

# 广东南山花岗岩形成时代、地球化学特征与成因\*

姚正红<sup>1</sup>, 肖惠良<sup>2</sup>, 范飞鹏<sup>2</sup>, 陈乐柱<sup>2</sup>, 鲍晓明<sup>2</sup>, 周延<sup>2</sup>, 武玲<sup>2</sup>, 吴涵宇<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037)

(2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016)

**摘要:**广东南山花岗岩体位于陂头复式岩体西端, 锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为  $158.1 \pm 1.8$  Ma, 是燕山早期岩浆活动的产物。岩石化学特征显示岩体以高硅、富碱、贫 Ca 和 Mg 以及高  $\text{TFeO}/\text{MgO}$ 、低  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  为特征。其  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$ ,  $\text{A}/\text{NK} = 7.8 \sim 11.92$ ,  $\text{A}/\text{CNK} = 1.33 \sim 1.68$ , 属过铝质碱性岩石。在稀土和微量元素组成上, 岩石富含稀土元素(除明显的负 Eu 异常,  $\delta\text{Eu} = 0.09 \sim 0.16$ )以及 Zr、Y、Th、U、Nb 等高场强元素, 贫 Ba、Sr、Ti 等, 高  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  (比值大于 2.6)。在 Zr、Nb、Ce、Y 对  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  以及  $\text{TFeO}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$  等 A 型花岗岩多种判别图上, 投影点主要落在 A 型花岗岩区, 而与高分异的 I、S 型花岗岩明显不同。这些特征均指示, 南山岩体具有铝质 A 型花岗岩的特点。通过 Y-Nb-3Ga 和 Y-Nb-Ce 构造环境判别图解将其进一步划分为 A2 型花岗岩, 代表其形成于拉张的构造背景之下。本文在此研究基础上, 认为南山花岗岩岩浆可能形成于相对挤压的中侏罗世。而在晚侏罗世早期相对拉张的作用下, 岩石圈减薄, 软流圈地幔上涌, 地壳的泥质岩和少量砂质岩受到幔源流体富集后发生部分熔融后上侵形成铝质 A 型花岗岩, 且有较强的结晶分异作用。

**关键词:**燕山期; 铝质 A 型花岗岩; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 地球化学; 南山花岗岩; 广东  
**中图分类号:** P588.12 **文献标识码:** A

## 1 引言

南山花岗岩体位于广东省北部始兴县境内, 陂头复式岩体的西端。粤北地区分布有大量的中生代的中酸性岩体, 常以复式岩体出现, 如大东山岩体, 贵东岩体, 陂头岩体等<sup>[1]</sup>, 且多种金属矿产与岩体有关。因此, 这一地区一直是人们研究花岗岩成岩成矿的重要地区。

近年来, 中国地质调查局在《湘赣粤相邻地区钨矿远景调查》和《广东始兴一连平地区钨钼多金属矿评价》项目实施过程中, 在南山地区发现了与花岗岩有关的具有大型远景的钨锡多金属矿床。迄今为止, 项目组在广东南山地区开展钨锡多金属矿资源评价的同时, 对成矿作用、成矿机制、含矿岩体、勘查地球化学、成矿物质组成及成矿规律等方面作了大量工

\* 收稿日期: 2010-07-02

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(编号: 12120140430335 和 1212010533003)资助。

第一作者简介: 姚正红(1985~), 男, 硕士研究生, 矿床地球化学专业。

作<sup>[2]</sup>,本文在项目成果资料的基础上,就南山矿区花岗岩地质地球化学特征、成岩时代等方面进行了深入研究,对南山花岗岩岩源区特征、构造背景及其成因进行了探讨,旨在为南岭乃至整个华南地区花岗岩研究提供新的内容。

2 地质背景和花岗岩地质特征

在大地构造上,南山花岗岩体位于南岭东西向构造带的东段,湘赣桂台向斜的南东边缘,始兴红盆的南侧,地理上位于始兴县城东部约 20 km 处。区域内出露的地层以古生代为主,主要为寒武系、泥盆系的一套海相—滨海相碳酸盐岩夹陆源相的浅变质碎屑岩沉积建造,其中下泥盆统浅变质岩系由泥质砂岩、石英砂岩、千枚岩、板岩等组成(图 1)。

南山花岗岩体主要分布于区域的南北两侧,平面上呈极不规则形状,出露面积约 14 km<sup>2</sup>,岩体与围岩之间呈明显的侵入接触,界线清晰,侵位接触面产状一般外倾。岩体范围内,北北西—南南东向、北东向或东西向两组断裂十分发育。主体岩性以钾长花岗岩为主,呈灰白色、浅肉红色,具不等粒花岗岩结构,似斑状结构,块状构造。主要矿物组成:钾长石约占 60%~65%,斜长石小于 5%,石英 25%~30%,黑云母小于 5%,白云母少量。钾长石一般为微斜条纹长石,斜长石主要为奥长石,呈长柱板状;石英半自形粒状结构;黑云母结晶较晚,则呈鳞片状镶嵌于石英和长石之间。基质为细粒,粒径为 1~3 mm。斑晶由钾长石、石英组成,以前者为主,后者少见。钾长石斑晶均呈灰白色,斑晶由小(3~8 mm)到大(1~2)×(2~3) cm<sup>2</sup>,含量由少(1%)到多(3%~5%)。石英斑晶出现在岩体的内部,大小为 3~5 mm,最大可达 7~8 mm,含量 1%~3%。普遍见有黑云母,含量变化大,一般在 3%左右。白云母分布比较均匀,片小,含量 3%左右。副矿物以榍石、磷灰石、锆石、毒砂和黄铁矿组合为主,并见次生矿物:高岭土、绢云母、绿泥石、白钛矿、氧化铋等。近期,付建明等(2008)对粤北始兴地区的师姑山钨铋矿和石人嶂钨矿床进行了年代学研究,分别获得含矿石英脉中共生辉钼矿物 Re—Os 等时线年龄为 154. 2 ± 2. 7 Ma 和 159. 1 ± 2. 2 Ma,表明始兴地区的花岗岩可能是燕山早期岩浆活动的产物<sup>[3]</sup>。

