

新疆哈尔里克山琼祖尔开地区变质安山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征

靳刘圆^{1,2}, 朱志新¹, 李平¹, 朱彦菲²

JIN Liuyuan^{1,2}, ZHU Zhixin¹, LI Ping¹, ZHU Yanfei²

1. 新疆地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 新疆大学地质系, 新疆 乌鲁木齐 830046

1. *Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi 830000, Xinjiang, China;*

2. *Department of Geology, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China*

摘要:新疆哈尔里克山广泛出露古生代火山岩,由于缺少可靠的年龄和地球化学数据,其成因及地球动力学背景长期存在争议。为探讨这一问题,选择琼祖尔开地区一套层状分布的火山岩作为研究对象,采集其中的变质安山岩进行U-Pb同位素定年,得到2个样品的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄分别为309.9±4.6Ma(MSWD=2.6, n=9)和304.6±1.8Ma(MSWD=0.84, n=11),代表火山岩的结晶年龄。变质安山岩SiO₂含量为49.96%~62.22%,具有低TiO₂含量(0.94%~1.7%)和高Al₂O₃含量(14.76%~16.25%)的特征。轻、重稀土元素分馏明显,富集轻稀土元素,具负Eu异常(δEu=0.88~0.94);岩石地球化学研究表明,变质安山岩富集大离子亲石元素Th、U、Ce、Rb、Ba,亏损高场强元素Nb、Ta、Ti,具岛弧型火山岩特征。原始岩浆源区可能为地壳熔体和俯冲洋壳熔体组成的混合物,岩浆在上升过程中有地壳物质的加入,岩石成因可能与大洋板块俯冲作用有关。哈尔里克山石炭纪火山活动可能与其南侧康古尔洋盆的演化相关。

关键词:哈尔里克山;琼祖尔开;晚石炭世;LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb年龄;地球化学;变质安山岩

中图分类号:P588.14⁺4;P597⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)02/03-0293-11

Jin L Y, Zhu Z X, Li P, Zhu Y F. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of meta-andesite in Qiongzuerkai area of Harlik Mountain, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(2/3):293-303

Abstract: The studied volcanic rocks are mainly distributed in Qiongzuerkai area of Harlik Mountain. There are no accurate ages and geochemical data for these rocks, The genesis and the geodynamical background of these volcanic rocks have been controversial for a long time. In order to tackle this problem, the authors chose layered volcanic rocks in Qiongzuerkai area of Harlik Mountain as the study object. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of 309.9±4.6Ma(MSWD=2.6, n=9) and 304.6±1.8Ma(MSWD=0.84, n=11) from two meta-andesites suggest that these volcanic rocks erupted in Late Carboniferous. The meta-andesite is characterized by SiO₂ content from 49.96%~62.22%, low TiO₂(0.94%~1.7%) and high Al₂O₃(14.76%~16.25%). The meta-andesite forms a LREE-enriched distribution pattern with a strong contrast between LREE and HREE and the existence of negative Eu anomalies (δEu=0.88~0.94). Geochemical characteristics of meta-andesite suggest that this rock shows island-arc volcanic characteristics, being enriched in LILE such as Th, U, Ce, Rb and Ba and depleted in HFSE such as Nb, Ta and Ti. The mantle source was made up of crust melt, subducted ocean crust melt and so on, with the addition of crustal material during plate subduction. Combined with regional data, the authors consider that the evolution of the Carboniferous volcanic activity might have been associated with the Kanggurtag basin.

收稿日期:2016-04-18;修订日期:2017-01-16

资助项目:国家305项目办公室“十二五”科技支撑计划重点项目《博格达-哈尔里克成矿带铜-金成矿条件研究及靶区评价》(编号:2011BAB06B04)

作者简介:靳刘圆(1989-),男,硕士,工程师,从事造山带、火成岩与成矿研究。E-mail:mushan_2010@sina.cn

Key words: Harlik Mountain; Qiongzuerkai; Late Carboniferous; LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb age; volcanic rock geochemistry; meta-andesite

哈尔里克山位于天山山脉东段,呈南东东走向延伸,北邻莫钦乌拉山,南为吐哈盆地,东接甘肃北山北部,向西与博格达山相连,长约300km,宽30~80km。在大地构造位置上位于北亚造山区^[1]南缘天山造山系中,北侧为西伯利亚地台南缘显生宙陆缘增生造山带,南侧为塔里木地台。区域构造位置上,哈尔里克山北侧由南向北依次为东准噶尔造山系和阿尔泰造山系;南侧自北向南依次为天山造山系和塔里木古陆,天山造山系由南向北可进一步分为托克逊-大南湖古生代岛弧、康古尔塔格石炭纪碰撞带、喀拉塔格-星星峡古生代岛弧、红柳河-白云山-小黄山晚古生代碰撞带和南天山晚古生代碰撞带;西侧为博格达晚古生代弧后盆地^[2-3],也有人称其为裂谷^[4-7];东侧为北山古生代造山系。

研究区构造上属博格达-哈尔里克古生代造山带,该带古生代岩浆活动强烈,发育大量的古生代侵入岩和火山岩。根据前人研究和近年获得的资料,哈尔里克山构造属性上为俯冲型造山带或在活动大陆边缘上发育起来的造山带^[2,8-9],但是该岛弧的形成是卡拉麦里洋盆向南俯冲形成的^[10-13],还是康古尔洋盆向南俯冲形成的,至今尚无定论^[14-15]。

琼祖尔开火山岩研究程度较低,前人一直认为其是早古生代的产物。本文主要针对缺少化石依据的琼祖尔开地区进行火山岩锆石U-Pb年代学和地球化学研究,对其形成时代和构造背景进行讨论,进而为火山岩区构造属性的判别提供佐证。

1 地质背景及采样位置

研究区火山岩主要分布于哈尔里克山南麓中部琼祖尔开地区(图1),区内主要发育下古生界中一下奥陶统恰干布拉克组(O_{1-2q})、中一上奥陶统赛尔万组(O_{2-3s}),以及上古生界下泥盆统大南湖组(D_{1d})、下石炭统姜巴斯套组(C_{1j})、下二叠统阿尔巴萨依组(P_{1a})。区内构造以北西向断裂为主,构成研究区断裂构造的主体,褶皱构造不发育。该套地层呈北西300°方向断片出露。出露宽度2~3km,最宽处(琼祖尔开一带)可达5km。向北西延入北邻区,向南东于琼祖尔开一板房沟一带被板房沟-南山口大断裂截切而变窄。区内(图2)主要为一套浅变

质、糜棱岩化的碎屑岩夹火山岩。火山岩在横向上不稳定,由东向西减少,正常沉积碎屑岩增多。火山岩主要为安山岩、英安岩、安山质-流纹质凝灰岩,多发生糜棱岩化,多与正常沉积碎屑岩间互沉积,具海相火山岩特征。其中,琼祖尔开附近发育一套层状浅变质安山岩,野外为灰绿色,块状构造,变余结构。本次研究的样品即采于该套火山岩中(图3)。

