

# 长江中下游火山岩带东南缘溧阳盆地火山作用的年代学、地球化学及岩浆成因探讨

薛怀民\*

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 位于长江中下游晚中生代火山岩带东南缘的溧阳盆地, 不同于区内其他火山岩盆地的一个突出特点是出现较大比例的流纹质岩石, 该盆地内火山岩/潜火山岩的  $\text{SiO}_2$  含量总体较高, 但  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  含量却是长江中下游火山岩盆地中最低的, 属于高钾钙碱性系列。地球化学上, 这些火山岩样品均表现为较强的轻、重稀土元素分馏程度, 强烈亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Ti 的特征。明显的 Eu 负异常, 且  $\delta\text{Eu}$  值随  $\text{SiO}_2$  含量的增加总体呈降低趋势, 反映斜长石的分离结晶可能对岩浆的演化产生一定的影响。溧阳盆地内火山岩/潜火山岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值在  $-8.75 \sim -7.44$  之间, 不仅明显低于邻近的宁芜盆地和溧水盆地内的火山岩/潜火山岩, 与江南造山带内晚中生代的花岗岩类相比, 其  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值也偏低。结合其高的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初始比值 ( $\sim 0.7097$ ), 指示溧阳盆地内的岩浆可能主要由古老的地壳物质部分熔融形成。本文分别测得溧阳盆地早期龙王山组粗面岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $(140 \pm 0.7)$  Ma, 大王山组熔结凝灰岩、闪长玢岩及流纹斑岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $(129.1 \pm 1.1)$  Ma、 $(132.5 \pm 0.7)$  Ma 和  $(132.3 \pm 0.7)$  Ma。区域对比表明, 溧阳盆地火山活动的起始时间明显早于其他盆地内火山活动 ( $6 \sim 10$  Ma)。但各盆地内火山活动的峰期时间基本相当, 均处于约 130 Ma 前后。整个火山岩带内的火山活动显示随时间具有从南东侧向北西方向迁移的趋势, 并隐约显示火山活动由火山岩带中心区域向周边扩展的趋势。这种双向迁移性可能是太平洋板块与亚洲大陆板块相对运动和晚中生代发生在长江中下游地区的岩石圈减薄两种动力学机制共同作用的结果。

**关键词:** 锆石 U-Pb 定年; 钙碱性火山岩; 岩浆成因; 溧阳火山岩盆地; 长江中下游

**中图分类号:** P597; P581      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0379-1726(2016)03-0213-22

## Geochronology, geochemistry and petrogenesis of volcanism in the Liyang volcanic basin on the southeastern margin of the Middle-Lower Yangtze region

XUE Huai-min

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Liyang volcanic basin, located on the southeastern margin of the Late Mesozoic volcanic belt developed in the Middle-Lower Yangtze region, is characterized by existing volume rhyolitic rocks, which is obviously different from other volcanic basins in the belt. Volcanic/subvolcanic rocks in the Liyang Basin have the highest  $\text{SiO}_2$  contents, but the lowest  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  contents as compared with other volcanic basins in the Middle-Lower Yangtze volcanic belt. Geochemically, these rocks exhibit strongly fractionated REE patterns, invariably show a relative enrichment in light rare-earth elements and an obvious depletion in high-field-strong elements (HFSE) such as Nb, Ta and Ti. Obvious negative anomalies, and their  $\delta\text{Eu}$  values decrease rapidly with increasing  $\text{SiO}_2$  contents, indicating that plagioclase differentiation may have played an important role during the evolution of magmas. Their  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  values range from  $-7.44$  to  $-8.75$ , obviously lower than the  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  values of volcanic rocks in adjacent volcanic basins such as the Lishui Basin and the Ningwu Basin, and also slightly lower than the  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  values of Late Mesozoic granitoids in the Jiangnan orogen. In combination with their high initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values ( $\sim 0.7097$ ), it is indicated that the magmas in the Liyang Basin were mainly formed via partial

收稿日期(Received): 2015-03-27; 改回日期(Revised): 2015-08-25; 接受日期(Accepted): 2016-01-13

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212010711814); 地质矿产调查评价专项(1212011121116)

作者简介: 薛怀民(1962-), 男, 博士、研究员, 岩石学专业。

\* 通讯作者(Corresponding author): XUE Huai-min, E-mail: huaiminx@sina.com; Tel: +86-10-68999709

XUE Huai-min: Geochronology, geochemistry and petrogenesis of volcanism in the Liyang volcanic basin

melting of an ancient crustal source. In this work, the zircon SHRIMP U-Pb technique was used to accurately date samples from the Longwanshan Formation in the Liyang Basin, yielding an emplacement age of  $(140 \pm 0.7)$  Ma, and also to measure the zircon U-Pb LA-ICPMS ages of one volcanic sample and two subvolcanic samples from the Dawanshan Formation, yielding the emplacement ages of  $(129.1 \pm 1.1)$  Ma,  $(132.5 \pm 0.7)$  Ma and  $(132.3 \pm 0.7)$  Ma, respectively. Based on a comparison with other volcanic basins in the Middle-Lower Yangtze region, it is indicated that the starting time of volcanism in the Liyang Basin was earlier than about 6~10 Ma with respect to other volcanic basins, but the rush time of volcanism in the whole volcanic basin is similar (~130 Ma). Volcanism in the Middle-Lower Yangtze volcanic belt shows a northwestward migrating current with time, i.e. migrating from the central area of the volcanic belt outwards subtly. The bidirectional migration of the volcanism may be the result of relative movement of the Pacific plate and Asia continental plate and Late Mesozoic lithospheric thinning which happened in the Middle-Lower Yangtze region.

**Key words:** zircon U-Pb dating; calc-alkaline volcanic rock; magma genesis; Liyang Basin; Middle-Lower Yangtze region

## 0 引言

溧阳火山岩盆地位于长江中下游晚中生代火山岩带的东南缘, 但与该带内的其他火山岩盆地主要是在下扬子早中生代拗陷基础上发育起来的断陷型火山岩盆地不同, 它直接叠置在新元古代形成的江南古造山带之上。空间上, 溧阳盆地隔阳新-常州深断裂(部分学者称之为江南深断裂<sup>[1]</sup>)与北西侧的长江中下游地区的其他火山岩盆地相望(图 1a), 南东侧则与东南沿海火山岩带相邻, 处于长江中下游火山岩带与东南沿海火山岩带的衔接地带, 构造位置特殊。但对于该火山岩盆地, 目前仅有的少数几篇文献是发表于 20 世纪 90 年代初有关盆地内火山构造及岩石成分演变方面的描述和讨论<sup>[2-5]</sup>, 尚未见到有关溧阳盆地内火山岩同位素年代学、同位素地球化学与岩浆成因方面研究成果的报道。本次工作拟利用 SHRIMP 和 LA-ICPMS 精确测定溧阳盆地内不同旋回火山作用产物的锆石 U-Pb 年龄, 并测定盆地内占优势地位的大王山组火山岩/潜火山岩的元素地球化学和 Sr、Nd 同位素组成, 结合与临近的长江中下游其他火山岩盆地(主要是溧水盆地、宁芜盆地和庐枞盆地)及江南古造山带内同时代花岗岩类侵入体的对比, 探讨岩浆成因的机制。

## 1 地质背景

长江中下游地区在晚中生代(早白垩世)发育了一系列火山岩盆地, 自西而东依次为金牛盆地、怀宁盆地、庐枞盆地、繁昌盆地、滁州盆地、宁芜盆地、溧水盆地和溧阳盆地, 它们大致沿长江两侧断

续展布组成不连续的火山岩盆地(图 1a)。这些盆地大多是在早中生代拗陷基础上发育起来的断陷型火山岩盆地, 仅有两个例外: 一个是东北缘的滁州盆地, 它直接叠置在大别山造山带东缘的张八岭新元古界-早古生界基底隆起带之上<sup>[6]</sup>; 另一个是东南缘的溧阳盆地, 直接叠置在“江南隆起带”之上。

对于扬子地块东南部的“江南隆起带”的构造属性, 虽经历过长期的争议仍无定论, 目前多数学者视其为中-新元古代华南洋向扬子陆块俯冲形成的“岛弧褶皱带”或“多岛弧盆系”<sup>[7-25]</sup>, 且认为发生在新元古代的晋宁运动使华南洋在东段消失并形成江绍缝合带, 而此段以西仍然存在一个延续到加里东期的残留洋盆<sup>[9,20,23,26-28]</sup>, 至志留纪末盆地关闭形成加里东褶皱带。另外, 也有部分研究者认为江南造山带为印支期阿尔卑斯式远程推覆体<sup>[29-32]</sup>。朱光等<sup>[33]</sup>认为, 江南隆起带为印支-早燕山期的陆内造山带, 形成于北部华北与扬子板块发生陆陆碰撞、南部华南板块向北推挤的区域动力学背景下。李献华等<sup>[34]</sup>提出, 在 1.0 Ga 至 760 Ma 期间, 华南经历过从(俯冲)造山运动到陆内裂谷的地球动力学演化过程, 尤其强调地幔柱作用在约 825~760 Ma 期间对区域构造演化的控制意义。而周金城等<sup>[35]</sup>认为, 无论是从造山事件的年限、变质作用的程度、主要岩石类型, 还是构造演化等诸方面, 目前都还无法确定江南造山带属于格林威尔期造山带。随后构建了从 866 Ma 前至 760 Ma 左右期间江南造山带从俯冲(岛弧)→碰撞→后造山伸展的构造演化框架, 从而否定了此过程中有地幔柱作用<sup>[36]</sup>。

### 1.1 盆地下伏构造层

溧阳火山岩盆地的基底地层主要出露于盆地的

南部,另外在盆地的东部及中部的隆起带也有一定规模的出露,岩性以泥盆系的碎屑岩为主。此外还有少量早古生代、二叠纪至三叠纪的地层出露。这些基底地层又不整合于前寒武纪的变质岩系之上。

#### 1.1.1 前寒武纪变质基底

江南造山带东段出露的前寒武系变质基底具有明显的双层结构,其中下构造层的分布广泛,是造山带内变质岩系的主体;而上构造层主要呈带状分布,是后造山裂谷作用的产物(南华裂谷系)。上、下构造层的变形样式明显不同,前者多发育宽缓的褶皱,后者常发育紧密的尖棱褶皱,两者之间存在着明显的区域性不整合<sup>[37]</sup>。上、下构造层的变质程度也略具差异,虽然都以绿片岩相为主,但下构造层的变质温压条件要略高于上构造层<sup>[38-39]</sup>。

下构造层的原岩建造在空间上存在着差异,形成时代也不尽相同。其中双桥山群(赣北)的原岩为一套巨厚的陆源碎屑-浊流复理石建造,夹少许细碧角斑岩,形成时代约为 840 Ma 前后的新元古代<sup>[40-41]</sup>;溪口群(皖南)主要是一套浅变质的板岩和千枚岩,中上层位中富含火山碎屑成分,形成时代与双桥山群相当或略早些<sup>[42-43]</sup>;双溪坞群(浙西北)的原岩主要为一套以中基性到中酸性熔岩和火山碎屑岩为主的火山岩建造,夹有砂质、硅质和碳质页岩和灰岩透镜体,形成时代为 900 Ma 前后的新元古代早期<sup>[44-47]</sup>。

上构造层中河上镇群(浙西北)的原岩下部主要为碎屑岩系,上部为陆相基性和酸性火山岩组合,形成时代为~780 Ma 的新元古代晚期<sup>[40,48,49]</sup>;历口群(皖南)自下而上分为邓家组、铺岭组/井潭组,其中邓家组主要为一套具复理石特征的碎屑沉积岩,铺岭组主要为一套气孔状、杏仁状发育的基性火山岩夹沉积岩系,井潭组为一套巨厚的中酸性火山岩和碎屑沉积岩组合,形成时代与河上镇群相当<sup>[43,48-51]</sup>。

#### 1.1.2 早古生代地层

区内早古生代地层是在新元古代末期裂谷(南华裂谷带)基础上形成的一套海相沉积岩系,其中寒武系地层下段主要为硅质页岩夹碳质硅质页岩、石煤层,含磷结核层;中段主要为含灰岩透镜体的泥质灰岩、砂质泥质灰岩及硅质页岩;上段主要为条带状灰岩、泥质灰岩。奥陶系地层下段主要为页岩、粉砂质页岩夹钙质页岩;中段主要为含碳质页岩、粉砂质页岩、硅质页岩,夹灰岩透镜体或层状灰岩;上段主要为砂岩、粉砂岩、粉砂质页岩及页岩组成的复理石建造。志留系地层主要为粉砂岩、泥质粉

砂岩、泥岩及页岩等。

#### 1.1.3 晚古生代地层

泥盆系地层在溧阳盆地的南部广泛分布,岩性主要为岩屑砂岩、石英砂岩、长石砂岩,其中下部为岩屑砂岩与粉砂岩、粉砂质泥岩互层,上部出现石英岩、长石砂岩、泥质粉砂岩夹页岩;石炭系和二叠系地层在区内的出露比较局限,其中石炭系下部主要为页岩、石英砂岩、粉砂岩,中部主要为粉砂岩、石英砂岩、碳质页岩,上部主要为碳酸盐;二叠系下部主要为灰岩、硅质岩,上部主要为砂岩、页岩夹灰岩、石英砾岩。

#### 1.1.4 早中生代地层

区内早古生代地层的分布非常局限(图 1b),主要为三叠系中、下统的灰岩、白云岩,下部夹钙质泥岩、页岩;侏罗系中、下统的砾岩、页岩、粉砂岩、细砂岩夹砂岩、泥灰岩及煤层。

溧阳盆地火山岩的直接基底为中、下三叠统青龙群的灰岩、白云质灰岩、钙质泥岩和中、下侏罗统象山群的陆源碎屑岩。

## 1.2 火山地质

溧阳火山岩盆地位于江苏省溧阳市的南部,出露面积约 450 km<sup>2</sup>,主要由东、西两部分构成,东部又称戴埠破火山,西部又称社渚破火山,中间被宽 1.5~4 km 不等的古生代-早中生代基底隆起带相隔(图 1b)。区内火山岩的分布明显受区域性断裂与火山机构复合控制。由于第四系地层的广泛覆盖,火山岩盆地已变得残缺不全,尤其是西部的社渚破火山,火山岩的出露零星,火山机构的恢复已变得很困难。而东部的戴埠破火山保存得相对较完整,以戴埠为中心,火山机构大致呈近南北向的椭圆形,火山作用产物空间上具有随时间由老至新从边缘向中心收敛的趋势(图 1b)。

区内的火山活动主要分为龙王山旋回和大王山旋回,两个旋回之间有一明显的火山喷发间断,形成了一套厚约 50~100 m 不等的凝灰质粉砂岩、凝灰质泥岩等火山沉积夹层(云合山组)。

龙王山旋回形成的火山岩主要出露于戴埠破火山的南缘和西缘,不整合覆盖在前火山岩系之上或与前火山岩系呈断层接触。另外,在该破火山的东缘也有零星的龙王山组火山岩出露。该组下部主要为喷发空落相的凝灰岩和凝灰质粉砂岩,中段主要为流纹质熔结凝灰岩,顶部主要为溢流相的粗面岩、英安流纹岩和流纹岩。