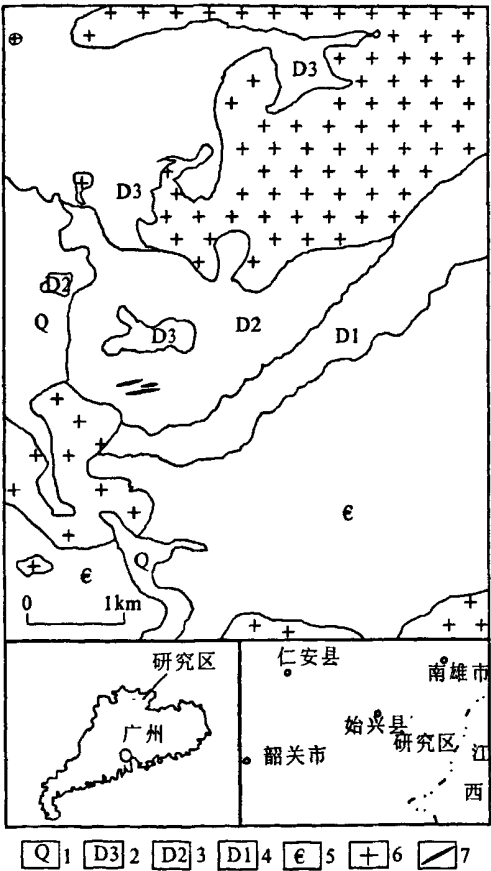


图 1 南山花岗岩体地质略图

Fig.1 Geological sketch of Nanshan granite body

1-第四系; 2-上泥盆统; 3-中泥盆统; 4-下泥盆统; 5-寒武系; 6-花岗岩体; 7-花岗岩脉

3 样品和分析方法

所分析的全岩样品是经镜下研究后选取的,无污染球磨制样。主量元素、稀土元素和微量元素在中国地质调查局南京地质矿产研究所南京实验测试中心完成,主量元素采用湿化学方法分析,精度优于1%;稀土元素和微量元素采用X-荧光光谱仪、电感耦合等离子体发射光谱仪测定,相对标准小于5%。为进行锆石SHRIMP U-Pb 定年,选择新鲜全岩样品,经破碎、淘洗、磁选和重液选,分离出锆石。然后在双目显微镜下选出晶形好、无裂纹和无包裹体的锆石粘贴在环氧树脂表面,抛光后将待测锆石进行阴极发光图像分析。用于锆石 U-Pb 年代学测定的样品,在廊坊区域地质矿产调查研究所实验室对锆石进行了分选,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 I 完成,详细的分析流程及原理参考 Williams 等<sup>[4]</sup>、简平等<sup>[5]</sup>的文章。

4 形成时代

以前对南山花岗岩尚未有过年代学研究。本文采用锆石SHRIMP U-Pb 法测定岩体的形成时代。分析结果列于表1。

表1 南山花岗岩体锆石 U-Pb 同位素分析结果  
Table 1 Zircon U-Pb isotopic analyses of Nanshan granite body

序号	Th/ ×10 <sup>-6</sup>	U/ ×10 <sup>-6</sup>	Th/U	同位素原子比值			表面年龄(Ma)	
				<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb
1	262	567	0.48	0.16(30)	0.0248(21)	0.051(20)	157.9	159
2	69	99	0.72	0.17(58)	0.0237(23)	0.064(43)	152.0	548
3	187	326	0.59	0.17(33)	0.0249(20)	0.053(26)	158.8	317
4	557	1838	0.31	0.19(21)	0.0263(18)	0.053(11)	167.1	298
5	379	384	1.02	0.18(30)	0.0246(19)	0.048(26)	155.5	120
6	237	1024	0.24	0.20(23)	0.0275(18)	0.053(14)	174.2	258
7	249	385	0.67	0.17(33)	0.0248(20)	0.054(23)	158.6	328
8	164	281	0.60	0.16(37)	0.0247(20)	0.052(27)	157.6	106
9	64	149	0.45	0.17(49)	0.0247(21)	0.060(36)	158.0	302
10	306	720	0.44	0.17(29)	0.0246(19)	0.052(21)	156.7	218
11	319	435	0.76	0.18(31)	0.0251(21)	0.052(23)	159.8	297
12	652	1081	0.62	0.17(24)	0.0246(18)	0.054(14)	157.5	362
13	350	320	1.13	0.18(33)	0.0247(20)	0.054(26)	156.9	280

注:上表比值中的铅同位素均为放射成因同位素,括号内的数值为2σ绝对误差,0.18(33)表示0.18±0.033(2σ)。

由表1所示,被测锆石点均具有较高的Th、U含量,且锆石颗粒Th/U比值均在0.4以上(除之4、6号锆石外,可能同锆石内部含有继承锆石核有关)(表1),同时阴极发光图像(CL)显示较明显的环带结构(图略),具有典型的岩浆锆石特征。由于半衰期差异,锆石中放射成因的<sup>207</sup>Pb的丰度比放射成因的<sup>206</sup>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,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄值精度更高,更能准确地反映成岩年龄。在<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U—<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 谐和图及其加权平均年龄图上,年龄主要集中在152.0~167.1 Ma之间(图2a、2b),其加权平均年龄为158.1±1.8 Ma;代表了南山花岗岩的形成年龄。

