

·基础地质·

江山—绍兴断裂带构造格局的新元古代 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据

高林志¹, 张 恒¹, 丁孝忠¹, 刘燕学¹, 张传恒², 黄志忠³, 许兴苗⁴, 周宗尧⁴
GAO Lin-zhi¹, ZHANG Heng¹, DING Xiao-zhong¹, LIU Yan-xue¹, ZHANG Chuan-heng²,
HUANG Zhi-zhong³, XU Xing-miao⁴, ZHOU Zong-yao⁴

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3. 江西省地质调查院, 江西南昌 330201;

4. 浙江省地质调查院, 浙江 萧山 311203

1. *Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330201, Jiangxi, China;*

4. *Zhejiang Institute of Geological Survey, Xiaoshan 311203, Zhejiang, China*

摘要:报道采自双溪坞群不同岩组岩石样品的锆石年龄,其中,平水组英安质凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 908.2 ± 6.8 Ma, 双溪坞群北坞组安山岩年龄为 901.6 ± 5.5 Ma, 双溪坞群章村组火山角砾岩安山质角砾岩年龄为 899 ± 8 Ma, 上覆河上镇群骆驼门组底砾岩(花岗闪长岩) SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 878.96 ± 4.5 Ma。通过年龄数据探讨位于该断裂带的构造背景,依据该年龄数据限定区域地层对比和构造演化序列。锆石 U-Pb 年龄和地球化学标示了江山—绍兴断裂带北侧双溪坞群的沉积地层,地球化学分析表明该群代表了新元古代早期华南的中间岛弧。上述年龄为江山—绍兴断裂带变质地层的对比增添了可靠的年龄依据。

关键词:江山—绍兴断裂带;双溪坞群;SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄;浙江

中图分类号: P534.3; P597⁺.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2014)06-0763-13

Gao L Z, Zhang H, Ding X Z, Liu Y X, Zhang C H, Huang Z Z, Xu X M, Zhou Z Y. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Ji-angshan-Shaoxing faulted zone in Zhejiang and Jiangxi. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(6):763-775

Abstract: This paper reports SHRIMP zircon U-Pb ages (908~878Ma) of andisite and tuff of the Early Neoproterozoic Shuanxiwu Group on the northern side of the Jiangshan-Shaoxing faulted zone and discusses the tectonic background and regional stratigraphic correlation and tectonic evolution of the Jiangshan-Shaoxing faulted zone. The SHRIMP U-Pb ages and geochemical characteristics indicate the Early Neoproterozoic inner arc of the Shuanxiwu Group on the northern side of the Jiangshan-Shaoxing faulted zone. The SHRIMP U-Pb dating data obtained by the authors can provide new evidence for the correlation of metamorphosed strata in the Jiangshan-Shaoxing faulted zone.

Key words: Jiangshan-Shaoxing faulted zone; Shuanxiwu Group; SHRIMP zircon U-Pb ages; Zhejiang Province

浙西—赣西东北地区一直被视为扬子地台的 部,沿萍乡、宜春、新余、东乡、铅山至广丰,东接浙活动陆缘,呈 EW 走向(部分 NEE 向)横贯江西中 江的江山—绍兴断裂带(江—绍断裂带)(图 1^[1])。

收稿日期:2014-01-08;修订日期:2014-03-20

资助项目:中国地质调查局项目(编号:121201011120131)、全国地层委员会项目(编号:1212011120142)和全国油气基础地质研究与编图项目(编号:2011ZX05043-005)

作者简介:高林志(1955-),男,研究员,从事生物地层、层序地层和灾变事件地层研究。E-mail:gaolzh@cags.net.cn

浙江富阳章村—骆村剖面是浙西—赣西东北活动陆缘的典型剖面,浙江地区南华系志棠组之下出露2套火山—沉积岩系。在江—绍断裂带东北端北侧,分布着双溪坞群(平水组、北坞组、岩山组、章村组)、河上镇群(骆家门组、虹赤村组、上墅组)和南华纪盖层(志棠组、休宁组)^[2]。马瑞士等^[3]将骆家门组与双溪坞群之间的不整合所代表的构造运动命名为神功运动。传统意义上的“神功运动面”可与中、新元古代晋宁运动或中元古代末期的格林威尔运动相对比^[4]。笔者认为,浙江地区新元古代地层可分为3个构造层,即双溪坞群、河上镇群和南华系盖层。双溪坞群为下构造层,是一套酸性岩夹沉积岩,火山岩组合属于安山岩—英安岩—流纹岩建造。依据双溪坞群建群剖面上部火山岩的岩石化学特征,其属于亚碱性系列的钙碱性岩^[5],具有陆源弧构造环境的特征,并构成新元古宙早期的活动大陆边缘。

1 地质背景

浙江省富阳市东南25km的章村地区发育有双溪坞群(北坞组、岩山组、章村组)、河上镇群(骆家门组、虹赤村组、上墅组)前寒武纪地层^[6],包含了早期不同阶段对浙江地区前寒武纪地层的命名,如倒水坞层、松木坞组、白沙群、钟吕群、神功(组)群等;

在富阳神功村发现了巨大的高角度不整合面,该不整合面使得上墅组之下的神功组解体,自上而下依次划分为虹赤村组、骆家门组和双溪坞群。1989年,浙江区调队^[2]在1:5万地质填图中将双溪坞群自下而上划分为北坞组、岩山组和章村组;俞国华等^[6]将平水组归入双溪坞群,并自下而上厘定为平水组、岩山组、北坞组和章村组;当时依据传统测年方法的年代学数据将双溪坞群时代确定为中元古代,即成岩时代为1200~1000Ma、变质时代为1000Ma,因此双溪坞群顶部发育的不整合面多年来一直被视为中、新元古代地层的分界,命名的神功运动^[2]与江南造山带的四堡运动、梵净山运动、武陵运动和九岭运动对比^[7],甚至被视为格林威尔造山带的体系^[8-12]。关于双溪坞群的地层时代和地层对比,涉及到江—绍断裂带以北地区的上溪群(溪口群)、张村群、双桥山群等,同时也涉及江—绍断裂带以南地区赣东北铁沙街组、周潭群、万源群和浙东地区陈蔡群,地质学家一直关注的呈带状分布的高绿片岩相—低角闪岩相变质岩系(仅是沿浙赣铁路线南,从铅山鹅湖,弋阳周潭、慈竹,西至余江马荃),呈EW向展布,是钦杭断裂带东段主体变质地层年代数据的标定^[13-17]。依据岩石组合和地球化学特征,其构造位置被纳入赣东北—皖南元古宙沟弧盆

