

文章编号:0258-7106 (2010) 02-0218-11

新疆阿舍勒铜矿英安-玄武-安山质火山岩的地球化学特征与构造背景

高珍权^{1,2}, 方维萱^{1,2}, 胡瑞忠¹, 李文铅³

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100814; 3 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要 新疆阿舍勒铜矿床中泥盆统阿舍勒组的英安-安山-玄武质火山岩组合属亚碱性拉斑玄武系列, 为铝过饱和、低钾、富镁系列的火山岩, 相对富集 MgO 和轻稀土元素, 亏损 Ti、Nb、P 和 Ta, 具有弱铕负异常 (δEu 值为 0.84~0.94) 和 Th/Ta 高比值 (5.53~12.58) 等特点。英安-安山-玄武质火山岩微量元素含量及比值特征、大离子半径及稀土元素配分模式、微量元素构造环境判别图的投点结果, 显示它们具有同源区特点, 均起源于富集地幔, 属于玄武岩岩浆经岩浆结晶分异作用的产物, 它们形成的大陆动力学背景为成熟岛弧环境。

关键词 地球化学; 阿舍勒铜矿床; 英安-安山-玄武质火山岩; 成熟岛弧; 活动大陆边缘

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Tectonic setting and geochemical characteristics of dacite andesite-basalt volcanic rocks in Ashele copper deposit, Xinjiang

GAO ZhenQuan^{1,2}, FANG WeiXuan^{1,2}, HU RuiZhong¹ and LI WenQian³

(1 Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 China Non-ferrous Metals Geology Survey, Beijing 100012, China; 3 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract

Volcanic rocks of Middle Devonian dacite-andesite-basalt association in the Ashele copper deposit of Xinjiang belong to the sub-alkaline volcanic rock series. Dacite, andesite and basalt are of peraluminous volcanic rock series with low potassium and high magnesium, characterized by the enrichment of MgO, LREE and the depletion of Ti, Nb, P and Ta, low native Eu anomalies (δEu 0.84~0.94) and high Th/Ta values (5.53~12.58). Based on the features of the content and ratios of trace elements, the REE patterns, the spidergrams of trace elements, and the discrimination diagrams, it can be inferred that dacite-andesite-basalt volcanic rocks in Ashele were probably produced in the background of a mature island arc. Magmatic sources of acidic and basic volcanic rocks in the study area resulting from magmatic differentiation might have originated from the same magmatic source, i. e., the mantle.

Key words: geochemistry, Ashele copper deposit, dacite-andesite-basalt volcanic rocks, mature island arc, active continental margin

块状硫化物型矿床是铜矿床仅次于斑岩型和砂页岩型 如成矿大地构造环境、容矿岩系和沉积环境以及矿石成分等, 的重要类型之一, 在研究该类型矿床时, 人们从不同的角度, 对块状硫化物矿床(MSD)进行了分类(姜齐节, 1994; 顾连

* 本文得到科技部国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)与中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室基金(200303)的联合资助。

第一作者简介 高珍权, 男, 1965年生, 教授级高工, 博士, 矿产普查与勘查专业。Email: gaozhenquan6595@126.com

收稿日期 2009-04-08; 改回日期 2009-09-09。李 岩编辑。

兴,1999;刘继顺,1996;华仁民,1995)。虽然因其出发点和所强调的角度不同,导致在类型的划分和研究的主要内容存在差异,但是多数学者将多金属成矿与大地构造环境较为紧密地联系在一起,并且取得了一系列共识,如与块状硫化物矿床有关的热液成矿系统可以出现在离散和汇聚板块边缘;时代相近的块状硫化物矿床、斑岩型铜-金矿床和浅成低温热液型金矿可以在同一个活动陆缘环境中共存;构造环境与矿种及有益组分具有一定的成因联系等等。其中最为引入瞩目的是建立在大地构造环境及其演化构造格架基础上的成矿系列及矿床成因模式,凸现出构造环境及其演化对大型-超大型矿床的成矿系列、矿体就位、矿种及矿石类型等重要因素的制约(张连昌等,2006;蔡志超,2006;于津海等,1998;杨富全等2006;杨文平等,2005)。因此,构造环境及其演化是块状硫化物矿床研究的核心课题之一。

阿舍勒铜矿床是典型的铜-锌型块状硫化物矿床,自发现至今,前人在成矿的地质背景、矿床特征及成因等方面做了大量的研究(胡霁琴等,2002;贾群子,1996;姜福芝,2001;姜福芝等,2005;李景朝等,2002;王正云等,1997;王京彬等,1998;王焰等,2000;叶庆同等,1997;1998),取得了基本一致的认识,如矿床具有典型的海底火山喷气-沉积矿床的共同特征,具有双层结构和水平、垂直分带现象,成矿作用主要形成于中泥盆世阿舍勒火山喷发旋回第二亚旋回之第二、第三喷发韵律之间,即火山喷发间歇期,等等。但是成矿环境一直为地质学家研究的热点,迄今为止,成矿的大地构造环境,并未形成统一认识,持拉张环境的观点占主导地位,如主张裂谷环境的有王登红(1996)、牟传龙等(1996)、陈哲夫(2002)等认为是裂陷槽环境;也有部分学者认为是挤压环境,唐红松等(1998)列举了支持“活动陆缘火山盆地”的证据。牟传龙等(1997)从层序地层学角度研究了该区火山沉积盆地的相动力学。这些研究各具特点,但需要将上述因素有机地结合起来,多方面、多途径探讨本区的构造环境。近几年来,从微量元素和同位素地球化学角度研究成矿环境成为一种新动向(董申保等,2004;方维萱等,2006a;2006b;2006c;丛峰等,2007;韩江伟等,2006;胡霁琴等,2006;李光明等,2007;李会军等,2006;牛贺才等,1999;万博等,2006;徐学纯等,2005a;2005b;许继峰等,2003;张旗等,2000;张海洋等,2003;张招崇等,2005;赵振华等,2004;2007)。因此,本文根据与成矿关系密切的英安-玄武-安山质火山岩的常、微量元素分析成果,研究它们的地球化学特征,探讨其成矿构造背景的指示作用。

1 地质概况

阿舍勒铜矿位于新疆哈巴河县西北 25 km 处的泥盆纪阿舍勒火山盆地中部。阿舍勒盆地地处阿尔泰造山带的西南缘,是哈萨克斯坦矿区阿尔泰构造-成矿带的东南延伸部分。矿区阿尔泰的大部分铜多金属矿床,包括阿舍勒矿床,产于下-中泥盆统火山岩建造和火山-沉积建造中,并由早到晚形成

了铁、铅锌-铜锌金-含铜黄铁矿成矿系列。

阿舍勒矿区出露的地层主要是中泥盆统阿舍勒组(D_{2as})、上泥盆统齐也组(D_{3q})和下石炭统红山嘴组(C_{1h}) (图1)。其中,阿舍勒组是赋矿地层,分布在盆地的中南部,自下而上分为3个岩性段,每个岩性段为一个火山-沉积亚旋回,总厚度大于1500 m。

矿体赋存于该组的第二岩性段第二层凝灰岩、角砾凝灰岩中,顶板为玄武岩、石英角斑岩。矿床具典型块状硫化物型矿床的双层结构特征,上部为与地层整合产出的层状块状硫化物矿体,顶部出现重晶石岩和含铁硅质岩等喷流岩,下部为切穿地层的细脉浸染状硫化物矿体,及热液补给系统形成的蚀变岩及渗滤蚀变岩等,形成了自上而下的垂直分带特征:重晶石-重晶石多金属-多金属矿-铜锌黄铁矿-黄铜黄铁矿-黄铁矿-细脉浸染状黄铁矿。矿石相应的构造变化为浸染状-条带-纹层状-块状-浸染状。

