

# 赣北庐山地区新元古代细碧-角斑岩系枕状熔岩的发现及其地质意义

董树文<sup>1</sup> 薛怀民<sup>2</sup> 项新葵<sup>3</sup> 马立成<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;  
3. 江西地矿局 916 大队, 江西 九江 332100; 4. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:**江西庐山地区位于江南造山带的东段北侧, 出露前震旦纪星子群和双桥群变质岩, 最近在双桥山群地层中发现了一套枕状构造发育的细碧岩-角斑岩组合。通过对细碧岩-角斑岩组合和与其紧密共生的英安岩的元素地球化学研究发现该组合具有洋岛型玄武岩的特点, 形成环境为陆壳基础上的弧后小洋盆; 英安岩中 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年得到表面年龄介于 830~850 Ma, 其 <sup>206</sup>Pb-<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 (840±7) Ma。因此, 皖南(歙县)缝合带有可能呈近东西向一直延伸到赣北的庐山地区, 而江南造山带至少在 830~850 Ma 期间仍未关闭; 同时也证明双桥山群是中、下扬子地块“一盖多底”中基底的一部分。

**关键词:**庐山地区; 江南造山带; 新元古代; 双桥山群; 细碧-角斑岩系; 枕状构造

**中图分类号:** P588.14; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)04-1021-13

主体形成于新元古代的江南造山带被认为是中国南方地质构造研究的核心, 制约着显生宙以来区域构造的演化。但对于江南造山带的组成、结构以及造山作用过程历来争论不断<sup>[1-13]</sup>, 且目前依然处于争论之中。随着赣东北蛇绿混杂岩、皖南歙县(伏川)蛇绿混杂岩以及江绍断裂带东端蛇绿混杂岩的不断被厘定/或确定<sup>[14-17]</sup>, 以及多条与这些缝合带有关、具有岛弧性质的火山岩带的确定, 暗示着江南造山带具有多岛弧拼贴、多缝合的特点。近几年新的同位素年龄资料揭示, 不同缝合带闭合的时间存在着明显的差异。其中, 江绍断裂带北侧具有岛弧性质的双溪坞群及侵入其中的具有埃达克质特征的桃红和西裘英云闪长岩-花岗闪长岩的锆石 U-Pb 定年结果<sup>[18-19]</sup>, 揭示该带上岛弧岩浆作用的时间介于 935~900 Ma, 该缝合带所在位置洋壳的最终闭合时间应不早于 900 Ma, 但也不会晚很多。侵位于赣东北蛇绿岩套中

的具有大洋性质的埃达克质岩脉的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (968±23) Ma<sup>[20-21]</sup>, 指示发生在该缝合带上的俯冲作用可能早达新元古代的早期。相反, 皖南的歙县(伏川)蛇绿岩套中方辉橄橄榄岩堆晶岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄仅为 (827±9) Ma, 侵入到其中的辉长岩脉的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (848±12) Ma<sup>[22]</sup>, 指示该缝合带上约 850 Ma 前后尚有削减前的洋壳形成。最近, 薛怀民<sup>[23]</sup>获得侵入在皖南缝合带内具有同构造性质的歙县花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (838±11) Ma, 并把该年龄值看成是皖南歙县缝合线最终闭合的时间。

近年, 笔者在江西庐山东侧的康王谷(又名庐山垅)杜村桃花溪河床内双桥山群地层中发现了一套枕状构造发育的细碧岩-角斑岩组合。江南造山带北侧这套具有洋壳性质火山岩的发现, 不仅意味该时期造山带北侧的大洋(弧后小洋盆?)尚未完全闭

收稿日期: 2010-07-20; 改回日期: 2010-08-13

基金项目: 深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-08-1)和地质调查工作项目“长江中下游地区地壳精细结构与控矿研究”(2008-021-00)联合资助。

作者简介: 董树文, 男, 1954 年生, 研究员, 博士生导师, 长期从事构造地质、深部构造与地质过程研究; E-mail: swdong@cags.ac.cn。

合,而且暗示皖南(歙县)缝合带有可能呈近东西向,经祁门一直延伸到赣北的庐山地区,而不是原来认为的接赣东北缝合带。笔者系统测定了这套细碧岩-角斑岩组合及与其紧密共生的英安岩的主量和微量元素成分,并对其中的英安岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,以期对江南造山带北侧构造格局和洋盆的闭合时间进行限定。

## 1 区域地质概况与岩石学

### 1.1 区域地质概况

研究区位于江南造山带的东段北侧,出露前震旦纪地层主要包括星子群(又称星子杂岩)和双桥山群。其中星子杂岩为一套高绿片岩相至低角闪岩相的变质火山-陆源碎屑建造,以变质核杂岩内核的形式出露(图 1)。对于星子杂岩的形成时代,早先的研究者多持早元古代的观点<sup>[24-26]</sup>。金文山等<sup>[26]</sup>用星子群斜长角闪岩中的浅棕色等轴-短轴状自形晶结晶锆石测得的表面年龄  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  为 1893~2167 Ma、 $^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U}$  为 1959~2174 Ma、 $^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$  为 2029~2180 Ma;江西调研队测得星子群黑云斜长角闪片岩中的单颗粒结晶锆石(锆石由周新民教授挑选鉴定)U-Pb 法同位素年龄为(1869±40) Ma。近年来,笔者对构成星子杂岩的主要岩性——黑云钠长变粒岩中的碎屑锆石进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,发现其中  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  表面年龄最大的也只有(851±14) Ma(尚未发表资料),没有任何古元古代的年龄信息。因此,对于星子群原岩的形成时代,尚需作进一步的研究。野外星子杂岩漂浮在燕山期的海会花岗岩体之上,与双桥山群之间呈断层接触,我们倾向于认为星子杂岩与双桥山群的原岩是同一套沉积岩系,可以认为它的变质程度(高绿片岩相至低角闪岩相)高于双桥山群的变质程度(低绿片岩相)是受早白垩世海会岩体呈底辟上侵过程中热变质与构造拆离的结果或由早白垩纪区域伸展阶段变质核杂岩形成过程的热状态造成的。

双桥山群是一套浅变质的成熟度较高的巨厚复理石建造,其中的火山岩成分较少,岩石组合比较单一,以板岩和变质砂岩为主。对于双桥山群的沉积环境,有滨海-半深海<sup>[27]</sup>和半深海-深海<sup>[28]</sup>的浊流相之分。该群自下而上分为(鄞公山组)、横涌组、计林组、安乐林组和修水组,相邻各组之间为连续沉积。至于双桥山群的形成时代,早先的研究多认为属中元古

代,如马长信等<sup>[29]</sup>测得其上部细碧岩(铁罗山组)的全岩 Sm-Nd 等时线年龄值为(1112.9±53) Ma,王昆等<sup>[29]</sup>测得流纹岩(弋阳铁砂街群)单颗粒锆石 U-Pb 等时线年龄值为(1196±6) Ma,马长信<sup>[30]</sup>测得最下部鄞公山组中细碧岩-角斑岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄为(1936±162) Ma。金文山等<sup>[26]</sup>对双桥山群之下鄞公山群中细碧岩中的无色透明浑圆状小晶体捕获锆石测得的表面年龄  $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$  为 1654 Ma、 $^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U}$  为 1688 Ma、 $^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$  为 1732 Ma;马长信等<sup>[30]</sup>对双桥山群之上的程浪群中的蛇绿混杂岩测得全岩(7件)Sm-Nd 同位素等时线年龄为(828.6±27.9) Ma。但近年来,高林志等<sup>[31]</sup>在双桥山群的横涌组和安乐林组的斑脱岩中分别获得了(831±5) Ma 和(829±5) Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,证明其时代属于新元古代。

