

千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系*

毛景文 李红艳 裴荣富

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

L Raimbault

B Guy

(法国巴黎高等矿业学院地质信息中心)

(法国圣太田高等矿业学院地球化学系)

提 要: 千里山花岗岩由似斑状黑云母花岗岩、等粒黑云母花岗岩和花岗斑岩组成。前两期岩体分别与两期钨多金属矿化有关, 后一期与铅锌银成矿密切相联。两套花岗岩虽然均来自地壳, 但取于不同源地。该岩体既为富F、Li、Rb、Be、Ga的BELIF花岗岩, 又是富U、Th的高热花岗岩。

主题词: 花岗岩 地球化学 钨多金属矿床 柿竹园

千里山花岗岩体与柿竹园超大型钨锡铅铋矿床在空间上和时间上显示出密切关系。因而, 自柿竹园钨多金属矿床于70年代被发现以来, 千里山花岗岩体一直被作为研究对象。Wang Changlie (1982)^[31]、Yany Chaoqun (1982)^[35]、王书凤等 (1988)^[10]曾将千里山花岗岩划分为三个成岩阶段, 王昌烈等 (1987)^[9]、熊鹏飞等 (1989)^[13]又将其划分为四个成岩阶段。王昌烈等 (1987)^[9]和张理刚 (1989)^[14]从稳定同位素角度探讨了花岗岩与柿竹园钨多金属矿床的成因联系。本文旨在研究岩体地质、岩石学、地球化学, 探讨千里山花岗岩生成演化的地球化学特点、成岩物质来源, 论述该花岗质岩石作为成矿岩体的特殊性。

1 岩体地质和岩石学

千里山花岗岩体在地表出露面积约10 km² (图1)。该花岗岩体为一个复式岩体, 从早到晚有似斑状黑云母花岗岩、等粒黑云母花岗岩、花岗斑岩和辉绿岩脉。前二期岩石与钨多金属矿化有着清楚的成因联系, 而花岗斑岩则被论证与Pb-Zn矿化有关^①。

1.1 似斑状黑云母花岗岩

似斑状黑云母花岗岩出露面积约1.4 km², 呈小岩株分布于千里山花岗岩体的南部或呈零星残块镶嵌于等粒花岗岩突起部位或边部 (野鸡尾岩枝)。该岩石主要由钾长石 (*Or₃₁-Or₆₇*)、斜长石 (*An₀-An₁₄*)、石英和少量黑云母组成。似斑状矿物为条纹长石和石英, 其直径长0.5~4.5 cm。基质矿物直径长0.3~2 mm, 并以斜长石含量为最高。黑云母的多色性为 α -褐色, $\gamma = z$ -黄色, 其 $Fe/(Fe + Mg)$ 为0.73~0.79, Fe^{3+}/Fe^{2+} 为0.30~0.58, Li含量0.25%。在本阶段岩体中, 部分黑云母已经蚀变成绿泥石或白云母。白云母的Ti/Mg比值为0~0.5。在似斑状黑云母花岗岩小岩株中偶见暗色包体, 其主要组成矿物为黑云母及斜长石、钾长石、石英和大量长条状粗晶磷灰石。似斑状黑云母花岗岩中的副矿物组合以锆石、独居石、磷钇矿、钛石和磷灰石为主, 还有钽易解石、钛铁矿、萤石和黄铁矿等。

1.2 等粒花岗岩

等粒黑云母花岗岩的主体部分为中粗粒黑云母花岗岩, 出露面积约8.4 km², 在岩体边部发育几米到十几米宽的细粒花岗岩, 可视为边缘相。

* 地质行业基金资助项目——“柿竹园钨多金属矿床成矿作用”研究成果的一部分

毛景文, 男, 38岁, 研究员, 从事矿床学研究。邮政编码: 100037

1994-4-6收稿, 1994-9-30修改回。陶景连 刘浩龙编辑

① 胥友志等, 东坡矿田及其外围锡铅锌隐伏矿床预测, 1989

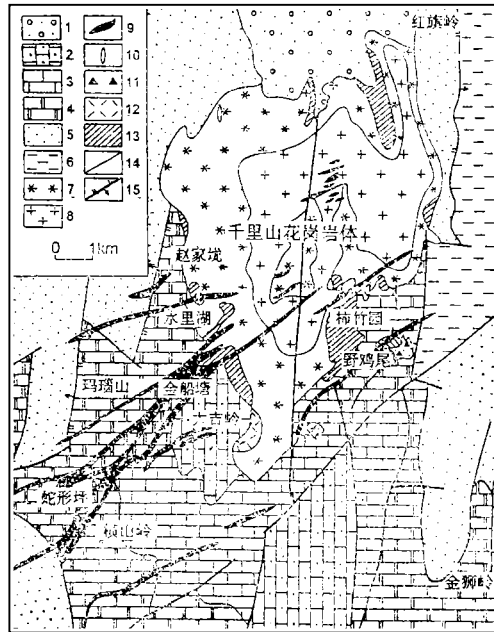


图 1 千里山花岗岩体及周围地质略图

(据王昌烈等, 1987修编)

1—第四系; 2—上泥盆统锡矿山组白云质灰岩; 3—上泥盆统余田桥组灰岩和泥灰岩; 4—中泥盆统棋子桥组白云质灰岩; 5—中泥盆统跳马涧组砂岩; 6—前寒武震旦系变质砂岩; 7—似斑状黑云母花岗岩; 8—等粒黑云母花岗岩; 9—花岗斑岩; 10—辉绿岩; 11—Sn-Cu 矿化似斑状黑云母花岗岩; 12—块状云英岩; 13—块状砂卡岩; 14—地质界线; 15—断裂

Fig. 1. Schematic geological map of the Qianlishan granite stock.

1—Quaternary; 2—Dolomitic limestone of Upper Devonian Xikuangshan Formation; 3—Limestone and marl of Upper Devonian Shetianqiao Formation; 4—Dolomitic limestone of Middle Devonian Qiziqiao Formation; 5—Sandstone of Middle Devonian Tiaomajian Formation; 6—Sinian metasandstone; 7—Pseudoporphyrific biotite granite; 8—Equigranular biotite granite; 9—Granite porphyry; 10—Diabase; 11—Tin-copper mineralized pseudoporphyrific biotite granite; 12—Massive greisen; 13—Massive skarn; 14—Geological boundary; 15—Fault.

等粒中粗粒花岗岩主要由钾长石(20%)、斜长石(45%左右)、石英(40%左右)和黑云母(5%~7%)组成, 还含少量的白云母。钾长石的 Or 分子为88~97, 平均94; 斜长石的 An 端员组分为1~3, 平均2。斜长石具比较清楚的次生加大现象, 即早期钠长石表面有一定的泥化, 围绕其增生的部分则相当新鲜。本阶段岩体中黑云母的多色性为 x —墨绿、 $y=z$ —浅黄。黑云母的 $Fe/(Fe+Mg)$ 为0.99~1.0, Fe^{3+}/Fe^{2+} 为0.06~0.30, Li 含量为0.33%~1.15%。因此, 部分黑云母为黑鳞云母。白云母除部分为原生外, 其余属蚀变产物。原生白云母的 Ti/Mg 比值为1.5~1.4, 次生白云母的 Ti/Mg 为0.6左右。副矿物组合以锆石、钼石、独居石、钇萤石和钛铁矿为主, 还有铈铁矿、黑稀金矿、复稀金矿、黄玉和萤石。

在两期花岗质岩石的接触界面偶见烘烤现象。还可见等粒黑云母花岗岩切割和蚕食似斑状黑云母花岗岩(图2a)或在等粒黑云母花岗岩株隆起部位有一些与似斑状黑云母花岗岩有关的云英岩(矿体)的残块(图2b)。

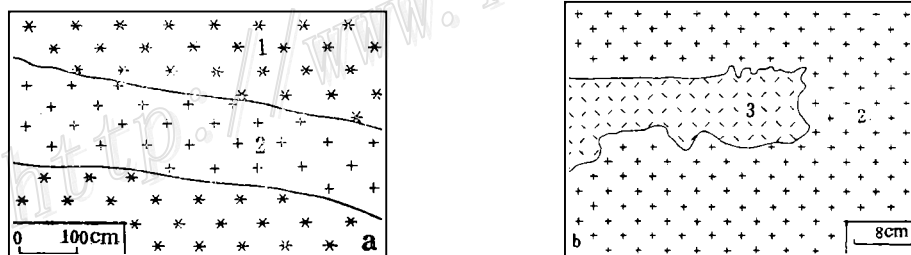


图 2 等粒黑云母花岗岩、似斑状黑云母花岗岩(a)与第一期块状云英岩(b)关系图

1—似斑状黑云母花岗岩; 2—等粒黑云母花岗岩; 3—与似斑状黑云母花岗岩有关的云英岩

Fig. 2. Diagrams showing the relationships of equigranular biotite granite to pseudoporphyrific biotite granite (a) and to the massive greisen associated with pseudoporphyrific biotite granite (b).

