

# “八〇一”稀有稀土矿床碱性花岗岩的含矿性、矿化规律及成因分析

朱京占, 张国辉, 杜青松, 和静

(内蒙古自治区矿产实验研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:** 内蒙古通辽市扎鲁特旗与碱性花岗岩有关的“八〇一”特大型稀有稀土矿床位于巴尔哲北北东向背斜构造部位, 以 Nb、Y、Ta 为主, 伴生 Be 等多种稀有稀土元素。含矿岩体为普遍矿化的燕山期碱性花岗岩, 且碱性花岗岩体与“八〇一”稀有稀土矿床具有生成关系。通过对碱性花岗岩的岩石特征及含矿性、含矿元素的变化规律、岩石化学成分与稀有元素的关系、矿化元素的富集规律及矿床成因进行综合分析, 认为“八〇一”稀有稀土矿床为碱性花岗岩岩浆晚期分异交代型矿床。

**关键词:** 稀有稀土矿; 碱性花岗岩体; 成因类型

**中图分类号:** P618.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-6248(2013)04-0207-08

## Ore Potentiality, Mineralization Laws and Genesis of Alkaline Granite in 801 Rare REE Deposit

ZHU Jing-zhan, ZHANG Guo-hui, DU Qing-song, HE Jing

(Inner Mongolian Minerals Experiment Research Institute, Huhhot 010031, China)

**Abstract:** Related to alkaline granite, the 801 oversize rare REE deposit lies in Ba'ierzhe anticline of NNE direction, Zhalute territory of Tongliao City, Inner Mongolia. Mainly composed of niobium (Nb), yttrium (Y), tantalum (Ta), the deposit also contains various rare REE such as beryllium (Be) and so on. The ore-bearing rock is mineralized alkaline granite formed during Yanshanian, and its ore body has generation relations with the 801 rare REE deposits. The author has comprehensively analyzed the alkaline granite from perspectives of petrological characteristics, ore potentiality, the variation law of ore-bearing elements, the relationship between rock chemical composition and rare elements, the enrichment patterns of mineralization elements and genesis of deposit, and concluded that 801 REE deposits belong to late magmatic differentiation metasomatic deposits of alkaline granite.

**Key words:** REE deposit; alkaline granite; genetic type

“八〇一”稀有、稀土矿床是原吉林省区调队进行 1:20 万区测时发现的, 原吉林省化探大队对该矿进行过普查评价工作, 确定“八〇一”稀有、稀土矿是钠长石化碱性花岗岩型矿床。但对稀有元素的变化规律及矿床成因缺乏进一步的了解。2002

年, 内蒙古矿产实验研究所通过对矿区的勘探工作, 对“八〇一”稀有、稀土矿床有了进一步的认识, 并在此基础上, 在同一成矿带内的燕山期碱性花岗岩中, 又发现石灰窑大型稀有金属矿床。通过对“八〇一”含矿碱性花岗岩的岩石特征、岩石化

**收稿日期:** 2013-03-19; **修回日期:** 2013-07-31

**基金项目:** 内蒙古自治区地质矿产勘查项目 (09-1-kc042) 资助

**作者简介:** 朱京占 (1964-), 男, 1987 年毕业于河北地质学院, 获学士学位, 高级工程师, 长期从事地质矿产勘查工作。E-mail: 1912511807@qq.com

学特征、矿化分带特征、矿化元素的变化规律以及矿床的成因类型进行研究,对今后寻找此类型的矿床有一定的指导意义。

## 1 “八〇一”稀有、稀土矿床地质概况

“八〇一”稀有、稀土矿床大地构造位置位于华北地台与西伯利亚地台之间的内蒙古中部地槽褶皱带,艾力格庙-锡林浩特中间地块的锡林浩特区域性复背斜中。区域上中生代地层构成北北东向缓倾斜的复向斜,矿体位于其短轴背斜的核部,受巴尔哲北北东向背斜构造所控制。区域地层为大面积分布的中生代火山碎屑岩,主要为侏罗统呼日格组、付家洼子组、宝石组火山岩及火山碎屑沉积岩。矿床附近出露的地层主要为中生代呼日格组火山碎屑岩,构成矿区北北东向封闭的缓倾斜的短轴背斜,轴长5 km,轴向呈北北东 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,含矿碱性花岗岩岩体的定位受背斜构造控制,岩体直接侵入背斜轴部。晚期构造为北北东向断层切穿矿体。

