

华南含锡钨花岗岩的稀土元素 地球化学特征和岩石成因

朱金初 徐士进

(南京大学地球科学系)

内容提要: 本文根据华南含钨锡花岗岩的稀土元素分布特征, 将花岗岩分为四类, 即稀土正常型, 轻稀土富集型, 重稀土富集型和稀土亏损型; 并从稀土元素地球化学角度讨论了四类岩石的成因问题。

主题词: 含钨锡花岗岩 稀土元素地球化学特征 岩石成因 华南

一、前言

花岗岩的稀土配分型式, 是花岗岩形成机制、分异方式和演化历史的重要地球化学指示剂。但由于花岗岩类岩石形成的物质来源、熔融过程、分异演化和挥发分的影响等因素较为复杂, 从而给利用稀土元素配分型式来解释花岗质岩石的成因问题带来困难。其主要原因常常在于, 花岗质岩石的可能的母源类型往往甚多; 部分熔融和岩浆分异的详细机制尚不能明确肯定; 挥发组分的参与和效应尚不太清楚; 作为岩浆成分和温度函数的稀土分配系数尚缺乏权威性的系统数据; 富含稀土的副矿物相的存在与否和它们的差异性, 等等。本文根据作者近年来对华南近20个壳源型与锡钨矿化直接有关的矿化花岗岩和某些无矿花岗岩所作的全岩等离子光谱稀土元素分析及花岗岩中造岩矿物和副矿物的中子活化分析, 结合其它地质和地球化学研究成果, 讨论华南含锡钨花岗岩中稀土元素的地球化学特征及其成岩意义。

二、华南含锡钨花岗岩中稀土元素配分的一般特征

华南是世界上最重要的锡钨矿产分布区之一, 其中不少锡钨矿床还伴生有重要的铌、钽、锂、铍和稀土矿化。与这些稀有元素矿化有关的岩体多为燕山期壳源型复式花岗岩体, 而稀有元素矿化则往往与最晚阶段的超酸性富碱花岗岩小岩体直接有关。以往的研究⁽¹⁾业已表明, 在华南与重要的工业钨矿床有关的岩体主要集中在后加里东隆起区以及靠近这些隆起区的海西-印支拗陷的边缘部位; 与重要的锡矿床有关的岩体主要分布在海西-印支拗陷区内。

本文选择了与锡矿有关的云南个旧地区的马拉格和老厂, 广西的大厂和花山(第三阶段), 广东的银岩、锡山和大凹笃, 江西的曾家垅, 湖南的香花岭等花岗岩体; 与钨矿有关的有江西的西华山、浒坑、黄沙、大吉山, 广东的小南山, 湖南的邓阜仙等花岗岩体; 与铌-

钽(锡、钨)矿化有关的雅山、栗木以及大吉山和邓阜仙的最晚阶段花岗岩体作为研究对象。上述矿化花岗岩的地理位置和大地构造位置见图1。它们的地质学和岩石学特征,已有前人进行过大量的工作,本文不再赘述。代表性的新鲜花岗岩样品的稀土元素分析数据以及主要的参数值列在表1中。

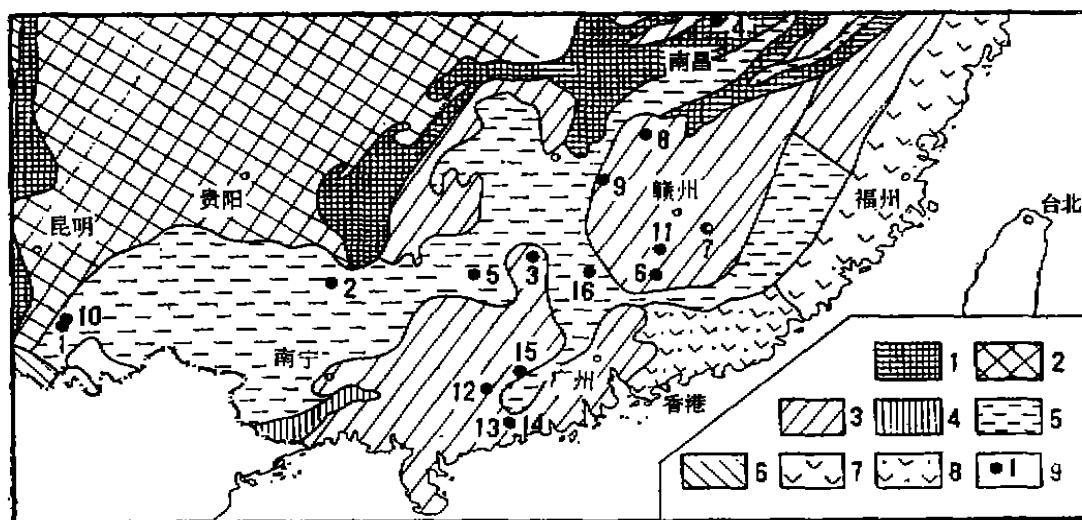


图1 华南若干典型锡、钨(钽-钼)矿化花岗岩体分布示意图(岩体编号同于表1)

1—前寒武纪古陆; 2—西南地台; 3—后加里东隆起; 4—海西地槽; 5—海西-印支拗陷; 6—三江褶皱带; 7—海西-燕山断陷活动带; 8—燕山火山岩带; 9—岩体及编号

Fig. 1. Simplified geotectonic map of South China indicating locations of studied tin/tungsten-bearing granites.

1—Precambrian old land; 2—Platform with sedimentary cover; 3—Post-Caledonian uplift; 4—Hercynian geosyncline; 5—Hercynian-Indosinian depression; 6—Indosinian fold belt; 7—Hercynian-Yanshanian active belts; 8—Yanshanian volcanic belts; 9—Granitic body and its serial number; ①—Laochang; ②—Dachang; ③—Xianghualin; ④—Zhenjialong; ⑤—Huashan; ⑥—Dajieshan; ⑦—Huangsha; ⑧—Huken; ⑨—Dengbuxian; ⑩—Malage; ⑪—Xihuashan; ⑫—Yinyan; ⑬—Xishan; ⑭—Xuananashan; ⑮—Dazodui; ⑯—Qianlishan.