1—Pseudoporphyrific biotite granite; 2—Equigranular biotite granite;
3—Greisen associated with pseudoporphyrific biotite granite.

1.3 花岗斑岩

花岗斑岩岩墙沿NE方向成群产出。切割前几期岩体。斑岩脉宽度变化从几十公分到数米。花岗斑岩具有典型的斑状构造,钾长石和石英斑晶直径5~45 mm,基质直径0.1~0.5 mm。基质矿物有石英(32%~40%)、钾长石(35%~43%)、斜长石(15%~25%)和黑云母(2%~5%)。花岗斑岩有肉色和灰色两类。前者的基质矿物结晶程度高,后者的基质显示出清楚的次火山构造。在部分花岗斑岩脉中有大量等粒黑云母花岗岩的包体。本期花岗岩蚀变比较强烈,长石类表面严重泥化,黑云母几乎全部绿泥石化及少量白云母化,仅在个别石英斑晶中保存有微量新鲜黑云母小晶体。电子探针分析结果表明钾长石的Or端员组分为83~97,平均90;斜长石的An分子为1~8;黑云母的Fe/(Fe+Mg)比值为0.74~0.75。花岗斑岩的副矿物以含大量晶形好、粒度大的褐帘石和磷灰石为特征,也含有金红石、锆石、独居石、磁铁矿、钛铁矿和萤石等。

值得指出的是花岗斑岩并不仅出露于柿竹园矿区,在区域上成群出现,总体宽6 km,延长30多公里。

辉绿玢岩脉走向近SN或NW向。宽为20cm至数米,长度一般由10m至数百米。该岩石代表着与钨多金属矿床有关花岗岩系列的终端。

2 岩石化学

2.1 主元素

选21件花岗质岩石样品进行了测试分析,结果列于表1。大部样品取自坑道,因而比较新鲜。全部测试工作在法国圣太田矿业学院完成,测试方法为XRF荧光光谱。

千里山花岗岩体中所有三种花岗质岩石均富SiO₂,似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩的SiO₂含量高于75.50%,花岗斑岩的SiO₂含量平均73.61%。三种岩石的碱质组分平均含量为7.45%、7.45%和7.38%,K/Na比值分别为1.08~1.75、0.76~1.57和1.22~1.56。其镁铁质组分的含量有清楚的差别,其中花岗斑岩最富,似斑状黑云母花岗岩次之,等粒黑云母花岗岩较贫。

钛是一种比较稳定元素,其含量变化可以指示出花岗质岩浆的演化方向和分异程度。主要组分对TiO₂的投影示于图3。由图3可以了解到,TiO₂与MgO、FeO^T和P₂O₅成正相关关系,与Na₂O、SiO₂成负相关性。从似斑状黑云母花岗岩到等粒黑云母花岗岩,镁铁质组分减少,长英质组分逐渐增高。花岗斑岩成分也可以与前两期花岗质岩石成分回归到一条直线上,但其分异程度比较差。此外,各期花岗质岩石的TiO₂含量与其分异指数成反比(图3)。

2.2 微量元素

在无污染状态下碎样和研磨,于法国圣太田矿业学院利用XRF和ICP-AES方法分析岩石。XRF荧光光谱用于测试Rb、Pb、Sr、Ba、Ga、Zn、Zr和Nb,ICP用于分析Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Sr、Ba、Be、Nb和Th(表2)。

代表性的微量元素对TiO₂的趋向示于图4。随着TiO₂的降低,过渡族元素V、Ni,不相容元素Sr和Ba也同步降低;不相容元素Rb和Ga则增高。Rb与Sr呈负相关性。Rb/Sr比值在等粒黑云母花岗岩中最高,达58.6~135.8,其边缘略低,为11.4~54.4;似斑状黑云母花岗岩Rb/Sr比值为10.9~20.6;花岗斑岩仅3.40~5.86。Zr/Hf比值则相反,在花岗斑岩中最高,达15.2~22.7,在似斑状黑云母花岗岩中为10.7~12.0,在等粒黑云母花岗岩中3.34~6.13。Li、Be和Rb在各期花岗岩中均高于同类岩石克拉克值1~n倍,Li和Rb在等粒黑云母花岗岩中尤其富集。

千里山岩体中的三期花岗质岩石均富Th和U,而且随着岩石的分异程度增强TiO₂含量降低,U/Th比值增高。在U对Th图解中(图5),显示出似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩相对富U,可以回归到一条直线上;而花岗斑岩明显富Th,自成体系(图5)。

似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩富含成矿元素W和Sn,局部岩体可达工业品位(大于1000×10⁻⁶)。前者的W/Sn比值小于后者。花岗斑岩中的W和Sn含量也高于同类岩石的克拉克值,但最富集的却是Zn元素。在Zn-Sn-W三角图解(图6)中,花岗质岩石的投影点可以显示出两组不同的含矿岩体。

2.3 稀土元素

表 1 千里山花岗岩岩石化学分析数据(%)

Table 1. Petrochemical composition of the granitoids in the Qianlishan stock

岩石类型	样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	总计
似斑状 黑云母 花岗岩	Q 1	75.20	0.14	12.61	1.50	0.05	0.14	0.80	2.29	4.87	0.03	1.13	98.75
	Q 2	76.01	0.15	13.50	1.37	0.06	0.17	0.74	2.62	5.03	0.03	0.73	100.41
	Q 3	74.20	0.15	13.00	1.83	0.08	0.19	0.94	1.99	5.29	0.03	1.20	98.90
	Q 4	77.20	0.14	12.40	1.09	0.05	0.12	0.73	2.81	4.97	0.03	0.76	100.31
	Q 5	76.95	0.14	11.88	1.49	0.06	0.12	0.64	2.64	4.35	0.03	0.88	99.17
	490-46	75.12	0.16	13.03	1.72	0.09	0.18	1.03	2.89	4.95	0.04	0.71	99.92
等粒黑 云母花 岗 岩	490-18	74.84	0.01	13.96	1.18	0.06	0.03	0.72	2.85	4.12	0.02	1.07	98.88
	490-19	75.03	0.02	13.64	0.89	0.06	0.02	0.75	3.59	4.14	0.01	0.75	98.89
	490-20	77.95	0.02	12.13	0.57	0.05	0.02	0.49	3.34	4.02	0.00	0.38	98.96
	490-21	75.79	0.02	13.84	0.96	0.06	0.03	0.65	3.62	4.89	0.00	0.53	100.39
	490-22	74.82	0.02	13.40	2.26	0.11	0.03	0.63	2.81	3.89	0.01	1.03	99.01
	490-23	75.71	0.04	13.44	0.73	0.05	0.02	0.79	3.15	4.94	0.02	0.58	99.48
	490-29	74.84	0.02	13.84	0.86	0.05	0.02	0.72	3.54	4.09	0.00	0.70	98.67
	490-31	77.84	0.04	11.95	0.48	0.05	0.05	1.67	2.13	5.07	0.02	0.10	99.40
	490-33	78.68	0.03	10.92	0.49	0.05	0.02	1.79	2.11	4.43	0.01	1.04	99.57
	490-32	77.85	0.04	11.62	0.64	0.06	0.05	1.36	2.29	4.75	0.01	0.64	99.31
花岗 斑岩	490-5	73.35	0.30	12.37	2.59	0.07	0.34	1.39	2.31	4.73	0.09	1.10	98.64
	490-6	72.85	0.31	12.89	2.75	0.08	0.35	1.38	2.38	4.98	0.09	0.90	98.96
	490-7	72.65	0.30	13.00	2.71	0.06	0.37	1.25	2.22	5.27	0.09	1.20	99.12
	490-8	72.84	0.29	13.02	2.68	0.08	0.35	1.47	2.51	4.86	0.08	0.84	99.02
	490-9	76.37	0.17	12.26	1.96	0.07	0.15	0.88	2.68	4.95	0.03	0.67	100.18

