

浙西北及江绍断裂带分别发现早古生代和晚古生代岩浆活动

余心起¹, 张德会¹, 颜铁增², 邱骏挺¹, 李鹏举¹, 朱玉娣¹

YU Xin-qi¹, ZHANG De-hui¹, YAN Tie-zeng², QIU Jun-ting¹, LI Peng-ju¹, ZHU Yu-di¹

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203

1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China

摘要:浙西北地区乃至浙赣皖相邻区早古生代受华南加里东构造活动的影响, 仅发育轻微褶皱及断裂, 造成上古生界与下伏前震旦系浅变质岩系—下古生界之间的区域性角度不整合, 而不发育早古生代、晚古生代岩浆活动。在浙皖交界开化县获得 445Ma±19Ma 的岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄, 另在金华山后(江绍断裂带北侧)年龄为 452.1Ma±2.7Ma 的细粒花岗岩旁, 发现了 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 334.1Ma±2.4Ma 的辉长闪长岩, 暗示江绍断裂带在早古生代的构造活动可能引发了断裂带沿线及其北侧偏远处的岩浆活动, 在晚古生代仍有较强的构造表现。由此可见, 浙赣皖相邻区的加里东构造事件远比以往所认识的更强烈。这组年龄数据对重新认识浙赣皖相邻区和江绍断裂带的构造活动及其演化具有重要意义。

关键词:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb; 早古生代; 晚古生代; 江绍断裂带; 浙西北地区

中图分类号: P534.4; P588.11

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2013)10-1558-08

Yu X Q, Zhang D H, Yan T Z, Qiu J T, Li P J, Zhu Y D. The discovery of the Early and Late Paleozoic magmatic activities in northwest Zhejiang Province, southeast China. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(10):1558-1565

Abstract: It is generally considered that the Early Paleozoic geology of northwest Zhejiang and even the adjacent areas of Zhejiang such as Anhui, and Jiangxi Provinces (ZWG) is characterized by a series of folds, faults and the regional unconformity between the Late Paleozoic as well as the underlying Presinian epimetamorphic rocks and the lower part of the Early Paleozoic strata. These features resulted from the long-distance effect of the Caledonian tectonic event that occurred in South China. In contrast, Paleozoic magmatic activities in ZWG are generally to have been poorly developed. The authors obtained LA-ICP-MS zircon U-Pb weighted average ages of 445Ma±19Ma, 452.1Ma±2.7Ma, and 334.1Ma±2.4Ma for the magmatic rocks from the border area of Zhejiang and Anhui Provinces and the northern side of the Jiangshan-Shaoxing fault zone respectively, implying that only an intense tectonic activity once occurred in ZWG region during the Early Paleozoic, and there also existed a tectonomagmatic event along the fault zone during the Late Paleozoic. These data are valuable for the better understanding of tectonic evolution of Jiangshan-Shaoxing fault.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Early Paleozoic; Late Paleozoic; Jiangshan-Shaoxing fault; west Zhejiang

江山-绍兴断裂带被认为是扬子地块和华夏地块之间的构造单元边界^[1-3], 在不同时期、不同构造环境与应力条件下, 它具有不同性质的活动表现

及构造变形特征, 并对两侧的地质历史产生明显的影响^[4]。总体来看, 江绍断裂不是一条“线”而是一个“带”, 在不同的地段其宽度和走向不同, 某一地段

收稿日期: 2013-01-04; 修订日期: 2013-06-30

资助项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 41272232)和浙江省第三地质大队、浙江省核工业二六九大队项目

作者简介: 余心起(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事构造地质学和岩石大地构造学研究。E-mail: yuxinqi@cugb.edu.cn

的许多断层长度、断距和断及深度亦会有明显差异,可能有 1 条或数条特征明显的主干断层,共同组成了具有一定宽度的大地构造意义上的江绍断裂带。

Li 等^[5]认为,华夏与扬子陆块体在 880Ma 前后最终沿钦杭拼合带(东段以江绍断裂带为主干断裂)拼合形成统一的华南大陆,之后不久在地幔柱冲击下发生裂解。近几年对华南前寒武纪的研究基本上都趋向于这一认识^[5-9],即拼贴的华南板块在 825~780Ma 期间处于裂解阶段,Rodinia 超大陆裂解,扬子地块内部扩张,堆积晚元古界河上镇群磨拉石、复理石、杂砂岩建造和陆相火山岩建造,后者发育双峰式火山岩^[5, 10-18]。早古生代,华南及江绍断裂带发育构造—岩浆活动,浙西北乃至浙赣皖相邻区受其影响,形成上古生界与下伏前震旦系浅变质岩系—下古生界之间的区域性角度不整合^[19-21],但不发育早古生代的侵入岩和喷出岩^[22-23]。文献资料查新检索也表明江绍断裂带没有晚古生代岩浆活动的报道。朱云鹤等^[24]在江绍断裂带中段诸暨县璜山—王家宅一带发现片理发育的闪长质岩石,认为系闪长岩类经动力改造后的糜棱岩,相应的糜棱岩化作用发生在 353~370Ma,晚于闪长质岩石的形成时间。

