

# 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩 稀土元素特征及成因\*

吴郭泉

(桂林工学院隐伏矿床预测研究所)

**摘要** 贝勒库都克锡矿带花岗岩分为钙碱性和亚碱-碱性2类。稀土元素地球化学研究表明,前者具I型花岗岩特征,后者中的亚碱性具S型花岗岩特征,而碱性则具A型花岗岩特征。稀土元素定量模型计算显示碱性花岗岩是由深部岩浆结晶分异形成,其中,萨北岩体形成时有地壳物质的加入。锡矿主要与晚期分异程度高的亚碱和碱性花岗岩有关。

**关键词** 碱性花岗岩; 稀土元素; 岩石成因; 锡矿床; 成矿带; 新疆

**中图分类号** P588.121; P595

## 1 地质概况

贝勒库都克锡矿带是近年我国北方地区首次发现的独立锡矿带,其位于新疆自治区北部,由4个独立锡矿床、数个锡、钨矿点组成,呈北西向沿准噶尔与野马泉2地块之间的卡拉麦里缝合带北侧展布。区内侵入岩从超基性到酸性及碱性岩石均有出露,尤以酸性岩分布最广。侵入岩主体呈巨大的北西西向带状复式岩基产出,部分呈大小不等的岩株、岩枝或岩脉,既有深成相,也有浅成相或超浅成相。该区含锡花岗岩主要侵入于中泥盆统蕴都卡拉组( $D_{2y}$ )和下石炭统南明水组( $C_{1n}$ )火山碎屑岩建造的地层中。根据同位素地质年龄测定与地层的产状关系,区内花岗岩体主要形成于70~350Ma之间,属海西中期。花岗岩复式岩基在成分上(表1)总体呈钙碱性→亚碱性→碱性方向演化。锡矿床或矿点主要分布于岩体与围岩的内接触带。矿体受断裂控制明显,容矿构造主要是北东或北东东向张扭性断裂(如贝勒库都克锡矿区和萨惹什克北锡矿区等),次为北西向张扭性断裂(如卡姆斯特锡矿点和干梁子锡矿区)。矿床类型主要有蚀变花岗岩型、锡石-石英脉型、锡石-云英岩型和锡石-钠闪石-石英脉型及少量锡石-硫化物型。

由西往东,花岗岩岩体依次为:卡姆斯特岩体(简称卡岩体)、老雅泉-红土井子岩体、贝勒库都克岩体(简称贝岩体)、黄羊山岩体、萨惹什克北岩体(简称萨北岩体)及苏吉泉岩体。其中萨北岩体又有5次侵入,构成分异杂岩体,各岩体的侵位顺序见表2。

1994年1月3日收稿,3月23日改回。

作者简介:吴郭泉,男,1965年出生,硕士,岩石学专业。

\*国家“三〇五”项目成果之一。

表 1 东准噶尔锡矿成矿带花岗岩化学成分(%)  
Table 1 Chemical composition of granitoids in the tin metallogenic belt in the East Junggar(wt%)

序号	岩体	岩性	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	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	F	Cl
1	清水	斜长花岗岩	79.57	0.18	11.97	0.07	0.436	0.02	0.23	1.36	5.83	0.05	0.02	0.27	0.25			
2	苦水北	花岗闪长岩	67.41	0.52	15.75	1.19	2.05	0.06	1.63	3.52	3.41	3.14	0.13	0.44	0.60	0.08		
3		黑云母花岗岩	78.57	0.08	11.78	0.34	0.65	0.01	0.02	0.53	3.12	4.40	0.00	0.18	0.20	-0.12		
4	贝勒库都克	蚀变花岗岩	71.85	0.19	14.32	0.56	0.70	0.02	0.17	0.96	7.46	2.15	0.39		0.24		0.53	
5		黑云钾长花岗岩	77.82	0.08	11.65	0.33	0.61	0.05	0.00	0.48	3.03	4.49	0.01	0.18	0.60			
6		含锡云英岩	86.85	0.11	2.69	1.62	2.88	0.06	0.40	0.46	2.02	0.60	0.00	0.20	0.09	0.06	0.48	0.003
7	卡姆斯特	黑云母花岗岩	76.88	0.06	12.14	0.00	1.06	0.02	0.06	0.19	3.77	4.17	0.00	0.05	0.80	0.16	500	<100
8	红土井子	黑云母花岗岩	74.09	0.22	13.44	0.07	1.69	0.04	0.30	1.21	3.67	4.35	0.05	0.05	0.31	0.19		
9		黑云母花岗岩	77.27	0.13	12.61	0.38	0.72	0.02	0.08	0.71	2.70	4.94	0.03	0.09	0.35	0.06		
10	黄羊山	钠铁闪石花岗岩	78.18	0.11	11.42	0.16	1.38	0.02	0.00	0.16	3.69	4.51	0.00	0.09	0.00	0.18		
11		钠铁闪石花岗岩	77.27	0.09	11.46	0.66	1.06	0.02	0.04	0.20	4.17	4.25	0.00	0.02	0.20	0.12		
12	巴勒巴朵依	角闪石花岗岩	76.58	0.18	11.20	1.30	0.58	0.04	0.13	0.34	4.33	4.78	0.15		0.27		10	220
13	苏吉泉	黑云母花岗岩	78.15	0.09	11.61	0.20	0.81	0.01	0.30	0.46	2.86	4.39	0.01	0.26	0.20	0.18		
14		石墨矿化花岗岩	77.74	0.17	11.91	0.35	0.29	0.00	0.00	0.38	2.85	4.93	0.01	0.96	0.14	0.28		
15		细粒钠闪花岗岩	77.38	0.10	10.97	0.52	0.57	0.006	0.23	0.87	4.32	4.58	0.02		0.06			
16		中粒钠闪花岗岩	78.08	0.10	11.12	0.69	0.65	0.004	0.16	0.66	3.99	4.40	0.02		0.10			
17		粗粒钠闪花岗岩	77.12	0.10	10.97	0.86	0.70	0.014	0.44	0.65	4.27	4.49	0.02		0.09			
18	萨北	粗粒钠闪花岗岩	76.82	0.12	11.17	0.64	0.84	0.015	0.24	1.10	3.96	4.67	0.02		0.09			
19		黑云母花岗岩	76.74	0.17	13.55	0.88	0.59	0.064	0.08	2.65	4.56	2.88	0.05		0.34			
20		片麻状黑云母花岗岩	74.10	0.12	14.26	0.39	0.54	0.03	0.27	1.55	4.08	3.57	0.03	0.26	0.15	0.08	<10	20
21		斑状钠闪花岗岩	76.61	0.08	11.40	0.70	0.93	0.02	0.00	0.26	4.14	4.15	0.00	0.70	0.32	0.10	540	20
22		钠闪石花岗岩	75.22	0.20	12.39	1.00	1.26	0.05	0.12	0.58	4.35	4.43	0.02	0.36	0.33	0.17	2800	600