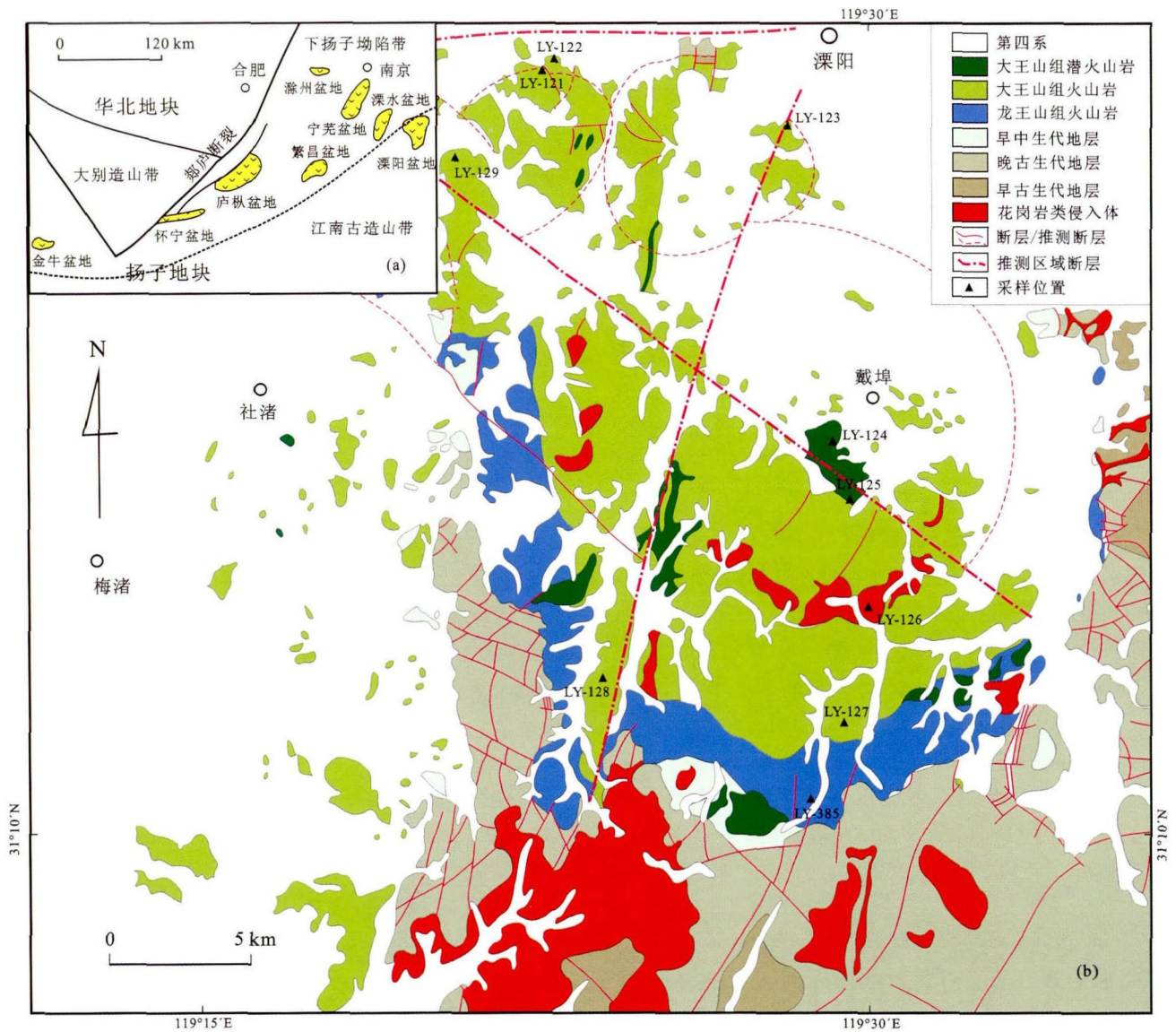


图1 溧阳火山岩盆地地质简图(据1:20万广德幅地质图修改)

Fig.1 Schematic geological map of the Liyang volcanic basin

大王山旋回形成的火山岩构成了盆地内火山作用产物的主体,主要分布于戴埠破火山的内侧和核部。另外,社渚破火山范围内零星出露的火山岩也都属于大王山组。该组下部以溢流相的辉石安山岩为主,局部为角砾熔岩;上部以英安质-流纹质的熔结凝灰岩为主,其次为凝灰岩。大王山旋回的末期出现侵出相的流纹质碎斑熔岩、球泡流纹斑岩。

另外,溧阳盆地内还广泛发育潜火山岩相和浅成侵入岩,岩性包括花岗斑岩和闪长岩-石英二长闪长岩-花岗闪长岩等,它们或是沿环状断裂展布,或是侵入到火山通道中。图1b显示,戴埠破火山范围内,火山岩地层和小侵入体(潜火山岩)总体呈环状分布,构成较完整的火山机构。

## 2 样品与分析方法

### 2.1 代表性样品描述

样品 LY-385 采自龙王山组的中部(坐标  $31^{\circ}10.557'N$ ,  $119^{\circ}28.372'E$ ),岩性为粗面岩。岩石呈斑状结构,斑晶含量约 35%,以透长石为主,其次为角闪石。透长石呈板状,高岭土化、绢云母蚀变较强。角闪石呈长柱状,暗化强烈。基质呈粗面结构。

样品 LY-121 采自大王山组的上部(坐标  $31^{\circ}23.195'N$ ,  $119^{\circ}22.603'E$ ),岩性为英安质熔结凝灰岩。岩石中晶屑含量较高(约 30%),以透长石晶屑为主,其次为黑云母和角闪石。胶结物主要为塑性

玻屑、火山灰及少量“浆屑”, 塑性变形强烈而呈现似流动构造。

样品 LY-128 采自大王山组的底部(坐标 31°13.197'N, 119°23.757'E), 岩性为晶屑凝灰岩。岩石呈凝灰结构, 块状构造。岩石中晶屑含量达 50% 左右, 以斜长石晶屑为主, 其次为角闪石和透长石。胶结物为火山灰。岩石中高岭土化蚀变较强。

样品 LY-126 为大王山组的潜火山岩, 岩性为闪长玢岩, 采样位置 31°14.514'N, 119°29.567'E。岩石呈似斑状结构, 斑晶含量约 30%, 主要为斜长石, 少量钾长石斑晶。基质细粒结构, 主要由角闪石、斜长石和钾长石组成。

样品 LY-129 为大王山组的潜火山岩, 岩性为流纹斑岩, 采样位置 31°23.636'N, 119°20.741'E。岩石呈斑状结构, 斑晶含量约 20%, 主要为半自形的板柱状透长石, 少量长柱状的角闪石。基质霏细结构, 主要由钾长石和石英组成, 少量针状角闪石微晶。

样品 LY-122b 的采样位置为 31°25.479'N, 119°22.898'E, 侵入到大王山组上部的流纹岩中, 岩性为粗面斑岩。岩石呈斑状结构, 斑晶含量约 25%, 以钾长石为主, 其次为角闪石。基质霏细结构。

## 2.2 分析方法

全岩成分在北京国家地质测试分析中心分析完成, 其中主元素用 X 射线荧光光谱法(XRF)完成, 所用仪器为日本理学 3080, 误差小于 0.5%; 微量元素 Zr、Sr、Ba、Zn、Rb 和 Nb 用 X 射线荧光光谱法完成, 所用仪器为 Rigaku-2100, 误差 Ba 5%, 其他元素小于 3%; 稀土元素及 V、Cr、Ni、Co、Cu、Pb、U、Th、Ta 和 Hf 用 TJA-PQ-ExCell 等离子体质谱仪分析, 误差小于 5%。

全岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素组成分析在中国地质科学院地质研究所同位素实验室完成, 分析流程及实验条件与 Cohen *et al.*<sup>[52]</sup>、Chavagnac *et al.*<sup>[53]</sup> 及 Jahn *et al.*<sup>[54]</sup> 所描述的类型。

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 TEMORA 置于环氧树脂中, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露。分析点的选择首先根据锆石反射和透射照片进行初选, 再与阴极发光照片反复对比, 力求避开矿物包裹体和裂隙等缺陷。

LA-ICPMS 定年测试在北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室进行。

激光剥蚀使用的是德国相干公司(Coherent)准分子激光器 COMPex Pro102, 激光条件为: 激光束斑 32  $\mu\text{m}$ , 激光能量密度 5  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 频率 5 Hz, 使用纯度为 99.999% 的 He 作为载气将激光剥蚀出来的物质带入等离子体质谱。质谱分析采用美国安捷伦科技有限公司电感耦合等离子体质谱仪 Agilent ICP-MS 7500ce, 功率 1500 W, 冷却气 15 L/min, 辅助气 1 L/min, 载气 0.96 L/min, 积分时间  $^{49}\text{Ti}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  为 50 ms,  $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$  为 20 ms, 其余同位素为 10 ms。信号采集时间共 85 s, 采集信号前先用激光剥蚀 3 s 以去除样品表面可能存在的污染, 在进行 20 s 的空白信号采集后开始触发激光采集样品信号。每 5 个未知样测试 1 个 PLESOVISE 锆石标样, 每 10 个未知样测试 1 个 NIST610 玻璃标样。数据处理先运用西澳大学的 Glitter 软件获得微量元素含量及 U-Pb 同位素比值, 微量元素的含量以硅元素为内标, 以 NIST 610 为外标; U-Pb 同位素比值的确定采用 PLESOVISE 玻璃标样进行元素间的分馏校正, 由于锆石中  $^{204}\text{Pb}$  的含量极低, 因此未进行普通铅的校正。

SHRIMP 定年测试在中国地质科学院北京离子探针中心的 SHRIMP II 离子探针仪上完成。仪器条件和数据采集参见 Williams 的有关描述<sup>[55]</sup>。靶径约 20  $\mu\text{m}$ , 数据通过 5 个循环收集。测试时二次离子流强度约为 4.5 nA, 质量分辨率约 5000。用 RSES 参考锆石 TEMORA (417 Ma) 进行元素间的分馏校正, Pb-U 校正公式采用  $\text{Pb}/\text{U}=\text{A}(\text{UO}/\text{U})^{2[56]}$ 。用  $^{204}\text{Pb}$  校正普通铅。用另一 RSES 参考样 SL13(年龄为 572 Ma, U 含量为 238  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) 标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理用 Ludwig 的 Isoplot 程序<sup>[57]</sup>。

## 3 分析结果

表 1 列出了溧阳盆地内部分火山岩/潜火山岩样品的主元素和微量元素丰度及 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素组成数据, 表 2 和表 3 分别列出了部分火山岩/潜火山岩样品的 LA-ICPMS 法和 SHRIMP 法锆石 U-Pb 定年结果。

### 3.1 岩石化学和微量元素地球化学特征

溧阳盆地内火山岩/潜火山岩的成分变化范围较广,  $\text{SiO}_2$  含量从约 56% 的中性到大于 75% 的高硅流纹质。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  含量从约 5.6% 到约 9.0%, 明显低于长江中下游其他火山岩盆地内的碱含量。在

表1 溧阳盆地火山岩的主元素(%)、微量元素( $\mu\text{g/g}$ )含量及 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素组成

Table 1 Major (%) and trace element ( $\mu\text{g/g}$ ) and Nd-Sr isotopic compositions of the volcanic/subvolcanic rocks from the Liyang Basin

样号	LY-121	LY-123	LY-124	LY-128	LY-125	LY-127	LY-126	LY-129	LY-122b
坐标	31°23.195'N 119°22.603'E	31°24.160'N 119°28.153'E	31°17.683'N 119°29.067'E	31°13.197'N 119°23.757'E	31°16.414'N 119°29.279'E	31°12.248'N 119°29.031'E	31°14.514'N 119°29.567'E	31°23.636'N 119°20.741'E	31°25.479'N 119°22.898'E
岩性	熔结凝灰岩			凝灰岩	角砾熔岩		闪长玢岩	流纹斑岩	粗面斑岩
SiO <sub>2</sub>	65.48	70.70	66.30	61.75	56.39	59.79	58.01	73.56	68.90
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.45	0.31	0.64	0.78	0.81	0.86	0.36	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.41	14.33	16.49	14.86	20.69	15.69	16.70	14.06	15.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.68	4.03	1.38	2.91	1.94	4.11	2.81	2.59	3.98
FeO	0.13	0.05	1.40	2.21	2.92	2.39	3.99	0.20	0.07
MnO	0.04	0.03	0.06	0.08	0.08	0.14	0.12	0.01	0.04
MgO	0.44	0.28	0.77	2.20	1.61	3.26	3.22	0.33	0.42
CaO	0.91	0.18	2.81	4.00	5.17	6.34	6.01	0.13	0.45
Na <sub>2</sub> O	1.10	0.42	3.05	3.37	4.71	2.55	2.54	0.52	1.02
K <sub>2</sub> O	8.36	7.76	4.86	2.97	3.02	2.89	3.19	4.89	5.82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.18	0.08	0.19	0.23	0.24	0.30	0.15	0.19
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.90	1.44	1.28	3.62	1.50	1.66	1.66	2.66	2.80
CO <sub>2</sub>	0.35	0.17	0.56	0.66	0.87	0.47	0.69	0.17	0.35
总量	99.52	100.02	99.35	99.46	99.91	100.34	100.10	99.63	100.07
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	9.46	8.18	7.91	6.34	7.73	5.44	5.73	5.41	6.84
Rb	235	222	122	89.1	57.1	83.9	97.8	149	173
Sr	104	186	332	282	478	349	460	77.6	124
Ba	694	537	1395	480	1462	489	832	321	620
Zr	189	145	215	162	450	153	186	143	153
Hf	5.00	4.05	5.47	4.33	9.09	4.13	4.53	3.61	4.09
Th	11.7	12.7	9.80	8.63	4.54	7.63	7.71	13.8	14.3
U	2.75	2.12	2.79	2.70	1.27	2.30	2.35	2.36	2.23
Nb	10.3	9.22	10.4	7.91	10.5	7.73	7.80	10.1	9.31
Ta	0.92	0.85	0.78	0.67	0.56	0.62	0.60	0.99	0.87
Y	18.9	19.0	28.0	29.3	22.3	34.2	30.9	13.0	22.0
Ga	20.3	17.4	19.2	18.3	25.8	19.4	21.5	15.3	17.8
Pb	26.6	13.6	22.0	8.15	21.4	16.8	12.7	20.3	23.9
V	87.1	50.7	25.0	103	54.7	148	140	40.5	57.8
Sc	9.51	7.55	9.23	16.5	9.84	24.6	22.7	2.59	8.51
Cr	47.4	19.8	8.80	30.8	11.6	77.9	50.4	11.7	33.4
Co	4.52	6.27	4.35	14.1	9.83	22.1	20.4	2.98	5.80
Ni	8.48	7.23	4.79	10.6	8.18	21.3	15.5	4.28	6.48
La	28.2	35.4	38.7	32.4	27.6	30.8	32.3	33.2	39.5
Ce	47.5	54.5	58.5	62.3	35.8	60.6	63.1	53.5	68.8
Pr	5.15	6.63	7.49	7.05	5.89	6.93	7.26	5.57	7.22
Nd	18.6	23.7	27.4	27.1	22.9	27.4	29.0	18.3	25.7
Sm	3.49	4.40	5.24	5.51	4.39	6.04	6.11	3.02	4.82
Eu	0.76	0.88	1.42	1.09	2.25	1.35	1.60	0.52	1.05
Gd	2.96	3.36	4.48	4.86	4.05	5.79	5.51	2.08	3.81
Tb	0.46	0.50	0.70	0.75	0.58	0.89	0.82	0.34	0.58
Dy	2.88	3.02	4.33	4.72	3.52	5.48	4.99	2.10	3.42
Ho	0.59	0.60	0.86	0.92	0.69	1.10	0.96	0.42	0.68
Er	1.79	1.83	2.59	2.66	2.01	3.10	2.71	1.29	2.00
Tm	0.28	0.28	0.38	0.40	0.29	0.46	0.39	0.20	0.30
Yb	1.98	1.90	2.54	2.61	1.97	2.97	2.55	1.44	2.00
Lu	0.30	0.28	0.40	0.41	0.32	0.43	0.38	0.23	0.30
REE	114.9	137.3	155.0	152.78	112.3	153.34	157.7	122.2	160.2
(La/Yb) <sub>N</sub>	9.62	12.59	10.30	8.39	9.47	7.01	8.56	15.58	13.35
$\delta\text{Eu}$	0.71	0.67	0.87	0.63	1.60	0.69	0.83	0.60	0.72
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	8.2	5.04	1.60		0.47	0.76	0.77	8.61	6.24
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.720386	0.714813	0.711501		0.710165	0.710218	0.710169	0.718713	0.716671
( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>	0.704459	0.705030	0.708395		0.709244	0.708738	0.708681	0.701990	0.704547
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0.1076	0.1075	0.1093		0.1253	0.1308	0.1287	0.1024	0.1059
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0.512180	0.512178	0.512114		0.512172	0.512216	0.512146	0.512145	0.512160
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	-7.44	-7.47	-8.75		-7.89	-7.12	-8.45	-8.03	-7.80
$t_{\text{DM}}$	1.39	1.39	1.51		1.68	1.71	1.80	1.38	1.40

