1993年第1期 矿产与地质 第7卷
1993年2月 MINERAL RESOURCES AND GEOLOGY 总第33期

巴尔哲碱性花岗岩稀有稀土矿床地质特征及成因探讨

冯守忠
（吉林有色地质勘查局地质矿产研究所，长春市 130012）

摘要 内蒙古巴尔哲碱性花岗岩稀有稀土特大型矿床是国内首次发现的一种新类型工业矿床，其规模居亚洲第三位。含矿岩体为燕山期碱性花岗岩，岩体普遍矿化，岩体即是矿体，矿石品位富，稀有稀土元素种类多，其共生伴生矿物多达44种，工业矿物以烃硅铍钇铈矿、烧绿石、铌铁矿、锌日光榴石为主。

关键词 碱性花岗岩，稀有稀土矿床，岩浆晚期分异交代，内蒙古巴尔哲

1 区域地质背景

该区所处大地构造位置属于蒙古弧形构造东翼，与大兴安岭新华夏系构造呈斜接复合部位，矿区位于巴尔哲扎格EW向断裂构造和NNE向背斜构造的复合部位，区内（图1）出露地层为上古生界二叠系，中生界侏罗系，白垩系和新生界第四系。其中以中生界最发育，其次为新生界，古生界分布面积最小。

褶皱、断裂构造较发育。褶皱构造轴向NNE，主要为呼日格组构成的短轴背斜。断裂构造以EW向为主，另有NNE及NNW向断裂。含矿岩体位于缓倾短轴背斜核部，受NNE和EW向断裂复合部位控制。

岩浆活动频繁，各期均有，岩石种类多，岩性由中基性、中性至酸性、酸偏碱性等组成。据资料，华力西晚期可划分为二次构造岩浆旋回，而燕山期则表现为三次较明显的构造岩浆旋回，其各期侵入岩时代，岩石类型见表1。

含矿岩体为燕山期碱性花岗岩，普遍矿化，故岩体即矿体。按其结构、构造和蚀变特点，碱性花岗岩又可分为晶洞状碱性花岗岩（Ⅳ号岩体）和钠长石化碱性花岗岩（Ⅵ号岩体）。Ⅳ号岩体位于矿区西部，出露面积0.11km²，晶洞极发育，岩性单一，交代作用较Ⅵ号岩体弱，蚀变主要为钠长石化、霓石化、萤石化，蚀变较均匀，放射性强度100～400r。据两个钻孔连续取样资料，岩体内稀有稀土元素分布稳定；Ⅵ号岩体位于矿区东部，出露面积0.3km²，交代作用强烈，主要为钠长石化，局部见霓石化，岩体具水平和垂直蚀变分带。水平分带自边向内部可分为伟晶状花岗岩带。强钠长石化带、中钠长石化带和似斑状碱性花岗岩（原岩）。垂直方向上，随深度加大，交代蚀变作用渐弱。稀有稀土元素含量与蚀变强度呈正相关。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　各期侵入岩时代划分及其成矿专属性

构造地质年代	岩体形成时代	时代代号	时代地质依据		同位素年龄（亿年）	岩体名称	岩石类型	矿化
			上限	下限				
燕山晚期	白垩纪	$\eta\pi\xi^{3}$		Kp		中心屯东	二长斑岩	
燕山早期	晚侏罗世	$r\pi\xi^{3-5}$	Kp	J_3b、$\delta\pi\xi^{3-4}$		拉民达板	花岗斑岩、斜长花岗斑岩、钾长花岗玉斑岩	
		$\delta\pi\xi^{3-4}$	Kp、$r\pi\xi^{3-5}$	J_3b		哈列列	闪长斑岩、共花岗闪长斑岩	
		$r\xi^{3-5}$	Kp	J_3b、$J_2hr\delta\xi^{3-2}$	1.321（B11－1）	木德吐	文象花岗岩、钾长花岗岩、细粒晶洞白岗岩、角闪钾长花岗岩、似斑状白岗岩	稀有稀土放射性元素
	中晚侏罗世	$r\delta\xi^{3-2}$	Kp、$r\xi^{3-5}$	J_2f、J_2h、$\delta\xi^{3-1}$	1.65（3－426）	木盖吐	花岗闪长岩、石英闪长岩	Cu、Fe
	中侏罗世末	$\delta\xi^{3-1}$	J_2b、$r\delta\xi^{3-2}$	J_2f、J_2h	1.046（3－431）	毛德布	闪长岩、石英闪长岩	P、Ti、Fe、Cu 稀土
华力西晚期	早二迭世	$r\eta^{2-2}$	J_2h、$r\xi^{3-5}$	$P_{1+2}\delta\eta^{2-1}$		铁特格	巨晶花岗岩、白岗质花岗岩	Sn
		$\delta\eta^{2-1}$	J_2h、$r\eta^{2-2}$		1.831（3－374）	东、西老头山	蚀变闪长岩	

