

西天山玉希莫勒盖达坂玄武安山岩—高钾玄武安山岩—粗安岩组合的发现及其地质意义*

罗勇^{1,2} 牛贺才^{1**} 单强¹ 张兵³ 周昌平³ 杨武斌^{1,2} 于学元¹

LUO Yong^{1,2}, NIU HeCai^{1**}, SHAN Qiang¹, ZHANG Bin³, ZHOU ChangPing³, YANG WuBin^{1,2} and YU XueYuan¹

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第七地质大队, 乌苏 833000

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. No. 7 Geological Survey Team, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Wusu 833000, China

2008-11-28 收稿, 2009-03-10 改回.

Luo Y, Niu HC, Shan Q, Zhang B, Zhou CP, Yang WB and Yu XY. 2009. Discovery of the basaltic andesite—high-K basaltic andesite—trachyandesite association in the Yuximolegai Daban, West Tianshan and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 934–943

Abstract Within the Yuximolegai Daban of eastern Awulale, West Tianshan, the Dahalajunshan Formation is mainly composed of andesitic (trachyandesitic)—dacitic (trachytic-trachydacitic) lavas and volcanoclastic rocks. Based on the petro-geochemical features, an association of calc-alkaline basaltic andesite—high-K calc-alkaline basaltic andesite—trachyandesite (shoshonite series) has been recognized from the upper part of volcanic rocks in the Dahalajunshan Formation. The trace element characteristics show that three kinds of volcanic rocks were formed in the island arc environment. The generation of the calc-alkaline basaltic andesite was related to the slab subduction, while the high-K calc-alkaline basaltic andesite and trachyandesite were related to the asthenospheric upwelling induced by the subducted slab break off. The existence of this association implies that the tectonic system has been changed from compression to extension during Late Carboniferous due to the the subducted slab break off. This association is quite similar to those related to the Cu-Au mineralization in the world, for instance, that in Papua New Guinea, indicating that the Late Carboniferous has a better Cu-Au ore-forming prospect in this region.

Key words Yuximolegai Daban; Calc-alkaline basaltic andesite; High-K calc-alkaline basaltic andesite; Trachyandesite; Late Carboniferous

摘要 在阿吾拉勒东段玉希莫勒盖达坂地区大哈拉军山组主要是一套以安山质(粗安质)-英安质(粗面质-粗面英安质)火山熔岩和火山碎屑岩为主的火山岩建造。根据岩石地球化学特征,本文在大哈拉军山组火山岩的上部厘定出了钙碱性玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩(橄揽安粗岩系)组合。微量元素地球化学特征显示,三类岩石形成于岛弧环境,钙碱性玄武安山岩的形成与板片俯冲作用有关,而高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩的形成则与俯冲板片断裂诱发的软流圈上涌作用有关。钙碱性玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合的存在说明阿吾拉勒东段在晚石炭世由于俯冲板片的断裂,构造体制由挤压转变为伸展。玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组上部的火山岩组合与世界许多著名铜-金矿集区(如 Papua New Guinea)的火山岩组合相似,显示该地区晚石炭世具有良好的铜、金成矿条件。

关键词 玉希莫勒盖达坂; 钙碱性玄武安山岩; 高钾钙碱性玄武安山岩; 粗安岩; 晚石炭世

中图法分类号 P588.144

* 本文由中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-107)和“十一五”国家科技支撑计划(2006BAB07B02-03)联合资助。

第一作者简介: 罗勇,男,1983年生,博士研究生,地球化学专业

** 通讯作者: 牛贺才,男,1963年生,研究员,地球化学专业, E-mail: niuhe@gig.ac.cn

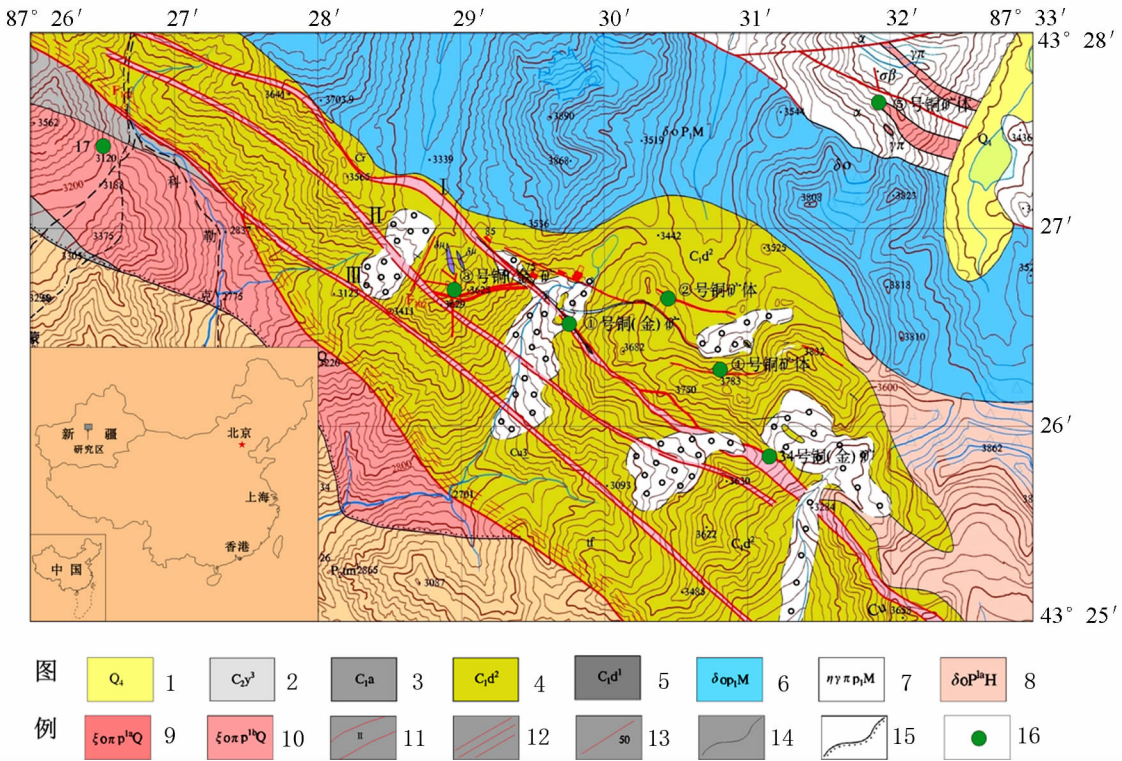


图1 玉希莫勒盖达坂矿区地质简图

1-全新统;2-伊什基里克组;3-阿克苏组;4-大哈拉军山组上段;5-大哈拉军山组下段;6-英云闪长岩;7-斑状二长花岗岩;8-细晶石英正长斑岩;9-粗斑石英正长斑岩;10-石英正长斑岩;11-矿化蚀变带及编号;12-韧性断层、糜棱岩带;13-断层;14-地层界限;15-不整合界限;16-铜(金)矿体

Fig. 1 Geological sketch map of Yuximolegai Daban

1-Holocene; 2-Yishenjilike Formation; 3-Akeshake Formation; 4-Upper Dahalajunshan Formation; 5-Lower Dahalajunshan Formation; 6-Tonalite; 7-Porphyritic monzo-granite; 8-Fine quartz syenitic porphyry; 9-Granular quartz syenitic porphyry; 10-Quartz syenitic porphyry; 11-Mineralized belt and number; 12-Ductile fault and mylonite zone; 13-Fault; 14-Stratigraphy boundary; 15-Unconformity boundary; 16-Copper (gold) ore body

