

# 皖南绩溪伏岭岩体岩石地球化学特征

张虹<sup>1</sup> 戴圣潜<sup>2</sup> 管运财<sup>2</sup> 吴海权<sup>2</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130026; 2. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001)

**摘要:**通过详细的野外填图和地球化学研究,发现皖南伏岭岩体具有高硅、富铝、富碱,富集高场强元素,富集 REE,高 Rb、低 Sr、Ba 的特点,属于铝质 A 型花岗岩。地球化学特点表明岩浆由下地壳部分熔融产生;岩体是在造山后伸展构造环境中沿断裂快速上升定位、分异作用不完全状态下形成。

**关键词:**地球化学; A 型花岗岩; 花岗岩成因; 伏岭岩体

**中图分类号:**P588.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)03-0411-06

中国东部大陆边缘存在一条晚中生代 A 型花岗岩带<sup>[1,2]</sup>,它们大多数分布沿海地带。A 型花岗岩以非造山(anorogenic)、碱性(alkaline)、无水(anhydrous)、铝质(aluminous)为特征<sup>[3]</sup>,一般认为产生于造山期后的拉伸构造环境。皖南一带江南古陆分布范围内的中生代花岗岩一般认为属于 S 型, A 型花岗岩则未见报道<sup>[1,4]</sup>。

## 1 岩体地质

伏岭岩体侵入于由前南华系至寒武系所组成的绩溪复向斜的北东翼。在平面上呈北东—南西向的长条形展布于绩溪县的龙须岭—伏岭—荆蒯岭—黄毛尖一带,出露面积约 145 km<sup>2</sup>(图 1)。岩体呈岩墙状,侵入接触关系明显,岩体总体倾向南东,倾角 40°~60°。岩体的全岩、矿物的 Rb—Sr 等时线年龄为 121 Ma<sup>[5]</sup>。笔者采集了鱼龙川单元中粗粒正长花岗岩样品,经中国石油勘探开发研究院实验中心 K—Ar 法测试结果为(120±2) Ma,表明岩体为早白垩世岩浆活动产物。通过详细填图,伏岭岩体可以分成 4 个单元,从老到新为:荆蒯岭单元、鱼龙川单元、小昌溪单元、饭蒸尖单元。野外可以看到单元之间的侵入关系(图 2)

## 2 岩石学特征

荆蒯岭单元:为浅灰—浅肉红色中细—中粗粒正长花岗岩(含斑),矿物含量斜长石为 10.98%~16%,钾长石 46%~53%,石英 28%~35%,黑云母 2%~5%。中细粒似斑状结构,斑晶为肉红色略带烟灰色钾长石和灰白色斜长石,局部可见石英斑

晶。基质呈中细粒结构,由钾长石、斜长石、石英、黑云母及锆石、磷灰石副矿物组成,粒径一般在 0.5~2 mm 之间。斜长石多为更长石(An=20~23.5),常见环带构造。见锆石、磷灰石、褐帘石等副矿物。

鱼龙川单元:为肉红—浅肉红色中—中粗粒正长花岗岩,



图 1 伏岭 A 型花岗岩岩体地质简图

Fig.1 Geological sketch map of the Fuling A-type granite mass

收稿日期:2005-03-15;改回日期:2005-05-15

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200113000010)资助。

作者简介:张虹,女,1961年生,教授级高级工程师,从事地质调查项目管理工作;E-mail:zhong@mail.cgs.gov.cn。

斜长石含量为 7%~19%、钾长石 44%~55%、石英 25%~37%、黑云母 1.5%~5%。中-中粗粒结构,粒径一般在 3~10 mm,局部可达 25 mm。斜长石为更长石( $An=12.4\sim 14$ ),光学测定有序度为 100~89。钾长石为微斜条纹长石和条纹长石,呈不规则状和半自形宽板状,石英呈他形粒状分布于其他矿物颗粒间,有时与钾长石同时析出而形成文象结构,黑云母呈半自形板片状,多已蚀变为绿泥石,但尚保留其片状假象。

