

doi: 10.12029/gc20180605

秦燕, 王登红, 盛继福, 王岩. 2019. 中国不同类型钨矿床稀土元素地球化学研究成果综述[J]. 中国地质, 46(6):1300–1311.

Qin Yan, Wang Denghong, Sheng Jifu, Wang Yan. 2019. A review of research achievements on REE geochemistry of tungsten deposits in China[J]. Geology in China, 46(6):1300–1311 (in Chinese with English abstract).

中国不同类型钨矿床稀土元素地球化学研究成果综述

秦燕, 王登红, 盛继福, 王岩

(国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 钨矿的稀土元素地球化学可以反映成矿作用的条件和过程, 为矿床成因提供有效的信息。中国钨矿床稀土元素地球化学的研究硕果累累, 从单矿种角度进行全国性的系统总结十分必要。本文统计了 1990 年至 2016 年间不同类型钨矿床钨矿石矿物及与成矿有关岩体的稀土元素 300 多组数据。通过总结可知, 不同类型钨矿床钨矿石矿物及与成矿有关花岗岩中稀土元素的总量和稀土配分曲线不同, 这与成矿原始物质及成矿时物理化学条件的不同有关。不同类型钨矿床大部分具有 Eu 负异常的特征, 显示成矿条件为较高温的还原环境; 黑钨矿及其成矿岩体的稀土分配模式之间存在一定的依从关系, 但是, 黑钨矿中的稀土元素并没有随着岩浆-流体的结晶分异而富集。

关键词: 钨矿; 花岗岩; 稀土元素; 地球化学; 配分模式; 矿产勘查工程

中图分类号: P588.12¹ 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019)06-1300-12

A review of research achievements on REE geochemistry of tungsten deposits in China

QIN Yan¹, WANG Denghong¹, SHENG Jifu¹, WANG Yan¹

(MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The composition and characteristic parameters of rare earth elements (REE) in tungsten deposits provide mineralization environment as well as fluid and source information. The achievements in the study of geochemistry of rare earth elements in tungsten deposits in China are very abundant, but it is still necessary to make a national systematic summary from the perspective of single mines. In this paper, statistics of more than 300 sets of rare earth elements of tungsten deposits in different types of deposits published from 1990 to 2016 were investigated. The results show that total REE values and distribution curves in different types of tungsten deposits are different due to different sources and ore-forming physicochemical conditions. The Eu from different types of tungsten deposits exhibits negative anomalies, which implies that the ore-forming environment was somewhat reducing. There are some interrelations between wolframite and its ore-bearing granite. However, REE in wolframite did not enrich with magma-fluid differentiation.

Key words: tungsten deposits; granite; rare earth elements; geochemistry; distribution curves; mineral exploration engineering

收稿日期: 2018-03-12; 改回日期: 2019-04-10

基金项目: 中国地质调查局项目“中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务”(矿产地质志)(DD20160346)资助。

作者简介: 秦燕, 女, 1982 年生, 博士, 副研究员, 地球化学专业; E-mail: happyqinyan@sina.com。

通讯作者: 王登红, 男, 1967 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究所; E-mail: wangdenghong@sina.com。

About the first author: QIN Yan, female, born in 1982, associate researcher, mainly engages in research on geochemistry; E-mail: happyqinyan@sina.com.

About the corresponding author: WANG Denghong, male, born in 1967, senior researcher, supervisor of doctor candidates, mainly engages in research on mineral deposits; E-mail: wangdenghong@sina.com.

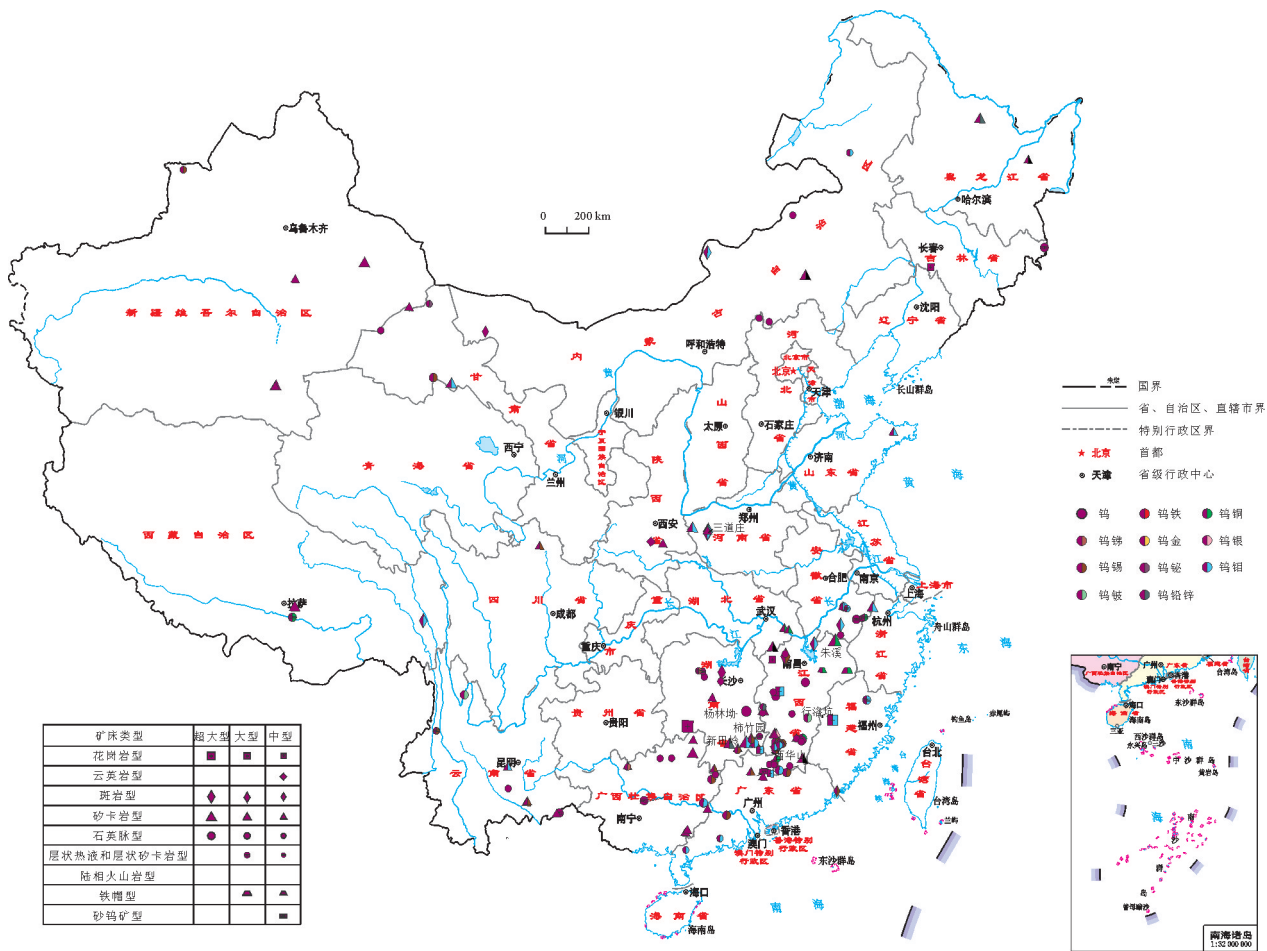
Fund support: Supported by the project of "Comprehensive integration and service of mineral geology and its metallogenic regularity in China" from China Geological Survey (No. DD20160346).

1 引言

中国是世界上钨矿资源最丰富的国家,据美国地质调查局统计,中国钨储量居世界第一,占世界总储量的57.5%(盛继福等,2018)。钨矿是中国的优势矿产资源,截至2015年底,中国有24个省(市、自治区)查明有钨资源储量,矿区442处(盛继福等,2015)。中国有钨矿产地近1000处(不包括矿化点),2015年上储量表的矿区442处,其中超大型矿

床7处(江西朱溪钨铜矿、江西大湖塘钨矿、湖南柿竹园钨矿、河南三道庄钨矿、湖南新田岭钨矿、福建行洛坑钨矿、湖南杨林坳钨矿),大型矿床39处,中型钨矿床76处,小型钨矿床257处(图1)。

稀土元素是一组地球化学性质十分相似、紧密共生的元素,它们普遍存在于自然界各种岩石中,在长期地质演化过程中易于保存。然而,由于其结构、晶体化学性质的差异,造成岩石中的稀土元素随着地质、物理和化学条件的改变而发生分离。稀