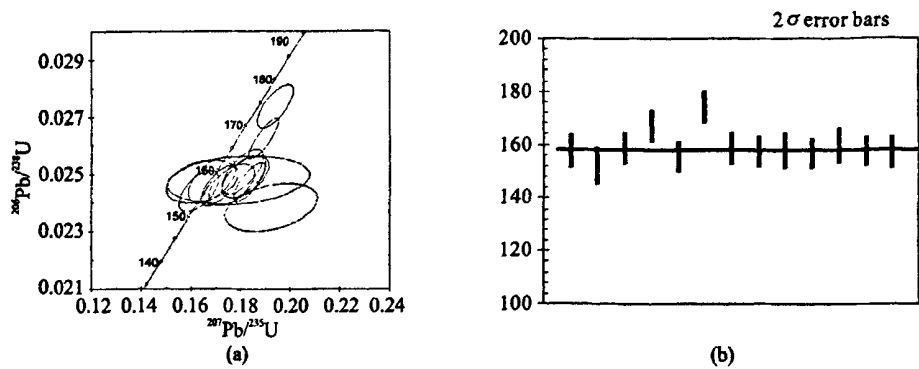


图 2 南山岩体花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)和加权平均年龄图(b)

Fig. 2 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted mean age (b) diagram of Nanshan granite body

4 地球化学特征

4.1 主量元素

南山岩体主量元素分析结果见表 2,其组成具有如下特征:

(1)在 Q-A-P 岩浆岩分类命名图解中,岩石样品位于钾长花岗岩区(图 3)。

(2) SiO<sub>2</sub> 含量高 (74.27%~77.76%,平均 76.46%)。

(3)碱含量较高 (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O = 6.92%~8.45%,平均 7.73%);钾大于钠 (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O = 1.61~4.73,平均 2.52);碱度率为 2.13~4.06 (平均 3.38)。在 SiO<sub>2</sub>(w%) - AR 图解上,数据点都落于碱性区域(图 4),显示其碱性特征。

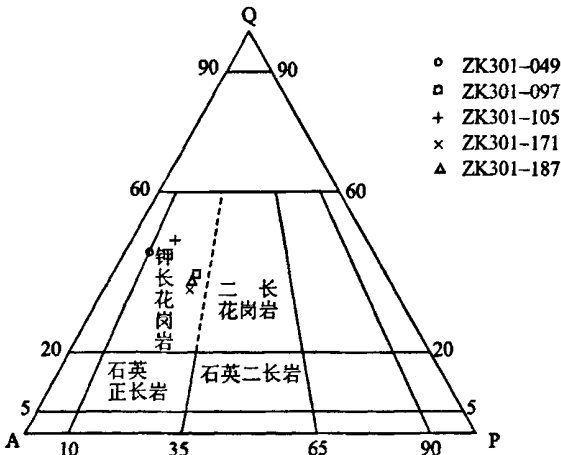


图 3 南山岩体花岗岩的 Q-A-P 分类投影图

Fig. 3 Q-A-P diagram of Nanshan granites

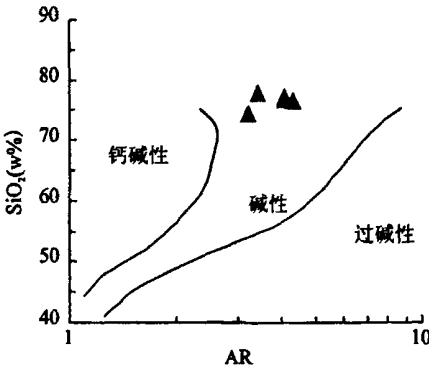


图 4 南山花岗岩 SiO<sub>2</sub>(w%) - AR 图解(据 J. B. Wright, 1969)

Fig. 4 SiO<sub>2</sub>(w%) vs. AR discrimination diagram for Nanshan granites (after J. B. Wright, 1969)

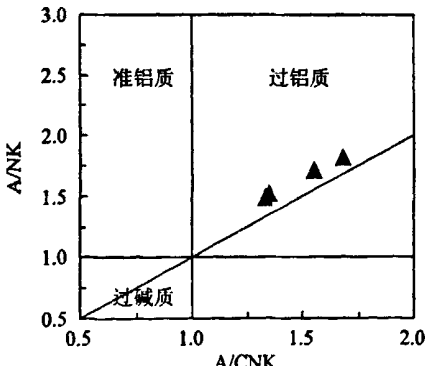


图 5 南山花岗岩 A/NK-A/CNK 岩石系列分类图解(据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 5 A/NK vs. A/CNK discrimination diagram for Nanshan granites (after Maniar and Piccoli, 1989)

表2 南山铝质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 Nanshan aluminous A-type granites and comparison with the same type granites

产地	南山					华南	苏州	南昆山	世界平均			
样号	ZK301 -049	ZK301 -097	ZK301 -105	ZK301 -171	ZK301 -187	1(272)	3(5)	4(3)	A(148)	M(17)	S(578)	I(991)
SiO <sub>2</sub>	74.27	77.02	77.76	76.47	76.77	72.76	76.23	75.06	73.81	67.24	70.27	69.17
TiO <sub>2</sub>	0.083	0.075	0.072	0.094	0.1	0.23	0.08	0.08	0.26	0.49	0.48	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.49	11.9	11.89	12.57	12.31	13.51	12.55	12.61	12.4	15.18	14.33	14.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51	0.32	0.69	0.4	0.44	0.09	0.66	0.41	1.24	1.94	0.56	1.04
FeO	1.06	0.92	0.74	1.04	0.79	1.77	0.85	1.2	1.58	2.35	2.87	2.29
MnO	0.22	0.065	0.17	0.12	0.06	0.07	0.03	0.05	0.06	0.11	0.06	0.07
MgO	0.16	0.02	0.1	0.03	0.17	0.51	0.06	<0.01	0.2	1.73	1.42	1.42
CaO	0.62	1	0.77	1	1.01	1.3	0.45	0.68	0.75	4.27	2.03	3.2
Na <sub>2</sub> O	1.29	2.99	1.74	3.23	3.02	3.27	3.77	3.68	4.07	3.97	2.41	3.13
K <sub>2</sub> O	6.1	4.81	5.18	5.22	5.06	4.71	4.38	4.56	4.65	1.26	3.96	3.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.08	0.088	0.069	0.083	0.09	0	0.02	0.04	0.09	0.15	0.11
烧失	0	0	0	0	0							
总量	98.9	99.2	99.2	100.24	99.81							
Qr	36.05	28.43	30.61	30.85	29.9							
Ab	10.92	25.3	14.72	27.33	25.55							
An	2.49	4.49	3.29	4.38	4.54							
ALK	7.39	7.8	6.92	8.45	8.08	7.98	8.15	8.24	8.72	5.23	6.37	6.53
AR	3.2	4.06	3.41	4.3	4.08							
CaO/Na <sub>2</sub> O	0.48	0.33	0.44	0.31	0.33							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	162.53	158.67	165.14	133.72	123.1							
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	4.73	1.61	2.98	1.62	1.68							
A/NK	11.92	7.8	8.99	8.45	8							
A/CNK	1.68	1.35	1.55	1.33	1.35							
TFeO	2.48	1.21	1.36	1.4	1.29							
TFeO+MgO+ TiO <sub>2</sub>	2.66	1.3	1.53	1.52	1.46							
TFeO/MgO	24.79	60.4	13.61	46.67	18.37	5	24	157	13.4	2.37	2.27	2.38