### 1.2 细碧岩-角斑岩组合的产出特征

桃花溪的细碧岩呈深绿色,岩枕成群分布(图 2),最大的岩枕长轴达 0.6 m,小的仅 0.1 m 左右,冷凝边清晰厚约 0.01 m,呈翠绿色。细碧岩中常见有气孔-杏仁构造,形态不太规则,气孔中充填物多数为石英。镜下呈片状构造及显微变晶变余细碧构造,变余残斑结构。细碧岩的少量斑晶由钠长石组成,基质由钠长石、次生绿泥石、绢云母组成,含量达 65%~87%。另见有少量绿帘石、榍石、方解石、白钛石及纤闪石、阳起石、黑云母变质矿物,还有少许单颗粒结晶完好的锆石。

该细碧岩与其上的细碧质角斑岩、角斑岩呈整合接触连续分布,组成相对较完整的一套细碧岩-角斑岩组合,其间夹灰岩和少许沉凝灰岩,顶部发育硅质岩层,并被英安岩覆盖。其上又被汉阳峰组的陆相火山岩系不整合覆盖。

庐山康王谷桃花溪新元古界青白口系上统地层剖面如下:

落可寨群(Qb<sub>1</sub>)

⑧灰白色少斑变流纹岩及变斑状流纹岩,厚度大于 531 m

⑦灰色变余凝灰质杂砾岩,厚 14 m

~~~~~不整合~~~~~

康王谷群仰天坪组(Qb<sub>2</sub>k<sup>2</sup>)

⑥灰色板岩夹条带状变余中细粒杂砂岩,厚度大于 1200 m

—————整合—————

康王谷群庐山垅组(Qb<sub>2</sub>k<sup>1</sup>)

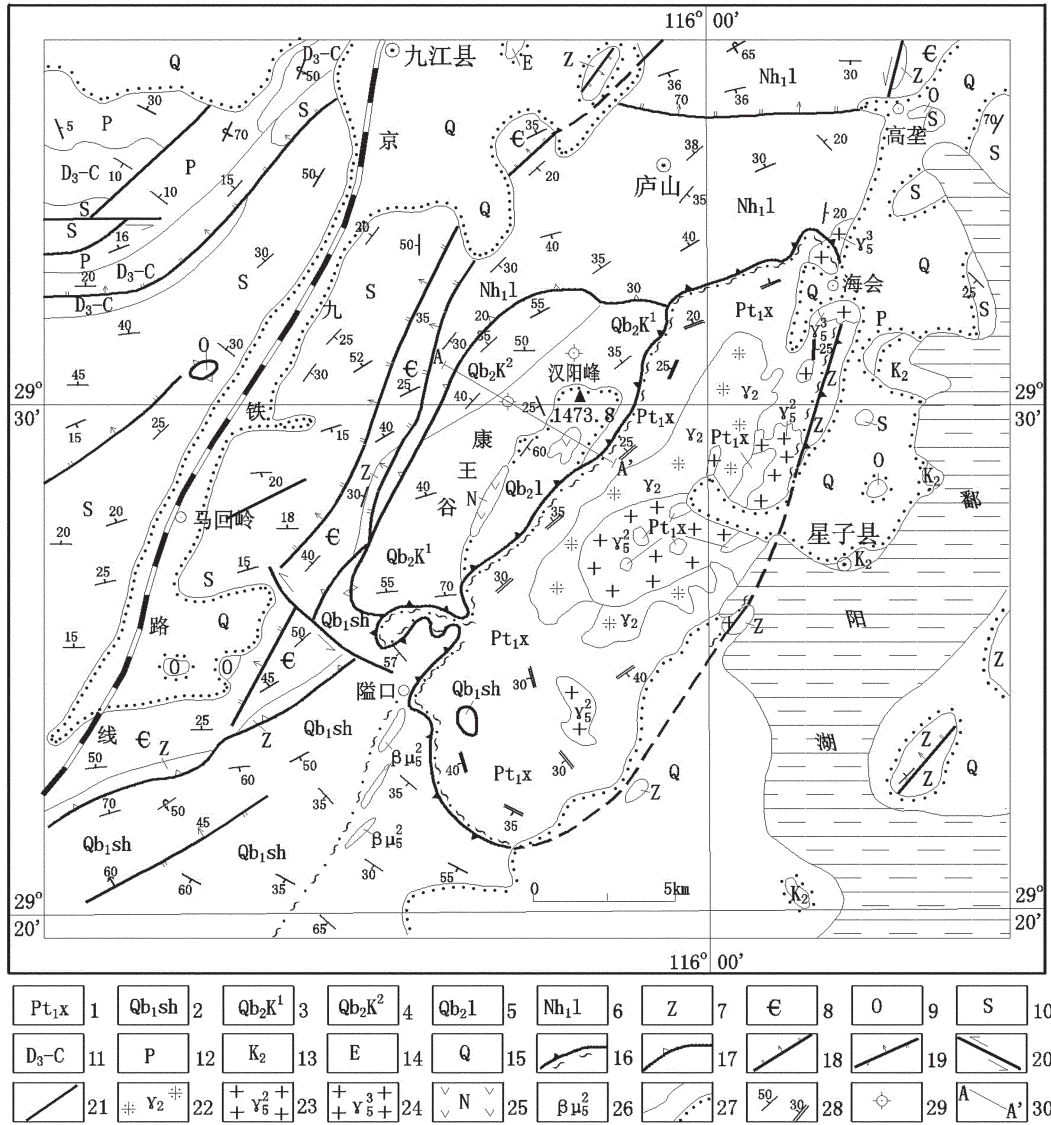


图 1 江西省庐山区域地质构造图(据 1:5 万地质图修编)

1—古元古界星子杂岩;2—新元古界青白口系下统双桥山群;3—新元古界青白口系上统康王谷群庐山垅组;4—青白口系上统康王谷群仰天坪组;5—青白口系上统落可崇群;6—南华系下统莲沱组;7—震旦系;8—寒武系;9—奥陶系;10—志留系;11—泥盆系上统至石炭系;12—二叠系;13—白垩系上统;14—古近系;15—第四系;16—变质核杂岩主拆离断层;17—浅层次拆离断层;18—正断层;19—逆断层;20—平移断层;21—性质不明断层;22—新元古代晋宁期花岗片麻岩;23—燕山早期花岗岩;24—燕山晚期花岗岩;25—辉长岩;26—中生代辉绿岩;27—地层整合及不整合界线;28—地层产状及片理产状;29—同位素年龄取样点;30—剖面线位置

Fig. 1 Regional geological tectonic map of Lushan area, Jiangxi Province (modified from 1:50,000 geological map)

1—Palaeoproterozoic Xingzi complex; 2—Shuangqiaoshan Group of Neoproterozoic lower Qinbaikou System; 3—Lushanlong Formation of Kangwanggu Group of Neoproterozoic upper Qinbaikou System; 4—Yangtianpin Formation of Kangwanggu Group of Neoproterozoic upper Qinbaikou System; 5—Luokedong Group of upper Qinbaikou System; 6—Liantuo Formation of lower Nanhua System; 7—Siniansystem; 8—Cambrian; 9—Ordovician; 10—Silurian; 11—Carboniferous—upper Devonian; 12—Permian; 13—Upper Cretaceous; 14—Paleogene; 15—Quaternary; 16—Main detachment fault of metamorphic core complex; 17—Shallow detachment fault; 18—Normal fault; 19—Reverse fault; 20—Displacement fault; 21—Unknown fault; 22—Granitic gneiss of Neoproterozoic Jingling period; 23—Granites of early Yanshanian period; 24—Granites of late Yanshanian period; 25—Gabbro; 26—Mesozoic diabase; 27—Conformable and unconformable boundary; 28—Attitude of strata and schistosity; 29—Sampling position of isotopic age; 30—Position of section line





A

A. 庐山西侧桃花谷细碧角斑岩内的枕状构造



B

B. 斜列的枕状构造



C

C. 边部具有冷凝圈的枕状构造



D

D. 枕状熔岩与熔岩流互层



E

E. 细碧角斑岩顶部的硅质页

图 2 江西庐山地区枕状熔岩及角斑岩特征

Fig.2 Characteristics of pillow lava and ceratophyre in Lushan area, Jiangxi Province

- ⑤灰绿色变余细碧岩,具典型的枕状构造,厚 29 m
- ④灰白色变余石英角斑岩,底部有一层厚约 2 m 的变余凝灰质粉砂质板岩,厚 434 m
- ③灰绿色变余细碧质角斑岩夹灰白色变余石英角斑岩及少许青灰色粉砂质板岩,厚 810 m
- ②青灰色变余细粒杂砂岩,厚 22 m
- ①灰绿色变余细碧质角斑岩与灰白色变余石英角斑岩互层(未见底),厚度大于 222 m

## 2 分析方法

岩石全分析是在北京国家地质测试分析中心分析的,其中主元素用 X 荧光光谱法(XRF)完成,所用仪器为日本理学 3080,误差 $<0.5\%$ ;微量元素 Zr、Sr、Ba、Zn、Rb 和 Nb 也是用 X 荧光光谱法完成,所用仪器为 Rigaku-2100,误差分别为 Ba=5%,其他元素 $<3\%$ ;稀土元素及 V、Cr、Ni、Co、Cu、Pb、U、Th、Ta 和 Hf 用 TJA-PQ-ExCell 等离子体光谱仪分析,误差 $<5\%$ 。分析结果及一些参数见表 1。

锆石 SHRIMP U-Pb 定年是在中国地质科学院北京离子探针中心澳大利亚 Curtin 理工大学虚拟实验室的 SHRIMP II 离子探针仪上完成的。其中锆石按常规方法分选,并在双目镜下仔细挑纯。将锆

石与一片 RSES 参考样 SL13 及数粒 TEM 置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,再镀上黄金膜。仪器条件和数据采集参见 Williams (1998) [32]的有关描述。靶径 25~30  $\mu\text{m}$ ,数据通过 5 个循环收集。测试是在二次离子流强度约为 4.5nA 和 10 kV 进行的,质量分辨率约 5000(1%峰高)。应用 RSES 参考锆石 TEM(417Ma)进行元素间的分馏校正,Pb-U 校正公式采用  $\text{Pb}/\text{U}=\text{A}(\text{UO}/\text{U})^{2.133}$ ,应用另一 RSES 参考样 SL13 (年龄为 572 Ma,U 含量为 238  $\mu\text{g/g}$ )标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理分别应用 Ludwig[34]的 Isoplot 程序。结果见表 2,测试数据的误差均为  $1\sigma$ , $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值的误差为  $2\sigma$ 。

## 3 分析结果

### 3.1 元素地球化学特征

这套熔岩中的中、基性岩以位于亚碱性系列的玄武岩-玄武安山岩-安山岩区域(图 4-a)贫碱( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=3.47\%\sim 4.51\%$ )、富钠( $\text{Na}_2\text{O}=2.74\%\sim 4.17\%$ )、高  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值(1.80~12.51,图 4-b)和高  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  比值(2.41~8.10)为特征,属于典型的细碧

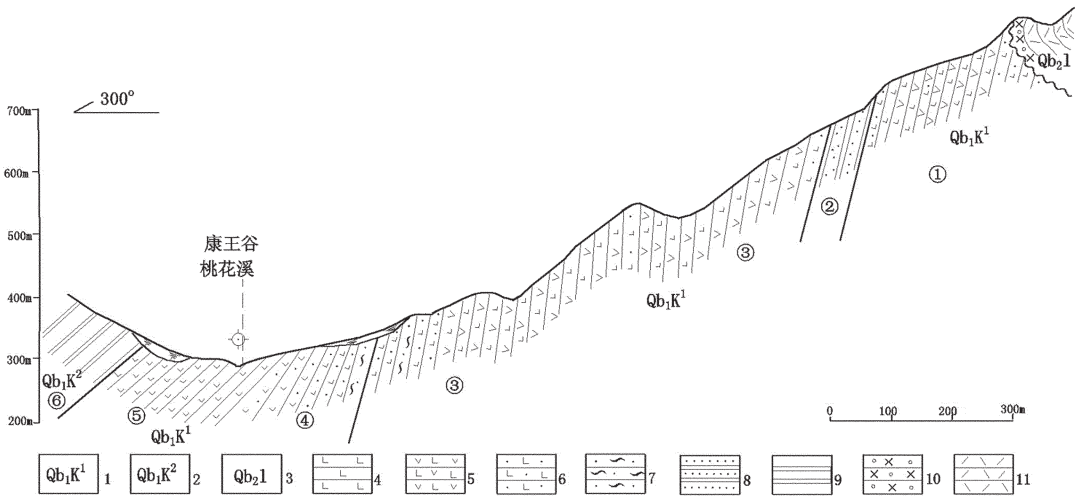


图 3 江西庐山康王谷桃花溪地层构造剖面图(在 1:5 万地质图基础上野外修测)

- 1—新元古界青白口系上统康王谷群庐山垄组;2—新元古界青白口系上统康王谷群仰天坪组;3—新元古界青白口系上统落可崇群;4—具典型枕状构造细碧岩;5—细碧质角斑岩;6—石英角斑岩;7—粉砂质板岩;8—变余细屑杂砂岩;9—板岩;10—变余凝灰质杂砾岩;11—变流纹岩

Fig.3 Geological section along the Taohua valley, western Lushan Mountain

- 1—Lushanlong Formation of Kangwanggu Group of Neoproterozoic upper Qinbaikou System; 2—Yangtianpin Formation of Kangwanggu Group of Neoproterozoic upper Qinbaikou System; 3—Luokedong Group of upper Qinbaikou System; 4—Spilite with typical pillow structure; 5—Spilite ceratophyre; 6—Quartz ceratophyre; 7—Silty slate; 8—Palimpsest graywacke; 9—Slate; 10—Palimpsest tuffaceous complex conglomerate; 11—Metamorphic rhyolite

表 1 庐山细碧岩-角斑岩-石英角斑岩代表性样品的常量(%）、微量元素( $\mu\text{g/g}$ )含量  
**Table 1 Geochemical compositions of spilite-keratophyre and dacite from Lushan area, Jiangxi Province**

| 样品编号<br>岩性                         | JR-268a<br>细碧岩 | JR-268e<br>细碧岩 | JR-269a<br>细碧岩 | JR-266b<br>角斑岩 | JR-268b<br>英安岩 | JR-268d<br>英安岩 | JR-268c<br>英安岩 |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| SiO <sub>2</sub>                   | 48.44          | 52.64          | 50.53          | 57.44          | 68.6           | 65.88          | 72.46          |