制图人:王岩 制图单位:中国地质科学院矿产资源研究所 地理底图来源:国家测绘地理信息局,审图号:GS(2016)2923号

图1 中国主要钨矿床分布图
Fig.1 Distribution of main tungsten deposits in China

土元素在地质体中的分配与相应的成岩成矿作用有关(刘英俊等,1984)。因此,稀土元素地球化学特征,对讨论成岩成矿作用的类型、元素的演化规律都具有重要的意义。关于钨矿稀土元素地球化学也从20世纪90年代开始,至今积累了丰富的资料(刘慷怀,1990;李逸群,1991;盛继福,1992;彭建堂等,2005;汪应庚等,2013;刘善宝等,2017;向平安等,2018;王勇等,2019;吴显愿等,2019),但尚未有人对不同类型钨矿进行全国性的系统总结。因此,本文对全国钨矿床相关稀土元素数据进行搜集,对不同类型钨矿床中钨矿石矿物及相关岩体稀土元素特征做一归纳,在客观记录的前提下便于读者进一步理解中国钨矿床整体的成矿规律。

2 中国钨矿床钨矿石矿物稀土元素地球化学特征

盛继福等(2015)把中国钨矿床归纳为下列9种类型:①石英脉型钨矿;②矽卡岩型钨矿;③云英岩型钨矿;④斑岩型钨矿;⑤花岗岩型钨矿;⑥陆相火山岩型钨矿;⑦层状热液和层状矽卡岩型钨矿;⑧风化淋滤铁帽型钨矿;⑨砂钨矿。中国现行开发利用的钨矿类型主要有石英脉型钨矿、斑岩型钨矿、矽卡岩型钨矿、云英岩型钨矿、花岗岩型钨矿。不同类型钨矿石矿物类型和矿物组合等均有差异(表1)。

对中国不同类型钨矿床的钨矿石矿物(主要是黑钨矿和白钨矿)样品中的稀土元素含量进行统计,见

表1 中国钨矿基本特征表
Table 1 Basic characteristics of tungsten deposits in China

矿床类型	矿石类型	矿物组合	矿床规模
石英脉型	黑钨矿	矿石矿物有黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、绿柱石、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿等。矿脉中脉石矿物主要是石英,次有白云母、长石、萤石、方解石、黄玉、电气石、氟磷酸铁锰矿、磷灰石、金红石等	大、中、小
	白钨矿	矿石矿物主要为白钨矿、绿柱石,少量锡石、硅铍石、辉铋矿及黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等;脉石矿物主要是石英、萤石、电气石、重晶石、云母、长石、方解石等	
矽卡岩型	白钨矿	矿石矿物主要为白钨矿,常共生有辉钼矿、辉铋矿、黄铁矿、锡石、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、黑钨矿、绿柱石、自然金、白铁矿、黝锡矿、黝铜矿等。磁黄铁矿、毒砂等伴(共)生,并组成各种组合矿石。脉石矿物主要是透辉石、石榴子石、硅灰石、阳起石、透闪石、符山石、绿帘石、绿泥石、石英、长石、电气石、萤石、方解石等	超大、大、中、小
云英岩型	黑钨矿和白钨矿	主要矿石矿物有黑钨矿、锡石、辉钼矿,次要矿石矿物有白钨矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉铋矿、毒砂等,脉石矿物主要有石英、白云母、铁锂云母以及长石、黄玉、方解石、萤石等。	中、小
斑岩型	黑钨矿和白钨矿	矿石矿物主要是为白钨矿、黑钨矿、辉钼矿和黄铁矿、锡石,次为磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、自然铋、辉铋矿和磁铁矿;脉石矿物有石英、钾长石、斜长石、白(绢)云母、黑云母、绿泥石、黄玉、萤石和方解石等	超大、大、中、小
花岗岩型	黑钨矿和白钨矿	主要矿石矿物有白钨矿、黑钨矿、铁闪锌矿、绿柱石、辉钼矿、锡石、辉铋矿、铌钽铁矿、黄铜矿等;脉石矿物主要为石英、白云母、微斜长石、铁白云石、磷灰石、方解石、萤石、黑磷云母、锆石等。	超大、大、中、小
陆相火山岩型钨矿	黑钨矿和白钨矿	矿石矿物主要为黑钨矿、辉钼矿、白钨矿,少量锡石、辉铋矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等。脉石矿物主要是石英、白云母。	小
层状热液和层状矽卡岩型钨矿	黑钨矿和白钨矿	该类矿床的物质组分随矿床产出地区和原地层中钨原始聚集程度的不同而有差异。在湘西地区,矿石矿物以白钨矿、辉铋矿、自然金、黄铁矿组合为主,其次为黑钨矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂等,脉石矿物主要为石英、方解石、绢云母、白云石、绿泥石等。在皖南地区,以白钨矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿为主,脉石矿物为透辉石、石榴子石、硅灰石等;在吉黑地区,以白钨矿为主,伴有少量硫化物,脉石矿物有石英、黑云母、钠长石、绿泥石等。	中、小
风化淋滤铁帽型钨矿	黑钨矿和白钨矿	黑钨矿、白钨矿、褐铁矿	大、中
砂钨矿床	黑钨矿和白钨矿	黑钨矿、白钨矿、锡石、金红石、锆石、独居石、磁铁矿、钛铁矿、黄铁矿、独居石、绿帘石、褐铁矿	小

表2 中国不同类型钨矿床钨矿石的稀土含量(10^{-6})
Table 2 REE content of scheelite and wolframite from different types of tungsten deposits in China

矿床类型	矿区	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	参考文献	
层状热液型	杨金沟	白钨矿	8.53~32.18	20.9~69.51	3.52~8.8	18.61~38.99	6.1~11.85	8.64~14.43	1.24~2.08	9.11~14.55	2.2~3.11	5.65~8.45	0.68~1.25	3.05~5.72	0.36~0.86	任云生等, 2010 彭建堂等, 2005;	
	沃溪	白钨矿	0.09~40	0.17~85	0.02~10	0.08~36	0.04~7.07	0.07~18.8	0.01~3.17	0.07~16.6	0.01~5.3	0.05~5.3	0.01~0.72	0.07~3.7	0.02~201	祝亚男等, 2014; 顾雪祥等, 2005	
石英脉型	麻花坪	浅黄褐色伟晶岩 W 矿脉	6.97~39.17	6.03~68.14	0.68~6.76	2.59~22.81	0.51~3.68	0.49~7.4	0.09~1.46	0.61~10.69	0.14~2.65	0.41~8.19	0.06~1.35	0.42~9.72	0.06~1.4	0.06~1.4	尹明住等, 2015
		瑶岗仙 黑钨矿	0.098~1.26	0.17~1.91	0.035~0.295	0.274~1.2	0.744~1.39	1.68~3.97	0.868~2.47	8.39~23.5	1.9~5.71	7.88~23.7	2.21~5.97	21.1~55	2.98~8.1	2.98~8.1	李顺庭等, 2015
		小龙 黑钨矿	1.55	2.55	0.5	2.01	1.09	3.71	1	11.19	3.9	13.19	2.49	32.4	5.37	5.37	
		徐山 黑钨矿	1.6	10	0.92	1.5	0.92	1.5	0.84	0.58	16	7.6	1.3	13	1.9	1.9	
		白鹤 黑钨矿	4.19	8.14	1.14	2.77	1.05	1.49	0.59	6.54	2.62	10.21	2.86	29.45	5.33	5.33	
		大明山 黑钨矿	0.67	2.59	0.51	1.23	0.37	0.36	0.34	0.51	0.15	0.38	0.13	0.78	0.13	0.13	李逸群, 1991
		烂头山 黑钨矿	5.33	16.07	3.15	5.77	4.22	3.69	1.74	6.08	1.3	4.35	1.35	16.33	2.29	2.29	
		二尿 黑钨矿	3.58	9.87	3.31	4.63	6.9	14.75	6.8	10.46	26.19	157.41	19.59	4.2	49.18	7.74	
		大帽山 黑钨矿	2.05	4.67	4.66	3	1.72	3.47	1.87	14.81	4.89	19.59	4.2	49.18	7.74	7.74	
		珊瑚 白钨矿	1.35~9.28	2.64~22.65	0.4~3.23	1.77~14.41	0.74~4.73	1.46~6.56	0.27~1.01	1.86~5.55	0.54~1.17	2.04~2.69	0.37~0.51	1.91~5.44	0.23~0.91	0.23~0.91	刘康怀, 1990
		淘陂坑 黑钨矿	0.62~23.8	1.49~54.4	0.2~6.9	0.77~27.1	0.44~9.47	0.52~9.38	0.14~1.86	0.95~11.9	0.21~2.4	0.64~7.29	0.09~1.18	0.61~7.95	0.09~1.21	0.09~1.21	陈郑辉等, 2013
		努日 白钨矿	10.2~15	34.2~50.5	5.38~7.46	19~25	1.49~1.72	0.05~0.19	0.05~0.07	0.19~0.22	0.05	0.1~0.13	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
朱溪 白钨矿	1.31~72.87	1.08~68.71	0.1~13.34	0.35~67.1	0~11.09	0.03~1.93	0~1.02	0.02~4.78	0~0.81	0~1.43	0~0.1	0~0.26	0~0.03	0~0.03	0~0.03	刘善宝等, 2017	
南墩田 白钨矿	0.39~15.8	1.2~31.7	0.33~5.34	1.88~22.4	1.2~5.16	2.3~5.74	0.43~1.2	2.97~10.8	0.9~4.31	2.41~13.5	0.37~2.1	2.29~10.4	0.56~2.29	0.56~2.29	曹志刚, 1998		