该矿的形成过程较复杂,共分4个成矿期和9个成矿阶段,主成矿期的同位素年龄为 (367 ± 20) Ma(叶庆同等,1997)。主要矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等。与矿化关系密切的围岩蚀变:基性火山岩以青磐岩为主,黄铁绢云岩化次之,酸性火山岩(火山碎屑岩)以黄铁绢英岩化为特征,硅化较强,具明显退色化现象。成矿期后的构造变形强烈,控矿构造主体为一倒转向斜,致使硫化物矿体塑性变形在向斜核部形成厚大的富铜矿体,后期岩浆活动对矿体的叠加改造作用也十分有限,总体上没有改变硫化物的这种垂向分带特征。

2 样品特征与分析

2.1 样品特征

中泥盆统阿舍勒组自下而上分为3个岩性段,每个岩性段为一个火山-沉积亚旋回。其中第二岩性段根据韵律层可分3个亚段:第一亚段(D_{2as}^{2-1})由中酸性、酸性火山碎屑岩组成,有较多的细碎屑岩和结晶灰岩夹层;第二亚段(D_{2as}^{2-2})由3个喷发韵律组成,每个喷发韵律均从酸性、中酸性火山碎屑岩夹基性火山岩开始,到结晶灰岩、凝灰质粉砂岩和沉凝灰岩结束,以酸性、中酸性火山岩与基性火山岩交替产出为特征;第三亚段(D_{2as}^{2-3})由细碧岩类夹少量角砾质凝灰岩和沉凝灰岩组成。火山喷发过程中,随着时间的推移,基性火山岩层出现的频率逐渐增大,由第一亚段的以酸性火山岩为主,到第三亚段的以基性火山岩为主。在火山活动间歇期有铜多金属(金银)成矿作用发生,形成了多层矿化,而阿舍勒铜锌矿床产于第二、三韵律层之间,也就是在火山喷发间歇期形成的。因此,为了便于研究火山喷发过程中,火山沉积岩成分的变化及其对成矿环境变化的指示作用,进而探讨其与成矿的关系,在样品收集时,借鉴了对沉积盆地的分析思路与方法,对各韵律层的火山沉积岩从底部到顶部,特别是矿体的顶底板进行了系统采样,一共采取了岩、矿石样品150余件,表1中列出了采

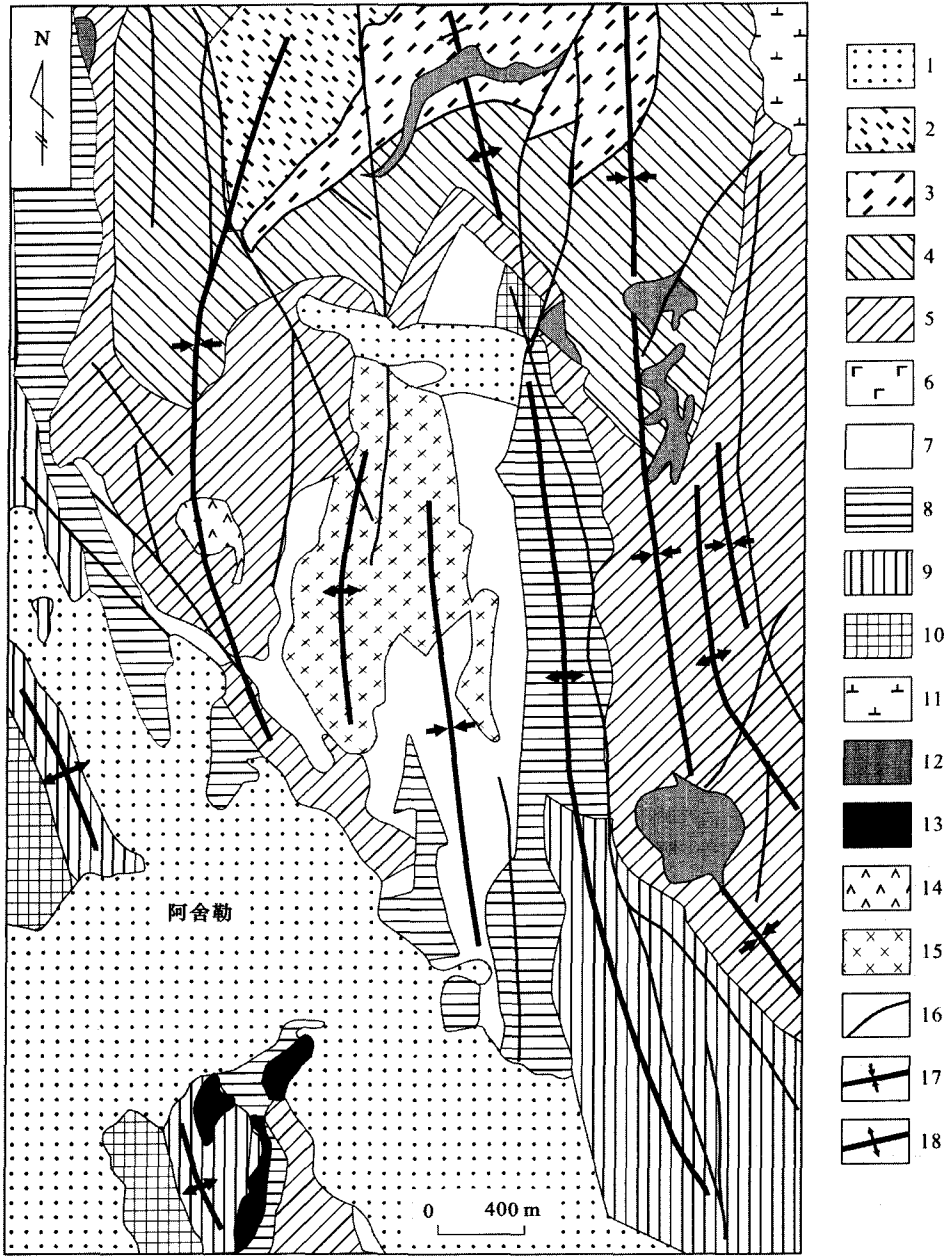


图1 阿舍勒矿区地质略图(据叶庆同等,1997)

1—新生界(Q); 2—下石炭统红山嘴组(C_1h); 3~5 为中上泥盆统齐也组(D_3q): 3—第三岩性段(D_3q^3), 4—第二岩性段(D_3q^2), 5—第一岩性段(D_3q^1); 6~9—为中下泥盆统阿舍勒组(D_2as): 6—第三岩性段(D_2as^3), 7—第二岩性段第二层(D_2as^{2-2}), 8—第二岩性段第一层(D_2as^{2-1}), 9—第一岩性段(D_2as^1); 10—中下泥盆统托克萨雷组($D_{1,2t}$); 11—闪长岩; 12—石英闪长岩; 13—钠长闪长岩; 14—细碧岩;

15—石英钠长斑岩; 16—断裂; 17—向斜; 18—背斜

Fig. 1 Schematic geological map of the Ashele ore district(after Ye et al., 1997)

1—Cenozoic(Q); 2—Lower Carboniferous HongShanzui Formation(C_1h); 3~5 are Upper-Middle Devonian Qiye Formation(D_3q): 3—3rd lithological member(D_3q^3), 4—2nd lithological member(D_3q^2), 5—1st lithological member(D_3q^1); 6~9—Middle-Lower Devonian Ashele Formation (D_2as): 6—3rd lithological member(D_2as^3), 7—2nd submember of 2nd lithological member(D_2as^{2-2}), 8—1st submember of 2nd lithological member(D_2as^{2-1}), 9—1st lithological member(D_2as^1); 10—Lower Devonian Tuokesalie Formation($D_{1,2t}$); 11—Diorite; 12—Quartz diorite;

13—Albite diorite; 14—Spilite; 15—Quartz albitophyre; 16—Fault; 17—Syncline; 18—Anticline

表 1 阿舍勒铜矿火山岩样品位置、特征

Table 1 Features and locations of samples from volcanic rocks in the Ashele copper deposit

