and basaltic trachyte andesite was continental rift valley (continental extension zone); characteristic of acid volcanolastic rock was arc or active continental margins. In general, the volcanic rocks of Jiangbasitao Formation formed in the post-collisional extension setting after Karamaili ocean basin closed, and there was post-collisional continent extension setting at the late stage of Early Carboniferous in Karamaili Region.

Key words: volcanic rock; continental rift; lithogeochemical; Serpukhovian Stage; Jiangbasitao Formation; Karamaili; Xinjiang

收稿日期: 2011-01-20

基金项目: 中国地质调查局项目(QD200508)

作者简介: 汪帮耀(1984-), 男, 云南蒙自人, 理学博士研究生, 从事岩石学、矿床学研究。E-mail: banyeo@163.com

0 引言

卡拉麦里位于准噶尔盆地东北缘,由西伯利亚板块和准噶尔板块碰撞缝合形成,是中亚构造框架中一个非常重要的构造单元^[1-2]。然而,很多学者不仅对卡拉麦里蛇绿岩的形成环境有不同认识,而且对其所代表的洋盆时限等问题也一直存在较大争论。蔡文俊等通过对放射虫硅质岩研究认为卡拉麦里缝合带的时代为早石炭世^[3];何国琦等认为古卡拉麦里洋盆闭合于早志留世^[4];舒良树等通过古生物化石和地层对比认为卡拉麦里蛇绿岩形成时代为晚泥盆世法门期—早石炭世杜内期^[5];杨品荣等通过对阿勒泰卡姆斯特下侏罗统放射虫硅质岩研究认为该洋盆闭合于早石炭世晚期^[6]。

上述分歧的产生一方面是因为对该区域构造演化的认识不同,另一方面是缺乏对该区域火山岩进行详细的岩石学、地球化学以及同位素定年方面的研究。众所周知,卡拉麦里蛇绿岩的围岩时代为中泥盆世—早石炭世,沿红柳沟、六棵树和南明水地区广泛分布有早石炭世火山沉积岩系^[7-8]。火山岩作为恢复古大地构造环境的重要组成部分,其时代、分布与区域构造演化息息相关。因此,研究姜巴斯套组火山岩对讨论卡拉麦里洋盆的闭合时限以及整个卡拉麦里地区晚古生代的构造演化史具有重要意义。笔者在前人研究成果基础上,结合 1:50 000 区域地质调查工作,拟通过对卡拉麦里地区下石炭统姜巴斯套组火山岩进行系统的岩石学、岩石地球化学和同位素年代学等方面研究,讨论其形成时代、环境和构造意义,并进而约束卡拉麦里洋盆的闭合时限。

1 构造背景和地层概况

新疆东准噶尔包括准噶尔盆地东北缘卡拉麦里地区和阿尔曼太至北塔山一线以南的地区,该区域属于东准噶尔古生代造山带的重要组成部分^[8]。在阿尔曼太山—北塔山和卡拉麦里山发育有著名的蛇绿混杂岩带^[4](图 1a)。整个准噶尔盆地东北缘广泛出露古生代火山岩,主要为泥盆纪和早石炭世火山沉积地层,兼有少量二叠纪火山岩和志留纪地层^[9-10]。具幔源特征的后碰撞花岗岩广泛发育并侵入到泥盆纪和早石炭世地层之中^[11-12]。总体上,卡拉麦里地区以及整个准噶尔盆地东北缘经历了复杂消减增生和地体拼贴过程。

姜巴斯套组建组地点位于巴里坤县纸房以北,最初定义为一套灰绿、灰、黄绿色富钙质的陆源碎屑

岩、火山碎屑岩,其中杂砂岩、长石质砂岩较多^[13]。新疆维吾尔自治区地质矿产局将该套地层厘定为:分布于东西准噶尔广大地区下石炭统中部,岩性为一套富含钙质的陆源碎屑岩、火山碎屑岩、长石质砂岩、硬砂岩^[7]。一般中下部为浅海相、上部为滨海相。该套地层与下伏黑山头组不整合或平行不整合接触,其上被上覆地层不整合覆盖。该套地层中富含腕足类、植物和珊瑚化石,形成时限为早石炭世杜内阶—谢尔普霍夫阶^[7,14]。

卡拉麦里造山带下石炭统为姜巴斯套组火山岩,主要由火山碎屑岩、长石岩屑砂岩、中基性熔岩组成,其最大厚度超过 3 000 m^[6]。最新研究成果也表明:在巴塔玛依内山附近以及北侧的卡拉麦里蛇绿岩带,广泛出露下石炭统姜巴斯套组,与下伏下石炭统巴塔玛依内山组、黑山头组 and 上泥盆统卡拉麦里组均呈断层接触,岩性为一套强片理化粗—细砂岩、含角砾凝灰岩、沉凝灰岩夹火山碎屑岩、熔岩^[15-16]。

2 姜巴斯套组火山岩特征

研究区姜巴斯套组分布在卡拉麦里断裂和青水—苏吉泉断裂之间,呈北西—南东走向展布,出露面积约 206 km²,总厚度大于 5 000 m^[17]。姜巴斯套组逆冲到蛇绿岩套之上,该组与南侧泥盆纪卡拉麦里组以及北侧下石炭统黑山头组之间均呈断层接触关系,三者岩石组合、岩石颜色以及构造变形等方面区别明显^[17]。该组岩石可分为 6 个岩性段,第六岩性段为褶皱核部,两翼均为第五岩性段(图 1b)^[17]。岩石类型具有双峰式火山岩组合特征,包括玄武岩、玄武粗面安山岩和酸性火山碎屑岩等。

玄武岩:灰黑色、浅灰绿色,斑状结构,块状构造。斑晶主要为碱性斜长石和单斜辉石,粒径为 0.6×0.1 mm~0.2×1.5 mm。基质为间隐结构、交织结构,主要由碱性斜长石、单斜辉石、玻璃质和少量磁铁矿组成。岩石蚀变较为强烈,斜长石叶腊石化,辉石绿帘石化和绿泥石化。

