

南岭某地区岩浆演化与稀土矿化的关系

中南矿冶学院 阮道源

岩浆演化包括岩浆的分异和同化等作用。演化的现象在岩体中是可以观察到的。它不仅与各种岩浆岩的形成有关,对许多矿床的形成也有着密切的联系。

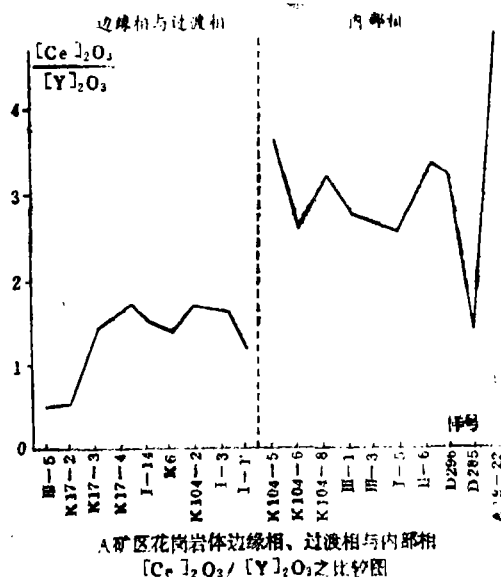
一 与稀土矿化有关的岩浆岩

南岭某地区分布着一个面积达数千平方公里的花岗岩岩基,其北部和东北的一小部分广泛发育着稀土花岗岩。这种稀土花岗岩风化后形成富含独居石、磷钇矿的花岗岩风化壳稀土矿床和离子吸附型稀土花岗岩风化壳矿床。前者与较酸性并富含独居石、磷钇矿的花岗岩有关,后者与较基性而贫独居石、磷钇矿的花岗岩有关。两种花岗岩同属燕山三期(140~165百万年)花岗岩浆分异的产物。

此外,区内还发育有较深色的中基性脉岩,穿插于花岗岩体及围岩中。脉岩亦见有稀土矿化。脉岩与花岗岩之物质组成有共同之处,空间分布密切有关。二者在岩浆演化,以至成岩、成矿作用可能是有联系的。

二 稀土花岗岩浆的演化与稀土矿化

1. A矿区的岩浆演化 为就地分异作用,各岩相带呈渐变过渡。矿区稀土花岗岩风化壳分布面积约10余平方公里,从残留基岩来看,岩体自南而北可分三个相带,属于大岩基北部的一个附属部分。南边内部相为成矿母岩,岩石相对较基性,稀土元素含量最高。边缘相和过渡相岩石相对较酸性,矿



化次于内部相。各相带矿物和化学成分、结构特征及矿化、蚀变情况详见上图和表1。

表1表明,A矿区花岗岩浆经过分异作用,使岩体内部相相对较基性,过渡相和边缘相相对较酸性;二者碱金属总含量均较高,但较基性的花岗岩氧化钾略高于较酸性的花岗岩,而氧化钠相反。内部相以铈族稀土元素为主,极少出现独居石、磷钇矿。稀土元素主要赋存于褐帘石、黑云母和长石等矿物中。电子探针扫描发现黑云母中有富含稀土的微细包裹体,经测定为铈褐帘石。边缘相和过渡相仍以铈族稀土为主,但含量较低,钇族稀土含量相对较高,出现独居石和磷钇矿。