昌溪单元:为肉红—浅肉红色似斑状正长花岗岩,斜长石含量 9%~20%、钾长石 44%~63%、石英 21%~36%、黑云母 1%~4%。具似斑状结构,斑晶以石英为主,其次为钾长石,含量 3%~15%,斜长石多为更—钠长石( $An=12\sim 10$ ),呈自形—半自形板状体,表面常见绢云母化,常与石英组成文象结构,并见有熔蚀交代石英现象。钾长石多为微斜条纹长石,石英呈他形粒状,与钾长石组成文象结构,黑云母多呈散片状或不规则的片状集合体,含有较多的磷灰石包裹体。

饭蒸尖单元:为浅肉红色细粒正长花岗岩,斜长石含量 13%~20%、钾长石 42.5%~60%、石英 26%~35%、黑云母 1%~5%。岩石具细粒花岗结构,粒径 0.1~2 mm,少数可达 2.5~3 mm。斜长石为钠—更长石( $An=7\sim 17$ ),钾长石为微斜长石和条纹长石,石英呈他形粒状不均匀分布于长石颗粒间,黑云母呈棕褐色细小板片状,有不同强度的绿泥石化。

从荆勘岭→鱼龙川→小昌溪→饭蒸尖单元,岩石粒度逐渐变细,呈现较为明显的结构演化特征。斜长石平均含量 13.49%→15%→16.71%→16.52%,钾长石 49.71%→48.93%→

50.83%→50.91%,总体均具递增趋势;石英 34.24%→31.71%→30.72%→30.21%,略有递减趋势;黑云母 2.17%→2.71%→1.87%→2.58%,总体变化不大。斜长石牌号  $An$  (平均)为 21.75→13.2→11→12,呈降低趋势;斜长石平均有序度为 52.5→94.5→90.5,钾长石有序度为 0.50→0.53→0.53,钾长石三斜度为 0.19→0.40→0.35。

### 3 岩石化学

主量元素分析结果和主要岩石化学参数见表 1。在  $SiO_2-Alk$  图上,样品均落在亚碱性区,在 A-F-M 图解上呈现钙碱性演化趋势。在  $SiO_2-K_2O$  图上,主要分布在高钾钙碱性系列范围,及钾玄岩系列。含铝指数(A/CNK)绝大多数  $\geq 1$ ,属过铝质,伏岭岩体属过铝质的高钾钙碱系列岩石。

伏岭岩体总体表现为富硅、富铝、富碱,较贫镁、钙和铁的特点,和福建沿海的铝质 A 型花岗岩<sup>[6]</sup>相似。碱量较高,为 7.88~8.47,但过碱指数 AKI 较低,均在 1.0 以下,碱性花岗岩则多大于 1.0<sup>[6]</sup>。在  $K_2O-Na_2O$  图解图 3 上,样品落在 A 型花岗岩区。在  $R_1-R_2$  图解上,落在地壳熔融的花岗岩和造山期后 A 型花岗岩区。ANKC 值除了一个样品外,均大于 1,为过铝型花岗岩,区别于碱性花岗岩 ANKC 值一般小于 0.95 的特点<sup>[6]</sup>。

### 4 稀土元素和微量元素

REE 富集是 A 型花岗岩的一个重要特点。从表 2 可以看出,伏岭岩体的 REE 丰度高,介于  $171.6\times 10^{-6}$  和  $280.5\times 10^{-6}$  之间,平均  $220.7\times 10^{-6}$ ,不仅高于福建沿海的铝质 A 型花岗岩,也高于福建魁岐的 A 型花岗岩<sup>[7]</sup>。轻、重稀土分馏程度较

