

皖南地区歙县岩群昌前岩组和昱岭关群井潭组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

龚成强^{1,2}, 张恒², 丁孝忠², 高林志²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 江南造山带东北段歙县岩群和昱岭关群是皖南地区重要的前寒武纪地层单元。本文对皖南地区歙县岩群昌前岩组和昱岭关群井潭组凝灰岩样品中的锆石进行了测年研究, 获得昌前岩组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 852 ± 6 Ma 和 840 ± 11 Ma, 井潭组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 809 ± 10 Ma, 为皖南地区新元古代地层格架的建立和地层的对比增添了可靠的年代学依据。根据最新获得的锆石 U-Pb 年龄数据, 确定歙县岩群的时代与江南造山带区域范围内梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群以及溪口岩群相当, 其上覆的昱岭关群与下江群、丹洲群、板溪群、马洞桥组、登山群以及上墅组等地层单元可以对比。

关键词: 皖南地区; 歙县岩群; 昱岭关群; 凝灰岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P588.21⁺1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)04-0465-12

Zircon SHRIMP U-Pb dating of tuffaceous bed from the Changqian Formation, Shexian Group and the Jingtian Formation, Yulingguan Group in Anhui Province and its stratigraphic implication

GONG Cheng-qiang^{1,2}, ZHANG Heng², DING Xiao-zhong² and GAO Lin-zhi²

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Shexian Group and the Yulingguan Group are important Precambrian stratigraphic units in the north-eastern part of the Jiangnan orogenic belt. Zircon dating ages of tuff bedding from the Changqian Formation (852 ± 6 Ma, 840 ± 11 Ma) and the Jingtian Formation (809 ± 10 Ma) in south Anhui Province are reported in this paper, which constrain the ages of the Shexian and Yulingguan Groups, adding some reliable age basis to the correlation of the Neoproterozoic strata in southern Anhui Province. Integrating a large number of high precision dating data obtained from the Jiangnan orogenic belt in recent years, the authors have reached the conclusion that the Shexian Group is equivalent to the Fanjingshan Group, the Sibao Group, the Lengjiaxi Group, the Shuangqiaoshan Group, and the Xikou Group. And the Yulingguan Group, overlying the Shexian Group, is equivalent to the Xiajiang Group, the Danzhou Group, the Banxi Group, the Majianqiao Formation, the Dengshan Group, and the Shangshu Formation.

Key words: southern Anhui Province; Shexian Group; Yulingguan Group; tuff; zircon SHRIMP U-Pb dating

Fund support: Project of China Geological Survey (DD20160345); Ministry of Science and Technology Basic Project (2015FY310100)

收稿日期: 2018-10-29; 接受日期: 2019-06-14; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190370); 科技部基金项目(2015FY310100)

作者简介: 龚成强(1994-), 男, 硕士生, 研究方向: 前寒武纪地层、沉积学, E-mail: Gongchengqiang0907@163.com; 通讯作者: 张恒(1985-), 男, 博士, 研究方向: 前寒武纪与大地构造, E-mail: heng0520@126.com。

华南古陆包括扬子和华夏两个古陆块,而江南造山带被认为是扬子陆块和华夏陆块之间的碰撞拼接带。江南造山带位于扬子陆块东南缘,其南侧以江山-绍兴断裂带与华夏陆块为界。江南造山带西起桂北,经黔西南、黔东南、湘西、湘东北、赣西北、赣东北、皖南、浙西至浙北,呈一条北西向弧形突出的条带,延伸长度超过 1 500 km,出露宽度超过 120 km (Li Xianhua *et al.*, 2009; 周金城等, 2014; 王孝磊等, 2017)。沿江南造山带自西向东出露的前寒武纪褶皱基底主要包括梵净山群(黔东南)、四堡群(桂西北)、冷家溪群(湘东)、双桥山群(赣东)和溪口岩群(皖南)等地层单元,均呈角度不整合下伏于青白口系浅变质似盖层地层下。上覆的似盖层地层均发生了轻微的变形和变质,出露范围广泛,自西向东包括下江群(黔东南)、丹洲群(桂西北)、板溪群(湘东)、高涧群(湘中)、马涧桥组(赣西北)、登山群(赣东北)、历口群(皖西南)、歙县岩群(皖东南)、上墅组(浙西)等。皖南地区位于江南造山带东北部,中、新元古代地层出露较广,区内发育歙县岩群(西村岩组、昌前岩组)和昱岭关群(周家村组、井潭组)。歙县岩群和昱岭关群的研究一直受众多学者关注,前人已经获得了一些具有重要意义的同位素年龄数据,如昱岭关群井潭组火山岩 Sm-Nd 同位素年龄为 829 ± 35 Ma (徐备等, 1992) 和 991 ± 110 Ma (陈冠宝等, 1998), 井潭组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 820 ± 16 Ma 和 776 ± 10 Ma (吴荣新等, 2007), 但昌前岩组和井潭组仍旧缺乏高质量 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。该地层时代的厘定对完善江南造山带区域地层格架、进而认识华夏陆块和扬子陆块俯冲碰撞以及江南造山带演化过程具有重要意义。

本文在皖南地区歙县岩群昌前岩组和昱岭关群井潭组凝灰岩中获得了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,厘定了昌前岩组和井潭组的地层时代,完善了皖南地区昱岭关地层分区地层单元时代的标定,并结合近年来众多学者获得的江南造山带褶皱基底及盖层各地层单元年龄,优化了江南造山带东段地层年龄对比格架。

1 区域地质背景

根据安徽省地质调查院(2018)的地层分区,本研究区属于皖南地区江南地层分区中的昱岭关地层分区,研究区内出露的新元古代地层主要为青白口系歙县岩群昌前岩组、昱岭关群井潭组、溪口岩群、历口岩群和南华系休宁组,岩石组合特征和地层上下接触关系清晰(图 1)。歙县岩群为一套浅变质岩系,覆于歙县岩群之上的昱岭关群为一套碎屑岩-中酸性火山岩系;溪口岩群为一套滨海碎屑-复理石沉积的浅变质岩系,覆于溪口岩群之上的历口岩群为一套碎屑岩-中性火山岩系;南华系休宁组为一套海滩相-过渡相环境的砂泥岩组成的碎屑岩系,在本区呈不整合接触覆于昌前岩组、井潭组与溪口岩群之上。在地层层序和时代上,传统上认为歙县岩群、昱岭关群分别与溪口岩群、历口岩群具有可对比性。

歙县岩群自下而上分为西村岩组和昌前岩组。西村岩组原名西村组,系安徽省地质矿产局 332 地质队(1989)^①创名于歙县西村。安徽省地质矿产局(1997)将其改名为西村岩组。西村岩组分布于千丈岭以南,西村、天子墓及三阳坑以北一带,呈北东向展布,为一套千枚岩与细碧岩组合(安徽省地质调查院, 2018),且底部出露有由变质橄榄岩类、辉长岩、具枕状构造的细碧-角斑岩及深海红色硅质岩组成的蛇绿岩套。昌前岩组原名昌前组,系安徽省地质矿产局 332 地质队(1989)^①创名于歙县昌前村。昌前岩组分布于歙县昌前、定潭、深度、深潭山一线,呈北东向展布(安徽省地质调查院, 2018),岩性为灰绿色、青灰色千枚状粉砂岩、砂质千枚岩、变质岩屑细砂岩、条纹状板岩夹粉砂质千枚岩,发育有多期次的断层与褶皱(徐生发等, 2016)。

昱岭关群自下而上分为周家村组和井潭组。周家村组系安徽 332 地质队(1995)^②将原井潭组解体后创名,指原井潭组下部的浅变质碎屑岩系夹英安质晶屑凝灰岩,呈不整合覆于昌前岩组之上(安徽省地质调查院, 2018)。井潭组系安徽省冶金地质局 332

① 安徽省地质矿产局 332 地质队. 1989. 1:5 万旌德县幅、岛石坞幅、绩溪县幅、顺溪幅区域地质调查报告.

