

# 南岭西段花山—姑婆山 A 型花岗质杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因

朱金初<sup>1)</sup>, 张佩华<sup>1)</sup>, 谢才富<sup>1,2)</sup>, 张辉<sup>3)</sup>, 杨策<sup>1)</sup>

1) 南京大学成矿作用国家重点实验室, 210093; 2) 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 443003  
3) 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002

**内容提要:** 花山—姑婆山花岗质杂岩带由同安、花山、牛庙、金子岭、乌羊山、里松和姑婆山等岩体所组成, 岩性为闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩和正长花岗岩等, 富含中基性暗色包体, 主要侵位时代为 160~163 Ma。岩带以富碱, 高钾, 富含 Rb、K、Ba、Pb 等大离子半径亲石元素(LILE)及富含 Th、U、REE、Y、Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素(HFSE)为主要特征。中酸性主岩和暗色包体的  $I_s$  值分别在 0.70501 ~ 0.70742 和 0.70473 ~ 0.70570 范围内,  $\epsilon_{Nd}(t)$  值分别在 -0.37 ~ -3.21 和 -0.47 ~ +1.94 范围内。这是一个以地幔物质略占优势的 A<sub>1</sub> 亚型花岗质杂岩带, 其源区物质可能主要是经过交代和富集的具有 OIB 型微量元素特征的岩石圈地幔和下地壳。在后造山阶段大陆地壳拉张减薄的构造环境下, 软流圈地幔沿超壳深断裂的上涌和底侵, 导致了强烈的壳幔相互作用, 源区物质不同程度、不同深度和多批次的熔融, 以及硅酸盐熔浆不同程度的分离结晶和地壳混染, 是形成岩带中不同类型中酸性岩浆岩的主要机制。

**关键词:** 南岭; 花山—姑婆山岩带; A 型花岗岩; 岩石学; 地球化学; 岩石成因

## 1 地质概况和研究现状

花山—姑婆山侵入岩带位于南岭山系的西段, 自西向东由同安、花山、牛庙、金子岭、乌羊山、里松和姑婆山等岩体所组成(图 1), 呈东西向排布于北纬 24°30' ~ 24°46' 和东经 110°56' ~ 111°47' 的范围内, 东西长约 84 km, 南北宽约 29 km, 总出露面积接近 1300 km<sup>2</sup>, 其东侧与在古生代侵位的桂岭岩体和大宁岩体相邻。

在大地构造位置上, 该岩带位于 NE 向的宁远—江华—平南深断裂带和南岭 EW 向两大深断裂带的交汇处, 前者控制了湘南新田—宁远—道县一带侏罗纪玄武岩的分布, 后者控制了南岭地区最醒目的一条东西向中生代花岗岩带(花山—姑婆山—禾洞—大东山—贵东岩带)的分布。在行政区上, 该岩带的绝大部分属于广西东北部的恭城、平乐、钟山、富川、贺州等县市, 小部分进入湖南省南部江华县境内。

由于本区盛产与花岗岩类密切相关的锡、钨、

铌、钽、稀土等稀有金属矿产资源, 长期以来, 一直受到地质人员的高度关注。广东省地质局南岭区域测量普查大队(1959)最早研究了花山—姑婆山岩带中主要的侵入岩体, 认为其中的牛庙岩体和同安岩体属印支期, 花山和姑婆山岩体属燕山早期。中国科学院地质研究所(1965)对花山和姑婆山岩体进行了较详细的矿物学和岩相学研究, 划分了边缘相、过渡相和中央相等相带。20 世纪 80 年代, 袁奎荣(1981)、龚安等(1985)、金跃群等(1985)、张德全等(1985)、朱金初等(1988, 1989)先后研究了该岩带中不同岩体的地质学、岩石学和地质年代学等问题。

上世纪末至本世纪初, 殷保安(1997)、广西地质矿产勘查开发局(1999)、冯祖海等(2002)对花山—姑婆山复式岩体进行了岩石谱系单位的划分。李献华等(1999)提出在广西东南部存在一条 NE 向的钾玄质侵入岩带, 牛庙和同安岩体被认为是该带的最北端成员。Li 等(2004)还测定了牛庙和同安岩体中角闪石的 Ar/Ar 年龄和岩石的 Sr、Nd 同位素组成, 提出包括牛庙和同安岩体在内的桂东南“正长岩

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40373014, 40132010 和 40073008)资助成果。

收稿日期: 2005-11-09; 改回日期: 2006-01-24; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 朱金初, 男, 1936 年生。南京大学地球科学系教授。通讯地址: 210093, 南京大学地球科学系; 电话: 025-83592206; Email: jczhugeo@public1.ppt.js.cn。

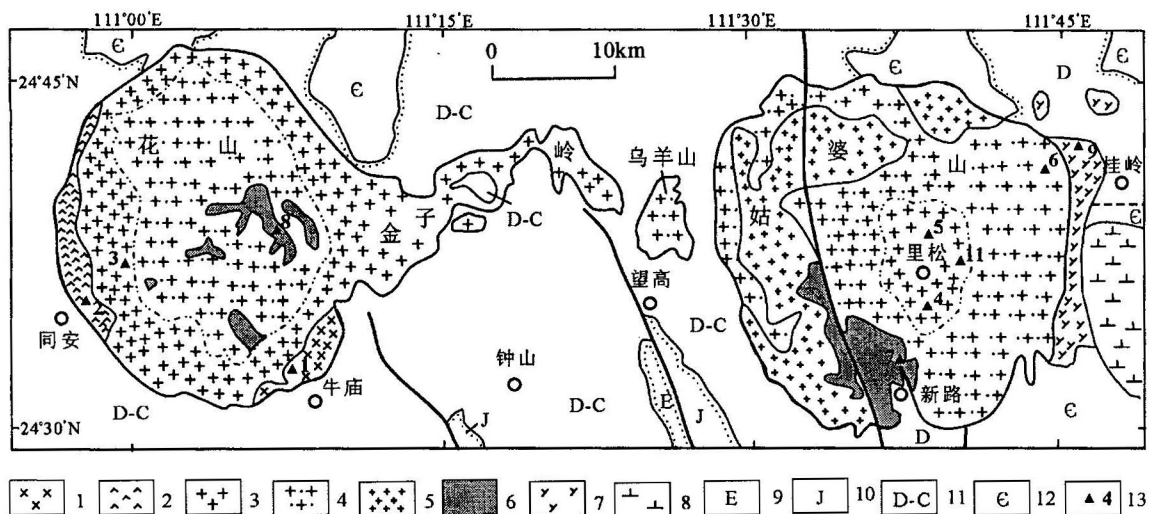


图1 花山—姑婆山侵入岩带地质简图和锆石年龄测定采样点位置图(据广西地质局, 1965; 中国科学院地质研究所, 1965; 朱金初等, 1988; 冯祖海等, 2002 和本文资料编制)

Fig. 1 Simplified geologic map of Huashan—Guposhan intrusive belt and zircon age dating sampling locations (compiled after Guangxi Bureau of Geology, 1965; Geological Institute, Chinese Academy of Science, 1965; Zhu Jinchu et al., 1988; Feng Zuhai et al., 2002 and materials of this paper)

1—牛庙岩体闪长岩; 2—同安岩体石英二长岩; 3—角闪黑云母二长花岗岩; 4—中粗粒(斑状)黑云母花岗岩; 5—中细粒斑状黑云母花岗岩; 6—细粒花岗岩; 7—桂岭岩体二长花岗岩; 8—大宁岩体花岗岩; 9—古近系; 10—侏罗系; 11—泥盆系—石炭系; 12—寒武系; 13—采样点位置和锆石样品序号

1—Niუმiao diorite; 2—Tong'an quartz monzonite; 3—hornblende-biotite monzonitic granite; 4—medium-coarse-grained and porphyritic biotite granite; 5—fine-medium-grained and porphyritic biotite granite; 6—fine-grained granite; 7—Guiling monzonitic granite; 8—Daning granitic diorite; 9—Paleogene; 10—Jurassic; 11—Devonian—Carboniferous; 12—Cambrian; 13—sample locations and serial numbers

带”,是在后造山大陆裂谷拉张环境下,由碱性玄武岩浆经分离结晶和地壳混染而形成。

近年来,笔者在花山—姑婆山岩带地区进行了较详细的野外地质调查和室内分析测试工作,其中包括 11 个锆石样品的 U-Pb 年龄测定,72 个全岩样品的常量元素和微量元素含量分析,8 个全岩样品的 Sr、Nd 同位素分析等。有关牛庙闪长岩和同安石英二长岩以及整个岩带的锆石 U-Pb 年龄格架,已有专文发表(朱金初等,2005, 2006),本文主要从岩石学和地球化学的角度,讨论整个岩带的成岩机制和相互关系。

## 2 侵位年龄

笔者在中国地质科学院北京离子探针中心、西北大学大陆动力学教育部重点实验室和宜昌地质矿产研究所同位素实验室分别用 SHRIMP 法、LA-ICP-MS 法和熔融法完成了 11 个锆石样品的 U-Pb 年龄测定。样品序号和采样点大致位置见图 1,其中样品序号为 10(大宁岩体)的采样点位置在图幅范

围以东。岩体名称、岩性、采样点位置和经纬度、年龄测定结果和分析方法等见表 1。

系统的锆石 U-Pb 年代学研究表明,该岩带中牛庙闪长岩、同安石英二长岩、里松花岗岩、里松暗色包体、花山主体花岗岩和姑婆山主体花岗岩的侵位结晶年龄局限在很窄的时间范围内(160~163 Ma),花山岩体和姑婆山岩体中晚阶段细粒花岗岩小岩体的结晶年龄为 148~151 Ma,详细资料见朱金初等(2006)。这些年龄数据为讨论该岩带中花岗岩质的时空和成因联系提供了重要基础。

## 3 岩石学

花山—姑婆山侵入岩带中各岩体的主要岩性已经在图 1 上标出,其中牛庙岩体主要为辉石闪长岩和角闪闪长岩,同安岩体主要为石英二长岩,含较多暗色包体。花山岩体的地形总体上是中间高周边低,边部相对低洼处以(斑状)角闪黑母二长花岗岩为主,中粗粒(斑状)黑云母花岗岩为次,中间部位 500~1200 m 标高的山区,主要由中粗粒(斑状)黑云母

