# 长江中下游怀宁盆地火山杂岩锆石定年 及其地质意义

薛怀民<sup>1)</sup>, 王一鹏<sup>2)</sup>, 冀泽阳<sup>2)</sup>

2) 内蒙古自治区克什克腾旗国土资源局,内蒙古克什克腾,025350

内容提要:怀宁盆地是长江中下游地区晚中生代发育的一系列断陷型火山岩盆地中的一个,盆地内的火山岩主体属橄榄玄粗岩(shoshonite)系列,但晚期出现高钾钙碱性系列的玄武质一流纹质双峰式岩石组合。本文测得怀宁盆地早期形成的彭家口组粗面岩和潜火山岩相的霏细斑岩以及晚期形成的江镇组流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 128.7±0.8Ma、126.3±0.7 Ma 和 123.5±0.7 Ma,进一步证实怀宁盆地是长江中下游地区中生代火山岩盆地带中火山作用结束最晚的一个。区域对比表明,长江中下游地区火山活动的峰期时间基本相当,均处于约 130 Ma 前后,但怀宁盆地内火山活动结束的时间明显晚于其他火山岩盆地约6 Ma。结合溧阳盆地火山活动的起始时间早达 140Ma,显示整个长江中下游地区晚中生代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事件两种动力学机制共同作用的结果。

关键词:橄榄玄粗岩系列;双峰式火山岩;锆石 U-Pb 定年;怀宁火山岩盆地;长江中下游

怀宁盆地是我国长江中下游地区晚中生代发育 的一系列火山岩盆地中的一个,由于其所处的构造 位置特殊[(紧邻大别山造山带和郯庐(郯城--庐 江)断裂带)]、火山岩组合类型独特(主体为一套别 具特色的橄榄玄粗岩系列,晚期发育钙碱性系列的 双峰式火山岩组合),对于研究整个长江中下游地 区晚中生代火山岩浆的成因及岩浆作用的动力学机 制具有重要意义。但与区内的其他火山岩盆地相 比,对怀宁盆地的研究程度还很低。仅有的少数研 究(薛怀民等,2013;闫峻等,2013)主要集中在仅占 火山岩盆地出露面积约5%的东部,且主要针对的 是早期喷出的火山岩(彭家口组)。而对于盆地的 主体(西部),以及在盆地内占重要地位的潜火山 岩一浅成侵入岩几乎没有涉及。不仅如此,在前期 的工作中,我们曾获得该盆地晚期火山活动产物 (江镇组)的形成年龄低达122 Ma 左右(薛怀民等, 2013),这是已知长江中下游中生代火山岩盆地中 最晚的火山作用年龄纪录,显著晚于其他盆地内火 山活动结束的时间,其信息对于确定区内火山活动 迁移的规律、探讨岩浆作用的动力学机制等具有重要意义。但由于数据单一,需要进一步补充研究以证实/或证伪。本文利用 LA-ICP MS 法测定了与怀 宁盆地早期火山活动有关的粗面岩、潜火山岩相的 霏细斑岩以及晚期火山活动产物中锆石的 U-Pb 年龄,并通过与长江中下游其它火山岩盆地岩浆作用 年代格架的对比,研究火山活动的迁移规律,探讨岩 浆作用的动力学机制。

# 1 地质背景

#### 1.1 区域地质概况

怀宁火山岩盆地所处的长江中下游地区位于扬 子地块北缘,该区的前中生代构造层具有明显的双 层结构,即中、新元古代的浅变质基底和南华震旦 纪一中三叠世陆表海环境下形成的沉积盖层(常印 佛等,1996;薛怀民等,2010a)。但随着扬子地块与 华北地块在晚三叠世完成了碰撞造山作用,作为大 别山造山带的前陆,长江中下游地区在晚三叠世一 中侏罗世期间发生坳陷,局部沉积的一套巨厚的陆

<sup>1)</sup> 中国地质科学院地质研究所,北京,100037;

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:121201102000150021,1212011408540)和深部探测技术与实验研究专项(编号: SinoProbe-05-05)的成果。

收稿日期:2015-12-06;改回日期:2016-06-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.05.006

作者简介:薛怀民,男,1962年生。研究员。主要从事岩石学研究。Email: huaiminx@ sina.com。



相碎屑岩。表现为中一晚三叠世湖相沉积形成的一 套厚度达 2000 m 的红色碎屑沉积(黄马青群)不整 合于早一中三叠世海相沉积的青龙群之上,并被 早一中侏罗世河湖相沉积的象山群不整合覆盖(夏 邦栋等,1996;朱光等,1998),代表了坳陷盆地的沉 积层序。在晚中生代的早白垩世,区内进一步发生 断陷,形成了多个大致沿长江展布的火山岩盆地。 根据火山岩/潜火山岩的地球化学性质,这些火山岩 盆地大致可归为两类:一类为橄榄玄粗岩系列火山 岩盆地,主要包括宁芜盆地、庐枞盆地和溧水盆地。 另一类为高钾钙碱性系列火山岩盆地,包括金牛盆 地、繁昌盆地、滁州盆地和溧阳盆地。怀宁盆地比较 特殊,早期形成的火山岩(彭家口组)属橄榄玄粗岩 系列,晚期形成的火山岩(江镇组)属高钾钙碱性系 列,是一个复合系列的火山岩盆地。空间上,橄榄玄 粗岩系列火山岩盆地总体位于长江中下游火山岩盆 地带的内侧,而高钾钙碱性系列火山岩盆地处于火 山岩盆地带的周边(图1a)。这些断陷型火山岩盆 地的形成据认为与晚中生代发生的岩石圈减薄事件 有关,其中橄榄玄粗岩系列火山岩盆地所在地带对 应着长江中下游地区岩石圈减薄的中心部位(薛怀 民等,2015)。深地震反射资料表明,长江中下游地 区的地壳厚度仅为 31~33 km (吕庆田等, 2003), 比其南北两侧薄约5~10 km (北侧大别山带的地 壳厚度达41 km 左右,南侧的江南造山带的地壳厚 度约为 37 km, Wang Chunyong et al., 2000; Zhang Zhongjie et al., 2000a, 2000b),可能就是岩石圈拆 沉、地壳伸展的直接结果。

#### 1.2 火山岩盆地地质

怀宁火山岩盆地以郯庐断裂带为界与北西侧的 大别造山带紧邻,盆地受与郯庐断裂带呈小角度相 交的次级断裂控制,呈北东东向长条带状延伸(图 1b)。该盆地由东、西两部分构成,其间相隔约15 km,为早白垩世晚期汪公庙组的砾岩一砂砾岩不整 合覆盖,砾石中含有大量的火山岩角砾,指示其为近 源剥蚀堆积的产物。西部火山岩出露的规模相对较 大,长约26 km,宽1~5 km 不等,面积约80 km<sup>2</sup>;而 东部火山岩的出露面积很小,仅约4 km<sup>2</sup>。

盆地内火山岩的分布明显受到古地形的制约, 在盆地南东侧的早中生代基底隆起区,火山岩的厚 度很薄,向西北侧则明显增厚。火山作用的产物在 东、西两部分虽略有差异,如东部以爆发相的火山碎 屑岩更发育,而西部则以溢流相占优势,但无论在火 山活动产物的层序、岩石组合面貌,还是地球化学性 质上,两部都具一定的可比性,推测它们是在同一动 力学背景下,从同一岩浆房的不同通道中(或/和岩 浆房不同层位)喷发形成的。

怀宁盆地内的火山活动分为早、晚两期,其间有 明显的喷发间断,形成了一套厚约数十米的泥岩— 粉砂岩夹层。早期火山作用产物(彭家口组)的分 布广泛,几乎遍及整个火山岩盆地,以爆发相的火山 碎屑岩开始,继之为溢流相,最后以潜火山岩相一火 山沉积相而告终,构成了一个完整的火山作用旋回。 晚期火山作用产物(江镇组)的出露很局限,主要见 于盆地的东部,另外在盆地西部基底隆起区的南侧 也有零星分布(图1b)。彭家口组火山岩的成分以 粗面质为主,初期出现低硅流纹质一粗面英安质,晚 期则出现粗安质,岩石的酸度随时间有降低的趋势, 指示可能为成分分带的岩浆房逐层排出的特征。江 镇组下部主要为粗面岩、粗安岩,顶部见粗面玄武岩 与流纹岩共生而显示双峰式组合的特点。火山岩的 直接基底为中侏罗统罗岭组的陆相碎屑沉积建造。

盆地内及其边部潜火山岩/浅成侵入岩发育。 岩性主要有两类,一类为钾长花岗斑岩、霏细斑岩、 流纹斑岩等,其成因可能与彭家口组的火山岩有联 系;另一类为辉绿玢岩、辉石闪长玢岩,与江镇组双 峰式火山岩的基性端元可能属同源异相的产物。

# 2 样品与分析方法

#### 2.1 样品描述

HL12-355:粗安岩,岩石呈斑状结构,斑晶主要 为角闪石和钾长石,含量约10%,其角闪石均发生 了强烈的暗化,钾长石发生绢云母化蚀变。基质为 交织结构,主要由细小的长柱状碱性长石不规则排 列组成(图2a)。

HL12-356: 晶屑凝灰岩, 岩石中晶屑含量约 50%, 主要为斜长石和钾长石晶屑, 其次为角闪石晶 屑(图 2b)。基质主要为玻屑和火山灰。另外, 岩石 中还含少量岩屑。

HL12-358:粗面岩,岩石呈斑状结构,斑晶主要 为斜长石和钾长石,含量约15%。基质粗面结构 (图2c)。

HL12-357:霏细斑岩/流纹斑岩,岩石呈霏细结构,部分已发生重结晶(图2d)。另外,岩石中含少量细小的黑云母斑晶(已暗化)和长石斑晶。

HL-1110:粗面岩,岩石呈斑状结构,斑晶主要 为斜长石和钾长石,其次为角闪石斑晶(已暗化), 含量约10%。基质为交织结构一霏细结构,细小的



(e)HL-1110

(f)HL12-352

图 2 怀宁盆地代表性火山—侵入杂岩的显微照片 Fig. 2 Micrographes of the representative volcanic—intrusive rock samples from the Huaining volcanic Basin Bi-黑云母;Hb-角闪石;PI-斜长石;Af-碱性长石;Q-石英 Bi-Biotite; Hb-Horeblende; PI-Plagioclase; Af-Alkalifeldspar; Q-Quartz

针状一毛发状角闪石不规则排列组成格架,其中充 填的为细小的他形长英质矿物(图2e)。



图 3 怀宁盆地火山—侵入杂岩的(a) TAS 分类图(Le Base et al., 1986);(b) SiO<sub>2</sub>—K<sub>2</sub>O 分类图(Peccerillo & Taylor, 1976)及稀土元素球粒陨石标准化曲线(c)和不相容元素原始地幔标准化蛛网图(d)(资料来源:本文;薛怀民等,2013) Fig. 3 Geochemical compositions of representative volcanic rock samples from the Huaining volcanic Basin. (a) TAS classification diagram (Le Base et al., 1986); (b) SiO<sub>2</sub>— K<sub>2</sub>O classification diagram (Peccerillo & Taylor, 1976); (c) Chondrite-normalized REE-patterns; (d) primitive mantle normalized incompatible element patterns (Sources of data: this paper; Xue Huaimin et al., 2013&)

