

# 新疆阿舍勒铜矿酸性火山岩的地球化学特征与构造背景

高珍权<sup>1,2,4</sup>, 赵青<sup>3</sup>, 方维萱<sup>1,2</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 方明<sup>4</sup>

(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, 贵阳 550002;

2. 有色金属矿产地地质调查中心, 北京 100814;

3. 新疆维吾尔自治区国土资源咨询研究中心, 乌鲁木齐 830002;

4. 昆明理工大学, 昆明 650093)

**摘要** 新疆阿舍勒铜矿床中玄武岩—英安岩—流纹岩岩石组合属钙碱性(亚碱性)系列。流纹岩类和英安岩类岩石均属过铝质、低—中钾系列火山岩。酸性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, 显示本区酸性火山岩与玄武岩具有同源区特点, 均起源于富集地幔, 属于玄武岩浆经岩浆结晶分异作用的产物, 它们形成的构造背景为洋内弧附近的前弧盆地。

**关键词** 阿舍勒铜矿床 酸性火山岩 富集地幔 洋内弧 前弧盆地

**中图分类号**: P591; P613; P618.42

**文献标识码**: A

**文章编号**: 1674-7801(2010)05-0431-10

## 0 前言

块状硫化物型矿床是铜矿床仅次于斑岩型和砂页岩型的重要类型之一, 在研究该类型矿床时, 人们从不同的角度, 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, 对块状硫化物矿床(MSD)进行了分类<sup>[1-4]</sup>。虽然因其出发点和所强调的角度不同, 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, 并且取得一系列共识, 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<sup>[4-7]</sup>。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<sup>[8-16]</sup>, 取得了基本一致的认识, 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<sup>[17]</sup>, 认为是裂隙槽环境; 也有部分学者认为是挤压环境, 唐红松等<sup>[20]</sup>列举了支持“活动陆缘火山盆地”的证据。牟传龙等<sup>[21]</sup>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, 但没有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<sup>[22-31]</sup>。因此, 本文根据与成矿关系密切的酸性火山岩的常、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

[收稿日期] 2009-02-23

[基金项目] 科技部国家重点基础研究发展规划项目(编号: 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(编号 200303)联合资助。

[作者简介] 高珍权, 男, 1965年生, 2002年毕业于中南大学, 获博士学位, 教授级高工, 现主要从事矿产普查与勘查工作。

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。它是在元古代—加里东期大陆壳基础上发育起来的,从寒武纪开始拉张,到泥盆纪达到顶峰,发育了一套双峰式火山岩建造和深海—一次深海相沉积,早石炭世末,转入汇聚阶段。阿尔泰矿区的大部分铜多金属矿床,包括阿舍勒矿床,产于下一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—铜—铜黄铁矿—铜黄铁矿成矿系列。

矿区出露的地层主要是中泥盆统阿舍勒组、上泥盆统齐也组和下石炭统红山嘴组,三者呈角度不整合接触。其中,阿舍勒组是赋矿地层,分布在盆地的中南部,自下而上分为三个岩性段,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—铜黄铁矿—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 $367 \pm 20\text{Ma}^{[15]}$ 。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:基性火山岩以青盘岩为主,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

阿舍勒组自下而上分为两个岩性段,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下分3个亚段:第一亚段( $D_2as^{2-1}$ )由酸性、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( $D_2as^{2-2}$ )由两个喷发韵律组成,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岩环境的变化指示作用,进而探讨其与成矿的关系,在样品收集时,借鉴了沉积盆地分析思路与方法,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中列出了采自主要含矿层位的部分样品的位置及特征,其中1-13(序号,下同)样品为酸性火山岩,1-6号采自第二亚旋回第一韵律层火山岩,7-13号为第二亚旋回第二韵律层火山岩,其中12、13号为井下650 m中段近矿围岩,14号采自第二亚旋回第三韵律层的亚碱性玄武岩,为矿体上盘围岩,便于对比研究。

### 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,仪器型号:Finnigan MAT制造,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 $21^\circ\text{C}$ ,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 岩石类型与主量元素特征

本区火山岩主体属钙碱性(亚碱性)系列岩石

(图1A、1B),岩石组合为流纹安山岩—流纹岩组合(图1C、1D),与大陆边缘上岛弧带中钙碱系列火山岩及其岩石组合一致<sup>[32]</sup>。流纹岩类中SiO<sub>2</sub>(72.56%~79.74%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(7.85%~13.38%)和MgO(1.91%~3.24%)含量高,CaO(0.12%~0.88%)较低,含Na<sub>2</sub>O为0.19%~3.65%,K<sub>2</sub>O为0.61%~3.00%,(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)为1.01%~

4.26%。英安岩类中SiO<sub>2</sub>含量在66.11%~70.92%之间,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(7.78%~15.34%)和MgO(0.38%~9.00%)含量高,Na<sub>2</sub>O(0.24%~2.29%)和K<sub>2</sub>O(0.51%~2.12%)含量中等偏低,CaO含量较低(0.11%~0.30%)。本区酸性火山岩主量元素成矿具有高硅、过铝质、低—中钾和高镁特征(表2),这些成分特点与玻镁安山岩十分相似。