2　矿床地质特征

2.1　矿体规模、形态及产状

含矿岩体中的钇、铌、铍等稀有稀土金属矿化普遍且均匀，岩体顶部为一富含钇、铌、铍的厚大板状矿体，矿体出露长 1000m，宽 90～347m，平面呈哑铃状。矿体产状与岩体产状一致向四周倾斜，倾角 35～60°，矿体东南侧陡，北西侧缓，岩体下部另一矿体为铌、钇为主，矿化自上而下逐渐减弱，矿体长 1090m，宽 300～478m，厚 206～245m。垂直方向具蚀变分带，上部为中等强度蚀变，向深部蚀变减弱并过渡为原岩。

2.2　稀有稀土元素矿物成分及地球化学特征

经初步鉴定，本区Ⅳ号和Ⅵ号矿体矿物有 40 多种（表 2）。

本区的硅铍钇矿、稀土含量接近理论值，略高于其它矿区，BeO 与 SiO_2 高于理论值与其它矿区，但 Fe_2O_3 远低于理论值及其它矿区。杂质元素种类较多，$[Zr、Hf]O_2$、ThO_2、U_3O_8 等均以类质同象形式进入硅铍钇矿，说明其形成时熔浆成分的复杂性。产出硅铍钇矿的岩体，同时富含 Be、Zr、Nb、Ta、Y、Ce 等高价阳离子的稀有稀土元素。Fe^{2-} 与 Si^{4-} 的离子半径相近，Be 可置换氧四面体的 Si。由于晶格能的差异在置换过程中有能量过剩，因此，必须有高阶阳离子补偿。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

早期岩浆结晶的造岩矿物形成后，残余熔浆中稀土相对富集，随着岩浆分异与交代作用的进行，元素之间置换作用能量与电价补偿达到平衡时，在岩浆的晚期阶段便形成了大量的硅铍钇矿。

表 2　Ⅳ号、Ⅵ号矿体矿物成分表

矿体号	稀有、稀土矿物	放射性矿物	金属矿物	硅酸矿物	其他
Ⅵ号矿体	硅铍钇矿、独居石、铌铁矿、复稀金矿、烧绿石、锌日光榴石、锆石	铈铀钛铁矿、铁钍石、硅铅铀矿	赤铁矿、钛铁矿、磁铁矿、菱铁矿、褐铁矿、镜铁矿、针铁矿、钼铅矿	钾长石、钠长石、角闪石、镁钠闪石、霓石、石英、钠闪石、普通辉石	方解石
Ⅳ号矿体	氟碳铈矿、独居石、复希金矿、烧绿石、铌铁矿、锆石、铌铁金红石	铁钍石	赤铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、螺状硫银矿、镜铁矿、菱锌矿、银金矿	条纹长石、石英、钠闪石、角闪石、星叶石、蒙脱石、绿泥石、铝绿高岭石	白铅矿、金红石、萤石

本区硅铍钇矿属萤石型，铁含量低，稀土含量高。从岩石成分看，铁含量略高于戴里的花岗岩平均化学成分的铁含量。由于岩浆早期结晶时形成大量铁矿物（如钛铁矿、磁铁矿），熔浆中剩余的铁又与铌组成铌铁矿，因而，铁的成分大大减少。同时，部分稀土置换铁而导致硅铍钇矿中低铁而富稀土。本区的硅铍钇矿是否为一新的变种，有待进一步研究。

氟碳铈矿主要集中在Ⅳ号岩体。该岩体氟高于克拉克值 13 倍，高于Ⅵ号岩体 12～62.5 倍。氟碳铈矿产于微碱性条件下。当 PO_4^{3-}、F^-、CO_3^{2-} 与 Ce^{3+} 共存时，应首先形成独居石。本区独居石在生成阶段上早于氟碳铈矿。但磷低于克拉克值 8～9 倍，熔浆中有 PO_4^{3-} 存在于 TR－F－CO_3 之间又具有强的亲合力，稀土氟碳酸盐的电价补偿简单，结合方式较稳定，有利于氟碳铈矿的形成。氟碳铈矿与复稀金矿密切共生，常呈连生体出现在晶洞中，进一步证明氟碳铈矿是在挥发组分大量泄出，残浆中有大量 Ce^{3+} 的封闭系统中形成的。