2 样品描述及分析方法

2.1 样品描述

本次研究在剖面的2处变质安山岩中(图2、图3)共采集了8件样品,其中3件样品(Tt-1、Tt-2、T-y-3)的采样位置为北纬43°12′15.3″、东经93°54′34.1″,5件样品(Tt-3~Tt-6、T-y-5)的采样位置为北纬43°12′21.3″、东经93°54′46.2″;6件样品Tt-1~Tt-6用于岩石化学研究,样品T-y-3和T-y-5用于锆石U-Pb同位素测定。

变质安山岩呈灰绿色,变余斑状-基质交织结构、变余少斑状-基质交织结构,块状构造,岩石主要由斑晶、基质组成。斑晶为斜长石、角闪石,近半自形晶,大小一般为0.5~1mm,部分为0.2~0.5mm,少量为1~2mm,定向分布。斜长石呈板状,被绿帘石、黝帘石交代,为假象。角闪石柱状,被绿泥石、绿帘石交代,为假象。基质为斜长石、辉石、隐晶质。斜长石呈半自形板状,大小一般为0.05~0.1mm,部分0.1~0.2mm,少量为0.02~0.05mm,定向-半定向分布,构成交织结构,被方解石、黝帘石交代,多为假象。辉石为半自形柱状,大小一般为0.05~0.2mm,星散状、定向分布,被绿泥石、绿帘石交代,为假象。隐晶质填隙状分布,被绿泥石交代,为假象。岩石轻碎裂,沿裂隙有方解石、石英、不透明矿物充填交代(图4)。

2.2 分析方法

采集的岩石样品在国家地质实验测试中心进行主量、微量元素含量测定。主量元素由荷兰PA-Nalytical生产的Ax-ios仪器利用荧光光谱仪(XRF)测试分析,微量元素分析采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析方法,检测仪器为美国Perkin Elmer公司生产的Elan 9000。主量元素分析精

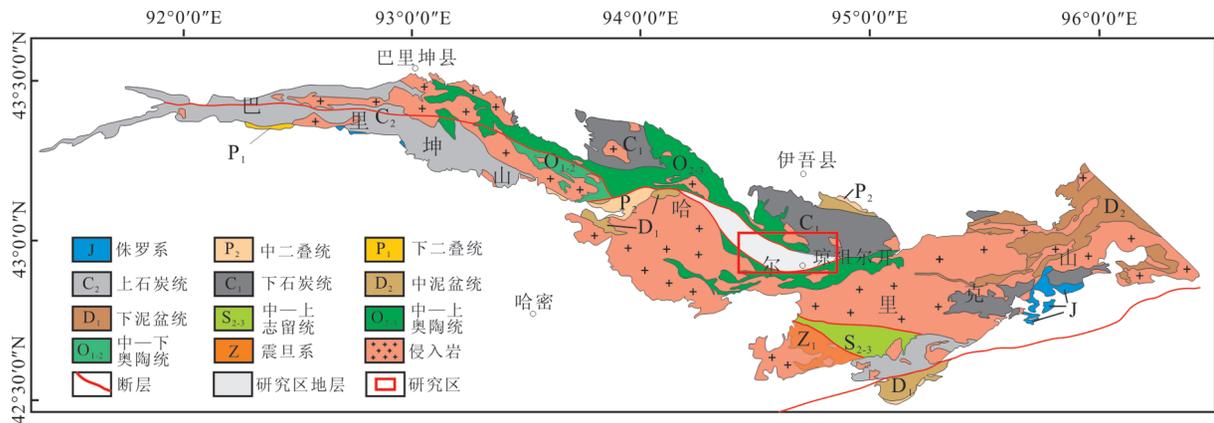


图 1 哈尔里克地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Harlik area

度和准确度优于 5%，微量元素分析精度和准确度优于 10%。

LA-ICP-MS 锆石原位微区 U-Pb 定年及微量元素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。ICP-MS 为 Agilent 7500a，激光剥蚀系统为配备有 193 nm ArF 准分子(Excimer)激光器的 GeoLas 2005。分析中采

用的激光斑束直径为 30 μm，以氦气作为剥蚀物质的载气，同位素组成用标准锆石 91500 作为外标进行校正，元素含量用 NIST610 作外标、Zr 作内标进行校正。锆石的测定数据用 ICPMSDataCal 3.5 程序处理^[16]后给出 Pb 同位素组成、年龄、元素含量等参数，年龄加权平均值计算及 U-Pb 谐和图绘制使用 Isoplot 3.0 程序^[17]完成。

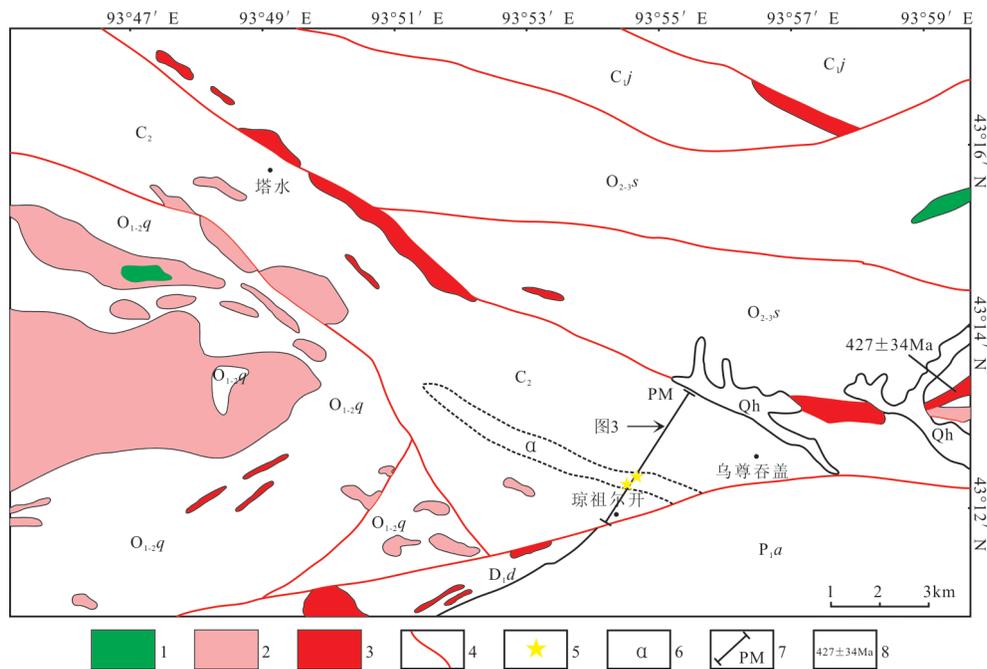


图 2 琼祖尔开地质简图及采样点位置^①

Fig. 2 Geological sketch map of Qiongzuerkai area and sampling sites

1—基性侵入岩;2—中性侵入岩;3—酸性侵入岩;4—断层;5—采样位置;6—火山岩;7—地质剖面;8—侵入岩年龄;O_{1-2q}—中-下奥陶统恰干布拉克组;O_{2-3s}—中-上奥陶统赛尔万组;D_d—下泥盆统大南湖组;C_j—下石炭统姜巴斯套组;P_a—下二叠统阿尔巴萨依组;Qh—全新统冲洪积物;C₂—上石炭统