HL12-352:流纹岩,岩石呈斑状结构,斑晶主要 为石英,含少量碱性长石斑晶和黑云母斑晶,含量约 20%,它们量定向排列组成不太明显的流纹构造 (图2f)。基质为隐晶质一霏细结构。

### 2.2 分析方法

全岩成分是在核工业北京地质研究院分析测试研究中心分析的。其中主元素用 X 荧光光谱法(XRF)完成,绝对误差 < 0.5%;微量元素和稀土元素是用德国 Finnigan-MAT 公司生产的 ELEMENT I 仪器(等离子体质谱仪)分析的,相对误差范围一般在 5% ~ 10%。

锆石是按常规方法分选,并在双目镜下仔细挑 纯。将锆石置于环氧树脂中,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-ICP-MS 定年测 试是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 COMPexProl 02,激光条件为:激光束斑32μm,激光

能量密度 5 J/cm<sup>2</sup>, 频率 5Hz, 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 Ll/min, 辅助气1 Ll/min, 载气 0.96 Ll/min, 积分时间<sup>207</sup> Pb 为 50ms,<sup>204</sup>Pb为20ms,<sup>206</sup>Pb为30ms其 余同位素为10ms。信号采集时间共 85s,采集信号前先用激光剥蚀 3s 以 去除样品表面可能存在的污染,在进 行 20s 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91500锆石标样和 NIST610 玻璃标样;每5 个未知样测 试1个NIST612和614玻璃标样。数 据处理先应用西澳大学的 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 Si 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。

# 3 分析结果

## 3.1 地球化学特征

表1为怀宁盆地内代表性样品的 主量和微量元素分析结果,成分以中 酸性偏碱性为主,高钾、富碱、贫镁和 钛是其岩石化学上最显著的特征。在 TAS 分类图上,盆地内的岩石主要位 于粗面岩和粗面英安岩区域,少数落 在粗安岩、流纹岩、玄武质粗安岩及响 岩区域(图 3a)。在 SiO,-K,0 关系 图上,除晚期形成的江镇组双峰式火 山岩属高 K 钙碱性系列外,绝大多数 岩石属橄榄玄粗岩系列(图 3b)。它 们在地球化学上表现出富集轻稀土元 素和亏损重稀土元素的特征,轻、重稀 土元素的分馏程度较强,Eu 异常不明 显到中等程度的负 Eu 异常,稀土元 素的球粒陨石标准化曲线总体呈比较 平滑的右倾型(图3c)。另外,采自不

表 1 怀宁盆地火山岩/潜火山岩的常量(%)及微量元素(μg/g)含量 Table 1 Major (%) and trace element (μg/g) compositions of the volcanic/subvolcanic rocks from the Huaining basin

火山活动 期次	彭家口组	彭家口组	彭家口组	潜火山岩	江镇组	江镇组
岩性	粗安岩	晶屑凝灰岩	粗面岩	霏细斑岩	粗面岩	流纹岩
样号	HL12-355	HL12-356	HL12-358	HL12-357	HL-1110	HL12-352
$SiO_2$	55.64	61.84	69.07	70.5	68.64	72.93
$TiO_2$	1.29	0.714	0.463	0.468	0.465	0.393
$Al_2O_3$	18.22	17.68	15.18	13.23	15.85	14.18
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	8.87	3.36	2.44	3.66	3.05	2.02
FeO	0.44	0.20	0.18	0.26	0.15	0.37
MnO	0.035	0.104	0.031	0.013	0.065	0.036
MgO	0.674	0.651	0.193	0.048	0.326	0.209
CaO	0.926	1.25	1.14	0.063	0.823	0.098
Na <sub>2</sub> O	0.205	3.15	4.13	0.138	5.17	0.826
$K_2O$	10.53	8.73	5.50	11.16	4.06	7.15
$P_2O_5$	0.658	0.179	0.107	0.032	0.179	0.06
$H_{2}O^{+}$	0.08	0.52	0.52	0.18	0.88	0.06
$CO_2$	1.53	0.55	0.38	0.10	0.19	1.23
总量	99.10	98.93	99.33	99.85	99.85	99.56
Sc	18	5.21	3.53	4.32	5.59	2.42
V	189	27.8	33.2	60.2	63.0	13.7
Cr	160	2.70	2.68	5.51	8.39	2.09
Co	16.9	3.51	2.52	3.84	7.07	6.67
Ni	73.3	1.97	1.75	4.33	7.44	10.3
Ga	24.3	24.1	19.1	12.2	16.9	15.7
Rb	297	280	132	226	105	156
$\mathbf{Sr}$	72.4	138	402	29.3	680	31.5
Y	29.1	34.6	20.7	14.1	19.6	14.7
Nb	24.1	31.4	17.6	14.0	15.1	20.6
Ba	537	818	2083	2725	1236	1396
La	74.2	78.5	58.6	36.4	50.5	59.7
Ce	131	140	94.7	57.2	83.4	92
Pr	15.6	15.9	9.64	5.71	8.98	10.1
Nd	55.6	52.7	30.4	18.3	30.0	31.5
Sm	9.35	9.11	4.85	2.96	5.22	4.71
Eu	2.40	2.01	1.04	0.999	1.12	1.03
$\operatorname{Gd}$	8.65	8.21	4.87	3.17	3.89	4.62
Tb	1.29	1.28	0.715	0.469	0.640	0.634
Dy	6.33	6.86	3.80	2.56	3.43	3.01
Ho	1.18	1.36	0.743	0.505	0.587	0.575
Er	3.65	4.40	2.42	1.63	2.26	1.92
Tm	0.516	0.709	0.382	0.269	0.312	0.294
Yb	3.29	4.72	2.53	1.85	2.44	2.03
Lu	0.502	0.749	0.395	0.294	0.389	0.310
Та	1.23	1.71	1.24	0.95	1.34	1.32
Pb	54.1	23.0	18.9	21.6	75.1	8.20
Th	7.48	18.8	14.4	12.8	16.4	14.3
U	1.48	4.22	2.50	3.08	3.55	2.41
Zr	546	1004	413	415	412	546
Hf	12.4	22.0	10.8	10.3	9.93	12.9
$\sum \text{REE}$	313.6	326.5	215.1	132.3	193.2	212.4
(La/Yb) <sub>N</sub>	15.24	11.24	15.65	13.30	13.99	19.87
Eu/Eu *	0.80	0.70	0.65	0.99	0.73	0.67





图 4 怀宁盆地火山岩/潜火山岩中锆石的阴极发光照片(CL) Fig. 4 CL images of dated zircon crystals from the volcanic/subvolcanic rocks in the Huaining basin

同岩相的样品具类似的稀土元素配分模式,显示出 彼此之间的同源性。

在不相容元素原始地幔标准化蛛网图上,怀宁 盆地内的火山—侵入杂岩表现出明显富集 Rb、Th、 U等强不相容元素的特征。Sr 除在个别样品外,总 体表现出特征性的负异常(图 3d),且 Sr (及 Eu)负 异常的程度总体随 SiO<sub>2</sub>含量的增加而增加,指示斜 长石的分离结晶可能对于盆地内岩浆的演化起着重 要作用。Ba 的地球化学行为既有正异常,也有无异 常和负异常的现象,暗示钾长石或黑云母的分异在 岩浆演化的不同阶段所起的影响是不同的。高场强 元素的行为发生了明显的分化,其中 Nb 和 Ta 显示 出明显的亏损,而 Zr、Hf 则具显著的正异常特征。

怀宁盆地内火山—侵入杂岩的 $\varepsilon_{M}(t)$ 值变化范 围很广,从-5.33到-19.23 (薛怀民等,2013)。空 间上,同为彭家口组的橄榄玄粗岩系列火山岩,产于 盆地东部岩浆岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值介于 -5.33 ~ -5.52, 类似于普遍认为是由富集地幔部分熔融形成的长江 中下游其他盆地内橄榄玄粗岩系列火山岩(刘洪 等,2002;李超文等,2004;高晓峰等,2007;谢智等, 2007;薛怀民,2010a,2013;Chen et al., 2001; Wang Qiang et al., 2006)的 Nd 同位素组成,明显高于盆 地西部火山岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(-10.04~-19.23)。基 于盆地西部紧邻大别造山带,而东部相对远离造山 带的空间格局,可能指示盆地西部的岩浆受到明显 的地壳混染,而盆地东部的岩浆可能直接来自富集 型岩石圈地幔的部分熔融(可能还经历过分异演 化)。时间上,以盆地东部为例,由早(彭家口组)到 晚(江镇组),岩石的ε<sub>M</sub>(t)值显著变小,可能意味着 随着岩浆在高位岩浆房中驻留的时间延长,地壳物 质混染的程度显著增加。

怀宁盆地内火山一侵入杂岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范 围很广,从-5.33到-19.23(薛怀民等,2013)。空 间上,同为彭家口组的橄榄玄粗岩系列火山岩,产于 盆地东部岩浆岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值介于-5.33~-5.52, 类似于普遍认为是由富集地幔部分熔融形成的长江 中下游其他盆地内橄榄玄粗岩系列火山岩(刘洪 等,2002;李超文等,2004;高晓峰等,2007;谢智等, 2007;薛怀民,2010a,2013;Chen et al.,2001;Wang et al.,2006)的 Nd 同位素组成,明显高于盆地西部 火山岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(-10.04~-19.23)。基于盆地 西部紧邻大别造山带,而东部相对远离造山带的空 间格局,可能指示盆地西部的岩浆受到明显的地壳 混染,而盆地东部的岩浆可能直接来自富集型岩石 圈地幔的部分熔融(可能还经历过分异演化)。时间上,以盆地东部为例,由早(彭家口组)到晚(江镇组),岩石的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值显著变小,可能意味着随着岩浆在高位岩浆房中驻留的时间延长,地壳物质混染的程度显著增加。

#### 3.2 锆石 U-Pb 年龄

表2是怀宁盆地内火山一侵入杂岩样品的锆石 LA-ICP-MS U-Pb分析结果。

样品 HL12-358 采自彭家口组的上部(坐标: N30°21.355′, E116°25.468′), 岩性为粗面岩。该样 品中的锆石形态复杂,以半自形为主,少数边缘有熔 蚀现象,但大多数锆石以短柱状为主。CL 图像显 示,该样品中的锆石内部结构主要分两类,一类发育 有密切的生长环带,另一类仅见稀疏的直纹(图4), 均为岩浆成因锆石常见的特点。部分锆石颗粒核部 有继承或俘获的锆石核。本次研究共对该样品中的 30个锆石颗粒进行了年龄测定,其中分析点12 的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 表面年龄为 138 ± 2 Ma, 明显高于其他 分析点,分析点2和21的206Pb/238U表面年龄均为 124 ± 2 Ma, 略小于大多数分析点。其余 27 个颗粒 的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄很集中,介于126(131 Ma之 间(表2),且都位于 n(<sup>206</sup>Pb)/n(<sup>238</sup>U)-n(<sup>207</sup>Pb)/ n(<sup>235</sup>U)谐和线上或其附近(图 5a),它们的<sup>206</sup>Pb/ <sup>238</sup>U加权平均年龄为128.7±0.8 Ma。该年龄与我 们早先分别用 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法 测得的彭家口组粗安岩的年龄(129.4±1.6Ma和 131.6±0.6Ma,薛怀民等,2013)及闫峻等(2013)所 获得的彭家口组凝灰岩的 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年 龄(130.0±1.7 Ma)在误差范围内一致,可代表彭 家口旋回火山喷发的年龄。