锆石是本区分布较广的重要工业矿物之一。常见四方双锥状晶体，少数为四方双锥与四方柱聚形。Ⅵ号岩体地表发现四方板状晶体，晶洞中见球状雏晶与微晶锆石。颜色从褐色到无色，略带绿色等。从化学成分看，深色锆石比浅色锆石含稀土及 Fe_2O_3 偏高，ZrO_2 偏低。这种深色锆石可作为寻找本类矿床的重要标志。

烧绿石多为不规则的柱状，偶见八面体晶形，粒度一般为 0.1mm，褐黄色，油脂光泽，比重 4.3，在岩体中由近地表向深部含量递增。

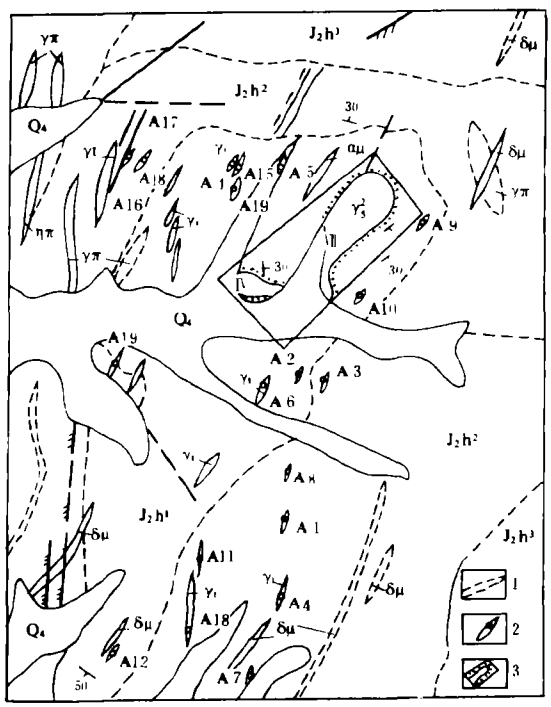


图 1　矿区及其外围地质略图

Q－第四系　J_2h^1－呼日格组下段岩屑晶屑凝灰岩夹流纹岩　J_2h^2－呼日格组中段含砾凝灰岩　J_2h^3－呼日格组上段岩屑晶屑凝灰岩　r_5^2－碱性花岗岩　r_4－花岗细晶岩　η_5－长石斑岩　δ_μ－闪长玢岩　d_μ－安山玢岩　1－伟晶花岗岩　2－花岗细晶岩　3－矿区

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

铈铀钛铁矿常为不规则粒状，三方晶系，亮黑色，金属光泽，贝壳状断口。

铁钍石呈粒状，块状，玻璃光泽，贝壳断口，比重 4.95。是主要的钍矿物，常分布在晶洞状碱性花岗岩体的近地表处，矿区的放射性主要由该矿物引起的。

锌日光榴石多呈不规则粒状，等轴晶系，乳白色，玻璃光泽，粒度一般为 0.1mm，比重 3.2～3.5，紫外线下发鲜绿色光。

复稀金矿呈纺锤状、哑铃状、球状，少数为扇形。分布于Ⅳ号岩体中，与氟碳铈矿密切共生。

岩体(矿体)普遍富含$[Y]_2O_3$、Nb_2O_5、BeO、TaO_3、ZrO_2和$[Ce]_2O_3$等稀有稀土组分(上部矿体含量更高)，矿化随着钠长石化增强而变富，向深部随钠长石减弱而变贫。

2.3 矿石结构构造特征。

该矿床矿石结构有：(1)半自形粒状结构。金属矿物多为半自形(少量为自形晶)产于造岩矿物粒间或晶洞内；(2)斑状结构。以造岩矿物微斜长石、石英和钠长石组成斑晶；(3)包含结构。指较大颗粒造岩矿物包裹金属矿物颗粒。

矿石构造主要有稀疏浸染状构造，其次为斑杂状构造。

2.4 矿石矿物组合特征

经初步统计，组成矿石矿物多达 44 种(表 3)。

表 3 矿石矿物组合表

	主要矿物	次要矿物	少量矿物
稀有稀土及放射性矿物	羟硅铍钇铈矿、铌铁矿、锌晶光榴石、烧绿石、独居石、锆石	铈铀钛铁矿、氟菱钙铈矿、硅铅铀矿	黑稀金矿、铁钍石、易解石
金属矿物	钛铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、磁铁矿、磁性钛铁矿	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、钼铅矿、自然铅、锡石、金红石	褐铁矿、黄钾铁钒、密陀僧、尖晶石
硅酸盐矿物	条纹长石、钠长石、钠闪石、霓石	绿泥石、高岭石、角闪石、云母(次生)	锥辉石、榍石、电气石
其他矿物	石英	萤石、碳硅石	方解石