玄武粗面安山岩:紫红色,斑状结构,块状构造。斑晶为透长石、斜长石和单斜辉石。基质为粗面结构、交织结构,透长石、斜长石微晶近于平行排列,粒径为 0.01×0.03 mm~0.1×0.3 mm。蚀变矿物以及石英沿裂隙充填,偶见钛铁粉尘状氧化物。

火山碎屑岩以晶屑岩屑凝灰岩和沉凝灰岩为主,少数为含火山角砾凝灰岩,呈浅灰色、灰色、浅灰绿色等,凝灰质结构,层状构造。晶屑为石英和斜长石,岩屑为凝灰岩和少量安山岩。其火山角砾主要

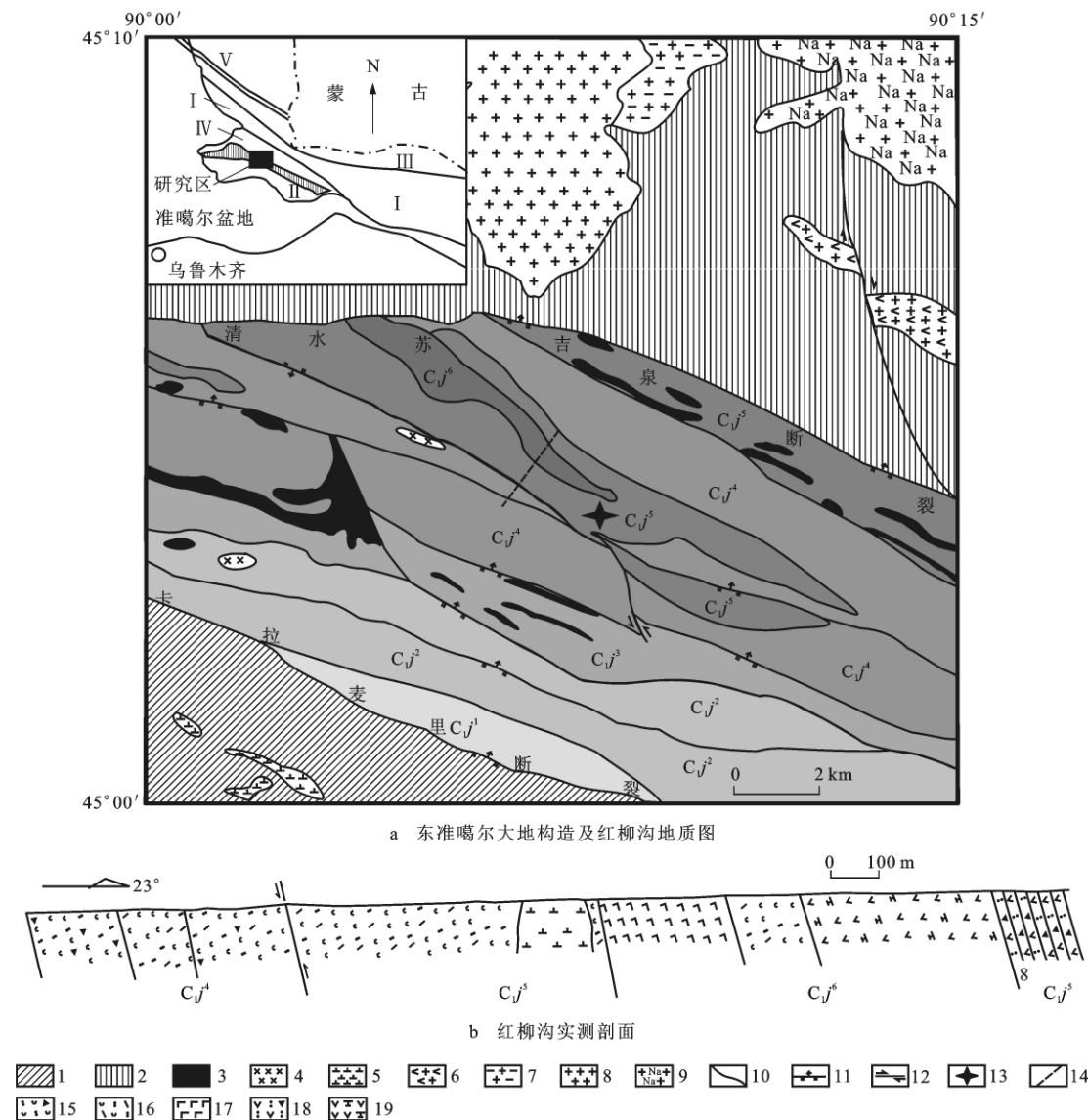


图 1 卡拉麦里红柳沟一带地质简图和实测剖面

Fig. 1 Simplified Geological Map and Geologic Section of Hongliugou in Karamaili

为凝灰岩,该组第五岩性段和第六岩性段中偶见辉长岩和花岗岩角砾,次浑圆-次棱角状,粒度为 1×2 cm~3×4 cm。

3 姜巴斯套组火山岩锆石 U-Pb 年代学

为了获得火山岩的形成时代,选取姜巴斯套组玄武粗面安山岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年。该样品的采集位置如图 1a。

首先使用常规的重液浮选和电磁分离方法挑选出锆石;然后在双目镜下根据锆石颜色、自形程度、

形态和透明度等特征初步分类,挑选出具有代表性的锆石,将锆石样品分别用双面胶粘在载玻片上,放上聚氯乙烯(PVC)环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并对其进行抛光,直到样品露出一个光洁的平面,进行锆石显微(反射光和透射光)照像;最后用体积分数为 3%的 HNO₃ 清洗样品并镀金作成样品靶。

