

广西花山花岗岩体地球化学特征及产铀潜力分析

张雪峰, 刘晓东, 刘剑钊

(东华理工大学, 江西抚州 344000)

[摘要] 广西花山花岗岩体为燕山期形成的中粗粒黑云母花岗岩。通过其主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征的研究表明: 花山岩体具有富碱、高钾、低磷、高铁镁比值, 富含 U、Th、Pb、Nb、Ta 等高场强元素(HFSE)和 Rb、K 等大离子亲石元素(LILE), 明显的 Ti、Sr、P、Ba 负异常等特征。稀土配分模式为右倾的轻稀土富集型, 具明显的 Eu 负异常, LREE 分异显著, 而 HREE 分异不强。岩石地球化学特征初步表明其为壳幔混合来源的 A 型花岗岩。花山岩体为富铀岩体, 平均 $U = 18.34 \times 10^{-6}$, 具有和华南产铀花岗岩一致的特征岩石地球化学组分, 存在广泛的蚀变和矿化, 表现出了比较好的产铀潜力。

[关键词] 花山 花岗岩 地球化学 铀

[中图分类号] P581+P595

[文献标识码] A

[文章编号] 0495-5331(2011)06-1051-8

Zhang Xue-feng, Liu Xiao-dong. Geochemical characteristics of the Huashan granites in Guangxi Province and their uranium-bearing potential[J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(6): 1051-1058.

南岭花岗岩带是我国花岗岩型铀矿床的主要产区, 长期以来都是铀矿地质工作的重点。广西花山岩体位于南岭西段, 因其富含锡、钨、铋、钽和稀土等稀有金属而受到地质界的关注。前人已从岩石成因、地质年代、岩石谱系划分和地球化学成因等各个方面对该区花岗岩进行了大量的研究工作(朱金初等, 1989; 冯佐海等, 2002; 顾晟彦等, 2006)。然而, 花山岩体作为我国第一块铀矿石标本的发现地(余达淦等, 2005), 对其产铀潜力的研究却很少。本文在前人研究的基础上, 着重从花山岩体的岩石地球化学特征入手, 结合其热液蚀变和铀矿化情况来初步探讨其产铀潜力。

1 区域地质背景

花山岩体位于广西东北部恭城县与钟山县交界部位, 主体呈岩基产出, 平面上近圆形, 出露面积约 600 km²。岩体所在区域为中间高、四周低的低山地貌, 海拔 500 ~ 1200 m (图 1)。

花山岩体属于南岭山系西段, 大地构造位置处在湘桂海西-印支拗陷区与粤北-东江海西-燕山复朱金初等, 2006), 岩性为细粒黑云母花岗岩, 呈岩枝、

合拗陷区交汇部位(顾晟彦等, 2006)。经历了前泥盆纪裂谷海槽演化、泥盆纪-三叠纪中期大陆形成、晚三叠世-新生代陆缘活动等三大发展阶段^①。NE 向的宁远-江华-平南深断裂带和南岭 EW 向两大深断裂带在此交汇(朱金初等, 2006)。

花山岩体侵位于 SN 向都庞岭复背斜与 EW 向贺县-钟山向斜的接洽部位, 广泛产生了大理岩化、矽卡岩化和角岩化等热接触变质、交代作用。接触带出露地层: 北部主要为寒武系变质砂岩、奥陶系砂页岩和泥盆系石英砂岩, 南部主要为泥盆系灰岩和砂岩^①。

花山岩体为同期多阶段复式岩体, 根据其形成时代和岩性区别可划分为以下三部分: 燕山早期第一次侵入的牛庙岩体和同安岩体(160 ~ 163 Ma, 朱金初等, 2005), 岩性分别为石英二长闪长岩和石英二长岩, 位于主体的东南部和西部, 出露总面积约 8 km²; 燕山早期第二次侵入的花山主体(160 ~ 163 Ma, 朱金初等, 2006), 岩性为中粗粒黑云母花岗岩, 出露面积约 560 km²; 由花山主体岩浆结晶分异演化而成的晚阶段美华岩体和银屏岩体(148 ~ 151 Ma, 岩脉侵位于花山主体之中, 出露面积很小(图 1)。

[收稿日期] 2011-04-02; [修订日期] 2011-07-06; [责任编辑] 郝情情。

[第一作者] 张雪峰(1986年-), 男, 2009年毕业于中国矿业大学, 获学士学位, 现为东华理工大学在读硕士研究生, 主要从事铀矿地质方面的学习与研究。E-mail: zxfkxx@163.com。

