

# 浙江庆元地区早—中侏罗世火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质特征

邢新龙<sup>1,2</sup>, 邢光福<sup>2</sup>, 陈世忠<sup>2</sup>, 赵希林<sup>2</sup>, 段政<sup>2</sup>

XING Xinlong<sup>1,2</sup>, XING Guangfu<sup>2</sup>, CHEN Shizhong<sup>2</sup>, ZHAO Xilin<sup>2</sup>, DUAN Zheng<sup>2</sup>

1. 江西省地矿资源勘查开发中心, 江西南昌 330030;

2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016

1. Center of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330030, Jiangxi, China;

2. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

**摘要:**在浙江庆元大面积白垩纪火山岩分布区,首次发现层位可归入毛弄组的早—中侏罗世火山岩,用 LA-ICP-MS 技术测得其中流纹英安岩和流纹质弱熔结凝灰岩中的锆石 U-Pb 年龄分别为  $176.0 \pm 1.2$  Ma 和  $169.1 \pm 3.3$  Ma。结合闽北地区发现的中侏罗世火山岩,推断东南沿海地区在早—中侏罗世时已开始进入古太平洋板块俯冲的构造体制。

**关键词:**早—中侏罗世; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 火山岩; 浙南庆元地区

**中图分类号:** P534.52; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2017)09-1583-08

**Xing X L, Xing G F, Chen S Z, Zhao X L, Duan Z. LA-ICP-MS zircons U-Pb ages and geological characteristics of Early-Middle Jurassic volcanic rocks in the Qingyuan area, Zhejiang Province. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(9):1583-1590**

**Abstract:** The Early-Middle Jurassic volcanic rocks were discovered for the first time in Qingyuan area of southern Zhejiang Province, where the Cretaceous volcanism was intense. They consist of rhyodacite and rhyolitic ignimbrite and can be assigned to Maonong Formation. Their LA-ICP-MS zircon U-Pb ages are  $176.5 \pm 0.7$  Ma and  $169.1 \pm 3.3$  Ma respectively. Combined with Middle Jurassic volcanic rocks in northern Fujian Province, it is inferred that southeast coastal areas began to enter the paleo-Pacific plate subduction system in Early-Middle Jurassic.

**Key words:** Early-Middle Jurassic; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; volcanic rock; Qingyuan area

东南沿海地区中生代发生了强烈的火山活动,时代主要集中在白垩纪,形成了分布广泛、厚度巨大的陆相火山—沉积岩系,前人对其地层划分、形成年代、岩石成因等已开展了大量研究<sup>[1-4]</sup>。相对而言,早—中侏罗世火山岩在东南沿海出露有限,主要包括闽西南象牙群藩坑组火山岩<sup>[5-6]</sup>、赣南寻邬—龙南地区余田群菖蒲组火山岩<sup>[7-10]</sup>、浙东南毛弄组火山岩<sup>[11]</sup>等。

浙南庆元地区地处东南沿海火山岩带,是白垩

纪火山岩集中出露的地区之一,以往的地质调查认为不存在侏罗纪早期火山岩,本文报道该地区首次发现早—中侏罗世火山岩。

研究区位于浙闽两省交界处(图1),政和—大埔断裂带东侧。区内白垩纪火山作用强烈,形成大面积火山岩地层,包括早白垩世早期磨石山群、早白垩世晚期永康群,分别属于区域下火山岩系和上火山岩系<sup>①</sup>。区域上磨石山群自下而上划分为大爽组、高坞组、西山头组、茶湾组和九里坪组<sup>[12-14]</sup>,其中

收稿日期:2016-05-27;修订日期:2017-02-08

资助项目:中国地质调查局项目《浙江庆元—福建政和地区铜多金属矿攻关示范》(编号:12120114002601)和《武夷山关键地区区域地质调查》(编号:12120113070800)

作者简介:邢新龙(1991-),男,硕士,助理工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: xxlong@foxmail.com

