第38卷第4期 中国科学技术大学学报 Vol. 38, No. 4
2008年4月 JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA Apr. 2008

文章编号: 0253-2778(2008)04-0347-09

新疆菁布拉克岩带稀土元素地球化学特征

孙盼盼, 倪守斌

(中国科学技术大学地球与空间科学学院, 安徽合肥 230026)

摘要: 菁布拉克基性-超基性岩带位于西南天山那拉提深大断裂附近, 出露有菁布拉克、喀拉达拉、恰干萨依、乔勒铁克西、丘拉克特勒克、苏鲁、琼阿乌孜等基性超基性岩体. 对这些岩体稀土元素分析结果显示: 该区岩体稀土含量低, 轻稀土略微富集; δEu 正、负异常均有体现; Ce/Ce* 则均为负异常. 结合岩石化学数据和同位素数据, 认为该区岩体是亏损地幔部分熔融产生的, 熔融所产生的基性-超基性岩浆在上侵过程中经历了流体交代作用和地壳不同程度的混染作用. 文中还通过比较新疆北部不同含矿性岩体的稀土元素特征, 初步探讨了该区岩体 Cu、Ni 矿的成矿属性.

关键词: 基性-超基性岩带; 稀土元素; Cu-Ni 成矿; 菁布拉克

中图分类号: P595 文献标识码: A

REE characteristics of basic-ultrabasic Rocks from the Jingbulake belt in Xinjiang

SUN Pan-pan, NI Shou-bin

(School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: The basic-ultrabasic rocks of Jingbulake belt are situated within the Nalati fault in southwestern Tianshan, where more than ten intrusions: Jingbulake, Kaladala, Qiagansayi, Qiaoletiekexi, Qiulaketeleke, Sulu, Qiongawuzi, etc., were discovered. Based on the analysis of rare earth elements (REE), the ΣREE is12.19 to 175.02 $\times 10^{-6}$, with an average of 48.88 $\times 10^{-6}$; the values of ΣLREE/ΣHREE are from 0.77 to 1.89, averaging 1.36, which shows that ΣREE are low and that LREE is slightly enriched; the values of δEu show both positive and negative anomalies and all Ce/Ce* are negative anomalies. Combined with the data of major and isotope elements, these features suggest that the magma was derived from the depleted asthenospheric mantle. In the process of upward emplacing, the magma produced by partial melting undergone fluid metasomatization, and was contaminated by crustal materials to varying degrees. Meanwhile, through comparing to the features of REE in different bodies in Northern Xinjiang, the copper-nickel ore potential of these intrusions are discussed.

Key words: Jingbulake; basic-ultrabasic rocks; rare earth elements; copper-nickel metallization

收稿日期: 2007-08-20; 修回日期: 2008-01-09

基金项目: 国家重点基础研究发展(973)计划(2001CB409806)资助.

作者简介: 孙盼盼, 女, 1983年生, 硕士. 研究方向: 西南天山造山成矿. E-mail: panpan@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 倪守斌, 副教授. E-mail: nisb@ustc.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

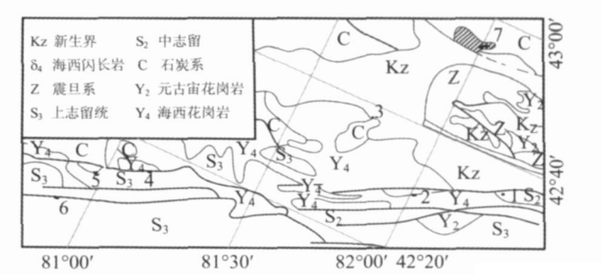
0 引言

新疆北部近年来陆续发现了喀拉通克、黄山和菁布拉克等含铜镍硫化物矿的基性超基性岩带. 作为仅次于金川 Cu-Ni-(PGE) 硫化物矿床的又一大型铜镍基地, 新疆北部的铜镍矿床引起了地学界的广泛重视. 有关新疆北部这些含铜镍硫化物矿的基性超基性岩带的岩石组合特征、成岩成矿时代、元素地球化学特征、物质来源、流体动力学、造山与成矿等方面的研究工作得以迅速发展[1~6]. 对新疆北部基性超基性岩形成环境的研究认为菁布拉克、喀拉通克和黄山等基性-超基性杂岩带形成于后碰撞伸展环境[7~8].

菁布拉克基性超基性杂岩带作为新疆北部一个重要的基性超基性岩带, 许多学者从不同角度对其进行了研究. 王作勋等[9] 根据岩石组合和地球化学特征认为菁布拉克基性—超基性岩带是被肢解的蛇绿岩残块; 郝杰等[10] 测得岩带内的长阿乌子辉长岩中的辉石的 ^{40}Ar-^{39}Ar 的年龄(439.4±26.7 Ma), 认为其为蛇绿混杂岩的形成年龄即洋壳年龄, 但是在该岩带内并没有发现天山古生代蛇绿岩所表现的两种序列. 倪守斌等[7,11] 和陈江峰等[12] 对菁布拉克岩带的 Sr、Nd 同位素进行分析, 提出菁布拉克岩带形成于海西期的后碰撞拉张环境, 经历了亏损上地幔的部分熔融和地壳浅部的 AFC 过程. 最新研究[13] 根据微量和稀土元素特征指出菁布拉克岩体的地壳混染作用很弱, 并且俯冲洋壳产生的流体参与了亏损地幔的部分熔融. 本文则从菁布拉克岩带各岩体的稀土元素着手, 结合该区岩石化学特征, 重新对其物质源区及演化机制进行深入探讨, 并通过与喀拉通克、黄山等岩体的稀土特征比较, 推测该岩带 Cu-Ni 成矿属性.

1 地质背景

新疆北部出露有多条基性-超基性岩带, 如喀拉通克、黄山、菁布拉克等. 本文所研究的菁布拉克岩带处于 E80°15′ ~ 82°30′, N41°60′ ~ 43°00′ (图 1), 从大地构造上, 菁布拉克岩带处于塔里木板块和伊犁微地块的交接处, 受控于深大断裂. 所出露的菁布拉克、喀拉达拉、恰干萨依、乔勒铁克西、丘拉克特勒克、苏鲁、琼阿乌孜等十多个基性-超基性岩体, 大致呈 EW 向分布在那拉提山脊深断裂及其次断裂附近.



