文章编号: 1000-4734(2006) 01-0059-10

新疆阿尔泰乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿的化学成分标型特征和地质意义

应立娟[1], 王登红[2], 梁婷[3], 周汝洪[4], 马军[5], 屈文俊[6], 陈振宇[2]

(1. 中国地质科学院 研究生部, 北京 100081; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037;
3. 长安大学 资源学院, 陕西 西安 710054; 4. 新疆地矿局, 新疆 乌鲁木齐 830000;
5. 新疆第四地质大队, 新疆 阿勒泰 836500; 6. 国家地质测试中心, 北京 100037)

摘要: 位于新疆阿尔泰造山带与准噶尔盆地过渡地带的乔夏哈拉铁铜金矿原是一个小型铁矿, 近年来在深部发现有铜金矿体。根据乔夏哈拉东矿区矿体磁铁矿的单矿物化学分析和东、西矿区样品中磁铁矿的电子探针分析, 发现磁铁矿富集轻稀土, Eu 呈正异常, Ce 呈负异常; 微量元素中 Co 和 Ni 含量高, 而 Ti 含量很低。Cu 含量与 Fe 含量呈现明显的反相关。磁铁矿化学成分标型的初步研究显示, 乔夏哈拉矿床磁铁矿成因与夕卡岩型及沉积变质型铁铜矿非常相似, 指示存在找铜前景。

关键词: : 磁铁矿; 化学成分标型; 铁铜金矿床; 乔夏哈拉; 新疆
中图分类号: P578. 4; P611. 3 文献标识码: A

作者简介: 应立娟, 女, 1981 年生, 在读硕士, 矿床学专业.

乔夏哈拉铁铜金矿床以往只控制到小型铁矿规模, 铜、金只是伴生组分, 但近年来在开采过程中发现, 深部铜金含量逐渐升高并出现独立的铜金矿体。因此, 在该矿床深部寻找铜金矿体成为了新课题。另外该矿区由于发现铁铜矿体与苦橄岩和苦橄质玄武岩具有密切的成因联系也格外引人注目[1]。

乔夏哈拉东矿区目前开采的矿体以磁铁矿矿石为主。磁铁矿是自然界分布极广的矿物, 几乎在各类岩石中均可见[2]。由于不同岩石类型中以副矿物形式产出的磁铁矿, 彼此的成分有一定差别, 因而研究磁铁矿的成分能了解其所在的岩石成因类型。此外, 不同成因类型磁铁矿床中的磁铁矿, 其主要成分和微量元素也有明显的差异, 查明它们彼此之间的区别和规律性, 可以指导我们认识未知矿床的差异, 这对于矿床的找矿勘探和评价工作都有重要的意义。研究表明, 不同地质条件下形成的磁铁矿, 所含的主要氧化物、REE 和微量元素的种类及其含量不同[3]。本文研究了乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿的化学成分标型特征和地质意义, 认为乔夏哈拉铁铜金矿床的成因与夕卡岩型及沉积变质型铁铜矿相似, 有进一步找铜前景。

1 区域及矿区地质特征

1. 1 区域地质背景

乔夏哈拉铁铜金矿床位于新疆富蕴县城南, 距离著名的喀拉通克铜镍矿床仅 5 km, 在构造上位于西伯利亚板块与准噶尔板块结合带的额尔齐斯推覆构造挤压带内, 是阿尔泰山南缘额尔齐斯铜镍金大型成矿带的一个以铁为主的小型矿床[4]。

1. 2 矿区地质背景

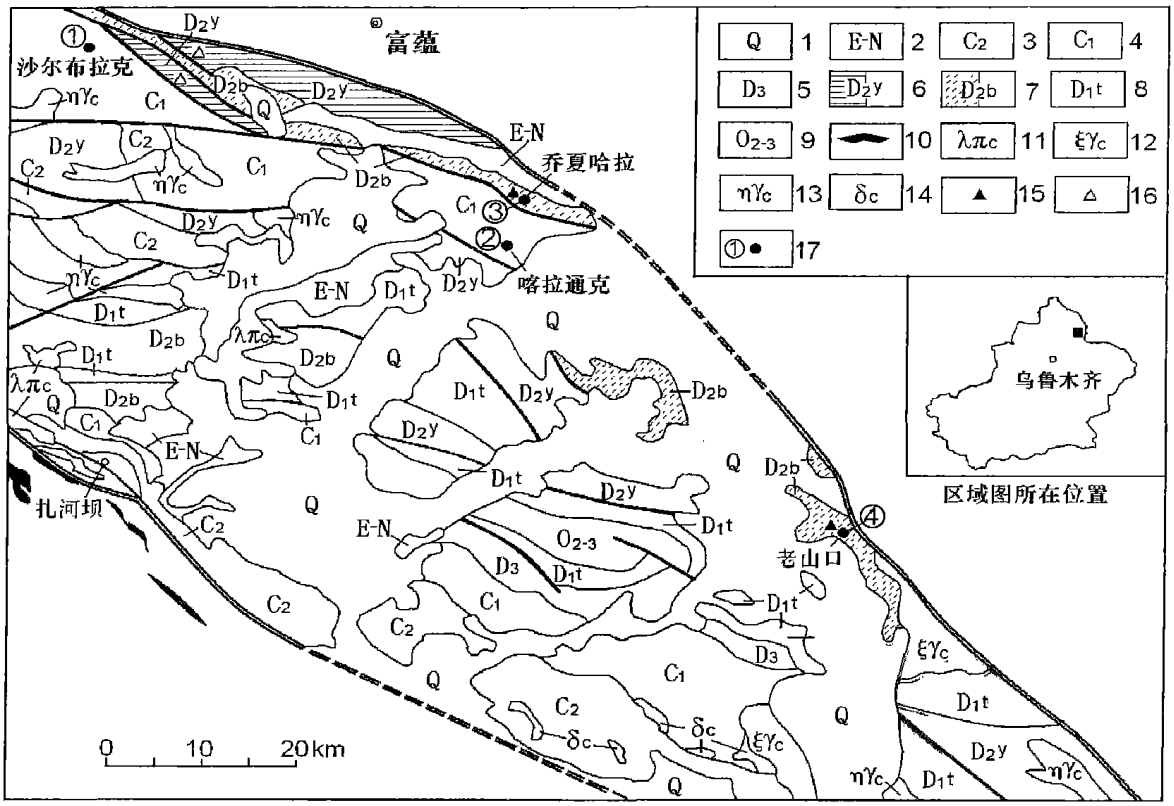
乔夏哈拉矿区位于喀拉通克—乔夏哈拉拗陷带内的乔夏哈拉中基性火山岩带上, 与其西北侧、西侧的可可塔勒和阿舍勒火山岩带并列为阿尔泰山南缘三条晚古生代成矿火山岩带[4]。矿区内 NW 向断裂及褶皱构造十分发育。额尔齐斯深大断裂(在此段呈“S”形扭曲) 与乔夏哈拉复式背斜(图 1) 联合控制了矿区侵入岩以及矿床(体) 的产出与分布, 是本区主要的控岩控矿构造。