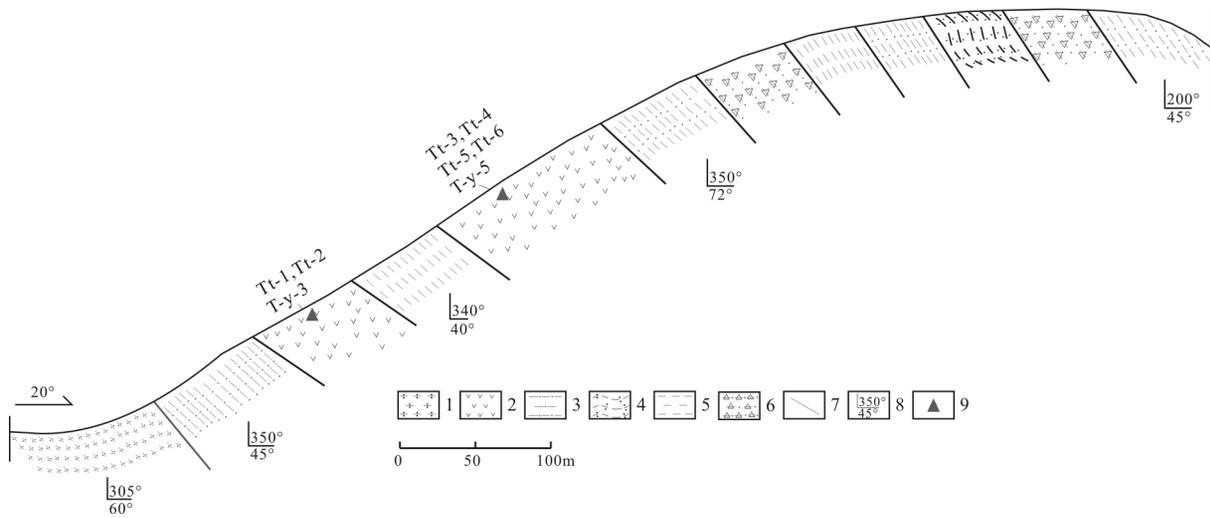


图3 琼祖尔开地质剖面

Fig. 3 Geological section of Qiongzuerkai

1—凝灰质糜棱岩;2—变质安山岩;3—长英质糜棱岩;4—凝灰质千糜岩;5—长英质千糜岩;6—糜棱岩化火山角砾岩;7—断层;8—产状;9—采样位置

3 锆石U-Pb年龄

琼祖尔开地区变质安山岩中分选出的锆石多为无色透明,自形-半自形,多呈粒状,长宽比在1~2之间,粒径为50~130 μm。锆石内部有少量包裹体和裂纹,在LA-ICP-MS分析时,为了不受这些因素的影响,选择内部纯净、没有包裹体和裂隙的部位进行测定。锆石阴极发光(CL)图像显示其具有岩浆振荡环带(图5)。大量研究表明,不同成因的锆石有不同的²³²Th/²³⁸U值,其中,变质成因锆石的²³²Th/²³⁸U值一般小于等于0.1,而岩浆成因的锆石²³²Th/²³⁸U值一般大于0.4^[18-19]。本次测定的2个样品(T-y-3、T-y-5)的U-Pb同位素数据列于表1。这

2个样品的²³²Th/²³⁸U值介于0.58~0.89之间,均大于0.4,说明锆石为岩浆成因。样品T-y-3的9个数据的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为309.9±4.6Ma(95%置信度,MSDW=2.6);样品T-y-5共测得11个数据,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为304.6±1.8Ma(95%置信度,MSDW=0.84)(图6)。这2个年龄代表了琼祖尔开地区变质安山岩的喷发年龄,即变质安山岩喷发时代为晚石炭世。

4 火山岩地球化学特征

4.1 主量元素

变质安山岩样品的主量元素分析结果列于表2。SiO₂含量介于49.96%~62.22%之间,TF_eO₃含量

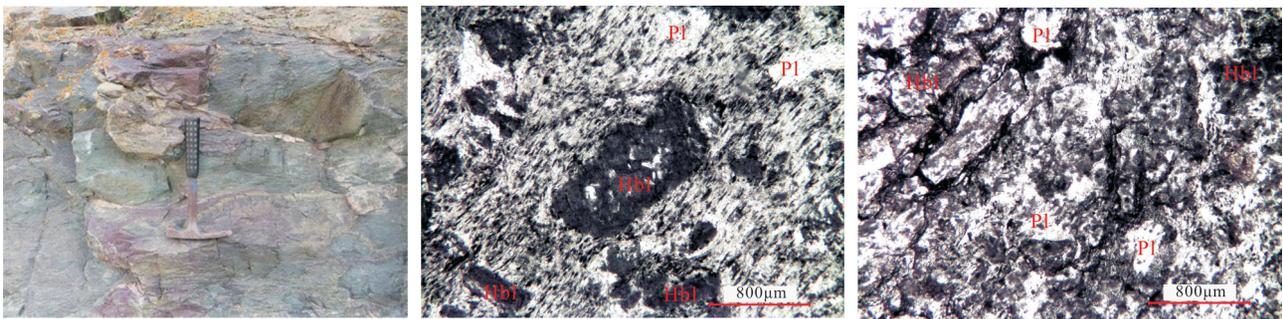


图4 琼祖尔开地区变质安山岩单偏光显微照片

Fig. 4 Microphotographs of meta-andesite in Qiongzuerkai area

Pl—斜长石;Hbl—角闪石

表 1 琼祖尔开地区变质安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic data of meta-andesite from Qiongzuerkai area

