江西省石英脉型钨矿床黑钨矿中稀土元素的组成特点

林 伟 圣

（江西地质矿产调查研究大队）

江西省石英脉型钨矿床黑钨矿中稀土元素组成的特点是：总量变化大，富重稀土元素，具“V”型配分模式曲线，与成矿母岩相比有较低的稀土元素总量和更弱的铕亏损，区域分布上南富北贫等。本文探讨了成岩—成矿过程中稀土元素组成的变化特点及其影响因素。

关键词：江西省；石英脉型黑钨矿；稀土元素特征

黑钨矿中稀土元素的丰度

通过对39个矿区、320个样品资料❶的统计，黑钨矿中稀土元素含量由痕量至1310ppm（多在50～350ppm之间），平均值为218.3ppm，在一个矿区内样品之间含量相差一般以2～6倍为常见，高者达4倍（如阡坑）。

就矿床产出类型来说，产于内接触带石英脉型矿床的黑钨矿中稀土元素含量高于外接触带型矿床（表1），这主要与花岗岩母岩有关。

不同产出类型矿床黑钨矿稀土元素含量表 **表 1**

矿床产出类型	矿床数（处）	TR_2O_3（ppm）	
		范 围	平 均
外接触带	28	0～530	184.4
内接触带	11	20～660	304.8

黑钨矿中稀土元素的分布特点

1．区域分布特点 江西省石英脉型钨矿床黑钨矿中稀土元素含量与同范围内成矿花岗岩的稀土元素含量变化相同，呈现南富北贫的趋势（图1），以横亘中部的萍乡—广丰深断裂为界，与江西省构造分区大体一

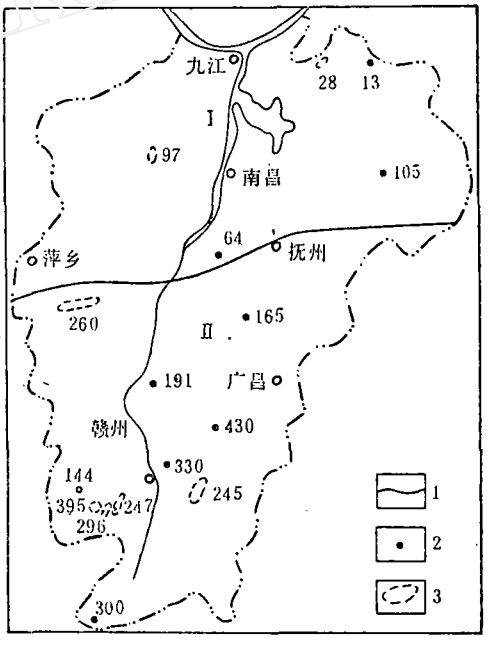

图 1 石英脉型黑钨矿中稀土含量分布

I—赣北前加里东褶皱带；II—赣南加里东褶皱带；1—构造单元界线；2—矿区位置（数字表示TR_2O_3平均值）；3—矿田位置（数字表示TR_2O_3平均值）

❶引自各矿区的地质工作报告及有关研究成果。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

致，可分两区，即：

赣北区　江南台隆[1]范围，为前加里东地槽，沉积了巨厚的复理石建造（称双桥山群），构成了江西省的基底岩石，也是该区石英脉型钨矿床的主要围岩之一。晋宁（Ⅱ幕）运动结束了地槽环境而转入地台型沉积。区内岩浆活动，除伴随地槽发展形成的从半原地交代花岗岩，向侵入花岗岩转化的过渡类型——异地交代花岗岩❷（称九岭花岗闪长岩）岩基外，较强烈的岩浆活动是燕山早期晚阶段至燕山晚期，也是石英脉型钨矿床形成的主要时期，同位素年龄为1.44～0.78亿年，相当于晚侏罗世至早白垩世之间，岩石的稀土元素丰度为176.8ppm；而基底岩石（双桥山群）的丰度为212.6ppm，石英脉型钨矿床黑钨矿的丰度为61.8ppm（表2）。