② 安徽省地质矿产局 332 地质队. 1995. 1:5 万七都、歙县、大阜、王阜区域地质调查报告.

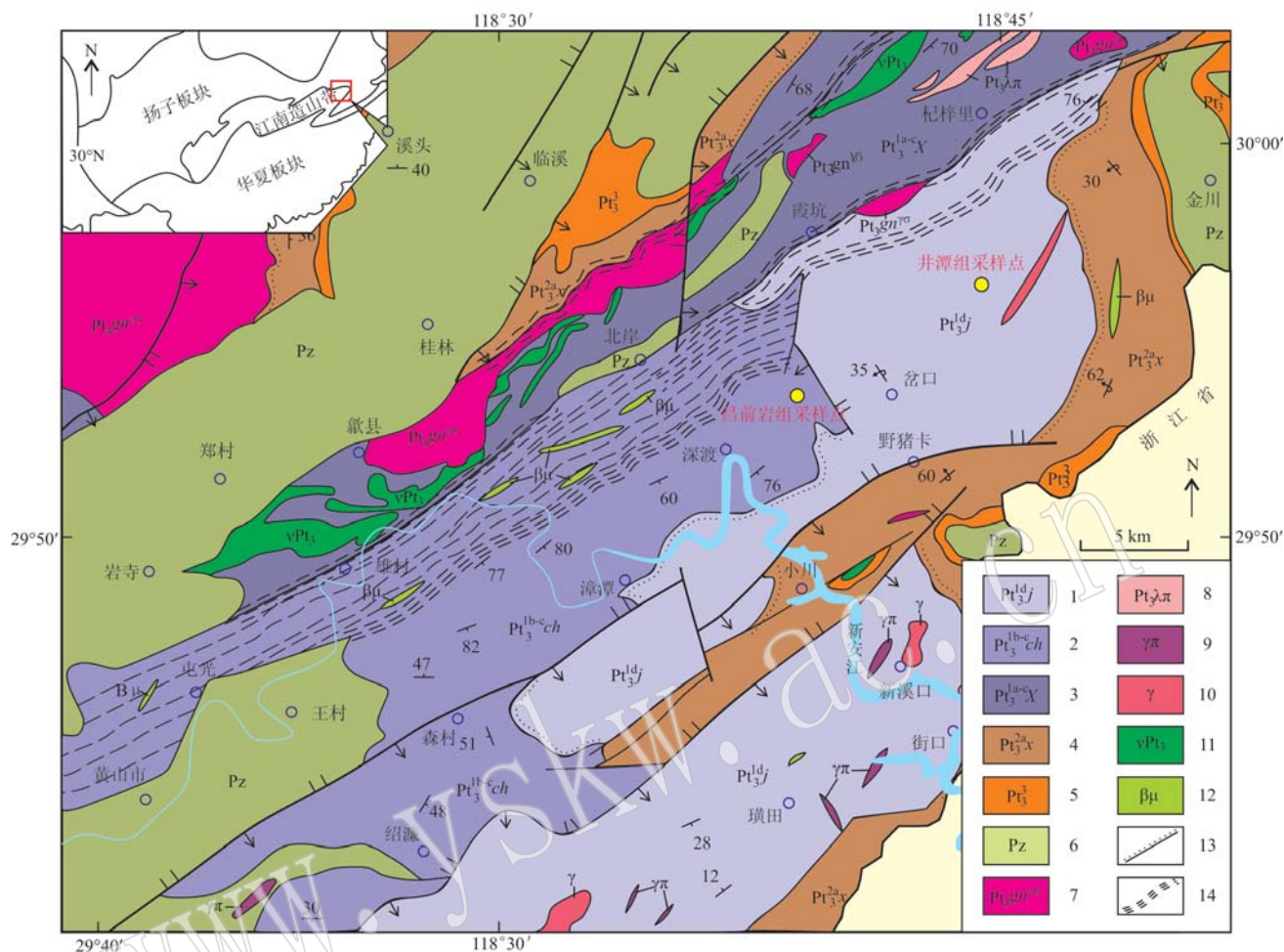


图1 歙县地区区域地质图[据安徽省地质调查院(2018)修改]

Fig.1 Tectonic and geological map of the Shexian area (modified from Geological Survey of Anhui Province, 2018)

1—井潭组; 2—昌前岩组; 3—溪口岩群; 4—休宁组; 5—震旦系; 6—古生界; 7—花岗闪长质片麻岩; 8—流纹斑岩; 9—花岗斑岩; 10—花岗岩; 11—辉长岩; 12—玄武玢岩; 13—实测不整合岩层界线; 14—韧性断层

1—Jingtian Formation; 2—Changqian Formation; 3—Xikou Group; 4—Xiuning Formation; 5—Sinian strata; 6—Paleozoic strata; 7—granodiorite gneiss; 8—rhyolite porphyry; 9—granite porphyry; 10—granite; 11—gabbro; 12—basaltic porphyrite; 13—unconformity; 14—ductile fault

地质队区测分队(1971)^①创名于歙县井潭,原指牛屋组与休宁组之间的一套酸性火山岩系,后安徽省地质矿产局332地质队(1995)^②将井潭组仅限于原井潭组上部的火山岩段,呈不整合伏于休宁组之下。井潭组岩性为一套由灰绿色、黄绿色变质英安流纹岩、流纹英安岩、流纹岩、流纹斑岩夹石英片岩组成的火山岩(徐生发等,2016),具有双峰式火山岩特征(江来利等,2016;胡召齐等,2016)。

本文研究样品采自歙县岩群昌前岩组和昱岭关群井潭组。其中,昌前岩组凝灰岩样品采样位置为安徽省黄山市歙县昌溪乡昌溪桥东,采样层位为泥

质砂板岩夹凝灰岩。样品 CX131002-1 采样位置地理坐标为 E118°38′40.27″, N29°54′33.71″; 样品 CX131002-2 采样位置地理坐标为 E118°38′40.23″, N29°54′33.05″。样品镜下观察具凝灰结构,由晶屑(10%~15%)、玻屑(5%~10%)和火山尘(75%~85%)组成。晶屑主要为斜长石和石英,呈半自形板状,少见钾长石、白云母等,直径一般为10~50 μm;玻屑呈鸡骨状、棱角状等,与火山尘混杂分布,部分玻屑具褐铁矿化(图2)。

井潭组样品采样位置位于安徽省黄山市歙县岔口镇井潭村东口,采样层位为一套凝灰岩。样品

① 安徽省冶金地质局332地质队区测分队. 1971. 1:20万祁门福、屯溪幅区域地质调查报告.

② 安徽省地质矿产局332地质队. 1995. 1:5万七都、歙县、大阜、王阜区域地质调查报告.

