

文章编号:0258-7106(2005)01-0025-09

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*

闫升好¹,张招崇²,王义天¹,陈柏林³,周刚⁴,何立新⁴(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 中国地质科学院地质研究所,北京 100037;
3 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081; 4 新疆地矿局第四地质队,新疆 阿尔泰 836500)

摘要 通过野外地质调查和系统的稀土元素地球化学研究,探讨了阿尔泰山南缘乔夏哈拉式铁铜矿床中磁铁矿矿体和块状富铜矿体的成因关系及找矿意义。研究表明,乔夏哈拉铁铜矿床中铁矿体和富铜矿体的稀土元素组成及配分模式迥然不同。前者具有低 Σ REE、富轻稀土元素及正铈异常等特点,指示火山成因性质;后者异常富集轻稀土元素,配分曲线向右倾陡,其成因可能与造山期中基性浅成岩浆作用有关。据此认为,铁矿体和铜矿体并非“同生”成因关系,很可能是两期成矿作用在空间上的“同位叠生”关系。

关键词 稀土元素地球化学;铁铜矿床;块状硫化物矿床;乔夏哈拉;阿尔泰山

中图分类号:P618.41;P595

文献标识码:A

新疆阿尔泰山南缘是我国重要的有色、贵金属成矿带之一,这里的泥盆系火山岩建造中产出阿舍勒大型铜锌矿床(VMS)、可可塔勒大型铅锌矿床(SEDEX)、蒙库大型铁矿床(海相火山岩型),它们构成一个与海相火山作用有关的铁铜铅锌成矿系列(王京彬等,1998;王登红等,2002)。近年来,在乔夏哈拉泥盆系海相火山岩型磁铁矿矿床中找到了中型规模的块状富铜矿体,铁铜矿化在空间上似乎具有“上铁、下铜”的分带规律^①。另外,在矿区东南约60 km处的老山口一带泥盆系火山岩中也发现了类似的铁铜矿化——托斯巴斯陶含铜磁铁矿矿床。那末,阿尔泰山地区进一步寻找乔夏哈拉式铁铜矿床的资源远景如何?要回答这个问题,关键是要查明铁铜矿化之间的成因联系,即铁铜空间上共存的现象,到底是“同生”,还是“叠生”关系?本文拟通过对该类矿床各种赋矿地质体和不同类型铁-铜矿石,以及区内典型海相火山岩型铜铅锌多金属矿床的稀土元素地球化学特征的系统研究与对比,来探讨矿床的成因及其找矿方向。

1 乔夏哈拉铁铜矿床地质特征

乔夏哈拉铁铜矿床位于富蕴县城南东34 km处,与喀拉通克铜镍矿床相距不到5 km。其大地构造位置处于阿尔泰山造山带与准噶尔造山带的接合部位(额尔齐斯构造带)南侧的依铁克-耶森喀拉泥盆系构造岩片。矿区出露地层主要有中泥盆统北塔山组(D₂b)、蕴都喀拉组(D₂y)和下石炭统南明水组(C₁n)(图1)。北塔山组为一套基性-中基性火山沉积建造,自下而上分为3个岩性段:第一岩性段以玄武安山岩为主,第二岩性段以玄武安山质凝灰岩为主,第三岩性段以陆缘细碎屑岩和灰岩为主,组成一个完整的火山喷发-沉积旋回。蕴都喀拉组为一套由安山质凝灰岩、凝灰质粉砂岩及细砂岩组成的基性火山碎屑岩,与下伏北塔山组地层呈整合接触。南明水组为海陆交互相的类复理石建造,岩性主要为粗砂岩、凝灰质砂岩夹硅质岩和灰岩透镜体。矿区地层呈NW-SE走向,产状陡倾(倾角60~85°),局

* 本文得到国家重点基础研究973项目(2001CB409807)和国家科技攻关305项目(2001BA609A-07-02)资助

第一作者简介 闫升好,男,1966年生,副研究员,主要从事矿床学和矿产资源评价研究。

收稿日期 2004-05-17; 改回日期 2004-06-28。

① 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告.(内部资料).

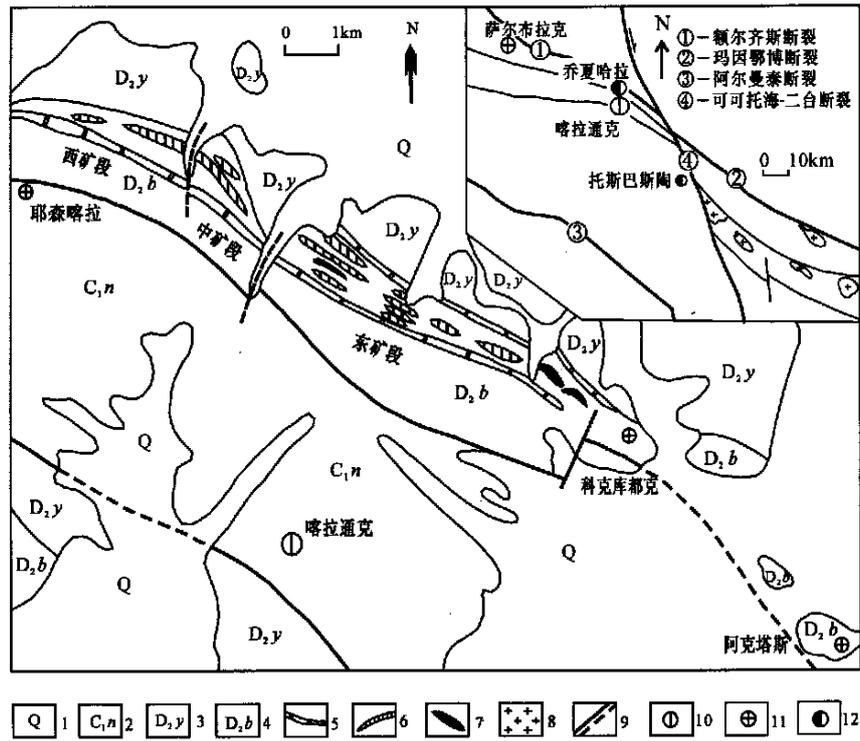


图1 乔夏哈拉铁铜矿床矿区地质图(据邓吉牛等, 2000 修改)

