

新疆昭苏卡拉盖雷铜钴金矿区岩石 地球化学特征

郭鹏志¹, 沈利霞¹, 葛文胜², 薛运清¹, 李文圣³

(1. 天津华北地质勘查局, 天津 300170; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 内蒙古矿业开发有限责任公司, 呼和浩特 010020)

摘要: 卡拉盖雷铜钴金矿是那拉提构造带内发现的首例以 Cu 为主, 伴生 Mo, Co, Au, Pb, Zn 的火山岩型热液矿床。矿区内出露的地层主要为石炭系下统大哈拉军山组火山岩地层, 矿区岩浆岩主要有花岗闪长岩、闪长岩和辉绿岩脉。通过火山岩地层和侵入岩样品的地球化学分析, 认为区内大哈拉军山组是一套由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩组成的连续亚碱性的火山岩系列, 且以钙碱性系列为主; 矿区钾长花岗岩属于准铝质—过铝质岩类, 碱性系列, 花岗闪长岩和闪长岩属于准铝质—过铝质岩类, 钙碱性—碱性系列, 基性侵入岩属于弱碱性—碱性系列。稀土元素特征显示中酸性侵入岩可能属于地壳重熔型花岗岩; 基性侵入岩与基性火山岩来源一致。

关键词: 卡拉盖雷铜钴金矿; 火山岩型热液矿床; 主量元素; 微量元素; 稀土元素; 新疆维吾尔自治区

中图分类号: P584; P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)03-0291-09

0 引言

卡拉盖雷铜钴金矿区处于新疆昭苏县天山乡布鲁希布拉克沟。该矿床是那拉提构造带内首例以 Cu 为主, 伴生 Mo, Co, Au, Pb, Zn 的火山岩型热液矿床, 本文通过对矿区代表性岩石进行地球化学特征分析, 对矿区岩石成分、特征及来源有了更进一步的了解。

1 区域地质背景

卡拉盖雷铜钴金矿区位于新疆西天山伊犁微板块之伊犁裂谷带南缘^[1], 那拉提构造带的西段, 区内出露的地层有中元古代那拉提群麻粒岩相一角闪岩相变质岩系、上志留统巴音布鲁克组绿片岩系、下石炭统大哈拉军山组中酸性火山岩及火山碎屑岩、下

石炭统阿克沙克组火山碎屑岩夹碎屑岩、上石炭统碎屑岩系^[2]。

区域内岩浆岩分布广泛, 侵入岩是多期次形成, 有元古代片麻状花岗岩、元古代超镁铁岩、华力西期钾长花岗岩和二长花岗岩等。

卡拉盖雷矿区属于伊犁 Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, Au, Cr, Ni, Co, Fe, Mn 异常区。该区在前寒武系基底上发育裂谷系, 从而出现不同的元素组合矿化及异常: Cu-Mo 组合出现在阿吾拉勒山, 与华力西晚期活化花岗岩有关; Pb-Zn-Ag-Fe-Mn 组合出现在艾肯达坂、式可布台和盆地南缘, 与基底矿源层成矿物质的活化、迁移有关; Cr-Ni-Co 组合主要出现于那拉提山及伊基里克山, 矿质显然来自幔源^[3-4]。

2 矿区地质特征

矿区地层(图 1)主要为石炭系下统大哈拉军山组, 呈近 EW 向带状展布, 岩性主要有火山角砾岩、

收稿日期: 2012-05-14; 改回日期: 2012-08-24; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 郭鹏志(1971-), 男, 高级工程师, 硕士, 2007 年获中国地质大学(北京)硕士学位, 主要从事地质找矿工作。通信地址: 天津市河东区广瑞西路 67 号, 天津华北地质勘查局; 邮政编码: 300170; E-mail: tjpengzhi@126.com