注:  $f^{\text{Sm/Nd}} = (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Sm})_{\text{样品}} / (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Sm})_{\text{球粒陨石-1}}$ , ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>球粒陨石</sub> = 0.512638, ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ )<sub>球粒陨石</sub> = 0.1967, ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>亏损地幔</sub> = 0.513151, ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ )<sub>亏损地幔</sub> = 0.2134

表 2 溧阳盆地火山岩、潜火山岩中锆石的 LA-ICPMS 分析结果  
Table 2 LA-ICPMS analytical results for zircons from the volcanic /subvolcanic rocks in the Liyang Basin

样品、 分析点	含量 (μg/g)			Th/U	比值					年龄 (Ma)						
	Th	U	Pb*		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±1σ	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th					
龙王山红火山岩(LY-385)																
LY-385-01	526	610.8	34.3	0.86	0.05008	0.00119	0.15076	0.0034	0.02183	0.0002	0.00726	0.00016	198.6±54.4	142.6±3	139.2±1.24	146.3±3.22
LY-385-02	146.13	360.06	37.1	0.41	0.0484	0.00141	0.14632	0.00407	0.02192	0.00021	0.00773	0.00023	119.1±67.11	138.7±3.61	139.8±1.34	155.7±4.59
LY-385-03	142.87	358.63	34.8	0.40	0.04722	0.00158	0.14111	0.00452	0.02168	0.00023	0.00719	0.00024	59.7±78.11	134±4.02	138.2±1.45	144.8±4.76
LY-385-04	126.54	287.6	38.9	0.44	0.0502	0.00163	0.15283	0.00474	0.02208	0.00024	0.00807	0.00025	204.5±73.57	144.4±4.18	140.8±1.49	162.4±5.11
LY-385-05	223.79	668.5	34.3	0.33	0.04805	0.00109	0.14456	0.0031	0.02182	0.00019	0.0072	0.00019	101.8±52.67	137.1±2.75	139.1±1.21	145±3.81
LY-385-06	148.72	304.03	36.8	0.49	0.04691	0.0015	0.14259	0.0044	0.02205	0.00022	0.00768	0.00022	44.3±75.17	135.3±3.91	140.6±1.39	154.6±4.41
LY-385-07	274.44	572.09	35.4	0.48	0.04934	0.00123	0.1484	0.00352	0.02182	0.0002	0.00743	0.00019	164±57.38	140.5±3.12	139.1±1.27	149.6±3.8
LY-385-08	110.55	264.28	36.0	0.42	0.04959	0.00177	0.15299	0.00526	0.02238	0.00025	0.00737	0.00027	175.8±81.37	144.5±4.63	142.7±1.59	148.4±5.37
LY-385-09	496.94	384.02	34.1	1.29	0.04821	0.00131	0.14521	0.00378	0.02185	0.00021	0.00722	0.00016	109.6±63.16	137.7±3.35	139.3±1.33	145.3±3.24
LY-385-10	144.17	317.16	36.3	0.45	0.04751	0.00145	0.14376	0.00421	0.02195	0.00022	0.00754	0.00023	74.4±71.77	136.4±3.73	139.9±1.41	151.9±4.55
LY-385-11	193.44	393.4	35.7	0.49	0.05168	0.00168	0.15826	0.00491	0.02221	0.00025	0.00739	0.00024	271.4±72.75	149.2±4.3	141.6±1.55	148.8±4.72
LY-385-12	63.91	161.35	37.7	0.40	0.04959	0.00208	0.14927	0.00605	0.02183	0.00026	0.00769	0.0003	176±94.86	141.3±5.35	139.2±1.63	154.7±6.01
LY-385-13	100.72	243.11	36.2	0.41	0.04769	0.0017	0.14462	0.00496	0.022	0.00024	0.00745	0.00026	83.2±83.16	137.2±4.4	140.3±1.51	150±5.17
LY-385-14	76.84	239.18	38.5	0.32	0.04825	0.0016	0.14684	0.00469	0.02208	0.00023	0.0079	0.00028	111.5±76.6	139.1±4.15	140.8±1.47	159.1±5.72
LY-385-15	235.29	189.02	34.0	1.24	0.05358	0.00223	0.16122	0.00644	0.02183	0.00028	0.00707	0.0002	353.4±91.04	151.8±5.63	139.2±1.76	142.3±4.07
LY-385-16	72.51	216.05	39.5	0.34	0.0473	0.00174	0.14429	0.00513	0.02213	0.00025	0.00808	0.0003	64.1±85.89	136.9±4.55	141.1±1.55	162.7±5.98
LY-385-17	38.89	120.3	593.7	0.32	0.15751	0.00265	9.84115	0.15514	0.45322	0.00378	0.13385	0.00306	2429.1±28.26	2420±14.53	2409.6±16.79	2539±54.51
LY-385-18	568.98	448.99	30.9	1.27	0.05046	0.00142	0.1468	0.00396	0.0211	0.00021	0.00649	0.00016	216.3±64.04	139.1±3.5	134.6±1.34	130.7±3.17
LY-385-19	114.15	380.26	37.2	0.30	0.05182	0.00145	0.15781	0.00421	0.02209	0.00022	0.00768	0.00025	277.6±62.71	148.8±3.69	140.8±1.4	154.7±5.05
LY-385-20	94.63	272.77	42.6	0.35	0.04966	0.00191	0.14995	0.00554	0.0219	0.00027	0.0087	0.00033	179.1±87.23	141.9±4.89	139.7±1.68	175±6.66
LY-385-21	170.4	308.41	35.2	0.55	0.04803	0.00154	0.14553	0.0045	0.02198	0.00023	0.0073	0.00022	100.5±74.35	138±3.99	140.2±1.47	147.1±4.39
大王山红潜火山岩(LY-126)																
LY-126-01	889.89	613.77	17.6	1.45	0.0506	0.00119	0.14225	0.00317	0.02039	0.00018	0.00648	0.0001	222.8±53.45	135.1±2.82	130.1±1.15	130.6±2.02
LY-126-02	129.07	168.59	4.3	0.77	0.05394	0.00167	0.15693	0.00467	0.0211	0.00021	0.00702	0.00015	368.3±68.15	148±4.1	134.6±1.32	141.3±3.05
LY-126-03	94.48	146.8	3.5	0.64	0.04939	0.00196	0.14202	0.00547	0.02085	0.00023	0.00676	0.00019	166.5±90.12	134.8±4.86	133±1.42	136.1±3.76
LY-126-04	80.92	130.42	3.3	0.62	0.05327	0.00218	0.15393	0.00611	0.02096	0.00024	0.00743	0.00021	340.1±89.83	145.4±5.37	133.7±1.49	149.6±4.21

(续表 2)

样品、 分析点	含量 ( $\mu\text{g/g}$ )			比值										年龄 (Ma)		
	Th	U	Pb*	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		
大王山组潜火山岩(LY-126)																
LY-126-05	27.26	63.56	1.5	0.43	0.0553	0.00426	0.1583	0.01193	0.02076	0.00035	0.00693	0.00041	424.2±163.35	149.2±10.46	132.5±2.21	139.6±8.29
LY-126-06	82.59	100.25	2.6	0.82	0.04907	0.00323	0.14033	0.00905	0.02074	0.0003	0.00754	0.00025	151.1±147.39	133.3±8.06	132.3±1.87	151.8±4.96
LY-126-07	165.87	242.99	5.7	0.68	0.05056	0.00178	0.138	0.00467	0.01979	0.00022	0.00651	0.00017	221±79.6	131.3±4.17	126.4±1.4	131.1±3.41
LY-126-08	44.74	61.74	1.5	0.72	0.07399	0.0042	0.20362	0.01107	0.01996	0.00035	0.00719	0.00031	104.1±110.44	188.2±9.34	127.4±2.19	144.7±6.27
LY-126-09	132.04	221.59	5.6	0.60	0.05021	0.00176	0.14401	0.00485	0.0208	0.00023	0.00709	0.00019	204.5±79.5	136.6±4.3	132.7±1.48	142.8±3.9
LY-126-10	462.46	371.31	9.9	1.25	0.0523	0.00139	0.14264	0.00361	0.01978	0.00019	0.00619	0.00011	298.4±59.49	135.4±3.21	126.3±1.2	124.8±2.16
LY-126-11	54.08	82.53	2.1	0.66	0.0579	0.0048	0.16559	0.01336	0.02074	0.00042	0.00819	0.00043	525.9±172.41	155.6±11.64	132.3±2.66	164.8±8.53
LY-126-12	97.08	190.86	4.3	0.51	0.04867	0.00203	0.1411	0.00574	0.02103	0.00022	0.00707	0.00021	132±95.17	134±5.11	134.1±1.38	142.3±4.28
LY-126-13	72.23	118.5	2.8	0.61	0.04989	0.0025	0.14184	0.00695	0.02062	0.00024	0.00722	0.00021	189.7±112.59	134.7±6.18	131.6±1.54	145.4±4.21
LY-126-14	262.15	299.8	8.1	0.87	0.05137	0.00148	0.15518	0.00429	0.02191	0.00022	0.00764	0.00015	257.2±65.02	146.5±3.77	139.7±1.36	153.8±3.09
LY-126-15	94.68	150.76	3.8	0.63	0.055	0.00249	0.15853	0.00689	0.02091	0.00029	0.00773	0.00026	412±97.7	149.4±6.04	133.4±1.81	146.9±5.18
LY-126-16	45.13	69.58	1.7	0.65	0.04941	0.00355	0.14016	0.0099	0.02057	0.0003	0.00726	0.00031	167.2±159.79	133.2±8.82	131.3±1.87	146.1±6.2
LY-126-17	61.61	87.76	2.4	0.70	0.06144	0.00375	0.18488	0.01093	0.02182	0.00036	0.00852	0.00033	654.8±125.75	172.3±9.36	139.2±2.25	171.4±6.71
LY-126-18	88.13	192.18	4.3	0.46	0.04907	0.00179	0.1385	0.00488	0.02047	0.00021	0.00709	0.0002	151±83.15	131.7±4.36	130.6±1.36	142.9±3.96
LY-126-19	95.86	199.69	4.6	0.48	0.04885	0.0016	0.1409	0.00447	0.02092	0.00021	0.00717	0.00018	140.5±75.36	133.8±3.98	133.5±1.32	144.4±3.58
LY-126-20	134.85	232.87	5.5	0.58	0.04952	0.00142	0.14341	0.00395	0.021	0.0002	0.00701	0.00016	172.6±65.56	136.1±3.51	134±1.27	141.1±3.12
LY-126-21	55.98	107.74	2.6	0.52	0.05264	0.00228	0.14307	0.006	0.01971	0.00024	0.00674	0.00023	313.4±95.6	135.8±5.33	125.8±1.51	135.8±4.58
LY-126-22	224.44	339.49	8.1	0.66	0.05067	0.00141	0.14367	0.00384	0.02056	0.00019	0.00683	0.00014	225.9±62.87	136.3±3.41	131.2±1.18	137.5±2.74
LY-126-23	64.22	121.48	2.8	0.53	0.05129	0.00251	0.14018	0.00669	0.01982	0.00025	0.00622	0.00023	253.7±108.74	133.2±5.95	126.5±1.55	125.3±4.63
LY-126-24	32.96	77.96	1.9	0.42	0.06015	0.00331	0.17279	0.00924	0.02083	0.0003	0.00879	0.00037	608.9±114.73	161.8±8	132.9±1.88	176.9±7.46
大王山组潜火山岩(LY-129)																
LY-129-01	160.93	233.33	34.4	0.69	0.04937	0.00201	0.14191	0.00556	0.02085	0.00026	0.00709	0.00024	165.5±92.28	134.7±4.95	133±1.63	142.8±4.72
LY-129-02	428.48	541.8	35.1	0.79	0.05255	0.00147	0.15063	0.00403	0.02079	0.00021	0.00735	0.0002	309.5±62.3	142.5±3.55	132.7±1.33	148±3.93
LY-129-03	342.39	504.41	35.4	0.68	0.05969	0.0023	0.1703	0.00626	0.02069	0.00027	0.00727	0.00025	593±80.91	159.7±5.43	132±1.73	146.4±5.07
LY-129-04	347.53	473.04	31.0	0.73	0.04829	0.00162	0.12867	0.00415	0.01933	0.00022	0.00644	0.00019	113.6±77.35	122.9±3.73	123.4±1.36	129.8±3.87
LY-129-05	314.85	396.83	36.8	0.79	0.06441	0.00196	0.17898	0.00519	0.02016	0.00022	0.00768	0.00022	755.2±62.92	167.2±4.47	128.6±1.42	154.7±4.42



(续表 2)