通讯作者:邢光福(1965-),男,博士,研究员,从事中国东南部中生代火山岩调查研究。E-mail: njxgfu@163.com

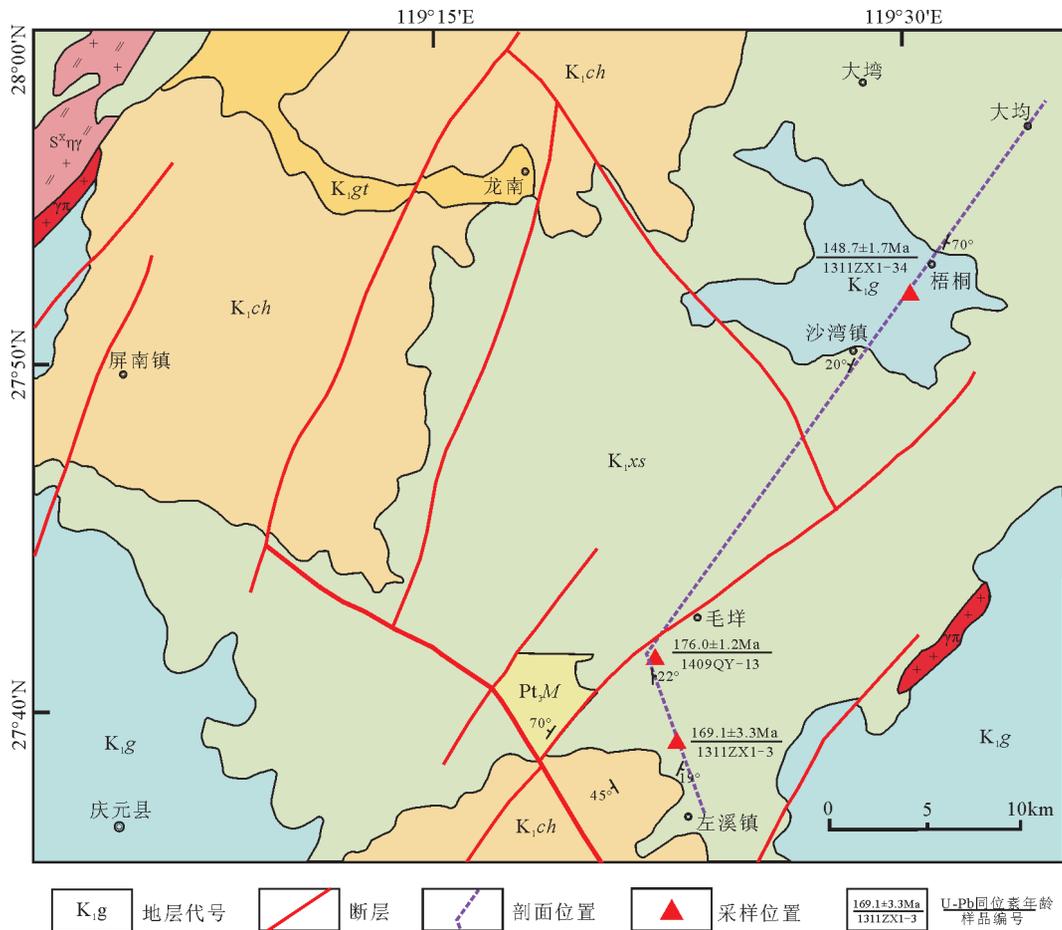


图1 研究区地质简图<sup>①</sup>

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

$Pt_1M$ —新元古代马面山岩群变质岩系;  $\gamma \pi$ —花岗斑岩;  $S^2 \eta \gamma$ —志留纪二长花岗岩;  $K_1g$ —早白垩世高坞组;  $K_1xs$ —早白垩世西山头组;  $K_1gt$ —早白垩世馆头组;  $K_1ch$ —早白垩世朝川组

大爽组下部以河流相沉积岩为主,上部为火山碎屑岩和沉积岩互层;高坞组以火山碎屑流相为主,岩性为厚层致密块状中-酸性火山碎屑岩类,夹中酸性熔岩和少量沉积岩,晚期为碎斑熔岩;西山头组为酸性火山碎屑岩与沉积岩互层,夹少量中酸性熔岩;茶湾组以沉积岩为主,九里坪组出露流纹岩。根据前人资料,庆元地区磨石山群仅见高坞组和西山头组,它们的锆石U-Pb年龄范围为136~118Ma<sup>[14-18]</sup>,而大爽组、茶湾组、九里坪组在本区未出露。区域上,永康群自下而上分别为馆头组、朝川组、小平田组、泰顺组,在本区均有出露<sup>[12-15]</sup>,其中馆头组为厚层砂岩,朝川组和平田组均为紫红色陆相沉积岩夹酸性火山碎屑

岩,泰顺组为深灰色厚层砂岩夹酸性火山碎屑岩,其锆石U-Pb年龄范围为111~103Ma<sup>[14-15]</sup>。

笔者近年来对浙闽交界地区,特别是浙南庆元地区中生代火山岩开展了研究,在庆元左溪镇一大均镇地区绘制路线地质剖面,并进行较详细的年代学研究。结果表明,该区火山岩时代并非白垩纪,而是早一中侏罗世。

### 1 火山岩地质特征

浙江庆元县左溪镇一大均镇一带火山岩露头较连续,岩性岩相出露齐全,前人将该段火山-沉积地层归为西山头组<sup>①</sup>。为查明该地区晚中生代火山岩的岩性岩相特征,笔者等在野外详细观察的基础

上,绘制了左溪镇一大均镇火山岩地层路线地质剖面图,简介如下。

大爽组(K<sub>1</sub>d)