注: ALK=Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O; A/CNK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO), 摩尔比; A/NK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O), 摩尔比; TFeO=FeO+0.9Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 括号内的数值为样品数。

(4) 铝饱和指数(A/CNK)高, 样品的A/CNK 比值都大于1.1(1.33~1.68, 平均1.45), 在A/CNK-A/NK 图解上, 数据点也都投于过铝质区域内(图5), 表明岩石属强过铝花岗岩范畴。

(5) 碱性长石含量高(Ab+Or=45.33%~58.18%), 钙长石含量低(An=2.49%~4.54%)。岩体总体表现出富硅、富碱, 贫Ca、Fe 和Mg 的特点。与整个华南地区燕山期花岗

岩相比<sup>[6]</sup>,南山岩体的 $\text{Si}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{TFeO}/\text{MgO}$ 偏高, $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$ 明显偏低,与广东南昆山<sup>[7]</sup>、江苏苏州<sup>[8]</sup>铝质A型花岗岩一致(表2)。而与世界平均M型、S型和I型花岗岩<sup>[9]</sup>不同,南山岩体具有富Si、富碱,贫Ca和Mg的特点(表2),与世界平均A型花岗岩非常一致。本区花岗岩中普遍出现的 $\text{TiO}_2$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$ 显著偏低,这与相对富Al的S型花岗岩( $\text{P}_2\text{O}_5$ 一般大于0.10%)随分异作用的进行 $\text{P}_2\text{O}_5$ 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。

#### 4.2 稀土元素及微量元素

由表3可知,岩体的稀土元素含量较高, $\Sigma\text{REE}=(148\sim175.8)\times10^{-6}$ (平均 $163.9\times10^{-6}$ ); $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}=2.58\sim4.26$ ,平均3.22; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=1.62\sim2.51$ ,平均2.0,轻稀土部分分馏较明显,其 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=2.51\sim3.27$ ;  $(\text{Ga}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值较小(0.84~1.03),反映重稀土的分馏不明显;Eu强烈亏损( $\delta\text{Eu}=0.09\sim0.16$ );稀土球粒陨石标准化分布模式图上,LREE平缓的右倾趋势,一定的Eu负异常和平缓的HREE曲线,总体呈典型的A型花岗特有的海鸥型(图6)。较强的负Eu异常出现,表明岩浆结晶作结晶过程中存在明显的斜长石分离结晶作用。

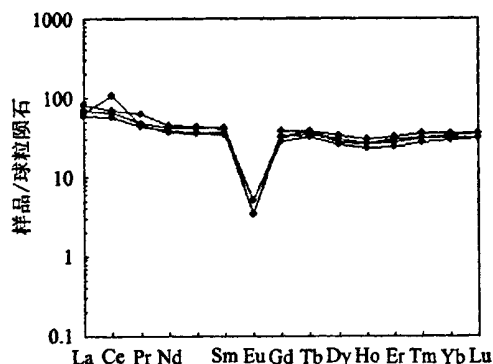


图6 南山花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化分布模式图解(据Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of Nanshan granites (after Sun and McDonough, 1989)

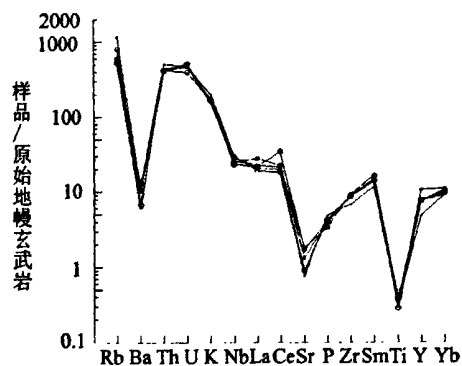


图7 南山花岗岩微量元素原始地幔玄武岩标准化蛛网图解(据Wood, 1979)

Fig. 7 Primitive mantle basalt-normalized trace element spidergram of Nanshan granites (after Wood, 1979)

与世界平均M型、S型和I型花岗岩<sup>[9]</sup>相比,南山花岗岩的Ga、Th、Y、U和Nb含量明显偏高,Ba和Sr明显偏低,而与世界A型花岗岩平均值一致(表3),显示出高分异花岗岩的特点。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图7)和稀土配分图上,可以看到南山花岗岩体的Ba、Sr、P和Ti表现为强烈亏损;相反,高场强元素(HFSE)Zr、Y、Hf含量中等,大离子亲石元素(LILE)K、Rb、U、Th和重稀土元素( $\text{Dy}+\text{Ho}+\text{Y}+\text{Yb}+\text{Lu}$ )等富集,显示他们可能经历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;Nb和Ta的亏损说明岩浆源区可能有变砂岩或泥岩成分。研究区的GA值( $10000\times\text{Ga}/\text{Al}=3.07\sim4.17$ )与世界I型(2.25)和S型花岗岩(2.39)平均值相比(表3),明显偏高。总体上,岩体的稀土元素和微量元素特征与广东南昆山、江苏苏州、安徽黄山和金鸡岭复式岩体铝质A型花岗岩十分一致。

