

内蒙黄岗梁矽卡岩型铁锡矿床稀土元素地球化学*

王莉娟^{1,2} 王京彬^{1,2} 王玉往^{1,2} 岛崎英彦¹

WANG LiJuan^{1,2}, WANG JingBing^{1,2}, WANG YuWang^{1,2}, Hidehiko SHIMAZAKI¹

1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿物资源中心, 北京 100101

2. 有色北京矿产地质研究所, 北京 100012

1. *Research Center for Mineral Resources Exploration, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

2. *Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China*

2001-11-18 收稿, 2002-08-13 改回.

Wang LJ, Wang JB, Wang YW and Shimazaki H. 2002. REE geochemistry of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 575—584

Abstract The Huanggangliang deposit is the large Fe-Sn paragenetic one in northern China. The REE geochemistry of strata, altered rocks, ore-hosting skarn and garnet from various orebodies indicates that the comprehensive process of magma, magmatic water, wall rocks and especially meteoric water is responsible for metallization. The contribution of magmatism to metallization tends to increase toward intrusive, but the contribution of strata and meteoric water to metallization tends to increase away from intrusive. The effect of meteoric water on metallization tends to be intensified from barren ore to rich ore. In the late stage, magmatic hydrothermal process was superimposed on metallization. The various REE patterns symbolize the multi-source of fluid and multi-phase metallization. The REE patterns are the magmatic hydrothermal characteristics in Sumugou Cu-Pb-Zn deposit. The result of REE geochemistry primarily establishes the REE pattern model for the type of Huanggangliang skarn deposit.

Key words Huanggangliang, Skarn, REE distribution pattern

摘要 黄岗梁矿床是我国北方唯一的一处锡铁共生大型矽卡岩型矿床, 苏木沟是黄岗梁矿床 NE 向延伸的铜铅锌矿点。黄岗梁矿床围岩、蚀变围岩、赋矿矽卡岩以及不同矿体石榴子石稀土元素的总特征体现了岩浆和岩浆水、围岩和大气降水对成矿的综合影响。靠近岩体则较多地体现了岩浆和岩浆热液作用; 远离岩体则围岩地层和大气降水作用增强; 从贫矿体-富矿体, 从早阶段到晚阶段, 大气降水对成矿的贡献增大, 晚期又叠加了岩浆和岩浆热液成矿作用。黄岗梁铁锡矿床的 REE 配分曲线类型多样、变化较大, 充分显示了成矿流体的多来源和多期次叠加成矿的稀土元素特征。苏木沟铜铅锌矿点具有岩浆热液稀土元素特征。稀土元素的研究初步建立了华北北缘黄岗梁式矽卡岩型矿床稀土元素配分模式。

关键词 黄岗梁; 矽卡岩; REE 配分曲线

中图法分类号 P618.31; P618.44; P611.13; P595

1 引言

稀土元素是探索地质地球化学过程的示踪剂。目前, 已经发表了一些有关矽卡岩矿床和矽卡岩矿物的稀土元素地

球化学研究报告(凌其聪等, 1998; 张建, 1998; 曾志刚等, 1999; 潘家永等, 2000; 李宏兵等, 1997; 邱瑞龙, 1987; 陈骏等, 1994; 韩松等, 1993; 吴言昌, 1992; 赵一鸣等, 1990), 但一般缺乏系统性和稀土元素特征成因上的探讨。详细的 O、H 同位素研究表明, 在岩浆次固相冷凝过程中, 存在着早期岩

* 本项工作由中科院 KZCX1-07 课题和 2001cb409806 项目联合资助。

第一作者简介: 王莉娟, 女, 1948 年生, 研究员, 流体地球化学专业。

浆流体和晚期大气降水活动的叠加(Wei L, 2000; Wei L, 2002)。黄岗梁矿床是我国北方唯一一处铁、锡共生的大型砂卡岩型矿床,前人对黄岗梁矿床地质特征已经进行了一些研究(如内蒙古自治区第三地质大队,1992^①;赵一鸣,1997),但对于黄岗梁矿床蚀变围岩、岩体、矿体、砂卡岩矿物等稀土元素的研究还属空白,导致对矿床成矿物质来源、成矿机理的研究还缺乏有力的证据。本研究针对这一薄弱环节,对黄岗梁矿床外围玄武安山岩、角岩和绿色砂卡岩及富矿体砂卡岩、贫矿体砂卡岩、石榴子石单矿物、锡石单矿物及NE向延伸的苏木沟铜铅锌矿点砂卡岩进行了系统的稀土元素地球化学分析,并结合已有的文献资料对黄岗梁矿床REE分布曲线多变的原因等进行了探讨,进而尝试揭示黄岗梁式砂卡岩矿床成因,建立该类型矿床稀土配分模式。

2 地质概况

黄岗梁矿床位于内蒙东部、大兴安岭成矿带南西端,矿区出露地层从下到上为下二叠统青凤山组、大石寨组、黄岗梁组,地层走向东北,倾向北西。黄岗梁和苏木沟砂卡岩型贱金属矿床顺层分布于黄岗梁组底部以上的钙质沉积层中。该区被侏罗纪玄武安山岩覆盖,并有燕山期花岗岩侵入。

黄岗梁砂卡岩型铁锡矿床共分为七个矿区,其中Ⅱ矿区1[#]-4[#]铁矿体和Ⅲ矿区锡矿体是本次研究的主要对象。Ⅱ矿区1[#]-4[#]铁矿体由砂卡岩带内孤岛状分布的含磁铁砂卡岩透镜体组成,砂卡岩透镜体成串成带连续分布,砂卡岩带长约2公里,宽十几米到100米,北东向顺层展布,矿体产在该砂卡岩带透镜体中。其中南西端的1[#]铁矿体与骆驼场梁花岗岩岩基相接,离岩体最近,向NE方向依次为2[#]、3[#]、4[#]铁矿体,逐渐远离岩体。该铁矿体以采磁铁矿为主,矿体内虽含有相当可观的锡,但多呈吸附态存在,目前不能回收,因此人们一般称其为铁矿体;Ⅲ矿区锡矿体分布在4[#]铁矿体北东3公里处,砂卡岩透镜体被许多伟晶岩、细晶岩墙以及围绕岩墙产出的锡石英长石脉穿切,白砬子燕山期花岗岩体位于该矿体北西,它们之间密切的空间关系表明花岗岩基与矿体有成因关系,该矿体的大量磁铁矿等有用矿物可以回收,但以产锡石为特色,一般称其为锡矿体(图1);苏木沟矿点产在Ⅲ矿区锡矿体NE约2.5公里处,透镜状砂卡岩中含块状磁铁矿、浸染状贱金属硫化物方铅矿、闪锌矿等。该矿点地表未出露岩体,它的北西端分布有厚层的侏罗纪长英质火山岩,推测苏木沟矿区深部有类似于黄岗梁矿床的中酸性岩浆房。黄岗梁矿床从南西到北东依次为Ⅱ矿区的1[#]-4[#]铁矿体、Ⅲ矿区锡矿体以及苏木沟铜铅锌矿点。

