

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2015.01.003

广东东莞黑头山花岗岩体成岩时代及成因研究

黄雪飞, 何翔, 谢叶彩, 梁武, 商建林, 龙桂

HUANG Xue-Fei, HE Xiang, XIE Ye-Cai, LIANG Wu, SHANG Jian-Lin, LONG Gui

(广东省地质调查院, 广州 510080)

(Guangdong Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080)

摘要:广东东莞厚街黑头山黑云母二长花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测定其岩浆结晶年龄为 151.6 Ma(晚侏罗世),属燕山期岩浆活动产物。岩石化学成分富 SiO_2 (>70%), 富 K_2O (>4%); 相对贫 Al_2O_3 (12% ~ 14.4%), 贫 Sr、Ba、Eu、Ti 和 P; 稀土配分曲线呈海鸥型, 具明显的负铕异常。多方法综合判断认为黑头山花岗岩具明显的 A 型花岗岩特征, 属弱过铝质 A_1 型花岗岩, 应是燕山期岩石圈拉张减薄构造背景下所形成的侵入岩体。

关键词:成岩年代; 岩石; 成因; 黑头山花岗岩体; 广东东莞

中图分类号: P581

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2015)01-026-10

Huang X F, He X, Xie Y C, Liang W, Shang J L and Long G. Diagenetic epoch and genesis of Guangdong Heitoushan granite. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(1):26–35.

Abstract: Heitoushan biotite monzonitic granite in Houjie Town, Dongguan, Guangdong province is located in the west end of Dalingshan complex granites, zircon SHRIMP U-Pb age show that it formed at 151.6 Ma (Late Jurassic), which belongs to product of Yanshanian magmatism. On the chemical composition of the rock, Heitoushan granite rich in SiO_2 (>70wt%), K_2O (>4wt%); relatively poor in Al_2O_3 (12 ~ 14.4 wt%), poor in Sr, Ba, Eu, Ti and P; rare earth distribution curve shows the seagulls type, with obvious negative Eu anomaly. Comprehensive discrimination method found that Heitoushan granite possess obvious characteristics of A-type granite, further can be divided into peraluminous A_1 -type granite. This paper argues that Heitoushan A-type granite formed in Yanshanian period under the background of the structure of the lithosphere extensional thinning.

Key words: diagenetic epoch; lithogenesis; Heitoushan granite; Dongguan, Guangdong Province

黑头山花岗岩体位于广东省东莞市厚街镇东南约 7 km, 大岭山复式岩体西端。大岭山复式岩体呈岩基状出露, 平面上近矩形展布, 长约 17.0 km, 宽约 9 km, 出露面积约 150 km², 大岭山复式花岗岩侵位于中元古代长安岩组云母片岩、石英岩和中生代地层中, 部分被第四纪掩盖。其中出露的岩性主要有(粗)中粒斑状黑云母二长花岗岩、中细粒斑

状花岗岩、细粒(含斑)黑云母花岗岩。不同岩性间为侵入接触关系, 其中早期岩体的粒度较小, 到晚期岩体的粒度变粗, 说明大岭山复式花岗岩内至少发生过三次(或阶段)岩浆热事件。截至目前, 对大岭山复式岩体的形成时代一直缺乏精准的年龄数据, 对其成因认识也模糊不清。鉴于此, 本文拟通过对大岭山复式岩体的组成部分之一——黑头山花

收稿日期: 2014-07-03; 修回日期: 2014-10-20.

基金项目: 中国地质调查局基础部项目(编号: 1212011220528)资助.

第一作者: 黄雪飞(1985—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事区域地质矿产调查相关工作, E-mail: feifei871018@126.com.

花岗岩体进行高精度的锆石 U-Pb 测年,并结合岩体本身的地球化学特征,对黑头山花岗岩体的成因进行探讨,以期为该复式岩体的演化序列与大地构造研究提供参考。

1 地质背景和花岗岩地质特征

黑头山花岗岩体位于厚街镇东南,大地构造位置上位于华南褶皱系内,呈不规则状侵入于早期花岗岩体中,西侧被第四纪掩盖,出露面积约 21 km²。区内第四系松散层分布较广,出露的前第四系有中元古代长安岩组及一套二长片麻杂岩、早侏罗世金鸡组 and 早白垩世百足山组地层(图 1)。

黑头山花岗岩体岩性以粗中粒斑状黑云母二长花岗岩为主,呈灰白色、浅肉红色,具花岗结构、似斑状结构,块状构造。岩石由斑晶和基质组成。斑晶成分以钾长石为主,粒径 1~3 cm,呈半自形~自形板柱状。斑晶含量变化大,约为 5%~15%,分布不均匀。组成岩石的矿物成分有:钾长石(20%~

40%)、斜长石(25%~35%)、石英(20%~25%)、黑云母(5%)等。岩石薄片镜下观察可见:钾长石多见条纹构造,条纹不规则状。常见卡斯巴双晶,多有斜长石、云母包体,粒度大小不等,一般 3~5 mm,少数 5~8 mm。斜长石多见细密聚片双晶,常有白云母包体,个别显环带构造,粒度 1~3 mm,常见半自形板柱状结构。石英他形粒状,弱波状消光,粒度大小不等,多为 2~3 mm,最大 7.5 mm,多呈集合体团块状分布。黑云母褐色,多已绿泥石化,粒度 0.5~0.7 mm,最大 2.5 mm。副矿物种类较多,主要有磁铁矿、独居石、萤石、钙铀云母等。

2 样品采集与测试方法

为深入分析黑头山花岗岩体的特征与成岩时代,在区域踏勘基础上,针对性采集了一些有代表性的花岗岩样品,进行主微量及稀土元素的测试分析,并挑选了部分样品进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年。

