



# 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

闫峻<sup>\*</sup>, 刘海泉, 宋传中, 徐夕生, 安亚军, 刘佳, 戴立群

合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009;

南京大学地球科学系, 内生金属矿床成矿机制国家重点实验室, 南京 210093

E-mail: jyan-hut@163.com

2008-11-19 收稿, 2008-12-31 接受

国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB403508)、教育部科学技术研究重点项目(编号: 108155)和国家自然科学基金重点项目(批准号: 40730313)资助

**摘要** 繁昌和宁芜火山盆地是长江中下游中段的两个重要的中生代火山盆地, 其中最晚期喷发的分别是蝌蚪山组双峰式火山岩和娘娘山组超钾质火山岩. 选择这两组火山岩为研究对象, 应用 LA-ICPMS 锆石微区分析技术进行了精确定年. 结果表明, 火山岩含有大量的岩浆成因锆石, 以高的 Th/U 比为特征, 蝌蚪山组火山岩 21 点的加权平均年龄为(130.7±1.1) Ma, 娘娘山组火山岩 20 点的加权平均年龄为(130.6±1.1) Ma, 代表了火山岩的结晶年龄. 与目前长江中下游地区中生代火山盆地火山岩的高质量年龄数据对比表明, 金牛盆地、庐枞盆地、繁昌盆地和宁芜盆地的最晚期火山活动几乎都是在 128~130 Ma 结束, 庐枞和宁芜盆地早期火山岩的喷发年龄和晚期火山活动没有明显的时间间隔, 表明这两个盆地火山活动的持续时间较短, 暗示了 130 Ma 前后本地区处于拉张的峰期. 综合分析表明, 长江中下游地区燕山晚期岩浆岩的年代学格架与本地区由挤压转为拉张, 加厚的岩石圈下部发生重力拆沉、岩石圈减薄、软流圈上涌、壳幔相互作用等动力学过程是一致的.

**关键词**

锆石 U-Pb 定年  
火山岩  
早白垩世  
拉张构造环境  
长江中下游

长江中下游地区是中国重要的铜、铁多金属成矿带. 近年来的研究表明, 该地区中生代岩浆活动及成矿作用处于由挤压转为拉张的构造背景之下, 经历了岩石圈加厚和拆沉、软流圈上涌、玄武岩浆底侵、壳幔相互作用等一系列深部动力学过程<sup>[1~6]</sup>. 要深入探讨这些科学问题, 开展岩浆岩的年代学研究显得十分重要. 30 多年的研究积累了许多长江中下游地区火山岩的年龄数据(表 1), 其中多为早期 K-Ar 法测得. 这些数据指示庐枞盆地火山岩的年龄跨度为 113~140 Ma, 繁昌盆地火山岩为 115~125 Ma, 而宁芜盆地火山岩为 91~136 Ma. 由于样品多遭受蚀变易

造成 Ar 的丢失, 因此早期 K-Ar 法测定的年龄往往比实际年龄年轻, 而产生了较大的年龄范围. 为了精确厘定这些火山岩的喷发年龄, 本文对繁昌盆地蝌蚪山组和宁芜盆地娘娘山组火山岩进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年, 结合前人发表的年龄数据, 深入探讨火山岩的年代学格架及其地质意义.

## 1 地质背景和样品

长江中下游地区位于扬子地块北缘, 其北以襄樊-广济断裂和郟城-庐江断裂与大别造山带分开, 其东南以江山-绍兴断裂与华夏地块接壤(图 1(a)). 扬子

**引用格式:** 闫峻, 刘海泉, 宋传中, 等. 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. 科学通报, 2009, 54: 1716~1724

Yan J, Liu H Q, Song C Z, et al. Zircon U-Pb geochronology of the volcanic rocks from Fanchang-Ningwu volcanic basins in the Lower Yangtze region and its geological implications. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0110-x

表 1 长江中下游地区部分火山盆地中生代火山岩同位素年龄

火山盆地	火山岩地层	测定对象	年龄(Ma)	方法	资料来源	
庐枞	浮山组	黑云母	113	K-Ar 等时线	文献[7]	
		黑云母	126.1 ± 4.0	K-Ar	文献[8]	
		黑云母	129.1 ± 1.2	K-Ar	文献[9]	
	双庙组	全岩	126.0 ± 3.4	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	文献[10]	
		全岩	125.5 ± 0.8	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	文献[10]	
	砖桥组	全岩	125.0 ± 3.8	K-Ar	文献[8]	
		全岩	127	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	文献[11]	
		全岩	126~132	K-Ar	文献[11]	
		黑云母	134	K-Ar 等时线	文献[7]	
		全岩	140.1 ± 0.8	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	文献[10]	
		砖桥组上部	黑云母	123.4 ± 3.6	K-Ar	文献[8]
		砖桥组下部	黑云母	125.7 ± 4.0	K-Ar	文献[8]
	龙门园组	角闪石	127.6 ± 3.6	K-Ar	文献[8]	
繁昌	蝌蚪山组	黑云母	115	K-Ar	文献[11]	
	赤沙组	黑云母	122~125	K-Ar	文献[11]	
		黑云母	138.6	K-Ar	文献[11]	
宁芜	娘娘山组	全岩	91~106	K-Ar	文献[11]	
		全岩	91	K-Ar	文献[12]	
		全岩	100	K-Ar	文献[12]	
		全岩	106	K-Ar	文献[12]	
		黑云母	94	K-Ar	文献[7]	
	姑山组	全岩	110~116	K-Ar	文献[11]	
		黑云母	117	K-Ar 等时线	文献[7]	
		全岩	110	K-Ar	文献[12]	
		全岩	114	K-Ar	文献[12]	
		全岩	113	K-Ar	文献[12]	
		全岩	115	K-Ar	文献[12]	
		全岩	116	K-Ar	文献[12]	
		全岩	120~127	K-Ar	文献[11]	
		全岩	121	K-Ar	文献[12]	
		全岩	120	K-Ar	文献[12]	
	大王山组	黑云母	121	K-Ar	文献[7]	
		黑云母	122	K-Ar 等时线	文献[7]	
		黑云母	125	K-Ar	文献[13]	
		锆石	131 ± 4	U-Pb	文献[14]	
		锆石	127 ± 3	U-Pb	文献[14]	
		全岩	126	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	文献[11]	
		全岩	125	K-Ar	文献[12]	
		全岩	127	K-Ar	文献[12]	
		全岩	129	Ar-Ar	文献[9]	
		黑云母	127	K-Ar	文献[9]	
		黑云母	130	K-Ar	文献[9]	
		黑云母	131	K-Ar	文献[15]	
龙王山组	黑云母	136	Rb-Sr等时线	文献[15]		
	黑云母	126	Ar-Ar等时线	文献[7]		
	黑云母	125	K-Ar	文献[13]		