表3 南山铝质A型花岗岩微量元素和稀土元素含量( $\times 10^{-6}$ )及其与同类岩石的对比Table 3 Trace element and REE contents ( $\times 10^{-6}$ ) of Nanshan A-type granites and comparison with the same type granites

地区	南山					苏州	南昆山	世界平均			
样号	ZK301 -049	ZK301 -097	ZK301 -105	ZK301 -171	ZK301 -187	SuG 2(5)	FG(3)	A(148)	M(17)	S(578)	I(991)
Ba	87	47	51.4	96.6	80	40.6	405.14	352	263	538	468
Rb	995	430	691	514	449	519.4	750.96	169	17.5	151	217
Sr	17.2	30.1	20.4	40.9	39	12.2	10.91	48	282	247	120
Cs	230	46.2	89.2	97.3	43	9.25	10.55				
Ta	8.1	3	2.2	2.3	3.5	9.97	13.8				
Nb	18.4	16	18.3	15.5	14.4	103.06	110.46	37	1.3	11	12
Hf	1.9	2.9	2.6	2.6	2.6	16.84	13.09				
Zr	73.6	97.4	97.7	101	94.2	287.2	250.21	528	108	151	165
Y	23.5	51.7	36.7	36.9	37.4	123.16	100.94	75	22	28	32
Th	48.2	41.9	40.4	39	40.5	110.52	77.53	23	1	18	18
U	12.6	12.9	10.6	12.6	13.6	15.76	25.49	5	0.4	4	4
Be	49	27.4	10.2	9.71	9.86						
Li	263	49.5	56.5	193	22.9						
Ga	27.5	18	20	19	18.5	23.88	30.48	24.6	15	16	17
Ge	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5						
La	14.7	16.3	13.7	19.7	15.4	37.62	31				
Ce	37.2	40.3	34.4	42.8	65.6	74.74	53.9				
Pr	2.9	4.5	4.1	5.9	4.2	7.76	6.08				
Nd	16.8	19.7	17.5	21.3	17	29.94	20.31				
Sm	4.5	6.5	5.6	6.3	5.3	9.12	3.96				
Eu	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.17	0.36				
Gd	5.2	7.8	6.6	6.5	5.8	7.76	3.91				
Tb	0.7	1.4	1.3	1.4	1.2	1.74	0.64				
Dy	6.5	8.5	7.6	6.9	6.5	13.08	3.79				
Ho	1.2	1.7	1.5	1.5	1.3	3.51	0.9				
Er	4.5	5.3	4.9	4.5	4	11.36	2.8				
Tm	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	1.08	0.47				
Yb	5	6.1	5.7	5.3	5	17.03	3.28				
Lu	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	3.09	0.48				
$\Sigma$ REE	148	174.9	151.9	169.1	175.8						
$\delta$ Eu	0.13	0.09	0.1	0.14	0.16						
L/H	3.09	2.68	2.58	3.48	4.26						
(La/Yb) <sub>N</sub>	1.98	1.8	1.62	2.51	2.08						
(La/Sm) <sub>N</sub>	3.27	2.51	2.45	3.13	2.91						
(Ga/Yb) <sub>N</sub>	0.84	1.03	0.93	0.99	0.94						
GA	4.31	4.18	4.23	4.18	4.18						

注:GA=10000×Ga/Al;L/H=ΣLREE/ΣHREE。括号内数据为样品数。

5 讨论和结论

A 型花岗岩自提出以来<sup>[10]</sup>,由于其特殊的成因、产出的特殊构造背景及其重要的地球动力学意义,一直备受国内外学者关注。目前,国外提出的观点各式各样<sup>[9,11-16]</sup>,国内学者也对 A 型花岗岩进行了大量研究和探讨<sup>[17-24]</sup>。自 King et al(1997)<sup>[15]</sup>提出铝质 A 型花岗岩的概念以来,在我国东部地区江苏苏州、广东南昆山、安徽黄山、湖南金鸡岭复式岩体等地都已发现此类花岗岩。

(1)在化学成分上,A 型花岗岩与其他类型有着显著的区别。A 型花岗岩富硅、碱,贫 Mg、Ca,具有较高的 TFeO/MgO、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O、KN/A 比值,富 Rb、Th、Nb、Zr、Hf、Ga、Y,贫 Sr、Ba、Cr、Co、Ni、V,并有显著的负 Eu 异常,Ga/Al 值高<sup>[9,11]</sup>。同时稀土元素含量高(除 Eu 外),轻稀土常为富集型,且其配分模式呈海鸥型展布。由表 2 可见,南山岩体的 TFeO/MgO 比值(13.61~60.40,平均 32.77)明显高于一般 I 型(991 个样品平均值 2.27)、S 型(578 个样品平均值 2.38)和 M 型(17 个样品平均值 2.37)花岗岩。在 Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O 图解(图 8)中,投点大部分落在 A 型花岗岩区域,少数点投于 S 型花岗岩区可能是由于岩浆高度分异过程中,造成 Na 的流失。同时,Eby<sup>[12]</sup>指出:对于高硅花岗岩(>74%),TFeO/MgO—SiO<sub>2</sub> 图解能有效的把大多数 A 型花岗岩与 I 型和 S 型花岗岩区别开来。由图 9 可见,南山花岗岩在该图解中均落入 A 型花岗岩区,与华南 I 型花岗岩和 S 型花岗岩<sup>[12]</sup>区别明显。

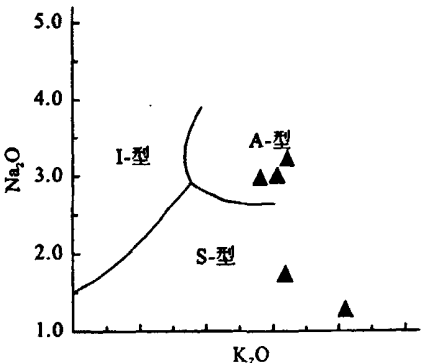


图 8 南山花岗岩 Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O 图解(据 Collins, 1982)