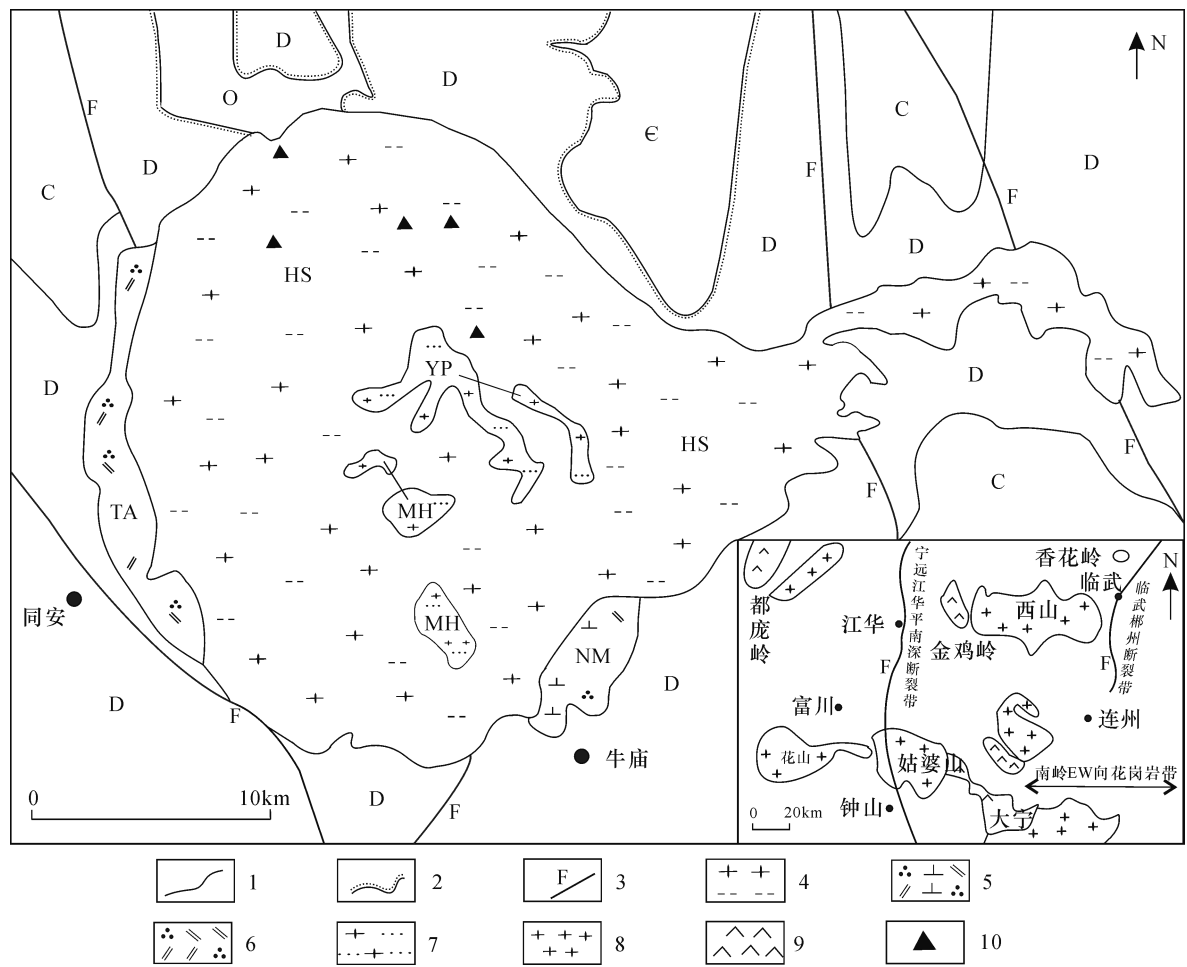


图 1 花山岩体地质简图(据冯佐海等(2009)资料改编)

Fig.1 Simplified geological map of the Huashan granite(modified from Feng et al. , 2009)

1-地质界线;2-角度不整合地质界线;3-性质不明断层;4-燕山早期黑云花岗岩;5-燕山早期石英二长闪长岩;6-燕山早期石英二长岩;7-燕山早期细粒花岗岩;8-中生代花岗岩;9-古生代花岗岩;10-采样位置;E-寒武系变质砂岩;O-奥陶系砂页岩;D-泥盆系灰岩、砂岩;C-石炭系灰岩;NM-牛庙岩体(160~163 Ma);TA-同安岩体(160~163 Ma);HS-花山主体(160~163 Ma);MH-美华岩体(148~151 Ma);YP-银屏岩体(148~151 Ma)

1-geological boundary;2-unconformity;3-fault;4-earlyYanshanian biotite granite;5-earlyYanshanian diorite;6-earlyYanshanian quartz monzonite;7-earlyYanshanian fine-grained granite;8-Mesozoic granite;9-Paleozoic granite;10-sample localities;E-Cambrian metamorphic sandstone;O-Ordovician sandstone-shale;D-Devonian limestone-sandstone;C-Carboniferous limestone;NM-Niumiao rock body(160~163 Ma);TA-Tong'an rock body(160~163 Ma);HS-Huashan rock body(160~163 Ma);MH-Meihua rock body(148~151 Ma);YP-Yinping rock body(148~151 Ma)

本文研究对象为花山岩体的主体部分,即花山花岗岩体。由外向内,花山花岗岩体大致可分为两个相带(朱金初,1989):边缘相为角闪黑云母花岗岩,以含角闪石为特征;过渡相为黑云母花岗岩,以出现少量白云母和角闪石极少见为特征。黑云母花岗岩呈灰白色或浅肉红色,斑状结构,块状构造,斑晶主要为钾长石、斜长石,约占60%,石英一般呈它形粒状,约占30%,黑云母呈鳞片状或星散状,约占5%。

2 样品采集与分析结果

通过野外踏勘,笔者在花山花岗岩体各施工剖

面、勘查探槽和钻孔岩心内共计取样24件,其中新鲜岩样7件,蚀变岩样14件,脉岩样3件,取样位置见图1。样品的主量元素和微量元素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,其中主量元素测试依据GB/T14506,采用X射线荧光光谱法,仪器为飞利浦PW2404X射线荧光光谱仪;微量元素测试依据DZ/T0223-2001,采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法,仪器为Finnigan MAT制造HR-ICP-MS(Element I)。其中,新鲜岩样部分的测试结果见表1。

表 1 花山花岗岩体主量元素(%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$)测试结果

Table 1 Major(%) and trace($\times 10^{-6}$) element compositions of the Huashan granite