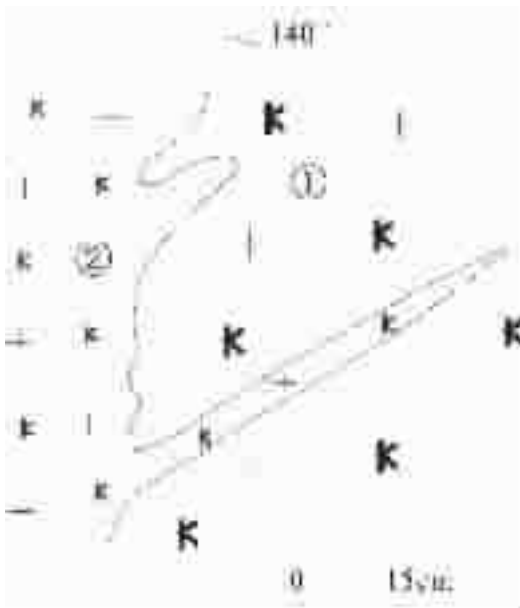


图 2 鱼龙川单元和饭蒸尖单元接触关系  
①—鱼龙川单元;②—饭蒸尖单元

Fig.2 The contact relation of the Yulongchuan unit and Fanzhengjiang unit

①—Yulongchuan unit; ②—Fanzhengjiang unit

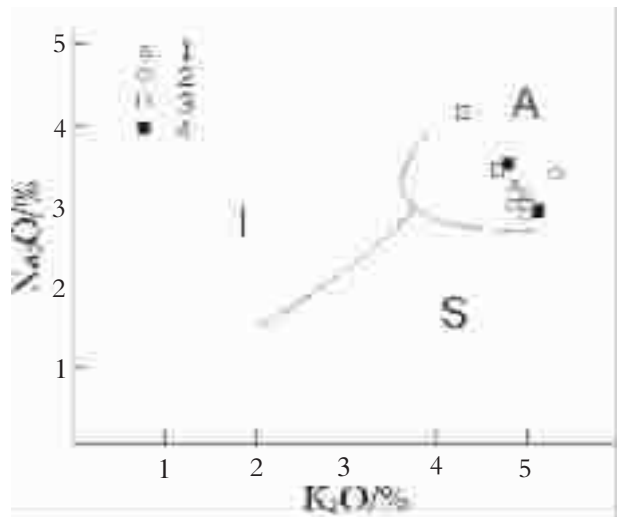


图 3 伏岭岩体  $K_2O-Na_2O$  图解

1—荆勘岭单元;2—鱼龙川单元;3—小昌溪单元;4—饭蒸尖单元

Fig.3  $K_2O-Na_2O$  plot for the Fuling mass

1—Jingkanling unit; 2—Yulongchuan unit; 3—Xiaochangxi unit; 4—Fanzhengjian unit



表 2 伏岭岩体稀土元素分析结果  $10^{-6}$ )Table 2 REE data( $\mu\text{g/g}$ ) of the Fuling mass