序号	样品号	公里网格/m		地层代号	岩性
		X	Y		
1	Ap-104	5349576	15451826	D ₂ as ¹	英安-安山-玄武岩
2	03As-18	5351145	15451341	D ₂ as ^{2c3}	亚碱性玄武岩
3	03As-1	5351088	15451355	D ₂ as ²⁻³	亚碱性玄武岩
4	03As-2	5351088	15451357	D ₂ a ²⁻³	亚碱性玄武岩
5	Ap-91	5351046	15451164	D ₂ as ²⁻³	亚碱性玄武岩
6	03As-3	5351087	15451361	D ₂ as ²⁻³	亚碱性玄武岩
7	Ap-19	5351450	15452294	D ₃ q	亚碱性玄武岩
8	Ap-29	5351436	15452205	D ₃ q	英安-安山-玄武岩
9	Ap-73	5351146	15451519	D ₂ as ²⁻²	英安岩
10	Ap-75	5351146	15451484	D ₂ as ²⁻²	英安岩

自主要含矿层位和顶底部层位的英安-安山-玄武质火山岩的位置及特征,其中 1 号样品(序号,下同)为阿舍勒组第一岩性段安山玄武岩,2~6 号采自第二岩性段火山岩,7~8 号为上泥盆统齐也组玄武岩,9~10 号为阿舍勒组第二岩性段英安岩。

2.2 样品分析

主量元素由中国科学院地球化学研究所采用湿法分析,由李荪蓉承担。微量元素由核工业地质分析测试研究中心张彦辉和武朝晖采用 ICP-MS 法进行分析,仪器为 Finnigan MAT 制造的 HR-ICP-MS(Element I),仪器编号 6493;测试方法和依据:DZ/T0223-2001 电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析方法通则。工作条件:温度 21℃,相对湿度 35%。所有微量元素分析的重现性(准确度)优于 5%,稀土元素的分析精度优于 5%,其他微量元素优于 10%。

3 地球化学特征及其意义

3.1 岩石类型与主量元素特征

本文所研究的火山岩主体属亚碱性拉斑玄武系列岩石(图 2A、2B),为英安-安山-玄武岩组合(图 2C、2D),与岛弧带中亚碱性拉斑玄武系列的火山岩及其岩石组合一致(Condie, 1986)。与同类岩石相比,本区的安山玄武岩类中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (15.81%~21.97%) 和 $w(\text{MgO})$ (2.43%~6.76%) 高, $w(\text{CaO})$ (0.43%~6.27%) 和 $w(\text{Na}_2\text{O})$ (0.43%~2.77%) 较低, $w(\text{SiO}_2)$ 为 54.55%~61.12%, $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 0.03%~5.09%。玄武岩类中 $w(\text{SiO}_2)$ 在 47.23%~50.55% 之间, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (15.86%~18.56%) 和 $w(\text{MgO})$ (6.83%~9.48%) 高, $w(\text{K}_2\text{O})$ (0.05%~0.71%)、 $w(\text{CaO})$ (5.22%~8.72%)、 $w(\text{TiO}_2)$ (0.43%~0.73%) 和 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ (0.19%~0.28%) 较低,其他元素相当或略低。表 2 数据显示,本区各类火山岩中 $w(\text{Ti})$ 普遍偏低,而 $w(\text{Mg})$ 偏高,尤其是多数安山岩和英安岩中的 $w(\text{MgO})$ 高出中国同类岩石的 1~3 倍,由此可见,本区火山岩主量元素具有过铝质、低-中钾、低钛、富镁或高镁特征。

3.2 微量元素

本区英安-安山-玄武质火山岩的微量元素测试结果列于表 3。图 3 为阿舍勒不同喷发旋回火山岩 MORB 标准化图。从中可以看出:

本区阿舍勒组英安-安山-玄武质火山岩(图 3)具有明显的 Th-U-K 和 Pb 正异常,富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE),具有明显的 Ta、Nb 和 Sr 负异常,这与成熟岛弧中安山玄武岩富集 Th、LREE 和 LILE,具有明显负 Eu 异常、亏损 Nb 的特点(Pin et al., 1997)相一致,安山玄武岩与玄武岩可能岩浆源区均起源于富集地幔,它们具有相同的岩浆源区。英安岩的微量元素含量也具有类似的特征。因此,本区的英安-安山-玄武质火山岩属于来自同一岩浆源区的岩浆演化的产物,岩浆源区可能起源于富集地幔,形成于成熟岛弧环境中。

本区不同喷发旋回的英安-安山-玄武质火山岩之间的微量元素配分模式存在一定差异,暗示它们之间具有明显的岩浆结晶分异作用或热水事件存在。这种差异性主要表现为:产于含矿层位的英安-安山-玄武质岩石的微量元素含量相对较高,配分模式中成矿有关的元素(如 Ba、Pb)异常更加明显,而反映成矿环境的特征元素(如 Th-U-K)的正异常相对减弱,负异常(如 Eu 和 Y)更加明显。说明一方面与成矿有关的英安-安山-玄武质火山岩具有更加显著的“W 型”异常特征,另一方面具变化较大的微量元素配分模式的安山玄武岩有利于铜锌多金属成矿。

对比产于不同成矿环境下的安山玄武岩,结合本区中酸性火山岩特征,说明它们属于同一岩浆演化的产物,具有相同的岩浆源区,且均起源于富集地幔。

3.3 稀土元素

从表 3 和图 4 看,本区英安-安山-玄武质火山岩 REE 总量较低,多在 100×10^{-6} 以下, LREE/HREE 值在 1.82~14.82 之间,其他反映轻、重稀土元素之间的分异作用的参数值均大于 1,说明轻、重稀土元素分异作用明显,且明显富集 LREE。稀土元素组成参数(表 3)显示,轻、重稀土元素内部分

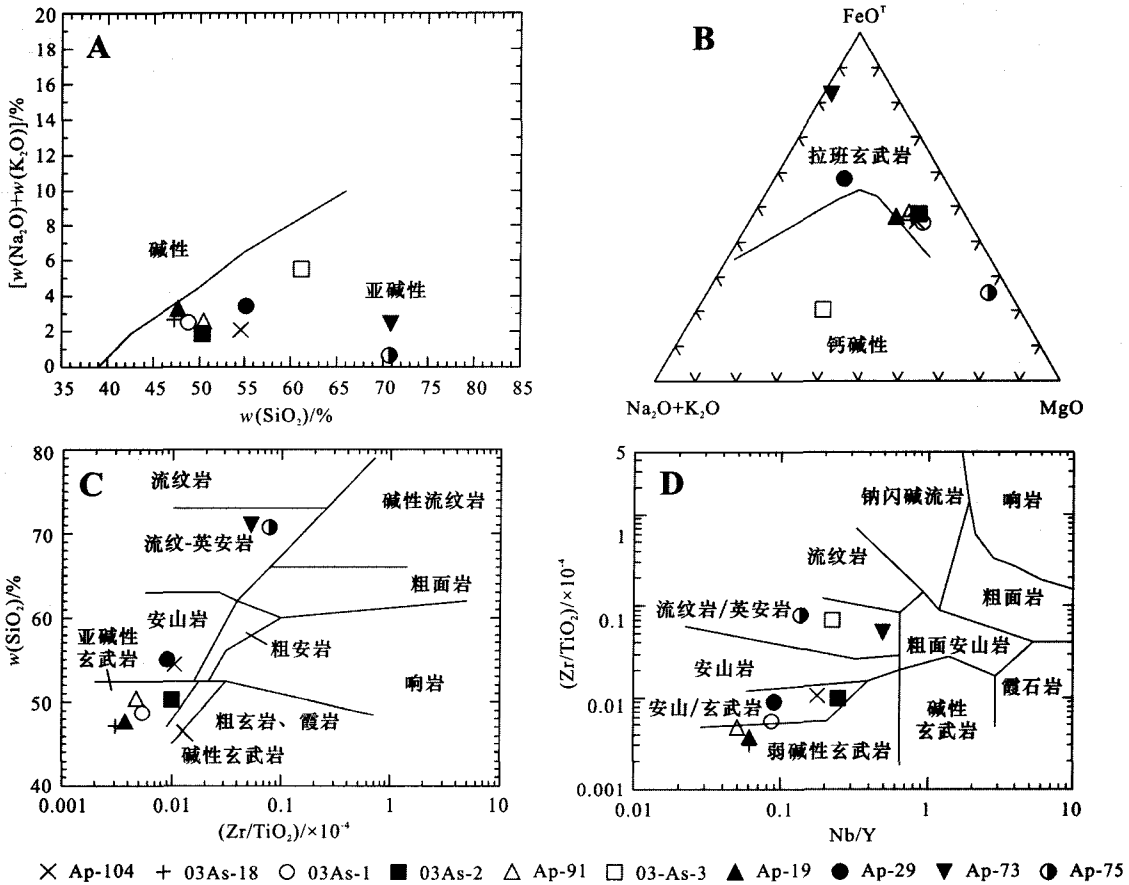


图2 新疆阿舍勒铜矿英安-安山-玄武质火山岩岩石类型判别图

Fig. 2 Classification diagram of dacite-andesite-basalt volcanic rocks in Ashele copper deposit