分析点号	Pb/10 ⁶	Th/10 ⁶	U/10 ⁶	²³² Th/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
				比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
T-y-3																	
01	80.7	253.2	392.9	0.64	0.0533	0.0014	0.3554	0.0093	0.0493	0.0006	342.7	93.5	308.7	7.0	309.9	3.4	
02	142.5	505.1	738.7	0.68	0.0579	0.0024	0.3875	0.0169	0.0496	0.0006	524.1	90.7	332.6	12.4	312.1	3.6	
03	59.9	180.4	300.2	0.60	0.0522	0.0020	0.3511	0.0143	0.0488	0.0006	294.5	88.9	305.5	10.8	307.4	3.7	
06	26.1	192.3	318.0	0.60	0.0522	0.0020	0.3358	0.0128	0.0476	0.0004	294.5	88.9	293.9	9.7	299.8	2.5	
07	46.9	154.2	233.3	0.66	0.0589	0.0025	0.3929	0.0194	0.0489	0.0006	564.9	90.7	336.5	14.2	307.9	3.6	
08	129.9	351.7	407.6	0.86	0.0511	0.0013	0.3304	0.0084	0.0474	0.0005	255.6	59.2	289.9	6.4	298.7	3.3	
09	125.6	732.0	829.9	0.88	0.0529	0.0027	0.3340	0.0122	0.0478	0.0006	324.1	112.0	292.6	9.3	301.0	3.5	
11	62.8	217.6	349.4	0.62	0.0659	0.0053	0.3868	0.0157	0.0473	0.0007	803.4	165.7	332.0	11.5	298.2	4.1	
T-y-5																	
01	23.7	99.0	169.2	0.59	0.0520	0.0021	0.3403	0.0130	0.0478	0.0004	283.4	90.7	297.4	9.8	301.2	2.6	
02	95.7	308.2	448.4	0.69	0.0565	0.0038	0.3731	0.0244	0.0488	0.0005	472.3	150.0	321.9	18.1	306.9	3.1	
04	91.9	289.2	395.2	0.73	0.0524	0.0029	0.3514	0.0182	0.0491	0.0004	301.9	130.5	305.7	13.7	309.0	2.5	
05	136.5	389.9	436.3	0.89	0.0664	0.0034	0.4325	0.0208	0.0479	0.0005	820.4	106.3	364.9	14.7	301.3	2.9	
06	80.8	229.2	307.4	0.75	0.0524	0.0023	0.3510	0.0148	0.0486	0.0004	301.9	93.5	305.5	11.1	305.8	2.4	
07	52.5	144.6	237.4	0.61	0.0645	0.0026	0.4275	0.0166	0.0485	0.0005	766.7	52.8	361.4	11.8	305.3	2.9	
08	37.8	106.5	174.0	0.61	0.0594	0.0055	0.3703	0.0162	0.0480	0.0007	583.4	201.8	319.9	12.0	302.0	4.4	
10	96.0	427.2	627.4	0.68	0.0559	0.0014	0.3721	0.0090	0.0485	0.0004	450.0	55.6	321.2	6.7	305.2	2.8	
11	37.6	242.4	311.1	0.78	0.0581	0.0019	0.3821	0.0111	0.0482	0.0006	531.5	75.0	328.6	8.1	303.2	3.6	
12	94.1	309.3	421.2	0.73	0.0587	0.0033	0.3860	0.0183	0.0485	0.0010	566.7	120.4	331.5	13.4	305.4	6.3	
13	126.2	602.9	868.9	0.69	0.0501	0.0012	0.3267	0.0079	0.0478	0.0006	198.2	57.4	287.1	6.1	301.2	3.8	

注:样品测试在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成

为 6.54%~11.66%, MgO、Al₂O₃ 含量分别为 1.37%~5.56%、14.76%~16.3%, Mg[#] 值为 29.53~49.47 (平均 37.37%), 低于原始岩浆的参考数值 65^[20], 表明区内变质安山岩可能是原始岩浆经历一定程度的分异作用后的产物。具有相对富钠 (Na₂O=1.83%~6.37%) 的特

征, Na₂O/K₂O 值介于 1.3~15.97 之间。在 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图中, 样品点落于亚碱性系列的安山岩、玄武安山岩区域 (图 7); 从 SiO₂-K₂O 图 (图 8) 可以看出, 样品点多数落于低钾钙碱性系列区内, 反映研究区变质安山岩为一套亚碱性系列的火山岩。

表 2 琼祖尔开地区变质安山岩主量元素组成

Table 2 Major element compositions of meta-andesite in Qiongzuerkai area

编号	Tt-1	Tt-2	Tt-3	Tt-4	Tt-5	Tt-6	编号	Tt-1	Tt-2	Tt-3	Tt-4	Tt-5	Tt-6
SiO ₂	59.65	62.22	55.04	54.91	49.96	50.5	Na ₂ O	6.29	6.37	1.83	1.87	4.95	4.99
TiO ₂	0.96	0.94	1.54	1.51	1.70	1.70	K ₂ O	0.63	0.50	1.41	1.39	0.31	0.36
Al ₂ O ₃	14.76	15.15	16.24	16.12	16.30	16.25	P ₂ O ₅	0.33	0.32	0.37	0.38	0.26	0.28
Fe ₂ O ₃	2.50	2.62	3.13	2.82	7.24	7.28	烧失量	3.62	2.84	4.47	4.40	4.56	4.61
FeO	3.81	3.52	4.87	5.23	3.68	3.93	总量	99.16	100.27	99.83	99.29	99.78	100.62
MnO	0.13	0.12	0.18	0.17	0.12	0.12	TFe ₂ O ₃	6.74	6.54	8.55	8.64	11.34	11.66
MgO	1.44	1.37	2.11	2.17	5.55	5.56	Mg [#]	29.93	29.53	33.04	33.43	49.47	48.82
CaO	5.04	4.30	8.64	8.32	5.15	5.04	Na ₂ O/K ₂ O	9.98	12.74	1.30	1.35	15.97	13.86

注:样品测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成

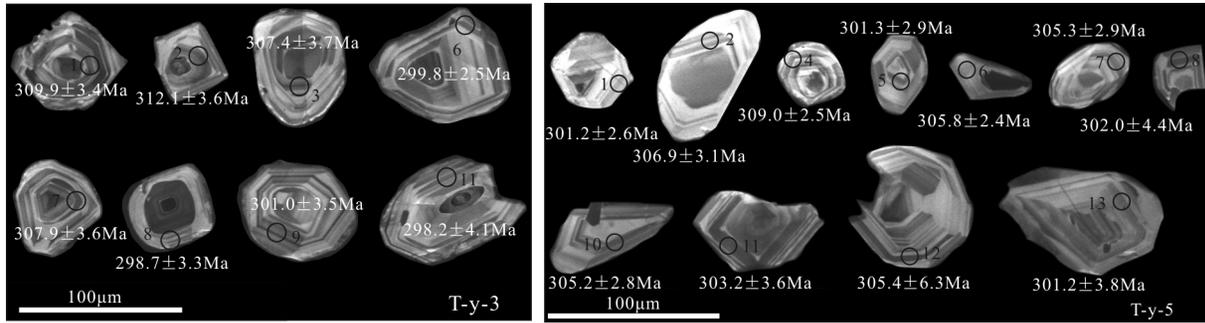


图5 琼祖尔开地区变质安山岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 5 Zircon cathodoluminescences (CL) image of meta-andesite in Qiongzuerkai area

4.2 稀土元素

琼祖尔开地区变质安山岩稀土元素配分模式变化规律较一致,稀土元素的总量变化不大,介于 $103.07 \times 10^{-6} \sim 132.43 \times 10^{-6}$ 之间, LREE(轻稀土元素)介于 $86.53 \times 10^{-6} \sim 109.48 \times 10^{-6}$ 之间, HREE(重稀土元素)介于 $16.54 \times 10^{-6} \sim 24.01 \times 10^{-6}$ 之间, LREE/HREE值介于 $4.36 \times 10^{-6} \sim 5.74 \times 10^{-6}$ 之间, $(La/Yb)_N$ 值介于4.06~5.73之间。稀土元素配分曲线呈明显的右倾型,轻、重稀土元素分馏明显,富集轻稀土元素(图9-a)。样品 δEu 介于0.88~0.94之间,具有弱的负Eu异常,与岛弧火山岩的稀土元素分布型式相似^[23-24],表明它们经历了低程度的斜长石分离结晶作用。