A 矿区花岗岩各岩相带特征

表 1

岩 相 带		边 缘 相	过 渡 相	内 部 相
结 构		细粒、中粒结构, 细粒、中粒似斑状结构		粗粒结构、粗粒似斑状结构
平 均 化 学 成 分 (%)	SiO ₂		75.53	71.56
	K ₂ O		5.6	5.84
	Na ₂ O		2.66	2.44
	CaO		0.82	1.42
	MgO		0.17	0.39
	FeO		1.81	1.94
	Fe ₂ O ₃		0.2	0.87
	MnO		0.033	0.042
	TiO ₂		0.083	0.25
	P ₂ O ₅		0.06	0.11
	Al ₂ O ₃		12.27	14.02
扎氏数值特征			45>Q>15, a/c>7; 为SiO ₂ 过饱和和岩石; 多数为过碱性及铝过饱和和岩石; 少数为中碱性及正常岩石	为SiO ₂ 过饱和和岩石; 多数为过碱性及铝过饱和和岩石, 少数为中碱性及正常岩石
矿 物 成 分	暗色矿物	只有黑云母, 含量2~2.5%		以黑云母为主, 可见角闪石, 总量8.7%
	斜长石	主要为10~20号, 局部少量达33~34号		主要为33~38号, 少数达40、48号
	石英	含量36~37%, 过渡相一样品岩浆结晶爆裂温度为507℃		含量35.6%, 岩浆结晶期爆裂温度512~540℃
	钾长石/斜长石	1.2~2		含角闪石的花岗岩为2.2
	褐帘石	晶粒较细, 含量较少, 肉眼不可见		晶粒较大, 长3~4毫米(照片1), 含角闪石花岗岩中216克/吨
	榴石	极少		肉眼可见, 长2~3毫米(照片2), 含角闪石花岗岩中485克/吨
	磁铁矿	较少		较多, 含褐帘石、榴石多者更多, 含角闪石花岗岩中2478克/吨
	锆石	风化壳中平均含量157.16克/吨		风化壳中平均含量254.34克/吨
	磷钇矿	风化壳中多数含量<30克/吨, 个别>100克/吨		极少, 少数达0.1克/吨, 极罕见4.51克/吨
	独居石	风化壳中多数>20克/吨, 个别45.59克/吨		极少, 少数达0.1克/吨, 极罕见3.98克/吨
稀 土 矿 化	铌钽铁矿	风化壳中极微至0.66克/吨		无
	萤石	风化壳中极微至0.32克/吨		极少, 含角闪石花岗岩中8克/吨
		某些地段可见		
稀 土 矿 化	矿床类型	品位低, 不构成工业矿体		以钪族稀土为主的离子吸附型风化壳矿床, 分布广, 储量大, 几不含磷钇矿和独居石
	(Ce) ₂ O ₃ (Y) ₂ O ₃	1.3~1.74 少数样品(Y) ₂ O ₃ > (Ce) ₂ O ₃		一般为2.5~3.6
蚀 变		自变质作用形成的绢英岩 化普遍 此外还有硅化、绿泥石化、碳酸盐化、萤石化等		绢英岩化不甚发育, 亦有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、萤石化、绿帘石化

由上可见, 岩浆期的演化不仅形成不同岩性的花岗岩类, 也使稀土元素相对集中于内部相。稀土元素的分布完全受岩性控制, 而与构造、蚀变无关, 这是其富集成矿的一个重要原因。岩体出露地表风化后, 又使稀土元素进一步富集。

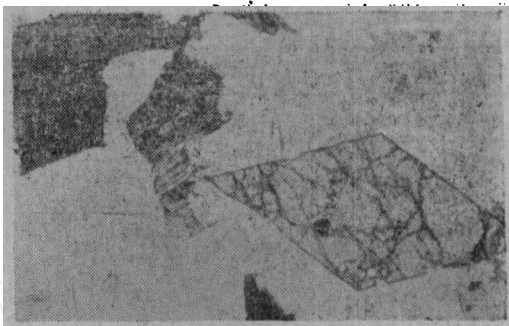
2.B 矿区的岩浆演化 B 矿区在A矿区

东南, 是富含独居石、磷钇矿的稀土花岗岩风化壳矿床, 稀土元素吸附于风化壳粘土矿物中。

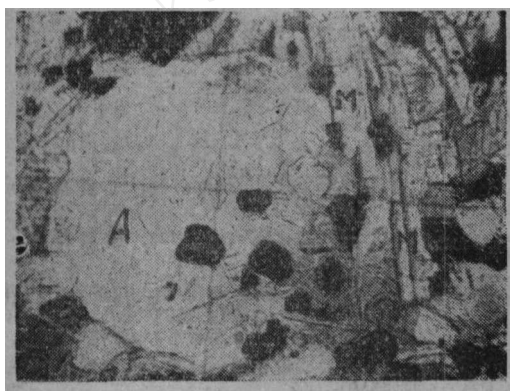
B 矿区及其附近有燕山三期不同阶段的稀土花岗岩浆活动。分异作用的结果形成酸性程度不一、稀土矿化有别的花岗岩侵入体。早阶段是角闪石黑云母花岗岩侵入, 这



照片1 A矿区花岗岩内部相之板条状角闪石,可见环带结构及双晶 正交 $\times 21$



照片2 A矿区花岗岩内部相之自形角闪石 单偏光 $\times 61$



照片3 方沸橄榄黄长岩中的黄长石(M)和方沸石(A) 单偏光 $\times 156$



照片4 方沸橄榄黄长岩中的钛铈钙钛矿(Lo) 单偏光 $\times 312$

种岩石角闪石含量高达10%, $\text{SiO}_2 = 65.10\%$, $\text{CaO} = 3.91\%$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6\%$, 为较基性的花岗岩类。岩石中缺乏磷钇矿和独居石。矿床以铈族稀土元素为主, 稀土元素总量的60.66%分配于角闪石中, 其余分布于长石、黑云母等矿物中。岩石风化后形成离子吸附型矿床。中阶段为较酸性的稀土花岗岩侵入, 与上述角闪石黑云母花岗岩呈侵入接触。可分为三个岩相带, 内部相 SiO_2 含量低于过渡相, 稀土矿化分散。过渡相构成含矿主体, 由中粒岩石组成, 分布最广。矿床中铈族和钇族稀土元素含量约略相等, 含磷钇矿与独居石较富, 因此, 风化后吸附于粘土中的稀土元素并非很主要。晚阶段为细粒黑云母花岗岩侵