1 引言

玉希莫勒盖达坂矿床位于新疆新源、和静及尼勒克三县交界处,是一个新发现的具有较好成矿远景的铜金矿(图1),它与松树沟铜矿、阿拉斯坦北铜矿等构成了阿吾拉勒地区一条重要的铜矿化带,是铜矿成矿预测和找矿勘探的重要靶区。目前在玉希莫勒盖达坂矿区已圈定了5个工业矿体,它们均产在下石炭统大哈拉军山组地层中。大哈拉军山组地层在西天山地区广泛出露,其形成时代跨度很大(刘友梅等,1994;赵振华等,2004;朱永峰等,2005;翟伟等,2006),其物质组成及沉积厚度也存在着较大的差异(朱永峰等,2006a, b)。关于该组火山岩的形成环境存在着两种不同认识:有人认为它的形成与大陆裂谷作用有关(车自成等,1996;姜常义等,1995,1996;夏林圻等,2004),而另一些学者则认为它是典型岛弧火山作用的产物(陈衍景等,2004a, b;朱永峰等,2006a, b)。

玉希莫勒盖达坂矿区大哈拉军山组主要是一套以安山

质(粗安质)-英安质(粗面质-粗面英安质)火山岩和火山碎屑岩为主的火山岩建造。岩石化学研究显示,在大哈拉军山组地层内不但分布着钙碱性火山熔岩($K_2O = 0.81\% \sim 1.60\%$)和高钾钙碱性火山熔岩($K_2O = 2.30\% \sim 3.09\%$),还出现了橄榄安粗质的火山熔岩($K_2O = 3.22\% \sim 4.81\%$)。其岩石组合可以与世界著名铜、金矿集区巴布亚-新几内亚(Papua-New Guinea)(Cortesogno *et al.*, 1998; Muller *et al.*, 1992; Blatter *et al.*, 2003; Bonin, 2004; Callegari *et al.*, 2004; Gill *et al.*, 2004; Duggen *et al.*, 2005)、意大利 Stromboli 火山岩带及土耳其 Biga 半岛典型钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄安粗岩火山岩(Altunkaynak and Genc, 2006; Corazzato *et al.*, 2008)等火山岩组合进行对比。显示了聚合板块边缘构造体制由挤压向伸展转变时火山活动的特征(Blatter *et al.*, 2003; Bonin, 2004; Callegari *et al.*, 2004; Cortesogno *et al.*, 1998; Duggen *et al.*, 2005; Gill *et al.*, 2004; Muller *et al.*, 1992)。玉希莫勒盖达坂矿区钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄粗安岩系火山熔岩组合的发现为探究西天山东部大哈拉军山组火山岩形成环境提

供了新的研究窗口,也为进一步揭示大哈拉军山组火山岩物质组成、地球化学性质的空间变化特征提供了新的契机。该岩石组合岩石学、地球化学的系统研究对于揭示阿吾拉勒地区大哈拉军山组火山岩铜、金成矿潜力,指导区域找矿具有重要的启示意义。

本研究的主量元素和微量元素分析是作者在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室分别采用 X 射线荧光法(XRF)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)完成的,主量元素分析精度大多数优于 5%,微量元素分析精度大多优于 10%。造岩矿物的电子探针分析也是作者在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室利用 JEOL-JXA 8100 完成的。实验条件为:加速电压为 15kV,电流为 20nA,电子束直径为 1 μ m。

2 地质背景及样品描述

玉希莫勒盖达坂矿床位于阿吾拉勒晚古生代火山岩带的东端。矿区出露的地层由老到新依次为:石炭系的大哈拉军山组、阿克沙克组和伊什基里克组、上二叠统铁木里克组、下侏罗统八道湾组及第四系。此外,在该矿区还分布着相当数量的侵入岩,它们分别是闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、石英正长岩及煌斑岩。在玉希莫勒盖地区大哈拉军山组地层呈近西-北西向带状分布,出露面积为 78.2km²,它与周围地层(如伊什基里克组、铁木里克组等)均呈断层接触,其内穿插着数条石英正长斑岩脉体(岩墙)。虽然阿克沙克组和伊什基里克组也是一套典型的火山岩建造,但它们的岩石组合与大哈拉军山组有明显的差别,阿克沙克组含有粉砂质泥页岩和泥灰岩等典型的沉积岩,而伊什基里克组则表现为典型的双峰式火山岩建造。与石炭系地层不同,上二叠统铁木里克组地层不含火山物质,主要由砾岩、砂岩、泥质粉砂岩等组成的类磨拉石建造。

根据岩性特征可将玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组火山岩地层分上下两个岩性段。下岩性段的岩石组成相对简单,主要是含角砾安山质-英安质凝灰岩、熔结凝灰岩;上岩性段的岩石组成则较复杂,它由安山质角砾凝灰岩、安山质集块岩、安山岩(粗安岩)、英安质集块岩、英安质火山角砾岩、英安质晶屑凝灰岩及英安岩(粗面岩)组成,在其顶部分布着一定数量的碳酸盐岩盖层。在玉希莫勒盖矿区已圈出了 4 个工业矿体(5 和 34 号矿体在矿区外围),其中 1、2、4 号矿体严格受北西向压扭性断裂及近东西向张性断裂控制,矿体产状稳定,矿体分布于构造蚀变带及断裂中,单个矿体以不规则脉状为主,铜品位 0.2%~2%之间,伴生有不同程度的金矿化。矿石矿物组合主要为黄铜矿,其次为蓝铜矿、孔雀石等。脉石矿物以黄铁矿和方解石为主,含有少量的石英;3 号矿体铜矿化则受闪长玢岩岩脉的控制,黄铜矿、斑铜矿呈浸染状、细脉状分布在闪长玢岩岩脉内,其成矿特征与斑岩型矿床十分相似。根据矿体和矿物分布特征,研究者认为玉希莫勒盖铜

矿床内铜矿化可能有两种不同的成因:前者为热液脉型成因,它主要受断裂带的控制,在矿区外围还有同类型的铜矿床,如矿区外围阿拉斯坦北、松树沟和阿腊陶铜矿;后者则很可能是斑岩型铜矿化,它受闪长玢岩岩脉的控制。已圈定的 4 个铜、金矿体均产在大哈拉军山组的上岩性段,该岩性段是玉希莫勒盖达坂及周边地区重要的含矿建造。本文的研究对象就是该层位内的玄武安山岩、高钾钙碱性玄武安山岩及粗安岩,在地层剖面中玄武安山岩位于下部,高钾钙碱性玄武安山岩居中而粗安岩靠近上部。在采样时作者尽量避免开矿化蚀变带,并经岩石薄片观察确保 XRF 和 ICP-MS 分析的样品未受热液蚀变影响。

玄武安山岩:岩石具有典型的斑状结构,斑晶含量为 15%~20%,大小为 0.1×0.1mm~0.3×0.6mm,组成矿物以斜长石和角闪石为主,含有少量的磁铁矿;基质的矿物组成与斑晶相似,也是由斜长石、角闪石和磁铁矿组成,只是磁铁矿的含量较斑晶略有增加。电子探针分析结果显示,玄武安山岩中斜长石斑晶的 Na₂O 和 CaO 含量分别为 3.27%~5.54% 和 9.61%~14.07%,斜长石的 An=36~67;而角闪石斑晶的 SiO₂、Al₂O₃、CaO、FeO 和 MgO 含量分别 47.32%~53.33%、3.14%~6.76%、11.86%~12.65%、10.04%~15.59% 和 11.80%~13.81%,同时角闪石斑晶还含有一定数量的 TiO₂(0.23%~1.03%),为镁铁闪石。

高钾钙碱性玄武安山岩:主要组成矿物为斜长石、绿色角闪石和少量的碱性长石及磁铁矿。岩石具斑状结构,斑晶含量为 20%~35%,而大小为 0.5×0.5mm~2×1mm,组成矿物以斜长石和角闪石为主,含有少量的碱性长石;基质则主要由长石和角闪石组成,含有少量的磁铁矿。