1—第四系;2—下石炭统南明水组千枚岩、砂岩;3—中泥盆统蕴都喀拉组凝灰岩、凝灰质砂岩;4—中泥盆统北塔山组玄武安山岩、凝灰岩、凝灰质砂岩;5—大理岩化灰岩;6—含铜磁铁矿体;7—铜矿体;8—海西中晚期花岗岩;9—实测及推断断裂;10—铜镍矿床;11—金矿床;12—铁铜矿床

Fig.1 Regional geological map of the Qiaoxiahala Fe-Cu deposit, showing the attitudes of the orebodies (Modified after Dengjiniu, 2000)

1—Quarternary sediments; 2—Sandstone and phyllite of Lower Carboniferous Nanmingshui Formation; 3—Tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Yundukala Formation; 4—Basaltic-andesite, tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Beitashan Formation; 5—Marbleized limestone; 6—Magnetite orebody; 7—Copper orebody; 8—Middle to Late Hercynian granite; 9—Measured or inferred fault; 10—Nickelcopper deposit; 11—Gold deposit; 12—Iron-copper deposit

部直立或微倒转。NW、NNW和NE向断裂发育;其中NW向断裂属于区域性额尔齐斯大断裂的分支断裂,多具逆冲推覆性质,致使泥盆系地层超覆于石炭系地层之上;NNW和NE向断裂多为平移断层,错断地层和矿体。矿区内侵入岩不发育,主要为中基性岩脉、岩枝,岩性为闪长岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等;岩脉多沿NW向断裂产出,有的岩脉切割矿体,说明岩脉形成较晚。

在西起耶森喀拉东至科克库都克长约9 km、宽100~200 m的范围内,铁铜矿体成带成群展布,由于受后期NE向平移断层的错动,故依此可将矿带自西向东划分为西矿段、中矿段和东矿段(图1)。铁矿体呈似层状、扁豆状或透镜状赋存于北塔山组第

三岩性段中,该岩性段厚150~300 m,岩性以钙质凝灰质砂岩、粉砂岩为主,夹不纯大理岩透镜体和凝灰岩(图1和图2)。各矿段均有多层矿体,最多达5层,一般只有1~2个主矿层。铁矿体长10~270 m,宽10~70 m,倾向上延深20~500 m。铁矿体与围岩界线清楚,产状与地层基本一致,层位十分稳定,矿体边部为条带状或斑杂状磁铁矿,具明显层理和层纹构造,矿体内部为致密块状磁铁矿。铜矿体或产于局部铜金含量较高的铁矿体内,或位于铁矿体下盘的绿帘石化砂卡岩中。按矿物组成,铜矿石可划分为含铜金磁铁矿矿石和砂卡岩型块状富铜金矿石。矿石构造主要呈斑杂状、条带状、块状。铁矿石的主要矿物是磁铁矿,铜矿石的主要矿物是黄铁矿

● 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带重铜找矿评价研究报告.(内部资料).

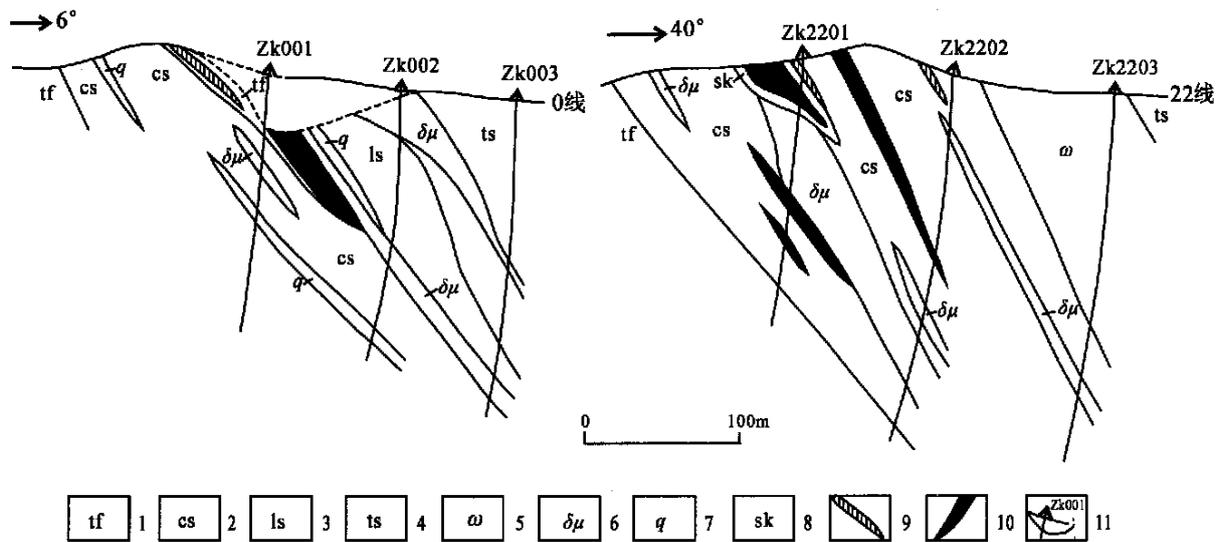


图 2 乔夏哈拉铁铜矿床 0 线和 22 线地质剖面图(据邓吉牛等,2000) ●

1—凝灰岩;2—钙质砂岩;3—大理岩化灰岩;4—凝灰质砂岩;5—苦橄岩;6—闪长玢岩;7—石英脉;8—矽卡岩;9—磁铁矿体;
10—铜金矿体;11—露天采场及钻孔