样品、 分析点	含量 (μg/g)			Th/U	比值						年龄 (Ma)					
	Th	U	Pb*		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
					$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$						
大王山组潜火山岩(LY-129)																
LY-129-06	255.6	323.41	40.4	0.79	0.06153	0.00235	0.17663	0.00645	0.02082	0.00027	0.00836	0.00027	0.00027	165.2±5.57	132.9±1.73	168.2±5.43
LY-129-07	115.9	168.65	34.6	0.69	0.04956	0.00224	0.14191	0.00621	0.02077	0.00027	0.00706	0.00026	0.00026	134.7±5.52	132.5±1.73	142.2±5.19
LY-129-08	317.73	583.64	35.6	0.54	0.04784	0.00173	0.13835	0.00482	0.02098	0.00025	0.00732	0.00025	0.00025	131.6±4.3	133.8±1.57	147.4±4.96
LY-129-09	179.45	299.15	32.1	0.60	0.05195	0.00199	0.14575	0.00537	0.02035	0.00025	0.00659	0.00023	0.00023	138.2±4.76	129.9±1.58	132.7±4.66
LY-129-10	115.92	211.14	34.8	0.55	0.04948	0.00204	0.14094	0.00562	0.02066	0.00026	0.00709	0.00027	0.00027	133.9±5	131.8±1.62	142.9±5.33
LY-129-11	646.71	407.81	33.3	1.59	0.05337	0.0017	0.1523	0.00467	0.0207	0.00023	0.00695	0.00019	0.00019	143.9±4.12	132.1±1.46	140.1±3.86
LY-129-12	213.43	361.26	34.7	0.59	0.04999	0.00171	0.14355	0.00473	0.02083	0.00024	0.00717	0.00024	0.00024	136.2±4.2	132.9±1.51	144.3±4.73
LY-129-13	297.36	506.41	34.2	0.59	0.04767	0.00166	0.13522	0.00453	0.02058	0.00024	0.00705	0.00023	0.00023	128.8±4.06	131.3±1.51	141.9±4.71
LY-129-14	347.95	598.64	35.4	0.58	0.05207	0.00147	0.14852	0.00405	0.02069	0.00021	0.00736	0.00022	0.00022	140.6±3.58	132±1.36	148.1±4.45
LY-129-15	141.4	188.37	34.9	0.75	0.04911	0.00231	0.13908	0.00634	0.02054	0.00028	0.00712	0.00026	0.00026	132.2±5.65	131.1±1.76	143.5±5.25
LY-129-16	361.71	569.88	34.5	0.63	0.04963	0.00149	0.14215	0.00413	0.02077	0.00022	0.00716	0.00022	0.00022	135±3.67	132.6±1.4	144.1±4.42
LY-129-17	181.61	290.06	41.0	0.63	0.06395	0.00209	0.18307	0.00575	0.02076	0.00024	0.00848	0.00028	0.00028	170.7±4.94	132.5±1.53	170.8±5.57
LY-129-18	237.76	397.09	35.8	0.60	0.04985	0.00163	0.14266	0.00453	0.02075	0.00023	0.00739	0.00024	0.00024	135.4±4.02	132.4±1.47	148.9±4.86
LY-129-19	115.12	142.81	34.0	0.81	0.0529	0.00269	0.15092	0.00746	0.02069	0.0003	0.00688	0.00028	0.00028	142.7±6.58	132±1.93	138.6±5.6
LY-129-20	57.4	132.95	118.5	0.43	0.06794	0.00212	0.93401	0.02816	0.0997	0.00117	0.02426	0.00094	0.00094	669.7±14.78	612.6±6.87	484.5±18.58
LY-129-21	215.47	406.02	37.9	0.53	0.05475	0.00185	0.15725	0.00515	0.02083	0.00024	0.00779	0.00027	0.00027	148.3±4.52	132.9±1.54	156.9±5.45
LY-129-22	450.98	565.29	35.3	0.80	0.05154	0.00162	0.14807	0.00452	0.02083	0.00023	0.00729	0.00024	0.00024	140.2±4	132.9±1.47	146.9±4.74
LY-129-23	121.93	159.96	71.9	0.76	0.15165	0.00511	0.4755	0.0151	0.02274	0.00032	0.01487	0.00052	0.00052	395±10.39	144.9±2.05	298.3±10.4
LY-129-24	147.18	256.05	40.3	0.57	0.06138	0.00243	0.17471	0.0067	0.02064	0.00027	0.00822	0.00032	0.00032	163.5±5.79	131.7±1.72	165.4±6.32
LY-129-25	219.27	266.28	38.2	0.82	0.06681	0.00238	0.19225	0.00663	0.02087	0.00026	0.00785	0.00028	0.00028	178.5±5.64	133.1±1.65	158.1±5.54

表3 溧阳盆地大王山组火山岩中锆石的 SHRIMP 分析结果

Table 3 SHRIMP analytical results for zircons from the volcanic rocks of the Dawangshan Formation in the Liyang Basin

Spot	$f^{206}\text{Pb}_c$	含量( $\mu\text{g/g}$ )			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	年龄( $\pm 1\sigma$ ) Ma			比值( $\pm\%$ )					
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$
大王山组火山岩(LY-124)														
1.1	-0.17	289	140	4.8	0.50	124.4 $\pm$ 2.2	359 $\pm$ 77	127 $\pm$ 5	0.0537	3.4	0.14	3.9	0.0195	1.8
2.1	0.29	431	223	7.4	0.53	126.3 $\pm$ 2.1	156 $\pm$ 98	122 $\pm$ 5	0.0492	4.2	0.13	4.5	0.0198	1.7
3.1	0.31	385	213	6.6	0.57	126.4 $\pm$ 2.7	181 $\pm$ 135	126 $\pm$ 6	0.0497	5.8	0.14	6.2	0.0198	2.2
4.1	1.35	276	107	4.8	0.40	128.6 $\pm$ 2.3	-200 $\pm$ 200	107 $\pm$ 9	0.0425	8.0	0.12	8.2	0.0201	1.8
5.1	0.48	205	105	3.6	0.53	129.0 $\pm$ 2.4	-130 $\pm$ 202	127 $\pm$ 8	0.0436	8.2	0.12	8.4	0.0202	1.9
6.1	0.00	295	120	5.2	0.42	132.0 $\pm$ 2.8	253 $\pm$ 113	135 $\pm$ 5	0.0513	4.9	0.15	5.4	0.0207	2.1
7.1	0.03	803	711	14.2	0.91	131.4 $\pm$ 2.1	142 $\pm$ 75	125 $\pm$ 3	0.0489	3.2	0.14	3.6	0.0206	1.6
8.1	-0.36	348	226	5.9	0.67	127.0 $\pm$ 2.2	303 $\pm$ 65	129 $\pm$ 4	0.0524	2.8	0.14	3.3	0.0199	1.7
9.1	0.64	896	512	15.7	0.59	129.1 $\pm$ 2.1	-33 $\pm$ 117	120 $\pm$ 5	0.0454	4.8	0.13	5.1	0.0202	1.6
10.1	-0.57	338	168	5.9	0.51	130.3 $\pm$ 2.3	378 $\pm$ 184	140 $\pm$ 10	0.0542	8.2	0.15	8.4	0.0204	1.8
11.1	0.24	297	213	5.2	0.74	130.8 $\pm$ 2.3	51 $\pm$ 139	132 $\pm$ 5	0.0470	5.8	0.13	6.1	0.0205	1.8
12.1	1.06	431	341	7.6	0.82	129.4 $\pm$ 2.2	-141 $\pm$ 144	123 $\pm$ 4	0.0435	5.8	0.12	6.1	0.0203	1.7
13.1	0.09	361	181	6.3	0.52	130.0 $\pm$ 2.2	144 $\pm$ 120	126 $\pm$ 7	0.0489	5.1	0.14	5.4	0.0204	1.7
14.1	0.68	323	204	5.7	0.66	131.1 $\pm$ 2.3	-130 $\pm$ 110	120 $\pm$ 4	0.0437	4.5	0.12	4.8	0.0205	1.7
15.1	0.23	346	198	6.2	0.59	132.2 $\pm$ 2.3	204 $\pm$ 90	130 $\pm$ 5	0.0502	3.9	0.14	4.2	0.0207	1.7
16.1	0.80	235	111	4.1	0.49	128.0 $\pm$ 2.3	-10 $\pm$ 134	120 $\pm$ 6	0.0459	5.5	0.13	5.8	0.0201	1.8

TAS 分类图上, 主要集中钙碱性系列与碱钙性系列分界线附近的安山质、粗安质和流纹质区域, 其次为粗面质和英安质区域(图 2a)。不同层位的岩性存在一定的差异, 其中安山质岩类主要出现在大王山组的底部; 粗安质岩类主要出现在龙王山组的下部, 其次为大王山组的下部; 粗面质岩石主要见于大王山组的顶部; 流纹质岩石出现的层位较多, 在龙王山组和大王山组中均有较广泛的分布。在  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  关系图上, 溧阳盆地内的火山岩/潜火山岩除极少数样品位于中钾钙碱性系列或橄榄玄粗岩系列外, 绝大多数属于高钾钙碱性系列(图 2b)。

盆地内不同类型、不同岩相的岩石其稀土元素球粒陨石标准化分布模式(图 2c, 图 2e)和不相容元素原始地幔标准化蛛网图(图 2d, 图 2f)的形态类似, 均表现为较强的轻、重稀土元素分馏程度, 强烈亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Ti 的特征。另外, 除个别潜火山岩样品出现 Eu 正异常(样品 LY-125)外, 绝大多数样品表现出中等到弱的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu}=0.60\sim 0.87$ ), 且总体显示  $\delta\text{Eu}$  值随  $\text{SiO}_2$  含量的增加而降低; Sr 除在流纹斑岩和粗面斑岩中为负异常外, 总体无明显的异常; Ba 的情况比较复杂, 既有负异常, 也有正异常和无异常的情况。不同岩石中 Eu、Sr 和 Ba 特征的差异反映斜长石的分离结晶可能对岩浆的演化产生一定的影响。

### 3.2 Sr、Nd 同位素组成特征

溧阳盆地内火山岩/潜火山岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围很窄, 介于  $-8.75 \sim -7.44$  之间, 说明盆地内不同类型的岩石具有相同的岩浆源区。主元素差别悬殊的岩石, 其  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值几乎一致, 指示化学成分的差异可能反映的主要是分异演化程度的不同。

与窄的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围不同, 计算所得盆地内火山岩/潜火山岩的锶同位素初始值的变化范围较大, ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值从约 0.7020 到约 0.7092。但那些 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值较小(不大于 0.705)的样品均具有较高的  $\text{K}_2\text{O}$  和 Rb 含量, 其较高的  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  值导致计算所得到的 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值可能因减扣过度而偏低。具体到溧阳盆地,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  值较小(小于 1.60)的样品, 计算所得到的 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值可能更可靠, 这些样品 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值介于 0.7084~7092 之间, 变化范围也较小。

### 3.3 锆石 U-Pb 年龄

#### 3.3.1 龙王山组的形成时间

龙王山组(样品 LY-385)中的锆石呈自形柱状, 长: 宽一般 2:1 左右, 内部往往含有较多的矿物包体。CL 图像显示该样品中的锆石发育有密集的震荡生长环带, 但部分锆石颗粒的核部环带不发育(图 3a, 图 3c, 图 3d)。

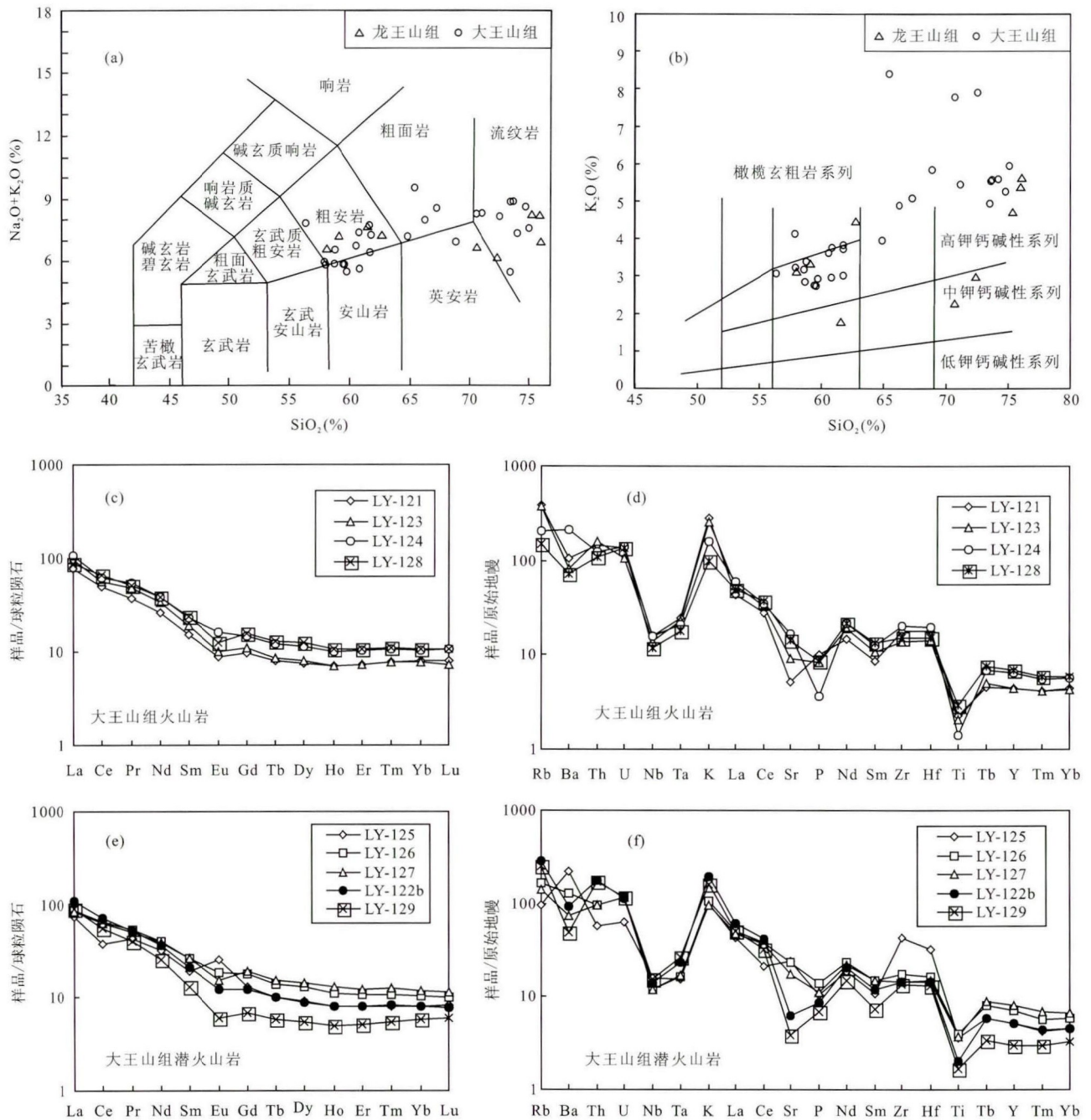


图 2 溧阳盆地火山岩样品的 TAS 分类图<sup>[58]</sup>(a)、K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 分类图<sup>[59]</sup>(b)及稀土元素球粒陨石标准化曲线(c、e)和不相容元素原始地幔标准化蛛网图(d、f)

Fig.2 Geochemical compositions of the representative volcanic rock samples from the Huaining volcanic basin (a) TAS classification diagram (Le Base *et al.*<sup>[58]</sup>); (b) K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> classification diagram (Peccerillo *et al.*<sup>[59]</sup>); (c, e) chondrite-normalized REE-patterns; (d, f) primitive mantle normalized incompatible element patterns

资料来源: 本文; 汤德平<sup>[3]</sup>; 毛建仁等<sup>[5]</sup>

Sources of data: this paper; Tang<sup>[3]</sup>; Mao *et al.*<sup>[5]</sup>

本次研究用 LA-ICPMS 法共对 21 个锆石颗粒进行了 U-Pb 年龄测定, 分析结果见表 2。其中分析点 17 的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表观年龄达 (2409.6±16.8) Ma (<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb = (2429.1±28.3) Ma), 为继承锆石核。分析点 18 的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表观年龄 ((134.6±1.3) Ma) 明显

小于其他分析点的数值。其余 19 个分析点的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表观年龄的差别不大, 介于 138~143 Ma 之间, 它们的加权平均年龄为 (140.0 ± 0.7) Ma (图 4a)。该年龄可代表溧阳盆地内龙王山组火山岩的形成时间, 也可作为溧阳盆地内火山活动的起始时间。



图3 溧阳盆地内火山岩/潜火山岩中锆石的阴极发光图像(CL)

Fig.3 CL images of some dated zircon crystals from the representative volcanic rock samples from the Huaining volcanic basin