Fig. 8 Na<sub>2</sub>O vs. K<sub>2</sub>O discrimination diagram for Nanshan granites (after Collins, 1982)

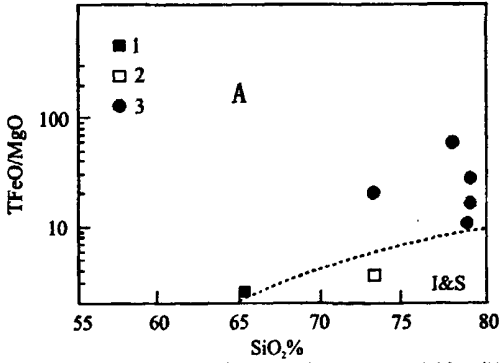


图 9 南山花岗岩 TFeO/MgO—SiO<sub>2</sub> 图解(据 Eby, 1990)

Fig. 9 TFeO/MgO—SiO<sub>2</sub> discrimination diagram for Nanshan A-type granites (after Eby, 1990)

1-华南 I 型; 2-华南 S 型; 3-南山花岗岩

在稀土和微量元素组成上,由表 3 可见,该岩体富含稀土元素,轻稀土部分分馏明显,且稀土分布曲线呈典型的海鸥型;同时高场强元素(Ga、Th、Y、Zr、U 和 Nb)含量很高,Ba、Sr 较低,Ga 值(3.07~4.17,平均 3.37)也明显高于 A 型花岗岩的下限值 2.6。在 Zr、Nb、Ce、Y 对 Ga/Al 图解(图 10)上,南山花岗岩也都落在 A 型花岗岩区域,而与分异的 I、S 花岗岩明显不同。上述特征均表明南山地区花岗岩属于铝质 A 型花岗岩范畴。

(2)通常认为 A 型花岗岩形成温度较高,且形成压力也较低,一般为浅部的中上地壳。然而,A 型的物源和成因是及其复杂的,并且按其物质来源分为两类,即:A1 型,其物质来源



以地幔为主,可能混有少量地壳物质的混染;以壳物质为主的A2型,可能是浅部地壳未变质的沉积岩熔融产生,或多或少混有少量地幔的成分<sup>[12-13]</sup>。资料表明,华南内陆A型花岗岩主要为A2型,A1型花岗岩类则较少。对于南山地区铝质A型花岗岩,作者认为其很可能属于壳源型花岗岩。

对于过铝质花岗岩,Sylvester(1998)<sup>[25]</sup>提出,可依据 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值判断花岗岩的源区物质成分: $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} > 0.3$ ,表示源区属于砂屑岩成分; $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} < 0.3$ ,表示源区属于泥质岩成分。南山岩体的 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均值(0.38)大于0.3,但是岩体的 $\text{TFeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ 含量(1.3%~2.66%,平均1.70%)都低于4%,在此条件下, $\text{Ca}/\text{Na}_2\text{O}$ 大于0.3的花岗岩的源岩仍为泥质岩<sup>[25]</sup>。因此本文认为,南山岩体的源岩由泥质成分岩石为主,可能含有少量砂质岩成分。

同时,Sylvester指出 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值可以用来作为源区部分熔融温度的指示剂<sup>[25]</sup>;若 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 > 100$ ,部分熔融温度低于875℃;若 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 < 100$ ,则部分熔融温度高于875℃。由表2可知,南山岩体的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值大于100(123.10~165.14,平均148.63),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结果表明,如表4所示,熔融温度在800℃附近,只要其它条件满足,是完全可以形成A型花岗岩的。因此,作者认为南山花岗岩类似于A2型花岗岩,其源区物质可能以壳源物质为主,主要是泥质岩成分。

表4 与A型花岗岩相关的实验岩石学条件及结果表

Table 4 Conditions and results for melting experiment related to A-type granites

原岩成分	熔融温度 (℃)	含水量 (%)	压力 (kbar)	熔体比例 (%)	备注
A型花岗岩	640~790	—	<2	10~30	Anderson, 1983
A型花岗岩	830	2.4~4.3	1	—	Clemens et al., 1986
A型花岗岩	800~870	4.5~6.5	3	—	Dall'Agnol et al., 1999
A型花岗岩	800	2~5	2	—	Klimm et al., 1997
A型流纹岩	660~740	1~6	1.5~5	—	Scaillet and Macdonald, 2001, 2003

(3)A型花岗岩往往反映了岩浆活动的特殊构造环境<sup>[13]</sup>,其中A1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;而A2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。如前所述,南山花岗岩在 $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 直方图(图10)上均落在A型花岗岩区域,并且在Y-Nb-3Ga、Y-Nb-Ce三角判别图(图11a、11b)中,多数落于A2型花岗岩的区域中,构造环境的进一步判别表明,南山花岗岩都属于板内花岗岩(图12),由此说明南山花岗岩可能形成于拉张环境(post-orogenic)。

南山地处南岭东段,印支造山运动的效应导致了印支板块与华南板块碰撞的响应,以挤压造山为主的印支碰撞运动使南岭地区地壳厚度增加,挤压应力环境往往有利于酸性岩浆体系的形成。资料表明,华南地区中侏罗世大部分岩浆活动集中于180~160 Ma期间<sup>[26]</sup>,并且当前越来越多的证据支持这些岩浆活动是发生在伸展构造应力体制下<sup>[27-29]</sup>。南山花岗岩