然而,笔者获得了浙西北 445Ma±19Ma、江绍断裂带 452.1Ma±2.7Ma 和 334.1Ma±2.4Ma 的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,对重新认识浙赣皖相邻区的加里东构造事件及江绍断裂带的构造演化具有重要的理论和实际意义。

1 区域地质背景及样品特征

研究区地处扬子地块东南段,包括华夏地块西北部的一部分,主体为浙西地块。分割华夏地块和扬子地块一级大地构造单元的江绍大断裂通过研究区,西北角为江南晚元古代造山带(图 1-A、B)。研究区经历了晋宁期、加里东期、海西—印支期、燕山期和新生代多期次的构造运动,地质构造十分复杂。自元古宙开始,古生代、中生代和第四纪地层发育齐全。

基底岩系双桥山群和河上镇群上墅组广泛出露浅变质岩。最新的年龄数据表明,双桥山群和上墅组均属于新元古代^[7, 13]。高林志等^[13]获得赣东北地区双桥山群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄加权平均值为 831Ma±5Ma(横涌组)、829Ma±5Ma(安乐林组),

河上镇群上墅组年龄加权平均值为 767Ma±5Ma; Wan 等^[7]获得双桥山群侵入辉长岩、层状石英角斑岩和凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 801Ma±4Ma、878Ma±5Ma 和 879Ma±6Ma,表明双桥山群的成岩年龄在 880Ma 左右;之后 Wang 等^[8]获得上墅组玄武岩、英安岩、流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 802~794Ma,均属于新元古代。

震旦系—下古生界为碎屑岩—碳酸盐岩组成的陆内裂陷沉积组合。研究区缺失中、下泥盆统。上泥盆统一石炭系为陆棚碳酸盐台地—滨岸含煤碎屑组合。二叠系—中三叠统缺失。晚三叠世始,处于陆棚活动阶段,断陷拗陷盆地相继形成。研究区未见上三叠统一上侏罗统,东南部发育侏罗系—白垩系,为陆缘火山—沉积组合。第四系广泛发育,山区丘陵区以冲击、洪积为主。

样品 D17-B1 采自开化县张湾乡潭头村(图 1-C)。花岗斑岩侵入于下寒武统荷塘组灰黑色炭质板岩中。斑晶为石英、黑云母、斜长石,均为半自形晶,大小一般介于 0.5~1mm 之间,少部分 1~2mm,呈散状分布。石英少见港湾状熔蚀。黑云母片状,被绢云母及铁质、金红石交代,呈假象产出。斜长石板状,绢云母化,表面脏,部分呈假象产出。基质为斜长石、钾长石、石英、黑云母。大小一般为 0.02~0.05mm,部分 0.05~0.1mm。斜长石为半自形板状,绢云母化,表面脏,多呈假象产出,界限模糊不清。钾长石呈半自形—它形粒状,填隙状分布,高岭土及绢云母化,表面脏。石英呈它形粒状,杂乱分布。黑云母呈假象,被绢云母及铁质交代。

样品 SH04、SH05 均采自金华山后铜矿边部小型侵入体(图 1-D)。山后铜矿位于金华市北东约 25km 之山后村。矿区出露以闪长岩为主,其次为花岗岩、花岗闪长岩、闪长斑岩等,已经强烈风化。外围花岗岩、闪长岩蚀变微弱。SH04 为灰黑色粗斑辉长闪长岩,斑晶以斜长石为主,不等粒结构,最大 5mm,一般 2~3mm,未变形(图 2),与围岩呈清晰的侵入接触(图 1-E)。SH05 为灰白色、浅肉红色细粒花岗岩,暗色矿物少见。辉长闪长岩和花岗岩之间未见直接接触关系。