江西两区岩石、矿物的TR_2O_3含量(ppm)对比　　**表 2**

地区	TR_2O_3		基底岩石	与成矿有关的花岗岩	石英脉中黑钨矿
赣北区	TR_2O_3	含量	115.97～322.5	86～292	0～185
		平均	212.65	176.8	61.8
	矿床或岩体数（个）		3	3	10
	样品数（个）		6	3	28
赣南区	TR_2O_3	含量	118～413	43.7～435.8	0～1310
		平均	281.1	267.5	245.2
	矿床或岩体数（个）		4	16	29
	样品数（个）		13	57	292

资料来源：陶注①、②及江西地质科学研究所三室。

赣南区　属华南褶皱系赣中南褶隆[1]，早古生代时仍为地槽相沉积，加里东运动结束了地槽沉降历史。因而，本区基底岩石可能存在前古生代和早古生代两套沉积建造。岩浆活动频繁而强烈，尤以燕山早期为最重要，也是石英脉型钨矿床的最重要的成矿时期，成矿岩体的同位素年龄值主要集中在1.92～1.00亿年之间，相当于早侏罗世至早白垩世，成矿高峰期在中一晚侏罗世，略早于赣北区。石英脉型钨矿床的围岩以震旦一寒武系最常见，其稀土元素的丰度为281.1ppm，而与成矿有关的花岗岩的丰度为267.5ppm，石英脉型钨矿床黑钨矿中的平均含量为245.2ppm。

综上所述，无论基底岩石、成矿有关的花岗岩，还是石英脉型钨矿床，其黑钨矿中的稀土元素丰度，赣南区均高于赣北区，这与地区的原始地球化学场、区域地壳及深部地质构造的发展历史等密切相关。

2．矿床的分布特点

（1）时间上的特点　多阶段成矿是江西石英脉型钨矿床成矿作用的特点之一，从早到晚各矿区虽存在各自不同次数的成矿阶段，但都遵循着从硅酸盐一氧化物一硫化物一碳酸盐的演化规律，氧化物和硫化物阶段是工业矿物堆积的主要阶段，这两个阶段矿液的化学性质处于弱酸一弱碱之间，据朱焱龄等的资料，氧化物阶段的pH值为6.4～7.2，硫化物阶段为6.9～7.2[2]，氧化物阶段的酸度略高；脉石英包裹体成分中，CO_2/

❷刘家远等：江西省花岗岩类的基本特征及与钨矿成矿关系，1983年。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

CH_4的比值，早阶段高于晚阶段，如漂塘矿区早阶段（Ⅱ、Ⅲ）为2.62～5.59，而晚期硫化物（Ⅳ）阶段则为1.36～3.12❸；大王山矿区早、晚阶段其比值分别为327和254。野外观察晚阶段的矿物组合，较早阶段相对富集硫化物，这些都表明了晚阶段处于相对还原环境。在成矿温度上早阶段至晚阶段也表现出降温过程，朱焱龄等提供的资料[2]也显示相同的趋势。这些都说明不同成矿阶段之间成矿的物理、化学条件的变化，必然引起稀土元素的演化和分馏。据各矿区资料（表3），随着成矿时间从早到晚的推移，成矿环境由弱酸性向弱碱性转化，由氧化转为相对还原条件，成矿温度由高向低等一系列变化，伴之黑钨矿中稀土元素含量不断降低，有的矿区甚至成倍降低；晚阶段较早阶段相对富集轻稀土元素，并出现铕亏损的减弱，甚至出现不亏损现象，如小龙及新坊矿区晚阶段黑钨矿的δEu值可大于1。