## 2 “八〇一”碱性花岗岩的含矿性分析

“八〇一”稀有、稀土矿床地处华北地台与西伯利亚地台之间的古生代褶皱带中的碱性花岗岩带内。该碱性花岗岩带分布有白云鄂博、“八〇一”、石灰窑和苔来花等稀有稀土矿床。矿床均赋存在钠长石化碱性花岗岩体内,具有矿石品位均匀、稳定,矿体规模大的特征,与碱性花岗岩有着密切的成因关系。以下从2个方面分析“八〇一”矿床与碱性花岗岩的成矿关系。

### 2.1 岩体地质特征和稀有稀土元素变化规律

#### 2.1.1 含矿岩体的地质特征

“八〇一”矿金属矿物赋存在2个碱性岩体内。一是晶洞状碱性花岗岩体(以下简称西岩体或西矿体),二为钠长石化碱性花岗岩体(以下简称东岩体或东矿体)(冯守忠,2000)(图1)。

(1)西岩体(西矿体)。出露在矿区西南端,出露面积 $0.11\text{ km}^2$ ,岩体向深部增大,呈岩瘤状。

岩体岩石结构均一,相带不明显,边部矿物粒径较细,晶洞少而小,向中心矿物粒径逐渐变为中粒,晶洞增多,岩体从上到下结构构造变化不大,只是向深部矿物粒径稍微增大。

岩石呈灰白色,中细粒花岗结构,局部具伟晶结构或文象结构,晶洞状构造。岩体岩石主要矿物有条纹长石(50%~60%)、石英(30%~35%)、钠长石(10%~15%)、霓石(2%~7%)、钠奥长石(1%~3%);副矿物有磁铁矿及赤铁矿(1%~3%)。

(2)东岩体(东矿体)。该含矿岩体是矿区主要工业矿体。岩体出露形态呈北北东向展布,平面上呈哑铃状,岩体向深部增大,地表控制长度1100 m,出露最大宽度360 m,最小宽度100 m,出露面积 $0.24\text{ km}^2$ 。已控制深度400 m,尚未穿透。 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $[\text{Y}]_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 达到了工业品位的矿体深度300 m左右。岩石呈灰白色,风化后变为黄褐色或赭色。主要为斑状结构,斑杂状构造。主要矿物有石英(40%~45%)、微斜条纹长石(20%~35%)、钠长石(10%~20%)、钠闪石(5%)、锆石(2%~8%)、硅铍钇矿(2%~5%)、铁矿物(4%~8%)。

西岩体和东岩体在蚀变特征上有区别,西岩体为钠长石化作用微弱的碱性花岗岩,东岩体为钠长石化作用较强烈的碱性花岗岩。岩体与围岩呈清楚的侵入接触,岩体边缘有细晶结构带及伟晶状花岗岩带,围岩中普遍见到角岩化、硅化、萤石化及钠闪石化等热接触交代作用(图1)。

在地表因浮土覆盖未见东、西岩体的相互接触关系,但经钻孔揭露在岩体接触处有一平缓的伟晶状花岗岩带将二者分开,西岩体在上,东岩体在下,二者的岩石类型和矿物成分大同小异,主要的区别是在地表钠长石化及硅化作用的强度不同,以及稀有元素的矿化程度不同。从地质产状及岩石特征、岩石化学特征看,2岩体是同源岩浆演化过程中不同阶段的产物。前者成岩较早,后者成岩较晚。前者交代作用微弱,只有 $[\text{Y}]_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 达到工业品位要求,后者交代作用普遍,岩性变化较大, $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $[\text{Y}]_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 等都达到了工业品位的要求,而且品位高,矿化规模大,岩石交代作用和稀有稀土元素含量成正比关系,规律性很强。加之该岩体工作程度和研究程度均较高,所以