2.5 围岩蚀变特征

该矿床主要蚀变类型有硅化、角岩化、钠闪石化、钠长石化，也见有萤石化和碳酸盐化。

(1)硅化。发育近岩体围岩处，可分为两种形式，一种是面型渗透交代，另一种是呈细脉状沿节理裂隙充填，硅化宽度可达 20～30m。

(2)角岩化。常分布在含矿岩体外接触带边缘，厚度 5～10m。

(3)钠闪石化。主要产在近岩体的围岩中，呈细脉状，细脉宽 1～2mm。

(4)萤石化和碳酸盐化。多呈细脉状产于岩体上部及近岩体围岩

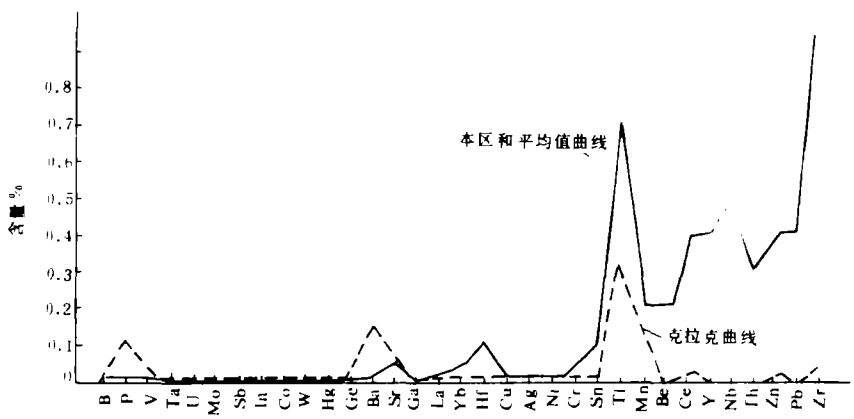


图 2 各元素光谱分析结果与克拉克值对比曲线

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中。

(5)钠长石化。是含矿岩体的重要蚀变类型,蚀变均匀,但有强弱之分。

2.6 稀有稀土和放射性元素的赋存形式及分布规律

矿床中的稀有稀土元素和放射性元素主要以独立矿物形式存在,少数以类质同象形式存在于其它矿物的晶格之中。从含矿岩体地表向深部所取的80件光谱全分析样取其平均值与元素的克拉克值相比较(图2)。图中表现出P、V、Ba、Ge和Sr低于克拉克值,B、Ga、Mo、Sb、In、Co和W近于或稍高于克拉克值,Y、Hf、Cr和Sn高于克拉克值2～6倍,Ti、Mn、Be、Nb、Ce、Th、Pb和Zn高于克拉克值10～40倍,而Zr比克拉克值高达200倍以上。另外,铁族元素含量较低,亲硫元素含量较高,稀有稀土及放射性元素含量最高(其中Be、Ta、Y的平均品位超过工业要求3～4倍,Nb_2O_5超过10倍以上)。同时表现出稀有稀土元素与放射性元素呈正相关的关系(图3)。