粗安岩:主要组成矿物为斜长石、角闪石及碱性长石,含有少量的绿泥石和磁铁矿。岩石具斑状结构,斑晶含量为 20%~25%,大小为 0.2×0.2mm~0.4×0.6mm,斑晶矿物为斜长石、角闪石和钾长石。与高钾钙碱性安山岩相比,其斜长石斑晶的含量减少,而钾长石斑晶含量增加;基质由斜长石、碱性长石及角闪石组成,含有少量的绿泥石和磁铁矿。粗安岩斜长石斑晶的 Na₂O 和 CaO 含量分别为 3.10%~5.56% 和 9.69%~12.75%,斜长石的 An=37~50,与玄武安山岩的相似;碱性长石斑晶的成分变化较大,其 Na₂O 和 K₂O 含量分别为 0.49%~6.75% 和 4.08%~17.24%;角闪石斑晶的 SiO₂、Al₂O₃、CaO、FeO 和 MgO 含量分别为 46.79%~48.18%、7.21%~7.46%、11.31%~11.54%、17.86%~19.44% 和 9.97%~10.61%。与玄武安山岩相比,粗安岩中角闪石明显富铁和铝、贫镁和钛。

3 主量元素地球化学特征

与意大利 Stromboli 火山岩带和土耳其 Biga 半岛典型钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄安粗岩火山岩组合一样(Altunkaynak and Genc, 2006; Corazzato *et al.*, 2008),

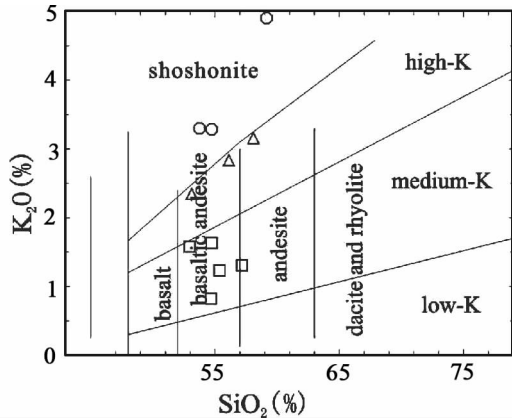


图2 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的 K₂O vs SiO₂ 图解

Fig.2 K₂O vs SiO₂ diagram of lavas in the Dahalajunshan Formation

玉希莫勒盖达坂玄武安山岩、高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩的 SiO₂ 含量变化较小(从 50.99% 变化到 56.82%),且三类岩石的 SiO₂ 含量互相重叠(表 1)。玉希莫勒盖达坂玄武安山岩 K₂O 含量从 0.81% 变化到 1.60%,为中钾钙碱性玄武安山岩(图 2)。与典型钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄安粗火山岩组合中同类岩石相比,玉希莫勒盖玄武安山岩明显富钽和铁(图 3)。玉希莫勒盖高钾钙碱性玄武安山岩明显富碱,其中 K₂O > 2.30%, Na₂O + K₂O 介于 5.21% ~ 8.61% 之间(表 1)。与典型钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄安粗火山岩组合中同类岩石相比,玉希莫勒盖高钾钙碱性玄武安山岩明显富钠、相对富铁和钽,明显贫钙(图 3)。玉希莫勒盖粗安岩更富碱(Na₂O + K₂O > 6.35%),其 K₂O 含量大于 3%,而且具有高铝(Al₂O₃ = 16.13% ~ 16.57%)和低钛(TiO₂ = 0.86% ~ 1.04%)的特点,为典型的橄榄安粗系火山岩(Morrison, 1980)。除 TiO₂ 和 Fe₂O₃ 含量相对偏高外,玉希莫勒盖粗安岩的其它主量元

表 1 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的主量元素和微量元素含量(主量元素:wt%;稀土和微量元素:×10⁻⁶)

Table 1 Major and trace elements compositions of lavas in the Dahalajunshan Formation (Major element:wt%; Trace element: × 10⁻⁶)

岩性	玄武安山岩				高钾钙碱性玄武安山岩			粗安岩			
	YXAn-8	YX2-2	YX2-3	YX2-7	YX3-3	YXAn-6	YX2-1	YX6-2	YXAn-4	YX2-5	YX2-6
SiO ₂	53.92	53.76	50.99	53.6	56.08	56.82	52.10	54.65	58.04	52.63	53.68
TiO ₂	0.92	1.00	1.05	1.02	0.81	0.95	1.00	0.87	0.86	1.04	1.04
Al ₂ O ₃	16.71	15.77	16.13	16.33	16.57	16.71	15.44	18.25	16.38	15.96	16.22
Fe ₂ O ₃	9.01	9.71	13.98	10.05	7.91	7.58	10.87	7.41	8.00	9.49	9.84
MnO	0.19	0.32	0.32	0.30	0.21	0.21	0.42	0.22	0.17	0.38	0.30
MgO	4.70	4.09	4.82	3.46	4.20	3.69	4.33	4.26	2.85	4.40	3.22
CaO	7.97	9.75	5.28	8.02	8.5	4.10	8.95	3.38	3.54	7.47	7.57
Na ₂ O	3.11	3.27	2.62	3.73	2.72	4.94	2.91	5.85	3.76	3.49	3.13
K ₂ O	1.20	0.81	1.52	1.60	1.28	3.09	2.30	2.76	4.81	3.23	3.22
P ₂ O ₅	0.13	0.31	0.30	0.33	0.23	0.12	0.32	0.11	0.11	0.31	0.34
LOI	1.99	1.13	2.86	1.46	1.39	1.68	1.26	2.12	1.37	1.48	1.33
Total	99.86	99.92	99.88	99.91	99.89	99.90	99.91	99.88	99.91	99.90	99.90
Sc	31.6	30.4	29.6	29.9	26.4	24.8	32.2	20.8	20.9	29.9	30.8
Ti	5652	6709	6997	6511	5485	5784	7241	5678	5218	6773	6889
V	229	238	267	259	223	209	269	214	147	232	259
Cr	37.2	201	219	237	129	15.6	228	44.3	10.7	228	226
Mn	1489	2524	2572	2270	1634	1554	3624	1530	1270	2809	2329
Co	26.2	26.7	40.6	24.6	22.7	22.2	29.6	25.9	18.4	28.9	27.5
Ni	22.2	51.6	62.2	54.1	32.4	6.80	62.0	25.0	5.58	72.0	57.7
Cu	57.1	21.4	132	76.5	7.90	6.87	18.4	8.70	9.88	96.9	43.1
Zn	202	102	279	124	93.5	86.2	132	108	84.6	129	131
Ga	16.6	17.5	19.4	17.7	17.6	16.4	19.2	21.4	15.6	17.5	18.3
Ge	1.58	1.58	1.99	1.25	1.49	1.25	1.85	1.56	1.16	1.70	1.40
Rb	48.9	31.8	60.2	79.9	54.2	102	95.8	130	129	101	108
Sr	305	329	268	302	384	283	301	215	234	280	319
Y	23.7	23.7	21.9	22.1	20.2	18.4	23.9	22.9	17.2	26.0	22.8
Zr	114	129	135	131	131	84.1	140	124	91.2	132	135
Nb	3.54	4.28	4.39	4.25	3.97	3.09	4.43	3.83	3.24	4.57	4.42
Cs	0.81	0.88	2.15	1.02	1.28	0.98	0.72	2.22	1.74	0.67	1.37
Ba	239	114	404	206	284	546	354	358	944	685	617
La	9.95	12.2	13.1	11.8	10.8	9.14	15.1	21.4	8.64	14.2	15.0
Ce	22.3	27.1	28.4	25.2	24.2	19.8	33.1	44.6	18.9	33.1	31.2