测试者: 桂林矿产地质研究院, 1993; 注: 1~3, 9, 10, 12~14 据文献(3); 7, 8, 11, 20~22 据文献(1)

表2 花岗岩类侵位顺序

Table 2 Sequence of emplacement of granitoids in the Beilekuduk tin metallogenic belt

时期	旋回	类型	岩性	年龄 (Ma)	地区
加里东期?	I		片麻状黑云花岗岩	?	萨北矿区
		钙碱性	斜长花岗岩	329 <sup>①</sup>	清水
			花岗闪长岩	328 <sup>①</sup>	苦水北
			斑状黑云母花岗岩		库普南
	II	亚碱性	黑云母花岗岩	320~312	贝,卡矿区,红土井子
海			黑云母花岗岩斑岩		贝矿区
		碱性	钠铁闪石花岗岩	304	黄羊山
西		亚碱性	角闪石花岗岩	286 <sup>①</sup>	巴勒巴朵依
			黑云母花岗岩	292.6 <sup>①</sup>	苏吉泉
期			细粒钠闪石花岗岩		
	III		中细粒钠铁闪石花岗岩	290	
		碱性	中粗粒含钠铁闪石花岗岩		萨北矿区
			斑状钠闪石花岗岩		
			钠闪石花岗岩斑岩		

①据田慧新, 1988, 其余年龄据毕承思, 1988.

## 2 稀土元素特征

贝勒库都克锡矿带花岗岩复式岩基的稀土元素分析结果见表3, 其配分模式见图1。本区钙碱性花岗岩以贫稀土, 弱Eu亏损为特征, 而亚碱—碱性花岗岩则相对富稀土, 强Eu亏损。

钙碱性花岗岩  $\Sigma\text{REE} < 180 \times 10^{-6}$ , 稀土配分曲线为不明显的“V”型, 属中度Eu亏损—一无亏损型花岗岩,  $\delta\text{Eu} = 0.64 \sim 1.02$ 。特别是早期的斜长花岗岩, 稀土配分曲线平直, 无铕亏损, 其特点和拉斑玄武岩接近, 早期钙碱性花岗岩可能和拉斑玄武岩有密切关系, 晚期的亏损型花岗岩, 岩浆活动有大量壳源物质加入, 使得晚期花岗岩有明显的过渡型花岗岩<sup>(3)</sup>的特点。

亚碱性—碱性花岗岩  $\Sigma\text{REE} (\times 10^{-6}) = 180 \sim 280$ , 平均为250,  $\delta\text{Eu} = 0.02 \sim 0.09$ , 平均0.05, 为Eu强烈亏损型。已知长石是具有Eu正异常的唯一矿物相, 一般在早期熔融体开始结晶时, Eu优先进入固相长石中, 由于斜(钠)长石的大量晶出, 残余岩浆中必然要发生Eu亏损, 岩浆的分异程度越高, 结晶程度越充分, Eu的亏损越强烈, 致使稀土配分曲线形成显著“V”字型。

表 3 东准噶尔锡矿成矿带花岗岩稀土元素丰度( $\times 10^{-6}$ )  
Table 3 REE abundant of the tin-bearing granites in the East Junggar