克拉通建立在稳定的元古界基底之上。区内最老的变质基底是崆岭群，出露在长江三峡段，其片麻岩锆石U-Pb和Lu-Hf同位素分析给出早太古代年龄<sup>[16]</sup>。该

区构造演化大致经历了3个主要阶段，分别为前震旦纪基底形成阶段、震旦纪-早三叠世沉积盖层阶段和中三叠世以来的碰撞造山和造山后板内变形阶

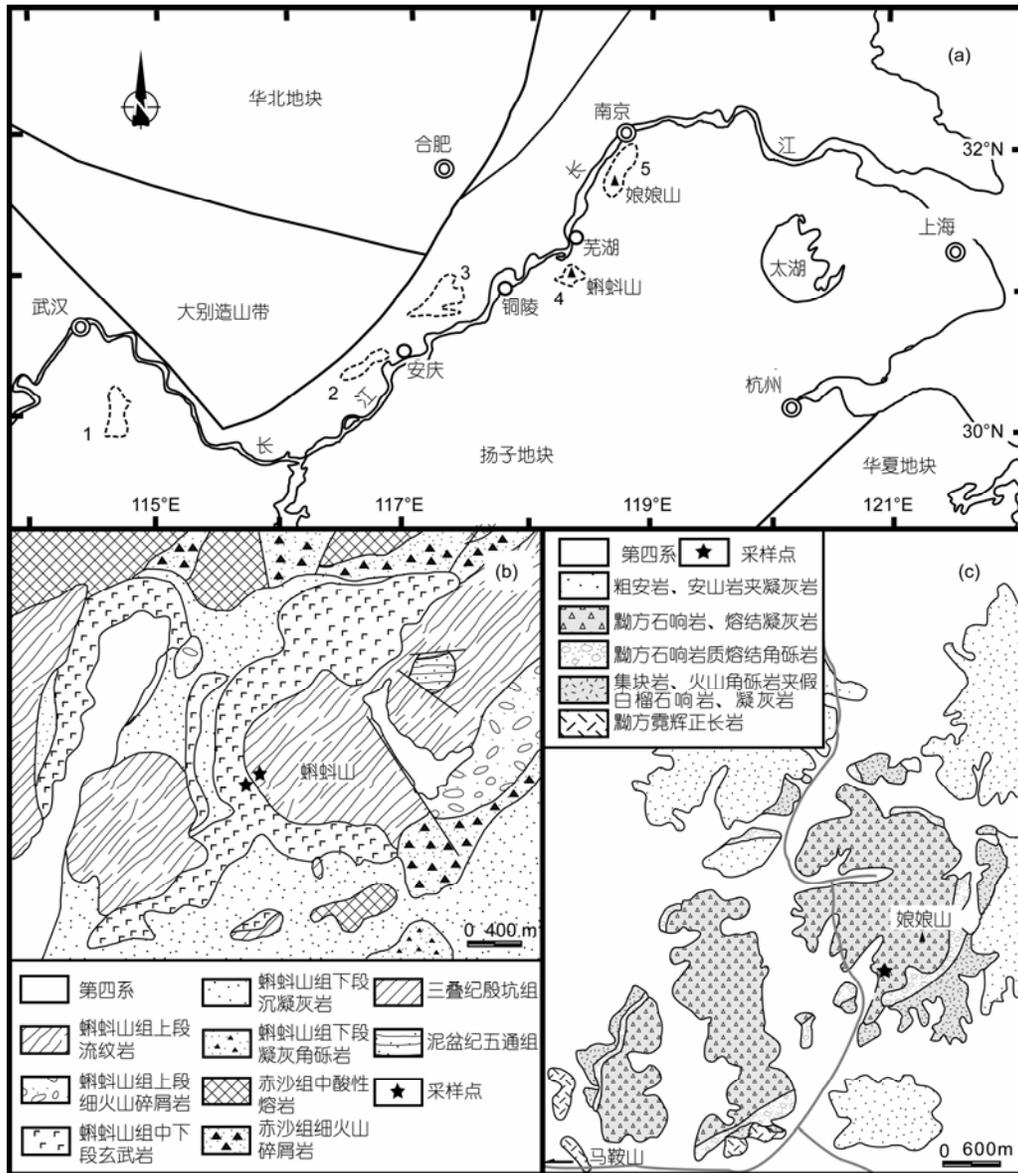


图 1 (a) 长江中下游地区晚中生代火山岩盆地分布示意图(引自文献[19]); (b) 长江中下游地区繁昌盆地蝌蚪山和(c) 宁芜盆地娘娘山火山口地质简图(据 1:5 万区调资料改绘)  
1, 金牛盆地; 2, 怀宁盆地; 3, 庐枞盆地; 4, 繁昌盆地; 5, 宁芜盆地

段[17,18], 其中最后阶段以形成大量晚中生代岩浆岩和大规模成矿作用为特征。

长江中下游地区火山盆地主要沿长江两岸分布。自西向东, 分布有金牛火山盆地、怀宁火山盆地、庐枞火山盆地、繁昌火山盆地、宁芜火山盆地和溧水火山盆地(图 1(a))。位于铜陵东南 70 km 处的繁昌盆地中的火山岩系总厚 220~2250 m, 自下而上划分为 3 个喷发旋回: 中分村、赤沙和蝌蚪山。中分村组和赤