中泥盆统海相火山岩是主要的赋矿围岩。矿区火山岩广泛分布, 占矿区总面积的 60% 以上。

收稿日期: 2005-06-17
基金项目: 国家科技攻关项目(2003BA612A-01) ; 地质大调查项目(200420190004) ; 地质大调查项目

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

出露地层主要有中泥盆统蕴都喀拉组(D_2y)、北塔山组(D_2b)和下石炭统南明水组(C_1n)[5]。火山岩在空间上呈 NWW-SEE 向带状展布,岩石类型以中基性熔岩和碎屑岩为主。火山岩的化学组分以中基性火山岩为主,少量超基性岩(苦橄岩)、基性-超基性岩(橄榄玄武岩)等,主要岩石为玄武安山岩、凝灰岩、晶屑凝灰岩、凝灰角砾岩、凝灰砾岩、凝灰质砂岩等。以往对矿区内的侵入岩注意不够,近年来发现闪长玢岩(有的已经蚀变)、辉石闪长玢岩及闪长岩等小型侵入岩体在东、西矿区都有出露;矿区常见夕卡岩,主要是绿帘石夕卡岩,常与矿体相伴产出。对于夕卡岩的成因,目前还存在不同认识,有可能是侵入岩交代泥盆纪火山岩的结果。



①沙尔布拉克金矿床(中型) ②喀拉通克铜镍矿床(大型) ③乔夏哈拉铁铜金矿床(小型) ④老山口铁铜矿点
1. 第四系松散沉积 2. 第三系陆相沙砾岩、泥岩 3. 上石炭统陆相碎屑岩建造 4. 下石炭统海陆交互相碎屑岩建造 5. 上泥盆统卡希翁组海陆交互相碎屑岩建造 6. 中泥盆统上部蕴都哈拉组玻镁安山岩建造(左)、中-酸性火山岩建造 7. 中泥盆统北塔山组苦橄岩建造(左)、基性火山岩建造 8. 下泥盆统托让格库都克组双峰式火山岩建造 9. 中-上奥陶统碳酸盐岩建造 10~13 石炭纪花岗岩类:(10. 石英斑岩、钠质花岗岩 11. 钾长花岗岩 12. 二长花岗岩 13. 闪长岩、石英闪长岩) 14. 苦橄岩样品采集地 15. 玻镁安山岩样品采集地 16. 矿床、矿点 17. 矿床、矿点名称

图 1 新疆北部乔夏哈拉一带区域地质矿产略图
(据新疆地矿局第一区调队 1978 年 1∶20 万富蕴幅地质图修改)

Fig. 1. Regional geological ore map of the Qiaoxiahala area in northern Xinjiang.

中泥盆统北塔山组第三岩性段在本矿床中的露头不连续,中间被第四系分隔成西、中、东三段,形成西、中、东三个矿区。乔夏哈拉西矿区以磁铁矿体为主,下部赋存规模较小的多个铜矿体;东矿区以铜金矿体为主。磁铁矿体呈似层状、扁豆状、透镜状等产出。单个矿(化)体的规模相差悬殊,长 10~50 m,宽 0.5~30 m,沿倾角延深 20~300 m。矿体倾向 NE,倾角 40°~80°[4]。

磁铁矿矿石构造复杂,大致呈块状构造(照片 1)、浸染状构造(照片 2)、斑点状构造、条带状构造(照片 3)、角砾状构造等;矿石结构主要有自形晶结构、半自形晶结构(照片 4)、它形晶结构、粒

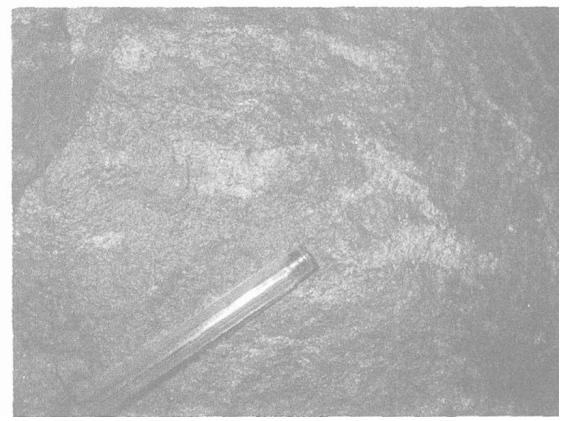
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

状结构、交代残余结构(照片 5)等。按矿石所含主要金属矿物分类, 主要有磁铁矿矿石、黄铜矿-磁铁矿矿石和黄铁矿-黄铜矿-磁铁矿矿石三种矿石类型。

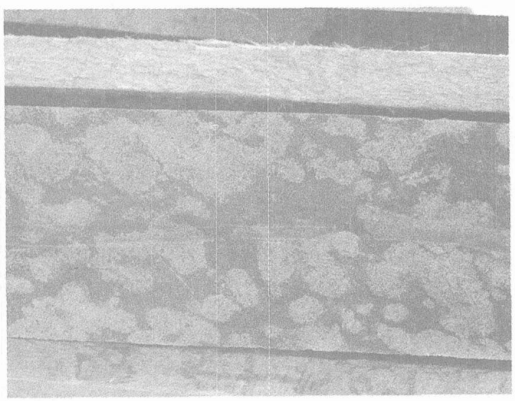
2　样品的采集和分析

测试样品采自乔夏哈拉铁铜金矿床的东矿区, 对 7 块磁铁矿石样品进行了 9 个磁铁矿单矿物 REE 含量和微量元素含量的化学分析测试(分别采用了 ICP-MS 测试法和化学分析法), 其结果列于表 1、表 2。其中"东矿 32-2"号样品表示采自东矿区 32 号勘探线矿体地表露头, "$3^{\#}$-1-2"号样品采自东矿区 3 号竖井 1 中段, "$3^{\#}$-2-1"和"$3^{\#}$-2-2"样品采自 3 号竖井 2 中段, "$3^{\#}$-3-18N"采自 3 号竖井 3 中段 18 号勘探线北侧。