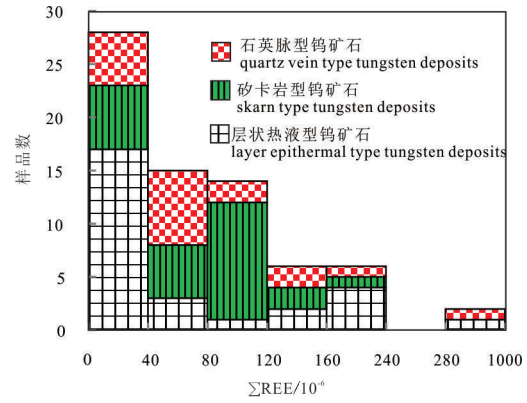


图2 不同类型钨矿床钨矿石的稀土总量直方图
Fig.2 Σ REE content of tungsten mineral from different type tungsten deposits

表2, 稀土总量直方图见图2, 不同类型矿床黑钨矿和白钨矿稀土元素球粒陨石标准化配分曲线见图3。

根据所统计的黑钨矿和白钨矿的稀土总量数据可见, 黑钨矿的 Σ REE范围在 $1 \times 10^{-6} \sim 160 \times 10^{-6}$, 大部分集中在 $1 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$; 白钨矿 Σ REE范围在 $3 \times 10^{-6} \sim 220 \times 10^{-6}$, 大部分集中在 $40 \times 10^{-6} \sim 120 \times 10^{-6}$ 。

钨矿石矿物中稀土元素的总量, 与矿床类型有一定关系。石英脉型矿床中的黑钨矿, Σ REE大部分在 $40 \times 10^{-6} \sim 80 \times 10^{-6}$; 斑岩型钨矿石矿物的稀土总量约为石英脉型钨矿石矿物的6倍(张玉学等, 1990); 矽卡岩型钨矿石矿物的 Σ REE主要集中在 $80 \times 10^{-6} \sim 120 \times 10^{-6}$, 层状热液型钨矿石矿物的 Σ REE集中于 $1 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ 。

不同类型矿床中黑钨矿和白钨矿的配分曲线不同(图3)。对白钨矿而言, 矽卡岩型白钨矿的稀土元素配分曲线大多呈“左倾型”, 而且重稀土含量明显高于轻稀土含量; 斑岩型和石英脉型钨矿床中白钨矿大部分样品呈“右倾型”, 重稀土含量稍低于轻稀土含量。

钨矿石矿物的 δ Eu值是成矿物质来源的重要标志之一。其数值不仅取决于岩浆的分异时长, 而且和成矿的氧化-还原条件及pH值有密切关系。斑岩型和石英脉型钨矿床钨矿石矿物均表现出Eu负异常; 层状热液型钨矿床白钨矿大多呈Eu正异常, 而黑钨矿呈轻微负异常; 矽卡岩型白钨矿Eu比较复杂, 正异常与负异常均有出现, 这说明白钨矿的沉淀过程中, 其沉淀的溶液环境是不断变化的, 反应其热液体系可能出于一种不断变化的动力学环境。

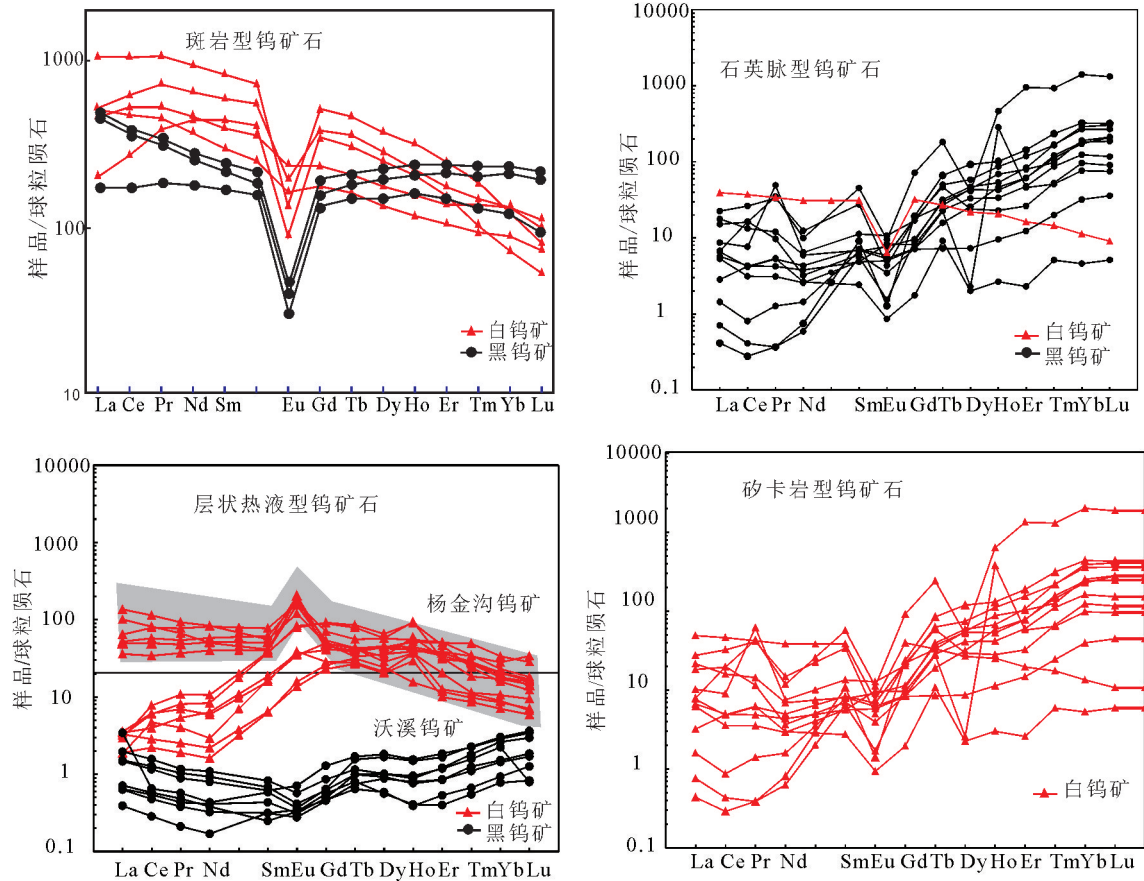


图3 中国不同类型钨矿石的稀土元素配分图(球粒陨石数据引自 Sun and Mcdonough, 1989)

Fig.3 Σ REE patterns of different types of tungsten deposits in China(after Sun and Mcdonough,1989)

3 中国钨矿床相关岩体稀土元素地球化学特征

成矿岩体稀土元素数据可以为岩石、矿床形成机理及条件提供大量地球化学信息。中国绝大多数类型的钨矿均直接或间接与花岗岩有成因联系,凡是重要的钨矿成矿区,总是以十分发育的花岗质岩带为背景。本文统计了主要钨矿类型中的26个矿床与成矿有关的花岗岩体的稀土元素含量,详见表3,图4。

由图4可见,各矿床与钨矿有关花岗岩的稀土总量范围为 $16.47 \times 10^{-6} \sim 614.25 \times 10^{-6}$,变化范围较大,大部分样品稀土总量 $< 200 \times 10^{-6}$,集中在 $50 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 。各类型钨矿中,与石英脉型钨矿有关花岗岩的稀土总量分布范围最大,斑岩及花岗岩型钨矿床花岗岩的稀土总量分布范围比较集中,矽卡岩型(含层状矽卡岩型)钨矿中稀土元素的绝对含量明显偏低(与其成因有关,即在矽卡岩型钨矿区,被交

代的地质本身的稀土元素含量就偏低)。

不同类型钨矿床成矿有关花岗岩的稀土元素配分曲线明显不同(图5)。花岗岩型钨矿稀土元素配分曲线呈右倾,未见明显的Eu亏损。斑岩型钨矿的配分曲线为右倾型,轻稀土富集,除一个样品外,其余均呈低的Eu负异常。矽卡岩型与层状矽卡岩型钨矿稀土元素配分曲线也表现为右倾,明显富集轻稀土,Eu亏损较明显。石英脉型钨矿稀土元素配分曲线为海鸥式,轻重稀土分馏不明显,且均有非常强烈的Eu负异常。不同的稀土配分模式可能与钨矿的成因或成矿流体的性质有关,但每种稀土配分模式所代表的具体的成因意义可结合成矿地质特征进一步探讨。