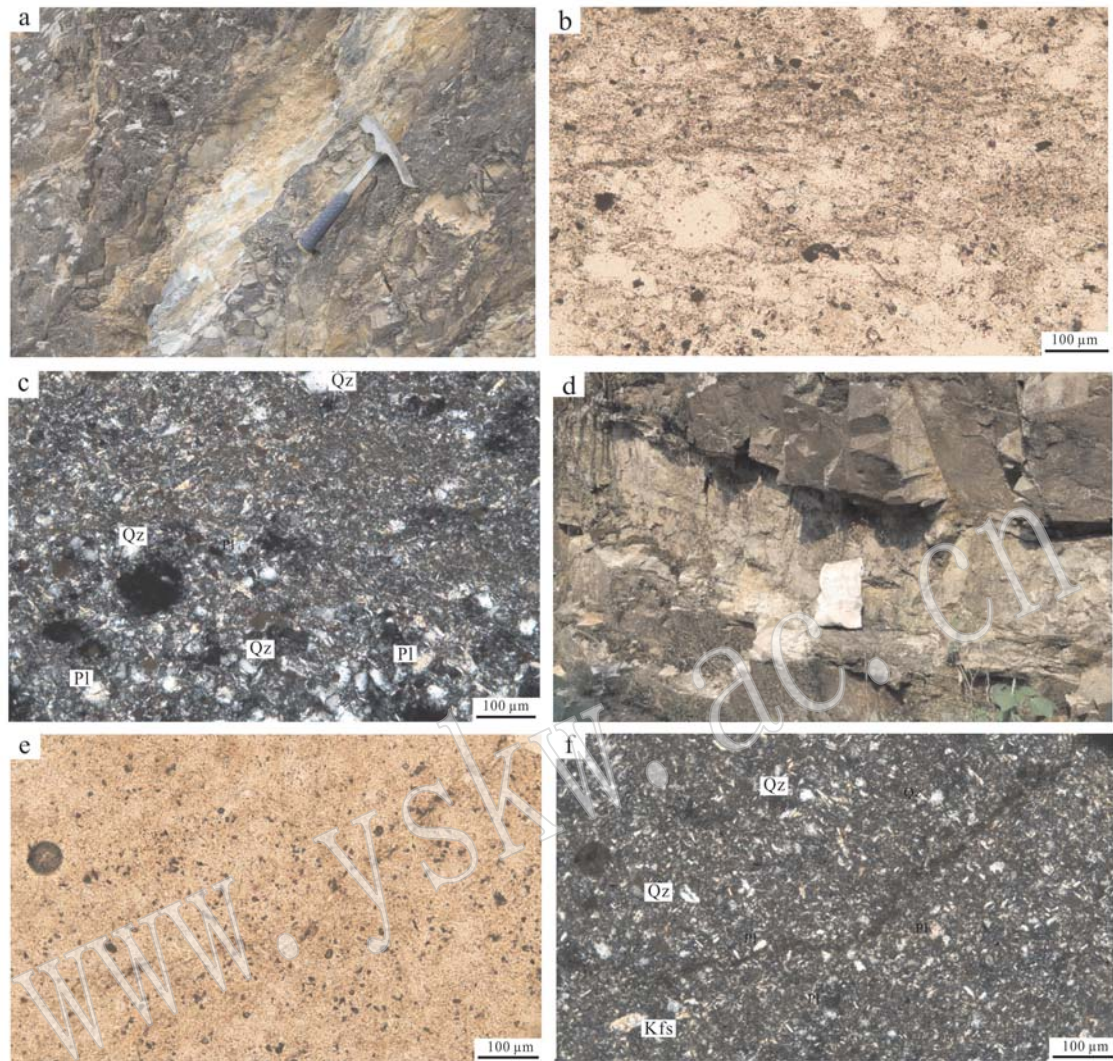


图2 昌前岩组和井潭组凝灰岩的野外露头及镜下特征

Fig. 2 Photographs of the outcrop and microscopic characteristics of tuff from the Changqian and Jingtan Formations
a—昌前岩组凝灰岩野外露头; b—昌前岩组凝灰岩显微特征(单偏光); c—昌前岩组凝灰岩显微特征(正交偏光); d—井潭组凝灰岩野外露头; e—井潭组凝灰岩显微特征(单偏光); f—井潭组凝灰岩显微特征(正交偏光)

a—outcrop photograph of tuff from the Changqian Formation; b—microscope photograph of tuff from the Changqian Formation (plainlight); c—microscope photograph of tuff from the Changqian Formation (crossed nicols); d—outcrop photograph of tuff from the Jingtan Formation; e—microscope photograph of tuff from the Jingtan Formation (plainlight); f—microscope photograph of tuff from the Jingtan Formation (crossed nicols)

JT131002-1 采样位置地理坐标为 E118°43'51.16", N29°54'53.29"。样品镜下观察具凝灰结构,由晶屑(7%~10%)、玻屑(5%~10%)和火山尘(80%~90%)组成。晶屑主要见斜长石和石英,呈不规则棱角状至次棱角状,直径一般为10~40 μm;玻屑与火山尘杂乱分布,隐约可见玻屑的弧面棱角状、鸡骨状外形(图2)。

2 分析方法

锆石单矿物分选在河北廊坊区域地质调查所实验室进行。在无污染的条件下,将原岩样品粉碎后

通过60目的一次性筛网,淘洗岩石粉末,得到含锆石的重砂。再经重液和电磁分选后得到锆石样品,在双目镜下挑选出锆石颗粒。将待测锆石颗粒依照从大到小的顺序排列,与锆石标样(TEM)粘贴在已粘贴了双面胶的玻璃板上,灌注环氧树脂后制成样品靶。待树脂固结变硬后,打磨和抛光至锆石中心部位暴露。然后拍摄锆石的透、反射光显微图像和阴极发光(CL)图像。测定时选取无裂隙和包裹体且CL图像灰度单一的位置测定。本文锆石U-Pb年龄数据是在国家科技基础条件平台北京离子探针中心(中国地质科学院地质研究所)的SHRIMP II仪器上获得的,详细的分析流程据Lance(2003a,

2003b)。原始数据处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig(2002)编写的 2.49 版 Isoplot 程序。普通铅校正根据 Stacey 和 Kramers(1975)给出的模式计算得到。数据表中, 年龄的绝对误差和同位素比值的相对误差均为 1σ , 文中所使用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值具 95% 的置信度。

3 分析结果

锆石的阴极发光(CL)图像显示, 所采锆石虽然形态不相同, 但是锆石核部均具典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构, 表明这些锆石主要为岩浆成因。根据锆石的 CL 图像和可见光图像进行锆石的标点选样, 排除具有裂隙和含有较多包裹体的锆石颗粒。样品中锆石晶型保存完好, 为浅黄色-无色透明钝圆形或不规则形晶体, 粒度多在 $100 \sim 150 \mu\text{m}$ 之间(图 3)。

(1) 昌前岩组样品(CX131002-1)

共测得了 18 个数据点, U 含量变化范围为 $92 \times$

$10^{-6} \sim 530 \times 10^{-6}$, Th 含量变化范围为 $27 \times 10^{-6} \sim 669 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值变化范围为 $0.16 \sim 1.89$ (表 1)。其中, 数据点 1.1 和 12.1 的锆石具有不同程度的磨圆情况, 可能为碎屑继承锆石, 故年龄偏大; 数据点 3.1 和 4.1 的锆石内部结构模糊, 可能经历了局部重结晶作用导致 Pb 丢失, 故年龄值偏小; 数据点 8.1 的锆石在 CL 图下难见环带且数据明显偏离谐和线, 故舍去; 数据点 6.1 和 16.1 的锆石打点位置位于锆石的核部附近或核部的包裹体上, 其年龄可能代表更老一次岩浆事件发生的时间, 导致其年龄数据偏大。该样品的其余 11 个数据点均位于谐和线上或谐和线附近, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $851.7 \pm 6.1 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 1.6$ (图 4), 此年龄代表该层凝灰岩的形成年龄。

(2) 昌前岩组样品(CX131002-2)

共测得了 11 个数据点, U 含量变化范围为 $92 \times 10^{-6} \sim 778 \times 10^{-6}$, Th 含量变化范围为 $72 \times 10^{-6} \sim 673 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值变化范围为 $0.36 \sim 1.33$ (表 1)。其中 3 个数据点(2.1、4.1、8.1)的锆石打点位