Haskin等^[11]和Herrmann^[12]对花岗岩类岩石的稀土配分特征进行了分析和统计,获得世界平均花岗岩的稀土丰度约为290ppm(包括Y),其 $\Sigma Ce/\Sigma Y=3.5$, $\delta Eu=0.47$ 。综合对比本文所研究的壳源型花岗岩和世界平均花岗岩的稀土配分特征,可获得如下几点主要的规律性认识:

(1) 华南大多数锡钨花岗岩的稀土总量偏低

华南大多数含锡钨花岗岩的稀土总量在250—50ppm之间,其中包括邓阜仙、大吉山、黄沙、曾家垅、、浒坑、大厂、老厂和花山(最晚阶段)等岩体。与世界平均花岗岩的稀土总量平均值相比,稀土总量偏低;尤其是含Li、F的花岗岩,如雅山和栗木等,稀土总量特低,均低于50ppm;但亦出现一些稀土总量超过250ppm的花岗岩体,如西华山、银岩和锡山等。

(2) 华南含锡钨花岗岩中一般重稀土相对富集

华南含锡钨花岗岩以轻重稀土比值小为特征,其 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 多接近1或小于1,表明重稀土

表 1 华南某些典型锡钨花岗岩样品的全岩含量和参数表 (ppm, ICP法测试)

Table 1. REE contents and parameters of several tin/tungsten-bearing granites in South China

类型	编号	岩体名称	样号	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
I	1	老厂	G-16	细粒花岗岩	88.56	36.41	0.71	24.20	10.33	0.15	11.06	2.03	14.59
	2	大厂	840-1	黑云母花岗岩	9.80	17.45	2.03	8.25	2.90	0.20	2.79	0.58	2.77
	3	香花岭	X-15	弱蚀变黑云母花岗岩	29.7	62.5	9.5	30.0	10.5	0.15	9.7	1.7	5.0
	4	曾家垅	Z-2	黑云母花岗岩	10.35	22.5	3.5	15.9	3.4	0.11	3.45	0.76	5.35
	5	花山	II-6-2	细粒花岗岩	12.03	32.06	4.09	18.88	4.98	0.18	5.51	1.12	6.63
	6-a	大吉山	①	二云母花岗岩	19.61	40.70	6.04	20.58	5.43	0.41	4.51	1.11	5.23
	7	黄沙	②	白云母花岗岩	14.84	32.56	6.79	15.26	5.17	0.28	6.42	1.77	10.28
	8	浒坑	H-4	白云母花岗岩	10.33	25.28	3.90	14.47	6.29	0.19	6.74	1.21	6.05
	9-a	邓阜仙	D-2	二云母花岗岩	11.22	25.74	3.16	11.27	2.42	0.15	2.02	0.33	2.10
II	10	马拉格	G-19	黑云母花岗岩	86.00	141.65	18.1	64.50	11.10	1.24	6.77	1.06	4.73
III	11	西华山	XH-12	中粒黑云母花岗岩	6.91	19.29	3.14	14.57	8.91	0.09	14.32	3.47	23.68
	12	银岩	Y003-1	花岗斑岩	27.56	59.99	9.03	28.58	9.7	0.08	9.33	2.48	17.42
	13	锡山	XS-3	黑云母钾长花岗岩	22.70	50.87	6.61	23.40	7.25	0.16	8.82	1.95	13.43
	14	小南山	N-65-3	黑云母钾长花岗岩	20.59	49.48	11.7	22.40	8.33	0.14	10.97	2.37	16.7
	15	大凹坞	DA-2	细粒花岗岩	37.15	79.40	7.52	34.45	9.25	0.42	12.05	2.75	18.67
	16	千里山	HT-71	细粒花岗岩	23.48	50.37	9.04	36.04	18.88	0.10	23.76	5.12	33.19
IV	17	雅山	Y-7	二云母花岗岩	3.57	7.95	1.11	3.86	1.22	0.05	1.07	0.21	0.97
	18	栗木	LL-43	弱钾化钠化花岗岩	3.0	7.5	1.3	3.6	1.64	0.03	1.75	0.34	2.43
	9-b	邓阜仙	D-3	细粒花岗岩	2.53	6.43	0.84	2.79	0.97	0.08	0.73	0.18	0.78
	6-b	大吉山	①	白云母花岗岩	4.2	5.5	1.66	3.85	3.6	0.07	5.6	0.8	2.1
类型	编号	岩体名称	样号	岩 性	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$\frac{\Sigma Ce}{\Sigma Y}$	δEu
I	1	老厂	G-16	细粒花岗岩	3.00	8.00	1.36	8.36	1.00	71.79	215.64	0.78	0.04
	2	大厂	840-1	黑云母花岗岩	0.59	1.67	0.28	1.29	0.26	16.11	66.8	1.51	0.20
	3	香花岭	X-15	弱蚀变黑云母花岗岩	2.95	8.4	1.77	9.0	1.31	56.0	248.0	1.40	0.05
	4	曾家垅	Z-2	黑云母花岗岩	1.02	3.4	0.59	3.8	0.44	28.8	101.3	1.22	0.10
	5	花山	II-6-2	细粒花岗岩	1.60	4.72	0.87	5.58	0.86	41.16	138.47	1.04	0.10
	6-a	大吉山	①	二云母花岗岩	1.22	3.76	0.55	6.15	0.53	39.37	155.2	1.48	0.27
	7	黄沙	②	白云母花岗岩	2.44	7.52	1.23	6.5	1.28	60.63	172.97	0.76	0.17
	8	浒坑	H-4	白云母花岗岩	0.96	2.44	0.53	2.28	0.35	32.58	113.46	1.14	0.08
	9-a	邓阜仙	D-2	二云母花岗岩	0.36	1.05	0.24	1.19	0.20	11.35	83.54	1.83	0.19
II	10	马拉格	G-19	黑云母花岗岩	0.94	2.24	0.35	2.69	0.48	17.50	359.27	8.79	0.38
III	11	西华山	XH-12	中粒黑云母花岗岩	5.27	17.15	3.23	19.87	3.13	167.8	310.84	0.21	0.03
	12	银岩	Y003-1	花岗斑岩	3.65	12.54	2.4	19.53	2.85	100.42	314.0	0.84	0.03
	13	锡山	XS-3	黑云母钾长花岗岩	2.98	9.80	2.00	10.85	1.82	96.71	258.95	0.75	0.06
	14	小南山	N-65-3	黑云母钾长花岗岩	3.87	12.54	2.19	14.55	2.24	124.81	300.4	0.7	0.05
	15	大凹坞	DA-2	细粒花岗岩	4.73	13.10	2.70	13.19	2.25	110.01	348.75	0.95	0.11
	16	千里山	HT-71	细粒花岗岩	6.96	19.53	3.40	22.94	3.26	204.50	470.59	0.46	0.02
IV	17	雅山	Y-7	二云母花岗岩	0.17	0.44	0.09	0.49	0.07	4.73	25	2.16	0.13
	18	栗木	LL-43	弱钾化钠化花岗岩	0.39	1.01	0.19	0.89	0.13	12.6	35.8	0.86	0.04
	9-b	邓阜仙	D-3	细粒花岗岩	0.16	0.34	0.10	0.49	0.07	3.85	20.35	2.05	0.27
	6-b	大吉山	①	白云母花岗岩	0.13	0.11	0.02	0.03	0.07	11.0	38.75	0.95	0.03

