新疆阿尔泰东南缘卡拉先格尔铜矿带含矿斑岩地球化学及其成矿意义

万　博[1,2]　张连昌[1]

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 北京 100029;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

提要: 卡拉先格尔斑岩铜矿(带)位于阿尔泰东南缘晚古生代岛弧区, 含矿斑岩主要为一套中–晚海西期的中酸性斑岩, 围岩为中泥盆统北塔山组。通过对含矿斑岩的岩石学和地球化学研究表明该区内至少有两类以上含矿斑岩, 以石英二长岩和花岗闪长岩类为主。其中部分石英二长岩有明显的 Adakite 岩特征, SiO_2>56%, Al_2O_3>15%, MgO<3%, Sc<10%, Eu、Sr 正异常, 且初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值普遍小于 0.704。一些斑岩因其重稀土元素含量相对较高(Y>18×10^{-6}, Yb>1.9×10^{-6}), 偏离了埃达克岩的组成范围。造成重稀土含量偏高的原因可能是洋壳俯冲熔融过程中, 源区有残留相角闪石存在。从卡拉先格尔成矿带的岩石化学特征以及地质条件分析, 该地区可能有较好的斑岩铜矿成矿远景。

关　键　词: 卡拉先格尔; 斑岩铜矿; 岛弧; 埃达克岩; 阿尔泰东南缘

中图分类号: P618.41, P595　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000−3657(2006)03−0618−08

1　引　言

新疆阿尔泰南缘卡拉先格尔铜矿是上个世纪 70 年代发现的一个铜矿点, 并认为是细脉浸染状矿化, 之后被认为属于斑岩铜矿[1], 但直到上个世纪末, 本地区的找矿工作进展不大。近年来, 随着人们对斑岩铜矿研究和地质勘查工作的深入, 地质找矿工作有重大的突破[2]。

近年来人们认识到斑岩铜矿与埃达克岩有一定的成因联系, 世界上大多数大型—超大型斑岩铜矿的含矿斑岩为埃达克岩[3]。赵振华等[4]和张连昌等[5]分别研究了西天山莫斯早特和东天山土屋—延东斑岩铜矿含矿岩石的地球化学组成, 结果表明其斑岩具有显著的埃达克岩特征。杨文平等[2]也认为阿尔泰南缘哈腊苏含矿斑岩具有埃达克岩的地球化学特性。本文对包括哈腊苏在内卡拉先格尔斑岩铜矿带的含矿斑岩的主量、微量、稀土元素以及同位素组成做进一步的研究, 并讨论其形成环境和成矿意义。

2　区域背景与成矿地质特征

阿尔泰东南缘地处西伯利亚板块南部大陆边缘, 区域古生代地层、构造和岩浆活动发育。哈腊苏斑岩铜矿矿区内出露地层主要为中泥盆统北塔山组, 还有少量下石炭统南明水组以及古近—新近纪和第四纪地层。区域岩浆活动以海西期中酸性侵入岩为主, 其钙碱性特征反映了古岛弧的构造环境。区域断裂构造主要为额尔齐斯、巴寨、阿巴宫、特斯巴汗、诺尔特、乌伦古以及二台断裂(图 1)。其中额尔齐斯断裂和二台断裂贯穿整个矿区, 严格控制了矿床的走向与分布。部分地质工作者认为[6-7], 额尔齐斯深大断裂为两大板块的缝合线。断裂南侧(准噶尔板块北部边缘)是以安山岩为主的玄武岩–安山岩–流纹岩建造, 并以铜、金矿化为主, 未发现铅锌矿化现象。该断裂北侧(西伯利亚板块南部边缘)是以酸性火山岩为主的细碧角斑岩系列, 并以铜铅锌多金属矿化为主。但也有部分学者认为真正的古俯冲带是阿尔曼太断裂[7]。

哈腊苏铜矿位于卡拉先格尔斑岩铜矿带内, 经前人资料[2,8]及笔者实地考察表明: 铜矿体主要受石英二长岩控制, 该岩体 SHRIMP 锆石 U−Pb 年龄为 381 Ma❶。矿石具细脉浸染状构造, 金属矿物主要为黄铜矿和黄铁矿以及少量的磁铁矿、斑铜矿和镜铁矿。岩体内见钾长石化、黑云母化硅化和黄铁矿化; 接触带见石英绢云母化, 围岩见青磐岩化。矿区地层

收稿日期: 2006−01−24; **改回日期**: 2006−03−08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)和国家自然科学基金项目(40473028)资助。

作者简介: 万博, 男, 1982 年生, 研究生, 矿床地球化学专业; E−mail: wanbo@mail.iggcas.ac.cn。

❶ 张招崇等, 2005 年 305 项目报告.