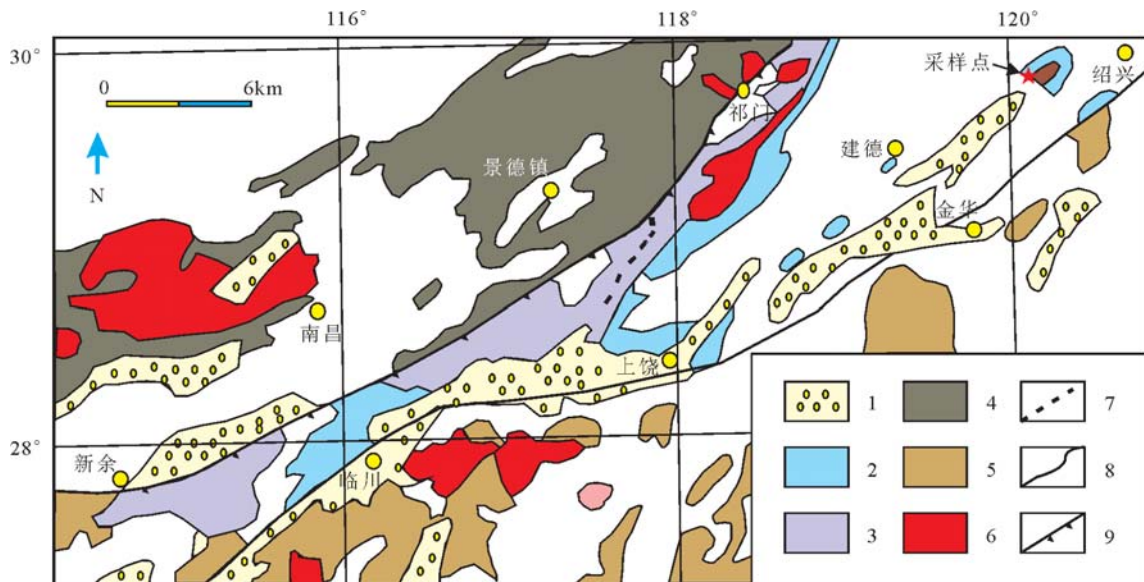


图1 江—绍断裂带周边地区地质构造略图(据参考文献[1]修改)

Fig. 1 Sketch geological and tectonic map of Jiangshao faulted zone
 1—白垩系;2—新元古代盖层;3—新元古界;4—双桥上群;5—中—新元古界;
 6—花岗岩;7—蛇绿岩带;8—深断裂带;9—古板块边界

体系^[18],即海沟或弧前沉积物及混杂岩体系。争论焦点涉及 3 个方面的构造关系:①弋阳樟树墩蛇绿岩套和皖南伏川蛇绿岩套的构造意义;②江—绍断裂带北侧的双溪坞群、陈蔡群等的构造意义;③江—绍断裂带与扬子地台东南缘之间的一套绿片岩相浅变质岩系(即铁沙街群、田里片岩、周潭组、万源组等)的年代学研究。系统地开展浙江绍兴地区双溪坞群年龄标定是解决浙皖赣地区两大深断裂构造意义的基础和关键。

2 样品采集与分析

浙江富阳浦江县神功山双溪坞群—河上镇群剖面发育一套火山岩夹碎屑岩的变质地层和诸暨—陈蔡地区深变质片麻岩地层,该地层区一直是地质学家探索浙皖赣地层年代学的目标地区。争论焦点为江—绍断裂带中蔡群变质岩与双溪坞群的地层关系和构造关系。本文年龄样品为采自浙江诸暨—富阳地区的火山岩和凝灰岩(表 1,图 2、图版 I)。

锆石 U-Pb 年龄测定在西澳大利亚佩斯理工大学和北京离子探针中心的 SHRIMP-II 上进行,详细的分析流程见参考文献[19-20]。年龄测定时的仪器质量分辨率约为 5000(1%峰高),一次离子流 O_2^- 强度为 4nA。一次离子流束斑直径约为 45 μm ,每个数据点测定由 5 次扫描构成。测定质量峰为 $^{90}Zr^{16}O^+$ 、 $^{204}Pb^+$ 、背景值、 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 、 $^{208}Pb^+$ 、 $^{238}U^+$ 、($^{232}Th^{16}O$) $^+$ 和($^{238}U^{16}O$) $^+$ 。分别采用标准锆石 TEM 和 M257 进行元素间的分馏校正和 U 含量标定。其中 TEM 具有 U-Pb 谐和年龄,其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为

416.8 \pm 1.1Ma,但 U、Th 和 Pb 含量不均一;M257 的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 840Ma。原始数据处理和锆石 U-Pb 谐和图绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 和 Isoplot 程序^[20-21]。普通铅校正根据实测的 ^{204}Pb 进行,普通铅组成根据 Stacey 等^[22]给出的模式计算得到。表 2 中年龄的绝对误差和同位素比值的相对误差均为 1 σ , $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 95% 的置信度。