① 地质矿产部南岭花岗岩专题研究组

② 江西地质科学研究所, 1985, 江西钨矿地质特征及成矿规律研究

相对富集。其中 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 稍大于1的有邓阜仙、浒坑、大吉山、花山、曾家垅和大厂等岩体；小于1的有西华山、银岩、锡山、小南山和千里山等岩体，尤其是那些 $\Sigma\text{REE}>250\text{ppm}$ 的花岗岩中表现得更为明显。一个特殊的例子是个旧马拉格花岗岩，其 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}>5$ ，为轻稀土富集型。在球粒陨石标准化曲线上，大多数与矿化直接有关的花岗岩表现出轻重稀土两端近于水平，曲线有时左倾。

(3) 华南含锡钨花岗岩一般具强烈铈亏损

铈亏损十分强烈是华南含锡钨花岗岩的一个显著特点。其中 δEu 大于0.3的只有马拉格花岗岩； δEu 在0.3—0.1之间的有大厂、大吉山、曾家垅、花山、黄沙、邓阜仙等花岗岩； $\delta\text{Eu}<0.1$ 的有锡山、西华山、银岩等花岗岩。

(4) 华南含锡钨花岗岩多为复式岩体

华南大多数锡钨矿床都与复式岩体的最晚阶段花岗岩有关。在一般情况下，随着时代的变新，其 ΣREE 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 和 δEu 都有减小的趋势（表2）。

表2 华南某些复式花岗岩的稀土参数变化表

Table 2. REE parameters of selected multistage composite granite bodies in South China

矿 区	阶 段	岩 性	Rb-Sr年龄 (Ma)	样 号	ΣREE	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	δEu
大 厂	I	斑状黑云母花岗岩	115	530-14	257.60	6.20	0.49
	II	黑云母花岗岩	99	840-1	66.93	1.55	0.20
	III	白岗岩		470-2	27.97	1.31	0.23
邓 阜 仙	I	黑云母花岗岩	184.5	邓-15	538.39	11.05	0.69
	II	二云母花岗岩	171.9	邓-1	110.66	4.66	0.35
	III	白云母花岗岩	110(K-Ar)	邓-3	20.38	2.02	0.28
个 旧	马拉格	斑状黑云母花岗岩	90.4	G-19	359.27	8.79	0.38
	神仙水	黑云母花岗岩	84.4	G-1	251.65	6.49	0.39
	老厂	细粒花岗岩	81	G 16	215.64	0.78	0.04

注：大厂和个旧地区的年龄资料据参考文献[4]；邓阜仙花岗岩的年龄资料据参考文献[2]

(5) 华南含锡钨花岗岩体内不同岩相带中稀土元素的变化

花岗质熔浆在定位后往往发生持久缓慢的分离结晶作用，导致一个岩体内出现不同的岩相带。在大多数分相岩体中，从较早结晶的角闪石黑云母花岗岩经黑云母花岗岩到较晚结晶相的二云母花岗岩和白云母花岗岩，其稀土元素地球化学参数一般都表现出与上述复式岩体的从早到晚类似变化的规律性。如广西花山主岩体（第二阶段）边缘相角闪石黑云母花岗岩的平均 $\Sigma\text{REE}=493\text{ppm}$ ， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=4.8$ ， $\delta\text{Eu}=0.30$ ；而过渡相黑云母花岗岩的平均 $\Sigma\text{REE}=282\text{ppm}$ ， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=2.4$ ， $\delta\text{Eu}=0.3^{[4]}$ 。又如江西曾家垅内部相斑状黑云母花岗岩中 $\Sigma\text{REE}=101.4\text{ppm}$ ， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=1.22$ ， $\delta\text{Eu}=0.10$ ；而过渡相二云母花岗岩中 $\Sigma\text{REE}=34.7\text{ppm}$ ， $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=1.19$ ， $\delta\text{Eu}=0.13^{[4]}$ 。

三、华南含锡钨花岗岩的稀土配分类型

将本文所研究的华南含锡钨花岗岩的稀土元素地球化学参数投影在 $\Sigma\text{REE}-\lg(\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y})$

ΣY) 坐标图上 (图 2), 可以将这些花岗岩的投影点划分成四个不同的范围。它们在球粒陨石标准化配分曲线图 (图 3) 上所占的位置亦有明显的差别。与之相对应, 我们可以根据这些花岗岩中稀土元素地球化学特征的差别, 将它们划为如下四个类型。