入, 亦较酸性。钇族稀土多于铈族稀土。风化后成为富含磷钇矿、独居石的风化壳矿床。

3. 较大范围的岩浆演化 南岭某地区除A、B两矿区具有上述岩浆演化与稀土元素矿化特征外, C、D等矿区亦有相同的规律。为便于叙述, 兹先将A、B两矿区含矿主体花岗岩之特征对比列于表2。

由表2可见, B矿区含矿主体稀土花岗岩与A矿区花岗岩内部相岩性与矿化都迥然不同, 尽管两者同属于燕山三期, 相距也仅数十公里。这是岩浆分异作用的结果。但B矿区含矿主体稀土花岗岩与A矿区花岗岩之边缘相与过渡相的矿物、化学组成及稀土矿化类型则较相近。B矿区含矿主体稀土花岗岩

A、B两矿区含矿主体花岗岩特征对比

表 2

矿 区		A 矿 区	B 矿 区
岩 相 带		内 部 相	边 缘 相、 过 渡 相
结 构		粗 粒	细 至 中 粒
平均 化学 成分 (%)	SiO ₂	71.45	75.17
	K ₂ O	5.84	4.83
	Na ₂ O	2.44	3.32
	CaO	1.42	0.53
	MgO	0.39	0.43
	FeO	1.94	1.15
	Fe ₂ O ₃	0.87	0.64
	MnO	0.042	0.048
	TiO ₂	0.25	0.12
	P ₂ O ₅	0.11	0.033
	Al ₂ O ₃	14.02	13.08
矿 物 成 分	斜长石	以30多号为主,有的可达40多号	多为26号左右
	暗色矿物	以黑云母为主,可含少量角闪石	仅见黑云母
	榍石	肉眼可见,镜下常见,含角闪石黑云母花岗岩中485克/吨	极少
	褐帘石	肉眼、镜下均常见,含角闪石黑云母花岗岩中216克/吨	极少
	磷钇矿	极少	边缘相细粒花岗岩56克/吨,过渡相中粒花岗岩134克/吨
	独居石	极少	边缘相细粒花岗岩61克/吨,过渡相中粒花岗岩123克/吨
	锆石	含角闪石黑云母花岗岩中293克/吨,整个岩相中风化壳重砂样品平均254.34克/吨	边缘相细粒花岗岩73克/吨,过渡相中粒花岗岩87克/吨,分布特广极有代表性的过渡相风化壳中各矿体平均含量最高者达93克/吨
	磁铁矿	含角闪石黑云母花岗岩2478克/吨	边缘相黑云母花岗岩23克/吨,过渡相黑云母花岗岩580克/吨
	铌钽铍等	极少	过渡相少量,边缘相微量硅铌钽矿,
	稀有元素矿物		边缘相有少量褐钇铀矿、 边缘相、过渡相有微量黑稀金矿
稀 土 矿 化	矿床类型	离子吸附型矿床,几不含独居石、磷钇矿	富含磷钇矿、独居石的风化壳型矿床,部分稀土元素呈离子吸附状态赋存于粘土矿物中
	赋存状态	稀土元素趋于分散,部分含于褐帘石中,部分呈类质同象或微细包裹体赋存于造岩矿物中	稀土元素趋于集中,主要含于磷钇矿、独居石中,部分以类质同象或微细包裹体赋存于造岩矿物中
	[Ce] ₂ O ₃ [Y] ₂ O ₃	2.5~3.6	小

和A矿区花岗岩内部相的这种差异,与A矿区本身花岗岩边缘相、过渡相和内部相的差异极其相似。这种岩浆演化与稀土元素矿化规律,经初步验证C矿区与A矿区花岗岩内部相的岩石及矿化类型相似,D矿区则属于B矿区类型。