沙组以粗安岩、安山岩和流纹岩为主, 蝌蚪山组下段以凝灰质粉砂岩为主, 厚约 65 m, 中段为玄武岩和流纹质凝灰岩互层, 厚约 70 m, 上段以流纹岩为主, 厚约 130 m。繁昌盆地火山岩的SiO<sub>2</sub> 含量在 65% ~ 73%之间有一间断, 具双峰式火山岩特征[18](图 1(b))。宁芜盆地北起南京, 南至芜湖, 沿NNE向展布, 长约 60 km, 宽约 20 km, 火山岩出露面积约 1000 km<sup>2</sup>, 属于继承式的中生代陆相火山盆地。出露的基底地层

为晚三叠世黄马青群、早侏罗世象山群和晚侏罗世西横山组,分布于盆地的东侧。盆地西北部有少量晚白垩世浦口组以及第三纪的砂砾岩覆盖于火山岩之上。火山岩自下而上以龙王山组(占20%)和大王山组(占75%)为主,姑山组和娘娘山组不到5%<sup>[20]</sup>。龙王山组下部主要由浅灰色的沉凝灰岩、粉砂质泥岩和火山集块岩等组成;上部以熔岩为主,由粗面岩、玄武岩组成,夹火山角砾岩。大王山组下部以辉石玄武岩为主,中部为紫红色的安山岩,上部主要为粗面岩和粗面质熔结凝灰岩。姑山组下部主要为一些火山碎屑岩和沉积岩,上部以熔岩为主,包括安山岩、英安岩等。(娘娘山组下部主要为集块岩、角砾岩和假白榴石响岩及黝方石熔结凝灰岩,上部为响岩质熔结角砾岩、黝方石响岩等(图1(c))。

本次工作的样品采自繁昌蝌蚪山火山口的蝌蚪山组中段玄武岩(FC009)和上段流纹岩(FC014)(30°58'7.3"N, 118°11'3.7"E)以及宁芜娘娘山火山口的(娘娘山组下部黝方石响岩质含角砾熔结凝灰岩(M003)(30°44'13.9"N, 118°33'37.6"E)。蝌蚪山组玄武岩为灰黑色,致密块状构造,斑状结构。斑晶为斜长石和单斜辉石为主,少量橄榄石,含量为18%~23%,粒度0.2~2.0 mm。斜长石斑晶的An = 56~70,属拉长石。基质具粗玄结构和间粒交织结构,以微晶斜长石为主,少量单斜辉石和磁铁矿充填在板条状的斜长石空隙中。蝌蚪山组流纹岩新鲜面为浅紫、肉红色,镜下具有斑状结构,斑晶含量约10%,以石英和碱性长石为主,粒径介于0.4~1.8 mm,自形粒状结构,长石斑晶普遍发生蚀变;基质具有球粒结构和霏细结构,以长英质矿物为主。娘娘山组黝方石响岩质含角砾凝灰熔岩为灰黑色、致密块状,含有少量黝方石响岩质和钾长石角砾。凝灰物为粒径小于2 mm的岩屑和晶屑,岩屑中见钾长石、黝方石和少量斜长石斑晶以及隐-微晶钾长石、少量微晶霓辉石和角闪石。晶屑为棱角状的钾长石、黝方石、斜长石、霓辉石、角闪石和黑云母组成。熔结物质分布于碎屑间,成分和碎屑基本相同。

## 2 分析方法

样品经人工破碎后,按常规的重力和磁选方法分选出锆石,最后在双目显微镜下挑选。将待测样品锆石颗粒置于环氧树脂中制靶,然后磨至一半,用于电子背散射图像和LA-ICP-MS U-Pb同位素分析。在显微镜观察的基础上,选择合适的样品进行了电子

背散射研究,特别避开锆石包裹体以及锆石内部裂隙,以进行下一步的激光原位剥蚀测试。

电子背散射图像和锆石LA-ICP-MS U-Pb分析均在南京大学内生金属矿床成矿机制国家重点实验室完成。采用仪器为Agilent 7500a ICP-MS,实验原理和详细测试方法同文献<sup>[21]</sup>。其工作参数为:等离子气体Ar 16 L/min,辅助气体Ar 1 L/min,剥蚀物质载气He 0.9~1.2 L/min。激光剥蚀系统波长213 nm,激光脉冲频率5 Hz,宽度5 ns,剥蚀孔径40 μm,剥蚀时间80 s,背景测量时间40 s,脉冲能量为10~20 J/cm<sup>2</sup>,<sup>206</sup>Pb,<sup>207</sup>Pb,<sup>208</sup>Pb,<sup>232</sup>Th和<sup>238</sup>U的停留时间依次为15,30,10,10和15 ms。应用锆石标样GJ-1进行同位素分馏校正,GJ-1锆石标样的测试值为(601 ± 12) Ma;此外,在分析中加入“未知”标样Mud Tank(分析值(735 ± 12) Ma),用于监控测试的重现性和仪器的稳定性,本实验室对GJ-1和Mud Tank锆石标样的测试结果与其他实验室的测试结果一致<sup>[22]</sup>。质谱的分析数据通过即时分析软件GLITTER计算获得相应的同位素比值、年龄以及误差,上述数据采用Andersen<sup>[23]</sup>的方法进行普通铅校正,校正后的最终结果应用Isoplot程序<sup>[24]</sup>完成年龄计算和谐和图的绘制。

## 3 结果与讨论

### 3.1 分析结果

锆石样品的电子背散射图像显示,除了蝌蚪山组玄武岩样品(FC009)中的一颗锆石以外,其它锆石多呈自形-半自形的短柱状,绝大多数锆石颗粒显示典型的韵律环带结构,表明锆石为岩浆成因(图2)。FC009样品中的一颗锆石呈磨圆状(图2(c)),可能为捕获锆石。