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)原位 U-Pb 定年在西北大学大陆动力学国家重

点实验室完成。

从玄武粗面安山岩中选出的锆石为浅黄色—无色透明的正方双锥状、中长柱状、浑圆状、短柱状及半截锥状自形晶体,粒度多为 $65\sim 180\ \mu\text{m}$ 。阴极发光图像表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构,属于岩浆结晶产物(图 2)。锆石的 7 个测点 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 为 $0.34\sim 0.74$,多数大于 0.4, $w(\text{Th})$ 为 $(77.16\sim 318.13)\times 10^{-6}$, $w(\text{U})$ 为 $(196.21\sim 757.61)\times 10^{-6}$ (表 1);且 Th、U 含量呈现较好的正相关关系,故获得的年龄可以代表玄武粗面安山岩的形成年龄。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果见表 1,相应的谐和图和直方图见图 3、4。锆石的谐和年龄为 $(319.8\pm 2)\text{Ma}$ (加权均方偏差值为 3),表明该组火山岩形成于早石炭世谢尔普霍夫阶。

4 岩石地球化学特征

火山岩的采样位置如图 1。在对岩石样品进行详细手标本和偏光显微镜观察后,挑选较新鲜的样

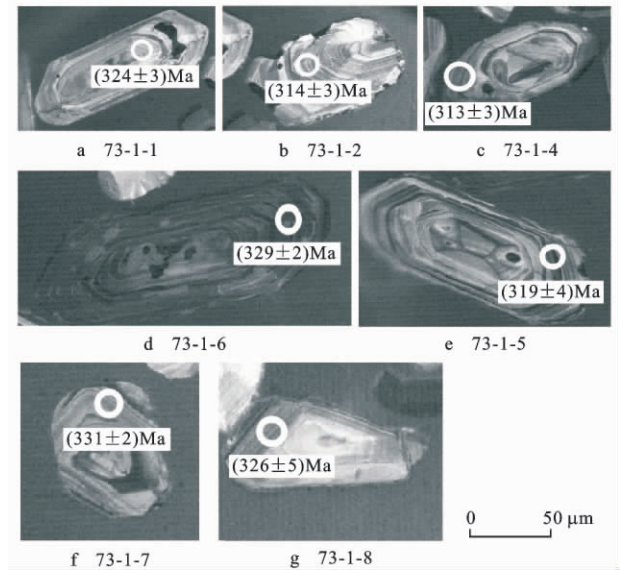


图 2 姜巴斯套组玄武粗面安山岩中单颗粒锆石的阴极发光图

Fig. 2 Cathodoluminescence (CL) Images of Single Zircons from Basaltic Trachyte Andesite in Jiangbasitao Formation

表 1 玄武粗面安山岩锆石同位素分析结果

Tab. 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb Isotopic Analysis of Basaltic Trachyte Andesite

样号	$w(\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/10^{-6}$	$n(^{232}\text{Th})/$ $n(^{238}\text{U})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U})$		$n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th})$		$(N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb}))_{\text{t}}$		$(n(^{207}\text{Pb})/$ $n(^{235}\text{U}))_{\text{t}}$		$(n(^{206}\text{Pb})/$ $n(^{238}\text{U}))_{\text{t}}$		$(n(^{208}\text{Pb})/$ $n(^{232}\text{Th}))_{\text{t}}$	
				比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ
73-1-01	241.29	178.65	0.74	0.056 79	0.001 19	0.491 30	0.009 43	0.062 65	0.000 46	0.016 14	0.000 17	483	29	406	6	392	3	324	3
73-1-02	196.21	113.19	0.57	0.050 65	0.001 24	0.336 57	0.007 69	0.048 15	0.000 37	0.012 17	0.000 16	225	39	295	6	303	2	244	3
73-1-05	225.83	77.16	0.34	0.057 66	0.001 93	0.490 29	0.015 86	0.061 67	0.000 55	0.019 13	0.000 14	517	75	405	11	386	3	383	3
73-1-08	757.3	299.49	0.39	0.079 65	0.007 16	0.695 04	0.062 09	0.063 29	0.000 65	0.018 93	0.001 04	1 188	184	536	37	396	4	379	21
73-1-09	516.39	249.62	0.48	0.057 19	0.000 89	0.412 03	0.005 45	0.052 38	0.000 33	0.016 50	0.000 14	499	18	350	4	329	2	331	3
73-1-18	569.49	318.83	0.55	0.074 13	0.024 55	0.637 34	0.210 25	0.062 36	0.001 79	0.018 80	0.002 42	1 045	696	501	130	390	11	376	48
73-1-19	410.02	179.79	0.43	0.226 47	0.003 23	1.645 20	0.020 01	0.052 69	0.000 39	0.014 20	0.000 16	3 027	23	988	8	331	2	285	3

注:1 σ 为误差。

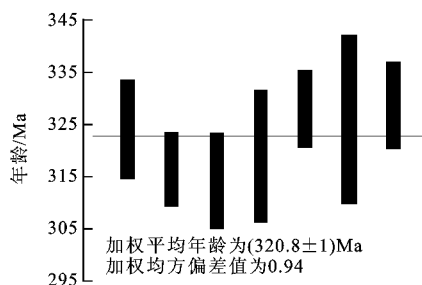


图 3 姜巴斯套组玄武粗面安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄与直方图

Fig. 3 LA-ICP-MS Zircon U-Pb Histograms of

Weighted Average Ages of Basaltic Trachyte Andesite

品用玛瑙研磨成粉末,然后进行化学分析。主量元素、微量元素和稀土元素均在宜昌地质矿产研究所用 X 射线荧光光谱仪分析,XRF 熔片法按国家标准

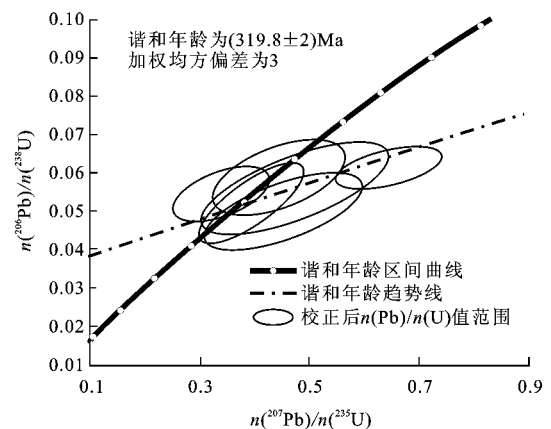


图 4 姜巴斯套组玄武粗面安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 4 LA-ICP-MS Zircon U-Pb Concordia Diagram of Basaltic Trachyte Andesite