岩体	序号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma$ REE	$\frac{La}{Yb}$	$\frac{La}{Sm}$	$\delta Eu$	$\frac{\Sigma LREE}{\Sigma HREE}$
清水	1	斜长花岗岩	6.05	17.29	2.13	10.66	3.16	1.06	3.83	0.74	4.4	0.9	2.71	0.48	2.96	0.55	25.81	82.72	2.04	1.91	1.02	2.43
苦水北	2	花岗闪长岩	17.59	49.79	3.61	16.83	3.64	0.74	4.13	0.63	3.49	0.7	1.98	0.31	2.21	0.45	20.23	127.33	7.96	4.83	0.64	6.71
库普南	3	斑状黑云母花岗岩	21.36	57.03	5.52	22.51	5.1	0.34	5.56	1.02	6.69	1.52	4.31	0.71	4.86	0.61	37.59	174.73	4.40	4.19	0.21	4.42
	4	黑云母花岗岩	19.98	51.68	5.73	26.47	7.92	0.2	8.57	2.13	13.22	2.87	7.95	1.54	10.75	1.39	75.53	235.98	1.86	2.52	0.08	2.31
贝	5	黑云母花岗岩	20.46	61.87	6.89	25.95	7.31	0.12	10.39	2.09	13.11	2.73	8.87	1.43	10.57	1.63	89.64	263.31	1.94	2.80	0.05	2.40
勒	6	蚀变花岗岩	21.38	66.15	7.62	29.74	8.68	0.13	14.15	2.86	17.76	3.6	11.73	1.96	13.51	1.96	$118.0$ $2$	319.25	1.58	2.46	0.04	1.98
库	7	黑云钾长花岗岩	16.09	54.55	5.43	22.58	6.47	0.07	7.36	1.88	11.76	2.44	8.07	1.35	9.26	1.44	79.85	228.60	1.74	2.49	0.03	2.41
都	8	钠化花岗岩	22.55	66.97	7.49	79.77	8.07	0.16	8.06	1.80	11.44	2.37	7.36	1.37	8.16	1.29	71.99	298.85	2.76	2.79	0.07	4.42
克	9	黑云角闪钾长花岗岩	16.59	48.71	5.27	20.48	5.61	0.14	5.23	1.16	7.32	1.43	4.8	0.84	5.76	0.87	44.55	168.76	2.88	2.96	0.09	3.53
	10	含锡云英岩	22.71	66.44	7.64	29.14	7.88	0.09	8.17	1.92	12.30	2.57	8.74	1.63	10.06	1.63	90.32	270.60	2.26	2.88	0.04	2.89
	11	黑云母花岗岩	17.48	45.81	4.96	22.22	4.93	0.06	5.53	0.91	7.1	1.67	4.71	0.79	5.63	0.69	38.22	158.71	3.19	3.54	0.04	3.46
卡姆斯特	12	斑状黑云母花岗岩	18.60	50.6	7.0	22.6	7.8	0.14	7.3	1.7	11.3	2.1	8.0	1.5	9.7	1.30	100	249.64	1.92	2.38	0.06	2.49

续表 3

岩体	序号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$\frac{La}{Yb}$	$\frac{La}{Sm}$	δEu	$\frac{\Sigma LREE}{\Sigma HREE}$
红土井子	13	黑云母花岗岩	29.20	79.0	13.6	38.0	10.40	0.21	9.70	1.90	12.0	2.30	7.20	1.20	7.50	0.86	80	293.07	3.89	2.81	0.07	3.99
	14	斜铁闪石花岗岩	33.45	85.83	9.33	42.84	9.87	0.06	11.05	1.64	11.10	2.38	6.51	1.06	6.58	0.72	56.74	279.16	5.08	3.39	0.02	4.42
黄羊山	15	角闪石花岗岩	22.6	68	10.2	24.6	7.4	0.16	6.1	1.3	7.5	1.6	4.7	0.86	5.40	0.82	46	207.24	4.19	3.05	0.08	4.70
	16	黑云母花岗岩	26.47	78.42	8.89	35.58	9.16	0.17	12.59	2.19	12.70	2.50	7.51	1.15	7.96	1.21	74.66	281.16	3.33	2.89	0.05	3.32
萨	17	细粒钠闪石花岗岩	61.64	127.6	18.79	78.93	18.31	0.17	15.11	2.66	15.32	3.00	8.75	1.39	9.17	1.24	83.3	445.93	6.72	3.37	0.03	2.17
	18	中粒钠闪石花岗岩	65.21	81.26	11.21	47.64	10.05	0.19	10.91	2.06	14.51	3.00	8.84	1.38	9.23	1.32	81.31	328.13	4.90	6.49	0.06	1.47
北	19	粗粒钠闪石花岗岩	35.13	77.23	10.10	42.13	9.74	0.10	9.99	1.89	13.18	2.72	7.95	1.25	8.01	1.09	75.25	295.75	4.38	3.61	0.03	1.44
	20	粗粒钠闪石花岗岩	36.85	98.50	10.16	39.42	8.50	0.12	7.76	1.39	10.35	2.14	6.43	1.02	6.97	0.96	59.93	290.52	5.29	4.33	0.05	1.99
岩	21	斑状钠闪石花岗岩	43.16	70.58	9.91	44.06	11.29	0.06	13.19	2.03	15.78	3.88	10.94	1.74	12.29	1.6	90.16	330.67	3.51	3.82	0.017	2.91
	22	钠内石花岗岩	33.0	62.0	16.4	35.6	10.0	0.11	9.9	1.9	12.2	2.3	7.0	1.2	8.3	0.88	72.5	273.29	3.98	3.30	0.04	3.60
体	23	黑云母花岗岩	0.83	2.76	0.38	1.79	1.49	0.02	2.60	0.54	2.92	0.38	0.82	0.10	0.65	0.07	1074	26.09	1.28	0.56	0.03	0.39
	24	黑云母花岗岩	12.35	48.11	3.66	15.56	4.59	0.07	5.46	1.01	7.32	1.68	4.82	0.72	5348	0.85	42.62	154.3	2.25	2.69	0.05	3.08
岩	25	片麻状花岗岩	7.46	21.51	2.12	8.10	2.91	0.29	3.78	0.64	3.48	0.47	0.97	0.11	0.72	0.09	15.09	67.72	10.36	2.56	0.30	1.67
	26	片麻状花岗岩	11.81	24.29	2.49	10.4	2.39	0.57	2.37	0.47	1.73	0.35	0.76	0.12	0.67	0.14	7.53	66.09	17.63	4.94	0.80	7.86