表2 阿舍勒铜矿火山岩的主量元素分析结果[w(B)/%]

Table 2 Major element analyses of volcanic rocks in the Ashele copper deposit[w(B)/%]

序号	样品号	SO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	CO ₂	总和	KN*	Bz1*	Bz2*
1	Ap-104	54.55	0.57	15.81	3.22	4.63	0.31	6.76	5.44	2.09	0.03	0.20	6.09		99.70	2.12	0.02	0.98
6	03As-3	61.12	0.41	21.97	0.59	1.81	0.06	3.56	0.43	0.43	5.09	0.27	4.17		99.91	5.52	11.84	0.08
	D _{2as} AR	57.84	0.49	18.89	1.64	3.46	0.18	5.16	2.94	1.26	2.56	5.13	0.24		99.79	3.82	5.93	0.53
	MV(α)**	56.75	0.76	18.60	3.88	3.26	0.15	3.42	6.97	3.07	2.01	0.49	0.79	0.15	100.3	5.08	0.65	0.60
2	03As-18	47.23	0.56	15.86	1.15	8.30	0.15	7.81	7.16	2.60	0.05	0.22	8.58		99.67	2.65	0.02	0.98
3	03As-1	48.75	0.67	17.56	2.73	7.51	0.17	9.48	7.12	2.46	0.06	0.28	3.19		99.98	2.52	0.02	0.98
4	03As-2	50.36	0.70	18.52	2.85	5.45	0.12	6.83	8.72	1.83	0.06	0.21	4.07		99.72	1.89	0.03	0.97
5	Ap-91	50.55	0.73	18.56	2.69	7.06	0.14	7.47	5.22	2.55	0.07	0.22	4.87		100.13	2.62	0.03	0.97
	D _{2as} BR	49.22	0.67	17.63	2.31	7.12	0.15	7.90	7.06	2.36	0.06	5.18	0.23		99.89	2.42	0.03	0.98
	BV(β)**	48.20	2.21	14.99	4.18	6.95	0.20	7.00	8.07	3.40	2.51	0.60	1.26	0.35	99.92	5.91	0.74	0.58
9	Ap-73	70.92	0.26	7.48	14.14	0.27	0.02	0.34	0.15	0.35	2.09	0.07	3.78		99.87	2.44	5.97	0.14
10	Ap-75	70.74	0.14	10.82	0.13	3.11	0.05	8.98	0.31	0.24	0.44	0.11	4.88		99.95	0.68	1.83	0.35
	D _{2as} M-AV	70.83	0.20	9.15	7.14	1.69	0.04	4.66	0.23	0.30	1.27	0.09	4.33		99.93	1.56	3.90	0.25
	ao**	65.70	0.65	15.24	2.88	1.56	0.10	1.57	4.00	3.13	2.83	0.16	2.18		100	5.96	0.90	0.45
7	Ap-19	47.75	0.43	17.35	0.16	8.94	0.17	6.88	5.52	2.59	0.71	0.19	9.11		99.80	3.30	0.27	0.78
8	Ap-29	55.12	0.71	18.88	2.48	5.95	0.13	2.43	6.27	2.77	0.69	0.15	4.16		99.74	3.46	0.25	0.80

*单位为1。*据黎彤等,1962(转引自赵伦山等,1987)。KN=K₂O+Na₂O;Bz1=K₂O/Na₂O;Bz2=Na₂O/(K₂O+Na₂O)。D_{2as} AR—中泥盆统阿舍勒组安山质岩石平均值;MV(α)—中性火山岩(安山岩);MV(β)—中性火山岩(安山岩);D_{2as} BR—中泥盆统阿舍勒组玄武质岩石平均值;BV(β)—基性火山岩(玄武岩);D_{2as} M-AV—中泥盆统阿舍勒组中酸性火山岩平均值;ao—英安岩。

表 3 阿舍勒铜矿火山岩微量元素、稀土元素组成 ($w_B/10^{-6}$)Table 3 Trace element and REE compositions of volcanic rocks in the Ashele copper deposit ($w_B/10^{-6}$)

	D_{2as}^{2-1}		D_{2as}^{2-3}				D_{3q}		D_{2as}^{2-2}	
	Ap-104	03As-18	03As-1	03As-2	Ap-91	03As-3	Ap-19	Ap-29	Ap-73	Ap-75
Sc	27.40	34.60	40.40	39.20	41.10	22.50	33.80	25.20	12.10	13.10
Ti	3272	3309	3961	4238	4189	2458	4245	5821	1763	981
V	197	237	267	249	282	5.09	260	272	18.1	11.9
Cr	37.3	279	319	298	300	2.89	270	21.5	9.12	4.62
Mn	2438	1206	1359	1010	1060	467	1359	1034	221	391
Co	24	47.2	53.8	29.7	13	1.32	38.1	24.7	0.541	1.64
Ni	23.2	93.6	111	93.5	97.1	6.25	95.3	18.2	2.26	2.35
Cu	33.4	34	38.4	131	102	47.1	64.7	74.7	507	5.84
Zn	189	69.8	82.3	71.5	946	94.7	90.5	84.1	28.1	376
Rb	0.454	0.345	0.178	0.458	0.504	102	8.38	10.6	39.7	7.01
Sr	184	75.2	243	507	313	9.99	130	335	29.4	7.88
Y	14.9	9.96	11.1	12.6	18.3	44.9	11.7	22.2	11	26.6
Zr	60.2	17.1	36.9	70.3	34.6	285	16.3	64.6	135	109
Nb	2.62	0.606	0.955	3.11	0.916	10.1	0.71	1.98	5.38	3.56
Mo	0.25	0.24	0.332	0.589	2.17	0.178	0.271	0.416	10	0.321
Cd	0.172	0.195	0.081	0.084	10.4	0.152	0.173	0.166	0.075	0.172
Sb	0.539	0.435	4.42	12.3	6.66	2.73	0.512	1.4	0.627	0.209
Cs	0.058	0.219	0.101	0.164	0.058	7.34	0.452	0.366	1.36	0.491
Ba	27.5	164	41	35.7	62.3	5444	121	113	2043	146
Hf	1.12	0.372	0.783	1.32	0.763	6.9	0.448	1.39	2.53	2.11
Ta	0.161	0.041	0.071	0.22	0.064	0.712	0.057	0.132	0.374	0.213
Pb	18.5	48.2	4.79	10.5	8.17	5.69	6.86	17.2	9.88	3.75
Th	1.49	0.385	0.703	2.41	0.661	8.08	0.315	1.66	4.7	2.23
U	0.494	0.122	0.224	0.878	0.662	0.322	0.261	0.604	1.13	0.532
La	10.2	2.6	3.34	7.07	4.53	16.8	2.19	8.59	9.97	9.87
Ce	18.8	5.49	7.19	15	10.5	58.7	4.75	18.7	23.7	17.9
Pr	2.45	0.834	1.12	1.77	1.73	5.19	0.807	2.71	2.63	2.54
Nd	10.8	4.16	5.12	7.47	8.79	22.5	4.54	13.1	11.2	11.9
Sm	2.28	1.1	1.32	1.66	2.63	6.65	1.47	3.19	2.58	2.75
Eu	0.666	0.545	0.501	0.538	0.823	2.24	0.582	1.06	1.22	0.637
Gd	2.56	1.45	1.65	2	2.98	9.21	1.81	3.72	2.45	3.42
Tb	0.403	0.251	0.288	0.323	0.549	1.55	0.329	0.601	0.328	0.564
Dy	2.44	1.61	1.9	2.1	3.5	9.89	2.15	3.91	2.04	3.74
Ho	0.532	0.355	0.415	0.468	0.74	2.05	0.47	0.848	0.447	0.899
Er	1.53	1.04	1.22	1.44	2.09	6.26	1.38	2.51	1.45	2.82
Tm	0.252	0.177	0.215	0.243	0.366	1.25	0.226	0.426	0.271	0.529
Yb	1.44	1.03	1.2	1.41	2.08	7.61	1.3	2.4	1.59	3.19
Lu	0.267	0.172	0.223	0.255	0.345	1.43	0.234	0.425	0.3	0.618
ΣREE	54.62	20.814	25.702	41.747	41.653	151.33	22.238	62.19	60.176	61.377
LREE	45.196	14.729	18.591	33.508	29.003	112.08	14.339	47.35	51.3	45.597
HREE	9.424	6.085	7.111	8.239	12.65	39.25	7.899	14.84	8.876	15.78
LR/HR*	4.80	2.42	2.61	4.07	2.29	2.86	1.82	3.19	5.78	2.89
δEu*	0.84	1.32	1.04	0.90	0.90	0.87	1.09	0.94	1.46	0.63
δCe*	0.88	0.89	0.89	1.00	0.90	1.50	0.86	0.93	1.09	0.84
(La/Yb) _N *	4.78	1.70	1.88	3.38	1.47	1.49	1.14	2.41	4.23	2.09
(La/Lu) _N *	4.09	1.62	1.60	2.97	1.41	1.26	1.00	2.16	3.56	1.71
(Ce/Yb) _N *	3.38	1.38	1.55	2.75	1.31	2.00	0.95	2.02	3.86	1.45
(La/Sm) _N *	2.81	1.49	1.59	2.68	1.08	1.59	0.94	1.69	2.43	2.26
(Gd/Yb) _N *	1.43	1.14	1.11	1.14	1.16	0.98	1.12	1.25	1.24	0.87
La/Th*	6.85	6.75	4.75	2.93	6.85	2.08	6.95	5.17	2.12	4.43
Th/Ta*	9.25	9.39	9.90	10.95	10.33	11.35	5.53	12.58	12.57	10.47