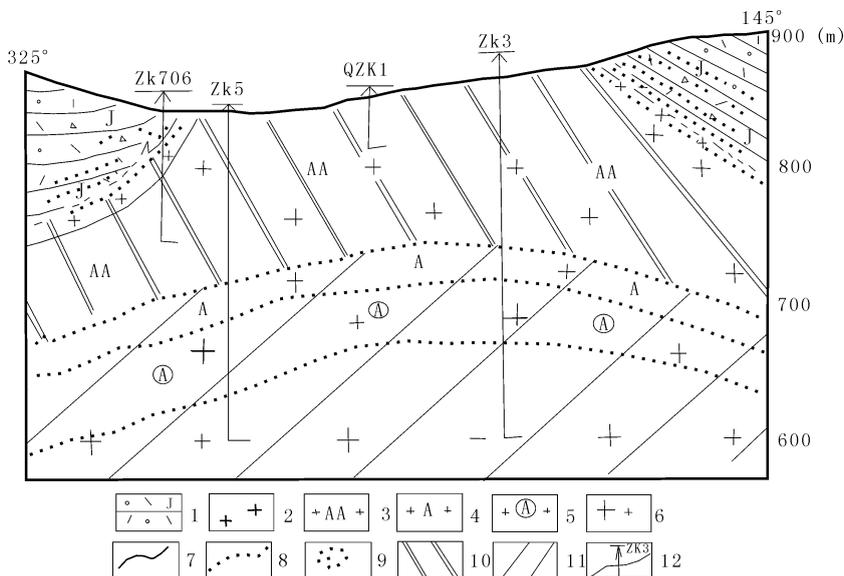


图2 VII线地质剖面图

Fig. 2 Geologic section of VII line

1. 含砾岩屑晶屑凝灰岩; 2. 伟晶状花岗岩; 3. 矽化强钠长石化钠闪石花岗岩; 4. 中钠长石化钠闪石花岗岩; 5. 弱钠长石化似斑状钠闪石花岗岩; 6. 似斑状碱性花岗岩; 7. 实测及推测地质界线; 8. 蚀变界线;
9. 角岩化; 10. BeO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、[Y]<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、工业矿体; 11. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、[Y]<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、工业矿体; 12. 钻孔及编号(QZ汽车钻孔)

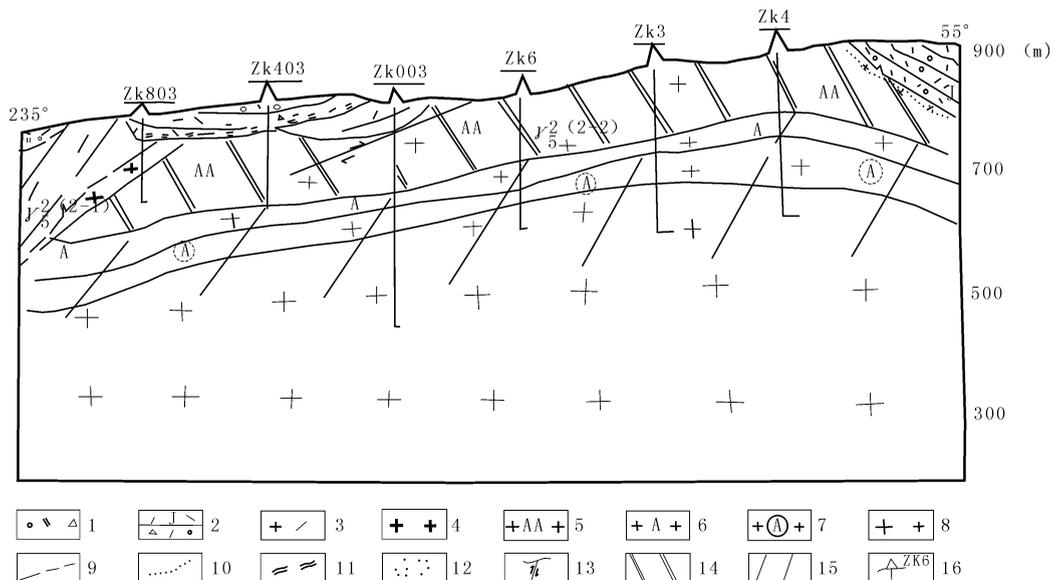


图3 基线地质剖面图

Fig. 3 Baseline geological profile

1. 第四系冲坡积物; 2. 含砾岩屑晶屑凝灰岩; 3. 晶洞状碱性花岗岩; 4. 伟晶状花岗岩; 5. 矽化强钠长石化钠闪石花岗岩; 6. 中钠长石化钠闪石花岗岩; 7. 弱钠长石化似斑状钠闪石花岗岩; 8. 似斑状碱性花岗岩; 9. 实测及推测地质界线; 10. 蚀变界线; 11. 混杂岩带; 12. 角岩化; 13. 压扭性断层; 14. BeO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、[Y]<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、工业矿体; 15. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、[Y]<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、工业矿体; 16. 钻孔及编号