表1 阿舍勒铜矿中泥盆统阿舍勒组酸性火山岩样品位置、特征

序号	样品号	位置/m		岩性	备注
		X	Y		
1	Ap-42	5351332	15452964	流纹质角砾凝灰岩	D <sub>2</sub> as <sup>2-1</sup> 下部
2	Ap-48	5351286	15451946	流纹质角砾岩	
3	Ap-55	5351332	15451772	灰绿色流纹质角砾凝灰岩	D <sub>2</sub> as <sup>2-1</sup> 中部
4	Ap-65	5351309	15451645	蚀变流纹英安质凝灰岩	
5	Ap-66	5351289	14541612	流纹英安质凝灰岩	D <sub>2</sub> as <sup>2-1</sup> 上部
6	Ap-70	5351261	15451598	蚀变流纹英安质含砾凝灰岩	
7	Ap-73	5351146	15451519	流纹英安质凝灰岩	
8	Ap-75	5351146	15451484	流纹英安质含砾凝灰岩	D <sub>2</sub> as <sup>2-2</sup> 下部
9	Ap-81	5351127	15451391	蚀变灰绿色流纹质凝灰岩	
10	Ap-83	5351126	15451373	浅紫色英安质凝灰岩	D <sub>2</sub> as <sup>2-2</sup> 中部
11	Ap-86	5351113	15451336	灰绿色英安质凝灰岩	
12	03As-10	5351085	15451397	蚀变流纹质凝灰岩(矿体下盘围岩,井下650m中段)	
13	03As-11	5351084	15451405	蚀变流纹质凝灰岩(矿体下盘围岩,井下650m中段)	D <sub>2</sub> as <sup>2-2</sup> 上部
14	Ap-91	5351046	15451164	亚碱性玄武岩(矿体上盘围岩)	D <sub>2</sub> as <sup>2-3</sup>

含矿主岩——灰绿色—浅紫色英安质凝灰岩,属酸性火山岩,是铜多金属矿床的最有利含矿岩石类型之一。与北疆含铅锌矿麦兹和克朗盆地中泥盆系变英安—流纹岩<sup>[13]</sup>和甘肃白银厂多金属矿类似<sup>[14,15]</sup>。本区含矿主岩中Na<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)值在0.14~0.51,与典型的铜锌型多金属块状硫化物矿床重要岩石化学标志值相符<sup>[11]</sup>。

值得注意的是,阿舍勒组第二亚旋回第一和第二韵律层喷发间歇期,虽然没有规模较大的工业矿体,但矿化普遍,岩石中黄铁矿的含量超过10%,地表风化形成褐铁矿并有大量流失孔存在,样品Ap-66、70和73中Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量均超过10%,图1B中的投点也落入拉斑玄武岩系列。如果扣除黄铁矿中铁的含量,这些投点将回落入钙碱性岩石系列。本

区岩石中MgO含量大大高于正常的英安流纹岩,未蚀变的近矿围岩中含量最高达到9%,暗示岩浆源区可能起源于富集地幔。

Ap-91号样品代表高镁高铝玄武岩,为主矿体的盖层。元素含量:TiO<sub>2</sub>为0.73%,CaO为5.22%,明显高于英安岩和流纹岩类,这对稀土元素分异作用有明显的制约;Na<sub>2</sub>O和K<sub>2</sub>O的含量分别为2.55%和0.07%,钾钠和为2.62%,属低钾拉斑玄武岩。元素比值:Na<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)值为0.97,Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O值为33.33,暗示本区岛弧玄武安山岩可能经过海底同生热水蚀变作用而造成钠钾比值较大程度地偏离岛弧玄武岩的正常值,这与野外墨绿色玄武岩,由于蚀变而退色为灰绿色的地质实际相吻合。