样号 单元	0046-GS11 荆塠岭	0046-GS1 荆塠岭	0046-GS21 荆塠岭	0046-GS2 荆塠岭	0047-GS11 荆塠岭	0047-GS1 荆塠岭	0048-B2 鱼龙川	0048-B3 小昌溪	3004-GS2 小昌溪	3004-GS1 饭蒸尖	0048-GS1 饭蒸尖
La	53.6	44.3	49.8	41.54	41.3	34.42	24.31	23.88	22.3	12.1	16.29
Ce	114.1	85.37	111.2	80.68	90.6	60.98	55.38	52.38	56.7	47.1	34.33
Pr	11.12	9.66	10.89	9.76	9.04	8.39	7.09	6.8	6.18	4.08	6.02
Nd	43.6	33.17	42.5	32.77	36.9	27.33	28.29	23.12	25.8	18.1	21.85
Sm	7.73	6.07	7.8	6.33	7.24	5.62	8.14	5.96	6.69	6.03	6.65
Eu	0.73	0.47	0.7	0.45	0.7	0.46	0.19	0.21	0.18	0.09	0.09
Gd	6.25	5.27	6.24	6	6.23	5.77	9.61	6.67	6.77	6.34	7.42
Tb	0.93	0.73	1.09	0.89	0.97	0.88	1.54	1.1	1.2	1.25	1.25
Dy	5.72	4.56	6.08	5.81	6.4	5.59	10.59	7.44	8.16	9.56	8.62
Ho	1.03	0.94	1.14	1.26	1.16	1.21	2.33	1.64	1.88	2.23	1.89
Er	2.85	2.74	2.98	3.8	3.32	3.61	6.95	4.91	5.5	6.74	5.62
Tm	0.56	0.4	0.62	0.56	0.68	0.52	1.03	0.74	1.01	1.29	0.85
Yb	3.14	2.58	3.53	3.73	3.5	3.29	6.64	4.98	6.06	8.32	5.67
Lu	0.5	0.38	0.57	0.55	0.56	0.48	1	0.72	0.99	1.37	0.81
Y	28.6	29.02	30.5	37.86	32.7	39.07	63.11	53.06	50.5	58.7	54.26
$\Sigma$ REE	280.46	225.66	275.64	231.99	241.3	197.62	226.2	193.61	199.92	183.3	171.62
LREE/HREE	4.66	3.84	4.23	2.84	3.35	2.27	1.20	1.38	1.44	0.91	0.99
$\delta$ Eu	0.31	0.25	0.30	0.22	0.31	0.25	0.07	0.10	0.08	0.04	0.04

注:除 0046-GS11、0046-GS21、0047-GS11 由安徽省地质实验中心测试外,其余由南京大学成矿作用国家重点实验室测试。

表 3 伏岭岩体微量元素分析结果  $10^{-6}$ )Table 2 Trace element ( $\mu\text{g/g}$ )data of the Fuling mass

样号 单元	Ti	Cu	Pb	W	Sn	Mo	Cr	Ni	Co	V	U	Th
0046-GS1 荆塠岭	798.9	46.86	20.71	3.37	1.92	1.43	6.19	0.97	1.55	8.74	3.61	16.64
0046-GS2 荆塠岭	1058.09	19.15	17.54	1.28	2.46	0.61	16.98	5.27	1.86	11.84	4.73	17.98
0047-GS1 荆塠岭	530.45	40	30.73	3.31	4.95	0.35	13.3	6.35	0.86	3.31	8.82	37.9
0048-GS2 鱼龙川	1236.47	17.09	20.03	1.16	3.8	0.57	67.8	30.14	2.39	15.7	4.63	19.15
0048-B3 小昌溪	584.49	21.71	21.5	3.6	5.5	0.49	20.52	7.22	1.25	5.23	4.14	21.2
3004-GS2 饭蒸尖	312.66	13.86	19.9	5.78	12.19	0.4	27.02	11.21	0.9	2.48	6.49	25.82
样号 单元	Zr	Hf	Nb	Ta	Be	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	Ga
0046-GS1 荆塠岭	155.26	3.75	11.77	1.09	4.51	19.09	226.81	5.94	73.43	358.81	5.44	15.2
0046-GS2 荆塠岭	168.79	4.11	16.63	1.54	5.78	50.78	225.41	7.53	75.12	294.93	5.65	15.92
0047-GS1 荆塠岭	152.3	3.77	14.28	1.23	4.36	73.31	248.04	13.21	96.49	355.74	5.3	14.78
0048-GS2 鱼龙川	126.12	4.68	25.02	2.79	4.95	57.3	313.05	16.26	20.09	55.15	2.49	15.81
0048-B3 小昌溪	102.82	3.15	19.57	2.62	6.8	80.62	285.26	21.68	34.67	91.45	4.06	15.24
3004-GS2 饭蒸尖	91.95	3.79	28.17	3.36	6.01	53.92	340.52	15.01	12.97	26.64	4.13	15.2

注:由南京大学成矿作用国家重点实验室测试。

低,但具有强烈的负 Eu 异常(图 4),这一点和苏州 A 型花岗岩相同<sup>⑧</sup>。从 LREE/HREE 值可以发现伏岭岩体稀土元素还有一个重要现象,就是晚期单元的轻重稀土分馏程度要比早