样品 HL-357 采自盆地的西南部(坐标:N30° 20.533', E116°27.637'),岩性为霏细斑岩,属于彭 家口火山活动旋回形成的潜火山岩。该样品中的锴 石以半自形粒状一短柱状为主,部分颗粒边缘有熔 蚀现象(图4)。CL 图像显示,该样品中的锆石内部 发育有密切的生长环带,部分锆石晶体内部发育沙 钟结构。本次研究共对该样品中的 30 个颗粒进行 了年龄测定,它们的<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 表面年龄很集中,介 于 122 ~ 130 Ma 之间(表 2),且绝大多数位于  $n(^{206}$  Pb)/ $n(^{207}$  Pb)/ $n(^{205}$  U)谐和线上或其 附近,它们的<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 加权平均年龄为 126.3 ±0.7 Ma (图 5b)。该年龄略晚于(约 2 ~ 3 Ma)该旋回火 山喷发的时间,可代表彭家口旋回火山作用结束的 时间。

#### 表 2 怀宁盆地火山岩/潜火山岩中锆石的 LA-ICP-MS 分析结果

#### Table 2 LA-ICP-MS analytical results for zircons from the volcanic/subvolcanic rocks in the Huaining basin

	元素	含量((µg/	′g))		同位素比值								同位素年龄(Ma)			
测点编号	Th	U	Pb	Th/U	n( <sup>207</sup> Pb)/	√n( <sup>206</sup> Pb)	n( <sup>207</sup> Pb)	/n( <sup>235</sup> U)	$n(^{206}\text{Pb})$	/n( <sup>238</sup> U)	n( <sup>208</sup> Pb)	$/n(^{232}\text{Th})$	$\frac{n({}^{207}\text{Pb})}{n({}^{206}\text{Pb})}$	$\frac{n(^{207} \text{Pb})}{n(^{235} \text{U})}$	$\frac{n(^{206}\mathrm{Pb})}{n(^{238}\mathrm{U})}$	$\frac{n(^{208}\mathrm{Pb})}{n(^{232}\mathrm{Th})}$
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ
							粗正	可岩(HL12-	-358)							
HL358-01	272.85	191.88	5.992551	1.43	0.05030	0.00216	0.13911	0.00583	0.02006	0.00028	0.00647	0.00015	$209 \pm 71$	132 ± 5	128 ± 2	130 ± 3
HL358-02	197.82	177.75	4.989855	1.11	0.05079	0.00223	0.13602	0.00584	0.01943	0.00027	0.00615	0.00015	$231 \pm 73$	129 ± 5	124 ± 2	124 ± 3
HL358-03	308.22	205.31	6.740422	1.50	0.04732	0.00361	0.13276	0.00997	0.02035	0.00028	0.00647	0.00009	$65 \pm 170$	127 ± 9	$130 \pm 2$	130 ± 2
HL358-04	175.93	148.38	4.44839	1.19	0.05134	0.00242	0.14218	0.00658	0.02009	0.00028	0.00675	0.00016	$256 \pm 81$	135 ± 6	128 ± 2	136 ± 3
HL358-05	96.04	97.34	2.801396	0.99	0.05004	0.00342	0.14148	0.0095	0.02051	0.00033	0.00651	0.0002	$197 \pm 123$	134 ± 8	131 ±2	131 ± 4
HL358-06	291.61	195.77	6.240755	1.49	0.04974	0.00209	0.13861	0.00569	0.02022	0.00027	0.00655	0.00015	$183 \pm 71$	132 ± 5	129 ± 2	132 ± 3
HL358-07	130.55	107.36	3.271659	1.22	0.05510	0.00312	0.15492	0.00857	0.02040	0.00032	0.00667	0.00018	$416 \pm 96$	146 ± 8	$130 \pm 2$	134 ± 4
HL358-08	165.99	156.23	4.561352	1.06	0.04817	0.00257	0.13576	0.00711	0.02045	0.0003	0.00659	0.00017	$108 \pm 90$	129 ± 6	$130 \pm 2$	133 ± 3
HL358-09	156.51	136.69	3.957868	1.15	0.04924	0.00247	0.13712	0.00675	0.02020	0.00029	0.00610	0.00016	$159 \pm 87$	$130 \pm 6$	129 ± 2	123 ± 3
HL358-10	370.28	166.82	6.198376	2.22	0.04806	0.00238	0.13492	0.00655	0.02037	0.00029	0.00667	0.00015	$102 \pm 83$	$129 \pm 6$	$130 \pm 2$	134 ± 3
HL358-11	263.98	185.51	5.700138	1.42	0.04482	0.00284	0.12322	0.00766	0.01994	0.00032	0.00640	0.00017		$118 \pm 7$	127 ±2	129 ± 3
HL358-12	124.00	90.85	3.061608	1.36	0.05200	0.00319	0.15469	0.00933	0.02158	0.00033	0.00745	0.0002	$285 \pm 110$	146 ± 8	138 ± 2	150 ± 4
HL358-13	229.22	205.47	6.088654	1.12	0.05355	0.00194	0.15089	0.00533	0.02044	0.00027	0.00661	0.00016	$352 \pm 56$	$143 \pm 5$	$130 \pm 2$	133 ± 3
HL358-14	282.45	182.9	5.858614	1.54	0.04859	0.00214	0.13569	0.00587	0.02026	0.00028	0.00648	0.00015	$128 \pm 74$	129 ± 5	129 ± 2	131 ± 3
HL358-15	359.83	202.1	6.943734	1.78	0.04883	0.00208	0.13740	0.00571	0.02041	0.00029	0.00680	0.00016	$140 \pm 70$	131 ± 5	$130 \pm 2$	137 ± 3
HL358-16	169.64	139.46	4.101097	1.22	0.04734	0.00248	0.13039	0.00671	0.01998	0.00029	0.00642	0.00017	66 ± 86	124 ±6	128 ± 2	129 ± 3
HL358-17	81.01	76.16	2.240728	1.06	0.04868	0.00529	0.13700	0.01465	0.02042	0.00045	0.00691	0.00028	$132 \pm 198$	$130 \pm 13$	130 ± 3	139 ± 6
HL358-18	218.07	170.77	5.066557	1.28	0.04877	0.00218	0.13415	0.00588	0.01995	0.00027	0.00634	0.00016	$137 \pm 76$	128 ± 5	127 ± 2	128 ± 3
HL358-19	652.74	351.45	11.52748	1.86	0.04996	0.00154	0.13551	0.00407	0.01968	0.00025	0.00614	0.00014	$193 \pm 46$	129 ± 4	126 ± 2	124 ± 3
HL358-20	981.26	398.32	14.64108	2.46	0.04841	0.00145	0.13214	0.00385	0.01980	0.00024	0.00617	0.00013	$119 \pm 46$	126 ± 3	126 ± 2	124 ± 3
HL358-21	352.10	214.56	6.663473	1.64	0.04789	0.00208	0.12826	0.00544	0.01943	0.00027	0.00613	0.00015	94 ± 71	123 ± 5	124 ± 2	124 ± 3
HL358-22	241.69	172.12	5.400547	1.40	0.04795	0.00206	0.13487	0.00566	0.02040	0.00028	0.00666	0.00017	$97 \pm 70$	128 ± 5	$130 \pm 2$	134 ± 3
HL358-23	226.88	172.39	5.23751	1.32	0.04805	0.00219	0.13350	0.00597	0.02015	0.00028	0.00658	0.00017	$102 \pm 76$	127 ± 5	129 ± 2	133 ± 3
HL358-24	112.22	107.96	3.120605	1.04	0.05112	0.00285	0.14400	0.00789	0.02043	0.00031	0.00660	0.00019	$246 \pm 98$	137 ± 7	$130 \pm 2$	133 ± 4
HL358-25	124.27	115.23	3.357995	1.08	0.05011	0.00303	0.14060	0.00836	0.02036	0.00032	0.00669	0.0002	$200 \pm 107$	134 ±7	$130 \pm 2$	135 ± 4
HL358-26	245.64	173.87	5.310278	1.41	0.04495	0.0022	0.12382	0.00594	0.01998	0.00028	0.00645	0.00016		119 ± 5	128 ± 2	130 ± 3
HL358-27	346.11	225.49	7.135263	1.53	0.05174	0.00225	0.14202	0.00601	0.01991	0.00029	0.00660	0.00017	$274 \pm 70$	135 ± 5	127 ±2	133 ± 3
HL358-28	82.20	105.27	2.825193	0.78	0.04928	0.00318	0.13520	0.00860	0.01990	0.00031	0.00704	0.00022	$161 \pm 115$	129 ± 8	127 ±2	142 ± 4