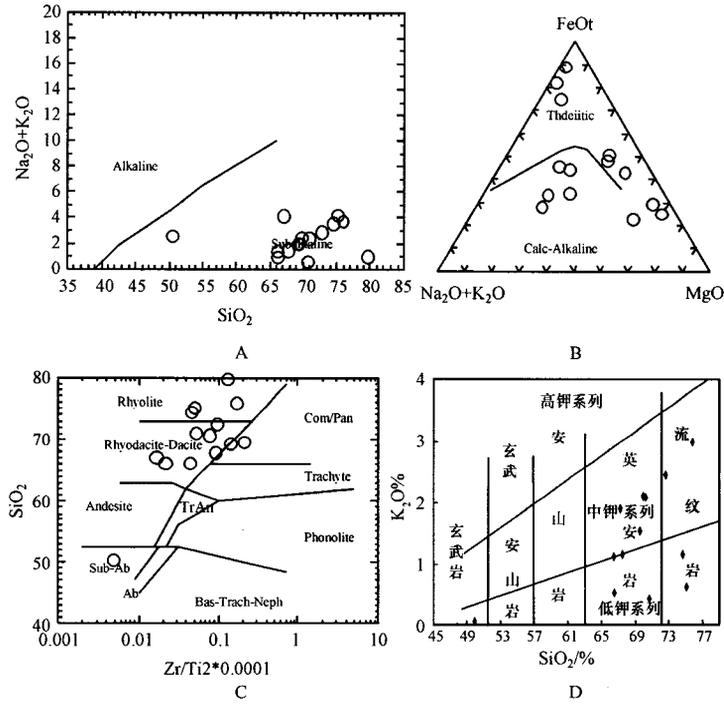


图 1 新疆阿舍勒铜矿酸性火山岩岩石类型判别图

表 2 阿舍勒铜矿酸性火山岩的主量元素分析结果

序号	样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total	KN	Bz1	Bz2
1	Ap-42	74.52	0.19	11.75	0.10	3.41	0.12	3.24	0.42	2.42	1.14	0.10	2.42	99.83	3.56	0.47	0.68
2	Ap-48	75.28	0.16	11.33	0.15	3.23	0.12	2.36	0.88	3.65	0.61	0.10	2.28	100.15	4.26	0.17	0.86
3	Ap-55	75.92	0.11	12.80	0.22	2.01	0.06	1.91	0.12	0.78	3.00	0.17	2.56	99.66	3.78	3.85	0.21
4	Ap-65	66.11	0.36	12.56	3.31	3.28	0.06	6.90	0.18	0.36	1.11	0.17	5.35	99.75	1.47	3.08	0.24
5	Ap-66	67.88	0.14	7.78	17.00	0.32	0.03	0.38	0.18	0.40	1.12	0.09	4.74	100.06	1.52	2.80	0.26
6	Ap-70	69.74	0.07	10.67	11.76	0.40	0.02	1.10	0.11	0.39	2.12	0.07	3.66	100.11	2.51	5.44	0.16
7	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
8	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
9	Ap-81	69.32	0.11	13.70	0.12	2.62	0.10	7.21	0.16	0.49	1.52	0.18	4.39	99.92	2.01	3.10	0.24
10	Ap-83	66.14	0.36	13.15	3.97	0.60	0.05	9.00	0.23	0.41	0.51	0.25	5.41	100.08	0.92	1.24	0.45
11	Ap-86	67.17	0.37	15.34	1.19	4.79	0.03	2.77	0.19	2.29	1.89	0.10	3.48	99.61	4.18	0.83	0.55
12	03As-10	79.74	0.08	7.85	2.00	2.58	0.08	3.19	0.29	0.19	0.82	0.03	3.34	100.16	1.01	4.32	0.19
13	03As-11	72.54	0.18	13.38	2.44	2.12	0.07	2.54	0.30	0.41	2.43	0.03	3.70	100.11	2.84	5.93	0.14
14	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

KN = K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O; Bz1 = K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O; Bz2 = Na<sub>2</sub>O/(K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)

#### 4 大离子亲石元素配分模式具有岛弧火山岩特征

本区火山岩的微量元素含量列于表3。图2分别显示了阿舍勒不同喷发旋回火山岩原始地幔标准化蜘蛛图。从中可以看出:

本区含矿酸性火山岩(图2A,英安质和流纹质凝灰岩)具有明显的Th-U-K、Pb和Zr-Hf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、Sr、P、Eu和Ti负异常,这与成熟岛弧中流纹岩富集Th、LREE和LILE,具有明显负Eu异常、亏损Nb的特点<sup>[43]</sup>相一致;非含矿酸性火山岩也具有明显的Th-U-K、Pb和Zr-Hf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、Eu和Ti负异常(图2B),显示二者的岩浆源区可能一致。但两者相比,后者的Th-U-K和Zr-Hf正异常强度明显降低,这种差异性可能是同缘岩浆演化的结果。与酸性火山岩相比,玄武岩(图2C)也具有相似微量元素配分模式,玄武岩与酸性火山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。因此,本区的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。

本区的火山岩微量元素配分模式总体特征与成熟大陆弧花岗岩类似,都具有十分明显的Sr、Ti负异常(原始地幔标准化比值小于1)和明显的P、Ba负异常(图2),同样说明本区火山岩的形成环境可能是成熟岛弧。几乎所有火山岩样品中都具有明显的Ta、Nb、La负异常,富镁玄武岩还具有负Zr、Hf异常(图2C),暗示本区的这种成熟岛弧由初始岛弧演化而来(后面讨论)。

含矿与非矿酸性火山岩的微量元素配分模式虽然总体上是一致的,但是二者存在较为明显的差异:含矿酸性火山岩模式分布范围是非矿酸性火山岩的2~3倍,前者微量元素组成更加复杂,后者相对简单;前者具有更高的铅异常、部分样品还具有明显的Ba正异常。显然,与铜多金属成矿关系密切的酸性火山岩的微量元素配分模式与成矿过程中高温下的水-岩反映关系密切。

#### 5 稀土元素配分模式与岛弧火山岩特征类似

从表3和图3看,本区酸性火山岩REE总量较低,多在 $100 \times 10^{-6}$ 以下,LREE/HREE值在1.63~13.45之间,其他反映轻重稀土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。稀土组成参数(表3)显示,轻重稀土元素内部分异差异明显,反映轻稀土内部分异程度的 $(La/Sm)_N$ 比值为1.08~3.36,而反映重稀土内部分异的参数 $(Gd/Yb)_N$ 比值为0.77~2.40之间,且多数在1左右,说明本区火山岩中稀土元素配分模式为重稀土平坦一亏损轻稀土富集型。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。多数火山岩具有明显一弱的负Eu异常, $\delta Eu$ 值多在0.46~0.90,铕中等一弱亏损,平均值为0.75,与壳幔型花岗岩平均值(0.84)接近,说明火山岩的岩浆可能起源于下地壳或上地幔。其中Ap-81样品负Eu异常最为明显,铕亏损最强烈( $\delta Eu = 0.28$ )。部分酸性火山岩如Ap-73和Ap-86具有中等一弱的正铕异常,除了由于岩石中Ba和Sr含量较高外,指示流体具有较高的温度和相对还原的性质,是有利于铜、锌等成矿金属元素沉淀富集成矿的环境。

