

南岭地区与花岗岩有关的稀土、 稀有元素成矿作用演化与成矿模式

王 笃 昭

(广东省地质局地质矿产研究所)

本文以广东的矿床实例和一定的测试数据为基础,并结合了省外南岭地区的一些矿床资料,初步讨论了南岭地区与壳层重熔花岗岩有关的稀土、稀有元素和钨、锡、钼、铋矿床的成岩成矿作用的演化和演化序列,矿床的分带现象和成矿模式,编制了成岩成矿作用演化序列表和成矿模式图。

一、成岩成矿作用的演化和演化序列

南岭与壳层花岗岩浆有关的稀土、稀有元素和钨、锡、钼、铋矿床的成矿作用,受花岗岩成岩作用的制约。这类花岗岩^[1,2]都是由较老的沉积物和岩石通过混合岩化、花岗岩化,发生反复的交代形成较大的岩基;尔后又经过反复的重熔,不断形成花岗质岩浆;岩浆在构造运动作用下又不断分异演化,反复侵入,在较晚阶段形成富含成矿元素的花岗岩。与其有关的各类矿床之间,无论矿化和矿物种类,还是微量元素,均显示了继承和发展的关系。

南岭地区花岗岩类岩体的时空分布和相互关系:在早古生代,本区沉积了巨厚的沉积物,随着沉积物的不断加厚,地槽深部岩石发生局部熔融,于加里东褶皱运动发展的不同阶段,分别形成了互有生成联系的混合岩、混合花岗岩以及混染花岗岩。以后的历次强烈的构造运动,大体都继承和强化了加里东褶皱带深部岩石的重熔作用和重熔花岗岩浆的分异演化作用,并导致重熔花岗岩浆于后加里东隆起部位侵入,与混合岩、混合花岗岩、混染花岗岩组成多期次、多岩相的巨大规模的花岗岩类复式岩体带(如云开—武夷后加里东隆起);或沿隆起边缘的深断裂带上升侵入,形成规模不等的复式岩体(如七娘坛岩体等)。

南岭地区与稀土、稀有元素有关的花岗岩的K/Rb比值^①:岩浆期含稀土花岗岩与贫铋花岗岩为325—224,岩浆后期富铋钼类花岗岩^②为80—40,个别达120;富铋钼类伟晶岩^③为90—36,个别达136。从上述K/Rb比值可以推断:①按塔乌松的划分原则^④,这些花岗岩应是地壳重熔型岩浆形成的;②从比值有规律的变化看,可以说它们是互有生成联系的演化序列,且类花岗岩与类伟晶岩是同源同阶段的产物。从野外观察到的类伟晶岩沿走向或倾向

① 据王笃昭1980年“广东及其邻区花岗岩成矿作用几个问题的初步研究”。

② 本文的类花岗岩即国内一般所称的含铋钼蚀变花岗岩,国外亦有人称为“变花岗岩”。关于类花岗岩和类伟晶岩的讨论见注①。

③ 据林德松1978年“钾铷比值在研究某些岩石和矿床成因中的应用”。

直接过渡为类花岗岩的事实,说明这一推断是可靠的。同时又观察到类花岗岩往深部依次渐变过渡为岩浆期贫铌钽花岗岩(或含钨花岗岩)、含稀土花岗岩以及含铍、钨、锡、钼、铋的石英脉往深部直接过渡为富铌钽的类花岗岩脉,或见其在富铌钽类花岗岩体或含钨花岗岩体中逐渐尖灭消失。

综合以上所述,有理由认为,控制稀土、稀有和钨、锡、钼、铋等元素成矿作用的侵入型花岗岩,它们与混合岩、混合花岗岩、混染花岗岩都是在同一的地质环境中,于地壳演化发展的不同阶段所形成的具有不同结构特征的、而又相互紧密联系的花岗岩类岩石。

再从广东一些稀土、稀有元素矿区的前泥盆系沉积变质岩、加里东期混合岩、燕山期花岗岩的化学成分(表1、表2)看, SiO_2 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量和 $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ 、 $(\text{Nb} + \text{Ta})_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ 比值增高,而 $\text{R}''\text{O}$ 、 TR_2O_3 、 P_2O_5 含量和 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 比值降低。