δ Eu与 δ Ce值均能反映成矿流体体系的相对氧化还原程度及温度条件。中国钨矿床与成矿有关花岗岩的 δ Eu范围在0.007~1.216,多数值集中在0.007~0.9范围内(图6),说明大部分成矿流体具有Eu负异常的特征,显示成矿条件为较高温的还原环

表3 中国与钨成矿有关的花岗岩体的稀土元素含量 (10⁻⁶)
Table 3 REE content (10⁻⁶) of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

矿床类型	矿区	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	参考文献
斑岩型	阳储岭	26.6~32.3	52.1~65.4	7.5~7.9	22.1~23.1	4.7~5.8	1.1~1.3	4.3~4.6	0.6	2.7~3.0	0.7~0.8	1.3~1.4	0.2~0.3	1.1~1.3	0.3~0.4	莫名斌, 1990
	东源	4~52.1	4.2~85	0.9~18.1	3.2~57.2	0.7~14.5	0.2~1.8	1~18.5	0.2~3	0.9~18.3	0.2~3.9	0.6~12	0.1~2	0.5~12.5	0.1~1.8	汪应庚等, 2013
	阳储岭	26.5~32.3	52.1~65.4	7.5~7.9	22.1~23.1	4.7~5.8	1.1~1.3	4.3~4.6	0.6	2.7~3.0	0.7~0.8	1.3~1.4	0.2~0.3	1.1~1.3	0.3~0.4	莫名斌, 1990
层状砂卡岩型	牛塘界	4.4~10	11.8~22.7	1.4~2.5	5.5~9.7	1.7~2.4	0.2	1.6~2.2	0.3~0.4	2.4~3.1	0.6~0.7	1.6~2.2	0.3~0.4	1.9~2.5	0.3~0.4	杨振等, 2014
	上房	19~61.9	34.3~112.1	4.1~13.1	15.9~47.7	3.2~8.7	0.3~1.1	2.7~6.9	0.5~1.0	2.7~5.0	0.6~1.1	1.6~3	0.2~0.6	1.6~3.9	0.3~0.7	陈润生, 2013
充填交代微细网脉状 高中温热液	麻花坪	4.0~8.3	3.0~19.5	0.6~2.7	3.7~13.1	0.6~3.1	0.1~0.4	0.5~2.1	0.1~0.3	0.6~2.1	0.1~0.4	0.4~1.1	0.1~0.2	0.4~0.9	0~0.1	冉明佳等, 2015
	谏壁	34~52	52~92	6.8~11.9	21~30	3.3~3.7	0.6~1	0.7~2.6	0.2~0.4	1.5~2.5	0.3~0.5	0.9~1.6	0.1~0.3	0.7~1.5	0~0.2	真允庆等, 1988
花岗岩型	红花尔基	19.6~44	42~84.9	5.2~10.3	21.2~39.6	5.5~7.9	1.1~2.3	5.2~8.2	0.7~1.2	4.2~7.3	0.7~1.4	2.4~4.2	0.3~0.6	2.2~4.5	0.3~0.7	郭志军等, 2015
	珊瑚	1.4~11.5	2.6~26.4	0.4~4.4	1.8~21.1	0.7~8.4	0.3~4.3	1.5~12.4	0.3~2.1	1.9~13.3	0.5~3.2	0.5~8.4	0.4~2.0	1.9~7.8	0.2~1.1	刘慷怀, 1990
	茅坪	14~144.7	36.5~33.5	4.8~26.5	18.3~92.1	8.7~14.3	0.0~0.9	6.2~11.2	1.2~1.9	8~14.7	1.5~3.3	4.4~10.1	0.6~1.8	3.5~11.4	0.5~1.9	朱明波等, 2012
石英脉	甲岗	36.3~67.0	63.1~131.0	6.1~13.5	19.2~42.5	3.4~7.8	0.5~0.7	3.2~6.0	0.5~1.0	3.2~6.2	0.6~1.2	2.0~3.6	0.3~0.5	2.0~3.8	0.3~0.6	葛良胜等, 2006
	西华山	5.6~19.2	13.8~62.1	2.1~8.1	9~28.6	5.1~13.6	0.1~0.7	7.2~17.7	1.7~4.9	9.2~30.8	2.4~6.5	7.5~20.4	1.1~4.1	8.3~21.6	1.3~3.4	肖剑等, 2009
	淘锡坑	6.7~62.3	16~130	1.6~11.9	5.8~49.6	1.6~8.7	0.1~0.9	1.4~8.7	0.3~2.3	1.8~15.5	0.3~3.1	0.8~9.5	0.1~1.6	0.8~10.8	0.1~2	杨帆等, 2013
	盘古山	23.3~29.4	47.1~57.6	6.2~7.6	24.3~29.5	5~6	1.1~1.5	4.7~5.9	0.7~0.9	4.4~5.3	0.9~1.1	2.8~3.2	0.4~0.5	2.6~3	0.4~0.5	周瑶等, 2015
	瑶岗仙	1.5~90.2	6~183.7	0.7~19.4	3.1~68.4	1.7~15.8	0~1.4	1.7~20	0.4~3.5	2.3~21.5	0.6~21.5	1.7~15	0.3~2.8	2.5~19.4	0.4~3.4	李顺庭等, 2015; 董少花等, 2014
	瑶岭	8.6~31.5	20~68	2.9~8.6	12.3~31.7	3~7.5	0.2~0.4	3.1~7.4	0.6~1.5	3.8~9.5	0.8~2	2.5~6.3	0.5~1.2	3.3~8.6	0.5~1.3	李社宏等, 2010
	翠宏山	13~70	48.1~151	3.7~20.1	13~72.4	2.4~15.1	0.2~0.4	2~14.7	0.4~2.8	2.3~17	0.5~3.7	1.5~11.4	0.3~1.8	1.9~11.7	0.3~1.9	邢军等, 2011
砂卡岩型	邢家山	9.5~22.5	19.7~46.7	2.3~5.4	8.6~20.2	1.5~3.8	0.6~1.1	1.3~3.9	0.2~0.6	0.9~3.0	0.2~0.6	0.5~1.7	0.1~0.2	0.5~1.6	0.1~0.3	薛玉山等, 2014
	朱溪	15.1~15.2	6.0~40.8	0.7~4.3	2.4~17.1	0.7~1.3	0.2~0.6	0.7~3.8	0.1~0.5	0.8~2.8	0.1~0.5	0.4~1.3	0.1~0.2	0.5~1.2	0.1~0.2	吴筱坪等, 2015
	南秧田	6.9~9.7	15.5~22.1	1.9~2.5	7.2~9.5	1.8~2.3	0.2	1.7~2.1	0.3~0.4	2.5~2.9	0.6~0.7	1.7~2.1	0.3	1.9~2.2	0.3	王冠等, 2012
	柿竹园	15.9~71.9	32.7~149	3.9~21.5	14.2~95.7	4~35.3	0.2~1.2	4.1~41.9	0.8~7.5	4.5~41.7	2.6~13.4	3.4~27	0.6~27	3.8~5.3	0.7~5.1	毛景文等, 1998
	锡田	3.7~82.2	9.2~158.0	0.9~17.9	3~61.2	0.6~11.3	0.1~1.0	0.4~12.4	1.0~2.5	0.5~17.4	0.1~3.7	0.4~11.3	0.1~2	0.5~13.8	0.1~2	马铁球等, 2004
	宝山	17.4~50.6	35.7~101.8	4.7~13.2	19.8~53.1	4.7~14.6	0.4~0.8	5.0~16.9	0.9~3.4	6.2~24.8	1.4~5.4	4.0~14.9	0.6~2.1	4.2~12.4	0.7~1.8	丰成友等, 2012
	朱溪	13.6~17.9	24.8~34.6	3.2~4.1	12.1~15.6	2.8~3.4	0.5~0.7	2.4~2.9	0.4~0.5	2.2~2.5	0.4	1.1~1.3	0.1~0.2	0.9~1.2	0.1~0.2	王先广等, 2015
云英岩型	东阳	16.2~33.1	28.7~60.3	3.6~7.0	13.6~25.1	2.8~4.8	0.4~0.5	2.8~4.7	0.5~0.8	3.2~5	0.6~1.1	2~3.2	0.3~0.5	2.1~3.4	0.3~0.5	刘茜, 2013
	洪水寨	11.8~32.3	25~47.6	3.3~8.9	14.8~42.7	4.7~14	0.2~0.6	6.7~21.1	1.5~4	11.6~26.2	2.8~5.4	9~14.2	1.5~2.1	10.8~13.1	1.7~1.9	丰成友等, 2011