本区火山岩非矿(图3A)、含矿和矿体上盘(图3B)盖层之间存在一定差异,暗示它们之间具有明显的岩浆结晶分异作用存在。非含矿与含矿酸性火山岩的稀土元素配分模式的差异性主要表现为:含矿岩石的稀土总量普遍比较高、配分模式的分布范围更广(约为非矿的2倍),轻重稀土之间及其内部的分异较强,负铕异常更加明显,由于高温热水反映的存在,部分样品出现正铕异常。此外,富镁英安岩稀土元素的稀土模式为平坦型或“V”型(如Ap-81)。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。这些特征同样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。

表 3 阿舍勒铜矿酸性火山岩微量元素、稀土元素组成

$\omega_B/10^{-6}$

地层代号	$D_2as^2-1$							$D_2as^{2-2}$					$D_2as^{2-3}$		
	样号	Ap-42	Ap-48	Ap-55	Ap-65	Ap-66	Ap-70	Ap-73	Ap-75	Ap-81	Ap-83	Ap-86	03As-10	03As-11	Ap-91
Sc	12.70	13.70	10.40	16.40	14.90	11.80	12.10	13.10	13.00	9.03	27.80	7.32	13.90	41.10	
Ti	1764	1668	609	2433	1464	396	1763	981	394	473	1894	275	415	4189	
V	29.9	33.8	8.12	27.1	52.6	6.92	18.1	11.9	4.01	5.8	149	3.3	2.64	282	
Cr	5.74	5.31	6.26	3.42	15	2.25	9.12	4.62	3.93	2.37	11.8	8.24	7.72	300	
Mn	920	892	474	444	195	143	221	391	722	355	201	569	547	1060	
Co	6.01	3.8	1.27	0.924	2.39	1.99	0.541	1.64	0.866	2.21	15.1	1.97	1.84	13	
Ni	2.22	2.64	1.94	2.87	2.83	5.36	2.26	2.35	7.21	2.83	4.54	2.44	2.74	97.1	
Cu	12.6	6.98	19.3	264	773	158	507	5.84	3.49	18.9	265	121	190	102	
Zn	73.1	54.9	111	387	230	24.4	28.1	376	114	118	366	216	163	946	
Rb	14.3	10.3	52.9	20.1	19.4	33.1	39.7	7.01	24.8	8.5	31.9	15.3	45.8	0.504	
Sr	26.3	53.2	23.7	39.4	23.6	14.6	29.4	7.88	10.8	13.1	36.8	6.98	25.6	313	
Y	13.9	9.58	27.1	15.8	8.5	27.5	11	26.6	17.5	109	7.93	23	20.2	18.3	
Zr	87.3	80.3	184	76.6	126	152	135	109	154	159	60.4	95.8	172	34.6	
Nb	2.15	1.93	4.94	1.85	4.45	3.84	5.38	3.56	6.62	5.22	1.31	2.48	4.53	0.916	
Mo	0.485	0.82	0.783	1.7	15.9	1.99	10	0.321	0.263	0.381	0.593	3.1	10	2.17	
Cd	0.046	0.044	0.058	0.081	0.197	0.064	0.075	0.172	0.035	0.226	0.979	0.311	0.651	10.4	
Sb	0.418	0.33	0.259	0.798	1.15	0.413	0.627	0.209	0.16	13.4	2	0.66	0.902	6.66	
Ba	111	86.8	361	295	282	501	2043	146	218	47.9	307	488	2322	62.3	
Hf	1.84	1.66	4.08	1.6	2.31	3.28	2.53	2.11	3.79	3.38	1.25	1.95	3.69	0.763	
Ta	0.142	0.141	0.352	0.115	0.327	0.275	0.374	0.213	0.492	0.307	0.102	0.168	0.312	0.064	
Pb	13.3	9.9	4.71	34.7	141	10.3	9.88	3.75	4.97	9.48	40.6	11.2	37.4	8.17	
Th	2.21	2.06	4.33	1.71	3.82	3.6	4.7	2.23	6.39	3.87	1.39	1.96	3.6	0.661	
U	0.735	0.818	1.47	1.06	1.75	1.74	1.13	0.532	0.13	1.09	0.504	3.45	1.86	0.662	
La	7.25	6.84	16.8	5.98	17.5	12.5	9.97	9.87	54.9	19.2	4.92	6.59	17.2	4.53	
Ce	14.6	13.7	34.6	12.8	32.8	25.9	23.7	17.9	130	43.3	9.7	13.6	35.2	10.5	
Pr	1.93	1.74	4.41	1.69	4.05	3.38	2.63	2.54	14.5	4.38	1.24	1.83	4.54	1.73	
Nd	8.68	7.98	20	7.6	17.2	15.1	11.2	11.9	61.4	22	5.72	8.36	20.2	8.79	
Sm	2.04	1.78	4.36	1.82	3.28	3.44	2.58	2.75	11.7	9.28	1.33	2.19	4.41	2.63	
Eu	0.471	0.403	0.895	0.575	0.542	0.554	1.22	0.637	0.969	1.95	0.482	0.387	1.1	0.823	
Gd	2.05	1.64	4.34	2.35	2.41	3.87	2.45	3.42	8.69	14.3	1.35	2.92	4.19	2.98	
Tb	0.325	0.237	0.684	0.409	0.283	0.629	0.328	0.564	0.843	2.53	0.191	0.486	0.49	0.549	
Dy	2.18	1.47	4.56	2.64	1.58	4.28	2.04	3.74	3.7	16.5	1.26	3.42	3.19	3.5	
Ho	0.516	0.369	1.09	0.611	0.334	0.993	0.447	0.899	0.716	3.61	0.297	0.823	0.798	0.74	
Er	1.69	1.22	3.5	1.85	1.04	3.36	1.45	2.82	2.48	10.7	0.972	2.68	2.91	2.09	
Tm	0.325	0.256	0.694	0.322	0.193	0.647	0.271	0.529	0.438	1.83	0.197	0.507	0.605	0.366	
Yb	2.07	1.6	4.33	1.87	1.23	4.03	1.59	3.19	2.92	10.2	1.27	3.05	4.06	2.08	
Lu	0.396	0.343	0.829	0.339	0.246	0.772	0.3	0.618	0.548	1.83	0.236	0.577	0.818	0.345	
$\Sigma$ REE	44.523	39.578	101.09	40.856	82.688	79.455	60.176	61.377	293.8	161.61	29.165	47.42	99.711	41.653	
LREE	34.971	32.443	81.065	30.465	75.372	60.874	51.3	45.597	273.469	100.11	23.392	32.957	82.65	29.003	
HREE	9.552	7.135	20.027	10.391	7.316	18.581	8.876	15.78	20.335	61.5	5.773	14.463	17.061	12.65	
LR/HR	3.66	4.55	4.05	2.93	10.30	3.28	5.78	2.89	13.45	1.63	4.05	2.28	4.84	2.29	
$\delta$ Eu	0.70	0.71	0.62	0.85	0.56	0.46	1.46	0.63	0.28	0.52	1.09	0.47	0.77	0.90	
$\delta$ Ce	0.92	0.93	0.95	0.96	0.91	0.94	1.09	0.84	1.09	1.10	0.92	0.93	0.94	0.90	
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.36	2.88	2.62	2.16	9.59	2.09	4.23	2.09	12.68	1.27	2.61	1.46	2.86	1.47	
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	1.82	2.21	2.07	1.77	6.90	1.66	3.86	1.45	11.52	1.10	1.98	1.15	2.24	1.31	
(La/Sm) <sub>N</sub>	2.24	2.42	2.42	2.07	3.36	2.29	2.43	2.26	2.95	1.30	2.33	1.89	2.45	1.08	
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0.80	0.83	0.81	1.01	1.58	0.77	1.24	0.87	2.40	1.13	0.86	1.16	0.77	0.83	