岩性	黑云母花岗岩				角闪石黑云母花岗岩		
样号	H1	H3	H15	H19	H22	H23	H24
SiO ₂	74.72	73.99	70.56	76.57	74.35	72.57	69.87
TiO ₂	0.24	0.23	0.47	0.22	0.23	0.29	0.55
Al ₂ O ₃	12.11	12.85	12.61	10.92	11.26	11.95	12.36
FeO	1.70	2.05	2.90	2.25	2.95	2.55	3.15
Fe ₂ O ₃	1.49	0.62	1.55	1.24	0.97	1.07	1.67
MnO	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06
MgO	0.34	0.44	0.61	0.29	0.28	0.25	0.69
CaO	0.62	0.55	1.81	0.50	0.98	1.33	1.92
Na ₂ O	3.11	3.13	3.26	2.74	3.15	3.10	3.21
K ₂ O	5.02	5.21	5.59	4.04	4.94	6.11	5.54
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.14	0.11	0.12	0.06	0.15
TiO ₂	0.24	0.23	0.27	0.22	0.23	0.29	0.55
LOI	0.40	0.68	0.34	0.98	0.66	0.59	0.70
Total	99.94	99.93	99.96	99.90	99.94	99.91	99.87
A. R.	4.53	4.30	4.14	3.92	4.90	5.53	4.16
A/CNK	1.04	1.09	0.86	1.12	0.92	0.85	0.84
TFeO/MgO	8.94	5.93	7.04	11.61	13.65	14.05	6.74
Rb	422.00	442.00	285.00	400.00	426.00	354.00	302.00
Sr	56.30	65.70	163.00	53.20	60.20	121.00	169.00
Ba	199.00	312.00	773.00	176.00	217.00	469.00	591.00
Th	41.50	38.10	43.00	49.80	48.70	71.20	52.90
U	16.30	17.50	12.90	23.30	26.30	20.00	15.50
Nb	28.20	25.90	27.80	34.80	31.80	38.10	31.10
Ta	4.28	4.45	2.32	6.68	5.22	3.09	2.73
Zr	194.00	146.00	199.00	238.00	211.00	276.00	239.00
Hf	6.11	4.89	5.82	9.33	7.69	8.40	6.63
Ni	2.31	2.39	3.00	2.60	5.13	2.33	4.33
Li	93.30	119.00	54.40	95.10	131.00	52.20	57.40
Cs	27.60	32.90	14.10	24.70	31.80	22.20	15.90
Ga	20.70	20.10	20.10	19.50	20.00	22.90	22.20
Pb	64.00	58.10	42.70	41.20	48.70	30.40	31.00
W	16.10	10.00	5.66	7.33	19.30	3.72	6.35
La	50.90	46.50	76.30	45.40	59.30	96.00	83.90
Ce	95.20	87.70	137.00	90.40	111.00	171.00	147.00
Pr	10.70	9.73	14.60	10.80	12.60	19.70	16.50
Nd	35.90	33.20	56.90	39.30	44.10	67.00	60.60
Sm	6.63	6.12	9.02	8.30	8.24	11.60	9.72
Eu	0.55	0.62	1.38	0.48	0.53	1.11	1.43
Gd	6.05	5.23	8.08	7.33	7.12	10.10	8.74
Tb	1.17	0.98	1.40	1.43	1.32	1.83	1.51
Dy	6.21	4.99	7.41	7.80	6.68	9.71	8.65
Ho	1.19	0.90	1.38	1.48	1.17	1.84	1.58
Er	3.61	2.65	4.04	4.48	3.50	5.73	4.31
Tm	0.61	0.44	0.66	0.77	0.60	0.90	0.69
Yb	4.02	2.77	4.11	5.34	3.89	5.64	4.16
Lu	0.60	0.41	0.60	0.78	0.59	0.78	0.62
Y	34.00	26.20	39.50	45.90	35.40	51.50	43.40
Th/U	2.55	2.18	3.33	2.14	1.85	3.56	3.41
ΣREE	223.33	202.23	322.88	224.10	260.64	402.94	349.41
LREE/HREE	8.52	10.01	10.66	6.62	9.48	10.03	10.55
(La/Yb) _N	8.56	11.34	12.54	5.75	10.30	11.50	15.10

注: A. R. = (Al₂O₃ +CaO+Na₂O+K₂O) / (Al₂O₃ +CaO–Na₂O–K₂O) (wt%); ΣREE 不含 Y; LREE 为 La–Eu; HREE 为 Gd–Lu。

3 地球化学特征

3.1 主量元素

花山花岗岩体 SiO_2 含量较高 69.87% ~ 76.57% (质量百分含量,下同),平均 73.20% (几何平均,下同)。在 TAS 分类图上样品全部落入花岗岩区域,部分靠近石英二长岩(图 2)。 Na_2O = 2.74% ~ 3.26%, K_2O = 4.04% ~ 6.11%, 全碱(Alk)含量高,平均 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ = 8.27%, 平均 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ = 1.67, 显示出富 K 特征。在 SiO_2 - K_2O 图上,样品落入钾玄岩系列和高钾钙碱性岩系列(图 3)。岩体平均碱度率 $\text{AR} = 4.47$, 在 AR - SiO_2 图上(图略)属碱性系列。岩体 Al_2O_3 = 10.92% ~ 12.85%, 平均 $\text{A}/\text{CNK} = 0.95$, 属准铝质。平均 CaO (0.96%)、 MgO (0.39%)、 TiO_2 (0.30%)、 P_2O_5 (0.12%) 含量均很低。总铁含量平均 $\text{TFeO} = 3.55\%$, 铁镁比值较高 $\text{TFeO}/\text{MgO} = 5.93 \sim 14.05$ 。CIPW 标准矿物计算出出现极少量刚玉分子(0 ~ 1.37)和透辉石分子(0 ~ 4.95), 岩浆分异程度很高, 平均 $\text{DI} = 88.66$ 。总体看来,花山花岗岩体主量元素具有高硅、高钾、高铁镁比值、富碱、贫钙、低磷、准铝质的特征。