- 16.浅绿色沉凝灰岩,沉凝灰结构,层理构造,主要由火山灰和长石、石英晶屑组成
- 15.紫红色流纹质晶屑凝灰岩,凝灰结构,晶屑主要为石英(30%)和长石(25%),晶屑粒径1~2mm,凝灰质胶结
- 14.灰绿色凝灰质砂砾岩,分选性较好,主要矿物为长石、石英,以次圆状为主。砾石大小不等,最小约1cm,最大约10cm,砾石成分为晶屑凝灰岩及磨圆石英
- 13.灰绿色流纹质晶屑凝灰岩,凝灰结构,晶屑以石英(20%)和长石(10%)为主
- 12.灰绿色流纹质熔结凝灰岩,熔结凝灰结构,假流动构造。晶屑占25%,以长石和石英为主,浆屑占10%,两端撕裂呈火焰状,具霏细脱玻结构
- 11.凝灰质含砾砂岩,凝灰质砂状结构,砾石粒径2~3cm,砾石成分为晶屑凝灰岩
- 10.浅灰绿色流纹质晶屑凝灰岩,凝灰结构,晶屑含量20%,主要为石英、长石
- 9.灰白色沉凝灰岩,沉凝灰结构,层理构造,主要由火山灰和长石、石英晶屑等组成
- 8.浅绿色流纹质熔结凝灰岩,弱熔结凝灰结构,晶屑主要为长石(20%)和石英(20%)
- 7.凝灰质含砾砂岩,凝灰质砂状结构,砾石粒径2~5cm,砾石成分为晶屑凝灰岩

~~~~~ 不整合接触 ~~~~~

毛弄组(J<sub>1</sub>m)

- 6.紫灰色流纹英安岩,斑状结构,斑晶主要为长石(20%),其次为少量石英和黑云母;基质为霏细结构,含半定向分布的斜长石长条状微晶
- 5.灰白色流纹质沉凝灰岩,沉凝灰结构,主要由石英、长石微晶等组成
- 4.流纹质弱熔结凝灰岩,弱熔结凝灰结构,主要由晶屑(30%)、浆屑(10%)和少量岩屑(<5%)及火山灰组成。晶屑成分以石英和长石为主
- 3.灰白色凝灰质含砾砂岩,凝灰质砂状结构,晶屑为石英、长石和少量黑云母,砾石成分为凝灰岩,磨圆度较好,粒径2cm为主
- 2.浅灰绿色流纹质晶屑凝灰岩,凝灰结构,含少量凝灰岩岩屑(<5%)
- 1.灰白色凝灰质含砾砂岩,具韵律层理。主要矿物为石英、长石和少量黑云母,部分晶屑呈次圆状-圆状,未见底

本研究中的锆石U-Pb样品均采自上述路线地质剖面,采样位置见图1、图2。其中样品1311ZX1-3采自剖面第4层,岩性为流纹质弱熔结凝灰岩(图3-a、b);样品1409QY-13采自剖面第6层,岩性为流纹英安岩(图3-c、d)。

## 2 锆石U-Pb年代学研究

### 2.1 测试方法

用LA-ICP-MS技术测定了火山岩样品中锆石的U-Pb同位素。锆石单矿物分选在河北省区域地质调查院研究所完成。将原岩样品破碎、淘洗、电磁选后在双目镜下挑选晶形完好、透明度和色泽度较好的锆石颗粒。锆石制靶和阴极发光(CL)照相均在北京锆石领航科技有限公司完成,将锆石颗粒用双面胶粘在载玻片上,放上PVC环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入PVC环中,待树脂充分固化后将样品从载玻片上剥离,将样品靶打磨和抛光,直到锆石的中心部位暴露出来,详细过程见宋彪等<sup>[19-20]</sup>。阴极发光照相在JSM-6510型扫描电子显微镜和Gatan Mini CL型阴极荧光谱仪上完成,CL图像见图4。

锆石U-Pb同位素测定在中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价国土资源部重点实验室完成,分析仪器为Finnigan Neptune型MC-ICP-MS及与之配套的New Wave UP 213激光剥蚀系统,斑点半径为32 $\mu$ m,频率为6Hz。使用ICPMSDataCal软件处理原始数据,年龄加权平均值的计算及U-Pb谐和图的绘制采用Isoplot/Ex\_ver3完成。详细的仪器参数、数据软件处理、校正等见相关文献<sup>[21-22]</sup>。

### 2.2 测试结果

锆石U-Pb分析结果见表1,锆石U-Pb谐和图见图5。流纹质弱熔结凝灰岩(1311ZX1-3)的锆石均透明,呈微黄色,短柱状,晶形呈半自形-自形,晶体类型单一,粒径为0.03~0.1mm,长宽比以1~2为主。阴极发光图像显示清晰的振荡环带,Th/U值为0.68~1.25,为典型的岩浆锆石。共分析20个测试点,其中谐和度大于90%的分析点仅有6个,分析点号分别为4、9、11、18、19、20,谐和图上年龄点较集中,<sup>206</sup>Pb/<sup>208</sup>U年龄加权平均值为169.1 $\pm$ 3.3Ma,时代为中侏罗世早期。

流纹英安岩(1409QY-13)的锆石透明度较差,呈金刚光泽,浅粉色,以自形柱状为主,其次为半自形-次棱角状,粒径为0.03~0.15mm,长宽比以1~2为主。阴极发光图像大多显示清晰的振荡环带,Th/U值为0.51~1.18,说明其为岩浆锆石。共分析30个测试点,谐和度大于90%的分析点有29个,在

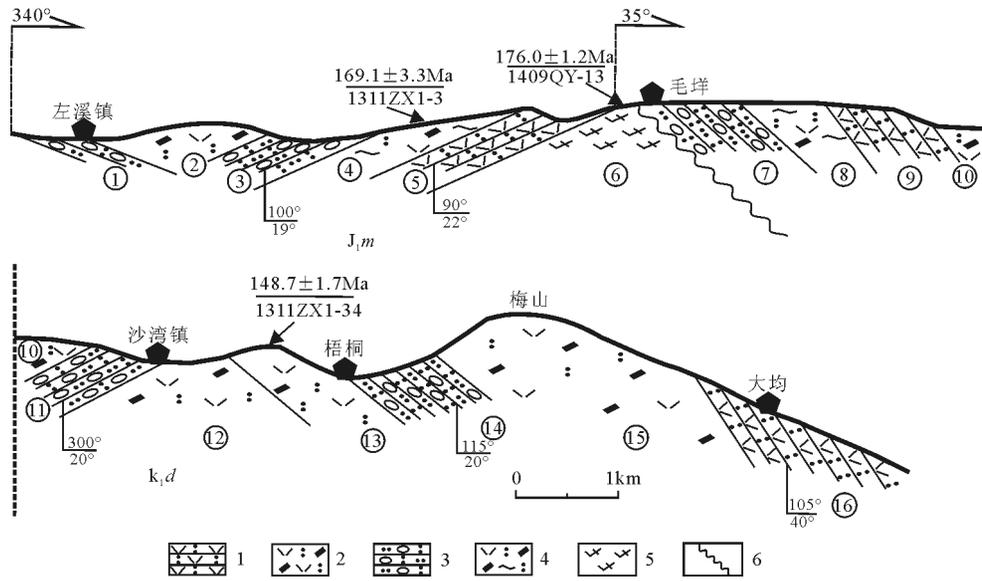


图2 庆元地区左溪镇—大均镇地区中生代火山岩地层路线地质剖面  
 Fig. 2 Route geological profile of Mesozoic volcanic strata in Zuoxi-Dajun zone of Qingyuan  
 J,m—毛弄组; K,d—大爽组; 1—流纹质沉凝灰岩; 2—流纹质晶屑凝灰岩; 3—凝灰质含砾砂岩; 4—流纹质熔结凝灰岩; 5—英安岩; 6—火山喷发不整合面

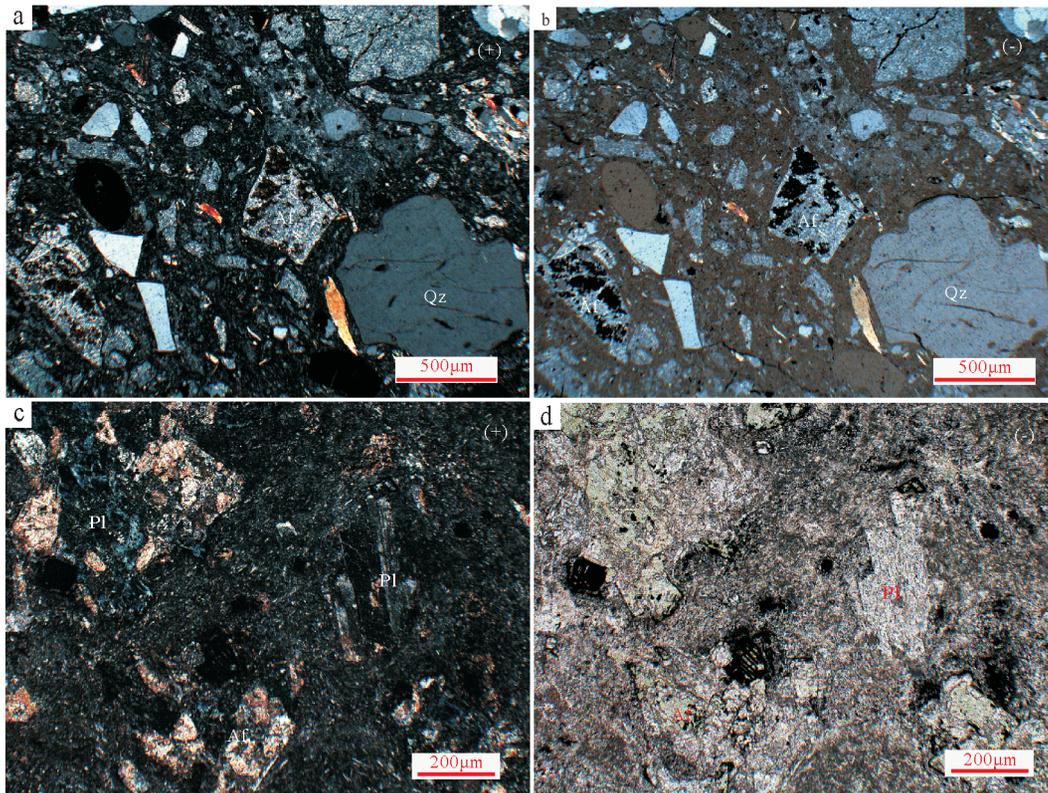


图3 庆元地区早—中侏罗世火山岩显微照片  
 Fig. 3 Microphotographs of Early-Middle Jurassic volcanic rocks in Qingyuan  
 a,b—流纹质弱熔结凝灰岩; c,d—英安岩。Qz—石英; Af—碱性长石; Pl—斜长石

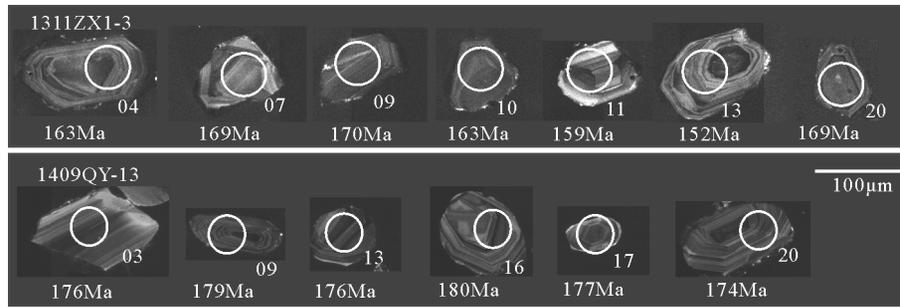


图 4 庆元地区早—中侏罗世火山岩部分锆石 CL 图像、测点位置和测年结果

Fig. 4 CL images, site of analyzed point and ages of the selected zircons from Early-Middle Jurassic volcanic rocks in Qingyuan

谐和图上年龄点较集中,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $176.0 \pm 1.2\text{Ma}$ , 时代为早侏罗世晚期。此外, 分析点号 2、6、8、11、13 的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄范围为 2131~1825Ma, 属捕获锆石。

### 3 讨论

#### 3.1 庆元地区早—中侏罗世火山岩地层层位归属

前人将本次研究的路线地质剖面中出露的火山岩归入西山头组。西山头组在浙东南分布广泛, 主要为酸性火山碎屑岩夹酸性熔岩及多套沉积岩, 与下伏高坞组呈火山喷发不整合接触。段政等<sup>[14-15]</sup>报道浙江省庆元县五大堡地区西山头组火山岩时代为早白垩世 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $127.9 \pm 0.8 \sim 131.9 \pm 1.9\text{Ma}$ ), 而本区火山岩时代属早侏罗世晚

期—中侏罗世早期 ( $176.0 \pm 1.2\text{Ma}$  和  $169.1 \pm 3.3\text{Ma}$ ), 因而不宜归入西山头组。浙江省境内的侏罗纪火山岩极少见, 仅在浙东南松阳地区发现早侏罗世毛弄组火山岩 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $177 \pm 1 \sim 180 \pm 4\text{Ma}$ )<sup>[11,23]</sup>, 且化石资料表明, 毛弄组上部沉积岩时代部分属于中侏罗世<sup>[11]</sup>。此外, 李亚楠等<sup>[24]</sup>在邻区闽北政和铁山地区发现有中侏罗世早期梨山组火山岩 ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $173 \pm 0.8\text{Ma}$ )。据此, 将庆元地区的早—中侏罗世火山岩归入毛弄组, 这是浙南地区首次划分出的毛弄组, 层位相当于闽北地区梨山组。

此外, 左溪镇—大均镇路线地质剖面的上部地层为火山岩与沉积岩互层。本次研究测得其中第 13 层流纹质晶屑凝灰岩 (样品 1311ZX1-34) 的 LA-

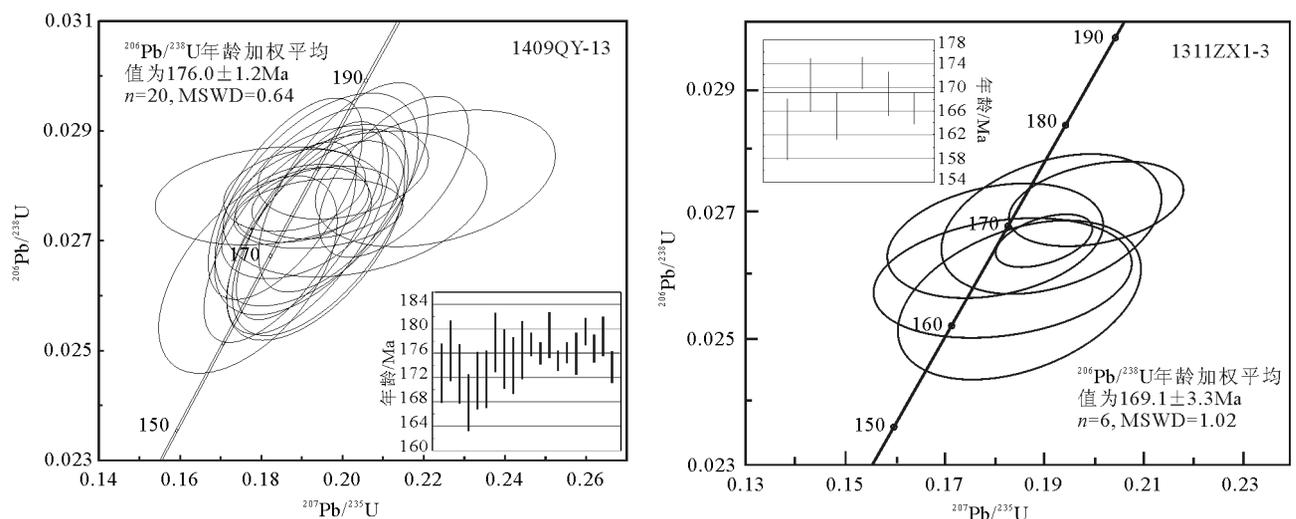


图 5 庆元地区早—中侏罗世火山岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of zircons from Early-Middle Jurassic volcanic rocks in Qingyuan

表1 浙江庆元地区早—中侏罗世火山岩LA-ICP-MS 锆石U-Th-Pb 测试数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating data of the Early-Middle Jurassic volcanic rocks from Qingyuan area of Zhejiang Province

| 分析<br>点号             | Pb     | Th   | U    | Th/U | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb |        | <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>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U |      | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U |      | 谐和度<br>/% |