本区蚀变及砂卡岩有明显的分带性,从围岩-砂卡岩矿体,可依次分为硅化围岩、角岩、绿色砂卡岩、贫矿砂卡岩、富矿砂卡岩等。矿体矿石矿物复杂,已查明矿石矿物50余种,其中主要金属矿物有磁铁矿、锡石、白钨矿、锡酸矿等,锡酸矿是锡的主要载体矿物之一,呈锡酸凝酸体分散在磁铁矿、

石榴子石、辉石、角闪石矿物中(赵一鸣等,1997),锡石是锡的另一主要载体矿物,主要出现在晚期岩浆热液叠加阶段。磁铁矿产于砂卡岩中。在横向上由近矿-远矿,砂卡岩可分为石榴子石砂卡岩-辉石石榴子石砂卡岩-石榴子石辉石砂卡岩和辉石砂卡岩。

3 样品的制备和分析方法

样品取自黄岗梁矿床的远、近矿围岩;白砬子花岗岩体和岩脉、锡石矿脉、锡石;不同矿体砂卡岩;不同矿体石榴子石。将要测定的全岩样品先用蒸馏水清洗,再粉碎、缩分、研磨至200目以下的粉末备用。石榴子石和锡石单矿物样品先在双筒目镜下挑选出,再用1:1盐酸低温煮30分钟,清洗后用浓硝酸浸泡12小时,清洗烘干后与分析纯酒精一起在玛瑙研钵中研磨至200目以下的粉末备用。全岩和石榴子石样品前处理采用酸溶法,锡石样品采用碱溶法,采用ICP-MS仪器分析测试,以In作内标,分析精度可达 10^{-9} ,并以标准样品和重复测试的样品数据控制分析质量,分析工作在中科院矿物资源重点实验室完成。稀土元素组分见表1,REE分布曲线见图2~图5。

4 稀土元素分析结果和配分曲线特征

4.1 黄岗梁矿床与成矿有关的花岗岩、伟晶岩、细晶岩、石英锡石矿脉、锡石单矿物样品的稀土元素分析

样品取自Ⅲ矿区锡矿体及相关的白砬子花岗岩体。从表1和图2中2-a可以看出,花岗岩、细晶岩脉的REE分布曲线极相似,以略富集轻稀土和强烈Eu亏损的折线型曲线 $[(La/Ce)_n \leq 1]$ (赵振华,1997)为特征。这种REE曲线与具有四分组效应的华南富锡花岗岩的REE曲线类似,反映了该花岗岩源于上地壳重熔,经过强分异演化形成富锡花岗岩(赵斌等,1999)。石英锡石矿脉与花岗岩的稀土配分曲线有明显的变异,如锡石矿脉比花岗岩的REE总量低、并强烈富集轻稀土,重稀土亏损、Eu负异常变小、Ce从正异常向负异常转变等,这是由于它们携稀土元素的矿物发生了很大变化。根据野外锡石石英长石矿脉与花岗岩和岩脉密切的产出环境,它们的REE曲线反映了从岩浆到热液流体过渡和转变过程中REE元素的特征。矿脉中锡石的稀土分布曲线(2-b图)具有轻微的Eu正或负异常、轻稀土强烈富集。据Ce、Eu的特殊性质及它们在不同的氧化-还原条件下的价态变化,Ce从正异常向负异常演化、Eu从负异常向正异常演化意味着成矿环境向氧化转化,富集轻稀土则表明成矿物质的地壳来源和以Cl⁻的络合物形式迁移(赵振华,1997;赵斌,1999)。显示了黄岗梁矿床岩体和其中锡的地壳来源及相

① 内蒙古地矿局第三地质队,1992. 黄岗梁矿床地质勘探报告

表1 黄岗梁矿床岩体、矿体、锡石、石榴子石砂卡岩稀土元素组分($\times 10^{-6}$)

Table 1 The REE constituents of rocks, orebodies, cassiterites and garnets skarn from Huanggangliang deposit