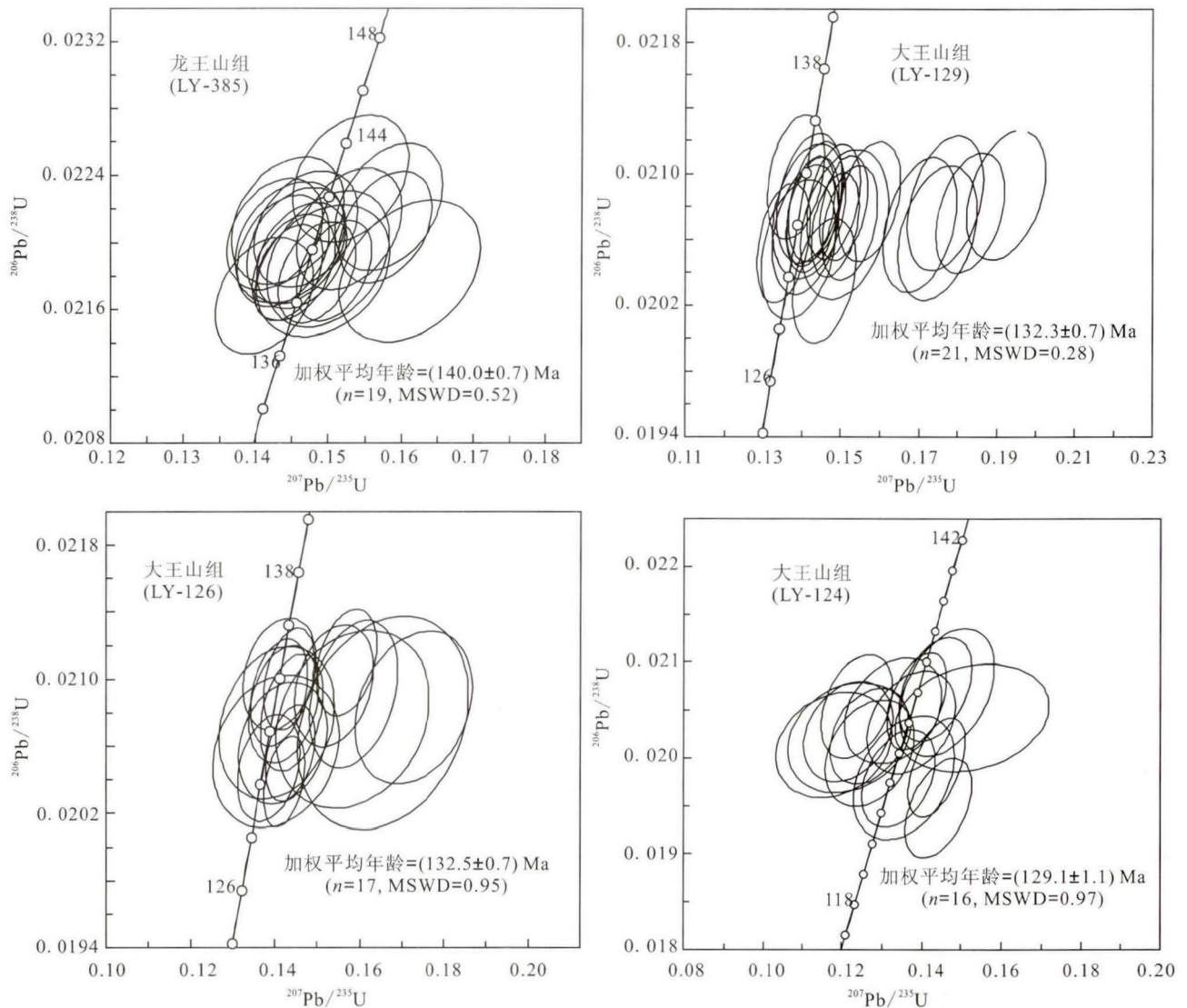


图 4 溧阳盆地内火山岩/潜火山岩中锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图

Fig.4  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  concordia diagrams of zircons from the volcanic /subvolcanic rocks in the Liyang Basin

### 3.3.2 大王山组的形成时间

本次研究用 SHRIMP 法对大王山组的火山岩样品(LY-124)进行了年龄测试,同时用 LA-ICPMS 法测定了大王山组闪长玢岩(样品 LY-126)和流纹斑岩(样品 LY-129)这 2 个潜火山岩的年龄。

样品 LY-124 中的锆石颗粒以短柱状为主,少数长柱状(图 3i), CL 图像显示该样品中的锆石生长环带普遍发育(图 3e—图 3l),个别还发育类似沙钟状的构造(图 3k)。本次研究共对该样品中的 16 个锆石颗粒进行了年龄测试,分析结果见表 3。这些分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄的差别不大,在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和图上,所有样品点都在位于谐和线上或非常靠近谐和线,它们的加权平均年龄为  $(129.1 \pm 1.1)$  Ma (图 4b)。该年龄可代表溧阳盆地内大王山组火山喷发的时间。

样品 LY-126 中的锆石分两类:一类呈长柱状,内部环带比较发育(图 3m);另一类内部几乎无环带(图 3n, 图 3o)。但两类锆石的年龄并无明显的差别,表明它们形成的时间相近。本次研究用 LA-ICPMS 法共对该样品中的 24 个锆石颗粒进行了年龄测试,分析结果见表 2。其中分析点 14 和 17 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄(分别为  $(139.7 \pm 1.4)$  Ma 和  $(139.2 \pm 2.3)$  Ma)明显高于其他分析点,而类似于龙王山组火山岩的年龄数值,可能是俘获早期喷发的火山岩中的锆石。分析点 7、8、10、21、23 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄明显低于其他分析点,其余 17 个分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄差别不大,它们的加权平均年龄为  $(132.5 \pm 0.7)$  Ma (图 4c),可代表盆地内闪长玢岩的侵位时间。该年龄值与大王山组火山岩的年龄在误差范围内一致,表明由火山喷发到潜火山岩侵入,

中间没明显的时间间断。

样品 LY-129 中的锆石呈半自形柱状, CL 图像显示该样品中的锆石生长环带普遍发育(图 3p—图 3t)。本次研究用 LA-ICPMS 法共对该样品中的 25 个锆石颗粒进行了年龄测试, 分析结果见表 2。其中分析点 20 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄为  $(612.6 \pm 6.87)$  Ma, 为继承/俘获的锆石。分析点 23 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄  $((144.9 \pm 2.1)$  Ma) 明显高于其他分析点, 而类似于龙王山组火山岩的年龄值, 可能是俘获的早期喷发的火山岩中的锆石。分析点 4 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄  $((123.4 \pm 1.4)$  Ma) 明显低于其他分析点, 其余 22 个分析点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表观年龄差别不大, 它们的加权平均年龄为  $(132.3 \pm 0.7)$  Ma, 该流纹斑岩的年龄不仅与闪长玢岩的侵位时间几乎一致, 与大王山组火山岩的年龄在误差范围内也相近, 说明大王山旋回火山活动持续的时间很短。

## 4 讨论

### 4.1 区内火山活动的迁移性

除溧阳盆地外, 长江中下游火山岩带内的其他火山岩盆地, 近年来有了大量高精度的同位素年龄资料发表, 其中又以庐枞盆地<sup>[60-68]</sup>和宁芜盆地<sup>[65, 69-73]</sup>的资料最为丰富。另外, 有关溧水盆地<sup>[73-74]</sup>、怀宁盆地<sup>[75-76]</sup>、滁州盆地<sup>[77-78]</sup>、繁昌盆地<sup>[71, 79]</sup>和金牛盆地<sup>[80]</sup>内火山岩/潜火山岩的年龄资料也有一些发表。总结这些年龄资料可以发现, 长江中下游地区(除溧阳盆地外)晚中生代火山活动的时间主要介于 134~128 Ma 之间, 峰值约为 130 Ma。其中最早的火山活动(~134 Ma)出现在火山岩带中部的庐枞盆地和宁芜盆地内, 而最晚的火山活动(~122 Ma)仅限于火山岩带西北缘的怀宁盆地内, 以玄武岩-流纹岩双峰式喷发为特征。

与其他火山岩盆地相比, 处于长江中下游火山岩带东南缘的溧阳盆地, 本次研究获得的火山活动的起始时间约为 140 Ma, 明显早于其他盆地内火山活动的起始时间(6~10 Ma)。但各盆地内火山活动的峰期时间基本相当, 均处于约 130 Ma 前后。整个火山岩带内的火山活动显示随时间具有从南东侧向北西方向迁移的趋势, 并隐约显示火山活动由火山岩带中心向周边扩展的趋势。我们倾向于认为, 这种双向迁移性可能是太平洋板块与亚洲大陆板块相对运动和晚中生代发生在长江中下游地区的岩石圈减薄两种动力学机制共同

作用的结果。地球物理研究结果显示, 长江中下游地区的地壳厚度比其两侧薄 5~10 km<sup>[81-85]</sup>, 证实该区曾发生过硬流圈上涌和岩石圈减薄的事件, 其减薄时间可能对应着火山活动的峰期时间。

另一方面, 同处江南造山带、位于溧阳盆地南西方向的皖-浙-赣交界及其附近有大量晚中生代的花岗岩类侵入体出露, 岩性主要包括两种类型: 一类为花岗闪长岩类, 代表性的岩体包括旌德岩体、太平岩体、黟县岩体、青阳岩体、雷湖岩体、榔桥岩体、茂林岩体、桃林岩体、樟公山岩体、进贤岩体和大茅山岩体等; 另一类为正长花岗岩类, 代表性的岩体包括黄山岩体、伏岭岩体、牯牛降岩体、九华山岩体、石台岩体、三清山岩体、周坊岩体、顺溪岩体和鸠莆山岩体等。其中花岗闪长岩的形成时间较早, 主要介于 135~150 Ma 之间, 峰值约为 142 Ma<sup>[86-99]</sup>, 与溧阳盆地内火山活动的起始时间大致相当(或略早些); 而正长花岗岩的侵位时间相对较晚, 主要介于 122~134 Ma 之间, 峰值约为 130 Ma<sup>[99-101]</sup>, 与溧阳盆地(以及整个长江中下游地区)火山活动的峰期相当。

### 4.2 岩浆成因

对于长江中下游地区中生代火山岩浆的成因, 前人主要针对属于橄榄玄粗岩系列的庐枞盆地、宁芜盆地以及溧水盆地做了探讨, 多数学者认为与富集型地幔的部分熔融有关<sup>[73, 75, 102-111]</sup>, 所形成的岩浆在上升过程中总体受地壳成分混染的程度不大。

从图 5 可以清楚地看出, 溧阳盆地内火山岩/潜火山岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值不仅明显低于邻近的宁芜盆地和溧水盆地内火山岩/潜火山岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值, 与江南造山带内晚中生代的花岗闪长岩相比, 其  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值也偏低, 而后者普遍认为是由不成熟的地壳物质部分熔融形成的<sup>[88-96, 112]</sup>。结合其高的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初时比值(0.7084~0.7092), 指示溧阳盆地内的岩浆可能主要由古老的地壳物质部分熔融形成。

溧阳盆地内火山岩/潜火山岩的钆同位素模式年龄( $t_{\text{DM}}$ )介于 1.4~1.8 Ga 之间(参见表 1), 远早于它们实际的定位年龄(~0.13 Ga)。由于  $t_{\text{DM}}$  值代表其源区物质与亏损地幔发生分离的加权平均时间, 若考虑到区内的火山岩/潜火山岩中可能包含少量(晚中生代)直接来自地幔的物质, 其源区的钆同位素模式年龄应接近于全球范围内壳-幔分异的主要时期(1.8~2.1 Ga)<sup>[114]</sup>。

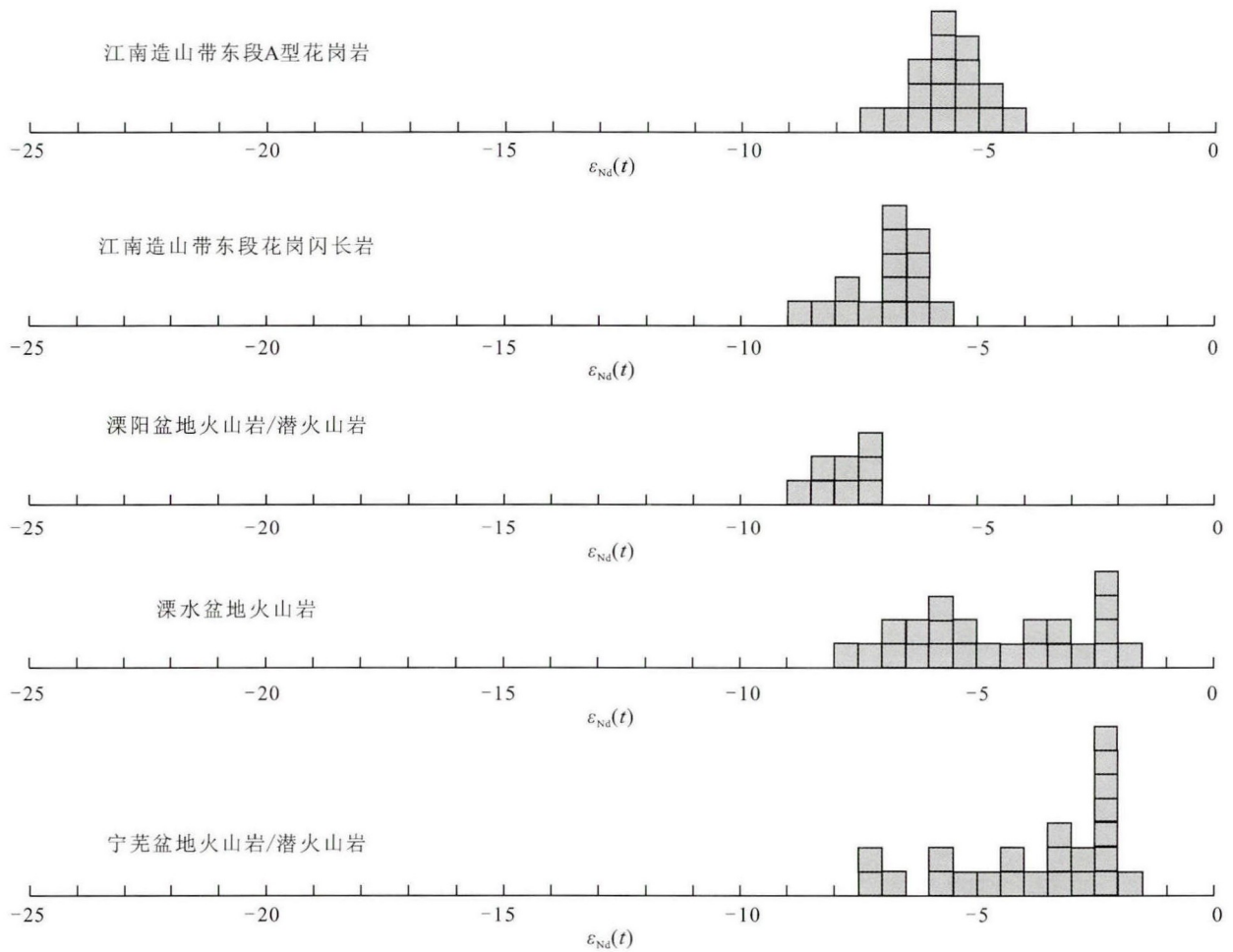


图5 溧阳盆地内火山岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值与邻近火山岩盆地及江南造山带东段晚中生代花岗岩类的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值对比图