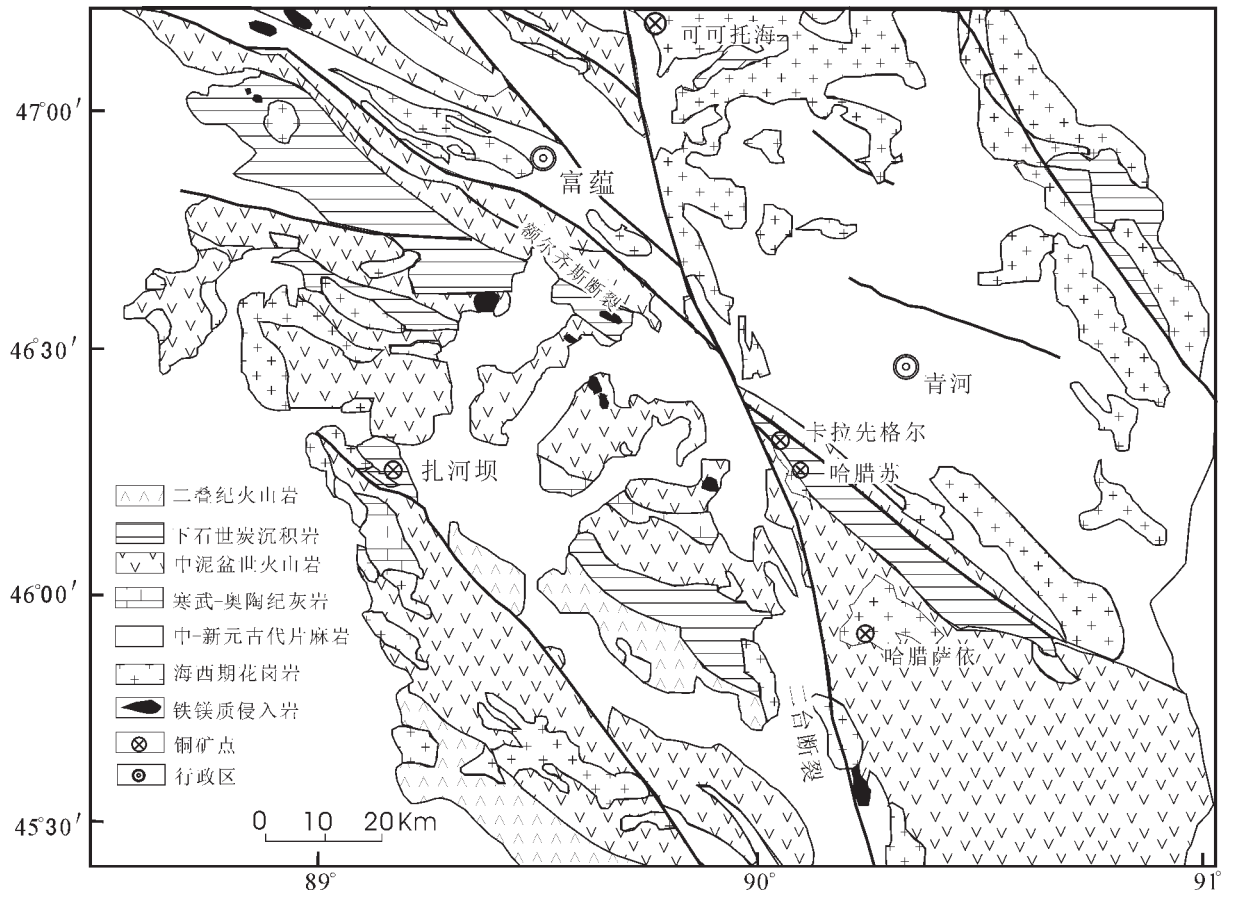

图 1　阿尔泰南缘卡拉先格尔区域及矿产分布图(据参考文献[2]修改)

Fig. 1　Regional geological map of Kalaxianger on the southern margin of Altay and locations of selected deposits (modified from Yang Wenping[2])

主要为中泥盆统北塔山组,该组可划分为 3 个岩性段:第一岩性段由无斑玄武岩、玄武安山岩、凝灰岩、火山角砾岩及片理化辉斑玄武岩组成,为主要的赋矿层位;第二岩性段由含碳泥质粉砂岩、板岩、凝灰质砂岩、凝灰岩及片理化安山岩组成;第三岩性段由凝灰岩、沉凝灰岩凝灰质砂砾岩、火山角砾岩等组成。区内地层为单斜岩层,局部有倒转现象,变形极为强烈,断裂构造发育。矿化主要受石英二长岩控制,具有全岩矿化的特点。从岩体向两侧围岩矿化迅速减弱,地表围岩中只见零星的孔雀石化,有少量的磁铁矿、斑铜矿、镜铁矿和辉钼矿;次生矿物有铜蓝和孔雀石;副矿物为磷灰石、榍石、磁铁矿、金红石等;脉石矿物有微斜长石、绢云母、黑云母、绿泥石、绿帘石。黄铜矿具有细脉浸染状的特点,局部地段呈石英黄铜矿脉出现。黄铜矿呈他形粒状星散状分布于脉石矿物之间,或聚集沿裂隙充填呈脉状。矿石类型以稀疏浸染状和细脉浸染状为主,中、细粒半自形-他型粒状构造,浸染状构造和脉状构造。

矿化蚀变特征总体上具有面型蚀变的特点,主要类型有硅化、钾长石化、黑云母化、绢云母化、青磐岩化和碳酸盐化。其蚀变分带具有斑岩铜矿的蚀变分带特点,岩体内见钾长石化、黑云母化、硅化和黄铁矿化,接触带见石英绢云母化,围岩见青磐岩化。

3　岩石地球化学特征

研究样品主要采自卡拉先格尔成矿带的哈腊苏、卡拉先格尔等矿区的含矿斑岩。化学成分和 Sr-Nd 同位素分析由中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源重点实验室完成(表 1~2)。

3.1　主量元素

研究区含矿斑岩在 K_2O+Na_2O—SiO_2 岩石分类命名图中,基本落于石英二长岩区(图 2)。从分类图上可见研究区内两个矿点有两类以上侵入斑岩:石英二长岩为主,兼有花岗闪长岩、正长岩和二长岩类。哈腊苏含矿斑岩 SiO_2 含量

表 1 卡拉先格尔成矿带含矿斑岩主量、微量和稀土元素

Table 1 Major element, trace element and REE data of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger ore belt