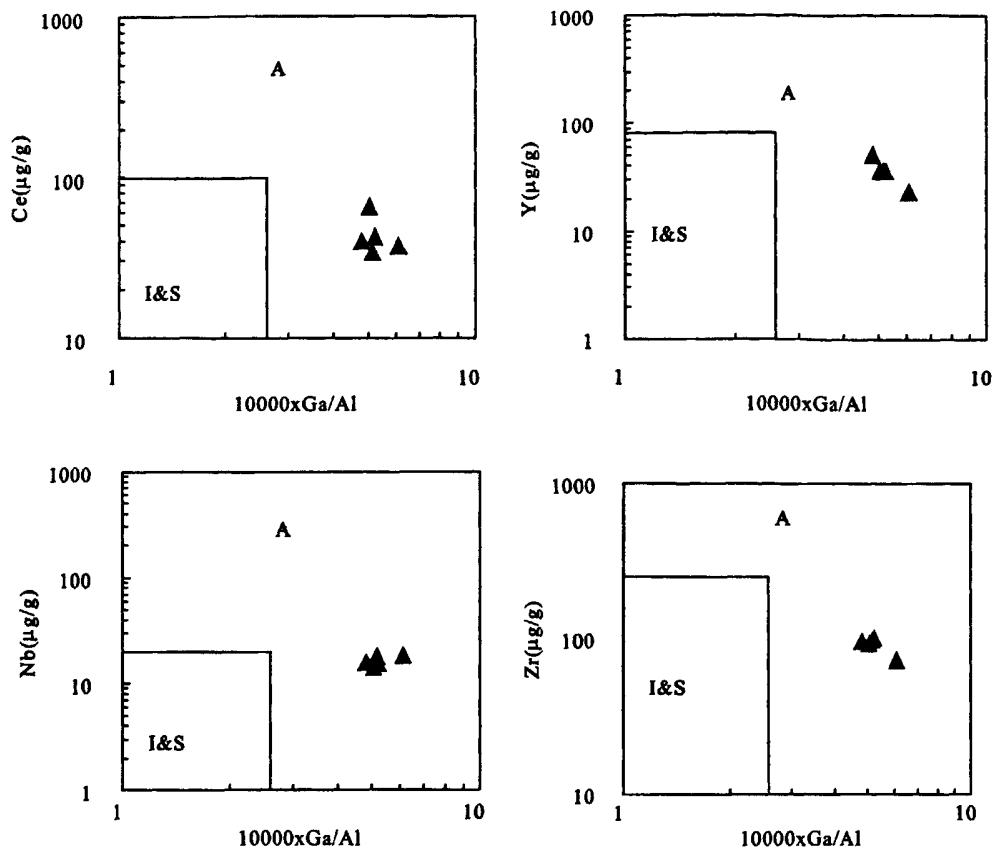


图 10 Zr、Nb、Ce、Y 对 Ga/Al×10000 岩石系列判别图(据 Whalen 等, 1987)

Fig. 10 Discrimination diagrams of Zr, Nb, Ce, Y vs. 10000×Ga/Al(after Whalen et al. 1987)

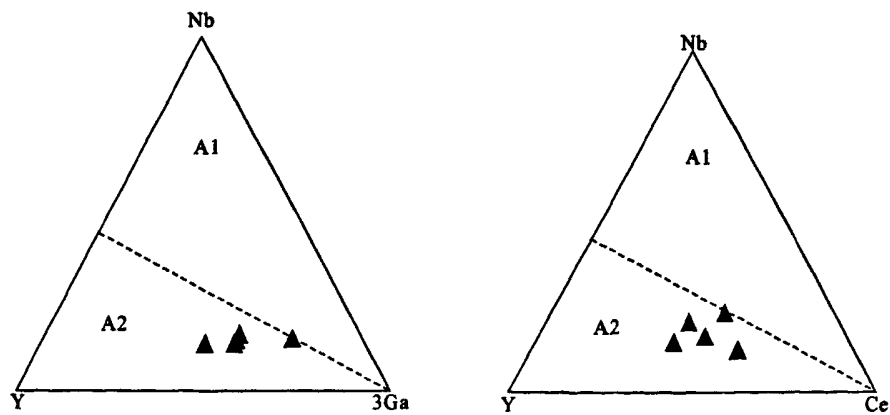


图 11 A1、A2 花岗岩 Y-Nb-3Ca (a) 及 Y-Nb-Ce (b) 构造环境判别图解(据 Eby, 1992)

Fig. 11 Tectonic setting discrimination diagram of Y-Nb-3 Ga (a) and Y-Nb-Ce (b) for A1 and A2 granites (after Eby, 1992)

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $158.1 \pm 1.8$  Ma, 属于燕山期岩浆活动的产物。因此, 作者推断, 南山花岗质岩浆很可能形成于相对挤压的中侏罗世, 至晚侏罗世早期, 由于挤压应力向拉张作用的转换, 导致岩石圈减薄, 引发地幔物质上涌, 地壳的泥质岩和少量砂质岩受到幔源流体富集后发生部分熔融的方式形成的, 并在熔融过程中发生了强烈的分异结晶作用, 侵位之后形成铝质 A 型花岗岩。

致谢: 本文是中国地质调查局《湘赣粤相邻地区钨矿远景调查》和《广东始兴一连平地区钨钼多金属矿评价》项目成果资料基础上整理成文, 是项目成果的一部分。项目组全体成员为此付出大量辛勤劳动, 北京离子探针中心苗兰成老师指导和帮助完成了锆石的 SHRIMP U-Pb 测年工作, 地球化学数据整理运用了长江大学路远发教授开发的 GeoKity 软件。作者在此对项目组同仁及苗兰成老师、路远发教授表示衷心感谢!

## 参考文献

- [1] 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖, 等. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [2] 肖惠良, 陈乐柱, 吴涵宇, 等. 广东始兴南山钨钼多金属矿床的发现及其意义[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 558-564.
- [3] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1): 57-62.
- [4] Williams IS, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonian, I. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1987, 97: 205-217.
- [5] 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.
- [6] 刘昌实, 朱金初. 华南四种成因类型花岗岩类岩石化学特征对比[J]. 岩石学报, 1989, 2: 9-14.
- [7] 刘昌实, 陈小明, 王汝成, 等. 广东龙口南山铝质 A 型花岗岩的成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2003a, 22(1): 1-10.
- [8] 陈江峰, Fol. K A, 刘义茂. 苏州复式花岗岩体的精确  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年[J]. 岩石学报, 1993, 9: 77-85.
- [9] Whalen JB, Carrie KL, Chappell BW. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib. Mineral Petrol, 1987, 95(40): 407-419.
- [10] Loiselle MC, Wones DR. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. Geol. Soc. Am Bull, 1989, 101: 635-643.
- [11] Collins WJ, Beams SD, White AJR, et al. Nature and origin of an A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. Contrib. Mineral Petrol, 1982, 80: 189-200.
- [12] Eby GN. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and specu-