续表 1

Continued Table 1

岩性	玄武安山岩				高钾钙碱性玄武安山岩			粗安岩			
	YXAn-8	YX2-2	YX2-3	YX2-7	YX3-3	YXAn-6	YX2-1	YX6-2	YXAn-4	YX2-5	YX2-6
Pr	3.22	3.72	3.77	3.51	3.29	2.69	4.47	5.61	2.52	4.59	4.24
Nd	14.2	16.9	17.0	15.7	14.5	11.5	19.8	23.2	10.7	20.6	18.8
Sm	3.52	3.99	3.89	3.76	3.27	2.82	4.34	4.83	2.63	4.82	4.22
Eu	1.05	1.18	0.85	1.05	0.98	0.91	1.14	1.61	0.69	1.24	1.10
Gd	3.90	4.44	4.15	4.03	3.63	3.10	4.41	5.00	2.94	5.06	4.53
Tb	0.77	0.80	0.71	0.75	0.66	0.59	0.79	0.85	0.54	0.91	0.79
Dy	4.63	4.69	4.21	4.37	3.95	3.50	4.71	4.84	3.38	5.30	4.49
Ho	0.94	0.96	0.87	0.91	0.83	0.72	0.98	0.94	0.67	1.05	0.92
Er	2.69	2.78	2.47	2.64	2.33	2.11	2.80	2.61	2.00	2.96	2.65
Tm	0.41	0.41	0.36	0.39	0.36	0.30	0.30	0.39	0.30	0.30	0.30
Yb	2.63	2.67	2.44	2.58	2.03	2.76	2.12	2.64	2.10	2.91	2.60
Lu	0.42	0.42	0.41	0.40	0.36	0.35	0.45	0.43	0.35	0.45	0.41
Hf	3.18	3.77	3.91	3.73	3.76	2.53	4.02	3.78	2.85	3.91	3.88
Ta	0.29	0.34	0.35	0.35	0.36	0.27	0.39	0.40	0.32	0.36	0.37
Pb	15.2	6.28	6.44	5.64	4.14	3.48	5.82	3.27	9.56	5.05	7.17
Th	3.41	5.33	5.00	5.01	5.39	4.05	5.08	6.31	4.88	5.22	4.85
U	1.04	1.26	1.39	1.25	1.43	1.00	1.34	1.96	1.15	1.51	1.15

素含量与典型钙碱性火山岩—高钾钙碱性火山岩—橄榄安粗火山岩组合中典型橄榄安粗岩十分相近(图3)。与典型玄武安山岩—高钾钙碱性玄武岩—橄榄安粗质火山岩组合相比,无论是玄武安山岩、高钾钙碱性玄武安山岩,还是粗安岩,玉希莫勒盖大哈拉军山组火山岩均显示出相对贫 SiO_2 ,而富集 TiO_2 和 Fe_2O_3 的地球化学特征,这反映该类岩石组合形成与俯冲板块撕裂诱发的局部拉张过程有关(钱青等,2006)。

4 微量元素地球化学特征

玄武安山岩、高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩过渡族元素Sc、Ti、V、Mn、Co、Ni的含量基本相同,Sc、Ti、V和Co的含量相对较稳定,其值分别为 $20.9 \times 10^{-6} \sim 31.64 \times 10^{-6}$ 、 $5218 \times 10^{-6} \sim 7241 \times 10^{-6}$ 、 $147.2 \times 10^{-6} \sim 269.1 \times 10^{-6}$ 和 $18.37 \times 10^{-6} \sim 40.63 \times 10^{-6}$,而Mn和Ni的含量变化较大,其值分别为 $1270 \times 10^{-6} \sim 3624 \times 10^{-6}$ 和 $5.58 \times 10^{-6} \sim 72.02 \times 10^{-6}$ (表1)。

玉希莫勒盖大哈拉军山组三类熔岩的稀土元素含量较低($56.41 \times 10^{-6} \sim 119.03 \times 10^{-6}$),轻重稀土元素分馏较弱,其 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 比值分别为2.2~5.5、1.8~2.8、0.9~1.7(表1及图4);玄武安山岩和粗安岩具有较弱的负铈异常,而高钾钙碱性玄武岩则无明显的铈异常(图4)。

与过渡族元素和稀土元素不同,玉希莫勒盖大哈拉军山组三类熔岩的大离子亲石元素的含量有明显的差别:粗安岩的Ba和Rb的含量分别为 $617.1 \times 10^{-6} \sim 943.8 \times 10^{-6}$ 和 $101.2 \times 10^{-6} \sim 129.3 \times 10^{-6}$,在三类岩石中含量最高;高钾钙

碱性玄武安山岩Ba和Rb的含量分别为 $353.8 \times 10^{-6} \sim 358.0 \times 10^{-6}$ 和 $95.77 \times 10^{-6} \sim 130.5 \times 10^{-6}$,在三类岩石中含量居中;而玄武安山岩的Ba和Rb的含量分别为 $114.3 \times 10^{-6} \sim 403.8 \times 10^{-6}$ 和 $31.84 \times 10^{-6} \sim 79.92 \times 10^{-6}$,在三类岩石中含量最低。而同为大离子亲石元素的Sr和Th在玄武安山岩、高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩三类岩石中的含量并无明显差别(表1)。

玉希莫勒盖大哈拉军山组三类熔岩均表现出大离子亲石元素和轻稀土元素明显富集及高场强元素(Nb、Ta和Ti)与相邻元素相比明显亏损的地球化学特征(图5),显示其形成与大洋板块俯冲作用有关(Innocenti *et al.*, 2005);大哈拉军山组三类熔岩具较高的La/Nb比值(2.67~5.60),也显示其形成与板块俯冲过程有关(Condie, 2003)。在Th \times 100/Zr vs Nb \times 100/Zr图解中三类熔岩的投影点均落在与板块俯冲有关的大洋岛弧火山岩的区域内(图6);在Hf-Th-Nb三角图解中,玉希莫勒盖三类熔岩的投影点相对集中,均落在D区下半部(图7a,据Wood, 1980),也反映了三类岩石具有岛弧钙碱性火山岩的特征(Doebrich *et al.*, 2007)。在Ba-Ba/Nb和La-La/Nb图解中(图7b、c,据李曙光,1993),其投影点也均落在岛弧火山岩区域内。三类岩石的Th/Ta(11.75~15.68)和La/Yb(3.31~8.12)值相似,指示其形成于岛弧构造环境(Condie, 1997)。无论是钙碱性玄武安山岩,还是富钾的高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩,均以稳定的低Ce/Y(0.94~1.95)和Zr/Y(4.57~6.46)比值为特征,显示其成岩物质主要来自地幔(Conly *et al.*, 2005)。此外,玉希莫勒盖三类火山熔岩的Th/Ta和Y/Nb分别大于11和5,为典型的造山带型火山岩(Cadoux *et al.*, 2005)。