本次在黑头山花岗岩体中东部和西部依次

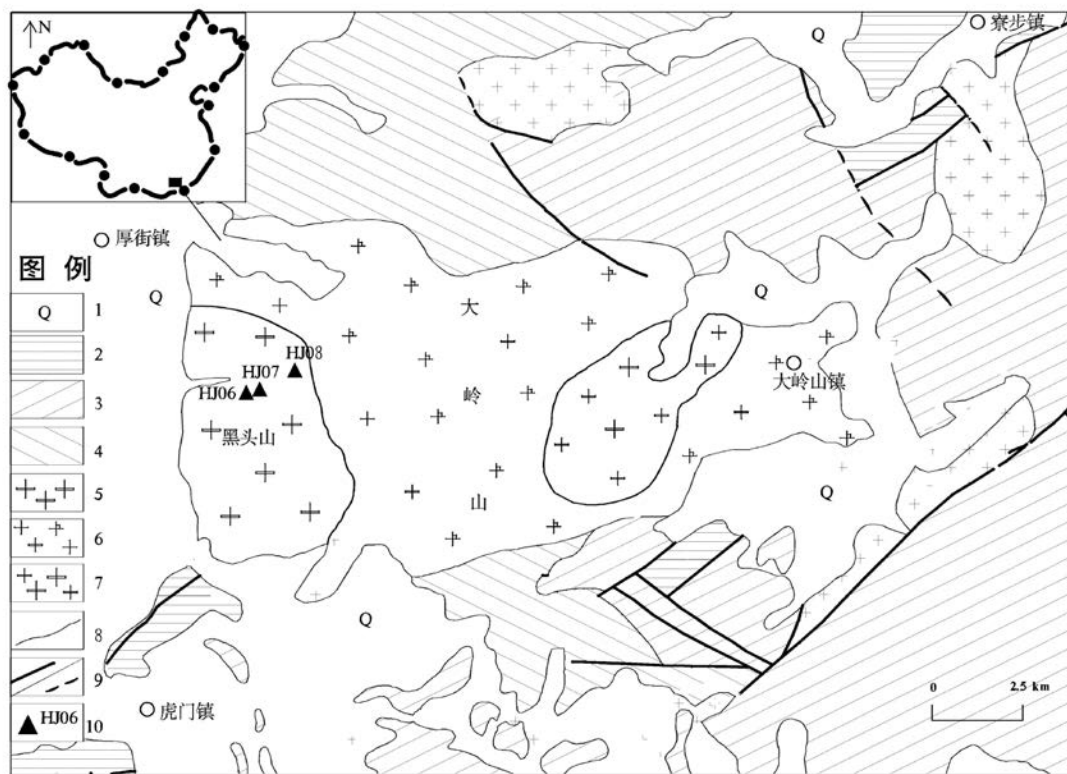


图1 黑头山花岗岩体地质图(据1:25万江门市幅报告^①修改)

Fig. 1 Geological map of Heitoushan granite

1-第四系;2-中生代地层;3-中元古代长安岩组;4-中元古代二长片麻杂岩体;5-粗中粒斑状黑云母二长花岗岩;6-细粒(含斑)黑云母二长花岗岩;7-中细粒斑状花岗岩;8-地质界线;9-实测/推测断层;10-采样位置及编号。

采集代表性花岗岩样品 3 件,从西往东分别编号为 HJ06(113°40′39″,22°54′06″)、HJ07(113°41′32″,22°54′20″)、HJ08(113°44′42″,22°55′34″),单个样样品重约 7~8 kg,样品新鲜,少有蚀变,岩性为粗中粒黑云母二长花岗岩。

样品主量元素和微量、稀土元素测试在国土资源部长沙矿产资源监督检测中心完成。用于主量、微量、稀土元素测试的样品,在确保无污染的情况下粉碎至 200 目以下。主量元素含量分析采用原子吸收光度计法(HG-9602/B),分析误差小于 5%;微量元素含量分析采用原子荧光光度计法(AFS-820),分析优于 5%,少数含量极少(<10⁻⁸)的元素分析精度优于 10%。

锆石 U-Pb 年代学测试前期制样在廊坊区域地质矿产调查研究所实验室完成。利用标准技术对锆石进行了分选。在双目镜下挑选晶形较完好的锆石制靶,并进行了锆石阴极发光照相(CL),以观察锆石的内部结构,确定打点位置。锆石 SHRIMP U-Pb 年龄在中国地质科学院北京离子探针中心的 SHRIMP II 仪器上完成,详细的分析流程及原理参考

Williams 等^[1]、简平等^[2]的描述。采用 Andersen et al.^[3]的方法对普通 Pb 进行校正,并采用 Isoplot 程序^[4]进行锆石年龄计算及谐和图绘制。

3 岩体形成时代

本次选择样 HJ06 黑云母二长花岗岩中的锆石进行了 SHRIMP U-Pb 定年分析,选取的测年锆石主要为浅瑰色、黄色、乳白色,半自形-自形,主要由柱面(100)与锥面(111)组成聚形,平面上多为长柱状,晶体长集中于 50~100 μm,宽集中于 40~60 μm,柱状长宽比为 1:1~3:1,阴极发光图像(CL)(图 2)表现出典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构,属于岩浆结晶锆石^[5-6],也含有少量继承锆石。总共获得 18 个点(打点位置见图 2)的测试数据,具体数据及计算年龄见表 1。由表 1 可知,被测锆石点均具有较高的 Th、U 含量,所测锆石点 U 含量范围为 139×10⁻⁶~15863×10⁻⁶,Th 含量范围为 123×10⁻⁶~3333×10⁻⁶,锆石 Th/U 比值变化较大,Th/U 比值多介于 0.20~0.45,个别高者