期单元要低,这与一般的岩浆分异趋势不同。但负 Eu 异常晚期越来越强。

微量元素中,高场强元素(HFS)以富集为主,尤其是在鱼

龙川单元、小昌溪单元和饭蒸尖单元中,其中又以 Th、Ta、Y、Nb 显著;过渡族元素 Co、Ni、V、Ti 强烈亏损;大离子亲石元素富集 Rb 而亏损 Sr、Ba(图 5),与浙闽沿海的 A 型花岗岩相同。Ga×10<sup>4</sup>/Al 介于 2.21~2.45 之间,平均 2.31,与下扬子地区 A 型花岗岩带相似但低于福建沿海的 A 型花岗岩<sup>[9]</sup>。

### 5 岩石成因

A 型花岗岩成因一直存在争论, Collins 等用源岩残余模式解释 A 型花岗岩成因<sup>[9]</sup>, Creaser 反对这种观点,认为是下地壳的火成岩部分熔融形成<sup>[10]</sup>。Eby<sup>[11]</sup>研究发现, A 型花岗岩存在两个化学成分上明显有别的亚类,在 A<sub>1</sub> 亚类花岗岩中,不相容元素的比值与洋岛玄武岩相似,显示其源自地幔; A<sub>2</sub> 亚类的不相容元素的比值变化较大,主要产生在地壳之中。周询若等<sup>[9]</sup>认为是玄武岩浆的注入促使下地壳部分熔融形成了苏州 A 型花岗岩。与伏岭 A 型花岗岩极为相似的福建沿海铝质 A 型花岗岩,其成因被认为是幔壳物质混熔产物由于富氟,有利于角闪石的分离结晶而使得岩浆向过铝质 A 型花岗岩方向演化<sup>[9]</sup>。Rb/Nb—Y/Nb 图解(图 6)表明,伏岭 A 型花岗岩相当 Eby<sup>[11]</sup>的 A<sub>2</sub> 型,由岩石圈的某个部分发生部分熔融形成。钡、铷、铈的地球化学特征是岩浆熔融体结晶时不形

成独立矿物,呈类质同象进入结晶的铝硅酸盐,在成分相同但成因和结晶条件不同的花岗岩类岩石中见有明显不同的钡、铷和铈含量,与它们在原始熔融体中总量的高低无关。由于岩体具有高 Rb、Y,低 Sr、Ba 并且 Ba 大于 Sr 的特点,是壳源花岗岩的重要特点,在 <sup>(143Nd/144Nd)<sub>i</sub>—(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub></sup> 图解和  $\epsilon_{Nd}-I_{Sr}$  图解上,伏岭岩体与董岭群、扬子上地壳最为接近,靠近 EMII 富集地幔。因此,伏岭岩体主要来自地壳的熔融,但地幔的影响依然存在。它与下扬子地区和大别地区的低 Rb、Y,高 Sr、Ba 花岗岩特点正好相反,后者来自幔源的热作用在形成中有很大影响<sup>[13]</sup>。伏岭岩体稀土元素晚期单元的轻重稀土分馏程度要比早期单元低,这与一般的岩浆分异趋势不同,但晚期负 Eu 异常依然越来越强。轻稀土元素易在分异作用晚期富集,局部熔融时轻稀土元素优先进入熔体中;而重稀土元素易在分异作用的早期富集,部分熔融时易保留在残余固相中,负 Eu 异常则与斜长石的分离结晶有关。轻重稀土分馏的特点,可能是岩浆源区熔融程度较大,斜长石在熔浆中快速分离而分异作用进行的不完全的过程中完成。同时,从 Harker 图解上可以看出, SiO<sub>2</sub> 与 TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 有较好的负相关关系, CaO、MgO 次之, FeO、K<sub>2</sub>O 则基本和 SiO<sub>2</sub> 的变化无关,表明在源区存在着磷灰石、钛铁矿的显著分离结晶作用,辉石类矿物的分离少。伏岭岩体中几个 δ<sup>18</sup>O 值为 8.33%~11.2‰,一般认为 δ<sup>18</sup>O>8‰ 都有沉积岩或风化、热液蚀变的岩石加入。因此,综合岩石化学、微量元素、稀土元素和同位素特点,伏岭岩体可能在来自地幔的岩浆或者热源影响下,下地壳发生重熔的产物。La/Sm—La 图解上,投影点主要成斜线分布,显示部分熔融作用在岩浆形成过程中起主导作用。由于伏岭岩体 K<sub>2</sub>O 不随 SiO<sub>2</sub> 发生变化,因此可以认为岩浆演化过程很短,很高的负 Eu 显示出的强烈斜长石分离结晶作用主要发生在源区,然后快速到达岩体就位部位。这一成岩特点也暗示,高 K 代表的是源区特征。上述岩浆形成和就位要求有较高的温度条件,超单元的石英气液包裹体和熔融包裹体均一温度大于 1000℃,证明岩体确实在较高的温度中形成。岩体本身成一巨大的岩墙状,明显受断裂控制,它是造山期后的拉伸阶段形成的张性断裂,提供了岩浆快速上升的通道,使得分异作用进行的不完全。