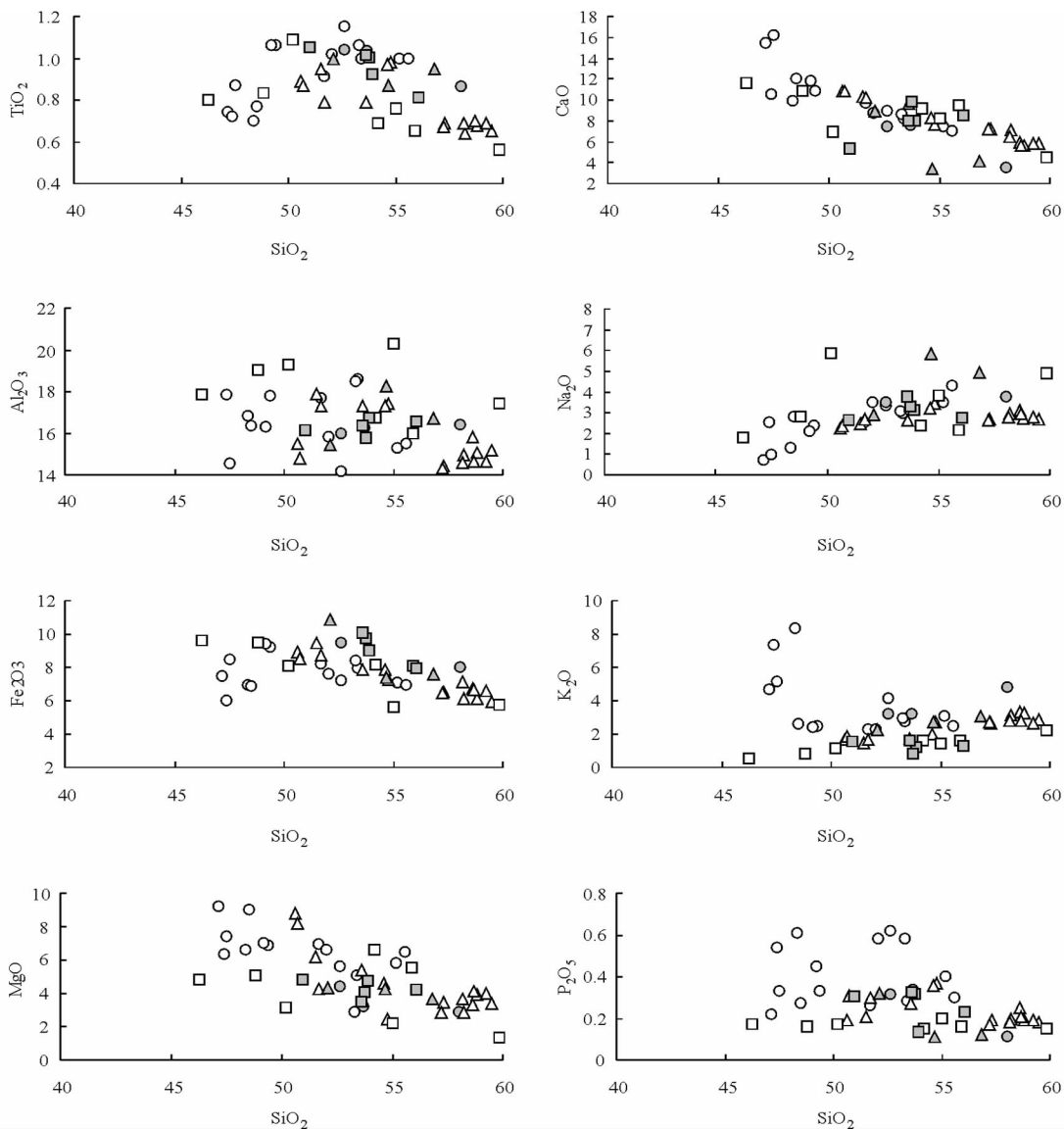


图3 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的哈克图解

空心方块-典型的玄武安山岩; 实心方块-玄武安山岩; 空心三角-典型的高钾钙碱性玄武安山岩; 实心三角-高钾钙碱性玄武安山岩; 空心圆-典型的橄榄安粗质火山岩; 实心圆-粗安岩。典型玄武安山岩、高钾钙碱性玄武岩和橄榄安粗质火山岩数据引自 Altunkaynak and Genc, 2006 和 Corazzato *et al.*, 2008

Fig. 3 Harker diagram of the lavas in Dahalajunshan Formation

Open square-typical basaltic andesite; solid square-basaltic andesite; open triangle-typical high-K calc-alkaline basaltic andesite; solid triangle-high-K calc-alkaline basaltic andesite; open circle-typical shoshonite; solid circle-shoshonitic trachyandesite. Data of typical basaltic andesite, typical high-K calc-alkaline basaltic andesite and typical shoshonite from Altunkaynak and Genc (2006) and Corazzato *et al.* (2008)

5 讨论

5.1 玉希莫勒盖达坂玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合的成因

大哈拉军山组地层是西天山地区重要的铁、铜、铅、锌等元素的含矿建造,其形成时代、形成机制及其演化特征对研究该地区地质构造演化和金属矿产的勘查具有重要的理论

和实践意义。随着元素地球化学、同位素地球化学及同位素定年研究程度的提高,人们对大哈拉军山组火山岩的认识更为客观,也不再苛求用统一模式(时代、环境及成因)来解释其成因,甚至有些学者提出了大哈拉军山组的解体方案(朱永峰等,2006a)。位于玉希莫勒盖达坂南部的拉尔墩达坂大哈拉军山组火山岩的形成年龄为 313Ma(朱永峰等,2006a),侵位于玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组闪长玢岩(次火山岩相)的锆石 SHRIMP 年龄为 309.9 ± 2.6 Ma(另文发表),这说

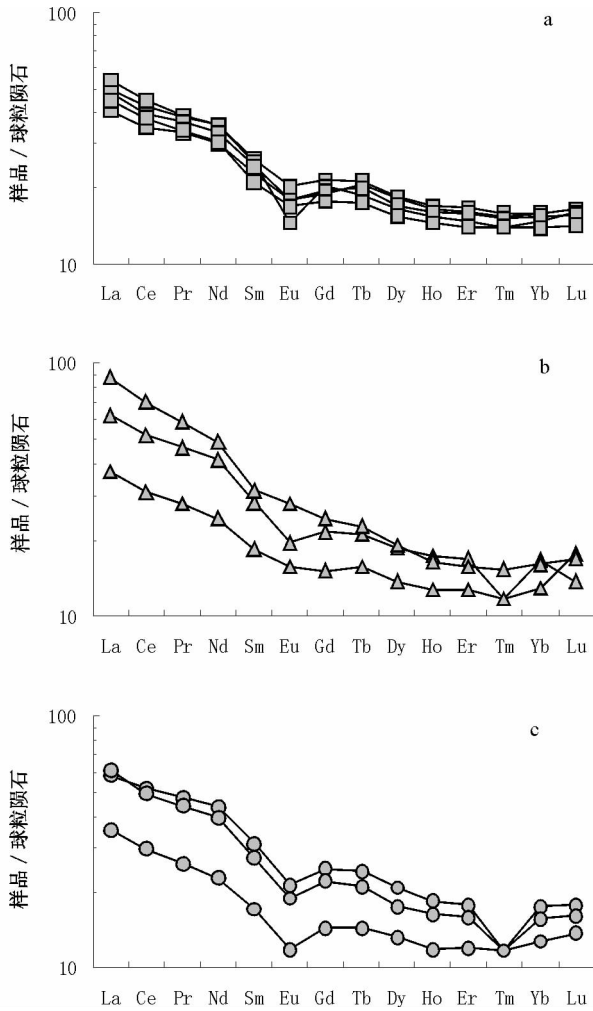


图4 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的稀土元素分布模式(球粒陨石数据值据 Evensen *et al.*, 1978)

a-玄武安山岩; b-高钾玄武安山岩; c-粗安岩

Fig. 4 REE distribution patterns of lavas in the Dahalajunshan Formation (chondrite values from Evensen *et al.*, 1978)

a-basaltic andesite; b-high-K calc-alkaline basaltic andesite; c-trachyandesite

明玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组火山岩的形成时代应为晚石炭世。

玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组的三类熔岩均表现出富集大离子亲石元素、亏损高场强元素的地球化学特征,说明它们来源于被俯冲板块成因的流体或熔体交代的地幔楔 (Conly *et al.*, 2005)。Innocenti *et al.* (2005) 认为钙碱性岩浆岩-高钾钙碱性岩浆岩-橄榄安粗岩浆岩组合是造山带岩浆岩特有的组合。Liegeois *et al.* (1998) 指出高钾钙碱性岩浆岩的出现,并向橄榄安粗岩浆岩或碱性岩浆岩过渡是造山过程演化到最后阶段的标志。Oyhantcabal *et al.* (2007) 提出碰撞后很短时间内俯冲板片断裂诱发的软流圈上涌是高钾钙碱性岩浆岩形成的最可能机制;同时指出,这类高钾钙碱性岩