岩石类型	样品编号	q	Or	Ab	An	di	hy	ac	ns	hm	ap	c	tn	DI	MF	K/Na	ACNK
似斑状 黑云母 花岗岩	Q 1	41.50	28.78	19.38	3.32	0.00	0.40	0.00	0.00	1.42	0.07	2.35	0.33	92.98	91.46	1.40	1.23
	Q 2	39.87	29.73	22.17	2.98	0.00	0.49	0.00	0.00	1.29	0.07	2.65	0.37	94.74	88.96	1.26	1.24
	Q 3	40.27	31.26	16.84	3.96	0.00	0.55	0.00	0.00	1.73	0.07	2.55	0.37	92.33	90.59	1.75	1.24
	Q 4	40.28	29.37	23.78	2.94	0.00	0.35	0.00	0.00	1.03	0.07	1.32	0.36	96.36	90.08	1.16	1.12
	Q 5	43.57	25.71	22.34	2.53	0.00	0.35	0.00	0.00	1.41	0.07	1.90	0.33	94.15	92.55	1.08	1.19
	490-46	37.11	29.25	24.45	4.31	0.00	0.52	0.00	0.00	1.62	0.09	1.34	0.40	95.13	90.53	1.13	1.11
等粒黑 云母花 岗 岩	490-18	40.97	24.35	24.12	3.40	0.00	0.09	0.00	0.00	1.11	0.04	3.56	0.04	92.83	97.52	0.95	1.34
	490-19	36.70	24.47	30.38	3.61	0.00	0.06	0.00	0.00	0.84	0.02	1.93	0.04	95.15	97.80	0.76	1.16
	490-20	42.07	23.76	28.26	2.37	0.00	0.06	0.00	0.00	0.54	0.00	1.42	0.04	96.46	96.61	0.79	1.13
	490-21	34.59	28.90	30.63	3.16	0.00	0.09	0.00	0.00	0.91	0.00	1.43	0.04	97.29	96.97	0.89	1.12
	490-22	42.23	22.99	23.78	3.00	0.00	0.09	0.00	0.00	2.13	0.02	3.47	0.05	92.00	98.69	0.91	1.35
	490-23	36.84	29.19	26.65	3.67	0.00	0.06	0.00	0.00	0.69	0.04	1.57	0.09	96.36	97.33	1.03	1.13
	490-29	37.04	24.17	29.95	3.52	0.00	0.06	0.00	0.00	0.81	0.00	2.30	0.04	94.68	97.73	0.76	1.20
	490-31	42.47	29.96	18.02	8.03	0.00	0.14	0.00	0.00	0.45	0.04	0.02	0.1	98.49	90.57	1.57	1.00
	490-33	45.95	26.18	17.85	7.24	0.11	0.00	0.00	0.00	0.46	0.02	0.00	0.07	97.23	96.08	1.38	0.95
	490-32	43.42	28.07	19.38	6.56	0.00	0.14	0.00	0.00	0.60	0.02	0.31	0.09	97.42	92.75	1.36	1.03
花岗 斑岩	490-5	38.78	27.95	19.55	5.32	0.00	0.98	0.00	0.00	2.44	0.20	1.50	0.74	91.60	88.40	1.35	1.14
	490-6	36.93	29.43	20.14	5.23	0.00	1.01	0.00	0.00	2.60	0.20	1.67	0.76	91.73	88.71	1.38	1.15
	490-7	36.79	31.14	18.79	4.64	0.00	1.07	0.00	0.00	2.56	0.20	1.94	0.73	91.36	87.99	1.56	1.18
	490-8	36.39	28.72	21.24	5.81	0.00	1.01	0.00	0.00	2.53	0.17	1.50	0.72	92.16	88.45	1.27	1.13
	490-9	39.94	29.25	22.68	3.58	0.00	0.43	0.00	0.00	1.85	0.07	1.18	0.43	95.45	92.89	1.22	1.11

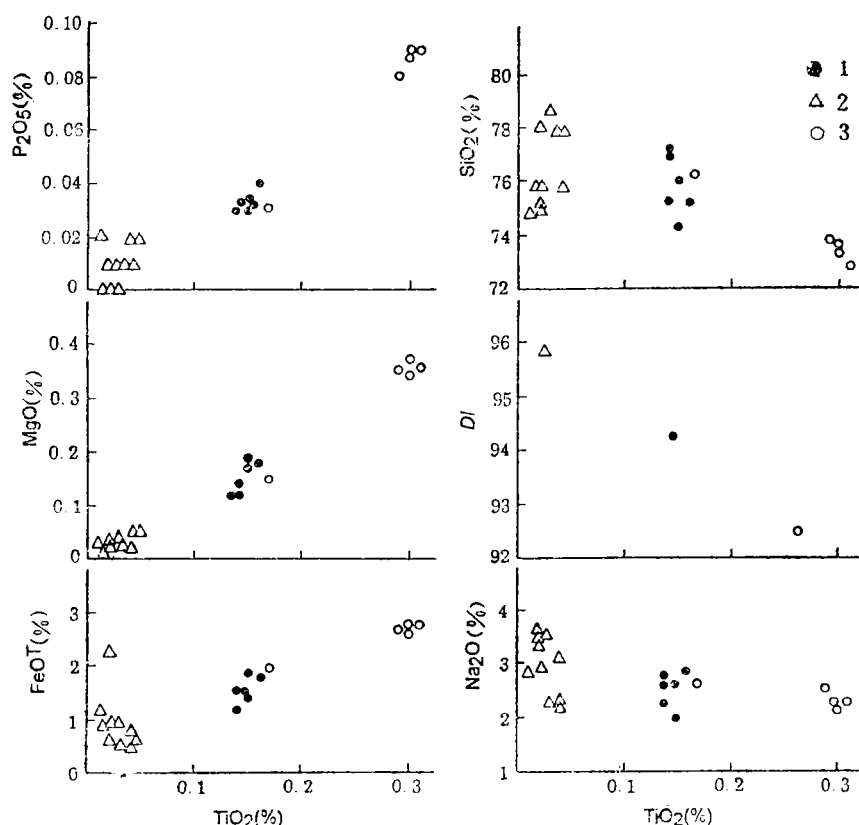


图 3 千里山花岗质岩石 TiO_2 对 P_2O_5 、 MgO 、 FeOT 、 SiO_2 、 DI 、 Na_2O 图解

1—似斑状黑云母花岗岩；2—等粒黑云母花岗岩；3—花岗斑岩

Fig. 3. Diagram of TiO_2 versus P_2O_5 , MgO , FeOT , SiO_2 , DI , and Na_2O in the granitoids of the Qianlishan granite stock.

1—Pseudoporphyritic biotite granite; 2—Equigranular biotite granite; 3—Granite porphyry.