Fig.5 Histogram of  $\epsilon_{Nd}(t)$  values of volcanic rocks in the Huaiyning basin compare with in adjacent volcanic basins as well as the Late Mesozoic granitoid rocks in the Jiangnan orogenic belt

资料来源: 本文; 薛怀民等<sup>[73,112]</sup>; 王元龙等<sup>[109]</sup>; 李超文等<sup>[110]</sup>; 高晓峰等<sup>[111]</sup>; 邢凤鸣<sup>[113]</sup>  
Date sources: this paper; Xue *et al.*<sup>[73,112]</sup>; Wang *et al.*<sup>[109]</sup>; Li *et al.*<sup>[110]</sup>; Gao *et al.*<sup>[111]</sup>; Xing<sup>[113]</sup>

## 5 结论

(1) 溧阳盆地内的火山活动的起始时间约为 140 Ma, 明显早于长江中下游其他盆地内火山活动的起始时间(6~10 Ma)。但火山活动的峰期时间约为 130 Ma, 与其他火山岩盆地基本相当。

(2) 长江中下游火山岩带内的火山活动随时间具有从南东侧向北西方向迁移的趋势, 并隐约显示火山活动由火山岩带中心向周边扩展的趋势。这种双向迁移性可能是太平洋板块与亚洲大陆板块相对运动和晚中生代发生在长江中下游地区的岩石圈减薄两种动力学机制共同作用的结果。

(3) 溧阳盆地不同于长江中下游其他火山岩盆地的一个突出特点是出现较大比例的流纹质岩石, 盆地内火山岩的  $\text{SiO}_2$  丰度明显高于其他火山岩盆地,

而  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  含量却是长江中下游火山岩盆地中最低的。溧阳盆地内的岩浆可能主要由古老的地壳物质部分熔融形成。

## 参考文献(References):

- [1] 杨志坚. 江南一件地层、岩相、古生物等突变带的性质问题[J]. 地质论评, 1981, 27(2): 123-129.  
Yang Zhi-jian. On the nature of a zone of abrupt stratigraphic, rock facies and paleontological changes in the Jiangnan region[J]. Geol Rev, 1981, 27(2): 123-129 (in Chinese with English abstract).
- [2] 唐兴元, 邹松梅. 溧阳戴埠火山沉陷和古火山群特征及成因演化探讨[J]. 江苏地质, 1991, 15(2): 89-92.  
Tang Xing-yuan, Zou Song-mei. On the volcanic depression and paleovolcanic cluster and its genesis evolution in Daibu, Liyang[J]. Geol Jiangsu, 1991, 15(2): 89-92 (in Chinese with English abstract).
- [3] 汤德平. 江苏溧阳火山岩的成因演化及构造环境探讨[J]. 地质论评, 1992, 38(1): 16-27.

- Tang De-ping. The Liyang volcanic rocks, eastern China: Their genesis, evolution and tectonic setting[J]. *Geol Rev*, 1992, 38(1): 16–27 (in Chinese with English abstract).
- [4] 郑济林, 王中杰, 毛建仁. 溧阳中生代火山岩化学变异及成因意义[J]. *江苏地质*, 1992, 16(3/4): 247–252.  
Zheng Ji-lin, Wang Zhong-jie, Mao Jian-ren. Chemical variation and their genetic significance of Mesozoic volcanic rocks in Liyang[J]. *Geol Jiangsu*, 1992, 16(3/4): 247–252 (in Chinese with English abstract).
- [5] 毛建仁, 王中杰, 郑济林. 溧阳戴埠火山岩开放体系岩浆活动探讨[J]. *岩石学报*, 1994, 10(1): 54–67.  
Mao Jian-ren, Wang Zhong-jie, Zheng Ji-lin. An approach to the open system magmatic activity in Daibu volcanic rocks, Liyang[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1994, 10(1): 54–67 (in Chinese with English abstract).
- [6] 马芳, 薛怀民. 皖东滁州盆地晚中生代火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(5): 924–934.  
Ma Fang, Xue Huai-min. SHRIMP zircon U-Pb age of the late Mesozoic volcanic rock from the Chuzhou basin, eastern Anhui Province, and their geological significances[J]. *Acta Petrol Mineral*, 2011, 30(5): 924–934 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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 Ling-zhi, Shi Yang-shen, Ma Rui-shi. The geotectonic framework and crustal evolution of south China[C]//Scientific Papers on Geology for International Exchange, Prepara for the 26th International Geological Congress (1). Beijing: Geological Publishing House, 1980: 109–116 (in Chinese).
- [8] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 叶尚夫, 卢华复. 中国东南部地体的研究[J]. *南京大学学报*, 1984, 20(4): 732–739.  
Guo Ling-zhi, Shi Yang-shen, Ma Rui-shi, Ye Shang-fu, Lu Hua-fu. Tectonostratigraphic terranes of southeast China[J]. *J Nanjing Univ (Nat Sci)*, 1984, 20(4): 732–739 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王鸿祯. 中国地壳构造发展的主要阶段[J]. *地球科学*, 1982, 18(3): 155–178.  
Wang Hong-zhen. The main stages of crustal development of China[J]. *Earth Sci*, 1982, 18(3): 155–178 (in Chinese with English abstract).
- [10] 周新民, 邹海波, 杨杰东, 王银喜. 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, Wang Yinxi. Sm-Nd isochron age and its geological significance for ophiolite from Fuchuan of the She County of Anhui Province[J]. *Chinese Sci Bull*, 1989 (16): 1243–1245 (in Chinese).
- [11] 周新民. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(4): 556–565.  
Zhou Xin-min. My thinking about granite geneses of South China[J]. *Geol J China Univ*, 2003, 9(4): 556–565 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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 Geol Sinica*, 1990 (1): 33–42 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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 Ling-zhi, Shi Yang-shen. 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).
- [14] 舒良树, 施央申, 郭令智, Charvet J, 孙岩. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995: 174p.  
Shu Liang-shu, Shi Yang-shen, Guo Ling-zhi, Charvet J, Sun Yan. Plate Tectonic Evolution and the Kinematics of Collisional Orogeny in the Middle Jiangnan, Eastern China[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1995: 174p (in Chinese with English abstract).
- [15] 陈冠宝, 徐树桐, 石永红. 皖南变质岩区古生物化石的发现和进展[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(2): 140–146.  
Chen Guan-bao, Xu Shu-tong, Shi Yong-hong. Discovery and research of Palaeontological fossils from the metamorphic rocks area in south Anhui[J]. *Adv Earth Sci*, 1999, 14(2): 140–146 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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 Ming-gui. Central Jiangxi collision mélange zone[J]. *Geol Bull China*, 1999, 18(1): 17–22 (in Chinese with English abstract).
- [17] 邓国辉, 刘春根, 冯晔. 赣东北-皖南元古代造山带构造格架及演化[J]. *地球学报*, 2005, 26(1): 9–16.  
Deng Guo-hui, Liu Chun-gen, Feng Ye. Tectonic features and evolution of the Proterozoic orogenic belt between northeastern Jiangxi and Southern Anhui[J]. *Acta Geosci Sinica*, 2005, 26(1): 9–16 (in Chinese with English abstract).
- [18] 杨明桂, 王发宁, 曾勇. 赣东北地区的成矿环境与成矿作用[J]. *资源调查与环境*, 2002, 23(2): 122–129.  
Yang Ming-gui, Wang Fa-ning, Zeng Yong. The ore-forming environment and its process in northeast Jiangxi[J]. *Resour Survey Environ*, 2002, 23(2): 122–129 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王孝磊, 周金城, 邱检生, 高剑峰. 湖南中-新元古代火山-侵入岩地球化学及成因意义[J]. *岩石学报*, 2003, 19(1): 49–60.  
Wang Xiao-lei, Zhou Jin-cheng, Qiu Jian-sheng, Gao Jian-feng. Geochemistry of the Meso-Neoproterozoic volcanic rocks from Hunan Province and its petrogenic significances[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2003, 19(1): 49–60 (in Chinese with English abstract).
- [20] 胡受奚, 叶瑛. 对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子-华夏古陆统一体”等观点的质疑[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 432–439.  
Hu Shou-xi, Ye Ying. Questions to “Cathaysia old Land”,



- “Cathaysia block” and “united Yantze-Cathaysia old Land” of South China[J]. *Geol J China Univ*, 2006, 12(4): 432–439 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李民, 章泽军. 江南隆起带褶皱基底变质变形温压条件研究[J]. *地球学报*, 2006, 27(6): 543–550.  
Li Min, Zhang Ze-jun. The metamorphic deformational temperature-pressure conditions of the folded basement in the Jiangnan uplift[J]. *Acta Geosci Sinica*, 2006, 27(6): 543–550 (in Chinese with English abstract).
- [22] 杨树锋, 顾明光, 卢成忠. 浙江章村地区中元古代岛弧火山岩的地球化学及构造意义[J]. *吉林大学学报*, 2009, 39(4): 689–698.  
Yang Shu-feng, Gu Ming-guang, Lu Cheng-zhong. Geochemical characteristics and tectonic implications of the island-arc volcanic rocks of Mesoproterozoic in Zhangcun, Zhejiang Province[J]. *J Jilin Univ*, 2009, 39(4): 689–698 (in Chinese with English abstract).
- [23] 马瑞士. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 448–456.  
Ma Rui-shi. New thought about the tectonic evolution of the South China: With discussion on several problems of the Cathaysian oldland[J]. *Geol J China Univ*, 2006, 12(4): 448–456 (in Chinese with English abstract).
- [24] Wu Rong-xin, Zheng Yong-fei, Wu Yuan-bao. Reworking of juvenile crust: element and isotope evidenced from Neoproterozoic granodiorite in South China[J]. *Precamb Res*, 2006, 146: 179–212.
- [25] Zheng Yong-fei, Zhang Shao-bing, Zhao Zi-fu, Wu Yuan-bao, Li Xian-hua, Li Zheng-xiang, Wu Fu-yuan. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implication for growth and reworking of continental crust[J]. *Lithos*, 2007, 96: 127–150. doi: 10.1016/j.lithos.2006.10.003.
- [26] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. *中国科学(B 辑)*, 1987, 17(4): 414–422.  
Shui Tao. Tectonic framework of the continental basement of southeast China[J]. *Sci China (B)*, 1987, 17(4): 414–422 (in Chinese).
- [27] 于津海, 魏震洋, 王丽娟, 舒良树, 孙涛. 华夏地块: 一个由古老物质组成的年轻陆块[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 440–447.  
Yu Jin-hai, Wei Zhen-yang, Wang Li-juan, Shu Liang-shu, Sun Tao. Cathaysia block: A young continent composed of Ancient materials[J]. *Geol J China Univ*, 2006, 12(4): 440–447 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王鹤年, 周丽娅. 华南地质构造的再认识[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 457–465.  
Wang He-nian, Zhou Li-ya. A further understanding in geological structure of South China[J]. *Geol J China Univ*, 2006, 12(4): 457–465 (in Chinese with English abstract).
- [29] 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, 17(10): 1107–1115.  
Hsu K J, Sun Shu, Li Jiliang. South China orogene other than craton[J]. *Sci China (B)*, 1987, 17(10): 1107–1115 (in Chinese).
- [30] 李继亮, 孙枢, 许靖华, 陈海泓, 彭海波, 王清晨. 南华夏造山带构造演化的新证据[J]. *地质科学*, 1989, 32(3): 217–225.  
Li Ji-liang, Sun Shu, Hsu K J, Chen Hai-hong, Peng Hai-po, Wang Qing-chen. New evidences about the evolution of the south Cathay orogenic belt[J]. *Chinese J Geol*, 1989, 32(3): 217–225 (in Chinese with English abstract).
- [31] 赵崇贺, 何科昭, 莫宣学, 邵道乾, 林培英, 毕先梅, 郑伯让, 叶德隆, 冯庆来, 叶榭. 赣东北深断裂带蛇绿混杂岩中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义[J]. *科学通报*, 1995, 40(23): 2161–2163.  
Zhao Chonghe, He Kezhao, Mo Xuanxue, Tai Daoqian, Lin Peiying, Bi Xianmei, Zheng Borang, Ye Delong, Feng Qinglai, Ye Zhan. Discovery of late Palaeozoic radiolarian-bearing chert in ophiolitic complexes of the rift zone, northeast Jiangxi, and the significance[J]. *Chinese Sci Bull*, 1995, 40(23): 2161–2163 (in Chinese).
- [32] 赵崇贺, 何科昭, 邵道乾, 乐昌硕, 聂泽同. 赣东北地区重要火成岩的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄[J]. *地球科学*, 1997, 22(3): 257–260.  
Zhao Chong-he, He Ke-zhao, Tai Dao-qian, Le Chang-shuo, Nie Ze-tong.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of major igneous in northeastern Jiangxi Province[J]. *Earth Sci*, 1997, 22(3): 257–260 (in Chinese with English abstract).
- [33] 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 Guo-sheng. Basic characteristics and Mesozoic orogenic process of the Jingnan intracontinental orogenic belt in southern Anhui[J]. *Geotecton Metallogen*, 2000, 24(2): 103–111 (in Chinese with English abstract).
- [34] 李献华, 王选策, 李武显, 李正祥. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷[J]. *地球化学*, 2008, 37(4): 382–398.  
Li Xian-hua, Wang Xuan-ce, Li Wu-xian, Li Zheng-xiang. Petrogenesis and tectonic significance of Neoproterozoic basaltic rocks in South China: From orogenesis to intracontinental rifting[J]. *Geochimica*, 2008, 37(4): 382–398 (in Chinese with English abstract).
- [35] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带是否格林威尔期造山带? 关于华南前寒武纪地质的几个问题[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(1): 64–72.  
Zhou Jin-cheng, Wang Xiao-lei, Qiu Jian-sheng. Is the Jiangnan orogenic belt a Grenvillian orogenic belt: Some problems about the Precambrian geology of south China[J]. *Geol J China Univ*, 2008, 14(1): 64–72 (in Chinese with English abstract).
- [36] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件[J]. *高校地质学报*, 2009, 15(4): 453–459.  
Zhou Jin-cheng, Wang Xiao-lei, Qiu Jian-sheng. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen[J]. *Geol J China Univ*, 2009, 15(4): 453–459 (in Chinese with English abstract).
- [37] 薛怀民, 马芳, 宋永勤. 江南造山带西南段梵净山地区镁铁质-超镁铁质岩: 形成时代、地球化学特征与构造环境[J].