3 分析结果

所采集锆石形态虽不相同,但是 CL 图像均显示典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构,属于岩浆结晶的产物(图 3)。结合锆石 CL 图像和可见光图像进行选择,排除裂隙发育和含有较多包裹体的锆石颗粒。全部样品的锆石晶型完好,为浅黄色—无色透明钝圆形或不规则形状,花岗岩锆石多为漏钟状晶体。锆石粒度多在 100~200 μm 之间。所有锆石分析点均位于明显的岩浆环带部位。

(1)平水组样品(T1211-5):为英安质凝灰岩,由火山角砾、凝灰物组成。火山角砾由岩屑组成,次棱角状,大小 2~6mm,零星分布。岩屑成分为流纹岩等,局部已被绿泥石、硅质等交代呈假象。凝灰物由小于 2mm 的岩屑、晶屑、玻屑和火山灰组成。岩屑成分为流纹岩等,杂乱分布,次棱角状,多被硅质、绿泥石交代呈假象;晶屑成分为斜长石、钾长石、石英及少量黑云母,次棱角状,杂乱分布,长石具粘土化、高岭土化等,黑云母多被绿泥石、碳酸盐交代呈假象;玻屑及火山灰均被绿泥石、硅质等交代,填隙状分布在岩屑、晶屑之间,见

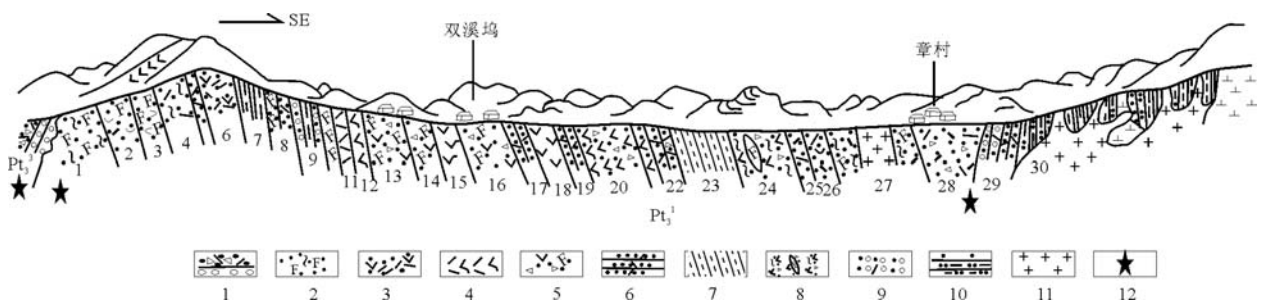


图 2 浙江富阳双溪坞群野外剖面^[2]

Fig. 2 Field section of the Shuanxiwu Group in Fuyang, Zhejiang Province

- 1—底砾岩; 2—熔结凝灰岩; 3—流纹质凝灰岩; 4—细碧岩; 5—角砾凝灰岩;
6—细砂、粉砂岩; 7—凝灰质板岩; 8—熔结角砾凝灰岩夹英安岩透镜体;
9—凝灰质砂岩、砂砾岩; 10—细砂岩、粉砂岩、泥岩; 11—花岗岩; 12—采样点

表1 采样位置、经纬度和年龄

Table 1 Sampling locality, longitude, latitude and isotopic ages

样品号	岩性	岩组	经纬度	年龄	方法
T1211-5	英安质凝灰岩	双溪坞群平水组	N29°52.000′、E120°32.974′	908.2±6.8Ma	
BW1213-2	强蚀变辉石安山岩	双溪坞群北坞组	N29°51.746′、E120°33.698′	901.6±5.5Ma	SHRIMP 锆石
S1213-2	沉火山角砾岩	双溪坞群章村组	N29°53.388′、E120°02.574′	878.7±7.0Ma	U-Pb
S1213-4	细粒二长花岗岩	骆家门组底砾岩	N29°53.407′、E120°02.438′	878.9±4.5Ma	

少量硅质等填充的裂隙。平水组英安质凝灰岩样品(T1211-5)10个测点中U含量变化范围为 $46 \times 10^{-6} \sim 159 \times 10^{-6}$; Th含量变化范围为 $32 \times 10^{-6} \sim 157 \times 10^{-6}$; Th/U值变化范围为0.49~1.02(表2)。10个

数据点中2个数据点与主群不一致,数据点6.1可能为选矿分析混入的锆石,排除孤立离群值数据点4.1,其余8个数据点均位于谐和线上(图4),8个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $905.1 \pm 8.2\text{Ma}$