不同成矿阶段黑钨矿中稀土元素组成表　表 3

矿区名称	成矿阶段	样品数（个）	TR_2O_3 (ppm)	ΣCe/ΣY	δEu
大王山	早阶段	1	184.8	0.074	0.303
	晚阶段	3	96.92	0.163	0.318
小龙	早阶段	2	240	0.05	0.405
	晚阶段	2	143	0.058	1.072
漂塘❹	Ⅱ阶段	4	280		
	Ⅲ阶段	17	60		
	Ⅳ阶段	29	17		

（2）空间上的变化特点　水平方向上目前所做工作不多，仅就大王山矿区东脉组V_{29}矿脉取样情况看（表4），表现为矿脉中部稀土元素含量高于两侧，并具有略小的铕负异常；垂直方向上变化情况较为复杂，以取样资料较系统的四矿区为例（图2），黑钨矿中稀土元素的含量多呈波动式向下渐增趋势，尤以低标高取样的矿区更为明显，且波动幅度较大。

大王山V_{29}矿脉黑钨矿中稀土元素组成表　表 4

部位	TR_2O_3(ppm)	ΣCe/ΣY	δEu
北段	58.78	0.166	0.406
中段	82.23	0.232	0.306
南段	63.09	0.234	0.326

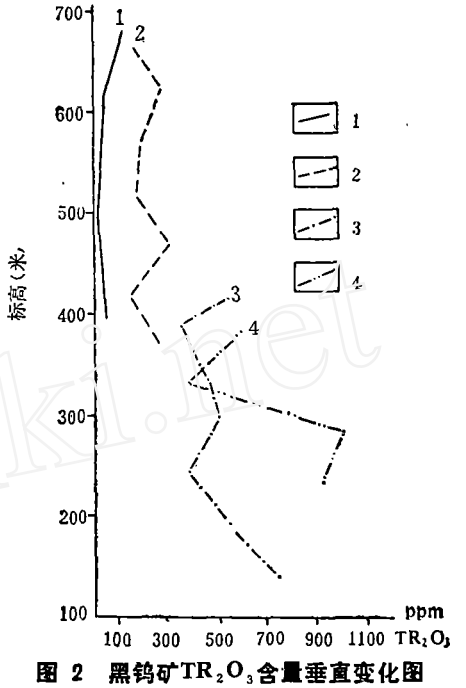

图 2　黑钨矿TR_2O_3含量垂直变化图

1—漂塘；2—樟栋坑；3—浒坑；4—大龙山

黑钨矿中稀土元素配分模式特点

尽管不同矿区间的地质、地球化学背景存在着差异，然而，它们黑钨矿的稀土元素配分曲线形态及其他特征值却存在着共同的特点，即：

1．都存在不同程度的铕亏损，其δEu值变化范围一般在0.2～0.84之间，平均值为0.55，但个别矿区晚阶段结晶的黑钨矿的δEu值接近或大于1。

2．稀土元素配分模式曲线形态，均呈向左倾斜的“V”型（或“烟斗”式）（图3、

❸赖乙雄等：漂塘、下垄两钨矿区矿物标型特征的研究，1983年。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4)。曲线的右侧部分（钆以后），以斜率很大的曲线陡峻上升；而曲线左侧部分（轻稀土部分），则呈平缓的倾斜，有的近于水平展布，其位置都低于成矿有关的花岗岩的曲线，但曲线的起伏状态基本上平行于花岗岩的曲线。