* 单位为 1。

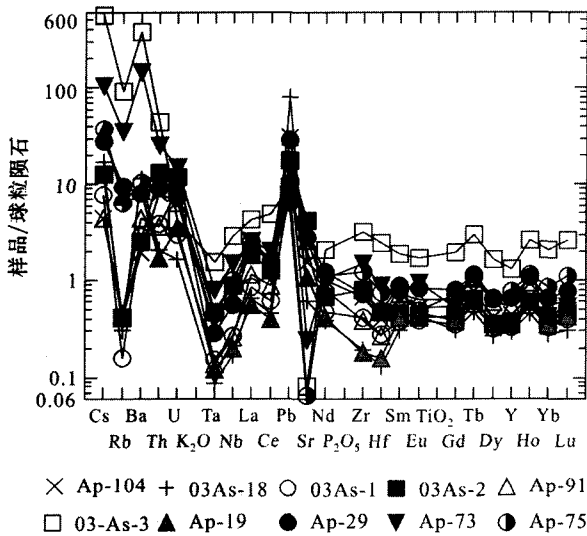


图3 阿舍勒火山岩 MORB 标准化微量元素蛛网图 (MORB 数据引自 Bevins et al., 1984)

Fig. 3 Primitive mantle normalized spidergrams of trace elements in volcanic rocks of Ashele (trace element content of MORB after Bevins et al., 1984)

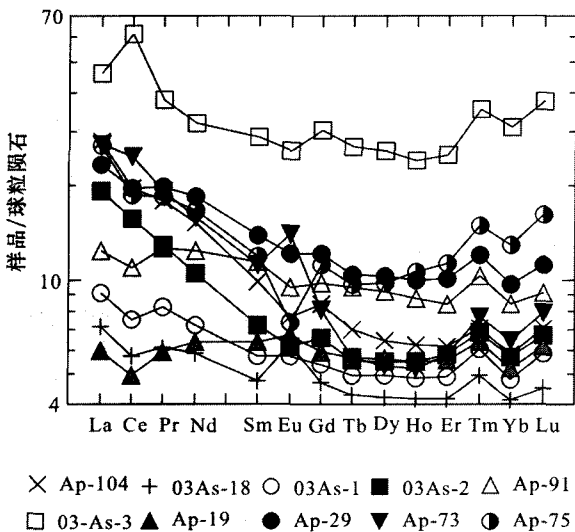


图4 阿舍勒火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分图

Fig. 4 Primitive mantle normalized spidergrams of trace elements in volcanic rocks of Ashele (trace element content of MORB after Bevins et al., 1984)

差异明显,反映轻稀土元素内部分异程度的 $(La/Sm)_N$ 比值为0.94~2.68,而反映重稀土内部分异的参数 $(Gd/Yb)_N$ 比值为0.98~1.43之间,且多数在1左右,说明本区英安-安山-玄武质火山岩中稀土元素配分模式为重稀土元素平坦-亏损轻稀土富集型。这些特征与活动大陆边缘上的成熟岛弧火

山岩的稀土元素特征基本一致。多数火山岩具有弱的负Eu异常, δEu 值多在0.84~0.94,削弱亏损,平均值为0.89,说明火山岩的岩浆可能起源于下地壳或上地幔。

本区不同喷发旋回的英安-安山-玄武质火山岩之间的稀土元素配分模式存在一定差异,暗示它们之间存在明显的岩浆结晶分异作用。这种差异性主要表现在:产于含矿层位的英安-安山-玄武质岩石的稀土元素总量普遍比较高、配分模式的分布范围更广(约为不含矿层位同类岩石的2倍),轻重稀土元素之间及其内部的分异较强,负铕异常更加明显,由于高温热水反应的存在,部分样品稀土元素含量明显增加且出现正铕异常(03As-3)。此外,富镁玄武岩稀土元素配分模式为平坦型或“V”型(如03As-1)。联系火山喷发过程中,火山岩从流纹岩开始,逐渐到英安岩,以玄武岩结束这一地质实际,稀土元素的配分模式从右倾型逐渐过渡到平坦型和“V”型。上述特征说明变化较大的稀土元素模式有利于铜锌多金属成矿。矿体盖层——玄武岩为典型的平坦型配分模式。结合前述的主量元素低Ti、富Mg特征,说明本区的火山岩为一套高镁岩系,说明它们属于同一岩浆演化的产物,具有相同的岩浆源区,且均起源于富集地幔。

4 大陆动力学背景分析与讨论

本区火山岩形成的大陆动力学背景为成熟岛弧环境。主要依据有:

(1) 本区中基性火山岩(英安-安山-玄武质岩类)中 $w(Yb) < 5 \times 10^{-6}$, $w(Ta) < 1 \times 10^{-6}$, Ta/Yb 值 < 0.5 ,表现为与板块俯冲作用有关的岛弧岩浆作用的特点(Condie, 1986), $Rb-Y+Nb$ 图解(图5)显示,本区火山岩形成于火山岛弧环境中。 $Ta-Yb$ 图解投点获得了同样的结果。

(2) 稀土元素含量特征及配分模式研究表明,本区的酸性火山岩和基性火山岩属于同一岩浆演化的产物,具有相同的岩浆源区,且均起源于富集地幔。而微量元素配分模式总体特征与成熟大陆弧安山玄武岩类似,都具有十分明显的Sr、Ti负异常(MORB标准化比值小于1)和明显的P、Ba负异常(部分),说明本区火山岩的形成环境是具有Ta、Nb、La负异常特点的成熟岛弧。