利用XFS荧光光谱方法在中国地质科学院完成了18件稀土元素分析，结果列于表3。

千里山各期花岗质岩石的稀土元素含量均相当高，除一件（编号490-32）外，其余17件的REE含量在 $190 \times 10^{-6} \sim 528 \times 10^{-6}$ 之间（表3）。似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩的La/Yb比值为2.47~4.19和0.94~1.66， δEu 0.20~0.23和0.043~0.061。编号为490-32样品的含REE量远远低于其他样品，其La/Yb为3.72， δEu 1.78，这可能与云英岩化和含较多成矿元素有关。这两期花岗岩的特点是REE总量相近，HREE含量相对较高，铈亏损强烈，稀土元素球粒陨石标准化型式图为“海鸥式”（图7）。从似斑状黑云母花岗岩到等粒黑云母花岗岩，LREE相对减少，铈亏损愈益强烈（图7）。在 δEu 对La/Yb图解上可以更明显地反映出这一演化趋势。花岗斑岩的REE含量最高，明显富集LREE，其La/Yb比值为11.82~16.88， δEu 为0.34~0.43（表3）。球粒陨石标准化型式为“倾斜式”（图7）。

在花岗岩浆演化及成岩过程中，支配REE变化，例如LREE相对减少，HREE相对增高和Eu亏损的机制是什么？Shaw (1970)^[33]和Greenland (1977)^[20]分别提出了部分熔融模型和结晶分异模型。千里山岩体中的似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩似乎为同一岩浆房在分异作用期间先后连续侵位的产物。因此，这两期岩体中的副矿物组合基本相同，为磷钇矿、钇易解石、独居石组合。在似斑状黑云母花岗岩中有少许褐帘石，独居石含量也高于后者。花岗斑岩的副矿物组合为褐帘石、独居石和磷灰石，因而，岩石富含LREE。由此可以得出一个结论，似斑状黑云母花岗岩、等粒黑云母花岗岩与花岗斑岩分别为两次成岩事件的产物。在同一组花岗质岩体中，副矿物的结晶顺序对稀土元素的变化起着重要作用。

表 2 千里山岩体中花岗岩类岩石微量元素(10^{-6})
Table 2. Trace element contents of granitoids in the Qianlishan stock(10^{-6})

岩石类型	似斑状黑云母花岗岩					等粒黑云母花岗岩											花岗岩				
	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	490-18	490-19	490-20	490-21	490-22	490-28	490-29	490-31	490-32	490-33	490-5	490-6	490-7	490-8	490-9	
Li	29.7	23.9	23.0	21.1	23.2	78.9	207.0	45.7	251.7	285.3	264.4	238.9	241.0	128.0	121.0	100.0	170.0	181.0	137.0	152.0	144.0
Be	27.6	88.3	17.4	12.2	18.9	11.2	9.53	16.9	12.0	11.3	17.1	9.05	4.04	38.5	9.35	9.99	7.29	6.87	5.50	7.59	5.86
Rb	774.3	696.5	717.5	625.1	571.4	723.1	1149.8	1028.7	779.2	1086.3	1007.4	904.9	1105.2	685.0	682.3	600.9	432.0	413.5	403.6	422.8	457.5
Sr	37.5	52.4	39.9	57.3	40.2	50.5	13.4	7.4	13.3	8.0	8.1	17.3	20.3	46.1	59.7	39.8	79.5	121.6	80.8	115.4	78.1
Cs	20.6	25.6	16.4	6.1	8.0	10.8	29.3	37.1	<5.0	24.5	30.6	6.8	14.5	<5.0	12.6	<5.0	9.5	10.6	14.4	10.8	<5.0
Ba	149.4	165.6	145.1	128.6	109.1	132.3	30.3	30.1	49.9	28.1	33.6	44.5	33.9	94.5	107.5	92.2	221.1	308.3	348.5	229.4	125.6
Zr	110.4	127.1	120.2	123.6	113.5	177.9	32.7	30.4	31.7	25.7	39.9	58.1	24.6	36.9	38.4	42.9	195.8	210.4	180.9	194.9	185.9
Nb	66.6	59.6	60.5	65.2	66.3	60.3	19.4	20.2	24.2	21.3	24.9	37.3	13.5	<1.5	<1.5	<1.5	20.0	18.4	18.7	19.0	22.1
Hf	9.6	11.7	10.1	11.5	9.9	9.8	6.1	9.1	8.3	4.5	7.3	8.9	6.5	5.7	6.6	7.0	10.0	12.4	11.0	8.6	12.2
Sc	6.18	4.17	4.96	4.24	6.24	6.49	3.96	3.57	2.63	3.05	4.48	5.78	5.59	5.37	4.26	3.89	3.66	4.15	3.50	4.03	2.57
V	8.33	8.10	7.74	5.91	4.64	5.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.871	4.28	2.03	1.87	21.0	22.0	18.8	18.3	4.13
Cr	3.18	5.13	4.95	3.67	3.80	3.03	2.48	1.14	2.38	1.42	2.74	2.53	3.32	10.6	12.7	8.93	6.82	7.81	4.92	8.10	4.62
Co	3.19	1.24	3.05	1.49	2.87	0.46	2.46	2.10	1.06	1.87	3.32	1.34	1.43	1.94	2.38	2.22	1.58	2.13	0.38	1.49	0.999
Ni	1.38	2.78	2.32	2.40	1.60	2.47	0.79	0.0	1.49	0.715	1.51	2.22	1.44	0.0	0.0	0.0	5.15	5.37	4.42	5.57	4.47
Cu	15.3	16.1	23.3	22.6	16.2	15.6	17.8	13.6	18.4	17.5	15.1	25.2	35.2	18.7	20.2	17.8	16.3	14.5	13.9	13.8	15.9
Zn	5.7	14.3	12.2	8.1	46.9	15.0	8.1	20.8	2.8	14.6	73.2	32.5	<2.0	<2.0	2.3	<2.0	48.5	38.9	42.1	36.5	26.0
Ga	24.8	24.2	21.6	21.8	21.3	23.0	41.0	39.5	33.9	38.8	40.7	30.4	36.9	16.2	16.3	14.0	20.4	20.8	20.7	21.2	19.4
Pb	41.0	39.5	33.7	42.8	58.9	57.1	66.8	57.9	26.8	50.3	75.1	78.9	47.5	40.5	72.3	34.0	35.5	40.9	40.1	37.1	56.6
W	53.0	22.9	54.0	9.4	15.3	20.1	48.2	57.3	24.1	31.7	44.6	13.3	92.8	1916.8	2038.8	1370.8	8.6	9.2	<3.0	<3.0	6.2
Sn	49.7	28.8	34.5	16.3	15.2	9.2	43.0	24.9	10.4	21.7	54.7	49.4	11.6	38.5	19.8	19.4	7.5	8.0	7.9	6.1	6.9
Th	67.0	64.6	67.0	63.2	64.9	65.4	27.0	17.7	14.6	12.6	34.5	36.2	15.9	30.2	47.7	44.7	73.9	69.4	64.7	74.3	92.7
U	38.8	48.0	28.9	39.9	32.4	36.7	15.6	18.0	18.4	11.1	22.6	40.3	13.2	34.0	35.6	35.7	17.5	17.7	16.0	17.8	27.9
Rb/Sr	20.6	13.3	18.0	10.9	14.2	14.3	85.8	139.0	58.6	135.8	124.4	52.3	54.4	14.9	11.4	15.1	5.43	3.40	5.00	3.66	5.86
U/Th	0.58	0.74	0.43	0.63	0.50	0.56	0.58	1.02	1.26	0.88	0.66	1.11	0.83	1.13	0.75	0.80	0.24	0.26	0.25	0.24	0.30
Zr/Hf	11.5	10.9	11.9	10.7	11.5	12.0	5.36	3.34	3.82	5.71	5.47	6.53	3.78	6.47	5.82	6.13	19.6	1.70	16.4	22.7	15.2
F (%)	0.55	—	0.40	0.68	0.26	0.35	1.04	0.56	0.28	0.62	1.00	0.48	0.17	0.64	0.48	—	0.07	0.18	0.15	0.18	—