表 1 花山—姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄测定结果表

Table 1 Analytical results of zircon U-Pb age dating for Huashan—Guposhan intrusive belt

序号	样品号	岩体名称	岩性	采样地点	经纬度	年龄(Ma)	(点数)MSWD	分析方法
1	NM42	牛庙	辉石闪长岩	西尾岭西坡	111°07'53"E, 24°32'52"N	163 ± 4	(8) 1.5	SHRIMP
2	TA302	同安	石英二长岩	同安大冲	110°57'30"E, 24°35'25"N	160 ± 4	(13) 1.9	SHRIMP
3	HS402	花山	黑云母花岗岩	花山西部	110°57'34"E, 24°36'53"N	162 ± 1	(7) 0.85	SHRIMP
4	GP47	里松	角闪黑云花岗岩	万家村东	111°38'21"E, 24°34'53"N	162 ± 3	(11) 1.9	SHRIMP
5	GP33	里松	暗色包体	香粉寨南	111°39'05"E, 24°38'11"N	162 ± 2	(11) 0.87S	HRIMP
6	GP61	姑婆山	黑云母花岗岩	石人洞电站	111°44'36"E, 24°40'51"N	163 ± 4	(12) 8.8	LA-ICP-MS
7	GP6	新路	细粒花岗岩	新里公路		151 ± 7	(6) 24	LA-ICP-MS
8	HS61	银屏	细粒花岗岩	银屏村南	111°07'03"E, 24°37'50"N	148 ± 4	(7) 18	LA-ICP-MS
9	GL-1	桂岭	二长花岗岩	桂岭河南	111°47'07"E, 24°41'11"N	368 ± 8	(6) 6.1	LA-ICP-MS
10	DN-4	大宁	花岗闪长岩	大宁西采场	111°52'22"E, 24°32'03"N	407 ± 5	(11) 3.4	LA-ICP-MS
11	GP22	里松	黑云母花岗岩	汤水村东	111°40'08"E, 24°37'06"N	161 ± 2		熔融法

花岗岩组成。金子岭岩体为花山岩体的东延部分,岩性为(斑状)角闪黑云二长花岗岩,乌羊山岩体主要由中粗粒黑云母花岗岩组成。姑婆山岩体以南北向的红花源—莲塘断裂为界,分成西体和东体两大部分,其中西体主要有 3 个岩石单元,即中粗粒(斑状)黑云母花岗岩、中细粒斑状黑云母花岗岩和晚阶段细粒花岗岩;东体主要有二个岩石单元,即中粒(斑状)角闪黑云二长花岗岩和中粗粒(斑状)黑云母花岗岩。姑婆山岩体的地形与花山岩体刚好相反,核部以里松镇为中心为一低洼盆地,为由中粒(斑状)角闪黑云二长花岗岩组成的里松岩体,内含大量闪长质暗色包体。里松岩体周边大多为标高 500~1500 m 的山区,主要为由中粗粒(斑状)黑云母花岗岩组成的姑婆山主体花岗岩。在花山岩体和姑婆山岩体范围内,还分布着多个大小不等的晚阶段细粒(有时为斑状)黑云母、电气石、白云母和二云母花岗岩小岩体,或称补充侵入体。如美华、银屏、白水带、新路等,它们往往与锡钨等矿化有关。

从讨论岩石成因的角度来说,本岩带出露的主要有 6 种岩石类型:① 牛庙闪长岩和同安石英二长岩;② 牛庙和同安岩体中的暗色包体;③ 里松角闪黑云二长花岗岩;④ 里松花岗岩中的暗色包体;⑤ 花山和姑婆山岩体中的主体花岗岩;⑥ 花山和姑婆山岩体中的细粒花岗岩。

为便于对比清晰和节省篇幅起见,本文在各种地球化学图解中,都按上述 6 类岩石进行数据点分类投影,部分曲线图只画了 6 个岩石类型的平均值。在岩石常量元素和微量元素的含量表中,也只列入了各岩体不同岩石类型的平均值(读者如欲了解更多的原始数据,可查阅本文第一作者已经发表的和即将发表的相关论文,或向本文第一作者用电子邮

件索取)。

## 4 地球化学

### 4.1 常量元素

全岩样品的常量元素和微量元素含量分析分别在南京大学现代分析中心 X 荧光实验室和成矿作用国家重点实验室等离子质谱实验室完成,表 2 列出了岩带中各岩体主要岩石类型的常量元素和微量元素含量及几个重要的常量元素和微量元素参数。

表 2 数据表明,牛庙和同安岩体以富碱、富钾和高铝为主要特征。二岩体中一些主要元素氧化物的平均含量(以%为单位,下同)分别为:SiO<sub>2</sub>, 60.78 和 64.60; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 14.47 和 14.95; K<sub>2</sub>O, 4.06 和 5.31; Na<sub>2</sub>O, 3.10 和 3.44; K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, 7.15 和 8.75; TiO<sub>2</sub>, 1.37 和 0.76; TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7.34 和 5.69; MgO, 2.98 和 1.21; CaO, 4.96 和 2.81。对于这种 SiO<sub>2</sub> 含量在 60%~65% 的岩石来说,显然是富钾的,属典型的富钾系列或钾玄岩系列岩石。二岩体一些重要的常量元素比值参数分别为:K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.31 和 1.54; NK/A(碱铝比值)=0.66 和 0.76; A/CNK(铝饱和系数)=0.78 和 0.90; FeO\*/MgO=2.22 和 4.22; 镁系数[Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>), 原子数比值]=45 和 30。

牛庙和同安岩体中含有大量暗色包体,其总体化学成分比寄主岩石更偏基性,从辉长质、辉长闪长质到闪长质均有发现。暗色包体常量元素氧化物的总体平均值为:SiO<sub>2</sub>, 53.22%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 15.16%; TiO<sub>2</sub>, 2.11%; TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10.59%; MgO, 3.98%; CaO, 6.47%; K<sub>2</sub>O, 3.72%; Na<sub>2</sub>O, 3.32%。

花山和姑婆山主体花岗岩都具有超酸性、高钾、富碱、贫钙和较高铁镁比等特征,其主要常量元素的

表2 花山—姑婆山岩带主要岩石类型常量元素(%)和微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )平均值Table 2 Average major (%) and trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) contents for main rock types of Huashan—Guposhan intrusive belt

岩体	牛庙		同安		花山			里松		姑婆山	
岩性	闪长岩	暗色包体	石英二长岩	暗色包体	角闪黑云花岗岩	黑云母花岗岩	细粒花岗岩	二长花岗岩	暗色包体	黑云母花岗岩	细粒花岗岩
样品数	10	5	5	2	6	13	6	6	9	5	5
SiO <sub>2</sub>	60.78	53.22	64.60	53.24	72.09	73.52	76.25	69.36	59.05	74.38	76.78
TiO <sub>2</sub>	1.37	2.01	0.76	2.37	0.28	0.25	0.06	0.40	1.26	0.20	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.47	14.96	14.95	15.64	13.87	13.18	12.84	14.16	15.72	12.93	12.27
TF <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.34	10.72	5.69	10.28	1.58	2.09	0.91	3.24	8.17	2.17	1.19
MnO	0.12	0.15	0.11	0.17	0.04	0.05	0.04	0.06	0.15	0.04	0.03
MgO	2.98	4.26	1.21	3.30	0.32	0.28	0.09	0.55	1.81	0.22	0.08
CaO	4.96	6.54	2.81	6.28	1.38	1.24	0.49	1.81	3.52	1.01	0.79
Na <sub>2</sub> O	3.10	3.12	3.44	3.80	3.24	3.21	3.46	3.58	4.08	3.22	3.32
K <sub>2</sub> O	4.06	3.92	5.31	3.23	5.79	5.39	4.83	5.32	4.43	5.20	4.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.44	0.22	0.46	0.09	0.06	0.03	0.14	0.39	0.05	0.01
SO <sub>3</sub>	0.20	0.25	0.21	0.31	0.13	0.06	0.04	0.12	0.13	0.00	0.02
烧失	0.63	0.38	0.64	0.43	0.35	0.54	0.49	0.86	1.06	0.63	0.75
总和	100.29	99.95	99.95	99.50	98.85	99.73	99.23	99.57	99.79	100.06	100.27
A/CNK	0.78	0.70	0.90	0.74	0.98	0.99	1.10	0.95	0.88	1.01	1.00
NK/A	0.66	0.63	0.76	0.62	0.84	0.84	0.85	0.82	0.73	0.84	0.88
A. R.	2.17	1.97	2.94	1.94	3.91	4.00	4.32	3.51	2.59	4.05	4.44
Mg <sup>#</sup>	44.57	43.47	29.70	38.84	29.82	21.65	15.14	25.02	30.53	16.75	11.46
Li	40.2	37.7	45.4	50.1	49.6	73.2	45.8	51.9	107.1	64.0	38.7
Be	3.59	3.69	4.69	3.17	4.43	6.57	10.67	6.90	7.06	5.82	11.75
Sc	11.78	14.36	5.80	11.31	4.26	3.98	1.88	4.21	7.83	3.31	3.31
Ti	8573	11416	5278	13400	1462	1735	365	2489	6158	1258	453
V	158.6	221.9	50.1	207.4	11.2	17.9	2.2	22.5	77.8	9.1	4.3
Cr	130.1	347.6	27.0	98.3	22.6	12.7	53.6	40.8	42.8	33.0	6.8
Co	24.2	34.8	9.3	29.0	15.6	7.1	10.7	14.1	13.2	17.2	4.4
Ga	21.1	22.8	19.9	21.4	19.7	20.6	18.8	21.9	24.4	23.7	21.7
Rb	215	220	307	213	326	382	516	317	347	366	467
Sr	436	501	273	490	115	123	15	183	299	68	24
Y	30.5	32.1	32.7	32.4	34.6	39.4	67.4	43.4	41.3	62.1	91.9
Nb	43.9	42.7	45.6	47.8	29.9	36.2	41.5	37.1	56.2	45.1	41.3
Zr	313	242	364	289	297	273	107	280	354	203	106
Sn	7.6	6.2	6.9	3.9	8.0	11.5	14.7	7.4	9.6	5.4	11.6
Cs	17.5	12.6	23.1	12.7	19.4	26.3	40.9	14.7	21.3	12.1	14.8
Ba	732	859	880	514	385	468	23	606	715	286	49
Hf	8.01	5.96	7.65	6.27	7.50	7.49	4.93	7.02	8.60	6.61	3.97
Ta	4.00	3.55	3.05	3.48	2.56	3.63	6.85	3.93	4.32	4.28	7.07
Pb	25.9	23.9	29.5	20.4	35.3	27.4	41.6	30.7	26.7	29.7	35.0
Th	35.1	18.1	42.2	22.8	56.1	52.3	32.8	36.5	20.4	52.4	43.2
U	11.7	6.7	12.2	13.3	13.5	18.8	34.6	13.4	8.3	13.7	19.2
La	68.9	60.3	74.3	62.4	95.5	73.0	19.1	56.3	51.4	72.4	30.3
Ce	132.6	120.0	145.6	123.1	185.5	132.4	39.4	110.1	101.6	143.1	70.4
Pr	14.7	14.3	14.7	13.7	18.6	14.7	5.7	11.8	12.1	16.3	8.9
Nd	50.9	52.0	54.0	50.7	62.6	51.0	23.1	43.2	47.2	58.4	35.6
Sm	9.21	9.50	9.38	9.17	10.13	8.90	6.58	8.36	9.36	11.82	10.55
Eu	2.06	2.22	1.79	2.19	1.06	0.96	0.22	1.13	1.81	0.71	0.24
Gd	8.65	8.97	8.25	8.84	8.80	7.97	7.51	8.03	8.69	11.39	12.00
Tb	1.09	1.13	1.19	1.12	1.17	1.15	1.42	1.25	1.28	1.89	2.16
Dy	6.44	6.79	6.51	6.66	7.06	7.13	10.32	7.95	7.93	11.79	15.58
Ho	1.34	1.28	1.46	1.32	1.39	1.48	2.43	1.69	1.66	2.41	3.46
Er	3.58	3.53	3.47	3.55	3.81	4.27	7.38	4.75	4.65	6.94	9.94
Tm	0.50	0.51	0.50	0.49	0.52	0.64	1.22	0.73	0.70	1.02	1.56
Yb	3.17	3.08	3.10	3.00	3.28	4.23	8.32	4.71	4.57	6.45	10.37
Lu	0.47	0.44	0.43	0.43	0.45	0.61	1.24	0.68	0.68	0.91	1.42