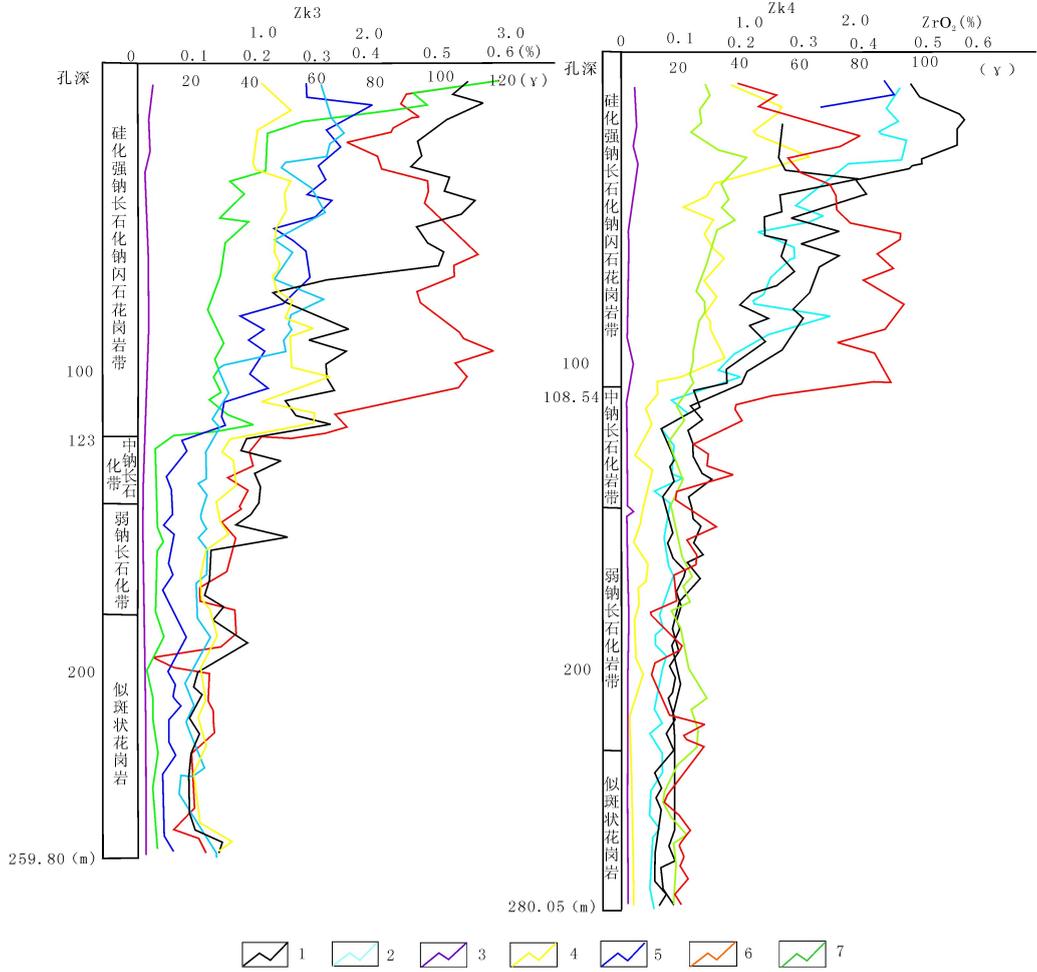


图 4 东矿体稀有稀土元素品位变化曲线图

Fig. 4 Grade curve diagram of rare earth elements in east ore

- 1. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位变化曲线；2. BeO 品位变化曲线；3. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位变化曲线；4. [Y]<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位变化曲线；
- 5. Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位变化曲线；6. ZrO<sub>2</sub> 品位变化曲线；7. 放射性伽马曲线

表 1 东矿体垂直分带和稀有稀土元素垂直分带表

Tab. 1 Vertical banding in East ore body and vertical zonation of rare earth elements