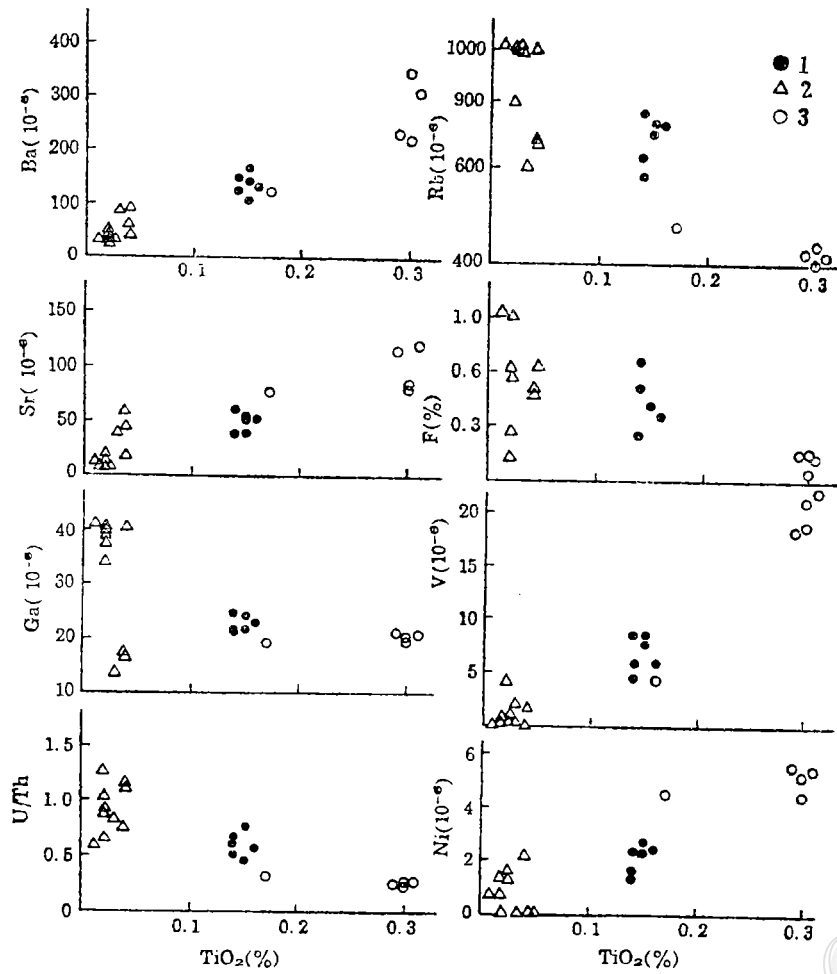


图 4 千里山花岗质岩石的 TiO_2 对代表性微量元素图解

1—似斑状黑云母花岗岩；2—等粒黑云母花岗岩；3—花岗斑岩

Fig. 4. Diagrams of TiO_2 versus typical trace elements in the Qianlishan granitoids.

Symbols as for Fig. 3.

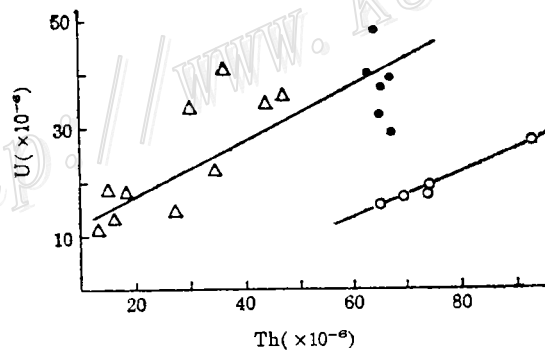


图 5 千里山花岗质岩石的U对Th图解

图例同图4

Fig. 5. U versus Th diagram of the Qianlishan granitoids.

Symbols as for Fig. 4.

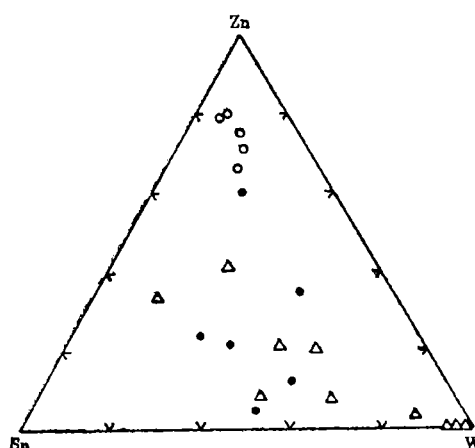


图6 Zn-Sn-W三角图解

图例同图4

Fig. 6. Zn-Sn-W triangular diagram.

Symbols as for Fig. 4.

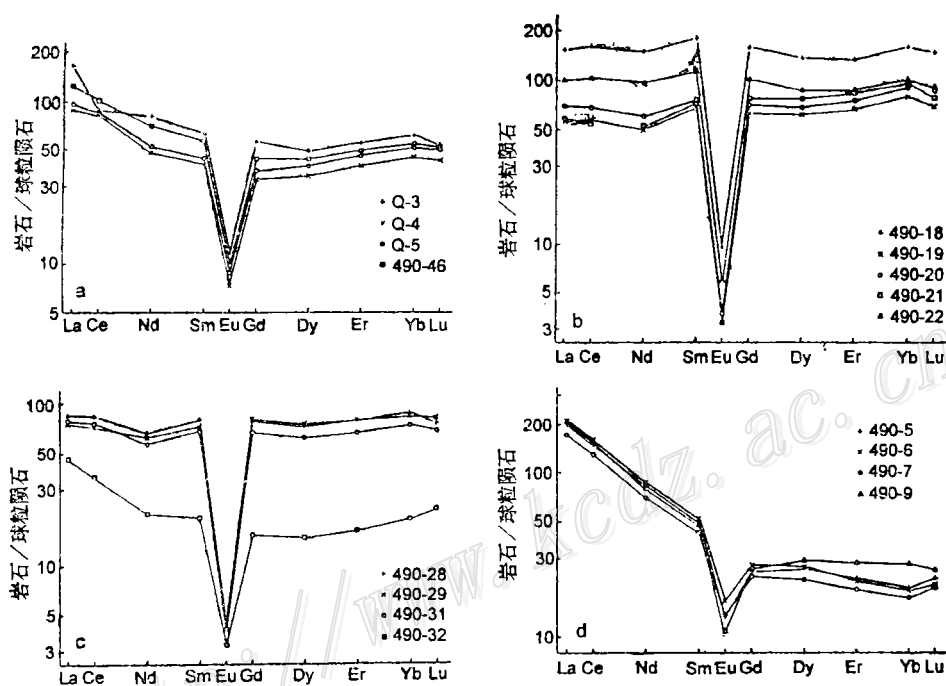


图7 千里山各期花岗质岩石REE球粒陨石标准化型式图

a—似斑状黑云母花岗岩；b—等粒黑云母花岗岩；c—细粒等粒黑云母花岗岩（边缘相）；d—花岗斑岩

Fig. 7. Chondrite-normalized REE patterns of all the phases

of the Qianlishan granite stock.

a—Pseudoporphyritic biotite granite; b—Equigranular biotite granite; c—Fine-grained equigranular biotite granites; d—Granite porphyry.