I. 稀土正常型 $\Sigma REE = 250 - 50 ppm$, $\Sigma Ce / \Sigma Y \geq 1$ (一般在 1.0—2.0 之间, 个别小于 1), $\delta Eu < 0.4$ (个别小于 0.1), 以大厂、游坑、黄沙、大吉山、邓阜仙、花山 (第二阶段)、曾家垅等花岗岩体为代表。该类花岗岩的稀土配分曲线略呈右倾至两翼水平。在复式

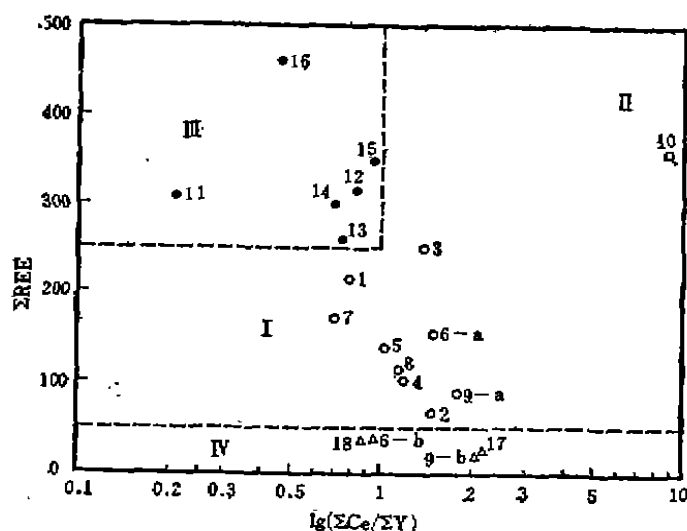


图 2 华南含锡钨花岗岩的

$\Sigma REE - lg(\Sigma Ce / \Sigma Y)$ 图

图中花岗岩数据点的编号同表 1, 罗马数字代表 Sn/W 花岗岩的稀土地球化学特征分类

Fig. 2. $\Sigma REE - lg(\Sigma Ce / \Sigma Y)$ diagram of Sn/W-bearing granites in South China. Arabic numerals represent serial number of granites (the same as in Table 1), while

Roman numerals stand for REE types of Sn/W-bearing granites.

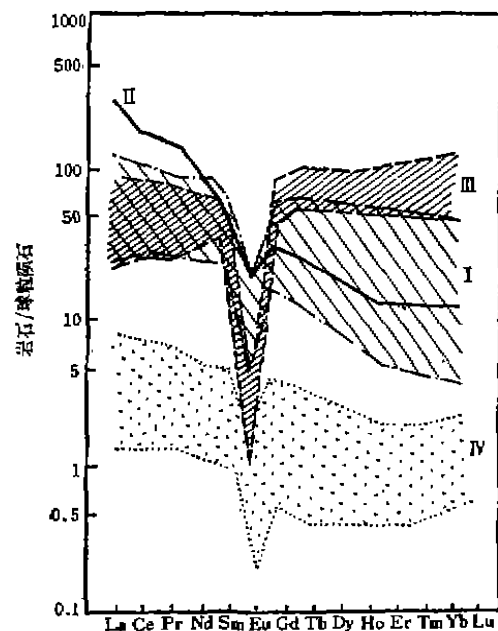


图 3 华南含锡钨花岗岩的球粒陨石标准化稀土配分型式的范围

(罗马数字代表花岗岩的稀土地球化学特征分类)

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of Sn/W-bearing granites.

(Roman numerals represent REE types of Sn/W-bearing granites).

岩体中, 早阶段花岗岩的 ΣREE 、 $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 和 δEu 往往偏高, 但经分异作用形成的晚阶段与矿化直接有关的花岗岩中, ΣREE 、 $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 和 δEu 都有明显下降的趋势, 特别是 ΣREE 下降更为明显。在蚀变过程中, 该类花岗岩中的 REE 往往大量淋失, 造成 ΣREE 大大降低。

II. 轻稀土富集型 $\Sigma REE > 250 ppm$, $\Sigma Ce / \Sigma Y > 5$, 以个旧的马拉格含锡黑云母花岗岩为代表。马拉格黑云母花岗岩的 $\Sigma REE = 359 ppm$, $\Sigma Ce / \Sigma Y = 8.3$, $\delta Eu = 0.38$ 。与本区同源稍晚的另一个老厂花岗岩相比, 马拉格花岗岩的 SiO_2 稍低, MgO 、 CaO 和 $Fe_2O_3 + FeO$ 偏高。在华南和世界众多的壳源型含锡钨花岗岩中, 马拉格型的矿化花岗岩及其稀土配分型式

十分少见。

Ⅲ. 重稀土富集型 $\Sigma \text{REE} > 250 \text{ ppm}$, $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y} \leq 1$, $\delta \text{Eu} < 0.15$, 以西华山、银岩、锡山和千里山等岩体为代表。本类花岗岩中的稀土含量较高, REE配分型式表现为轻重稀土两端近于水平, 甚至为左倾。强烈的Eu亏损使配分曲线中部出现一个特征性的“V”型谷。岩石中往往含有独立的重稀土富集型副矿物, 如磷钇矿、褐钇铈矿、硅铈钇矿、氟碳钙钇矿等, 石榴子石以及黄玉、萤石等含氟矿物亦常见。蚀变时稀土元素含量的变化一般不明显。

Ⅳ. 稀土亏损型 $\Sigma \text{REE} < 50 \text{ ppm}$, 以雅山、栗木及大吉山和邓阜仙最晚期花岗岩为代表。这一类花岗岩往往具富F、Li、Na等为特征。

四、岩石成因讨论

根据华南含锡钨花岗岩的稀土元素地球化学特征, 结合其它有关地质学、岩石学、矿物学和微量元素地球化学特征, 对上述四类具有不同稀土配分特征的矿化花岗岩作如下的成因解释。