分析者: 湖北地质实验研究所, 1993; 注: 1, 2, 5, 6, 12, 13, 15, 16, 22 据文献(3); 3, 7~10, 21, 24 据文献(1)。

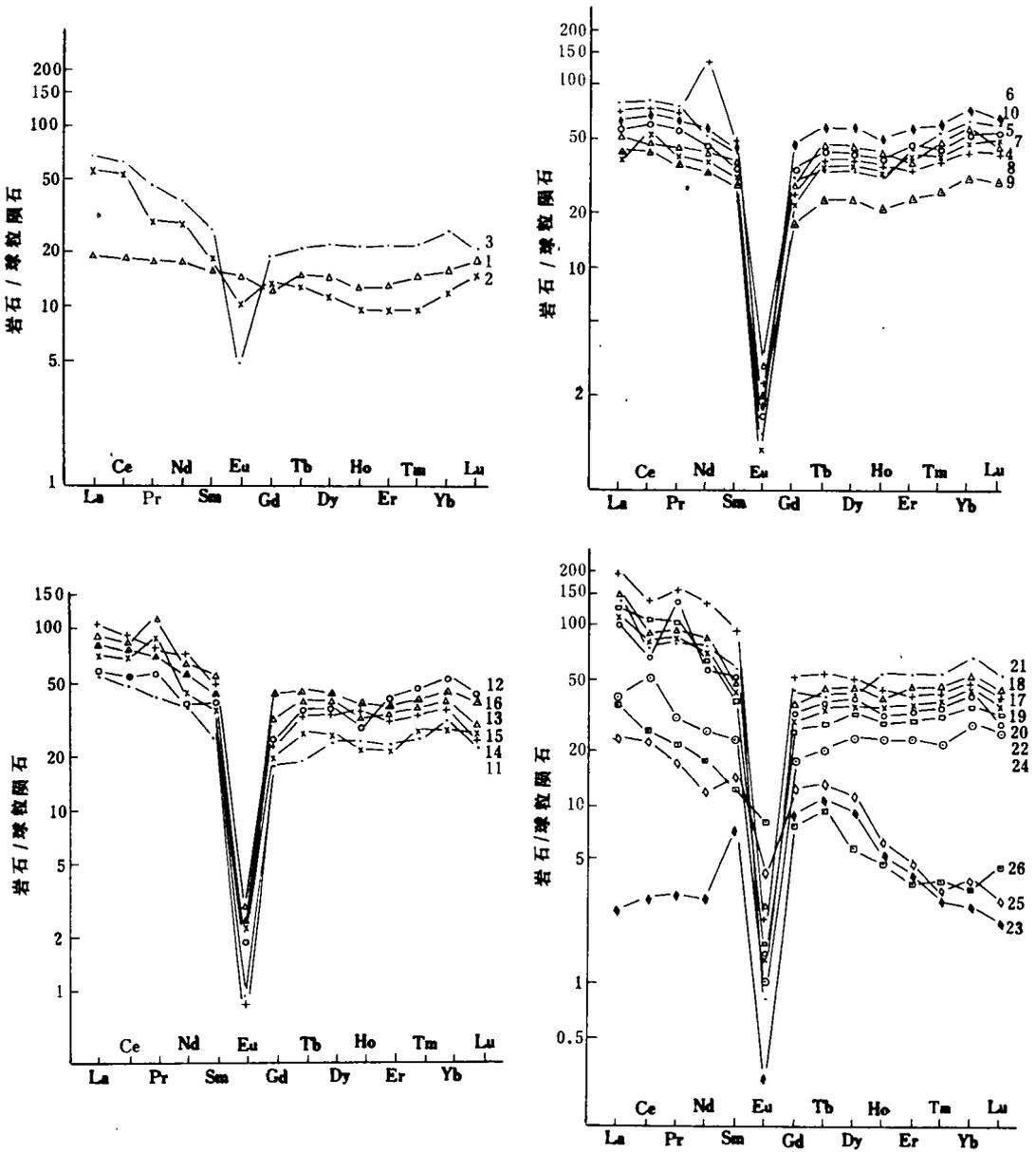


图 1 花岗岩稀土配分曲线 (图中序号同表 3)

Fig. 1 REE distribution patterns of the granites

区内各类花岗岩  $\Sigma Ce / \Sigma Y$  和  $La / Yb$  值除萨北岩体中的 23 号样外全都  $> 1$ , 即为轻稀土相对富集的右倾型曲线, 但其倾斜的程度略有不同。早期的斜长花岗岩  $\Sigma Ce / \Sigma Y = 2.43$ ,  $La / Yb = 2.04$ , 是本区花岗岩中该值最小的, 因此曲线最平缓。非含锡 (钙碱系列) 花岗岩  $\Sigma Ce / \Sigma Y$  为  $2.43 \sim 6.71$ , 平均  $4.57$ ,  $La / Yb$  为  $2.04 \sim 017.63$ , 平均为  $8$ , 其线型倾斜度大。含锡花岗岩  $\Sigma Ce / \Sigma Y = 2.42 \sim 4.42$ , 平均为  $3.20$ , 线性倾

斜度相对较小。在晚期气液蚀变强烈的地段线型更平缓,例如:贝勒库都克和卡姆斯特都是黑云母花岗岩,但贝区花岗岩自蚀变作用更强烈,故稀土线型比卡岩体平缓。

La/Sm 值表示轻稀土元素间的分馏程度。黑云母花岗岩类该值在 2.0~4.0 间,碱性花岗岩类为 3.39~6.49。显然,分馏程度前者小于后者。

王中刚(1980)依  $\Sigma\text{REE}$  和  $\delta\text{Eu}$  将华南花岗岩分为 3 类:(1) 稀土配分模式近于平滑, Eu 亏损不明显,  $\delta\text{Eu} > 0.5$ , 分异不充分,为交代成因,且与花岗岩化作用有关;(2)  $\delta\text{Eu}$  在 0.3~0.4, 有明显分异, Eu 亏损中等,为典型岩浆成因,属重熔结晶分异型,南岭含钨锡花岗岩多属此类;(3) 有明显 Eu 亏损,  $\delta\text{Eu} < 0.2$ , 为岩浆晚期分异交代型。按照这一分类,本区含锡花岗岩的  $\delta\text{Eu}$  均 0.2, 基本相当于第 3 类,以岩浆晚期分异交代型为主。