| TiO <sub>2</sub>                   | 1.73           | 2.37           | 1.32           | 0.78           | 0.3            | 0.53           | 0.42           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 12.81          | 13.45          | 14.36          | 14.46          | 13.53          | 14.12          | 11.97          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 3.47           | 3.42           | 2.85           | 0.79           | 0.76           | 2.74           | 0.55           |
| FeO                                | 8.7            | 8.25           | 8.25           | 6.4            | 1.6            | 4.1            | 2.5            |
| MnO                                | 0.22           | 0.18           | 0.2            | 0.15           | 0.08           | 0.09           | 0.04           |
| MgO                                | 8.18           | 4.95           | 8.01           | 5              | 1.17           | 2              | 1.13           |
| CaO                                | 5.65           | 7.02           | 4.66           | 7.39           | 3.76           | 0.8            | 1.23           |
| Na <sub>2</sub> O                  | 2.74           | 2.89           | 4.17           | 2.9            | 2.38           | 2.82           | 2.94           |
| K <sub>2</sub> O                   | 0.73           | 1.52           | 0.33           | 1.61           | 3.68           | 4.2            | 4.3            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 0.33           | 0.42           | 0.38           | 0.21           | 0.07           | 0.11           | 0.09           |
| 烧失量                                | 5.12           | 1.28           | 3.05           | 1.61           | 4.09           | 2.01           | 1.87           |
| 总量                                 | 98.12          | 98.39          | 98.11          | 98.74          | 100.02         | 99.40          | 99.5           |
| Sc                                 | 32.1           | 31.9           | 30.9           | 27.4           | 17.6           | 19.1           | 13.9           |
| V                                  | 219            | 293            | 206            | 201            | 13.9           | 21.1           | 13.7           |
| Cr                                 | 223            | 18.1           | 171            | 110            | 7.63           | 0.583          | 0.379          |
| Co                                 | 46.3           | 43.9           | 38.3           | 29.7           | 1.38           | 6.27           | 2.73           |
| Ni                                 | 68.2           | 34.3           | 39.7           | 12.6           | 4.28           | 未检出            | 未检出            |
| Ga                                 | 15.5           | 19.9           | 16.1           | 12.4           | 25.8           | 25.1           | 16.5           |
| Rb                                 | 24.2           | 57.2           | 10.5           | 72.2           | 126            | 204            | 127            |
| Sr                                 | 117            | 259            | 183            | 469            | 122            | 255            | 42.4           |
| Y                                  | 41.5           | 49.5           | 37.7           | 25.9           | 57.4           | 77.3           | 68.3           |
| Zr                                 | 228            | 428            | 88.7           | 90.2           | 403            | 553            | 338            |
| Nb                                 | 9.29           | 13             | 8.36           | 5.59           | 12.9           | 16             | 12.1           |
| Ba                                 | 227            | 309            | 181            | 404            | 628            | 1147           | 589            |
| La                                 | 18.3           | 33.8           | 24.8           | 18             | 48.6           | 64.6           | 50.8           |
| Ce                                 | 45.5           | 74.1           | 52.5           | 34.9           | 95.6           | 142            | 102            |
| Pr                                 | 6.27           | 10.1           | 7.13           | 4.58           | 11.6           | 16.7           | 13.1           |
| Nd                                 | 28             | 41.9           | 29.4           | 18.7           | 46.2           | 65.4           | 50.9           |
| Sm                                 | 7.77           | 10.3           | 8.16           | 4.5            | 9.78           | 15.6           | 11             |
| Eu                                 | 1.74           | 2.62           | 2.26           | 1.55           | 1.76           | 2.75           | 2.21           |
| Gd                                 | 6.9            | 9.4            | 7.5            | 4.13           | 9.75           | 13.9           | 10.8           |
| Tb                                 | 1.46           | 1.79           | 1.43           | 0.748          | 1.5            | 2.86           | 1.96           |
| Dy                                 | 9.43           | 11.6           | 8.57           | 5.06           | 9.16           | 19.1           | 12.6           |