3 讨论和结论

千里山花岗岩体不足10km²，但在其周围却有一系列W、Sn、Mo、Bi、Be、Pb、Zn、Ag矿床的分布，尤其还有柿竹园这样超大型钨多金属矿床。这就反映出该岩体具有特殊性或成矿异常性。

表 3 千里山花岗岩稀土元素表(10^{-1})
Table 3. REE content of granitoids of Shizhuyuan area

岩石类型	似斑状黑云母花岗岩				等粒黑云母花岗岩				细粒等粒黑云母花岗岩				花 岗 斑 岩			
编号	Q-3	Q-3	Q-5	490-46	491-18	490-19	490-20	490-21	490-29	490-31	490-32	490-5	490-6	490-7	490-9	
La	56.1	30.4	32.6	42.6	52.4	19.3	23.7	19.6	25.8	26.7	15.9	69.2	71.9	58.9	70.7	
Ce	80.1	76.1	76.9	91.8	149	51.3	62.4	50.9	67.5	69.3	32.7	141	149	119	142	
Pr	12.9	7.83	8.46	11.6	21.5	7.44	8.77	7.33	9.41	8.84	3.89	15.1	15.4	12.6	15.2	
Nd	50.6	31.1	33.4	44.9	95.7	32.7	38.4	33.4	40.4	37.2	14.2	53.0	55.2	45.3	51.7	
Sm	12.2	8.00	8.68	11.1	35.3	13.4	15.0	14.7	14.3	13.5	4.03	9.62	10.0	8.43	9.46	
Eu	0.86	0.53	0.64	0.70	0.70	0.24	0.27	0.24	0.32	0.30	0.24	0.97	1.20	0.99	0.80	
Gd	14.4	8.66	9.81	11.6	41.9	16.6	18.6	20.7	20.7	17.6	4.13	6.53	7.21	6.06	6.62	
Tb	2.49	1.58	1.72	1.88	7.50	2.71	3.07	3.86	3.58	2.96	0.77	1.12	1.06	0.97	1.17	
Dy	14.7	10.3	11.9	13.3	41.7	18.9	20.8	23.4	22.3	18.6	4.51	7.71	7.91	6.81	8.71	
Ho	3.72	2.56	2.99	3.14	9.64	4.64	5.27	5.41	5.11	4.31	1.14	1.53	1.54	1.31	1.85	
Er	11.0	7.98	9.22	9.83	27.0	13.5	15.2	16.9	15.6	13.4	3.36	4.48	4.43	3.89	5.63	
Tm	1.84	1.38	1.62	1.70	4.74	2.34	2.65	2.88	2.68	2.25	0.59	0.67	0.65	0.58	0.88	
Yb	13.4	9.87	11.4	11.7	35.3	17.3	20.1	20.0	18.7	16.1	4.27	4.37	4.26	3.83	5.98	
Lu	1.81	1.48	1.72	1.76	5.07	2.36	2.97	2.69	2.77	2.33	0.77	0.76	0.71	0.69	0.87	
合计	276.12	197.77	211.06	285.87	527.45	202.73	237.2	222.91	249.17	233.39	90.50	316.06	330.47	269.36	321.57	
La/Yb	4.19	3.08	2.86	3.64	1.48	1.12	1.18	0.94	1.38	1.66	3.72	15.84	16.88	15.38	11.82	
δEu	0.20	0.20	0.22	0.20	0.056	0.05	0.05	0.043	0.057	0.061	1.78	0.38	0.43	0.43	0.34	

注：因篇幅所限，有些数据未附

3.1 千里山花岗岩是一种BELIF花岗岩

含矿花岗岩体往往具有高含量的挥发组分和一些特征性元素。例如: 章振根 (1983)^[15]曾总结出含锡花岗岩为3B花岗岩类(即富B、Be和Bi)。Pollard (1987)^[31]将含钨锡花岗岩分为氟花岗岩和硼花岗岩, 并论述了两类花岗岩的生成演化途径。千里山花岗岩体以富F、Be和Li为特征, 因而在这里称之为BELIF花岗岩。

根据Turkian and Wedepohl (1961)资料, 贫Ca花岗岩中Be的克拉克值为 3.3×10^{-6} 。南京大学地质系 (1980)研究表明^[6], 华南地区燕山期花岗岩中Be的丰度为 8.6×10^{-6} 。在千里山花岗岩体中, 似斑状黑云母花岗岩含铍平均 29.3×10^{-6} , 等粒黑云母花岗岩为 13.8×10^{-6} 和花岗斑岩为 8.9×10^{-6} 。其中花岗斑岩与南岭地区燕山期花岗岩的铍丰度相接近。其余两类花岗岩明显富Be。值得指出的是, 在柿竹园矿区, 铍储量达10万吨、已发现铍矿物达10种, 计有硅铍钨矿、绿柱石、日光榴石、硅铍石、塔菲石、硬羟钙铍石、铍珍珠云母、金绿宝石、羟硅铍石和蓝柱石(王昌烈等, 1987)^[9]。铍矿物出现于花岗岩隆、矽卡岩和云英岩中, 在云英岩中最为富集并构成矿体。尽管成矿的多来源已在诸多矿床中得以证实, 但由于柿竹园地区的围岩(包括各地层层位)均含铍元素微乎其微, 因而, 铍作为一种稀有元素与花岗岩的密切成因联系则勿庸更多赘述。

在似斑状黑云母花岗岩、等粒黑云母花岗岩和花岗斑岩中F平均含量分别为 4480×10^{-6} , 5856×10^{-6} 和 1450×10^{-6} 。与钨多金属矿床有关的前两期花岗岩含氟均大于 4400×10^{-6} , 远远高于一般钨、锡花岗岩的富氟程度。例如, 大吉山花岗岩体含F平均 720×10^{-6} (孙恭安等, 1989)^[6], 西华山岩体平均 2096×10^{-6} (陈志雄等, 1989)^[32], 与宝坛和九毛锡矿床有关花岗岩的F含量平均 1581×10^{-6} (毛景文等, 1988)^[3], 滇西来利山和古永含锡花岗岩分别持F 1865×10^{-6} 和 2150×10^{-6} (施琳等, 1989)^[7]。就F含量而言, 可以与千里山花岗岩体相媲美的是与大厂超大型锡多金属矿床有关的龙箱盖岩体, 其持F也达 4813×10^{-6} (陈毓川等, 1993)^[1]。此外, 在等粒黑云母花岗岩中有大量的黄玉和黑鳞云母。各期花岗岩均含结晶较晚的萤石。值得注意的是在千里山岩体周围的各矿床中均有大量的含F矿物。无论是矽卡岩、退化蚀变岩, 还是矿体中均有萤石存在, 其含量约3%~15%。部分云英岩矿体和矿脉中含5%~25%的黄玉、萤石、黑鳞云母、锂云母和锂白云母等。事实上, 在柿竹园矿区, F作为一种资源, 其储量也相当可观。

不相容元素Li与Rb具有比较相似的地球化学特征, 往往在花岗质岩浆演化末期或花岗岩系列的最晚阶段富集。一般来讲, 在翁岗岩(Kovalenko et al., 1977)^[24]和香花岭岩(黄蕴慧等, 1988)^[3]中最富Li, 其次为与Li、Be、Nb、Ta、W、Sn矿床有关的花岗岩, 例如, 香花岭矿区的赖子岭岩体(黄蕴慧等, 1988)^[3]。在部分与W、Sn矿床有关的花岗岩中, Li元素成倍富集, 24×10^{-6} ~ 213×10^{-6} (吴澄宇等, 1992)^[11]; 陈毓川等, 1993)^[1]。千里山花岗岩体中的似斑状黑云母花岗岩含Li平均 33.3×10^{-6} , 等粒黑云母花岗岩 188.3×10^{-6} , 花岗斑岩 125.0×10^{-6} 。而且分异演化程度愈高, 锂愈富集, 以致于在与之有关的云英岩矿脉中有大量富锂云母类。

总的来讲, Li、Be和F是成矿岩体指示性元素, 也是花岗质岩浆分异演化程度的标志。Kovalenko et al. (1977, 1984)^[24, 25]对花岗岩-H₂O-HF和翁岗岩-H₂O-HF体系, Marniny (1981)。Pichavant and Manning (1984)^[28, 30]对钠长石-正长石-石英-F体系的实验研究表明, 花岗岩浆中F的存在和富有可以明显地降低岩浆的固结温度。由此可以推论, 高F含量会导致岩浆结晶速度减慢, 以致于岩浆得到充分的分异和矿质元素被搬运和成矿。

3.2 千里山花岗岩是高温(HHP)花岗岩

近10多年来, 高热花岗岩(High heat production granite)对金属矿床成矿作用的贡献越来越受到地质学家们的关注。在高热花岗岩中含有大量的放射性矿物, 主要矿物有锆石、独居石、晶质铀矿、钍石、褐帘石等和一些含K、Rb的造岩矿物。重要致热元素有U、Th、Pb、K和Rb。这些元素的衰变导致大量能量释放以致于成为驱动流体循环所需要热的明显来源(Stene et al., 1985)。一些学者(例如, Darnley, 1985; Simposon and Hurdley, 1985; Wabraven and others, 1985; Plimer, 1985)研究认为高热花岗岩冷却需要持续许多百万年(10×10^6 ~ 400×10^6 a)。在此期间, 大量的热水溶液对流循环和成矿。关于划分高热花岗岩的标准, 在1985年于英格兰召开的“高热(HHP)花岗岩、热液循环和矿床成因”会议上,