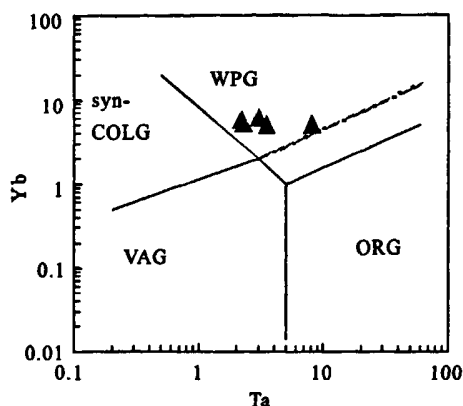


图 12 南山花岗岩构造环境的微量元素判别图(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 12 Trace element discrimination diagram of tectonic setting for Nanshan granites(after Pearce et al. 1984)

VAG-火山弧花岗岩; WPG-板内花岗岩; Syn-COLG-同碰撞花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩

- lations on their petrogeneses [J]. *Lithos*, 1990, 26: 115-134
- [13] Eby GN. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implication [J]. *Geology*, 1992, 20: 641-644.
- [14] Landenberger B, Collins WJ. Derivation of A-type granites from a dehydrated charnockitic lower crust: Evidence from the Chaelundi complex, Eastern Australia [J]. *Petril.*, 1996, 37: 145-170.
- [15] King PL, Chappell BW, Allen CM, et al. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite, Australian [J]. *Earth Sci.*, 2001, 48: 501-514.
- [16] Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects [J]. *Lithos*, 2007, 97: 1-29.
- [17] 陈培荣, 章邦桐. A型花岗岩类研究综述[J]. *华南地质与矿产*, 1994(4): 9-14.
- [18] 刘昌实, 陈小明, 陈培荣, 等. A型岩套的分类、判别标志和成因[J]. *高校地质学报*, 2003b, 9(4): 573-591.
- [19] 王强, 赵振华, 简平, 等. 华南腹地白垩纪A型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南中生代构造演化的制约[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3): 795-808.
- [20] 顾连兴. A型花岗岩的特征、成因及成矿[J]. *地质科技情报*, 1990, 9(1): 25-31.
- [21] 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.
- [22] 许保良, 阎国翰, 张臣. A型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源[J]. *地学前缘*, 1998, 5(3): 113-124.
- [23] 袁忠信. 关于A型花岗岩命名问题的讨论[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(3): 293-296.
- [24] Sylvester PJ. Post-collisional peraluminous granite [J]. *Lithos*, 1998, 45: 29-44.
- [25] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 41-43.
- [26] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 南岭构造带的基本地质特征[J]. *地质论评*, 2006, 52(2): 251-265.
- [27] 孙涛, 周新民, 陈培荣, 等. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2003, 33(12): 755-768.
- [28] 孙涛, 陈培荣, 周新民. 中国东南部晚中生代伸展应力体制的岩石学标志[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(6): 737-746.
- [29] Zhou XM, Li WX. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. *Tectonophysics*, 2000, 326: 269-287.

## Formation age, geochemistry and petrogenesis of Nanshan granite body, Guangdong Province

YAO Zheng-hong<sup>1</sup>, XIAO Hui-liang<sup>1,2</sup>, FAN Fei-peng<sup>2</sup>, CHEN Le-zhu<sup>2</sup>,

BAO Xiao-ming<sup>2</sup>, ZHOU Yan<sup>2</sup>, WU Ling<sup>2</sup>, WU Han-yu<sup>2</sup>

(1 Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

(2 Nanjing Institute of Geology and Mineral Resource, Nanjing 210016, China)

### Abstract

The Nanshan granite body, which is tectonically located at the western part of Beitou composite body, yields a SHRIMP zircon U-Pb age of  $158.1 \pm 1.8$  Ma which suggests that

the granite body is the product of magmatism during the early Yanshanian period. The geochemical characteristics indicate that the granite body consists of peraluminous alkaline rocks characterized by high contents of silica and alkali, low contents of CaO and MgO, high values of TFeO/MgO and low values of CaO/Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O > 1, A/NK = 7.8 ~ 11.92, A/CNK = 1.33 ~ 1.68. The composition features of rare earth elements and trace elements are as follows: enrichment with rare earth elements (REE) (except distinct negative Eu anomalies,  $\delta\text{Eu} = 0.09 \sim 0.16$ ) and high field-strength elements of Zr, Y, Th, U and Nb, relatively depleted Ba, Sr, Ti and high ratios of  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al} (> 2.6)$ . On diagrams for discriminating A-type granite (such as Zr, Nb, Ce, Y vs.  $10000 \times \text{Ga}/\text{Al}$  and TFeO/MgO vs. SiO<sub>2</sub> diagrams), most of samples are plotted on the field of A-type granite, which is distinctively different from the strongly differentiated I-type and S-type granites. All these characteristics mentioned above show that the Nanshan granite body exhibits characteristics of aluminous A-type granites. By using Y-Nb-3Ga and Y-Nb-Ce tectonic setting discrimination diagrams, the Nanshan aluminous A-type granites may further divided into A2-type granite which is usually believed to be formed in extensional tectonic settings. Based on the above-mentioned researches, it is suggested that the Nanshan granitic magma probably formed in a relative compression tectonic setting during middle Jurassic period. While in the relative extension tectonic setting during early stage of late-Jurassic epoch, there occurred thinning of lithosphere and upwelling of asthenospheric mantle, aluminous A-type granites with strong crystallization differentiation were formed by partial melting of mudstone and small-volume sandstone enriched by mantle-derived fluid.

**Key words:** Yanshanian period; aluminous A-type granite; SHRIMP zircon U-Pb dating; geochemistry; Nanshan granite; Guangdong province