所有锆石颗粒的U-Pb同位素定年数据结果见表2,表中所列单个数据点的标准误差均为1。一般认为,岩浆成因的锆石的Th/U比值大于0.5,且Th和U之间具有明显的正相关,而变质重结晶锆石则小于0.1<sup>[25]</sup>。本次测定的43个数据的Th/U介于0.84~5.95之间,且Th和U之间呈显著的正相关(图略),同样表明本次测试的锆石为岩浆成因。

利用Ludwig Isoplot V.249a<sup>[24]</sup>进行了谐和曲线和加权平均年龄的投影和计算,几乎所有的锆石颗粒样品都投影在谐和曲线上及其附近(图3),表明这些锆石颗粒形成后U-Pb同位素体系是封闭的,基本上没有U或Pb的丢失或加入。繁昌蝌蚪山组流纹岩21

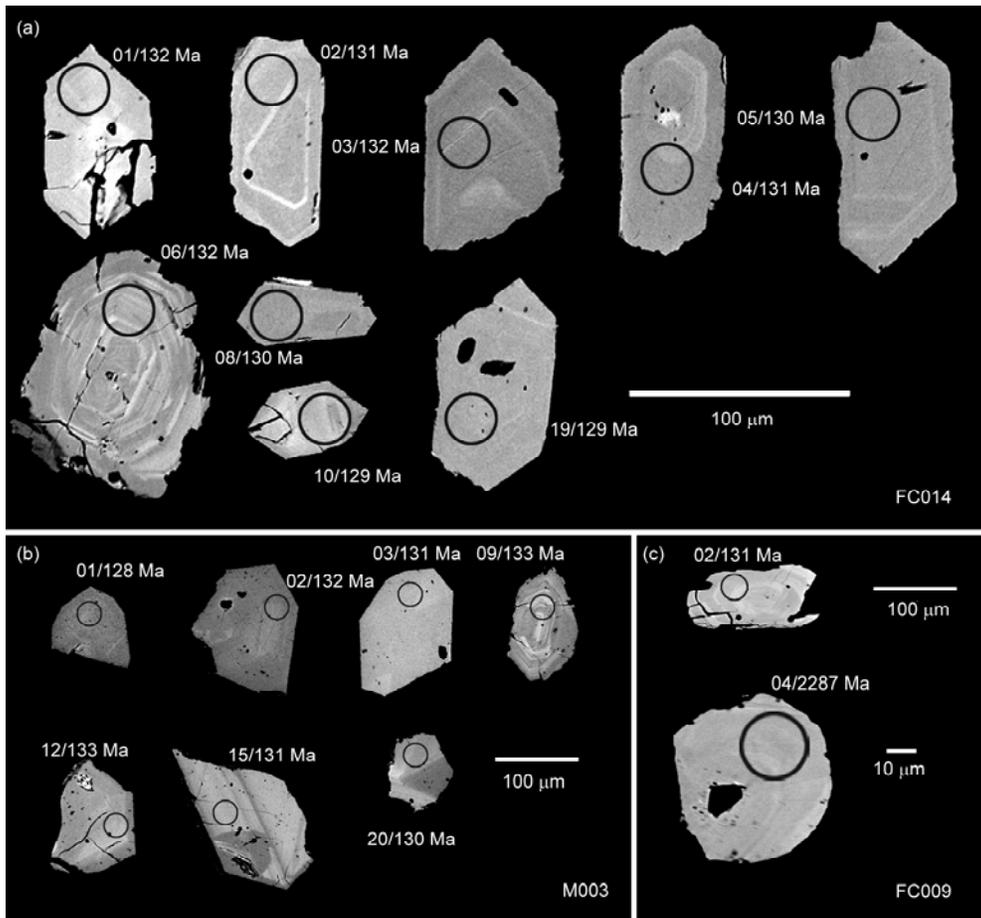


图2 蝌蚪山组和娘娘山组火山岩代表性锆石样品的背散射图像和分析点位置

个测点给出范围较窄的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 为  $(129 \pm 3)$  至  $(133 \pm 2)$  Ma, 相差 4 Ma, 测点数据成群分布于 U-Pb 谐和曲线上(图 3(a)), 加权平均年龄为  $(130.7 \pm 1.1)$  Ma, 代表了蝌蚪山组上段火山岩的喷发时间. 蝌蚪山组中段玄武岩的成功测点很少, 仅有一颗锆石测点给出了  $(131 \pm 2)$  Ma(图 3(d)), 该年龄值和流纹岩在误差范围内一致. 玄武岩中另外一颗磨圆锆石给出了  $(2287 \pm 24)$  Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和年龄(图 3(c)), 可能代表了捕获的下地壳锆石年龄. 宁芜娘娘山组火山岩的 20 个测点也给出了范围较窄的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 为  $(128 \pm 3)$  至  $(133 \pm 3)$  Ma, 相差 5 Ma, 测点数据成群分布于 U-Pb 谐和曲线上(图 3(b)), 加权平均年龄为  $(130.6 \pm 1.1)$  Ma, 代表了娘娘山组火山岩的喷发年龄. 因此, 蝌蚪山组和娘娘山组火山岩都是早白垩世形成的.

### 3.2 火山岩年代学格架

虽然长江中下游中生代火山岩分布很广, 也是最早开展同位素地质年代学研究的对象, 但由于分析技术的局限, 早期的数据精度较低, 甚至有些还是错误的. 如很多数据是用现已不再对中生代岩石采用的全岩 K-Ar 体积法测定的. 有些文献中报道的年龄没有原始数据, 难于判断数据的质量. 因此, 本文选择地质描述确切、样品选择得当、分析方法可靠的年代学研究成果一并进行讨论.