(3) $Hf/3-Th-Ta$ 图解(图6)显示本区的14件样品均投影在碎裂大陆边缘的玄武岩及其分异型区一个较小的范围内,说明它们的形成过程与大陆边缘碎裂有较为密切的关系。利用 $Hf/3-Th-Nb/16$ 图解(图6)获得了相同的结果。因此,本区火山岩形成于成熟岛弧环境中。

(4) 牛贺才等(1999)在研究阿舍勒火山岩时,认为本区的火山岩系具有高Si、富Mg和贫Ti特征。本研究表明,本区的英安岩和安山岩富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE),具有明显的Ta、Nb、Eu和Ti负异常,具有低Ti高Mg特征,是形成于岛弧环境的又一重要证据。

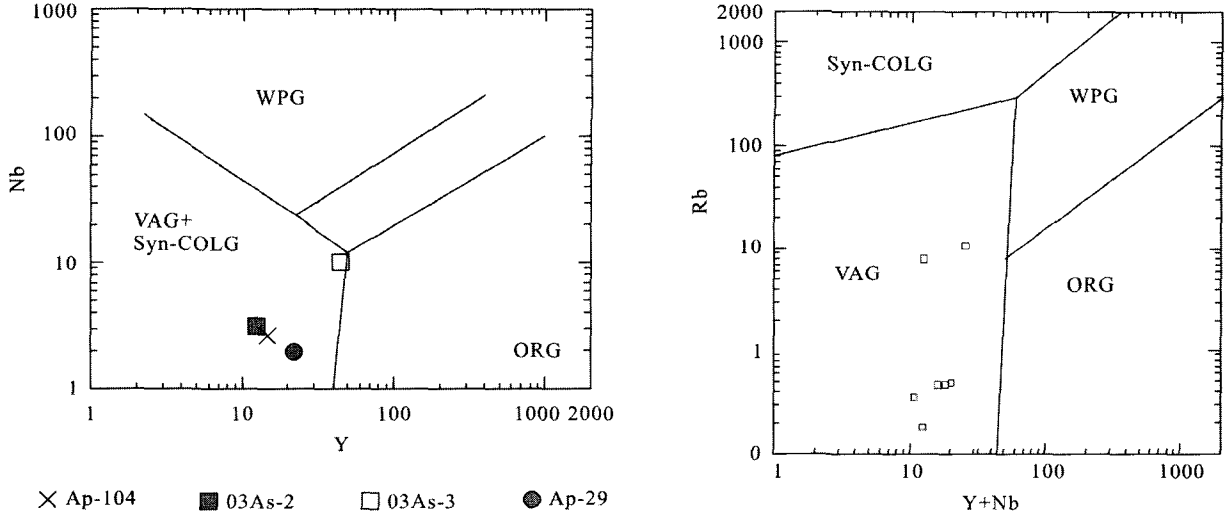


图 5 阿舍勒铜矿英安-安山-玄武质火山岩 Nb-Y(A)和 Rb-Y + Nb(B)图解(据 Pearce et al., 1984)

VAG—火山岛弧环境; VAG + Syn-COLG—火山岛弧 + 同碰撞环境; ORG—造山环境; WPG—板内环境

Fig. 5 Nb-Y(A) and Rb-Y + Nb(B) diagram of dacite-andesite-basalt volcanic rocks in the Ashele copper deposit (after Pearce et al., 1984)

VAG—Volcanic island environment; VAG + Syn-COLG—Volcanic island + Syn-collision environment; ORG—orogenic environment; WPG—Intraplate environment

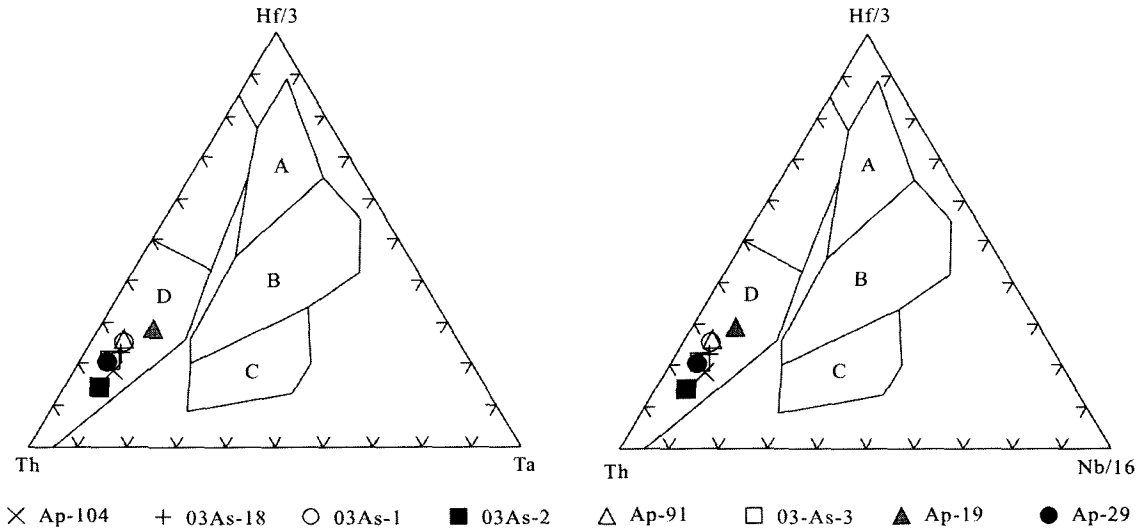


图 6 阿舍勒铜矿英安-安山-玄武质火山岩 Hf/3-Th-Ta 和 Hf/3-Th-Nb/16 图解(据 Wood, 1980)

A—N型 MORB; B—E型 MORB 和拉斑玄武岩系列的板内玄武岩及其分异型; C—碱性板内玄武岩和板内玄武岩分异型; D—碎裂大陆边缘的玄武岩及其分异型

Fig. 6 Hf/3-Th-Ta and Hf/3-Th-Nb/16 diagram of dacite-andesite-basalt volcanic rocks in the Ashele copper deposit (after Wood, 1980)

A—N-type MORB; B—E-type MORB and tholeiitic WPB and differentiates; C—Alkaline WPB and WPB and differentiates; D—Destructive plate-margin basalts and differentiates

5 结论

本区英安-安山-玄武质岩石组合属亚碱性拉斑玄武岩系列,它们形成的大陆动力学背景为成熟岛弧环境。本区酸性火山岩与基性火山岩可能起源于同一岩浆源区,均起源于富集地幔。

本区英安-安山-玄武质火山岩具有富镁、铝过饱和、低钾等特点,具有 Ti、Nb、P 和 Ta 明显负异常、Sr 中等负异常,轻稀土元素明显富集, $(La/Yb)_N$ 值为 1.14~4.78, La/Th 值 2.08~6.85, Th/Ta 值高(5.53~12.58),具有弱的 $\delta Eu(0.84 \sim 0.94)$ 负异常。它们形成的大陆动力学背景为成熟岛弧环境。