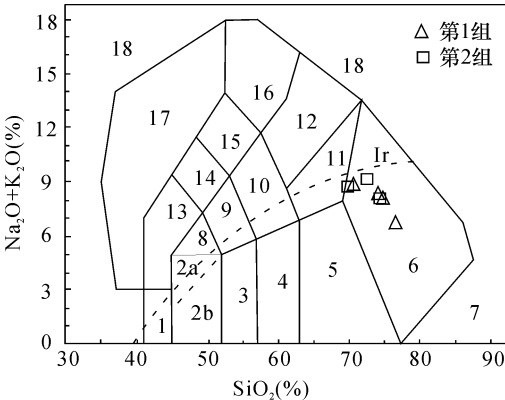


图 2 花山花岗岩体 TAS 分类图

Fig.2 TAS classification diagram of the Huashan granite
第 1 组-黑云母花岗岩;第 2 组-角闪石黑云母花岗岩;Ir-Irbvine 分界线上方为碱性,下方为亚碱性;5-花岗闪长岩;6-花岗岩;11-石英二长岩;其它参考 Middlemost, 1994
Group 1- biotite granite; Group 2- hornblende biotite granite ;Ir-Irbvine boundary, upon the boundary is alkaline, and bellows meta-alkaline. 5-granodiorites; 6-granite; 11-quartz monzonite; others refer to Middlemost, 1994

3.2 微量及稀土元素

在微量元素原始地幔标准化蛛网图上(图 4), 各个样品具有相似的配分结构, 表现为高场强元素 U、Th、Pb、Nb、Ta、Ce 和大离子亲石元素 Rb、K 的强

烈富集,而 Ti、Sr、P、Ba 负异常明显。

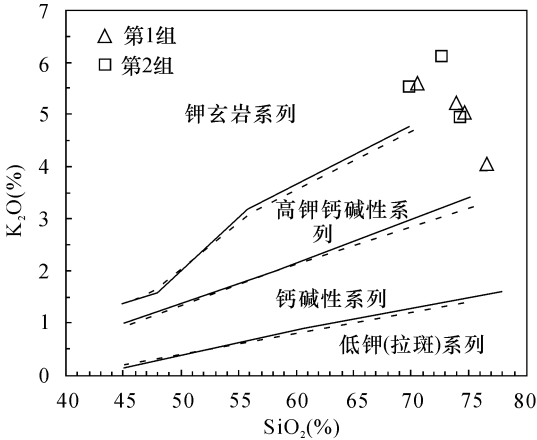


图 3 花山花岗岩体 SiO_2 - K_2O 分类图(实线据 Peccerillo 等,1976;虚线据 Middlemost,1985)
Fig.3 SiO_2 - K_2O classification diagram of the Huashan granite(solid lines after Peccerillo et al. ; dashed lines after middlemost)

图例同图 2

The legends are the same as in Fig. 2

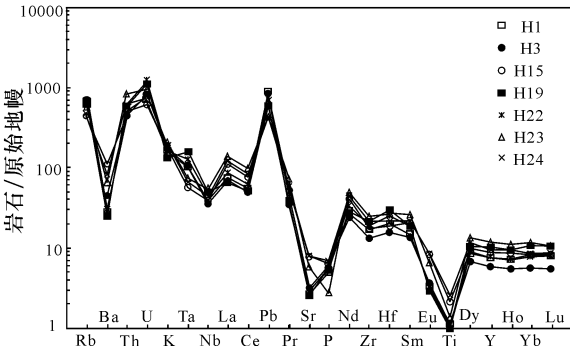


图 4 花山花岗岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔标准化据 McDonough 和 Sun,1989)

Fig.4 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the Huashan granite(primitive mantle-normalized standard value is after McDonough and Sun,1989)

H1 ~ H24-样品编号

H1 ~ H24- Sample number

从稀土元素球粒陨石标准化配分图可以看出(图 5),花山花岗岩体富含稀土元素, ΣREE (不含 Y) = $202.23 \times 10^{-6} \sim 402.94 \times 10^{-6}$, 平均 275.32×10^{-6} , 其中平均 LREE (La ~ Eu) = 248.33×10^{-6} , 平均 HREE (Gd ~ Lu) = 26.69×10^{-6} , 可见轻稀土含量明显高于重稀土, 平均 $\text{LREE}/\text{HREE} = 9.30$ 。稀土配分模式总体右倾, 分异明显, 平均 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 10.18$, 尤其是轻稀土分异十分显著, 而重稀土分异

不强。钕负异常明显,平均 $\delta\text{Eu}=0.31$ 。

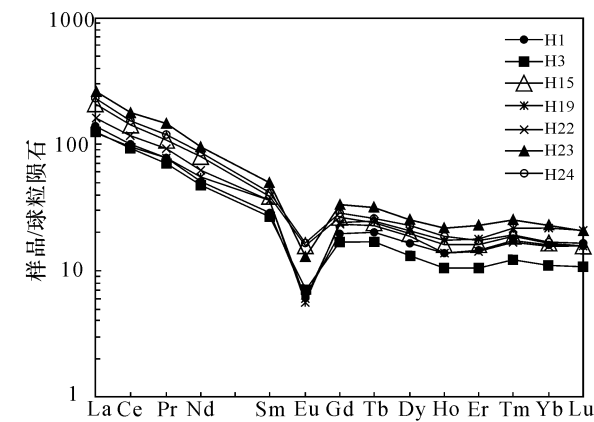


图 5 花山花岗岩体稀土元素配分图(球粒陨石标准化据 Taylor 和 McLennann,1985)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE diagrams of the Huashan granite(Chondrite-normalized REE standard after Taylor and McLennann,1985)