以分离结晶作用为主的岩浆分异演化作用是华南含锡钨花岗岩形成过程的一个重要机制, 这也是为什么这些矿化花岗岩主要是多阶段花岗岩体最晚阶段产物的主要原因。在花岗质熔浆发生分离结晶时, 随着熔浆热量的散失, 部分矿物优先晶出并分离, 使花岗质熔浆朝着富硅、富碱、富挥发分和富含锡钨等稀有元素的方向发展和演化。在稀土元素地球化学特征上, 主要表现为 ΣREE 、 $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 和 δEu 等参数值都趋向于逐渐下降。

如果岩浆分异作用发生在深部岩浆房中(深部分异), 并伴随有多次构造复活, 其直接后果是形成多阶段的复式岩体, 其最晚阶段产物往往与矿化直接有关, 如大厂、西华山等岩体。如果分离结晶作用发生在侵位之后(就地分异), 其直接后果是形成空间分带十分明显的花岗岩体, 如花山主体花岗岩。

图4给出了大厂、邓阜仙和个旧三个地区不同侵入阶段花岗岩的稀土配分模式, 图5给出了花山和曾家垅两地不同相带花岗岩的稀土配分模式。在多阶段岩体中从早阶段到晚阶段在分相岩体中从较先结晶相到较后结晶相, 用岩浆分异和演化的机制, 可以很好地解释上述分类中第一类稀土正常型含矿花岗岩的形成方式。

一个分阶段分相的复式岩体中, 不同阶段和不同相带花岗岩的副矿物种属和数量常常出现规律变化。早阶段的花岗岩往往富含褐帘石、榍石和磷灰石, 而晚阶段的花岗岩则往往富含独居石、磷钇矿、氟碳钙钇矿和硅铈钇矿, 最后晶出大量含挥发分矿物和有色金属副矿物。在相变关系明显的岩体中, 这种副矿物组合的变化趋势还显水平和垂直方向的分带性^[5]。富含REE的副矿物从熔体中晶出, 会导致晚期残余熔体中REE亏损, 褐帘石、榍石、磷灰石等轻稀土选择性富集的副矿物优先晶出, 则导致残余熔体中 $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 变小。这些富稀土副矿物的分离结晶作用, 直接控制着不同阶段不同相带花岗岩中REE的规律性变化。

以马拉格花岗岩为代表的轻稀土富集型花岗岩在国内外均十分罕见。其稀土配分特征与华南泥砂质沉积变质岩、混合岩、世界平均花岗岩或平均大陆地壳相近。Nance和Taylor^[13]指出, 所有已分析过的硬砂岩和页岩具相似的稀土含量和配分型式。尽管它们随地区和时代有一些差别, 但其REE型式和含量可以代表大陆地壳。北美、欧洲和俄罗斯地台的古生代

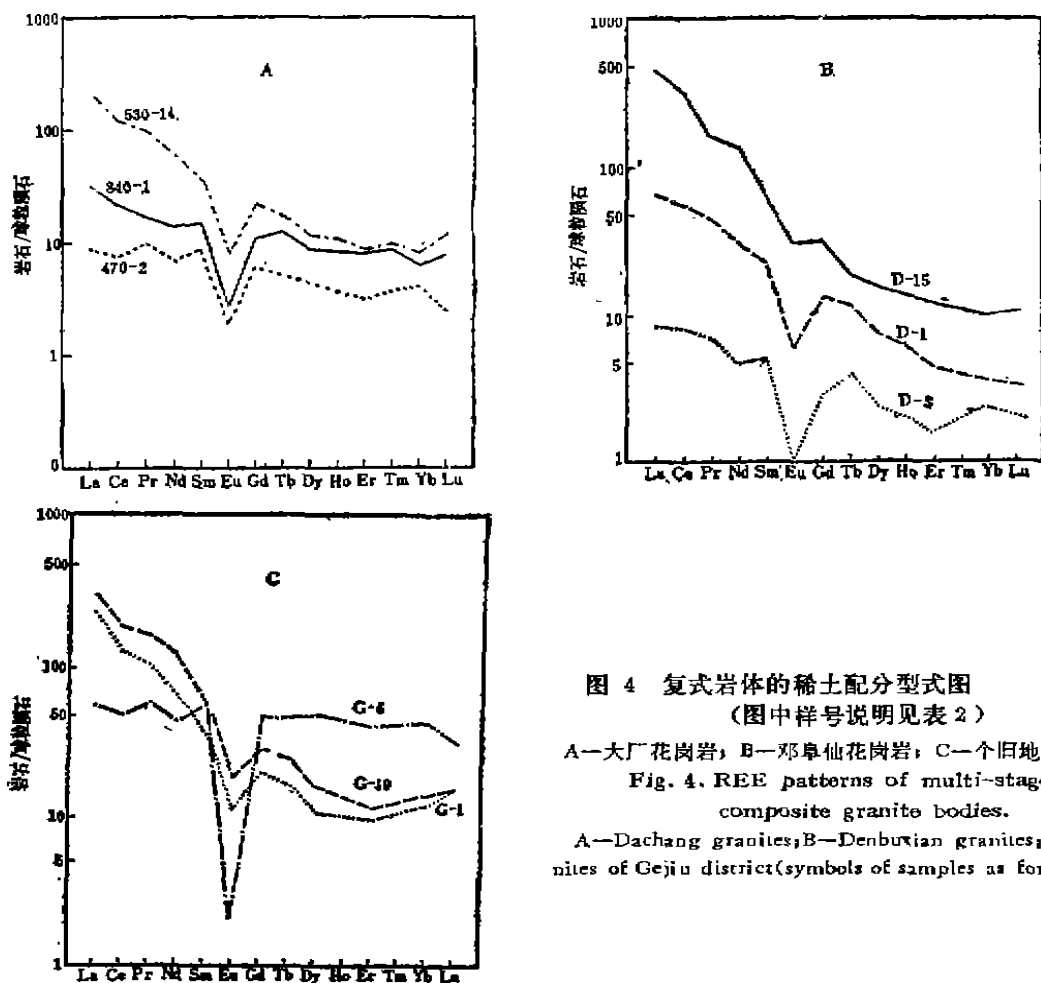


图 4 复式岩体的稀土配分型式图
(图中样号说明见表 2)

A—大厂花岗岩; B—邓阜仙花岗岩; C—个旧地区花岗岩

Fig. 4. REE patterns of multi-stage composite granite bodies.