岩石的结构构造及蚀变强弱分带		主要稀有稀土元素含量分带			
孔深 (m)	相带名称及蚀变矿物含量	孔深 (m)	元素分带名称	孔深 (m)	元素名称
6~12	伟晶状花岗岩带	110~150	3 元素带 Nb、Y、Ta	0~50	4 元素带 Nb、Y、Ta、Be
120~150	强钠长石化钠闪石花岗岩带 (钠长石>20%)			51~100	3 元素带 Nb、Y、Ta
160	中钠长石化钠闪石花岗岩带 (钠长石 10%~20%)	200~300	2 元素带 Nb、Y	101~150	2 元素带 Nb、Y
200	弱钠长石化似斑状钠闪石花岗岩带 (钠长石 10%)			151~200	1 元素带 Y
>200	似斑状钠闪石花岗岩带	>300	无矿带	>200	无矿带

为了更清楚地反映含矿碱性花岗岩体的相带变化规律和元素带的变化规律，现将东岩体垂直分带

和稀有稀土元素垂直分带特征用表格形式进行分析。详细分带分析见表 1、表 2。

表2 东矿体不同深度蚀变及矿化变化表

Tab. 2 The alteration and mineralization in different depths of the East ore body

岩体分带	控制深度 (m)	氧化物及含量 (%)					
		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	[Y] <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BeO	[Ce] <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>
强钠长石化钠闪花岗岩	0~50	0.354	0.434	0.02	0.157	0.430	3.20
强钠长石化钠闪花岗岩	50~100	0.234	0.280	0.0145	0.08	0.265	0.199
强钠长石化钠闪花岗岩	100~150	0.10	0.144	0.007	0.034	0.124	0.878
强钠长石化钠闪花岗岩	150~200	0.06	0.10	0.0045	0.023	0.104	0.60
强钠长石化钠闪花岗岩	200~260	0.05	0.084	0.003	0.0159	0.098	0.47

从表1、表2及图4、图5可总结出以下规律。

(1) 成矿作用明显与有无钠长石化及其蚀变强弱有关,二者呈正消长关系,即蚀变越强,矿化

越好。

(2) 成矿作用主要发生在岩体顶部或上部。

(3) 岩相分带和元素分带基本吻合。

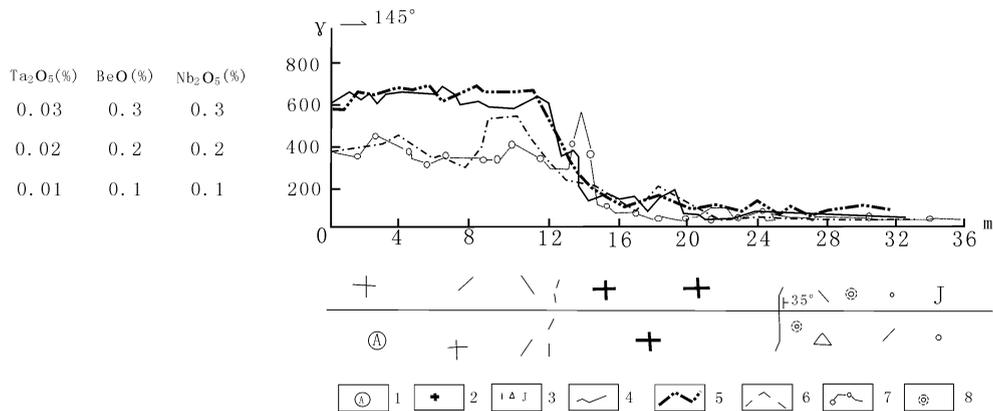


图5 地表水平方向稀有稀土元素品位及伽马强度变化曲线图

Fig. 5 Grade of rare REE and gamma intensity curves of surface horizontally

1. 强钠长石化钠闪花岗岩矿体; 2. 伟晶岩状花岗岩; 3. 晶屑凝灰岩; 4. 伽马强度曲线;
5. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位变化曲线; 6. BeO 品位变化曲线; 7. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位变化曲线; 8. 硅化

由以上3点可明显看出,碱性花岗岩体与“八〇一”稀有稀土矿床具有生成关系,并且有“只有强蚀变碱性花岗岩体才成矿”这一很强的成矿专属性。这一点从Nb、Y、Ta、Be、Ce、Zr品位及放射性伽马变化曲线图中也可清晰的反映出来(图4、图5)。

## 2.2 碱性花岗岩岩石化学与稀有稀土矿化的关系

“八〇一”稀有稀土元素含量变化规律与整个岩石化学成分之间存在着内在联系,与岩石化学成分的明显变化有关(表3)。

从表3可看出,岩体中各蚀变岩石(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值都小于1或近于1,由于矿化及强蚀变(主要为硅化)致使碱性花岗岩矿化地段(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值小于1或接近1,即碱性花岗岩内(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值小于1或接近