2 测试结果

锆石分选由河北省廊坊区域地质矿产调查研究所实验室完成。主要测年锆石的阴极发光图像(图 3)。

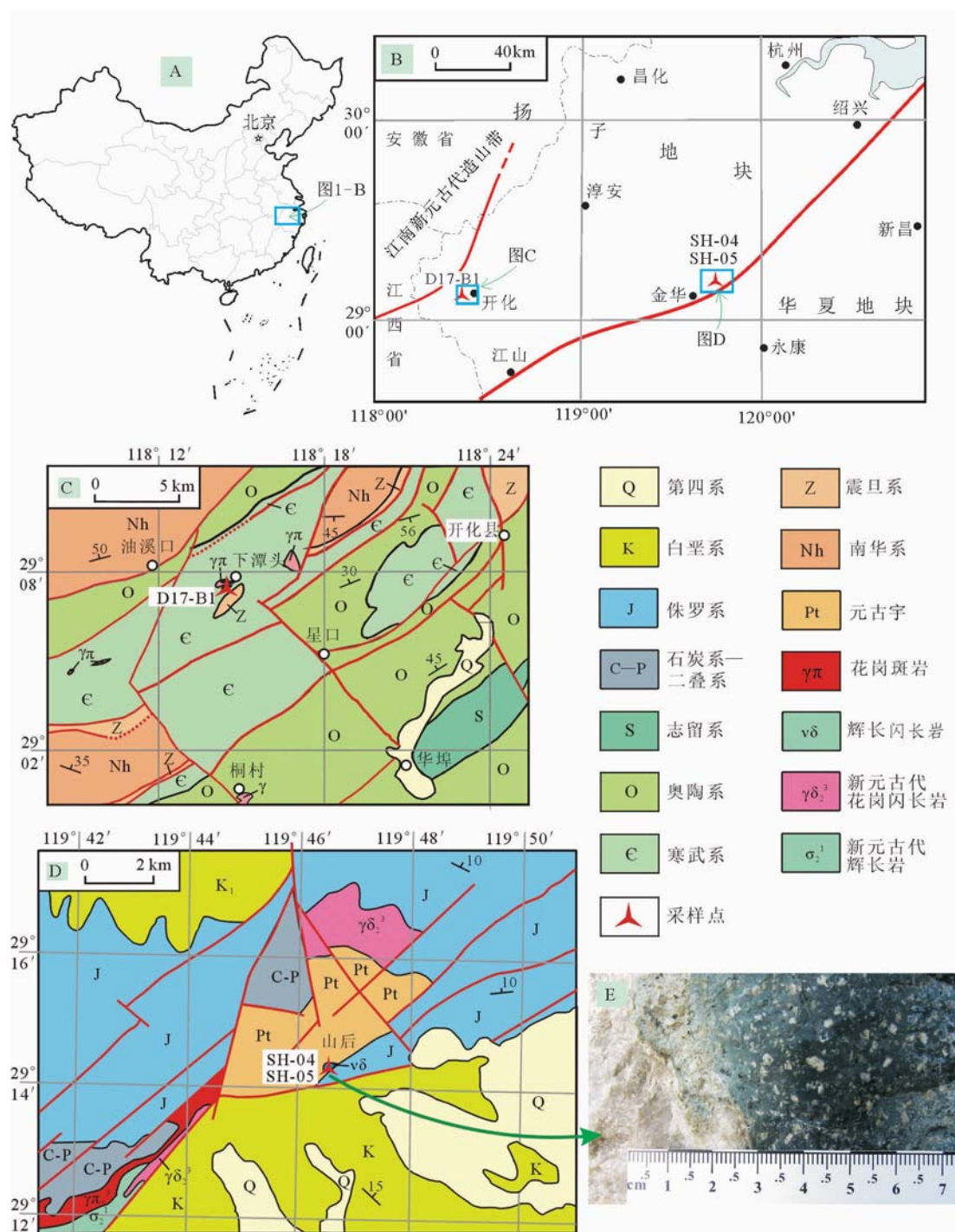


图1 研究区大地构造位置(A,B)、开化县潭头村(C)及金华山后(D)地质图和采样点位置

Fig. 1 Tectonic location (A,B) of northwest Zhejiang and geological maps of Tantou Village, Kaihua County(C), and Shanhou Village, Jinhua City(D), showing sampling locations

A—研究区地理位置; B—构造单元划分图; C—开化县张湾乡潭头村地质图及 D17-B1(花岗斑岩)采样位置; D—金华市山后地质图及 SH04(辉长闪长岩)、SH05(细粒花岗岩)采样位置;

E—金华市山后 SH04 未变形辉长闪长岩露头, 发育细粒边, 与围岩呈侵入接触

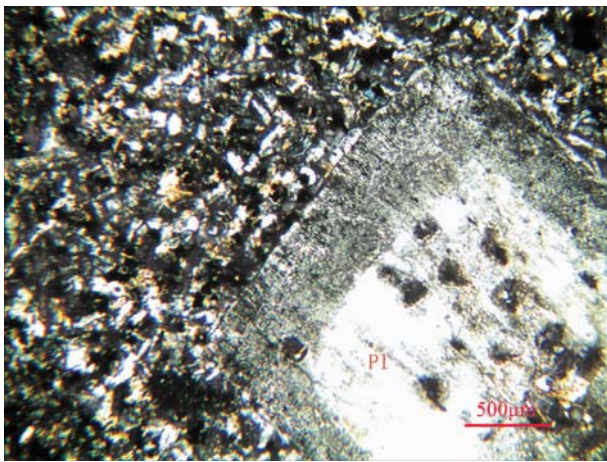


图 2 SH04 辉长闪长岩显微特征(正交偏光)

Fig. 2 Microscopic character of the pyroxene diorite (SH04) under orthogonal polarization

锆石 U-Th-Pb 同位素分析分别在南京大学内生金属矿床与成矿机制研究国家重点实验室(D17-B1)和中国地质科学院矿产资源研究所(SH-04, SH-05)利用激光烧蚀等离子质谱法(LA-ICP-MS)完成。具体的操作规程和步骤参见侯可军等^[29]的描述。3 个样品的全部测年结果列于表 1, 锆石 U-Pb 年龄谐和图见图 4。

开化县张湾乡潭头村花岗斑岩侵入于古生代地层中, 样品 D17-B1 中有 140Ma 左右的 2 个点(表 1 中 5、20 点), 应属于早白垩世早期的侵入体。测年结果表明, 花岗斑岩中具有新元古代的年龄信息, 8 颗

锆石给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $739\text{Ma} \pm 11\text{Ma}$ (MSWD=1.7)(图 4-a), 可能是白垩纪时期岩浆活动捕获而没有明显生长边的老锆石, 反映了新元古代后造山伸展事件。同时发现了早古生代岩浆活动的信息, 至少有 4 颗岩浆锆石获得了 $445\text{Ma} \pm 19\text{Ma}$ (晚奥陶世) 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值 (MSWD=2.5)(图 4-b)。基于其比较明显的锆石震荡环带(图 3)和大于 0.4 的 Th/U 比值, 测点所显示年龄应为环带结晶时的年龄。