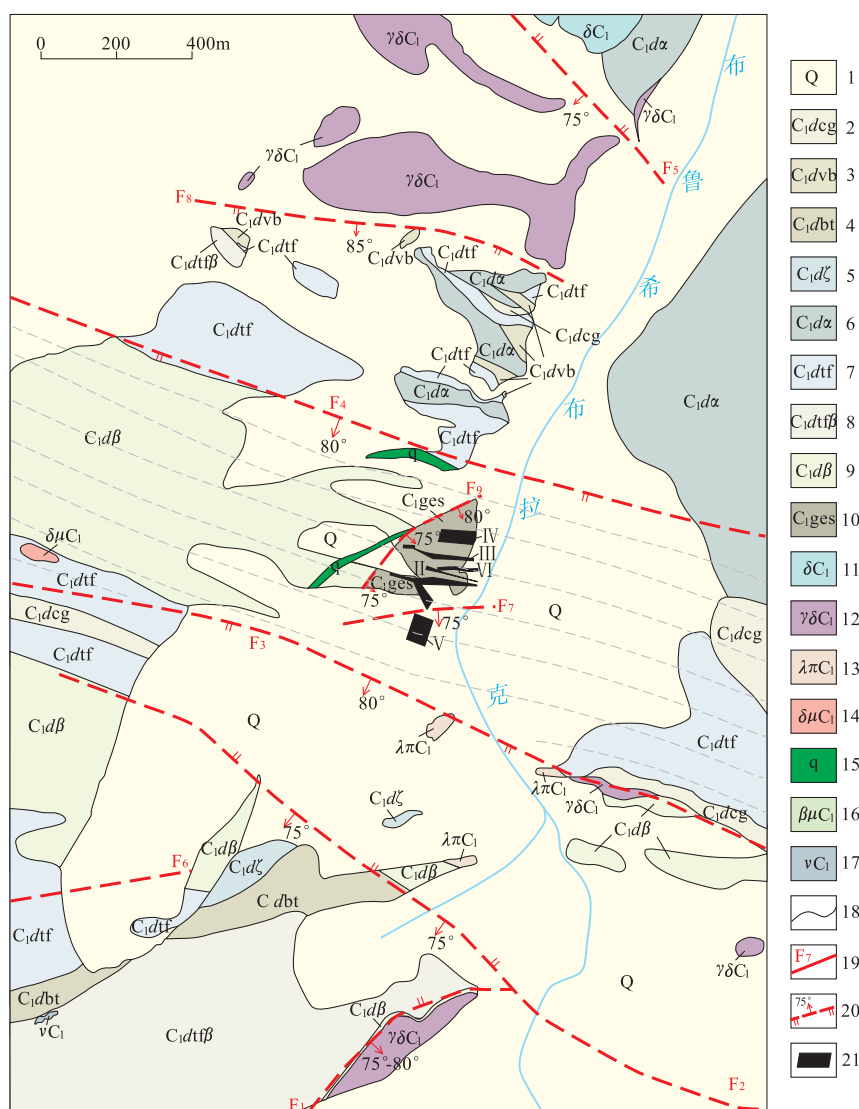


图1 新疆昭苏县卡拉盖雷铜钴金矿区地质图

Fig. 1 Geologic map of Kalagailei Cu-Co-Au Mine, in Zhaosu county, Xinjiang

1. 第四系; 2. 砾岩; 3. 火山角砾岩; 4. 沉凝灰岩; 5. 英安岩; 6. 安山岩; 7. 凝灰岩; 8. 玄武质凝灰岩; 9. 玄武岩; 10. 绿泥石化片岩; 11. 闪长岩; 12. 花岗闪长岩; 13. 流纹斑岩; 14. 闪长玢岩; 15. 硅质脉; 16. 辉绿岩; 17. 辉长岩; 18. 地质界线; 19. 断裂及编号; 20. 推测断裂; 21. 铜矿体及编号

沉凝灰岩、英安岩、安山岩、玄武质凝灰岩等,宏观上偏基性火山—火山碎屑岩分布于矿区南部,中酸性火山岩分布于矿区北部^[5]。

矿区构造主要表现为断裂构造,以 NWW-NW 向断裂为主,如 F_2, F_3, F_4, F_5, F_8 。矿体发育于 F_3 和 F_4 断裂之间,赋矿围岩主要为绿泥石化片岩。

矿区侵入岩主要有花岗闪长岩和闪长岩,均呈岩株(枝)状;脉岩主要有辉绿岩脉、硅质岩脉和石英脉,侵入于下石炭统大哈拉军山组火山岩中,受矿区断裂构造控制明显,接触带矿化明显,有褐铁矿化、孔雀石化、蓝铜矿化。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素特征

矿区火山岩主量元素化学全分析见表 1。表中铝质指数 $A/CNK=0.90\sim 3.02$,显示出准铝质—过铝质的特点^[6]。整体来看, SiO_2 同其他的氧化物均展示出良好的相关性,表现为随 SiO_2 的升高, TiO_2, MgO, CaO, FeO 的降低。这些氧化物的下降反映了橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石以及磁铁矿的分离结晶作用。

由于本区火山岩受后期蚀变作用影响较大,测定的 K_2O 和 Na_2O 的含量并不能准确代表蚀变前的含量,故在此采取火山岩 TAS 分类,对矿区火山岩进行大致分类判别。在火山岩 TAS 分类图(图 2)上,样品主要落入玄武岩、安山岩和流纹岩区,且均为亚碱性系列(除样品 B52 由于较低的 SiO_2 落入苦橄玄武岩区),从基性—酸性均有分布。结合野外观察、镜下鉴定和化学分析得出,区内大哈拉军山组是一套由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩组成的连续亚碱性火山岩系列。

矿区侵入岩主量元素化学全分析见表 2。由表可知,矿区基性岩脉的 SiO_2 含量较中酸性侵入岩低。基性岩脉 Al_2O_3 含量变化大,中酸性岩由花岗闪长岩→钾长花岗岩, Al_2O_3 含量逐渐降低。侵入岩的全碱含量(K_2O+Na_2O),基性岩较中酸性岩含量低;钾长花岗岩含量相对富钾,其 $K_2O/Na_2O>1$,所有的基性岩、绝大多数的花岗闪长岩和闪长岩则贫钾。随 SiO_2 的增高,由基性岩→花岗闪长岩→钾长花岗岩, Ti, Fe, Mg, Ca 氧化物含量降低,这反映出岩浆中橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石以及磁铁矿的分离结晶作用。基性岩样品除 KL4-1 显示强过铝质的特点外,其余均为偏

表 1 卡拉盖雷矿区火山岩主量元素分析结果

Table 1 Concentration of major elements for volcanic rocks in Kalagailei

样品号	B52	KL6-1	B51	B74	B69	B70	KL3-1	B55	B07	B58	B10	B53	KL4-1
SiO ₂	44.71	50.14	59.55	61.38	70.26	71.52	72.66	74.55	75.96	77.23	79.86	80.09	81.12
TiO ₂	1.16	1.13	0.70	0.73	0.62	0.35	0.48	0.15	0.29	0.13	0.14	0.33	0.13
Al ₂ O ₃	12.57	14.08	14.62	15.13	13.49	13.70	13.31	15.15	12.03	16.93	13.59	13.71	14.43
Fe ₂ O ₃	14.47	11.76	6.39	7.46	4.93	2.42	3.78	2.68	2.23	3.69	2.22	3.25	2.55
FeO	10.56	8.52	3.20	3.96	0.20	0.28	0.40	0.32	0.40	1.28	0.32	0.44	0.68
MnO	0.20	0.20	0.11	0.06	0.06	0.05	0.03	0.06	0.05	0.01	0.05	0.03	0.08
MgO	8.51	7.30	4.34	3.33	1.70	0.73	0.73	0.41	0.34	0.42	0.28	0.68	0.57
CaO	10.58	10.33	3.08	1.64	1.21	0.40	0.65	2.28	0.23	0.15	1.17	0.28	0.30
Na ₂ O	2.33	2.32	3.78	3.31	3.94	4.93	2.94	0.21	4.51	0.09	0.30	0.34	0.09
K ₂ O	0.44	0.68	3.30	2.73	2.24	3.32	4.79	5.45	4.57	4.91	5.20	4.31	4.77
P ₂ O ₅	0.10	0.08	0.17	0.15	0.13	0.06	0.09	0.02	0.03	0.05	0.02	0.06	0.02
Total	105.63	106.55	99.24	99.88	98.78	97.76	99.86	101.27	100.64	104.89	103.15	103.52	104.73
Fe ₂ O ₃ +FeO	25.03	20.28	9.59	11.42	5.13	2.70	4.18	3.00	2.63	4.97	2.54	3.69	3.23
K ₂ O+Na ₂ O	2.77	3.00	7.08	6.04	6.18	8.25	7.73	5.66	9.08	5.00	5.50	4.65	4.86
Mg [#]	0.39	0.41	0.47	0.36	0.40	0.35	0.26	0.21	0.20	0.14	0.18	0.27	0.26
A/CNK	0.90	1.01	1.16	1.53	1.35	1.13	1.25	1.82	0.96	3.02	1.89	2.50	2.58