	元素	€含量((μg⁄	⁄g))			同位素比值						同位素年龄(Ma)						
测点编号	Th	U	U	U	Pb	Th/U	n( <sup>207</sup> Pb)	√n( <sup>206</sup> Pb)	<i>n</i> ( <sup>207</sup> Pb)	/n( <sup>235</sup> U)	<i>n</i> ( <sup>206</sup> Pb)	∕n( <sup>238</sup> U)	n( <sup>208</sup> Pb).	$/n(^{232}\text{Th})$	$\frac{n({}^{207}{\rm Pb})}{n({}^{206}{\rm Pb})}$	$\frac{n({}^{207}\text{Pb})}{n({}^{235}\text{U})}$	$\frac{n({}^{206}\text{Pb})}{n({}^{238}\text{U})}$	$\frac{n(^{208}\mathrm{Pb})}{n(^{232}\mathrm{Th})}$
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ		
HL358-29	325.43	203.69	6.55885	1.60	0.04795	0.00197	0.13356	0.00537	0.02021	0.00028	0.00656	0.00016	97 ± 66	127 ± 5	129 ± 2	132 ± 3		
HL358-30	206.16	116.8	3.854308	1.77	0.04928	0.00281	0.13632	0.00763	0.02007	0.00030	0.00645	0.00017	$161 \pm 100$	$130 \pm 7$	128 ± 2	130 ± 3		
							霏细	斑岩(HL12	2-357)									
HL357-01	235.95	136.11	4.649726	1.73	0.04821	0.00288	0.13254	0.00777	0.01994	0.00031	0.00652	0.00014	110 ± 102	126 ± 7	127 ± 2	131 ± 3		
HL357-02	170.84	105.99	3.47871	1.61	0.04839	0.00334	0.13105	0.00892	0.01965	0.00031	0.00642	0.00015	118 ± 123	125 ± 8	125 ± 2	129 ± 3		
HL357-03	154.43	116.83	3.689835	1.32	0.04795	0.00327	0.13234	0.0089	0.02002	0.00031	0.00663	0.00016	97 ± 121	126 ± 8	128 ± 2	134 ± 3		
HL357-04	170.39	111.19	3.690582	1.53	0.05328	0.00417	0.14352	0.01093	0.01954	0.00041	0.00699	0.00020	341 ± 135	136 ± 10	125 ± 3	141 ± 4		
HL357-05	195.79	145.66	4.616894	1.34	0.04680	0.00239	0.13126	0.00661	0.02035	0.00028	0.00637	0.00013	39 ± 83	125 ± 6	$130 \pm 2$	128 ± 3		
HL357-06	270.8	200.12	6.366048	1.35	0.05076	0.00221	0.14018	0.00597	0.02004	0.00028	0.00662	0.00014	$230 \pm 72$	133 ± 5	128 ± 2	133 ± 3		
HL357-07	321.80	183.93	6.25351	1.75	0.05157	0.00232	0.14208	0.00622	0.01999	0.00029	0.00631	0.00013	266 ± 74	135 ± 6	128 ± 2	127 ± 3		
HL357-08	282.64	201.24	6.440651	1.40	0.04813	0.00206	0.13271	0.00557	0.02000	0.00027	0.00657	0.00013	106 ± 71	127 ± 5	128 ± 2	132 ± 3		
HL357-09	292.23	158.54	5.491942	1.84	0.05329	0.00291	0.14371	0.00766	0.01956	0.00031	0.00655	0.00014	341 ± 92	136 ± 7	125 ± 2	132 ± 3		
HL357-10	178.96	113.41	3.784995	1.58	0.04832	0.00664	0.13392	0.01812	0.02011	0.00054	0.00659	0.00026	115 ± 241	$128 \pm 16$	128 ± 3	133 ± 5		
HL357-11	215.81	142.48	4.680476	1.51	0.05126	0.00299	0.14072	0.00808	0.01992	0.00029	0.00664	0.00014	253 ± 105	134 ± 7	127 ±2	134 ± 3		
HL357-12	179.56	133.16	4.287892	1.35	0.05537	0.00290	0.15185	0.00776	0.01990	0.00031	0.00696	0.00016	427 ± 86	144 ± 7	127 ±2	140 ± 3		
HL357-13	251.88	143.37	4.78402	1.76	0.04816	0.00261	0.13084	0.00695	0.01971	0.00029	0.00616	0.00013	107 ± 92	$125 \pm 6$	126 ± 2	124 ± 3		
HL357-14	321.51	154.97	5.498427	2.07	0.04880	0.00286	0.13149	0.00757	0.01955	0.00030	0.00627	0.00013	138 ± 102	125 ±7	$125 \pm 2$	126 ± 3		
HL357-15	168.28	117.95	3.82506	1.43	0.05118	0.00587	0.13697	0.01549	0.01941	0.00037	0.00611	0.00008	249 ± 259	$130 \pm 14$	124 ± 2	123 ± 2		
HL357-16	251.46	141.65	4.681557	1.78	0.05339	0.00311	0.14389	0.00818	0.01955	0.00032	0.00598	0.00014	345 ± 99	137 ± 7	$125 \pm 2$	121 ± 3		
HL357-17	323.08	200.88	6.438718	1.61	0.05354	0.00227	0.14413	0.00597	0.01953	0.00027	0.00602	0.00012	$352 \pm 68$	137 ± 5	125 ± 2	121 ± 2		
HL357-18	258.3	161.89	5.599483	1.60	0.04605	0.00208	0.12382	0.00538	0.01950	0.00024	0.00635	0.00012		119 ± 5	125 ± 2	128 ± 2		
HL357-19	206.54	119.52	4.038135	1.73	0.06262	0.00388	0.17015	0.01022	0.01971	0.00037	0.00635	0.00017	695 ± 96	$160 \pm 9$	126 ± 2	128 ± 3		
HL357-20	284.57	158.69	5.248163	1.79	0.05175	0.00286	0.13679	0.00740	0.01918	0.00030	0.00617	0.00014	274 ±95	$130 \pm 7$	$122 \pm 2$	124 ± 3		
HL357-21	249.62	180.36	5.610889	1.38	0.04605	0.00240	0.12178	0.00615	0.01918	0.00025	0.00621	0.00011		$117 \pm 6$	122 ± 2	125 ± 2		
HL357-22	219.27	138.45	5.259222	1.58	0.04909	0.00486	0.13441	0.01315	0.01986	0.00031	0.00628	0.00008	152 ± 222	$128 \pm 12$	127 ±2	127 ± 2		
HL357-23	174.73	126.6	4.184939	1.38	0.06508	0.00391	0.17752	0.01042	0.01979	0.00033	0.00735	0.00018	777 ±95	166 ± 9	126 ± 2	148 ± 4		
HL357-24	156.93	119.83	3.7926	1.31	0.04853	0.00312	0.13553	0.00855	0.02026	0.00033	0.00661	0.00017	125 ± 111	129 ±8	129 ± 2	133 ± 3		
HL357-25	150.43	117.18	3.665667	1.28	0.04990	0.00329	0.13781	0.00894	0.02004	0.00032	0.00663	0.00017	190 ± 118	131 ±8	128 ± 2	134 ± 3		
HL357-26	264.45	147.36	4.991737	1.79	0.05060	0.00261	0.13875	0.00702	0.01989	0.00029	0.00619	0.00013	$223 \pm 90$	$132 \pm 6$	127 ±2	125 ± 3		
HL357-27	225.48	136.8	4.42047	1.65	0.04881	0.00356	0.13124	0.00940	0.01951	0.00034	0.00611	0.00016	139 ± 128	125 ±8	125 ± 2	123 ± 3		
HL357-28	195.73	136.58	4.325837	1.43	0.05154	0.00291	0.13914	0.00769	0.01958	0.00031	0.00653	0.00016	265 ± 98	132 ± 7	125 ± 2	132 ± 3		

	元素	【含量((μg/	′g))		同位素比值						同位素年龄(Ma)					
测点编号	Th	U	Pb	Th/U	n( <sup>207</sup> Pb)	∕n( <sup>206</sup> Pb)	<i>n</i> ( <sup>207</sup> Pb)	/n( <sup>235</sup> U)	<i>n</i> ( <sup>206</sup> Pb)	∕n( <sup>238</sup> U)	n( <sup>208</sup> Pb)	$/n(^{232}\text{Th})$	$\frac{n(^{207}\mathrm{Pb})}{n(^{206}\mathrm{Pb})}$	$\frac{n(^{207}{\rm Pb})}{n(^{235}{\rm U})}$	$\frac{n({}^{206}\text{Pb})}{n({}^{238}\text{U})}$	$\frac{n(^{208} \text{Pb})}{n(^{232} \text{Th})}$
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ	测值 ±1σ
HL357-29	234.18	152.18	5.019177	1.54	0.04892	0.00269	0.13439	0.00729	0.01993	0.00028	0.00667	0.00014	144 ± 97	128 ± 7	127 ± 2	134 ± 3
HL357-30	198.81	121.72	4.114296	1.63	0.04860	0.00292	0.13483	0.00796	0.02013	0.00030	0.00664	0.00014	129 ± 105	128 ± 7	128 ± 2	134 ± 3
	1	1				1	流线	纹岩(HL-1	110)	1	1		1		1	
HL1110-01	135.74	107.39	3.393079	1.26	0.04795	0.00363	0.14190	0.01060	0.02147	0.00036	0.00705	0.00022	97 ± 134	135 ± 9	137 ± 2	142 ± 4
HL1110-02	303.96	157.64	5.094681	1.93	0.04963	0.00274	0.13106	0.00706	0.01916	0.00031	0.00621	0.00014	178 ± 94	$125 \pm 6$	122 ± 2	125 ± 3
HL1110-03	224.48	167.56	4.876259	1.34	0.04905	0.00339	0.13204	0.00902	0.01953	0.00030	0.00628	0.00017	$150 \pm 125$	$126 \pm 8$	125 ± 2	127 ± 3
HL1110-04	631.08	277.47	9.860993	2.27	0.04898	0.00168	0.13296	0.00444	0.01969	0.00026	0.00642	0.00011	147 ± 53	$127 \pm 4$	126 ± 2	129 ± 2
HL1110-05	175.84	123.11	3.675265	1.43	0.04780	0.00315	0.12764	0.00827	0.01937	0.00031	0.00654	0.00017	89 ±114	$122 \pm 7$	124 ± 2	132 ± 3
HL1110-06	245.69	168.97	5.115288	1.45	0.04824	0.00294	0.13082	0.00782	0.01968	0.00031	0.00650	0.00016	111 ± 104	$125 \pm 7$	126 ± 2	131 ± 3
HL1110-07	281.24	164.95	5.077193	1.71	0.04875	0.00275	0.12758	0.00703	0.01899	0.00031	0.00624	0.00015	136 ± 95	$122 \pm 6$	121 ± 2	126 ± 3
HL1110-08	162.12	105.51	3.224029	1.54	0.04804	0.00451	0.13019	0.01209	0.01966	0.00034	0.00633	0.00018	$101 \pm 174$	$124 \pm 11$	$126 \pm 2$	128 ± 4
HL1110-09	293.65	167.44	5.23499	1.75	0.04846	0.00411	0.12880	0.01081	0.01928	0.00031	0.00618	0.00016	122 ± 157	$123 \pm 10$	123 ± 2	125 ± 3
HL1110-10	156.38	116.78	3.391818	1.34	0.04890	0.00352	0.13028	0.00918	0.01933	0.00035	0.00640	0.00020	143 ± 125	$124 \pm 8$	123 ± 2	129 ± 4
HL1110-11	641.57	316.68	10.19072	2.03	0.04727	0.00166	0.12546	0.00430	0.01926	0.00025	0.00581	0.00011	$63 \pm 54$	$120 \pm 4$	123 ± 2	117 ±2
HL1110-12	342.49	218.49	6.503973	1.57	0.04830	0.00296	0.12649	0.00765	0.01900	0.00028	0.00615	0.00014	$114 \pm 108$	$121 \pm 7$	121 ± 2	124 ± 3
HL1110-13	223.46	156.43	4.512844	1.43	0.04816	0.00264	0.12906	0.00694	0.01944	0.00030	0.00580	0.00015	107 ± 92	$123 \pm 6$	124 ± 2	117 ± 3
HL1110-14	150.23	103.59	3.084783	1.45	0.04725	0.00468	0.1282	0.01258	0.01969	0.00036	0.00620	0.00020	62 ± 184	$122 \pm 11$	126 ± 2	125 ± 4
HL1110-15	184.38	118.39	3.495313	1.56	0.04950	0.00321	0.12991	0.00823	0.01904	0.00034	0.00598	0.00017	172 ± 111	$124 \pm 7$	122 ± 2	121 ± 3
HL1110-16	148.96	118.81	3.289008	1.25	0.04875	0.00561	0.12811	0.01439	0.01907	0.00053	0.00599	0.00032	136 ± 199	$122 \pm 13$	$122 \pm 3$	121 ± 6
HL1110-17	324.65	202.46	6.034872	1.60	0.04870	0.00416	0.12769	0.01070	0.01902	0.00038	0.00604	0.00019	$133 \pm 150$	$122 \pm 10$	121 ± 2	122 ± 4
HL1110-18	228.65	163.13	4.83885	1.40	0.04900	0.00331	0.13044	0.00861	0.01931	0.00036	0.00658	0.00020	$148 \pm 114$	$124 \pm 8$	123 ± 2	133 ±4
HL1110-19	470.88	523.14	12.17828	0.90	0.04747	0.00148	0.11364	0.00346	0.01737	0.00022	0.00552	0.00012	73 ± 48	$109 \pm 3$	111 ± 1	111 ± 2
HL1110-20	159.69	109.91	3.29416	1.45	0.04891	0.00412	0.13093	0.01087	0.01942	0.00035	0.00647	0.0002	144 ± 152	$125 \pm 10$	124 ± 2	130 ± 4
HL1110-21	148.64	100.36	3.031277	1.48	0.04837	0.00631	0.12768	0.01641	0.01915	0.00050	0.00670	0.00029	117 ± 233	$122 \pm 15$	$122 \pm 3$	135 ± 6
HL1110-22	128.17	94.06	2.732186	1.36	0.04845	0.00382	0.12996	0.01008	0.01946	0.00035	0.00621	0.00020	$121 \pm 140$	$124 \pm 9$	124 ± 2	125 ± 4
HL1110-23	246.68	140.42	4.401125	1.76	0.04827	0.00399	0.12706	0.01028	0.01910	0.00039	0.00632	0.00020	113 ± 142	121 ±9	122 ± 2	127 ±4
HL1110-24	370.12	224.69	6.84435	1.65	0.04920	0.00586	0.12996	0.01533	0.01916	0.00039	0.00617	0.00020	157 ± 224	$124 \pm 14$	122 ± 2	124 ± 4
HL1110-25	419.25	330.79	9.16332	1.27	0.04816	0.00325	0.12797	0.00850	0.01928	0.00030	0.00579	0.00017	107 ± 119	122 ± 8	123 ± 2	117 ± 3
HL1110-26	195.46	127.08	3.913785	1.54	0.04698	0.00310	0.12867	0.00835	0.01987	0.00032	0.00636	0.00016	48 ± 111	123 ± 8	127 ± 2	128 ± 3
HL1110-27	204.3	135.32	4.018273	1.51	0.04888	0.00349	0.12930	0.00905	0.01919	0.00035	0.00621	0.00019	142 ± 123	123 ± 8	123 ± 2	$125 \pm 4$
HL1110-28	208.45	140.71	4.213391	1.48	0.04849	0.00300	0.13028	0.00787	0.01949	0.00034	0.00629	0.00018	123 ± 103	$124 \pm 7$	124 ± 2	127 ±4
HL1110-29	216.75	136.61	4.192674	1.59	0.04902	0.00284	0.13043	0.00742	0.0193	0.00031	0.00646	0.00016	$149 \pm 100$	124 ± 7	123 ± 2	$130 \pm 3$
HL1110-30	166.6	121.51	3.622731	1.37	0.04931	0.00519	0.13111	0.01362	0.01929	0.00041	0.00685	0.00023	163 ± 193	$125 \pm 12$	123 ± 3	138 ± 5