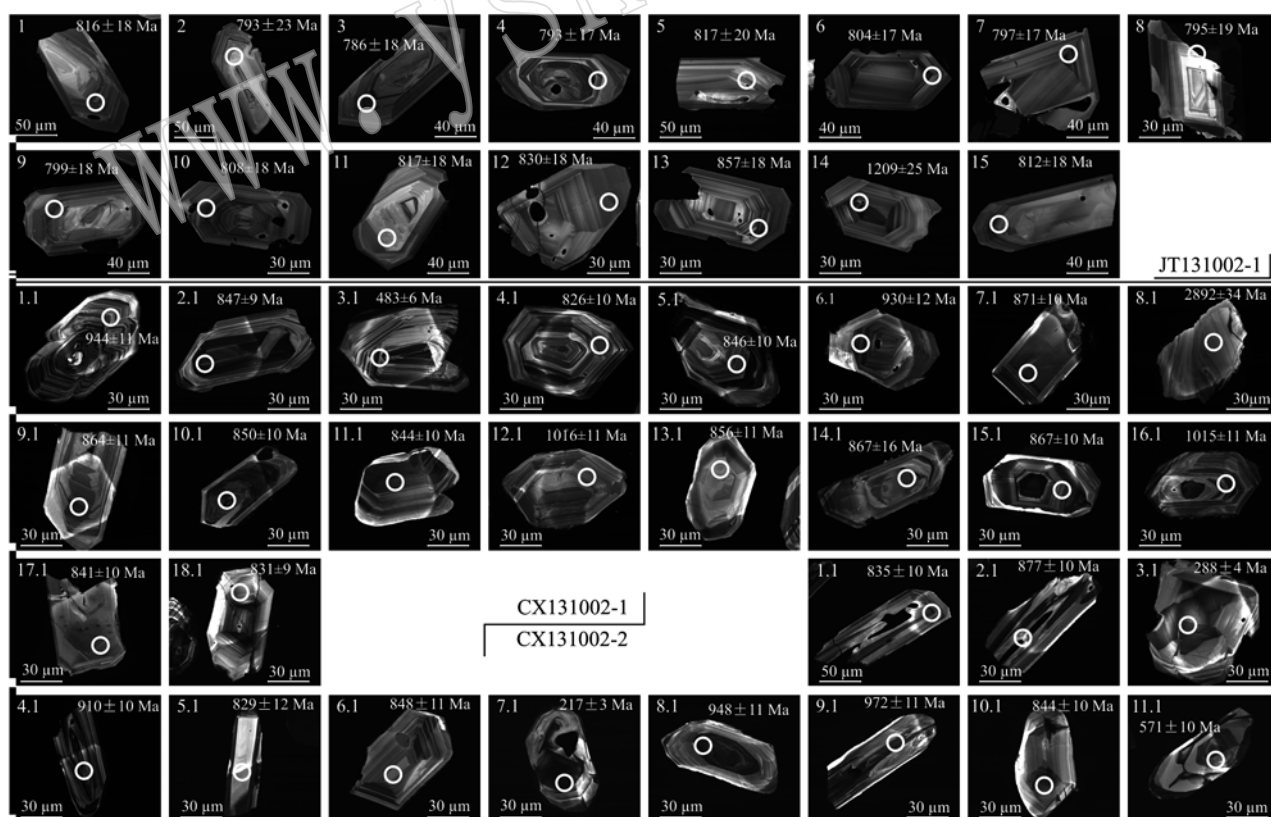


图 3 昌前岩组和井潭组凝灰岩锆石 CL 图像

Fig. 3 Features of zircon (CL), spots and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of gneiss from the Changqian and Jingtang Formations

表1 样品的 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果

Table 1 SHRIMP U-Th-Pb isotopic compositions of tuff and for zircons from the Changqian and Jingtian Formations

测点	$w(^{206}\text{Pb}_c)$	$w_{\text{B}}/10^{-6}$		$^{232}\text{Th}/$	同位素比值						误差相 关系数	年龄/Ma		不谐和 度/%
	/%	U	Th	^{238}U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm \%$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm \%$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm \%$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
CX131002-1														
1.1	—	252	69	0.28	0.071 0	1.6	1.544	2.0	0.1577	1.2	0.602	944 ± 11	958 ± 33	2
2.1	0.09	530	285	0.56	0.065 8	1.2	1.272	1.7	0.140 3	1.2	0.690	847 ± 9	799 ± 25	−6
3.1	—	318	227	0.74	0.058 0	1.9	0.621	2.2	0.077 7	1.2	0.549	483 ± 6	529 ± 41	9
4.1	0.09	191	83	0.45	0.066 2	1.8	1.248	2.2	0.136 6	1.3	0.573	826 ± 10	814 ± 38	−1
5.1	0.05	167	27	0.16	0.068 0	2.6	1.315	2.9	0.140 3	1.3	0.446	846 ± 10	869 ± 55	3
6.1	0.18	306	277	0.93	0.071 3	2.2	1.526	2.6	0.155 2	1.3	0.525	930 ± 12	966 ± 45	4
7.1	0.08	455	337	0.76	0.067 7	1.0	1.349	1.6	0.144 6	1.2	0.752	871 ± 10	858 ± 21	−1
8.1	0.03	92	37	0.42	0.191 3	1.4	14.93	2.0	0.566 1	1.4	0.728	2 892 ± 34	2 753 ± 22	−5
9.1	0.01	116	86	0.77	0.066 5	2.7	1.315	3.0	0.143 5	1.4	0.455	864 ± 11	822 ± 56	−5
10.1	0.47	392	164	0.43	0.066 3	2.1	1.288	2.4	0.141 0	1.2	0.501	850 ± 10	815 ± 43	−4
11.1	—	195	321	1.70	0.067 4	1.4	1.299	1.9	0.139 9	1.3	0.671	844 ± 10	849 ± 29	1
12.1	0.01	282	107	0.39	0.072 8	1.0	1.713	1.6	0.170 7	1.2	0.761	1 016 ± 11	1 008 ± 21	−1
13.1	—	117	109	0.96	0.068 3	2.2	1.336	2.6	0.142 0	1.4	0.532	856 ± 11	877 ± 46	2
14.1	—	398	218	0.57	0.067 1	1.2	1.332	2.3	0.143 9	2.0	0.866	867 ± 16	842 ± 24	−3
15.1	0.56	367	669	1.89	0.067 1	2.1	1.332	2.4	0.144 0	1.2	0.491	867 ± 10	840 ± 44	−3
16.1	0.21	334	245	0.76	0.089 1	1.2	2.095	1.7	0.170 5	1.2	0.717	1 015 ± 11	1 406 ± 22	28
17.1	0.64	316	224	0.73	0.065 2	2.6	1.252	2.9	0.139 3	1.2	0.423	841 ± 10	779 ± 55	−8
18.1	0.13	407	593	1.50	0.065 9	1.4	1.251	1.9	0.137 6	1.2	0.636	831 ± 9	804 ± 30	−3
CX131002-2														
1.1	0.01	171	108	0.65	0.065 5	1.9	1.249	2.3	0.138 3	1.3	0.556	835 ± 10	791 ± 41	−6
2.1	2.80	348	167	0.50	0.063 0	5.5	1.265	5.7	0.145 7	1.3	0.221	877 ± 10	708 ± 120	−24
3.1	—	248	223	0.93	0.055 8	3.2	0.351	3.4	0.045 7	1.3	0.383	288 ± 4	443 ± 70	35
4.1	0.04	300	377	1.30	0.068 9	1.2	1.440	1.7	0.151 5	1.2	0.725	910 ± 10	897 ± 24	−1
5.1	1.22	92	90	1.00	0.065 4	6.0	1.238	6.2	0.137 2	1.5	0.250	829 ± 12	788 ± 130	−5
6.1	0.27	182	152	0.87	0.065 7	2.7	1.273	3.0	0.140 5	1.3	0.435	848 ± 11	797 ± 57	−6
7.1	6.97	778	673	0.89	0.041 4	16	0.195	16	0.034 3	1.3	0.084	217 ± 3	−263 ± 410	182
8.1	0.00	401	141	0.36	0.070 4	1.0	1.538	1.6	0.158 4	1.2	0.756	948 ± 11	941 ± 21	−1
9.1	0.00	252	324	1.33	0.072 0	1.3	1.616	1.8	0.162 7	1.3	0.697	972 ± 11	986 ± 26	1
10.1	0.27	219	204	0.96	0.066 0	2.6	1.273	2.9	0.139 9	1.2	0.426	844 ± 10	807 ± 55	−5
11.1	6.41	143	72	0.52	0.045 0	30	0.580	30	0.092 6	1.9	0.061	571 ± 10	−31 ± 740	1 922
JT131002-1														
1	—	141	76	0.56	0.065 5	2.1	1.219	3.2	0.134 9	2.4	0.747	816 ± 18	791 ± 44	−3
2	—	105	60	0.59	0.071 4	4.5	1.289	5.5	0.131 0	3.1	0.568	793 ± 23	969 ± 93	18
3	0.61	216	107	0.51	0.062 6	4.1	1.118	4.8	0.129 6	2.5	0.510	786 ± 18	694 ± 88	−13
4	0.30	225	100	0.46	0.064 6	2.2	1.166	3.1	0.130 8	2.2	0.717	793 ± 17	763 ± 46	−4
5	—	85	39	0.48	0.070 2	2.5	1.307	3.7	0.135 1	2.7	0.724	817 ± 20	934 ± 52	13
6	0.34	255	661	2.68	0.067 4	3.0	1.235	3.7	0.132 9	2.2	0.597	804 ± 17	851 ± 62	5
7	0.98	242	738	3.15	0.059 5	1.9	1.079	3.0	0.131 5	2.3	0.767	797 ± 17	584 ± 41	−36
8	0.28	191	123	0.67	0.063 1	3.1	1.141	4.0	0.131 2	2.6	0.647	795 ± 19	711 ± 65	−12
9	0.27	144	97	0.70	0.062 7	2.3	1.140	3.3	0.132 0	2.4	0.715	799 ± 18	697 ± 49	−15
10	—	273	345	1.31	0.066 8	2.2	1.231	3.2	0.133 6	2.4	0.744	808 ± 18	832 ± 45	3
11	0.19	161	105	0.67	0.065 8	2.5	1.227	3.4	0.135 1	2.3	0.673	817 ± 18	801 ± 53	−2
12	0.61	189	145	0.79	0.068 5	3.0	1.297	3.8	0.137 4	2.4	0.622	830 ± 18	882 ± 62	6
13	0.93	246	241	1.01	0.062 3	4.4	1.222	4.9	0.142 2	2.2	0.457	857 ± 18	686 ± 93	−25
14	0.82	285	423	1.54	0.069 8	2.6	1.987	3.5	0.206 4	2.3	0.654	1 209 ± 25	923 ± 54	−31
15	0.51	123	69	0.58	0.064 0	3.7	1.184	4.5	0.134 2	2.4	0.541	812 ± 18	741 ± 79	−10