Fig.2 No.0 and No.22 geological sections of the Qiaoxiahala Fe-Cu ore deposit (After Dengjiniu , 2000)

1—Tuff; 2—Calcareous sandstone; 3—Marbleized limestone; 4—Tuffaceous sandstone; 5—Picrite; 6—Dioritic porphyrite;
7—Quartz vein; 8—Skarn; 9—Magnetite orebody; 10—Copper and gold orebody; 11—Open pit and drilling hole

和黄铜矿。矿体外围发育由石英、碳酸盐、绿帘石、绿泥石、石榴子石等矿物组成的矽卡岩化蚀变。

2 稀土元素地球化学特征

本次研究工作共采集了 25 件各类岩石、矿石样品。5 件火山岩样品采自北塔山组火山岩地层的露头,经镜下薄片鉴定,确认其中 4 件为辉斑玄武岩(TS-13、TS-17、TS-21、TS-22),另外 1 件(TS03-5)为苦橄岩(其 MgO 含量达 21%)。5 件闪长玢岩样品分别采自乔夏哈拉(QX-11、QX-13)、托斯巴斯陶(TS03-2、TS03-3)和索尔库都克(Srk-2)三个不同的矿区。乔夏哈拉矿床的 1 件含铜磁铁矿矿石和 4 件块状富铜矿石样品均采自矿区东段的地下采坑。托斯巴斯陶矿点的 4 件含铜磁铁矿矿石样品采自露天采场。另外,为便于对比研究,还在蒙库大型铁矿床的露天采场中分别采集了块状磁铁矿和其中所夹的薄层含铜块状黄铁矿(含 Cu 0.3%~1%)以及块状石榴子石样品各 1 件,在阿舍勒大型块状硫化物型铜锌矿床采集了层纹状铜矿石样品 1 件,在可可塔勒大型铅锌矿床采集了条带状黄铁矿矿石样品 1

件,在索尔库都克大型类矽卡岩型铜矿床的探槽中采得块状含铜石榴子石样品 1 件。上述所有样品的稀土元素组成及其铜的含量均由国家地质实验测试中心分析,其中,稀土元素分析采用等离子质谱,铜含量分析采用等离子光谱。表 1 中所列 3~9 号样品的分析数据引自邓吉牛等(2000) ●。图 3 给出了各样品球粒陨石标准化的稀土元素配分模式。这些样品的稀土元素地球化学主要特征如下:

火山岩 2 件安山玄武岩、4 件辉斑玄武岩和 1 件苦橄岩样品的稀土元素含量变化不大,为 $33.52 \times 10^{-6} \sim 75.32 \times 10^{-6}$,平均为 53.67×10^{-6} 。LREE/HREE 平均值为 4.58, $(La/Lu)_N$ 平均值为 3.80,说明轻重稀土元素之间发生了较明显的分异作用,轻稀土元素相对富集。 $(La/Sm)_N$ 比值平均为 1.72, $(Gd/Yb)_N$ 平均为 1.62,显示轻稀土元素组和重稀土元素组内部分异作用不明显。 $\delta Eu = 1.06$, $\delta Ce = 0.92$,基本无铈异常和铈异常。稀土元素配分模式(图 3a)属于中等右倾,轻稀土元素富集型,与钙碱性火山岩的稀土元素模式类似,而不同于拉斑玄武岩特征的平缓、略微贫轻稀土元素的配分模式,说明本区泥盆纪火山作用的构造环境有可能为岛弧环境,

● 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告.(内部资料).

表1 阿尔泰山南缘铁铜矿床岩石稀土元素组成分析结果 ($\mu\text{g}/10^{-6}$)Table 1 REE and Cu contents of rocks and ores from various Fe-Cu deposits in southern Altay ($\mu\text{g}/10^{-6}$)