样号	KLS10	KLS18	KLS22	has-4*	has-5*	KLS33	KLS35	xh-3*	xh-13*	xh-18*
样品名称	正长岩		石英二长岩			正长岩		石英二长岩		
采样地点	哈腊苏					卡拉先格尔				
SiO_2%	62.48	62.47	63.02	63.30	63.78	56.76	64.38	63.41	65.45	62.97
TiO_2%	0.47	0.24	0.48	0.50	0.46	0.73	0.44	0.46	0.35	0.46
Al_2O_3%	17.28	17.65	17.05	16.85	16.20	18.63	16.69	16.52	15.75	16.00
Fe_2O_3%	3.37	2.31	0.88	3.41	2.85	2.12	1.99	3.14	2.15	3.39
FeO %	1.38	1.19	0.89	1.56	2.24	0.96	0.70	2.39	1.83	3.23
MnO %	0.01	0.12	0.02	0.02	0.03	0.11	0.03	0.03	0.06	0.08
MgO %	1.52	0.81	1.64	1.66	1.68	2.53	1.45	1.72	1.61	1.61
CaO %	1.62	2.84	1.64	0.94	1.92	6.49	1.89	0.83	2.11	0.61
Na_2O%	4.09	7.84	8.76	4.19	3.76	8.66	5.54	5.00	3.52	4.40
K_2O%	4.47	2.30	3.3	4.58	4.48	1.62	3.56	4.04	3.60	3.77
P_2O_5%	0.23	0.12	0.21	0.24	0.21	0.39	0.21	0.09	0.17	0.21
LOI	2.50	1.65	1.77	1.90	2.26	1.45	2.57	2.06	3.14	2.16
总量	100.80	100.73	100.55	99.15	99.87	101.41	100.15	99.69	99.74	98.89
$Mg^{\#}$	66.47	55.06	76.83	65.70	57.45	82.59	78.85	56.43	61.29	47.29
$Sc\times10^{-6}$	9.296	2.27	8.325	8.07	6.82	12.891	8.645	8.65	7.58	8.38
$Rb\times10^{-6}$	122.56	44.72	64.183	154.00	150.00	32.25	74.54	112.00	64.50	134.00
$Sr\times10^{-6}$	379.53	502.21	264.555	381.00	329.00	574.32	337.41	447.00	416.00	378.00
$Y\times10^{-6}$	28.24	16.88	16.135	20.70	15.20	22.46	16.20	10.40	11.60	24.00
$Zr\times10^{-6}$	125.67	92.13	132.82	142.00	137.00	97.61	120.47	124.00	83.30	130.00
$Nb\times10^{-6}$	4.69	4.35	3.94	3.32	3.18	4.82	4.15	5.35	3.97	4.68
$Ba\times10^{-6}$	553.96	614.31	484.826	526.00	488.00	164.13	551.03	562.00	553.00	540.00
$Hf\times10^{-6}$	3.67	2.64	3.827	3.76	3.57	3.05	3.55	3.23	2.31	3.64
$Ta\times10^{-6}$	0.34	0.28	0.317	0.37	0.32	0.35	0.32	0.70	0.49	0.53
$Th\times10^{-6}$	3.34	1.61	2.595	3.24	2.63	2.00	2.58	1.37	2.03	3.24
$U\times10^{-6}$	1.31	0.63	1.137	0.93	0.54	0.83	3.06	0.49	0.45	0.64
$La\times10^{-6}$	11.60	14.67	5.847	10.30	10.40	10.80	12.63	5.55	7.74	10.30
$Ce\times10^{-6}$	20.57	27.91	12.66	20.40	20.50	25.16	19.87	11.20	15.20	20.00
$Pr\times10^{-6}$	2.66	3.63	1.803	2.71	2.68	3.64	2.39	1.41	2.05	2.91
$Nd\times10^{-6}$	11.61	14.27	7.96923	11.10	11.20	15.63	9.57	5.65	8.05	12.20
$Sm\times10^{-6}$	2.91	3.04	2.17048	2.61	2.67	3.77	2.40	1.41	1.95	3.35
$Eu\times10^{-6}$	0.98	0.96	0.702	1.02	0.86	1.21	0.77	0.60	0.66	1.16
$Gd\times10^{-6}$	3.30	2.82	2.302	3.03	2.64	3.71	2.33	1.52	1.97	3.62
$Tb\times10^{-6}$	0.61	0.45	0.398	0.54	0.43	0.62	0.40	0.28	0.35	0.65
$Dy\times10^{-6}$	4.28	2.72	2.591	3.34	2.62	3.84	2.56	1.87	2.07	4.21
$Ho\times10^{-6}$	1.01	0.59	0.545	0.76	0.55	0.80	0.58	0.39	0.41	0.83
$Er\times10^{-6}$	3.03	1.80	1.599	2.32	1.68	2.33	1.73	1.20	1.21	2.37
$Tm\times10^{-6}$	0.52	0.29	0.25769	0.37	0.27	0.37	0.30	0.19	0.19	0.37
$Yb\times10^{-6}$	3.42	2.03	1.766	2.54	1.81	2.42	2.14	1.37	1.29	2.23
$Lu\times10^{-6}$	0.57	0.34	0.281	0.42	0.29	0.40	0.36	0.23	0.21	0.43
δ Eu	0.97	1.00	0.96	1.11	0.99	0.99	1.00	1.25	1.03	1.02
∑REE	67.07	75.51	40.89	61.46	58.60	74.67	58.03	32.87	43.35	64.63