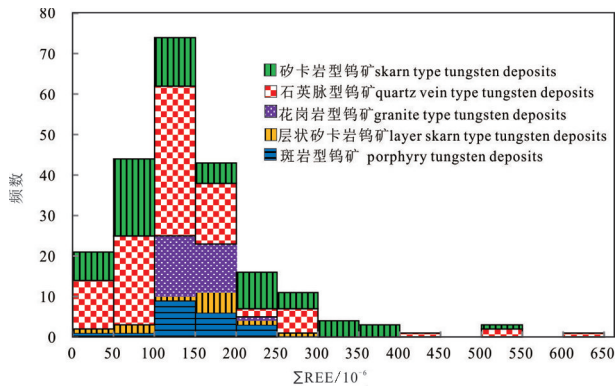


图4 中国主要类型钨矿成矿花岗岩的稀土元素总量分布直方图

Fig.4 Σ REE content of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

境。所统计的数据中, δEu 与 δCe 之间没有明显的相关性(图7), 石英脉型钨矿床中, 当 $\delta Eu < 0.1$ 时,

δCe 均大于1, 大致呈反相关关系; $\delta Eu > 0.1$ 时, δCe 值分布在1左右, 变化较小; 花岗岩和斑岩型钨矿, δEu 大部分都大于0.6, δCe 值 ≤ 1 , 变化范围较小。对于矽卡岩及层状矽卡岩型钨矿床, δEu 与 δCe 二者没有任何规律性, 主要是受到交代成矿过程中成矿流体来源的多样性和无规律性制约。

从不同类型矿床稀土元素的 LREE/HREE 比值与 δEu 的关系图可知(图7), 除了部分与矽卡岩型钨矿床有关的花岗岩样品外, 矽卡岩型、斑岩型、花岗岩型及石英脉型矿床与成矿有关花岗岩的 LREE/HREE 与 δEu 在整体上呈正相关。说明与钨成矿有关的花岗岩的轻重稀土分异与铕异常相关, 铕亏损较弱的稀土配分曲线右倾斜率较大, 明显富集轻稀土; 而铕亏损较强的轻重稀土分异不明显。

将搜集到的与中国钨矿有关花岗岩的稀土元素数据进行 La/Sm-La 统计分析, 结果显示, 在不同

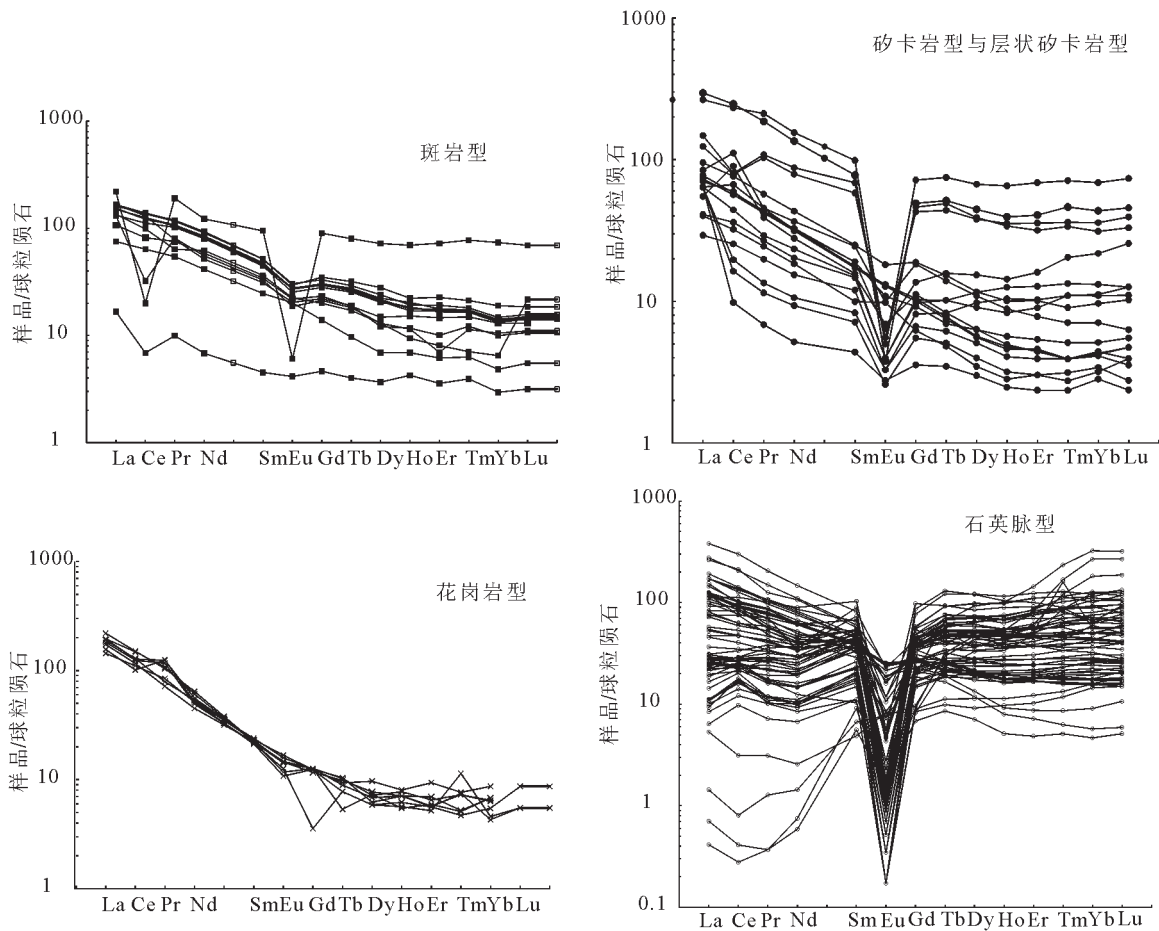


图5 不同类型钨矿成矿有关花岗岩稀土元素配分曲线

Fig.5 REE patterns of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

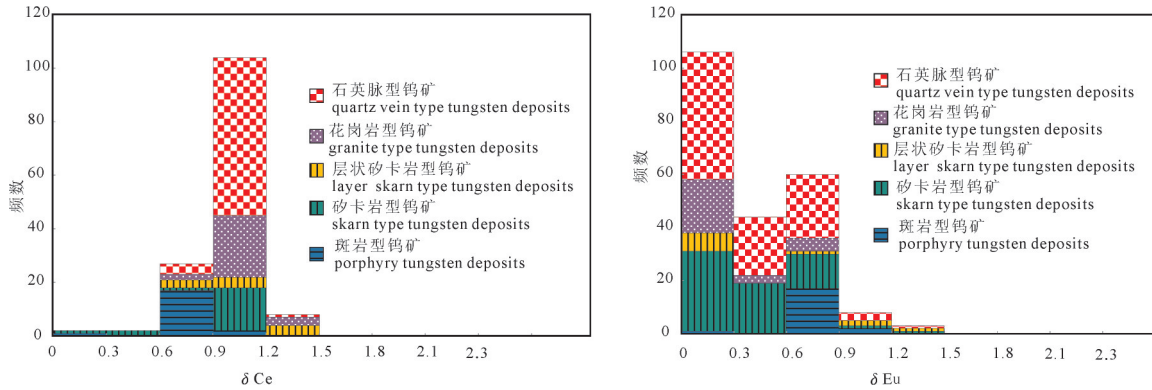


图6 中国不同类型钨矿区成矿花岗岩的 δEu 与 δCe 值分布图
Fig.6 δEu and δCe values of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

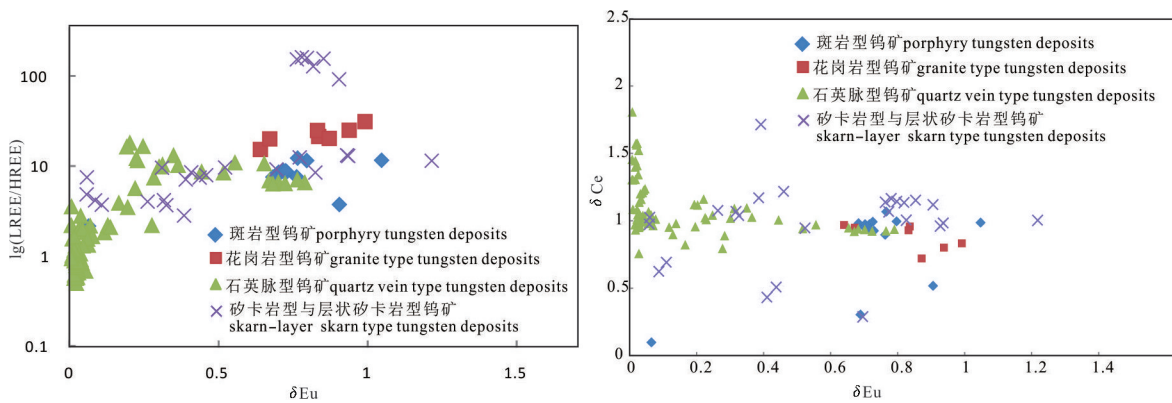


图7 中国主要类型钨矿区成矿花岗岩的 δEu -LREE/HREE 图及 δEu - δCe 关系图
Fig.7 δEu -LREE/HREE and δEu - δCe diagrams of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