沉积变质岩、混合岩、花岗岩岩石化学平均含量表

表 1

时 代	岩 性	地区 或岩 体数	样品数 (个)	化 学 成 分 %										
				SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5
下古生代	沉积变质岩	1	5	67.90	0.50	13.45	3.09	1.55	0.066	2.59	2.55	2.35	2.14	0.89
加里东期	混 合 岩	2	13	71.56	0.31	14.19	1.46	1.84	0.066	1.76	0.84	3.68	3.51	0.12
燕 山 期	花 岗 岩	60	239	72.53	0.16	14.12	0.95	1.42	0.074	1.05	0.36	4.35	3.53	0.07

沉积变质岩、混合岩、花岗岩的稀土、稀有元素含量及岩石化学特征数值表

表 2

时 代	岩 性	地区 或岩 体数	样品数 (个)	含 量 (%)			$\frac{\text{Nb}_2\text{O}_5}{\text{Ta}_2\text{O}_5}$	$\frac{(\text{Nb} + \text{Ta})_2\text{O}_5}{\text{TiO}_2}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{CaO}}$	R''O
				Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	TR ₂ O ₃						
下古生代	沉积变质岩	4	>77	0.0029	0.0011	0.041	2.65	0.005	1.09	1.99	0.91	6.76
加里东期	混 合 岩	2	144~(523)	0.0029	0.00115	0.029	2.51	0.013	1.04	0.75	0.08	4.51
燕 山 期	花 岗 岩	60	>287	0.0072	0.00297	0.0241	2.41	0.146	1.23	0.67	4.13	2.80

括号内为 TR_2O_3 分析样品个数。

五一〇、芙蓉地区混合岩各相带岩石化学成分平均含量表

表 3

时 代	岩 性	样品数 (个)	含 量 (%)										
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	
早	1 深 变 质 岩	3	68.29	0.47	13.01	2.69	2.11	0.064	3.65	1.47	2.89	0.09	
古	2 条带~条痕混合岩	4	70.17	0.39	14.32	0.61	3.42	0.09	1.22	2.76	3.54	0.12	
生	3 条痕~阴影混合岩	7	69.29	0.39	15.14	2.35	1.28	0.068	0.95	3.53	3.08	0.20	
代	4 阴影~均质混合岩	2	74.52	0.15	13.10	1.41	0.83	0.04	0.34	4.74	2.95	0.04	

分析测据根据719队有关普查、勘探报告资料综合。

关于各种造岩、造矿元素的变化发展过程,不妨从前泥盆纪沉积变质岩的混合岩化开始加以观察。如广东各混合岩带的混合岩化,一般都经历由低级到高级的发展演化阶段,即由沉积变质岩→混合岩化变质岩→条带~条痕状混合岩→阴影(或渗透)混合岩→均质混合岩(混合花岗岩)。它们相互之间呈渐变过渡关系。其岩石化学成分(表3、表4)表现为 SiO_2

① $\text{R}''\text{O} = \text{FeO} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}$ 的总和。

广东一些稀土、稀有元素矿区燕山期花岗岩岩石化学成分演化表

表 5

侵入期	二期	三期	四期	
			岩浆期	岩浆后期*
演化方向	—————→			
R ² O (%)	5.57	3.69	1.86	1.51
TiO ₂ (%)	0.38	0.16	0.068	0.036
CaO (%)	2.17	0.96	0.64	0.44
(Nb+Ta) ₂ O ₅ (%)	0.0042	0.0063	0.0092	0.021
TR ₂ O ₃ (%)	0.030	0.033	0.0195	0.014
K ₂ O/Na ₂ O	1.53	1.49	1.25	0.68
(Nb+Ta) ₂ O ₅ /TiO ₂	0.011	0.039	0.135	0.583
TR ₂ O ₃ /CaO	0.014	0.034	0.030	0.032
样品数 (个)	18	67	125	85
地区或岩体数	5	15	20	10