图 5 怀宁盆地火山岩/潜火山岩中锆石的 n(<sup>206</sup> Pb)/n(<sup>238</sup> U)-n(<sup>207</sup> Pb)/n(<sup>235</sup> U)谐和图

Fig. 5 Concordia diagrams of  $n (^{206} \text{ Pb})/n (^{238} \text{ U}) - n(^{207} \text{Pb})/n(^{235} \text{U})$  for zircons from the volcanic/subvolcanic rocks in the Huaining basin

样品 HL-1110 采自盆地的南缘(坐标:N30° 19.475′,E116°23.394′),位于江镇组的顶部,岩性 为流纹岩。该样品中的锆石形态呈半自形—他形粒 状。CL 图像显示,该样品中的锆石内部结构复杂, 部分发育有密切的生长环带,但大多数颗粒仅见有稀疏的直纹或颜色深浅不同的不规则色块,部分颗粒内部有其他矿物包裹体(图4)。本次研究共对该样品中的30个锆石颗粒进行了年龄测定,其中分析点1的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄为137±2 Ma明显高于其它颗粒。分析点19的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄为111±1 Ma,明显低于其它颗粒。其余28个颗粒的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄比较集中,介于121~127Ma之间(表2),且都位于n(<sup>206</sup>Pb)/n(<sup>238</sup>U)—n(<sup>207</sup>Pb)/n(<sup>235</sup>U) 谐和线上,它们的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为123.5±0.7 Ma(图5c)。该年龄与我们早先在怀宁火山岩盆地东部获得的江镇组流纹岩的LA-ICP MS 锆石U-Pb年龄(122.3±0.7 Ma)在误差范围内一致,进一步证实怀宁盆地是长江中下游火山岩盆地中火山作用结束最晚的一个。

## 4 讨论

区域地质显示,长江中下游地区在印支期一早 燕山期,由于受南、北陆块的相向推挤,曾发生过陆 内造山导致岩石圈显著加厚(朱光等,2000)。表现 在前陆盖层变形呈现出特征性的南北对冲的构造格 局,大致以长江为界,北部的逆冲推覆构造系统主要 呈向南的运动,而南部的逆冲推覆构造系统主体为 向北运动,锋带大致沿鄂东南一苏皖长江南岸一线 展布(张德民等,1996;朱光等,1999)。长江中下游 地区普遍缺少上侏罗统地层也证明晚侏罗世区内存 在着明显的地壳加厚和隆升剥蚀过程。在约(150 Ma前后,区内进入挤压后的应力松弛池状态,加厚 的岩石圈开始发生部分熔融,形成高锶低钇的中酸 性岩(Aidakitic)母岩浆(王强等,2003,2004;王元龙 等,2004;蒋少涌等,2008),它们(可能还混合了部 分富集型的陆下岩石圈地幔部分熔融形成的岩浆) 在上升过程中不同程度地受到了上部地壳物质的混 染,这些经历过复杂演化过程的岩浆侵入到地壳浅 部,形成各类具高锶低钇的中酸性岩(Aidakitic)质 特征的浅成——超浅成侵入体及矽卡岩型——斑岩型 Cu—Au 成矿作用。该过程的岩浆—成矿事件可能 一直持续到约135 Ma。

约134~128 Ma,区内进入明显的拉张构造状态,并发育了一系列断陷型的火山岩盆地,其中岩石系列与怀宁盆地类似,主要发育橄榄玄粗岩系列(shoshonite)的还有庐枞盆地(刘洪等,2002;谢智等,2007;薛怀民等,2010a;WangQiangetal.,

#### 表 3 长江中下游橄榄玄粗岩系列火山岩盆地的同位素年龄

#### Table 3 Geochronological data for the volcanic rocks/subvolcanic or hypabyssal intrusions in

the volcanic basins in the Middle-Lower Yangtze River Reaches

火山岩盆地	组/潜火山岩/岩体	岩性	年龄(Ma)	分析方法	资料来源		
			131 ± 4	SHRIMP 锆石 U-Pb	张旗等,2003		
		角闪粗安岩	134.1 ±1.1	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2015		
	龙王山组火山岩		134.8 ±1.3	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2011		
		???	$134.0 \pm 2.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	王丽娟等,2014		
			$127 \pm 3$	SHRIMP 锆石 U-Pb	张旗等,2003		
			$130.3 \pm 0.9$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	侯可军等,2010		
	大王山组火山岩	安山岩	$132.2 \pm 1.6$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2011		
			$131.4 \pm 1.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	王丽娟等,2014		
	大王山组潜火山岩(阴山岩体)		127.8 ±1.8	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2010b		
	大王山组潜火山岩(吉山岩体)		$128.2 \pm 1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	侯可军等,2010		
	大王山组潜火山岩(凹山岩体)		$131.7 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	大王山组潜火山岩(凹山岩体)		$126.1 \pm 0.5$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	段超等,2011		
	大王山组潜火山岩(凹山岩体)		$130.2 \pm 2$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	大王山组潜火山岩(陶村岩体)	辉石闪长玢岩	$130.7 \pm 1.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	大王山组潜火山岩(和尚桥岩体)		131.1 ±1.5	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	大王山组潜火山岩(东山岩体)		131.1 ± 3.1	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	范裕等,2010		
	大王山组潜火山岩(白象山岩体)		$130 \pm 1.4$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
宁芜地区	大王山组港火山岩(和睦山岩体)		$131.1 \pm 1.9$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
1 /0-01	大王山组潜火山岩(姑山岩体)		$129.2 \pm 1.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
		相安岩	$128.2 \pm 1.3$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	侯可军等.2010		
	姑山组火山岩	安山岩	$129.5 \pm 0.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等.2011		
		29.1	$128.9 \pm 1.1$	SHRIMP 锆石 U-Pb	///////////////////////////////////////		
			$129.8 \pm 1.1$	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民(未发表)		
	娘娘山组火山岩	娘娘山组火山岩	$130.6 \pm 1.1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
			$126.6 \pm 1.1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等.2011		
	浅成侵入体(姑山岩体)	黑云母花岗岩	129.8 ± 1.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		
	浅成侵入体(生迹山岩体)	花岗斑岩	$128 \pm 1.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	浅成侵入体(霍里岩体)	文象花岗岩	$126.4 \pm 1.3$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	袁峰等.2011		
	浅成侵入体(小石山岩体)	石英正长岩	$130.1 \pm 1.5$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	浅成侵入体(娘娘山岩体)	碱长花岗岩	$128.3 \pm 1.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	浅成侵入体(朱门岩体)	花岗斑岩	127.1 ±1.2	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	浅成侵入体(石山岩体)	斜长花岗岩	$128.3 \pm 0.6$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	侯可军等,2010		
	白象山铁矿		130.7 ±1.1	金云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 坪年龄			
	和睦山铁矿		$129.1 \pm 0.9$	金云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 坪年龄	范裕等,2011		
	陶村铁矿		129.3 1.1	全云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 坪年龄			
			131.1 ±1.1	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2012		
	龙门院组火山岩	角闪粗安岩	134.8 ±1.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2008		
		角闪粗安玢岩	132 ± 1	SHRIMP 锆石 U-Pb	Xue et al. , 2015		
	龙门院组潜火山岩(黄屯岩体)	闪长玢岩	$134.4 \pm 2.2$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2010		
			132.8 ± 2.4	SHRIMP 锆石 U-Pb			
	砖桥组	辉石粗安岩	$132.9 \pm 0.8$	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2012		
			134.1 ±1.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2008		
亡用八日	砖桥组潜火山岩		131 ± 1	SHRIMP 锆石 U-Pb	Xue et al. , 2015		
炉枞盆地	砖桥组潜火山岩(罗河铁矿)	1077	133.3 ±0.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	砖桥组潜火山岩(罗河铁矿)	<b>旌</b> 石租安坋宕	133.2 ±1.1	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	曾键年等.2010		
	砖桥组潜火山岩(泥河铁矿)		132.8 ± 2.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb			
	砖桥组潜火山岩(井边铜矿)	127 . 1. 20. 11	133.2 ±1.7	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	北丘油体 2010		
	砖桥组潜火山岩(井边铜矿)	安田 坋岩	133.3 ± 8.3	包裹体 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 等时线	₭朱骏等,2010		
	<u>जत</u> मे≥क्रम 11. 10	水口 코 : → - ト 니니	130.1 ±1.2	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2012		
	双庙组火山若	租田幺武石	$130.5 \pm 0.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2008		
	浮山组火山岩	粗面岩	127.1 ±1.2	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2008		