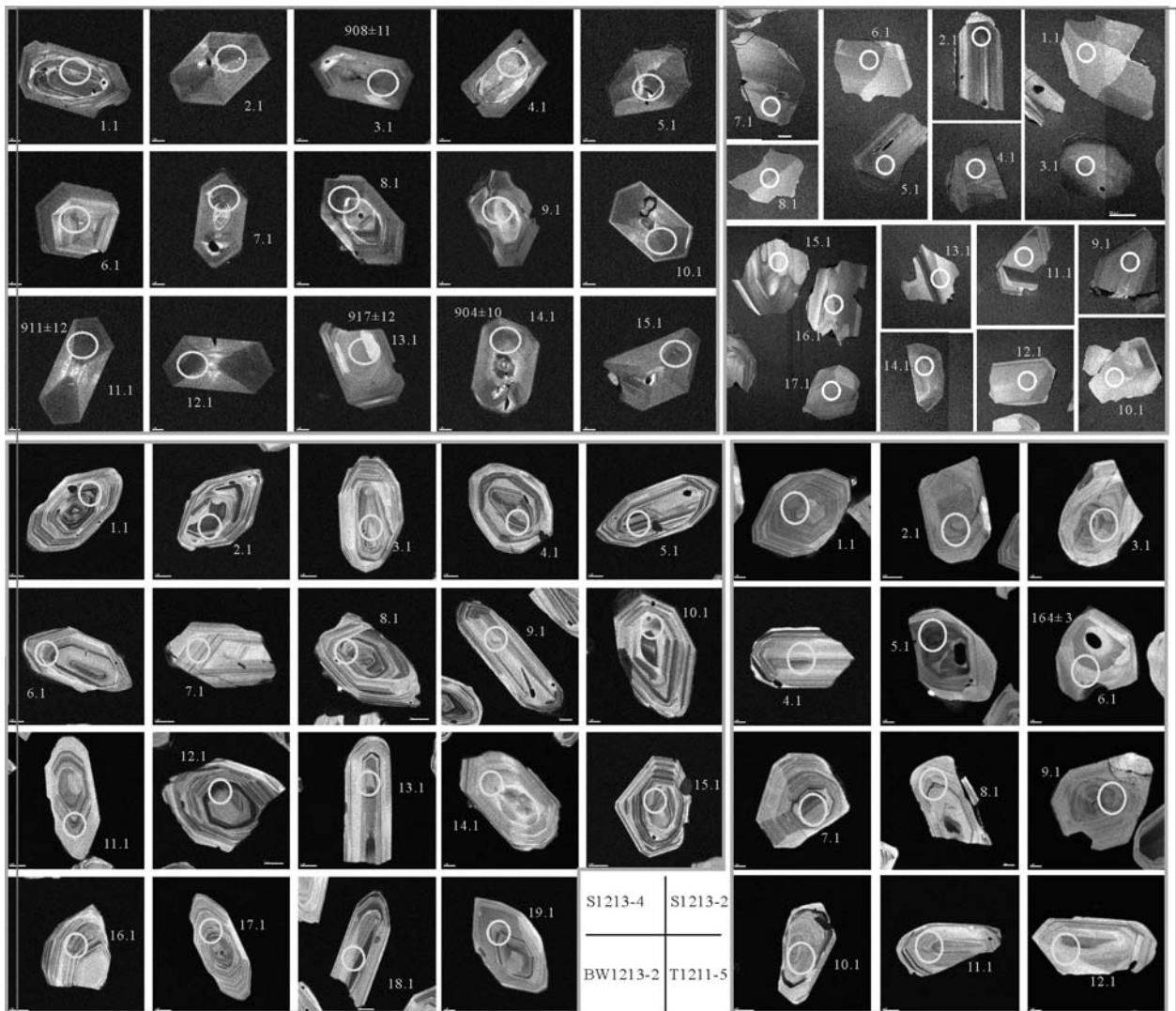
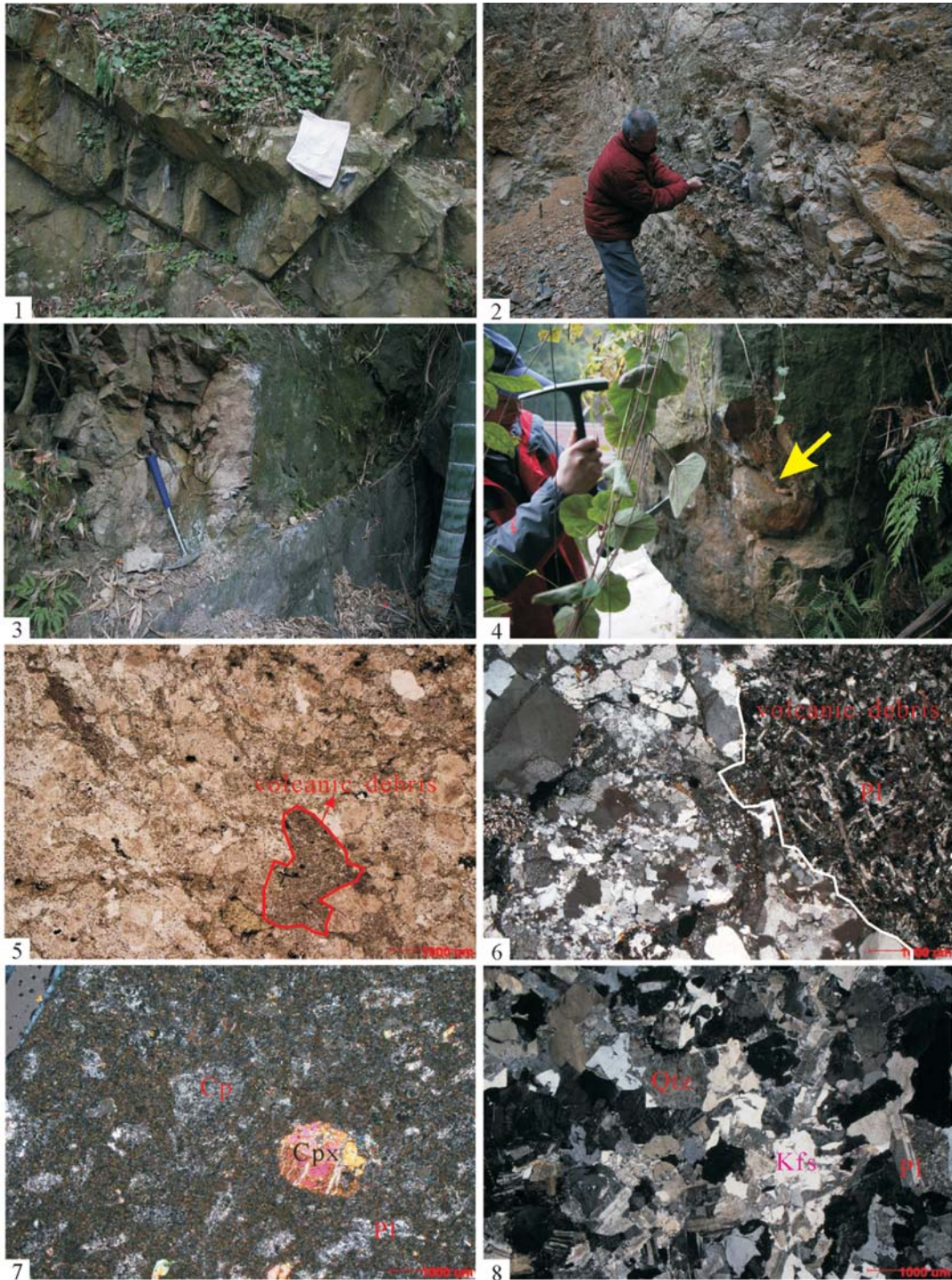