样号	采样位置	岩性描述	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	(La/Lu) _n	Eu/Eu [*]
w19801	白磁子岩体	花岗岩	81.99	116.10	75.35	62.70	45.84	1.17	35.20	37.03	35.94	33.86	35.80	38.95	40.24	38.31	678.47	1.21	0.06
w19802	白磁子岩体	伟晶岩	189.72	166.58	128.57	95.07	70.07	4.35	58.03	60.93	60.86	57.03	60.96	64.69	65.65	60.06	1142.6	1.28	0.39
w19803	白磁子岩体	细晶岩	40.02	77.13	36.47	35.21	20.48	1.40	15.72	21.16	23.77	23.51	26.71	29.48	31.14	26.93	409.13	1.12	0.15
w19804	黄岗锡矿体	花岗岩脉	34.24	23.07	25.22	17.35	15.21	5.63	11.18	8.46	6.57	5.25	4.63	3.89	3.52	3.10	167.33	3.12	0.58
w19805	黄岗锡矿体	锡石	1.61	2.37	0.05	0.20	0.06	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	4.43	55.85	0.24
w19806	黄岗锡矿体	锡石	0.57	0.99	0.07	0.19	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	1.90	29.45	0.36
wy9801	安乐矿床	锡石	1.49	2.68	0.31	1.57	0.32	0.08	0.28	0.08	0.70	0.20	0.74	0.13	0.86	0.15	9.58	1.07	0.26
wy9802	安乐矿床	锡石	0.24	0.39	0.05	0.23	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.14	0.05	1.26	0.50	0.29
wy9803	安乐矿床	锡石	0.89	1.70	0.17	0.53	0.07	0.01	0.05	0.01	0.06	0.02	0.08	0.03	0.26	0.09	3.95	1.00	0.19
980608-2	锡矿南	新鲜安山岩	14.56	34.79	4.73	21.00	5.30	2.05	5.71	0.82	5.07	1.03	2.82	0.43	2.96	0.43	101.70	3.63	1.03
w1980704	4"山头	蚀变安山岩	25.28	61.90	9.14	44.65	12.01	3.78	13.10	1.90	11.21	2.35	6.21	0.84	5.60	0.81	198.78	3.34	0.99
w1980707	3"南山头	蚀变安山岩	6.79	17.32	2.63	13.06	3.65	1.47	4.27	0.69	4.26	0.92	2.58	0.38	2.66	0.40	61.08	1.82	1.03
980614-2	锡矿南	硅化安山岩	12.49	26.52	3.3	13.64	2.93	0.91	2.95	0.39	2.36	0.47	1.3	0.18	1.32	0.18	68.94	7.43	0.99
980802-1	大石寨组	安山岩	6.56	15	2.07	9.79	2.77	0.83	3.4	0.56	3.56	0.8	2.44	0.37	2.51	0.39	51.05	1.80	0.96
w1881101	3"边	角岩	17.3	39.4	5.1	20.9	4.5	1	4.7	0.7	4.2	0.9	2.6	0.4	2.4	0.4	104.5	4.63	0.89
w1880916	4"铁矿体边	角岩	8.29	21.4	3.32	14.84	3.92	0.62	4	0.64	4.01	0.92	2.64	0.4	2.78	0.42	68.2	2.11	0.75
w1880303A	锡矿	绿砂卡岩	61.15	162.9	23.49	96.95	25.54	1.29	25.74	4.37	27.69	6.05	18.42	3.11	23.49	3.53	483.72	1.86	0.58
w1880914	4"铁矿体	绿砂卡岩	12.96	21.59	3.2	13.2	3.21	0.86	3.46	0.5	3	0.64	1.74	0.25	1.59	0.22	66.42	6.31	0.99
w1980808-1	大石寨组	枕状玄武岩	6.41	14.66	2.05	9.63	2.67	0.84	3.32	0.55	3.64	0.81	2.37	0.35	2.42	0.37	50.09	1.86	0.94
w1880603	1"铁矿体	绿砂卡岩	19.71	43.07	5.56	22.42	4.45	0.82	3.97	0.68	3.88	0.77	2.24	0.36	2.39	0.35	110.67	6.03	0.89
w1880708	2"铁矿体	绿砂卡岩	28.46	45.92	5.99	23.04	4.26	1.89	4.11	0.67	3.76	0.73	2.03	0.31	1.98	0.29	123.44	10.51	1.05
w1880702	1"铁矿体	富铁砂卡岩	15.13	45.75	4.80	19.09	5.21	0.23	4.97	0.93	5.55	1.04	3.25	0.61	4.94	0.93	112.43	0.39	1.74
w1880608	1"铁矿体	贫铁砂卡岩	17.26	37.81	5.78	25.96	8.38	1.25	10.49	2.22	14.96	3.12	10.16	1.72	10.30	1.17	150.58	0.75	1.58
w1880706	2"铁矿体	富铁砂卡岩	7.54	29.68	6.55	32.15	6.75	0.98	4.48	0.68	3.71	0.69	2.09	0.36	2.28	0.31	98.25	0.89	2.60
w1880708	2"铁矿体	贫铁砂卡岩	28.46	45.92	5.99	23.04	4.26	1.89	4.11	0.67	3.76	0.73	2.03	0.31	1.98	0.29	123.44	1.12	10.51
w1881125	3"铁矿体	富铁砂卡岩	9.68	16.42	2.45	9.58	1.76	1.09	1.61	0.26	1.41	0.27	0.69	0.12	0.66	0.09	46.09	1.34	11.52
w1881120	3"铁矿体	贫铁砂卡岩	11.42	26.15	3.77	15.68	3.14	0.63	3.06	0.52	3.07	0.63	1.83	0.29	1.89	0.29	72.37	0.82	4.22
w1880907	4"铁矿体	富铁砂卡岩	3.69	5.46	0.94	3.65	0.71	0.27	0.80	0.11	0.70	0.17	0.45	0.06	0.40	0.06	17.47	1.10	6.59
w1880914	4"铁矿体	贫铁砂卡岩	12.96	21.59	3.20	13.20	3.21	0.86	3.46	0.50	3.00	0.64	1.74	0.25	1.59	0.22	66.42	0.95	6.31
w1880407	锡矿体	富锡石	4.06	13.95	2.62	10.69	2.19	0.78	2.07	0.27	1.46	0.29	0.78	0.12	0.81	0.12	40.24	1.01	3.62
w1880302	锡矿体	贫锡石	317.91	909.70	108.57	364.00	65.67	2.18	47.02	7.29	42.26	8.42	25.87	4.79	39.94	6.32	1949.9	0.89	5.39
w1980801-4	苏木沟	砂卡岩	3.07	17.13	4.68	30.96	11.28	3.48	10.48	1.57	8.47	1.53	3.91	0.57	3.73	0.44	101.30	1.00	0.75
w1880216	苏木沟	砂卡岩	11.72	20.14	2.56	9.69	1.67	0.97	1.51	0.20	1.18	0.25	0.68	0.10	0.68	0.10	51.45	1.22	12.55
880608-B	1"铁矿体	贫磁铁矿	1.79	7.33	1.66	9.69	4.01	0.94	6.52	1.44	9.87	2.04	7.35	1.22	7.80	1.00	62.62	0.19	0.81
WL880621	1"铁矿体	晚期无矿	0.14	0.57	0.24	1.97	1.44	0.81	2.38	0.41	2.79	0.61	1.75	0.24	1.54	0.22	15.12	0.07	1.40
w1081912	2"铁矿体	贫磁铁矿	2.21	6.01	1.28	7.80	3.40	0.65	3.60	0.65	4.08	0.73	2.19	0.36	2.32	0.35	35.62	0.68	0.75
w1881108	3"铁矿体	中期互层	3.23	9.12	1.30	7.56	3.26	0.61	3.62	0.66	3.54	0.72	2.09	0.32	2.39	0.39	38.78	0.89	0.78
WL081913	3"铁矿体	晚期胶结	3.72	11.13	1.86	8.90	2.05	1.10	2.42	0.38	2.13	0.41	1.23	0.18	1.16	0.18	36.84	2.16	1.19
w1881115	3"铁矿体	早期黄色	1.23	4.41	1.72	11.97	5.34	0.86	6.10	1.18	6.63	1.23	3.99	0.62	4.42	0.77	50.47	0.17	0.76
WL880911	4"铁矿体	晚期胶结	5.18	10.72	2.28	13.32	5.50	3.23	4.46	0.72	3.99	0.81	2.37	0.34	2.09	0.35	55.33	1.60	1.27
hscisolot-8	4"铁矿体	贫磁铁矿	0.86	2.86	0.91	7.10	3.08	2.07	3.82	0.67	3.83	0.67	2.14	0.31	1.61	0.25	30.17	0.37	1.22
082609-B	锡矿体	早期棕色	1.97	8.75	2.01	13.24	5.15	1.23	7.18	1.61	11.04	2.41	8.48	1.56	10.21	1.21	76.04	0.17	0.86
082609-G	锡矿体	晚期绿色	2.02	11.05	3.23	17.89	3.02	0.93	2.22	0.24	0.95	0.14	0.37	0.04	0.23	0.03	42.36	6.99	1.05
980801-3	苏木沟	贫磁铁矿	7.54	63.48	12.06	44.97	3.78	10.99	2.43	0.18	0.58	0.09	0.34	0.03	0.16	0.03	146.64	29.90	1.83
WL082314	苏木沟	贫磁铁矿	4.49	7.27	1.20	4.16	0.61	0.81	0.76	0.10	0.51	0.11	0.33	0.04	0.20	0.03	20.62	15.50	2.39

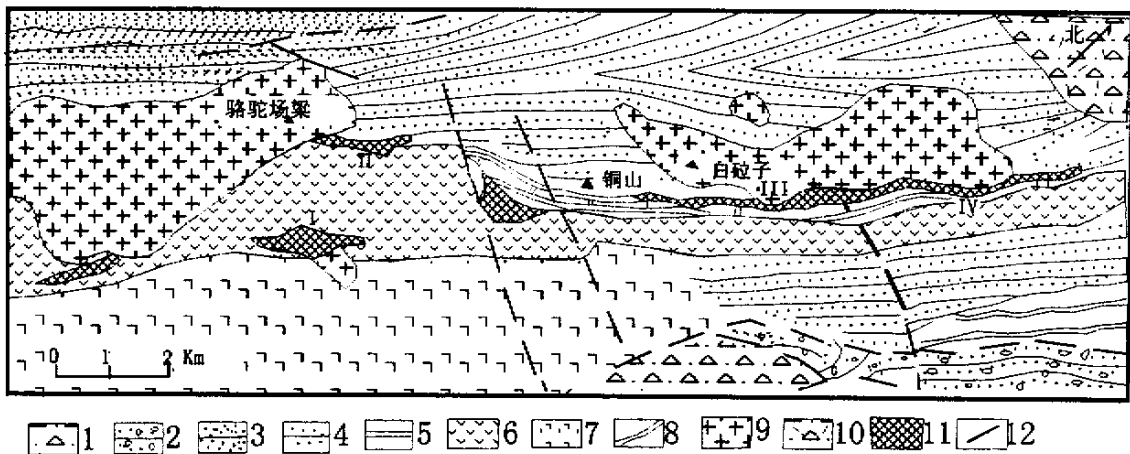
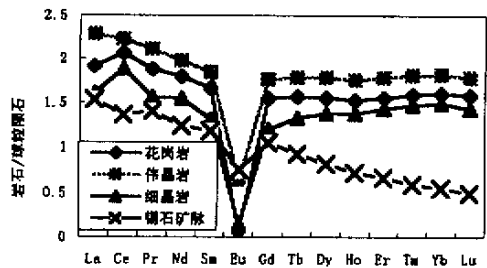