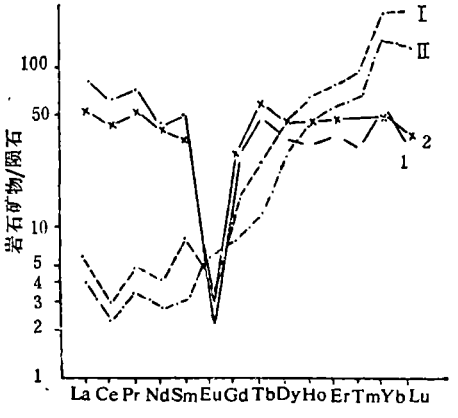

图 3　小龙矿区稀土元素配分模式曲线

1—黑云母花岗岩；2—白云母花岗岩；

Ⅰ—早阶段黑钨矿；Ⅱ—晚阶段黑钨矿

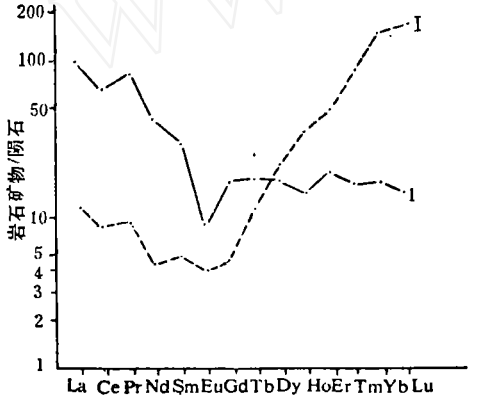

图 4　白鹅矿区稀土元素配分模式曲线

Ⅰ—黑云母花岗岩；1—黑钨矿

3．普遍富集重稀土元素，$\Sigma Ce/\Sigma Y$值均小于1，一般为0.036～0.23之间。

4．早、晚两个阶段的黑钨矿的稀土元素组成特点相近似，故二者曲线互相平行，但晚阶段各元素含量均低于早阶段，因而晚阶段的曲线位置低于早阶段。

石英脉型钨矿床成因上多与壳源重熔花岗岩有关，业已为大多数地质工作者所确认，此类花岗岩在稀土元素组成上具明显的铕亏损。但对成矿有意义的花岗岩，是经历了多阶段的分异演化，每次的结晶分离过程，都有大量长石（尤其斜长石）的结晶，消耗了岩浆中的铕，并攫取轻稀土元素，导致成岩阶段铕亏损明显（δEu值为0.47～0.02），且略富集轻稀土元素，配分模式曲线呈缓倾斜或水平的“V”型（见图3、4）。成矿阶段继承了母岩的特点，亦具铕的负异常，但本阶段演化，向富铕转化，因此，铕亏损逐渐变弱，由于轻稀土元素在成岩阶段进入岩石，从而出现重稀土元素的富集，故黑钨矿富含重稀土元素，配分模式曲线与母岩曲线既有相似之处，又独具特点，表现为曲线左侧二者同步起伏，但重稀土元素部分的曲线形态二者迥异，黑钨矿的曲线以48～58度的倾角上升，而独具特点，可能是成岩、成矿作用演化的结果。

稀土元素的分馏特点

江西石英脉型钨矿床的形成，与壳源重熔花岗岩的侵入、分异和演化关系极为密切。一般来说，岩浆的分异、演化作用进行得愈完全，成矿作用亦愈强烈。因此，矿床的形成是岩浆分异、演化的继续和发展，所以成岩与成矿作用之间存在着有机联系，应视为一个地质作用整体发展的两个不同阶段。

随着成岩成矿作用的发展，其物理、化学条件亦作有规律的变化，导致稀土元素组成的分馏。总体上说，成岩成矿分异演化作用愈明显，稀土元素分馏现象亦愈清晰，表现在：

1．稀土元素总量　黑钨矿中稀土元素的含量一般低于成矿有关的花岗岩。但就成岩或成矿单一过程的各自变化却是一致的，都表现为从早阶段到晚阶段稀土元素含量由高向低变化。但这两个过程之间的变化可有

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

两种情况，一为成矿阶段或成矿早期黑钨矿的稀土元素含量高于成岩晚期，整个过程的演化表现为高一低一略高一最低的波浪式变化，赣南区的矿床多属这种变化，如漂塘、大王山和白鹅等矿区（图5*A*）；另一种为成矿期的黑钨矿中稀土含量低于成岩期，而呈连续降低的变化，赣北区的矿床常出现这种特点，如大湖塘、葛源等矿区。