Darnley (1985) 总结为花岗岩中U和Th分别达 8×10^{-6} 或 10×10^{-6} , 对像南非 Rössing 那样极端的高热花岗岩含有高于花岗岩中U和Th克拉克值100倍。

千里山花岗岩体中的似斑状黑云母花岗岩、高于低钙花岗岩U和Th克拉克值10倍的花岗岩可称之为高热花岗岩, 也就是 $U + Th \geq 200 \times 10^{-6}$ 。按照这一定义, 在七个 Sn-W 花岗岩体中, 唯千里山和岩背岩体为高热花岗岩 (图 8)。

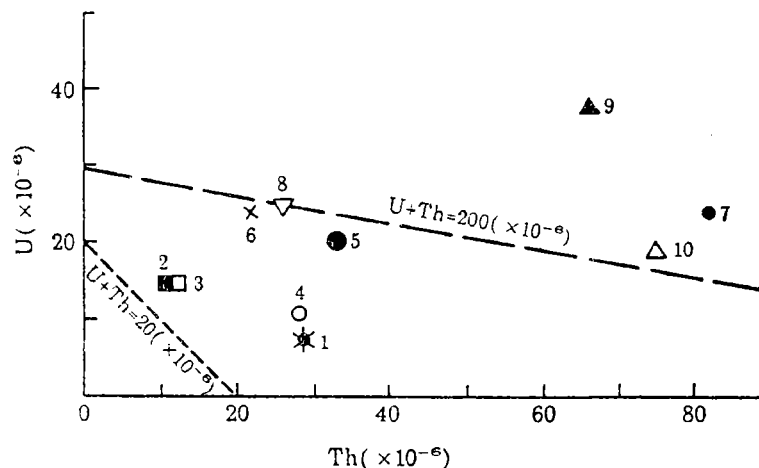


图 8 南岭地区W、Sn花岗岩在U对Th图中投影

1—南岭地区燕山期壳源重熔型花岗岩均值⁽¹⁷⁾; 2—元宝山花岗岩; 3—三防花岗岩⁽⁴⁾; 4—足洞花岗岩⁽¹¹⁾; 5—银岩花岗岩⁽¹¹⁾; 6—西华山花岗岩⁽³⁴⁾; 7—岩背花岗岩⁽³⁴⁾; 8—千里山似斑状黑云母花岗岩; 9—千里山等粒黑云母花岗岩; 10—千里山花岗岩斑岩

Fig. 8. Projections of tungsten-tin granites of Nanling region in the U versus Th diagram.

1—Average value of Yanshanian crust-remelting granite in Nanling region; 2—Yuanbaoshan granite; 3—Sanfang granite; 4—Zudong granite; 5—Yinyan granite; 6—Xihuashan granite; 7—Yanbei granite; 8—Qianlishan pseudoporphyrific biotite granite; 9—Qianlishan equigranular biotite granite; 10—Qianlishan granite porphyry.

由于千里山花岗岩体是富含放射性元素的高热花岗岩体, 可以设想在花岗岩浆侵位、冷凝和凝固之后的一个相当长时期, 柿竹园地区等粒黑云母花岗岩和花岗斑岩分别含U (10^{-6}) 和Th (10^{-6}) 为32.4~48.0和63.2~67.0, 11.1~40.3和12.6~47.7, 16.0~27.9和64.7~92.7 (表 2)。按照 Darnley (1985) 的定义, 千里山花岗岩体中各阶段花岗岩均为高热花岗岩, 而且其U和Th含量反比于岩石的分异演化程度。

如果利用 8×10^{-6} 或 10×10^{-6} 作为标准定义高热花岗岩, 那么, 华南地区的绝大多数与W、Sn、Nb、Ta矿床有关的花岗岩可能均为高热花岗岩。据赵子杰、袁忠信等资料 (1989)⁽¹⁷⁾, 华南地区燕山期壳源重熔型花岗岩的U和Th平均值分别为 7.11×10^{-6} 和 28.74×10^{-6} , 两者之和远远大于 20×10^{-6} 。兹将该值投影于图 8 中, 表明其亦在高热花岗岩之范畴。另将已有资料的七个与W、Sn (Nb、Ta) 矿床有关花岗岩投影到图 8 中, 可以判断出所有岩石均符合高热花岗岩的定义。如果以 Rössing 花岗岩为准, 即按100倍于低钙花岗岩的U、Th克拉克值 (3×10^{-6} 和 17×10^{-6} , Turkian and Wedepohl, 1961) 计算, 南岭地区W-Sn花岗岩却又均不属高热花岗岩。结合华南地区W-Sn花岗岩的特点, 兹提议保持着高温环境。这对热水溶液的对流循环、水岩反应和钨多金属矿床的形成起着重要的作用。

3.3 千里山花岗岩为两个不同源岩浆的先后叠加

千里山花岗岩体的成岩物质主要来自于地壳本身的重熔, 也就是S型 (Chappell and White, 1974)⁽¹⁹⁾、钛铁矿型 (Ishihura, 1977)⁽²³⁾或改造型花岗岩类 (徐克勤等, 1982)⁽¹³⁾, 这已为诸多学者所认同^(9, 10, 13, 15)。但其成岩物质来源可能来自两个源地。地质地球化学资料表明似斑状黑云母花岗岩和等粒黑云母花岗岩出

自同一源渊, 而花岗斑岩则来自另一个源渊。

两个系列花岗岩的造岩矿物组合基本相同, 皆属铝过饱和花岗岩, 而且分异演化程度都比较高, 分异指数大于92 (表1), 微量元素的配分型式也类同。但两者之间的副矿物组合有所差别, 前者为锆石、独居石、磷钇矿和钼石, 后者为褐帘石、磷灰石、锆石、金红石和独居石。更重要的是从第一期似斑状黑云母花岗岩到第三期花岗斑岩, 岩浆演化有明显的间断。一般来讲, 与W-Sn矿床有关的花岗岩的演化都是从早期到晚期, 分异演化程度增高, 以致于在晚期岩体形成矿床^[21,22,26,27,5], 或者在花岗岩浆生成演化期间, 各期岩体均伴随有W、Sn矿化^[12,29]。在千里山岩体中, 从似斑状黑云母花岗岩到等粒黑云母花岗岩, 岩浆分异程度增强, 基性元素Ti、Sr、V、Cr、Co、Ni和Zr/Hf比值、La/Yb比值降低、钨亏损趋于强烈; 而酸性不相容元素Rb、Li、Ga和Rb/Sr比值、U/Th比值、挥发组分F增高。两期花岗岩都伴随着钨多金属矿化。然而, 花岗斑岩的分异程度低于前两期 (表1和图3), Rb/Sr比值、U/Th比值降低, Zr/Hf比值、La/Yb比值增高, 钨亏损程度比较弱。与之伴生的不是钨多金属矿化, 而是Pb、Zn和Ag矿化。

似斑状黑云母花岗岩、等粒黑云母花岗岩与花岗斑岩在地质地球化学方面具有诸多相似之处和不同之处, 说明两者的物质来源不同, 但这种不同仅限于在地壳不同部位的重熔及含地幔物质的多少或二者之间的比例。至于进一步厘定其成岩物质来源, 需要借助Rb-Sr、Sm-Nd和Pb等同位素方法^①。

在工作期间曾得到湖南地质矿产局湘南地质勘察院王昌烈、胥友志, 巴黎矿业学院 M Perrin, 圣太田矿业学院 J Moutte and J Gratfa的帮助, 曾与刘义茂作过有益学术讨论, 得益匪浅, 笔者一并致谢。