Wang和McDougall<sup>[9]</sup>和McKee<sup>[8]</sup>先后测定了庐枞和宁芜两火山盆地火山岩的年龄, 得到了基本一致的结果(表 1). 他们用的主要是K-Ar法, 少数样品是用  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法测定, 但由于火山岩喷出地表后冷却迅速, 所以可以认为这些年龄代表了岩浆喷出时代. 但K-Ar年龄没有能力区分后期蚀变的可能影响,

表 2 繁昌盆地蝌蚪山组和宁芜盆地娘娘山组火山岩锆石 LA-ICP-MS 分析数据<sup>a)</sup>

点号	Th/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	U/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}*/^{206}\text{Pb}*$	SE	$^{207}\text{Pb}*/^{235}\text{U}$	SE	$^{206}\text{Pb}*/^{238}\text{U}$	SE	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
FC014-1	1258	739	1.70	0.0488	0.0018	0.1391	0.0051	0.0207	0.0004	132±5	132±2
FC014-2	389	235	1.66	0.0480	0.0022	0.1359	0.0063	0.0205	0.0004	129±6	131±2
FC014-4	169	159	1.06	0.0529	0.0030	0.1493	0.0083	0.0205	0.0004	141±7	131±3
FC014-3	318	232	1.37	0.0540	0.0031	0.1541	0.0086	0.0207	0.0005	146±8	132±3
FC014-5	488	209	2.33	0.0540	0.0032	0.1514	0.0087	0.0203	0.0004	143±8	130±3
FC014-6	909	1053	0.86	0.0492	0.0012	0.1403	0.0036	0.0207	0.0003	133±3	132±2
FC014-7	596	291	2.05	0.0511	0.0025	0.1441	0.0070	0.0205	0.0004	137±6	130±3
FC014-8	399	278	1.43	0.0511	0.0029	0.1435	0.0080	0.0204	0.0005	136±7	130±3
FC014-9	254	199	1.28	0.0506	0.0036	0.1418	0.0097	0.0203	0.0005	135±9	130±3
FC014-10	1790	755	2.37	0.0483	0.0020	0.1348	0.0055	0.0203	0.0004	128±5	129±2
FC014-11	1156	450	2.57	0.0498	0.0017	0.1430	0.0049	0.0208	0.0004	136±4	133±2
FC014-12	885	440	2.01	0.0614	0.0030	0.1711	0.0082	0.0202	0.0004	160±7	129±3
FC014-13	871	338	2.58	0.0489	0.0018	0.1377	0.0051	0.0204	0.0004	131±5	130±2
FC014-14	311	189	1.65	0.0493	0.0032	0.1372	0.0088	0.0202	0.0005	131±8	129±3
FC014-15	439	211	2.08	0.0670	0.0046	0.1883	0.0125	0.0204	0.0006	175±11	130±4
FC014-16	377	185	2.03	0.0485	0.0028	0.1353	0.0076	0.0202	0.0004	129±7	129±3
FC014-17	1768	734	2.41	0.0488	0.0013	0.1397	0.0039	0.0208	0.0004	133±3	133±2
FC014-18	617	270	2.28	0.0500	0.0027	0.1392	0.0074	0.0202	0.0004	132±7	129±3
FC014-19	446	182	2.45	0.0620	0.0036	0.1721	0.0099	0.0201	0.0005	161±9	129±3
FC014-20	179	126	1.42	0.0549	0.0040	0.1541	0.0109	0.0204	0.0005	146±10	130±3
FC014-21	625	250	2.50	0.0513	0.0026	0.1425	0.0070	0.0202	0.0004	135±6	129±3
FC009-2	0	0	5.95	0.0490	0.0012	0.1390	0.0037	0.0206	0.0003	132±3	131±2
FC009-4	827	857	0.97	0.1771	0.0053	10.3975	0.3150	0.4259	0.0075	2471±28	2287±34
M003-1	589	267	2.20	0.0515	0.0033	0.1429	0.0089	0.0201	0.0005	136±8	128±3
M003-2	588	260	2.26	0.0493	0.0018	0.1403	0.0053	0.0207	0.0004	133±5	132±2
M003-3	893	336	2.66	0.0502	0.0018	0.1417	0.0051	0.0205	0.0004	135±5	131±2
M003-4	502	258	1.95	0.0481	0.0019	0.1368	0.0053	0.0206	0.0004	130±5	132±2
M003-5	1160	505	2.30	0.0488	0.0015	0.1349	0.0042	0.0201	0.0003	129±4	128±2
M003-6	1199	427	2.81	0.0493	0.0016	0.1381	0.0046	0.0203	0.0004	131±4	130±2
M003-7	140	145	0.97	0.0492	0.0029	0.1364	0.0079	0.0201	0.0004	130±7	128±2
M003-8	28	27	1.03	0.0886	0.0103	0.2490	0.0278	0.0204	0.0008	226±23	130±5
M003-9	1218	933	1.31	0.0485	0.0011	0.1391	0.0034	0.0208	0.0003	132±3	133±2
M003-10	66	78	0.84	0.0506	0.0045	0.1428	0.0125	0.0205	0.0005	135±11	131±3
M003-11	93	104	0.89	0.0657	0.0048	0.1869	0.0131	0.0207	0.0006	174±11	132±4
M003-12	4334	952	4.55	0.0483	0.0018	0.1385	0.0052	0.0208	0.0004	132±5	133±3
M003-13	191	217	0.88	0.0497	0.0026	0.1395	0.0073	0.0204	0.0004	133±7	130±3
M003-14	1020	315	3.24	0.0578	0.0036	0.1633	0.0098	0.0205	0.0005	154±9	131±3
M003-15	2368	1862	1.27	0.0474	0.0017	0.1339	0.0049	0.0205	0.0004	128±4	131±3
M003-16	209	143	1.47	0.0634	0.0035	0.1807	0.0098	0.0207	0.0005	169±8	132±3
M003-17	110	96	1.14	0.0492	0.0054	0.1389	0.0149	0.0205	0.0006	132±13	131±4
M003-18	4184	1027	4.07	0.0535	0.0024	0.1494	0.0066	0.0203	0.0004	141±6	129±3
M003-19	299	297	1.01	0.0495	0.0022	0.1387	0.0062	0.0203	0.0004	132±5	130±2
M003-20	2056	627	3.28	0.0486	0.0020	0.1368	0.0057	0.0204	0.0004	130±5	130±3

a) Pb\*表示放射性铅, 应用实测<sup>204</sup>Pb校正锆石中的普通铅, 采用年龄为<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄. SE, 标准误差

所以在有<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar坪年龄的情况下, 后者更精确一些. Wang和McDougall<sup>[9]</sup>给出庐枞地区砖桥组黑云母粗面

安山岩和浮山组粗面岩中黑云母的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar坪年龄和K-Ar年龄分别为(130.1 ± 0.4)和(129.1 ± 1.2) Ma.