注:量的单位:wt%。A/CNK 为铝质指数=Al/(Ca+Na+K)分子数比,单位为 1;Mg[#]=Mg/(Mg+TFe)分子数比,单位为 1。

B52. 玄武质凝灰岩;KL6-1. 玄武岩;B51. 蚀变玄武岩;B74. 蚀变玄武岩;B69. 火山角砾岩;B70. 晶屑凝灰岩;KL3-1. 安山质凝灰岩;B55. 英安岩;B07. 英安岩;B58. 沉凝灰岩;B10. 英安岩;B53. 晶屑凝灰岩;KL4-1. 角砾凝灰岩。

铝质,钾长花岗岩样品、花岗闪长岩样品显示出准铝质—过铝质的特点。里特曼指数为-7.76~5.82,均<9,属钙碱性—弱碱性系列。其中中酸性岩石普遍在 1.8~3.3 之间,属钙碱性系列,但对于 SiO₂ 含量>70% 的样品,里特曼指数在确定碱性还是亚碱性时候显得无效(肖庆辉等,2002;邓晋福等,2004),

需采取碱度率 AR 来判别^[7]。在 AR-SiO₂ 图解(图 3)上,钾长花岗岩和基性岩属于碱性系列,花岗闪长岩和闪长岩属于亚碱性—碱性系列。钾长花岗岩含钾较高(4.05%~5.14%),部分花岗闪长岩含钾亦较高。分异指数 DI 由辉绿岩→辉长岩→闪长岩→花岗闪长岩→钾长花岗岩逐渐增高,反映出钾长花岗岩的分异演化程度最高。在 CIPW 标准矿物分析中,钾长花岗岩、花岗闪长岩和辉长岩中均出现刚玉分子(C)(表 3),表明其属于铝过饱和型。总之,矿区钾长花岗岩属于准铝质—过铝质岩类,碱性系列;

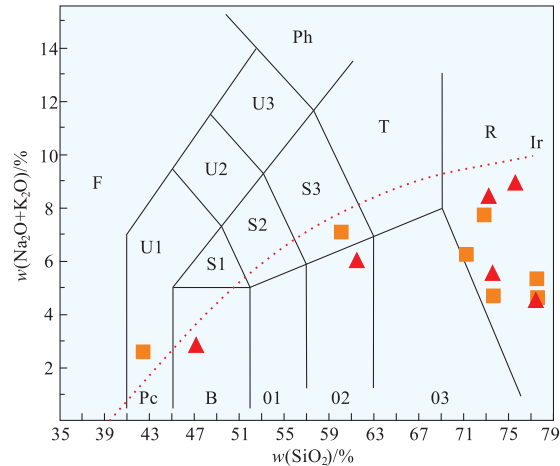


图 2 TAS 火山岩分类图(底图据 Le Maitre et al,1989)

Fig. 2 TAS classification of volcanics

▲. 火山岩;□. 火山碎屑岩

Pc. 苦橄玄武岩;B. 玄武岩;O1. 玄武安山岩;O2. 安山岩;O3. 英安岩;R. 流纹岩;S1. 粗面玄武岩;S2. 玄武质粗面安山岩;S3. 粗面安山岩;T. 粗面岩、粗面英安岩;F. 副长石岩;U1. 碱玄岩、碧玄岩;U2. 响岩质碱玄岩;U3. 碱玄质响岩;Ph. 响岩;Ir. Irvine 分界线(上方为碱性,下方为亚碱性)

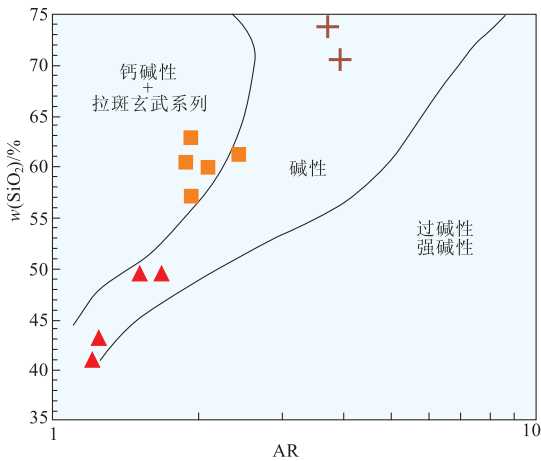


图 3 AR-SiO₂ 图解(底图据 Wright,1969)

Fig. 3 AR-SiO₂ diagram

▲. 基性岩;□. 花岗闪长岩和闪长岩;+. 钾长花岗岩

表 2 卡拉盖雷矿区侵入岩主量元素分析结果

Table 2 Concentration of major elements for intrusive rocks in Kalagailei

样品号	B18	KL4-1	D019-1-1	D019-1-2	D018-1-4	D018-2-3	D034-4	KL2-1	KL1-1	D041-7	B12
SiO ₂	47.96	47.92	41.50	39.49	61.28	60.52	60.03	62.78	74.25	70.46	57.15
TiO ₂	2.45	1.12	1.62	1.60	0.63	0.73	0.49	0.61	0.25	0.21	0.93
Al ₂ O ₃	13.01	17.36	11.85	10.88	15.45	14.73	15.10	14.12	12.13	13.75	15.02
Fe ₂ O ₃	12.94	9.65	12.53	12.63	5.69	5.90	4.54	5.61	1.97	1.65	6.94
FeO	7.60	6.40	7.96	7.80	3.48	3.20	2.88	3.04	1.16	0.92	3.28
MnO	0.19	0.15	0.22	0.25	0.10	0.11	0.09	0.10	0.05	0.05	0.08
MgO	5.91	11.28	8.68	9.21	2.62	3.21	2.95	3.57	0.69	0.59	3.97
CaO	6.73	2.62	11.99	12.50	1.87	3.37	4.15	4.63	1.52	0.60	3.42
Na ₂ O	4.37	3.40	1.91	1.73	3.28	2.84	4.61	4.39	3.81	3.42	4.37
K ₂ O	0.64	0.75	0.61	0.45	3.91	2.70	2.19	1.56	4.05	5.14	1.50
P ₂ O ₅	0.47	0.14	0.29	0.27	0.18	0.17	0.15	0.15	0.06	0.08	0.22
Total	102.27	100.79	99.16	96.81	98.49	97.48	97.19	100.56	99.94	96.87	96.88
Fe ₂ O ₃ +FeO	20.54	16.05	20.49	20.43	9.17	9.10	7.42	8.65	3.13	2.57	10.22
K ₂ O+Na ₂ O	5.01	4.15	2.52	2.18	7.19	5.54	6.80	5.95	7.86	8.56	5.87
K ₂ O/Na ₂ O	0.15	0.22	0.32	0.26	1.19	0.95	0.48	0.36	1.06	1.50	0.34
SI	19.17	36.39	28.05	29.68	13.95	18.26	17.35	19.91	5.94	5.05	20.12
DI	40.08	33.09	15.81	11.97	69.11	60.64	64.70	61.42	88.58	90.49	57.86
AR	1.68	1.52	1.24	1.21	2.42	1.88	2.09	1.93	3.71	3.96	1.93
σ	5.82	3.59	-7.76	-2.73	2.77	1.69	2.60	1.80	1.97	2.63	2.29
A/CNK	0.93	1.97	0.80	0.74	1.36	1.38	1.10	1.07	1.01	1.17	1.26
刚玉(C)		6.44			2.81	1.35				1.66	0.45