H1 ~ H24-样品编号

H1 ~ H24- Sample number

4 岩石成因类型

关于花岗岩成因类型的划分种类很多,但归纳起来主要分为 M 型、I 型、S 型和 A 型(路凤香等, 2005)。其中前三者根据其物质来源不同进行划分,而 A 型花岗岩的定义目前尚不够明了,但其总体特征为(吴锁平等,2007):高硅富碱贫钙低镁,高 TFeO/MgO ,富集 Ga、Nb、Zr、Ce、Y、REE 等高场强元素,而亏损 Ba、Sr、Eu、P、Ti,在常用判别图解中多数能落入 A 型花岗岩区。

经前文分析可知,花山花岗岩体的岩石地球化学特征正好与 A 型花岗岩相一致。另外,花山花岗岩体 $I_{\text{Sr}}=0.706 \sim 0.707$ (朱金初等,2006), $A/\text{CNK}=0.95$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.67$, $\text{Na}_2\text{O}=3.1$,明显不同于 S 型花岗岩($I_{\text{Sr}}>0.708$, $A/\text{CNK}>1.1$)、I 型花岗岩($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}<1$, $\text{Na}_2\text{O}>3.2$)及 M 型花岗岩($\text{Na}_2\text{O}>3.2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 很低, $I_{\text{Sr}}<0.705$) (路凤香等,2005)。

根据 Whalen 等(1987)提出的 $\text{FeO}/\text{MgO}-10000\text{Ga}/\text{Al}$ 和 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}-\text{Zr}+\text{Ni}+\text{Ce}+\text{Y}$ 岩浆岩成因类型判别图解(图 6,7),大部分样品落入 A 型花岗岩区域。

Eby(1992)将 A 型花岗岩进一步划分为 A1、A2 亚型:A1 亚型形成于板内裂谷、地幔柱或热点环境,以地幔来源为主,可能有部分地壳物质混染;A2 亚型形成于后碰撞或后造山环境,以地壳物源为主,亦

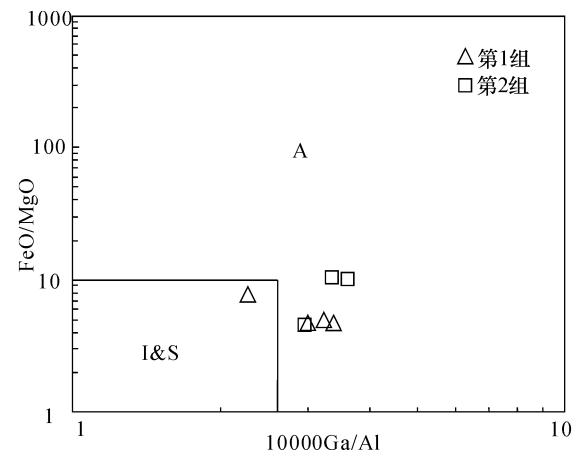


图 6 花山花岗岩体 $\text{FeO}/\text{MgO}-10000\text{Ga}/\text{Al}$ 岩浆岩成因类型判别图(据 Whalen 等,1987)

Fig. 6 $\text{FeO}/\text{MgO}-10000\text{Ga}/\text{Al}$ diagram for discriminating petrogenesis type of the Huashan granite(after Whalen *et al.* , 1987)

A、I 和 S 分别表示 A 型、I 型和 S 型花岗岩分布区域;其它图例同图 2

A, I and S represent distribution areas of A, I and S type granites; Other legends same as in Fig. 2

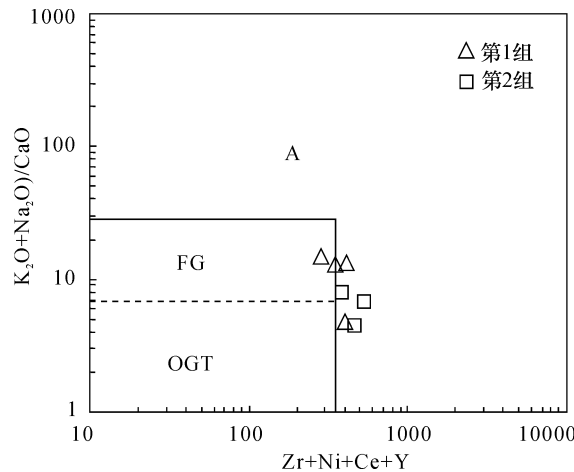


图 7 花山花岗岩体 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}-\text{Zr}+\text{Ni}+\text{Ce}+\text{Y}$ 岩浆岩成因类型判别图解(据 Whalen 等,1987)

Fig. 7 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}-\text{Zr}+\text{Ni}+\text{Ce}+\text{Y}$ diagram for discriminating petrogenesis type of the Huashan granite. (after Whalen *et al.* 1987)

FG 和 OGT 分别表示分异的和未分异的 M、I、S 型花岗岩分布区域;其它图例同图 2

FG and OGT represent differentiated and undifferentiated M, I and S type granites, respectively; Other legends same as in Fig. 2

可有部分地幔来源。在 Eby(1992)提出的 Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-3Ga 判别图解上(图 8),样品落在 A1 亚型和 A2 亚型的交界部位,一定程度上反映了花山花岗岩体壳、幔物质相当的混合物源特征。