1,矿化良好。当比值较小时,矿化越好,蚀变也越强。岩体上部与岩体下部比较,K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O含量自下而上有所降低,这可能与岩体上部富Na、K的矿物——钠闪石及条纹长石含量显著降低有关。与石英及稀有元素矿物含量显著增大有关。这说明随着石英及稀有稀土金属矿物明显增多,富含Na、K的钠闪石及条纹长石含量便明显降低,又因局部形成钠长石,从而使钠化集中而不均匀。稀有稀土元素含量的变化与岩石化学成分的变化有关,从下到上稀有稀土元素含量明显增多,与钠长石化及硅化明显增强。

其次,一般碱性岩浆富含铈族稀土矿物(也称轻稀土),酸性岩浆富含钇族稀土(重稀土),而且多在岩浆分异的晚期残浆中富集。由于“八〇一”含矿岩体K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≈1(分子数近于相等),

表3 东岩体岩石化学成分表

Tab. 3 Chemical composition from east rock rock

样号	采样位置 (m)	岩石名称	岩石化学成分(%)														总计	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	F	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
5	14~24	强蚀变钠闪石花岗岩	74.40	0.71	8.93	3.63	1.77	0.14	0.04	0.13	3.90	1.52	0.65	0.33	0.02		96.20	0.74
6	50~60	强蚀变钠闪石花岗岩	74.63	0.66	9.48	3.82	0.90	0.12	0.03	0.10	3.66	2.35	0.43	0.28	0.02		96.48	0.80
7	90~100	中强蚀变钠闪石花岗岩	74.40	0.69	9.93	4.09	0.72	0.06	0.05	0.16	3.50	3.48	0.44	0.32			97.86	0.99
8	135~145	中弱蚀变钠闪石花岗岩	70.84	0.24	11.51	1.70	3.14	0.08	0.06	0.10	4.20	4.16	0.44	0.12			98.59	0.99
9	180~190	弱蚀变钠闪石花岗岩	73.30	0.24	11.28	1.92	2.66	0.09	0.67	0.25	4.20	4.08	0.32	0.12			98.53	1.00
15	237~241	似斑状钠闪石花岗岩	73.72	0.30	10.99	2.21	2.68	0.09	0.18	0.60	4.74	4.60					100.130	1.15

所以，矿体内即富铈族元素，又富钇族元素。

利用硅及碱原子数大小圈定含稀有元素矿化岩体，其方法是：当Si原子数>1 250，K+Na原子数>210时，为矿化岩体。“八〇一”碱性花岗岩体的Si原子数为1 274~1 298，K+Na原子数为131~249（据样品统计结果），所以，从另一个侧面反映碱性花岗岩成矿部位的特征。

岩体内的金属矿物和稀有元素矿物也有不同的世代。它们多赋存在造岩矿物颗粒间，常呈自形或半自形晶体，有的具筛状结构。特别是在东岩体中，随着蚀变作用的增强，无论在矿物种类上或矿物的数量上都显著增加。在顶部强钠长石化花岗岩带中，稀有元素矿物最为多种多样，并达到最大富集。岩体内矿物的形成顺序是长石、石英在先，含铁硅酸盐矿物在后。各种副矿物及稀有稀土矿物大多偏后，这与一般正常花岗岩或酸性花岗岩的矿物形成顺序不同，是含矿碱性花岗岩的一个重要特征（白鸽等，1980）。

### 3 “八〇一”碱性花岗岩体矿化元素和矿化剂元素之间同步富集现象及矿床成因分析

#### 3.1 挥发分与矿化元素同步富集现象的分析

在岩浆演化过程中，如果一个岩体具有良好的岩浆分异现象，晚期岩浆一定富集挥发分，当岩浆分异现象越明显，其顶部富集成矿的希望就越大。由此可见，“八〇一”矿的形成也是符合这一规律的。产生这种矿化空间分异的根本原因就在于挥发分能与多种矿化元素结合为低熔点的络合物，致使它们推迟到岩浆晚期或气液阶段才发生分解沉淀，