| Ho                                 | 1.75           | 2.14           | 1.61           | 0.949          | 1.91           | 3.47           | 2.52           |
| Er                                 | 5.13           | 6.03           | 4.33           | 2.98           | 5.96           | 9.55           | 7.06           |
| Tm                                 | 0.741          | 0.858          | 0.617          | 0.433          | 0.89           | 1.25           | 1.04           |
| Yb                                 | 4.17           | 5.09           | 3.37           | 2.76           | 6.07           | 7.83           | 6.58           |
| Lu                                 | 0.58           | 0.771          | 0.46           | 0.413          | 0.9            | 1.17           | 0.913          |
| Hf                                 | 6.1            | 11.7           | 2.8            | 2.66           | 11.1           | 18.4           | 11.2           |
| Ta                                 | 0.803          | 0.984          | 0.628          | 0.453          | 0.92           | 1.41           | 1.13           |
| Th                                 | 5.06           | 9.27           | 5.01           | 3.67           | 14.2           | 19.3           | 15.3           |
| U                                  | 1.32           | 0.962          | 1.07           | 1.04           | 3.09           | 4.47           | 3.69           |
| ΣREE                               | 137.74         | 210.50         | 152.14         | 99.70          | 249.68         | 366.18         | 273.48         |
| (La/Yb) <sub>N</sub>               | 2.97           | 4.49           | 4.97           | 4.41           | 5.41           | 5.58           | 5.22           |
| Eu/Eu*                             | 0.71           | 0.80           | 0.87           | 1.08           | 0.55           | 0.56           | 0.61           |
| Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O | 3.75           | 1.90           | 12.64          | 1.80           | 0.66           | 0.67           | 0.68           |
| Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O | 3.47           | 4.41           | 4.50           | 4.51           | 6.06           | 7.02           | 7.24           |
| FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.51           | 2.41           | 2.89           | 8.10           | 2.11           | 1.50           | 4.55           |



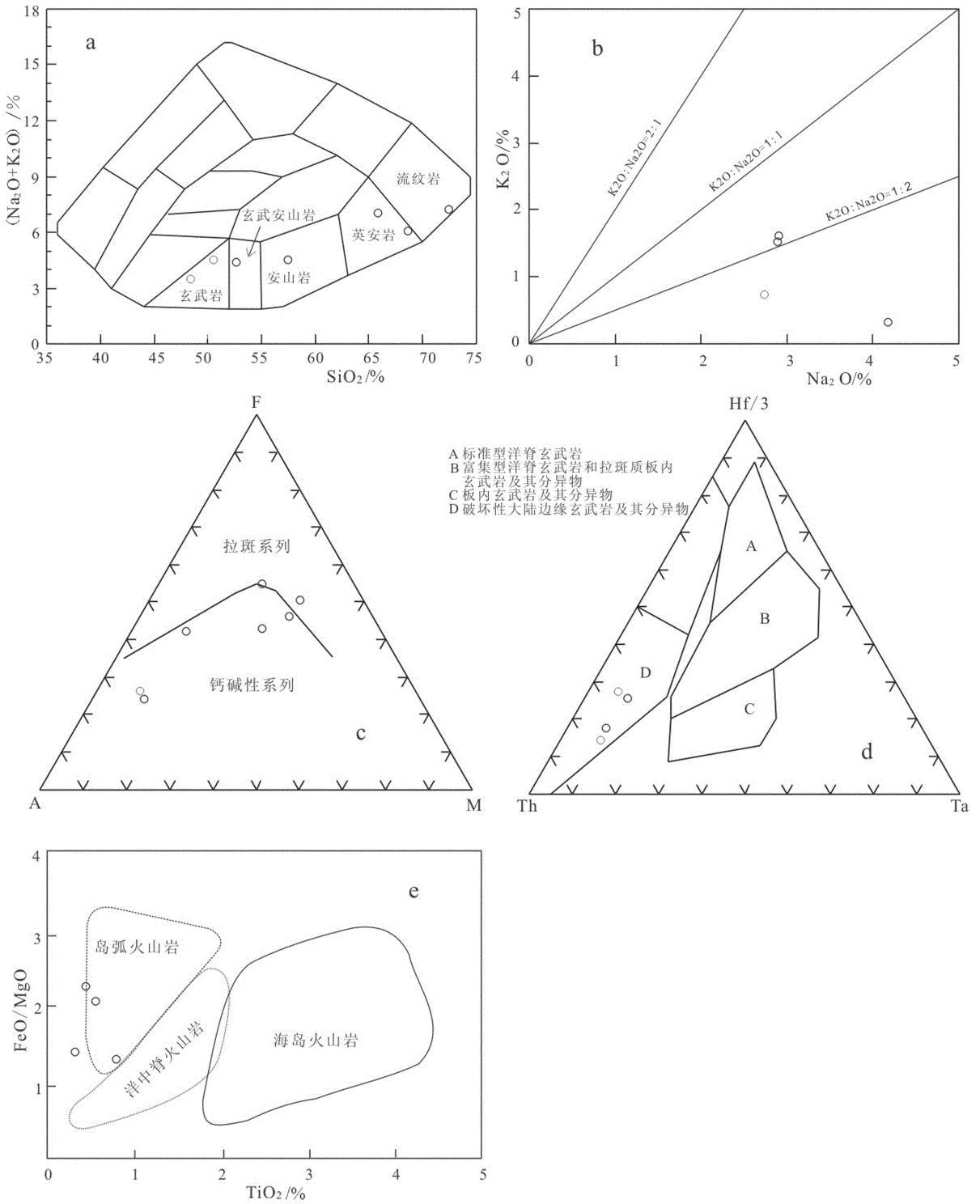


图 4 庐山细碧岩-角斑岩-英安岩的地球化学图解

a— $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$ 分类图(Cox et al., 1979); b— $Na_2O-K_2O$ 图; c—FAM图(Irvine & Baragar, 1971); d— $Hf/3-Th-Ta$ 图解(Wood, 1980); e— $TiO_2-FeO/MgO$ 图解

Fig.4 Geochemical diagrams of spilite-ceratophyre-dacite from Lushan area, Jiangxi Province a— $SiO_2-Na_2O+K_2O$  classification diagram (after Cox et al., 1979); b— $Na_2O-K_2O$ ; c—FAM diagram (after Irvine & Baragar, 1971); d— $Hf/3-Th-Ta$  diagram (after Wood, 1980); e— $TiO_2-FeO/MgO$  diagram

岩-角斑岩组合。在 FAM 图上,这些岩石无明显的 Fe 富集趋势(图 4-c),说明岩浆中含水高,  $f_{O_2}$  较高, 岩系演化早期就有磁铁矿析出。在构造环境判别图上投在破坏性板块边缘的玄武岩及其分异物区域(图 4-d),微量元素地球化学的总体特征类似于岛弧型玄武岩(图 4-e)。这套细碧岩-角斑岩系的稀土元素总量较高( $\Sigma REE=99.7\sim 210.5 \mu g/g$ ),是标准洋中脊玄武岩的 2.55~5.38 倍。它们的轻、重稀土元素的分馏程度中等( $(La/Yb)_N=2.97\sim 4.97$ ),稀土元素的球粒陨石标准化曲线呈较平滑的右倾型(图 5-a)。其中细碧岩中呈弱负 Eu 异常( $Eu/Eu^*=0.71\sim 0.87$ ),但在角斑岩中为弱正 Eu 异常( $Eu/Eu^*=1.08$ ),表明斜长石斑晶在角斑岩中有一定程度的聚集。

在不相容元素原始地幔标准化蛛网图上,该细

碧岩-角斑岩类的曲线形态总体较平整(图 5-b),高场强元素 Nb 和 Ta 相对于 La 仅有微弱的亏损。与细碧岩中普遍出现一定程度的 Sr 负异常不同,角斑岩中出现一定程度的 Sr 正异常,这与细碧岩中出现弱的负 Eu 异常,而角斑岩中为弱正 Eu 异常所表明的斜长石斑晶在角斑岩中有一定程度的聚集是吻合的。

与其相对的是英安岩,虽然  $Na_2O$  含量与细碧岩-角斑岩系中的大多数样品相比无明显变化,但钾含量明显增高,造成岩石中的  $Na_2O/K_2O$  比值小于 1(0.66~0.68,表 1)。这些英安岩的稀土元素总量较高( $\Sigma REE=249.68\sim 366.18 \mu g/g$ ),轻、重稀土元素之间的分馏程度中等( $(La/Yb)_N=5.22\sim 5.58$ ),负 Eu 异常中等( $Eu/Eu^*=0.55\sim 0.61$ )(图 5-c)。在不相容元素原

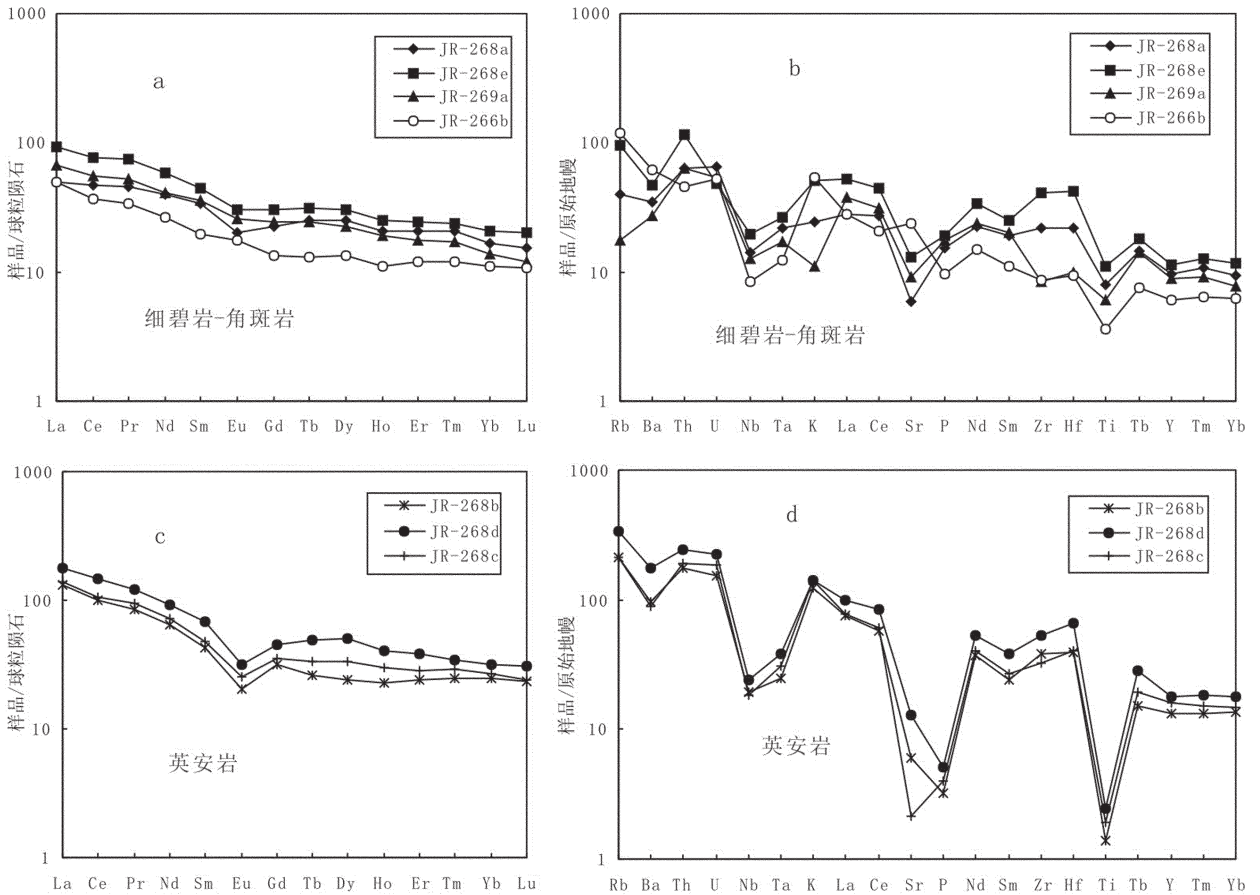


图 5 庐山细碧岩-角斑岩-英安岩的稀土元素球粒陨石标准化曲线和不相容元素原始地幔标准化蛛网图 (球粒陨石数值据[35];原始地幔数值据[36])

Fig.5 Chondrite-normalized REE-patterns and primitive mantle normalized incompatible element patterns for spilite-keratophyre-dacite from Lushan area, Jiangxi Province (Chondrite data from Boynton<sup>[35]</sup>; primitive upper mantle from McDonough & Sun<sup>[36]</sup>)



始地幔标准化蛛网图上, 这些英安岩表现出明显亏损高场强元素 Nb 和 Ta, 强烈亏损 Sr、P 和 Ti, 且一定程度地亏损 Ba 的特征(图 5-d)。其中亏损 Ba、Sr、Eu 可解释为斜长石的分离结晶, 而强烈亏损 P 和 Ti 可归因于磷灰石和钛铁矿的结晶分异。

庐山的康王谷细碧岩-角斑岩组合的地球化学特征与典型的洋中脊玄武岩相比存在明显差异, 具有洋岛型玄武岩的特点。其富集大离子亲石元素和轻稀土元素的特点, 指示其岩浆源区可能为富集型地幔。而高场强元素 Nb 和 Ta 的亏损则暗示岩浆上升过程中受到过陆壳性质的岩石圈混染, 或表明岩浆源区本身早先受到过具有陆壳性质(大洋沉积物?)的流体交代。结合它们所在的江南造山带北侧的构造位置, 可能意味着其形成环境并非典型的大洋, 而是陆壳基础上的弧后小洋盆。

### 3.2 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年

英安岩(样品 JR-268b)中的锆石呈自形柱状, 以短柱状为主, 少数长柱状。长宽比一般 2:1 左右, 少数达到 3:1~4:1。CL 图像显示短柱状锆石的内部震荡生长环带发育, 部分颗粒中有砂钟构造(图 6-A、B、M)。而长柱状锆石的内部环带往往不发育, 部分见有稀疏的环带(图 6-G、L、P)。两类锆石颗粒的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄差别不大, 除个别样品外, 主要介于 830~850 Ma, 其加权平均年龄为  $(840 \pm 7)$  Ma (图 7)。

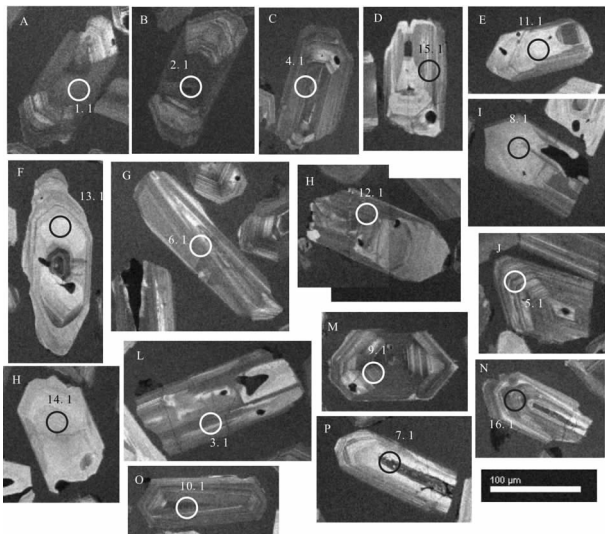


图 6 江西庐山地区英安岩中锆石的阴极发光图像  
Fig.6 Cathodoluminescence images of zircons from dacite in Lushan area, Jiangxi Province