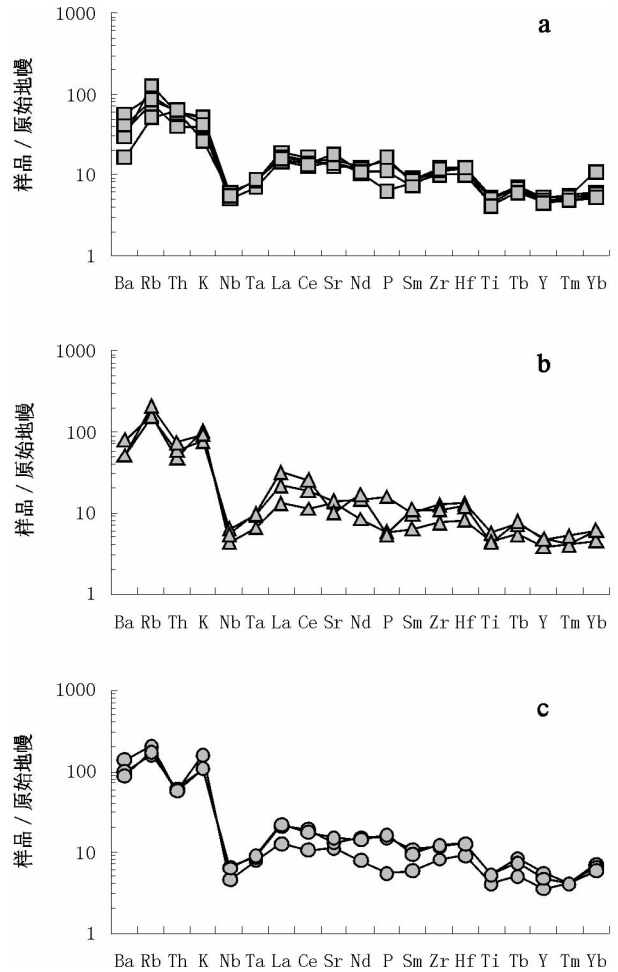


图5 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的微量元素蛛网图(原始地幔数据值据 Sun and McDonough, 1989)

a-玄武安山岩; b-高钾玄武安山岩; c-粗安岩

Fig. 5 Trace element spidergrams of lavas in the Dahalajunshan Formation (primitive mantle values from Sun and McDonough, 1989)

a-basaltic andesite; b-high-K calc-alkaline basaltic andesite; c-trachyandesite

浆岩的侵位或喷发往往伴随着橄榄安粗质岩浆岩和辉绿质岩浆岩的侵位(或喷发)及磨拉石盆地的出现。在玉希莫勒盖达坂不但出现了玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—橄榄安粗质的粗安岩组合,而且在其后的地层中还出现了双峰式火山岩组合(上石炭统的伊什基里克组)和类磨拉石建造(二叠系的铁木里克组),同时在该地区还分布着相当数量的二叠纪的石英正长斑岩、煌斑岩等碱性侵入岩体(脉)及辉绿岩岩脉^①。据此,本文认为玉希莫勒盖达坂玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—橄榄安粗质的粗安岩组合的出现标志着阿吾拉勒东段在晚石世进入了造山的最后演化阶段。

① 新疆维吾尔自治区地质调查院. 2007. 新疆新源县-和静县玉希莫勒盖达坂一带铜(金)矿普查设计

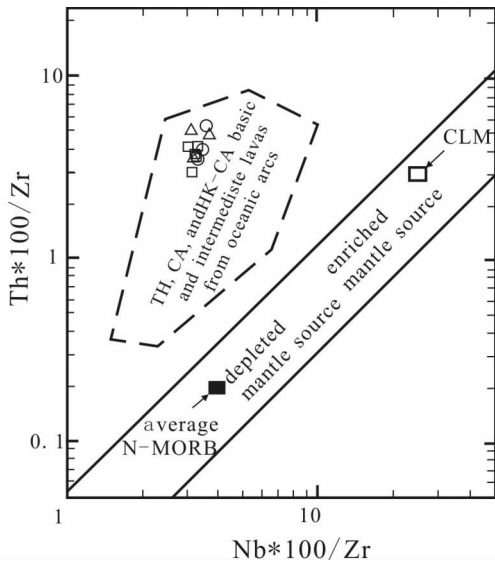


图6 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩的 Th/Zr vs Nb/Zr 图解 (原图据 Rottura *et al.*, 1998)

方块-玄武安山岩; 三角-高钾钙碱性玄武安山岩; 圆圈-粗安岩
 Fig.6 Th/Zr vs Nb/Zr diagram of lavas in the DahaLajunshan Formation (after Rottura *et al.*, 1998)
 Open square-basaltic andesite; open triangle-high-K calc-alkaline basaltic andesite; open circle-shoshonitic trachyandesite

钙碱性玄武安山岩的形成与板片俯冲作用有关,它是俯冲板片上部被交代的富集地幔楔部分熔融的产物;而高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩的形成则与俯冲板片断裂诱发的软流圈上涌过程有关。高钾钙碱性岩浆及橄榄安粗质岩浆的形成温度要明显高于一般的钙碱性岩浆,因此俯冲板片上部被交代的地幔楔部分熔融很难形成高钾岩浆。当俯冲板片断裂,其下部热的软流圈上涌并与被交代的地幔楔作用,使其不同程度地部分熔融才能形成富钾的高钾钙碱性岩浆及橄榄安粗质岩浆,这时构造体制也相应开始由俯冲挤压转换为伸展,对金属成矿及矿体定位十分有利。玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组三类火山熔岩具有相近的 Zr/Nb (27.19 ~ 32.06)、Nb/Th (0.61 ~ 1.04)、Nb/Y (0.15 ~ 0.20) 和 Zr/Y (4.78 ~ 6.46) 比值,揭示三者形成于岛弧构造环境,且具有相同的成岩物质来源 (Condie, 2005),相似的稀土元素及微量元素地球化学特征 (图 4, 5) 也显示,玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组三类火山熔岩具有相同的物质来源。

5.2 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组火山岩的成矿作用

已有的研究显示,钾质火山岩浆岩与某些类型的金和贱金属矿床密切相关,经常表现为浅部的低温热液型矿床和深部的斑岩型矿床共生 (Zhou *et al.*, 1996; Sillitoe, 1997, 2002; Muller and Forrestal, 1998, 2000; Holliday *et al.*, 2002; Kelley and Ludington, 2002; Muller, 2002; Ronacher *et al.*, 2002)。Sillitoe (1997) 研究发现,在环太平洋地区 20% 的世