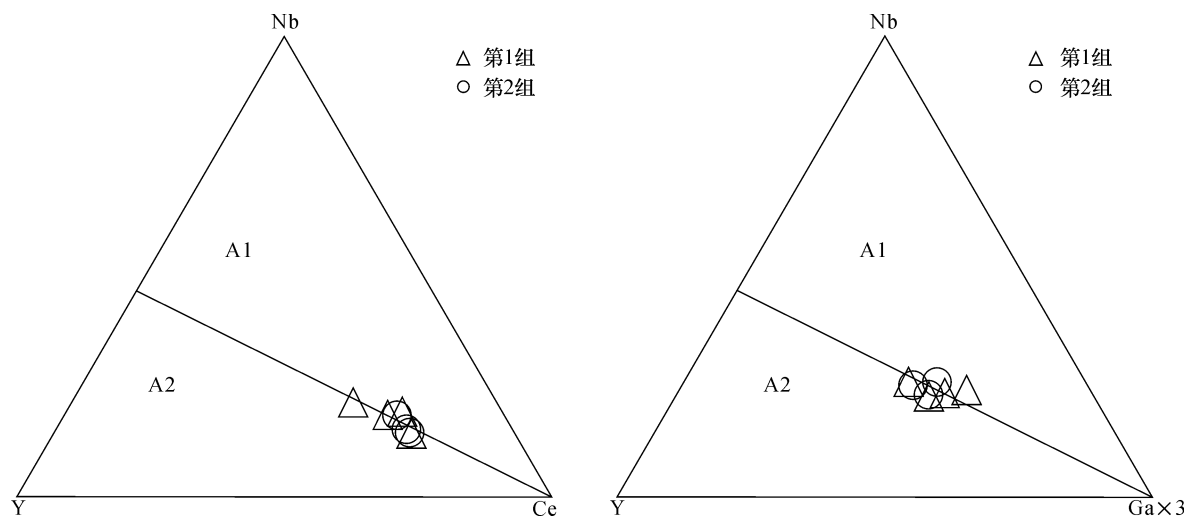


图 8 花山花岗岩体 Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-3Ga 图解 (据 Eby,1992)

Fig.8 Nb-Y-Ce and Nb-Y-3Ga diagrams of the Huashan granite(after Eby,1992)

A1 和 A2 分别表示 A1 亚型和 A2 亚型花岗岩分布区域;其它图例同图 2

A1 and A2 represent distribution areas of A1 type and A2 type granites;Other legends same as in Fig. 2

5 产铀潜力分析

华南地区是我国花岗岩型铀矿床的主要产区,矿床主要分布在赣粤后加里东隆起带和湘桂晚古生代凹陷带;前者对应于南岭东段,具有贵东、诸广山、桃山等著名产铀花岗岩体,是铀矿地质界研究的重点;后者对应于南岭西段,该带内的铀矿床分布甚为零散(余达淦等,2005)。花山岩体属于后者,对其铀成矿作用的研究很少。本文主要从岩石地球化学特征和蚀变矿化情况方面来初步分析花山岩体的产铀潜力。

(1) 花山岩体具有丰富的铀源基础。目前大量的研究表明(商朋强,2007):与花岗岩有关的铀矿床,其成矿物质主要来源于花岗岩本身。花山岩体为富铀岩体,平均 $U=18.34\times10^{-6}$,远高于一般花岗岩铀含量($3\times10^{-6}\sim4\times10^{-6}$,迟清华等,2007),岩性与大部分产铀岩体一样为黑云母花岗岩,其中的铀主要以晶质铀矿形式存在(杜乐天,2001),易于活化浸出。这说明花山岩体已经完成了铀的预富集,可以为后期铀的热液活化成矿作用提供丰富的铀源。

(2) 花山岩体具有产铀岩体的特征岩石地球化学组分。张祖还等(1991)对华南产铀花岗岩的研究表明:产铀岩体具有相似的岩石地球化学特征,即富铀、酸度大、碱质高、钾大于钠、铝过饱和、暗色组分少、轻稀土富集、钕负异常、钍铀比值低等。将花山岩体与华南产铀花岗岩对比(表 2),除铝饱和性和稀土总量有所不同之外,花山岩体十分符合产铀岩体的特征。这种特征的组分影响着花岗质熔体的

结构,有利于熔体中铀的分泌、迁移和富集(张祖还等,1991)。另外,根据前人提出的适合于我国产铀花岗岩的岩石地球化学评价参数(章邦桐,1990),计算得 $X=21.00>20$,也有利于铀成矿。

表 2 花山花岗岩体与华南产铀花岗岩特征岩石地球化学组分对比

Table 2 Comparison of geochemical composition between Huashan granite and uranium-bearing granite in South China					
特征组分	SiO ₂ (%)	Na ₂ O+K ₂ O(%)	K ₂ O/Na ₂ O	A/CNK	暗色组分(%)
产铀岩体	70~76	7.2~9.2	≈1.67	>1	<10
花山岩体	73.20	8.27	1.67	0.95	4.24
特征组分	U(×10 ⁻⁶)	Th/U	ΣREE(×10 ⁻⁶)	(La/Yb)N	δEu
产铀岩体	10~30	<3	低	2.6~22.2	0.4~0.5
花山岩体	18.34	2.64	275.32	10.18	0.31

注:暗色组分指 FeO+Fe₂O₃+MgO+TiO₂ 的总和。

(3) 花山岩体存在广泛的热液蚀变和铀矿化。热液蚀变的广泛发育是产铀岩体的重要标志,蚀变类型主要为碱交代和酸性蚀变两类,热液蚀变对于铀成矿具有以下有利作用(余达淦等,2005):① 能改变岩石的物理力学性质,使岩石孔隙度增加,强度降低,成为有利的成矿围岩;② 能改变岩石中铀的赋存状态,使活性铀增多;③ 能为铀富集提供有利的地化环境。