|----------------------|--------|------|------|------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-----------|
|                      |        |      |      |      | 比值                                   | 1σ     | 比值                                  | 1σ     | 比值                                  | 1σ     | 年龄/Ma                                | 1σ    | 年龄/Ma                               | 1σ   | 年龄/Ma                               | 1σ   |           |
| 样品                   |        |      |      |      |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |       |                                     |      |                                     |      |           |
| 流纹英安岩(1409QY-13)     |        |      |      |      |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |       |                                     |      |                                     |      |           |
| 1                    | 38.42  | 768  | 1079 | 0.05 | 0.05                                 | 0.0027 | 0.19                                | 0.0082 | 0.03                                | 0.0008 | 150                                  | 127.8 | 178                                 | 6.9  | 173                                 | 4.8  | 97        |
| 2                    | 182.71 | 190  | 542  | 0.96 | 0.12                                 | 0.0044 | 4.62                                | 0.1749 | 0.28                                | 0.0080 | 1910                                 | 66.8  | 1752                                | 31.6 | 1614                                | 40.2 | 91        |
| 3                    | 129.13 | 589  | 499  | 0.22 | 0.08                                 | 0.0032 | 1.94                                | 0.0785 | 0.18                                | 0.0051 | 1098                                 | 89.8  | 1094                                | 27.2 | 1087                                | 27.8 | 99        |
| 4                    | 49.46  | 548  | 882  | 0.09 | 0.06                                 | 0.0024 | 0.36                                | 0.0147 | 0.05                                | 0.0012 | 483                                  | 96.3  | 309                                 | 11.0 | 286                                 | 7.6  | 92        |
| 5                    | 14.63  | 315  | 412  | 0.05 | 0.05                                 | 0.0027 | 0.19                                | 0.0102 | 0.03                                | 0.0008 | 217                                  | 122.2 | 180                                 | 8.7  | 176                                 | 5.0  | 98        |
| 6                    | 156.57 | 190  | 478  | 0.82 | 0.11                                 | 0.0039 | 4.10                                | 0.1456 | 0.26                                | 0.0073 | 1825                                 | 63.1  | 1655                                | 29.0 | 1515                                | 37.3 | 91        |
| 7                    | 27.96  | 442  | 837  | 0.06 | 0.05                                 | 0.0024 | 0.19                                | 0.0089 | 0.03                                | 0.0008 | 283                                  | 107.4 | 181                                 | 7.5  | 173                                 | 4.8  | 95        |
| 8                    | 107.13 | 96   | 325  | 1.12 | 0.11                                 | 0.0042 | 4.30                                | 0.1587 | 0.27                                | 0.0076 | 1850                                 | 66.7  | 1693                                | 30.4 | 1561                                | 38.3 | 91        |
| 9                    | 15.58  | 283  | 473  | 0.05 | 0.05                                 | 0.0026 | 0.18                                | 0.0090 | 0.03                                | 0.0007 | 128                                  | 125.9 | 165                                 | 7.8  | 168                                 | 4.6  | 98        |
| 10                   | 37.07  | 538  | 1157 | 0.07 | 0.05                                 | 0.0023 | 0.18                                | 0.0076 | 0.03                                | 0.0007 | 165                                  | 139.8 | 172                                 | 6.6  | 172                                 | 4.7  | 99        |