## 4 讨论

庐山枕状熔岩及细碧角斑岩的发现, 指示了新元古代大洋的存在, 据此, 提出了与以往完全不同的区域构造单元对比方案。

(1)从区域构造分析, 位于江南造山带北部的庐山地区的双桥山群中的洋壳向东应该与赣北都昌县乌石尖(程浪)蛇绿混杂岩及皖南的歙县含蛇绿岩的新元古代洋壳对比, 向西可与赣北德安县彭山出露的蛇绿混杂岩及赣北武宁县双桥山北侧分布的细碧角斑岩系相连。该洋壳并非典型的大洋, 而属陆壳基础上的弧后小洋盆。这种大地构造结构对比与原先一般认为歙县蛇绿岩沿着赣东北断裂(缝合带)向南东延伸的观点完全不同, 江南造山带的构造格架需要重塑。

(2)庐山洋壳的年代学(830~850 Ma)从时间上限制了江南造山带至少在这个时期仍未关闭, 造山作用应该发生在此之后, 从而限制了 Rodinia 大陆裂解时代的下限。歙县花岗闪长岩(838±11) Ma 的时代可以视为皖南歙县大洋或缝合线最终闭合的时间<sup>[23]</sup>。

(3)由于庐山地区在中生代已经属于大别山碰撞造山带的长江中下游前陆构造带, 含洋壳系统的双桥山群成为长江中下游震旦纪至三叠纪沉积盖层的基底之一。与中下扬子北部的另一套张八岭岩群、随县岩群或武当岩群等晚元古代火山-沉积岩系共同组成扬子基底, 印证了常印佛等<sup>[37]</sup>提出的扬子地

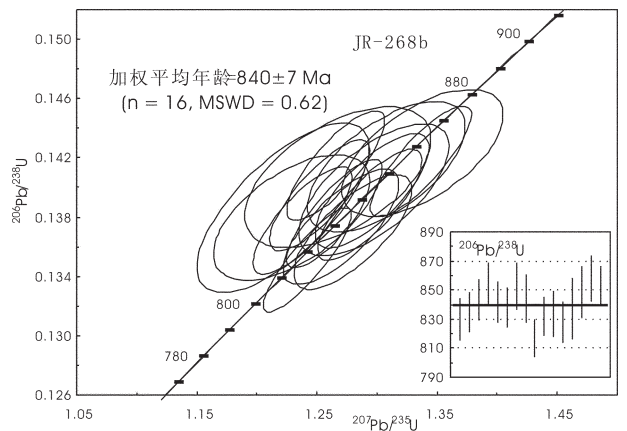


图 7 江西庐山地区英安岩中锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图  
Fig.7 Concordia diagram showing SHRIMP analytical points for zircons from dacite in Lushan area, Jiangxi Province

表 2 庐山地区英安岩的锆石 U-Pb SHRIMP 分析结果  
Table 2 Zircon U-Pb SHRIMP dating results of dacite from Lushan area, Jiangxi Province

| 样号/分析点       | 含量   |     | 表面年龄/Ma                          |                                  |                                   |                                   | 比值                                 |                                       |                                    |                                    |     |         |      |       |     |        |     |
|--------------|------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----|---------|------|-------|-----|--------|-----|
|              | U    | Th  | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | ±%  |         |      |       |     |        |     |
| JR-268B-1.1  | 0.00 | 159 | 124                              | 18.7                             | 0.81                              | 830                               | ±15                                | 840                                   | ±35                                | 825                                | ±20 | 0.0671  | 1.7  | 1.270 | 2.5 | 0.1373 | 1.9 |
| JR-268B-2.1  | 0.00 | 345 | 290                              | 41.0                             | 0.87                              | 835                               | ±14                                | 818                                   | ±24                                | 813                                | ±16 | 0.06635 | 1.1  | 1.265 | 2.1 | 0.1382 | 1.7 |
| JR-268B-3.1  | 0.12 | 205 | 156                              | 24.7                             | 0.78                              | 843                               | ±14                                | 845                                   | ±33                                | 810                                | ±20 | 0.0672  | 1.6  | 1.296 | 2.4 | 0.1398 | 1.8 |
| JR-268B-4.1  | 0.03 | 400 | 356                              | 48.8                             | 0.92                              | 855                               | ±14                                | 880                                   | ±23                                | 853                                | ±17 | 0.06837 | 1.1  | 1.336 | 2.1 | 0.1418 | 1.7 |
| JR-268B-5.1  | 0.00 | 283 | 251                              | 33.9                             | 0.91                              | 842                               | ±14                                | 779                                   | ±27                                | 823                                | ±17 | 0.06513 | 1.3  | 1.252 | 2.2 | 0.1394 | 1.8 |
| JR-268B-6.1  | 0.00 | 257 | 203                              | 30.7                             | 0.81                              | 838                               | ±14                                | 856                                   | ±27                                | 839                                | ±18 | 0.06760 | 1.3  | 1.294 | 2.2 | 0.1388 | 1.8 |
| JR-268B-7.1  | 0.16 | 91  | 51                               | 11.1                             | 0.58                              | 853                               | ±16                                | 840                                   | ±54                                | 838                                | ±29 | 0.0671  | 2.6  | 1.308 | 3.3 | 0.1414 | 2.0 |
| JR-268B-8.1  | --   | 75  | 30                               | 9.03                             | 0.41                              | 844                               | ±17                                | 846                                   | ±50                                | 904                                | ±33 | 0.0673  | 2.4  | 1.297 | 3.2 | 0.1398 | 2.1 |
| JR-268B-9.1  | 0.00 | 483 | 475                              | 56.1                             | 1.02                              | 817                               | ±13                                | 828                                   | ±20                                | 792                                | ±15 | 0.06668 | 0.94 | 1.242 | 2.0 | 0.1351 | 1.7 |
| JR-268B-10.1 | 0.13 | 410 | 302                              | 48.6                             | 0.76                              | 832                               | ±14                                | 780                                   | ±28                                | 816                                | ±17 | 0.06517 | 1.3  | 1.238 | 2.2 | 0.1378 | 1.7 |