* 岩浆后期的岩性为类花岗岩。

熔浆或溶液中的各种元素,在结晶分异和成矿过程中,元素间的比例关系是不断变化着的,因此导致了稀土、稀有和钨、锡、钼、铋等元素能各自有一个相应的富集区间,形成了相应的矿化阶段。也导致了同一元素随着熔浆或溶液从早期到晚期的不断变化,其相应浓度亦不断发生变化,因而所形成的矿物也发生有规律的演变或具有继承和发展的演化规律^①。在南岭地区一般是:

含稀土元素矿物由角闪石、磷灰石、榍石→(榍石、角闪石)、褐帘石→独居石、(磷钇矿)→(独居石)、磷钇矿→氟铈镧矿→(氟铈镧矿)、磷铈矿方向演变;

含铈钨矿物向着由褐钨铈矿、(黑稀金矿—复稀金矿)→(褐钨铈矿)、铈铁矿→(铈铁矿)、钽铈铁矿→(钽铈铁矿)、铈钽铁矿、钽铁矿、细晶石→含铈钽的钨矿物、含铈钽锡石方向演变。

含铅钨矿物由普通铅石→含铅钨石→似晶体化铅石^②方向演化。

综上所述,壳层重熔花岗质熔浆成矿作用大致构成表7所示的演化序列。这一演化序列具有有序性,其发展过程虽往往不完全,但却是不可逆的。

二、矿床分带现象和成矿模式^③

矿床的分带,主要受熔浆(或溶液)结晶分异和时间的演化,成矿元素的相对浓度(即比值)变化和熔浆或溶液所处空间的物理、化学环境以及成矿元素各自的地球化学特性制约。南岭地区一般是从混合岩化中心、花岗岩化中心、岩浆侵入中心向外循序变化。在壳层重熔花岗岩浆结晶分异过程中,主要矿化元素有稀土、铈、钽、铅、锂、铷、铯、铍、钼、钨、