考虑到磁铁矿单矿物作化学测试的挑样时可能无法将杂质完全剔除, 本次研究又对东矿区 $3^{\#}$ 竖井的5块样品和西矿区ZK3002的2块样品的磁铁矿单矿物作了电子探针测试, 分析了 14 个点的磁铁矿的主要元素含量, 以作进一步的研究。其中, 样品号相同的表示的是同一块样品上测的两个点位的电子探针数据。电子探针的实验条件是: 加速电压 20 kV, 电流 2×10^{-8} A, 束斑5 μm, 其结果见表 3。



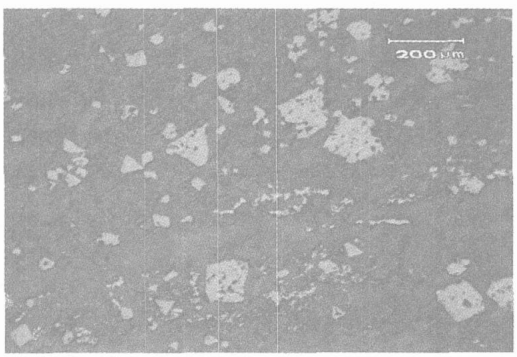
照片 1　块状构造磁铁矿矿石,
东矿区 III号矿体 14 号线



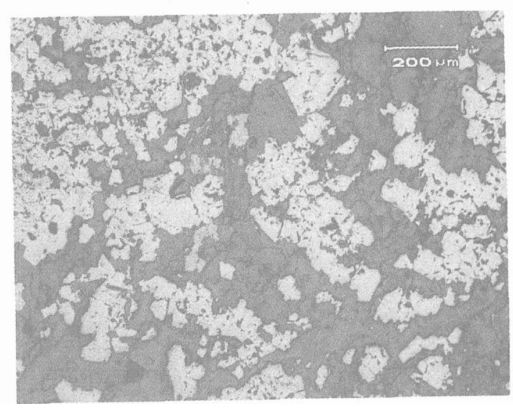
照片 2　浸染状构造磁铁矿岩芯, 西矿区 ZK901



照片 3　条带状构造磁铁矿矿石, 西矿区 27 线



照片 4　镜下自形- 半自形晶结构
磁铁矿, 西矿区 ZK802



照片 5　镜下交代残余结构磁铁矿, 西矿区 ZK503

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

表 1 乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿的稀土元素含量(w_B/ 10^{-6})

Table 1. Rare-earth element contents of magnetite in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit (10^{-6})

元 素	1	2	3	4	5	6	7	8
样 号	东矿 32-2	3#-1-2	3#-2-1	3# - 2-2a	3#-2-2a	3# - 2-2b	3#-2-2c	3#-3-18N
La	0.066	15.720	0.166	8.059	7.880	6.431	6.299	0.437
Ce	0.190	30.250	0.873	16.920	16.630	13.280	13.720	1.497
Pr	0.022	2.381	0.108	1.358	1.382	1.056	1.095	0.093
Nd	0.100	9.319	0.920	5.275	5.184	3.957	4.214	0.422
Sm	0.031	1.594	0.399	0.923	0.937	0.702	0.715	0.131
Eu	0.025	0.523	0.221	1.096	1.108	0.696	0.797	0.035
Gd	0.046	1.835	0.383	0.835	0.870	0.629	0.642	0.199
Tb	0.011	0.198	0.061	0.079	0.112	0.063	0.071	0.039
Dy	0.072	0.929	0.436	0.347	0.363	0.198	0.271	0.247
Ho	0.017	0.174	0.097	0.060	0.094	0.037	0.047	0.055
Er	0.060	0.491	0.285	0.141	0.200	0.095	0.119	0.199
Tm	0.009	0.065	0.044	0.016	0.059	0.017	0.018	0.027
Yb	0.065	0.370	0.278	0.102	0.125	0.053	0.086	0.158
Lu	0.009	0.045	0.048	0.018	0.051	0.016	0.018	0.022
Y	0.499	4.623	2.89	1.615	1.624	0.960	1.318	1.686
LREE	0.434	59.787	2.687	33.631	33.121	26.122	26.840	2.615
HREE	0.289	4.107	1.632	1.598	1.874	1.108	1.272	0.946
ΣREE	0.723	63.894	4.319	35.229	34.995	27.230	28.112	3.561
LREE/ HREE	1.502	14.557	1.646	21.046	17.674	23.576	21.101	2.764
(La/ Yb)N	0.685	28.644	0.403	53.268	42.501	81.806	49.381	1.865
(La/Sm)N	1.339	6.204	0.262	5.492	5.290	5.763	5.542	2.098
(Gd/Yb) N	0.571	4.002	1.112	6.606	5.616	9.577	6.024	1.016
δEu	2.021	0.933	1.706	3.748	3.693	3.142	3.529	0.661
δCe	1.196	1.066	1.521	1.128	1.120	1.118	1.159	1.706
Y/ Ho	29.353	26.569	29.794	26.917	17.277	25.946	28.043	30.655

序 号	9	10	11	12	13	14	15	16
样 号	3#-3-18N	Q-12	Qx-6	TS-04	TS03-7	TS03-7-1	TS-08	Mk-1
La	0.422	1.70	0.84	1.82	5.28	4.22	7.43	2.18
Ce	1.486	3.51	1.64	2.58	9.17	6.47	6.99	4.41
Pr	0.101		0.29	0.45	1.16	0.87	0.84	0.69
Nd	0.424	2.84	1.89	1.99	5.03	4.03	3.62	3.59
Sm	0.129	0.94	0.86	0.70	1.45	1.53	0.93	1.22
Eu	0.038	1.05	0.37	0.23	0.65	0.60	0.45	0.73
Gd	0.187	1.51	1.08	1.52	1.74	1.93	1.22	1.42
Tb	0.038	0.27	0.19	0.41	0.27	0.35	0.19	0.24
Dy	0.245		1.14	3.53	1.64	2.27	1.21	1.50
Ho	0.056	0.34	0.22	0.87	0.30	0.46	0.26	0.33
Er	0.178		0.61	2.58	0.83	1.28	0.69	1.01
Tm	0.026	0.13	0.09	0.36	0.11	0.18	0.09	0.14
Yb	0.179	0.76	0.58	2.25	0.64	1.13	0.59	0.86
Lu	0.024	0.13	0.09	0.32	0.09	0.16	0.09	0.12
Y	1.695		5.82	27.20	8.51	13.00	9.11	9.75
LREE	2.600	10.04	5.89	7.77	22.74	17.72	20.26	12.82
HREE	0.933	3.14	4.00	11.84	5.62	7.76	4.34	5.62
ΣREE	3.533	13.18	9.89	19.61	28.36	25.48	24.60	18.44
LREE/ HREE	2.787	3.20	1.47	0.66	4.05	2.28	4.67	2.28
(La/ Yb)N	1.589	1.38	1.00	0.61	6.28	2.82	8.84	1.95
(La/Sm)N	2.058	1.14	0.61	1.64	2.29	1.73	5.03	1.12
(Gd/Yb) N	0.843	1.60	1.50	0.55	2.19	1.38	1.67	1.33
δEu	0.747	2.68	1.17	0.66	1.25	1.07	1.29	1.69
δCe	1.680		0.80	0.67	0.86	0.77	0.56	0.86
Y/ Ho	30.268		26.45	31.26	28.37	28.26	35.04	29.55