金华山后花岗岩样品 (SH05) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果为 $452.1\text{Ma} \pm 2.7\text{Ma}$ (MSWD=0.065)(表 1, 图 4-c), 属于早古生代奥陶纪。而辉长闪长岩样品(SH04)的 9 个点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $334.1\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$ (MSWD=0.039)(表 1, 图 4-d), 形成于晚古生代石炭纪, 属于首次发现。

3 讨 论

以往对浙赣皖相邻区加里东构造事件的认识还不统一。华夏地块和扬子地块于新元古代在江绍断裂带沿线发生碰撞拼贴, 已为许多学者所接受^[3,5-9,26-28]。部分学者认为^[17,29-30], 2 个地块碰撞后又发生过裂解, 并于早古生代中晚期沿着江绍断裂带再次汇聚。另有学者^[28]认为, 华夏和扬子 2 个地块在奥陶纪末(或者奥陶纪与志留纪之交)有过强烈的板内拼合造山, 如任纪舜^[31]指出, 在晋宁期之后, 扬子和华夏两大地块发生过裂解, 但其裂解并未切

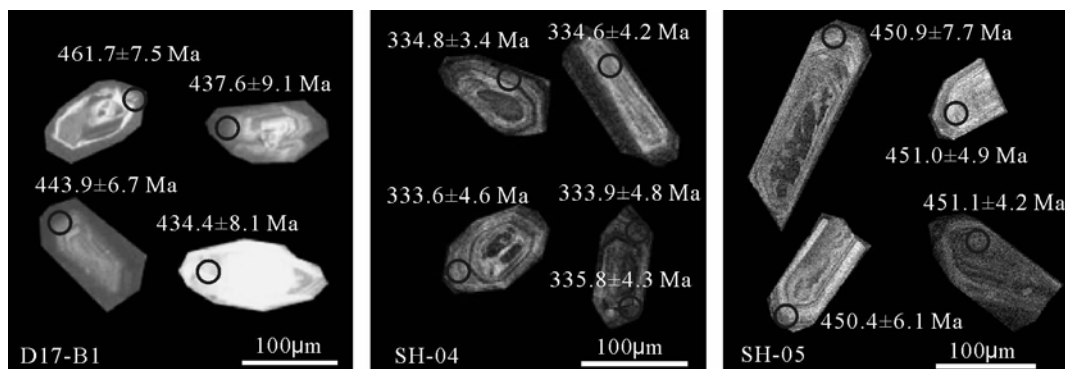


图 3 开化潭头村花岗斑岩(D17-B1)、金华市山后细粒花岗岩(SH05)和辉长闪长岩(SH04)锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of zircons from granite porphyry in Tantou Village, Kaihua County (D17-B1), and from granite (SH05) and gabbro-diorite (SH04) in Shanhou Village, Jinhua City

表 1 开化潭头村花岗斑岩(D17-B1)、金华市山后花岗岩(SH05)和辉长闪长岩(SH04)锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 Zircon U-Th-Pb isotopic analyses of granite porphyry from Tantou Village, Kaihua County (D17-B1), and granite (SH05) and gabbro-diorite (SH04) from Shanhou Village, Jinhua City