类型钨矿区的花岗岩的数据点呈现不同的变化趋势(图8)。斑岩型钨矿(东源和阳储岭钨矿)与成矿有关花岗岩在La-La/Sm图上呈一条水平直线;而花岗岩型和石英脉型钨矿与成矿有关的花岗岩在La-La/Sm图上的投影点排列成一条斜线。根据此图尚不能简单判断岩浆是结晶分异或是部分熔融的产物,但可以说明斑岩型钨矿与花岗岩型、石英脉型钨矿成矿有关花岗岩稀土元素富集趋势是不同的。

4 讨论

4.1 钨矿床的稀土元素地球化学特征具有成因意义

不同类型的钨矿床具有明显不同的稀土元素地球化学特征,同一成因类型的不同矿石矿物类型也具有不同的特征。如图4所示,斑岩型钨矿的稀土元素配分曲线呈右倾型而石英脉型呈左倾型;同样是斑岩型,白钨矿的稀土元素含量明显高于黑钨矿;层状热液型白钨矿的稀土元素配分曲线具有Eu

正异常特点,而层状热液型黑钨矿的稀土元素含量非常低,甚至可低于球粒陨石。这主要跟成矿物质尤其是成矿流体的来源是密切相关的,斑岩型钨矿类似于斑岩,矽卡岩型则受到侵入岩与被交代地层的双重控制,而石英脉型跟岩浆热液的结晶分异过程密切相关,分异得越彻底,Eu的亏损程度越高。

4.2 钨矿床中稀土元素地球化学特征与矿床类型的关系

稀土元素总量主要与不同类型钨矿床成矿物质来源有关。不同成因类型钨矿石矿物和与成矿有关花岗岩稀土配分曲线的差别反映了它们的物质来源和成矿条件。花岗岩型钨矿的矿化特征与斑岩型钨矿相近,其区别主要在载体,前者是酸性侵入岩,后者是深源浅成的斑岩体。所以体现在配分曲线上,二者较为相似。

不同类型钨矿床钨矿石矿物中呈现不同的Eu异常状态,其原因在于:①与成矿流体中Eu²⁺的浓度

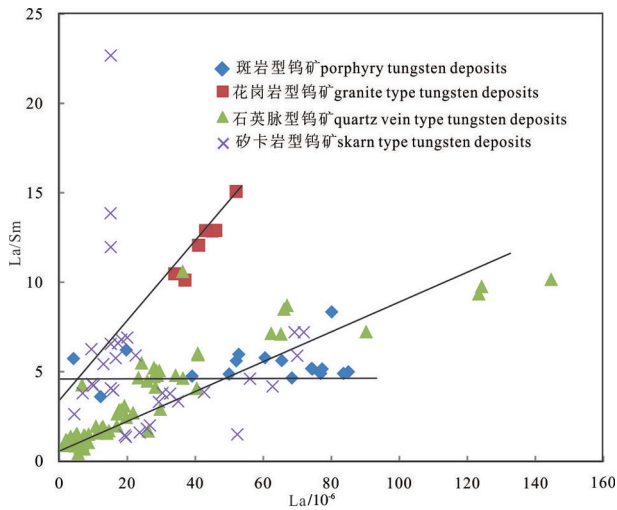


图8 中国主要类型钨矿区花岗岩类La/Sm-La图解
Fig.8 La/Sm-Lan diagram of tungsten-bearing granites from different types of tungsten deposits in China

有关;②成矿流体物理化学环境的变化引起的Eu化合价的变化。氧化或者还原条件下Eu呈三价或二价状态,在成矿过程中与其余三价稀土离子分离,导致Eu正、负异常。而在与成矿有关花岗岩中,由于Eu²⁺与Ca²⁺晶体化学性质相似,导致Eu以类质同像方式进入含钙的矿物(典型矿物为高钙的斜长石)而与其他REE元素发生不同程度的分离,因此,花岗岩Eu的正负异常不仅能反映氧化还原状态,还能反映岩浆结晶时沉淀出的长石的数量多少。

同一类型不同矿区的钨矿石矿物稀土模式的相似性则说明其物质来源和成矿条件可能是一致的,而稀土含量和配分曲线的微小变化反映了在物质来源相同的情况下,岩浆可能经过不同途径的分异演化,而每个矿区的成矿条件本身存在特殊性(张玉学等,1990)。如层状热液型钨矿床中白钨矿的配分曲线呈现两种型式:湖南沃溪钨矿的白钨矿表现出明显的LREE亏损、HREE相对富集、MREE最为富集的特征,其配分曲线表现为向上拱曲的形状(图3)。这种向上拱曲的稀土配分模式被认为是热液成因白钨矿的典型特征。吉林杨金沟矿床中白钨矿的配分曲线则表现为右倾,轻稀土相对重稀土更为富集,且有明显的铕正异常,明显有别于沃溪钨矿。层状热液型钨矿床(沃溪)中黑钨矿的稀土元素配分曲线为一种近水平曲线型,可能是因为矿区成矿流体自有其特殊性,包括REE络合物的种

类及其稳定性(祝亚男等,2014)。

4.3 与黑钨矿成矿有关花岗岩稀土元素特征关系

黑钨矿中稀土元素的含量一般低于成矿有关的花岗岩, $\Sigma\text{REE}(\text{黑钨矿})/\Sigma\text{REE}(\text{岩体})$ 值通常都 <1 ,即黑钨矿中的稀土元素没有随着岩浆-流体的结晶分异而得到富集,即在最主要的矿石矿物(黑钨矿)中稀土元素并未富集。西华山等矿区存在晚期独立的稀土矿物,说明流体中的稀土含量有可能富集到了形成独立稀土矿物的程度,以至于黑钨矿中反而贫化稀土。但不同稀土组别的比值又有所不同,其中轻稀土组的比值基本都 <1 ,重稀土组的比值则大多数 >1 。这一特点是由稀土元素的地球化学性质以及它们在成岩成矿过程中的分异演化作用决定的。轻稀土元素活动性相对较强,在成岩成矿熔体分异过程中,优先进入成岩熔体中,而活动性相对较弱的重稀土元素则趋向在成矿流体中富集。黑钨矿及其成矿岩体的稀土分配模式反映了它们之间存在一定的依从关系,并揭示了某些显著不同的特点。如石英脉型矿床中的黑钨矿,Eu虽也略有亏损,并呈略似“海鸥式”模式分布,但与其成矿岩体相比,Eu亏损不强,“海鸥式”不典型,轻稀土偏低,重稀土偏高,呈向左倾斜的“躺椅式”分布。不同类型矿床中黑钨矿及其成矿岩体的稀土元素的分布模式的不同特点,反映了其成岩成矿机制的差异。

5 结 论

中国不同类型钨矿床的稀土元素地球化学特征具有一定的成因指示意义。

(1)白钨矿和黑钨矿中稀土元素的总量与矿床类型有一定的关系,矽卡岩型钨矿石矿物的 ΣREE 较高,产于与酸性花岗岩类有关石英脉型矿床中的钨矿石矿物次之;层状热液型钨矿石矿物的 ΣREE 最低。

(2)不同类型黑钨矿和白钨矿的稀土配分曲线不同,这与成矿原始物质及成矿时物理化学条件的不同有关。

(3)各类型钨矿床中,与石英脉型钨矿有关花岗岩的稀土总量分布范围最大,斑岩及花岗岩型钨矿分布范围比较集中,矽卡岩型(含层状矽卡岩型)钨矿中稀土元素的总量明显偏低;不同类型钨矿床相关的花岗岩体中稀土元素的配分曲线也明显不同。

(4)不同类型钨矿床大部分成矿流体具有Eu负

异常的特征,显示成矿条件为较高温的还原环境,矽卡岩型、斑岩型、花岗岩型及石英脉型矿床有关花岗岩的轻重稀土分异与钨异常相关。

(5)通过同一矿床黑钨矿与成矿岩体稀土总量的对比可知,黑钨矿中的稀土元素没有随着岩浆-流体的结晶分异而得到富集。黑钨矿及其成矿岩体的稀土分配模式之间存在一定的依从关系,但也存在显著不同的特点。

References:

- Chen Runsheng. 2013. Geology, Geochemistry and Metallogenesis of the Shangfang Tungsten Deposit in Jianou County, Northern Fujian Province, SE China [D]. Wuhan: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhenghui. 2013. A Summary Study of the Taoxikeng Tungsten Deposit in Chongyi County, Jiangxi Province[R] (in Chinese with English abstract).
- Dong Shaohua, Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Chen Youwei. 2014. Petrogenesis of the Yaogangxian granites and implications for W mineralization, Hunan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2749-2765(in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Huang Fan, Zeng Zailin, Qu Wunjun, Ding Ming. 2011. Isotopic chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisens-type tungsten deposit in south Jiangxi Province[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 41(1): 111-121 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Zeng Zailin, Wang Song, Liang Jingshi, Ding Ming. 2012. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the skarn-type tungsten deposits in southern Jiangxi Province, China, and geological implications: Exemplified by the Jiaoli and Baoshan tungsten polymetallic deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 337-349(in Chinese with English abstract).
- Ge Liangsheng, Li Hanguang, Wang Keqiang, Zou Yilin, Wang Zhihua, Zhang Xuejun, Yuan Shisong, Xing Junbing. 2006. Geochemical characteristics of the W-Mo-Bi polymetallic deposit in the snow-capped Jaggang mountain, Xainza County, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 26 (supp.):345-348(in Chinese with English abstract).
- Guo Zhijun, Li Jinwen, Chang Yulin, Han Zengguang, Dong Xuzhou, Yang Yuncheng, Tian Jing, She Hongquan, Xiang Anping, Kang Yongjian. 2015. Genetic types and ore-forming geological significance of granites in the Honghuaerji scheelite deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(3):322-342(in Chinese with English abstract).
- Li Shehong, Li Wenqian, Ding Yujin, Liu Jianping, Liang Qianrong, Cao Zhiming. 2010. Geological characteristics of the Baijizhai granite and its metallogenetic significance in the Yaoling tungsten deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(1): 139-146(in Chinese with English abstract).
- Li Shunting, Zhu Xinyou, Wang Jingbin, Wang Yanli, Cheng Xiyin, Jiang Binbin. 2015. Geological and geochemical characteristics of the Yaogangxian complex granitoid and its relationship with tungsten mineralization[J]. *Mineral Exploration*, 6(4):347-355(in Chinese with English abstract).
- Li Yiqun, Yan Xiaozhong. 1991. Mineralogy of Tungsten Deposits in Nanling and Neighbouring Area, China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese with English abstract).
- Liu Yingjun. 1984. Elemental Geochemistry[M]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Liu Qian. 2013. Characteristics and Genesis of the Shaanxi Zhen'an Tungsten Deposit[D]. Beijing:China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Liu Kanghuai. 1990. REE geochemistry in the Shanhu tin ore field, Guangxi[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*,10(3):251-260(in Chinese with English abstract).
- Liu Shanbao, Liu Zhanqing, Wang Chenghui, Wang Denghong, Zhao Zheng. 2017. Geochemical characteristics of REEs and trace elements and Sm-Nd dating of scheelite from the Zhuxi giant tungsten deposit in northeast Jiangxi[J]. *Earth Science Frontiers*, 24(5):17-30(in Chinese with English abstract).
- Lottermoser B G. 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes [J]. *Ore Geology Reviews*, 7(1):25-41.
- Ma Tieqiu, Wang Xianhui, Bai Daoyuan. 2004. Geochemical characteristics and its tectonic setting of the Xitian tungsten-tin-bearing granite pluton[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 1: 11-16(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, Rui Youzhi, Wang Denghong, Lan Xiaoming, Zhang Jingkai. 1998. Geological and Geochemistry of the Tungsten and Molybdenum Bismuth Polymetallic Deposit in Hunan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Mo Mingzhen. 1990. Geochemical features of Yangchuling ore-forming rock body[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*,10(2): 82-91(in Chinese with English abstract).
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, Fu Yazhou, Yuan Shunda. 2005. Rare earth element (REE) geochemistry for scheelite from the Woxi Au-Sb-W deposit, western Hunan[J]. *Geochimica*, 34(2): 115-122(in Chinese with English abstract).
- Ran Mmingjia, Zhong Kanghui, Yang Jianggong, Luo Mingfei. 2015. geochemistry and its genesis implications of beryllium and tungsten deposit in Mahuaping of Shangri-La, Yunnan[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, (2):42-45(in Chinese with English abstract).
- Shao Jun, Li Xiurong, Yang Hongzhi. 2011. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granite in the Cuihongshan polymetallic deposit and its geological implications[J]. *Acta Geocientica Sinica*, 32(2):163-170(in Chinese with English abstract).
- Sheng Jifu. 1992. Tungsten resources in China[J]. *China Tungsten Industry*,9:5-9(in Chinese with English abstract).
- Sheng Jifu, Chen Zhenghui, Liu Lijun, Ying Lijuan, Huang Fan, Wang Denghong, Wang Jiahuan, Zeng Le. 2015. Outline of metallogeny

- of tungsten deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(6): 1038–1055(in Chinese with English abstract).
- Sheng Jifu, Wang Denghong. 2018. *Geology of Mineral Resources in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society of London Special Publications*, 42:313–345.
- Wang Guan, Du Gu, Liu Shusheng, Shi Hongzhao, Zhang Linkui, Ren Jing. 2012. Accurate determination of rare earth elements in scheelite using high resolution–Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry—An instance of Nanyangtian scheelite mining, Malipo, Yunnan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(6):1050–1057(in Chinese with English abstract).
- Wang Xianguang, Liu Zhanqing, Liu Shanbao, Wang Chenghui, Liu Jianguang, Wan Haozhang, Chen Guohua, Zhang Shude, Liu Xiaolin. 2015. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating and petrologic geochemistry of fine–grained granite from Zhuxi Cu–W deposit, Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 34(5): 592–608(in Chinese with English abstract).
- Wang Yinggeng, Wang Xiurong, Ren Mingjun. 2013. Features of ore–bearing bodies in the Dongyuan porphyry tungsten deposit, Qimen, Anhui[J]. *Geology of Anhui*, 23(3): 179–195(in Chinese with English abstract).
- Wang Yong, Wang Liqiang, Fan Yuan, Li Shen, Dan Zhenwangxiu, Zheng Silun, Gao Teng. 2019. Geological and geochemical characteristics of the Jiaoxi deposit in the western Bangong–Nujiang metallogenic belt, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*. 35(3): 724–736(in Chinese with English abstract).
- Wu Xianyuan, Zhang Zhiyu, Zheng Yuanchuan, Dai Jialiang, Fan Xianke, Sheng Yuce. 2019. Magmatism, genesis and significance of multi–stage porphyry–like granite in the giant Dahutang tungsten deposit, northern Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 38(3): 34–54(in Chinese with English abstract).
- Wu Xiaoping, Ouyang Yongpeng, Zhou Yaoxiang, Zhong Shijun, Chen Guohua. 2015. Geochemical characteristics of magmatite and their constraints on mineralization of the Zhuxi tungsten–copper polymetallic deposit in Jingdezhen, Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 42(6):1885–1896(in Chinese with English abstract).
- Xiang Anping, Chen Yuchuan, She Hongquan, Li Guangming, Li Yingxu. 2018. Chronology and geochemical characteristics of granite in Weilianhe of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Geology in China*, 45(5):107–120(in Chinese with English abstract).
- Xiao Jian, Wang Yong, Hong Yinglong, Zhou Yuzhen, Xie Minghuang, Wang Dingsheng, Guo Jiasong. 2009. Geochemistry characteristics of Xihuashan tungsten granite and its relationship to tungsten metallogenesis[J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 32(1):22–30(in Chinese with English abstract).
- Xue Yushan, Liu Zhenjiang, Cheng Shaobo, Zhu Baolin. 2014. Geological–geochemical characteristics of the Xingjiashan Mo deposit in Jiaodong and their geological significance[J]. *Geology in China*, 41(2): 540–561(in Chinese with English abstract).
- Yan Guoqiang, Ding Jun, Huang Yong, Li Guangming, Dai Jie, Wang Xinxin, Bai Jingguo. 2015. Geochemical characteristics of rare earth elements and trace elements in the Nuri scheelite deposit, Tibet, China—indications for ore–forming fluid and deposit genesis[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(1):87–104(in Chinese with English abstract).
- Yan Chuntai, Zha Zonglu. 1929. *Geological Mineral Survey Report in Eastern Jiangxi Province*[R]. Jiangxi: Jiangxi Geological Institute(in Chinese with English abstract).
- Yang Fan, Xiao Rongge, Bai Fengjun, Liang Tao. 2013. REE Geochemistry of the Taoxikeng Tungsten Deposit in Ganzhou, Jiangxi Province[J]. *Geology and Exploration*, 49(6):1138–1152(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhen, Wang Rucheng, Zhang Wenlan, Chen Jun, Zhu Jinchu, Zhang Rongqing. 2014. Skarn–tungsten mineralization associated with the Caledonian(Silurian) Niutangjie granite, northern [J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 10(2):201–208.
- Zeng Zhigang, Li Chaoyang, Liu Yuping, Tu Guangchi. 1998. REE geochemistry of scheelite of two genetic types from Nanyangtian, Southeastern Yunnan[J]. *Geology–Geochemistry*, 26(2):34–38(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuxue, Liu Yimao, Gao Sideng, He Qiguang. 1990. REE geochemical characteristics of tungsten minerals as a discriminant indicator of the genetic types of ore deposits[J]. *Geochimica*, 19(1): 11–21(in Chinese with English abstract).
- Zhen Yunqing, Chen Jinxin. 1998. An approach to the genesis of the granite type molybdenum deposits in Jianbi, Jiangsu[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 8(4): 353–366(in Chinese with English abstract).
- Zhou Yao, Tao Jianli, Kang Xiaolong, Chen Zhenghui, Zhang Yongzhong, He Genwen. 2015. Geological characteristics and chronology study for the intermediate–basic dyke of Pangushan tungsten ore deposit[J]. *China Tungsten Industry*, 30(5):7–16(in Chinese with English abstract).
- Zhu Mingbo, Tan Hongyan, He Denghua, Li Hongzhong. 2012. Geochemical characteristics of Maoping tungsten–tin Deposit granite in Jiangxi Province[J]. *Nonferrous Metals(Mining Section)*, 64(5):34–39(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yanan, Peng Jiantang, Liu Shengyou, Sun Yuzhen. 2014. Mineral deposit geology and trace element geochemistry of wolframite from the Woxi deposit, western Hunan, China[J]. *Geochimica*, 43(3):287–300(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈润生. 2013. 闽北建瓯上房钨矿床成矿作用特征及矿床成因[D]. 武汉: 中国地质大学.
- 陈郑辉. 2013. 江西省崇义县淘锡坑钨矿床总结研究报告[R].