表1黑头山花岗岩体锆石U-Pb同位素分析结果

Table 1 Zircon U-Pb isotopic analyses of Heitoushan granite body

Spot	U ×10 ⁻⁶	Th ×10 ⁻⁶	²³² Th / ²³⁸ U	Isotopic ratios			Isotopic ages(Ma)		
				²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb
1	250	178	0.74	0.02483	0.093	0.0272	158.1	90.3	-1,470
2	10786	1740	0.17	0.02403	0.1637	0.0494	153.1	153.9	168
3	3655	1011	0.29	0.02267	0.1558	0.0498	144.5	147.0	188
4	3047	694	0.24	0.02395	0.1602	0.0485	152.6	150.9	123
5	4598	1512	0.34	0.02187	0.13	0.043	139.5	124.1	-169
6	2844	499	0.18	0.02241	0.1484	0.048	142.8	140.5	101
7	3327	874	0.27	0.02392	0.1634	0.0496	152.4	153.7	174
8	3237	1551	0.49	0.02455	0.1695	0.0501	156.4	159.0	198
9	2532	769	0.31	0.02329	0.1547	0.0482	148.4	146.1	109
10	1847	483	0.27	0.02391	0.1591	0.0483	152.3	149.9	112
11	1288	577	0.46	0.02601	0.175	0.0488	165.5	163.7	138
12	2747	827	0.31	0.02352	0.154	0.0475	149.8	145.4	75
13	3149	1034	0.34	0.02448	0.1616	0.0479	155.9	152.1	93
14	2397	831	0.36	0.02362	0.1579	0.0485	150.5	148.9	123
15	2952	1244	0.44	0.02407	0.1602	0.0483	153.4	150.9	112
16	685	318	0.48	0.02499	0.166	0.0482	159.1	155.9	108
17	143	123	0.89	0.02566	0.173	0.0489	163.3	162.0	143
18	1954	828	0.44	0.02307	0.1567	0.0493	147.1	147.8	160

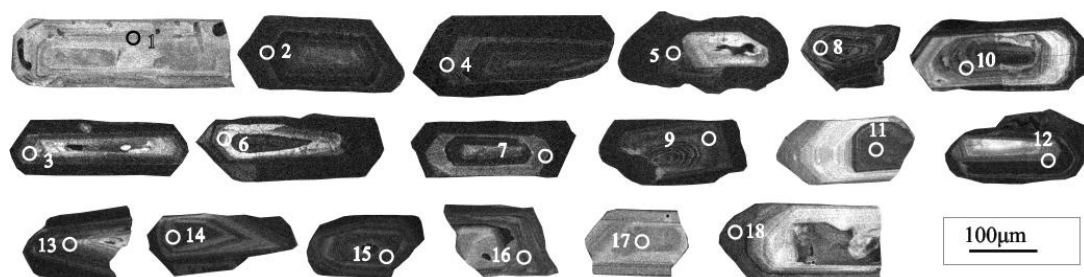


图2 黑头山花岗岩体锆石阴极发光图像

Fig 2 CL image of zircons in Heitoushan granite

可达 0.92, 与典型岩浆锆石的 Th/U 比值一般大于 0.4 相比, 黑头山花岗岩中锆石具有较低的 Th/U 比值, 这可能与富 Th 矿物(如独居石等)的同时形成有关。由于半衰期差异, 锆石中放射成因的 ^{207}Pb 的丰度比放射成因的 ^{206}Pb 的丰度低一个数量级, 因而对于放射成因组分积累较少的年轻锆石来说, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值精度更高, 更能准确地反映成岩年龄。

锆石分析点 11(图 3)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 165.5 Ma, 年龄偏老。从阴极发光图像上可看出, 该锆石具有明显的核边双层结构, 并且分析点 11 打在其核部, 测试年龄偏老可能代表了核部继承型锆石的年龄。锆石分析点 3、5、6(图 3)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 144.5 Ma, 139.5 Ma, 142.8 Ma, 年龄偏小, 视为铅丢失, 不代表主要岩浆期岩体形成时代, 其年龄值偏小很可能与后期(燕山期)构造-岩浆事件有

关。将分析点 3、5、6、11 的数据剔除后, 其余 13 个测点有谐和的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 个表面年龄, 数据点全部落入谐和线上或者附近区域, 构成 151.6 ± 2.1 Ma ($n=14$, MSWD=2.6) 的谐和年龄, 即为黑头山花岗岩的岩浆结晶年龄, 表明黑头山花岗岩形成于晚侏罗世。

4 岩体元素地球化学特征

4.1 主量元素特征

系统分析黑头山花岗岩体主量元素测试结果后认为, 其组成具有如下特征:

(1) 岩石化学标准矿物 CIPW 计算结果显示岩浆分异指数为 92.6 ~ 94.75, 在 Q-A-P 岩浆岩分类命名图解中, 岩石样品位于二长花岗岩区(图 4)。

(2) SiO_2 含量高(72.26% ~ 77.87%, 平均 75.46%)。

(3) 铝饱和指数 ($A/\text{CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$, 摩尔数比) 较高, 样品的 A/CNK 比值大于 1, 小于 1.1 (1.074 ~ 1.080, 平均 1.076), 在 A/CNK-A/NK 图解上, 数据点都投于过铝质区域内(图 5), 表明岩石属弱过铝花岗岩范畴。

(4) 碱含量较高 ($\text{ALK}=\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=7.74\% \sim 9.38\%$, 平均 8.32%); 钾含量高(大于 4%), 且钾大于钠 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.1 \sim 1.6$, 平均 1.36); 碱度率 ($\text{AR} = [\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]/[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]$ (wt%)) 为 3.64 ~ 4.32 (平均 4.06)。在 SiO_2 -AR 图解上, 数据点都落于碱性区域(图 6), 显示其碱性特征。

(5) 碱性长石含量高 ($\text{Ab}+\text{Or}=54.37\% \sim 65.26\%$), 钙长石含量低 ($\text{An}=2.62\% \sim 3.75\%$)。岩体总体表现出富硅、富碱, 贫 Ca、Fe、Mg 的特点。