注:量的单位: $w_B/\%$ 。A/CNK 为铝质指数 = $Al/(Ca+Na+K)$ 分子数比, 单位为 1。

B18. 辉长岩; KL4-1. 辉长岩; D019-1-1. 辉绿岩; D019-1-2. 辉绿岩; D018-1-4. 花岗闪长岩; D018-2-3. 花岗闪长岩; D034-4. 花岗闪长岩; KL2-1. 花岗闪长岩; KL1-1. 钾长花岗岩; D041-7. 钾长花岗岩; B12. 闪长岩。

表 3 卡拉盖雷矿区侵入岩 CIPW 标准矿物计算结果

Table 3 CIPW standard mineral calculation results for intrusive rocks in Kalagailei

样品号	B18	KL4-1	D019-1-1	D019-1-2	D018-1-4	D018-2-3	D034-4	KL2-1	KL1-1	D041-7	B12
石英(Q)	0.00	0.00	0.00	0.00	17.38	19.53	11.18	15.21	32.38	29.23	10.39
钙长石(An)	13.77	12.21	22.31	21.44	8.48	16.33	14.47	14.15	4.05	2.68	16.30
钠长石(Ab)	36.37	28.68	7.11	2.07	28.23	24.71	40.19	37.01	32.27	29.89	38.28
正长石(Or)	3.71	4.41	3.66	2.77	23.50	16.40	13.33	9.20	23.93	31.37	9.19
霞石(Ne)	0.00	0.00	5.04	7.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
刚玉(C)	0.00	6.44	0.00	0.00	2.81	1.35	0.00	0.00	0.00	1.66	0.45
透辉石(Di)	13.55	0.00	30.02	34.18	0.00	0.00	4.85	6.60	2.71	0.00	0.00
紫苏辉石(Hy)	2.82	30.14	0.00	0.00	12.50	15.02	10.31	11.70	2.03	2.81	17.52
橄榄石(Ol)	14.72	8.73	20.63	21.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
钛铁矿(Il)	4.57	2.12	3.13	3.16	1.23	1.42	0.97	1.15	0.47	0.42	1.82
磁铁矿(Mt)	9.42	6.94	7.40	7.18	5.45	4.82	4.33	4.63	2.01	1.75	5.49
磷灰石(Ap)	1.08	0.31	0.68	0.65	0.42	0.40	0.37	0.34	0.15	0.19	0.53
锆石(Zr)	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03
铬铁矿(Cm)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
合计	100.06	100.02	100.03	100.03	100.03	100.02	100.02	100.04	100.04	100.03	100.01

注: B18. 辉长岩; KL4-1. 辉长岩; D019-1-1. 辉绿岩; D019-1-2. 辉绿岩; D018-1-4. 花岗闪长岩; D018-2-3. 花岗闪长岩; D034-4. 花岗闪长岩; KL2-1. 花岗闪长岩; KL1-1. 钾长花岗岩; D041-7. 钾长花岗岩; B12. 闪长岩。

花岗闪长岩和闪长岩属于准铝质—过铝质岩类,钙碱性—碱性系列;基性侵入岩属于弱碱性—碱性系列。

3.2 微量元素特征

矿区火山岩微量元素化学全分析结果见表 4。由表 4 可以看出,矿区基性火山岩总体上具有富集相容元素和中等相容元素(Cr,Co,Ni,V)而不相容元素含量相对较低的特点。蚀变玄武岩中大离子亲石元素(Sr,K,Rb,Ba)含量较玄武岩明显增加,而相容元素明显降低,反映出不同类型微量元素在蚀变作用下的迁移特点。矿区侵入岩微量元素分析见表 5。由表 5 可以看出,这些位于造山带中侵入岩的微量元素含量具有独特性,基性元素 Cr,Co,Ni,V 和不相容元素 Rb,Sr 含量中等。不相容元素 Rb 和 Sr 是一对相分离元素,其比值可指示出岩石的演化程度及来源。本区侵入岩的 Rb/Sr 比值较低,表明其演化程度相对较低,而钾长花岗岩的 Rb/Sr 比值达 3.21,表明其演化程度较高,这与主量元素分析结果一致。Co/Ni 比值大多接近 1。Nb/Ta 比值相对较低,均 <15 ,说明岩浆不是来自沉积地层或蚀变的硅质洋壳,因为它们具有高的 Nb/Ta 比值(一般在 17 以上;据 Ben Othman et al,1989)。

从微量元素原始地幔标准化(Sun and McDonough,1989)图(图 4)可以看出:火山岩地层样品中,中酸性岩和基性玄武岩表现出 2 种不同型式的曲线特征(图 4a)。前者整体呈明显的右倾型式,表明多数样品相对原始地幔富集不相容元素的特点,属于强不相容元素富集型,反映的岩石成因可能为富集地幔源或交代地幔源,熔融程度低,分离结晶程度强的残余熔体^[8-9]。其明显特征是 Nb 和 Ta 的负异常以及 Sr,P,Ti 的负异常,但 Sr 和 P 除了负异常外,还有不同程度的正异常。另外大离子亲石元素(Rb,Th,K)和相对高场强元素(Y,Zr,Hf,Nb,Ta)具有相对富集的特征。样品 B52 和 KL6-1 显示基性火山岩的特点,其标准化曲线显示出轻微右倾的型式,与中酸性岩明显不同,“峰”和“谷”不明显。对比矿区基性侵入岩和中酸性侵入岩微量元素原始地幔标准化曲线(图 4b,4c)可知,二者的区别与火山岩地层中基性岩和中酸性岩的区别类似。总体来看,中酸性侵入岩和喷出岩的曲线型式相似,说明其源区的一致性;而基性侵入岩和喷出岩亦类同。