注: ΣREE 不包含 Y; 球粒陨石标准化值采用 Boynton(1984) 推荐值(转引自文献[6]); 样号相同表示同一样品取了两份磁铁矿进行单矿物的化学分析, 如 3#-2-2a; 1-9 号为本次数据, 国家地质测试中心分析; 10~ 16 号数据引自闫升好等[5]: 10, 11 为乔夏哈拉的块状含铜磁铁矿矿石; 12, 13, 14, 15 是托斯巴斯陶铜铁矿(位于乔夏哈拉东南) 的块状含铜磁铁矿矿石; 16 是蒙库铁矿(位于乔夏哈拉西北) 的块状磁铁矿数据.

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

表 2　乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿的微量元素含量(w_B/ 10^{-6})

Table 2. Trace element contents of magnetite in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit (10^{-6})

样　号	Sc	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Cd	In	Ga	Tl	As
东矿 32-2	1.682	102.2	158.9	1824	4.856	69.96	0.192	0.05	9.704	0.004	177.7
3#-1-2	3.101	115.6	93.08	9175	2.462	71.53	0.367	0.378	8.31	0.03	163.1
3#-2-1	1.82	116.8	151.4	4444	3.246	100.6	0.23	0.419	7.043	0.008	149.6
3#-2-2a	2.273	169.2	392.2	9790	12.68	189	0.797	0.395	8.923	0.008	159.8
3#-2-2a	2.246	174.8	471.6	9198	12.87	182.6	0.697	0.373	8.885	0.007	170.2
3#-2-2b	1.28	201.6	461.3	8712	5.364	192.6	2.425	0.354	7.441	0.015	198.7
3#-2-2c	1.649	180.4	453.9	8820	10.1	170.2	2.731	0.333	8.147	0.012	152.3
3#-3-18N	1.542	126.9	146.5	2322	4.414	114.6	0.34	0.14	9.678	0.005	156.2
3#-3-18N	1.375	125.9	144.6	2237	2.88	116.5	0.315	0.152	9.769	0.003	175.6
平均值	1.89	145.9	274.8	6280	6.54	134.2	0.899	0.288	8.66	0.010	167.0

注: 国家地质测试中心化学法分析.

表 3　乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿电子探针测试的主要元素含量(w_B/%)

Table 3. Major element contents of magnetite by electron microprobe analysis in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit (%)

序号	样　号	岩(矿)石类型	Na_2O	K_2O	MnO	MgO	CaO	TFe	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	SiO_2	NiO	CuO	Total
1	ZK3002-38-2a	磁铁矿石	0.02	–	0.04	0.01	–	94.68	0.04	–	0.04	0.28	–	0.02	95.13
2	ZK3002-38-2a	磁铁矿石	0.08	0.05	0.10	0.11	0.06	93.98	0.44	0.02	0.05	1.27	–	0.01	96.17
3	ZK3002-38-1a	磁铁矿石	0.07	0.03	0.08	0.06	0.06	93.33	0.29	0.02	0.03	1.04	–	0.03	95.04
4	ZK3002-38-1a	磁铁矿石	0.01	–	0.08	–	–	95.96	0.02	0.01	0.01	0.07	–	–	96.16
5	3#-2-1a	磁铁矿石	0.47	0.02	0.14	0.04	0.06	94.78	0.13	0.20	0.06	0.61	–	–	96.51
6	3#-2-1a	磁铁矿石	0.34	0.08	0.12	0.19	0.17	91.33	1.02	0.04	0.03	2.09	–	–	95.41
7	3#-1-2a	凝灰岩	0.25	0.08	0.08	0.19	0.22	90.36	1.59	0.06	0.02	2.37	–	–	95.22
8	3#-1-2a	凝灰岩	0.06	0.04	0.08	0.04	0.06	94.56	0.41	0.05	0.02	0.76	–	0.05	96.13
9	3#-3-18N-a	磁铁矿石	0.04	0.02	0.09	0.07	0.03	94.40	0.27	0.02	0.03	0.67	0.02	0.03	95.69
10	3#-3-18N-a	磁铁矿石	0.13	0.03	0.12	0.17	0.06	93.62	0.47	0.03	0.01	1.36	–	0.03	96.03
11	3#-3-14-8-2a	黄铜矿石	–	–	0.11	0.01	–	95.96	0.08	0.02	0.03	0.42	–	–	96.63
12	3#-3-14-8-2a	黄铜矿石	0.01	–	0.11	0.05	–	95.14	0.11	–	0.03	0.42	–	0.01	95.88
13	3#-3-14-8-1a	黄铜矿石	0.07	0.01	0.09	0.02	–	95.53	0.04	0.01	0.04	0.14	0.01	0.02	95.98
14	3#-3-14-8-1a	黄铜矿石	0.17	0.01	0.07	0.05	0.04	94.50	0.23	0.02	0.07	0.51	0.01	–	95.68
15	Q-5-1	磁铁矿石	0.05	0.02	0.86	0.13	0.08	94.89	0.11	2.02	–	0.33	–	–	98.89
16	Q-5-2	磁铁矿石	0.03	–	0.90	–	0.11	94.72	0.34	0.36	–	0.64	–	–	97.29
17	Q-7	磁铁矿石	–	–	0.13	0.09	–	94.85	0.28	0.31	0.04	0.26	–	–	96.66
18	L-4	磁铁矿石	–	0.08	–	0.01	0.33	97.41	0.20	0.36	0.63	0.19	–	–	99.50
19	L-11	磁铁矿石	0.14	–	0.01	0.17	0.21	94.50	0.06	–	–	0.17	–	–	95.61

注: 本次研究测试在中国地质科学院矿产资源研究所完成,“–”表示低于检测限; 15~19 号数据引自陈毓川等[1](Q-5-1 和 Q-5-2 是乔夏哈拉玄武岩中磁铁矿,Q-7 是乔夏哈拉苦橄质玄武岩中的磁铁矿,L-4 是老山口苦橄质玄武岩中的磁铁矿,L-11 是老山口苦橄岩中的磁铁矿); TFe 表示 FeO+ Fe_2O_3.