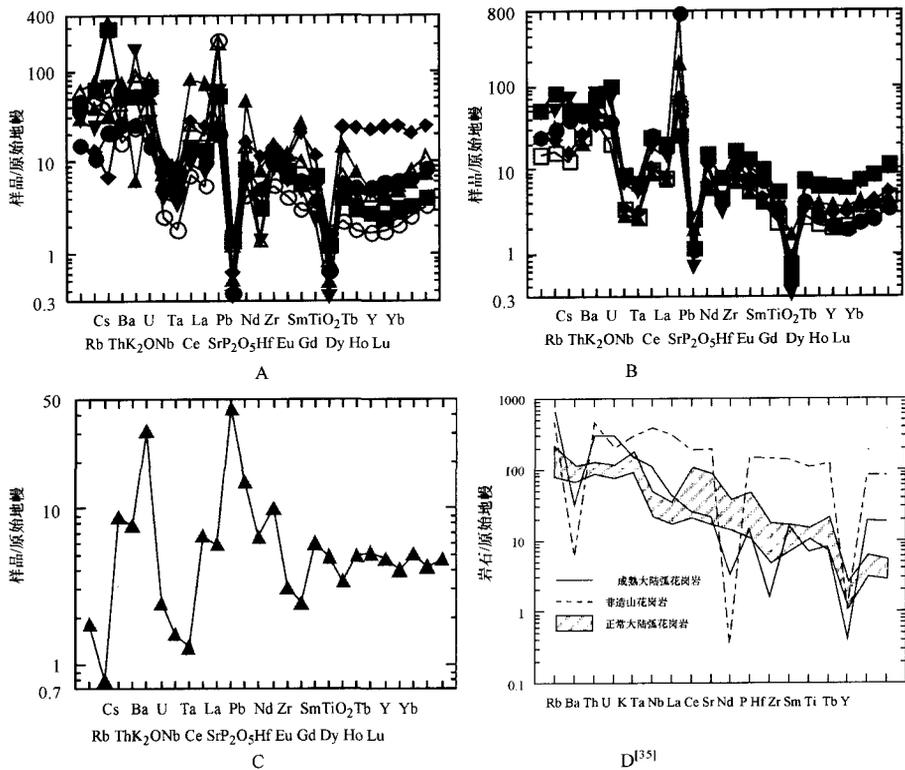


图 2 阿舍勒火山岩原始地幔标准化微量元素蛛网图<sup>[36]</sup>

(原始地幔数据自 Sun and McDonough, 1989)