GB/T 14506.28—1993 进行^[18]。微量元素和稀土元素采用 ICP-MS 分析测定,样品经 BHVO-2、AGV-1、BCR-2 国际标样监控,绝大多数微量元素分析精度优于 5%。

4.1 主量元素地球化学

姜巴斯套组火山岩主量元素分析数据见表 2。在图 5a 中可以看出,岩石类型为碱玄岩、玄武粗面安山岩、英安岩和流纹岩。在图 5b 中可以看出,3 件玄武岩样品为钾玄岩系列,1 件粗面岩为高钾钙碱性系列,其余样品均为钙碱性和低钾拉斑系列。

玄武岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 为 49.43%~51.02%,高

$w(\text{TiO}_2)$ (2.5%~3.4%), $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{CaO})$ 稳定, $w(\text{Na}_2\text{O})+w(\text{K}_2\text{O})$ 为 7.53%~9.48%。 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 除 1 件样品为 3 外,其余为 0.19~0.75。

玄武粗面安山岩 $w(\text{SiO}_2)$ 为 53.32%~53.72%, $w(\text{TiO}_2)$ 中等(0.77%~2.30%), $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 变化较小(15.12%~17.60%), $w(\text{MgO})$ (1.44%~5.86%)、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (2.30%~13.63%)和 $w(\text{CaO})$ (2.50%~6.53%)变化较大。 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 4.93%~6.72%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 0.20%~2.32%。

火山碎屑岩中 $w(\text{SiO}_2)$ 为63.80%~78.87%,

表 2 姜巴斯套组火山岩主量元素分析数据

Tab. 2 Major Elements Abundances Data of Volcanic Rocks in Jiangbasitao Formation

样品	碱性玄武岩				酸性火山碎屑岩				粗面岩	
	D7012-2	D7012-3	D7012-4	IX-69-2	IX-62-1	IX-79-4	IX-81-1	XI-70-1	XI-73-1	XI-74-1
SiO ₂	49.70	49.43	51.02	50.38	78.87	63.80	65.91	53.72	53.32	53.58
TiO ₂	3.47	3.43	3.31	2.51	0.32	0.77	0.89	0.769	2.3	2.02
Al ₂ O ₃	15.12	15.40	16.17	17.60	9.54	16.35	11.30	14.57	15.53	15.90
Fe ₂ O ₃	6.52	6.44	6.03	4.74	0.54	1.10	1.06	2.3	12.19	13.63
FeO	7.64	8.08	7.41	4.94	2.70	5.10	5.97	7.85	3.06	2.88
MnO	0.15	0.15	0.10	0.11	0.08	0.12	0.16	0.18	0.25	0.09
MgO	2.78	2.89	1.88	2.56	1.08	2.41	3.14	5.86	2	1.44
CaO	5.79	6.09	5.89	6.10	1.90	3.77	5.59	6.53	2.5	2.79
Na ₂ O	4.75	4.94	6.33	2.37	1.53	4.56	4.52	5.23	4.93	6.72
K ₂ O	3.56	2.64	1.20	7.11	3.37	1.87	1.30	0.204	2.32	1.16
P ₂ O ₅	0.52	0.51	0.64	1.58	0.08	0.14	0.15	0.11	0.41	0.28
烧失量	2.18	1.22	1.26	2.03	12.14	2.00	2.16	2.35	1.22	2.22
总和	99.82	99.56	99.14	99.62	99.56	100.05	100.01	99.96	100.05	98.66

注:表中元素数据为质量分数/%。

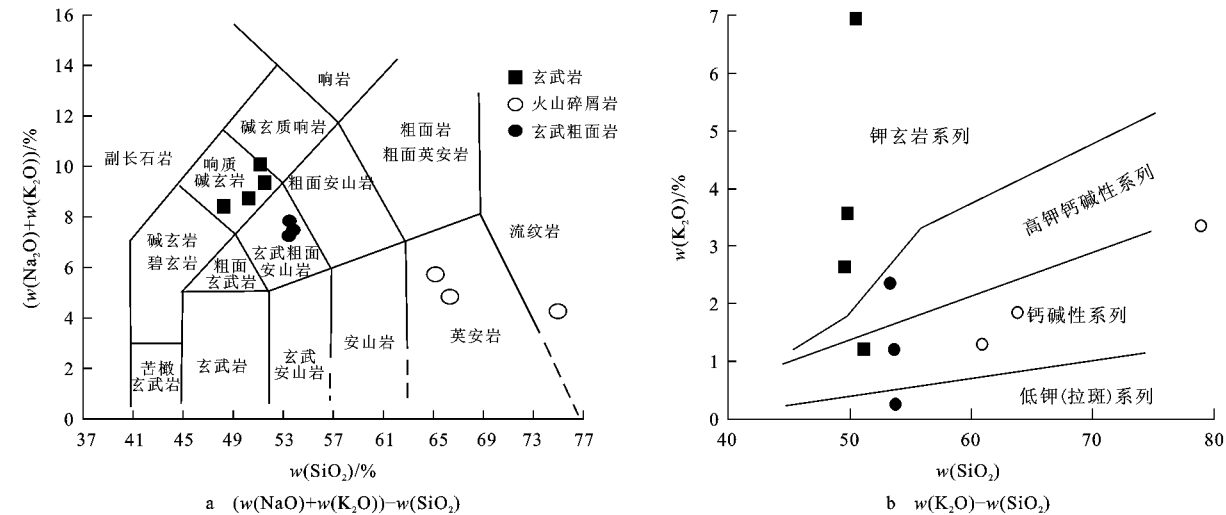


图 5 姜巴斯套组火山岩 TAS 分类图及硅碱分布图解

Fig. 5 TAS and Kalium-silica Plan for Volcanic Rocks of Jiangbasitao Formation

$w(\text{TiO}_2)$ 为 0.32%~0.89%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 63.80%~16.35%, $w(\text{MgO})$ 为 1.08%~3.14%, $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 为 0.54%~1.10%, $w(\text{CaO})$ 为 1.90%~5.59%, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 1.53%~4.56%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 1.30%~3.37%, $\text{Mg}^\#$ 为 0.41~0.48。