图3 双溪坞群锆石特征

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from the Shuangxiwu Group

图版 I Plate I



1—平水镇白鹤贯, 平水组英安质凝灰岩采样点; 2—富阳县下马坞村, 北坞组辉石安山岩采样点; 3—富阳县神功村, 双溪坞群与上覆地层(骆家门组)不整合关系; 4—富阳县神功村, 骆家门组底砾岩(闪长岩)采样点; 5—平水组英安质凝灰岩 T1211-5 样品薄片, 火山角砾岩, 单偏光; 6—双溪坞群章村组 S1213-2 样品薄片, 沉火山角砾岩, 正交偏光; 7—双溪坞群北坞组 BW1213-2 样品薄片, 强蚀变辉石安山岩, 正交偏光; 8—骆家门组底砾岩 S1213-4 样品薄片, 细粒二长花岗岩, 正交偏光

(MSWD=1.47),代表平水组英安质凝灰岩的形成时代。

(2)北坞组样品(BW1213-2):为强蚀变辉石安山岩,具斑状-基质似交织结构,由斑晶、基质组成。斑晶由斜长石和辉石组成,粒度在0.3~5.5mm之间。斜长石(40%)呈自形板状,杂乱分布,具绢云母化、黝帘石化等,表面脏;辉石(5%~10%)为单斜辉石,呈半自形柱粒状,星散分布,局部被绿帘石、绿泥石交代呈假象。基质(50%~55%)多被黝帘石、绢云母等交代,局部见少量残留斜长石,细小板条状,粒度小于0.3mm,略显定向排列呈似交织分布。其中黝帘石、绢云母主要为交代斜长石的产物,局部可能为交代暗色矿物的产物。岩石内见少量绿帘石等填充裂隙。北坞组变辉石安山岩(BW1213-2)19个测点中U含量变化范围为 $38 \times 10^{-6} \sim 287 \times 10^{-6}$, Th含量变化范围为 $20 \times 10^{-6} \sim 242 \times 10^{-6}$, Th/U值变化范围为0.44~1.25(表2)。北坞组变辉石安山岩样品(BW1213-2)共测试了19个数据点,获得年龄为 $901.6 \pm 5.5\text{Ma}$ (MSWD=1.3)(表2)。其中,12个数据点均位于谐和线上(图4)。14个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $901.6 \pm 6.5\text{Ma}$,为辉石安山岩的形成时代。另外,还有一组(7.1、8.1、13.1)样品的锆石年龄为 $835 \pm 10\text{Ma}$ (MSWD=0.28),这是一个值得深入研究的数据。

(3)双溪坞群章村组样品(S1213-2):为沉火山角砾岩,由岩屑和充填物组成。岩屑杂乱分布,以次圆状为主,少见次棱角状,粒度以2~18mm(结合标本)的火山角砾为主,0.2~2mm的凝灰物少,其中部分磨圆好的岩屑可能为正常沉积物。岩屑成分为流纹岩、安山岩、粗安岩、花岗岩、闪长岩等。充填物已蚀变为绿泥石和绿帘石,充填状分布于陆源碎屑间,可能为交代玻屑和火山灰的产物。岩石内见少量硅质和绿帘石填充的裂纹。章村组沉火山角砾岩(S1213-2)17个测点中U含量变化范围为 $36 \times 10^{-6} \sim 115 \times 10^{-6}$; Th含量变化范围为 $27 \times 10^{-6} \sim 106 \times 10^{-6}$; Th/U值变化范围为0.21~1.05(表2)。章村组沉火山角砾岩样品(S1213-2)共测试了17个数据点。17个数据点均位于谐和线上(图5),17个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $878.7 \pm 7.0\text{Ma}$ (MSWD=1.28)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄代表了章村组沉火山角砾岩的形成时代。

(4)骆家门组底砾岩样品(S1213-4):为细粒二长花岗岩,由斜长石、钾长石、石英和黑云母组成。斜长石(40%)呈半自形板状,杂乱分布,粒度一般0.2~2mm,具不均匀粘土化、黝帘石化等,有的表面较脏,局部见双晶弯曲、膝折现象。钾长石(20%~35%)呈他形粒状,杂乱分布,粒度一般为0.2~1.5mm,具高岭土化,表面较脏,偶见粒内含斜长石包体,有的与石英呈文象状共生。石英(25%)呈他形粒状,杂乱分布,粒度为0.2~2mm,粒内波状、带状消光明显,有时见与钾长石文象状共生。黑云母(1%~5%):叶片状,零星分布,片径一般为0.2~1mm,均被绿泥石交代呈假象,并析出铁质,可见双晶弯曲。岩内常见硅质填充的网脉状裂纹,局部见绿帘石似脉状分割岩石,且见少量安山岩等岩屑。二长花岗岩(S1213-4)15个测点中U含量变化范围为 $117 \times 10^{-6} \sim 751 \times 10^{-6}$, Th含量变化范围为 $53 \times 10^{-6} \sim 1028 \times 10^{-6}$, Th/U值变化范围为0.47~1.22(表2)。细粒二长花岗岩样品(S1213-4)共测试了15个数据点,均位于谐和线上(图4),排除数据点4.1较小的年龄值,14个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $878.9 \pm 4.5\text{Ma}$ (MSWD=1.11)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄应为细粒二长花岗岩年龄,也代表了洛家门组底砾岩来自双溪坞群的火山岩。