4. 简要总结 南岭某地区是稀土花岗岩广泛分布区。花岗岩浆的演化主要是岩浆分异作用,并形成相对较基性和相对较酸性的花岗岩。前者肉眼可见普通角闪石、榍石、

褐帘石和较显著的绿帘石化,后者肉眼、甚至镜下都较难或见不到这些现象。

分异作用方式有两种:一是形成连续变化的各岩相带,造成岩体边缘相、过渡相相对较酸性,内部相相对较基性,一是早阶段侵入的岩体相对较基性,晚阶段侵入的岩体相对较酸性。

南岭某地区一些较富集稀土的花岗岩中,碱金属含矿总和偏高,其中较酸性者氧化钠偏高、氧化钾偏低,较基性者相反。较

基性的花岗岩稀土矿化以铈族元素为主,矿化趋于分散。稀土元素多呈微细矿物包裹体或类质同象赋存于造岩矿物中,或形成含稀土元素不甚高的褐帘石,而不形成独居石、磷钇矿。钙是易被稀土置换的元素,所以在较基性的花岗岩中之角闪石与富钙斜长石易使稀土元素以类质同象状态分散其内。

有人认为,形成褐帘石花岗岩还是独居石花岗岩取决于花岗岩中斜长石形成后CaO与 P_2O_5 的含量比。斜长石生成后若仍有较多的CaO而 P_2O_5 较缺乏,则形成磷灰石可耗尽 P_2O_5 ,使CaO尚有多余,这时可形成含钙和稀土的硅酸盐矿物褐帘石。再多余的CaO还可与Ti结合生成榍石。所以,岩石中的铁易于生成磁铁矿而不是钛铁矿。相反,若 P_2O_5 充足而CaO缺乏,则形成磷灰石时CaO耗尽, P_2O_5 尚有多余,这时就形成含稀土的磷酸盐矿物独居石。南岭某地区的情况是:较基性的花岗岩含榍石与褐帘石,较酸性的花岗岩含独居石,原因就是前者富钙、后者缺钙。

南岭某地区较基性的花岗岩风化后形成离子吸附型稀土花岗岩风化壳矿床,原因是稀土元素多含于易风化的角闪石、斜长石和黑云母等造岩矿物及褐帘石中,而缺乏难风化的磷钇矿与独居石。从风化稳定性来说,褐帘石比磷钇矿、独居石差一个等级。

较酸性的花岗岩中,铈族元素在稀土元素里的总百分含量比基性的花岗岩为高,这本是一般规律。因为它们的离子半径较小,碱性较低,易于集中在较酸性的地质体中。南岭某地区一些矿区中铈族元素几乎占稀土总量的一半,稀土矿化又趋于集中,即多形成稀土氧化物含量高达60%以上的独居石、磷钇矿。花岗岩风化后,则形成富含独居石、磷钇矿的稀土花岗岩风化壳矿床。

综上所述,据南岭某地区现有稀土矿床资料来看,相对较基性的花岗岩之稀土含量常高于较酸性的花岗岩。该地区有两种稀土花岗岩风化壳矿床,我们认为今后在该地区寻找离子吸附型铈族稀土矿床,应在较基性

的花岗岩中进行;寻找富于磷钇矿、独居石且铈族元素较多的稀土矿床,应在较酸性的花岗岩中进行。这种认识正确程度仍需在实际矿实践中不断检验、补充与改正。

三 中基性岩脉的岩浆活动与稀土矿化

1. 花岗岩体侵入后的岩脉活动 岩浆演化不仅存在于上述花岗岩侵入体,也存在于其后的各种脉岩及小岩体里。南岭某地区广泛分布的花岗岩体及其周围,常见有各种中基性和较酸性的岩脉穿插,其中的中基性岩脉稀土含量较高,与矿化关系较为密切。经鉴定,这些脉岩以闪长玢岩为常见,还有石英闪长玢岩、角闪安山岩、辉石闪长玢岩、橄榄玄武岩、球粒玄武岩(不含橄榄石)、辉绿岩、方沸橄榄黄长岩,及次生变化较深主要含黑云母、辉石、橄榄石的脉岩。此外,还有较酸性的脉岩,如花岗斑岩、石英斑岩、花岗闪长斑岩、花斑岩、花岗伟晶岩、细粒电气石花岗岩、细粒黑云母花岗岩等。

由上可见,这些脉岩种类很多,包括了酸性、中性、基性和超基性各种脉岩,有正常组分的岩石也有偏碱性的岩石。反映了花岗岩体侵入后该地区还有复杂的岩脉及小岩体的活动,也说明了岩浆演化的复杂性和分异作用的频繁性。