注: Pb_c 代表普通铅。

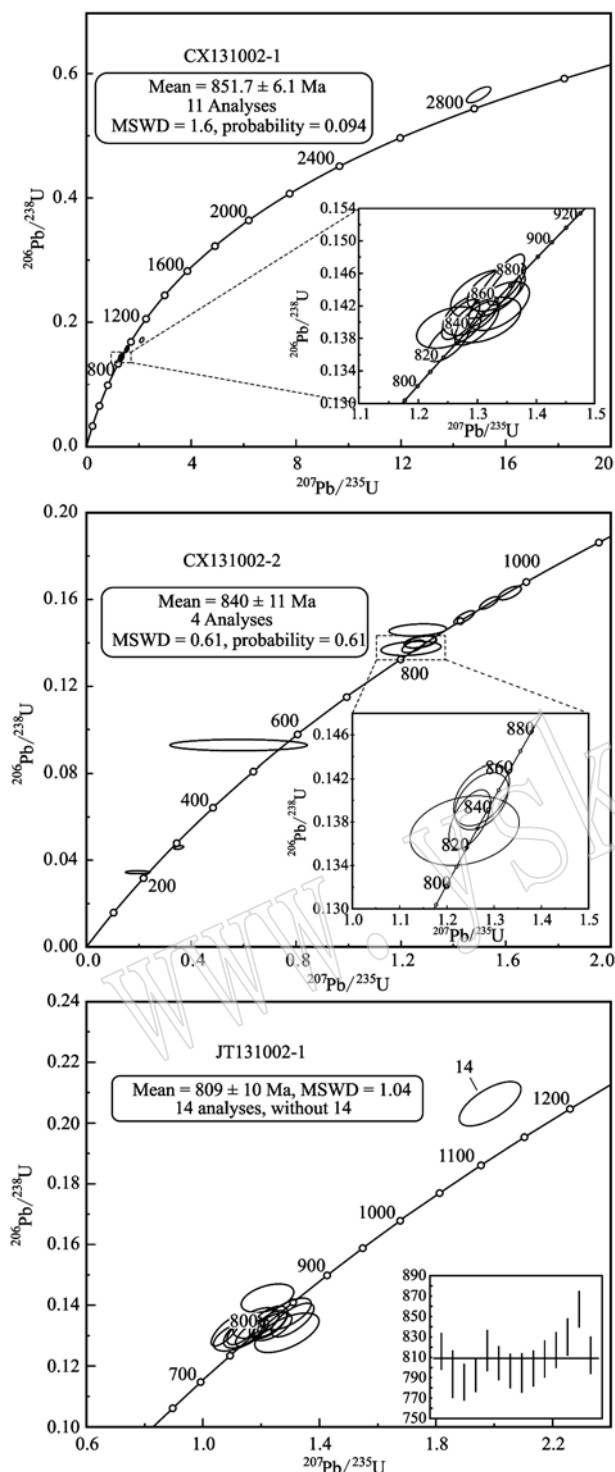


图4 昌前岩组和井潭组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of tuff bedding from the Changqian and Jingtian Formations

置位于锆石的核部附近或核部的包裹体上,其年龄可能代表更老一次岩浆事件发生的时间,导致其年龄数据偏大;数据点 9.1 的锆石具有一定的磨圆程

度,可能为碎屑继承锆石,故年龄偏大;2 个数据点 (7.1、11.1) 的 ^{206}Pb 含量较高,可能是锆石在制样过程中被污染,故导致这两个数据的准确度降低,年龄偏小;数据点 3.1 的锆石内部结构模糊,可能是经历了局部重结晶作用导致 Pb 丢失,故年龄值偏小。其余 4 个数据点均位于谐和线上或谐和线附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $840 \pm 11 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 0.61$ (图 4),此年龄代表该层凝灰岩的形成年龄。

(3) 井潭组样品(JT131002-1)

共测试了 15 个数据点,测定时斑点均位于锆石环带区域。U 含量变化范围为 $85 \times 10^{-6} \sim 285 \times 10^{-6}$, Th 含量变化范围为 $39 \times 10^{-6} \sim 738 \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值变化范围为 $0.46 \sim 3.15$ (表 1)。其中数据点 14 的锆石打点位置位于锆石核部附近或核部的包裹体上,其年龄可能代表着更老一次岩浆事件发生的时间,导致其明显偏离谐和线。其余的 14 个数据点均位于谐和线上或其附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $809 \pm 10 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 1.04$ (图 4),此年龄代表了该层凝灰岩的形成年龄。