元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Qx-11	Qx-13	Q-3	Q-15	Q-8	QPI-44	QP-32	QP-35	Q-12	Qx-6	QX-6-2	QX-34	QX-34-1	QX-34-2	TS-13	TS-17
La	8.87	10.9	14.3	15.7	8.8	8.5	12.7	9.63	1.70	0.84	48.8	426	386	681	5.67	13.3
Ce	23.9	25.1	28.8	30.6	17.9	16.8	23.8	20.5	3.51	1.64	100	644	581	1037	13.3	24.5
Pr	3.66	3.73								0.29	7.6	42.1	38	68.6	2.01	3.58
Nd	18	16	11.9	12.5	10.9	11.9	13.5	12.8	2.84	1.89	28.3	126	117	213	8.88	14.3
Sm	5.16	3.46	2.84	2.85	2.84	2.79	2.83	2.70	0.94	0.86	5.07	7.45	7.04	12.7	2.52	3.59
Eu	1.99	1.15	1.1	1.13	1.14	1.16	1.33	1.11	1.05	0.37	7.98	1.99	1.93	3.25	0.9	1.12
Gd	5.68	3.08	2.84	2.47	3.45	2.89	3.32	3.01	1.51	1.08	3.29	7.19	2.45	4.55	2.74	3.5
Tb	0.99	0.48	0.468	0.412	0.6	0.459	0.589	0.508	0.27	0.19	0.39	0.33	0.15	0.25	0.48	0.6
Dy	6.04	2.81								1.14	1.96	0.49	0.45	0.61	2.97	3.6
Ho	1.21	0.58	0.622	0.542	0.772	0.586	0.757	0.713	0.34	0.22	0.33	0.07	0.07	0.09	0.57	0.67
Er	3.39	1.73								0.61	0.85	0.35	0.34	0.49	1.59	1.82
Tm	0.47	0.25	0.265	0.281	0.303	0.245	0.303	0.316	0.13	0.09	0.1	0.04	0.02	0.02	0.23	0.25
Yb	2.98	1.8	1.82	1.93	1.78	1.53	1.93	2.04	0.76	0.58	0.62	0.12	0.13	0.1	1.51	1.63
Lu	0.45	0.28	0.311	0.281	0.238	0.218	0.298	0.313	0.13	0.09	0.09	0.03	0.02	0.02	0.25	0.25
Y	30.6	15.9								5.82	9.6	1.54	1.56	1.86	15.5	19
LREE	61.58	60.34	58.94	62.78	41.58	41.15	54.16	46.74	10.04	5.89	197.75	1247.5	1131	2015.6	33.28	60.39
HREE	21.21	11.01	6.326	5.916	7.143	5.928	7.197	6.9	3.14	4	7.63	8.62	3.63	6.13	10.34	12.32
ΣREE	82.79	71.35	65.27	68.696	48.72	47.078	61.357	53.64	13.18	9.89	205.38	1256.16	1134.6	2021.68	43.62	72.71
LREE/HREE*	2.90	5.48	9.32	10.61	5.82	6.94	7.53	6.77	3.19	1.47	25.92	144.73	311.56	328.80	3.22	4.90
(La/Lu) _N *	2.11	4.17	4.92	5.98	3.96	4.18	4.56	3.30	1.38	1.00	58.07	1520.77	2066.97	3646.65	2.43	5.70
(La/Sm) _N *	1.08	1.98	3.17	3.47	1.95	1.92	2.82	2.24	1.14	0.61	6.05	35.97	34.49	33.73	1.42	2.33
(Gd/Yb) _N *	1.54	1.38	1.26	1.03	1.56	1.52	1.89	1.19	1.60	1.50	4.28	48.35	15.21	36.72	1.46	1.73
δEu	1.12	1.06	1.17	1.27	1.11	1.24	1.32	1.19	2.68	1.17	5.61	0.82	1.15	1.07	1.04	0.95
δCe	1.01	0.95								0.80	1.13	0.93	0.92	0.93	0.95	0.84
Cu	135	15.9								876		250500		170	222	
元素	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	TS-21	TS-22	TS03-5	TS03-2	TS03-3	TS-4	TS03-7	TS03-7-1	TS03-8	Mk-1	Mk-2	Mk-3	Asl-1	Kktl-1	Srk-1	Srk-2
La	9.8	7.93	4.7	14.3	13	1.82	5.28	4.22	7.43	2.18	21.6	0.63	0.55	11.4	1.77	15.0
Ce	22.6	16.9	10.8	29.5	28.4	2.58	9.17	6.47	6.99	4.41	30.9	3.47	0.61	24.6	2.58	32.1
Pr	3.42	2.53	1.59	3.9	3.9	0.45	1.16	0.87	0.84	0.69	2.91	0.74	0.07	3.0	0.29	4.37
Nd	15.8	10.9	7.61	16.2	16.6	1.99	5.03	4.03	3.62	3.59	8.86	3.27	0.23	11.1	1.17	19.1
Sm	4.62	3.12	2.01	3.67	3.89	0.70	1.45	1.53	0.93	1.22	1.31	0.83	0.06	2.28	0.25	4.51
Eu	1.76	1.07	0.65	1.23	1.34	0.23	0.65	0.6	0.45	0.73	1.18	1.15	0.05	0.65	0.08	1.49
Gd	4.93	3.32	1.89	3.56	3.92	1.52	1.74	1.93	1.22	1.42	1.64	1.12	0.06	2.05	0.28	4.64
Tb	0.83	0.59	0.28	0.54	0.58	0.41	0.27	0.35	0.19	0.24	0.21	0.19	0.01	0.25	0.04	0.72
Dy	5.14	3.61	1.65	3.17	3.52	3.53	1.64	2.27	1.21	1.50	1.15	1.18	0.05	1.23	0.25	4.19
Ho	0.97	0.69	0.33	0.65	0.71	0.87	0.3	0.46	0.26	0.33	0.20	0.25	0.01	0.22	0.06	0.88
Er	2.53	1.83	0.9	1.9	2	2.58	0.83	1.28	0.69	1.01	0.50	0.60	0.02	0.68	0.18	2.49
Tm	0.35	0.26	0.13	0.27	0.29	0.36	0.11	0.18	0.09	0.14	0.07	0.08	0.01	0.10	0.03	0.36
Yb	2.24	1.73	0.85	1.82	1.87	2.25	0.64	1.13	0.59	0.86	0.49	0.44	0.04	0.73	0.21	2.33
Lu	0.33	0.26	0.13	0.29	0.29	0.32	0.09	0.16	0.09	0.12	0.08	0.05	0.01	0.13	0.04	0.35
Y	23.5	18.5	8.68	17.3	17.9	27.2	8.51	13	9.11	9.75	6.86	8.18	0.27	6.1	1.62	22.5
LREE	58	42.45	27.36	68.8	67.13	7.77	2.74	17.72	20.26	12.82	66.76	10.09	1.57	53.03	6.14	76.57
HREE	17.32	12.29	6.16	12.2	13.18	11.84	5.62	7.76	4.34	5.62	4.34	3.91	0.21	5.39	1.09	15.96
ΣREE	75.32	54.74	33.52	81	80.31	19.61	28.36	25.48	24.6	18.44	71.1	14	1.78	58.42	7.23	92.53
LREE/HREE*	3.35	3.45	4.44	5.64	5.09	0.66	4.05	2.28	4.67	2.28	15.38	2.58	7.48	9.84	5.63	4.80
(La/Lu) _N *	3.18	3.27	3.87	5.28	4.80	0.61	6.28	2.82	8.84	1.95	28.92	1.35	5.89	9.39	4.74	4.59
(La/Sm) _N *	1.33	1.60	1.47	2.45	2.10	1.64	2.29	1.73	5.03	1.12	10.37	0.48	5.77	3.15	4.45	2.09
(Gd/Yb) _N *	1.78	1.55	1.79	1.58	1.69	0.55	2.19	1.38	1.67	1.33	2.70	2.05	1.21	2.27	1.08	1.61
δEu	1.12	1.01	1.00	1.03	1.04	0.66	1.25	1.07	1.29	1.69	2.46	3.65	2.52	0.90	0.92	0.99
δCe	0.94	0.90	0.95	0.93	0.95	0.67	0.86	0.77	0.56	0.86	0.82	1.06	0.64	0.99	0.79	0.94
Cu	76.5	194	55.5	111	55.7	1600	14200	6100	12500	367	2700	108	94700	452	4100	37