续表 2

岩体	牛庙		同安		花山			里松		姑婆山	
岩性	闪长岩	暗色包体	石英二长岩	暗色包体	角闪黑云花岗岩	黑云母花岗岩	细粒花岗岩	二长花岗岩	暗色包体	黑云母花岗岩	细粒花岗岩
样品数	10	5	5	2	6	13	6	6	9	5	5
Nb/La	0.64	0.71	0.61	0.77	0.32	0.52	2.67	0.66	1.09	0.62	1.36
Y/Nb	0.70	0.75	0.72	0.68	1.16	1.16	1.64	1.17	0.73	1.38	2.22
(La/Yb) <sub>n</sub>	15.58	14.06	17.18	14.94	21.48	12.63	1.75	8.59	8.08	8.06	2.10
δEu	0.69	0.72	0.61	0.73	0.35	0.35	0.09	0.42	0.60	0.18	0.06

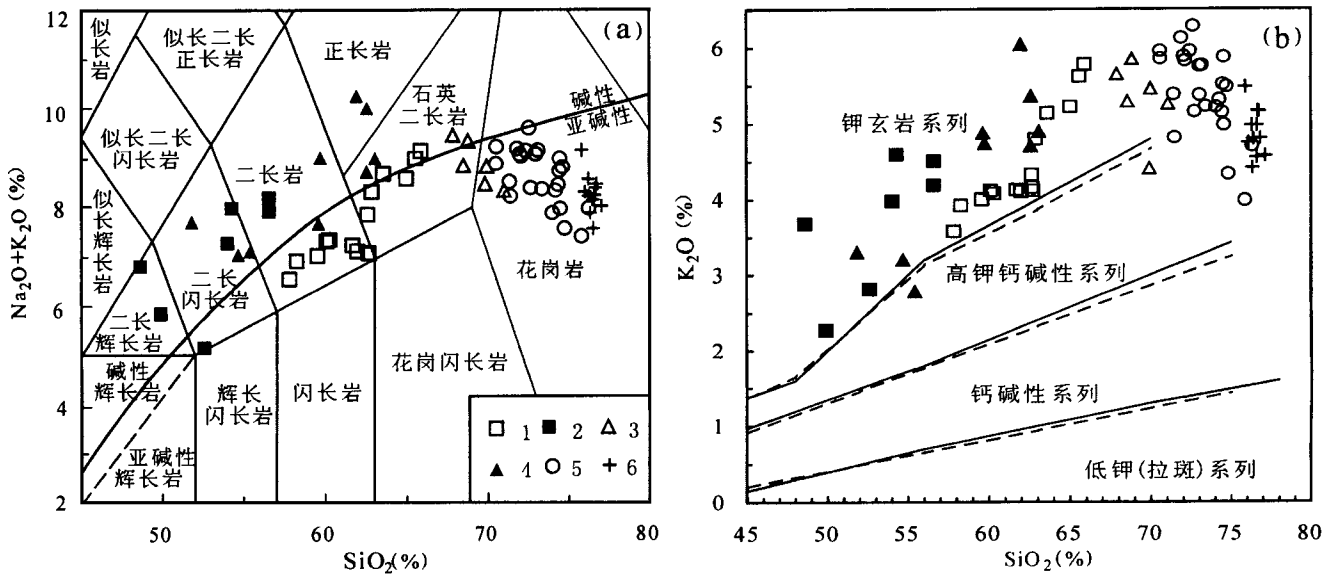


图 2 花山—姑婆山岩带主要岩石类型的 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub>(a) 和 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>(b) 图解

Fig. 2 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub>(a) and K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>(b) diagrams for Huashan—Guposhan intrusive belt

(a)—岩石分类据 Middlemost, 1994, 系列界线据 Irvine 等, 1971; (b)—实线据 Peccerillo 等, 1976; 虚线据 Middlemost, 1985; 1—牛庙和同安主岩体; 2—牛庙和同安包体; 3—里松花岗岩体; 4—里松包体; 5—花山和姑婆山主体花岗岩; 6—花山和姑婆山细粒花岗岩  
 (a)—Rock classification after Middlemost, 1994; series boundary after Irvine et al., 1971; (b)—solid lines after Peccerillo et al., 1976; dashed lines after middlemost, 1985; 1—Niumiao and Tong'an major rocks; 2—dark enclaves in Niumiao and Tong'an bodies; 3—Lisong granite; 4—enclaves in Lisong granite; 5—Hushan and Guposhan major granites; 6—fine-grained granites in Hushan and Guposhan bodies

含量变化范围(以%为单位)和平均值(括号内数据, 以%为单位)分别为: SiO<sub>2</sub>, 70.55 ~ 74.80 (73.09) 和 72.59 ~ 76.28 (74.38); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12.56 ~ 14.52 (13.40) 和 11.87 ~ 14.19 (12.93); K<sub>2</sub>O, 4.82 ~ 6.13 (5.52) 和 3.99 ~ 6.29 (5.20); K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, 7.98 ~ 9.20 (8.74) 和 7.42 ~ 9.62 (8.42); TiO<sub>2</sub>, 0.13 ~ 0.35 (0.26) 和 0.13 ~ 0.29 (0.20); TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.84 ~ 3.03 (1.93) 和 1.45 ~ 2.78 (2.17); MgO, 0.11 ~ 0.57 (0.29) 和 0.11 ~ 0.36 (0.22); CaO, 0.87 ~ 1.54 (1.28) 和 0.86 ~ 1.29 (1.01)。一些重要的常量元素比值参数分别为: K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, 1.34 ~ 2.03 (1.72) 和 1.16 ~ 1.95 (1.61); NK/A, 0.77 ~ 0.90 (0.84) 和 0.79 ~ 0.87 (0.84); A.R., 3.25 ~ 4.76 (3.97) 和

3.56 ~ 4.54 (4.05), 属中等亚碱性; A/CNK, 0.92 ~ 1.07 (0.99) 和 0.99 ~ 1.03 (1.01), 属弱准铝至弱过铝; 铁镁比值较高, FeO\*/MgO, 1.59 ~ 16.79 (7.30) 和 5.14 ~ 16.85 (8.86); FeO\*/(FeO\* + MgO), 0.61 ~ 0.94 (0.84) 和 0.84 ~ 0.94 (0.90)。

里松花岗岩具有姑婆山主体花岗岩与牛庙闪长岩两者之间过渡类型的常量元素化学成分, 其平均值分别为: SiO<sub>2</sub>, 69.36%; K<sub>2</sub>O, 5.32%; K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, 8.90%; NK/A, 0.82; A/CNK, 0.95; TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO 和 CaO 等含量也居姑婆山主体花岗岩与牛庙闪长岩两者之间。里松花岗岩中十分常见的暗色包体, 其化学成分与牛庙闪长岩和其中的暗色包体十分相近。

以小岩体产出的花山和姑婆山岩体中的细粒花岗岩,比它们的主体岩石更加富硅,但更加贫铁、镁、钙。某些平均值分别为:SiO<sub>2</sub>, 76.23%和 76.78%; K<sub>2</sub>O, 4.83%和 4.94%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, 8.29%和 8.26%; NK/A 值, 0.85 和 0.88; A/CNK 值, 1.10 和 1.00, 主要属弱铝过饱和岩石。