4 岩石地球化学

4.1 双溪坞群主量元素特征

双溪坞群(北坞组、岩山组和章村组)火山岩中 SiO_2 含量(44.97%~69.49%)较高, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量为0.15%~7.60%(表3),属亚碱性系列(图5)。在双溪坞群火山岩TAS图解(图5)上,双溪坞群北坞组大部分数据点落入玄武岩范围内,章村组测点主要落入安山岩和英安岩范围内。

研究区玄武岩样品 $\text{TiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ 图解(图6)显示,绝大多数样品点落入大陆玄武岩区域内,北坞组部分样品点落入大洋玄武岩区域,岩山组、章村组样品点则落入大陆玄武岩区域,反映双溪坞群的构造环境处于大洋环境向大陆环境的过渡地带。

4.2 双溪坞群微量稀土元素特征

根据双溪坞群微量稀土元素测试分析结果(表4),选取 $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$ 、 $\text{Nb} \times 2 - \text{Zr}/4 - \text{Y}$ 、 $(\text{Y}+\text{Nb})-\text{Rb}$ 、 $\text{Y}-\text{Nb}$ 微量元素图解对研究区双溪坞群的玄武岩样品进行分析,从而为双溪坞群构造环境的判别

表 2 双溪坞群 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果

Table 2 SHRIMP U-Th-Pb isotopic compositions of zircons from the Shuangxiwu Group