A—Dachang granites; B—Dengbuxian granites; C—Granites of Gejiu district (symbols of samples as for Table 2).

页岩的平均稀土含量为 200—300ppm, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=3.2-3.5$, $\delta\text{Eu}=0.7-0.85^{[12]}$ 。华南地区赣南、粤西、湘东等地对古生界基底的砂岩和页岩所作的分析也基本落入这一范围。对江西章庄混合岩区岩石所作的稀土分析, 亦获得相似的结果^①。

个旧马拉格花岗岩 (90.4Ma, $I_{\text{Sr}}=0.714$, 据伍勤生等^②) 中 $\text{SiO}_2=71.6\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}=2.49\%$, $\text{MgO}=0.48\%$ 和 $\text{CaO}=1.59\%$ (18 个样品的平均值⁽⁹⁾), 而距其南面 7km 处的稍晚的在经济意义上更为重要的老厂花岗岩 (81.0Ma, $I_{\text{Sr}}=0.711$ ^③), 其 ΣREE 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 和 δEu 都较马拉格岩体低, 且更富硅、富碱、富挥发分和富稀有元素, 显然为同源复式岩体的最晚阶段产物。故以马拉格花岗岩为代表的为数甚少的轻稀土富集型花岗岩可以看作是岩浆分异和演化不够充分或程度较低的含矿花岗岩。

重稀土富集型含矿花岗岩具有较高的稀土丰度, 轻重稀土比值小, 钨亏损更明显, 在受

① 徐士进, 1986, 华南锡钨 (稀土、铌-钽) 花岗岩的稀土元素地球化学特征及岩石成因研究。南京大学 博士学位论文

② 伍勤生等, 1983, 个旧含锡花岗岩的 Rb、Sr 同位素特征及其找矿标志。冶金工业部地质研究所学报, 第 3 期

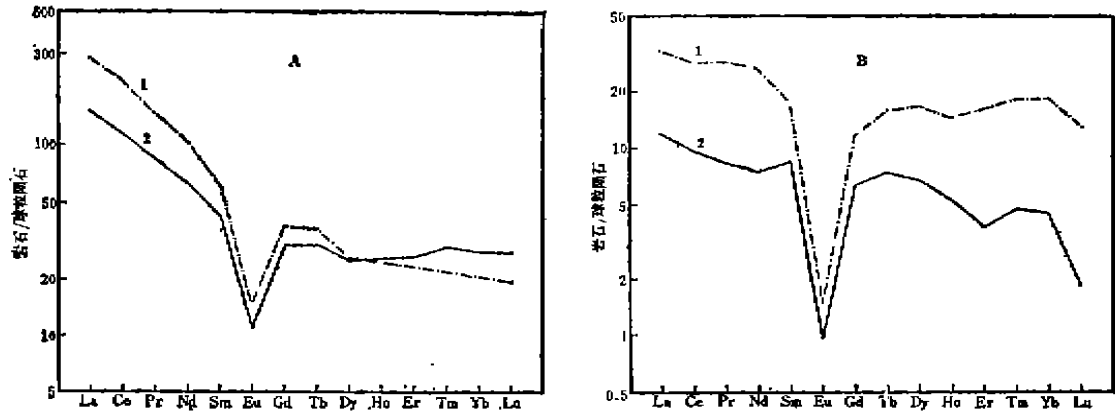


图 5 分相花岗岩体的稀土配分型式图

A—花山主体花岗岩：1—主体边缘相角闪石-黑云母花岗岩；2—主体中心相黑云母花岗岩；B—曾家垅花岗岩：1—中心相黑云母花岗岩；2—过渡相二云母花岗岩

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of granite bodies with various facies;
A—Haashan main granite body; 1—Marginal facies amphibole-biotite granite of the main body; 2—Central facies biotite granite of the main body; B—Zeugjialong granite; 1—Central facies biotite granite; 2—Transitional facies two-mica granite.

到热液作用时具有稀土元素不被大量淋失的特征。在成因机制上，除了同样需要充分的分异演化外，比之稀土正常花岗岩，还应有其独特之处，虽然在有些情况下二者之间不存在严格的界限。为了解释重稀土富集型花岗岩的成因，以下几个事实是必须考虑的：

1. 它们多分布在华南后加里东隆起区内或靠近这些隆起区的海西-印支拗陷边缘部分。组成这些地区的中晚元古代和早古生代变沉积岩，具有富 REE 和富氟的特征，有的地区还富含有机质。根据江西地质科学研究所资料，赣南震旦—寒武系中 $\Sigma \text{REE} = 246—460 \text{ ppm}$ ， $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y} = 3.1—6.0$ ， $\delta \text{Eu} = 0.51—0.65$ 。与其它地区相比，本区同类型沉积岩中稀土丰度较高，初步的铈亏损亦较明显。

2. 这些重稀土富集型含矿花岗岩都是超酸性、富氟、强分异的最晚阶段小岩体。

3. 其中往往出现有独立的重稀土元素与氟、磷酸根、氟碳酸和硅酸根等一起组成的副矿物，如磷钇矿、褐钇铈矿、硅铈钇矿和氟碳钙钇矿等。

4. 我们对花岗岩中铈亏损所作的分析、对比和计算表明^[4]，在部分熔融和分离结晶过程中，钾长石的残留或分离，的确能使熔浆体系的铈亏损增大，但其程度还达不到华南重稀土富集型花岗岩中那样强烈的地步（ $\delta \text{Eu} = 0.06—0.03$ ）。由此可见，除了斜长石离开岩浆体系外，还必须寻找其它的原因。其中之一，就是在岩浆还没有固化以前新的构造热事件所引起的新的部分熔融和岩浆侵入。