注:由中国科学院地质与地球物理研究所分析;带 * 者数据引自杨文平等(2004)。

为 62.47%~63.78%(表 1), 卡拉先格尔含矿斑岩 SiO_2 含量为 56.76%~65.45%; 两个矿点 Na_2O 含量分别为 3.76%~7.84%和 3.52%~8.66%,K_2O 含量分别为 2.30%~4.58%和 1.62%~4.04%; Al_2O_3 含量分别为 16.2%~17.65%和 15.75%~18.63%,MgO 含量分别为 0.81%~1.68%和 1.45%~2.53%;CaO 含量分别为 0.94%~2.84%和 0.61%~6.49%,TFe 含量分别为 1.77%~5.09%和 2.69%~6.62%,P_2O_5 含量分别为 0.12%~0.24%,0.09%~0.39%。

3.2 稀土元素和微量元素

根据含矿斑岩稀土元素和微量元素分析结果 (表 1),所有斑岩稀土元素配分曲线同属轻稀土富集型(图 3),∑REE 分别为 40.89~75.51μg/g、32.87~74.67 μg/g,$(La/Yb)_N$ 为2.16~4.49 和 2.50~3.82;Eu 有微弱的正异常特征,δEu 分别为 0.96~1.10 和 0.99~1.25;Yb 含量分别为 1.77~3.42 μg/g 和 1.29~2.42 μg/g;Y 含量分别为 15.2~28.24 μg/g 和 10.4~24.0 μg/g。根据重稀土的分布情况,可将含矿分为两类,一类

表 2 卡拉先格尔成矿带含矿斑岩 Sr–Nd 同位素组成

Table 2 Sr and Nd isotopic compositions of ore–bearing porphyries in the Kalaxianger ore belt

样号	Rb*10^{-6}	Sr*10^{-6}	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	Sm*10^{-6}	Nd*10^{-6}	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\varepsilon_{Nd}(t)$
kls18	122.16	538.88	0.6557	0.7057	0.7022	2.9557	14.3906	0.1242	0.5128	7.1
kls20	113.00	271.88	1.2028	0.7102	0.7037	1.9890	8.2268	0.1462	0.5129	7.1
kls22	66.55	361.19	0.5330	0.7072	0.7043	2.1076	8.0099	0.1591	0.5129	6.7
kls35	84.16	352.09	0.6916	0.7080	0.7042	2.3287	9.9770	0.1411	0.5129	7.3
XH–3*	115.94	447.20	0.7500	0.7080	0.7039	1.3000	5.7300	0.1378	0.5129	8.4
XH–13*	73.25	416.60	0.5090	0.7068	0.7040	1.7600	8.1500	0.1306	0.5128	7.2
XH–18*	127.96	377.50	0.9810	0.7090	0.7037	2.9500	11.8000	0.1512	0.5130	8.4

注：样品由中国科学院地质与地球物理研究所测试。初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{143}Nd/^{144}Nd$ 和 ε_{Nd} (t) 计算值，有关参数取 $(^{143}Nd/^{144}Nd)$ CHUR, 0 = 0.512638，$(^{147}Sm/^{144}Nd)$ CHUR, 0 = 0.1967，$\lambda^{87}Rb=1.42\times10^{-11}a^{-1}$，$\lambda^{147}Sm=6.54\times10^{-12}a^{-1}$。带 * 者数据引自杨文平等(2004)。

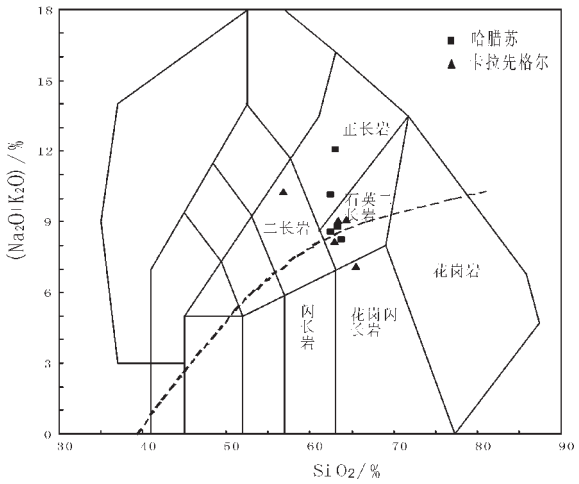

图 2 矿区火成岩 TAS 图 (碱性亚碱性分界线据 Irvine[9])

Fig. 2 TAS diagram for igneous rocks of selected deposits (the alkaline–subalkaline boundary after Irvine[9])

为重稀土元素亏损(平缓)型(图 3–A)，另一类为重稀土元素富集(抬升)型(图 3–C)。由图可见正长岩类重稀土元素相对更富集一些(图 3–C)。

在微量元素蛛网图(图 3–B、3–D)上可见两类斑岩大离子亲石元素(LILE)Rb、K、Th、Sr 有相对富集的特征，高场强元素(HFSE)Nb、Ta、Zr 等有明显的亏损特征，但重稀土亏损不明显。HFSE 和 LILE 分异十分明显。两个矿点 Sr 含量分别为 329~577 μg/g 和 337~5743μg/g;Sc 分别为 2.27~9.30 μg/g 和 7.58~12.89 μg/g。

3.3 Sr–Nd 同位素

研究区 Sr、Nd 同位素测试结果见表 2。由于研究区含矿地层以中泥盆北塔山组为主，故本地区用 380 Ma 来推算该区 $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$。经过推算可得哈腊苏与卡拉先格尔含矿斑岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ 分别为 0.7022~0.7043 和 0.7037~0.7042，$\varepsilon_{Nd}(t)$分别为 6.7~7.1 和 7.2~8.4。由此可见该区的 Sr–Nd 同位素值非常接近 MORB。