就典型的钠铁闪石花岗岩和钠闪石花岗岩来说,黄羊山岩体和萨北岩体的稀土配分曲线同我国福建魁岐、尼日利亚、新英格兰、蒙古、纽芬兰、奥斯陆、哈萨克斯坦等地的钠闪石花岗岩及澳大利亚的 A 型花岗岩基本上是相同的,  $\Sigma\text{REE}$ , La/Sm, La/Yb 及  $\delta\text{Eu}$  值均十分接近(表 4)。

表 4 碱性花岗岩稀土元素特征对比

Table 4 Comparison of REE characteristics of alkaline granites

岩体名称	$\Sigma\text{REE}(\times 10^{-6})$		La/Sm		La/Yb		$\delta\text{Eu}$	
	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均
新疆黄羊山	279.16		3.39		5.08		0.02	
新疆萨惹什克北	273.29~445.93	327.38	3.30~6.49	4.15	3.51~6.72	4.80	0.02~0.06	0.04
福建魁岐	26.58~229.90	129.41	4.23~29.16	11.17	1.38~13.14	6.06	0.09~0.33	0.228
蒙古汗博格多	356~25419	5926.75	1.8~34.64	7.4	0.75~48.21	13.87C	0~0.027	0.0023
尼日利亚 Amo	124.22~555.31	294.36	1.03~2.68	1.87	1.41~8.26	5.84	0.01~0.05	0.03
尼日利亚 Liruei	755.35~1035.09	867.65	1.31~3.63	2.07	1.1~4.12	2.68	0.10~0.60	0.40
新英格兰 Quincy	348.31		4.45		10		0.15	
纽芬兰 Topsail	190.17~465.1	293.57	2.12~4.62	3.51	2.72~8.86	6.66	0.30~0.58	0.40
挪威奥斯陆	162~443.51	297.39	1.69~7.35	4.57	1.11~9.65	5.73	0.35~0.60	0.45
澳大利亚加博	296.87~352.7	320.33	0.43~4.86	3.41	0.83~8.78	6.25	0.52~0.70	0.56
澳大利亚芒姆布拉	270~441.2	315	3.59~4.5	3.89	5.57~10.22	6.84	0.24~0.33	0.29