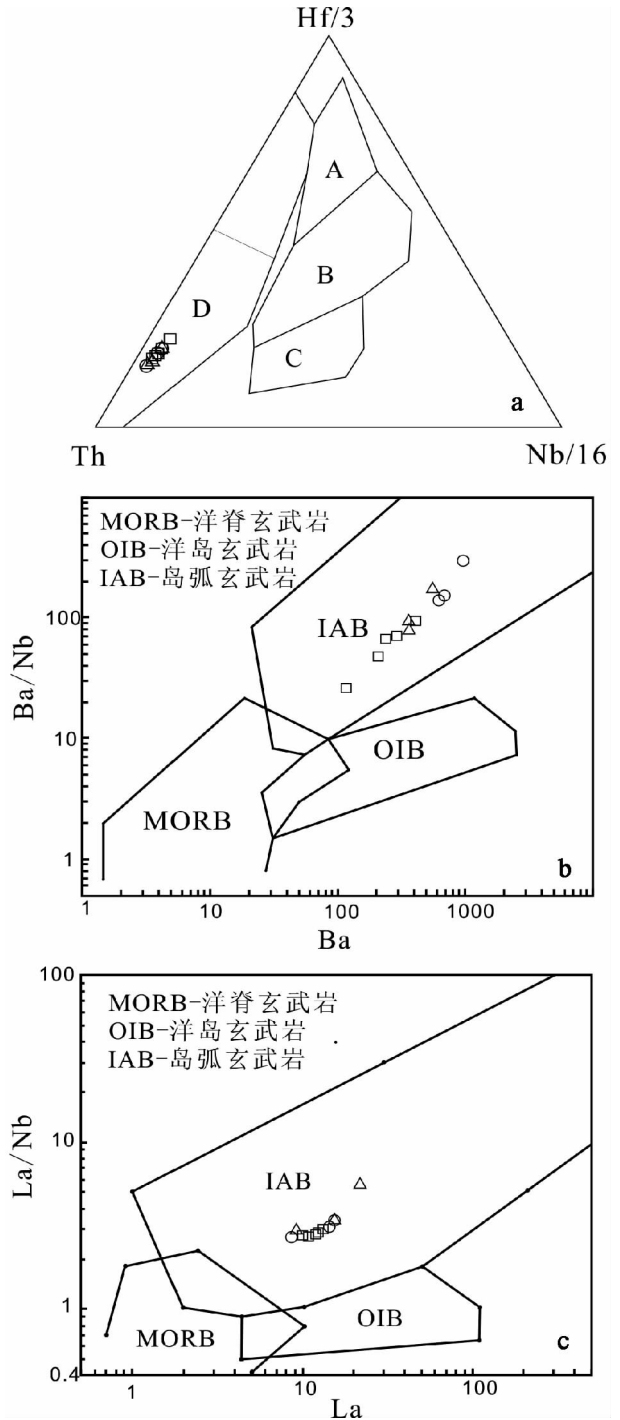


图7 玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组熔岩形成环境微量元素判别图

方块-玄武安山岩; 三角-高钾钙碱性玄武安山岩; 圆圈-粗安岩
 Fig.7 Trace element discrimination diagrams for tectonic settings of lavas in the DahaLajunshan Formation
 Open square-basaltic andesite; open triangle-high-K calc-alkaline basaltic andesite; open circle-shoshonitic trachyandesite

界级的大金矿分布在出露体积不超过 3% 橄榄安粗质及碱性岩浆岩带内,并且这些矿床在时间上往往出现在碰撞或岛弧

迁移之后。玉希莫勒盖达坂玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合的出现,不但标志着该地区进入了造山的最后演化阶段,构造体制由挤压转变为伸展,同时也说明该地区大哈拉军山组火山岩具有良好的铜、金成矿条件。事实上,目前已在玉希莫勒盖达坂矿区发现了1、2、3和4号4个具有开采价值的矿体,其中1、2和4号3个矿体直接定位在大哈拉军山组火山岩中,它们严格受火山岩内断裂系统的控制,分布于构造蚀变带及断裂中,矿体产状稳定。单个矿体以不规则脉状为主,铜品位在0.2%~2%之间,伴生有不同程度的金矿化。矿石矿物主要为黄铜矿,其次为蓝铜矿和孔雀石等;脉石矿物以黄铁矿和方解石为主,含有少量的石英,为典型热液型矿床。此外,初步研究显示该矿区3号矿体主要矿化特征与典型的斑岩型矿床相似,这为区域找矿勘探提供了新思路:与环太平洋金属成矿带一些世界级铜-金矿区一样,在玉希莫勒盖达坂地区上部的热液型铜-金矿床与深部的斑岩型铜-金矿床共生,其形成和定位均受板块俯冲过程诱发的岩浆-热液体系的控制。玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合的存在使上述推测更符合逻辑。由于研究程度低,本文还无法确定玉希莫勒盖达坂矿区铜-金矿化与以玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合为代表的岩浆体系之间的内在成因联系,但这项研究工作的开展对于揭示玉希莫勒盖达坂地区铜、金成矿潜力,指导区域找矿具有重要理论和实践意义。

6 结论

(1) 主量元素和微量元素地球化学特征显示,在玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组火山岩地层中存在着玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合。玄武安山岩的形成与板片俯冲作用有关,而高钾钙碱性玄武安山岩和粗安岩的形成则与俯冲板片断裂诱发的软流圈上涌过程有关。该岩石组合的存在说明阿吾拉勒东段在晚石炭世进入了造山的最后演化阶段,构造体制由挤压转变为伸展。

(2) 玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合存在说明玉希莫勒盖达坂大哈拉军山组火山岩具有良好的铜、金成矿条件,系统探讨已发现的铜-金矿(体)与以玄武安山岩—高钾钙碱性玄武安山岩—粗安岩组合为代表的岩浆体系之间的内在成因联系,对于揭示该地区铜、金成矿潜力,指导区域找矿具有重要理论和实践意义。

致谢 在野外考察过程中得到了新疆维吾尔自治区国家305项目办公室、吉林省通化地质矿产勘查开发院及新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第七地质大队有关领导和同志的大力支持,在室内研究过程中得到了中国科学院同位素年代学和地球化学重点实验室刘颖、胡光黔、涂湘林和孙彦敏等同志的大力支持,钱青博士和申萍博士对论文初稿提出了建设性的修改意见,在此一并表示谢忱!

References

- Altunkaynak S and Genç SC. 2006. Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey), International Conference on Continental Volcanism. *Lithos*, 102: 316–340
- Blatter DL, Carmichael ISE, Deino AL *et al.* 2003. Discussion and reply: Neogene volcanism at the front of the central Mexican Volcanic Belt: Basaltic andesites to dacites, with contemporaneous shoshonites and high-TiO₂ lava-Reply. *Geological Society of America Bulletin*, 115: 1020–1024
- Bonin B. 2004. Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, 78: 1–24
- Cadoux A, Pinti DL, Aznar C *et al.* 2005. New chronological and geochemical constraints on the genesis and geological evolution of Ponza and Palmarod Volcanic Islands. *Lithos*, 81: 121–151
- Callegari E, Cigolini C, Medeot O *et al.* 2004. Petrogenesis of calc-alkaline and shoshonitic post-collisional oligocene volcanics of the cover series of the Sesia Zone, western Italian Alps. *Geodinamica Acta*, 17: 1–29
- Che ZC, Liu L, Liu HF *et al.* 1996. Review on the ancient Yili rift, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 12: 478–490 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Liu YL, Bao JX *et al.* 2004a. Isotopic dating for the volcanic rocks of the Aikedaban Formation in West Tianshan, China. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(1): 52–55 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Bao JX, Zhang ZJ *et al.* 2004b. Tectonic setting and element geochemistry of the Aikedaban Formation volcanic rocks in West Tianshan. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(3): 36–45 (in Chinese with English abstract)
- Condie KC. 2005. High field strength element ratios in Archean basalts: A window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, 79: 491–504
- Condie KC. 2003. Incompatible element ratios in oceanic basalts and komatiites: Tracking deep mantle sources and continental growth rates with time. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4: 1005–1032
- Condie KC. 1997. Sources of Proterozoic mafic dyke swarms: Constraints from Th/Ta and La/Yb ratios. *Precambrian Research*, 81: 3–14
- Conly AG, Brennan JM, Bellon H *et al.* 2005. Arc to rift transitional volcanism in the Santa Rosalia Region Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 142: 303–341
- Corazzato C, Francalanci L, Menna M *et al.* 2008. What controls sheet intrusion in volcanoes? Structure and petrology of the Stromboli sheet complex, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 173: 26–54
- Cortese L, Cassinis G, Dallagiovanna G *et al.* 1998. The Variscan post-collisional volcanism in Late Carboniferous-Permian sequences of Ligurian Alps, Southern Alps and Sardinia (Italy): A synthesis. *Lithos*, 45: 305–328
- Doeblich JL, Al-Jehani AM, Siddiqui AA *et al.* 2007. Geology and metallogeny of the Ar Rayn terrane, eastern Arabian shield: Evolution of a Neoproterozoic continental-margin arc during assembly of Gondwana within the East African orogen. *Precambrian Research*, 158: 17–50
- Duggen S, Hoernle K, Van den Bogaard P *et al.* 2005. Post-collisional transition from subduction-to intraplate-type magmatism in the westernmost Mediterranean: Evidence for continental-edge delamination of subcontinental lithosphere. *Journal of Petrology*, 46: 1155–1201
- Evensen NM, Hamilton PJ, and O'Nions RK. 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 1199–1212
- Gill RCO, Aparicio A, El Azzouzi M *et al.* 2004. Depleted arc volcanism in the Alboran Sea and shoshonitic volcanism in Morocco: Geochemical and isotopic constraints on Neogene tectonic processes.