图 A 为阿舍勒组第二段第二亚段酸性火山岩(含矿):■ - Ap73; ● - Ap75; ▲ - Ap81; ◆ - Ap83; ○ - Ap86; ▼ - 03As10; △ - 03As11。图 B 为阿舍勒组第二段第一亚段酸性火山岩(非矿),说明:◆ - Ap42; □ - Ap48; ■ - Ap55; ▲ - Ap65; ● - Ap66; ▼ - Ap70。图 C 阿舍勒组第二段第三亚段玄武岩(矿体盖层):▲ - Ap91

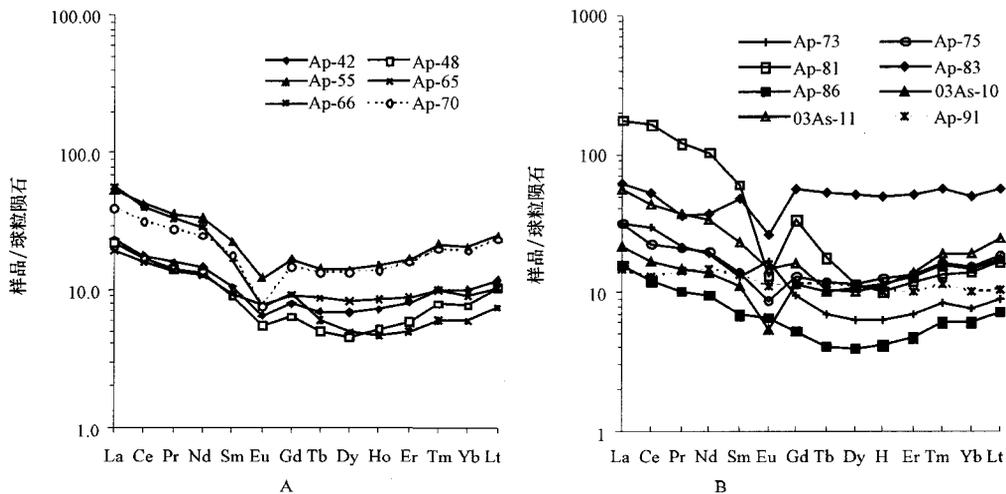


图 3 阿舍勒火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分图(图中样品号同表 3)

图 A 为阿舍勒组第二段第一亚段酸性火山岩(非矿);图 B Ap91 为第二段第三亚段玄武岩(矿体盖层);其余为阿舍勒组第二段第二亚段酸性火山岩(含矿)

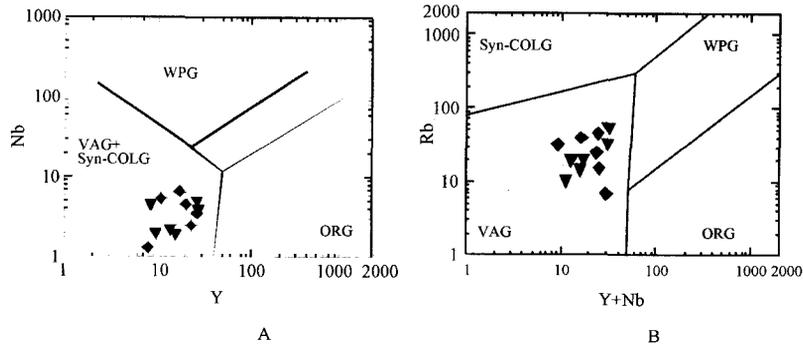


图4 阿舍勒铜矿火山岩 Nb - Y 和 Rb - Y + Nb 图解<sup>[40]</sup>

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。▼ - 非酸性火山岩; ◆ - 含酸性火山岩

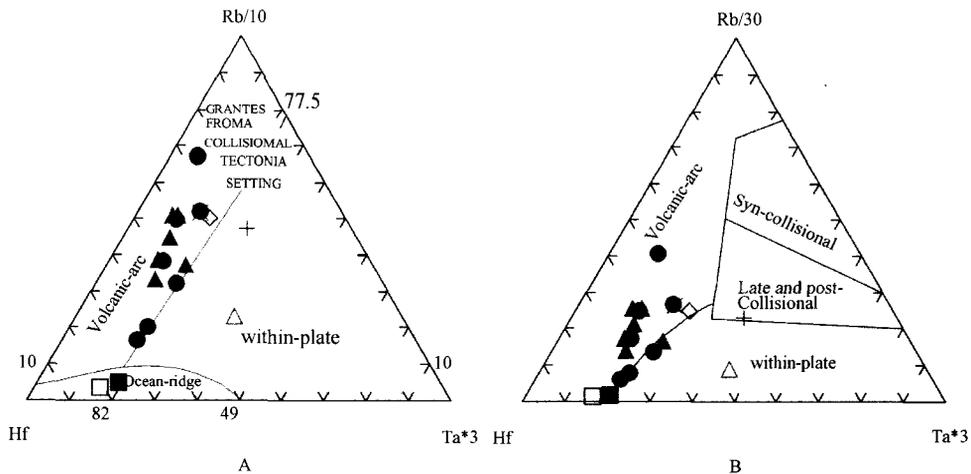


图5 阿舍勒铜矿酸性火山岩 Rb/10 (Rb/30) - Hf - Ta \* 3 图解<sup>[41]</sup>

● - 含酸性火山岩; ▲ - 非酸性火山岩; ■ - 矿体上盘玄武岩; □ - NORB; “+” - 上部陆壳; “×” - 中部陆壳; △ - 下陆壳

## 6 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) 本区酸性火山岩(英安流纹岩类)中  $Yb < 5 \times 10^{-6}$ ,  $Ta < 1 \times 10^{-6}$ ,  $Ta/Yb$  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<sup>[32]</sup>, Nb - Yb 和 Rb - Y + Nb 图解(图 4A 和 4B)显示, 本区火山岩形成于火山岛弧环境中。