4.2 稀土元素和微量元素地球化学

姜巴斯套组火山岩稀土元素和微量元素分析数据

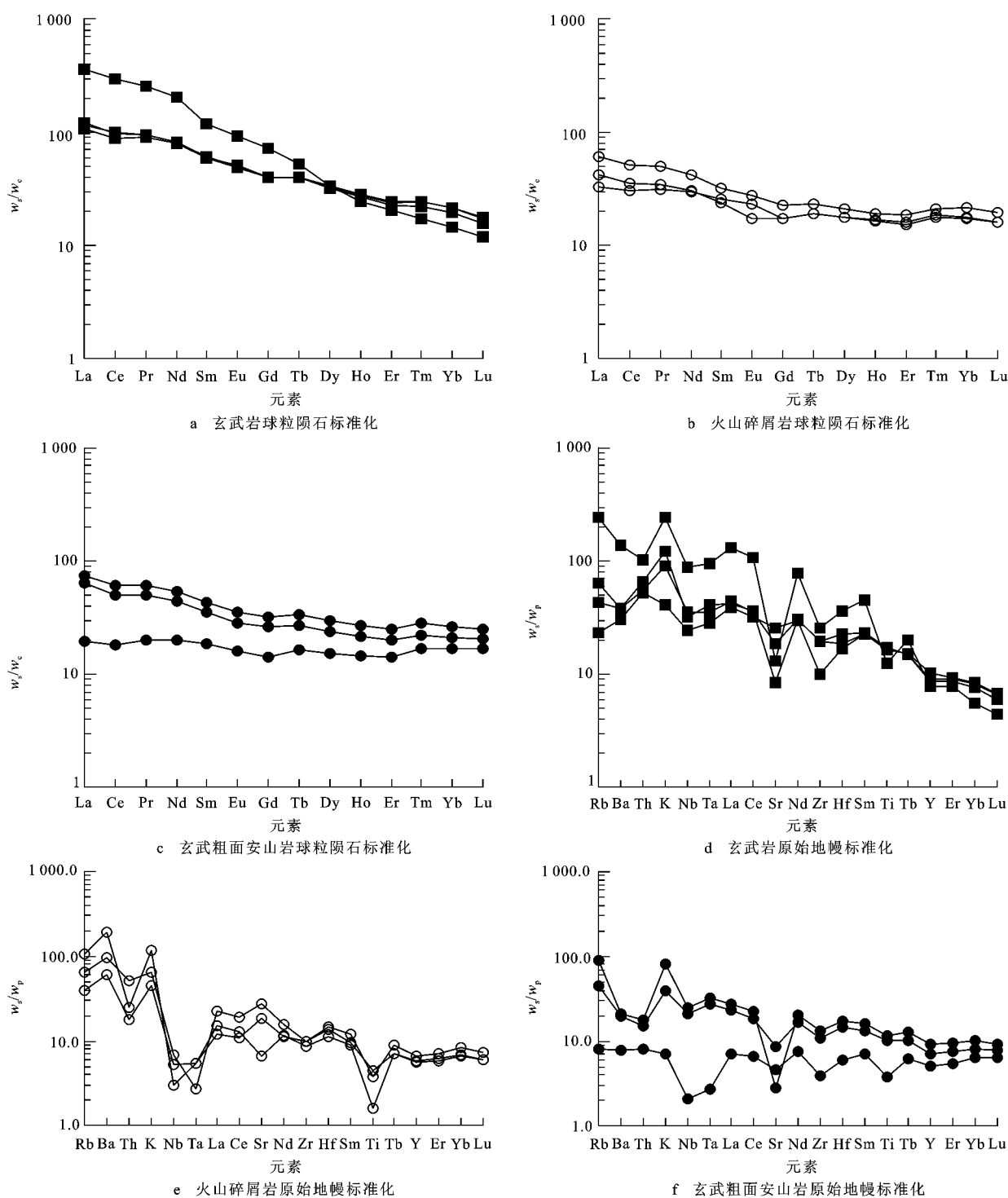
表 3 姜巴斯套组火山岩稀土元素和微量元素分析数据

Tab. 3 Rare Earth Element and Trace Element Abundances Data of Volcanic Rocks in Jiangbasitao Formation