5. 在这些重稀土富集型花岗岩（一般为燕山期）的发育地区，往往具有多时代花岗岩的地质背景，尤其是花岗质岩石的基底的再次重熔，亦可造成新花岗岩中铈亏损的增大。

6. 对锡山含锡石英脉旁云英岩的研究表明，云英岩和云英岩化花岗岩中热液型黄玉的稀土含量比作为围岩的新鲜未蚀变或弱蚀变花岗岩中晚岩浆型黄玉为高，反映了锡山矿区云英

岩化热液具有富含稀土的特征。

因此,重稀土富集型花岗岩的形成,可能是原岩中较高的稀土丰度和接近中等的初始钨亏损,岩浆的充分的分异演化,老花岗岩的深熔,新的分熔岩浆体还没有固化之前被新的热事件所引起的再次熔融,岩浆体的富F和富CO₂特征,以及富REE流体的影响等一系列地质因素综合造成的。

稀土亏损型含锡钨花岗岩以富含F、Li、Na和挥发分为特征,往往又称为富Li、F花岗岩或钠长石化花岗岩。它们常常出现在多阶段岩体最晚阶段小岩株的顶部,上覆以厚度不一的石英壳和似伟晶岩壳。在雅山、栗木等地,花岗岩中含F 1.4—2.0%。栗木矿区水溪庙地段由于岩浆作用最晚阶段处于相对开放状态,大量的Li、F沿裂隙外逸至围岩中,形成大量的萤石锂云母脉或细脉,但在富Na花岗岩中,F的含量仍在0.5%以上, Li含量在200—400ppm之间。Sn以岩浆成因的副矿物形式较均匀地呈浸染状分布在花岗岩之中。钠长石和钾长石较均匀地分布在整個岩体中,石英往往形成六方双锥长柱状的 α 自形晶。根据包裹体特征和二长温度计等资料^{〔6〕,〔7〕,〔8〕},推测这种Li、F花岗岩的形成温度在500—600℃之间。

Kovalenko^{〔14〕}和Manning^{〔15〕}等人的研究资料表明,花岗质熔浆中F的存在和增加,能大大降低熔浆的液相线和固相线。在石英-钠长石-钾长石三角图上,F的增加能够使低共熔点向钠长石方向偏移,并能够使两种碱性长石有可能同时析出。夏卫华^{〔1〕}、吴宗絮^{〔8〕}和徐克勤^①等人的研究,也从各个不同的角度阐明了这种富Li、F的花岗岩是低熔岩浆结晶的产物。在这种低熔岩浆中,REE络合物在590℃以上基本上都已分解^{〔10〕},并作为相容元素进入固相而大量消耗,造成这种低熔岩浆中REE含量特别低,一般低于50ppm,且REE都分散在造岩矿物中,基本上不形成稀土副矿物。这就是稀土亏损型含矿花岗岩的可能形成机制。

五、结 论

- 1.与平均花岗岩相比,华南地区锡钨矿化花岗岩平均的 ΣREE 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 和 δEu 偏低。
- 2.中、晚元古代和早古生代基本地槽相沉积物中的REE含量和配分型式是华南锡钨矿化花岗岩体的原始稀土背景。由地槽相沉积物改造而来的又经过分异和演化的含矿花岗岩类具有稀土正常型配分特征, $\Sigma\text{REE}=250-50\text{ppm}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}\geq 1$, $\delta\text{Eu}<0.4$ 。在岩浆的分异演化过程中,晚阶段和后结晶相的花岗岩中 ΣREE 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 和 δEu 逐渐降低。
- 3.以马拉格花岗岩为代表的轻稀土富集型含矿花岗岩,其稀土丰度高,并保持较高的 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 比值。它代表一种岩浆分异和演化程度较低的矿化花岗岩。
- 4.富REE源岩的部分熔浆、具有明显负钨异常的花岗质岩石的再次熔融、分熔岩浆的充分的分异演化以及富含F、CO₂流体的作用,这些地质作用的综合促成了重稀土富集型花岗岩的形成。它们的稀土配分特征是 $\Sigma\text{REE}>250\text{ppm}$ 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}\leq 1$ 和 $\delta\text{Eu}<0.15$ 。
- 5.分熔岩浆演化到最晚阶段,局部富集Li、Na、F和挥发组分,形成低熔岩浆和稀土亏损型花岗岩。REE络合物在590℃以上大体上已分解,并作为相容元素进入固相被消耗。因