花山—姑婆山岩带主要岩石类型的 (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub> 图解(图 2a)显示,岩带中不同类型的岩石构成一个完整的岩石系列,其中牛庙、同安、里松三岩体中暗色包体的样品基本上都投影在碱性系列范围,牛庙闪长岩、同安石英二长岩和里松花岗岩投影在碱性和亚碱性系列的界线附近或靠近亚碱性一侧,而花山和姑婆山主体花岗岩和细粒花岗岩则几乎全为亚碱性岩石。岩带的 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解(图 2b)表明,绝大多数牛庙、同安和里松主岩体及其中的暗色包体均投影在钾玄岩系列,而花山和姑婆山主体花岗岩及细粒花岗岩的样品,则骑跨在该界线及其

延长线的两侧,即分布在钾玄岩系列与高钾钙碱性系列两个区域。

#### 4.2 微量元素

岩带中主要岩石类型的稀土元素和其他微量元素的含量见表 2,它们的主要分布特征见图 3a、3b。总体来说,整个岩带的微量元素以富含 Rb、Th、U、REE、Y、Nb、Ta、Zr、Hf 等大离子半径亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE)为主要特征。

在稀土元素方面,除了花山和姑婆山细粒花岗岩以外的其他 5 种岩石类型,均具有稀土总量高、轻重稀土比值大、轻稀土分异明显、重稀土分异不强和 Eu 异常小至中等等特点。其中稀土总量 ΣREE 以花山、姑婆山、牛庙和同安主岩体为最高,平均值分别为 333 μg/g、346 μg/g、304 μg/g 和 325 μg/g,暗色包体和富含暗色包体的里松花岗岩次之,平均值在 254~287 μg/g 之间,花山和姑婆山细粒花岗岩最低,分别为 134 μg/g 和 213 μg/g。

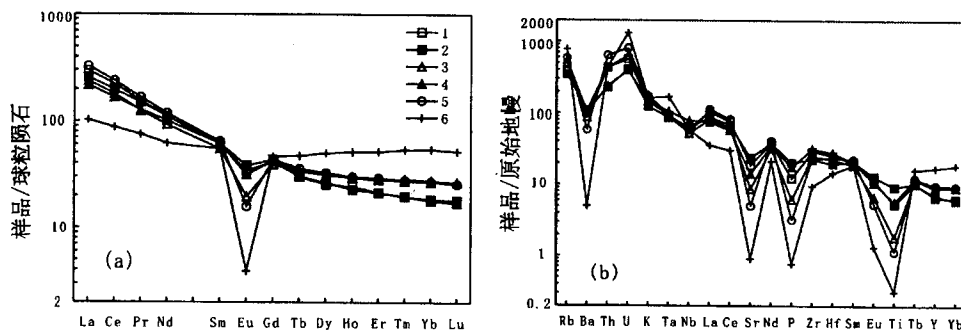


图 3 花山—姑婆山侵入岩带主要岩石类型的球粒陨石标准化稀土配分曲线(a)和不相容元素的原始地幔标准化蛛网图(b)  
(标准化值据 Sun 等, 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE diagrams (a) and primitive-mantle-normalized incompatible element spidergrams (b) for rock samples from Huashan—Guposhan intrusive belt (normalization values after Sun et al., 1989)

图例同图 2(symbols the same as in Fig. 2)

反映球粒陨石标准化曲线斜率的轻重稀土比以牛庙和同安主体、暗色包体及花山主岩体为最大,其 (La/Yb)<sub>n</sub> 平均值在 14.1~17.2 范围之内,姑婆山和里松岩体次之,在 8.1~8.6 范围之内;花山和姑婆山细粒花岗岩最小,分别为 1.8 和 2.1。反映轻稀土元素分馏程度的 (La/Sm)<sub>n</sub> 参数,以花山、姑婆山二岩体的细粒花岗岩为最低,平均值为 0.86,其他 5 个岩石类型在 3.55~6.11 之间。反映重稀土元素分馏程度的 (Gd/Yb)<sub>n</sub> 参数,以细粒花岗岩为最小,平均值分别为 0.79 和 0.96(分异最强),其他岩石类型在 1.46~2.53 之间。 $\delta$ Eu 平均值以牛庙和同安主

体及暗色包体为最大,在 0.60~0.73 范围内;里松花岗岩次之,为 0.42;花山和姑婆山主体花岗岩更小,分别为 0.35 和 0.18;花山和姑婆山细粒花岗岩具强烈 Eu 亏损, $\delta$ Eu 平均值分别为 0.09 和 0.06。

在其他不相容元素中,Nb 和 Zr 含量以里松包体为最高,平均值分别为 56 μg/g 和 354 μg/g;牛庙和同安岩体及其中暗色包体次之,平均值分别在 43~48 μg/g 和 242~364 μg/g 范围内;花山和姑婆山主体花岗岩及里松花岗岩更次之,分别在 34~45 μg/g 和 203~280 μg/g 范围内;花山和姑婆山细粒花岗岩中 Zr 含量最低,分别为 107 μg/g 和 106

$\mu\text{g/g}$ ,但 Nb 含量比主体花岗岩高,分别为  $42 \mu\text{g/g}$  和  $41 \mu\text{g/g}$ 。Y 含量以细粒花岗岩和姑婆山主体花岗岩为最高,平均值在  $62\sim 92 \mu\text{g/g}$  范围内,里松花岗岩和其中暗色包体次之,分别为  $43 \mu\text{g/g}$  和  $41 \mu\text{g/g}$ ,花山、牛庙和同安主体及其中暗色包体更次之,平均值在  $31\sim 38 \mu\text{g/g}$  范围内。Th 含量以花山和姑婆山主体花岗岩为最高,平均值在  $52\sim 56 \mu\text{g/g}$  范围内;牛庙和同安岩体、里松岩体和细粒花岗岩次之,平均值在  $33\sim 43 \mu\text{g/g}$  范围内;各种暗色包体中最少,平均值在  $18\sim 23 \mu\text{g/g}$  范围内。U 和 Rb 含量以花山和姑婆山细粒花岗岩中为最高,平均值分别为  $19\sim 35 \mu\text{g/g}$  和  $467\sim 516 \mu\text{g/g}$ ;花山和姑婆山主体花岗岩及里松花岗岩次之,分别在  $12\sim 17 \mu\text{g/g}$  和  $294\sim 366 \mu\text{g/g}$  范围内;牛庙和同安主岩体更次之,分别为  $12 \mu\text{g/g}$  和  $215\sim 307 \mu\text{g/g}$ ;牛庙和同安暗色包体中最低,分别在  $7\sim 13 \mu\text{g/g}$  和  $213\sim 220 \mu\text{g/g}$  范围内。花山复式岩体和姑婆山复式岩体还各有自身的特点,二者相比而言,前者更富含 U、Sn、Cs 等元素,后者更富含 Nb、Zr、Y 等元素,姑婆山花岗岩副矿物组成中较高含量的褐钇铌矿,是这一特征的独特体现。各种不相容元素的含量变化特征,是源岩物质和漫长而复杂的地质过程的函数。

图 3b 是岩带中 6 种主要岩石类型原始地幔标准化的不相容元素配分蛛网图,它显示了 6 类岩石中不相容元素分布的共同性和差异性。与原始地幔相比,在除细粒花岗岩以外的 5 种岩石类型中,所有不相容元素均有不同程度的富集,尤其是图中左列

不相容程度较高的元素。在不相容元素总体明显富集的背景上,出现了 Ba、Sr、P、Ti 的槽,而 Rb、Th、U、LREE、MREE、Zr、Hf 则出现不同程度的峰。与相邻元素 Th、U 和 La、Ce 相比,所有样品都出现不太强的 Nb、Ta 亏损。花山和姑婆山主体花岗岩及里松岩体与牛庙和同安岩体及各种暗色包体相比,前者 Rb、Th、U、LREE、HREE 和 Y 含量更高, Ba、Sr、P、Ti、Eu 亏损更强,后者含 Nb、Zr 更多,尤其是里松包体。第 6 种岩石(花山和姑婆山细粒花岗岩)具有最大的 Rb、Th、U 正异常,最强的 Ba、Sr、P、Ti 负异常,最高的 Ta、Y、HREE 含量和最低的 LREE 含量。

#### 4.3 Sr、Nd 同位素特征

表 3 列出了笔者于 2005 年在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室测定的该岩带中 8 个代表性岩石样品的 Nd、Sr 同位素组成的分析结果,为评价数据的可靠性和补充本文数据的不足部分,表中还引用了几篇参考文献数据,对比结果表明,这些数据比较接近,说明本文的分析结果应该是可信的。

牛庙、同安和里松岩体中 4 个暗色包体的  $I_{\text{Sr}}$  值在  $0.70473\sim 0.70570$  范围内,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值在  $0.512526\sim 0.512636$  范围内,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值在  $-0.47\sim +1.94$  范围内,其中最小的  $I_{\text{Sr}}$  值和最大的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值均属里松花岗岩中的一个包体(GP33);牛庙和同安主岩体的  $I_{\text{Sr}}$  值在  $0.70472\sim 0.70572$  范围内,与暗色包体相近,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值在  $0.512477\sim$

表 3 花山—姑婆山侵入岩带岩石的 Sr、Nd 同位素组成

Table 3 Sr and Nd isotopic compositions for rocks of Hushan—Guposhan intrusive belt