4 讨 论

4.1 构造背景

早在 1989 年，就有学者[12~16]❶认为该地区在大地构造背景上属于岛弧区。随着研究的不断深入，部分学者[17~19]提出了不同的观点。根据里特曼指数($\sigma=(K_2O+Na_2O)^2/SiO_2-43$)来判别岩石的特征，获得哈腊苏斑岩 σ 值为 2.71~5.28，卡拉先格尔斑岩 σ 值为 2.26~7.68，显示出钙碱性特征，并且岩石以中酸性侵入岩为主，也显示了岛弧岩石系列的特点。根据微量元素蛛网图(图 3–B、3–D)，发现 LILE 和 HFSE 分异十分明显，说明有板块俯冲的脱水作用使 LILE 和 HFSE 发生了强烈的分异。另外，Nb、Ta、Ti、P 的亏损和 Rb、Ba、Th 的富集也都显示了典型的岛弧特征。根据微量元素 Ta–Yb(图 4–a)和 Nb–Y(图 4–b)两个花岗岩类的构造判别图，发现两个矿点的含矿斑岩都落于岛弧区。又据 Sr–Nd 同位素来判别该地区的构造环境(图 5)，发现结果与花岗位岩类的构造判别图所得结果是一致的。

尽管研究区内有两类含矿斑岩，但是从岩石化学特征来判断，都具有明显的岛弧花岗岩特征。

4.2 含矿斑岩的 Adakite 岩特征

研究区位于两大板块的结合处，且产于岛弧环境，理论上有成为 Adakite 岩的可能。杨文平等[2]在 2005 年提出该地区斑岩为 Adakite 岩。但是经过对比研究，发现该地区含矿斑岩的地球化学属性要复杂一些。其中部分含矿斑岩不具有典型的 Adakite 岩特征(图 6)，和埃达克岩组成最接近的石英二长斑岩与 Aleutian 的典型 Adakite 岩还是有一定的区别。典型的 Adakite [23~24] 岩轻重稀土分异十分明显，La/Yb 往往大于 20，而该地区的重稀土亏损不明显，La/Yb 却小于 10；典型的 Adakite 岩 Sr/Y 一般大于 40，而该地区 Sr/Y 基本上都小于 40；典型的 Adakite 岩 Zr/Sm 往往大于 50，而该地区的这一

❶ 秦克章. 新疆北部中亚型造山与成矿作用. 中科院地质与地球物理研究所博士后科研报告，2000.

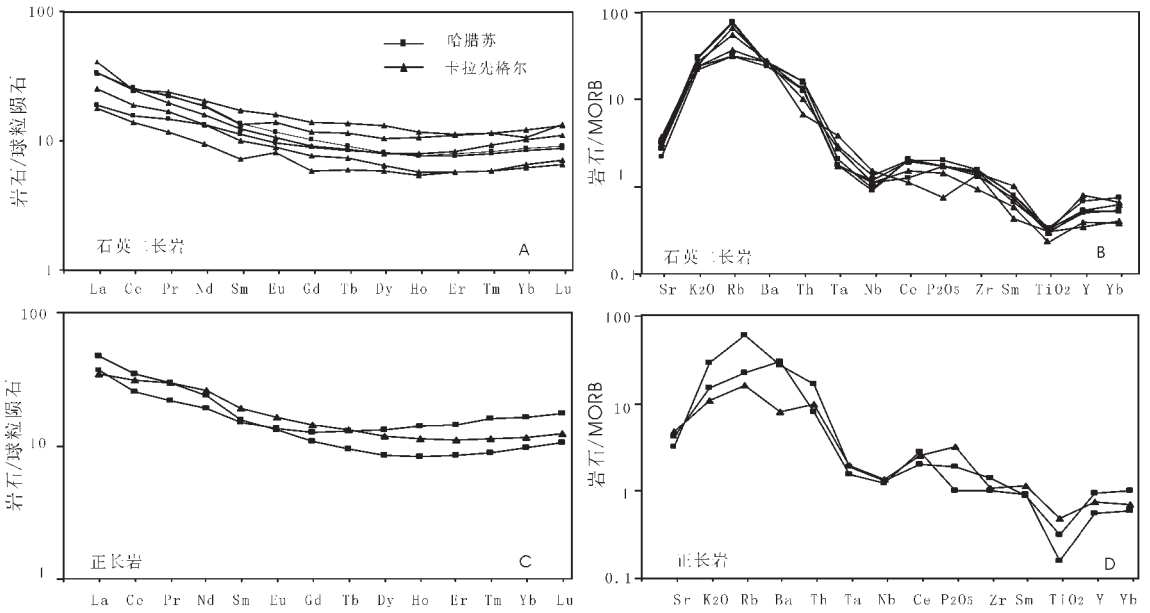

图 3 含矿斑岩稀土配分图及微量元素蛛网图[11]

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns and MORB-normalized trace element spidergram for porphyries of selected deposits