注: 1~14号样品采自乔夏哈拉铁铜矿, 1~4为闪长玢岩, 5~6为安山玄武岩, 7~8为矽卡岩, 9~10为块状含铜磁铁矿矿石, 11~14为块状富铜磁铁矿; 15~25号样品采自托斯巴斯陶铁铜矿, 15~18为辉斑玄武岩, 19为苦橄岩, 20~21为闪长玢岩, 22~25为块状含铜磁铁矿矿石; 26~28号样品采自蒙库铁矿, 26为块状磁铁矿, 27为块状黄铁矿, 28为块状石榴子石; 29为阿舍勒纹层状铜矿石; 30为可可塔勒条带状黄铁矿矿石; 31为索尔库都克矿区块状石榴子石; 32为索尔库都克矿区辉绿玢岩。除3~9号样品引自邓吉牛(2000)外, 其余均来自本次研究, 样品由国家地质实验测试中心分析, 稀土元素采用等离子质谱, Cu采用等离子光谱。* 比值单位为1。

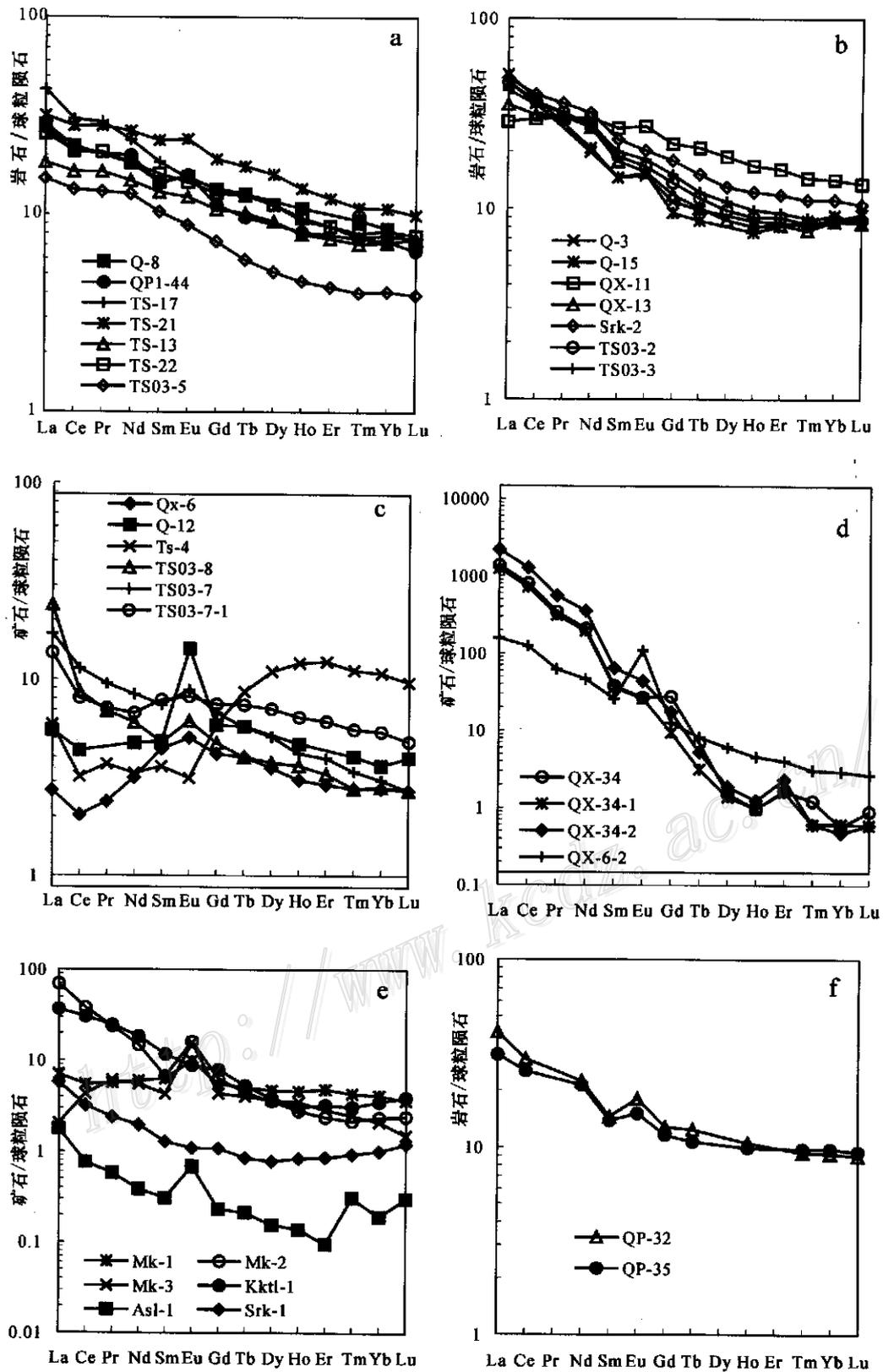


图 3 阿尔泰山南缘铁铜矿床岩石及矿石的稀土元素配分模式(样品编号同表 1)