| JR-268B-11.1 | 0.19 | 102 | 52                               | 12.1                             | 0.52                              | 833                               | ±16                                | 762                                   | ±60                                | 822                                | ±30 | 0.0646  | 2.8  | 1.229 | 3.5 | 0.1380 | 2.0 |
| JR-268B-12.1 | 0.25 | 242 | 174                              | 28.5                             | 0.75                              | 828                               | ±14                                | 861                                   | ±36                                | 848                                | ±20 | 0.0678  | 1.7  | 1.280 | 2.5 | 0.1370 | 1.9 |
| JR-268B-13.1 | 0.24 | 89  | 35                               | 10.6                             | 0.41                              | 837                               | ±21                                | 739                                   | ±58                                | 797                                | ±35 | 0.0639  | 2.8  | 1.222 | 3.9 | 0.1386 | 2.7 |
| JR-268B-14.1 | 0.23 | 65  | 31                               | 7.88                             | 0.49                              | 849                               | ±18                                | 785                                   | ±71                                | 806                                | ±36 | 0.0653  | 3.4  | 1.267 | 4.0 | 0.1407 | 2.2 |
| JR-268B-15.1 | --   | 116 | 83                               | 14.2                             | 0.74                              | 858                               | ±16                                | 874                                   | ±55                                | 873                                | ±27 | 0.0682  | 2.6  | 1.338 | 3.3 | 0.1423 | 2.0 |
| JR-268B-16.1 | 0.15 | 456 | 125                              | 55.5                             | 0.28                              | 853                               | ±14                                | 770                                   | ±26                                | 791                                | ±21 | 0.06488 | 1.2  | 1.265 | 2.1 | 0.1415 | 1.7 |

注: 误差为  $1\sigma$ ,  $\text{Pb}^*$  为放射性成因  $\text{Pb}$ ,  $\%^{206}\text{Pb}$  为普通  $\text{Pb}$  占全  $\text{Pb}$  的百分比。

块“一盖多底”的格局。

**致谢:** 该成果是深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-8)和地质调查工作项目“长江中下游地区地壳精细结构与控矿研究”(2008-021-00)的子项目“长江中下游九瑞矿集区地球物理剖面沿线岩石-构造剖面的测定、地质廊带图的编制等”的部分成果,执行中得到江西省地矿局 916 地质队的支持和帮助,审稿人提出了宝贵的修改意见,在此一并特致谢意。

### 参考文献(References):

- [1] 郭令智,施央申,马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化[C]//国际交流地质学术论文集(一). 北京:地质出版社, 1980:109-116.  
Guo Lingzhi, Shi Yangsheng, Ma Ruishi. Geotectonic Framework and Crust Evolution of South China [C]//geological academic symposium of international communication (part 1). Beijing: Geological Publishing House, 1980:109-116 (in Chinese).
- [2] 郭令智,施央申,马瑞士,等. 中国东南部地体的研究 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 1984, 20(4):732-739.  
Guo Lingzhi, Shi Yangsheng, Ma Ruishi, et al. Tectonostratigraphic terranes of southeast China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1984, 20 (4):732-739(in Chinese with English abstract).
- [3] 郭令智,卢华复,施央申,等. 江南中、新元古代岛弧的运动学和动力学[J]. 高校地质学报, 1996, 2(1):1-13.  
Guo Lingzhi, Lu Huaifu, Shi Yangsheng, et al. On the Meso - Neoprozoic Jiangnan island arc:its kinematics and dynamics [J]. Geological Journal of China Universities, 1996, 2 (1):1-13 (in Chinese with English abstract).
- [4] 朱夏. 试论中国中生代油气盆地的地球动力学背景 [C]//朱夏主编.论中国含油气盆地构造. 北京:石油工业出版社, 1980:61-70.  
Zu Xia. Geodynamic setting of the Mesozoic -Cenozoic oil -gas basins in China [C]//Zhu Xia (ed.). Tectonics of Oil-gas Basins in China. Beijing:Petroleum Industry Press, 1980:61-70(in Chinese).
- [5] 许靖华,孙枢,李继亮. 是华南造山带而不是华南地台[J]. 中国科学(B 辑), 1987, 101:1107-1115.  
Xu Jinhua, Sun Shu, Li Jiliang. South China orogene other than craton [J]. Science in China (Ser. B), 1987, 101:1107-1115 (in Chinese).
- [6] 徐备. 论赣东北-皖南晚元古代沟弧盆体系 [J]. 地质学报, 1990, (1):33-42.  
Xu Bei. The late Proterozoic trench -basin arc system in northeastern Jiangxi-southern Anhui Provinces [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, (1):33-42 (in Chinese with English abstract).
- [7] 徐备,郭令智,施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M]. 北京:地质出版社, 1992:1-12  
Xu Bei, Guo Lingzhi, Shi Yangshen. Proterozoic Terranes and Poly -stages Collisional Orogeny in Anhui-Zhejiang-Jiangxi Area [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:1-12 (in Chinese with English abstract).
- [8] 徐树桐,陈冠宝,陶正,等. 皖南变质岩中的古生物化石及其大地构造意义[J]. 中国科学(B 辑), 1993, 23(6):652-658.  
Xu Shutong, Chen Guanbao, Tao Zheng, et al. Palaeontological fossils from the metamorphic rocks in south Anhui and geotectonic significance [J]. Science in China (Ser. B), 1993, 23(6):652-658(in Chinese).