表 3 花山花岗岩体蚀变岩铀含量及铀增量
Table 3 U content and increment in altered Huashan grainte

蚀变岩	钾长石化花岗岩					赤铁矿化花岗岩		
样号	H2	H5	H6	H21	平均值	H7	H9	平均值
U 含量($\times 10^{-6}$)	23. 1	60. 2	217	31. 4	55. 48	30. 6	16. 9	22. 74
U 增量($\times 10^{-6}$)	4. 76	41. 86	198. 66	13. 06	37. 14	12. 26	-1. 44	4. 4
蚀变岩	硅化花岗岩					电气石化花岗岩		
样号	H10	H11	H13	H14	平均值	H4	H12	平均值
U 含量($\times 10^{-6}$)	38. 6	95. 6	196	158	103. 4	16. 5	13. 8	15. 09
U 增量($\times 10^{-6}$)	20. 26	77. 26	177. 66	139. 66	85. 04	-1. 84	-4. 54	-3. 25

注:U 增量=蚀变花岗岩铀含量-新鲜花岗岩铀含量;平均值为几何平均值。

野外观察和勘探资料表明^①:花山岩体具有大量铀矿化、铀异常点带,热液蚀变、脉体活动十分发育,已经发现部分次生铀矿体。地表矿化点常见钙铀云母、硅钙铀矿等次生铀矿物,蚀变类型以赤铁矿化、钾长石化、硅化、电气石化等为主;脉体活动有电气石石英脉、紫红色玉髓脉和细粒花岗岩脉等;铀矿化受热液蚀变、断裂构造和脉体活动控制明显,往往在蚀变叠加部位和断裂交汇部位更加发育。花山岩体广泛存在的热液蚀变对铀的富集起到了有利作用,蚀变岩的铀含量分析结果(表 3)印证了这一点:相对于新鲜花岗岩($U=18.34\times 10^{-6}$),钾长石化花岗岩、硅化花岗岩和赤铁矿化花岗岩的铀含量都明显增高,铀含量最高达到了 217×10^{-6} ;而电气石化花岗岩可能为岩浆演化晚期的高温气成产物,与铀富集作用关系不大,所以其铀含量反而有所降低。

目前,关于华南花岗岩型铀矿床的成因,一般认为:① 富铀岩体为铀矿床提供最主要的铀源;② 普遍存在的巨大矿岩时差表明,铀矿床主要为后期热液活化形成。花山岩体已经具有了良好的铀源基础,这样后期热液活化就成了影响其铀成矿的关键。花山岩体存在的广泛热液蚀变和铀矿化,表明了其铀成矿作用的存在,但是这种成矿作用的性质和强度尚不明了,可能是岩浆期后富铀热液直接成矿,而岩浆期后热液并不利于成矿(戚华文等,2000),这样的成矿规模将是很有限的。华南地区白垩纪-第三纪的地壳强烈拉张活动在华南花岗岩型铀矿床的后期活化成矿中起着重要作用(胡瑞忠等 2004),因此,进一步查明花山岩体是否存在基性脉岩之类 的后期拉张活动标志,可以为其后 期活化成矿作用的评价提供更多的依据。

6 结论

(1) 花山花岗岩体具有高钾、富碱、贫钙、低磷、

准铝质、高铁镁比值等特征;富含 U、Th、Pb、Nb、Ta、Ce 等高场强元素和 Rb、K 等大离子亲石元素,具有明显的 Ti、Sr、P、Ba 负异常;稀土总量高,配分模式为右倾的轻稀土富集型,具有明显的 Eu 负异常。这样的岩石地球化学特征初步表明其为壳幔混合来源的 A 型花岗岩。

(2) 花山花岗岩体具有产铀花岗岩的特征岩石地球化学组分,丰富的铀源基础,广泛的热液蚀变和铀矿化,表现出了比较好的产铀潜力。

[注释]

① 广西壮族自治区 310 核地质大队. 2010. 广西恭城县铀矿普查地质报告[R].

[References]

Chi qing-hua, Yan Ming-cai. 2007. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-10(in Chinese)

Du Le-tian. 2001. Hydrothermal uranium deposits in China's basic law and the general hydrothermal mineralization study[M]. Beijing: Atomic Energy Press: 18-30(in Chinese)

Feng Zuo-hai, Liang Jin-cheng, Zhang Gui-lin. 2002. On the lithodemic units of Mesozoic granitoid in east Guangxi[J]. Journal of Guilin institute of technology, 22(3): 333-340(in Chinese)

Feng Zuo-hai, Liang Jin-cheng, Wang Chun-zeng, Li Xiao-feng, Zhang Gui-lin, Shi Guo-dong. 2009. Mesozoic Guposhan-Huashan granitic batholith in western Nanling and strain characteristics of its thermal contact metaporphic country rocks[J]. Acta Geologica Sinica, 83(4): 528-541

Gu Sheng-yan, Hua Ren-min, Qi Hua-wen. 2006. Geochemistry and petrogenesis of the Yanshanian Huashan - Guposhan granites in Guangxi[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 25(2): 97-109(in Chinese with English abstract)

Hu Rui-zhong, Bi Xian-wu, Su Wen-chao, Peng Jian-tang, Li Chao-yang. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the cretaceous-terciary in South China[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 153-160(in Chinese with English abstract)

Lu Feng-xiang, Shang Long-kang. 2005. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House: 92-94(in Chinese)

Qi Hua-wen, Hu Rui-zhong. 2000. Comparison between uranium ore-forming fluids and magmatic fluids of granites, South China—a preliminary study[J]. Acta Mineralogica Sinica, 20(4):401–405 (in Chinese with English abstract)

Shang Peng-qiang, Hu Rui-zhong, Bi Xian-wu, Liu Lei, Zhang Guo-quan. 2007. Discussion of some problems on the hydrothermal uranium mineralization in South China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 26(3):290–294 (in Chinese with English abstract)