### 参考文献(References):

[1] 王德滋,周新民,等.中国东南部晚中生代花岗岩质火山—侵入杂岩成因与地壳演化[M].北京:科学出版社,2002.1~295.  
Wang Dezi, Zhou Xinmin, et al. The Petrogenesis and Crust Evolution of Late Mesozoic Granitic Volcanic—intrusive Complex in Southeastern China [M]. Beijing: Science Press, 2002.1 ~295 (in Chinese with English abstract).  
[2] 魏春生,郑永飞,赵宇福.中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd—Sr—O 同位素地球化学制约[J].岩石学报,2001,17(1): 95~111.  
Wei Chunsheng, Zheng Yongfei, Zhao Zifu. Nd—Sr—O isotopic

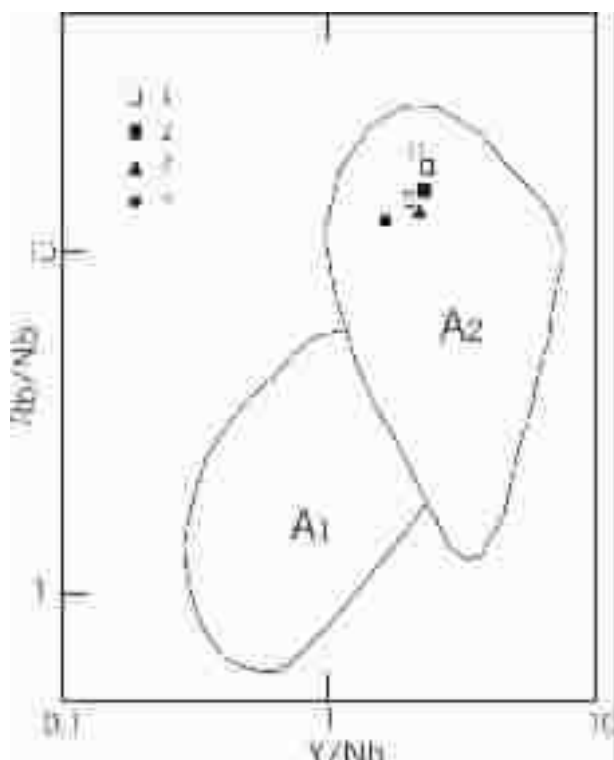


图 6 伏岭岩体 Rb/Nb—Y/Nb 图解

1—荆勘岭单元;2—鱼龙川单元;3—小昌溪单元;4—饭蒸尖单元

Fig.6 Rb/Nb—Y/Nb diagram of the Fuling mass

1—Jingkanling unit; 2—Yulongchuan unit; 3—Xiaochangxi unit; 4—Fanzhengian unit

- geochemistry constraints on the age and origin of the A-type granites in eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(1):95~111 (in Chinese with English abstract).
- [3] Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites[J]. *Geol. Sec. Amer. Abstr. with Prog.*, 1979, 11:468.
- [4] 邢凤鸣, 徐祥. 安徽扬子岩浆岩带与成矿[M]. 合肥: 安徽人民出版社, 1999.138~145.  
Xing Fengming, Xu Xiang. Yangzi Magmatite Belt and Mineralization in Anhui Province [M]. Hefei: Anhui People's Publishing House, 1999.138~145 (in Chinese with English abstract).
- [5] 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显, 等. 中国东南部花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究[J]. 高校地质学报, 1999, 5(1):22~32.  
Shen Weizhou, Ling Hongfei, Li Wuxian, et al. Nd-Sr isotopic characteristics of granitoids in Southeast China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 5(1):22~32 (in Chinese with English abstract).
- [6] 邱检生, 王德滋, 蟹择聪史, 等. 福建沿海铝质 A 型花岗岩的地球化学及成因[J]. 地球化学, 2000, 29(4):313~324  
Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Satoshi Kanisawa, et al. Geochemistry and petrogenesis of aluminous A-type granites in the coastal area of Fujian Province[J]. *Geochimica*, 2000, 29(4):313~324 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王德滋, 彭亚鸣. 福建魁岐花岗岩的岩石学和地球化学特征及成因探讨[J]. 地球化学, 1985, 14(3):197~205.  
Wang Dezi, Peng Yaming. The characteristics of petrology and geochemistry, petrogenesis of Kuiqi granites Fujian Province [J]. *Geochimica*, 1985, 14(3):197~205 (in Chinese with English abstract).
- [8] 周洵若, 杨静, 任进. 苏州地区 I-A 型花岗岩特征与成因的对比研究[J]. 地球科学, 1997, 22(3):240~246.  