| 11                   | 137.05 | 80   | 348  | 1.71 | 0.13                                 | 0.0046 | 5.94                                | 0.2034 | 0.32                                | 0.0087 | 2131                                 | 60.7  | 1968                                | 29.8 | 1805                                | 42.3 | 91        |
| 12                   | 31.82  | 494  | 980  | 0.06 | 0.05                                 | 0.0024 | 0.19                                | 0.0090 | 0.03                                | 0.0007 | 272                                  | 107.4 | 180                                 | 7.6  | 172                                 | 4.7  | 95        |
| 13                   | 179.70 | 263  | 474  | 0.68 | 0.12                                 | 0.0042 | 4.87                                | 0.1704 | 0.30                                | 0.0080 | 1913                                 | 64.0  | 1797                                | 29.5 | 1686                                | 39.9 | 93        |
| 14                   | 23.35  | 180  | 542  | 0.13 | 0.05                                 | 0.0022 | 0.24                                | 0.0106 | 0.04                                | 0.0010 | 35                                   | 107.4 | 219                                 | 8.7  | 236                                 | 6.3  | 92        |
| 15                   | 37.32  | 116  | 1281 | 0.32 | 0.05                                 | 0.0024 | 0.20                                | 0.0086 | 0.03                                | 0.0008 | 283                                  | 105.5 | 185                                 | 7.2  | 178                                 | 4.9  | 95        |
| 16                   | 12.81  | 33   | 152  | 0.39 | 0.05                                 | 0.0028 | 0.55                                | 0.0272 | 0.08                                | 0.0022 | 302                                  | 122.2 | 444                                 | 17.8 | 473                                 | 13.0 | 93        |
| 17                   | 19.35  | 182  | 628  | 0.11 | 0.05                                 | 0.0026 | 0.19                                | 0.0096 | 0.03                                | 0.0008 | 209                                  | 118.5 | 178                                 | 8.2  | 175                                 | 4.8  | 98        |
| 18                   | 19.08  | 131  | 427  | 0.15 | 0.05                                 | 0.0028 | 0.28                                | 0.0141 | 0.04                                | 0.0011 | 239                                  | 128.7 | 247                                 | 11.2 | 241                                 | 6.8  | 97        |
| 19                   | 64.14  | 1295 | 1873 | 0.05 | 0.05                                 | 0.0020 | 0.19                                | 0.0074 | 0.03                                | 0.0007 | 220                                  | 99.1  | 178                                 | 6.3  | 174                                 | 4.6  | 97        |
| 20                   | 35.06  | 717  | 998  | 0.05 | 0.05                                 | 0.0021 | 0.19                                | 0.0078 | 0.03                                | 0.0008 | 120                                  | 101.8 | 173                                 | 6.7  | 177                                 | 4.7  | 98        |
| 21                   | 23.22  | 429  | 839  | 0.05 | 0.05                                 | 0.0019 | 0.19                                | 0.0071 | 0.03                                | 0.0003 | 154                                  | 90.7  | 175                                 | 6.1  | 177                                 | 1.9  | 98        |
| 22                   | 25.96  | 965  | 820  | 0.03 | 0.05                                 | 0.0018 | 0.19                                | 0.0067 | 0.03                                | 0.0003 | 187                                  | 113.9 | 177                                 | 5.7  | 176                                 | 1.8  | 99        |
| 23                   | 35.41  | 952  | 1199 | 0.04 | 0.06                                 | 0.0019 | 0.21                                | 0.0075 | 0.03                                | 0.0006 | 417                                  | 75.0  | 196                                 | 6.3  | 179                                 | 3.8  | 91        |