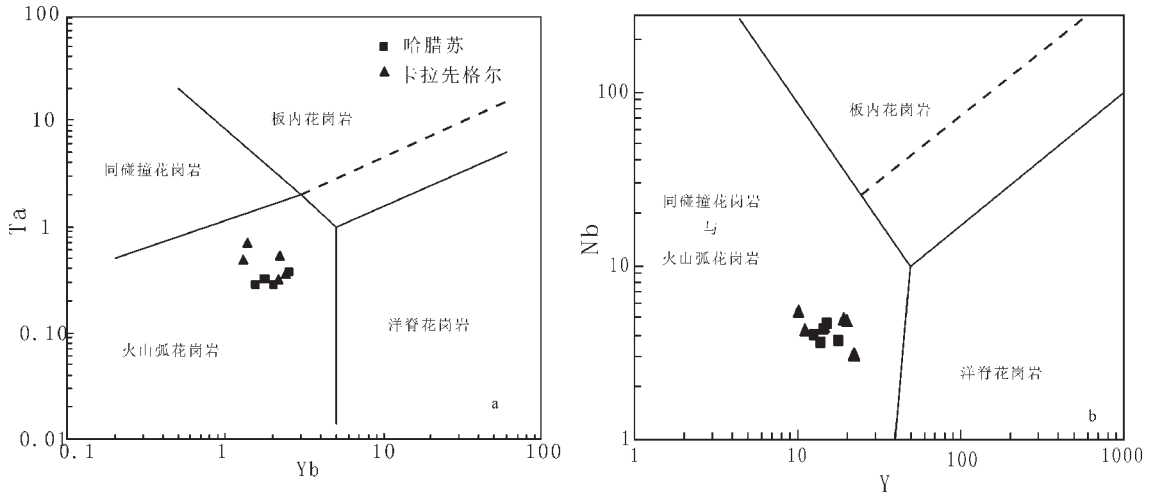

图 4 花岗岩类 Ta—Yb(a)和 Nb—Y(b)构造判别图 [22]

Fig. 4 Tectonic discrimination diagram of Ta-Yb (a) and Nb-Y(b) for granitoids

参数也不明显。如果根据 Sr/Y—Y 的二元相关图(图 6)来判别该地区斑岩是否为 Adakite 岩，发现该区石英二长斑岩在图中分布有一定的规律，样品基本沿着熔体演化线分布，部分样品处于 Adakite 岩，部分处于经典岛弧区，还有部分样品处于二者之间的过渡带。这种现象很可能表明该区熔体的上升经历一个比较漫长的过程，而并非向典型洋壳熔融成因的 Adakite 岩一样迅速上升并侵入地壳。经过计算发现研究区内 $Mg^{\#}$ 基本都大于 50，说明该区岩石经历了埃达克质熔体与地幔楔的交代作用而使 $Mg^{\#}$ 升高。

该区石英二长斑岩等除了重稀土与典型的 Adakite 岩相比有些偏高外，其他岩石化学特征并无明显差别，如 SiO_2>56%，Al_2O_3>15%，MgO<3%，Sc<10%，Eu、Sr 正异常，且 $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ 普遍小于 0.704。那么造成该地区重稀土增高有许多原因：若角闪石在源区内有残留，那么有可能造成该区岩

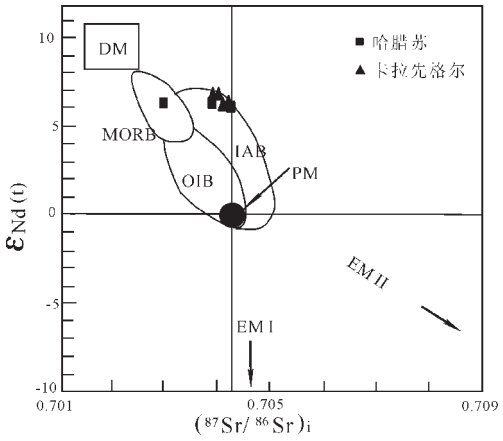

图 5　Sr—Nd 二元相关图(据 Zindler[25])

Fig. 5　Sr–Nd isotope correlation plot of the selected deposits (after Zindler[25])

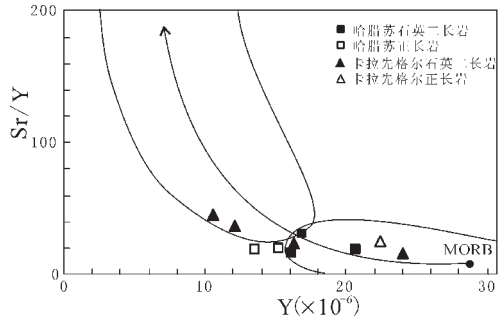

图 6　Sr/Y—Y 二元相关图解 (据 Defant[3])

Fig. 6　Sr/Y–Y correlation plot of the selected deposits (after Defant[3])

石重稀土偏高; 若斑岩内有对重稀土分配系数较大的榍石、锆石或磷灰石等副矿物的加入,那么重稀土也可能偏高。初步的室内工作排除了后一种可能。

因此从以上岩石化学特征看,认为部分含矿斑岩具有明显的 Adakite 岩特征,而另一部分不具 Adakite 岩。

4.3 有利的成矿条件

斑岩铜矿是世界铜矿最重要的工业类型,储量占世界铜储量的 55.3%, 且多集中在超大型、超巨型斑岩矿床中。而 Defant et al [3] 指出,Adakite 岩可以作为找矿标志来使用, Adakite 岩和富 Nb 玄武岩对于找金、铜矿可以与金伯利岩找金刚石相媲美。综上所述该区有两类含矿斑岩,因此如果该研究区含矿斑岩的确为 Adakite 岩, 那么该区内很有可能在找矿方面有重大突破。