测 点	$^{206}\text{Pb}/10^6$	$^{232}\text{Th}/10^6$	$^{238}\text{U}/10^6$	Th/U	同 位 素 比 值						同 位 素 年 龄 /Ma					
					$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ
					样品 D17-B1(花岗斑岩), 采集于开化下潭头 (N29°07' 31.9"、E118°13' 57.1")											
B1-1	—	104.30	166.27	0.63	0.0661	0.0014	1.124	0.023	0.1234	0.0016	810.0	42.7	749.9	9.1	765	11
B1-2	—	819.21	516.86	1.58	0.0728	0.0015	1.098	0.023	0.1094	0.0014	1008.3	41.9	669.4	8.3	753	11
B1-3	—	61.59	85.16	0.72	0.0685	0.0026	1.147	0.041	0.1215	0.0020	884.0	75.2	739.0	11.6	776	20
B1-4	—	116.94	144.02	0.81	0.0655	0.0015	1.120	0.025	0.1239	0.0016	791.9	46.1	752.9	9.3	763	12
B1-5	—	443.52	1347.21	0.33	0.0487	0.0017	0.157	0.005	0.0234	0.0004	134.9	77.9	149.3	2.2	148	5
B1-6	—	258.71	2343.02	0.11	0.2599	0.0038	1.273	0.018	0.0355	0.0004	3246.0	22.7	225.1	2.8	834	8
B1-7	—	1218.01	5558.88	0.22	0.0528	0.0010	0.137	0.003	0.0188	0.0002	318.0	43.7	120.1	1.5	130	2
B1-8	—	139.18	616.94	0.23	0.0477	0.0016	0.167	0.005	0.0254	0.0004	84.6	77.4	161.9	2.3	157	5
B1-9	—	78.97	96.54	0.82	0.0664	0.0016	1.127	0.026	0.1231	0.0017	818.5	48.9	748.4	9.5	766	13
※B1-10	—	112.92	318.62	0.35	0.0563	0.0022	0.576	0.021	0.0743	0.0012	462.7	83.7	461.7	7.5	462	14
※B1-11	—	136.42	274.77	0.50	0.0602	0.0020	0.592	0.019	0.0713	0.0011	610.0	70.3	443.9	6.7	472	12
※B1-12	—	141.49	326.14	0.43	0.0573	0.0033	0.555	0.030	0.0702	0.0015	502.6	120.9	437.6	9.1	448	20
B1-13	—	194.67	209.51	0.93	0.0667	0.0027	1.079	0.042	0.1173	0.0021	829.5	82.7	715.1	12.4	743	21
B1-14	—	213.38	257.63	0.83	0.0650	0.0014	1.062	0.022	0.1185	0.0016	773.5	43.5	722.0	9.2	735	11
※B1-15	—	112.21	159.60	0.70	0.0598	0.0029	0.575	0.027	0.0697	0.0013	597.4	102.3	434.4	8.1	461	17
B1-16	—	30.99	31.72	0.98	0.0679	0.0046	1.390	0.090	0.1484	0.0037	866.7	133.3	892.2	20.5	885	38
B1-17	—	52.53	280.40	0.19	0.0505	0.0055	0.145	0.015	0.0208	0.0007	218.7	233.3	132.8	4.2	137	13
B1-18	—	206.65	633.08	0.33	0.1227	0.0026	0.469	0.010	0.0277	0.0004	1995.7	36.7	176.3	2.5	391	7
B1-19	—	134.04	252.12	0.53	0.0640	0.0023	1.064	0.036	0.1206	0.0020	740.8	73.2	733.9	11.6	736	18
B1-20	—	562.22	1518.74	0.37	0.0488	0.0008	0.173	0.003	0.0258	0.0003	140.2	38.4	163.9	2.0	162	3
B1-21	—	200.56	263.56	0.76	0.0639	0.0012	1.067	0.021	0.1210	0.0016	739.7	40.2	736.2	9.1	737	10
B1-22	—	674.21	1000.09	0.67	0.0810	0.0015	1.147	0.021	0.1027	0.0013	1220.6	34.8	630.3	7.8	776	10
样品 SH-04(辉长闪长岩), 采集于金华市山后 (N29°14'19"、E119°46'34")																
SH-04-1	3	34.43	21.91	1.57	0.0680	0.0006	1.263	0.015	0.1346	0.0010	877.8	16.7	814.1	5.9	829	7
SH-04-2	11.7	227.47	219.22	1.04	0.0534	0.0003	0.391	0.004	0.0531	0.0004	346.4	11.1	333.6	2.6	335	3
SH-04-3	10	535.29	202.34	2.65	0.0804	0.0006	0.541	0.005	0.0488	0.0004	1209.3	13.7	307.4	2.2	439	3
SH-04-4	5.9	110.14	111.47	0.99	0.0595	0.0007	0.429	0.006	0.0524	0.0004	587.1	24.8	329.1	2.7	363	4
SH-04-5	5.4	115.25	101.25	1.14	0.0537	0.0005	0.394	0.006	0.0533	0.0007	366.7	15.7	334.6	4.2	337	4
SH-04-6	5.4	97.69	101.08	0.97	0.0545	0.0004	0.400	0.007	0.0532	0.0008	394.5	16.7	333.9	4.8	342	5
SH-04-7	5.1	97.40	96.21	1.01	0.0564	0.0006	0.416	0.007	0.0535	0.0007	477.8	22.2	335.8	4.3	353	5
SH-04-8	18.2	351.94	323.07	1.09	0.0567	0.0002	0.434	0.006	0.0557	0.0008	479.7	4.6	349.4	4.7	366	4
SH-04-9	3.9	69.42	72.47	0.96	0.0539	0.0009	0.406	0.013	0.0547	0.0015	364.9	40.7	343.4	9.1	346	10
SH-04-10	3	108.81	58.07	1.87	0.0554	0.0010	0.392	0.011	0.0514	0.0012	427.8	45.4	323.0	7.3	336	8
SH-04-11	3.9	360.92	85.72	4.21	0.0622	0.0011	0.396	0.012	0.0463	0.0014	679.6	38.9	292.0	8.8	338	9
SH-04-12	3.7	66.34	68.17	0.97	0.0563	0.0007	0.411	0.008	0.0531	0.0008	464.9	32.4	333.6	4.6	350	5
SH-04-13	8.7	202.48	161.84	1.25	0.0541	0.0003	0.396	0.005	0.0532	0.0007	372.3	13.0	334.3	4.0	339	4
SH-04-14	5	88.25	93.39	0.94	0.0535	0.0004	0.393	0.005	0.0533	0.0006	350.1	12.0	334.8	3.4	336	3
SH-04-15	0.6	5.64	4.14	1.36	0.0730	0.0032	1.414	0.072	0.1432	0.0068	1013.9	90.3	862.6	38.1	895	30
SH-04-16	5.5	108.58	102.35	1.06	0.0628	0.0004	0.458	0.007	0.0529	0.0007	701.9	14.8	332.6	4.1	383	5
SH-04-17	3.6	116.58	66.91	1.74	0.0550	0.0004	0.403	0.006	0.0531	0.0007	413.0	16.7	333.6	4.2	344	4
SH-04-19	4.8	109.90	89.70	1.23	0.0534	0.0004	0.391	0.004	0.0531	0.0004	342.7	16.7	333.6	2.7	335	3
SH-04-20	3.3	97.08	57.95	1.68	0.1576	0.0062	1.247	0.066	0.0571	0.0011	2431.5	67.0	358.0	6.7	822	30