1-菁布拉克岩体; 2-恰干萨依岩体; 3-丘拉克特勒克岩体; 4-乔勒铁克西岩体; 5-苏鲁岩体; 6-琼阿乌孜岩体; 7-喀拉达拉岩体

图 1 菁布拉克岩带岩体分布简图

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of basie-ultrabasic rocks in Jingbulake belt

菁布拉克基性-超基性岩带的岩体侵位于志留系片岩和片麻岩中, 各岩体的产状、岩性及岩体分异程度不尽相同. 岩带中的菁布拉克岩体位于北东东向构造带中, 在平面上呈橄榄形、空间上呈向斜盆状, 长 2.5 km, 宽 1.3 km, 面积 3.2 km^2, 岩体分异较好, 出现环状分带, 各岩相带从外向内分别为闪长岩、辉石岩、橄榄辉石岩、橄榄岩等; 恰干萨依岩体产于那拉提深断裂带内, 岩体地表长度为 5.3 km, 平均宽为 0.7 km, 面积 3.7 km^2, 该岩体分异也很明显, 其岩相分异自上而下依次是辉石闪长岩、辉绿岩、辉石橄长岩和辉长岩; 其他几个岩体分异不明显, 丘拉克特勒克岩体, 南北两侧为断裂所限, 宽约 0.4 km, 东西延伸 1.5 km, 此岩体仅有橄榄岩和辉石岩两个岩相; 乔勒铁克西和苏鲁岩体仅出露辉长岩相; 琼阿乌孜的岩性主要为辉橄岩、辉长岩、闪长岩, 但岩石破碎, 几乎所有的辉橄岩都发生了蛇纹石化. 分异较好的还有喀拉达拉岩体, 其侵位于中石炭统中, 岩体面积约 30 km^2, 因其与菁布拉克岩带的基性超基性岩类似, 故一起讨论. 野外观察该岩体为一层状侵入体, 自上而下依次为浅色辉长岩、深色辉长岩、橄榄辉长岩和辉绿岩.

2 岩体地球化学特征

由于基性超基性岩较易蚀变, 为避免其影响, 本次研究选择了新鲜的样品. 各岩体样品的主量元素和稀土元素数据在北京大学测试中心测得. 稀土元素用国产标准样监控, 测定误差在 0.5% 左右. 分析结果见表 1 和表 2.

由于琼阿乌孜岩体经历了比较强的蚀变和地壳混染作用, 其岩石化学特征与其他岩体都有很大差异, 而且前人也对琼阿乌孜做了详细的报道[11], 本

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　菁布拉克岩带岩体主量元素分析结果

Tab. 1　Major element analyses of the bodies from Jingbulake belt in Xinjiang

样品号	地点	岩性	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O^+	H_2O^-	TiO_2	P_2O_5	MnO	总计	Mg#
G1-6	喀拉达拉	橄榄辉长岩	46.64	15.56	6.32	6.78	7.22	6.55	2.8	0.15	5.04	0.4	2.22	0.44	0.29	100.41	0.51
G-6		橄榄辉长岩	46.95	21.59	1.73	6.34	8.65	10.54	1.55	0.25	1.95	0.12	0.39	0.24	0.2	100.5	0.66
J006		钛铁矿橄榄辉长岩	44.83	16.96	2.61	7.66	14.09	9.17	1.5	0.15	2.45	0.08	0.4	0.17	0.16	100.23	0.72
Q016	菁布拉克	斜长角闪岩	48.94	11.35	1.2	7.73	14.47	12.12	0.8	0.35	1.53	0.28	0.48	0.15	0.17	99.57	0.75
Q017		辉橄岩	46.91	12.24	0.68	7.5	16.14	11.85	1.2	0.3	1.79	0.24	0.46	0.16	0.14	99.61	0.78
Q018		辉橄岩	42.35	3.31	1.87	9.4	35.12	4.92	0.35	0.1	1.98	0.28	0.2	0.11	0.16	100.15	0.85
Q019Q		橄榄辉长岩	47.13	9.6	0.83	6.43	18.82	14.33	0.65	0.1	1.08	0.04	0.25	0.14	0.14	99.54	0.83
B-84	恰干萨依	橄榄辉长岩	45.58	15.03	2.05	3.95	14.04	12.02	1.2	0.15	5.04	0.6	0.25	0.16	0.27	100.34	0.81
B-87		橄榄辉长岩	46.85	18.9	1.17	4.2	11.35	12.47	1.55	0.4	2.62	0.12	0.25	0.17	0.12	100.17	0.80
B-86		橄榄辉长岩	44.98	19.78	1.19	3.29	9	14.41	1.3	0.25	5.21	0.4	0.18	0.18	0.15	100.32	0.79
Q010	丘拉克特勒克	闪长岩	52.12	18.38	2.03	5.75	5.53	7.64	3.6	1.3	2.42	0.24	0.95	0.23	0.14	100.33	0.57
Q014		辉绿岩	50.47	14.67	2.25	9.15	5.62	6.07	4.75	0.3	3.01	0.48	2.72	0.46	0.17	100.12	0.48
A-2	乔勒铁克西	辉长岩	47.82	14.89	2.91	7.8	6.47	10.4	2.65	0.25	3.22	0.04	2.85	0.38	0.3	99.98	0.53
A-4		辉长岩	48.31	14.33	4.5	11.14	4.84	7.72	2.4	0.15	2.99	0.32	2.7	0.35	0.28	100.03	0.36
A067			46.94	17.68	1.32	7.43	9.17	10.42	2.29	0.2	2.61	0.08	0.92	0.22	0.14	99.42	0.66
S092	苏鲁	辉长岩	48.51	13.76	3.2	8.83	8.56	8.19	3.15	0.85	2.6	0.12	1.45	0.21	0.24	99.67	0.57
S094		斜长角闪岩	45.99	13.91	5.28	9.11	7.78	8.43	2.7	0.88	2.63	0.24	2.01	0.33	0.26	99.55	0.50
S099		斜长角闪岩	49.17	8.52	3.5	9.45	11.37	12.22	1.18	0.28	2.23	0.22	1.06	0.12	0.24	99.56	0.62