- [9] 舒良树,施央申,郭令智,等. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[J]. 南京:南京大学出版社, 1995:1-731.  
Shu Liangshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi. et al. Plate Tectonic Evolution and the Kinematics of Collisional Orogeny in the Middle Jiangnan, Eastern China [J]. Nanjing:Nanjing University Press, 1995:1-731(in Chinese with English abstract).
- [10] 丘元禧,张淦昌,马文璞. 雪峰山陆内造山带的构造特征与演化 [J]. 高校地质学报, 1998, 4:432-443.  
Qiu Yuanxi, Zhang Yuchang, Ma Wenpu. Tectonics and geological evolution of Xuefeng intra continental orogene, South China (in Chinese with English abstract) [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4:432-443 (in Chinese with English abstract).
- [11] 曾勇,杨明桂. 赣中碰撞混杂岩带 [J]. 中国区域地质, 1999, 18 (1):17-22.  
Zeng Yong, Yang Minggui. Central Jiangxi collision mélange zone [J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (1):17-22 (in Chinese with English abstract).
- [12] 朱光,刘国生.皖南江南陆内造山带的基本特征与中生代造山过程[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2):103-111.  
Zhu Guang, Liu Guosheng. Basic characteristics and Mesozoic orogenic process of the Jingnan intracontinental orogenic belt in southern Anhui [J]. Geotectonica Metallogenia, 2000, 24:103-111 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈冠宝,李红生,徐树桐,等.皖南上溪群中放射虫化石和古蛋类化石的发现及其古地理意义[J]. 古地理学报, 2007, 9:589-596.  
Chen Guibao, Li Hongsheng, Xu Shutong. et al. Radiolarian and Archaeooides fossils from the Shangxi Group in southern Anhui Province and their palaeogeographic significance [J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9:589-596 (in Chinese with English abstract).
- [14] 水涛,徐步台,梁如华,等. 绍兴-江山古陆对接带[J]. 科学通报, 1986. 31(6):444-448.  
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. Paleoland collisional zone of Jiangshan-Shaoxing [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(6): 444-448(in China).
- [15] 徐备,乔广生. 赣东北晚元古代蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素年龄及原始构造环境[J]. 南京大学学报(地球科学), 1989, (3):108-114.  
Xu Bei, Qiao Guangsheng. Sm -Nd isotope age and original structural environment of the late Proterozoic ophiolite in northeast of Jiangxi Province [J].Journal of Nanjing University (Geoscience),



- 1989, (3):108-114(in Chinese with English abstract).
- [16] 周新民, 邹海波, 杨杰东, 等. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 1989, (16):1243-1245.  
Zhou Xinmin, Zou Haibo, Yang Jiedong, et al. Sm-Nd isochron age and its geological significance for ophiolite from Fuchuan of the She County of Anhui Province [J]. Chinese Science Bulletin, 1989, (16):1243-1245 (in Chinese).
- [17] 舒良树, 周国庆, 施央申, 等. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究[J]. 科学通报, 1994, (20):1879-1882.  
Shu Liangshu, Zhou Guoqing, Shi Yangsheng, et al. A study on the high pressure metamorphic bluechist and its late Preterozoic age in the eastern Jiangnan belt [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39 (14):1200-1204(in Chinese).
- [18] Ye M F, Li X H, Li W X, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole-rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block [J]. Gondwana Research 2007, 12: 144-56.
- [19] 陈志洪, 郭坤一, 董永观, 等. 江山-绍兴拼合带平水段可能存在新元古代早期板片窗岩浆活动: 来自锆石 LA-ICP-MS 年代学和地球化学的证据[J]. 中国科学, 2009, 37(7):994-1008.  
Chen Zhihong, Guo Kunyi, Dong Yongguan, et al. Possible early Neoproterozoic magmatism associated with slab window in the Pingshui segment of the Jiangshan-Shaoxing suture zone: Evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb geochronology and geochemistry [J]. Science in China (Series D), 2009, 52(7):925-939 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李献华, 周国庆, 赵建新, 等. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地球化学, 1994, 23(2):125-131.  
Li Xianhua, Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, et al. SHRIMP ion microprobe zircon U-Pb age of the NE Jiangxi ophiolite and its tectonic implications [J]. Geochimica, 1994, 23 (2):125-131 (in Chinese with English abstract).
- [21] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle super-plume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Research, 2003, 122:85-109.
- [22] 丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 等. 江南造山带存在新元古代(~850 Ma)俯冲作用——来自皖南 SSZ 型蛇绿岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄证据[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(5):375-388.  
Ding Binghua, Shi Rendeng, Zhi Xiacheng, et al. Neoproterozoic (~850 Ma) subduction in the Jiangnan orogen: evidence from the SHRIMP U-Pb dating of the SSZ-type ophiolite in southern Anhui Province[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2008, 27(5): 375-388 (in Chinese with English abstract).
- [23] 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 等. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束[J]. 岩石学报, 2010, (待刊).  
Xue Huaimin, Ma Fang, Song Yongqin, et al. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen, China: Constraints on the timing and kinematics of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, (in Press).
- [24] 马长信, 刘荣贵, 吕桂德, 等. 赣东北前震旦纪地质[M]. 北京:地质出版社, 1992:1-46.  
Ma Changxin, Liu Ronggui, Lu Guide. Precambrian Geology of Northeastern Jiangxi Province [M]. Beijing:Geological Publishing House 1992:1-46(in Chinese).