Emmermann 亦曾将花岗岩的稀土元素配分曲线分成 2 种主要类型<sup>(2)</sup>: (1) 配分曲线平滑, Eu 异常不明显; (2) 配分曲线成 V 字型, Eu 异常显著。前一种即现在通常所说的 I 型花岗岩, 后一种即所谓 S 型花岗岩。与此对比, 区内钙碱性花岗岩类似于 I 型

花岗岩, 而亚碱性和碱性花岗岩类似于 S 型花岗岩。但是前面已经指出, 黄羊山和萨北及国内外其它碱性花岗岩都具有 V 字型稀土配分曲线, 也就是说, 典型的 A 型花岗岩的稀土配分曲线同 S 型花岗岩是相似的。

与我国南岭地区比较, 从  $\Sigma\text{REE}$  上看, 本区含锡花岗岩 ( $250 \times 10^{-6}$ ) 略高于南岭含锡花岗岩 ( $< 200 \times 10^{-6}$ )。赫尔曼所描述统计的一般花岗岩的  $\Sigma\text{REE}$  为  $250 \times 10^{-6}$ 。Yu.Y.Bashow (1976) 描述的一般花岗岩  $\Sigma\text{REE}$  ( $\times 10^{-6}$ ) 为 238~288,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Yb}$  为 6.33~0.46, 和本区吻合。此外, 我国南方含锡花岗岩一般  $\text{La}/\text{Yb} < 1$ , 如个旧、阳春等地; 也有一些是  $> 1$  的, 如大厂; 本区含锡花岗岩  $\text{La}/\text{Yb}$  均  $> 1$ , 但  $\delta\text{Eu}$  比南方小得多, 南方多为 Eu 低亏损型, 而本区 Eu 为强烈亏损型。

### 3 稀土元素定量模型

#### 3.1 部分熔融作用类型的判别

Treuil (1975) 曾提出鉴别岩浆形成过程中分离结晶和部分熔融作用的  $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$  图解。尽管此主要用于基性岩类, 但朱振华 (1987) 认为, 若岩浆结晶的副矿物总量  $< 0.2\%$ , 且极富 LREE 的褐帘石  $< 0.01\%$  时, 则  $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$  图解仍适用酸性岩类, 而极富 HREE 的锆石及富 REE 的磷灰石、榍石等相对影响不大。根据岩石薄片鉴定和人工重砂鉴定分析, 本区花岗岩中普通出现的副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿、榍石等, 未见褐帘石, 副矿物总量一般为 0.1%, 因而可以认为,  $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$  图解也适用于本区花岗岩。把稀土元素分析结果投影在  $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$  图上 (图 2), 可看出大部分样品集中在虚线转折部位, 说明早期的钙碱性、亚碱性及萨北岩体中的片麻状花岗岩残留体、黑云母花岗岩捕虏体主要是部分熔融作用形成, 而晚期的碱性花岗岩则是分离结晶作用的产物。

#### 3.2 定量模型计算

在研究中, 选择了若干晚期岩体进行定量模拟计算。

3.2.1 部分熔融 萨北岩体中的片麻状黑云母花岗岩残留体很可能是本区最老花岗岩 (加里东期)<sup>(1)</sup>。假设以它为原岩, 部分熔融, 采用计算公式:

$$C_L / C_o = 1 / [D + F(1-D)] \quad (1)$$

式中,  $C_o$  为元素在母体中的浓度;  $C_L$  为元素在熔体中的浓度;  $D$  为残留体的总体分

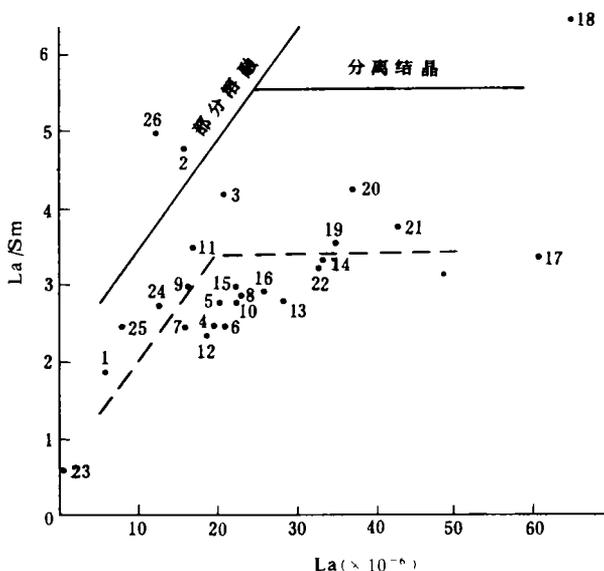


图 2 部分熔融与分离结晶模型 (仿 Treuil 等, 1975)

(图中标号同表 3)