	浮山组潜火山岩	粗面斑岩	127.2 ±1.3	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2012	
_	浮山组潜火山岩(土地山岩体)	石英正长斑岩	$127.4 \pm 2.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	国法坐竺 2010	
	浮山组潜火山岩(小岭岩体)	正长岩	$126.2 \pm 1.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	<b>向</b> 海反寺,2010	
	浅成侵入体(枞阳卧龙岩体)	霓辉石正长岩	$129.6 \pm 0.8$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	曾键年等,2010	
	淡虎俱之 <b>体</b> (投黄山电体)	正长斑岩	129.7 ±1.4	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	曾键年等,2010	
	浅成位入体(拔矛山石体)	二长岩	$132.7 \pm 1.9$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2010	
			131 ± 1.1	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2010b	
庐枞盆地	浅成侵入体(巴家滩岩体)	二长岩	$133.5 \pm 0.6$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2007	
			$128.6 \pm 0.7$	黑云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 坪年龄	周涛发等,2007	
	· 本月1日(台)		131.5 ±1.6	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民等,2010b	
	浅成侵入体(焦冲石体)		129.6±1.3	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	周涛发等,2010	
	浅成侵入体(岳山岩体)	二长斑岩	132.7 ±1.5	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb		
	浅成侵入体(尖山岩体)	黑云母二长岩	132 ± 1.3	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	用法心体 2010	
	浅成侵入体(谢瓦泥岩体)	辉石二长岩	131.6±1.1	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	向涛友寺,2010	
	浅成侵入体(龙桥岩体)	二长岩	131.1 ±2.2	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb		
	龙王山组火山岩	角闪粗安岩	128.7 ±1.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	禹尧等,2009	
溧水盆地	龙王山组	角闪粗安岩	129.7 ±1.5	SHRIMP 锆石 U-Pb	まに口体 2015	
	大王山组潜火山岩	辉石闪长玢岩	127.2 ±1.2	SHRIMP 锆石 U-Pb		
		بالربخي بعلان	131.6±0.6	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	まに日本 2012	
		祖安宕	129.4 ±1.6	SHRIMP 锆石 U-Pb		
	彭家口组火山岩/潜火山岩	粗面岩	128.7 ±0.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	Lot make	
怀宁盆地		霏细斑岩	$126.3 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	本次 研究	
		凝灰岩	130.0±1.7	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	闫峻等,2013	
		流纹岩	$122.3 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	薛怀民等,2013	
	11111111111111111111111111111111111111	流纹岩	$123.5 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	本次研究	
	中分村组	流纹岩	134.4 ± 2.9	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	袁峰等,2010	
	中分村组	流纹岩	131.2 ±1.1	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	刘春等,2012	
一般日公正	中分村组	流纹岩	129.1 ±1.3	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	刘春等,2012	
紊百盆地	赤沙组		131.3 ±1.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	袁峰等,2010	
	蝌蚪山组		$130.7 \pm 1.1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	闫峻等,2009	
	蝌蚪山组		$130.8 \pm 2.2$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	袁峰等,2010	
	灵乡组		128 ± 1	SHRIMP 锆石 U-Pb	Xie et al. , 2011	
	大寺组		$127 \pm 2$	SHRIMP 锆石 U-Pb	Xie et al. , 2011	
人生分地	大寺组		$125 \pm 2$	SHRIMP 锆石 U-Pb	Xie et al. , 2011	
金十盆地	大寺组	英安岩	128 ± 3	SHRIMP 锆石 U-Pb	谢桂青等,2006	
		流纹斑岩	$128 \pm 1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	李瑞玲等,2012	
		花岗斑岩	$129 \pm 1$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	李瑞玲等,2012	
324 11 75 11	黄石坝组	粗安岩	128 ± 1	SHRIMP 锆石 U-Pb	马芳等,2011	
<b>陟</b> 川 益 地	黄石坝组		$132 \pm 116$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	谢成龙等,2007	
	龙王山组		$140.0 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	薛怀民,2016	
洒阳谷山	大王山组		129.1 ± 1.1	SHRIMP 锆石 U-Pb	薛怀民,2016	
保阳益地	大王山组		$132.3 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	薛怀民,2016	
	大王山组		$132.5 \pm 0.7$	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	薛怀民,2016	

2006)、宁芜盆地(薛怀民等,1989;王元龙等,2001) 和溧水盆地(李超文等,2004;Zhou Jincheng et al., 1994,1996)。另外几个盆地(金牛盆地、繁昌盆地、 滁州盆地、溧阳盆地)内的火山岩则属于高钾钙碱 性系列(闫峻等,2005;谢桂青等,2006;谢成龙等, 2009;马芳等,2011;薛怀民等,2016)。对于这些盆 地内火山活动的时代,近几年有了大量精确的同位 素年龄资料发表(表3),为我们勾画火山作用的迁 移规律提供了可能。总结这些年龄资料可以发现, 长江中下游地区最早的火山活动(约140 Ma)出现 在火山岩带东南缘的溧阳盆地内(薛怀民等, 2016),明显早于其他盆地内火山活动的起始时间 (6~10 Ma);而最晚的火山活动(约123 Ma)仅限 于火山岩带西北缘的怀宁盆地内,明显晚于其他盆 地内火山活动的结束时间(约5 Ma);其他盆地内火 山活动的时间主要介于134~128 Ma之间,显示整 个长江中下游地区晚中生代的火山活动随时间有从 东向西迁移的趋势。另一方面,除了溧阳盆地最早 和怀宁盆地最晚的这两期火山活动外,整个长江中 下游地区晚中生代火山活动持续的时间较短,介于 134~128 Ma之间,其中约134 Ma的火山活动仅出 现在火山岩带中部的庐枞盆地和宁芜盆地内(这些 橄榄玄粗岩系列火山岩盆地处在长江中下游地区地 壳最薄的地区,薛怀民等,2015),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, 隐约显示火山活动中心地带起始得略早,随时间逐 渐扩展到周边的趋势。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,其减薄时间可能对 应着火山活动的峰期时间。

需要特别指出的是,怀宁盆地(以及长江中下 游其他火山岩盆地)内的火山杂岩普遍表现出明显 亏损 Ta、Nb、Ti, 明显富集 LILE 和 LREE, 这些都是 大陆边缘弧岩浆的标志性地球化学特征。邻近的庐 枞火山岩盆地内及其南缘富钾岩浆岩的岩石组合和 地球化学特征也明显指向存在俯冲带环境的信息 (薛怀民等,2016)。另一方面,长江中下游地区晚 中生代岩浆岩以中性--中酸性偏碱性的浅成侵入岩 (二长闪长岩、二长岩、正长岩、石英二长岩、石英闪 长岩、石英正长岩等)及相应成分的火山岩为主,少 量基性和酸性岩类。岩石系列包括钙碱性系列和橄 榄玄粗岩系列,岩石构造组合与成熟的大陆边缘岩 浆弧的情况(邓晋福等,2015)具有可比性。我们倾 向于认为,长江中下游地区晚中生代岩浆岩所反映 出的大陆岩浆弧的属性并不代表其形成时的构造环 境,而是代表岩浆源区曾经具有的构造属性。结合 岩石的 Nd 同位素模式年龄,推测扬子地块北缘的 俯冲作用发生在古元古代晚期,扬子地块北缘普遍 存在的上地幔富集现象可能就与该古老的俯冲作用 有关。

# 5 结论

(1)怀宁盆地是个复合型的火山岩盆地,以橄榄玄粗岩系列为主,晚期出现高钾钙碱性系列的玄武质一流纹质双峰式岩石组合。该盆地内的火山作用是长江中下游地区晚中生代火山岩盆地中最晚结束的一个,晚于其他火山岩盆地约6 Ma。

(2)整个长江中下游火山岩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。

#### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 常印佛, 董树文. 1996. 论中一下扬子"一盖多底" 格局与演化.火山地质与矿产, 17(1/2): 1~15.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015a. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质 论评, 61(3): 473~485.
- 段超,毛景文,李延河,侯可军,袁顺达,张成,刘佳林. 2011. 宁 芜盆地凹山铁矿床辉长闪长玢岩和花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质学报,85(7):1159~1171.
- 范裕,周涛发,袁峰,张乐骏,钱兵,马良,David. 2010. 宁芜盆地 闪长玢岩的形成时代及对成矿的指示意义. 岩石学报,26(9): 2715~2728.
- 范裕,周涛发,袁峰,张乐骏,钱兵,马良,谢杰,杨西飞. 2011. 宁 芜盆地玢岩型铁矿床的成矿时代:金云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年代 学研究. 地质学报,85(5):810~820.
- 高晓峰,郭锋,李超文,蔡观强. 2007. 溧水盆地两类晚中生代中酸 性火山岩的岩石成因. 岩石矿物学杂志, 26(1): 1~12.
- 侯可军, 袁顺达. 2010. 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. 岩石学报, 26(3):888 ~ 902.
- 蒋少涌,李亮,朱碧,丁昕,姜耀辉,顾连兴,倪培. 2008. 江西武 山铜矿区花岗闪长斑岩的地球化学和 Sr—Nd—Hf 同位素组成 及成因探讨. 岩石学报,24(8):1679~1689.
- 李超文,郭锋,李晓勇. 2004. 深水盆地晚中生代基性火山岩成因 与深部动力学过程探讨. 地球化学, 33(4): 361~371.
- 李瑞玲,朱乔乔,侯可军,谢桂青. 2012. 长江中下游金牛盆地花岗 斑岩和流纹斑岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意 义. 岩石学报,28(10):3347~3360.
- 刘春, 闫峻, 宋传中, 李全忠, 彭戈, 史磊, 刘晓强. 2012. 长江中 下游繁昌盆地火山岩年代学和地球化学: 岩石成因和地质意 义. 岩石学报, 28(10): 3228~3240.
- 刘洪,邱检生,罗清华,徐夕生,凌文黎,王德滋.2002. 安徽庐枞 中生代富钾火山岩成因的地球化学制约.地球化学,31(2): 129~140.
- 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. 2003. 深地震反射剖面揭示铜陵矿集区复杂地壳 结构形态.中国科学(D辑),33(5):442~449.
- 马芳,薛怀民. 2011. 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. 岩石矿物学杂志, 30(5):924 ~ 934.
- 王丽娟,王汝成,于津海,杨颖鹤,黄建平. 2014. 宁芜盆地火山— 侵入岩的时代、地球化学特征及其地质意义. 地质学报, 88(7): 1247~1272.
- 王强,许继峰,赵振华,等. 2003. 安徽铜陵地区燕山期侵入岩的成因及其对深部动力学过程的制约. 中国科学(D辑),33(4): 323~334。
- 王强,赵振华,许继峰,白正华,王建新,刘成新.2004.鄂东南铜山口、殷祖埃达克质(adakitic)侵入岩的地球化学特征对比: (拆沉)下地壳熔融与斑岩铜矿的成因.岩石学报,20(2):351~360。