测点	$^{206}\text{Pb}_c$ /%	U / 10^{-6}	Th / 10^{-6}	^{232}Th / ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ / 10^{-6}	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	不谐和 度/%	$^{207}\text{Pb}/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$\pm\%$	误差相 关系数
T1211-5															
1.1	0.00	81	47	0.60	10.7	921±11	996±33	8	0.0724	1.6	1.532	2.1	0.1536	1.3	0.625
2.1	0.30	46	32	0.72	6.03	919±25	885±73	-4	0.0685	3.5	1.448	4.6	0.1532	2.9	0.632
3.1	1.42	72	34	0.49	9.36	899±11	578±120	-56	0.0593	5.5	1.223	5.6	0.1496	1.4	0.242
4.1	0.44	106	101	0.99	13.1	861±10	813±71	-6	0.0662	3.4	1.305	3.6	0.1429	1.2	0.340
5.1	0.00	159	157	1.02	20.8	915±10	919±27	0	0.0697	1.3	1.465	1.7	0.1525	1.1	0.661
6.1	1.65	129	103	0.83	2.90	164±3	-444±510	137	0.0386	19	0.137	19	0.02575	1.7	0.086
7.1	0.00	126	75	0.61	16.4	909±10	1025±47	11	0.0734	2.3	1.532	2.6	0.1514	1.2	0.456
8.1	0.00	54	42	0.79	6.97	900±12	921±47	2	0.0697	2.3	1.441	2.7	0.1499	1.4	0.525
9.1	0.00	52	33	0.67	6.51	882±13	1078±53	18	0.0754	2.6	1.524	3.0	0.1467	1.5	0.499
10.1	0.47	58	49	0.88	7.43	895±12	871±67	-3	0.0681	3.3	1.398	3.5	0.1490	1.4	0.396
BW1213-2															
1.1	0.08	218	200	0.95	28.4	910±10	912±33	0	0.0695	1.6	1.452	2.0	0.1516	1.1	0.581
2.1	0.00	235	208	0.92	30.3	904±9	962±31	6	0.0711	1.5	1.476	1.9	0.1505	1.1	0.587
3.1	0.19	74	42	0.59	9.47	899±14	925±63	3	0.0699	3.1	1.442	3.5	0.1497	1.6	0.466
4.1	0.00	100	50	0.52	12.9	906±10	991±38	9	0.0722	1.8	1.502	2.2	0.1509	1.2	0.557
5.1	0.00	192	170	0.91	26.5	959±11	924±25	-4	0.06985	1.2	1.545	1.7	0.1604	1.2	0.711
6.1	0.10	193	144	0.77	23.3	846±9	943±26	10	0.07050	1.2	1.364	1.7	0.1403	1.1	0.674
7.1	0.66	47	20	0.44	5.84	872±13	798±130	-9	0.0657	6.1	1.312	6.3	0.1448	1.6	0.255
8.1	0.59	89	50	0.58	10.8	846±10	747±67	-13	0.0642	3.2	1.241	3.4	0.1403	1.3	0.382
9.1	0.76	43	27	0.64	5.65	905±14	834±70	-9	0.0669	3.4	1.390	3.8	0.1508	1.7	0.451
10.1	0.01	123	74	0.62	16.3	922±10	935±37	1	0.0702	1.8	1.489	2.2	0.1538	1.2	0.554
11.1	0.00	105	55	0.54	14.1	937±11	1073±78	13	0.0752	3.9	1.620	4.1	0.1564	1.3	0.315
12.1	0.17	287	242	0.87	36.2	883±9	880±36	0	0.0684	1.7	1.384	2.1	0.1468	1.1	0.537
13.1	0.00	83	61	0.76	8.97	770±39	1032±72	25	0.0737	3.5	1.289	6.5	0.1269	5.4	0.836
14.1	0.00	38	24	0.64	4.92	899±14	1147±82	22	0.0780	4.1	1.609	4.4	0.1496	1.6	0.370
15.1	0.62	131	65	0.51	16.7	887±16	773±67	-15	0.0650	3.2	1.321	3.7	0.1475	1.9	0.512
16.1	0.00	110	55	0.51	14.5	916±10	987±62	7	0.0720	1.6	1.517	2.0	0.1528	1.2	0.607
17.1	0.00	75	50	0.68	9.32	874±11	1076±58	19	0.0753	2.9	1.507	3.2	0.1452	1.3	0.418
18.1	0.07	180	216	1.25	24.2	937±10	902±35	-4	0.0691	1.7	1.492	2.0	0.1565	1.1	0.558
19.1	0.09	92	45	0.51	11.8	899±11	847±68	-6	0.0673	3.3	1.389	3.5	0.1497	1.3	0.365
S1213-2															
1.1	0.00	48	21	0.46	5.90	867±19	901±120	4	0.0691	5.9	1.370	6.3	0.1439	2.3	0.362
2.1	0.27	200	196	1.01	25.1	875±17	880±53	1	0.0684	2.6	1.372	3.3	0.1454	2.1	0.631
3.1	1.22	39	13	0.35	4.90	873±20	722±170	-21	0.0634	8.2	1.27	8.6	0.1450	2.5	0.290
4.1	0.00	59	25	0.43	7.76	922±22	1009±64	9	0.0728	3.2	1.543	4.1	0.1537	2.6	0.637
5.1	0.37	104	106	1.05	12.8	854±17	874±79	2	0.0682	3.8	1.332	4.3	0.1417	2.1	0.475
6.1	0.14	100	73	0.75	12.8	895±17	761±62	-18	0.0646	2.9	1.326	3.6	0.1489	2.0	0.560
7.1	0.69	51	42	0.85	6.53	892±19	517±130	-72	0.0577	6.1	1.179	6.5	0.1484	2.3	0.348
8.1	0.52	89	62	0.72	11.3	891±17	703±120	-27	0.0629	5.6	1.284	5.9	0.1482	2.0	0.343
9.1	0.66	115	43	0.39	14.2	860±16	784±76	-10	0.0653	3.6	1.284	4.1	0.1427	2.0	0.479
10.1	0.54	38	22	0.60	4.49	835±19	725±110	-15	0.0635	5.3	1.210	5.9	0.1382	2.5	0.418
11.1	0.79	60	48	0.83	7.65	886±19	779±140	-14	0.0651	6.7	1.323	7.1	0.1473	2.3	0.328
12.1	0.87	53	21	0.41	6.79	893±31	776±160	-15	0.0651	7.5	1.33	8.3	0.1485	3.7	0.448
13.1	0.90	27	17	0.64	3.34	856±22	834±140	-3	0.0669	6.8	1.310	7.4	0.1421	2.7	0.371
14.1	0.67	48	21	0.45	6.47	930±22	930±140	0	0.0701	6.6	1.50	7.1	0.1552	2.5	0.352
15.1	0.00	53	11	0.21	6.85	897±20	1085±70	17	0.0756	3.5	1.557	4.2	0.1494	2.4	0.566
16.1	0.72	36	23	0.65	4.42	854±20	913±150	6	0.0695	7.4	1.36	7.8	0.1416	2.5	0.319
17.1	0.52	58	23	0.40	7.33	875±18	836±96	-5	0.0669	4.6	1.342	5.1	0.1454	2.2	0.434
S1213-4															
1.1	0.29	312	251	0.83	39.6	886±11	864±29	-3	0.0678	1.4	1.378	1.9	0.1473	1.3	0.680
2.1	0.36	348	248	0.74	44.4	889±11	883±34	-1	0.0685	1.6	1.396	2.1	0.1478	1.3	0.616
3.1	0.14	317	345	1.13	41.2	908±11	886±34	-3	0.0686	1.6	1.431	2.1	0.1513	1.3	0.628
4.1	0.51	117	53	0.47	14.1	839±12	867±70	3	0.0680	3.4	1.302	3.7	0.1390	1.5	0.408
5.1	0.05	751	596	0.82	95.8	891±10	863±17	-3	0.0678	0.84	1.386	1.5	0.1483	1.2	0.820
6.1	0.40	155	124	0.82	19.3	868±12	935±37	7	0.0702	1.8	1.396	2.3	0.1442	1.5	0.637
7.1	0.09	458	394	0.89	58.2	888±11	886±22	0	0.0686	1.1	1.397	1.7	0.1477	1.3	0.778
8.1	0.14	301	208	0.71	38.2	887±11	902±34	2	0.0691	1.6	1.406	2.1	0.1475	1.3	0.616
9.1	0.42	131	77	0.61	16.2	868±12	848±54	-2	0.0673	2.6	1.339	3.0	0.1442	1.5	0.503
10.1	0.07	490	450	0.95	62.2	887±16	886±21	0	0.0686	1.0	1.395	2.2	0.1475	1.9	0.879
11.1	0.20	470	419	0.92	61.5	911±12	873±31	-4	0.0681	1.5	1.427	2.1	0.1519	1.4	0.685
12.1	0.11	873	1028	1.22	111	887±11	876±16	-1	0.0682	0.79	1.388	1.5	0.1476	1.3	0.852
13.1	0.32	142	97	0.71	18.7	917±12	830±66	-11	0.0667	3.2	1.407	3.5	0.1529	1.4	0.413
14.1	0.21	449	431	0.99	58.2	904±10	881±26	-3	0.0684	1.3	1.420	1.8	0.1506	1.2	0.699
15.1	0.09	478	333	0.72	61.5	899±10	930±20	3	0.0701	0.96	1.445	1.6	0.1496	1.2	0.789