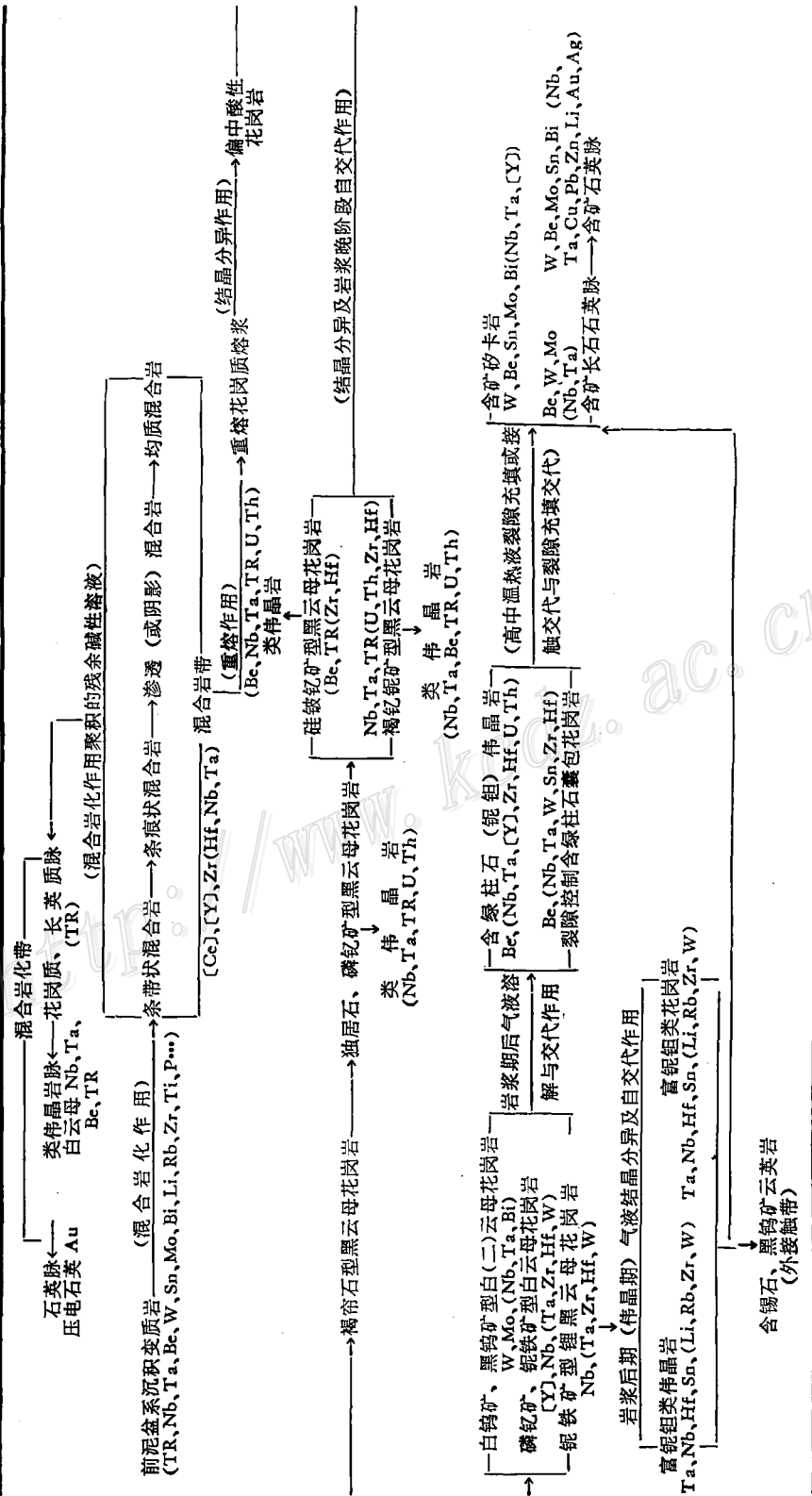
① 据作者1980年“广东及其邻区花岗岩成矿作用几个问题的初步研究”一文。

② 亦称曲晶石,通常称为富铅钨石。

③ 本文在莫柱荪的“南岭花岗岩的成矿模式图(参也文献[1])和作者1978年提出的“广东省稀土稀有元素成矿成矿作用演化序列简表”以及对花岗岩成矿作用的认识基础上,综合近年来一些新的实际材料,建立一个综合性的南岭花岗岩成矿模式图。

南岭壳层重熔花岗岩浆及其有关的稀土稀有金属、铷钽铊成岩作用演化序列简表

表 6



注：括号内元素无独立工业意义

铋、锡以及部分铜、铅、锌、金、银等。由于这些元素各自的地球化学特性不同,因而在结晶分异和自交代成矿作用中,形成了一系列不同元素和不同矿物组合的不同类型矿床。由同一岩浆源演化出来的各种类型矿床之间,彼此都有着密切的联系。每一类型矿床在互相联系的整体中,各自都占有一个相对固定的空间位置,表现为互相过渡、有一定规律性的矿床分带现象。它们无论在成矿元素和不同矿物含量上,均具有继承和发展的演化关系。具体表现在:时间上从早期→晚期,空间上从深部→顶部或从中心→外部,由 $\Sigma\text{Ce} \rightarrow \Sigma\text{Y} \rightarrow \text{Y}$ 、Nb或Y、Be $\rightarrow$ Nb、(Ta、Hf、W) $\rightarrow$ Ta、Hf、(Nb、Be、W、Sn) $\rightarrow$ Be、(Nb、Ta、W、Mo) $\rightarrow$ W、(Be、Mo、Bi、Nb、Ta) $\rightarrow$ Sn、(Nb、Ta、硫化物)的分带现象。例如一六矿田^①,以花岗岩体为中心,依次为:含稀土、铌黑云母花岗岩体 $\rightarrow$ 含稀土、铌、钽白云母花岗岩脉 $\rightarrow$ 富钽类伟晶岩脉 $\rightarrow$ 含钨石英脉 $\rightarrow$ 铅、锌、汞、锑硫化物矿体。这种带状分布演化规律,在南岭地区甚为普遍。