续表 1

测 点	²⁰⁶ Pb/10 ⁶	²³² Th/10 ⁶	²³⁸ U/10 ⁶	Th/U	同 位 素 比 值						同 位 素 年 龄 /Ma					
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ
样品SH-05(细粒花岗岩), 采集于金华市山后 (N29°14'19"、E119°46'34")																
SH-05-1	49.9	283.26	692.04	0.41	0.0578	0.0003	0.576	0.006	0.0724	0.0006	520.4	11.1	450.4	3.8	462	4
SH-05-2	10.6	151.08	150.51	1.00	0.0610	0.0005	0.588	0.009	0.0698	0.0008	642.6	12.0	434.7	4.6	469	6
SH-05-3	4.4	45.74	60.37	0.76	0.0566	0.0004	0.566	0.008	0.0725	0.0008	476.0	19.4	451.0	4.9	455	5
SH-05-4	4.5	53.40	60.31	0.89	0.0556	0.0011	0.569	0.022	0.0741	0.0023	435.2	44.4	460.8	14.0	457	14
SH-05-5	5.4	62.33	74.45	0.84	0.0563	0.0004	0.561	0.009	0.0724	0.0010	464.9	13.9	450.4	6.1	452	6
SH-05-6	4.3	96.59	58.26	1.66	0.0551	0.0008	0.553	0.014	0.0727	0.0016	416.7	36.1	452.5	9.7	447	9
SH-05-7	2.7	26.25	18.72	1.40	0.0713	0.0006	1.402	0.023	0.1426	0.0020	968.5	18.5	859.2	11.2	890	10
SH-05-8	8.6	76.89	112.43	0.68	0.0566	0.0004	0.597	0.009	0.0767	0.0011	476.0	19.4	476.2	6.6	475	5
SH-05-9	10.9	111.50	147.20	0.76	0.0561	0.0003	0.571	0.008	0.0739	0.0009	453.8	17.6	459.5	5.6	459	5
SH-05-10	8.6	85.41	115.58	0.74	0.0576	0.0005	0.578	0.012	0.0729	0.0016	522.3	18.5	453.4	9.7	463	8
SH-05-11	4.9	70.01	66.77	1.05	0.0561	0.0004	0.563	0.008	0.0727	0.0008	457.5	16.7	452.4	5.1	453	5
SH-05-12	4.3	50.52	58.22	0.87	0.0588	0.0005	0.592	0.009	0.0729	0.0009	566.7	18.5	453.8	5.6	472	6
SH-05-14	8.9	110.49	121.35	0.91	0.0557	0.0003	0.559	0.004	0.0728	0.0005	438.9	11.1	453.3	2.7	451	3
SH-05-15	10.4	121.64	142.55	0.85	0.0595	0.0003	0.596	0.005	0.0727	0.0005	583.4	9.3	452.2	3.1	475	3
SH-05-16	5.7	55.57	77.20	0.72	0.0584	0.0009	0.587	0.015	0.0727	0.0011	542.6	39.8	452.7	6.9	469	10
SH-05-17	14.9	167.90	199.45	0.84	0.0565	0.0003	0.578	0.004	0.0742	0.0005	472.3	11.1	461.5	3.1	463	3
SH-05-18	6.0	63.47	82.92	0.77	0.0557	0.0008	0.556	0.012	0.0724	0.0013	438.9	33.3	450.9	7.7	449	8
SH-05-19	13.4	153.45	184.50	0.83	0.0560	0.0003	0.559	0.006	0.0725	0.0007	450.0	11.1	451.1	4.2	451	4
SH-05-20	12.7	236.60	329.16	0.72	0.0532	0.0005	0.281	0.004	0.0383	0.0004	338.9	22.2	242.3	2.5	251	3

注:※ 早古生代年龄数值;删除线表示未参与 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值计算值

穿岩石圈,故未形成洋壳盆地。刘运黎等^[29]认为,早古生代志留纪江绍断裂带南侧的浙闽地块西北与扬子地块再次碰撞,地块碰撞的前锋带形成大陆边缘隆起和发育碰撞花岗岩,并在碰撞地块的前后缘有残留海盆存在。戎嘉余等^[32]发现,已知最深水的 BA5 底栖群落(生活于奥陶纪—志留纪之交)栖息在一个以陆壳为基底的浙赣海海底,更深的群落并未见及。正是在这个陆壳基底上,一度存在的深水海域,到赫南特期演变成古陆及其近岸浅水海域,可见华夏和扬子地块的汇聚可能是以拼合造山作用为特征的,主要表现在海域的消失和华夏古陆的隆升。