参 考 文 献

- 1 陈毓川, 黄民智, 徐珏, 胡云中, 唐绍华, 李南清、孟令库. 大厂锡矿床地质. 北京: 地质出版社, 1993, 71~97
- 2 陈志雄, 李善择, 朱晋于. 西华山和红岭钨矿床成矿地质特征研究. 南岭地质矿产科研报告集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989, 277~325
- 3 黄蕴慧, 杜绍华, 周秀仲. 香花岭岩石矿床与矿物. 北京: 北京科学技术出版社, 1988, 4~25
- 4 毛景文, 宋叔和, 陈毓川. 桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列. 北京: 北京科学技术出版社, 1988, 19~51
- 5 毛景文. 云南腾冲地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列的初步研究. 地质学报, 1988, 62 (4): 324~352
- 6 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1980, 237
- 7 施琳, 陈吉琛, 吴上龙, 彭尖阶, 唐尚鹁. 滇西锡矿带成矿规律. 北京: 地质出版社, 1989, 94~98
- 8 孙恭安, 史明魁, 张宏良, 胡雄伟. 大吉山花岗岩体岩石学、地球化学及成矿作用研究. 南岭地质矿产科研报告集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989, 326~363
- 9 王昌烈, 罗仕微, 胥友志, 孙一虹, 谢慈国, 张重铭, 徐文光, 任湘眉. 柿竹园钨多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1987, 29~48
- 10 王书凤, 张绮玲. 柿竹园矿床地质引论. 北京: 北京科学技术出版社, 1988, 30~45
- 11 吴澄宇, 白鸽, 黄典豪. 南岭富重稀土花岗岩类的特征和意义. 中国地质科学院院报, 1992, (总25): 43~58
- 12 吴永乐, 梅勇文, 刘鹏程, 蔡常良, 卢同衍. 西华山钨矿地质. 北京: 地质出版社, 1987, 45~121
- 13 徐克勤, 孙肅, 王德滋, 刘昌实, 陈克荣. 华南两类不同成因花岗岩岩石学特征. 岩矿测试, 1982, 1 (2): 1~12
- 14 张理刚. 湖南东坡地区花岗岩和钨多金属矿床稳定同位素地球化学. 桂林地质学院学报, 1989, 9: 259~267
- 15 章振根. 3B花岗岩——一种与锡有关的花岗岩. 地质地球化学, 1983, (4): 58~59
- 16 赵永鑫. 就柿竹园钨多金属矿床与岩体的关系试论千里山花岗岩的成矿机制. 地球科学, 1988, 13 (2): 155~162
- 17 赵子杰, 袁忠信. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1989, 226~248
- 18 熊鹏飞. 湖南柿竹园钨、锡多金属矿床. 见: 陈毓川, 裴荣富等编著. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1989, 101~113
- 19 Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types. Pacific Geol., 1974, 8: 173~174
- 20 Greenland L P. An equation for trace element distribution during magmatic crystallization. Amer. Min.

① 毛景文、李红艳、裴荣富, 1994, 湖南千里山花岗岩体的Sr-Nd同位素及岩石成因讨论

- 1977, 55:455~463
- 21 Groves D I, McCarthy T S. Fractional crystallization and the origin of tin deposits in granitoids. *Mineral Deposita*, 1978, 13:11~22
- 22 Higgins N C, Solomon M, Varne R. The genesis of the Blue Tier batholith, northeastern Tasmania, Australia. *Lithos*, 1985, 18:129~149
- 23 Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 1977, 27:293~305
- 24 Kovalenko V I, Antipin V S, Petrov L L. Distribution coefficients of beryllium in ongonites and some notes on its behaviour in the rare metal lithium-fluorine-granites. *Geochem. Int.*, 1977, 14:129
- 25 Kovalenko V I, Kovalenko N I. Problems of the origin, ore-bearing and evolution of rare-metal granitoids. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1984, 35:51~62
- 26 Lehmann B. Tin granites, geological heritage, magmatic differentiation. *Geol. Resch.* 1987, 76:177~185
- 27 Lehmann B. *Metallogeny of Tin*. Springer-Verlag, 1990, 19~84
- 28 Manning D. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 kbar. *Contrib. Petro.*, 1981, 76:206
- 29 Pei Rongfu, Mao Jingwen. On petromineralogical models of tin-tungsten granites in South China. Abstracts of Volumes 2, 28th International Geological Congress, 1989, 589~590
- 30 Pichavant M, Manning D. Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites; the contribution of experimental data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1984, 35:1~50
- 31 Pollard P J, Pichavant M, Charoy B. Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tin systems. *Mineral Deposita*, 1987, 22:315~321
- 32 Shaw D M. Trace element fractionation during anatexis. *Earth. Sci. Rev.*, 1970, 12:1~33
- 33 Wang Changlie, Xu Youzhi, Xie Ciguo, Xu Wenguang. The geological characteristics of Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi deposit. In: J. V. Hepworth and Yu Hongzhang, eds. *Symposium on Tungsten Geology, Jiangxi, China*, Geological Publishing House, Beijing, China. 1982, 413~426
- 34 Wu Chengyu, Huang Dianhao, Yuan Zhongxin, Bai Ge, Nakajima T, Ishihara S. Trace element geochemistry and genetic implications for highly evolved granitic rocks from South China. *Resource Geology, Special Issue*, 1993, (16):9~24
- 35 Yang Chaoqun. Mineralization of the composite greisen-stockwork-skarn type W (scheelite and wolframite) Bi-Mo deposit of Shizhuyuan, Dongpo, Southern Hunan, China. In: J. V. Hepworth and Yu Hongzhang, eds. *Symposium on Tungsten Geology, Jiangxi, China*. Geological Publishing House, Beijing, China, 1982, 503~520

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE QIANLISHAN GRANITE STOCK AND ITS RELATIONSHIP TO POLYMETALLIC TUNGSTEN MINERALIZATION

Mao Jingwen, Li Hongyan and Pei Rongfu

*(Research Center for Mineral Resources, Chinese Academy of
Geological Sciences, Beijing 100037)*

L Raimbault

(Center d'Informatique Géologique, Ecole des Mines de Paris)

B Guy

(Département de Géologie, Ecole des Mines de Saint-Etienne)

Key words: granite, geochemistry, polymetallic tungsten deposit, Shizhuyuan

Abstract

The Qianlishan granite stock is composed of pseudoporphyratic biotite granite, equigranular biotite granite and granite porphyry dikes. Rock-forming minerals of the three phases of granitic rocks are K-feldspar, albite oligoclase, quartz and biotite. Petrochemical data show that these granitoids belong to peraluminous granite series with their differentiation indices (D. I.) being all higher than 92, and the distributional patterns of their trace elements being similar. However, pseudoporphyratic biotite granite and equigranular biotite granite are somewhat different from granite porphyry in accessory minerals, the first two sorts of granitoids containing mainly zircon, monazite, allanite, apatite, zircon, rutile and monazite. In addition, there are no obvious petrochemical evolutionary relations between the first two and the last one. From pseudoporphyratic biotite granite to equigranular biotite granite, the differentiation degree of the granitic magma gradually gets higher so that the basic elements and Zr/Hf and La/Yb ratios decrease, Eu depletion becomes stronger, and acid incompatible elements, volatile components, ore-forming elements, and Rb/Sr and U/Th ratios increase. These two phases of granitic rocks are both associated with polymetallic tungsten mineralization. The granite porphyry is lower than the first two granitic rocks in differentiation degree and so are its Rb/Sr and U/Th ratios. Besides, its Zr/Hf and La/Yb ratios are higher, and Eu depletion is weaker. The granite porphyry is frequently associated with lead, zinc and silver mineralization. Therefore, we hold that the two groups of granitic rocks, though derived from the crust, are from different sources.

The Qianlishan granite stock is highly enriched in F, Li, Rb, Be and Ga, and is a characteristic BELIF ore-forming rock body. Furthermore, due to the enrichment in radioactive elements such as uranium and thorium, these granitoids in the Qianlishan granite stock are considered to be typical high heat production (HHP) granites.