在 MORB 标准化(Pearce,1983)曲线上(图 5),其基本形态和特点与图 4 相似,也基本显示出大离子亲石元素富集的特征(Sr 变化较大,与蚀变作用

有关)。基性岩和中酸性岩的曲线显示出不同型式。对于中酸性岩来说,在 MORB 标准化曲线上均存在明显的 Nb,Ta,Ti,P 的负异常,暗示着源区有金红石、榍石、磷灰石的残留。磷灰石的残留说明岩石是源区低程度熔融的结果,这和中酸性岩石具有高的稀土总量和高的 LaN/YbN 比值是一致的。基性岩也同样具有轻微的 Nb,Ta,Ti,P 负异常,其高场强元素(从 Ce 开始)基本上与 MORB 一致。

3.3 稀土元素特征

引用 Sun and McDonough(1989)球粒陨石对样品进行标准化之后,由表 1 可以看出,大哈拉军山组火山岩总体上稀土总量以中酸性岩类最高,基性岩最低,总体上属于轻稀土富集型,酸性岩类轻稀土最为富集,基性岩最低。Eu 的异常程度与岩石类型

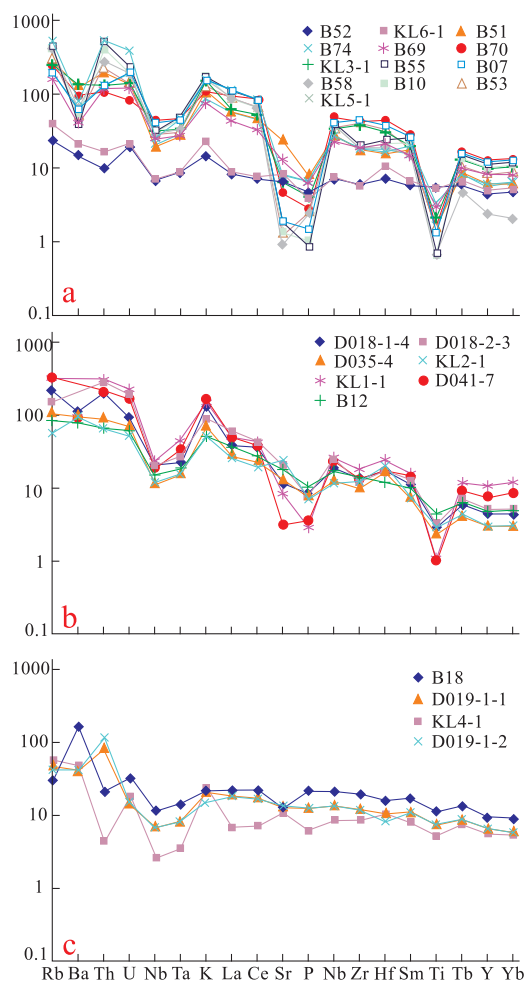


图 4 样品微量元素原始地幔标准化曲线

Fig. 4 Primitive mantle normalized trace element distribution patterns

a. 火山熔岩和火山碎屑岩; b. 中酸性侵入岩; c. 基性岩脉

关系密切,总体上基性岩没有或者有轻微的正异常或负异常,而中酸性岩类均有不同程度的负异常。 $\delta(\text{Ce})=0.92\sim 1.06$,具轻微的正/负异常。

在稀土元素球粒陨石标准化图解(图 6)上,大哈拉军山组火山岩表现出 2 种有明显差异的分配型式曲线(图 6a)。基性岩样品 B52 和 KL6-1 的曲线接近于平坦型, $\delta(\text{Eu})$ 和 $\delta(\text{Ce})$ 均接近 1。中酸性岩类样品包括英安岩、凝灰岩以及火山角砾岩,均呈右倾型式, Eu 负异常明显,程度不等,随酸性程度的增加而增加,表明随着长石等含钙矿物从岩浆中分离出来或在部分熔融作用中长石残留在源区,导致后

期熔浆中 Eu 的负异常。另外, Ce 也具有轻微的正/负异常。在中酸性侵入岩的稀土元素球粒陨石标准化图解(图 6b)上可以看出,钾长花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩均呈明显右倾分配型式,具有相似的曲线型式,反映其均为同一母岩浆演化的产物。唯一的差别在于钾长花岗岩较后二者的负 Eu 异常更明显,出现较突出的“谷”,反映出其岩浆演化程度最高,可能属于地壳重熔型花岗岩。基性侵入岩的稀土元素球粒陨石标准化图解(图 6c)与基性火山岩相似,曲线近于平坦,反映其来源的一致性。