将黑头山花岗岩体的各主量元素含量与世界

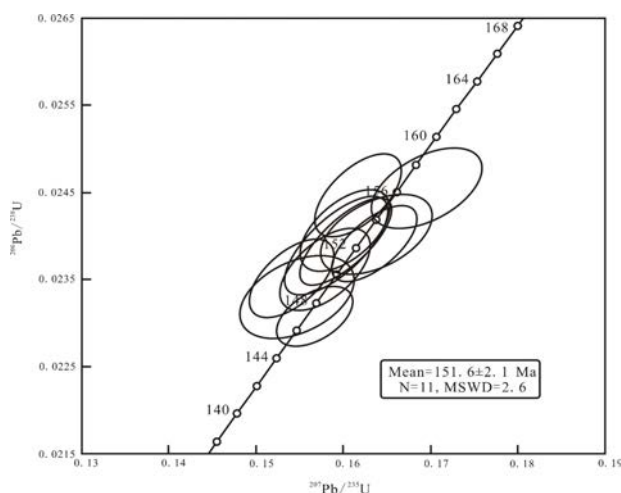


图3黑头山花岗岩体的锆石U-Pb谐和年龄年龄

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia plot in Heitoushan granite

表2 黑头山铝质A型花岗岩岩石化学成分(%) 及其与同类岩石的对比

Table 2 Petrochemical compositions (%) of Heitoushan aluminous A-type granites and comparison with the same type granites

样号	HJ06	HJ07	HJ08	世界平均 A	世界平均 I	世界平均 S	世界平均 M
样数	1	1	1	148	991	578	17
SiO ₂	77.87	72.26	76.26	73.81	69.17	70.27	67.24
TiO ₂	0.09	0.12	0.12	0.26	0.43	0.48	0.49
Al ₂ O ₃	12.03	14.37	13.00	12.40	14.33	14.10	15.18
Fe ₂ O ₃	0.23	0.91	0.35	1.24	1.04	0.56	1.94
FeO	0.70	1.14	0.81	1.58	2.29	2.87	2.35
MnO ₂	0.04	0.12	0.07	0.06	0.07	0.06	0.11
MgO	0.09	0.09	0.18	0.20	1.42	1.42	1.73
CaO	0.54	0.65	0.78	0.75	3.20	2.03	4.27
Na ₂ O	3.24	3.60	3.74	4.07	3.13	2.41	3.97
K ₂ O	4.50	5.78	4.11	4.65	3.40	3.96	1.26
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.02	0.04	0.11	0.15	0.09
灼失量	0.32	0.69	0.38				
H ₂ O ⁺	0.11	0.10	0.09				
总和	99.77	99.86	99.90				
石英(Q)	40.35	27.34	36.60				
钙长石(An)	2.62	3.14	3.75				
钠长石(Ab)	27.60	30.78	31.83				
正长石(Or)	26.77	34.48	24.43				
Ab+Or	54.37	65.26	56.26				
A/CNK	1.074	1.074	1.080				
A/NK	1.178	1.178	1.225				
ALK	7.74	9.38	7.85				
AR	4.20	4.33	3.65				
K ₂ O / Na ₂ O	1.39	1.60	1.10				

注:世界平均花岗岩数据引自[7-9]

平均 A 型、M 型、S 型和 I 型花岗岩进行对比发现,黑头山花岗岩体也具有富 Si、富碱,相对贫 Al,贫 Ca、Mg、Ti 和 P 的特点(表 2)。该岩体中的 TiO₂ 和 P₂O₅ 显著偏低,这与相对富 Al 的 S 型花岗岩(P₂O₅ 一般大于 0.10%) 随分异作用的进行 P₂O₅ 有增大的趋势不同,其低 Ti、P 可能反映岩浆经历了高程度的钛铁矿、磷灰石等矿物的分离结晶作用。总体上,主量元素特征与世界平均 A 型花岗岩相似。

4.2 稀土及微量元素特征

由表 3 可知,岩体的稀土元素含量较高, $\Sigma \text{REE}=(115.47 \sim 233.27) \times 10^{-6}$,平均 169.5×10^{-6} ;轻稀土富集(LREE/HREE=2.5087 ~ 3.2715, 平均 2.872; $\text{La}_N/\text{Yb}_N=1.75 \sim 2.035$, 平均 1.92),轻稀土部分分馏较明显($\text{La}_N/\text{Sm}_N=1.339 \sim 1.931$, 平均 1.56)。