References

- Bevins R E, Kokelaar B P and Dunkley P N. 1984. Petrology and geochemistry of lower and middle Ordovician igneous rocks in Wales: A volcanic arc to marginal basin transition[J]. *Proc. Geol. Ass.*, 95: 337-347.
- Cai Z C. 2006. Metallogenic rule for copper-zinc mass sulfide deposit in Ashele, Xinjiang[J]. *Resources Environment & Engineering*, 20(3): 211-215(in Chinese with English abstract).
- Chen Z F. 2002. Opening-closing tectonics and prospecting targets of Ashele Cu-Zn deposits[J]. *Xinjiang Geol.*, 20(1): 34-37(in Chinese with English abstract).
- Condie, K C. 1986. Geochemistry and tectonic setting of early Proterozoic supracrustal rocks in the south western United States[J]. *J. Geol.*, 94: 845-864.
- Cong F, Tang H F and Su Y P. 2007. Geochemistry and tectonic setting of Devonian rhyolites in southern Altay, Xinjiang, Northwest China [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(3): 359-364(in Chinese with English abstract).
- Dong S B and Tian W. 2004. The nomenclature, characteristics and petrogenesis of adakite[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 585-594(in Chinese with English abstract).
- Fang W X, Gao Z Q, Jia R X, Huang Z Y, Liu Z T, Li F S and Xu G D. 2006a. Metallogenic background and geochemical characteristics of Low Carboniferous volcanic rocks in No. 371-Xibeipo copper-gold mineralization belt in the Yaxi area, eastern Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 215-224(in Chinese with English abstract).
- Fang W X, Gao Z Q, Jia R X, Liu Z T, Li F S and Xu G D. 2006b. Geological exploration potentials and geochemical study on rocks and ores in Shaquanzi copper and copper-iron deposits, east Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1413-1424(in Chinese with English abstract).
- Fang W X, Huang Z Y, Tang H F and Gao Z Q. 2006c. Lithofacies, geological and geochemical characteristics and tectonic setting of Late Carboniferous volcanic-sedimentary rocks in the Kumtag-Shaquanzi area, East Tianshan[J]. *Geol. in China*, 33(3): 529-544(in Chinese with English abstract) (in Chinese with English abstract).
- Gu L X. 1999. Advances in research on massive sulfide deposits: A review[J]. *Geol. Rev.*, 45(3): 265-275(in Chinese with English abstract).
- Han J W, Xiong X L and Wu J H. 2006. Na depletion in modern adakites and implication for melt-mantle metasomatism[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(3): 381-391(in Chinese with English abstract).
- Hu A Q, Wei G J, Deng W F and Chen L L. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating and its significance for gneisses from the southwest area to Qinghe County in the Altai, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- Hu A Q, Zhang G X, Zhang Q F, Li T D and Zhang J B. 2002. A review on ages of Precambrian metamorphic rocks from Altai orogen in Xinjiang, NW China[J]. *Chinese J. Geol.*, 37(2): 129-142(in Chinese with English abstract).
- Hua R M. 1995. On the three major genetic models of stratiform copper deposits[J]. *Geol. Rev.*, 14(2): 112-119(in Chinese with English abstract).
- Jia Q Z. 1996. Geological characteristics and metallogenic environment of the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 15(3): 267-276(in Chinese with English abstract).
- Jiang F Z. 2001. Bimodal volcanic[J]. *Mineral Deposits*, 20(4): 331-338(in Chinese with English abstract).
- Jiang F Z and Wang Y W. 2005. Marine volcanic rocks and metal deposits[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press. 1-241(in Chinese).
- Jiang Q J. 1994. Types, evaluation criteria and geneses of the massive sulfide deposits in the volcanic terrain[J]. *Geol. Explor. Non-Ferrous Metals*, 3(1): 4-9(in Chinese with English abstract).
- Li G M, Shen Y C, Liu T B, Shen P and Zhou N W. 2007. Metallogenic evolution of Tuokuzibayi gold deposit in southern Altay, north Xinjiang: Evidence from characteristics of quartz vein systems, isotopic geochemistry and Ar-Ar chronology[J]. *Mineral Deposits*, 26(1): 15-18(in Chinese with English abstract).
- Li H J, He G Q, Wu T and Wu B. 2006. Confirmation of Altai-Mongolia microcontinent and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1369-1379(in Chinese with English abstract).
- Li J C, Wang S C and Yang Y H. 2002. Synthetical information research for giant and super ore deposits metallogenic laws in Xinjiang Altai metallogenic province[J]. *J. Jilin Univ. (Earth Science Edition)*, 32(4): 353-358(in Chinese with English abstract).
- Liu J S. 1996. Some problems in studies of the exhalative sedimentary mineralization[J]. *Mineral Resour. & Geol.*, 10(1): 6-10(in Chinese with English abstract).
- Mou C L, Liu B J and Zhu X Z. 1996. Dynamics of the Devonian facies in the Ashele-Chonghur region, Xinjiang[J]. *Sedimentary Facies & Palaeogeography*, 16(3): 30-38(in Chinese with English abstract).
- Mou C L, Zhu X Z and Xing X F. 1997. Sequence stratigraphy of ma-

- rine volcano-sedimentary basins: An example from the Devonian strata in the Ashele-Choughur region, Xinjiang[J]. *Sedimentary Facies & Palaeogeography*, 17(3): 11-21 (in Chinese with English abstract).
- Niu H C, Xu J F, Yu X Y, Chen F R and Zhen Z P. 1999. Magnesium-rich volcanic rocks was found and its geological implication in the Altay, Xinjiang[J]. *Chines Sci. Bull.*, 44(9): 1002-1004(in Chinese with English abstract).
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J. Petrol.*, 25: 956-983.
- Pin C and Paquette J L. 1997. A mantle-derived bimodal suite in the Hercynian belt: Nd isotope and trace element evidence for a subduction-related rift origin of the late Devonian Brevenne metavolcanic, Massif Central (France)[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 129: 222-238.
- Tang H S and Wang Z Y. 1998. Late Palaeozoic plate-tectonics and its relationship with copper deposits in northern junggar, Xinjiang[J]. *Mineral Resour. & Geol.*, 12(2): 91-95(in Chinese with English abstract).
- Wan B and Zhang L C. 2006. Sr-Nd-Pb isotope geochemistry and tectonic setting of Devonian polymetallic metallogenic belt on the Southern margin of Altai, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 145-152(in Chinese with English abstract).
- Wang D H. 1996. Devonian bimodal volcanic rocks and metalotectonic environment of the Ashele copper district in Xinjiang [J]. *Geol. Rev.*, 42(1): 45-53(in Chinese with English abstract).
- Wang J B, Qin K Z and Wu Z L. 1998. Volcanic exhalative sedimentary type lead-zinc deposit in Southern Altay, Xinjiang. [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 18-58(in Chinese).
- Wang Y, Qian Q, Liu L and Zhang Q. 2000. Major geochemical characteristics of bimodal volcanic rocks in different geochemical environments[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(2): 169-173(in Chinese with English abstract).
- Wang Z Y and Tang H S. 1997. Major types, ore controlling conditions and ore prospecting perspective of copper deposits in northern Zhungeer, Xinjiang[J]. *Mineral Resour. & Geol.*, 11(5): 319-324 (in Chinese with English abstract).
- Wood D A. 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[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50: 11-30.
- Xu J F and Wang Q. 2003. Tracing the thickening process of continental crust through studying adakitic rocks: Evidence from volcanic rocks in the north Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 401-406(in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Zhen C Q and Zhao Q Y. 2005a. Metamorphic types and crustal evolution of Hercynian orogenic belt in Altai region, Xinjiang [J]. *J. Jilin Univ. (Earth Science Edition)*, 35(01): 7-11(in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Zhen C Q and Zhao Q Y. 2005b. Characteristics and evolution of progressive metamorphic belt in Chonghuer of the Altai area, Xinjiang[J]. *Geosci.*, 19(3): 334-340 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W, Zhen J M, Xu L G, Liu D Q, Zhao C S and Ye H S. 2006. Geology and metallogenic model of the Altay large metallogenic belt in Kazakhstan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 963-983 (in Chinese with English abstract).
- Yang W P, Zhang Z C, Zhou G, Yan S H, He L X and Chen B L. 2005. Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt[J]. *Geol. in China*, 32(1): 107-114(in Chinese with English abstract).
- Ye Q T and Zhang X H. 1997. Geological characteristics and genesis of the Ashele copper-zinc massive sulfide deposit, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 16(2): 97-106(in Chinese with English abstract).
- Ye Q T, Fu X J and Wang B L. 1998. Metallogeny of polymetallic metallogenic belts on the southern margin of the Altay Mountains, Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(4): 349-357(in Chinese with English abstract).
- Yu J H, Wang D Z and Geng J H. 1998. A Palaeoproterozoic a-type rhyolite[J]. *Geochimica*, 27(6): 549-558(in Chinese with English abstract).
- Zhang H Y, Niu H C, Terada K, Yu X Y, Sato H and Ito J. 2003. SHRIMP chronology of plagioclase granite in Kuerti ophiolite in Altay region, Northern Xinjiang [J]. *Chines Sci. Bull.*, 48(12): 1350-1354(in Chinese with English abstract).
- Zhang L C, Xia B, Niu H C, Li W Q, Fang W X, Tang H F and Wan B. 2006. Metallogenic systems and belts developed on the late Paleozoic continental margin in Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1387-1398(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Qian Q and Wang Y. 2000. Rock assemblages of ophiolites and magmatism beneath oceanic ridges [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Cai F M and He L X. 2005. Middle Devonian picrites of south margin of Altay orogenic belt and implications for tectonic setting and Petrogenesis[J]. *Earth Sci.*, 30(3): 289-297(in Chinese with English abstract).
- Zhao L S and Zhang B R. 1987. *Geochemistry* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 44(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Wang Q and Xiong X L. 2004. Complex mantle-crust interaction in subduction zone[J]. *Bull. Mineral. Petrol. & Geochem.*, 23(4): 277-284(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Wang Q, Xiong X L, Niu H C, Zhang H X and Qiao Y L. 2007. Magnesian igneous rocks in northern Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1696-1707(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡志超. 2006. 新疆阿舍勒铜锌块状硫化物矿床的成矿规律[J]. *资源环境与工程*, 20(3): 0211-0215.
- 陈哲夫. 2002. 阿舍勒铜锌矿床的开合构造特征及找矿方向[J]. *新疆地质*, 20(1): 34-37.