图1 黄岗梁铁锡矿床地质简图(据内蒙古地矿局第三地质队资料改编)

Fig. 1 The geology diagrammatic map of Huanggangliang Fe-Sn Deposit



2-a 花岗岩体、岩脉和锡石矿脉REE配分曲线

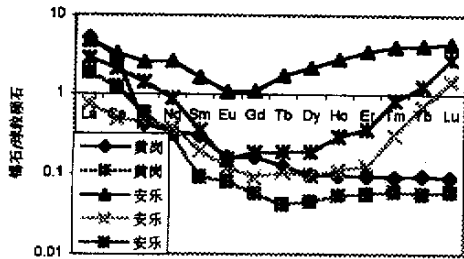
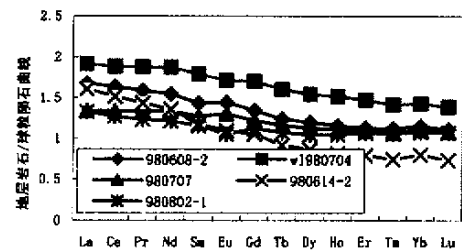


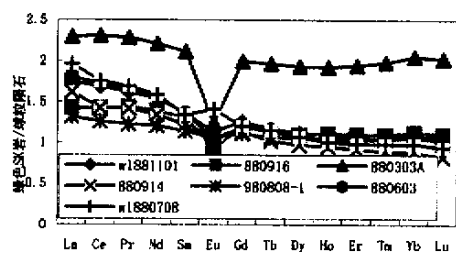
图2-b 黄岗梁、安乐矿床锡石REE配分曲线

图2 花岗岩体、岩脉、矿脉和锡石的REE配分曲线

Fig. 2 The REE distribution pattern of granite and veins and cassiterite in Huanggangliang deposit



3-a 黄岗梁矿床远矿体围岩地层REE配分曲线



3-b 黄岗梁矿床近矿体围岩地层REE配分曲线

图3 黄岗梁铁锡矿床REE配分曲线图

Fig. 3 The REE patterns in Huanggangliang deposit

对氧化的成矿环境及锡以 Cl^- 的络合物形式迁移的特征。图 2-b 中黄岗梁矿床锡矿脉锡石与安乐矿床锡石的 REE 配分曲线明显不同, 安乐矿床与黄岗梁矿床在同一成矿域内, 属岩浆热液脉型锡铜矿床, 它的锡石 REE 曲线均富集 Yb, 亏损中稀土, 曲线近似呈 U 型。这种锡石 REE 曲线特征上的差异, 表明该两个矿床的成矿条件、石榴子石成分等均不同 (王国政, 1997; Wang et al., 2001), 进一步说明稀土元素特征确实能够反映矿床成因的差别, 在矿床成因研究中有重要

的指示作用。

4.2 黄岗梁矿床围岩、矿体砂卡岩、石榴子石单矿物稀土元素分析

图 3 中 3-a 为远矿体硅化围岩的 REE 分布曲线, 包括大石寨组玄武安山岩和黄岗梁矿床 3[#] 铁矿体、4[#] 铁矿体、锡矿体外围的安山岩与钙质砂页岩互层样品。该图显示了它们的 REE 分布曲线基本为右倾平滑的直线型或过渡型曲线

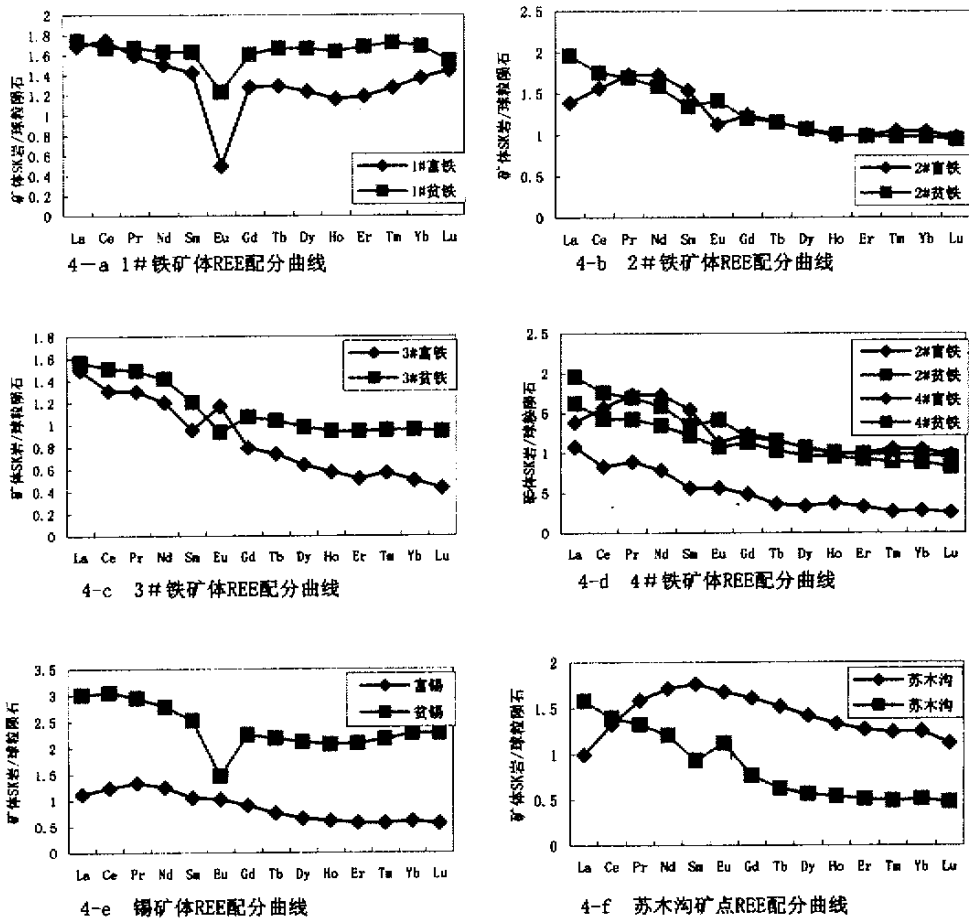


图 4 黄岗梁矿床矿体 SK 岩 REE 配分曲线图

Fig. 4 The REE distribution pattern of the orebody skarn in Huanggangliang deposit