4 讨论

4.1 江南造山带褶皱基底的时代地层学意义

在江南造山带区域范围内,自西向东广泛发育了褶皱基底,如梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群和溪口岩群等。随着近年来研究的深入和高精度测年技术的应用,各地层单元都获得了一批高质量的年龄数据。① 在对梵净山群的研究中,周金城等 (2009a) 在梵净山群砂岩中获得了 $872 \pm 3 \text{ Ma}$ 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄,限定了梵净山群的最大沉积年龄;Zhou Jincheng 等 (2009b) 在梵净山群镁铁质火成岩样品中获得了 $822 \pm 15 \text{ Ma}$ 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;高林志等 (2011b) 在侵入梵净山群的白岗岩中获得了 $835 \pm 5 \text{ Ma}$ 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,代表了花岗岩侵入的时代;张传恒等 (2014) 在梵净山群回香坪组火山岩中获得了 $840 \pm 11 \text{ Ma}$ 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。② 在对四堡群的研究中,周金城等 (2009a) 在四堡群砂岩、片岩样品中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄为 $867 \pm 4 \text{ Ma}$,限定了四堡群的最大沉积年龄;高林志等 (2010b) 分别在四堡群凝灰岩和花岗岩中获得了 $842 \pm 6 \text{ Ma}$ 和 $827 \pm 6 \text{ Ma}$ 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;Wang Wei 等 (2012) 在四堡群火山岩中获

得了 830 ± 4 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; Lin Musen 等(2016)在四堡群变辉长岩和变辉岩中获得了 859 ± 15 、 834 ± 10 和 861 ± 19 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄。③ 在对冷家溪群的研究中,高林志等(2011a)在冷家溪群小木平组凝灰岩中获得了 822 ± 10 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,孟庆秀等(2013)在冷家溪群顶部凝灰岩获得了 825 ± 4 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,并在冷家溪群砂质泥岩中获得了 867 ± 2 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄;Wang Jingqiang 等(2017)在冷家溪群 3 组砂岩样品中获得了 827 ± 10 、 828 ± 10 和 836 ± 10 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄;Zhang Heng 等(2015)在冷家溪群砂岩样品中获得了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄为 863 Ma,限定了冷家溪群的最大沉积年龄。④ 在对双桥山群的研究中,高林志等(2008)在双桥山群横涌组 and 安乐林组斑脱岩中分别获得了 831 ± 5 Ma 和 829 ± 5 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;周效华等(2012)在双桥山群中变安山岩、变流纹岩及变凝灰岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 822 ± 6 、 821 ± 5 和 830 ± 5 Ma,并在横涌组凝灰质砂岩中获得了 838 ± 9 Ma 的最年轻碎屑锆石加权平均年龄;Sun Junjun 等(2018)在双桥山群宜丰组砂岩中获得了 853 ± 12 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄。⑤ 在对溪口岩群的研究中,高林志等(2009)在溪口岩群上部牛屋组英安岩中获得了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 866 ± 9 Ma;张彦杰等(2010)在溪口岩群不同层位浅变质凝灰质碎屑岩中获得了 835 ± 9 、 842 ± 8 、 838 ± 9 以及 829 ± 8 Ma 的最年轻碎屑锆石加权平均年龄;Cui Xiang 等(2015)在溪口岩群砂岩样品中获得了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄为 810 ± 16 Ma。

江南造山带区域范围内的褶皱基底中锆石 U-Pb 年龄大多数处于 850 ~ 820 Ma 的年龄区间。本次研究获得的歙县岩群昌前岩组两组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 852 ± 6 Ma 和 840 ± 11 Ma 与上述地层单元相当。昌前岩组由强烈剪切变形的浅变质火山-沉积岩组成,形成于弧后盆地(江来利等,2015)^①,这与 860 ~ 820 Ma 间的华南洋壳北西向俯冲于扬子

陆块之下的大地构造背景相吻合(张恒,2015)。综合以上数据可以认为,歙县岩群与梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群、溪口岩群等地层具有一定的对比意义,均为江南造山带的浅变质褶皱基底(图 5)。

4.2 江南造山带似盖层过渡地层的年代地层学意义

江南造山带自西向东广泛发育似盖层过渡地层,如下江群、丹洲群、板溪群、马涧桥组、登山群以及上墅组,近年来众多学者在研究中也获得了一批高质量的年龄数据。① 在对下江群的研究中,高林志等(2010a)分别在下江群甲路组凝灰岩和清水江组凝灰岩中获得了 814 ± 6 和 774 ± 8 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;高林志等(2014b)在下江群新寨组凝灰岩中获得了 814 ± 10 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;Wang Lijuan 等(2010)在下江群乌叶组砂岩中获得了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄为 756 ± 7 Ma。② 在对丹洲群的研究中,高林志等(2013)分别在丹洲群合桐组凝灰岩和拱洞组凝灰岩中获得了 801 ± 3 和 787 ± 6 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;崔晓庄等(2016)在丹洲群合桐组二段底部凝灰岩中获得了 801 ± 4 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,并在拱洞组底部凝灰岩中获得了 821 ± 3 、 802 ± 3 、 781 ± 5 Ma 共 3 组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,其中前两组年龄代表捕获锆石的形成时间,而最年轻的一组年龄为拱洞组凝灰岩夹层的形成时间;Wang Wei 等(2012)在丹洲群白竹组、合桐组、拱洞组砂岩样品中分别获得了 768 ± 5 、 770 ± 4 和 735 ± 4 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄。③ 在对板溪群的研究中,高林志等(2011a)在板溪群张家湾组凝灰岩中获得了 803 ± 8 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;孟庆秀等(2013)在板溪群底部凝灰岩中获得了 797 ± 3 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;Wang Jingqiang 等(2017)在板溪群江口组砂岩样品中获得了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄为 797 ± 14 Ma。④ 在对马涧桥组的研究中,高林志等(2012)在马涧桥组凝灰岩中获得了 769 ± 8 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。⑤ 在对登山群的研究中,在其上部凝灰岩获得了 798 ± 8 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(张继彪等,待刊)^②。⑥ 在对上墅组的研

① 江来利,胡召齐,朱 强,等. 2015. 皖南构造带形成演化及其与成矿关系(内部资料).

② 张继彪,刘燕学,丁孝忠,等. 江南造山带东段登山群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、砂岩地球化学特征及大地构造意义. 岩石矿物学杂志(待刊).

究中,高林志等(2008)在上墅组斑脱岩中获得了 767 ± 5 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;Wang Xiaolei 等(2012)在上墅组火山岩中获得了 4 组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 802 ± 8 、 794 ± 7 、 797 ± 6 和 795 ± 5 Ma。其中,部分下江群、丹洲群和板溪群的 LA-

ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谱系图最小年龄小于或略小于该地层的凝灰岩锆石 U-Pb 年龄。因此,笔者认为,首先需要确定不同样品的采样层位的上下关系,并结合更多的高精度锆石 U-Pb 年龄数据,以此来约束该类地层的形成时代,进而理清地层对比问题。

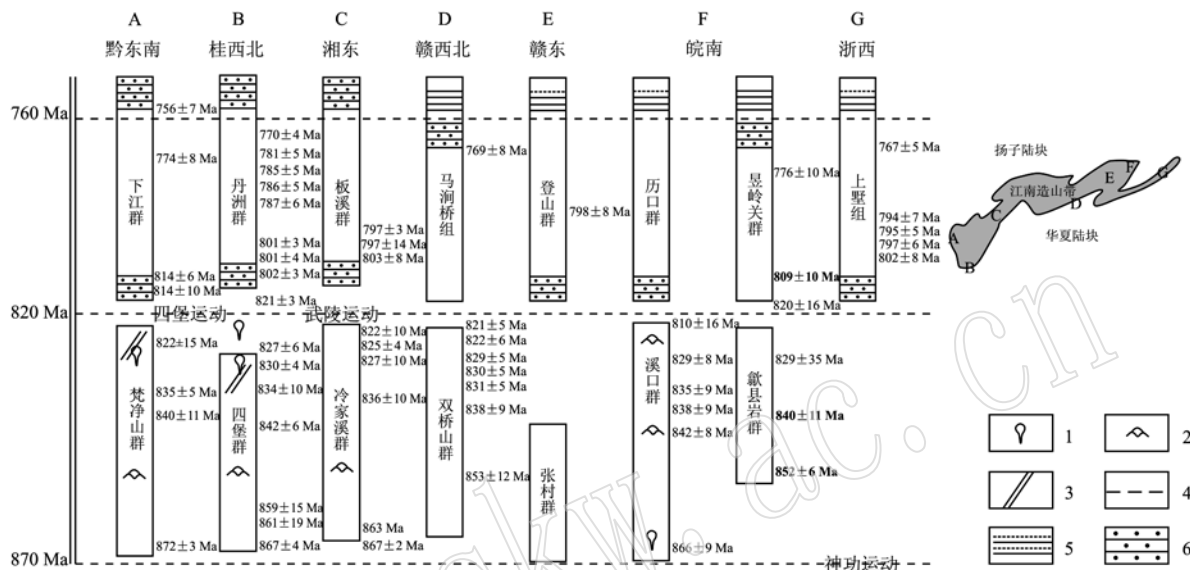


图5 江南造山带区域青白口系地层序列与年龄标定[据高林志等(2014a)修改]