- 丛峰,唐红峰,苏玉平. 2007. 阿尔泰山南缘泥盆纪流纹岩的地球化学和大地构造背景[J]. 大地构造与成矿学, 31(3): 359-364.
- 董申保,田伟. 2004. 埃达克岩的原义、特征与成因[J]. 地质前缘, 11(4): 585-594.
- 方维萱,高珍权,贾润辛,黄转盈,刘正桃,李丰收,徐国端. 2006a. 东疆雅西371-西北坡铜金矿化带下石炭统火山岩地球化学特征与成矿背景[J]. 岩石学报, 22(1): 215-224.
- 方维萱,高珍权,贾润辛,刘正桃,李丰收,徐国端. 2006b. 东疆沙泉子铜和铜铁矿床(矿)石地球化学研究与地质找矿前景[J]. 岩石学报, 22(5): 1413-1424.
- 方维萱,黄转盈,唐红峰,高珍权. 2006c. 东天山库姆塔格-沙泉子晚石炭世火山-沉积岩相学地质地球化学特征与构造环境[J]. 中国地质, 33(3): 529-544.
- 顾连兴. 1999. 块状硫化物矿床研究进展评述[J]. 地质论评, 45(3): 265-275.
- 韩江伟,熊小林,吴金花. 2006. 埃达克岩的Na亏损及其对地幔Na交代的指示意义[J]. 大地构造与成矿学, 30(3): 381-391.
- 胡霭琴,张国新,张前锋,李天德,张积斌. 2002. 阿尔泰山造山带变质岩时代问题的讨论[J]. 地质科学, 37(2): 129-142.
- 胡霭琴,韦刚健,邓文峰,陈林丽. 2006. 阿尔泰山地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(1): 1-10.
- 华仁民. 1995. 试论层状铜矿的三种主要成因模式[J]. 地质论评, 14(2): 112-119.
- 贾群子. 1996. 新疆阿舍勒块状硫化物矿床成矿特征及形成环境[J]. 矿床地质, 15(3): 267-276.
- 姜福芝. 2001. 双峰式火山岩与块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 20(4): 331-338.
- 姜福芝,王玉往. 2005. 海相火山岩与金属矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1-241.
- 姜齐节. 1994. 火山岩区块状硫化物矿床的类型、评价标志和成因[J]. 有色金属矿产与勘查, 3(1): 4-9.
- 李光明,沈远超,刘铁兵,申萍,周能武. 2007. 新疆阿尔泰山南缘托库孜巴依金矿成矿演化: 石英脉系、同位素地球化学及其 Ar-Ar 年代学证据[J]. 矿床地质, 26(1): 15-18.
- 李会军,何国琦,吴泰然,吴波. 2006. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1369-1379.
- 李景朝,王世称,杨毅恒. 2002. 阿尔泰成矿区大型、超大型矿床成矿规律综合信息研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 32(4): 353-358.
- 刘继顺. 1996. 喷流沉积成矿作用研究的若干问题[J]. 矿产与地质, 10(1): 6-10.
- 牟传龙,刘宝瑀,朱晓镇. 1996. 新疆阿舍勒-冲乎尔地区泥盆纪相动力学研究[J]. 岩相古地理, 16(3): 30-38.
- 牟传龙,朱晓镇,邢雪芬. 1997. 海相火山沉积盆地层序地层研究: 以新疆阿舍勒、冲乎尔地区泥盆系地层为例[J]. 岩相古地理, 17(3): 11-21.
- 牛贺才,许继锋,于学元,陈繁荣,郑作平. 1999. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义[J]. 科学通报, 44(9): 1002-1004.
- 唐红松,王正云. 1998. 新疆北准地区晚古生代板块构造及与铜矿的关系[J]. 矿产与地质, 12(2): 91-95.
- 万博,张连昌. 2006. 新疆阿尔泰山南缘泥盆纪多金属成矿带 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学与构造背景探讨[J]. 岩石学报, 22(1): 145-152.
- 王焰,钱青,刘良,张旗. 2000. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 16(2): 169-173.
- 王登红. 1996. 新疆阿舍勒铜矿区双峰式火山岩与成矿背景的初步研究[J]. 地质论评, 42(1): 45-53.
- 王京彬,秦克章,吴志亮. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社. 18-58.
- 王正云,唐红松. 1997. 新疆北准地区铜矿床主要类型控矿条件及找矿前景分析[J]. 矿产与地质, 11(5): 319-324.
- 徐学纯,郑常青,赵庆英. 2005a. 阿尔泰海西造山带区域变质作用类型与地壳演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 35(01): 7-11.
- 徐学纯,郑常青,赵庆英. 2005b. 新疆阿尔泰山地区冲乎尔递增变质带特征及其演化[J]. 现代地质, 19(3): 334-340.
- 许继峰,王强. 2003. Adakitic 火成岩对大陆地壳增厚过程指示: 以青藏北部火山岩为例[J]. 地质前缘, 10(4): 401-406.
- 杨富全,毛景文,郑建民,徐林刚,刘德权,赵财胜,叶会寿. 2006. 哈萨克斯坦阿尔泰巨型成矿带的地质特征和成矿模型[J]. 地质学报, 80(7): 963-983.
- 杨文平,张招崇,周刚,闫升好,何立新,陈柏林. 2005. 阿尔泰山铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 32(1): 107-114.
- 叶庆同,张晓华. 1997. 阿舍勒铜矿块状硫化物矿床地质特征和成因[J]. 矿床地质, 16(2): 97-106.
- 叶庆同,傅旭杰,王宝良. 1998. 新疆阿尔泰山南缘多金属成矿带的成矿规律[J]. 地质学报, 72(4): 349-357.
- 于津海,王德滋,耿建华. 1998. 一个古元古代 A 型流纹岩[J]. 地球化学, 27(6): 549-558.
- 张旗,钱青,王焰. 2000. 蛇绿岩岩石组合及洋脊下岩浆作用[J]. 岩石矿物学杂志, 19(1): 1-7.
- 张海洋,牛贺才, Terada K, 于学元, Sato H and Ito J. 2003. 新疆北部阿尔泰山地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究[J]. 科学通报, 48(12): 1350-1354.
- 张招崇,闫升好,陈柏林,周刚,何永康,柴凤梅,何立新. 2005. 阿尔泰山南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 30(3): 289-297.
- 张连昌,夏斌,牛贺才,李文铅,方维萱,唐红峰,万博. 2006. 新疆晚古生代大陆边缘成矿系统与成矿区带初步探讨[J]. 岩石学报, 22(5): 1387-1398.
- 赵伦山,张本仁. 1987. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 44.
- 赵振华,王强,熊小林. 2004. 俯冲带复杂的壳幔相互作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(4): 277-284.
- 赵振华,王强,熊小林,牛贺才,张海洋,乔玉楼. 2007. 新疆北部的富镁火山岩[J]. 岩石学报, 23(7): 1696-1707.