[(La/Ce)_n ≈ 1] (赵斌, 1999), 具有轻微的 Eu 正或负异常和略富集轻稀土及低的稀土总量。该图上相对较新鲜的安山岩 (样号: 608-2) 与其邻近的硅化较强的安山岩 (样号 614-2) 相比, 硅化安山岩 REE 总量降低并明显地亏损重稀土。据全岩样品 XRF 分析, 硅化较强安山岩中铁镁等元素大量减少^①。流失的稀土元素 (特别是重稀土元素) 可能是安山岩在硅化过程中与铁镁等成矿物质一起进入了地下循环热液系统, 这对成矿有重要的指示意义。从硅化安山岩 → 含锡花岗岩, 轻稀土减少, 重稀土增加, 也反演出含锡花岗岩的起源和演化, 与桂北 BT 锡矿有一定相似之处 (毛景文, 1987)。

图 3-b 是近矿体围岩样品的 REE 分布曲线, 包括矿体周围的蚀变钙质砂岩、角岩及与矿体相接触的绿色砂卡岩 (主要由斜长石、单斜辉石组成, 产于主砂卡岩与铝质围岩如页岩、砂岩、凝灰岩的接触带上的绿色的砂卡岩)。它们的 REE 配分曲线与远矿体围岩地层的较新鲜的枕状玄武岩及安山岩 (如图 3-a 中样号 802-1, 808-1) 相比, 其轻、重稀土的分馏和 Eu 异常变强烈, 且从硅化安山玄武岩-角岩-绿色砂

卡岩, REE 总量增加, Eu 亏损强烈, 特别是近锡矿体的绿色砂卡岩 (样号: 303A) 的稀土配分曲线已类似于花岗岩和脉岩的 REE 配分曲线 (图 2-a), 体现了花岗岩体对蚀变和矿化的控制作用。

图 4 中 4-a 为 II 矿区 1# 铁矿体 (与花岗岩体相接触的矿体) 砂卡岩的 REE 分布曲线 (图中 1# 富铁为 1# 铁矿体中富矿体砂卡岩, 1# 贫铁为 1# 铁矿体中贫矿体砂卡岩, 以下类推)。该矿体的贫矿体和富矿体 REE 分布曲线与花岗岩的 REE 配分曲线 (图 2-a) 在形态上均十分相似, 具有强烈的 Eu 亏损和略富集轻稀土的特征, 表明 1# 铁矿体砂卡岩的形成受花岗岩的强烈控制 (可能有花岗岩浆的参与), 但 REE 总量降低, 尤其是富矿体降的更低, 体现了大气降水叠加成矿的特征, 大气降水叠加成矿的同时也使携稀土元素的矿物蚀变, 造成稀土元素的大量流失。

① 王莉娟等. 2001. 黄岗梁砂卡岩型铁锡矿床成矿作用研究报告

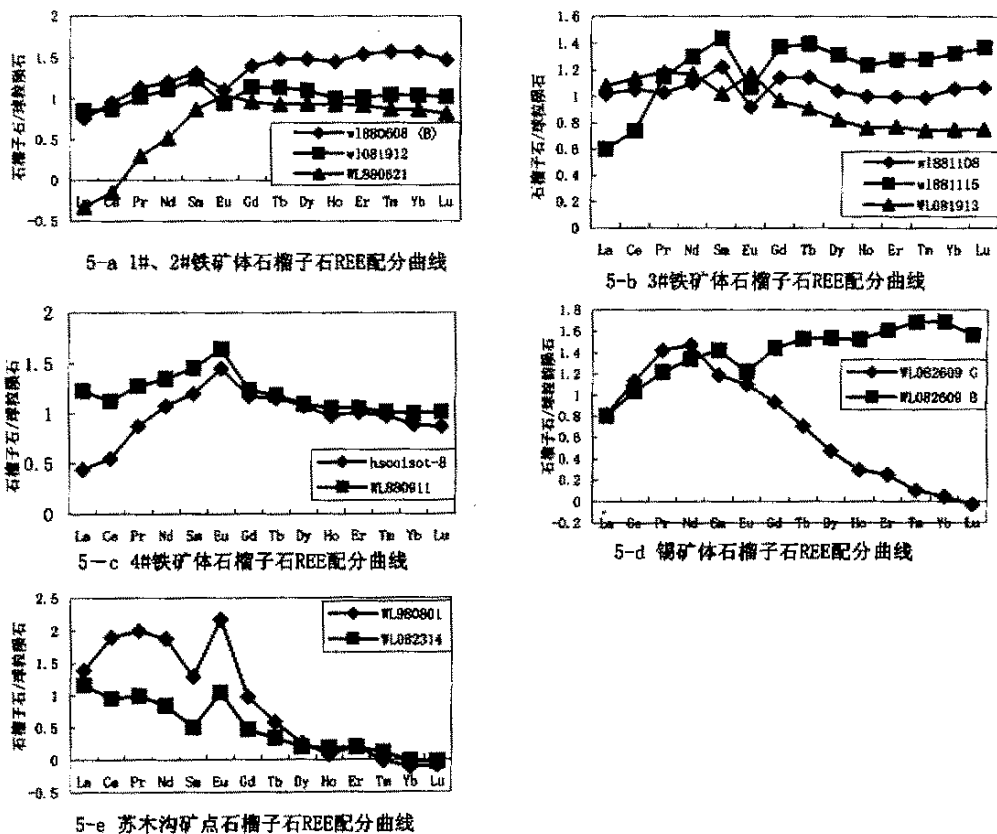


图5 石榴子石 REE 配分曲线图

Fig. 5 The REE distribution pattern of the garnets

图 4-b、4-c、4-d、4-e、4-f 的 REE 配分曲线分别是 2[#]、3[#]、4[#] 铁矿体和 III 矿区锡矿体及苏木沟矿点砂卡岩 REE 分布曲线。REE 配分图显示，从靠近花岗岩体的 1[#] 铁矿体砂卡岩到渐次远离花岗岩体的 2[#]、3[#]、4[#] 铁矿体砂卡岩，从相对贫铁矿体的砂卡岩矿体到富铁矿体的砂卡岩矿体，砂卡岩 REE 总量降低并从类似于花岗岩 REE 配分曲线的负 Eu 异常、正 Ce 异常逐渐变为正 Eu 异常和负 Ce 异常。表明花岗岩体的控制和影响逐步减弱，围岩和大气降水的叠加成矿逐步深化，成矿逐渐向氧化环境演化。位于白砬子花岗岩体旁侧的锡矿体中贫矿体的 REE 曲线的形态和总量(4-e 图，样号：贫矿)与花岗岩体的 REE 类似(2-a 图)，可以认为花岗岩浆在早期参与了成矿作用。富矿体的 REE 总量降低，Eu 亏损消失，体现了大气降水带来成矿物质的进一步叠加成矿。这样的 REE 分布曲线变化规律显示了花岗岩与围岩、岩浆热液和大气降水对黄岗梁铁、锡矿体的多重控制作用。

4.3 石榴子石稀土元素分析

图 5 中 5-a 是 1[#] 铁矿体(608-B, 621)和 2[#] 铁矿体(912)中石榴子石的 REE 分布曲线。其中 621 样品是产于切割 1[#] 铁矿体的晚期断裂裂隙中的纯粗粒石榴子石(无矿化)。该图