4.3 微量元素

从原始地幔标准化微量元素蛛网图解可以看

出,琼祖尔开地区火山岩相对富集Th、Sr、Ce、Rb、Ba等大离子亲石元素(LILE)、亏损Nb、Ta、Ti等高场强元素(图9-b)。 $(Rb/Yb)_N$ 值均大于1,总体形态与Pearce^[26]的岛弧玄武岩线相近。 $(Rb/Yb)_N$ 值介于3.24~10.91之间,均大于1,表现为高场强元素(HFS)丰度低,低场强元素(LFS)丰度高的特征,与典型的弧后盆地(Parece Vela盆地)玄武岩类似,岩浆源区形成于富集型地幔(造山带); Nb^* 值为0.25~0.79,均小于1,为Nb亏损,说明岩浆结晶分离过程中,有大陆物质或花岗质岩石的参与。另外,Sr元素的富集,说明岩石的形成可能与消减作用密切相关。综上,通过对岩石微量元素特征分析,认为研究区火山岩形成于俯冲消减带的火山弧(弧后盆地)环境。

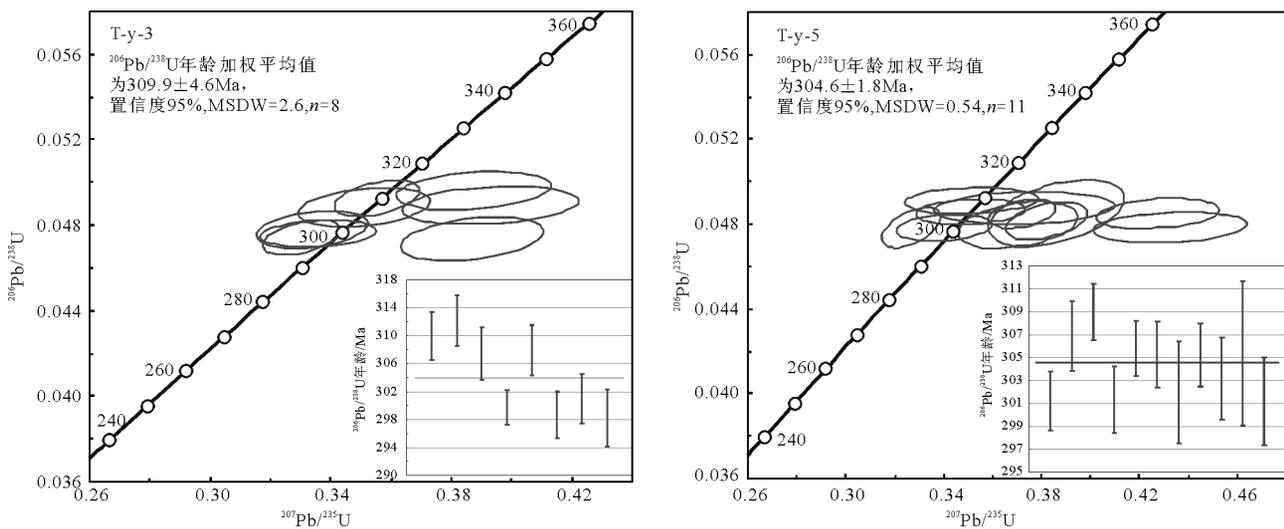


图6 琼祖尔开地区变质安山岩的锆石U-Pb谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagrams of zircon in the meta-andesite from Qiongzuerkai volcanic rocks

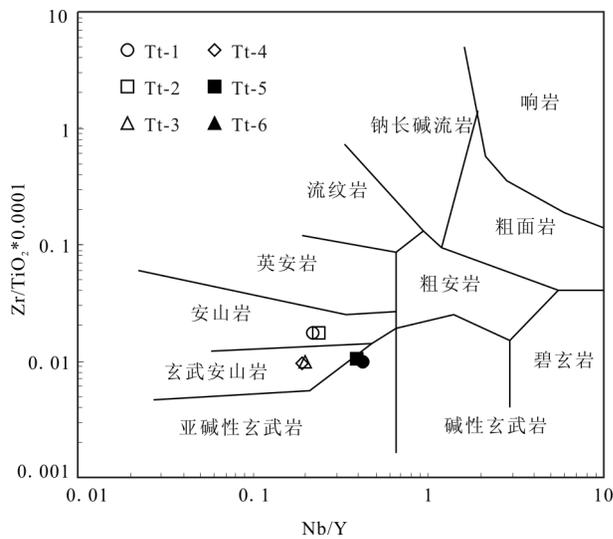


图 7 琼祖尔开地区变质安山岩 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解^[21]

Fig. 7 Nb/Y-Zr/TiO₂ diagram of meta-andesite in Qiongzuerkai area

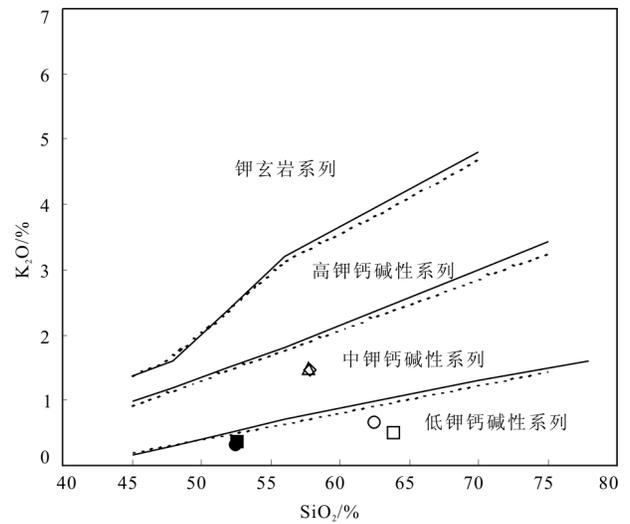


图 8 琼祖尔开地区变质安山岩 SiO₂-K₂O 图解^[22](图例同图 7)

Fig. 8 SiO₂-K₂O diagram of meta-andesite in Qiongzuerkai area

5 讨论

5.1 火山岩形成的构造环境

利用火山岩的主量、微量元素特征判别火山岩形成的构造背景已经被证实卓有成效,琼祖尔开地区变质安山岩以低钾钙碱性系列火山岩为主(图 8),富集轻稀土元素,亏损重稀土元素和高场强元素,尤其亏损 Nb、Ta 元素,具有岛弧火山岩的特

征。在 Sc/Ni-La/Yb 图(图 10)中,6 个样品点均落入演化的大洋弧-大陆边缘弧安山岩区。在 Th-La/Yb 图(图 11)中,样品点也落入演化的大洋弧-大陆边缘弧安山岩区。在 SiO₂-Nb 图(图 12)中,样品点均落入岛弧岩浆区域。此外,研究区火山岩的 Ta 含量为 $6.59 \times 10^{-6} \sim 9.55 \times 10^{-6}$ ($\leq 12 \times 10^{-6}$), Nb 含量为 $0.47 \times 10^{-6} \sim 0.72 \times 10^{-6}$ ($\leq 0.7 \times 10^{-6}$), Nb/La 值为 $0.34 \sim 0.6$ (< 1), Hf/Ta 值为 $6.03 \sim 8.38$ (> 5), La/Ta 值