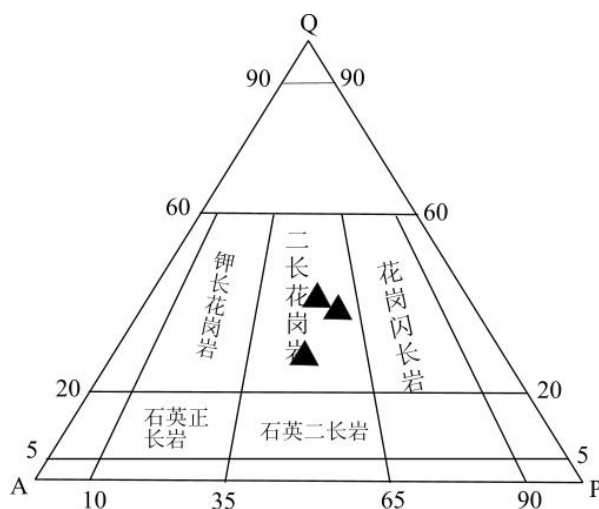


图4 黑头山花岗岩体花岗岩的Q-A-P 分类投影图

Fig. 4 Q-A-P diagram of Heitoushan granites

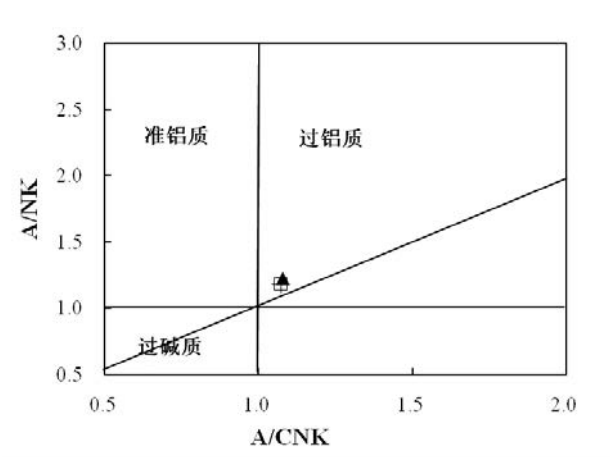


图5 黑头山花岗岩A/ NK-A/CNK 岩石系列分类图
Fig. 5 A/ NK vs. A/ CNK discrimination diagram
for Heitoushan granites

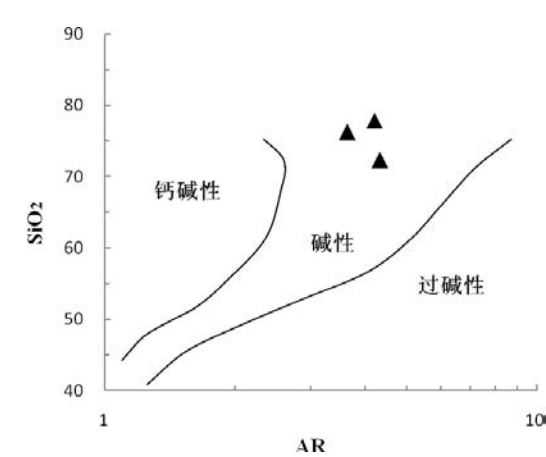


图6 黑头山花岗岩SiO₂ (wt%) -AR 图解
Fig. 6 SiO₂ (wt%) vs. AR discrimination diagram
for Heitoushan granites

表3 黑头山A型花岗岩稀土元素含量(×10⁻⁶)

Table 3 Rare earth element contents of the Heitoushan granite

样号	HJ06	HJ07	HJ08	样号	HJ06	HJ07	HJ08
La	15.79	31.76	25.32	Yb	6.09	10.52	8.68
Ce	33.19	74.04	54.12	Lu	0.84	1.35	1.24
Pr	5.1	10.18	7.1	ΣREE	115.47	233.27	159.67
Nd	20.97	42.04	27.3	LREE	82.561	172.44	122.29
Sm	7.42	14.19	8.25	HREE	32.91	60.83	37.38
Eu	0.09	0.23	0.2	LREE/HREE	2.5087	2.8348	3.2715
Gd	6.25	11.95	6.92	La _N /Yb _N	1.748	2.035	1.967
Tb	1.41	2.62	1.48	La _N /Sm _N	1.339	1.408	1.931
Dy	9.41	17.58	9.46	Gd _N /Yb _N	0.828	0.917	0.643
Ho	2.04	3.89	1.95	δEu	0.0398	0.0526	0.0787
Er	5.86	11.04	6.4	δCe	0.9	1	0.97
Tm	1.01	1.88	1.25				

中、重稀土的分馏不明显($Gd_N/Yb_N=0.643 \sim 0.917$, 平均 0.80);Eu 强烈亏损 ($\delta Eu=0.0398 \sim 0.0787$); 稀土元素球粒陨石标准化分布模式图上,LREE 呈现平缓的右倾趋势, 有较明显的 Eu 负异常和平缓的 HREE 曲线, 总体呈典型的 A 型花岗岩特有的海鸥型(图 7)。

较强的负锕异常出现, 可能与 A 型花岗岩的形成往往需要特定的温压条件或者说岩浆活动的特殊构造环境有关^[9-11], 因为 A 型花岗岩浆形成时的高温、压力和氧逸度条件应该满足其处于相对还原状态的要求。在相对还原条件下,Eu 易于以 Eu^{2+}

离子形式进入长石晶格,随着岩浆结晶过程中明显的斜长石分离结晶作用, 因此导致 A 型花岗岩具明显的负锕异常。

与典型 M 型、S 型、I 型花岗岩^[6]相比,黑头山花岗岩的 Th、Y、U 和 Nb 含量明显偏高,Ba、Sr 含量明显偏低,而与典型 A 型花岗岩相近(表 3)。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 8)和稀土配分图上, 可以看到黑头山花岗岩体强烈富集大离子亲石元素 K、Rb、Th、U, 高场强元素 Zr、Y、Hf 和 HREE 含量中等, 强烈亏损 Ba、Sr、P、Ti、等不相容元素, Rb/Sr 比值较高,Sr/Ba 比值低, 显示他们可能经历

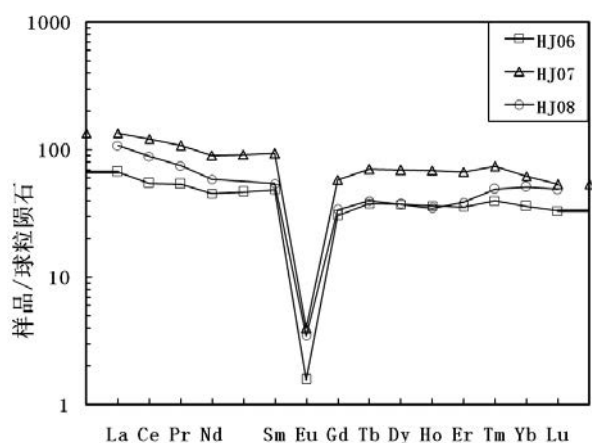


图7 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 7 Chondrite-normalized REE pattern of the Heitoushan granite