3　磁铁矿的化学成分标型特征

3.1　稀土元素特征

从表 1 看出, 磁铁矿矿石的稀土总量变化范围很大, ΣREE 值为 0.723×10^{-6} ~ 63.894×10^{-6}; LREE/HREE 为 1.502~23.576, 也变化较大。轻稀土分馏程度与重稀土相差不明显, 但重稀土分馏程度略微明显, $(La/Sm)_N$ = 0.262~6.204, $(Gd/Yb)_N$ = 0.571~9.577。磁铁矿相对富集轻稀土, Eu 显示正异常(图 2), δEu= 1.706~3.748, 仅 3#-3-18N 和 3#-1-2 号样品中的磁铁矿略显 Eu 负异常。这与闫升好等[5]所测乔夏哈拉和蒙库磁铁矿矿石样品的稀土元素含量相似, 同样显示出相对富集轻稀土元素和 Eu 正异常。这些特点与现代大洋中脊、红海等热水流体及其富含金属的化学沉积物相似, 反映出乔夏哈拉含铜磁铁矿矿床在成因上可能与海底火山作用有关。

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

本次测试分析得到的 Ce 略显正异常, 与闫升好等[5]所测的乔夏哈拉和蒙库(乔夏哈拉西北)磁铁矿样品不同, 其 Ce 呈负异常, 但是和托斯巴斯陶(乔夏哈拉东南)含铜磁铁矿的稀土元素特征一致。

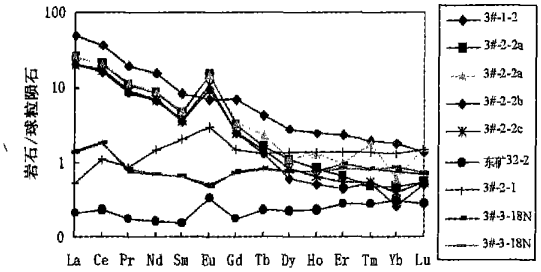


图 2 乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿化学分析的稀土元素标准化图解

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of magnetite in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit.

3.2 微量元素特征

采自东矿区 3 号竖井的磁铁矿在化学成分上富含 Co, w(Co) 的平均值为 145.9×10^{-6}(表 2), 高于夕卡岩型铜铁矿床中磁铁矿的平均值(125×10^{-6})[7], 但低于夕卡岩型铜矿床中磁铁矿的平均值(247×10^{-6})[7]。这表明乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿的成因与夕卡岩相关。

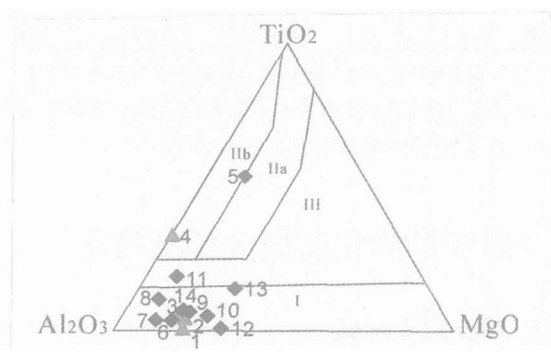
东矿区磁铁矿的 Ni 含量 w(Ni) 平均达 274.8×10^{-6}(表 2), 介于夕卡岩型铜铁矿床磁铁矿(65×10^{-6})和热液型铁矿床磁铁矿(440×10^{-6})之间。磁铁矿的 Ni/Co 比值可以反映其成因, 火山成因及接触交代成因磁铁矿的 Ni、Co 含量高, 但 Ni/Co 比值小于 2[7-8]。乔夏哈拉磁铁矿中的 Ni 和 Co 含量较高, 平均值分别达 274.8×10^{-6}和 145.9×10^{-6}。但是乔夏哈拉磁铁矿中 Ni/Co 比值变化较大, 为 1.149~2.698, 除了 $3^{\#}$-1-2 号样品的 Ni/Co 值为 0.805, 其他都大于 1, 与夕卡岩型的相差较大。这说明乔夏哈拉的磁铁矿与典型夕卡岩成因的磁铁矿存在一定的差别。Ni 与 Co, 一般认为 Ni 比 Co 更易于在地壳深部富集, 高的 Ni/Co 比值是深源的特征[9]。乔夏哈拉磁铁矿较高的 Ni/Co 比值反映了其成因与深源物质有关。

从表 2 可见, w(Sc) 的平均值 1.89×10^{-6}, 与夕卡岩型和热液型铁矿床磁铁矿(1.26×10^{-6})[7]较为接近。w(Zn) 的平均值 134.2×10^{-6}, 与夕卡岩型铁矿床磁铁矿(185×10^{-6})[7]较为接近。Pb、Cd、In 和 Tl 非常低, Ga 的含量也较低[7]。As 的含量非常高, 平均值达 167×10^{-6}, 比典型夕卡岩型铁(铜)矿床磁铁矿(60×10^{-6})高出近 2 倍。这些磁铁矿的微量元素含量反映了乔夏哈拉磁铁矿与夕卡岩型铁矿关系密切, 但又有其特点。

3.3 TiO_2-Al_2O_3-(MgO+MnO) 的特征

磁铁矿单矿物电子探针测得的 TiO_2 含量很低, 只有 0~0.20%(表 3), Al_2O_3 含量为 0.04%~1.59%, MgO 含量为 0~0.19%, MnO 含量为 0.04%~0.14%。根据徐国风等[7]对各种成因类型磁铁矿床中磁铁矿的化学成分进行的讨论, 认为接触交代矿床磁铁矿的 TiO_2 含量一般为 0.07%~0.40%, MgO 和 MnO 含量较高, Al_2O_3 含量较低。乔夏哈拉磁铁矿与之相似。

将乔夏哈拉磁铁矿电子探针的测试结果投点到陈光远[10]的磁铁矿 TiO_2-Al_2O_3-MgO 成因图解(图 3), 可见样品基本上落在沉积变质-接触交代磁铁矿趋势区内。同样投点至王顺金(1984)的磁铁矿成因图解(转引自文献[10])(图 4), 样品落在热液型及钙夕卡岩型范围内。再根据林师整(1982)的磁铁矿 TiO_2-Al_2O_3-(MgO+MnO) 成因图解(转引自文献[10])(图 5), 磁铁矿主要落在夕卡岩和沉积变质型范围内, 与陈光远的磁铁矿成因图解投图结果一致。这进一步证明乔夏哈拉铁铜金矿床的磁铁矿成因不仅与夕卡岩相关, 还与沉积变质相关。此三幅图中, 点 5 即 $3^{\#}$-2-1a, 明显不同与其它样品, 较为特殊, 但其原因还有待进一步的分析。就东、西矿区而言, 两矿区的磁铁矿成因特征基本一致。