【注】Mg# = Mg/(Fe+ Mg)

表 2　菁布拉克岩带岩体的稀土元素含量(10^{-6})

Tab. 2　REE compositions (10^{-6}) of the bodies from Jingbulake belt in Xinjiang

地点	样品号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	δEu	Ce/Ce^*	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	$(Gd/Yb)_N$	ΣL/ΣH
喀拉达拉	G1-6	橄榄辉长岩	14.53	33.11	5.25	24.40	6.17	2.12	6.03	0.98	5.92	1.05	2.95	0.53	3.47	0.57	107.08	1.06	0.89	1.48	2.83	1.41	1.65
	G-6	橄榄辉长岩	3.01	6.41	1.08	4.84	1.38	0.72	1.42	0.23	1.32	0.29	0.72	0.13	0.85	0.15	22.55	1.57	0.83	1.37	2.39	1.35	1.49
	J006	钛铁矿橄榄辉长岩	2.61	5.99	1.02	4.56	1.44	0.58	1.58	0.21	1.22	0.28	0..71	0.12	0..74	0.11	21.17	1.18	0.86	1.14	2.38	1.73	1.47
菁布拉克	Q016	斜长角闪岩	2.81	6.55	1.19	5.59	1.72	0.67	2.29	0.35	1.98	0.45	1.17	0.18	1.23	0.18	26.36	1.03	0.84	1.03	1.54	1.51	1.06
	Q017	辉橄岩	3.5	7.57	1.26	5.7	1.78	0.59	2.11	0.32	1.8	0.41	1	0.17	1.01	0.16	27.38	0.93	0.84	1.24	2.34	1.69	1.27
	Q018	辉橄岩	1.86	3.48	0.7	3.27	0.88	0.25	1.02	0.15	0.92	0.21	0.53	0.08	0.5	0.07	14.55	0.81	0.72	1.33	2.51	1.65	1.32
	Q019	橄榄辉长岩	1.76	4.03	0.69	3.41	1.1	0.39	1.43	0.22	1.35	0.31	0.84	0.13	0.76	0.12	16.54	0.95	0.86	1.01	1.57	1.52	0.97
恰干萨依	B-84	橄榄辉长岩	2.26	4.42	0.77	3.54	1.05	0.42	1.10	0.18	1.01	0.22	0.50	0.09	0.52	0.09	16.17	1.19	0.78	1.36	2.94	1.71	1.47
	B-86	橄榄辉长岩	1.68	3.44	0.57	2.60	0.80	0.42	0.82	0.13	0.71	0.16	0.37	0.06	0.37	0.06	12.19	1.58	0.82	1.32	3.07	1.80	1.63
	B-87	橄榄辉长岩	2.25	4.51	0.72	3.43	1.03	0.47	1.02	0.16	0.89	0.20	0.47	0.08	0.48	0.08	15.79	1.40	0.83	1.38	3.17	1.72	1.62
丘拉克特勒克	Q010	闪长岩	10.62	21.94	3.18	14.17	3.89	1.21	3.97	0.59	3.6	0.82	2.2	0.34	2.33	0.39	69.25	0.94	0.88	1.72	3.08	1.38	1.57
	Q014	辉绿岩	28.32	59.52	8.4	36.09	9.13	2.74	9.6	1.26	7.36	1.75	4.83	0.73	4.54	0.75	175.02	0.89	0.90	1.95	4.22	1.71	1.89
乔勒铁克西	A-2	辉长岩	8.05	18.35	2.96	14.53	4.08	1.62	4.38	0.71	4.23	0.86	1.98	0.34	2.12	0.34	64.55	1.17	0.88	1.24	2.57	1.67	1.44
	A-4	辉长岩	12.62	29.63	4.80	25.77	7.42	3.74	7.67	1.30	8.17	1.67	4.18	0.78	5.17	0.88	113.8	1.52	0.89	1.07	1.65	1.20	1.24
	A067	闪长岩	2.86	6.36	1.14	5.28	1.63	0.92	1.81	0.26	1.55	0.34	0.82	0.14	0.79	0.13	24.03	1.64	0.83	1.10	2.45	1.86	1.48
苏鲁	S092	辉长岩	4.11	8.34	1.44	6.99	2.27	0.89	2.79	0.43	2.52	0.6	1.66	0.28	1.62	0.25	34.19	1.08	0.80	1.14	1.71	1.40	1.04
	S094	斜长角闪岩	9.88	23.17	3.72	15.8	5.14	1.74	6.06	0.95	5.39	1.28	3.27	0.53	3.3	0.49	80.72	0.95	0.90	1.21	2.02	1.49	1.19
	S099	斜长角闪岩	3.37	8.06	1.44	7.5	2.71	0.99	4.06	0.63	3.75	0.82	2.27	0.36	2.24	0.33	38.53	0.91	0.86	0.78	1.02	1.47	0.77

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文对其余六个岩体的元素地球化学特征进行分析. 由表 1 可以看出, SiO_2 的含量总体较低, TiO_2 也较低, 绝大多数小于 1%. Al_2O_3 的含量变化较大, 8.52%~21.59%, 这主要与岩石斜长石含量的高低有关. MgO 含量较高, 且变化范围较宽, 4.84%~35.12%, Mg# 在 0.36~0.84 之间变化, 表明该区岩体岩浆演化过程比较复杂. K_2O+Na_2O 含量较低, K_2O+Na_2O 对 SiO_2 作图, 大多数落在亚碱性系列范围内, 只有个别样品落在碱性系列范围内.