- [25] 项新葵, 许建华, 徐寇龙. 星子群变质核杂岩的特征及其地质意义[J]. 地质与矿产, 1993, 7(06):401-407.  
Xiang Xinkui, Xu Jianhua, Xu Koulong, Features of metamorphical complex in Xingzi formation and its geological significance [J]. Geology and Mineral Resources, 1993, 7(6):401-407(in Chinese).
- [26] 金文山, 孙大中, 等. 华南大陆深部地壳结构及其演化 [M]. 北京:地质出版社, 1997:82-95.  
Jin Wenshan, Sun Dazhong, et al. Deep Structure and Evolution in Continent of South China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:82-95 (in Chinese).
- [27] 黄修保, 余忠珍, 邹国庆. 赣西北地区中元古界双桥山群沉积学特征[J]. 地质通报, 2003, 22(1):43-49.  
Huang Xiubao, Yu Zhongzhen, Zhou Guoqing. Sedimentary features of the Mesoproterozoic Shuangqiaoshan Group in northwestern Jiangxi[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 22(1): 43-49 (in Chinese with English abstract).
- [28] 陈柏林, 董法先, 张达, 等. 双桥山群的沉积环境和变形历史再探讨——以大背坞地区为例 [J]. 资源调查与环境, 2002, 23(3): 157-168.  
Chen Bailin, Dong Faxian, Zhang Da, et al. Analysis of the depositional environment and deformation history of Shuangqiaoshan Group——An example from Dabewu area, Jiangxi province[J]. Resources Survey & Environment, 2002, 23(3): 157-168 (in Chinese with English abstract).
- [29] 王昆, 吴安国, 张玉清. 江西省区域地质概论 [J]. 中国区域地质, 1993, (3):200-210.  
Wang Kun, Wu Anguo, Zhang Yuqing. A brief account of regional geology of Jiangxi Province [J]. Regional Geology of China, 1993,(3): 200-210(in Chinese with English abstract).
- [30] 马长信. 赣东北古元古宙障公山群的钐-钕同位素年龄新成果及其地质意义[J]. 科学通报, 1991, 22:1518-1519.  
Ma Changxin. New Sm-Nd isochron age for Paleoproterozoic Zhanggongshan Group in northeastern Jiangxi Province and its geological significance [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 22: 1518-1519 (in Chinese).
- [31] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约[J]. 地质通报, 2008, 27(10):1744-1751.  
Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen

- groups in South China—constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10):1744-1751(in Chinese with English abstract).
- [32] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[C]// Mickibben M A, Shanks III W C, Ridley W I eds. *Applications of Micro Analytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes* [J]. *Reviews of Economic Geology*, 1998, 7:1-35.
- [33] Claoue -Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two Carboniferous ages:a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis[C]//Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, Hardenbol J (eds.). *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic correlation*, SEPM Special Publication, 1995, 5:3-31.
- [34] Ludwig K R. *Users Manual for Isoplot/Ex* (rev. 2.49);A Geochronologica Toolkit for Microsoft Excel;Berkeley Geochronology Center[J]. Special Publication No. 1a, 2001:1-55.
- [35] Boynton W V. *Geochemistry of the rare earth elements;meteorite studies*[C]//Henderson P(ed.). *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam:Elsevier, 1984:63-114.
- [36] McDonough W F, Sun S S. The composition of the Earth [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120:223-253.
- [37] 常印佛,董树文,黄德志. 论扬子地块“一盖多底”构造格局[J]. *火山地质与矿产*, 1996, 17(1):1-14.
- Chang Yinuo, Dong Shuwen, Huang Dezhi. On tectonic framework of “one-cover and multi-basements” in Yangzi Craton [J]. *Geology and Mineralgenesis*, 1996, 17(1):1-14(in Chinese with English abstract).

## The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceratophyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance

DONG Shu-wen<sup>1</sup>, XUE Huai-min<sup>2</sup>, XIANG Xin-Kui<sup>3</sup>, MA Li-cheng<sup>4</sup>

(1. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 3. *No. 916 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province, Jiujiang 332100, Jiangxi, China*; 4. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Located on the northern side of the eastern section of Jiangnan orogen, Lushan area has outcropped metamorphic rocks of Pre-Sinian Xingzi Group and Shuangqiaoshan Group. Recently, the authors found a suite of spilite-ceratophyre with pillow structure in strata of Shuangqiaoshan Group. An analysis of element geochemistry reveals that the spilite-ceratophyre and the concomitant dacite have the characteristics of oceanic-island basalt, hence their formation environment should have been a back-arc small oceanic basin upside continental crust. The authors thus hold that the suture of southern Jiangxi (Shexian County) had an approximately EW strike, and extended straightforward to Lushan area of northern Jiangxi, whereas the Jiangnan orogen remained not closed from 830 Ma to 850 Ma. It is also held that the Shuangqiaoshan Group is a component part of the basement of “poly-basement with one cover” in the middle-lower Yangtze block.

**Key words:** Lushan area; Jiangnan orogen; Neoproterozoic; Shuangqiaoshan Group; spilite-ceratophyre; pillow structure

**About the first author:** DONG Shu-Wen, male, born in 1954, senior researcher and supervisor of doctor candidates, engages in the study of structural geology, deep structure and geological process; E-mail: swdong@cags.ac.cn.