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of rocks and ores from some Fe-Cu deposits in southern Altay Mountains

这与微量元素地球化学的判定结果相一致(梅厚钧等,1993)。

闪长玢岩 7 件中基性脉岩样品的稀土元素含量变化于 $65.27 \times 10^{-6} \sim 92.53 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 77.42×10^{-6} 。LREE/HREE 平均为 6.26, $(La/Lu)_N$ 平均 4.55,轻稀土元素相对富集,轻重稀土元素之间分异明显。 $(La/Sm)_N$ 平均值为 2.33, $(Gd/Yb)_N$ 平均为 1.44,显示轻稀土元素组内部略有分异,重稀土元素组基本无分异。 $\delta Eu = 1.09$, $\delta Ce = 0.96$,基本无铕、铈异常。稀土元素配分模式(图 3b)属中等右倾、轻稀土元素富集型。

铁铜矿石 采自乔夏哈拉和托斯巴斯陶铁铜矿床的 6 件含铜磁铁矿矿石样品的稀土元素含量变化于 $9.89 \times 10^{-6} \sim 28.36 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 20.18×10^{-6} ,与火山岩和闪长玢岩相比要低很多。除 TS-4 号样品外,这些样品稀土元素配分模式的显著特点是,具有正的铕异常($\delta Eu = 1.49$)和负的铈异常($\delta Ce = 0.75$)(图 3c),相对富集轻稀土元素[LREE/HREE = 3.13, $(La/Lu)_N = 4.06$]。

乔夏哈拉矿区 4 件块状富铜矿石具有异常高的稀土元素含量($REE = 205.38 \times 10^{-6} \sim 2021.68 \times 10^{-6}$),尤其富集轻稀土元素(LREE = $197.75 \times 10^{-6} \sim 2015.60 \times 10^{-6}$)。其配分曲线向右倾陡,轻、重稀土元素组均发生高度分异(图 3d)。除 QX-6-2 号样品具有较高的正铕异常外,其余样品基本无铕异常($\delta Eu = 1.01$)和铈异常($\delta Ce = 0.93$)。乔夏哈拉富铜矿石中异常富集轻稀土元素的原因尚待查明,但是,类似的高稀土元素含量的富铜矿石在北祁连桦树沟铁铜矿床中也有发现,那里的富铜矿石异常富集重稀土元素和钇元素,并被认为与可能存在的含钇矿物有关(袁万春,1998)。

蒙库铁矿床的块状磁铁矿、块状黄铁矿、块状石榴子石以及阿舍勒铜矿床的块状黄铁矿矿石样品的稀土元素配分模式与乔夏哈拉含铜磁铁矿矿石极其相似,同样显示出相对富集轻稀土元素和铕正异常($\delta Eu = 2.58$)的特点,说明它们的成因接近。可可塔勒条带状黄铁矿的 ΣREE 较高(58.42×10^{-6})、富轻稀土元素[LREE/HREE = 9.84, $(La/Lu)_N = 9.39$],可能与凝灰质火山物质的加入有关(王京彬等,1998)。索尔库都克块状石榴

子石的 ΣREE 与蒙库铁矿块状石榴子石比较接近,但基本无铕异常(图 3e),配分模式显示,前者与造山期岩浆作用关系更为密切(陈仁义,1995)。

矽卡岩 2 件矽卡岩样品的稀土元素含量为 $53.64 \times 10^{-6} \sim 61.36 \times 10^{-6}$,与火山岩接近。富集轻稀土元素[LREE/HREE = 7.15, $(La/Lu)_N = 3.93$]。轻稀土元素组略有分异[$(La/Sm)_N = 2.53$],重稀土元素组基本无分异[$(Gd/Yb)_N = 1.54$]。具弱的正铕异常($\delta Eu = 1.25$)。稀土元素配分模式类似于闪长玢岩(图 3f)。

3 成因及找矿意义

关于乔夏哈拉铁铜矿床的成因,目前主要有 3 种不同的认识。第一种观点属火山成因论,认为富铜矿体为块状硫化物型,并将其归类为塞浦路斯型铜矿;第二种观点注意到矿体围岩发育矽卡岩化,认为成矿与造山期的岩浆热液作用有关;第三种观点认为,矿床的形成经历了两个成矿阶段(或两个成矿期),同火山期热液沉积形成含少量铜金的磁铁矿矿体,造山期构造岩浆热液叠加其上形成富铜矿体,其成矿特征可以与我国长江中下游的铁铜矿床类比,铁铜矿床属典型的“多因复成”和“同位成矿”矿床类型^①。

稀土元素作为具有相同或相近的电价和离子半径以及相似地球化学行为的元素组,其在岩浆作用体系中矿物或矿物-熔体之间的分配行为主要受晶体场控制,因而,长期以来被广泛应用于与岩浆作用有关的成岩成矿地球化学过程的示踪。相对而言,由于流体中稀土元素的含量极低,导致人们对流体中及流体-岩石反应过程中的稀土元素地球化学行为及其对地球化学过程示踪意义的研究显得较为薄弱(丁振举等,2000)。但是近年来,有关现代海底热液系统的流体及其富含金属的化学沉积物稀土元素地球化学特征的大量研究资料揭示,全球范围内具不同构造背景、围岩类型的 8 个洋脊热液系统高温流体的稀土元素组成,除稀土元素含量变化较大外,具有极为类似的 REE 配分模式,即 LREE 富集、高的正 Eu 异常(Michard,1989;Klinkhammer et al,1994;Mills et al,1995)。对古代火山成因块状硫化物和铁建

① 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告.(内部资料).