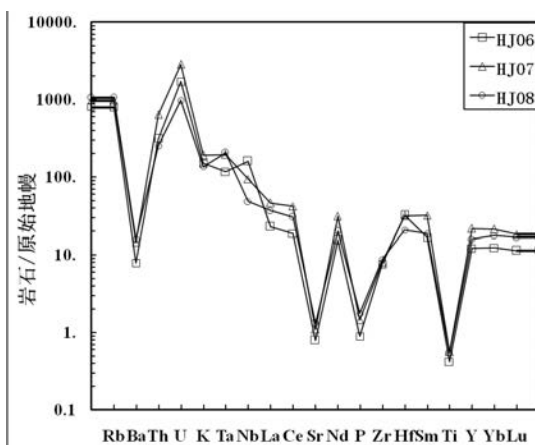


图8 微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace elements diagrams of the Heitoushan granite

表4 黑头山A型花岗岩微量元素含量及其与同类岩石的对比($\times 10^{-6}$)

Table 4 Trace elements and contents of the Heitoushan granite and comparison with the same type granites

样号	HJ06	HJ07	HJ08	世界平均 A	世界平均 I	世界平均 S	世界平均 M
样品数	1	1	1	148	991	578	17
Ba	55.10	101.60	110.80	352	538	466	263
Rb	503.60	612.70	668.70	169	151	217	17.5
Sr	16.68	23.07	27.78	48	247	120	282
Cs	11.67	18.52	17.66				
Ta	4.80	8.00	8.43				
Nb	113.40	66.94	34.50	37	11	12	1.3
Hf	9.98	9.78	6.43				
Zr	85.00	90.00	98.00	528	151	165	108
Y	54.94	98.73	72.00	75	28	32	22
Th	26.41	54.23	21.38	23	18	18	1
U	35.71	59.36	20.49	5	4	4	0.4
Be	5.49	6.83	7.32				
Li	35.24	30.77	62.37				
Rb/Sr	30.19	26.56	24.07				
Sr/Ba	0.30	0.23	0.25				

注:世界平均花岗岩数据引自[7-9].

了磷灰石和钛铁矿等矿物的强烈分离结晶作用,是一种高演化成分的 A 型花岗岩。总体上,稀土元素和微量元素特征也与典型 A 型花岗岩基本一致。

5 岩石类型及成因分析

5.1 岩石类型

A 型花岗岩最早是由 Loiselle 和 Wones^[12]提出

来,被定义为碱性(alkaline)、贫水(anhydrous)和非造山(anorogenic)花岗岩,以 3 个英文词的首字母 A 命名,不涉及物质来源,以此区别于由 Chappell 和 White(1974)^[13]定义的 I 型和 S 型花岗岩。之后很多学者在大量研究工作的基础上^[11,14-16],进一步明确了 A 型花岗岩的成分特征:主量元素富硅,富钾;微量元素贫 Sr、Ba、Eu、Ti 和 P; 稀土配分曲线呈海鸥型,具明显负铕异常。

从前文分析可知,黑头山花岗岩的主微量元素含量特征与A型花岗岩特征总体相一致。在花岗岩 K_2O - Na_2O 图解上投点,都落在A型花岗岩区域(图9),在 A/CNK - A/NK 图解上,投点落在弱过铝质区域内,再次明确证实了黑头山花岗岩为弱过铝质的A型花岗岩。

Eby(1992)^[9]将A型花岗岩分为 A_1 和 A_2 两个亚类,认为 A_1 产于非造山环境, A_2 是后造山的。洪大卫等^[16]将A型花岗岩分为AA和PA两类,分别对应于上述的 A_1 和 A_2 两个亚类。其中 A_1 型大致代表了一种非造山环境(anorogenic),大陆裂谷或板内岩浆作用(如地幔柱、热点等)期间侵入; A_2 型形成的构造范围较广(碰撞、后造山及非造山环境),但多数形成于造山后的岩浆作用。依据Eby(1992)^[9]建立的图版,研究中将黑头山花岗岩在 Y/Nb - Yb/Ta 判别图中再次投点,结果显示所有点均落在 A_1 型花岗岩区域中(图10)。

同时,Sylvester^[17]指出 Al_2O_3/TiO_2 比值可以用来作为源区部分熔融温度的指示剂:若 $Al_2O_3/TiO_2 > 100$,部分熔融温度低于 $875^\circ C$;若 $Al_2O_3/TiO_2 < 100$,则部分熔融温度高于 $875^\circ C$ 。由表2可知,黑头山花岗岩体的 Al_2O_3/TiO_2 比值大于100(110.2~132.2,平均120),反映其熔融温度稍低,这很可能是由于流体和F的作用使得岩石固相线温度降低所致。同时,据与A型花岗岩相关的实验岩石学研究表明,熔融温度在 $800^\circ C$ 附近,只要其它条件满足,是完全可以形成A型花岗岩的^[11,15]。综合

以上分析,笔者将黑头山花岗岩归于 A_1 型花岗岩,其源区物质以壳源物质为主,主要是泥质岩成分。

5.2 成岩时代及构造背景

黑头山花岗岩体样品的锆石SHRIMP U-Pb谐和年龄为 $151.6 \pm 2.1 Ma$,说明黑头山花岗岩体的主体形成于晚侏罗世,为燕山期活动的产物。微量元素Rb、Y(Nb)、Nb(Ta)对于判别花岗岩构造背景具有特殊的意义^[18-20],利用微量元素对构造环境的进一步判别表明,黑头山花岗岩都属于板内花岗岩(图11),由此说明黑头山花岗岩可能形成于拉张环境(post-orogenic)。