Fig. 5 Neoproterozoic sequence and geochronological zircon U-Pb dating (after Gao Linzhi *et al.*, 2014a)

1—花岗岩; 2—枕状熔岩; 3—辉绿岩墙; 4—武陵运动界面; 5—凝灰质粉砂岩; 6—砾岩
1—granite; 2—pillow lava; 3—diabase dike; 4—unconformity; 5—tuffaceous siltstone; 6—conglomerate

江南造山带的似盖层过渡地层,其锆石 U-Pb 年龄大多数处于 820 ~ 760 Ma 的年龄区间。本次研究获得昱岭关群井潭组凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 809 ± 10 Ma,井潭组在地层年龄上与上述各地层单元相当。井潭组地层以不整合接触下伏于南华系休宁组地层,且变质变形程度明显小于其层位之下的褶皱基底。综合以上数据可以认为,昱岭关群在层位上与下江群、丹洲群、板溪群、马涧桥组、登山群以及上墅组等江南造山带的似盖层地层具有一定对比意义(图5)。

5 结论

(1) 本研究在江南造山带东段皖南昱岭关地层分区歙县岩群昌前岩组凝灰岩中获得了 852 ± 6 Ma 和 840 ± 11 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,在昱岭关群井潭组凝灰岩中获得了 809 ± 10 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,据此确定这两套地层均属于新元古界青白口系。

(2) 根据最新获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据,确定歙县岩群在时代上与江南造山带范围内梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群以及溪口岩群相当,均为江南造山带褶皱基底的重要组成部分。

(3) 根据最新获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据,结合地层岩性特点及变形变质特征,确定昱岭关群地层在时代上与下江群、丹洲群、板溪群、马涧桥组、登山群以及上墅组等地层可以对比,均为江南造山带的似盖层过渡地层。

致谢 衷心感谢中国地质调查局南京地调中心黄志忠教授级高工在野外工作中的提供的指导和帮助;感谢中国地质大学(北京)周洪瑞教授在本文的修改上提出宝贵的建议;感谢北京离子探针中心的杨淳女士、江南女士、车晓超博士在装载样品、仪器调试、仪器监控和数据处理方面所提供的帮助;感谢两位匿名审稿人对本文进行的详细审阅和提出的建设性意见。

References

- Chen Guanbao, Xu Shutong, Tao Zheng, *et al.* 1998. Sm-Nd isotope age of the metamorphic volcanic rocks of the Jingtan Formation in Southern Anhui Province and its tectonic implication[J]. *Geoscience*, 12(4): 93 ~ 99(in Chinese with English abstract).
- Cui Xiang, Zhu Wenbin, Fitzsimons I C W, *et al.* 2015. U-Pb age and Hf isotope composition of detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary units in southern Anhui Province, South China: Implications for the provenance, tectonic evolution and glacial history of the eastern Jiangnan Orogen[J]. *Precambrian Research*, 271: 65 ~ 82.
- Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Deng Qi, *et al.* 2016. Zircon U-Pb geochronological results of the Danzhou Group in Northern Guangxi and their implications for the Neoproterozoic rifting stages in South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(5): 1 049 ~ 1 063(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Chen Jianshu, Dai Chuangu, *et al.* 2014b. SHRIMP zircon U-Pb dating of tuff in Fanjingshan Group and Xiajiang Group from Guizhou and Hunan Provinces and its stratigraphic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(7): 949 ~ 959(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Chen Jun, Ding Xiaozhong, *et al.* 2011a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi groups, northeastern Hunan: constraints on the Wuling Movement[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(7): 1 001 ~ 1 008(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Ding Xiaozhong, *et al.* 2011b. SHRIMP U-Pb dating of intrusive alaskite in the Fanjingshan Group and alaskite basal conglomerates: constraints on the deposition of the Xiajiang Group[J]. *Geology in China*, 38(6): 1 413 ~ 1 420(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, *et al.* 2010a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication[J]. *Geology in China*, 37(4): 1 071 ~ 1 080(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, *et al.* 2010b. Zircon SHRIMP U-Pb dating of tuff bed of the Sibao Group in southeastern Guizhou-northern Guangxi area, China and its stratigraphic implication[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1 259 ~ 1 267(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, *et al.* 2014a. SHRIMP zircon U-Pb dating of Neoproterozoic Chencai Complex in Jiangshan-Shaoxing fault zone and its implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(5): 641 ~ 648(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Huang Zhizhong, Ding Xiaozhong, *et al.* 2012. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Xiushui and Majianqiao Formations in northwestern Jiangxi Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(7): 1 086 ~ 1 093(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Lu Jipu, Ding Xiaozhong, *et al.* 2013. Zircon U-Pb dating of Neoproterozoic tuff in South Gaungxi and its implications for stratigraphic correlation[J]. *Geology in China*, 40(5): 1 443 ~ 1 452(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, *et al.* 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China: Constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10): 1 744 ~ 1 751(in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, *et al.* 2009. Recognition of Meso- and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(4): 433 ~ 446(in Chinese with English abstract).
- Geological Survey of Anhui Province. 2018. Regional Geology of Anhui Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Hu Zhaoqi, Jiang Laili, Xu Shengfa, *et al.* 2016. Ore-controlling structure study of the gold polymetallic deposit in the southeastern part of the Xiuning-Shexian area, Anhui Province[J]. *East China Geology*, 37(4): 259 ~ 265(in Chinese with English abstract).
- Jiang Laili, Hu Zhaoqi and Zhu Qiang. 2016. Composition, features and evolution of structural belts in South Anhui[J]. *Geology of Anhui*, 26(3): 169 ~ 174, 178(in Chinese with English abstract).
- Lance P B, Sandra L K, Charlotte M A, *et al.* 2003a. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*, 200: 155 ~ 170.
- Lance P B, Sandra L K, Williams I S, *et al.* 2003b. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: A critical appraisal of four zircon standards[J]. *Chemical Geology*, 200: 171 ~ 188.
- Li Yufa and Jiang Lifu. 1997. Stratigraphy (Lithostratic) of Anhui Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang, *et al.* 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks[J]. *Precambrian Research*, 174(1 ~ 2): 117 ~ 128.