显示 1[#] 与 2[#] 铁矿体 REE 分布曲线相似，都具有负 Eu 异常和轻稀土亏损、重稀土富集的曲线特征，与包含它们矿体的砂卡岩 REE 分布曲线截然不同(4-a、b 图)，是交代成因砂卡岩的稀土特征(赵斌等, 1999)。矿体中石榴子石的 REE 配分曲线富集重稀土，结合黄岗梁矿床铁矿体的产出环境及与前述及的围岩安山岩硅化后丢失的大量重稀土元素与铁镁成矿物质一起进入循环水的现象综合分析，表明成矿受到大气降水的影响，REE 和铁成矿物质主要来自围岩安山岩地层。出现石榴子石的 REE 配分曲线富集重稀土的砂卡岩矿床在我国还有柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿床(陈骏等, 1994)，个旧的 Sn 矿床等(韩松等, 1993)。产于切割 1[#] 铁矿体断裂裂隙中的晚期纯粗粒石榴子石(样号：621)的 REE 分布曲线具有轻微的正 Eu 异常，轻稀土强烈亏损，这种曲线可能代表了花岗岩体影响非常微弱的最晚期无矿的石榴子石 REE 曲线特征。II 矿区 NE 端的 4[#] 铁矿体中石榴子石的 REE 分布曲线(5-c 图)与它的形态有一定相似之处，表明晚期和远岩体矿体，随着花岗岩体作用的减弱和消失，矿化减弱并最终趋向于尖灭。反映了花岗岩体与围岩对成矿的作用是相互依存、相互制约、缺一不可的。这种 REE 曲线代表了最晚期无矿的石榴子石曲线特征。

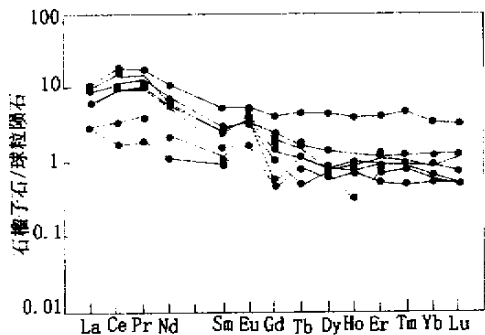


图 6 岩浆热液矿床石榴子石的 REE 配分曲线

Fig. 6 The REE Patterns of garnets from magmatic hydrothermal deposits

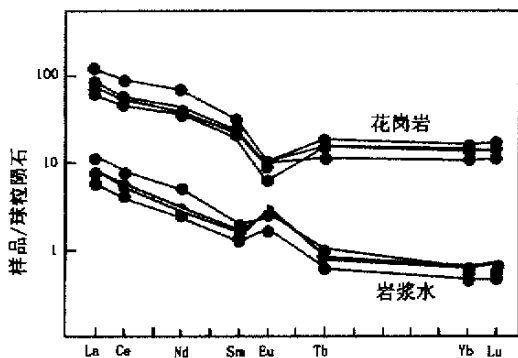


图 7 花岗岩和与之平衡的岩浆水的 REE 配分曲线

Fig. 7 The REE Patterns pattern of granet and the hydrothermal water that is balanced with granet

图 5-b 是 3[#] 铁矿体较早期的黄色石榴子石 (样号: 115)、稍晚的与磁铁矿互层的石榴子石 (样号: 108) 以及更晚的与磁铁矿共同胶结早期砂卡岩石榴子石 (样号: 913) 的 REE 分布曲线。从该图可以看出早期和较早期石榴子石 REE 曲线富集重稀土, 亏损轻稀土, Eu 为负异常, 与 1[#] 和 2[#] 铁矿体石榴子石 REE 分布曲线大体类似。但是与磁铁矿共同胶结早期磁铁矿与石榴子石的晚期石榴子石 REE 曲线富集轻稀土, 亏损重稀土, Eu 为正异常的折线型曲线, 这与日本的岩浆热液成因 Yoshiwara-Sannotake 砂卡岩矿床的石榴子石 REE 配分曲线特征非常相似 (图 6) (Yasuhiro Kato, 1999), 也符合与花岗岩浆平衡的岩浆水的 REE 配分曲线特征 (图 7) (Yasuhiro Kato, 1999)。这是黄岗梁矿床晚期岩浆热液成矿作用在铁矿体中的反映, 与野外地质观察和包裹体研究一致 (Wang LJ *et al.*, 2001; Wang LJ *et al.*, 2001; Wang LJ *et al.*, 2001)。

图 5-c 是 4[#] 铁矿体的两个石榴子石样品的 REE 分布曲线。其中 hscoisot-8 样品的曲线显示了轻稀土强烈亏损的以正 Eu 异常为峰的曲线特征, 与 1[#] 矿体断裂中无矿化纯石榴子石样品 (5-a 图, 621 样品) REE 曲线有一定相似之处, 是花岗岩体作用减弱的体现, 与 4[#] 铁矿体位于 II 矿区铁矿体的尾端, 矿体即将尖灭是一致的。880911 样品中的石榴子石与磁铁矿共同胶结较早的砂卡岩, 形成相对较晚, 它的 REE 分布曲线富集轻稀土, 相对亏损重稀土, Eu 为正异常, 有晚期岩浆热液叠加成矿的 REE 配分曲线特征 (Yasuhiro Kato, 1999)。

图 5-d 是锡矿体中的两种石榴子石的 REE 分布曲线, 其中棕色的石榴子石 (样号 609-B) 形成相对较早, 绿色的石榴子石胶结棕色的石榴子石, 形成相对较晚 (样号 609-G), 前者的 REE 曲线呈负 Eu 异常、富集重稀土, 大体上显示了与 II 矿区铁矿体类似的 REE 曲线特征, 推测与磁铁矿成矿相关, 而后者的 REE 曲线略呈正 Eu 异常、重稀土强烈亏损的折线型曲线, 是岩浆热液石榴子石 REE 曲线特征 (图 6) (Yasuhiro Kato, 1999), 这种曲线是锡矿体区别于铁矿体的特征性 REE 曲线, 也是锡来源于花岗岩浆热液的证据。石榴子石截然不同的两种 REE 曲线, 显示了锡矿体中铁及锡成矿流体的不同的来源和不同的环境。

图 5-e 中苏木沟矿点的石榴子石样品具有强烈的正 Eu 异常和富集轻稀土、亏损重稀土的折线型和过渡型 REE 配分曲线, 与日本的岩浆热液成因 Yoshiwara-Sannotake 砂卡岩矿床的石榴子石 REE 配分曲线 (图 3) (Yasuhiro Kato, 1999) 几乎一致, 表明苏木沟矿床成矿流体可能以岩浆热液为主 (Wang LJ, 2001)。

4.4 黄岗梁矿床稀土元素特征的归纳、总结

综观上述, 黄岗梁矿床花岗岩体、围岩、砂卡岩矿体及砂卡岩单矿物的稀土配分曲线表现了极大的差异, 也存在明显的规律性, 归纳于表 2、表 3:

从黄岗梁矿床岩体、围岩地层、矿体、石榴子石和锡石单矿物的稀土配分曲线特征和变化规律大致可以看出: 花岗岩体对围岩地层的蚀变、围岩地层中成矿物质的活化、迁移、富集有决定性作用, 铁矿体的成矿物质应主要来源于围岩地层; 贫磁铁矿矿体主要受岩体的影响及大气降水叠加, 富矿体是大气降水强烈、多次叠加和多种流体的叠加成矿; 岩浆热液晚期叠加成矿作用主要体现在锡的成矿, 锡矿体中两种石榴子石的稀土配分曲线明显地显示了这一特征; 靠近花岗岩体的 1[#] 铁矿体和锡矿体砂卡岩的 REE 曲线的形态和总量与花岗岩体 REE 曲线基本一致, 有岩浆参与成矿的迹象。

总之, 黄岗梁矿床石榴子石和矿体砂卡岩的 REE 配分曲线的多样性显示了多来源成矿流体的叠加成矿和综合影响。当岩体的作用减弱至消失时, 矿体趋向尖灭。

表2 黄岗梁矿床岩体、围岩、矿体矽卡岩稀土元素配分模式综合特征

Table 2 The REE patterns synthesis characteristics of garnet, wall rock and skarn orebodies from Huanggangliang deposit

	岩体岩脉	锡石 石英 长石 矿脉	围岩			铁矿体矽卡岩			锡矿体矽卡岩		苏木沟矿点矽卡岩	
			远矿围岩	近矿围岩	绿色矽卡岩	贫矿体	富矿体	1 [#] -4 [#] 铁矿体的变化规律	贫矿体	富矿体		
岩体、矿体REE曲线特征和意义	Eu/Eu*	强烈亏损	亏损	无亏损	略亏损	中-强亏损	亏损	略富集	从亏损向略富集	亏损	略富集	富集
	Ce异常	正异常	负异常	无	不明显	略正异常	略正或负	略负异常	从正向负转变	无异常	无异常	无异常
	轻重稀土特征	略富集轻稀土	富集轻稀土	略富集轻稀土	较富集轻稀土	略富集轻稀土	略富集轻稀土	不明显	向富集轻稀土转变	富集轻稀土	富集轻稀土	富集轻稀土
	ΣREE	高	降低	低	略增高	较高	较高	较低	从高向低	较高	低	
	成因意义	源于地壳重熔	源于花岗岩体	受岩体轻微影响	受到岩体影响	受到岩体强烈影响	岩体影响为主 大气降水相对为辅	大气降水强烈 叠加作用	岩体影响减弱,大气降水影响相对增强	岩体影响为主 大气降水相对为辅	大气降水强烈 叠加	

表3 黄岗梁矿床石榴子石、锡石稀土元素配分模式综合特征

Table 3 The REE patterns synthesis characteristics of garnets and cassiterites from Huanggangliang deposit

	Eu/Eu*	铁矿体矽卡岩				锡矿体矽卡岩		苏木沟矿点矽卡岩
		相对早期	稍晚期	晚期	最晚期无矿	相对早期	晚期	
石榴子石REE曲线特征	Eu/Eu*	亏损	向富集转变	富集	不明显	亏损	略富集	富集
	Ce异常	不明显	不明显	略正或负异常	略负异常	不明显	不明显	不明显
	轻重稀土特征	富集重稀土	重稀土相对减少	富集轻稀土	轻稀土强烈亏损	富集重稀土	重稀土强烈亏损	富集轻稀土
	ΣREE	相对高	相对减少	相对低	较低	相对高	较低	较低
	成因意义	大气降水成矿为主	叠加岩浆水成矿作用	岩浆水强烈叠加成矿作用	最晚无矿的大气降水成矿作用	大气降水成矿作用为主	岩浆水成矿作用为主	岩浆水成矿作用为主
锡石稀土元素曲线特征、意义	强富集轻稀土,轻微的Eu正或负异常,Ce异常不明显,重稀土平直。是岩浆流体向热液流体过渡的REE曲线特征。							

5 结论与讨论

从上述研究有以下结论与讨论:

(1) 据赵斌等(1999)的研究认为,交代成因矽卡岩的REE分布模式受岩体、碳酸盐和流体的控制,与石榴子石的

REE分布模式显著不同,由于岩体中的REE总量比地层中高出几倍甚至几十倍,因而交代成因矽卡岩的REE分布模式除REE总量降低外,几乎完全承袭了岩体的REE分布模式。黄岗梁矿床同一矿体中富矿矽卡岩和相对贫矿矽卡岩REE分布曲线大体上承袭了花岗岩的富集轻稀土和负Eu异常的REE模式特征,与主要成矿期的石榴子石的富集重稀土的REE模式明显不同。因此,本区矽卡岩主要体现了交代成因矽卡岩的特征。

(2) 黄岗梁矿床外围地层硅化蚀变安山岩与相邻的未蚀变或轻微蚀变的安山岩相比,REE 总量明显降低,且重稀土亏损。这种矿体外围围岩的 REE 总量和重稀土的亏损对成矿有重要的意义,它是矿体砂卡岩石榴子石强烈富集的重稀土的主要来源以及铁成矿物质主要源于围岩-玄武安山岩的重要证据之一;矿体外围的绿色砂卡岩与外围地层岩石相比,轻重稀土分馏和负 Eu 异常变明显,体现了花岗岩体对蚀变和成矿的影响。

(3) 锡矿体明显存在两种石榴子石 REE 配分曲线,其中富集轻稀土、Eu 为正异常的晚期石榴子石 REE 配分曲线显示了岩浆热液的成矿作用,是锡来源于花岗岩的证据之一。

(4) 黄岗梁矿床花岗岩体本身是地壳重熔改造的富锡岩体,该花岗岩是锡成矿的重要物质来源。

(5) 近岩体的 1[#] 铁矿体和锡矿体的 REE 配分曲线与花岗岩体和脉岩的 REE 曲线极相似,且 REE 总量高,表明了近岩体处的砂卡岩矿体可能有岩浆参与成矿。

(6) 从近花岗岩体的 1[#] 铁矿体及锡矿体向逐渐远离岩体的 2[#]-4[#] 铁矿体,相对早期砂卡岩的 REE 分布曲线从强的 Eu 负异常向弱负异常及至正异常演化,稀土总量逐渐降低;同一矿体相对贫矿的砂卡岩向富矿砂卡岩, Eu 的负异常向正异常演变,稀土总量降低。这种近岩体→远岩体、贫矿体→富矿体的系统变化意味着成矿环境从还原环境向氧化环境转化(赵斌等,1999)及大气降水成矿作用逐渐加强,意味着本区大气降水带来的成矿物质的进一步叠加使矿体变富的同时也使 REE 总量降低。

(7) 苏木沟铜铅锌矿点的矿体砂卡岩与石榴子石的 REE 配分曲线较多的反映了岩浆热液成矿的特征,是黄岗梁砂卡岩型矿床铜铅锌成矿的 REE 曲线特征。其深部是否存在砂卡岩型铁锡矿体,应进一步探讨。

黄岗梁矿床 REE 的总特征体现了岩浆与岩浆水和围岩与大气降水对成矿的综合影响,岩体和地层以及岩浆水和大气降水的共同作用和参与是形成黄岗梁大型砂卡岩型矿床的必要因素,与矿床其它研究基本一致(Wang LJ, 2001; Wang LJ, 2001; Wang LJ, 2001)。