然而,研究区存在早古生代变形是不容置疑的。早古生代时,研究区受到华南加里东构造活动的影响,发育轻微褶皱及断裂,造成上古生界与下伏前震旦系前变质岩系—下古生界之间的区域性角度不整合^[21-23]。开化县张湾乡潭头村、金华山后铜矿花岗岩中采集的样品中发现早古生代岩浆活动的信息,表明早古生代构造岩浆活动可能跨过了江绍断裂带并向北深入,而且两大地块的碰撞拼贴开始于奥陶纪,即早于志留纪。志留纪后期已

经完全拼贴隆起,浙西北地区乃至浙赣皖相邻区普遍缺失泥盆系,中石炭统不整合覆盖在下伏不同层位之上^[21-23]。于津海等^[33]报道了福建省周宁县五凤楼村新发现的形成于 $313\text{Ma}\pm 4\text{Ma}$ 的片麻状花岗岩,认为是陆内造山作用的产物。其年龄晚于金华山后的辉长闪长岩,而且金华山后在华夏地块边界,福建周宁在华夏地块内部,二者是否属于同一构造—岩浆事件尚需进一步研究。

4 结 论

浙西北地区和江绍断裂带分别发现的早古生代、晚古生代岩浆锆石 U—Pb 年龄暗示,江绍断裂带在早古生代曾经发生过较强烈的构造活动,如碰撞拼贴作用,并引发了断裂带沿线及其北侧的岩浆活动,且在晚古生代时期仍有较强的构造活动表现。由此可见,浙赣皖相邻区的加里东构造事件远比以往所认识的强烈,江绍断裂带可能存在多期次的构造活动。这一组年龄数据对重新认识江绍断裂带的构造活动及其演化具有重要意义。

致谢:浙江省第三地质大队(金华市)为本文研究提供了诸多方便,LA-ICP-MS 锆石 U—Th—Pb

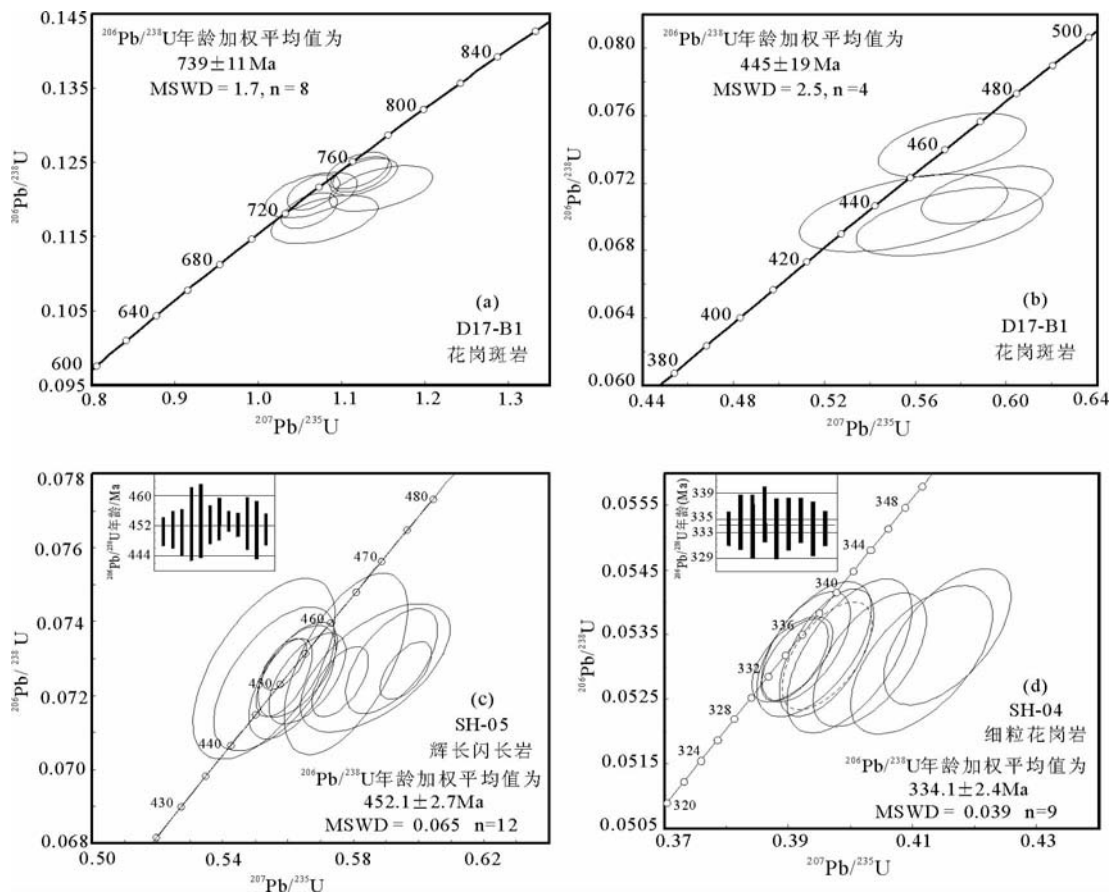


图4 浙西开化潭头村花岗斑岩(a、b)、金华市山后细粒花岗岩(c)和辉长闪长岩(d)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon concordia diagrams of granite porphyry from Tantou Village, Kaihua County (a, b), and gabbro-diorite (c) and granite (d) from Shanhou Village, Jinhua City, northwest Zhejiang Province