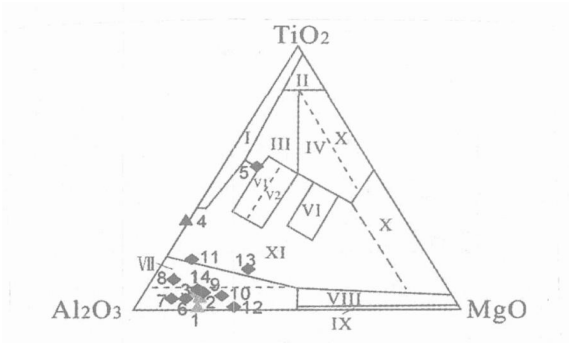


Ⅰ. 沉积变质-接触交代磁铁矿趋势区 Ⅱa. 超基-基-中性岩浆磁铁矿趋势区 Ⅱb. 酸-碱性岩浆磁铁矿趋势区

图 3 磁铁矿成因图解(据陈光远等[10])

Fig. 3. Genetic diagram of magnetite (Chen Guangyuan, 1975).

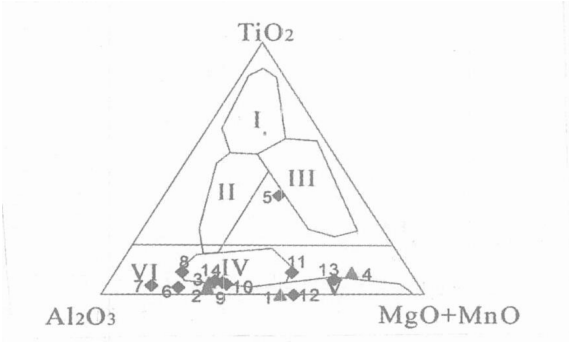
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



Ⅶ. 热液型及钙夕卡岩型(虚线以上主要为深成热液型; 以下为热液型及钙夕卡岩型)

图 4　磁铁矿成因图解(王顺金, 转引自文献[10])

Fig. 4. Genetic diagram of magnetite (Wang Shunjin, 1984).



Ⅰ. 副矿物型　Ⅱ. 岩浆熔离钛磁铁矿型　Ⅲ. 火山岩型(玢岩型)　Ⅳ. 热液型　Ⅴ. 夕卡岩　Ⅵ. 沉积变质型　样品序号同表3

图 5　磁铁矿成因图解(林师整, 转引自文献[10])

Fig. 5. Genetic diagram of magnetite (Lin Shizheng, 1982).

3.4　主要氧化物的特点

乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿中的($FeO+Fe_2O_3$)与SiO_2呈明显的反相关, 显示磁铁矿中的SiO_2含量越多, 越不利于 Fe 的富集; 相对基性的环境更有利于磁铁矿的形成。MgO、Na_2O、K_2O、CaO 的含量都随着SiO_2含量的增加而增加, 呈明显的正相关, 且斜率较大。而TiO_2的含量随着SiO_2的增加只是缓慢的增加, 幅度不大。前人研究早已证明, TiO_2在磁铁矿中普遍存在, 且变化范围较大, 其含量与形成的温度、压力密切相关, 因此它能有效地反映磁铁矿的形成条件, 无论在成岩作用或是成矿作用过程中, 随着温度和压力的降低, 磁铁矿都是从高TiO_2到低TiO_2方向演化, 反映了它们对不同地质作用有明显的专属性[10-11]。

乔夏哈拉铁铜金矿床的赋矿围岩以中基性火山岩为主, SiO_2含量在45% ~ 63% 之间, 磁铁矿中的SiO_2含量也不高, 所以磁铁矿中的TiO_2含量也不高。这反映了乔夏哈拉地区形成富钛磁铁矿的可能性极小, 明显区别于攀枝花岩浆型的钒钛磁铁矿(图 6)。

3.5　铜含量特征

由乔夏哈拉东矿区磁铁矿单矿物化学测试的结果(表 2)可知, Cu 的含量有两大特点: 一是含量高; 二是 Cu 含量与 Fe 含量呈反相关。一般夕卡岩型铁矿床中磁铁矿的 Cu 含量为 20×10^{-6}, 夕卡岩型铜铁矿床中磁铁矿的 Cu 含量为 650×10^{-6}, 而乔夏哈拉高达 9790×10^{-6}, 平均达 6280×10^{-6}, 比夕卡岩型铜铁矿床中磁铁矿的 Cu 含量高将近 10 倍, 表明磁铁矿中 Cu 的高含量可能是铁铜矿床的一个特点。磁铁矿中 Fe、Cu 含量的反相关特点(图 7), 则与目前整个乔夏哈拉矿床"上铁下铜"的矿化特点相一致, 意味着在铁矿体的深部具有找到铜矿体的可能性。

乔夏哈拉磁铁矿电子探针测得的 Cu 含量明显没有化学测试的 Cu 含量高, 估计是化学测试的磁铁矿单矿物中含有一定的含 Cu 矿物, 但仍然明显高于阿尔泰阿克希克金矿中磁铁矿的含铜量(10×10^{-6}~ 39×10^{-6})[12], 也高于长江中下游如湖北省大冶热液接触交代型的张福山铁矿中磁铁矿的含铜量(15×10^{-6}~ 34×10^{-6})[13]。另外, 电子探针的结果仍然反映了 Fe 和 Cu 成一定的反相关性(图 8)。

磁铁矿中 Cu 含量与 REE 含量的关系见图2, Cu 含量高的磁铁矿 REE 相对富集轻稀土, 呈右倾状, 轻重稀土发生明显的分异, 并且具明显的 Eu 正异常。而 Cu 含量低的磁铁矿中, 轻稀土比重稀土只略微相对富集, 右倾不明显, 反映分异不强烈。Cu 含量与 REE 的这种正相关性可指示磁铁矿中的 Cu 和 REE 含量与 Fe 含量的关系, Fe 含量越高, Cu 和 REE 的含量反而越低。这与闫升好所测的磁铁矿的稀土元素含量特点一致, 稀土元素含量低[5]。

乔夏哈拉铁铜金矿床的磁铁矿石可分为磁铁矿石、黄铜矿-磁铁矿石和黄铁矿-黄铜矿-磁铁矿石, 此次电子探针测试和化学测试的结果实际上分别反映了前两种矿石的 Fe-Cu 的关系。乔夏哈拉铁铜金矿床目前的矿体分布呈现"上铁下铜"的