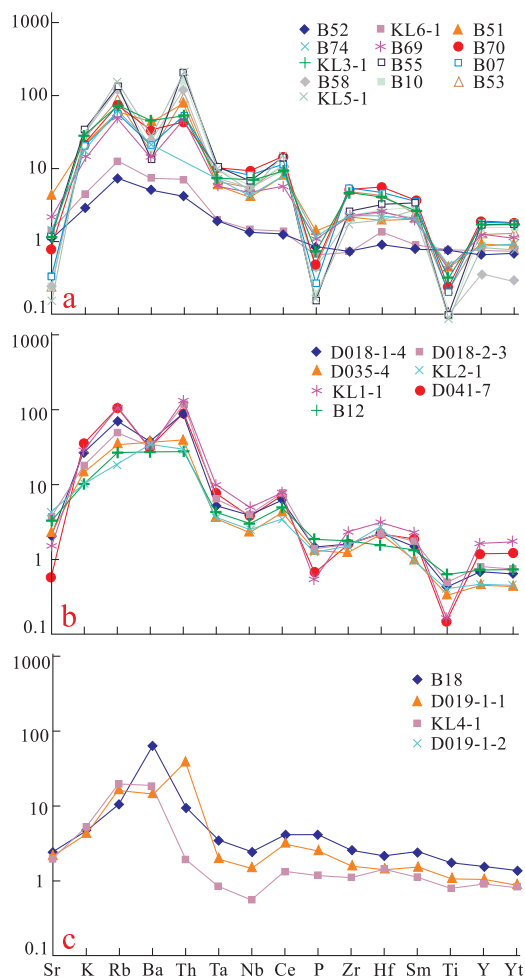


图 5 样品微量元素 MORB 标准化曲线

Fig. 5 MORB normalized trace element distribution patterns

a. 火山熔岩和火山碎屑岩; b. 中酸性侵入岩; c. 基性岩脉

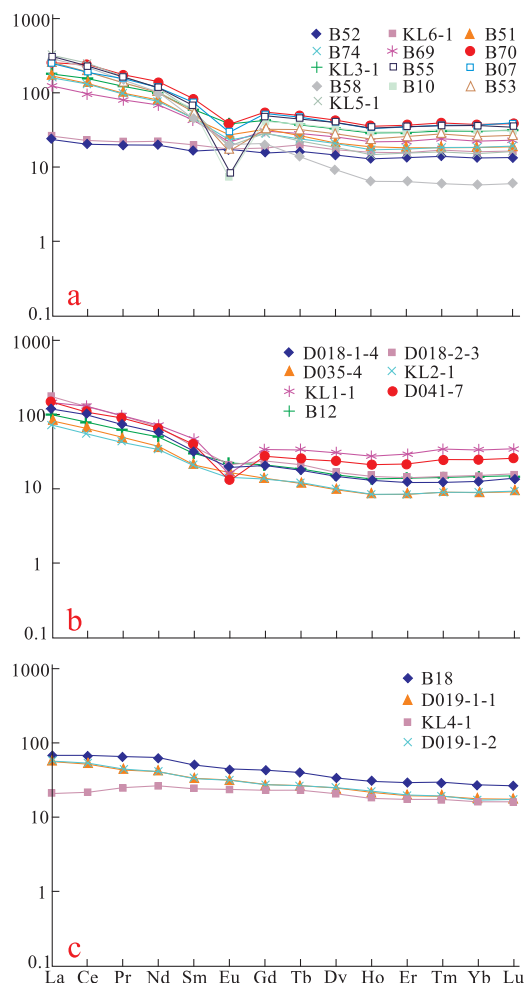


图 6 样品稀土元素球粒陨石标准化曲线

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns

a. 火山熔岩和火山碎屑岩; b. 中酸性侵入岩; c. 基性岩脉

表 4 卡拉盖雷矿区火山岩微量元素分析结果
Table 4 Concentration of trace elements for volcanic rocks in Kalagailei

样品号	B52	KL6-1	B51	B74	B69	B70	KL3-1	B55	B07	B58	B10	B53	KL4-1
Au	1.60	2.40	0.30	0.34	0.58	0.29	0.30	0.69	0.37	0.37	0.43	0.34	5.49
Ag	67.12	75.59	57.23	55.04	71.91	38.76	12.18	41.62	11.17	13.77	23.76	34.66	137.13
Cu	165.81	125.59	36.02	16.72	7.61	4.32	4.50	8.83	9.27	2.76	12.03	5.78	33.00
Pb	2.43	3.68	14.91	11.69	14.99	9.37	19.64	12.39	17.65	2.18	7.48	6.35	66.85
Zn	106.97	117.58	84.05	75.63	88.56	77.46	63.27	52.55	24.15	37.25	59.63	54.40	81.89
W	0.24	0.23	1.11	1.42	2.29	1.64	1.89	2.27	2.74	1.88	2.61	3.43	1.17
Mo	0.18	0.43	0.21	0.31	0.42	0.25	0.27	0.43	0.26	0.28	0.23	0.51	0.45
Bi	0.08	0.06	0.03	0.03	0.15	0.45	0.21	0.89	0.10	0.10	0.37	0.09	0.94
Cr	207.90	203.50	68.40	71.00	44.60	3.10	6.50	2.50	4.70	4.30	2.50	8.80	2.50
Co	56.90	48.59	23.85	24.41	13.37	1.78	2.88	1.41	1.36	2.41	1.36	3.20	4.54
Ni	102.70	95.98	20.20	24.29	15.86	2.82	3.44	2.57	3.33	1.88	2.83	4.82	3.85
V	352.30	320.10	110.10	115.10	79.90	23.10	24.70	13.70	23.20	11.70	10.20	25.90	10.70
Sr	137.30	175.10	519.40	173.00	260.90	95.50	140.00	40.20	41.00	19.60	29.50	28.30	18.20
Ba	104.50	149.50	901.70	557.20	282.40	662.00	942.00	272.30	433.70	504.40	371.80	352.70	563.30
Rb	14.90	25.70	126.60	129.20	102.10	156.00	154.50	283.00	120.60	250.00	267.70	183.80	326.20
Cs	1.03	1.22	3.50	7.24	13.88	3.38	5.76	5.41	1.44	6.90	4.61	6.39	7.82
Nb	4.68	5.20	14.11	15.27	17.39	32.12	23.24	24.26	28.44	19.93	21.51	19.52	17.99
Ta	0.35	0.36	1.10	1.15	1.09	1.87	1.39	2.01	1.77	1.35	1.88	1.28	1.88
Zr	66.60	65.30	200.30	209.80	217.40	480.40	419.50	239.40	507.60	209.40	207.10	470.00	158.80
Ga	16.42	16.43	18.67	20.02	18.70	24.63	18.76	20.23	20.43	19.57	18.53	17.63	17.28
Cd	81.31	140.95	65.07	90.96	60.27	52.21	13.37	113.28	72.01	43.76	131.74	53.34	99.52
Hf	2.20	3.23	4.80	5.33	6.42	13.55	9.66	7.81	11.35	5.92	6.73	10.76	4.88
Th	0.84	1.43	16.69	18.12	10.16	8.99	10.91	43.05	11.29	24.37	34.09	19.44	44.89
U	0.40	0.44	4.33	4.41	2.48	1.76	2.96	4.93	4.01	4.01	4.26	2.96	8.09
La	5.58	6.13	41.16	39.01	29.31	65.81	43.04	71.86	57.92	73.76	59.80	62.23	77.60
Ce	12.73	13.88	86.17	81.58	58.08	145.48	95.00	142.05	114.90	142.94	117.12	120.44	154.35
Pr	1.90	2.06	10.14	9.51	7.75	16.38	11.62	15.53	14.42	14.26	12.90	13.42	15.89
Nd	9.35	10.12	38.93	36.46	31.12	65.15	47.46	56.87	55.62	48.07	48.11	49.08	54.49
Sm	2.58	3.00	7.35	6.86	6.57	12.68	9.50	11.24	11.62	6.92	9.67	8.27	8.76
Eu	0.98	1.00	1.48	1.24	1.18	2.21	2.26	0.50	1.67	1.18	0.44	0.98	1.11
Gd	3.35	3.76	6.32	5.84	6.31	11.31	8.75	9.99	10.68	4.24	8.63	7.10	5.97
Tb	0.60	0.73	0.99	0.92	1.07	1.82	1.41	1.72	1.75	0.52	1.46	1.19	0.86
Dy	3.69	4.37	5.40	5.20	6.42	10.78	8.11	10.01	9.96	2.31	8.57	7.24	4.64
Ho	0.75	0.91	1.04	0.99	1.23	2.06	1.56	1.93	1.90	0.36	1.68	1.41	0.86
Er	2.24	2.66	3.03	2.85	3.68	6.08	4.78	5.70	5.80	1.07	5.01	4.34	2.54
Tm	0.35	0.44	0.46	0.48	0.61	0.98	0.77	0.92	0.96	0.15	0.82	0.71	0.41
Yb	2.31	2.71	3.12	3.16	3.92	6.35	5.17	6.06	6.43	1.00	5.34	4.53	2.66
Lu	0.35	0.41	0.48	0.49	0.58	0.97	0.81	0.89	1.01	0.15	0.80	0.70	0.42
Y	19.64	23.09	28.07	26.71	37.60	57.61	45.34	53.68	55.55	10.98	46.73	39.18	25.28
ΣREE	46.77	52.18	206.08	194.60	157.83	348.07	240.23	335.29	294.64	296.93	280.34	281.63	330.56
LREE	33.14	36.19	185.24	174.67	134.01	307.71	208.88	298.06	256.14	287.13	248.03	254.42	312.20
HREE	13.64	15.99	20.84	19.93	23.82	40.36	31.36	37.23	38.49	9.80	32.31	27.21	18.36
L/H	2.43	2.26	8.89	8.76	5.63	7.62	6.66	8.01	6.65	29.29	7.68	9.35	17.01
La _N /Yb _N	1.73	1.62	9.46	8.86	5.37	7.43	5.97	8.51	6.46	53.09	8.04	9.86	20.95
δ(Eu)	1.02	0.91	0.65	0.58	0.55	0.55	0.74	0.14	0.45	0.62	0.14	0.38	0.45
δ(Ce)	0.95	0.95	1.00	1.01	0.92	1.06	1.02	0.99	0.95	1.01	0.99	0.97	1.02