Zhou Xunruo, Yang Jing, Ren Jin. Comparative study of the characteristics and genesis between I-and A-type granites of Suzhou area [J]. *Earth Science*, 1997, 22(3):240~246 (in Chinese with English abstract).
- [9] Collins W J. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1992, 80:189~200.
- [10] Creaser R A. A-type granites revisited: assessment of a residual-source model[J]. *Geology*, 1991, 19:163~165.
- [11] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Geology*, 1992, 20:641~644.
- [12] Tarney J, Jones C E. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models[J]. *J. Geol. Soc. London*, 1994, 151:855~868.
- [13] 王强, 许继峰, 赵振华, 等. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(4):551~564.  
Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, et al. The petrogenesis and geodynamic significances of HREE depleted granitoids during Yanshan period in the Dabie Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica* 2001, 17(4):551~564 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.1~180.  
Li Changnian. Geochemistry of Trace Element of Igneous [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1992.1~180 (in Chinese with English abstract).

## Petrology and geochemistry of the Fuling mass in Jixi, southern Anhui

ZHANG Hong<sup>1</sup>, DAI Sheng-qian<sup>2</sup>, GUAN Yun-cai<sup>2</sup>, WU Hai-quan<sup>2</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China;

2. Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China)

**abstract:** Detailed field geological mapping and geochemical study show that the Fuling rock mass in southern Anhui is enriched in Si, Al, alk, high-field strength elements, REE, Rb and depleted in Sr and Ba, belonging to aluminous A-type granites. These characteristics suggest that the magma originated by partial melting of the lower crust. The rock mass rose and was emplaced rapidly along fault in a post-orogenic extensional environment, and the magmatic differentiation was incomplete.

**Key words:** Geochemica; A-type granites; genesis of granites; Fuling mass

**About the first author:** ZHANG Hong, female, born in 1961, Senior Geologist, engaged in the management of project in geological survey; E-mail: zhong@mail.cgs.gov.cn.