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

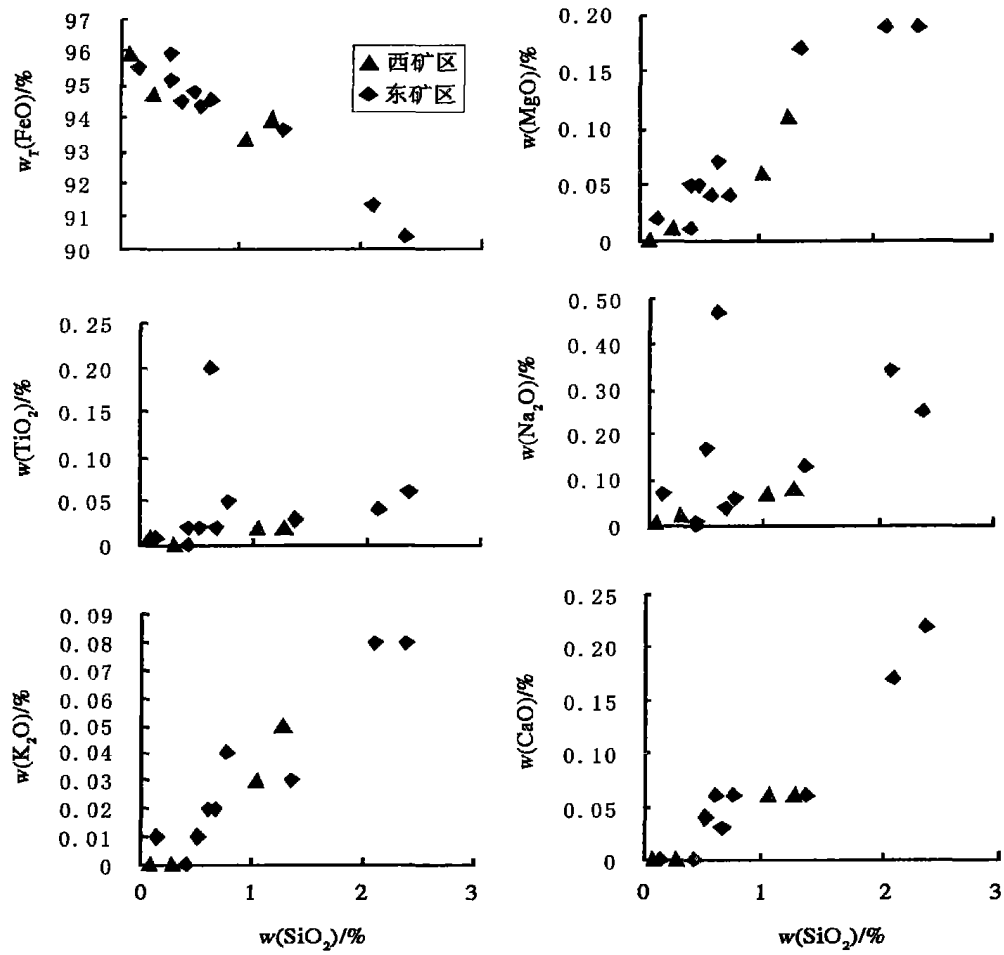


图 6 乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿电子探针测得的主要氧化物的哈克图解

Fig. 6. Harker diagram of major oxides of magnetite by electron microprobe analysis in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit.

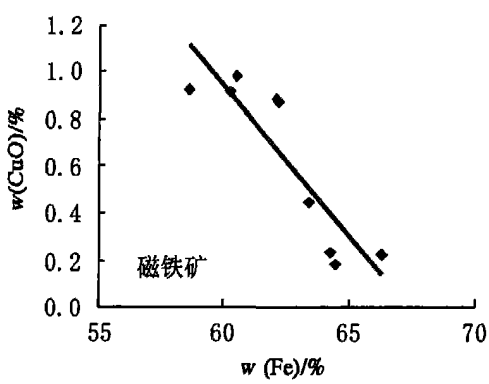


图 7 乔夏哈拉磁铁矿化学测试的 Cu-Fe 关系

Fig. 7. Relationship between Cu and Fe of magnetite by chemical analysis in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit.

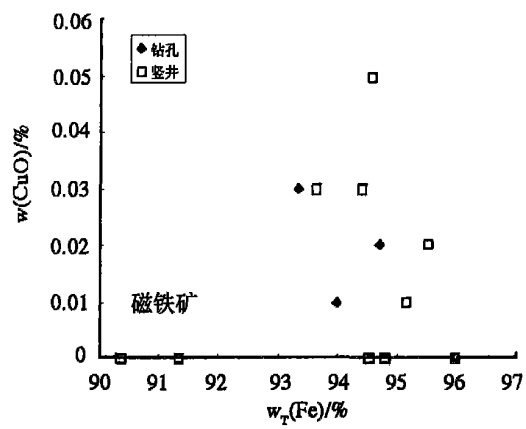


图 8 乔夏哈拉铁铜金矿床磁铁矿电子探针测得的 Cu-Fe 关系

Fig. 8. Relationship between Cu and Fe of magnetite by electron microprobe analysis in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit.

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

特点, 近地表是磁铁矿体, 过渡为含铜磁铁矿体, 下部是铜金矿体。我国海相火山岩建造区铁、铜共生的矿床较为发育, 如云南大红山、海南石碌、甘肃陈家庙等, 这些矿床的铁、铜成矿均与海相火山作用有关, 空间上具有良好的分带性(上铁下铜) , 因而可以利用铁铜“同生异相”的成因关系互为找矿标志[14-15]。因此, 在乔夏哈拉铁铜金矿床的找矿过程中可以利用已掌握的磁铁矿的资料来指导寻找铜矿体。

4　结　语

(1) 乔夏哈拉铁铜金矿床中磁铁矿具有低钛性。根据岩浆矿床磁铁矿中 TiO_2 含量一般为 3. 55 ~ 21. 72%, 接触交代矿床为 0. 07 ~ 0. 40%, 沉积变质矿床为0 ~ 1. 2%[16], 而乔夏哈拉磁铁矿中 TiO_2 含量明显较低, 只有 0 ~ 0. 20%, 与岩浆型的攀枝花基性超基性钒钛磁铁矿在钛含量上存在很大的差别, 这暗示在新疆阿尔泰地区寻找攀枝花式的富钛磁铁矿比较困难。乔夏哈拉与长江中下游地区的典型夕卡岩型的铁矿具有类似成因特征, 它们的钛含量较为接近。同时, 乔夏哈拉与沉积变质型的弓长岭铁矿床在钛含量方面也相似, 都比较低。