Fig. 2 The model of partialmelting and fractional crystallization

影在  $\text{La}/\text{Sm}-\text{La}$  图上 (图 2), 可看出大部分样品集中在虚线转折部位, 说明早期的钙碱性、亚碱性及萨北岩体中的片麻状花岗岩残留体、黑云母花岗岩捕虏体主要是部分熔融作用形成, 而晚期的碱性花岗岩则是分离结晶作用的产物。

配系数;  $F$  为部分熔融程度。式中的  $C_o$  值采用片麻状花岗岩的 REE 含量,  $D$  值采用萨北岩体中的黑云母花岗岩捕虏体的矿物含量及流纹岩体系中相应矿物的分配系数<sup>(2)</sup>求得, 分别为 Ce0.1, Nd0.07, Sm0.05, Eu0.95, Dy0.03, Er0.02, Yb0.03。  $F$  值从到 100 每间隔 5 参与一次计算。将所得到的  $C_o$ ,  $D$  及  $F$  值代入公式 (1), 求得当  $F=10$  时, 即部分熔融程度为 10% 时  $C_L$  值, 如表 5 所示。

表 5 按公式 (1) 计算的  $C_L$  与实测含量对比 ( $\times 10^{-6}$ )

Table 5 The actual measurement and theoretic calculation of the elements

参 数	Ce	Nd	Sm	Eu	Dy	Er	Yb
$C_L$	120.53	56.75	18.28	0.45	8.66	7.37	5.51
萨北碱性花岗岩总体岩石	96.14	52.03	11.76	0.15	13.34	7.99	8.35

由表看出, 计算得出的  $C_L$  值与萨北碱性花岗岩总体岩石的 REE 含量较接近, 从而说明片麻状花岗岩经过部分熔融可形成碱性花岗岩。

### 3. 2. 2 分离结晶 对分离结晶作用的计算采用公式

$$C_L / C_o = F^{(D-1)} \quad (2)$$

式中,  $C_L$  为分离后残余熔体中某元素的浓度;  $C_o$  为分离前原始熔体中某元素的浓度;  $F$  为残余熔体百分数 ( $1-F$  为结晶度);  $D$  为从熔体中折出矿物集合体的总体分配系数。

首先对苏吉泉黑云母花岗岩体与巴勒巴朵依角闪石花岗岩体的分离结晶关系进行模拟,  $C_o$  取两岩体的稀土元素平均值,  $D$  值采用苏吉泉岩体的矿物含量及 J.G 阿斯 (1975) 的流纹岩中矿物的稀土平均  $K$  值<sup>(2)</sup> 求分别为 Ce0.12, Nb0.07, Sm0.05, Eu0.96, Dy0.03, Er0.03, Yb0.04。经计算, 当  $F=85\%$  时,  $C_L$  值与苏吉泉岩体的稀土元素含量接近 (表 6), 说明当这一岩浆经过 15% 的结晶分异后形成苏吉泉黑云母花岗岩浆。

巴勒巴朵依岩体与萨北碱性花岗岩之间的分离结晶关系,  $C_o$  取两岩体均值,  $D$  值采用巴勒巴朵依岩体的矿物含量及流纹岩中矿物的稀土平均  $K$  值求得, 分别为 Ce0.18, Nd0.35, Sm0.58, Eu1.31, Dy0.92, Er0.85, Yb0.60, 经计算, 当  $F=65\%$  时,  $C_L$  值与萨北碱性花岗岩杂岩体的稀土元素含量相近 (表 6), 说明当岩浆经过 35% 的结晶分异而形成碱性花岗岩浆。

同样, 经过计算, 萨北杂岩体中, 中细粒钠铁闪石花岗岩是由岩浆经过 15% 的结晶分异而形成的, 最后的残余熔体经过 30% 的分离结晶形成细粒钠闪石花岗岩, 剩余熔体形成最终的斑状钠闪石花岗岩及钠闪石花岗岩斑岩。

上述计算值与实测值略有偏差, 这是由于计算时未考虑分异演化过程中其它物质组分的加入以及副矿物的影响, 但这些计算结果可提供岩浆来源方面的一些依据。

表6 按公式(2)计算的理论与实测值对比( $\times 10^{-6}$ )

Table 6 The actual measurement and theoretic calculation of the elements

元素	苏吉泉岩体		萨北碱性杂岩体		萨北中细粒碱性花岗岩		萨北细粒碱性花岗岩	
	$C_L$	实测	$C_L$	实测	$C_L$	实测	$C_L$	实测
Ce	84.47	78.42	116.84	96.14	97.89	81.26	132.53	127.56
Nd	35.0	35.58	50.70	52.03	50.35	47.64	69.57	78.93
Sm	9.66	9.16	11.48	11.76	10.69	10.05	14.93	18.31
Eu	0.17	0.17	0.14	0.15	0.15	0.19	0.15	0.17
Dy	11.82	12.70	10.78	13.34	14.18	14.51	15.77	15.32
Er	7.15	7.51	6.77	7.99	8.71	8.84	9.58	8.75
Yb	7.81	7.96	8.20	8.35	9.31	9.23	10.57	9.17