样品	玄武岩				火山碎屑岩			玄武粗面安山岩		
	D7012-2	D7012-3	D7012-4	XI-69-2	XI-62-1	XI-79-4	XI-81-1	XI-70-1	XI-73-1	XI-74-1
La	27.50	28.60	25.40	85.80	9.92	14.60	7.70	4.63	17.70	15.20
Ce	61.00	59.80	54.00	182.00	21.60	31.40	18.50	11.20	37.60	30.40
Pr	9.06	8.95	8.59	24.60	3.26	4.71	2.99	1.92	5.75	4.72
Nd	38.60	38.30	37.60	96.60	14.30	19.80	13.90	9.42	25.30	20.80
Sm	9.40	9.16	9.21	18.20	3.68	4.90	3.90	2.83	6.55	5.40
Eu	2.87	2.96	2.86	5.42	1.00	1.61	1.35	0.93	2.05	1.63
Gd	8.31	8.24	8.25	15.00	3.54	4.61	3.54	2.93	6.56	5.38
Tb	1.48	1.48	1.50	1.96	0.71	0.87	0.71	0.61	1.25	1.02
Dy	8.22	8.40	8.60	8.61	4.49	5.29	4.51	3.90	7.54	6.12
Ho	1.53	1.57	1.62	1.39	0.96	1.08	0.93	0.83	1.54	1.22
Er	3.76	3.97	4.06	3.40	2.68	3.06	2.54	2.37	4.13	3.28
Tm	0.57	0.62	0.63	0.44	0.47	0.54	0.45	0.43	0.72	0.56
Yb	3.36	3.63	3.69	2.46	3.04	3.63	2.91	2.85	4.46	3.60
Lu	0.40	0.44	0.45	0.30	0.41	0.50	0.41	0.43	0.63	0.52
ΣREE	176.06	176.12	166.46	446.18	70.06	96.60	64.34	45.28	121.78	99.85
δEu	0.97	1.02	0.98	0.97	0.84	1.02	1.09	0.98	0.95	0.91
$w(\text{La})_{\text{N}}/$ $w(\text{Yb})_{\text{N}}$	5.52	5.31	4.64	23.51	2.20	2.71	1.78	1.10	2.68	2.85
$w(\text{La})_{\text{N}}/$ $w(\text{Sm})_{\text{N}}$	2.00	1.83	1.80	4.92	0.94	1.02	0.98	0.83	1.19	1.21
$w(\text{Gd})_{\text{N}}/$ $w(\text{Yb})_{\text{N}}$	1.84	1.96	1.73	2.97	1.70	1.87	1.24	1.03	1.70	1.77
Cr	36.90	38.00	127.00	18.30	37.10	43.70	22.00	174.00	92.40	124.00
Ni	61.80	61.80	73.30	11.40	18.20	22.50	22.50	58.1	40.90	39.10
Co	46.60	58.00	37.00	30.90	4.94	18.40	21.60	30.10	57.30	34.50
Rb	38.00	25.90	13.80	145.00	63.80	39.00	23.60	4.88	54.30	27.00
Cs	0.38	0.30	0.40	1.25	0.95	1.40	0.64	1.03	0.03	1.06
Sr	168.00	367.00	513.00	262.00	132.00	546.00	371.00	92.60	55.70	173.00
Ba	250.00	250.00	200.00	902.00	1260.00	637.00	394.00	51.90	138.00	128.00
V	295.00	262.00	242.00	86.50	36.00	119.00	123.00	484.00	331.00	600.00
Sc	31.40	31.60	35.10	5.96	11.00	21.60	24.10	34.40	37.20	32.90
Nb	21.90	24.40	16.60	60.90	2.09	4.72	3.65	1.42	17.00	14.40
Ta	3.52	3.31	3.05	3.52	<0.50	<0.50	<0.50	<0.30	1.21	1.02
Zr	203.00	206.00	106.00	269.00	89.30	103.00	103.00	40.60	137.00	114.00
Hf	6.34	5.25	4.77	10.20	3.15	4.08	3.88	1.69	4.87	4.11
U	0.77	0.63	0.84	2.12	0.90	1.91	0.69	0.32	0.56	0.66
Th	2.23	2.38	2.13	8.09	1.96	4.02	1.43	0.64	1.44	1.21

注:表中元素数据为质量分数/ 10^{-6} 。

见表 3。玄武岩中除了 1 件样品 $w(\Sigma\text{REE})$ 较高 (466.18×10^{-6}), 其余样品 $w(\Sigma\text{REE})$ 变化较小 ($(166.46 \sim 176.12) \times 10^{-6}$), δEu 为 0.97~1.02, $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 为 4.64~5.51。从图 6a 中可看出, 配分曲线均为向右倾的轻稀土元素富集型, 样品无 Eu 异常。从图 6d 中可以看出, 大离子亲石元素相对富集, 高场强元素相对亏损, 具有 K 正异常和 Sr 负异常。



注: w_s —样品质量分数; w_c —球粒陨石质量分数; w_p —原始地幔质量分数; 图中每条曲线代表一个样品。

图6 姜巴斯套组火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线和原始地幔标准化多元素配分曲线

Fig. 6 Chondrite-normalized REE Patterns and PM-normalized Trace Elements

Spider Diagram for Volcanic Rocks in Jiangbasitao Formation

酸性火山碎屑岩 $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $(45.28 \sim 121.78) \times 10^{-6}$, δEu 为 $0.91 \sim 0.98$, $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 为 $1.09 \sim 2.84$ 。岩石球粒陨石标准化稀土元素配分曲线均为轻稀土元素略富集型(图 6b), 无 Eu 异常。样品在不相容元素原始地幔标准化图上

表现出大离子亲石元素相对富集, 高场强元素相对亏损, Nb、Ta 和 Ti 显著亏损(图 6e)。

玄武粗面安山岩 $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $(64.34 \sim 96.60) \times 10^{-6}$, δEu 为 $0.83 \sim 1.08$, $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 为 $1.78 \sim 2.71$ 。样品球粒陨石标准化稀土元素配分曲线均为

轻稀土元素略富集型,无 Eu 异常(图 6c)。从图 6f 中可以看出,样品大离子亲石元素相对富集,高场强元素相对亏损,具有 K 正异常和 Sr 负异常, Ti 弱负异常。