2．δEu值 黑钨矿的δEu值继承了成矿花岗岩的特点，多属铕亏损类型，但成矿阶段较成岩阶段的亏损程度弱，即进入成矿阶段，铕有回升现象，有的矿区甚至出现不亏损，如小龙矿区成矿晚阶段结晶的黑钨矿有的δEu值大于1（图5*B*），新坊矿区黑钨矿的δEu值可高达1.41。成岩阶段从早阶段到晚阶段铕亏损程度却由弱而强，δEu值由大而小，岩浆分异演化较完全，表现在岩性上差别亦较大，δEu值的变化亦显悬殊，如大吉山矿区，成岩阶段分异演化较完全，演化顺序为黑云母钾长花岗岩—二云母二长花岗岩—白云母碱长花岗岩，δEu值从黑云母花岗岩的0.61，到白云母花岗岩则降到0.04；如分异演化结果，岩性差异小，δEu值的差别亦然，如大王山矿区，岩浆分异演化仅表现为主体与附加侵入体之别，岩性上都属黑云母花岗岩，二者仅有粒度上的差别，它们的δEu值分别为0.203和0.253，非常接近（图5*B*）。说明成岩和成矿两个不同阶段，有迥异的演化，成岩阶段δEu值由大向小演化，铕亏损程度由小而大，成矿阶段却反之，向相对富集铕的方向演化。

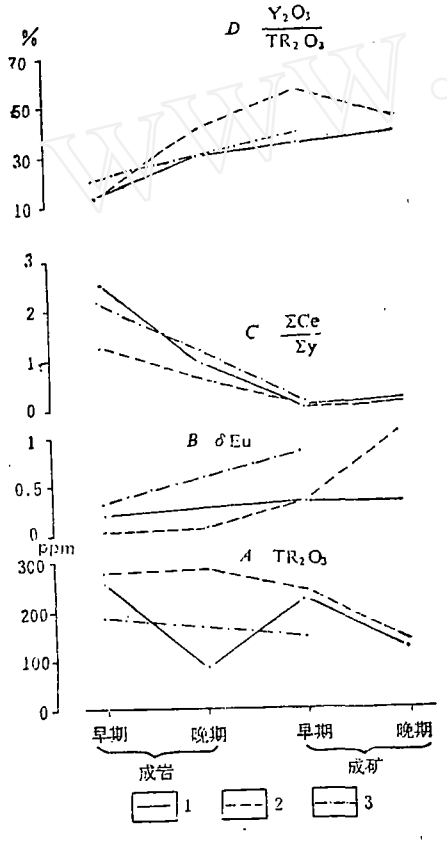

图 5 成岩成矿过程稀土元素演化图

1—大王山；2—小龙；3—白鹅

3．稀土元素组成 与成矿有关的早阶段花岗岩，岩性上多属黑云母花岗岩，但并非都是直接的成矿母岩，常为成岩成矿演化作用的开始，多属富轻稀土元素的，其ΣCe/ΣY值多大于1，在三元图解上的集中区分布在左侧下部（图6），随着岩浆分异演化到晚阶段侵位，多为直接成矿有关的花岗岩（或属附加侵入的花岗岩），相对地富集中稀土组元素（ΣSm—Ho），ΣCe/ΣY值为0.3～0.99，三元图解的集中区稍远离底边，并略向右侧偏移；成矿阶段的黑钨矿，