造等化学沉积物的研究也表明其具有与现代海底热液系统相似的稀土元素地球化学特征(Graf, 1977; Lottermoser, 1989; Fryer, 1983; Bau et al., 1993; Klein et al., 2002)。尽管目前人们对现代海底热液系统流体的稀土元素组成及配分模式的关键控制因素尚存在争议,但其普遍一致的独特的地球化学特征为应用稀土元素追踪古代热水流体成矿作用过程、鉴别矿床成因等提供了强有力的约束条件。

如前所述,乔夏哈拉-托斯巴斯陶一带铁铜矿床中的含铜磁铁矿矿石的稀土元素组成及配分模式与富铜矿石迥然不同,反映两者成因上可能不同。含铜磁铁矿矿石的稀土元素组成与蒙库磁铁矿矿石和阿舍勒块状黄铁矿矿石类似,都具有低 Σ REE、富轻稀土元素及正铈异常等特点,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极其相似,反映出乔夏哈拉式含铜磁铁矿矿床的火山成因属性。块状富铜矿石具有异常富集轻稀土元素、配分曲线向右倾陡的特点,这对火山成因块状硫化物矿床来说是极为罕见的。因此,从矿石稀土元素地球化学特征来看,将乔夏哈拉式富铜矿体的成因归属于塞浦路斯型块状硫化物矿床是不合适的。从地质上看,乔夏哈拉铁铜矿床中的富铜矿体主要产于东矿段(科克库都克),中、西矿段地表主要为磁铁矿矿体(图1),钻探揭示140 m以下出现铜矿体。另外,邓吉牛等^①有关东矿段的铜矿体、中矿段的含铜铁矿体的不同采矿中段的矿石品位的对比资料表明,从地表向深部,铜、金含量有增高变富的趋势。因此,铁铜矿化在空间分布上显示出总体具有“上铁、下铜”的分带特点。但是,从图2所示的东矿区两个地质剖面来看,铁、铜矿体的空间分布关系实质上比较复杂,既有铜矿体产于铁矿体之下者,也有铜矿体产于铁矿体之上者;相反,铜矿体的空间产出却与闪长玢岩脉的关系更为密切,铜矿体似乎都产于闪长玢岩脉与地层的接触带附近。另据,王登红新近在乔夏哈拉矿区采得的含铜石英脉矿石标本中发现有大量辉钼矿,从而显示出岩浆热液成矿的特点。因此,从目前的地质资料结合本文的稀土元素地球化学特征来看,富铜矿体的形成很可能与造山期中基性浅成岩浆作用有关。据此,初步认为,

乔夏哈拉式铁铜矿床的含铜磁铁矿矿体和块状富铜矿体可能并非“同生”成因关系,更可能是两期与不同构造岩浆活动有关的成矿作用在空间上的“同位叠生”关系。

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(郭介人等, 2000; 王登红等, 2001)。但是,也应该注意到,有些铁铜矿床中的铁、铜矿化就不是同生关系,而是“同位叠生”关系,如甘肃镜铁山铁铜矿床(毛景文等, 2003); 本文所研究的乔夏哈拉铁铜矿床可能也是一例,对于此类矿床的找矿勘查应加强对铁、铜矿化之间成因关系的研究,特别是其与造山期岩浆作用关系的研究。

References

- Bau M and Möller P. 1993. Rare earth element systematics of the chemically precipitated component in early Precambrian iron-formations and the evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 2239 ~ 2249.
- Chen R Y. 1995. Types and space-time distribution of copper-gold deposits in East Junggar, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 14(3): 228 ~ 234 (in Chinese with English abstract).
- Ding Z J, Liu C Q, Yao S Z, et al. 2000. Rare earth elements compositions of high-temperature hydrothermal fluids in sea floor and control factors [J]. *Advance in Earth Sciences*, 15(3): 307 ~ 312 (in Chinese with English abstract).
- Fryer B J. 1983. Rare earth elements in iron-formation [A]. In: Trendall A F and Morris R C, eds. *Iron-Formation: Facts and Problems* [C]. Amsterdam: Elsevier. 345 ~ 358.
- Graf J L. 1977. Rare earth element as hydrothermal tracers during the formation of massive sulfide deposits in volcanic rocks [J]. *Economic Geology*, 72: 527 ~ 548.
- Klein C and Ladeira E A. 2002. Petrography and geochemistry of the least altered banded iron-formation of the Archean Carajas formation, northern Brazil [J]. *Economic Geology*, 97: 643 ~ 651.
- Klinkhammer G P, Elderfield H, Edmond J M, et al. 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(23): 5105 ~ 5113.
- Lottermoser B G. 1989. Rare earth element study of exhalites within the Wilyama Supergroup, Broken Hill Block, Australia [J]. *Mineral Deposita*,

① 邓吉牛, 王军升, 廖启林. 2000. 布尔根矿带金铜找矿评价研究报告. (内部资料).