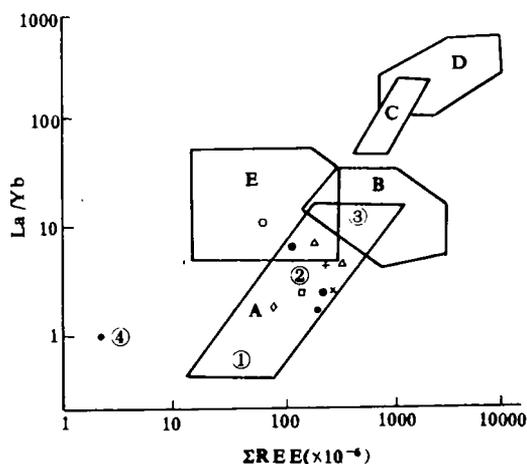
#### 4 成因讨论

(1) 本区花岗岩中的稀土特征对花岗岩演化反映清晰, 总体配分曲线为右倾型, 花岗岩由老到新(钙碱—亚碱—碱性)稀土总量逐渐升高, Eu 负异常由小变大, 相对来说钙碱性系列花岗岩演化关系比较清楚, 而亚碱性—碱性花岗岩线型密集, 特征相似, 说明它们在成因上有内在的联系。

(2) 在  $La/Yb-REE$  图解(图3)上, 本区花岗岩大多落在大陆拉斑玄武岩的范围内, 说明本区花岗岩与拉斑玄武岩有密切的关系。

(3) 与 Emmermann 所划的2种稀土元素配分曲线相比, 本区钙碱性花岗岩类似于I型花岗岩, 而亚碱—碱性花岗岩类似于S型花岗岩。把黄羊山和萨北碱性花岗岩体与国内外典型的A型花岗岩相比, 十分类似, 因此将黄羊山钠铁闪石花岗岩和萨北钠铁闪石—钠闪石花岗岩归入A型花岗岩范畴。

(4) 贝勒库都克锡矿带产出的构造环境, 受卡拉麦里深大断裂的控制。区内火成岩不但有深成岩、浅成岩还有分布广泛的同源火山岩。从岩石类型来看, 由超基性—基性—偏碱性、碱性的花岗岩都有出露。因此,

图3  $La/Yb-\Sigma REE$  关系图(据C.J.阿里,1974)Fig. 3  $La/Yb-\Sigma REE$  diagram

A—玄武岩: ①大洋拉斑玄武岩; ②大陆拉斑玄武岩; ③碱性玄武岩; B—花岗岩; C—金伯利岩; D—碳酸盐岩; E—钙质泥岩; ④球粒陨石

依据其所产出的大地构造位置和区域岩浆活动组合特征, 贝勒库都克花岗岩复式岩基的源岩应来自深部。稀土元素定量模型计算表明, 碱性花岗岩是由深部岩浆结晶分异形成的。片麻状黑云母花岗岩经部分熔融能形成碱性岩浆, 说明在形成萨北碱性花岗岩时, 来自深部的原生岩浆在上侵分异过程中, 有地壳物质加入。

(5) 萨北岩体作为本区典型的碱性花岗岩, 它是由5次侵入所构成的分异杂岩体, 它是由原生岩浆经过分异演化而形成的。

(6) 含矿花岗岩主要为分异程度高的S型(如贝勒库都克锡矿黑云母花岗岩)和A型(如萨惹什克北锡矿钠闪石花岗岩)花岗岩。

本项目系在刘家远研究员指导下完成, 袁奎荣教授给予指导, 钟白云副教授审阅全文, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 毕承思. 新疆贝勒库都克锡矿带含锡花岗岩地质特征. 岩石矿物学杂志, 1993, (3): 213~222
- 2 陈德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学, 北京: 冶金工业出版社, 1990. 195~219
- 3 田慧新. 新疆东准噶尔(西域)含锡花岗岩特征及黑云母对含矿性的判别作用. 新疆地质科学, 1990, (2): 56~70
- 4 刘家远, 王蓉嵘, 吴郭泉. 再论花岗岩的成因分类. 河北地质学院学报, 1989, (2): 134~148

## THE REE CHARACTERISTICS AND THE GENESIS SIGNIFICANCE OF STANNIFEROUS GRANITES IN THE BEILEKUDUK TIN METALLOGENIC BELT, XINJIANG

Wu Guoquan

(Research Institute of Hidden Ore Deposits Prognostication, Guilin Institute of Technology)

### Abstract

The granites of the Beilekuduk tin metallogenic belt are divided into two types: calc-alkali granites and subalkali-alkali granites. According to the REE geochemical characteristics, the calc-alkali is I-type granites, the subalkali is S-type and the alkali is A-type. REE quantitative model calculation shows that alkali granites were formed as a result of crystallization differentiation of deep magma from which Sabei granite body was formed with carriers of crust materials. Tin deposits are genetically related to the subalkali and alkali tin-bearing granites formed by high degree differentiation at the later stage of magmatic evolution.

**Key words** alkali-granite; REE; rock genesis; tin deposit; metallogenic belt; Xinjiang