| 24                   | 32.39  | 906  | 1121 | 0.04 | 0.05                                 | 0.0023 | 0.19                                | 0.0085 | 0.03                                | 0.0003 | 254                                  | 103.7 | 180                                 | 7.2  | 175                                 | 1.6  | 97        |
| 25                   | 34.85  | 911  | 1216 | 0.04 | 0.05                                 | 0.0018 | 0.20                                | 0.0074 | 0.03                                | 0.0003 | 239                                  | 81.5  | 181                                 | 6.2  | 176                                 | 1.7  | 97        |
| 26                   | 6.60   | 202  | 227  | 0.03 | 0.05                                 | 0.0039 | 0.20                                | 0.0133 | 0.03                                | 0.0005 | 387                                  | 161.1 | 188                                 | 11.2 | 176                                 | 3.4  | 93        |
| 27                   | 27.07  | 631  | 942  | 0.04 | 0.05                                 | 0.0022 | 0.20                                | 0.0086 | 0.03                                | 0.0004 | 257                                  | 93.5  | 185                                 | 7.3  | 180                                 | 2.2  | 96        |
| 28                   | 24.34  | 626  | 839  | 0.04 | 0.05                                 | 0.0031 | 0.18                                | 0.0114 | 0.03                                | 0.0004 | 80                                   | 153.7 | 170                                 | 9.8  | 177                                 | 2.3  | 95        |
| 29                   | 34.87  | 823  | 1172 | 0.04 | 0.06                                 | 0.0030 | 0.22                                | 0.0121 | 0.03                                | 0.0005 | 506                                  | 116.7 | 204                                 | 10.0 | 179                                 | 3.2  | 86        |
| 30                   | 23.81  | 510  | 863  | 0.05 | 0.05                                 | 0.0019 | 0.19                                | 0.0076 | 0.03                                | 0.0004 | 191                                  | 87.0  | 175                                 | 6.5  | 174                                 | 2.6  | 99        |
| 样品                   |        |      |      |      |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |       |                                     |      |                                     |      |           |
| 流纹质弱熔结凝灰岩(1311ZX1-3) |        |      |      |      |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |       |                                     |      |                                     |      |           |
| 4                    | 13.07  | 515  | 410  | 1.25 | 0.05                                 | 0.0048 | 0.19                                | 0.0163 | 0.03                                | 0.0008 | 324                                  | 205.5 | 173                                 | 14.0 | 163                                 | 5.2  | 94        |
| 7                    | 7.16   | 171  | 245  | 0.70 | 0.06                                 | 0.0056 | 0.22                                | 0.0207 | 0.03                                | 0.0007 | 632                                  | 200.0 | 206                                 | 17.2 | 169                                 | 4.6  | 80        |
| 9                    | 12.54  | 387  | 413  | 0.94 | 0.05                                 | 0.0041 | 0.19                                | 0.0146 | 0.03                                | 0.0007 | 328                                  | 177.8 | 178                                 | 12.4 | 170                                 | 4.6  | 95        |
| 10                   | 9.65   | 223  | 344  | 0.65 | 0.06                                 | 0.0043 | 0.21                                | 0.0156 | 0.03                                | 0.0006 | 611                                  | 155.5 | 194                                 | 13.1 | 163                                 | 3.9  | 82        |
| 11                   | 9.56   | 334  | 317  | 1.05 | 0.05                                 | 0.0070 | 0.17                                | 0.0253 | 0.02                                | 0.0006 | 106                                  | 311.1 | 158                                 | 22.0 | 159                                 | 3.5  | 99        |