- 董少花, 毕献武, 胡瑞忠, 陈佑纬. 2014. 湖南瑶岗仙复式花岗岩岩石成因及与钨成矿关系[J]. 岩石学报, 30(9):2749-2765.
- 丰成友, 曾载淋, 王松, 梁景时, 丁明. 2012. 赣南砂卡岩型钨矿成矿年代学及地质意义——以焦里和宝山矿床为例[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 337-349.
- 丰成友, 黄凡, 曾载淋, 屈文俊, 丁明. 2011. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(1): 111-121.
- 葛良胜, 李汉光, 王科强, 邹依林, 王治华, 张学军, 袁士松, 邢俊兵. 2006. 西藏申扎县甲岗雪山钨钼铋多金属矿床地球化学特征[J]. 矿床地质, 26(增):345-348.
- 郭志军, 李进文, 常裕林, 韩增光, 董旭舟, 杨郎城, 田京, 余宏全, 向安平, 康永建. 2015. 内蒙古红花尔基白钨矿矿床花岗岩成因类型及成矿意义[J]. 岩石矿物学杂志, 34(3):322-342.
- 李社宏, 李文铅, 丁玉进, 刘建平, 梁前勇, 曹志明. 2010. 瑶岭钨矿白基寨花岗岩地质特征及成矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 34(1): 139-146.
- 李顺庭, 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 程细音, 蒋斌斌. 2015. 瑶岗仙复式岩体地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 矿产勘查, 6(4): 347-355.
- 李逸群, 颜晓钟. 1991. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 刘慷怀. 1990. 广西珊瑚锡矿稀土元素的地球化学[J]. 桂林冶金地质学院学报, 10(3):251-260.
- 刘茜. 2013. 陕西镇安钨矿床特征及成因研究[D]. 北京:中国地质大学.
- 刘善宝, 刘站庆, 王成辉, 王登红, 赵正. 赣东北朱溪超大型钨矿床中白钨矿的稀土、微量元素地球化学特征及其Sm-Nd定年[J]. 地学前缘, 24(5):17-30.
- 刘英俊. 1984. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社.
- 马铁球, 王先辉, 柏道远. 2004. 锡田含W、Sn花岗岩体的地球化学特征及其形成构造背景[J]. 华南地质与矿产, 1: 11-16.
- 毛景文, 李红艳, 宋学信, 芮柏, 胥友志, 王登红, 蓝晓明, 张景凯. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京:地质出版社.
- 莫名滇. 1990. 阳储岭成矿岩体的地球化学特征[J]. 矿物岩石, 10(2): 82-91.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 袁顺达. 2005. 湘西沃溪金锦钨矿床中白钨矿的稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 34(2):115-122.
- 冉明佳, 钟康惠, 杨建功, 罗明非. 2015. 云南香格里拉麻花坪钨矿床地球化学特征及其成因意义[J]. 四川有色金属, (2):42-45.
- 任云生, 赵华雷, 雷恩等. 延边杨金沟大型钨矿床白钨矿的微量和稀土元素地球化学与矿床成因[J]. 岩石学报, 2010, 26(12):3720-3726.
- 邵军, 李秀荣, 杨宏智. 2011. 黑龙江翠宏山铅锌多金属矿区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地球学报, 32(2): 163-170.
- 盛继福. 1992. 我国钨矿资源形势[J]. 中国钨业, 9:5-9.
- 盛继福, 陈郑辉, 刘丽君, 应立娟, 黄凡, 王登红, 王家欢, 曾乐. 2015. 中国钨矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 89(6):1038-1050.
- 盛继福, 王登红. 2018. 中国矿产地质志·钨矿卷[M]. 北京:地质出版社.
- 王冠, 杜谷, 刘书生, 石洪召, 张林奎. 2012. 电感耦合等离子体质谱法对白钨矿中稀土元素的准确测定——以云南麻栗坡南秧田白钨矿床的成因探讨为例[J]. 岩矿测试, 31(6):1050-1057.
- 汪应庚, 王秀蓉, 任明君. 2013. 安徽祁门东源斑岩型钨矿含矿岩体特征[J]. 安徽地质, 23(3): 179-195.
- 王先广, 刘站庆, 刘善宝, 王成辉, 刘建光, 万浩章, 陈国华, 张树德, 刘小林[J]. 2015. 江西朱溪铜钨矿细粒花岗岩LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学研究[J]. 岩矿测试, 34(5): 592-608.
- 王勇, 王立强, 范源, 李申, 旦真王修, 郑斯伦, 高腾. 2019. 班公湖—怒江成矿带西段角闪石英脉型钨矿床地质特征及黑钨矿地球化学特征[J]. 岩石学报, 35(3):724-736.
- 吴筱坪, 欧阳永棚, 周耀湘, 钟仕俊, 陈国华. 2015. 景德镇朱溪钨铜多金属矿床岩浆岩地球化学特征及其对成矿的约束[J]. 中国地质, 42(6):1885-1896.
- 吴显愿, 张智宇, 郑远川, 戴佳良, 樊献科, 盛俞策. 2019. 赣北大湖塘超大型钨矿多期似斑状花岗岩岩浆作用、成因及意义[J]. 岩石矿物学杂志, 38(3):34-54.
- 肖剑, 王勇, 洪应龙, 周玉振, 谢明璜, 王定生, 郭家松. 2009. 西华山钨矿花岗岩地球化学特征及与钨成矿的关系[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 32(1):22-30.
- 薛玉山, 柳振江, 成少博, 朱保霖, 王建平. 2014. 胶东邢家山大型钨矿地质地球化学特征及成因意义[J]. 中国地质, 41(2):540-557.
- 向安平, 陈毓川, 余宏全, 李光明, 李应棚. 2018. 内蒙古苇莲河石英英脉型黑钨矿赋花岗岩成岩时代、地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 45(5):107-120.
- 闫国强, 丁俊, 黄勇, 李光明, 戴婕, 王欣欣, 白景国[J]. 2015. 西藏努日白钨矿床微量和稀土元素地球化学特征对成矿流体与矿床成因的指示[J]. 矿物学报, 35(1):87-104.
- 杨帆, 肖荣阁, 白凤军, 梁涛. 2013. 江西赣州淘钨坑钨矿床稀土地球化学研究[J]. 地质与勘探, 49(6):1138-1152.
- 杨振, 王汝成, 张文兰, 储著银, 陈骏, 朱金初, 章荣清. 2014. 桂北牛塘界加里东期花岗岩及其砂卡岩型钨矿成矿作用研究[J]. 中国科学, 44(7):1357-1373.
- 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 涂光炽. 1998. 滇东南南秧田两种不同成因类型白钨矿的稀土元素地球化学特征[J]. 地质地球化学, 26(2): 34-38.
- 张玉学, 刘义茂, 高思登, 何其光. 1990. 钨矿物的稀土地球化学特征——矿床成因类型的判别标志[J]. 地球化学, 19(1):11-21.
- 真允庆, 陈金欣. 1988. 江苏谏壁花岗岩型钨矿床的成因[J]. 桂林冶金地质学院学报, 8(4): 353-366.
- 周瑶, 陶建利, 康小龙, 陈郑辉, 张永忠, 贺根文. 2015. 江西盘古山钨矿床中基性岩脉地球化学特征及其年代学研究[J]. 中国钨业, 30(5):7-16.
- 朱明波, 谭红艳, 何登华, 李红忠. 2012. 江西茅坪钨锡矿床花岗岩地球化学特征[J]. 有色金属, 64(5):34-39.
- 祝亚男, 彭建堂, 刘升友, 孙玉珍. 2014. 湘西沃溪矿床中黑钨矿的地质特征及微量元素地球化学[J]. 地球化学, 43(3):287-300.