2. 中基性岩脉组成的岩浆岩建造 南岭某地区的中基性岩脉虽类型各不相同,但其共同特点是:颜色较深,易于风化,常呈球状剥落。岩石结构较细或很细,有的具玻璃质(如方沸橄榄黄长岩),有的有杏仁状构造,反映浅成或超浅成的特点。在化学成分上稀土含量较高,且以铈族稀土为主。在矿物成分上,各类脉岩虽变化较大,但普遍含黑云母,有的是主要矿物,反映这类脉岩锆质含量较高。脉岩常见蚀变,次生矿物有绿帘石、绿泥石、黑云母、葡萄石、方解石、绢云母、白云母及粘土类矿物。

A矿区主要见有沿花岗岩体剪切裂隙延伸的北东东向与北北西—南北向岩脉,次要

的有北东向岩脉。产状多陡立，脉宽大者数十米，延伸长者可达1.5公里。脉岩切割花岗岩体中的石英脉及后期细粒花岗岩脉，并偶见浅色花岗闪长斑岩脉的捕虏体。

根据以上特点，南岭该地区的脉岩是花岗岩浆侵入后发展一定阶段的产物。从岩浆建造的含义来考虑，这一套暗色含稀土元素较高的中基性岩脉组合可称为一个岩浆建造。它与同一地区出现的花岗岩建造、浅色较酸性的脉岩或小岩体（包括花岗斑岩、石英斑岩、花岗闪长斑岩等）分别组成不同的岩浆岩建造。

3. 中基性岩脉的岩浆演化与稀土矿化

根据现有资料，总的来看，南岭某地区花岗岩体中的中基性脉岩稀土元素含量比浅色酸性脉岩、稀土花岗岩都高。包括各类型新鲜中基性脉岩22个样品稀土氧化物总量的平均值为0.053%。这些岩脉易于风化成矿，与稀土矿化关系较为密切。上述情况表明，在大花岗岩体侵入之后，在一连串的脉岩及小岩体的岩浆演化过程中，稀土元素较易于集中在偏基性的脉岩内。

在稀土花岗岩风化壳矿区中，中基性岩脉风化物内，矿化品位比花岗岩风化壳矿床还高，有的可达0.200~0.300%， $[\text{Ce}]_2\text{O}_3/[\text{Y}]_2\text{O}_3$ 可达6.17~12，在找矿勘探中值得注意。

这些中基性甚至超基性脉岩，可能是由较基性的岩浆经复杂的演化过程形成的。玄

武岩浆是一种原生岩浆，可通过分异、同化等作用演化成不同岩石。该区有含橄榄石或不含橄榄石的玄武岩及与玄武岩化学成分相当的辉绿岩。这些岩石应是玄武岩浆的直接或稍加演变的产物。玄武岩浆温度较高，侵入到熔点较低、富硅、富碱和含稀土的花岗岩体中，发生同化或混染作用的可能性是存在的，当然也不排斥同时发生分异作用。当发生同化作用，则玄武岩浆的酸度将增加并吸收花岗岩中的碱金属和稀土元素。该区的脉岩中有一种较罕见的方沸橄榄黄长岩（暂定名，照片3）值得注意，其颜色深黑，结构致密，有杏仁状构造，基性、碱性程度较高，产于D矿区的中粒稀土花岗岩中。这种岩石中较主要的矿物有黄长石、橄榄石、黑云母及原生、具偏方三八面体晶形的方沸石，稀土矿物有铈铌钙铈矿（照片4），此外还有辉石、磁铁矿、方解石及其他沸石类矿物等。新鲜岩石稀土总量（ TR_2O_3 ）可达0.069%， $[\text{Ce}]_2\text{O}_3/[\text{Y}]_2\text{O}_3$ 为6.67。岩石中碱性偏高可以是同化作用（灰岩）而成，也可是分异作用的结果。但这种脉岩附近是大片花岗岩，没有灰岩，所以其成因用后者解释较为合适。它们应是岩浆演化到稀土与碱金属都较集中，且硅质不饱和条件下的产物。稀有（包括稀土）金属常在碱性高的岩石中富集，稀土元素又常与钾质富集有关，这可能是方沸橄榄黄长岩中富于稀土元素的原因。

（上接第63页）

1. 采场探矿比由7.1米/千吨降低到2.5米/千吨，每年可节省坑道3千多米，从而在一定程度上扭转了掘进被动的局面；

2. 突破了“开拓——探矿——采准——二次圈定矿体——回采”的传统程序，在探采交叉作业中省去了专用于探矿的三个多

月，加快了采场投产速度，促进了强化开采。利用某些开拓工程超前探矿，也同样加快了中段开拓和整个矿山基建的步伐。

3. 使探矿工程间距由20至25米加密到10至20米，提高了勘探程度和开采工作质量，降低了损失率和贫化率。