样品号	岩性	年龄 (Ma)	Rb ( $\mu\text{g/g}$ )	Sr ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ( $2\sigma$ )	$I_{\text{Sr}}$	Sm ( $\mu\text{g/g}$ )	Nd ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ( $2\sigma$ )	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$T_{2\text{DM}}$ (Ma)
NM68-2	牛庙包体 <sup>①</sup>	163	219	403	1.590	$0.709370\pm 13$	0.70570	9.1	48.4	0.1136	$0.512526\pm 11$	-0.47	989
NM59-2	牛庙包体 <sup>①</sup>	163	35	617	0.164	$0.705995\pm 13$	0.70562	8.1	41.1	0.1190	$0.512562\pm 14$	0.13	941
TA303	同安包体 <sup>①</sup>	160	147	426	0.994	$0.707468\pm 11$	0.70521	8.8	45.8	0.1158	$0.512600\pm 13$	0.91	875
GP33	里松包体 <sup>①</sup>	162	263	395	1.923	$0.709154\pm 11$	0.70473	7.1	42.5	0.1009	$0.512636\pm 11$	1.94	793
NM42	牛庙主岩 <sup>①</sup>	163	210	445	1.363	$0.708163\pm 12$	0.70501	8.9	52.1	0.1037	$0.512514\pm 12$	-0.49	991
NHK59	牛庙主岩 <sup>②</sup>	161	229	432	1.530	$0.708218\pm 21$	0.70472	8.2	45.9	0.1081	$0.512477\pm 06$	-1.32	1058
NHK62	牛庙主岩 <sup>②</sup>	161	260	427	1.760	$0.709109\pm 19$	0.70508	10.3	52.1	0.1199	$0.512529\pm 11$	-0.55	995
THK65	同安主岩 <sup>②</sup>	163	274	317	2.488	$0.711488\pm 19$	0.70572	8.9	50.1	0.1068	$0.512523\pm 09$	-0.37	982
GP47-1	里松岩体 <sup>①</sup>	162	281	229	3.542	$0.715288\pm 12$	0.70713	7.4	41.5	0.1074	$0.512455\pm 12$	-1.72	1091
GP40-1	里松岩体 <sup>①</sup>	162	300	155	5.608	$0.720339\pm 11$	0.70742	8.2	43.5	0.1143	$0.512393\pm 12$	-3.07	1207
GP61	姑婆主岩 <sup>①</sup>	162	294	38	22.69	$0.758900\pm 12$	0.70664	13.4	59.9	0.1347	$0.512446\pm 12$	-2.46	1152
65-1a	姑婆主岩 <sup>③</sup>	162	373.2	56.2	19.20	0.750980	0.70676						
I-2	花山主岩 <sup>④</sup>	162	355.4	135.2	7.623	0.724490	0.70693	8.5	49.2	0.1043	0.512403	-2.67	1192
II-4	花山主岩 <sup>④</sup>	162	498.3	100.7	14.37	0.74023	0.70714	7.5	34.5	0.1323	0.512405	-3.21	1189
HS401	花山主岩 <sup>⑤</sup>	162	360	79	13.18	$0.736308\pm 30$	0.70633	8.44	51.2	0.0996	0.512372	-3.18	1242

注:资料来源:①—本文;②—Li et al., 2004;③—张德全等, 1985;④—朱金初等, 1989;⑤—赵葵东, 2005。



0.512529范围内,  $\epsilon_{Nd}(t)$  值在  $-0.37 \sim -1.32$ , 均比暗色包体稍低; 里松花岗岩的  $I_{Sr}$  值在  $0.70713 \sim 0.70724$  范围内, 比牛庙和同安岩体稍高,  $^{143}Nd/^{144}Nd$  值在  $0.512393 \sim 0.512455$  范围内,  $\epsilon_{Nd}(t)$  值在  $-1.72 \sim -3.07$  范围内, 均比牛庙和同安岩体稍低; 花山和姑婆山主体花岗岩的  $I_{Sr}$  值在  $0.70633 \sim 0.70714$  范围内,  $^{143}Nd/^{144}Nd$  值在  $0.512372 \sim 0.512446$  范围内,  $\epsilon_{Nd}(t)$  值在  $-2.67 \sim -3.21$  范围内, 与里松花岗岩相近。

总体来说, 这些闪长质、石英二长质和花岗质岩体及暗色包体的 Nd、Sr 同位素组成具有系统变化特征, 但差别较小,  $I_{Sr}$  值在  $0.70472 \sim 0.70724$  范围内,  $^{143}Nd/^{144}Nd$  值在  $0.512372 \sim 0.512636$  范围内,  $\epsilon_{Nd}$  为从较小的正值到较小的负值, 在  $+1.94 \sim -3.21$  范围内, 两阶段 Nd 模式年龄为  $793 \sim 1242$  Ma, 与华南壳源型花岗岩相比, 明显偏低, 表明有不同程度中生代地幔物质的参与。

如果以宁远碱性玄武岩的 Sr、Nd 同位素组成 (Li et al., 2004) 作为地幔端员, 以大容山花岗岩的 Sr、Nd 同位素组成 (刘昌实等, 1990) 作为地壳端员, 进行二端员壳幔混合的模拟计算, 则可以得到, 本岩带中暗色包体中的壳源组分约占  $25\% \sim 35\%$ , 牛庙和同安岩体中壳源组分约占  $35\% \sim 40\%$ , 而在花山和姑婆山主体花岗岩中壳源组分约占  $50\%$  左右。

## 5 讨论

### 5.1 关于岩系归属

自从 Loiselle 等 (1979) 提出以三 A [即碱性 (alkaline)、贫水 (anhydrous)、非造山 (anorogenic)] 为主要特征的碱性 (A 型) 花岗岩的概念以来, 国际地质界已经对该类花岗岩进行了越来越广泛和深入的研究。目前已经基本公认, 根据碱铝等参数的相对关系, A 型花岗岩类既可以过碱的, 也可以是准铝的和过铝的。Collins 等 (1982) 和 Whalen 等 (1987) 从常量元素和微量元素地球化学的角度提出了一系列判别指标和图解; Eby (1992) 把 A 型花岗岩进一步划分为  $A_1$  亚型和  $A_2$  亚型; 洪大卫等 (1995) 进一步把 A 型花岗岩划分为 AA 型 (非造山) 和 PA 型 (后造山) 两类; 刘昌实等 (2003a) 进一步把 A 型花岗岩划分为三组, 即 ALAG (铝质 A 型)、AAG (碱性或过碱 A 型) 和 AS (正长岩型)。

A 型花岗岩类主要的元素地球化学特征是: 较高含量的  $SiO_2$ 、 $K_2O+Na_2O$ 、Zr、Nb、REE、Y、Ga、F (或 Cl) 等, 较低含量的 CaO、Sr、Ba 等, 较高比值的  $FeO^*/MgO$ 、 $(K_2O+Na_2O)/CaO$ 、 $K_2O/MgO$ 、Ga/Al 等, 以及相对贫水。

花山和姑婆山主体花岗岩具有明显的富碱、贫钙、低铝、高铁镁比值和富 Ga、Nb、Zr、Ce、Y 等元素的地球化学特征, 在 Whalen 等 (1987) 提出的用  $K_2O+Na_2O$ 、 $FeO^*/MgO$ 、 $(K_2O+Na_2O)/CaO$ 、 $K_2O/MgO$ 、碱性系数 (agpaitic index, 即碱铝比  $NK/A$ ) 等常量元素参数和 Ga/Al、Zr、Nb、Ce、Y、Zn、 $(Zr+Nb+Ce+Y)$  等微量元素参数作出的判别图解 (图 4a、4b) 上, 本岩带几乎所有样品全都投影在 A 型花岗

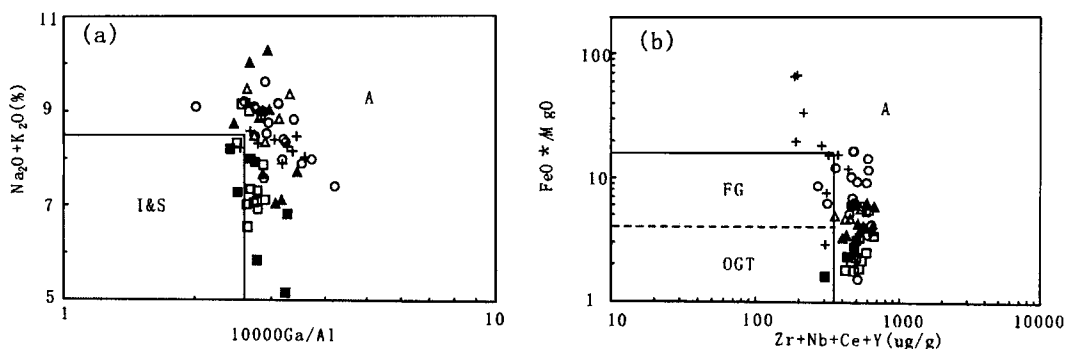


图 4 花山—姑婆山侵入岩带各类岩石的  $(Na_2O+K_2O)$ - $10000Ga/Al$ (a) 和  $FeO^*/MgO$ - $Zr+Nb+Ce+Y$ (b) 图解 (据 Whalen 等, 1987)

Fig. 4  $(Na_2O+K_2O)$ - $10000Ga/Al$ (a) and  $FeO^*/MgO$ - $Zr+Nb+Ce+Y$ (b) diagrams for rock samples from Huashan—Guposhan intrusive belt (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; FG 和 OGT 分别表示分异的和未分异的 M、I、S 型花岗岩, 岩石类型符号图例同图 2

A, I and S represent distribution areas of A, I and S type granites; FG and OGT represent differentiated and undifferentiated M, I and S type granites, respectively; symbols the same as in Fig. 2

A, I and S represent distribution areas of A, I and S type granites, respectively; symbols the same as in Fig. 2



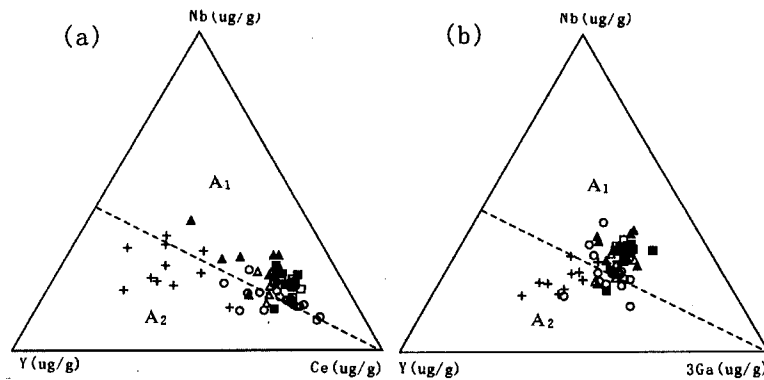


图 5 花山—姑婆山侵入岩带各类岩石的 Nb-Y-Ce(a)和 Nb-Y-3Ga(b)图解(据 Eby, 1992)

Fig. 5 Nb-Y-Ce(a) and Nb-Y-3Ga(b) plots for rock samples from Huashan—Guposhan intrusive belt (after Eby, 1992)