矿床的垂向分带,从下向上,一般由花岗岩岩体型的稀土和铌、钽、铍、钨、钼矿床(或矿化)依次过渡为类花岗岩型、类伟晶岩型铌、钽(铍、钨)矿床和石英脉型、矽卡岩型铍、钼、铋、钨、锡及硫化物多金属矿床。但这些矿床在空间上、时间上和成因上都是密切相关的,彼此有时无法截然分开。这种例子很多,如:

1. 江西某矿床^②:上部为锡石、黑钨矿、绿柱石石英脉,沿倾向往深部直接过渡为含铍富钽的类花岗岩脉。

2. 271矿床^③:由地表往深部,依次为锂云母萤石细脉带 $\rightarrow$ 含钨、锡长石石英脉带 $\rightarrow$ 富铌、钽类伟晶岩脉带 $\rightarrow$ 富铌、钽类花岗岩带。

3. 101矿床^④:由沉积变质岩中的大型钨、铍石英脉矿床,往深部依次过渡为含钨、铍的富铌、钽类花岗岩 $\rightarrow$ 含铌花岗岩带 $\rightarrow$ 含稀土花岗岩带。

4. 红岭矿床^⑤:上部为石英脉黑钨矿矿床,往深部过渡为含白钨矿、辉钼矿的白云母花岗岩。

5. 湖南某矿床:外接触带为矽卡岩型铍、钨、锡、钼、铋矿床,往深部过渡为云英岩化花岗岩型钨、钼矿床。

在南岭地区,随着地质勘探和矿山开采向深部发展,上述矿床的垂向分带现象不断被揭露证实。

此外,在同一岩体内部,其矿化亦往往显示有演化分带性。例如514岩体,内部相相对以铈族稀土为主,含独居石118克/吨,磷钇矿42克/吨;外部相相对以钇族稀土为主,含磷钇矿达154克/吨、独居石86克/吨。那琴岩体^⑥,从中心相到边缘相,矿化依次为含褐钇铌矿(20.46克/吨)黑云母花岗岩带 $\rightarrow$ 含褐钇铌矿(11.39吨)、铌铁矿(8.80克/吨)含锂黑云母花岗岩带 $\rightarrow$ 含铌铁矿(29.07克/吨)锂黑云母花岗岩带。

产于外接触带的钨、锡、钼、铋矿床,其垂向分带现象也很普遍。以柿竹园矿床为例,由

① 据广东冶金地质九三二队1974年资料。

② 据江西冶金地质勘探二队1978年资料。

③ 据宜昌地矿所1977年资料。

④ 据黄伯宪、黄灼南1980年资料。

⑤ 据广东地质局区测队、中国地质科学院矿床所资料。

顶部到岩体接触带,依次为锡矿带→钨-铋矿带→钨-钼-铋矿带。

从富铌、钽类花岗岩的石英为六方双锥柱和六方双锥体,且具有1—3个生长环带(石英中含有An为0的细小板条状钠长石),以及类花岗岩形成的温度往往较花岗岩低,说明类花岗岩体形成的深度浅,且在似伟晶岩外壳形成后;类花岗岩熔浆处于温度较低,结晶时间较