即使研究区内含矿斑岩不全是 Adakite 岩, 其岩石化学特征依然有很好的成矿前景。罗铭玖[26]等从国内数百个含矿斑岩体实际资料出发, 发现一般含矿斑岩的 SiO_2 含量为 62.7%~64.1%、K_2O+Na_2O 含量为 4.69%~9.21%、K_2O/Na_2O 为 0.92~1.12、A/CNK<1.3、*DI*(分异指数)为 67~95;而研究区内 SiO_2 含量为 56.76%~65.45%、K_2O+Na_2O 为 7.12%~12.06%、K_2O/Na_2O 为 0.64~1.19,A/CNK<0.67~1.28,*DI* 为 71~91。因此从岩石化学角度,该区含矿斑岩和国内其他地区含矿斑岩对比,有很大的相似性。

从研究区实际地质背景看, 也有十分有利的成矿地质条件。首先从岩石的成矿专属性上讲,区内侵入岩以石英二长岩–正长岩–花岗斑岩为主,此类岩体通常以成铜、金矿为主❷。其次该区断裂、破碎带及裂隙十分发育将有利于成矿物质的供给与运移;与此同时,研究区内蚀变分带具有典型的斑岩型铜矿的矿化蚀变分带特征:岩体内见钾长石化、黑云母化、硅化和黄铁矿化;接触带见石英绢云母化,围岩见青磐岩化;该区主要含矿层位是在北塔山组第一岩性段,它是一套以玄武岩、火山角砾岩为主的岩层,由于其铜背景值本身就很高,因此很有可能在成矿作用中通过水岩反应贡献出部分成矿物质。而北塔山组第二岩性段是一套以泥质粉砂岩、板岩为主的岩层,由于其本身渗透性差的特征,又可以有效地阻止成矿流体的流失。因此,该研究区无论从岩石化学角度或者本身的地质条件考虑,都具有成矿的有利特征。

5　结　论

笔者通过对卡拉先格尔成矿带含矿斑岩体地质地球化学研究发现,该地区在大地构造背景上属于岛弧区。其含矿斑岩是一套钙碱性的中酸性侵入岩,从稀土配分形式以及蛛网图上均显示明显的岛弧特征。通过微量元素 Ta–Yb(图 4–a)和 Nb–Y(图 4–b)以及同位素 Sr–Nd 二元相关图(图 5)证明,结论均为一致。该区含矿斑岩有两类以上,其中以石英二长岩为主,部分石英二长岩有较强的 Adakite 岩特征,部分斑岩因重稀土偏高而其偏离典型 Adakite 岩区。造成重稀土偏离的原因可能是角闪石在源区的残留。然而具体是哪种原因还需今后继续工作。从该区本身的岩石化学特征以及地质条件分析,卡拉先格尔地区应该有较好的成矿远景。

参考文献 (References):

[1] 芮宗瑶,黄崇柯,齐明国,等. 中国斑岩铜 (钼)矿[M].北京:地质出版社,1984.5~12.

Rui Zongyao,Huang Chongke,Qi Mingguo, et al. Porphyry Copper Deposit in China[M]. Beijing:Geological Published House, 1984. 5~12(in Chinese).

[2] 杨文平,张招崇,周刚,等. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩

❶ 芮宗瑶. 斑岩铜矿综述. 芮宗瑶等主编. 国内外斑岩铜矿研究进展,2002.

铜矿的发现及其意义[J].中国地质, 2005, 32(1):107~114.
Yang Wenping, Zhang Zhaochong, Zhougang, et al. Discovery of the Xileketehalasu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altai copper metallogenic belt[J]. Geology in China,2005,32(1):107~114 (in Chinese with English abstact).

[3] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 1990, 374:662~665.

[4] 赵振华,熊小林,王强,等. 新疆西天山莫斯早特石英钠长斑岩铜矿床—— 一个与埃达克质岩石有关的铜矿实例 [J]. 岩石学报, 2004, 20(2):249~258.
Zhao Zhenhua, Xiong Xiaoling, Wang Qiang, et al. The association of Late Paleozoic adakitic rocks and shoshonitic volcanic rocks in Western Tianshan, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2004,20(2):249~258(in Chinese with English abstract).

[5] Zhang Lianchang, Xiao WenJiao, Qin Kezhang, et al. Types, geological features and geodynamic significance of gold-copper deposits in the Kanggurtag metallogenic belt, eastern Tianshan, NW China [J]. International Journal of Earth Science, 2004,93:224~240.

[6] 于学元, 梅厚均, 杨学昌. 额尔齐斯火山岩及构造演化[A]. 见:涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学进展[C]. 北京:地质出版社, 1993. 1~194.
Yu Xueyuan, Mei Houjun, Yang Xuechang. The volcanic and tectonic evolution of Erqis[A]. In:Tu Guangzhi(ed.), The Earth Science of Northern Xinjiang [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1993. 1~194 (in Chinese).

[7] 秦元喜, 董志远. 新疆阿尔泰山南缘的构造与矿产问题[J]. 新疆地质,1994, 2:164~169.
Qin Yuanxi, Dong Zhiyuan. On the structural and minerals of the southern margin of Altai Mt[J]. Xinjiang Geology, 1994, 12:164~169(in Chinese with English abstract).

[8] 刘铁庚,余学元,梅厚均. 多拉萨依-卡拉先格尔斑岩铜金成矿带[J]. 地质地球化学,1991, 3:71~74.
Liu Tigeng, Yu Xueyuan, Mei Houjun. Duolasayi-Kalaxiangeer porphyry copper and gold metallogenic belt[J]. Geology and Geochemistry, 1991, 3:71~74.

[9] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of ht common volcanic rocks[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37:215~224.

[10] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements:meteorite studies[A]. In:Henderson (ed). Rare earth element geochemistry [C]. Amstardam:Elservier, 63~114.

[11] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. In:Thorpe R S(ed.), Andesits, Chichester:Wiley[C]. 1983. 525~548.