(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花岗岩类似, 都具有十分明显的 Sr、Ti 负异常(原始地

幔标准化比值小于 1) 和明显的 P、Ba 负异常(部分), 说明本区火山岩的形成环境可能是成熟岛弧。但又以明显的 Ta、Nb、La 负异常为特征。

(3) Rb/10 - Hf - Ta \* 3 和 Rb/30 - Hf - Ta \* 3 图解(图 5A、B)对火山岩形成环境进一步划分, 多数样品投影落在火山弧内及其与板内环境的边界附近, 说明本区火山岩形成于陆缘岛弧环境中。

讨论: 本区高镁流纹岩类形成于洋内弧附近的前弧盆地环境中, 可能属于一种新型地球动力学背景, 且与阿舍勒铜矿床形成演化有密切关系, 直接揭示了该矿床形成的地球动力学背景。流纹岩依据其成因和形成的大陆动力学背景可以划分为 3 种<sup>[22]</sup>: A - 由地壳深熔作用形成, 这种流纹岩富集 Al、Th 和 LREE, 强烈亏损 Nb,  $\epsilon Nd(t)$  为负值<sup>[37]</sup>;

B-由玄武岩岩浆演化形成的流纹岩<sup>[38]</sup>中富集 Zr 和 Nb<sup>[34]</sup>,  $\epsilon\text{Nd}(t)$  与相共存的玄武岩类似; C-A 型流纹岩与 A 型花岗岩形成环境一致, 即形成于非造山环境中, 具有高  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、Zr 和 Ga 等高场强元素、高  $\epsilon\text{Nd}(t)$  值(正值)为特征<sup>[39]</sup>。本区酸性火山岩具有 LREE 明显富集, La/Nb 值为 1.85 ~ 4.953, La/Th 值 2.12 ~ 6.85, Th/Ta 值高(10.33 ~ 15.56), 具有中等一弱的  $\delta\text{Eu}(0.28 \sim 0.90)$  负异常, 与成熟岛弧环境下的火山岩特征相似<sup>[14]</sup>。

本区流纹岩类具有 Ti、Nb、P 和 Ta 明显负异常、Sr 中等负异常和高硅富镁等成分特点, 可能暗示与初始岛弧演化形成有密切关系, 结合本区火山岩主体属钙碱性和拉斑玄武岩系列岩石(图 5A、5B); 岩石组合为高镁玄武岩—高镁英安岩—高镁流纹岩组合; 本区酸性火山岩与玄武岩具有同源区特点, 仍属于前弧盆地中火山岩充填体。总之, 本区酸性火山岩具有高硅、富镁、铝过饱和、中—低钾等特点, 具有 Ti、Nb、P 和 Ta 明显负异常、Sr 中等负异常, 轻稀土明显富集, La/Nb 值为 1.85 ~ 4.953, La/Th 值 2.12 ~ 6.85, Th/Ta 值高(10.33 ~ 15.56), 具有中等一弱的  $\delta\text{Eu}(0.28 \sim 0.90)$  负异常, 与上述 3 类流纹岩类大陆动力学背景明显不同, 它是流纹岩类形成的第四种大陆动力学背景, 即洋内弧附近的前弧盆地。

## 7 结论

本区玄武岩—英安岩—流纹岩岩石组合属钙碱性(亚碱性)系列, 酸性火山岩与基性火山岩可能起源同一岩浆源区, 均起源于富集地幔, 它们形成的构造背景为洋内弧附近的前弧盆地。