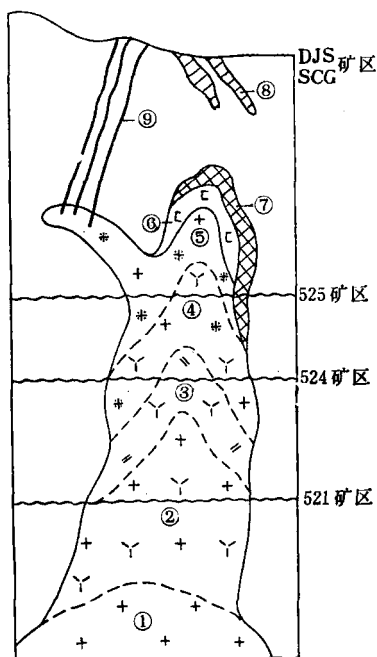


图 1 类花岗岩体垂向分带示意图

①—一岩浆期贫铈、钽花岗岩体, ②—黑鳞云母钠长石富铈带, ③—白云母(黑鳞云母)富钠长石铈(钽)带, ④—云英岩化白云母钠长石铈(钽)带, ⑤—强云英岩化钠长石富铈(锡)带, ⑥—似伟晶岩(或石英)壳, ⑦—⑥岩浆后期富铈钽类花岗岩, ⑧—产于接触带的锡石细脉浸染带, ⑨—细脉浸染铈或锡矿带, ⑩—黑钨矿(或黑锡矿绿柱石)石英脉, 波浪线为剥蚀深度线

Fig. 1. Vertical zoning of the Nb-, Ta-rich granite mass.

1. Nb-, Ta-deficient granite body of magmatic period; 2. Nb-rich protolithionite-albite zone; 3. albite and Nb-, Ta-rich muscovite (protolithionite) zone; 4. Ta (Nb)-bearing greissenized muscovite-albite zone; 5. Ta (Sn)-rich intensely greissenized albite zone; 6. pegmatoid (or quartz) crust; 7. disseminated cassiterite veinlet zone occurring along contact; 8. disseminated tungsten or tin veinlet zone; 9. wolframite (or wolframite-beryl) quartz vein. (waved lines indicate depth of erosion).

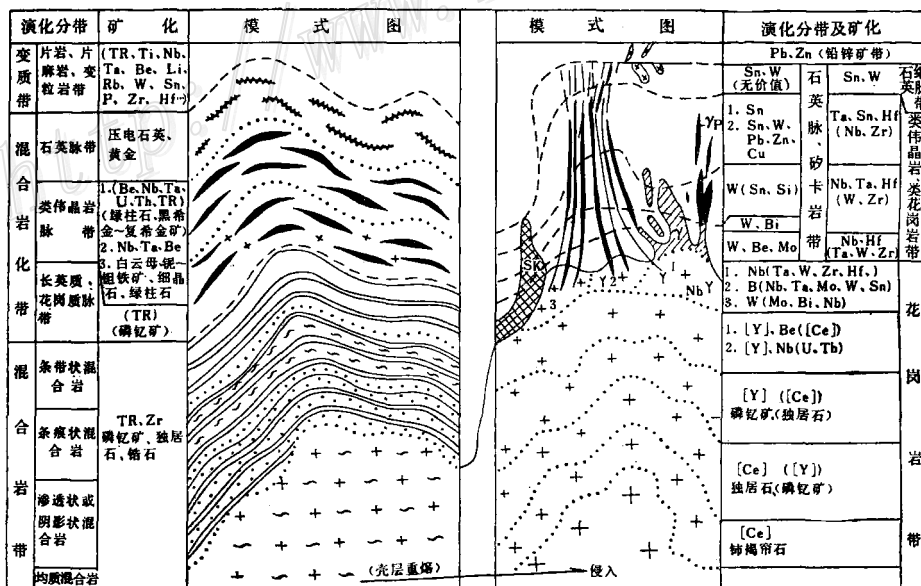


图 2 南岭地区与壳层重熔花岗岩浆有关的稀有元素、钨、锡、钼、铋成矿模式图

Fig. 2. Metallogenic model of rare elements, W, Sn, Mo and Bi related genetically to crustal remelted granitic magma in the Nanling region.

长, 相对较稳定的环境中。

在长时间的温度、压力较低的稳定的封闭环境中, 必然导致溶液垂向沉降作用的发生, 以及由于各种稀有元素自身地球化学特性及其络合物的活动性不同, 导致类花岗岩浆从顶部往深部粘度由小→大, 气、水、挥发分由多→少, 稀有元素组合及含量有差异的溶液沉降浓(度)差(异)的分带。因而在类花岗岩体内部普遍具有如图1所示的相对稳定的垂向分带现象。

综合以上大量实例, 说明与壳层重熔型花岗岩浆有关的各类矿床, 不是孤立存在的, 而是互相依存、互相过渡, 表现为有规律的和有序的分带, 构成一个完整的综合成矿模式(图2)。