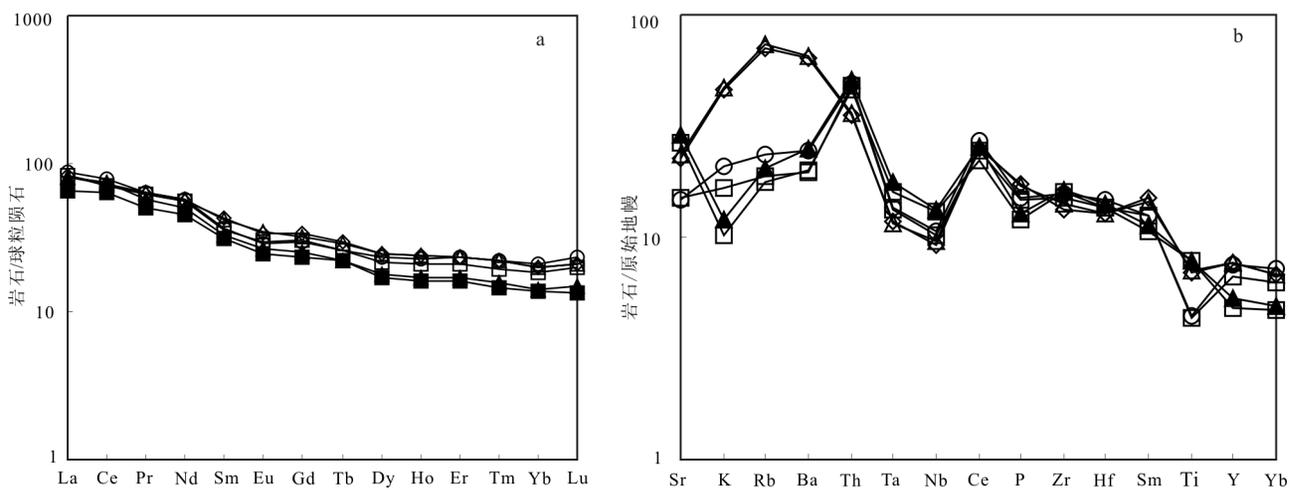


图 9 琼祖尔开地区变质安山岩稀土元素配分曲线(a)

及微量元素蛛网图(b)^[23](图例同图 7)

Fig. 9 REE patterns (a) and trace element spider diagram (b) of meta-andesite in Qiongzuerkai area

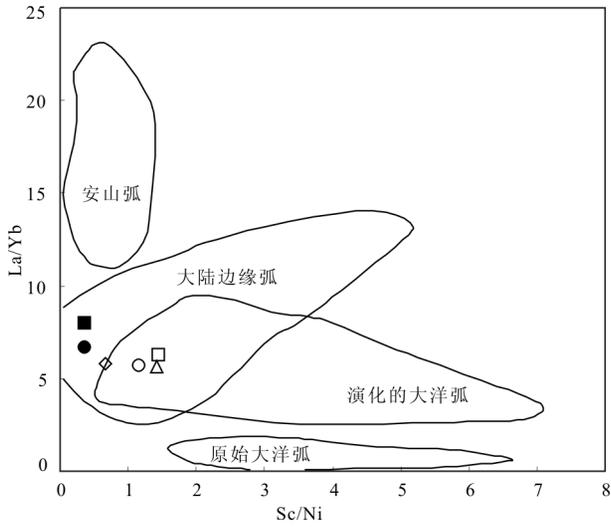


图10 琼祖尔开地区变质安山岩 Sc/Ni-La/Yb 图^[27]
(图例同图7)

Fig. 10 Sc/Ni-La/Yb diagram of meta-andesite in Qiongzuerkai area

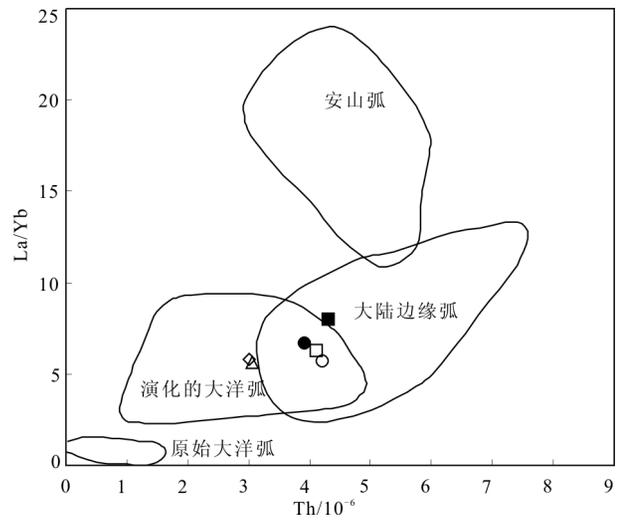


图11 琼祖尔开地区变质安山岩 Th-La/Yb 图^[28]
(图例同图7)

Fig. 11 Th-La/Yb diagram of meta-andesite in Qiongzuerkai area

为 23.48~40.63 (>15), Th/Yb 值为 0.9~1.77 (>0.1), Th/Nb 值为 0.42~0.57 (>0.07), Nb/La 值为 0.34~0.6 (<0.8), Hf/Th 值为 1.01~1.31 (<8), 表明区内火山岩为碰撞型弧区火山岩^[30]。

5.2 岩浆来源

Nb、Ta、Zr 及 Hf 为强不相容元素,在侵蚀和变质作用过程中比较稳定,可以示踪原始岩浆源区的

特征^[25]。琼祖尔开地区火山岩 La/Nb 值为 1.68~2.96, Zr/Nb 值为 19.16~23.44, Th/Nb 值为 0.42~0.57, Th/La 值为 0.15~0.25 (表3), 表明其特征介于原始地幔和大陆地壳之间,并接近大陆地壳与 Gloss 来源^[25,31]。Nb/Ta 值也可以用来判断岩浆源区特征及演化过程^[32-33]。本区火山岩的 Nb/Ta 值为 13.39~14.55, 低于原始地幔 (17.39^[25]), 而更接近大陆地壳的比值 (Nb/Ta=11~12^[31]), 暗示源区有深海沉积物或地壳物质的加入, 岩浆源区可能由地壳熔体和洋壳熔体组成。Nb/U (5.99~13.39, 平均 8.52) 值接近大陆地壳而远离原始地幔 (大陆地壳的 Nb/U 值为 8.93^[31], 原始地幔的 Nb/U 值为 33.59^[25]), 表明其原始岩浆在形成后的上升俯冲消减过程中混入了陆壳碎片和沉积物质, 岩石成因与俯冲作用有关^[34-35]。Ba/Th 值小于 300 (33.17~149.17), 暗示其受到含水流体影响的程度比较低。