- 岩石学报, 2012, 28(9): 3015-3030.
- Xue Huai-min, Ma Fang, Song Yong-qin. Mefic-ultramafic rocks from the Fanjingshan region, southwestern margin of the Jiangnan orogenic belt: Ages, geochemical characteristics and tectonic setting[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(9): 3015-3030 (in Chinese with English abstract).
- [38] 朱明新, 王河锦. 长沙-澧陵-浏阳一带冷家溪群及板溪群的甚低级变质作用[J]. *岩石学报*, 2001, 17(2): 291-300.
- Zhu Ming-xin, Wang He-jin. Very low-grade metamorphism of the Lengjiayi and Banxi Groups around the area of Changsha-Liling-Liuyang, Hunan province, China[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2001, 17(2): 291-300 (in Chinese with English abstract).
- [39] 王河锦, 周健, 徐庆生, 刘楚雄, 朱明新. 湘中北黄土店-仙溪中新元古界-下古生界的甚低级变质作用[J]. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(9): 742-750.
- Wang Hejin, Zhou Jian, Xu Qingsheng, Liu Chuxiong, Zhu Mingxin. Very low-grade metamorphism of the Meso-Neoproterozoic and the Lower Paleozoic along the profile from Huangtudian to Xianxi in the central-northern part of Hunan Province, China[J]. *Sci China (D)*, 2003, 46(7): 672-682.
- [40] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 刘燕学, 刘训, 凌联海, 张传恒. 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 Lin-zhi, Yang Ming-gui, Ding Xiao-zhong, Liu Yan-xue, Liu Xun, Ling Lian-hai, Zhang Chuan-heng. 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]. *Geol Bull China*, 2008, 27(10): 1744-1751 (in Chinese with English abstract).
- [41] 董树文, 薛怀民, 项新葵, 马立成. 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[J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 1021-1033.
- Dong Shu-wen, Xue Huai-min, Xiang Xin-Kui, Ma Li-cheng. The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceraterophyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance[J]. *Geol China*, 2010, 37(4): 1021-1033 (in Chinese with English abstract).
- [42] 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 丁孝忠, 王自强, 张彦杰. 华北-江南地区中、新元古代地层格架的再认识[J]. *地球学报*, 2009, 30(4): 433-446.
- Gao Lin-zhi, Zhang Chuan-heng, Liu Peng-ju, Ding Xiao-zhong, Wang Zi-qiang, Zhang Yan-jie. Recognition of Meso- and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China[J]. *Acta Geosci Sinica*, 2009, 30(4): 433-446 (in Chinese with English abstract).
- [43] 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 谢亚平. 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, 26(11): 3215-3244.
- Xue Huai-min, Ma Fang, Song Yong-qin, Xie Ya-ping. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen, China: Constraints on the timing and process of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(11): 3215-3244 (in Chinese with English abstract).
- [44] 陈志洪, 郭坤一, 董永观, 陈荣, 李龙明, 梁一鸿. 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(D辑)*, 2009, 37(7): 994-1008.
- Chen Zhihong, Guo Kunyi, Dong Yongguan, Chen Rong, Li Longming, Liang Yihong. 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]. *Sci China (D)*, 2009, 52(7): 925-939.
- [45] 陈志洪, 邢光福, 郭坤一, 董永观, 陈荣, 曾勇, 李龙明, 贺振宇, 赵玲. 浙江平水群角斑岩的成因: 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. *科学通报*, 2009, 54(5): 610-617.
- Chen Zhihong, Xing Guangfu, Guo Kunyi, Dong Yongguan, Chen Rong, Zeng Yong, Li Longming, He Zhenyu, Zhao Ling. Petrogenesis of keratophyes in the Pingshui Group, Zhejiang: Constraints from zircon U-Pb ages and Hf isotopes[J]. *Chinese Sci Bull*, 2009, 54(9): 1570-1578.
- [46] Ye M F, Li X H, Li W X, Liu Y, Li Z X. 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 Res*, 2007, 12: 144-56.
- [47] Li X H, Li W X, Li Z X. 850-790 Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in northern Zhejiang, South China: A major episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia[J]. *Lithos*, 2008, 102: 341-357.
- [48] Li Z X, Li X H, Kinny P D. Geochronology of Neoproterozoic syn rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. *Precamb Res*, 2003, 122: 85-109.
- [49] Wang X L, Shu L S, Xing G F, Zhou J C, Tang M, Shu X, Qi L, Hu Y H. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: evidence from ca. 800-760 Ma volcanic rocks[J]. *Precamb Res*, 2012, 222/223: 404-423.
- [50] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南石耳山新元古代花岗岩锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 364-382.
- Wu Rong-xin, Zheng Yong-fei, Wu Yuan-bao. Zircon U-Pb age, element and oxygen isotope geochemistry of Neoproterozoic granites at Shiershan in south Anhui province[J]. *Geol J China Univ*, 2005, 11(3): 364-382 (in Chinese with English abstract).
- [51] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南新元古代井潭组火山岩锆石 U-Pb 定年和同位素地球化学研究[J]. *高校地质学报*, 2007, 13(2): 282-296.
- Wu Rong-xin, Zheng Yong-fei, Wu Yuan-bao. Zircon U-Pb age and isotope geochemistry of Neoproterozoic Jingtan volcanics in south Anhui[J]. *Geol J China Univ*, 2007, 13(2):

- 282–296 (in Chinese with English abstract).
- [52] Cohen A S, O'Nions R K, Siegenthaler R, Griffn W L. Chronology of the pressure-temperature history recorded by a granulite terrain[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1988, 98: 303–311.
- [53] Chavagnac V, Jahn B M. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling Complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications[J]. *Chem Geol*, 1996, 133: 29–51.
- [54] Jahn B M, Cornicher J, Cong B, Yui T F. Ultrahigh  $\epsilon_{Nd}$  eclogites from an UHP metamorphic terrane of China[J]. *Chem Geol*, 1996, 127(1): 61–79.
- [55] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[J]. *Rev Econ Geol*, 1998, 7(1): 1–35.
- [56] Claoue-Long J C, Compston W, Roberts J. 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. *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*. SEPM Spec Publ, 1995, 5: 3–31.
- [57] Ludwig K R. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49): A Geochronologica Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication No.1a, 2001: 1–55.
- [58] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based total alkali-silica diagram[J]. *J Petrol*, 1986, 27(3): 745–750.
- [59] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1976, 58: 68–81.
- [60] 薛怀民, 董树文, 马芳. 长江中下游庐枞盆地火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄: 对扬子克拉通东部晚中生代岩石圈减薄机制的约束[J]. *地质学报*, 2012, 86(10): 1569–1583. Xue Huai-min, Dong Shu-wen, Ma Fang. Zircon SHRIMP U-Pb ages of volcanic rocks in the Luzong basin, Middle and Lower Yangtze River reaches: Constraints on the model of late Mesozoic lithospheric thinning of the eastern Yangtze craton[J]. *Acta Geol Sinica*, 2012, 86(10): 1569–1583 (in Chinese with English abstract).
- [61] 周涛发, 范裕, 袁峰, 陆三明, 尚世贵, Cooke D, Meffre S, 赵国春. 安徽庐枞(庐江-枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 2008, 38(11): 1342–1353. Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Lu Sanming, Shang Shigui, Cooke D, Meffre S, Zhao Guochun. Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong basin and its significance[J]. *Sci China (D)*, 2008, 51(10): 1470–1482.
- [62] 周涛发, 宋明义, 范裕, 袁峰, 刘珺, 吴明安, 钱存超, 陆三明. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的年代学研究及其意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(10): 2379–2386. Zhou Tao-fa, Song Ming-yi, Fan Yu, Yuan Feng, Liu Jun, Wu Ming-an, Qian Cun-chao, Lu San-ming. Chronology of the Bajiantan intrusion in the Luzong basin, Anhui, and its significance[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2007, 23(10): 2379–2386 (in Chinese with English abstract).
- [63] 周涛发, 范裕, 袁峰, 宋传中, 张乐骏, 钱存超, 陆三明, David R C. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2694–2714. Zhou Tao-fa, Fan Yu, Yuan Feng, Song Chuan-zhong, Zhang Le-jun, Qian Cun-chao, Lu San-ming, David R C. Temporal-spatial framework of magmatic intrusions in Luzong volcanic basin in East China and their constrain to mineralizations[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(9): 2694–2714 (in Chinese with English abstract).
- [64] 范裕, 周涛发, 袁峰, 钱存超, 陆三明, Cooke D. 安徽庐江-枞阳地区 A 型盆花岗岩的 LA-ICPMS 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(8): 1715–1724. Fan Yu, Zhou Tao-fa, Yuan Feng, Qian Cun-chao, Lu San-ming, Cooke D. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the A-type granites in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their geological significances[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2008, 24(8): 1715–1724 (in Chinese with English abstract).
- [65] 薛怀民, 董树文, 马芳. 长江中下游地区庐(江)-枞(阳)和宁(南京)-芜(湖)盆地内与成矿有关潜火山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2653–2664. Xue Huai-min, Dong Shu-wen, Ma Fang. Zircon U-Pb SHRIMP ages of sub-volcanic bodies related with porphyritic Fe-deposits in the Luzong and Ningwu basins, Middle and lower Yangtze River reaches, central China[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(9): 2653–2664 (in Chinese with English abstract).
- [66] 张乐骏, 周涛发, 范裕, 袁峰, 马良, 钱兵. 安徽庐枞盆地井边铜矿床的成矿时代及其找矿指示意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2729–2738. Zhang Le-jun, Zhou Tao-fa, Fan Yu, Yuan Feng, Ma Liang, Qian Bing. Dating of copper mineralization in Jingbian deposit and its prospecting significance in Luzong basin, Anhui Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(9): 2729–2738 (in Chinese with English abstract).
- [67] 曾键年, 覃永军, 郭坤一, 陈国光, 曾勇. 安徽庐枞盆地含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其对成矿时限的约束[J]. *地质学报*, 2010, 84(4): 466–478. Zeng Jian-nian, Qin Yong-jun, Guo Kun-yi, Chen Guo-guang, Zeng Yong. Zircon U-Pb dating of ore-bearing magmatic rocks and its constraint on the formation time of the ore deposits in Luzong basin, Anhui Province[J]. *Acta Geol Sinica*, 2010, 84(4): 466–478 (in Chinese with English abstract).
- [68] Xue Huaimin, Ma Fang, Cao Guangyue. Geochronology and petrogenesis of shoshonitic igneous rocks, Luzong volcanic Basin, middle and lower Yangtze River reaches, China[J]. *J Asian Earth Sci*, 2015, 110: 123–140.
- [69] 张旗, 简平, 刘敦一, 王元龙, 钱青, 王焰, 薛怀民. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(4): 309–314. Zhang Qi, Jian Ping, Liu Dunyi, Wang Yuanlong, Qian Qing, Wang Yan, Xue Huaimin. SHRIMP dating of volcanic rocks from Ningwu area and its geological implications[J]. *Sci China (D)*, 2003, 46(8): 830–837.
- [70] 侯可军, 袁顺达. 宁芜盆地火山-次火山岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(3):

- 888-902.  
Hou Ke-jun, Yuan Shun-da. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of the volcanic and sub-volcanic rocks in the Ningwu basin and their geological implications[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(3): 888-902 (in Chinese with English abstract).
- [71] 闫峻, 刘海泉, 宋传中, 徐夕生, 安亚军, 刘佳, 戴立群. 长江中下游繁昌-宁芜火山盆地火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *科学通报*, 2009, 54(12): 1716-1724.  
Yan Jun, Liu Haiquan, Song Chuanzhong, Xu Xisheng, An Yajun, Liu Jia, Dai Liqun. Zircon U-Pb geochronology of the volcanic rocks from Fanchang-Ningwu volcanic basins in the Lower Yangtze region and its geological implications[J]. *Chinese Sci Bull*, 2009, 54(16): 2895-2904.
- [72] 范裕, 周涛发, 袁峰, 张乐骏, 钱兵, 马良, David R C. 宁芜盆地闪长玢岩的形成时代及对成矿的指示意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2715-2728.  
Fan Yu, Zhou Tao-fa, Yuan Feng, Zhang Le-jun, Qian Bing, Ma Liang, David R C. Geochronology of the diorite porphyrites in Ning-Wu basin and their metallogenic significances[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(9): 2715-2728 (in Chinese with English abstract).
- [73] 薛怀民, 马芳. 长江中下游晚中生代橄榄玄粗岩系列火山岩: 年代学格架、地球化学特征及成因讨论[J]. *地质学报*, 2015, 89(8): 1380-1401.  
Xue Huai-min, Ma Fang. Late Mesozoic shoshonitic volcanic rocks in the middle and lower Yangtze River reaches: Ages, geochemical and genesis[J]. *Acta Geol Sinica*, 2015, 89(8): 1380-1401 (in Chinese with English abstract).
- [74] 禹尧, 徐夕生. 长江中下游地区白垩纪富碱火山岩浆作用[J]. *地球科学*, 2009, 34(1): 105-116.  
Yu Yao, Xu Xi-sheng. Cretaceous alkali-rich magmatism in the Middle and Lower reaches of the Yangtze river[J]. *Earth Sci*, 2009, 34(1): 105-116 (in Chinese with English abstract).
- [75] 薛怀民, 马芳, 关海燕, 王一鹏. 怀宁盆地火山岩的年代学、地球化学及与长江中下游其他火山岩盆地的对比[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 694-714.  
Xue Huai-min, Ma Fang, Guan Hai-yan, Wang Yi-peng. Geochronology and geochemistry of the volcanic rocks in the Huaining basin, and comparison with other basins in the Middle-lower Yangtze region[J]. *Geol China*, 2013, 40(3): 694-714 (in Chinese with English abstract).
- [76] 闫峻, 史磊, 李全忠, 刘建敏, 刘晓强, 姜子朝. 长江中下游地区怀宁盆地火山岩锆石 LA-ICPMS 定年[J]. *地质论评*, 2013, 59(5): 1218-1226.  
Yan Jun, Shi Lei, Li Quan-zhong, Liu Jian-min, Liu Xiao-qiang, Jiang Zi-zhao. Zircon LA-ICPMS dating of the volcanic rocks from Huaining Basin in the Middle-Lower Yangtze Valley[J]. *Geol Rev*, 2013, 59(5): 1218-1226 (in Chinese with English abstract).
- [77] 马芳, 薛怀民. 皖东滁州盆地晚中生代火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(5): 924-934.  
Ma Fang, Xue Huai-min. SHRIMP zircon U-Pb age of the late Mesozoic volcanic rock from the Chuzhou basin, eastern Anhui Province, and their geological significances[J]. *Acta Petrol Mineral*, 2011, 30(5): 924-934 (in Chinese with English abstract).
- [78] 谢成龙, 朱光, 牛漫兰, 王勇生. 滁州中生代火山岩 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造地质学意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(5): 642-655.  
Xie Cheng-long, Zhu Guang, Niu Man-lan, Wang Yong-sheng. LA-ICP MS zircon U-Pb ages of the Mesozoic volcanic rocks from Chuzhou area and their tectonic significances[J]. *Geol Rev*, 2007, 53(5): 642-655 (in Chinese with English abstract).
- [79] 袁峰, 周涛发, 范裕, 黄贻梅, 张乐骏. 安徽繁昌盆地中生代火山岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄及其意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2805-2817.  
Yuan Feng, Zhou Tao-fa, Fan Yu, Huang Yi-mei, Zhang Le-jun. LA-ICPMS U-Pb ages of zircons from Mesozoic volcanic rocks and their significance in Fanchang basin, Anhui Province, China[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2010, 26(9): 2805-2817 (in Chinese with English abstract).
- [80] 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 周少东, 叶会寿, 闫全人, 张祖送. 长江中下游鄂东南地区大寺组火山岩 SHRIMP 定年及其意义[J]. *科学通报*, 2006, 51(19): 2283-2291.  
Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li Ruiling, Zhou Shaodong, Ye Huishou, Yan Quanren, Zhang Zusong. SHRIMP zircon U-Pb dating for volcanic rocks of the Dasi Formation in southeast Hubei Province, middle-lower reaches of the Yangtze River and its implications[J]. *Chinese Sci Bull*, 2006, 46(21): 1823-1827.
- [81] 吕庆田, 侯增谦, 赵金花, 史大年, 吴宣志, 常印佛, 裴荣富, 黄东定, 匡朝阳. 深地震反射剖面揭示铜陵矿集区复杂地壳结构形态[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33(5): 442-449.  
Lü Qingtian, Hou Zengqian, Zhao Jinhua, Shi Danian, Wu Xuanzhi, Chang Yinfo, Pei Rongfu, Huang Dongding, Kuang Chaoyang. Deep seismic reflection profiling revealing the complex crustal structure of the Tongling ore district[J]. *Sci China (D)*, 2004, 47(3): 193-200.
- [82] 吕庆田, 侯增谦, 杨竹森, 史大年. 长江中下游地区的底侵作用及动力学演化模式: 来自地球物理资料的约束[J]. *中国科学(D 辑)*, 2004, 34(9): 783-794.  
Lü Qingtian, Hou Zengqian, Yang Zhusen, Shi Danian. Underplating in the middle-lower Yangtze Valley and model of geodynamic evolution: Constraints from geophysical data[J]. *Sci China (D)*, 2005, 48(7): 985-999.
- [83] Wang C Y, Zeng R S, Mooney W D, Hacker B R. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling[J]. *J Geophys Res*, 2000, 105(B5): 10857-10869.
- [84] Zhang Z J, Li Y K, Lu D Y, Teng J W, Wang G J. Velocity and anisotropy structure of the crust in the Dabieshan orogenic belt from wide-angle seismic data[J]. *Phys Earth Planet In*, 2000, 122(1/2): 115-131.
- [85] Zhang Z J, Wang G J, Teng J W, Klempere S. CDP mapping to obtain the fine structure of the crust and upper mantle from seismic sounding data: An example for the southeastern