同位素分析分别在南京大学内生金属矿床与成矿机制研究国家重点实验室(D17-B1)和中国地质科学院矿产资源研究所(SH-04,SH-05)完成,在此一并致谢。

参考文献

- [1] 邓家瑞, 张志平. 赣杭构造带前寒武纪构造格局的探讨[J]. 铀矿地质, 1997, 13(6): 321-326.
- [2] 邓家瑞, 张志平. 赣杭构造带区域大地构造背景的探讨[J]. 铀矿地质, 1999, 15(2): 71-76.
- [3] 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造格架[J]. 地质论评, 2002, 48(3): 249-260.
- [4] 竺国强, 张福祥, 杨树锋, 等. 江山-绍兴碰撞带构造演化与变形特征[J]. 浙江大学学报, 1997, 31(6): 743-752.
- [5] Li X H, Li W X, Li Z X, et al. 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, 2009, 174: 117-128.
- [6] Wang X L, Zhou J C, Griffin W L, et al. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: Dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks[J]. Precambrian Research, 2007, 159: 117-131.
- [7] Wang X L, Zhao G C, Zhou J C, et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen[J]. Gondwana Research, 2008, 14: 355-367.
- [8] Wang X L, Shu L S, Xing G F, et al. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: Evidence from ca. 800~760Ma volcanic rocks[J]. Precambrian Research, 2012, (222/223): 404-423.
- [9] 王丽娟, 于津海, O'Reilly S Y, 等. 华夏南部可能存在 Grenville 期造山作用: 来自基底变质岩中锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素信息[J]. 科学通报, 2008, 53(14): 1680-1692.

- [10] Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. Neoproterozoic granitoids in south China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma? [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122: 45–83.
- [11] Li X H, Li W X, Li Z X, et al. 850–790Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in northern Zhejiang, South China: A major episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia [J]. *Lithos*, 2008, 102: 341–357.
- [12] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南新元古代井潭组火山岩锆石 U–Pb 定年和同位素地球化学研究 [J]. *高校地质学报*, 2007, 13(2): 282–296.
- [13] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U–Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约 [J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1744–1751.
- [14] Zheng Y F, Wu R X, Wu Y B, et al. Rift melting of juvenile arc-derived crust: geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan Orogen, South China [J]. *Precambrian Research*, 2008, 163: 351–383.
- [15] 卢成忠, 杨树锋, 顾明光, 等. 浙江次坞地区晋宁晚期双峰式岩浆杂岩带的地球化学特征: Rodinia 超大陆裂解的岩石学记录 [J]. *岩石学报*, 2009, 25(1): 67–76.
- [16] 杨树锋, 顾明光, 卢成忠. 浙江章村地区中元古代岛弧火山岩的地球化学及构造意义 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2009, 39(4): 679–698.
- [17] 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 等. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(11): 3215–3244.
- [18] 王孝磊, 舒徐洁, 邢光福, 等. 浙江诸暨地区石角–横山侵入岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄——对超镁铁质球状岩成因的启示 [J]. *地质通报*, 2012, 31(1): 75–81.
- [19] 余心起, 张达, 汪隆武, 等. 浙皖赣相邻区加里东期构造变形特征 [J]. *地质通报*, 2006, 25(6): 676–684.
- [20] 戴圣潜, 周存亭, 储东如, 等. 下扬子东南缘北段加里东期构造形迹新资料 [J]. *地质通报*, 2006, 25(6): 670–672.
- [21] 王孔忠, 颜铁增, 袁强. 扬子东南缘北段加里东期的褶皱特征——来自不整合关系的证据 [J]. *地质通报*, 2006, 25(6): 673–675.
- [22] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明 [J]. *地质通报*, 2006, 25(3): 331–335.
- [23] 周新民, 陈培荣, 徐夕生, 等. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 5–246.
- [24] 朱云鹤, 周新民. 江绍断裂带中闪长岩类的糜棱岩化作用 [J]. *火山地质与矿产*, 1994, 15(1): 23–34.
- [25] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA–MC–ICP–MS 锆石微区原位 U–Pb 定年技术 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 481–492.
- [26] 水涛, 徐步台, 梁如华, 等. 绍兴–江山古陆对接带 [J]. *科学通报*, 1986, (6): 444–448.
- [27] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局 [J]. *中国科学(D 辑)*, 1987, (1): 414–422.
- [28] 舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究 [J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1581–1593.
- [29] 刘运黎, 周小进, 廖宗庭, 等. 华南加里东期相关地块及其汇聚过程探讨 [J]. *石油实验地质*, 2009, 31(1): 19–26.
- [30] 周名魁, 王汝植, 李志明, 等. 中国南方奥陶–志留纪岩相古地理与成矿作用 [J]. 北京: 地质出版社, 1993: 1–111.
- [31] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1–218.
- [32] 戎嘉余, 詹仁斌, 许红根, 等. 华夏古陆于奥陶–志留纪之交的扩展证据和机制探索 [M]. *中国科学(D 辑)*, 2010, 40(1): 1–17.
- [33] 于津海, 刘潜, 胡修棉, 等. 华南晚古生代岩浆活动的新发现: 岛弧还是陆内造山? [J]. *科学通报*, 2012, 57(31): 2964–2971.