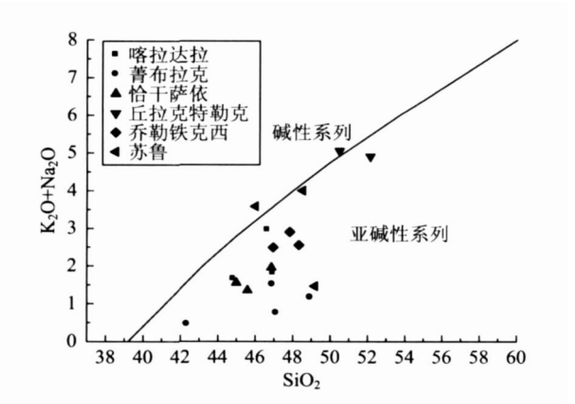


图 2 $SiO_2-Na_2O+K_2O$ 图解

Fig. 2 Diagram of $SiO_2-Na_2O+K_2O$

表 2 数据显示: ①所有样品的稀土元素丰度介于 12.19~175.02 × 10^{-6}, 平均为 48.88 × 10^{-6}, 是球粒陨石的 3~45 倍, 为 REE 富集; ②样品 LREE/HREE 的值在 0.77~1.89 之间, 平均为 1.36 (Q019 和 S099 样品的数据低于 1), 表现为轻稀土元素略微富集; ③菁布拉克岩带样品的 $(La/Sm)_N$ 的值除 S099 样品小于 1, 其余均大于 1 (最大为 1.95), 平均为 1.27; $(Gd/Yb)_N$ 为 1.14~1.56, 平均为 1.40, 说明轻重稀土元素内部分馏都不明显, 分馏程度较弱; ④菁布拉克岩带各岩体的 $(La/Yb)_N$ 均大于 1, 为 1.02~4.22, 属重稀土轻微亏损型; ⑤Eu值最高的是样品 A067, 为 1.64, 表现为明显的正铕异常, 说明存在斜长石堆晶作用; 而样品 Q018, Q016, Q019, Q010, Q014, S094, S099 的 δEu, 介于 0.81~0.95, 呈弱的负铕异常. 样品的 Ce/Ce^* 值的变化范围为 0.71~0.90, 平均 0.84, 为负异常, 亏损 Ce.

在稀土元素的配分图解上 (图 3)[14], 该区稀土元素配分曲线都轻微向右倾斜, 属轻稀土弱富集型. 其中喀拉达拉、恰干萨依、和丘拉克特勒克岩体的样品轻重稀土较为分异, 富集较多的轻稀土元素.

3 讨论

3.1 物质来源

文中所测的菁布拉克各岩体稀土总量为 12.19~175.02 × 10^{-6}, 大部分都在 100 × 10^{-6} 以下, 为球粒陨石的 3~45 倍, $(La/Yb)_N$ 大致在 1.02~4.22, 显示稀土元素富集特点. 前人对该区岩体的 Sr-Nd 同位素进行分析[12]: $\varepsilon Nd(t)$ 值为 +3.68~+6.4, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ 为 0.703 7~0.709 4, 在 $\varepsilon Nd(t)$ 和 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ 相关图解中样品点都位于第一和第二象限, 反映该岩带岩体来源亏损地幔. 而对于亏损地幔, 只有在熔融比例小于 1% 时才能产生富集型的稀土配分模式, 根据地幔动力学熔融模式, 在熔融比例小于 1% 的熔体是不可能从地幔中分离出来[15]. 稀土元素与同位素数据特征的这种不一致性, 说明菁布拉克基性超基性杂岩带各岩体经历了亏损地幔部分熔融后, 受到流体交代作用和/或地壳混染[16] 作用.

菁布拉克岩带岩体的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.703 7~0.709 4, 与上地幔现代玄武岩浆的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0.704 ± 0.002) 相比, Sr 同位素比值较高, 而与其围岩-黑云母片麻岩的 Sr 同位素比值 (0.804 9)[12] 相比, 却很低; 该区岩体稀土总量介于 12.19~175.02 × 10^{-6}, 平均为 48.88 × 10^{-6}, 几乎都大于上地幔的 REE 丰度 (17.7 × 10^{-6})[17], 但与围岩的 ΣREE 196.17 × 10^{-6}[11] 相差很大. 围岩少量的混入即可改变稀土丰度和 Sr 同位素比值, 所以该区岩浆上侵过程中可能经历了不同程度的围岩混染.

对样品的主量成分分析, 发现所有样品都不同程度的含结构水, 最高可达 5.21%. 经镜下鉴定发现一些岩体样品里含角闪石, 如菁布拉克 (Q016)、丘拉克特勒克 (Q010) 和苏鲁岩体 (S094). Q016、Q010 和 S094 的 ΣREE 分别为 26.36、175.02、111.56 × 10^{-6}, 相应岩体的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$[12] 为 0.705 6、0.706 5、0.709 4, ΣREE 与 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ 基本成正比例对应 (如图 4 所示), 推测岩体岩浆可能经历了富水环境. 文中认为南天山大洋向伊犁微地块下俯冲时, 俯冲洋壳物质在压力和温度不断改变的情况下发生脱水作用. 由于在脱水过程中 LREE 的活动性比 HREE 要强, 而且洋壳俯冲过程中所产生的流体其 Sr 同位素比值会比俯冲洋壳大[18], 所以导致菁布拉克岩带岩体样品含富水矿物, ΣREE 和 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$ 成正比例变化. 从图 4 还可以发现苏