注:量的单位: $w(\text{Au}, \text{Ag})/10^{-9}$, 其他元素 $w_B/10^{-6}$; 球粒陨石值据 Sun and McDonough(1989)。

B52. 玄武质凝灰岩; KL6-1. 玄武岩; B51. 蚀变玄武岩; B74. 蚀变玄武岩; B69. 火山角砾岩; B70. 晶屑凝灰岩; KL3-1. 安山质凝灰岩; B55. 英安岩; B07. 英安岩; B58. 沉凝灰岩; B10. 英安岩; B53. 晶屑凝灰岩; KL4-1. 角砾凝灰岩。

表 5 卡拉盖雷矿区侵入岩微量元素分析结果

Table 5 Concentration of trace elements for intrusive rocks in Kalagailei

样品号	B18	KL4-1	D019-1-1	D019-1-2	D018-1-4	D018-2-3	D034-4	KL2-1	KL1-1	D041-7	B12
Au	0.32	0.70	1.10	1.08	1.72	2.82	1.02	0.40	0.29	6.47	0.27
Ag	98.40	236.83	42.14	18.40	46.45	42.87	149.35	52.30	38.15	49.39	48.87
Cu	83.64	481.92	55.21	53.88	33.82	26.09	44.53	14.82	1.75	9.98	10.12
Pb	5.36	24.12	5.74	16.38	17.92	14.78	19.22	9.85	22.55	28.48	13.21
Zn	123.58	143.92	95.13	93.33	64.26	53.30	53.89	69.62	57.30	32.30	67.23
W	0.37	0.23	0.59	1.19	1.52	1.47	1.29	0.72	1.93	1.93	0.50
Mo	0.56	0.27	0.50	0.41	0.47	0.51	0.55	0.15	0.25	0.72	0.19
Bi	0.05	0.03	0.05	0.36	0.11	0.10	0.13	0.07	0.08	0.11	0.04
Cr	68.40	105.80	134.10	128.30	33.40	40.60	42.00	74.20	4.90	7.40	23.50
Co	45.09	50.55	41.24	34.02	14.71	14.93	11.07	17.16	2.80	1.81	16.32
Ni	38.34	106.60	56.36	53.31	10.82	11.34	16.15	28.48	3.39	3.66	4.91
V	279.20	173.70	229.30	219.40	92.90	112.50	73.90	104.50	23.00	21.10	133.40
Sr	260.40	226.10	274.10	282.50	235.30	440.30	273.00	510.40	176.30	66.70	377.80
Ba	1171.70	334.30	270.70	284.90	772.30	661.80	686.20	702.10	679.40	607.70	533.00
Rb	19.60	36.30	31.00	27.20	141.40	96.70	70.10	36.20	211.60	214.20	52.40
Cs	1.56	2.28	3.66	3.42	2.54	2.55	1.62	1.20	6.13	5.23	2.11
Nb	8.23	1.89	5.04	4.70	13.06	14.20	8.02	8.37	16.86	13.45	10.53
Ta	0.58	0.15	0.34	0.33	0.93	1.15	0.66	0.62	1.76	1.38	0.75
Zr	218.60	94.80	138.20	131.60	145.80	137.70	110.20	131.10	202.50	145.80	158.50
Ga	21.75	16.54	18.29	17.41	18.53	22.65	16.77	18.00	16.37	16.36	18.63
Cd	148.46	250.93	0.15	0.14	0.07	0.06	0.04	106.45	65.35	0.05	67.88
Hf	4.81	3.19	3.39	2.61	5.33	5.29	5.30	6.39	7.29	5.14	3.74
Th	1.79	0.37	7.12	9.87	18.03	23.58	7.80	5.76	25.96	17.92	5.48
U	0.68	0.37	0.30	0.33	1.93	3.89	1.51	1.08	4.74	3.55	1.27
B			5.50	4.10	7.60	8.80	23.90			14.70	
Sn			1.45	1.11	2.18	1.95	1.13			2.07	
Rb/Sr	0.08	0.16	0.11	0.10	0.60	0.22	0.26	0.07	1.20	3.21	0.14
Co/Ni	1.18	0.47	0.73	0.64	1.36	1.32	0.69	0.60	0.83	0.50	3.32
Nb/Ta	14.13	12.97	14.76	14.44	13.97	12.36	12.21	13.61	9.56	9.77	13.98
La	15.28	4.82	12.90	12.82	27.23	41.30	20.88	17.34	35.92	35.22	23.90
Ce	38.83	12.49	31.06	31.16	62.04	75.35	42.30	33.70	77.13	68.50	48.33
Pr	5.81	2.22	4.07	4.08	7.05	8.97	4.76	4.09	9.07	8.53	5.91
Nd	27.89	11.70	18.69	18.43	26.47	31.94	17.58	16.06	34.27	30.70	23.28
Sm	7.34	3.52	4.92	4.84	4.88	5.83	3.26	3.16	7.07	6.27	4.50
Eu	2.49	1.30	1.78	1.71	1.13	1.24	0.99	0.79	0.90	0.75	1.29
Gd	8.26	4.53	5.20	5.26	4.24	4.89	2.96	2.81	6.97	5.58	4.31
Tb	1.41	0.81	0.96	0.94	0.67	0.78	0.44	0.46	1.27	0.97	0.71
Dy	8.19	4.97	5.97	5.97	3.79	4.35	2.53	2.52	7.79	5.99	4.05
Ho	1.61	0.97	1.17	1.18	0.74	0.86	0.50	0.48	1.56	1.22	0.78
Er	4.56	2.72	3.13	3.12	2.05	2.42	1.41	1.40	4.94	3.62	2.34
Tm	0.71	0.43	0.48	0.47	0.32	0.39	0.23	0.23	0.85	0.62	0.36
Yb	4.41	2.62	2.94	2.86	2.15	2.56	1.46	1.52	5.75	4.15	2.48
Lu	0.64	0.39	0.43	0.42	0.34	0.40	0.24	0.23	0.86	0.66	0.38
Y	42.62	25.64	30.25	30.03	20.19	23.84	13.70	13.55	47.95	34.48	21.28
ΣREE	154.78	74.31	111.05	110.47	136.06	163.83	92.36	81.00	206.40	172.07	120.00
LREE	90.62	35.75	65.73	65.48	105.81	128.23	71.85	60.61	135.42	120.35	87.62
HREE	64.16	38.55	45.32	44.99	30.25	35.60	20.51	20.39	70.97	51.72	32.38
L/H	1.41	0.93	1.45	1.46	3.50	3.60	3.50	2.97	1.91	2.33	2.71
La _N /Yb _N	2.49	1.32	3.15	3.22	9.09	11.58	10.25	8.20	4.48	6.09	6.91
δ(Eu)	0.98	1.00	1.07	1.03	0.74	0.69	0.96	0.80	0.39	0.38	0.89
δ(Ce)	1.01	0.93	1.04	1.05	1.07	0.92	1.00	0.95	1.02	0.94	0.97