- Lithos, 78:363–388
- Holliday JR, Wilson AJ, Blevin PL *et al.* 2002. Porphyry gold-copper mineralisation in the Cadia district, eastern Lachlan Fold Belt, New South Wales, and its relationship to shoshonitic magmatism. *Mineralium Deposita*, 37:100–116
- Innocenti F, Agostini S, Vincenzo GD *et al.* 2005. Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: Magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology*, 221: 397–421
- Jiang CY, Wu WK, Zhang XR *et al.* 1995. The change from island arc to rift valley—evidence from volcanic rocks in Awulale area. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 14:289–300 (in Chinese with English abstract)
- Jiang CY, Wu WK, Zhang XR *et al.* 1996. Magma action and tectonic evolution in Awulale district, Western Tianshan mountain. *Journal of Xi'an College of Geology*, 18(2):18–24 (in Chinese with English abstract)
- Kelley KD and Ludington S. 2002. Cripple Creek and other alkaline-related gold deposits in the southern Rocky Mountains, USA: influence of regional tectonics. *Mineralium Deposita*, 37: 38–60
- Li SG. 1993. Ba-Nb-Th-La diagrams used to identify tectonic environments of ophiolite. *Acta Petrologica Sinica*, 9: 146–157 (in Chinese with English abstract)
- Liegeois JP, Navez J, Hertogen J *et al.* 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos*, 45: 1–28
- Liu YM, Yang WH and Gao JY. 1994. Study on isotopic age of Dahalajunshan Formation in Tekesi foristry of Xinjiang. *Geochimica*, 23: 99–104 (in Chinese with English abstract)
- Morrison GW. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13: 97–108
- Muller D. 2002. Gold-copper mineralization in alkaline rocks—Preface. *Mineralium Deposita*, 37: 1–3
- Muller D and Forrestal P. 1998. The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca Province, Argentina. *Mineralogy and Petrology*, 64: 47–64
- Muller D and Forrestal P. 2000. The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca Province, Argentina: A reply. *Mineralogy and Petrology*, 68:305–308
- Muller D, Stumpfl EF and Taylor WR. 1992. Shoshonitic and alkaline lamprophyres with elevated Au and PGE concentrations from the Kreuzeck Mountains, Eastern Alps, Austria. *Mineralogy and Petrology*, 46: 23–42
- Oyhantcabal P, Siegesmund S, Wemmer K *et al.* 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano-Pan-African, Uruguay). *Lithos* 98:141–159
- Qian Q, Gao J, Xiong XM *et al.* 2006. Petrogenesis and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan Mountains: Constraints from petrology and geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1307–1323 (in Chinese with English abstract)
- Ronacher E, Richards JP, Villeneuve ME *et al.* 2002. Short life-span of the ore-forming system at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea; Laser $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates for roscoelite, biotite, and hornblende. *Mineralium Deposita*, 37: 75–86
- Rottura A, Bargossi GM, Caggiannelli A *et al.* 1998. Origin and significance of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy. *Lithos*, 45:329–348
- Sillitoe RH. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373–388
- Sillitoe RH. 2002. Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration. *Mineralium Deposita*, 37:4–13
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implications for mantle composition and process. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Oceanic Basins*. Geological Society London Special Publication. 42: 313–345
- Wood DA. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50:11–30
- Xia LY, Xia ZC, Xu XY *et al.* 2004. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume. *Geological Bulletin of China*, 23: 903–910 (in Chinese with English abstract)
- Zhai W, Gao J, Sun XM *et al.* 2006. The wallrocks of the Axi gold deposit-Dahalajunshan Group: Its zircon SHRIMP dating. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1399–1406 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Bai ZH, Xiong XL *et al.* 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Taishan, Xinjiang. *Geochimica*, 32: 317–327 (in Chinese with English abstract)
- Zhou JC, Zhou JP, Liu J *et al.* 1996. Copper (gold) and non-metal deposits hosted in Mesozoic shoshonite and K-rich calc-alkaline series from Lishui in the Lower Yangtze region, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 57:273–283
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB *et al.* 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50:2004–2014 (in Chinese)
- Zhu YF, Guo X, Zhou J. 2006a. The petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in the western Tianshan Mountains, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22:1341–1350 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhou J, Song B *et al.* 2006b. Age of the "Dahalajunshan" Formation in Xinjiang and its disintegration. *Geology in China*, 33: 494–497 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 车自成, 刘良, 刘洪福等. 1996. 论伊犁古裂谷. *岩石学报*, 12:478–490
- 陈衍景, 刘玉琳, 鲍景新等. 2004a. 西天山艾肯达坂组火山岩系同位素定年及其构造意义. *矿物岩石*, 24(1):52–55
- 陈衍景, 鲍景新, 张增杰等. 2004b. 西天山艾肯达坂组火山岩系的元素地球化学特征和构造环境. *矿物岩石*, 24(3):36–45
- 姜常义, 吴文奎, 张学仁等. 1995. 从岛弧向裂谷的变迁—来自阿吾拉勒地区火山岩的证据. *岩石矿物学杂志*, 14: 289–300
- 姜常义, 吴文奎, 张学仁等. 1996. 西天山阿吾拉勒地区岩浆活动与构造演化. *西安地质学院学报*, 18(2):18–24
- 李曙光. 1993. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图. *岩石学报*, 9:146–157
- 刘友梅, 杨蔚华, 高计元. 1994. 新疆特克斯县林场大哈拉军山组火山岩年代学研究. *地球化学*, 23: 99–104
- 钱青, 高俊, 熊贤明等. 2006. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境. *岩石学报*, 22:1307–1323
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义等. 2004. 天山石炭纪大火山岩省与地幔柱. *地质通报*, 23:903–910
- 翟伟, 高俊, 孙晓明等. 2006. 新疆阿希金矿赋围岩——大哈拉军山组火山岩锆石 SHRIMP 年龄. *岩石学报*, 22:1399–1406
- 赵振华, 白正华, 熊小林等. 2004. 西天山北部晚古生代火山—浅位岩岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年. *地球化学*, 32:317–327
- 朱永峰, 张立飞, 古丽冰等. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究. *科学通报*, 50:2004–2014
- 朱永峰, 郭璇, 周晶. 2006a. 西天山石炭纪火山岩的岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究. *岩石学报*, 22:1341–1350
- 朱永峰, 周晶, 宋彪等. 2006b. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案. *中国地质*, 33:494–497