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

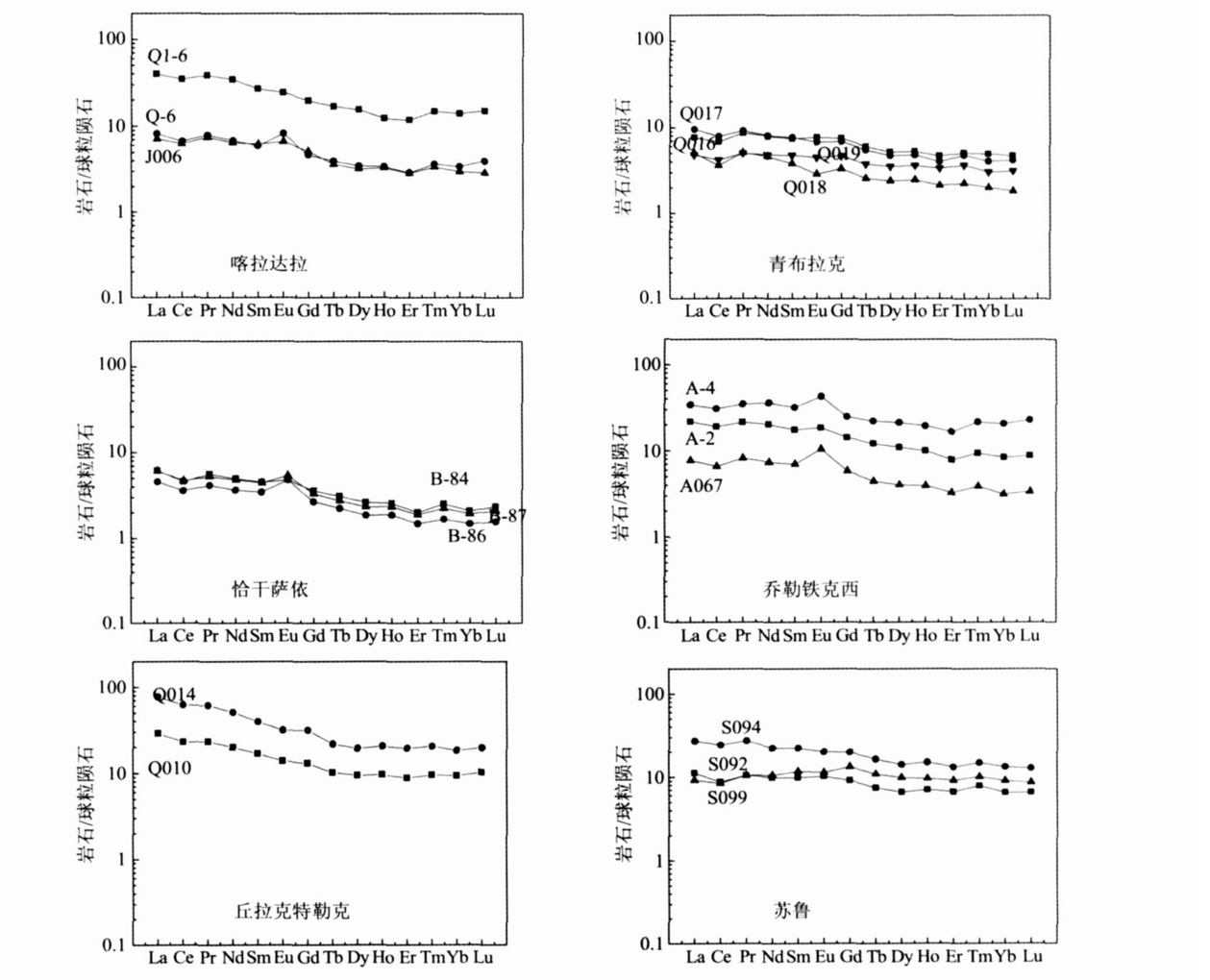


图 3　菁布拉克岩带各岩体稀土配分型式

Fig. 3　REE chondrite-normalized patterns of the rocks in Jingbulake belt

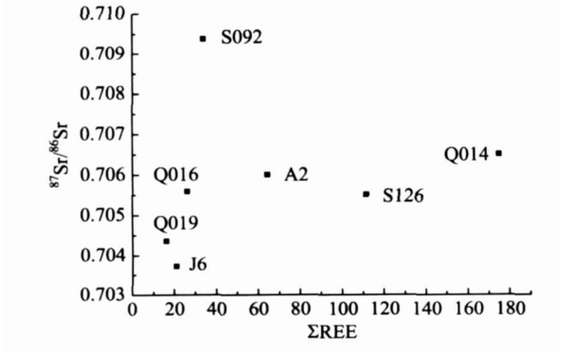


图 4　$\Sigma REE\sim (^{87}Sr/^{86}Sr)_t$图解

Fig. 4　Diagram of $\Sigma REE\sim (^{87}Sr/^{86}Sr)_t$

鲁岩体样品具有较高的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_t$和较低的ΣREE, 明显不同于其他岩体的样品, 可能是由于实验过程中的一些误差所引起. 同处于新疆北部的喀拉通克杂岩体[19]、香山岩体[20]、哈密黄山地区[21]均含有富水矿物, 喀拉通克被认为与俯冲洋壳在热的作用下释放出的流体有关; 哈密黄山则被认为可能与碰撞后富水洋壳的拆沉熔融有关, 而在该过程中也会有大量流体的析出.

因该区岩体的岩浆经历了来自洋壳俯冲产生的流体交代, 流体的参与可以解释 LREE 富集、与ΣREE 和 Sr 同位素同步偏高的特征, 但是地壳混染作用不容忽视, 究竟何种因素占主导地位, 仍需要其他微量和同位素地球化学证据, 进一步的研究有待于继续.

3.2　演化机制

菁布拉克岩带中两分异较为典型的岩体(菁布

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

拉克和恰干萨依岩体)出现了岩相分带,表明岩体经历较强的结晶分异作用,且经历了就地分离结晶;其他岩体岩相较为单一,可能与其岩浆迅速到达上地壳后的冷却速度有关.对 ΣREE 与 SiO_2 和 ΣLREE/ΣHREE 与 SiO_2 作图(图 5),分别呈正、负相关性,但是变化区间普遍较小.如图 5 中,随 SiO_2 含量的增大,菁布拉克岩体 ΣREE 和 ΣLREE/ΣHREE 的变化范围都很小(分别为 14.55~27.38×10^{-6} 和 0.97~1.32),显示该岩体的结晶分异作用并不足以使稀土元素丰度和轻重稀土比随分异程度发生大幅度的变化.本区的 Mg# 较喀拉通克(0.62)[6]普遍偏高,其中菁布拉克和恰干萨依两岩体 Mg# 平均达 0.80,而地幔岩平衡的原始岩浆 Mg# 为 0.63~0.73[22],表明这两个岩体的岩浆演化程度较低;而其他岩体的 Mg# 一般都在 0.60 左右(0.36~0.72),表示个别岩体可能是岩浆分异后侵位的产物.