- China[J]. *Phys Earth Planet Int*, 2000, 122(1/2): 133–146.
- [86] 秦燕, 王登红, 吴礼彬, 王克友, 梅玉萍. 安徽东源钨矿含矿斑岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2010, 84(4): 479–484.
- Qin Yan, Wang Deng-hong, Wu Li-bin, Wang Ke-you, Mei Yu-ping. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the mineralized porphyry in the Dongyuan W-deposit in Anhui Province and its geological significance[J]. *Acta Geol Sinica*, 2010, 84(4): 479–484 (in Chinese with English abstract).
- [87] 秦燕, 王登红, 李延河, 王克友, 吴礼彬, 梅玉萍. 安徽青阳百丈岩钨钼矿床成岩成矿年龄测定及地质意义[J]. *地学前缘*, 2010, 17(2): 170–177.
- Qin Yan, Wang Deng-hong, Li Yan-he, Wang Ke-you, Wu Li-bin, Mei Yu-ping. Rock-forming and ore-forming ages of the Baizhangyan tungsten-molybdenum ore deposit in Qingyang, Anhui Province and their geological significance[J]. *Earth Sci Front*, 2010, 17(2): 170–177 (in Chinese with English abstract).
- [88] 王德恩, 周翔, 余心起, 杜玉雕, 杨赫鸣, 傅建真, 董会明. 皖南祁门地区东源钨钼矿区花岗岩闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(10): 1514–1529.
- Wang De-en, Zhou Xiang, Yu Xin-qi, Du Yu-diao, Yang He-ming, Fu Jian-zhen, Dong Hui-ming. SHRIMP zircon U-Pb dating and characteristics of Hf isotopes of the granodiorite porphyries in the Dongyuan W-Mo ore district, Qimen area, southern Anhui[J]. *Geol Bull China*, 2011, 30(10): 1514–1529 (in Chinese with English abstract).
- [89] 段留安, 杨晓勇, 汪方跃, 邓江洪, 孙卫东. 长江中下游成矿带贵池抛刀岭金矿含矿岩体年代学及地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3241–3254.
- Duan Liu-an, Yang Xiao-yong, Wang Fang-yue, Deng Jiang-hong, Sun Wei-dong. Geochemistry and zircon U-Pb age of ore-bearing porphyry in the Paodaoling gold deposit in Guichi, Middle-Lower Yangtze metallogenic belt[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(10): 3241–3254 (in Chinese with English abstract).
- [90] 周翔, 余心起, 杨赫鸣, 王德恩, 杜玉雕, 柯宏飙. 皖南绩溪县靠背尖高 Ba-Sr 花岗岩闪长斑岩年代学及其成因[J]. *岩石学报*, 2012, 28(10): 3403–3417.
- Zhou Xiang, Yu Xin-qi, Yang He-ming, Wang De-en, Du Yu-diao, Ke Hong-biao. Petrogenesis and geochronology of the high Ba-Sr Kaobeijian granodiorite porphyry, Jixi County, South Anhui Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(10): 3403–3417 (in Chinese with English abstract).
- [91] 李双, 杨晓勇, 孙卫东. 皖南歙县邓家坞钨钼矿床年代学及 Hf 同位素地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2012, 28(12): 3980–3992.
- Li Shuang, Yang Xiao-yong, Sun Wei-dong. Ages and zircon Hf isotope geochemistry of the Dengjiawu Mo deposit in Shexian, South Anhui Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(12): 3980–3992 (in Chinese with English abstract).
- [92] 李双, 杨晓勇, 孙卫东, 戴圣潜. 皖南泾县榔桥岩体锆石 U-Pb 定年、Hf 同位素和地球化学特征及其找矿指示意义[J]. *地质学报*, 2014, 88(8): 1561–1578.
- Li Shuang, Yang Xiao-yong, Sun Wei-dong, Dai Sheng-qian. Zircon dating, Hf isotope composition, geochemistry and their prospecting significance of the Langqiao intrusion in Jingxian county, South Anhui Province[J]. *Acta Geol Sinica*, 2014, 88(8): 1561–1578 (in Chinese with English abstract).
- [93] 张俊杰, 王光杰, 杨晓勇, 孙卫东, 戴圣潜. 皖南旌德花岗岩闪长岩与暗色包体的成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素制约[J]. *岩石学报*, 2012, 28(12): 4047–4063.
- Zhang Jun-jie, Wang Guang-jie, Yang Xiao-yong, Sun Wei-dong, Dai Sheng-qian. The petrogenesis of the Jingde granodiorite and its MMEs: Constraints from geochemistry, zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(12): 4047–4063 (in Chinese with English abstract).
- [94] 周洁, 姜耀辉, 曾勇, 葛伟亚. 江南造山带东段旌德岩体锆石 LA-ICPMS 年龄和 Nd-Sr-Hf 同位素地球化学[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1379–1391.
- Zhou Jie, Jiang Yao-hui, Zeng Yong, Ge Wei-ya. Zircon U-Pb age and Sr, Nd, Hf isotope geochemistry of Jingde pluton in eastern Jiangnan orogen, South China[J]. *Geol China*, 2013, 40(5): 1379–1391 (in Chinese with English abstract).
- [95] 陈雪霏, 汪应庚, 孙卫东, 杨晓勇. 皖南宁国竹溪岭地区花岗岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学及其成因研究[J]. *地质学报*, 2013, 87(11): 1662–1678.
- Chen Xue-fei, Wang Ying-geng, Sun Wei-dong, Yang Xiao-yong. Zircon U-Pb chronology, geochemistry and genesis of the Zhuxiling granite in Ningguo, South Anhui[J]. *Acta Geol Sinica*, 2013, 87(11): 1662–1678 (in Chinese with English abstract).
- [96] 周翔, 余心起, 王德恩, 张德会, 李春麟, 傅建真, 董会明. 皖南东源含 W、Mo 花岗岩闪长斑岩及成矿年代学研究[J]. *现代地质*, 2011, 25(2): 201–210.
- Zhou Xiang, Yu Xin-qi, Wang De-en, Zhang De-hui, Li Chun-lin, Fu Jian-zhen, Dong Hui-ming. Characteristics and geochronology of the W, Mo-bearing granodiorite porphyry in Dongyuan, southern Anhui[J]. *Geoscience*, 2011, 25(2): 201–210 (in Chinese with English abstract).
- [97] Jiang Y H, Zhao P, Liao S Y, Jin G D. Petrogenesis and tectonic implications of Early Cretaceous S- and A-type granites in the northwest of the Gan-Hang rift, SE China[J]. *Lithos*, 2011, 121(1–4): 55–73.
- [98] Wu F Y, Ji W Q, Sun D H, Yang Y H, Li X H. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the Mesozoic granites in southern Anhui Province, China[J]. *Lithos*, 2012, 150: 6–25.
- [99] 薛怀民, 汪应庚, 汪诚, 王德恩, 左延龙. 皖南太平-黄山复合岩体的 SHRIMP 年代学: 由钙碱性向碱性转变对扬子克拉通东南部中生代岩石圈减薄时间的约束[J]. *中国科学(D 辑)*, 2009, 39(7): 979–993.
- Xue Huaimin, Wang Yinggeng, Ma Fang, Wang Cheng, Wan Deen, Zuo Yanlong. Zircon U-Pb SHRIMP ages of the Taiping (calc-alkaline)-Huangshan (alkaline) composite intrusion: Constraints on Mesozoic lithospheric thinning of the southe-

- astern Yangtze Craton, China[J]. *Sci China (D)*, 2009, 52(11): 1756–1770.
- [100] 张招崇, 简平, 魏罕蓉. 江西三清山国家地质公园花岗岩 SHRIMP 年龄、地质-地球化学特征和岩石成因类型[J]. *地质论评*, 2007, 53(增刊): 28–40.  
Zhang Zhao-chong, Jian Ping, Wei Han-rong. SHRIMP ages, geology, geochemistry and petrogenetic type of granites from the Sanqingshan geopark, Jiangxi Province[J]. *Geol Rev*, 2007, 53(suppl): 28–40 (in Chinese with English abstract).
- [101] 谢建成, 陈思, 荣伟, 李全忠, 杨晓勇, 孙卫东. 安徽牯牛降 A 型花岗岩的年代学、地球化学和构造意义[J]. *岩石学报*, 2012, 28(12): 4007–4020.  
Xie Jian-cheng, Chen Si, Rong Wei, Li Quan-zhong, Yang Xiao-yong, Sun Wei-dong. Geochronology, geochemistry and tectonic significance of Guniujiang A-type granite in Anhui Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2012, 28(12): 4007–4020 (in Chinese with English abstract).
- [102] 薛怀民, 董树文, 马芳. 安徽庐枞火山岩盆地橄榄玄粗岩系的地球化学特征及其对下扬子地区晚中生代岩石圈减薄机制的约束[J]. *地质学报*, 2010, 84(5): 664–681.  
Xue Huai-min, Dong Shu-wen, Ma Fang. Shoshonitic volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province (eastern China): Geochemical and isotopic constraints on Cretaceous lithospheric thinning of the lower Yangtze region[J]. *Acta Geol Sinica*, 2010, 84(5): 664–681 (in Chinese with English abstract).
- [103] 杨荣勇, 任启江, 徐兆文, 孙冶东, 郭国章, 邱检生. 安徽庐枞地区巴家滩火山-侵入体的岩浆来源[J]. *地球化学*, 1993, 22(2): 197–206.  
Yang Rong-yong, Ren Qi-jiang, Xu Zhao-wen, Sun Ye-dong, Guo Guo-zhang, Qiu Jian-sheng. The magma source of Bajiatan volcanic-intrusive complex in the Lujiang-Zongyang area, Anhui province[J]. *Geochimica*, 1993, 22(2): 197–206 (in Chinese with English abstract).
- [104] 孙冶东, 杨荣勇, 任启江, 刘孝善. 安徽庐枞中生代火山岩系的特征及其形成的构造背景[J]. *岩石学报*, 1994, 10(1): 94–103.  
Sun Ye-dong, Yang Rong-yong, Ren Qi-jiang, Liu Xiao-shan. Discussion on the characteristics and tectonic setting of the Mesozoic volcanic sequences in Lujiang-Zongyang area[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1994, 10(1): 94–103 (in Chinese with English abstract).
- [105] 刘洪, 邱检生, 罗清华, 徐夕生, 凌文黎, 王德滋. 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约[J]. *地球化学*, 2002, 31(2): 129–140.  
Liu Hong, Qiu Jian-sheng, Luo Qing-hua, Xu Xi-sheng, Ling Wen-li, Wang De-zi. Petrogenesis of the Mesozoic potash-rich volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province: Geochemical constraints[J]. *Geochimica*, 2002, 31(2): 129–140 (in Chinese with English abstract).
- [106] 谢智, 李全忠, 陈江峰, 高天山. 庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义[J]. *高校地质学报*, 2007, 13(2): 235–249.  
Xie Zhi, Li Quan-zhong, Chen Jiang-feng, Gao Tian-shan. The geochemical characteristics of the Early Cretaceous volcanics in Luzong region and their source significances[J]. *Geol J China Univ*, 2007, 13(2): 235–249 (in Chinese with English abstract).
- [107] Wang Q, Wyman D A, Xu J F, Zhao Z H, Jian P, Xiong X L, Bao Z W, Li C F, Bai Z H. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu-Au mineralization[J]. *Lithos*, 2006, 89(3/4): 424–446.
- [108] 薛怀民, 陶奎元. 宁芜地区中生代火山岩系列的新认识及其地质意义[J]. *江苏地质*, 1989 (4): 9–14.  
Xue Huai-min, Tao Kui-yuan. New view on the Mesozoic volcanic sequences in Ning-Wu[J]. *Jiangsu Geol*, 1989 (4): 9–14 (in Chinese with English abstract).
- [109] 王元龙, 张旗, 王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17(4): 565–575.  
Wang Yuan-long, Zhang Qi, Wang Yan. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2001, 17(4): 565–575 (in Chinese with English abstract).
- [110] 李超文, 郭锋, 李晓勇. 溧水盆地晚中生代基性火山岩成因与深部动力学过程探讨[J]. *地球化学*, 2004, 33(4): 361–371.  
Li Chao-wen, Guo Feng, Li Xiao-yong. Petrogenesis and geodynamic implications of late Mesozoic mafic volcanic rocks from the Lishui basin of the Lower Yangtze region[J]. *Geochimica*, 2004, 33(4): 361–371 (in Chinese with English abstract).
- [111] 高晓峰, 郭锋, 李超文, 蔡观强. 溧水盆地两类晚中生代中酸性火山岩的岩石成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 2007, 26(1): 1–12.  
Gao Xiao-feng, Guo Feng, Li Chao-wen, Cai Guan-qiang. The genesis of two types of late Mesozoic intermediate-felsic volcanic rocks in Lishui Basin, Lower Yangtze valley[J]. *Acta Petrol Mineral*, 2007, 26(1): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- [112] 薛怀民, 汪应庚, 马芳, 汪诚, 王德恩, 左延龙. 高度演化的黄山 A 型花岗岩: 对扬子克拉通东南部中生代岩石圈减薄的约束[J]. *地质学报*, 2009, 83(2): 247–259.  
Xue Huai-min, Wang Ying-geng, Ma Fang, Wang Cheng, Wan De-en, Zuo Yan-long. The Huangshan A-type granites with tetrad REE: Constraints on Mesozoic lithospheric thinning of the southeastern Yangtze craton[J]. *Acta Geol Sinica*, 2009, 83(2): 247–259 (in Chinese with English abstract).
- [113] 邢凤鸣. 宁芜地区中生代岩浆岩的成因岩石学与 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 1996, 15(2): 126–137.  
Xing Feng-ming. Petrological and Nd, Sr, Pb isotopic evidence for genesis of Mesozoic magmatic rocks in Nanjing-Wuhu area[J]. *Acta Petrol Mineral*, 1996, 15(2): 126–137 (in Chinese with English abstract).
- [114] Frost C D, O’Nions R K. A Nd isotope investigation of sediments related to crustal development in the British Isles[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1985, 26(2): 515–540.