本文各项测试数据和有关资料, 主要来自广东省地质局719地质队和中国科学院地球化学研究所, 其次是广东冶金936队、中国地质科学院矿床地质研究所、江西冶金地质勘探二队。莫柱荪总工程师审阅了全文。王化民、罗敏同志清绘插图。在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 莫柱荪等 1980 南岭花岗岩地质学 地质出版社
- [2] 中国科学院贵阳地球化学研究所 1979 华南花岗岩类的地球化学 科学出版社
- [3] 郭承基 1965 稀有元素矿物化学(增订本) 科学出版社
- [4] 南京大学地质系 1961 地球化学 科学出版社

THE MINERALIZATION PROCESSES AND MINEROGENETIC MODEL OF THE RARE EARTH—RARE METAL DEPOSITS RELATED TO THE GRANITOIDS OF NANLING REGION

Wang Duzhao

(Institute of Geology, Geological Bureau of Guangdong Province)

Abstract

The granitoids in Nanling region, such as migmatites, migmatic granites, contaminated granites and crustal remelted granites, which were probably related to the mineralizations of rare earth, rare metals and W, Sn, Mo, Bi, often constitute along the Caledonian uplifts huge composite bodies bearing characteristics of multiple stages and multiple facies. The rare metal-rich pegmatites related to the migmatization of the Caledonian epoch are distributed along outer border of the migmatic zone, while the rare earth, rare metal and non-ferrous metal deposits, which had connection with the Middle and Late Yenshanian crustal remelted granites, are often seen spread along the periphery of the composite granitic bodies in the Caledonian uplifts or along the faulted

zone on the margin of the uplifts. It has also been observed that Be-, W-, Sn-, Mo-, Bi-bearing quartz veins often rapidly thin out and disappear in the Nb-, Ta-rich and W-, Mo-bearing granitic dikes or directly change into Nb-, Ta-rich granitic dikes at depth, that the Nb-, Ta-rich granites successively grade into Nb-, Ta-poor granites or W-bearing granites, rare earth-bearing granites and barren granites, and that rare elements-rich pegmatites directly change into Nb-, Ta-rich granites in the strike or dip direction. The granitic rocks and their related ore deposits display regularity in their variation of rock-forming elements, ore-forming elements and mineral assemblages, having evident evolutionary characteristics of heredity and development. Besides, according to some geochemical data, the lower Paleozoic strata in this region are rich in rare earth and rare metals (see Table 2), while some Upper Paleozoic strata have relatively high abundances of W, Sn, Bi, Pb, Zn. These strata, therefore, presumably constituted the source material of mineralization in the processes of migmatization, granitization and differentiation of the crustal remelted granitic magma.

The foregoing discussion indicates evidently that the granitic magmas which gave rise to mineralizations of rare earths, rare metals, W, Sn, Mo, Bi, and other elements in Nanling region were the products of migmatization, granitization of older sediments and rocks, which produced relatively large batholiths through repeated replacements at various stages of crustal evolution. These batholiths eventually formed granitoid masses as a result of repeated and consistent remelting, differentiation and intrusion.

Different minerogenetic elements were concentrated at different petrogenetic stages and formed accordingly various kinds of mineral deposits genetically related to each other, thus constituting in time and space the petrogenetic-minerogenetic evolutionary sequences as shown in Table 6.

These deposits generally evolved from the centers of migmatization and granitization radially outward, which finds expression in an apparent zoning: from early to late periods or spatially in upward or outward succession, the ore-forming elements appear in sequence of $\Sigma\text{Ce} \rightarrow \Sigma\text{Y}$, Nb or Y, Be $\rightarrow$ Nb (Ta, Hf, W) $\rightarrow$ W (Mo, Bi, Be, Nb, Ta) $\rightarrow$ Sn (Nb, Ta, sulfides). The various types of deposits derived from the same magmatic source occupied vertically relatively fixed spatial positions respectively and graded into each other, denoting a regular and orderly zoning of mineral deposits and making up a completed and integrated minerogenetic model as shown in Fig. 2.