- 王元龙,张旗,王焰. 2001. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. 岩石学报,17(4):565~575.
- 王元龙, 王焰, 张旗, 等. 2004. 铜陵地区中生代中酸性侵入岩的地 球化学特征及其成矿——地球动力学意义. 岩石学报, 20(2): 325~338。
- 夏邦栋,李培军. 1996. 中国东部扬子板块同华北板块在中一晚三 叠世拼接的沉积学证据. 沉积学报,14(1):12~21.
- 谢成龙,朱光,牛漫兰,王勇生.2007. 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.地质论评,53(5): 642~655.
- 谢成龙,朱光,牛漫兰,柳小明.2009. 滁州火山岩地球化学及其对 郯庐断裂带内岩石圈减薄的指示.岩石学报,25(1):92~108.
- 谢桂青,毛景文,李瑞玲,周少东,叶会寿,闫全人,张祖送. 2006. 长江中下游鄂东南地区大寺组火山岩 SHRIMP 定年及其意义. 科学通报,51(19):2283~2291.
- 谢智,李全忠,陈江峰,高天山. 2007. 庐枞早白垩世火山岩的地球 化学特征及其源区意义. 高校地质学报,13(2):235~249.
- 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. 江苏地质, 1989, (4):9~14.
- 薛怀民,董树文,马芳.2010a.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.地质学报,84(5):664~681.
- 薛怀民,董树文,马芳. 2010b. 长江中下游地区庐(江)一枞(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. 岩石学报,26(9):2653~2664.
- 薛怀民,董树文,马芳. 2012. 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. 地质学报,86(10):1569~1583.
- 薛怀民,马芳,关海燕,王一鹏. 2013. 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. 中国地质, 40(3):396~416.
- 薛怀民,马芳,曹光跃.2015. 长江中下游地区晚中生代橄榄玄粗 岩系列火山岩:年代学格架、地球化学特征及成因讨论.地质学 报,89(8):1380~1401.
- 薛怀民. 2016. 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. 地球化学,45(3):213~234.
- 薛怀民,马芳,曹光跃,王一鹏,郭秀艳. 2016. 长江中下游庐枞火 山岩盆地南侧钾质侵入岩带的成因. 地质学报(待刊)
- 闫峻,陈江峰,谢智,杨刚,喻钢,钱卉. 2005.长江中下游地区蝌 蚪山晚中生代玄武岩的地球化学研究:岩石圈地幔性质与演化 的制约.地球化学,34(5):455~469.
- 闫峻,刘海泉,宋传中,徐夕生,安亚军,刘佳,戴立群. 2009. 长 江中下游繁昌一宁芜火山盆地火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地 质意义.科学通报,54(12):1716~1724.
- 闫峻, 史磊, 李全忠, 刘建敏, 刘晓强, 姜子朝. 2013. 长江中下游 地区怀宁盆地火山岩锆石 LA-ICPMS 定年. 地质论评, 56(6): 1218~1226.
- 禹尧,徐夕生.2009.长江中下游地区白垩纪富碱火山岩浆作用. 地球科学——中国地质大学学报,34(1):105~116.
- 袁峰,周涛发,范裕,黄贻梅,张乐骏. 2010. 安徽繁昌盆地中生代 火山岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄及其意义. 岩石学报,26(9): 2805~2817.
- 袁峰,周涛发,范裕,张乐骏,马良,钱兵.2011. 宁芜盆地花岗岩 类的锆石 U-Pb 年龄、同位素特征及其意义. 地质学报,85(5): 821~833.
- 曾键年,覃永军,郭坤一,陈国光,曾勇. 2010. 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. 地质学报,84 (4):466~478.

- 张德民、王永、景玉龙,扬子地台北缘前陆逆冲带及其内煤田构造变 形.中国煤田地质,1996(增刊):1~5.
- 张乐骏,周涛发,范裕,袁峰,马良,钱兵.2010.安徽庐枞盆地井 边铜矿床的成矿时代及其找矿指示意义.岩石学报,26(9): 2729~2738.
- 张旗,简平,刘敦一,王元龙,钱青,王焰,薛怀民. 2003. 宁芜火 山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国科学(D),33:309~ 314.
- 周涛发, 宋明义, 范裕, 袁峰, 刘裙, 吴明安, 钱存超, 陆三明. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的年代学研究及其意义. 岩 石学报, 23(10): 2379~2386.
- 周涛发,范裕,袁峰,陆三明,尚世贵,D Cooke,S Meffre,赵国春. 2008. 安徽庐枞(庐江—枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义. 中国科学,38(11):1342~1353.
- 周涛发, 范裕, 袁峰, 宋传中, 张乐骏, 钱存超, 陆三明, David R C. 2010. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约. 岩石 学报, 26(9): 2694~2714.
- 周涛发, 范裕, 袁峰, 张乐骏, 钱兵, 马良, 杨西飞, David R C. 2011. 宁芜(南京—芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义. 中国 科学, 41(7): 960~971.
- 朱光,徐嘉炜,刘国生,李双应,虞培玉.1998. 下扬子地区沿江前 陆盆地形成的构造控制. 地质论评,44(2):120~129.
- 朱光,徐嘉炜,刘国生,李双应,虞培玉.1999.扬子地区前陆变形 构造格局及其动力学机制.中国区域地质,18(1):73~79.
- 朱光,刘国生. 2000. 皖南江南陆内造山带的基本特征与中生代造 山过程. 大地构造与成矿学, 24(2): 103~111.
- Chang Yinfo, Dong Shuwen. 1996&. On tectonics of "poly-basement with one cover" in Middle—Lower Yangtze craton, China. Volcanology & Mineral Resources, 17(1/2): 1~15.
- Chen J F, Yan J, Xie Z. 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in Eastern China: constraints on Sources. Phys. Chem. Earth, 26: 719 ~ 31.
- Deng Jinfu, Feng Yangfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015&. Magmatic arc and ocean—continent transition: discussion. Geological Review, 61 (3): 473 ~ 485.
- Duan Chao, Mao Jingwen, Li Yanhe, Hou Kejun, Yuan Shunda, Zhang Cheng, Liu Jialin. 2011&. Zircon U-Pb geochronology of the gabbro—diorite porphyry and granodiorite porphyry from the Washan iron deposit in Ningwu basin, and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 85(7): 1159~1171.
- Fan Yu, Zhou Taofa, Yuan Feng, Zhan Lejun, Qian Bin, Ma Liang. 2010&. Geochronology of the diorite porphyrites in Ning-Wu basin and their metallogenic significances. Acta Petrologica Sinica, 26 (9): 2715 ~ 2728.
- Fan Yu, Zhou Taofa, Yuan Feng, Zhan Lejun, Qian Bin, Ma Liang, Xie Jie, Yang Xifei. 2011 &. Geochronology of the porphyry-like type iron deposits in Ning-Wu basin: Evidence from <sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar phlogopite dating. Acta Geologica Sinica, 85(5): 810 ~ 820.
- Gao Xiaofeng, Guo Feng, Li Chaowen, Cai Guanqiang. 2007&. The genesis of two types of late Mesozoic intermediate—felsic volcanic rocks in Lishui basin, Lower Yangtze valley. Acta Petrologica Et Mineralogica, 26(1): 1~12.
- Hou Kejun, Yuan Shunda. 2010&. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of the volcanic and sub-volcanic rocks in the Ningwu basin and their geological implications. Acta Petrologica Sinica, 26 (3): 888 ~902.
- Jiang Shaoyong, Li Liang, Zhu Bi, Ding Xin, Jiang Yaohui, Gu

Liangxiang, Ni Pei. 2008 &. Geochemical and Sr--Nd---Hf isotopic compositions of granodiorite from the Wushan copper deposit, Jiangxi province and their implications for petrogenesis. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1679 ~ 1689.

- Le Bas M, Le Maitre R W, Streckeisen A. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based total alkali — silica diagram. Journal of Petrology, 27: 745 ~ 750.
- Li Chaowen, Guo Feng, Li Xiaoyong. 2004&. Petrogenesis and geodynamic implications of late Mesozoic mafic volcanic rocks from the Lishui basin of the Lower Yangtze region. Geochimica, 33(4): 361 ~ 371.
- Li Ruiling, Zhu Qiaoqiao, Hou Kejun, Xie Guiqing. 2012 &. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions of granite porphyry and rhyolite porphyry from Jingniu basin in the Middle—Lower Yangtze River belt and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 28(10): 3347 ~ 3360.
- Liu Chun, Yan Jun, Song Chuanzhong, Li Quanzhong, Peng Ge, Shi Lei, Liu Xiaoqiang. 2012 &. Geochronology and geochemistry of the volcanic rocks from Fanchang basin in the Middle—Lower Yangtze River: Petrogenesis and geological significance. Acta Petrologica Sinica, 28(10): 3228 ~ 3240.
- Liu Hong, Qiu Jiansheng, Lo Chinghua, Xu Xisheng, Ling Wenli, Wang Dezi. 2002&. Petrogenesis of the Mesozoic potash-rich volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province: Geochemical constraints. Geochimica, 31(2): 129 ~140.
- Lü Qingtian, Hou Zengqian, Zhao Jinhua, Shi Danian, Wu Xuanzhi, Chang Yinfo, Pei Rongfu, Huang Dongding, Kuang Chaoyang. 2003 #. Deep seismic reflection profiling revealing the complex crustal structure of the Tongling ore district. Science China (Earth Sciences), 47(3): 193 ~ 200.
- Ma Fang, Xue Huaimin. 2011 &. SHRIMP Zircon U-Pb age of the late Mesozoic volcanic rock from the Chuzhou basin, eastern Anhui Province, and their geological significances. Acta Petrologica Et Mineralogica, 30(5): 924 ~ 934.
- Peccerillo A , Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contribution to Mineralogy & Petrology, 58: 68 ~ 81.
- Wang Chunyong, Zeng Rongsheng, Mooney W D, Hacker B R. 2000. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling. J Geophys Res, 105(B5): 10857 ~ 10869.
- Wang Lijuan, Wang Rucheng, Yu Jinhai, Yang Yinghe, Huang Jianping, Zhang Shaoqin. 2014. Geochrology, geochemistry of volcanic—intrusive rocks in the Ningwu basin and its geological implications. Acta Geologica Sinica, 88(7): 1247 ~ 1272.
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xu Jifeng, Bai Zhenghua, Wang Jianxin, Liu Chengxin. 2004 &. The geochemical comparison between the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks in southeastern Hubei: (delaminated) lower crustal melting and the genesis of porphyry copper deposit. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 351 ~ 36
- Wang Qiang, Wyman D A, Xu J F, Zhao Z H, Jian P, Xiong X L, Bao Z W, Li C F, Bai Z H. 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu—Au mineralization. Lithos, 89 (3/4): 424 ~ 446.
- Wang Yuanlong, Zhang Qi, Wang Yan. 2001&. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 17(4): 565 ~ 575.