区域构造演化分析表明,黑头山花岗岩体所处的华南板块至少经历了四期区域规模的大陆动力学过程:中生代早期($250 \sim 220 Ma$)^[21-25],华南块体南北两侧古特提斯洋发生碰撞闭合,以挤压造山为主的印支碰撞运动使华南地区地壳厚度增加,并结束了本区大规模的海侵历史,从而在晚古生代浅海碳酸盐岩沉积之上不整合发育了早-中三叠世的碎屑岩沉积,由相对稳定的构造环境转入强烈活动的大陆边缘发展阶段。此后,华南板块发生了从特提斯构造域向古太平洋构造域的转换,发生了由近EW向构造朝NE向构造的变化,转换时限在 $160 \sim 190 Ma$ ^[25-28]。在晚中生代,太平洋板块低角度俯冲,华南处在日本岛弧的弧后伸展区,致使地壳和岩石圈强烈减薄(东南沿海地壳厚 $29 km$,岩石圈厚 $80 km$)^[26],发生巨量花岗质岩浆侵入与火山岩喷发堆积,发育大规模的伸展盆地和数千米厚的流纹岩

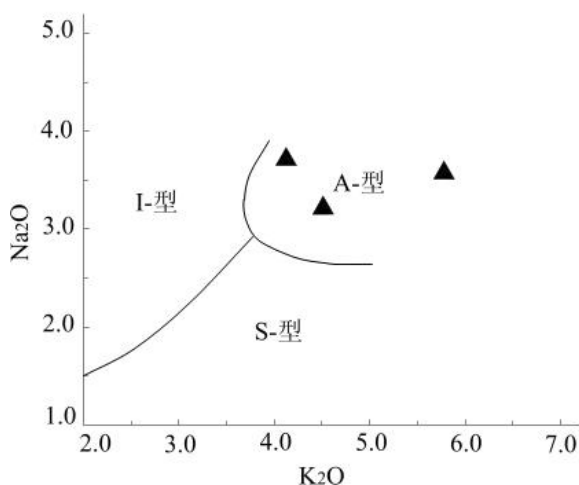


图9 黑头山花岗岩 Na_2O - K_2O 图解

Fig. 9 Na_2O vs. K_2O discrimination diagram for Heitoushan granites

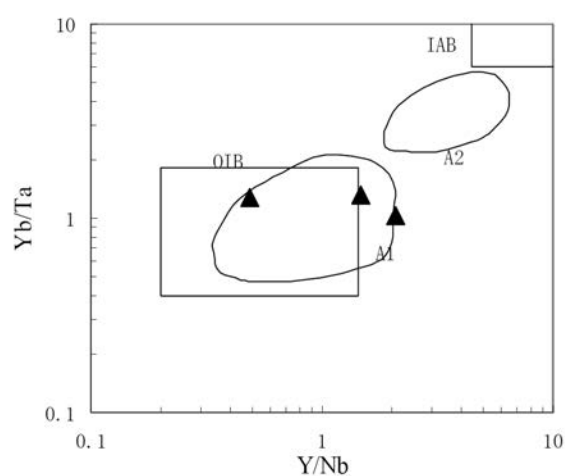


图10 黑头山A型花岗岩成因类型判别图

Fig. 10 Petrogenetic type discrimination diagram of Heitoushan granites

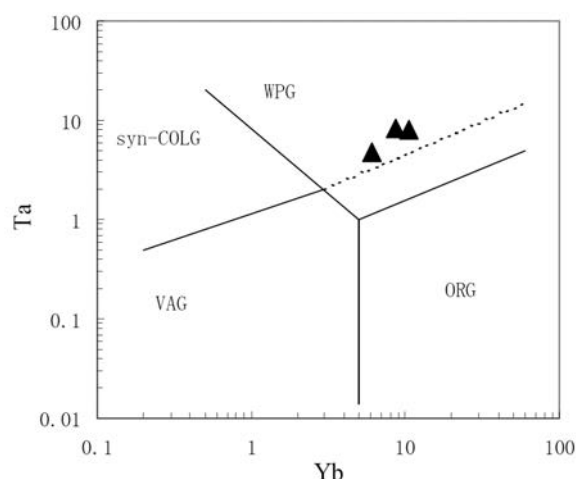


图11 黑头山花岗岩Yb-Ta构造环境判别图

Fig. 11 Tectonic setting discrimination diagram of Ta vs Yb for Heitoushan granites

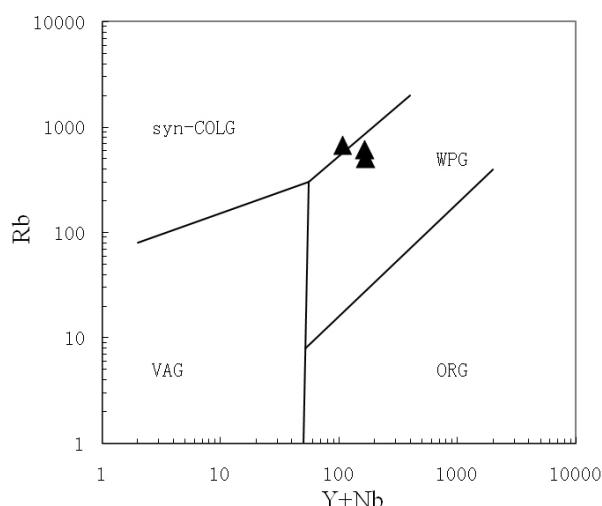


图12 黑头山花岗岩Yb+Rb-Rb构造环境判别图

Fig. 12 Tectonic setting discrimination diagram Of Rb vs Yb+Rb for Heitoushan granites