A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 分别表示 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 型花岗岩分布区;岩石类型符号图例同图 2

A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub> represent distribution areas of A<sub>1</sub> type and A<sub>2</sub> type granites, respectively; symbols the same as in Fig. 2

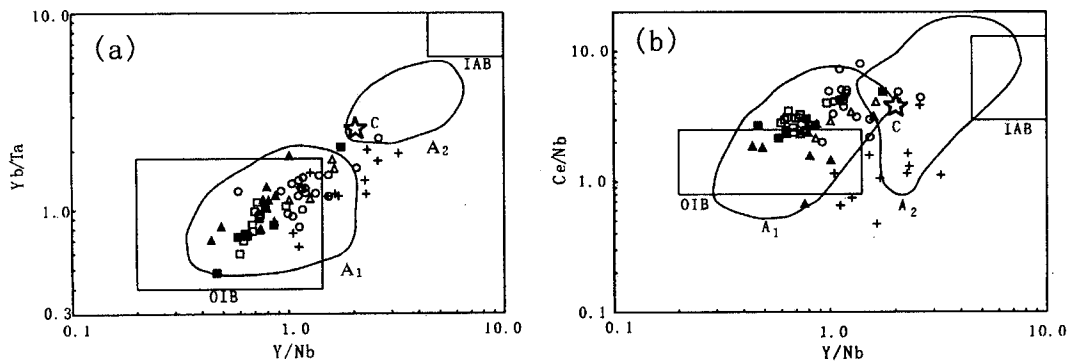


图 6 花山—姑婆山侵入岩带各类岩石的 Yb/Ta-Y/Nb(a)和 Ce/Nb-Y/Nb(b)图解(据 Eby, 1992)

Fig. 6 Yb/Ta-Y/Nb (a) and Ce/Nb-Y/Nb(b) plots for rock samples from Huashan—Guposhan

intrusive belt (after Eby, 1992)

A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 分别表示 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 型花岗岩分布区;OIB 和 IAB 分别表示洋岛玄武岩和岛弧玄武岩;C 表示平均地壳;岩石类型符号图例同图 2

A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub> represent distribution areas of A<sub>1</sub> type and A<sub>2</sub> type granites, respectively; OIB, IAB

and C represent oceanic island basalts, island arc basalt and average crust, respectively; symbols the same as in Fig. 2

岩区,而与未分异的和分异的 I 和 S 型花岗岩类有所区别。在图 4a 上,总碱含量小于 8% 的样品几乎全部是牛庙和同安岩体及暗色包体的样品,由于它们的 SiO<sub>2</sub> 含量较低,平均不高于 65%,岩石中 5%~8% 的全碱含量无疑属于碱性或靠近碱性范畴。

图 5a、5b 是根据 Eby (1992) 提出的用以划分 A<sub>1</sub> 亚型和 A<sub>2</sub> 亚型花岗岩的 Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-3Ga 图解,两个亚类 A 型花岗岩的界线为 Y/Nb = 1.2。由于花山—姑婆山岩带多数岩石类型的 Y/Nb 值均小于 1.2,大多投影在 A<sub>1</sub> 区。花山和姑婆山主体花岗岩中多数样品的 Y/Nb 值稍小于 1.2,少数样品

稍大于 1.2,这可能与这些岩石中地壳物质比例仍相当高及这些岩石中 Y 含量总体偏高有关。只有细粒花岗岩和部分姑婆山花岗岩投影在 A<sub>2</sub> 区或靠近二者界线的 A<sub>2</sub> 区,其主要原因可能是充分的分异演化导致 Y 含量进一步富集。

利用 Whalen 等 (1987) 和 Eby (1992) 提出的判别图解,南岭一些被认为是铝质 A 型花岗岩的岩体,如南昆山 (刘昌实等, 2003b)、佛冈 (包志伟等, 2003)、骑田岭 (柏道远等, 2005)、金鸡岭 (付建明等, 2005)、西山 (付建明等, 2004) 等,均属于 A<sub>2</sub> 亚类,其源岩是以地壳为主、地幔为辅无疑。但本岩带中除

细粒花岗岩以外的大部分样品落在  $A_1$  区,表明其物质来源与南岭其他 A 型花岗岩有明显差别,结合 Sr、Nd 同位素特征,可以认为,该岩带 A 型花岗岩类的源岩物质中幔源物质和壳源物质总量比较接近,其中地幔物质略占优势,总体来说属  $A_1$  亚型或  $A_1$  和  $A_2$  亚型之间的过渡类型。

## 5.2 关于源区性质和熔融作用

在仿 Eby(1990)的 Yb/Ta-Y/Nb 图解(图 6a)上,由于本岩带中除细粒花岗岩以外的 5 种岩石类型,其绝大多数样品的 Y/Nb 值小于 1.2, Yb/Ta 值小于 1.5,其投影点大多落在 OIB 区。部分样品稍超出 OIB 范围,并向平均地壳靠近。同时,由于本带主体花岗岩绝大多数样品的 LREE 和 Ce 含量与 Nb 含量相比相对偏高,其 Ce/Nb 值大多在 1.0~5.0 之间,个别可达 8.0。在仿 Eby(1990)的 Ce/Nb-Y/Nb 图解(图 6b)上,投影点部分落在 OIB 区内,更多的集中在 OIB 区的上方,并向平均地壳方向偏离。Zr/Nb 值是判别地幔源岩性质的另一个重要指标,本岩带前 5 类岩石的 Zr/Nb 平均值在 4.5~8.6 范围内,比原始地幔、N-MORB 和大陆地壳的相应值要小得多,而落在洋岛玄武岩(OIB)范围内(Weaver,1991)。

牛庙、同安和里松岩体中大量具有岩浆混合特征的辉长质至闪长质暗色包体的存在,说明深部存在过同时代的中基性岩浆活动,暗色包体及牛庙闪长岩和同安石英二长岩均富含 K、Rb、Th、U、REE、Y、Zr、Hf、Nb、Ta 等不相容元素,且 Y/Nb、Yb/Ta 和 Zr/Nb 值较小(其平均值分别在 0.68~0.75、0.79~1.06 和 5.7~8.0 范围内),而 Nb/La 值较大(其平均值在 0.61~1.09 范围内),反映了地幔质源岩具亲 OIB 性质。

牛庙和同安岩体有两种可能的形成机制:其一是由软流圈地幔低度熔融形成碱性玄武岩浆,后者进一步分离结晶和受到地壳混染(Li et al.,2004);其二是经过交代和富集的具有 OIB 型微量元素性质的岩石圈地幔的部分熔融及随后的分离结晶和地壳混染。

一个重要的问题是,这种具有 OIB 型微量元素特征的偏碱性中基性岩浆房,其规模有多大?考虑到花山和姑婆山主体花岗岩具有与牛庙和同安岩体及暗色包体十分相近的元素地球化学和 Sr、Nd 同位素地球化学特征,为地幔物质略占优势的  $A_1$  亚型花岗岩类,且岩体规模为较大岩基,但南岭中、西段及其附近地区,至今仅发现有 175 Ma 的湘南宁远

碱性玄武岩,尚未发现有较大规模的 160 Ma 的具 OIB 性质的中基性火山岩或侵入岩。

微量元素和 Sr、Nd 同位素地球化学性质十分相近的牛庙、同安、里松、花山和姑婆山岩体,其侵入结晶年龄局限在一个很窄的时间范围内(160~163 Ma),反映了这些岩体在成因上应该有一个共同的或紧密相关的成岩机制。但在本区不具备通过基性岩的分离结晶作用而形成规模较大的中生代花岗质杂岩带的基本条件,因此,我们更倾向于用上述第二种机制来解释整个花山—姑婆山岩带的岩石成因,即具有 OIB 型微量元素特征的壳下岩石圈地幔和下地壳的部分熔融及其后熔体的进一步分离结晶和地壳混染。

位于姑婆山岩体东侧的在古生代侵位的桂岭二长岩体和大宁花岗闪长岩体,具有壳幔混合成因特征,但不富含 LILE 和 HFSE。因此推测,本区壳下岩石圈地幔改造成具有 OIB 型微量元素性质的事件可能发生在中生代,而在与本区处于同一北东向断裂构造带上相距约 100 余千米的湘南宁远等地区,却广泛发育着 175 Ma 的 OIB 型碱性玄武岩(Li et al.,2004),证明了至少在牛庙和同安岩体形成前的 12~15 Ma,南岭地区西段就开始出现了软流圈地幔的大规模上涌事件。类似的与碱性玄武岩浆有关的熔体/流体很可能与本区岩石圈地幔和下地壳发生过相互作用,并对后者进行交代富集。

熔融程度的高低和地壳混染的多寡,可能是控制熔体性质差异的关键因素。熔融程度相对较高时可形成较基性的熔浆,如提供暗色包体的熔体;熔融程度稍低和/或地壳混染稍多时可形成偏中性的熔浆,如牛庙和同安岩体;熔融程度较低和/或地壳混染较多时可形成超酸性的熔浆,如花山和姑婆山主体花岗岩。分离结晶作用的途径和性质也有至关重要的影响。花山和姑婆山主体花岗岩中 Rb、Th、U、LREE 含量最高,Nb、Zr 含量相对少些;牛庙和同安岩体中 Nb、Zr 含量较多;包体中 Nb、Zr 含量最多,最接近于具 OIB 性质的源岩。姑婆山岩体比花山岩体有更高的 Nb、Y、Zr 含量,可能与里松包体中 Nb、Zr、(Y)含量最高和分异程度高有关。由于岩浆活动的持续性和强烈性,岩石圈地幔和下地壳的熔融可以是多批次的和发生在不同深度层次的,它为不同性质熔浆之间的混合和相互作用,创造了十分充分的机会和条件。