① 徐克勤、朱金初、徐士进,1987,华南锡钨(钨-钼)花岗岩及有关矿床产出的地质环境和地球化学差异,IGCP-220项目第四次学术讨论会摘要文集

此低熔岩浆中的 ΣREE 特别低,由其产生的花岗岩中 $\Sigma\text{REE}<50\text{ppm}$ 。

参 考 文 献

- [1] 徐克勤、朱金初 1984 华南锡钨矿床的时空分布和成矿控制 《锡矿地质讨论会文集》 地质出版社
- [2] 张景荣 1984 邓阜仙花岗岩成岩机制及成矿的地球化学 花岗岩地质和成矿关系 江苏科技出版社
- [3] 朱金初、李向东 1988 广西花山花岗岩的岩石学和地球化学特征及成岩物质来源的探讨 岩石矿物学杂志 第7卷 第1期
- [4] 朱金初、贾怀仁、叶俊、李振敏 1984 华南某些含锡花岗岩的 稀土配分 及成岩 意义 南京大学 学报地质专刊
- [5] 阮道源、朱余德 1984 南岭稀土花岗岩带某地区的岩浆岩与稀土演化 花岗岩地质和成矿关系 江苏科技出版社
- [6] 袁忠信 白鸽、杨岳清 1987 稀有金属花岗岩型矿床成因讨论 矿床地质 第6卷 第1期
- [7] 夏卫华、章锦统 1982 关于华南稀有元素矿化花岗岩成因的几个问题 地球科学 第1期
- [8] 吴宗繁 1985 华南某些稀有元素花岗岩的地球化学特征及其形成的物理化学条件 岩石学报 第1卷 第1期
- [9] 西南冶金地质勘探公司编著 1984 个旧锡矿地质 冶金工业出版社
- [10] 中山大学金属系 1978 稀土物理化学常数 冶金工业出版社
- [11] Haskin, L. A., Haskin, M. A., Frey, P. A., Wildeman, T. R., 1968, Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths; in Ahrens, L. H. ed., Origin and Distribution of the Elements, Intern. Ser. Monographs Earth Sci. 30, 889-912.
- [12] Herrmann, A. C., 1970, Yttrium and Lanthanides; in Handbook of Geochemistry, Wedpohl, K. H., Berlin-Heidelberg-New York, Springer, 39, 57-71.
- [13] Nance, W. B., and Taylor, S. R., 1976, Rare earth element patterns and crustal evolution. Geochim. et Cosmochim. Acta, V. 40, pp. 1539-1551.
- [14] Kovalenko, V. I. and Kovalenko, N. I., 1984, Ore-bearing potential and evolution of rare metal granitoids, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 35, pp. 51-62.
- [15] Manning, P. A. C., 1982, An experimental study of the effects of fluorine on the crystallization of granitic melts; in Metallizations associated with acid magmatism, Evans A. M. ed., pp. 191-203.

REE PATTERNS OF TIN/TUNGSTEN-BEARING GRANITES IN SOUTH CHINA AND THEIR PETROGENETIC IMPLICATIONS

Zhu Jinchu and Xu Shijing

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

In terms of REE geochemical characteristics the tin/tungsten-bearing granites of transformation series or S-type in South China can be subdivided into four distribution patterns: (1) REE-normal type, characterized by $\Sigma\text{REE}=250-50\text{ppm}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}\geq 1$ and $\delta\text{Eu}<0.4$, and exemplified by Hukeng, Denbuxian, Huashan, Dajishan and Huangsha granites; (2) Light REE-enriched type, characterized by $\Sigma\text{REE}>250\text{ppm}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}>6$, and exemplified by Malage gra-

nite; (3) Heavy REE-enriched type, characterized by $\Sigma\text{REE} > 250$ ppm and $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} < 0.15$, and exemplified by Xihuashan, Yinyan and Xishan granites; (4) REE-depleted type, characterized by $\Sigma\text{REE} < 50$ ppm and exemplified by Yashan and Limu granites. These geneses can be interpreted as caused by different histories in the formation and evolution of granitic magma. These features result from the differences in nature of source rocks and their initial REE background, degree of partial melting, completeness of deep-seated differentiation in the magmatic chamber and in-situ differentiation at higher levels after their emplacement, remelting of underlying crystalline basement and younger granitic rocks which had not been completely consolidated and effects of F, CO₂ and other volatile components. A combination of these factors might account for the geneses of Sn/W-bearing granites.

上接32页

长江下游) 金属矿产之成因和分布特点较为详尽。

翁先生在这些文章中首先指出了华南内生金属矿床明显的分带性。从福建、广东沿海地带, 经江西、湖南至贵州, 出现甲乙两系金属矿带。乙系在南, 包括闽粤沿海的锡钨钼带、闽西赣东的锌铅铜带和粤北桂东的锡带。甲系在北, 包括赣南湘南最重要的钨锡带、湘南湘东赣北的锌铅铜带、湘中湘北的锡带和湘西黔东的汞带。

翁先生认为锡钨钼带和锡带的生成直接和深成花岗岩侵入体(岩基)有关, 锌铅铜带的生成较浅, 和花岗岩的分枝或小侵入体(岩株、岩脉等)有关; 锡带和花岗岩侵入体没有直接联系; 汞带的出现则远离花岗岩体。

翁先生指出, 长江下游的内生金属矿床大都是接触变质矿床, 以铁、铜矿为主, 没有或很少锡钨钼、铅、锌、锡和汞。这一差别是因为华南的岩浆活动产物以花岗岩为主, 而长江下游的岩浆活动产物则以石英闪长岩或花岗闪长岩为主, 就是说岩浆岩的性质有明显的不同。

翁先生采用法国矿床学家德洛内(de Launay)的成矿理论, 研讨中国南方内生金属矿产之分区和分期问题, 指出其带状分布规律。今天看来, 大体上也还是正确的。特别是他提到的岩浆岩成矿专属性和断裂带控矿作用理论, 更为后人所重视。

对于中国矿床生成之时代, 翁先生分别论述了前震旦纪、古生代、中生代矿床之生成。他提到金矿的来源以太古代片麻岩系为主, 这有指导意义。中生代矿床中, 翁先生最初颇疑华南及长江下游两大成矿区是大致同时生成的, 也就是后来他提倡的燕山运动时期, 即便有一前一后的差异也不会很大。后来他受到加拿大地质学者对香港花岗岩研究的影响, 又倾向于认为华南的花岗岩与香港花岗岩大致同时, 推论其属第三纪, 此点为后来的研究所否定。

除了以上较系统的理论性著作外, 翁先生还有若干较重要的个别矿种之论著, 发表于各有关刊物中。如《房山大理岩的年龄及其含镁品位》(1925), 《华北前寒武纪大理岩之含镁量》(1926, 与李学清合著), 《中国的黄铁矿床及硫磺工业》(1926, 与谢家荣合著), 《砷矿物在成矿系列中的位置》(1926)等。

翁文灏先生所编纂的《中国矿产志略》是中国历史上最早的矿床地质学的阶段总结性重要著作之一, 翁先生在华南成矿规律上有若干创见。他堪称是中国现代地质界最早的有成就的矿床地质学家之一, 他对我国矿床学的贡献将永为人们所纪念。

(潘云唐)