| 13                   | 13.21  | 393  | 494  | 0.79 | 0.04                                 | 0.0051 | 0.14                                | 0.0157 | 0.02                                | 0.0007 | 324                                  | 224.3 | 135                                 | 14.0 | 152                                 | 4.4  | 87        |
| 15                   | 13.47  | 425  | 427  | 1.00 | 0.06                                 | 0.0041 | 0.22                                | 0.0140 | 0.03                                | 0.0006 | 650                                  | 144.4 | 201                                 | 11.7 | 166                                 | 3.5  | 80        |
| 18                   | 7.82   | 293  | 246  | 1.19 | 0.05                                 | 0.0055 | 0.18                                | 0.0173 | 0.03                                | 0.0006 | 302                                  | 242.6 | 170                                 | 14.9 | 165                                 | 3.9  | 97        |
| 19                   | 12.55  | 288  | 426  | 0.68 | 0.05                                 | 0.0029 | 0.20                                | 0.0116 | 0.03                                | 0.0004 | 346                                  | 130.5 | 186                                 | 9.8  | 172                                 | 2.7  | 92        |
| 20                   | 12.95  | 471  | 412  | 1.14 | 0.05                                 | 0.0047 | 0.18                                | 0.0143 | 0.03                                | 0.0006 | 243                                  | 212.9 | 168                                 | 12.3 | 169                                 | 3.8  | 99        |

ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $148.7 \pm 1.4$  Ma, 时代属晚侏罗世晚期。根据前人地质资料<sup>①</sup>, 将该套火山岩归入高坞组(图1)。区域上, 典型的高坞组以厚层致密块状中-酸性熔结凝灰岩为主, 段政等<sup>[14-15]</sup>报道庆元县五大堡地区高坞组火山岩时代为早白垩世(锆石 U-Pb 年龄为  $133.2 \pm 0.6 \sim 136.0 \pm 0.8$  Ma), 其时代和岩性均与本文路线地质剖面的晚侏罗世火山岩明显不同。而下伏于高坞组的大爽组以河流相沉积岩与火山碎屑岩互层为特征, Liu 等<sup>[23]</sup>测得义乌地区大爽组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $140 \pm 1 \sim 135.3 \pm 0.9$  Ma, 与本次获得的样品 1311ZX1-34 同位素年龄相近且相对更晚。因此, 将该剖面上部的火山岩-沉积岩地层暂归为大爽组。

### 3.2 构造意义

东南沿海地区在三叠纪-白垩纪先后经历了印支运动和燕山运动, 诱发了大规模岩浆活动。但是对于印支运动向燕山运动转换的时间及转换过程, 目前仍存在争议<sup>[25-30]</sup>。

东南沿海早一中侏罗世岩浆岩主要集中在南岭东段, 以2种形式出现: ①拉斑玄武岩系列玄武岩(安山岩)-流纹岩双峰式火山岩组合并与A型花岗岩共生, 以闽西南永定藩坑组<sup>[7]</sup>和赣南龙南-寻邬菖蒲组、寨背岩体<sup>[31-35]</sup>最具代表性, 总体呈近EW向展布, 酸性端元主要来源于陆壳并有地幔物质参与, 基性端元主要来自软流圈地幔, 形成于板内拉张环境, 时代集中在  $195 \sim 172$  Ma<sup>[36-41]</sup>; ②基性-超基性岩体, 代表性的如粤东北梅州霞岚辉长岩体, 其同位素年龄为  $196 \sim 160$  Ma, 地球化学特征指示, 其源区为类似原始地幔的弱富集地幔, 为板内伸展构造背景下软流圈上涌与岩石圈相互作用的结果<sup>[42-45]</sup>。

对于东南沿海早一中侏罗世火山岩的大地构造背景, 仍存在不同的认识。许美辉等<sup>[5]</sup>提出, 早侏罗世双峰式火山岩形成于板内构造环境。陈培荣等<sup>[8]</sup>提出, 南岭地区燕山早期岩浆岩形成于后造山大陆裂解的地球动力学背景, 是后碰撞事件的结束和泛大陆开始裂解的标志。邢光福等<sup>[26]</sup>认为, 南岭东段早侏罗世火山岩的形成与陆内伸展有关, 标志着印支挤压造山作用的结束, 东南大陆自此进入活动大陆边缘俯冲造山阶段, 这与张岳桥等<sup>[46-48]</sup>提出的华南中生代早、晚2期叠加褶皱构造事件发生时间一致。

李亚楠等<sup>[24]</sup>对闽北政和铁山地区中侏罗世火山

岩的研究表明, 它们的成因与古太平洋板块俯冲有关。本次新发现的庆元地区早一中侏罗世火山岩, 属于过铝质高钾钙碱性系列, 在 Y-Nb 图解和 (Y+Nb)-Rb 图解中均落在火山弧花岗岩区域内(图略), 具有与铁山地区中侏罗世火山岩一致的火山弧地球化学特征(另文发表), 说明在早一中侏罗世古太平洋板块俯冲已经作用于浙闽地区。因此, 本区早一中侏罗世火山岩可能形成于印支期碰撞构造体系开始向燕山期俯冲构造体系转化的重要时段。

## 4 结论

(1) 浙南庆元县左溪一大均一带首次发现早一中侏罗世火山岩, 岩性分别为流纹英安岩和流纹质弱熔结凝灰岩, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $176.0 \pm 1.2$  Ma 和  $169.1 \pm 3.3$  Ma。

(2) 上述早一中侏罗世火山岩的层位可归属于毛弄组, 其上覆火山岩的时代为  $148.7 \pm 1.7$  Ma, 暂归为大爽组。

(3) 本区早一中侏罗世火山岩与闽北中侏罗世火山岩, 可能属于古太平洋板块早期俯冲阶段的产物。

## 参考文献

- [1] 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山地质与矿产[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 111-237.
- [2] 陶奎元, 高天钧, 陆志刚, 等. 东南沿海火山岩基底构造及火山-侵入作用与成矿系统[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 14-57.
- [3] 谢家莹, 陶奎元, 尹家衡, 等. 中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 7-69.
- [4] 邢光福, 陶奎元, 杨祝良, 等. 中国东南沿海中生代火山岩成因研究现状与展望[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(3): 189-193.
- [5] 许美辉. 福建省永定地区早侏罗世双峰式火山岩及其构造环境[J]. 福建地质, 1992, 11(2): 115-125.
- [6] 周金城, 蒋少涌, 王孝磊, 等. 华南中侏罗世玄武岩的岩石地球化学研究——以福建藩坑组玄武岩为例[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(10): 927-936.
- [7] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背A型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(3): 289-298.
- [8] 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 378-383.