## 5.3 关于构造背景

Eby(1992)认为, $A_1$  亚类形成于板内裂谷、地幔

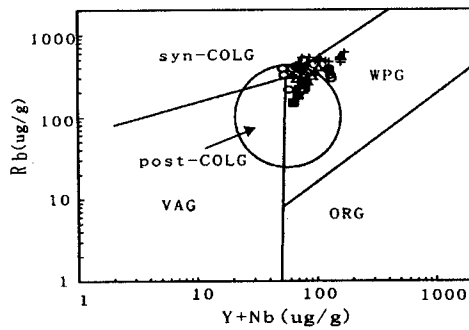


图 7 花山—姑婆山侵入岩带主要岩石类型的 Rb-(Y+Nb)图解(据 Pearce, 1996)

Fig. 7 Rb-(Y+Nb) diagram for rock samples from Huashan—Guposhan intrusive belt (after Pearce, 1996)

ORG—洋脊花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩; post-COLG—后碰撞花岗岩; 岩石类型符号图例同图 2

ORG—Ocean ridge granites; VAG—volcanic arc granites; WPG—within-plate granites; syn-COLG—syn-collision granites; post-COLG—post-collision granites; symbols of rock types are the same as in Fig. 2

柱或热点环境,以地幔来源为主,可有部分地壳物质混染; A<sub>2</sub> 亚类形成于后碰撞或后造山环境,以地壳来源为主,亦可有部分地幔物质来源。

具有富含 LILE 和 HFSE 特征的 A 型花岗岩的形成,只能说明地壳的拉张减薄和地幔物质的有效参与。结合本岩带具体情况,考虑到南岭中、西段地区在中、晚侏罗世之交属于后造山环境,虽然本岩带中大多数样品都投影在 Eby(1992)图解的 A<sub>1</sub> 区范围内,但大多花山和姑婆山主体花岗岩样品的投影点靠近 A<sub>1</sub> 区和 A<sub>2</sub> 区的界线,表明地壳物质仍占有相当大的(接近一半)比例。在 Pearce(1996)判别花岗岩形成构造背景的 Rb-(Y+Nb)图解上(图 7)可见,本岩带闪长岩、石英二长岩、主体花岗岩和暗色包体的大部分样品落在后碰撞花岗岩(post-COLG),少部分样品和晚阶段细粒花岗岩样品落在靠近后碰撞花岗岩的板内花岗岩和同碰撞花岗岩区。在 Harris 等(1986)提出的判别花岗岩形成构造环境的 Hf-Rb/30-3Ta 判别图解上(图 8)同样显示,除细粒花岗岩以外的各种主要岩石类型样品均大多落在后碰撞花岗岩区。另外,我们根据 Batchelor 等(1985)提出的方法,计算了 R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 多元因子值,并在洪大卫等(1995)提出的 R<sub>1</sub>-Ga/Al 判别图上进行投影,结果表明,岩带中暗色包体样品均投影在 AA(非造山)区,但主岩体样品均投影在 PA(后造山)区。

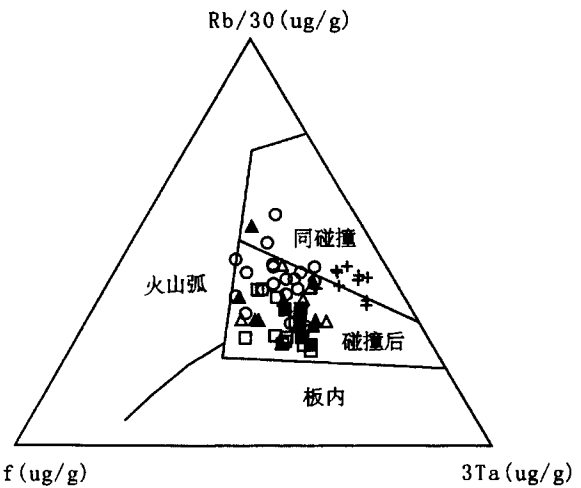


图 8 花山—姑婆山岩带花岗岩类构造环境的 Hf-Rb/30-3Ta 判别图解(据 Harris 等,1986)

Fig. 8 Hf-Rb/30-3Ta diagram for discriminating geotectonic environments for granitoids of Huashan—Guposhan intrusive belt (after Harris et al., 1986)

岩石类型符号图例同图 2  
Symbols of rock types the same as in Fig. 2

因此,笔者认为,在目前只有部分地球化学依据但没有充分地质依据的情况下,把该岩带形成的构造背景看作是裂谷、地幔柱或热点,可能还为时过早,而后造山阶段的拉张减薄和软流圈地幔的有效上涌,则可能是更为合适的选择。

#### 5.4 关于里松花岗岩和暗色包体

里松花岗岩是一种特殊的岩石类型,其岩石化学特征介于以牛庙、同安岩体为代表的偏中性岩石和以花山、姑婆山主体花岗岩为代表的超酸性岩石之间,微量元素特征同样富含 LILE 和 HFSE 等不相容元素,很多微量元素参数也介于二者之间,其中大量暗色微花岗岩类包体在元素地球化学特征上与牛庙、同安岩体及其中暗色包体十分相近,在矿物和岩石结构等宏观和微观特征上打上明显的岩浆混合的印记。暗色包体与寄主花岗岩具有相同的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(162 Ma),排除了暗色包体作为围岩捕虏体的可能性,为岩浆混合成因提供了又一个重要依据。而暗色包体(GP33)Nd、Sr 同位素组成特征( $\epsilon_{Nd} = +1.94, I_{Sr} = 0.70473$ )与寄主的里松花岗岩( $\epsilon_{Nd} = -1.7 \sim -3.1, I_{Sr} = 0.70713 \sim 0.70742$ )不同,反映了二者在壳、幔源岩比例上有较大差别,因而排除了暗色包体作为里松花岗岩边部早阶段结晶析离体或堆积体的可能性,为来自深部

具有 OIB 特征的地幔源区提供了另一个重要依据。因此,里松花岗岩很可能是具有 OIB 特征的幔源岩浆与姑婆山 A 型花岗岩浆混合和相互作用的产物。

### 5.5 关于细粒花岗岩

花山和姑婆山岩体中的细粒花岗岩小岩体的侵位和结晶年龄比主体花岗岩晚 10~13 Ma,它们在岩性上与主体花岗岩相比更酸性,同时亦更加贫 Ti、Fe、Mg、Ca。在微量元素方面,Rb、Ta、Cs、U、HREE、Y 和 Sn 等成矿元素含量明显增多,Nb 含量亦比主体花岗岩稍稍富集,而  $\Sigma$ REE、LREE、Zr、Sr 等含量则明显下降,从而导致了  $(La/Yb)_n$ 、K/Rb、Zr/Hf、Nb/Ta 和 Th/U 等比值的降低和 Rb/Sr、Y/Nb 等比值的升高。这些元素含量和比值的变化,论证了主体花岗岩熔浆漫长的分离结晶和演化的总趋势。根据本岩带获得的地质地球化学信息可以推测,对于像花山、姑婆山这种性质和这样规模的岩浆体来说,其分离结晶和演化的时间大约可以延续 10~13 Ma。

## 6 主要结论

根据上述研究结果和讨论,可以得到如下主要结论:

(1) 花山—姑婆山岩带的牛庙、同安、里松及花山、姑婆山主岩体的侵位和结晶年龄为 160~163 Ma,即中侏罗世末期,这些闪长质和花岗质岩浆岩侵位时间的相近性和地球化学特征的相似性,反映了它们在时间上、空间上、物质来源上、构造背景上和成岩机制上的密切联系。

(2) 本带岩浆岩以富碱、高钾、富含 Rb、Ba、K、Pb 等大离子半径亲石元素(LILE)及富含 Th、U、REE、Y、Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素(HFSE)为主要特征,且 Y/Nb、Yb/Ta、Zr/Nb 值较低、Nb/La 值较高,为一个 A<sub>1</sub> 亚型花岗质杂岩带。

(3) 本岩带的源区物质主要为经过交代和富集的具有 OIB 型微量元素特征的岩石圈地幔和下地壳。源区物质不同程度的熔融以及硅酸盐熔浆不同程度的地壳混染和分离结晶,导致了从基性、经中性、至超酸性的碱性和亚碱性岩浆的形成。熔融作用可能是多批次的和不同深度层次的,造成了不同性质的岩浆有充分的机会进行混合和相互作用。熔融岩浆随后不同程度的分离结晶和地壳混染,使不同类型岩石的地质和地球化学性质更加复杂化。

(4) 里松花岗岩中广泛存在的暗色包体是碱性的中基性岩浆与姑婆山主体花岗岩浆相互作用时不

完全混合的残留物,它们是本岩带中最富含 Nb、Zr、Y 等微量元素的岩石类型,也为姑婆山花岗岩的元素地球化学特征打上特别富含 Nb、Y 等特色元素的烙印。

(5) 花山和姑婆山晚阶段细粒花岗岩小岩体分别是花山和姑婆山主体花岗岩岩浆经长期的分离结晶和演化的产物,对于像花山、姑婆山这种性质和这样规模的岩浆体来说,其分离结晶和演化的时间大约可以延续 10~13 Ma。

(6) 中、晚侏罗世之交是南岭地区发生强烈岩浆活动的高峰时段,在后造山阶段大陆地壳拉张减薄的构造环境下,软流圈地幔沿超壳深断裂的上涌和底侵,导致了强烈的壳幔相互作用,它既可为经过交代富集的具 OIB 型微量元素特征的岩石圈地幔和大陆地壳的熔融提供必要的热能,也可为新形成的闪长质和花岗质的硅酸盐熔浆加进新的来自深部的地幔物质。

## 参 考 文 献

- 柏道远,陈建超,马铁球,等. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255~272.
- 包志伟,赵振华. 2003. 佛冈铝质 A 型花岗岩的地球化学及其形成环境初探. 地质地球化学, 31(1): 52~61.
- 冯祖海,梁金城,张桂林,等. 2002. 论广西东部中生代花岗岩类岩石谱系单位——以姑婆山—花山花岗岩体为例. 桂林工学院学报, 22(3): 333~340.
- 付建明,马昌前,谢才富,等. 2004. 湘东南西山铝质 A 型花岗质火山—侵入杂岩的地球化学及其形成环境. 地球科学与环境学报, 26(4): 15~23.
- 付建明,马昌前,谢才富,等. 2005. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析. 地球化学, 34(3): 215~226.
- 龚安,温淑英,韦玉山. 1985. 姑婆山岩体西部花岗岩的成因类型及演化特征. 桂林冶金地质学院学报, 5(1): 21~30.
- 广东省地质局南岭区域地质测量普查大队. 1959. 南岭侵入岩初步综合研究报告. 北京:地质出版社, 1~230.
- 广西地质局. 1965. 中华人民共和国区域地质测量报告书. 贺县幅, 1: 200000.
- 广西地质矿产勘查开发局. 1999. 广西壮族自治区数字地质图说明书(1: 50 万). 南宁:广西地质矿产勘查开发局.
- 洪大卫,王式洸,韩宝福,等. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学(B辑), 25(4): 418~426.
- 金跃群,袁奎荣,方清浩. 1985. 广西花山花岗岩体的成因、演化及矿化. 桂林冶金地质学院学报, 5(4): 295~305.
- 李献华,周汉文,刘颖,等. 1999. 桂东南钾质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征. 科学通报, 44(18): 1992~1998.
- 刘昌实,朱金初,沈渭洲,等. 1990. 华南陆壳改造系列花岗岩类型划分合成矿物质来源. 地质学报, 64(1): 43~51.
- 刘昌实,陈小明,陈培荣,等. 2003a. A 型岩套的分类、判别标志和成因. 高校地质学报, 9(4): 573~591.
- 刘昌实,陈小明,王汝成,等. 2003b. 广东龙口南昆山铝质 A 型花岗岩成因. 岩石矿物学杂志, 22(1): 1~10.