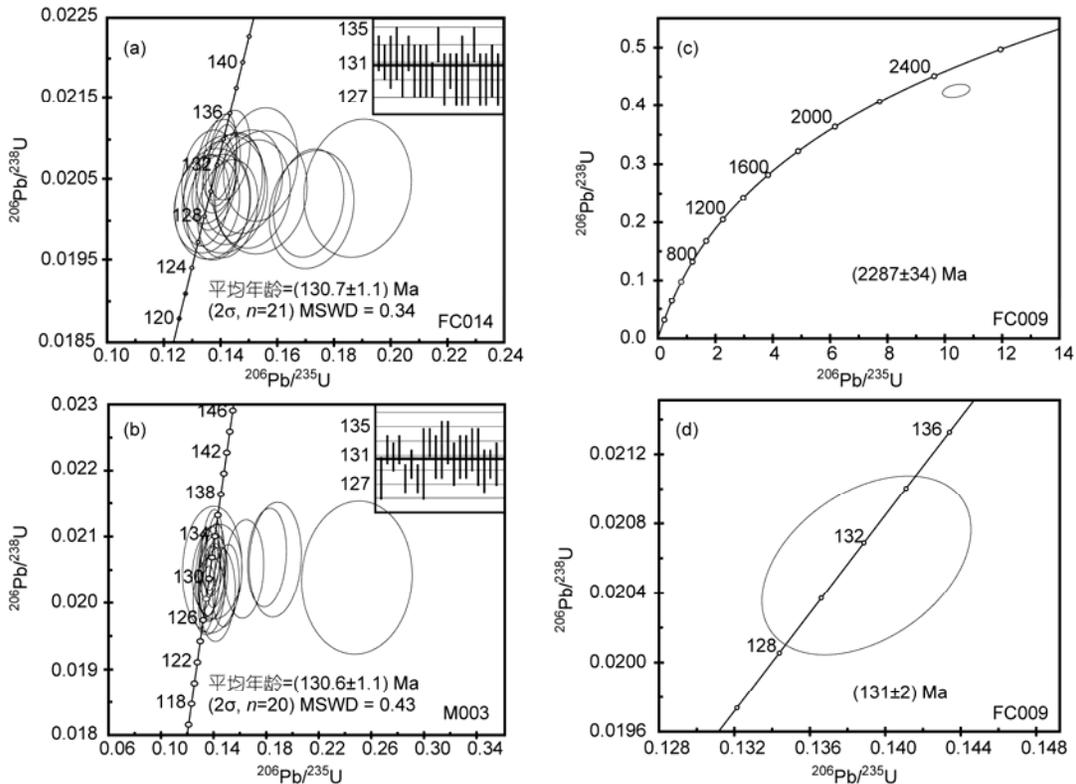


图3 蝌蚪山组和娘娘山组火山岩的锆石 U-Pb 谱和图解

McKee<sup>[8]</sup>分析的数据误差较大, 综合分析后认为罗河地区的龙门院组、砖桥组、双庙组、浮山组火山岩是在很短的时间段(约 128~124 Ma)内形成的. 但显然 Wang和McDougall<sup>[9]</sup>的数据较精确, 更可信. 上述结果表明被划为碱性火山岩组合的浮山组和划为橄榄安粗岩系的下伏火山岩之间没有显著的年龄间隔. 基本上是在 130 Ma左右喷发的.

Wang和McDougall<sup>[9]</sup>测定了宁芜地区第一阶段(应相当于龙王山组和大王山组, 但没有进一步详细的样品描述)的 2 个火山岩样品. 一个黑云母辉石安山岩中黑云母的K-Ar年龄为(130.1 ± 1.2) Ma, 一个粗面安山岩中黑云母的 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar坪年龄为(129.2 ± 0.4) Ma. 最近张旗等人<sup>[14]</sup>报道了宁芜地区龙王山组和大王山组安粗岩中锆石的SHRIMP U-Pb年龄分别为(131 ± 4)和(127 ± 3) Ma, 此年龄在误差范围内与 Wang和McDougall<sup>[9]</sup>的结果一致. 本次工作测定的宁芜盆地最晚期娘娘山组火山岩的喷发年龄为(130.6 ± 1.1) Ma, 在误差范围内和龙王山组和大王山组火山岩也没有显著的时间间隔, 喷发时代围绕着 130 Ma左右.

前人对于繁昌盆地火山岩的年代学工作较为薄弱, 仅有胡华光<sup>[11]</sup>对于赤沙组和蝌蚪山组的全岩 K-Ar法数据, 分别为 138, 122~125和 115 Ma. 楼亚儿和杜杨松<sup>[26]</sup>对板石岭黑云母石英二长岩体的锆石 SHRIMP定年结果为(125.3 ± 2.9) Ma, 而板石岭与繁昌盆地下部中分村流纹岩呈侵入接触关系, 表明中分村组火山岩的年龄大于 125 Ma. 显微镜下观察显示, 蝌蚪山组流纹岩中的钾长石斑晶具有明显的蚀变, 而蚀变将造成K的活动和Ar的丢失, 导致K-Ar年龄的偏低. 本次测定的繁昌盆地最晚期蝌蚪山组火山岩的喷发年龄为(130.7 ± 1.1) Ma, 限定了繁昌盆地晚期火山活动时间.