## 参考文献

- [1] 姜齐节. 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, 1994, 3(1): 4-9.
- [2] 顾连兴. 块状硫化物矿床研究进展评述[J]. 地质论评, 1999, 45(3): 265-275.
- [3] 刘继顺. 喷流沉积成矿作用研究的若干问题[J]. 矿产与地质, 1996, 10(1): 6-10.
- [4] 华仁民. 试论层状铜矿的三种主要成因模式[J]. 地质论评, 1995, 14(2): 112-119.
- [5] 张连昌, 夏斌, 牛贺才, 等. 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, 2006, 22(5): 1387-1398.
- [6] 蔡志超. 新疆阿舍勒铜矿块状硫化物矿床的成矿规律[J]. 资源环境与工程, 2006, 20(3): 0211-0215.
- [7] 杨富全, 毛景文, 郑建民, 等. 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, 2006, 80(7): 963-983.
- [8] 胡霭琴, 张国新, 张前锋, 等. 阿尔泰造山带变质岩时代问题的讨论[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 129-142.
- [9] 贾群子. 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, 1996, 15(3): 267-276.
- [10] 姜福芝. 双峰式火山岩与块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 331-338.
- [11] 姜福芝, 王玉往. 海相火山岩与金属矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005. 1-241.
- [12] 王正云, 唐红松. 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, 1997, 11(5): 319-324.
- [13] 王京彬, 秦克章, 吴志亮. 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, 1998. 18-58.
- [14] 王焰, 钱青, 刘良, 张旗. 不同构造环境中双峰式火山岩的主要特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(2): 169-173.
- [15] 叶庆同, 张晓华. 阿舍勒铜矿块状硫化物矿床地质特征和成因[J]. 矿床地质, 1997, 16(2): 97-106.
- [16] 叶庆同, 傅旭杰, 王宝良. 新疆阿尔泰南缘多金属成矿带的成矿规律[J]. 地质学报, 1998, 72(4): 349-357.
- [17] 王登红. 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, 1996, 42(1): 45-53.
- [18] 牟传龙, 刘宝珊, 朱晓镇. 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, 1996, 16(3): 30-38.
- [20] 唐红松, 王正云. 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, 1998, 12(2): 91-95.
- [21] 牟传龙, 朱晓镇, 邢雪芬. 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, 1997, 17(3): 11-21.
- [22] 方维萱, 高珍权, 贾润辛, 等. 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, 2006, 22(1): 215-224.
- [23] 方维萱, 高珍权, 贾润辛, 等. 东疆沙泉子铜和铜铁矿床岩(矿)石地球化学研究与地质找矿前景[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1413-1424.
- [24] 方维萱, 黄转盈, 唐红峰, 等. 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, 2006, 33(3): 529-544.
- [25] 丛峰, 唐红峰, 苏玉平. 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, 2007, 31(3): 359-364.
- [26] 韩江伟, 熊小林, 吴金花. 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, 2006, 30(3): 381-391.
- [27] 胡霭琴, 韦刚健, 邓文峰, 等. 阿尔泰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, 2006, 22(1): 1-10.
- [28] 李光明, 沈远超, 刘铁兵, 等. 新疆阿尔泰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, 2007, 26(1): 15-18.
- [29] 李会军, 何国琦, 吴泰然, 等. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1369-1379.
- [30] 万博, 张连昌. 新疆阿尔泰山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, 2006, 22(1): 145-152.
- [31] 赵振华, 王强, 熊小林, 等. 新疆北部的富镁火山岩[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1696-1707.
- [32] Condie K C. Geochemistry and tectonic setting of early proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States. *J. Geol.*, 1986. 94: 845-864.
- [33] 郭原生, 王金荣, 谢尧丽等. 白银厂矿田早中寒武世火山岩地球化学及成因分析[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 337-344.
- [34] Pin C and Marini F. Early Ordovician continental break ~ up in Variscan Europe; Nd ~ Sr isotope and trace element evidence from bimodal igneous associations of the southern Massif Central, France. *Lithos*, 1993. 29: 177-196.
- [35] Giampiero P, Claudio G, and Sandro C. Geochemistry of granitic rocks from the Hercynian Sardinia ~ Corsica batholith: Implication for magma genesis. *Lithos*, 1989. 23(4): 247-266.
- [36] Sun S S, McDonough W F, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implication for mantle composition and process. In: Saunder A D, Norry M J. eds. *Magmatism in the Ocean Basin*. London, Geological Society Special Publication, 1989. 42, 313-345.
- [37] Cox K G. The Karoo volcanic cycle. *J. Geol. Soc. Lond.*, 1972. 128: 311-336.
- [38] Cleverly R W, Betton P J and Bristow J W. Geochemistry and petrogenesis of the Lebombo rhyolite. *Spec. Publ. Geol. Soc. S. Afr.*, 1984. 13: 171-194.
- [39] 于津海, 王德滋, 耿建华. 一个古元古代 A 型流纹岩[J]. 地球化学, 1998, 27(6): 549-558.
- [40] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 1984. 25: 956-983.
- [41] Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M P and Reis A C (eds.), *Collision Tectonics*. *Spec. Publ. Geol. Soc.*, 1986. 19, 67-81.
- [42] Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 1984. 25: 956-983.
- [43] Pin C and Paquette J L. 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). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1997. 129: 222-238.
- [44] Wood D A. 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 Planet. Sci. Lett.*, 1980, 50, 11-30.

## Geochemical characteristics and tectonic setting and of acidic volcanic rocks in Ashele copper deposit, Xinjiang

GAO Zhen-quan<sup>1,2,4</sup>, ZHAO Qing<sup>3</sup>, FANG Wei-xuan<sup>1,2</sup>, HU Rui-zhong<sup>1</sup>, FANG Ming<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. China Non-ferrous Metals Geology Survey, Beijing 100012;

3. Territorial Resource Consulting and Study Center of Xinjiang, Urumqi 830000;

4. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

**Abstract:** Rock associations of basalt, dacite and rhyolite in Ashele copper deposit in Xinjiang, China, are attached to calc - (sub -) alkaline volcanic rock series. Rhyolites and dacites have the characteristics of peraluminous, medium to low potassium volcanic rock series. Based on the features of the contents of trace elements and their ratios, the large - ionic radius element and REE pattern and the spider plots of trace elements, and the results of discrimination diagrams, it can be inferred that acidic volcanic rocks of Ashele would possibly produced in the background of fore - arc basin nearby the intra - oceanic arc. Magmatic sources of acidic and basic volcanic rocks in the study area, resulting from magmatic differentiation, may origin from the same magmatic source (the enriched mantle).

**Key words:** Ashele copper deposit; acidic volcanic rocks; enriched mantle, Intra - oceanic - arc (IOA); Fore - arc basin