- 殷保安. 1997. 广西壮族自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 袁奎荣. 1981. 姑婆山里松花岗岩体原始形态的恢复及其形成机制的探讨. 桂林冶金地质学院学报, 1(1): 1~13.
- 张德全, 王雪英, 孙桂英. 1985. 关于广西姑婆山—里松岩体的定(侵)位年龄和冷凝历史的探讨. 地质论评, 31(3): 232~239.
- 赵葵东. 2005. 华南两类不同成因锡矿床同位素地球化学及成矿机理研究. 南京大学申请博士学位论文.
- 中国科学院地质研究所. 1965. 富钟贺矿物志. 北京: 科学出版社, 1~114.
- 朱金初, 李向东. 1988. 广西花山花岗岩的岩石学和地球化学特征及成岩物质来源的探讨. 岩石矿物学杂志, 7(1): 28~37.
- 朱金初, 李向东, 沈渭洲, 等. 1989. 广西花山花岗岩体成因的铈、钕、氧同位素研究. 地质学报, 63(3): 225~235.
- 朱金初, 谢才富, 张佩华, 等. 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. 岩石学报, 21(3): 665~676.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 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. 岩石学报(待刊).
- Bai Daoyuan, Chen Jianhao, Ma Tieqiu, et al. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton, Southeast Hunan. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(4): 255~272 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhiwei, Zhao Zhenghua. 2003. A preliminary study on characteristics of the Fugang aluminous A-type granite. Geology Geochemistry, 31(1): 52~61 (in Chinese with English abstract).
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chem. Geol., 48: 43~55.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. Contr. Mineral. Petrol., 80: 189~200.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20: 641~644.
- Feng Zuhai, Liang Jincheng, Zhang Guilin, et al. 2002. On the lithomeric units of Mesozoic granitoids in east Guangxi—a case from Guposhan—Huashan granitic pluton. J. Guilin Institute of Technology, 22(3): 333~340 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. 2004. Geochemistry and tectonic setting of Xishan aluminous A-type volcanic-intrusive complex, southern Hunan. J. Earth Sci. & Envir., 26(4): 15~23 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. 2005. Ascertainment of the Jinjiling A-type granite, Hunan Province and its tectonic setting. Geochimica, 34(3): 215~226 (in Chinese with English abstract).
- Geological Institute, Chinese Academy of Sciences. 1965. Mineralogy of Fuchuan, Zhongshan and Hexian Region. Beijing: Science Press, 1~114 (in Chinese).
- Gong An, Wen Shuying, Wei Yushan. 1985. Origin and evolution of the west part of Guposhan granite. J. Guilin College of Geology, 5(1): 21~30 (in Chinese).
- Guangdong Regional Geological Survey Team for Nanling Region. 1959. Preliminary Research Report on Intrusive Rocks in Nanling Range. Beijing: Geological Publishing House, 1~230 (in Chinese).
- Guangxi Bureau of Geology. 1965. Regional Geological Survey Report. Hexian sheet, 1: 200000 (in Chinese).
- Guangxi Bureau of Mineral Resources Prospecting and Development. 1999. Explanation for digital geological map of Guangxi Zhuang Autonomous Region (1: 500000). Nanning: Guangxi Bureau of Mineral Resources Prospecting and Development (in Chinese).
- Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M P, et al., eds. Collision Tectonics. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 19: 67~81.
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, et al. 1995. Classification of tectonic settings of alkaline granites and their discrimination criteria. Science in China (Series B): 25(4): 418~426 (in Chinese).
- Irvine T N, Baragar W R. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8: 523~548.
- Jin Yuequn, Yuan Kuirong, Fang Qinghao. 1985. Genesis, evolution and mineralization of Huashan granitic pluton, Guangxi Province. J. Guilin Metallurg. Geol. College, 5(4): 295~305 (in Chinese).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. 2000. Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: Petrology and geochemistry. Chinese Sci. Bull., 45(7): 653~658 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Chung Sunlin, Zhou Hanwen, et al. 2004. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan—eastern Guangxi:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for the tectonic evolution of SE China. Geol. Soc. London Spec. Publ., 226: 193~215.
- Liu Changshi, Zhu Jinchu, Shen Weizhou, et al. 1990. Classification and source materials of continental crust transformation series granitoids in South China. Acta Geologica Sinica (English Edition), 3(3): 287~298.
- Liu Changshi, Chen Xiaoming, Chen Peirong, et al. 2003a. Subdivision, discrimination criteria and genesis for the A-type rock series. Geological J. China Univ., 9(4): 573~591 (in Chinese with English abstract).
- Liu Changshi, Chen Xiaoming, Wang Rucheng, et al. 2003b. Origin of aluminous A-type Nankunshan granite, Longkou County, Guangdong Province. Acta Petrol. Mineral., 22(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Loiselle M C, Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geol. Soc. Am., Abstr. with Progr., 11: 468.
- Middlemost E A K. 1985. Magmas and Magmatic Rocks. London: Longman, 1~266.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Science Rev., 37: 215~224.
- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19(4): 120~125.
- Peccerillo R, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., 58: 63~81.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and

- process. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., 42: 313~354.
- Weaver B L. 1991. The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *J. Planet. Sci. Lett.*, 104: 381~397.
- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contr. Mineral. Petrol.*, 95: 407~419.
- Yin Baoan. 1997. *Petrology and Stratigraphy of Guangxi Zhuang Autonomous Region*. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Yuan Kuirong. 1981. A study on restoring original form of Guposhan—Lisong granite pluton and its forming mechanism. *J. Guilin Metallurg. Geol. College*, 1(1): 1~13 (in Chinese).
- Zhang Dequan, Wang Xueying, Sun Guiying. 1985. Cooling history and emplacement ages of the Guposhan—Lisong granite masses, Guangxi. *Geological Review*, 31(3): 232~239 (in Chinese).
- Zhao Kuidong. 2005. Isotope geochemistry and genetic models of two types of tin deposits. Ph. D dissertation of Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Li Xiangdong. 1988. A study on the petrological and geochemical characteristics and material sources of Huashan granitic complex. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 7(1): 28~37 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Li Xiangdong, Shen Weizhou, et al. 1990. Sr, Nd and O isotope studies on the genesis of the Huashan granitic complex. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 3(1): 41~54.
- Zhu Jinchu, Xie Caifu, Zhang Peihua, et al. 2005. Niumiao and Tong'an intrusive bodies of NE Guangxi; Petrology, zircon SHRIMP U-Pb geochronology and geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 665~676 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, et al. 2006. Zircon U-Pb age framework of Huashan—Guposhan intrusive belt, western part of Nanling Range, and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica* (in press) (in Chinese with English abstract).

## The Huashan—Guposhan A-type Granitoid Belt in the Western Part of the Nanling Mountains: Petrology, Geochemistry and Genetic Interpretations

ZHU Jinchu<sup>1)</sup>, ZHANG Peihua<sup>1)</sup>, XIE Caifu<sup>1,2)</sup>, ZHANG Hui<sup>3)</sup>, YANG Ce<sup>1)</sup>

1) State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing, 210093

2) Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Yichang, 443003

3) Geochemical Institute, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002

### Abstract

The Huashan—Guposhan granitoid belt consists of Tong'an, Huashan, Niumiao, Jinziling, Wuyangshan, Lisong and Guposhan granitoid bodies. Petrographically, they are diorite, quartz monzonite, monzonitic granite and syenogranite. Dark mafic enclaves are very common. Their major emplacement ages are 160~163 Ma. This granitoid belt is characterized by high contents of large ion lithospheric elements (LILE) such as K, Rb, Ba, Pb and high field strength elements (HFSE) such as Th, U, REE, Y, Nb, Ta, Zr, Hf. The ISr ranges for acidic-intermediate host rocks and enclaves are 0.70501 ~ 0.70742 and 0.70473 ~ 0.70570, respectively, and the  $\epsilon_{Nd}(t)$  ranges for these rock types are -0.37 ~ -3.21 and -0.47 ~ +1.94, respectively. This is an A<sub>1</sub> type granitoid belt, slightly predominated by mantle components. Their source regions are probably mainly the lithospheric mantle and lower crust, which had been metasomatized and enriched so that they could bear OIB characters in trace elements. The post-orogenic extension and thinning environment of the south China continental crust, the strong mantle-crust interaction caused by upwelling and underplating of the asthenospheric mantle across the trans-crustal faults, the multi-staged melting of the source rocks in different proportions and at different depths, and the different degrees of fractional crystallization and crustal contamination of the silicate melts are the major mechanisms for generating different types of acidic to intermediate granitoids in the belt.

**Key words:** Nanling; Huashan—Guposhan intrusive belt; A-type granites; petrology; geochemistry; petrogenesis