谢桂青等人<sup>[27]</sup>对金牛盆地最晚期大寺组双峰式火山岩的锆石SHRIMP测年结果为(128 ± 1) Ma, 结合上述讨论, 可以认为长江中下游地区金牛盆地、庐枞盆地、繁昌盆地和宁芜盆地中生代最晚期的火山活动几乎都是在 128~130 Ma结束. 不仅如此, 庐枞和宁芜盆地下部火山岩的喷发年龄也和晚期火山活动没有明显的时间间隔, 表明这两个盆地火山的活动持续时间较短, 暗示了它们是围绕着 130 Ma前后快速喷发的产物.

### 3.3 地质意义

长江中下游地区晚中生代岩浆岩有夹心饼干式的分带<sup>[18]</sup>。其中沿长江分布的内带包含4个岩浆岩组合：高钾钙碱性中酸性侵入岩组合，以铜陵地区侵入岩为代表；高钠碱钙性中基性侵入岩组合，以宁芜地区的蒋庙辉长岩、阳湖塘辉长岩和姑山辉长岩等为代表；橄榄安粗岩系火山岩，以宁芜和庐枞盆地的火山岩为代表；碱性火山岩组合，以宁芜地区的娘娘山组和庐枞盆地的浮山组火山岩为代表。于内带的南北两侧，为碱钙性系列侵入岩，北外带以滁州岩体和沙溪岩体等为代表，南外带则多是一些出露面积很小的斑岩体，在内带和外带之间是A型花岗岩带，包括大龙山、城山、黄梅尖和花园坳等岩体。高钾钙碱性中酸性侵入岩形成时代较早，主要集中在135~140 Ma期间<sup>[5,26,28,29]</sup>。其中具有埃达克岩性质的岩体被认为形成于加厚下地壳的部分熔融<sup>[4,5]</sup>。其他岩体在形成中经历了复杂的壳幔相互作用过程，其中有富集性质岩石圈地幔的贡献<sup>[18,29-31]</sup>。高钠碱钙性中基性侵入岩组合形成时代较晚，为125~130 Ma<sup>[32]</sup>，成因上起源于富集性质的岩石圈地幔和亏损软流圈物质的混合<sup>[6]</sup>。而火山岩的形成时代介于上述两类岩浆岩之间，集中在130 Ma左右。金牛盆地大寺组火山岩和繁昌盆地蝌蚪山组火山岩具有双峰式特征<sup>[18,27,33]</sup>。而板内的双峰式火山岩主要出现在伸展的构造环境中<sup>[34]</sup>。庐枞盆地浮山组火山岩和宁芜娘娘山组火山岩为碱性岩<sup>[18]</sup>，也指示了其产生的构造背景为伸展拉张<sup>[11]</sup>。这些火山活动持续时间较短，具有较为一致的喷发时代，暗示了130 Ma前后为拉张的峰期，且可能在深部动力学演化过程中处于承上启下的特殊时期。

Wang等人<sup>[5]</sup>通过年龄为 $(136 \pm 3)$  Ma的具有埃达克岩性质的沙溪石英闪长斑岩的地球化学研究，认为其成因与下地壳拆沉密切相关，长江中下游地区可能经历了地壳加厚、拉张、下地壳拆沉、岩石圈减薄、软流圈上涌和壳幔相互作用的动力学演化过程。与长江中下游地区邻近的大别造山带也广泛发育早白垩世岩浆活动，从侵位时间上分为早期岩浆岩(130~145 Ma)和晚期岩浆岩(120~130 Ma)<sup>[35-41]</sup>，其中埃达克质岩石只出现在早期。郑永飞<sup>[42]</sup>提出大别造山带早白垩世早期岩浆活动主要与岩石圈拉张有关，而晚期则主要是重力不稳定的结果，130 Ma可能是造山带跨塌机制发生转折的时间，也是造山带根部发生重力拆沉的时间。属于早期岩浆岩的沙溪埃达克质岩体紧邻大别造山带，从成因上说和大别造山带早期埃达克质岩石具有一致性。综合上述研究结果，参考郑永飞<sup>[42]</sup>提出的构造模型，对长江中下游地区早白垩世岩浆岩的年代学格局和成因提出以下解释：在145 Ma之前，本地区的构造格局由挤压转为伸展，引发早期加厚岩石圈的构造跨塌，伴随着软流圈上涌而产生的热扰动，加热和减压使下地壳和上地幔发生部分熔融，产生了135~140 Ma的高钾钙碱性中酸性侵入岩，包括埃达克质岩浆岩。130 Ma左右时期，下地壳由于埃达克质岩浆的抽取而导致密度增加发生重力拆沉，软流圈物质快速上涌，下地壳和岩石圈地幔由于加热和减压进一步发生部分熔融，同时伴随着来自软流圈部分熔融的熔体，产生了双峰式火山岩、碱性火山岩和橄榄安粗岩系火山岩。晚期随着岩石圈厚度的减薄，形成了来源于岩石圈地幔与软流圈物质混合而成的基性岩(125~129 Ma)。

致谢 感谢张文兰和贺振宇在测试分析中提供的帮助。

### 参考文献

- Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China. *J Asian Earth Sci*, 2000, 18: 293—305[doi]
- 王元龙, 张旗, 王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. *岩石学报*, 2001, 17: 565—575
- Xu J F, Shinjio R, Defant M J, et al. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? *Geology*, 2002, 12: 1111—1114
- 汪洋, 邓晋福, 姬广义. 长江中下游地区早白垩世埃达克质岩的大地构造背景及其成矿意义. *岩石学报*, 2004, 20: 297—314
- Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu - Au mineralization. *Lithos*, 2006, 89: 424—446[doi]
- Yan J, Chen J F, Xu X S. Geochemistry of Cretaceous mafic rocks from the Lower Yangtze region, eastern China: Characteristics and evolution of the lithospheric mantle. *J Asian Earth Sci*, 2008, 33: 177—193[doi]