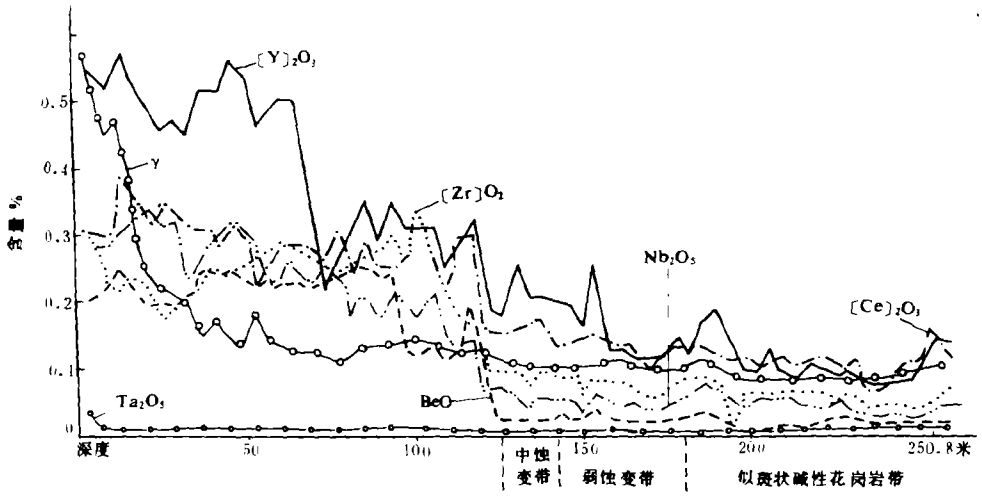


图3 Ⅵ号岩体稀有稀土元素含量变化曲线

3 矿床成因探讨

3.1 成矿条件

(1)物质条件:富含稀有稀土元素的碱性花岗岩浆为成矿提供了充足的物质,区域稀有稀土元素的地球化学背景值也高。

(2)控矿条件:EW向巴尔哲扎拉格断裂为碱性花岗岩浆上侵创造通道,区内短轴背斜是岩浆定位的良好空间。良好的封闭条件使矿液不易逸散,发育的岩浆收缩节理裂隙利于矿液的积聚与交代作用。

(3)矿液性质:矿石具有大量的晶洞,萤石和方解石细脉,说明熔体溶液含有丰富的挥发分。成矿早期,金属元素多与F、Cl、H_2O、O结合呈络阴离子形式迁移,而晚期气成热液阶段,稀有稀土元素大多呈化合物形式迁移,此时,它们以阳离子形式存在。

成岩成矿介质的酸碱度直接影响稀有稀土元素的沉淀。如东矿体上部表现微酸性,下部为微碱性。因此,矿体下部的铈族稀土含量与钇族稀土含量的比值大于矿体上部。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2 成矿作用

从包含结构可以看出，在岩浆冷却结晶阶段，稀有稀土金属矿物已先晶出，故被造岩矿物包裹于其中形成包含状。因此，可以认为成矿或早于岩浆结晶或与岩浆结晶同时进行。

岩浆结晶晚期，残余熔浆中 $K_2O+Na_2O>Al_2O_3$，并富含大量的挥发性组分和矿质聚集岩体顶部，随着压力的降低，成矿介质由微碱性向微酸性转变，同时发生自交代变质和成矿作用，此时是最主要的成矿阶段。

岩浆期后热水溶液阶段，主要表现在围岩和岩体中的细脉状萤石化、方解石化、石英化和钠闪石化等热液蚀变，并伴有少量的黄铜矿化、方铅矿和闪锌矿化。

综上所述，从岩浆结晶开始到晚期成岩阶段，都伴随着成矿作用，而最主要的成矿阶段是岩浆晚期自交代阶段。矿床工业类型称之为稀有稀土蚀变碱性花岗岩矿床。

4 找矿标志

(1)EW 向和 NNE 向构造复合处，短轴背斜核部是找矿的主要构造标志。

(2)围岩中的硅化、角岩化、萤石化及钠闪石化等是矿床围岩蚀变的标志。

(3)燕山期晶洞状碱性花岗岩小岩体，尤其是面积小于 $1km^2$ 的小岩体，是找矿的岩体标志。

(4)覆被状环形伟晶状花岗岩的存在，标志着下面有蚀变强烈的碱性花岗岩小岩体，有可能存在工业矿体。

(5)岩体露头上有蛋黄色、黄绿色、赭色粉末、薄膜或斑点或显黄褐色等，常是稀有稀土和放射性物质存在的直接标志。

(6)放射性异常是寻找该类型矿床的重要标志之一。

DISCUSSION ON GEOLOGICAL CHARACTERISTIC AND ORE GENESIS OF RARE METAL AND RARE-EARTH ORE DEPOSIT IN BAERZE ALKALI GRANITE

Feng Shouzhong

(Research Institute of Geology for Mineral Resources, Nonferrous Metal Exptoration Bureau of Jilin, Changchun, 130012)

Abstract

The special large sized alkali granite rare metal and rare-earth ores in Baerze of Nei Mongol is the new industrial type ore deposit first discovered in China with the scale in third place in Asian. The ore-bearing magmatic body is a Yanshanian alkali granite and the rock body is wholly mineralized and become ore body rich in ore grade. Rare metal and rare earth elements are many and varied. The paragenetic and associated minerals in ore are more than 44 species. The major economic minerals are hydroxyl—Si—Be—Y—Se mineral, pyrochlore, niobite and genthelvite.

Key Words Alkali granite, Rare metal and rare earth ore deposit, Late magmatic differentiation and metasomatism, Baerze Nei Mongol

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net