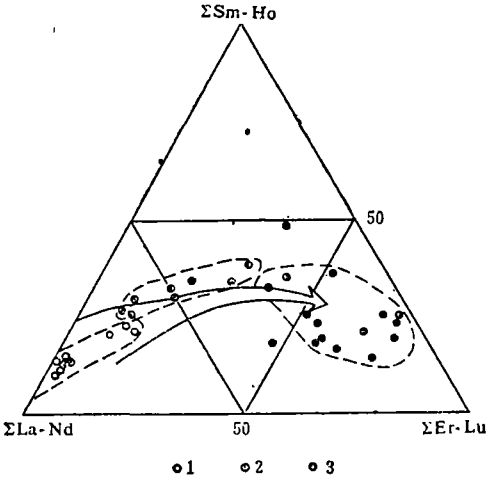

图 6 稀土元素三元图解

1—早阶段花岗岩；2—晚阶段花岗岩；3—黑钨矿

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

总是以富集重稀土组元素（ΣEr—Lu）为特征，ΣCe/ΣY值多小于0.3，在三元图解中的集中区在右侧下方（见图6）。表明在成岩成矿演化过程中，稀土元素的分馏现象是明显的。而且重稀土组中的钇元素的含量及其在稀土元素总量中所占的比例不断上升（见图5*D*），Y_2O_3/TR_2O_3值一般高于37%，黑钨矿中的比值总是高于成矿有关的花岗岩。说明成矿阶段，是以富重稀土元素（尤以富钇）为特征。一方面由于成岩之后的残液中富重稀土元素，另一方面矿液处于弱酸环境，既适于黑钨矿的晶出，亦利于重稀土元素的沉淀，并被结晶中的黑钨矿所捕获，导致了轻、重稀土元素分馏，因此，黑钨矿总是富重稀土元素。所以，地质作用的发展是引起稀土元素分馏的主要因素。

本文系笔者参加《南岭及其邻区钨矿成矿规律》研究的粗浅认识。成文中得到李亿斗、卢德揆、刘义茂的帮助。周雪生清绘图，一并深表感谢。

参考文献

[1] 江西地质矿产局：《江西省区域地质志》，地质出版社，1984年

[2] 朱焱龄等：《赣南钨矿地质》，江西人民出版社，1981年

[3] Henderson, P.:地质地球化学（增刊），1985

[4] 赵振华：地质地球化学，1982，第1期

Rare Earth Elements in Wolframite-Quartz Veins, Jiangxi

Lin Weisheng

The REE distribution of wolframite quartz veins in Jiangxi Province is characterized by: large variation in their total content, rich in heavy RE elements and a U-shaped distribution pattern. By comparing with their metallogenic parent rocks, the veins are low in total REE content and more large Eu depletion. The regional distribution of REE is rich in the south and poor in the north of the Province.

雪地质学
——地球化学找矿中雪的利用

大家知道，在北国，对于地质工作者来说，野外工作季节是从春暖花开的时候才开始的，因为冬天冰雪封盖着大地，许多地方去不得，许多工作干不成。

然而，因为冰雪严寒，地质工作者难以跋足的地方，对于地球化学家来说却不在话下。他们凭借先进的仪器设备，毋须去爬雪坡，踏冰川，积雪本身就可以告诉他们，在冰雪覆盖的地下有哪些化学元素，有哪些矿藏。

道理在于：金属离子由于化学侵蚀的作用能够透过冻结的岩层转移到地表。造成离子向上运动主要是热扩散作用，也就是离子从深处比较热的岩层向冷却了的地表岩层的移动。在冰冻的土壤中有足够的水分、金属元素可以沿着土层中的毛细管逐渐向上移动，并从土壤进入积雪中。

白俄罗斯科学院地球化学和地质力学研究所的专家们在一片长满针叶林和混交林的沼泽地进行了试验。之所以选择这片地方，不仅因为这里有闻名的矿藏，而且在夏秋季节象这样林深树密的沼泽地是根本无法到达的。

雪样要在二月底至三月初从紧贴在地皮的雪层中取得。取得雪样后，把它们熔化，然后进行色层分离和光谱分析试验。试验表明，该地区雪样中的金属元素的含量大大高于其它地区。这种方法在实际上被证明为冬季地质找矿的最有效方法。

毛子成译自苏《科学与生活》第10期

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net