- Lin Musen, Peng Songbai, Jiang Xingfu, *et al.* 2016. Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks from the western Jiangnan orogen, South China[J]. *Gondwana Research*, 35: 338 ~ 356.
- Ludwig K R. 2002. SQUID 1. 02, a user's manual[A]. Berkeley Geochronology Center Special Publication[C]. No. 2. 2 455 Ridge Road, Berkeley, CA 94 709, USA.
- Meng Qingxiu, Zhang Jian, Geng Jianzhen, *et al.* 2013. Zircon U-Pb age and Hf isotope compositions of Lengjiaxi and Baxi Groups in middle Hunan Province: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution in South China[J]. *Geology in China*, 40(1): 191 ~ 216(in Chinese with English abstract).
- Stacey J S and Kramers J D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 207 ~ 221.
- Sun Junjun, Shu Liangshu, Santosh M, *et al.* 2018. Precambrian crustal evolution of the central Jiangnan Orogen (South China): Evidence from detrital zircon U-Pb ages and Hf isotopic compositions of Neoproterozoic metasedimentary rocks[J]. *Precambrian Research*, 318: 1 ~ 24.
- Wang Jingqiang, Shu Liangshu and Santosh M. 2017. U-Pb and Lu-Hf isotopes of detrital zircon grains from Neoproterozoic sedimentary rocks in the central Jiangnan Orogen, South China: Implications for Precambrian crustal evolution[J]. *Precambrian Research*, 294: 175 ~ 188.
- Wang Lijuan, Griffin W L, Yu Jinhai, *et al.* 2010. Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks[J]. *Precambrian Research*, 177(1 ~ 2): 131 ~ 144.
- Wang Wei, Zhou Meifu, Yan Danping, *et al.* 2012. Depositional age, provenance, and tectonic setting of the Neoproterozoic Sibao Group, southeastern Yangtze Block, South China[J]. *Precambrian Research*, 192 ~ 195: 107 ~ 124.
- Wang Wei and Zhou Meifu. 2012. Sedimentary records of the Yangtze Block (South China) and their correlation with equivalent Neoproterozoic sequences on adjacent continents[J]. *Sedimentary Geology*, 265 ~ 266(15): 126 ~ 142.
- Wang Xiaolei, Shu Liangshu, Xing Guangfu, *et al.* 2012. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: Evidence from ca 800-760 Ma volcanic rocks[J]. *Precambrian Research*, 222 ~ 223: 404 ~ 423.
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Chen Xin, *et al.* 2017. Formation and Evolution of the Jiangnan Orogen[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5): 696, 714 ~ 735(in Chinese with English abstract).
- Wu Rongxin, Zheng Yongfei and Wu Yuanbao. 2007. Zircon U-Pb age and isotope geochemistry of Neoproterozoic Jingtan volcanics in South Anhui[J]. *Geological Journal of China Universities*, 13(2): 282 ~ 296(in Chinese with English abstract).
- Xu Bei, Guo Lingzhi and Shi Yangshen. 1992. The Proterozoic Terrain and Multiperiod Collisional Orogenic Belt in Anhui, Zhejiang and Jiangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Xu Shengfa, Jiang Laili, Wang Deen, *et al.* 2016. Structural interpretation of the Taoxi fracture zone in Xiuning and the implications of its role in regional ore control[J]. *Geology in Anhui*, 26(1): 1 ~ 4(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, Shi Xiaoying, *et al.* 2014. SHRIMP age of the volcanic rock from the Fanjingshan Group and its chronostratigraphic significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 139 ~ 143(in Chinese with English abstract).
- Zhang Heng. 2015. Chronology and Structural Properties of Late Precambrian Stratigraphic in the Southern Margin of the Eastern Jiangnan Orogenic Belt[D]. Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- Zhang Heng, Li Tingdong, Xie Ying, *et al.* 2015. Geochronology and tectonic evolution of the west section of the Jiangnan orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(5): 1 497 ~ 1 515.
- Zhang Yanjie, Zhou Xiaohua, Liao Shengbing, *et al.* 2010. Neoproterozoic crustal composition and orogenic process of the Zhanggongshan Area, Anhui-Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(10): 1 401 ~ 1 427(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei and Qiu Jiansheng. 2009a. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen[J]. *Geological Journal of China Universities*, 15(4): 453 ~ 459(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei and Qiu Jiansheng. 2009b. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. *Precambrian Research*, 170(1 ~ 2): 27 ~ 42.
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei and Qiu jiansheng. 2014. Neoproterozoic Tectono-magmatic Evolution of Jiangnan Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Zhou Xiaohua, Zhang Yanjie, Liao Shengbing, *et al.* 2012. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of Volcanic Rocks in the Shuangqiaoshan Group at Anhui-Jiangxi Boundary Region and Its Geological Implication[J]. *Geological Journal of China Universities*, 18(4): 609 ~ 622(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安徽省地质调查院. 2018. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 安徽省地质矿产局. 1997. 安徽省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 陈冠宝, 徐树桐, 陶正, 等. 1998. 皖南井潭组变质火山岩 Sm-Nd 同位素年龄及其大地构造意义[J]. 现代地质, 12(4): 93~99.
- 崔晓庄, 江新胜, 邓奇, 等. 2016. 桂北地区丹洲群锆石 U-Pb 年代学及对华南新元古代裂谷作用期次的启示[J]. 大地构造与成矿学, 40(5): 1 049~1 063.
- 高林志, 陈建书, 戴传固, 等. 2014b. 黔东南地区梵净山群与下江群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 33(7): 949~959.
- 高林志, 陈峻, 丁孝忠, 等. 2011a. 湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄——对武陵运动的制约[J]. 地质通报, 30(7): 1 001~1 008.
- 高林志, 戴传固, 丁孝忠, 等. 2011b. 侵入梵净山群白岗岩锆石 U-Pb 年龄及白岗岩底砾岩对下江群沉积的制约[J]. 中国地质, 38(6): 1 413~1 420.
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 2010a. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义[J]. 中国地质, 37(4): 1 071~1 080.
- 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 2010b. 黔东南-桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义[J]. 地质通报, 29(9): 1 259~1 267.
- 高林志, 丁孝忠, 刘燕学, 等. 2014a. 江山-绍兴断裂带陈蔡岩群片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 33(5): 641~648.
- 高林志, 黄志忠, 丁孝忠, 等. 2012. 赣西北新元古代修水组和马洞桥组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 31(7): 1 086~1 093.
- 高林志, 陆济璞, 丁孝忠, 等. 2013. 桂北地区新元古代地层凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 40(5): 1 443~1 452.
- 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 2008. 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, 27(10): 1 744~1 751.
- 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 等. 2009. 华北-江南地区中、新元古代地层格架的再认识[J]. 地球学报, 30(4): 433~446.
- 胡召齐, 江来利, 徐生发, 等. 2016. 安徽休宁-歙县东南部地区金多金属矿控矿构造研究[J]. 华东地质, 37(4): 259~265.
- 江来利, 胡召齐, 朱强. 2016. 皖南构造带的组成、构造特征和构造演化[J]. 安徽地质, 26(3): 169~174, 178.
- 李玉发, 姜立富. 1997. 安徽省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 孟庆秀, 张健, 耿建珍, 等. 2013. 湘中地区冷家溪群和板溪群锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及对华南新元古代构造演化的意义[J]. 中国地质, 40(1): 191~216.
- 王孝磊, 周金城, 陈昕, 等. 2017. 江南造山带的形成与演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 36(5): 696, 714~735.
- 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 2007. 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, 13(2): 282~296.
- 徐备, 郭令智, 施央申. 1992. 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.
- 徐生发, 江来利, 王德恩, 等. 2016. 休宁桃溪断裂带构造解析及其区域控矿作用启示[J]. 安徽地质, 26(1): 1~4.
- 张传恒, 高林志, 史晓颖, 等. 2014. 梵净山群火山岩锆石 SHRIMP 年龄及其年代地层学意义[J]. 地学前缘, 21(2): 139~143.
- 张恒. 2015. 江南造山带东段南缘晚前寒武纪地层年代学与构造属性研究[D]. 中国地质科学院.
- 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 2010. 皖赣鄱公山地区新元古代地壳组成及造山过程[J]. 地质学报, 84(10): 1 401~1 427.
- 周金城, 王孝磊, 邱检生. 2009a. 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, 15(4): 453~459.
- 周金城, 王孝磊, 邱检生. 2014. 江南造山带新元古代构造? 岩浆演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 周效华, 张彦杰, 廖圣兵, 等. 2012. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 高校地质学报, 18(4): 609~622.