菁布拉克岩带岩体的稀土配分型式(如图 3),显示该区稀土配分曲线较平缓,轻重稀土分馏不显著,轻稀土弱富集.各个岩体稀土配分曲线接近于平行,表明岩体内部岩浆演化过程所经历的演化作用基本一致.相比较而言,丘拉克特勒克和乔勒铁克西的样品轻重稀土分异显著,$(La/Yb)_N$ 分别为 4.22,3.08 和 2.57,1.71,2.02.由于它们 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 分别为0.707 4和0.706 0[12],所以其 $(La/Yb)_N$ 偏高不仅与岩浆的结晶分异有关,还应与其他作用如:地壳混染,流体交代等有关.岩带内岩体的 δEu 在 0.81~1.64 之间,大部分都存在 Eu 的正异常或负异常.Eu 的异常一方面是源区物质性质决定的;另一方面是由岩浆演化过程中的结晶分异、围岩混染及流体交代等作用造成的.虽然所研究岩体来源于同一亏损地幔源,但是岩浆演化过程比较复杂,Eu 的异常还应考虑地壳混染和流体交代作用.根据 δEu 值把这六个岩体分为两类,一类是 δEu 小于 1 的岩体,有菁布拉克、丘拉克特勒克、苏鲁岩体,表明这些岩体在演化过程中出现了斜长石的分离结晶.由于该区岩体经历了富水环境,所以流体的参与也是 Eu 迁移的一个重要因素.另一类是 Eu 大于 1 的岩体,包括喀拉达拉、恰干萨依和乔勒铁克西岩体,δEu 分别为 1.06、1.57、1.18,1.19、1.40、1.58 和 1.17、1.52、1.64,其中 δEu 最高可达 1.64,说明在这些岩体中出现了明显的斜长石堆晶.样品中 Ce/Ce^* < 0.95,Ce 都表现为负异常,可能是源区亏损 Ce,但是比较喀拉通克[19]、黄山[23],香山[21]等岩体中的 Ce 均大于 0.95,并没有发现 Ce 的负异常,所以岩体的 Ce 异常一方面可能是岩体就位于地壳浅部,使得岩浆演化处于一个氧化环境中,另一方面很可能受到后期流体比较强烈的改造作用[24].

喀拉通克岩体的 ΣREE 为 54.45~124.49×10^{-6},平均为 86.53×10^{-6}[19],与之相比,菁布拉克岩带岩体稀土含量变化范围大,平均含量低.喀拉通克岩带 La/Sm 比值大都大于 4.5[25],其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为0.703 3~0.708 4[19],推测喀拉通克岩体经历了地壳的混染;而菁布拉克岩带样品的 La/Sm 比值大都在 1~2 之间,其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.703 7~0.709 4[12],认为其地壳混染作用比较弱,这点与前人的观点[13]甚为一致.

3.3 新疆北部含铜镍硫化物岩体稀土元素特征

新疆北部为铁镁质地壳,地壳厚度一般< 45 km,并发育有大量深大断裂及其次一级的断裂构造.这些深大断裂深切地幔,导致大量幔源物质部分熔融沿断裂上涌,而后侵位于上地壳形成基性超基

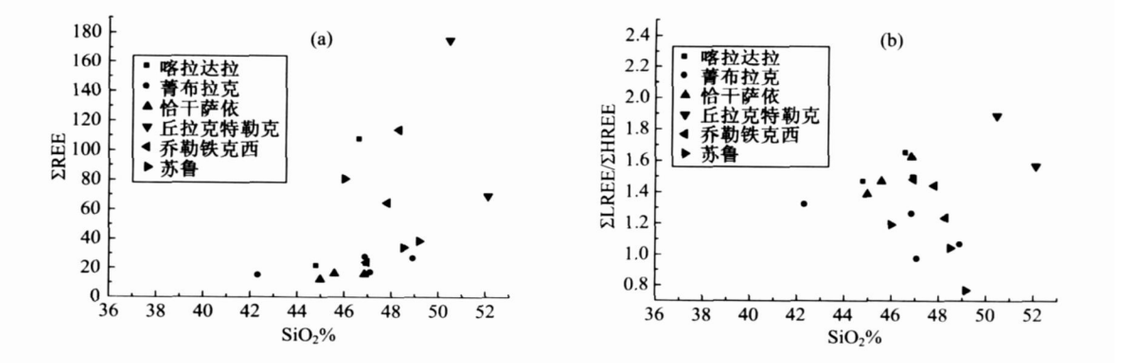


图 5 ΣREE~SiO_2 和 ΣHREE/ΣLREE~SiO_2 相关图解

Fig. 5 Correlation diagrams of ΣREE~SiO_2 and ΣHREE/ΣLREE~SiO_2

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　新疆北部含 Cu、Ni 矿岩体的稀土元素参数

Table. 3　REE contents and parameters of Cu-Ni deposit from North of Xinjiang

地点	岩性	ΣREE× 10⁻⁶	ΣLREE/ ΣHREE	δEu	$(La/Yb)_n$	$(La/Sm)_n$	Cu 品位	Ni 品位
喀拉通克	辉长闪长岩	95. 31	3. 22	0. 96	9. 38	3. 12	1. 4%【1 号矿床】	0. 88%【1 号矿床】
	辉长岩	94. 75	3. 02	0. 99	8. 52	3. 01	1. 1%【2、3 号矿床】	0. 6%【2、3 号矿床】
黄山矿带	斜长角闪二辉橄榄岩	9. 22~ 16. 15	3. 13~ 3. 63		2. 54~ 3. 82	1. 66~ 2. 42	0. 31%	0. 49%
	辉长苏长岩	7. 86~ 12. 46	3. 32~ 3. 58		3. 13~ 3. 22	1. 72~ 2. 08		
香山	辉长岩	33. 89	1. 17	1. 15	1. 87	1. 25	0. 30%	0. 50%
	辉长苏长岩	23. 84	1. 2	1. 52	1. 91	1. 03		
	辉长辉绿岩	10. 55	1. 79	1. 6	2. 58	1. 64		
菁布拉克	基性超基性岩(平均)	21. 2	1. 15	0. 93	1. 99	1. 55	0. 22%	7. 17%
喀拉达拉	基性超基性岩(平均)	50. 27	1. 54	1. 27	2. 54	1. 33	0. 10%	0. 02%

【注】　喀拉通克、黄山、香山等数据来源文献[6, 11, 19, 21, 23, 26, 27, 28].

性岩. 因这些地幔来源的基性-超基性岩是铜镍硫化物矿床的重要含矿母岩, 所以该区岩体具有良好的铜镍硫化物成矿潜力. 近年来在新疆北部也陆续发现了喀拉通克、黄山、香山、菁布拉克等含铜镍硫化物基性超基性岩带. 因此通过对该区基性超基性岩的研究将有利于探讨该区岩体的含矿性.