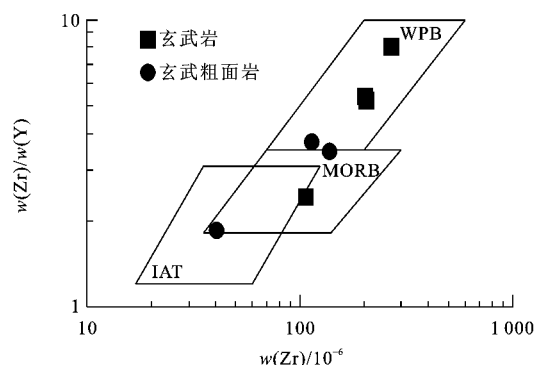
5 讨论

5.1 构造环境

Liegeois 将整个造山带的演化过程从老到新分为活动大陆边缘阶段、同碰撞阶段、碰撞后阶段和板内作用阶段^[19]。活动大陆边缘阶段即大洋板块俯冲阶段;同碰撞阶段表现为板块碰撞挤压-地壳横向缩短和垂向加厚;碰撞后阶段主要表现出陆内造山作用特点;而板内作用阶段则对应了非造山阶段,应力体制上主要以伸展和拉张为主^[19]。造山后岩浆作用主要表现为:①岩浆成分以高钾、钙碱性系列为主,同时富铝或铝饱和;②岩浆作用与巨大的水平剪切运动有关;③岩浆熔融源区与早期的俯冲作用有关。由此作用产生的岩石系列具双峰式火山岩组合、高钾钙碱性甚至钾玄岩趋势、A 型花岗岩^[20]3 个特征。以上岩石特征均与岛弧拉斑-钙碱性火山岩、洋中脊玄武岩(MORB)、洋岛玄武岩(OIB)和大陆溢流玄武岩(CFB)等有显著差异。

姜巴斯套组火山岩具双峰式组合,钾玄岩、高钾钙碱性和钙碱性系列岩石兼而有之。玄武岩以高 $w(\text{TiO}_2)$ (平均 3.18%)、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ (平均 4.60%) 和 $w(\text{K}_2\text{O})$ (3.63%) 为特征;酸性火山碎屑岩则相对低 $w(\text{TiO}_2)$ (平均 0.66%), 玄武粗面安山岩 $w(\text{TiO}_2)$ 为 1.7%, $w(\text{Na}_2\text{O})$ (平均 5.63%) 较高。微量元素方面,该组火山岩具有明显的轻稀土元素和大离子亲石元素富集,火山碎屑岩还保留了岛弧火山岩的痕迹。从图 7 中可以看出,只有 1 件粗面安山岩和 1 件玄武岩落入 MORB 区域,其余样品点均落入了板内环境。从图 8 中可以看出,除了 1 件样品点分别落入了大陆板块内部和大洋玄武岩区,其余样品落入了扩张中心岛屿和大陆裂谷型玄武岩区域。

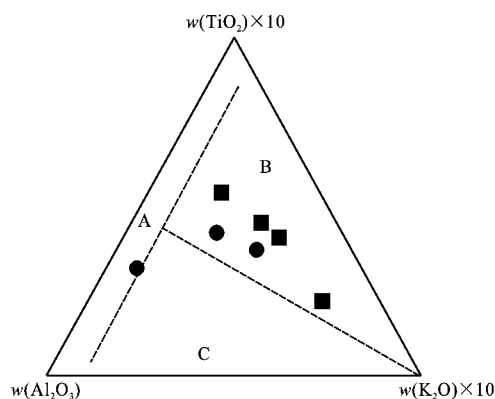
卡拉麦里以北地区广泛出露具有岛弧属性的泥盆纪火山岩,形成于弧前环境的泥盆纪—石炭纪火山碎屑沉积岩系和早石炭世—早二叠世的富钾花岗岩广泛分布^[8]。卡拉麦里以南地区广泛出露老君庙变质岩、中志留世—石炭纪火山碎屑沉积岩系,其中在中志留统岩石中发现图瓦贝化石,并且泥盆纪—早石炭世火山碎屑沉积岩系表现为被动陆缘属性^[1,8]。早泥盆世末期卡拉麦里洋盆洋壳向北侧野马泉陆块之下俯冲,即卡拉麦里地区发育泥盆纪—早石炭世向北(东准噶尔造山带)俯冲消减的有限洋盆^[1]。



注: WPB—板内环境; IAT—岛弧玄武岩。

图 7 姜巴斯套组火山岩 $w(\text{Zr})/w(\text{Y})-w(\text{Zr})$ 图解

Fig. 7 Plot of $w(\text{Zr})/w(\text{Y})-w(\text{Zr})$ Binary Values of Volcanic Rocks in Jiangbasitao Formation



注: A—大洋玄武岩区; B—大陆裂谷型玄武岩区; C—岛弧造山带玄武岩、安山岩区。

图 8 姜巴斯套组火山岩 $w(\text{TiO}_2)-w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{K}_2\text{O})$ 图解

Fig. 8 Plot of $w(\text{TiO}_2)-w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{K}_2\text{O})$ Binary Values of Volcanic Rocks in Jiangbasitao Formation

卡拉麦里构造带北侧有大规模带状展布的花岗岩岩体,包括贝勒库都克岩体、库布苏南岩体、锡矿北花岗岩斑岩体和黄羊山碱性花岗岩岩体。该系列岩体岩石绝大多数为高钾钙碱性系列,且均属于卡拉麦里造山带碰撞后花岗岩,形成于该区主碰撞造山后的拉伸阶段^[21-24]。3 个岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 (283 ± 2) 、 (287 ± 2) 、 (278 ± 11) Ma^[21-23],同时一些研究认为东准噶尔的后碰撞深成岩浆活动范围为 330~265 Ma^[11]。因此,研究区北侧的花岗岩带以及东准噶尔深成岩浆活动无疑佐证了该区在石炭纪末至早二叠世初是一种碰撞后的拉伸环境。

总体上,姜巴斯套组火山岩双峰式组合中,玄武岩和玄武粗面安山岩表现出大陆裂谷(大陆板内拉张区域)岩石特征;酸性火山碎屑岩表现出岛弧或者活动大陆边缘岩石属性。该套火山岩形成于石炭纪