注:量的单位: $w(\text{Au, Ag})/10^{-9}$, 其他元素 $w_B/10^{-6}$; 球粒陨石值据 Sun and McDonough(1989)。

B18. 辉长岩; KL4-1. 辉长岩; D019-1-1. 辉绿岩; D019-1-2. 辉绿岩; D018-1-4. 花岗闪长岩; D018-2-3. 花岗闪长岩; D034-4. 花岗闪长岩; KL2-1. 花岗闪长岩; KL1-1. 钾长花岗岩; D041-7. 钾长花岗岩; B12. 闪长岩。

4 结论

通过对矿区火山岩地层和侵入岩样品的地球化学分析,取得以下主要认识:

(1)主量元素特征显示,矿区内大哈拉军山组是一套由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩组成的连续亚碱性的火山岩系列,且以钙碱性系列为主。矿区钾长花岗岩属于准铝质—过铝质岩类,碱性系列;花岗闪长岩和闪长岩属于准铝质—过铝质岩类,钙碱性—碱性系列;基性侵入岩属于弱碱性—碱性系列。

(2)微量元素特征显示,本区钾长花岗岩演化程度较高,其他侵入岩演化程度相对较低,且岩浆不是来自沉积地层或蚀变的硅质洋壳。通过样品微量元素原始地幔标准化图解分析可知,多数样品相对原始地幔富集不相容元素的特点,属于强不相容元素富集型,反映岩石成因可能为富集地幔源或交代地幔源,熔融程度低,分离结晶程度强的残余熔体;侵入岩和喷出岩来源一致。

(3)稀土元素特征显示,大哈拉军山组火山岩总体上属于轻稀土富集型,酸性岩类轻稀土最为富集,基性岩最低。通过样品稀土元素球粒陨石标准化图解分析可知,钾长花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩是由

同一母岩浆演化的产物,钾长花岗岩岩浆演化程度最高,可能属于地壳重熔型花岗岩;基性侵入岩与基性火山岩的来源一致。

致谢:本文在资料收集、采样、分析和研究过程中,得到了中国地质大学(北京)、天津华北地质勘查局、天津华勘矿业投资有限公司、新疆大山矿业有限公司的支持,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 车自成,刘良,刘洪福.论伊犁古裂谷[J].岩石学报,1996,12(3):478-489.
- [2] 刘本培,王自强,张传恒,等.西南天山构造格局与演化[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [3] 程裕淇.中国区域地质概论[M].北京:地质出版社,1994.
- [4] 车自成,刘洪福,刘良.中天山造山带形成与演化[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 蔡士赐.全国地层多重划分对比研究——新疆维吾尔自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.
- [6] 黎彤.化学元素的地球丰度[J].地球化学,1976(3):167-174.
- [7] 聂凤军,江思宏,白大明,等.北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M].北京:地质出版社,2002:1-408.
- [8] 毛光周,华仁民,高剑峰,等.江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征[J].矿床地质,2006,25(4):412-426.
- [9] 邵铁全,石莹,靳红.新疆西天山哈拉军山组火山岩岩石化学特征及地质意义[J].新疆地质,2006,24(3):218-222.

Petro-geochemistry of Kalagailei Cu-Co-Au deposit in Zhaosu county, Xinjiang

GUO Peng-zhi¹, SHEN Li-xia¹, GE Wen-sheng², XUE Yun-qing¹, LI Wen-sheng³

(1. Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin, 300170, China; 2. China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 3. Inner Mongolia Mining Exploitation Co. Ltd, Huhehot, 010020, China)

Abstract: Kalagailei is the first volcanics-hosted hydrothermal ore deposit dominated by Cu with by-products of Mo, Co, Au, Pb and Zn. in Nalati structure belt. In the mine area are mainly exposed volcanics of Lower Carboniferous Dahalajunshan formation. Magmatic rocks here are mainly granodiorite, diorite and diabase dykes. Dahalajunshan formation is made up of basalt, andesite, dacite and rhyolite. Geochemical analysis shows that the formation belongs to a sub-alkaline volcanic series but is dominated by calcium-alkaline series; moyite metaluminous-peraluminous rock, alkalic series; granodiorite and diorite metaluminous-peraluminous rock, calcic-alkalic to alkalic series; basic intrusive rock weak alkalic to alkalic series. Feature of REE indicates that moyite is derived from crust remelting and basic magmatic rock and basic volcanics are cognate.

Key Words: Kalagailei Cu-Co-Au mine; volcanics-hosted hydrothermal deposit; major elements; trace elements; rare-earth elements; Xinjiang