稀土元素作为典型的不相容元素, 在地幔部分熔融与岩浆的分离结晶以及铜镍硫化物的熔离过程中, 由于在不同性状中的两相的分配系数存在差异, 会发生重新分配, 从而导致稀土元素含量及相互间的比值发生变化. 因此对该区基性超基性岩体的稀土元素特征的研究将对铜镍成矿理论的深化和铜镍找矿的指导具有重要意义. 一般认为基性超基性岩的含矿性与部分熔融和岩浆分异有关, 而有资料表明部分熔融程度与岩体含矿性无明显关系, 所以这些基性超基性岩含矿性主要由岩浆分异决定. 而稀土参数作为岩浆分异的一个特征, 可以为基性超基性岩的含矿性提供有价值的信息. 因此本文通过对新疆北部含铜镍硫化物基性超基性岩体含矿岩石稀土元素进行分析、比较, 为该区特殊背景下的成矿作用提供更多有用信息.

由表 3 可以看出相同构造背景下不同含矿性岩体稀土元素地球化学特征存在着差异: 菁布拉克岩带中分异较好的菁布拉克岩体的 ΣREE(14. 55~ 27. 38 × 10^{-6}) 与富矿岩体——喀拉通克(95. 31 和 94. 75 × 10^{-6}) 相比较低, 与香山的 ΣREE(10. 55~ 33. 89 × 10^{-6}) 相当, 而稍高于黄山(7. 86~ 16. 15 × 10^{-6}); 而该岩体的 ΣLREE/ ΣHREE(0. 97~ 1. 32) 也与香山的(1. 17~ 1. 79) 很接近, 但却明显低于其他岩带岩体; $(La/Sm)_N$(1. 01~ 1. 33) 也普遍低于喀拉通克岩体(3. 01~ 3. 12) 和黄山矿带岩体(1. 66~ 2. 42), 所以在同一构造环境, 对基性程度大体相近的岩类, 富矿岩体的轻重稀土的分异程度相对贫矿较高[24]. 表中喀拉通克的 δEu 为负异常, 菁布拉克岩体的 δEu 与其相当, 其他岩体的均为正异常. 因为斜长石为镍的不相容矿物, 它的晶出相应增加了熔浆中的矿质浓度, 所以 δEu 在富矿岩体的值要比贫矿岩体小. 另外菁布拉克岩带中丘拉克特勒克和苏鲁岩体虽然 $(La/Yb)_N$、$(La/Sm)_N$ 较高, δEu 也小于 1, 但是岩相单一, 未经过显著的岩浆分异作用.

根据以上分析初步推测菁布拉克岩体的成矿前景较好, 特别是 Ni 的成矿潜力. 由于成矿潜力不仅由岩浆源区决定, 还主要由岩浆过程和硫化物的熔离作用决定, 所以依靠稀土元素来判断成矿潜力, 不具有排他性, 因此对该区稀土元素的分析仅作为对该区含矿性推测的一个依据, 更有力证据如硫化物的熔离作用探讨及该区矿石的铜镍硫化物含量等有待于进一步研究.

4　结论

(Ⅰ) 菁布拉克岩带基性超基性岩体岩石样品大都属于钙碱性系列, 岩体岩浆较为复杂; 又部分分异较好的岩体样品富镁, 说明其岩浆演化程度较低.

(Ⅱ) 菁布拉克基性超基性岩带的稀土丰度低; 轻稀土轻微富集; δEu 正、负异常均有体现; Ce/Ce^* 为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

负异常,结合同位素资料认为菁布拉克岩体是由亏损地幔部分熔融产生的岩浆在上侵过程中经历了富集稀土的流体交代作用和地壳混染作用.

(Ⅲ) 在成矿方面,菁布拉克岩带与喀拉通克、黄山、香山等岩带都来源于亏损地幔的部分熔融,但是由于所经历的岩浆演化过程不尽相同,使得其成矿方面产生一定的差异.但是依据其自身特点,文中预测该区的菁布拉克岩体具有良好的找矿前景.

参考文献(References)

[1] ZHANG Zhaochong, YAN Shenghao, CHEN Bailin, et al. Sr, Nd and O Isotope Geochemistry of the Mafie-Ultramafic Complexes in the South Margin of Altay Orogenic Belt and Discussion on Their Sources[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 38-42.
张招崇, 闫升好, 陈柏林,等. 阿尔泰造山带南缘镁铁质-超镁铁质杂岩体的Sr-Nd-O同位素地球化学及其源区特征探讨[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 38-42.

[2] RAN Hongyan, XIAO Senhong. Traceelement Abundances and Tectonic Environment of The Host Intrusion of Kalatongke Cu-Ni Deposit [J]. Geochimica, 1994, 23(4): 392-401.
冉红彦, 肖森宏. 喀拉通克含矿岩体的微量元素及成岩构造环境[J]. 地球化学, 1994, 23(4): 392-401.

[3] LIU Shengguo, XUE Tianqing, LIU Xuefeng. The Carboniferous-Quaternary Tectonic Evolution and Stratigraphic Assemblaces Characteristics of Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an University of Science & Technology. 2000, 20(2): 128-130.
刘生国, 薛天庆, 刘学峰. 塔里木盆地石炭-第四纪构造演化与地层组合特征[J]. 西安科技学院学报, 2000, 20(2): 128-130.

[4] XIA Linqi, ZHANG Guowei, XIA Zuchun, et al. Constraints on the Timing of Opening and Closing of the Tianshan Paleozioc Oceanic Basin: Evidence From Sinian and Carbonferous Volcanic Rocks[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(2): 55-62.
夏林圻,张国伟,夏祖春,等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束[J]. 地质通报, 2002, 21(2): 55-62.

[5] ZHANG Zuoheng, CAI Fengmei, DU Andao, et al. Re-Os dating and ore-forming material racing of the Karatungk Cu-Ni sulfide deposit in northern Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(4): 285-293.
张作衡, 柴凤梅, 杜安道,等. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床Re-Os同位素测年及成矿物质来源示踪.岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 285-293.

[6] 王润民,等. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1991: 1-319.