[12] Sengör, A M C, Natal In, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature, 1993, 364:299~307.

[13] 牛贺才, 许继锋, 于学元,等. 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, 1999, 109:1002~1004.
Niu Hecai, Xu Jinfen, Yu Xueyuan, et al.. The geologic meaning of the discovery of andesite rich in magnesium in Altai, Xingjiang [J]. Chinese Science Bulletin,1999, 109:1002~1004(in Chinese).

[14] Windley B F, Kröner A, Guo J, et al. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China:New Zircon age data and tectonic evolution[J]. The Journal of Geology, 2002, 110:719~733.

[15] Xiao W, Windley B F, Badarch G, et al. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids:implications for the growth of Central Asia [J]. Journal of the Geological Society, 2004, 161:339~342.

[16] 万博,张连昌. 新疆阿尔泰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, 2006, 22(1):145~152.
Wanbo, Zhang Lianchang. Sr-Nd-Pb isotope geochemistry and tectonic setting of Devonian polymetallic metallogenic belt on the Southern margin of Altaid, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006,22(1):145~152 (in Chinese with English abstract).

[17] 何国琦, 韩宝富, 岳永君. 中国阿尔泰造山带的构造分区及构造演化[J]. 新疆地质科学, 1990, 2:9~20.
He Guoqi, Han Baofu, Yue Yongjun. The Tectonic Evolution of Chinese Altai[J]. Xinjiang Geology, 1990, 2:9~20 (in Chinese).

[18] 陈毓川, 叶庆同, 冯京,等.阿舍勒铜锌成矿带成矿条件与成矿预测[M]. 北京:地质出版社, 1996. 33~145.
Chen Yuchuan, Ye Jingtong, Fen Jing,et al. Metallogeny of Ashle [M]. Beijing:Geological Publishing House,1996. 33~145(in Chinese).

[19] 韩宝富, 何国琦.中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质[J]. 新疆地质科学, 1991, 3:89~100.
Han Baofu, He Guoqi. The Tectonics of Devonian marine volcanic in the southern margin of Altai,China[J]. Xinjiang Geology, 1991, 3:89~100 (in Chinese).

[20] 王京彬, 秦克章, 吴志亮,等. 阿尔泰型火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京:地质出版社, 1998.1~209.
Wang Jingbing, Qin Kezhang, Wu Zhiliang, et al. Volcanic-Exhalative-Sedimentary lead zinc deposits in the Southern margin of the Altai, Xinjiang[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998. 1~209 (in Chinese with English abstract).

[21] 王京彬, 张进红, 丁汝福, 等. 阿尔泰型成因块状硫化物矿床[A]. 见:涂光炽主编. 中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集[C]. 北京:地质出版社, 2002. 82~94.
Wang Jingbing, Zhang Jinhong, Ding Rufu, et al. Volcanogenic massive sulphide deposits of Altai type [A]. In:Tuguangzhi et al (ed.). Geology and Mineral recourses of Altai Xinjiang[C]. Beijing:Geological Publishing House, 2002. 82~93 (in Chinese with English abstract).

[22] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956~983.

[23] 张旗,王焰,刘伟,等. 埃达克岩特征及其意义[J]. 地质通报, 2002, 21:431~435.
Zhangqi, Wangyan, Liuwei, et al. Adakite:Its characteristics and

implications[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21:431~445 (in Chinese with English abstract).

[24] 张旗,秦克章,王元龙,等.加强埃达克岩研究,开创中国 Cu、Au 等找矿工作队新局面[J]. 岩石学报, 2004, 20:195~204.
Zhang qi, Qin Kezhang, Wang Yuanlong, et al. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20:195~204(in Chinese with English abstract).

[25] Zindler Alan, Hart Stan. Chemical geodynamics[J]. Annual Review of Earth Planet Science, 1986, 14:493~571.

[26] 罗铭玖. 中国钼矿床[M]. 河南:河南科学技术出版社, 1992.
Luo Mingjiu. The molybdenum deposit in China [M]. Henan: Henan Science and Tecnology Press, 1992 (in Chinese).

Geochemistry of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger copper belt on the southeastern margin of the Altay Mountains, Xinjiang

WAN Bo[1,2], ZHANG Lian-chang[1]

(1. *Key Lab. of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*;
2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: The Kalaxianger porphyry copper deposit (belt) is located in a Late Paleozoic island arc on the southern margin of the Altay Mountains. The ore-bearing porphyries are mainly represented by mid-late Hercynian intermediate-acid porphyries and the country rocks are the Middle Devonian Beitashan Formation. Petrological and geochemical studies of the ore-bearing porphyries indicate that there are at least two types of porphyry in the study area, mainly including quartz monzonite and granodiorite. Some quartz monzonite has the distinct features of adakite: SiO_2>56%, Al_2O_3>15%, MgO<3%, Sc<10%, positive Eu and Sr anomalies and initial $^{87}Sr/^{86}Sr$<0.704. However, some porphyries, which have higher HREE contents (Y>18×10^{-6} and Yb>1.9×10^{-6}), are deviated from the compositional range of adakite. The cause for higher HREE contents might be due to the existence of relict hornblende in the source region during subduction and melting of oceanic crust. Analysis of the chemical characteristics of rocks and geological conditions of the Kalaxianger copper belt shows that the study area probably has good porphyry copper metallogenic prospects.

Key words: Kalaxianger; porphyry copper deposit; island arc; adakite; southeastern margin of Altay

About the first author: WAN Bo, male, born in 1982, master candidate, majors in geochemistry; E-mail: Wanbo@mail.iggcas.ac.cn.