末至早二叠世初期卡拉麦里有限洋盆向北俯冲碰撞后(造山后)的板内拉伸环境,岩石局部继承了碰撞阶段岩浆的地球化学特征。

5.2 地质意义

卡拉麦里有限洋盆在泥盆纪初期拉张形成,最终闭合于早石炭世末期^[25]。从空间位置看,卡拉麦里构造带连接了其北侧的野马泉陆块及其南侧的准噶尔陆块,其中野马泉陆块南缘古火山弧分布以及准噶尔陆块被动大陆边缘沉积岩系的特征均暗示了卡拉麦里有限洋盆向北俯冲消减^[8]。姜巴斯套组双峰式火山岩年龄($(319.8 \pm 2) \text{ Ma}$)也暗示了本区向北俯冲碰撞后的拉伸作用开始于早石炭世末期,到早二叠世伴随有大规模花岗岩岩浆活动。

综上所述,姜巴斯套组岩石形成于早石炭世末期,其中的双峰式火山岩代表了卡拉麦里洋盆闭合造山后的拉张伸展环境。在卡拉麦里洋盆于早石炭世末期最终闭合之后,该区进入了碰撞后拉张伸展阶段。

6 结语

(1)东准噶尔卡拉麦里姜巴斯套组火山岩包括玄武岩-酸性火山碎屑岩-玄武粗面安山岩,为典型的双峰式组合。玄武粗面安山岩中 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄为 $(319.8 \pm 2) \text{ Ma}$,表明该组火山岩形成于早石炭世谢尔普霍夫阶。

(2)姜巴斯套组火山岩钙碱性系列、高钾钙碱性系列和钾玄岩系列岩石兼而有之。岩石的稀土元素配分曲线均为轻稀土元素富集型,无明显 Eu 异常,富集大离子亲石元素,相对亏损高场强元素。

(3)玄武岩和玄武粗面安山岩具大陆裂谷(大陆板内拉张区域)岩石特征;酸性火山碎屑岩表现出岛弧或者活动大陆边缘岩石属性。该套火山岩形成于石炭纪末至早二叠世初期卡拉麦里有限洋盆向北俯冲碰撞后(造山后)的板内拉伸环境,岩石局部继承了碰撞阶段岩浆的地球化学特征。该套岩石代表了早石炭世末期卡拉麦里洋盆闭合造山后的拉张伸展环境。

参考文献:

- [1] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等.试论新疆北部大地构造演化[M].北京:地质出版社,1990.
- [2] 马瑞士,舒良树,孙家齐.东天山构造演化与成矿[M].北京:地质出版社,1997.
- [3] 蔡文俊.新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究[M].北京:地质出版社,1986.
- [4] 何国琦,李茂松,贾进斗,等.论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及

其意义[J].北京大学学报:自然科学版,2001,37(6):852-858.

- [5] 舒良树,王玉净.新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J].地质论评,2003,49(4):408-412.
- [6] 杨品荣,杨文强,蒙有言,等.新疆卡拉麦里造山带下石炭统地层系统及其沉积构造背景[J].地质科技情报,2007,26(5):6-10.
- [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.
- [8] 李锦轶,肖序常,汤耀庆,等.新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J].地质论评,1990,36(4):305-316.
- [9] 于学元,梅厚钧,姜福芝,等.额尔齐斯火山岩和成矿作用[M].北京:科学出版社,1995.
- [10] 张立伟,李江海,于浩业,等.东准噶尔滴西地区石炭系火成岩岩相特征及分布预测[J].岩石学报,2010,26(1):263-273.
- [11] 韩宝福,季建清,宋 彪,等.新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J].岩石学报,2006,22(5):1077-1086.
- [12] 杨高学,李永军,司国辉,等.东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山岩体岩石学特征[J].地球科学与环境学报,2009,31(1):34-41.
- [13] 新疆维吾尔自治区地质局区测队.新疆巴里坤县纸房 L-46-X XXII(纸房幅)1:200 000 区调报告[R].哈密:新疆维吾尔自治区地质局区测队,1977.
- [14] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区岩石地层[M].北京:中国地质大学出版社,1999.
- [15] 杨高学,李永军,佟丽莉,等.新疆东准噶尔卡拉麦里钾质玄武岩的地球化学特征、成因及其构造意义[J].岩石学报,2010,26(8):2345-2356.
- [16] 杨梅珍,吴宏恩,杨高学.东准噶尔卡拉麦里 SSZ 型蛇绿岩地球化学及其构造意义[J].岩石矿物学杂志,2009,28(3):251-263.
- [17] 新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查院.新疆青河、奇台县红柳沟—苏吉泉一带 1:50 000 区调报告[R].乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查院,2008.
- [18] GB/T 14506.28—1993,硅酸盐岩石化学分析方法 X 射线荧光光谱法测定主、次元素量[S].
- [19] Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, et al. Contrasting Origin of Post-collisional High-K Calcalkaline and Shoshonitic Versus Alkaline and Peralkaline Granites: the Use of Sliding Normalization[J]. Lithos, 1998, 45(1/2): 1-28.
- [20] 李晓勇,郭 锋,王岳军.造山后构造岩浆作用研究评述[J].高校地质学报,2002,8(1):68-78.
- [21] 杨高学,李永军,司国辉,等.东准库布苏南岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J].中国地质,2008,35(5):849-858.
- [22] 杨高学,李永军,吴宏恩,等.新疆东准噶尔锡矿北花岗岩斑岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年[J].地质通报,2009,28(5):572-577.
- [23] 杨高学,李永军,司国辉,等.东准卡拉麦里地区贝勒库都克岩体锆石 LA-ICPMS U-Pb 测年及地质意义[J].大地构造与成矿学,2010,34(1):133-138.
- [24] 郭芳放,姜常义,卢荣辉,等.新疆北部卡拉麦里地区黄羊山碱性花岗岩的岩石成因[J].岩石学报,2010,26(8):2357-2373.
- [25] 汪帮耀,姜常义,李永军,等.新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的地球化学特征及大地构造意义[J].矿物岩石,2009,29(3):74-82.