Wu Suo-ping, Wang Mei-ying, Qi Kai-jing. 2007. Present situation of researches on A-type granites: a review[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(1):57–66 (in Chinese with English abstract)

Yu Da-gan, Wu Ren-gui, Chen Pei-rong. 2005. Geology of uranium resources[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press:117–156 (in Chinese)

Zhu Jin-chu, Li Xiang-dong, Shen Wei-zhou. 1989. Sr, Nd and O isotope studies on the genesis of the Huashan granite complex[J]. Acta Geologica Sinica, 63(3):225–235 (in Chinese with English abstract)

Zhang Bang-tong. 1990. Endogenous uranium deposits and research methods[M]. Beijing: Atomic Energy Press:359 (in Chinese)

Zhang Zu-huan, Zhang Bang-tong. 1991. On the uranium-bearing granites and their related uranium deposits in South China[M]. Beijing: Atomic Energy Press:232–248 (in Chinese)

Zhu Jin-chu, Xie Cai-fu, Zhang Pei-hua, Yang Ce, Gu Sheng-yan. 2005. Niumiao and Tongan intrusive bodies of NE Guangxi; Petrology zircon SHRIMP U–Pb geochronology and geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3):665–676 (in Chinese with English abstract)

Zhu Jin-chu, Zhang Pei-hua, Xie Cai-fu, Zhang Hui, Yang Ce. 2006. Zircon U–Pb age frame work of Huashan–Guposhan intrusive belt, western part of Nanling Range, and its geological significance[M]. Acta Petrologica Sinica, 22(9):2270–2278 (in Chinese with English abstract)

Zhu Jin-chu, Zhang Pei-hua, Xie Cai-fu, Zhang Hui, Yang Ce. 2006. The Huashan–Guposhan A-type Granitoid Belt in the Western Part of the Nanling Mountains; Petrology, Geochemistry and Genetic Interpretations[J]. Acta Geologica Sinica, 80(4):529–542 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

迟清华, 鄢明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:

地质出版社:1–10

杜乐天. 2001. 中国热液铀矿床基本成矿规律和一般热液成矿学[M]. 北京:原子能出版社:18–30

冯佐海, 梁金城, 张桂林. 2002. 论广西东部中生代花岗岩类岩石谱系单位[J]. 桂林工学院学报, 2(3):333–340

冯佐海, 梁金城, 王春增, 李晓峰, 张桂林, 施国栋. 2009. 南岭中生代姑婆山–花山花岗岩基及其热接触变质围岩的应变特征和应变分析[J]. 地质学报, 83(4):528–541

顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 2006. 广西花山–姑婆山燕山期花岗岩的地球化学特征及成因研究[J]. 岩石矿物学杂志, 25(2):97–109

胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 彭建堂, 李朝阳. 2004. 华南白垩–第三纪地壳拉张与铀成矿的关系[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 11(1):153–160

路凤香, 桑隆康. 2005. 岩石学[M]. 北京:地质出版社:92–94

戚华文, 胡瑞忠. 2000. 华南花岗岩岩浆期后热液与铀成矿热液的初步对比[J]. 矿物学报, 20(4):401–405

商朋强, 胡瑞忠, 毕献武, 刘雷, 张国全. 2007. 华南热液铀矿成矿作用若干问题探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(3):290–294

吴锁平, 王梅英, 戚开静. 2007. A型花岗岩研究现状及其述评[J]. 矿物岩石学杂志, 26(1):57–66

余达淦, 吴仁贵, 陈培荣. 2005. 铀资源地质学[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社:117–156

朱金初, 李向东, 沈渭洲. 1989. 广西花山复式岩体成因的锶、钕和氧同位素研究[J]. 地质学报, 63(3):225–235

章邦桐. 1990. 内生铀矿床及其研究方法[M]. 北京:原子能出版社:359

张祖还, 章邦桐. 1991. 华南产铀花岗岩及有关铀矿床研究[M]. 北京:原子能出版社:232–248

朱金初, 谢才富, 张佩华, 杨策, 顾晟彦. 2005. 桂东北牛庙闪长岩和同安石英二长岩:岩石学、锆石 SHRIMP U–Pb 年代学和地球化学[J]. 岩石学报, 21(3):665–676

朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山–姑婆山侵入岩带锆石 U–Pb 年龄格架及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(9):2270–2278

朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山–姑婆山 A 型花岗岩杂岩带:岩石学、地球化学和岩石成因[J]. 地质学报, 80(4):529–542

Geochemical Characteristics of the Huashan Granites in Guangxi Province and Their Uranium-Bearing Potential

ZHANG Xue-feng, LIU Xiao-dong, LIU Jian-zhao
(East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi 344000)

Abstract: The Huashan granitoid body in Guangxi formed in the Yanshanian, petrographically as medium-coarse biotite granite. The research of major elements, trace elements and rare earth elements indicate that it is characterized by rich alkaline, high potassium, low phosphor, high TFeO/MgO and high contents of high field-strength elements (HFSE) such as U, Th, Pb, Nb, and Ta and evident negative anomalies of Ti, Sr, P and Ba. On the REE diagrams it shows apparently negative Eu anomalies, significant differentiation of LREE, and higher contents of LREE than HREE. The lithogeochemical characteristics of the Huashan granitoid body indicate it is the A-type granite. The Huashan granitoid body is rich in U with $U = 18.34 \times 10^{-6}$ on average, having similar lithogeochemical characteristics, hydrothermal alteration and U mineralization, displaying a good uranium-bearing potential.

Key words: Huashan, granite, geochemical, uranium