结合锆石微量元素特征得出,琼祖尔开地区火山岩岩浆源区可能是由俯冲形成的基性洋壳熔体、地壳熔体等混合组成,具体组成成分需进一步分析。

5.3 地质意义

哈尔里克山地层主要由沉积岩和火山岩组成,2006年在该区开展的 1:5 万区域地质调查中,将琼祖尔开地区划为中—晚奥陶世塔水组^①,但仅以与

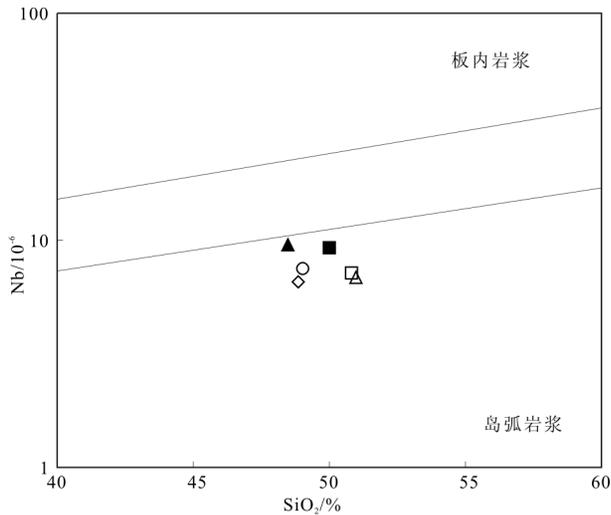


图12 琼祖尔开地区变质安山岩 SiO₂-Nb 图^[29]
(图例同图7)

Fig.12 SiO₂-Nb diagram of metamorphism andesite in Qiongzuerkai area

表 3 琼祖尔开地区变质安山岩微量和稀土元素组成
Table 3 Trace element and REE compositions of meta-andesite in Qiongzuerkai area

编号	Tt-1	Tt-2	Tt-3	Tt-4	Tt-5	Tt-6
	10^{-6}					
La	20.60	19.50	19.00	19.50	15.50	19.40
Ce	48.60	43.80	45.10	44.40	39.00	45.40
Pr	6.02	5.87	6.03	5.97	4.76	5.52
Nd	27.00	26.30	27.10	26.20	21.10	23.50
Sm	5.57	5.51	6.37	6.64	4.74	4.97
Eu	1.69	1.72	2.02	1.98	1.43	1.53
Gd	6.09	6.32	6.63	6.99	4.83	5.17
Tb	0.98	0.96	1.08	1.11	0.82	0.82
Dy	5.97	5.45	6.32	6.27	4.31	4.52
Ho	1.30	1.20	1.35	1.36	0.92	0.96
Er	3.86	3.50	3.89	3.83	2.63	2.79
Tm	0.56	0.50	0.57	0.57	0.37	0.40
Yb	3.59	3.09	3.36	3.35	2.32	2.43
Lu	0.60	0.50	0.53	0.53	0.34	0.38
Rb	15.00	12.00	47.20	44.90	11.20	12.90
V	172.00	136.00	452.00	449.00	139.00	176.00
Cr	4.20	4.10	3.06	3.01	3.92	4.30
Ni	1.11	1.05	1.14	1.10	0.69	0.79
Co	5229.82	4150.65	11704.83	11538.81	2573.40	2988.47
Sc	7.51	7.23	6.84	6.59	9.24	9.55
Pb	0.56	0.54	0.47	0.48	0.66	0.72
Ba	312.00	315.00	499.00	480.00	562.00	612.00
Th	27.00	26.30	27.10	26.20	21.10	23.50
U	1440.42	1396.77	1615.01	1658.66	1134.87	1222.17
Nb	176.00	168.00	158.00	150.00	178.00	183.00
Ta	4.53	4.23	3.94	3.93	4.19	4.34
Sr	5755.20	5635.30	9232.30	9052.45	10191.50	10191.50
Nd	34.00	30.50	34.60	34.80	22.00	24.40
Zr	0.88	0.89	0.94	0.88	0.91	0.92
Hf	132.43	124.22	129.35	128.70	103.07	117.79
Y	109.48	102.70	105.62	104.69	86.53	100.32
δEu	22.95	21.52	23.73	24.01	16.54	17.47
ΣREE	4.77	4.77	4.45	4.36	5.23	5.74
ΣLREE	3.76	3.94	3.73	3.68	4.67	5.19
ΣHREE	4.12	4.53	4.06	4.18	4.79	5.73
L/R	20.60	19.50	19.00	19.50	15.50	19.40
$(\text{Ce}/\text{Yb})_n$	48.60	43.80	45.10	44.40	39.00	45.40
$(\text{La}/\text{Yb})_n$	6.02	5.87	6.03	5.97	4.76	5.52

注:样品测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成

临区岩性对比为依据,缺乏化石及火山岩 U-Pb 年龄依据。本次研究,在区内变质安山岩中获得 2 组 U-Pb 年龄,分别为 $306.5 \pm 4.5\text{Ma}$ 和 $305.4 \pm 2.2\text{Ma}$,均为晚石炭世晚期,说明该地层形成于晚石炭世晚期,而非中—晚奥陶世。至于该地层的具体归属,需要进一步研究。

哈尔里克山北缘卡拉麦里一带洋壳残片代表的洋盆北侧发育泥盆纪—石炭纪中酸性火山岩和火山碎屑岩组成的火山弧,熔岩以安山岩和英安岩为主,其次为流纹岩,且岩石多富钾,属钙碱性岩石系列,总体反映活动大陆边缘性质。南侧发育中志留世—早石炭世被动陆缘沉积岩系,且洋盆于早石炭世封闭^[36],说明卡拉麦里残余洋壳代表的有限洋盆仅存在由南向北的单向俯冲,而哈尔里克石炭纪火山弧位于其南,不可能同属一个沟弧盆体系。另外,新疆北部地区洋盆的俯冲和地体的拼贴碰撞造山过程在晚石炭世之前就已经完成^[37-38],从而佐证了研究区火山弧不可能由卡拉麦里洋盆俯冲形成。

在早古生代时康古尔塔格一带洋壳残片代表的洋盆向北俯冲,形成奥陶纪—早志留世岛弧^[39],早志留世以后,随着吐哈盆地南缘活动陆缘逐渐向南迁移哈尔里克地区成为弧后区,于中二叠世时洋盆封闭^[40],琼祖尔开地区火山岩的形成环境与其吻合。夏芳等^[41]通过对哈尔里克山地区侵入岩的研究表明,与哈尔里克岩浆弧相配套的洋盆位于其南侧,从而佐证了康古尔洋盆与哈尔里克山火山弧构造意义上的相关性。