- 7 李坤英. 中国东南部中生代火山岩的同位素年龄/时间和空间演化及其原始物质来源. 南京地质矿产研究所所刊, 1982, 3: 98—118
- 8 McKee E H. K-Ar chronology of the Luohe district, Anhui Province, China. *Economic Geol*, 1988, 83: 433—435[[doi](#)]
- 9 Wang S S, McDougall I. K-Ar and  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  ages on Mesozoic volcanic rocks from the Lower Yangtze Volcanic Zone, southeastern China. *J Geol Soc Austr*, 1980, 27: 121—128
- 10 刘洪, 邱检生, 罗清华, 等. 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*, 2002, 31: 129—140
- 11 胡华光, 胡世玲, 王松山, 等. 根据同位素年龄讨论侏罗、白垩纪火山岩系地层的时代. *地质学报*, 1982, 56: 315—323
- 12 宁芜研究项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿. 北京: 地质出版社, 1978
- 13 中国科学院地质研究所火山岩组. 长江下游若干地区中生代火山岩的多旋回和侧向分布. 国际交流地质学术论文集. 北京: 地质出版社, 1980. 108—115
- 14 张旗, 简平, 刘敦一, 等. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33: 309—314
- 15 岳文浙, 丁保良. 江苏白垩纪陆相层序地层研究. *火山地质与矿产*, 1999, 20: 287—344
- 16 郑永飞, 张少兵. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. *科学通报*, 2007, 52: 1—10
- 17 常印佛, 刘湘培, 吴昌言. 长江中下游地区铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1991. 1—379
- 18 邢凤鸣, 徐祥. 安徽扬子岩浆岩带与成矿. 合肥: 安徽人民出版社, 1999
- 19 徐志刚, 盛继福, 孙善平. 关于“橄辉安粗岩系列(组合)”特征及某些问题的讨论. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 43—62
- 20 倪若水, 吴其初, 岳文浙, 等. 长江中下游中生代陆相盆演化与成矿作用. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1998. 1—118
- 21 Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometer (LA-ICP-MS) to *in situ* U-Pb zircon geochronology. *Chem Geol*, 2004, 211: 47—69[[doi](#)]
- 22 Black L P, Gulson B L. The age of the Mud Tank carbonatite, Strangways Range, Northern Territory. *BMR J Aust Geol Geophys*, 1978, 3: 227—232
- 23 Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ . *Chem Geol*, 2002, 192: 59—79[[doi](#)]
- 24 Ludwig K R. Isoplot/Ex version 2.3—A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 1, Berkeley, 2000
- 25 Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *J Metamorph Geol*, 2000, 18: 423—439[[doi](#)]
- 26 楼亚儿, 杜杨松. 安徽繁昌中生代侵入岩的特征和锆石 SHRIMP 测年. *地球化学*, 2006, 35: 359—366
- 27 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 等. 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*, 2006, 51: 2283—2291
- 28 陈江峰, 喻钢, 杨刚, 等. 安徽沿江江南晚中生代岩浆-成矿年代学格架. *安徽地质*, 2005, 15: 161—169
- 29 杜杨松, 李顺庭, 曹毅, 等. 安徽铜陵铜官山矿区中生代侵入岩的形成过程岩浆底侵、同化混染和分离结晶. *现代地质*, 2007, 21: 72—77
- 30 Chen J F, Yan J, Xie Z, et al. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze Region in Eastern China: Constrains on sources. *Phys Chem Earth (A)*, 26: 719—731
- 31 Xie G Q, Mao J W, Li R L, et al. Geochemistry and Nd-Sr isotopic studies of Mesozoic granitoids in the southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt, eastern China: Petrogenesis and tectonic setting. *Lithos*, 2008, [a href="#">doi]
- 32 徐祥, 邢凤鸣. 宁芜地区三个辉长岩的全岩和矿物 Rb-Sr 等时线年龄. *地质科学*, 1994, 29: 309—312
- 33 闫峻, 陈江峰, 谢智, 等. 长江中下游地区晚中生代蝌蚪山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*, 2005, 34: 455—469
- 34 Coward M P, Dewey J F, Hancock P L. Continental extensional tectonic. *Geol Soc Spec Public*, 1987, 28: 1—637[[doi](#)]
- 35 Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, et al. Zircon U-Pb age, element and C-O isotope geochemistry of post-collisional mafic-ultramafic rocks from the Dabie orogen in East-central China. *Lithos*, 2005, 83: 1—28
- 36 Xie Z, Zheng Y F, Zhao Z F, et al. Mineral isotope evidence for the contemporaneous process of Mesozoic granite emplacement and gneiss metamorphism in the Dabie orogen. *Chem Geol*, 2006, 231: 214—235[[doi](#)]
- 37 Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, et al. Post-collisional granitoids from the Dabie orogen in China: Zircon U-Pb age, element and O isotope evidence for recycling of subducted continental crust. *Lithos*, 2007, 93: 248—272[[doi](#)]
- 38 Xu H J, Ma C Q, Ye K. Early Cretaceous granitoids and their implications for the collapse of the Dabie orogen, eastern China: SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry. *Chem Geol*, 2007, 240: 238—259[[doi](#)]
- 39 Wang Q, Wyman D A, Xu J F, et al. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie Complex, central China: Implications for partial melting and delamination of thickened lower crust. *Geochim Cosmochim Acta*, 2007, 71: 2609—2636[[doi](#)]
- 40 Huang F, Li S G, Dong F, et al. High-Mg adakitic rocks in the Dabie orogen, Central China: Implications for foundering mechanism of lower continental crust. *Chem Geol*, 2008, [a href="#">doi]
- 41 Jahn B M, Wu F Y, Lo C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, Central China. *Chem Geol*, 1999, 157: 119—146
- 42 郑永飞. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别-苏鲁造山带为例. *科学通报*, 2008, 53: 2129—2152