(2) 通过 TiO_2-Al_2O_3-(MgO + MnO) 三角图对磁铁矿进行的成因分析, 基本上可知乔夏哈拉矿床与夕卡岩型, 尤其是钙夕卡岩型矿床相似。但是与长江中下游的典型夕卡岩型矿床对比, 矿区总体上绿帘石化最常见, 矿化类型多, 产状复杂, 石榴子石少见, 不属于典型的夕卡岩型。同时, 乔夏哈拉矿床与沉积变质型铁矿床又存在着相似之处。因此, 乔夏哈拉磁铁矿的成因很复杂, 主要与接触交代作用和沉积变质作用有关。

(3) 乔夏哈拉磁铁矿中 Cu-Fe 呈反相关性, 在东、西矿区的样品中都可见到这种特征(图 8)。磁铁矿中, Cu 与 Fe 相互消长, 一旦遇到合适的条件, Cu 极可能优先进入富 Cu 的矿物相中。乔夏哈拉矿床中出现上铁下铜的现象, 预示着其下部的环境更有利于 Cu 的富集成矿, 找铜的前景乐观。另外, Cu 与 REE 呈正相关, 乔夏哈拉矿床磁铁矿相对富集轻稀土, Eu 明显正异常, Ce 负异常, 与蒙库海相火山岩型铁矿较为相似, 指示乔夏哈拉的成矿可能与火山作用有关。乔夏哈拉 Cu-Fe 的成矿原因还需进一步的研究。

乔夏哈拉铁铜金矿床的构造位置特殊, 位于阿尔泰山南缘和准噶尔北缘的交界地带, 受到这两种构造机制的影响, 使得它的成矿机制有其独特之处。磁铁矿在地球化学方面的特征为富集轻稀土元素, 但重稀土元素的分馏程度较大。Co、Ni 含量高, Ti 则较低。磁铁矿的这些化学成分标型特征可以指示在新疆阿尔泰乔夏哈拉一带寻找钛磁铁矿困难。磁铁矿化学成分的成因分析可知, 乔夏哈拉矿床与夕卡岩型和沉积变质型矿床有密切的关系。Cu 与 Fe 呈明显的反相关, 指示了在乔夏哈拉寻找铜矿体很有前景。

致谢: 本次研究得到了宏泰矿业公司康洪董事长和赵昌龙总工的大力支持与帮助, 在此向他们表示衷心的感谢。

参　考　文　献:

[1]　陈毓川, 刘德权, 王登红, 等. 新疆北准噶尔苦橄岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2004, 23(11): 1059-1065.
[2]　杨守业, 李从先, 朱金初, 张文兰. 长江与黄河沉积物中磁铁矿成分标型意义[J]. 地球化学, 2000, 29(5): 478-484.
[3]　张建中, 冯秉寰, 金浩甲, 刘斌, 罗玉鹏, 金志明, 朱美珠, 陈书章. 新疆阿勒泰阿巴宫-蒙库海相火山岩与铁矿的成生关系及成矿地质特征[J]. 中国地质科学院西安地质矿产资源研究所所刊, 1987, 20: 89-172.
[4]　邓吉牛, 王军升, 廖启林. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告[R]. 新疆 305 项目办公室: 内部资料, 2000.
[5]　闫升好, 张招崇, 王义天, 陈柏林, 周刚, 何立新. 新疆阿尔泰山南缘乔夏哈拉式铁铜矿床稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(1): 25-35.
[6]　Rollison H R. 岩石地球化学[M]. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜(译). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
[7]　王奎仁. 地球与宇宙成因矿物学[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1989: 108-129.
[8]　汤蔡联. 符山铁矿磁铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 河北地质情报. 1990, (4): 32-36.
[9]　严炳铨, 吴克隆, 王文腾. 福建漳州复式岩体磁铁矿的成因矿物学特征[J]. 福建地质. 1993, 12(1): 1-16.
[10]　陈光远. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1987.

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

[11] 赵爱醒. 湖北大冶铁山铁(铜)矿床磁铁矿矿物化学及其成因研究[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1990, 15(4): 385- 396.
[12] 芮行健, 等. 新疆阿尔泰岩金矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
[13] 姚培慧. 中国铁矿志[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
[14] 邬介人, 于浦生, 贾群子. 海相火山+沉积建造区铜多金属成矿系列及铁铜型矿床的勘查前景[J]. 地质与勘探, 2000, 36(6): 15- 19.
[15] 王登红, 陈毓川. 与海相火山作用有关的铁铜铅锌矿床成矿系列类型及成因初探[J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 112- 118.
[16] 陈光远, 黎美华, 汪雪芳, 等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑[J]. 矿物岩石, 1984, 4(2): 14- 42.

CHEMICAL COMPOSITION AND TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF MAGNETITE AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE IN QIAOXIAHALA IRON-COPPER-GOLD DEPOSIT OF ALTAI, XINJIANG

YING Li-juan[1], WANG Deng-hong[2], LIANG Ting[3],
ZHOU Ru-hong[4], MA Jun[5], QU Wen-jun[6], CHEN Zhen-yu[2]

(1. *Graduate Department, Chinese Academy of Geological Sciences (CAGS), Beijing* 100081, *China;*
2. *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing* 100037, *China;* 3. *Chang' an University, Xi' an* 710054, *China;*
4. *Bureau of Geology and Mineral Resources in Xinjiang, Urumqi* 830000, *China;*
5. *The* 4*th Geological Team of Xinjiang, Altay* 836500, *China;* 6. *National Geological Testing Center, Beijing* 100037, *China*)

Abstract: The Qiaoxiahala iron-copper-gold deposit was located at the transitional belt between the Xinjiang Altay orogenic belt and the Junggar Basin. It was regarded as a small iron deposit before, however, in recent years, it has been found expanding into a copper-gold deposit at depth. Based on the chemical analysis of individual magnetite from the orebody in the eastern mining district, and the electron microprobe analysis of individual magnetite from samples in the eastern and western mining districts of Qiaoxiahala, it is suggested that magnetite was rich in light rare earth elements, had a positive Eu anomaly and a negative Ce anomaly; it had high contents of Co and Ni, while low contents of Ti. The correlation between Cu and Fe is reverse with respect to their contents. Typomorphic research on magnetite primarily shows that the genesis of magnetite in Qiaoxiahala was similar to that of magnetite in skarn and sedimentary-metamorphic iron-copper deposits, suggesting a good potential for copper exploration.

Key words: magnetite; chemical composition typomorphy; iron-copper-gold deposit; Qiaoxiahala; Xinjiang

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