本次黄岗梁矿床和苏木沟矿点稀土元素的研究建立了黄岗梁式砂卡岩矿床多阶段,多来源,多成因成矿的较完整的稀土配分模式,对于揭示该类型砂卡岩矿床的成矿物质来源,成矿机理以及成矿预测研究有重要的借鉴作用。

致谢 日本鹿儿岛大学志贺美英教授曾协助野外和部分室内工作,刘建明研究员对本文提出了宝贵的修改意见,以及对所有帮助过本项工作的人致谢。

References

Chen Jun, Halls C, Stanley C J. 1994. The distrybutive feature and meaning of main rock-formation mineral of W, Sn, Mo, Bi

skarn-deposit from Shizhuyuan area. *Geochimica*, 23(sup.):84-92 (in Chinese with English abstract)

Gressey G. 1987. Skarn formation between metachak and agglomerate in the central ring complex, Isle of Arran, Scotland. *Mineral Mag.*, 51(2):231-246

Han Song, Huang zhongxiang, Jia Xiuqin. 1993. The geochemistry feature of REE elements of calcareous skarn and garnet from Gejiu Damoshan, Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*, 9(2):192-197 (in Chinese with English abstract)

Li Hongbing, Wang Shijie, Li Chaoyang and Wen Jinming. 1997. REE and isotope(Sr,O) data for the evolution of ore-forming hydrothermal system; Evidence from the Baxi gold-skarn deposit in Songpan-Ganzi orogenic belt, Sichuan, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 412-421(in Chinese with English abstract)

Ling Qicong, Zhou Guibin, Huang Xuchen and Yan Yuqin. 1998. Mechanism and the characteristics of stratabound-type ore deposit. *Journal of Precious Metallic Geology*, 7(2): 91-95 (in Chinese with English abstract)

Mao Jingwen. 1987. On the characteristics of REE and its relationship with minerogenesis in BT tin mine, northern Guangxi autonomous region. *Journal of Hebei College of Geology*, 10(3): 273-287 (in Chinese with English abstract)

Pan Jiayong, Zhang Qian, Li Caoyang. 2000. REE geochemistry of the Yangla copper deposit in western Yunnan. *Acta Mineralogica Sinica*, 20(1):44-49(in Chinese with English abstract)

Qiu Ruilong. 1987. The REE elements geochemistry from copper-skarn deposit in copper mountain, Guichi. *Acta Geologica Sinica*, 61(1):91-100 (in Chinese with English abstract)

Wang Guozheng. 1997. Geological characteristics and genesis of the Anle tin-copper deposit, Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 16(3):260-271(in Chinese with English abstract)

Wang Lijuan, Shimazaki H, Wang Jingbin, Wang Yuwang. 2001. Ore-forming fluid and metallization of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit, Inner Mongolia. *Science in China (Ser. D)*, 44(8):735-747

Wang Lijuan, Shimazaki H, Shiga Y. 2001. Skarns genesis of the Huanggang Fe-Sn deposit, Inner Mogolia, China. *Resouce Geology*, 51(4):359-376

Wang Lijuan, Wang Jingbin, Wang Yuwang, Mao Qian. 2001. Fluid-melt inclusions in fluorite of the Huanggangliang skarn iron-tin deposit and their significance to mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 75(2):204-211

Wei L. 2002. Fluid-rock interaction during subsolidus microtextural development of alkali granite as exemplified by the Saertielieke pluton, Ulungur of the northern Xinjiang, China. *Chemical Geology*, 182: 473-482

Wei L. 2000. Two disequilibrium quartz-feldspar ¹⁸O/¹⁶O fractionations within the Aral granite batholith, Altay mountains of China; Evidence for occurrence of two stages of O and H isotopic exchange of a heterogeneous granite system with aqueous flu-

- ids. *Journal of Petrology*, 41(9): 1455–1466
- Wu Yanchang. 1992. The magma skarn — a new kind of skarn. *Anhui Geology*, 2(1):12–26(in Chinese with English abstract)
- Yasuhiro Kato. 1999. Rare earth elements as an indicator to origins of skarn deposits: examples of the Kamioka Zn-Pb and Yoshiwara-sannotake Cu(-Fe) deposits in Japan. *Resource Geology*, 49(4):183–198
- Zeng Zhigang, Li Chaoyang, Liu Yuping and Tu Guangzhi. 1999. Geology and geochemistry of metamorphogenic skarn from Laojunshan metallogenic province. *Acta Mineralogica Sinica*, 19(1):48–45 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jian. 1998. Geology features of rare earth elements in veined skarn in Funiushan copper mine of Nanjing. *Jiangsu Geology*, 22(1): 15–18 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Sicheng. 1990. Skarn deposits in China. Beijing: Geological Publishing House, 354 (in Chinese)
- Zhao Yiming, Zhang Dequan and Others. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions. Beijing: Seismological Press, 135–137 (in Chinese)
- Zhao Zhenhua. 1997. Trace Elements Geochemistry. Beijing: Science Press, 1–153 (in Chinese)
- 附中文参考文献**
- 陈骏, Halls C, Stanley C J. 1994. 柿竹园矽卡岩型钨锡钼矿床主要造岩矿物中 REE 的分布特征及成岩意义. *地球化学*, 23(增刊):84–92
- 韩松, 黄忠祥, 贾秀勤等. 1993. 云南个旧打磨山钙质矽卡岩及石榴石的稀土元素地球化学特征. *岩石学报*, 9(2):192–197
- 李宏兵, 王世杰, 李朝阳, 文锦明. 1997. 松潘-甘孜造山带中巴西金矽卡岩矿床成矿热液系统演化的(REE、Sr、O)证据. *矿物学报*, 17(4):412–421
- 毛景文. 1987. 桂北 BT 锡矿稀土元素特征及其与成矿的关系. *河北地质学院学报*, 10(3):273–287
- 凌其聪, 周贵斌, 黄许陈, 颜玉琴. 1998. “层控式”矽卡岩矿床特征及成矿机制—以铜陵大团山铜(金)矿床为例. *贵金属地质*, 7(2):91–95
- 潘家永, 张乾, 李朝阳. 2000. 滇西羊拉铜矿床稀土元素地球化学研究. *矿物学报*, 20(1):44–49
- 邱瑞龙. 1987. 贵池铜山铜矿矽卡岩稀土元素地球化学. *地质学报*, 61(1):91–100
- 王国政. 1997. 内蒙古安乐锡铜矿床地质特征成因. *矿床地质*, 16(3):260–271
- 吴言昌. 1992. 论岩浆矽卡岩—一种新类型矽卡岩. *安徽地质*, 2(1):12–26
- 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 涂光帜. 1999. 老君山矿区变质成因矽卡岩的地质地球化学特征. *矿物学报*, 19(1):48–55
- 赵斌, 赵劲松, 刘海臣. 1999. 长江中下游地区若干 Cu(Au)、Cu Fe(Au)和 Fe 矿床中钙质矽卡岩的稀土元素地球化学. *地球化学*, 28(2):113–125
- 赵一鸣, 林文蔚, 毕成思等. 1990. 中国矽卡岩矿床. 北京:地质出版社, 354
- 赵一鸣, 张德全等. 1999. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 地震出版社. 135–137
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学. 科学出版社, 1–153,
- 张建. 1998. 南京伏牛山铜矿脉状矽卡岩稀土元素地球化学特征. *江苏地质*, 22(1):15–18