[7] NI Shoubin, MAN Fasheng, CHEN Jiangfeng. Sm-Nd Isotope Ages of Basic and Ultrabasic Rocks from the Qingbulak Belt, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1994, 13(9): 227-231.
倪守斌, 满发胜, 陈江锋. 新疆菁布拉克基性超基性岩带的Sm-Nd同位素年龄[J]. 岩石矿物学杂志, 1994, 13(9): 227-231.

[8] CHEN Shiping, WANG Denghong, QU Wenjun, et al. Geological Features and Ore Formation of the Hulu Cu-Ni Sulfide Deposit, Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2005, 23(3): 230-233.
陈世平, 王登红, 屈文俊,等. 新疆葫芦铜镍硫化物矿床的地质特征与成矿时代[J]. 新疆地质, 2005, 23(3): 230-233.

[9] 王作勋, 邬继易, 吕喜期. 天山多旋回构造演化与成矿[M]. 北京:科学出版社, 1990: 83-100.

[10] HAO Jie, LIU Xiaohan. Ophiolite Melance Time and Tectonic Evolutional Model in South Tianshan Area [J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 28(1): 93-95.
郝杰, 刘小汗. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及其大地构造意义[J]. 地质科学, 1993, 28(1): 93-95.

[11] NI Shoubin, Man Fasheng, CHEN Jiangfeng. REE and Sr-Nd Isotopic Study of Qiongawuzi Ultramafic Intrusion, West Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(1), 65-70.
倪守斌, 满发胜, 陈江锋. 西天山琼阿乌孜基性岩体的稀土元素和Sr、Nd同位素研究[J]. 岩石学报, 1995, 11(1), 65-70.

[12] CHEN Jiangfeng, MAN Fasheng, NI Shoubin. Neodymium and Strontium Isotopic Geochemistry of Mafie-Ultramafic Intrusions from Qingbulake Rock Belt, West Tianshan Mountian, Xinjiang [J]. Geochimica, 1995, 24(2): 121-127.
陈江锋, 满发胜, 倪守斌. 西天山菁布拉克岩带基性-超基性岩的Nd、Sr同位素地球化学[J]. 地球化学, 1995, 24(2): 121-127.

[13] ZHANG Zuoheng, WANG Zhiliang, MAO Jingwen, et al. Geochemistry of the Qingbulake Basic Complex in Western Tianshan[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7): 1 005-1 016.
张作衡, 王志良, 毛景文,等. 西天山菁布拉克基性杂岩体的地球化学特征[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1 005-1 016.

[14] Taylor S R, Mclennan S M. The Continental crust: its composition and evolution[M]. Oxford, Blackwell.

[15] Mckenzie D, Bickle M J. The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere. J Petrole, 1988, 32: 1 021-1 091.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[16] Wooden J L, czamanske G K, Fedorenko V A, et al. Isotopic and trace element constraints on mantle and crustal contributions to Siberian continental flood basalts, Noril'sk Area, Siberia. Geochim. cosmochim. Acta. 1993, 57: 3 677-3 704.

[17] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976: 167-174.

[18] Tetsu Kogiso, Yoshiyuki Tatsumi, Satoshi Nakano. Trace element transport during dehydration processes in the subducted oceanic crust: 1. Experiments and implications for the origin of ocean island basalts[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 148: 193-205.

[19] ZHANG Zhaochong, YAN Shenghao, CHEN Bolin, et al. Geochemistry of the Kalatongke basic complex in Xinjiang and Its Constraints on Genesis of the Deposit [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22(3): 217-224.
张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 新疆喀拉通克基性杂岩体的地球化学特征及其对矿床成因的约束[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(3): 217-224.

[20] PAN Xiaofei, LIU Wei. Characteristics and Significance of CH_4-rich fluid inclusions from the Mafic-ultramafic complex at the Xianshan, Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang of China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 211-218.
潘小菲, 刘伟. 东天山香山镁铁-超镁铁岩中富 CH_4 流体包裹体的特征及其意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 211-218.

[21] WANG Yuwang, WANG Jingbin, WANG Lijuan, et al. REE characteristics of Cu-Ni Sulfide Deposits in the Hami Area, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(4): 935-948.
王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆哈密黄山地区铜镍硫化物矿床的稀土元素特征[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 935-948.

[22] Green D H. Genesis of Archean peridotitic magmas and constraints on Archean geothermal gradients and tectonics [J]. Geology, 1975, 3: 15-18.

[23] MU Jilv. On the characteristics and forming Mechanism of the Rich and Shallow-seated Ores in the Huangshan Copper-Nickel Deposit Hami, Xinjiang[J]. Mineral petrol, 1996, 16(1): 58-67.
慕纪录. 新疆哈密黄山铜镍矿床中浅富矿特征及形成机制[J]. 矿物岩石, 1996, 16(1): 58-67.

[24] TANG Hongsong, LIU Yuexing. Geochemical characteristics of REE of Copper-Nickel Sulfide Deposits in China[J]. Mineral Resources and Geology, 1998, 12(66): 225-229.
唐红松, 刘月星. 我国铜镍硫化物矿床的稀土元素地球化学特征[J]. 矿产与地质, 1998, 12(66): 225-229.

[25] Lassiter J C, Depaolo D J. Plume/Lithosphere interaction in the generation of continental and oceanic flood basalts: chemical and isotope constraints [A]. 1997.

[26] 王润民, 等. 新疆哈密土墩-黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿研究[M]. 1987: 7.

[27] MAO Jingwen, Franco Pirajno, ZHANG Zuoheng, et al. Late Variscan Post-collisional Cu-Ni Sulfide Deposits in East Tianshan and Altay in China: Principal Characteristics and Possible Relationship with Mantle Plume[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7): 925-942.
毛景文, Franco Pirajno, 张作衡, 等. 天山-阿尔泰东部地区海西晚期后碰撞铜镍硫化物矿床: 主要特点及可能与地幔柱的关系[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 925-942.

[28] WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Cu-Ni-(PGE) Sulfide metallogenic Series in North Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(2): 147-156.
王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 新疆北部 Cu-Ni-(PGE) 硫化物矿床成矿系列探讨[J]. 矿床地质, 2000, 19(2): 147-156.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net