- 24: 92 ~ 99.
- Mao J W, Zhang Z C, Yang J M, et al. 2003. The metallogenic series and prospecting assessment of copper, gold, iron and tungsten polymetallic ore deposits in the west sector of the northern Qilian Mountains[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 157 ~ 242(in Chinese with English abstract).
- Mei H J, Yang X C, Wang J D, et al. 1993. The trace element geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the southern side of Ertix river and the evolutionary history of tectonic setting[A]. In: Tu Guangchi, ed. New improvement of solid geosciences in Northern Xinjiang[C]. Beijing: Science Press. 199 ~ 216(in Chinese with English abstract).
- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 745 ~ 750.
- Mills R A and Elderfield H. 1995. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound, 26° N mid-Atlantic Ridge [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(17): 3511 ~ 3524.
- Wang D H and Chen Y C. 2001. A preliminary study on the metallogenic series type of Fe-Cu-Pb-Zn ore deposits related to submarine volcanism and its origin[J]. *Mineral Deposits*, 20(2): 112 ~ 118(in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, et al. 2002. The metallogenic series and rules in Altay metallogenic province[M]. Beijing: Atomic Energy Press(in Chinese with English abstract).
- Wang J B, Qin K Z, Wu Z L, et al. 1998. Volcanic exhalative-sedimentary lead-zinc deposits in the southern margin of the Altay, Xinjiang[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Wu J R, Yu P S and Jia Q Z. 2000. Copper-poly-metallogenic series and prospecting perspective of iron-copper type deposits in marine volcanic-sedimentary formation area[J]. *Geology and Prospecting*, 36(6): 15 ~ 19(in Chinese with English abstract).
- Yuan W C. 1998. The discovery of high REE content in copper ores of Huashugou deposit[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(4): 464 ~ 465.

附中文参考文献

- 陈仁义. 1995. 新疆东准噶尔铜金矿床类型及其时空分布[J]. *矿床地质*, 14(3): 228 ~ 234.
- 丁振举, 刘丛强, 姚书振, 等. 2000. 海底热液系统高温流体的稀土元素组成及其控制因素[J]. *地球科学进展*, 15(3): 307 ~ 312.
- 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 2003. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价[M]. 北京: 地质出版社. 157 ~ 242.
- 梅厚钧, 杨学昌, 王俊达, 等. 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的微量元素地球化学与构造环境的变迁史[A]. 见: 涂光炽, 主编. 新疆北部固体地球科学新进展[C]. 北京: 科学出版社. 199 ~ 216.
- 王登红, 陈毓川. 2001. 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*, 20(2): 112 ~ 118.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社.
- 王京彬, 秦克章, 吴志亮, 等. 1998. 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.
- 郭介人, 于浦生, 贾群子. 2000. 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*, 36(6): 15 ~ 19.
- 袁万春. 1998. 桦树沟铜矿床铜矿石中高含量稀土的发现[J]. *矿物学报*, 18(4): 464 ~ 465.

REE geochemistry of Qiaoxiahala type Fe-Cu deposits in southern margin of Altay Mountains, Xinjiang, and its geological implications

YAN Sheng-hao¹, ZHANG Zhao-chong², WANG Yi-tian¹, CHEN Bai-lin³, ZHOU Gang⁴ and HE Li-xin⁴

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;

3 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 4 No.4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

Based on detailed geological field survey and systematic REE geochemical study, the authors have discussed the genetic relationship between the magnetite orebodies and massive copper-rich orebodies as well as its significance in the prospecting for Qiaoxiahala type Fe-Cu deposits in the southern margin of Altay Mountains, Xinjiang. It is concluded that the magnetite ore is distinctively different from the copper-rich massive ore in REE composition and distribution model. The former has Σ REE-poor, LREE-rich, and positive Eu anomaly, indicating that the ore-forming process was genetically related to submarine volcanism. The latter has unconventionally rich LREE with steep right-dipping REE distribution curves, suggesting that its generation might have been linked to shallow intermediate-basic orogenic magmatism. Therefore, the coexistence of the magnetite ore and the massive copper-rich ore resulted probably from the spatial superimposition of two stages of ore-forming processes related to different tectono-magmatic activities instead of from syngenetic relationship.

Key words: REE geochemistry, Fe-Cu deposits, VHS deposits, Qiaoxiahala, Altay Mountains

地学类核心期刊 2003 年影响因子

序号	刊名	影响因子 1*	影响因子 2**	影响因子均值
1	岩石学报	2.629	1.8803	1.4775
2	矿床地质	2.176	1.7353	1.3278
3	地质学报	1.767	-	-
4	地质论评	1.431	-	-
5	地球化学	1.344	1.1975	0.9830
6	岩石矿物学杂志	1.270	1.1583	0.7647
7	地质科学	1.254	1.1017	0.9437
8	第四纪研究	1.172	1.2925	1.0746
9	地球学报	1.030	0.8100	0.6867
10	地球科学进展	0.980	1.0430	0.9319
11	地学前缘	0.891	1.0216	1.1226
12	高校地质学报	0.841	0.6822	0.7257
13	地球科学	0.805	0.8642	0.8358
14	沉积学报	0.804	0.8416	0.7191
15	中国地质	0.756	0.6919	0.3962
16	地层学杂志	0.675	0.6491	0.6596
17	矿物学报	0.645	0.6244	0.4857
18	中国岩溶	0.610	0.8190	0.5699
19	现代地质	0.523	0.5677	0.4428
20	地质与勘探	0.512	0.5842	0.3605
21	古生物学报	0.478	0.2966	0.3654
22	水文地质工程地质	0.417	0.4855	0.3991
23	吉林大学学报(地球科学版)	0.404	0.4973	0.4983
24	地质科技情报	0.394	0.4202	0.4017
25	大地构造与成矿学	0.341	0.3456	0.4065
26	成都理工大学学报(自然科学版)	0.323	0.3529	0.3260
27	矿物岩石	0.303	0.3514	0.3205
28	地质地球化学	-	0.4183	0.4078

核心期刊根据北京大学出版的《中文核心期刊要目总览》(2004 版)。* 据 2004 版《中国科技期刊引证报告》,其中收入 2003 年 1576 种中国科技期刊。** 据 2004 版《中国学术期刊综合引证报告》,其中收入 2003 年出版的中文期刊 5716 种;影响因子均值 = (2001 年影响因子 + 2002 年影响因子 + 2003 年影响因子) ÷ 3。“-”为未统计。