综上所述表明,哈尔里克岛弧不是卡拉麦里一带洋壳残片代表的洋盆俯冲所形成,而是与研究区南侧存在的泥盆纪—石炭纪向北俯冲的康古尔洋盆有关。区内石炭纪火山岩显示岛弧火山岩的特征,但火山岩的 Zr/Y 值为 $4.3 \sim 8 (>4)$, Zr 含量为 $150 \times 10^{-6} \sim 183 \times 10^{-6}$ (大于 130×10^{-6}); 显示有一定的板内火山岩特征。结合哈尔里克山南北两侧石炭纪火山沉积岩系特征表明,哈尔里克山在石炭纪末属于弧陆碰撞阶段,构造属性上应为弧后区,但依然为火山弧性质,而非弧后盆地。

6 结 论

(1)在哈尔里克山琼祖尔开地区火山岩组合变质安山岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分

别为 $309.9 \pm 4.6\text{Ma}$ 和 $304.6 \pm 1.8\text{Ma}$, 说明区内火山岩形成于晚石炭世末期。结合其他资料, 认为该区地层属于晚石炭世, 而不是中一晚奥陶世地层。

(2) 研究区火山岩相对富集大离子亲石元素 (Th、U、Ce、Rb、Ba) 和轻稀土元素, 相对亏损高场强元素和重稀土元素, 具有 Nb、Ta 负异常, 形成于活动大陆边缘的火山弧环境。

(3) 哈尔里克山在石炭纪末属于弧陆碰撞阶段, 构造属性上应为弧后区, 但依然为火山弧性质, 而非弧后盆地。

(4) 哈尔里克岛弧不是卡拉麦里一带洋壳残片代表的洋盆俯冲所形成, 而是与研究区南侧存在的泥盆纪—石炭纪向北俯冲的康古尔洋盆有关。

致谢: 新疆地调院、新疆第一区域地质调查大队在野外工作中给予的帮助, 审稿人对论文进行了详细审阅并提出宝贵的修改意见, 在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 148-168.
- [2] 孙桂华, 李锦轶, 高立明, 等. 新疆东部哈尔里克山闪长岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 463-469.
- [3] 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 等. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 895-909.
- [4] 楼法生, 唐春花. 新疆巴里坤红井子地区石炭纪火山岩及其大地构造环境分析[J]. 新疆地质, 1995, 13(1): 67-76.
- [5] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 305-317.
- [6] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 585-597.
- [7] 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 博格达裂谷双峰式火山岩地质年代学与 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学特征[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1215-1224.
- [8] 赵明, 舒良树, 王赐银. 东疆哈尔里克变质地带变质作用特征及形成构造环境研究[J]. 高校地质学报, 1997, 3(1): 40-50.
- [9] 成守德, 张湘江. 新疆大地构造基本格架. 新疆地质[J]. 2000, 18(4): 293-296.
- [10] 刘德全, 唐延龄, 周汝洪. 新疆北部古生代地壳演化及成矿系列[J]. 矿床地质, 1992, 11(4): 307-314.
- [11] 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993: 1-225.
- [12] 王赐银, 舒良树, 赵明, 等. 东天山北部哈尔里克晚古生代推覆构造与岩浆作用研究[J]. 高校地质学报, 1996, 2(2): 198-206.
- [13] 王宗秀, 周高志, 李涛. 对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考和认识[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 683-691.
- [14] 周济元, 茅燕石, 黄志勋, 等. 东天山古大陆边缘火山地质[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994: 1-280.
- [15] 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 等. 新疆康古尔-黄山对接碰撞带的存在、成矿模式及成矿预测[J]. 火山地质与矿产, 2001, 22(4): 252-263.
- [16] Liu Y S, Hu Z C, Gao S. In-situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [17] Ludwig K R. ISOPLLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4: 1-70.
- [18] Hsokin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18: 423-439.
- [19] 吴元保, 郑水飞. 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, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [20] Wendlandt R F, Altherr R, Neumann E R, et al. Petrology, geochemistry, isotopes[J]. Developments in Geotectonics, 1995, 25: 47-60.
- [21] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magama series and their differentiation products using immobile elements[J]. Chemical Geology, 1977, 20: 325-343.
- [22] Peccerillo A, Talor A R. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1976, 58: 63-81.
- [23] Henderson P. Rare earth element geochemistry[M]. New York: Elsevier Science Publications B V., 1984.
- [24] Wilson M. Igneous petrogenesis a global tectonic approach[M]. London: Unwin Hyman, 1989: 1-466.
- [25] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins[C]// Soc. London Spcc. Pub., 1989, 42: 313-345.
- [26] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[C]// Andesites. Chichester, Wiley, 1985: 523-548.
- [27] Bailey J C. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites[J]. Chemical Geology, 1981, 32: 139-154.
- [28] Condie K C. Geochemistry and tectonic setting of early proterozoic supracrustal rocks in the southwestern united states[J]. J. Geology, 1986, 94: 845-861.
- [29] Pearce J A, Gale G H. Identification of ore-deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks [C]// Volcanic processes in ore genesis. Geology Society, 1977, 7: 14-24.
- [30] Condie K C. Geochemical change in basalts and andesites across the archaean-proterozoic boundary identification and significance[J]. Lithos, 1989, 23: 1-18.

- [31] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford UK: Blackwell, 1985:1-312.
- [32] Barth M G, Mc Douough W F, Rudnick R L. Tracking the budget of Nb and Ta in the Continental crust[J]. Chemical Geology, 2000,165:197-213.
- [33] Pfander J A, Munker C, Stracke A, et al. Nb/Ta and Zr/ Hf in ocean island basalts—Implications for Crust mantle differentiation and the fate of Niobium[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007,254:158-172.
- [34] Stolz A J, Vame R, Davies G R. Magma source components in an arc-continent collision zone: The Flores-Lembata sector, Sunda Arc, Indonesia[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1990, 105:585-601.
- [35] Baker T, Ash C H, Thompson J F H. Geological setting and characteristics of Red Chris porphyry copper-gold deposits, north-western British Columbia[J]. Exploration and Mining Geology, 1997,6: 297-316.
- [36] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. 地质论评, 2004,50(3):308-309.
- [37] Han B F, Guo Z J, Zhang C, et al. Age, Geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China[J]. Geological Society of America Bulletin, 2010,122:627-640.
- [38] 郭召杰. 新疆北部大地构造研究中几个问题的评述——兼论地质图在区域构造研究中的重要意义[J]. 地质通报, 2012,31(7): 1054-1060.
- [39] 孙桂华. 新疆哈尔里克山古生代以来构造变形及构造演化[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2007:179-198.
- [40] 木合塔尔·扎日, 吴兆宁, 吴昌志. 东天山板块缝合区(带)的构造演化与多金属矿床成矿的关系[J]. 地球科学, 2010,35(2):250.
- [41] 夏芳, 赵同阳, 徐仕琪, 等. 新疆哈尔里克地区侵入岩浆构造序列的确定及构造意义[J]. 新疆地质, 2012,30(4):392-398.
- ① 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 新疆哈密市口门子南一带 1:5 万区域地质矿产调查报告(K46E005015、K46E005016、K46E005017、K46E006016、K46E006017). 乌鲁木齐: 新疆自治区 1:5 万项目管理办公室, 2006.