- Wang Yuanlong, Wang Yan, Zhang Qi, Jia XiuQin, Han Song. 2004 &. The geochemical characteristics of Mesozoic intermediate—acid intrusives of the Tongling area and its metallogenesis geodynamic implications. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 325 ~ 338
- Xia Bangdong, Li Peijun. 1996&. Sedimentologic evidence on the docking of Yangtse plate and North China plate in Middle—Late Triassic period in East China. Acta Sedimentologica Sinica, 14(1): 12~21.
- Xie Chenglong, Zhu Guang, Niu Manlan, Wang Yongsheng. 2007 &. LA-ICP MS zircon U-Pb ages of the Mesozoic volcanic rocks from Chuzhou area and their tectonic signif icances. Gelolgical Review, 53(5): 642~655.
- Xie Chenglong, Zhu Guang, Niu Manlan, Liu Xiaoming. 2009 &. Geochemistry of late Mesozoic volcanic rocks from Chuzhou area and its implication for the lithospheric thinning beneath the Tan-Lu fault zone. Acta Petrologica Sinica, 25(1): 92 ~ 108.
- Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li Ruiling, Zhou Shaodong, Ye Huishou, Yan Quanren, Zhang ZuSong. 2006#. 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. Chinese Science Bulletin, 46(21): 1823 ~ 1827.
- Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li X W, Chao D, Lei Y. 2011. Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the Jinniu basin, Middle—Lower Yangtze river belt (YRB), East China: age, petrogenesis and tectonic implications. Lithos, 127 (1/2): 144 ~ 164.
- Xie Zhi, Li Quanzhong, Chen Jiangfeng, Gao Tianshan. 2007 & The Geochemical Characteristics of the Early Cretaceous Volcanics in Luzhong Region and Their Source Significances. Geological Journal of China Universities, 13(2): 235 ~249.
- Xue Huaimin, Tao Kuiyuan. 1989&. New view on the Mesozoic volcanic sequences in Ning-Wu. Jiangsu Geology, (4): 9 ~ 14.
- Xue Huaimin, Dong Shuwen, Ma Fang. 2010a&. Shoshonitic volcanic rocks in the Luzong basin, Anhui Province (eastern China): geochemical and isotopic constraints on Cretaceous lithospheric thinning of the lower Yangtze region. Acta Geologica Sinica, 84 (5): 664~681.
- Xue Huaimin, Dong Shuwen, Ma Fang. 2010b&. 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. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2653 ~ 2664.
- Xue Huaimin, Dong Shuwen, Ma Fang. 2012 &. 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. Acta Geologica Sinica, 86(10): 1569 ~ 1583.
- Xue Huaimin, Ma Fang, Guan Haiyan, Wang Yipeng. 2013&. Geochronology and geochemistry of the volcanic rocks in the Huaining basin, and comparison with other basins in the Middle lower Yangtze region. Geologi in China, 40(3): 396~416.
- Xue Huaimin, Ma Fang. 2015&. Late Mesozoic Shoshonotic Volcanic Rocks in the Middle and Lower Yangtze River reaches: ages, geochemical and genesis. Acta Geologica Sinica, 89(8): 1380 ~ 1401.
- Xue Huaimin, Ma Fang, Cao Guangyue. 2015. Geochronology and petrogenesis of shoshonitic igneous rocks, Luzong volcanic basin, middle and lower Yangtze River reaches, China. Journal of Asian Earth Sciences, 110: 123 ~ 140.

- Xue Huaimin. 2016&. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of volcanism in the Liyang volcanic basin, southeastern margin of the Middle—lower Yangtze region. Geochimica, 45(3): 213 ~234.
- Xue Huaimin, Ma Fang, Cao Guangyue Wang Yipeng, Guo Xiuyan. 2016 &. Petrogenesis of Potassic Intrusive along the Southern Margin of the Luzong Volcanic Basin, Middle and Lower Yangtze River Reaches, China. Acta Geologica Sinica (in press).
- Yan Jun, Chen Jiangfeng, Xie Zhi, Yang Gang, Yu Gang, Qian Hui. 2005&. Geochemistry of late Mesozoic basalts fron Kedoushan in the Middle and Lower Yangtze regions: constraints on characteristics and evolution of the lithospheric mantle. Geochimica, 34(5): 455 ~ 469.
- Yan Jun, Liu Haiquan, Song Chuanzhong, Xu Xisheng, An Yajun, Liu Jia, Dai Li. 2009 #. Zircon U-Pb geochronology of the volcanic rocks from Fanchang—Ningwu volcanic basins in the Lower Yangtze region and its geological implications. Chinese Science Bulletin, 54 (16): 2895 ~ 2904.
- Yan Jun, Shi Lei, Liu Jianmin, Liu Xiaoqiang, Jiang Zizhao. 2013 & Zircon LA-ICPMS dating of the volcanic rocks from Huaining Basin in the Middle—Lower Yangtze Valley. Geological review, 59(5): 1218 ~ 1226.
- Yu Yao, Xu Xisheng. 2009 &. Cretaceous alkali-rich magmatism in the Middle and Lower reaches of the Yangtze river. Earth Science (Jour nal of China Univer sity of Geosciences), 34(1): 105 ~ 116.
- Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu, Huang Yimei, Zhang Lejun. 2010&. LA-ICPMS U-Pb ages of zircons from Mesozoic volcanic rocks and their significance in Fanchang basin, Anhui Province, China. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2805 ~ 2817.
- Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu, Zhang Lejun, Ma Liang, Qian Bing. 2011&. Zircon U-Pb ages and isotopic characteristics of the granitoids in the Ningwu basin, China, and their significance. Acta Geologica Sinica, 85(5): 821 ~ 833.
- Zeng Jiannian, Qin Yongjun, Guo Kunyi, Chen Guoguang, Zeng Yong. 2010&. 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. Acta Geologica Sinica, 84(4): 466 ~478.
- Zhang Demin, Wang Yong, Jing Yulong. 1996&. Foreland thrust belt in the northern margin of Yangtze Platform and the coalfield structure deformation. Coal Geology of China, 1 ~ 5.
- Zhang Lejun, Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Ma Liang, Qian Bing. 2010&. Dating of copper mineralization in Jingbian deposit and its prospecting significance in Luzong basin, Anhui Province. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2729 ~ 2738.
- Zhang Q, Jian P, Liu DY, Wang Y L, Qian Q, Wang Y, Xue H M. 2003. SHRIMP dating of volcanic rocks from Ningwu area and its

geological implications. Science in China (Series D: Earth Sciences), 46(8): 830 ~ 837.

- Zhang Zhongjie, Li Yingkang, Lu Deyuan, Teng Jiwen, Wang Guangjie. 2000a. Velocity and anisotropy structure of the crust in the Dabie shan orogenic belt from wide-angle seismic data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 122: 115 ~131.
- Zhang Zhongjie, Wang Guangjie, Teng Jiwen, Klemperer Simon. 2000b. CDP mapping to obtain the fine structure of the crust and upper mantle from seismic sounding data: an example for the southeastern China. Phys Earth Planet Int, 122: 133 ~ 146.
- Zhou Jincheng, Zhao T P, Chen K R. 1994. Mesozoic shoshonite series from Lishui in the Lower Yangtze region, China. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 10(3/4): 263 ~ 277.
- Zhou Jincheng, Zhou J P, Liu J, Zhao T P, Chen W. 1996. Copper (gold) and non-metal deposits hosted in Mesozoic shoshonite and Krich calc-alkaline series from Lishui in the Lower Yangtze region, China. Journal of Geochemical Exploration, 57: 273 ~ 283.
- Zhou Taofa, Song Mingyi, Fan Yu, Yuan Feng, Liu Jun, Wu Mingan, Qian Cunchao, Lu Sanming. 2007 &. Chronology of the Bajiantan intrusion in the Luzong basin, Anhui, and its significance. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2379 ~2386.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Lu Sanming, Shang Shigui, Cooke D, Meffre S, Zhao Guochun. 2008 #. Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong basin and its significance. Science in China (Series D: Earth Sciences), 51(10): 1470 ~ 1482.
- Zhou Taofa, , Fan Yu, Yuan Feng, Song Chuanzhong, Zhang Lejun, Qian Cunchao, Lu Sanming, David RC. 2010 &. Temporal—spatial framework of magmatic intrusions in Luzong volcanic basin in East China and their constrain to mineralizations. Acta Petrologica Sinica, 26(9): 2694 ~ 2714.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Zhang Lejun, Qian Bin, Ma Liang, Yang Xifei, David RC. 2011#. Geochronology and significance of volcanic rocks in the Ning-Wu basin of China. Science China (Earth Sciences), 54(2): 185 ~ 196.
- Zhu Guang, Xu Jiawei, Liu Guosheng, Li Shuangying, Yu Peiyu. 1998&. Tectonic contral on development of the foreland basin along the Yangtze River in the Lower Yangtze River region. Geological Review, 44(2): 120 ~ 129.
- Zhu Guang, Xu Jiawei, Liu Guosheng, Li Shuangying, Yu Peiyu. 1999 &. Tectonic pattern and dynamic mechanism of the foreland deformation in the Lower Yangtze region. Regional Geology of China, 18(1): 73 ~ 79.
- Zhu Guang, Liu Guosheng. 2000 &. Basic characteristics and Mesozoic orogenic process of the Jingnan intracontinental orogenic belt in southern Anhui. Geotectonica et Metallogenia, 24: 103 ~111.

# LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages of the Volcanic Complex in the Huaining Basin, Middle—Lower Yangtze Region, and Geological Significance

 $\rm XUE~Huaimin^{1)}$  , WANG  $\rm Yipeng^{2)}$  , JI  $\rm Zeyang^{2)}$ 

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

2) Hexigten Banner Bureau of Land and Resources, Department of Land and

Resources of Inner Mongolian, Hexigten, Inner Monglia, 025350

Abstract: The volcanic rocks in the Huaining basin, which is one of a series late Mesozoic volcanic basins

developed the Middle—Lower Yangtze region, are main belong to shoshonitic series, but appear bimodal volcanic association of high-K calc-alkaline series in the late stage of volcanism. In this work, we used LA-ICP-MS zircon U-Pb technique to date the trachyte and felsophyre samples from the Pengjiakou formation, early volcanism in the basin, and rhyolite from the Jiangzhen formation, late volcanism in the basin, yield emplacement ages of 128.7  $\pm$  0.8Ma, 126.3  $\pm$  0.7 Ma and 123.5  $\pm$  0.7 Ma respectively, which further confirmed that the late Mesozoic volcanism in the Middle—Lower Yangtze region was ended latest in the Huaining basin. Based on comparison with other volcanic basins in the Middle—Lower Yangtze region, the rush time of volcanism in whole volcanic basins are similar (130 Ma), but the finished time of volcanism developed in the Liyang basin(140Ma), show that the volcanism migrating currently northwestward with time, and migrating from center area of the volcanic belt outward subtilly. The bidirectional migration of the volcanism may be the result of relative movement of the Pacific plate and the Asia continental plate and late Mosozoic lithospheric thinning happened in the Middle—lower Yangtze region.

Keywords: Shoshonite; Bimodal volcanic rock; Zircon U-Pb dating; Huaining basin; The middle—lower Yangtze region

Acknowledgements: This study was financially supported by the China Geological Survey (Grant 121201102000150021, 1212011408540) and deep exploration in China (SinoProbe-05-05).

First author: XUE Huaimin, male, born in 1962, professor, mainly engaged in petrology and geochemistry. Email: huaiminx@ sina.com

Manuscript received on: 2015-12-06; Accepted on: 2016-06-20; Edited by: ZHANG Yuxu. **Doi**: 10.16509/j.georeview.2016.05.006