因此增加了其迁移聚集的能力。

“八〇一”含矿岩体具有大量的晶洞和萤石及方解石细脉，表明熔体溶液具有大量的挥发分。所以含矿岩体形成时，有大量F、Cl、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>等挥发物及易溶物K、Na参加，造成含稀有稀土元素的熔体溶液具明显的碱性或偏碱性特点。稀有稀土元素与F、Cl、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>等挥发物及易溶物K、Na结合呈络阴离子形式迁移，稀有稀土元素则以阳离子的形式存在，F、Cl、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>等作为矿化剂，对稀有元素的结合、运移及沉淀作用很大（杨武斌等，2009）。

#### 3.2 矿床成因分析

构造因素控制和影响着挥发分与矿化元素的结合和富集，“八〇一”东岩体产出于北北东向的短袖背斜内，就成矿的条件讲是一个良好的定位空间，矿区含矿碱性花岗岩沿断裂上升，由于封闭条件好，稀有稀土元素不容易逸散，在背斜轴部定位，熔体演化分异交代使稀有稀土元素富集成矿。加之花岗岩浆原生收缩节理裂隙等发育，所以很有利于含矿熔体溶液沿节理裂隙运移、聚集和交代作用的进行。而这些节理裂隙自岩体顶部向深部逐渐减弱，从而形成了垂向上（从地表到深部）矿化逐渐减弱的矿化分带。

## 4 结论

从“八〇一”含矿岩体的蚀变及矿化特征看，岩浆晚期的成矿作用是十分显著的，在岩浆晚期，由于含矿岩体（K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为碱过饱和系列，因而岩浆岩中的挥发分和稀有稀土元素，即高价阳离子及其络合物和化合物大量聚集在岩体顶部，随着压力的降低，成矿介质由微碱性向微酸

性转变,在自变质交代作用阶段成矿。使稀有稀土金属元素进一步富集形成富矿体,所以“八〇一”矿床是岩浆分异晚期富含挥发分和稀有稀土金属元素的岩浆热液交代型矿床。

## 参考文献 (References):

内蒙古地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

冯守忠. 内蒙古巴尔哲碱性花岗岩稀有稀土矿床地质特征及成因探讨[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21 (2): 137-142.

Feng Shouzhong. Geological characteristic and ore genesis of rare metal and rare- earth ore deposit in Baerze alkalic granite, Inner Mongolia [J]. Volcanology & Mineral

Resources, 2000, 21 (2): 137-142.

白鸽, 袁忠信, 丁孝石, 等. 吉林巴尔哲稀有金属碱性花岗岩的成岩成矿作用讨论[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所文集, 1980, 1 (1): 97-113.

Bai Ge, Yuan Zhongxin, Ding Xiaoshi, et al. Discussion on the petrogenesis and andminero genesis of the Rare-metal-Bearing alkaline granites in baerzhe Jilin Province [J]. Chinese Academy of Geological Sciences Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, 1980, 1 (1): 97-113.

杨武斌, 牛贺才, 单强, 等. 巴尔哲超大型稀有稀土矿床成矿机制研究[J]. 岩石学报, 2009, 25 (11): 2924-2932.

Yang Wubin, Niu Hecai, Shan Qiang, et al. Ore-forming mechanism of the Baerzhe super-large rare and rare earth elements deposit [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (11): 2924-2932.

## 《西北地质》影响因子在陕西省排名第五

中国科学技术信息研究所(简称中信所)近期针对陕西省期刊进行了具体统计研究,著名期刊评价专家张玉华研究员针对陕西省期刊进行了具体统计研究,据最新统计数据显示,陕西省影响因子前十名的期刊《西北地质》榜上有名。《西北地质》影响因子在陕西省 256 种期刊中排名第五。

影响因子(Impact Factor, IF)的概念源自美国科学信息研究所(Institute of Science Information, ISI)创始人 Dr. Eugene Garfield 对科技期刊发文量和被引用情况分析得出的结论,在概念上即少量的期刊刊载大量的有重大意义的科研成果。影响因子是衡量一个学术期刊影响力的重要指标,目前国际上通常用的是两年影响因子。中信所本次统计也采用 2 年法,即用期刊 2 年内总被引频次除以 2 年内发表的论文总数得出的值即为影响因子。影响因子是一个相对统计量,在世界范围内被广泛用作评价期刊的重要指标之一。通常期刊影响因子越大,它的学术影响力也越大。

《西北地质》的影响因子在陕西省期刊中排名第五,说明《西北地质》在陕西省具有相当大的学术影响力。

(西北地质编辑部)