- [9] 冀春雨, 巫建华. 江西南部余田群长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(2): 1674-3504.
- [10] 项媛馨, 巫建华. 赣南龙南地区余田群玄武岩 SHRIMP 锆石

- U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(5): 716-725.
- [11] 陈荣, 邢光福, 杨祝良, 等. 浙东南英安质火山岩早侏罗世 SHRIMP 年龄的首获及其地质意义[J]. 地质论评, 2007, 53(1): 31-35.
- [12] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [13] 浙江省地质矿产局. 浙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [14] 段政, 邢光福, 余明刚, 等. 浙闽边界区晚中生代火山作用时序与过程分析[J]. 地质论评, 2013, 59(3): 444-469.
- [15] 段政. 浙闽相邻区晚中生代火山活动时序与成因研究[D]. 北京: 中国地质科学院硕士学位论文, 2013: 23-31.
- [16] 林敏. 福建小溪组地层序、岩石组合及时代研究进展[J]. 地质与勘探, 2011, 47(4): 555-565.
- [17] 林敏. 福建镇前地区晚中生代火山作用[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文, 2013: 6-73.
- [18] 崔玉荣, 谢智, 陈江峰, 等. 浙东晚中生代玄武岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2010, 16(2): 198-212.
- [19] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测试及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48 (增刊): 26-30.
- [20] 宋彪. 用 SHRIMP 测定锆石 U-Pb 年龄的工作方法[J]. 地质通报, 2015, 34(10): 1777-1788.
- [21] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [22] 侯可军, 李延河, 田有荣等. LA-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-292.
- [23] Liu L, Xu X H, Zou H B. Episodic eruptions of the Late Mesozoic volcanic sequences in southeastern Zhejiang, SE China: Petrogenesis and implications for the geodynamics of paleo-Pacific subduction[J]. Lithos, 2002, 154: 166-180.
- [24] 李亚楠, 邢光福, 邢新龙, 等. 闽北地区中侏罗世火山岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2015, 12(34): 2227-2235.
- [25] 邢光福, 杨祝良, 毛建仁, 等. 东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 384-391.
- [26] 邢光福, 卢清地, 陈荣, 等. 东南中生代构造体制转折结束时限研究: 兼与华北燕山地区对比[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 451-463.
- [27] 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造作用[J]. 地质论评, 2002, 48(3): 249-260.
- [28] 徐夕生, 谢昕. 中国东南部晚中生代-新生代玄武岩与壳幔作用[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 318-334.
- [29] 谢昕, 徐夕生, 邹海波. 中国东南部晚中生代大规模岩浆作用序幕: J<sub>2</sub>早期玄武岩[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(7): 587-605.
- [30] 余心起, 吴淦国, 张达. 中国东南部晚中生代构造体制转换作用研究进展[J]. 自然科学进展, 2005, 15(10): 1167-1174.
- [31] 刘潜, 于津海, 苏斌, 等. 福建锦城 187Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3575-3589.
- [32] 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 赣南燕山早期双峰式火山岩的厘定和意义[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 734-741.
- [33] 陈培荣, 华仁民, 张邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类-岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(4): 279-289.
- [34] 李青龙, 巫建华. 赣南-粤北晚中生代双峰式火山岩地质特征及其意义[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 724-733.
- [35] 贺振宇, 徐夕生, 陈荣, 等. 赣南中侏罗世正长岩-辉长岩的起源及其地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1457-1469.
- [36] 贺振宇, 徐夕生, 王孝磊, 等. 赣南橄榄安粗质火山岩的年代学与地球化学[J]. 岩石学报, 2008, 24(11): 2524-2536.
- [37] 郭春丽, 毛景文, 陈毓川. 赣南营前岩体的年代学、地球化学、Sr-Nd-Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(3): 919-937.
- [38] 程顺波, 付建明, 马丽艳, 等. 南岭地区早侏罗世成矿作用——来自粤北大顶铁锡矿床 LA-ICP-MS 和 Ar-Ar 年代学证据: 锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 地质学报, 2016, 90(1): 163-176.
- [39] Zhou J C, Jiang S Y, Wang X L, et al. Re-Os isochron age of Fangkeng basalts from Fujian of SE China and its geological significance[J]. Geochemical Journal, 2005, 39: 497-502.
- [40] Li X H, Chen Z, Liu D Y, et al. Jurassic gabbro-granite-syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, Origin, and tectonic significance[J]. International Geology Review, 2003, 45: 898-921.
- [41] He Z Y, Xu X S, Niu Y L. Petrogenesis and tectonic significance of a Mesozoic granite-syenite-gabbro association from inland South China[J]. Lithos, 2010, 119: 621-641.
- [42] 邢光福, 杨祝良, 孙强辉, 等. 广东梅州早侏罗世层状基性-超基性岩体研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(3): 172-175.
- [43] 余心起, 狄永军, 吴淦国, 等. 粤北存在早侏罗世的岩浆活动——来自霞岗杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学的证据[J]. 中国科学(D辑), 2009, 39(6): 681-693.
- [44] 余心起, 吴淦国, 狄永军, 等. 赣南东坑盆地早侏罗世侵入岩的锆石 SHRIMP 测年——兼论赣南粤北地区成岩后期构造热事件[J]. 中国科学, 2010, 26(12): 3469-3484.
- [45] 马晓雄, 董传万, 唐立梅, 等. 华南沿海地区中生代岩石圈伸展的岩石学制约: 琼粤闽浙镁铁质岩时空分布与地球化学研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2013, 40(6): 683-692.
- [46] 张岳桥, 徐先兵, 贾东等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 234-247.
- [47] 张岳桥, 董树文, 李献华, 等. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. 地球学报, 2012, 48(3): 249-260.
- [48] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.
- ① 福建省地质调查研究院. 1:25万周宁县幅区域地质调查报告. 2007.