—火山碎屑堆积体,并出现中深层次的变质核杂岩和中浅层次的花岗质热隆伸展构造,构成华南盆地构造^[29-31]。

2002年完成的1:25万江门市、香港幅区域调查工作中,在广东深圳、东莞、台山、珠海等地也识别出了该套晚中生代伸展构造体系:总体平行海岸线,由岩浆热隆、岩浆核杂岩—剥离断层和三个不同层次的剥离层—伸展裂陷盆地构成。多图幅拼接对比发现黑头山花岗岩体所在的大岭山复式岩体就位于该构造体系上,且岩体走向也与区域构造完全一致。因此,笔者认为黑头山花岗岩体的形成应是这样的:晚侏罗世早期,由于受太平洋板块俯冲作用影响,地处弧后伸展区的黑头山区域岩石圈迅速减薄,引发地幔物质上涌,地壳泥质岩和少量砂质岩受到幔源高温热液烘烤发生部分熔融,并在熔融过程中发生了强烈分异结晶作用,侵位之后便形成区内分布的A型花岗岩。

6 结论

(1) 黑头山花岗岩体样品的锆石 SHRIMP U-Pb 谐和年龄为 151.6 ± 2.1 Ma, 表明岩体主体形成于晚侏罗世,为燕山期活动的产物。

(2) 黑头山花岗岩体化学成分上富 SiO_2 ($>70\%$), 富 K_2O ($>4\%$); 相对贫 Al_2O_3 ($12\% \sim 14.4\%$), 贫 Sr、Ba、Eu、Ti 和 P; 稀土配分曲线呈海

鸥型,负锶异常明显,且 $1 < A/CNK < 1.1$, 总体属弱过铝质 A 型花岗岩。

(3) 利用 Rb、Y(Yb)、Nb(Ta)等微量元素对黑头山花岗岩形成的构造环境进一步判别表明,其形成于弧后伸展区,受区域岩石圈减薄作用,地幔物质上涌,地壳泥质岩和少量砂质岩受幔源高温热液烘烤发生部分熔融,并在熔融过程中发生了强烈分异结晶作用,侵位之后而形成。

注释:

① 广东省地质调查院.江门市、香港幅1:250 000区域地质调查报告.2003.

参考文献:

- [1] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonian, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1987, 97: 205-217.
- [2] 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋盆演化的同位素年代学制约[J]. 地质学报, 2003, 7(92): 217-228.
- [3] Ludwig, K. R. Users manual for Isoplot/Ex (rev.2.49): A geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, 1a, 55p.
- [4] Pidgeon R T, Nemchin A A, Hitchen G J. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range

- batholiths: implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1998, 132: 288-299.
- [5] 吴元保,郑永飞. 锆石矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1603.
- [6] Whalen J B, Carre K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95 (4): 407-419.
- [7] 吴锁平,王梅英,戚开静. A型花岗岩研究现状及其述评[J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(1): 57-66.
- [8] 姚正红,肖惠良,范飞鹏,陈乐柱,鲍晓明,周延,武玲,吴涵宇. 广东南山花岗岩形成时代地球化学特征与成因[J]. *资源调查与环境*, 2011, 32(1): 66-78.
- [9] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids, petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 1992, 20: 641-644.
- [10] 汪洋. 再论南岭侏罗纪“铝质”A型花岗岩的成因及其对古地温线的制约 [J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(3): 365-381.
- [11] 汪洋,焦永玲,全立华,姚瑶. 再论A型花岗岩的实质——与张旗先生等商榷 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2013, 32(2): 260-266.
- [12] Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. *Geological Society of America Abstract Progressing*, 1979, 11: 468.
- [13] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geology*, 1974, 8: 173-174.
- [14] Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects [J]. *Lithos*, 97: 1-29.
- [15] 张旗,冉皞,李承东. A型花岗岩的实质是什么? [J]. *岩石矿物学杂志*, 2012, 31(4): 621-626.
- [16] 洪大卫,王式浣,韩宝福,靳满元. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志 [J]. *中国科学(B辑)*, 1995, 25: 418-426.
- [17] Sylvester P J. Post-collisional peraluminous granite [J]. *Lithos*, 1998, 45: 29-44.
- [18] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956-983.
- [19] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks [J]. *Episodes*, 1996, 19: 120-125.
- [20] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1): 92-103.
- [21] Carter A, Roques D, Bristow C, Kinn P. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism in Vietnam [J]. *Geology*, 2001, 29(3): 211-214.
- [22] Tran N N, Sano Y, Terada K, Mitsuhiro T, Phan V Q, Le T D. First SHRIMP U-Pb zircon dating of granulites from the Kontum massif (Vietnam) and tectonothermal implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19: 77-84.
- [23] 梁新权,李献华,丘元禧,杨东生. 华南印支期碰撞造山——十万大山盆地构造和沉积学证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2005, 29(1): 99-112.
- [24] Carter A, Roques D, Bristow C, Kinn P. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism in Vietnam [J]. *Geology*, 2001, 29(3): 211-214.
- [25] 舒良树. 华南构造演化的基本特征 [J]. *地质通报*: 2012, 31(7): 1035-1053.
- [26] Wang D Z, Shu L S. Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeast China [J]. *Geoscience Frontier*, 2012, 3(2): 109-124.
- [27] 邓平,舒良树,余心起,王彬,谭正中,孙岩. 闽西—赣南早—中侏罗世盆地及其火成岩特征 [J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 521-532.
- [28] 杨宗永,何斌. 华南侏罗纪构造体制转换: 碎屑锆石 U-Pb年代学证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(4): 580-591.
- [29] Gilder S A, Keller G R, Luo M. Eastern Asia and the western Pacific timing and spatial distribution of rifting in China [J]. *Tectonophysics*, 1991, 197: 225-243.
- [30] 舒良树,周新民,邓平,余心起. 南岭构造带的基本地质特征 [J]. *地质论评*, 2006, 52(2): 251-265.
- [31] Zhou X M, Sun T, Shen W Z, Shu L S. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution [J]. *Episodes*, 2006, 29(1): 26-33.