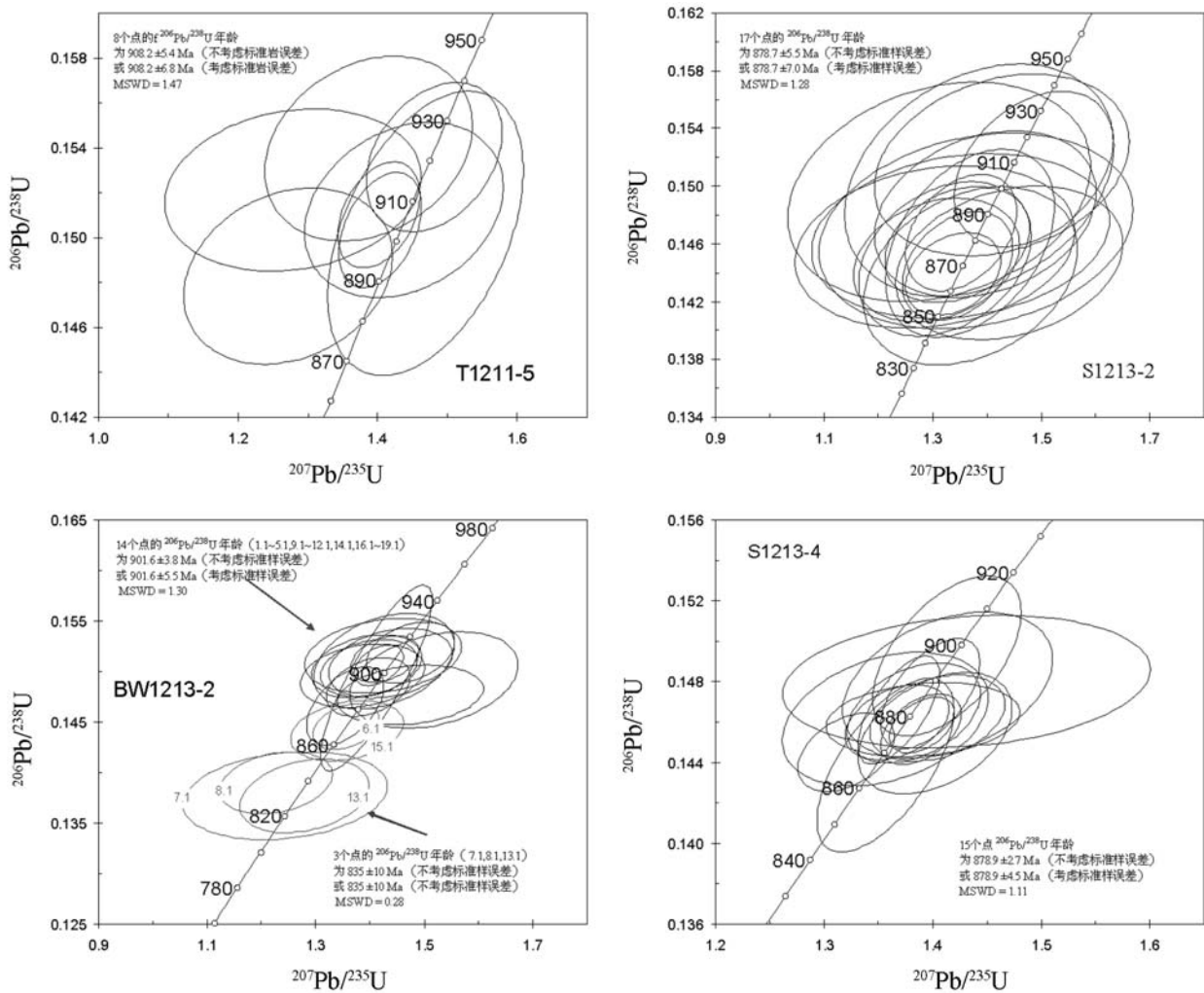


图4 双溪坞群火山岩锆石U-Pb谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordant diagram of volcanic rocks

提供更多的证据。

从Zr/Y-Zr图解(图7)可以看出,双溪坞群北坞组样品点分布于火山弧玄武岩区域附近,属于火山弧玄武岩;双溪坞群岩山组、章村组样品点分布于板内玄武岩区域及其附近。可能反映双溪坞群所处的构造环境为火山活动逐渐消亡、构造活动逐渐趋于稳定的构造环境。

从Nb×2-Zr/4-Y图解(图8)可以看出,双溪坞群大部分样品点落于CD区域,即火山弧玄武岩区域;而Y+Nb-Rb图解(图9)中双溪坞群所有样品点均落入火山弧区域;Y-Nb图解(图10)显示,双溪坞群的构造环境为同碰撞火山弧构造环境。综合

这3个图解,双溪坞群应形成于火山弧区域。

综合分析双溪坞群主量和微量元素特征,可以得出双溪坞群处在从大洋环境向大陆环境演化的火山弧构造环境,可能是华夏陆块向扬子陆块持续俯冲的结果。

5 结论

笔者在隶属江一绍断裂带的浙西地区双溪坞群安山岩或火山岩岩组中发现了大量的岩浆岩锆石,获得其SHRIMP锆石U-Pb年龄,即双溪坞群平水组(908Ma)、北坞组(902Ma)、章村组(879Ma)、骆家门组底砾岩中的花岗闪长岩砾石和骆家门组凝

表 3 浙江双溪坞群各样品主量元素含量
Table 3 Content of major elements in various rocks of the Shuangxiwu Group in Zhejiang Province

地层	样品号	序号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻
北坞组	130309-1	1	52.03	16.76	0.36	5.33	3.50	11.05	4.12	0.17	2.92	0.138	0.031	2.83	0.25
	130309-2	2	50.57	18.19	0.39	4.79	4.17	9.29	4.25	0.41	3.83	0.138	0.038	3.17	0.33
	130309-3	3	45.53	18.33	0.57	6.18	4.89	10.61	6.47	0.76	2.64	0.163	0.065	3.29	0.56
	130309-4	4	45.93	18.26	0.57	6.29	4.67	10.26	6.10	0.79	3.01	0.161	0.071	3.12	0.40
	130309-5	5	59.06	14.82	0.36	6.78	1.38	11.96	2.41	0.09	0.07	0.122	0.042	1.91	0.46
	130309-6	6	46.03	18.42	0.55	5.27	5.34	9.33	6.59	0.46	3.19	0.153	0.062	3.87	0.50
	BW1213-2	7	64.38	14.28	0.52	5.68	0.41	11.46	0.39	0.63	0.19	0.056	0.148	1.11	0.15
岩山组	YS130316-3	8	59.05	16.90	0.69	1.68	4.77	5.44	2.79	1.46	2.95	0.142	0.255	3.25	0.25
	YS130316-5	9	44.97	21.46	1.02	3.31	7.66	2.54	6.73	4.87	0.84	0.160	0.219	5.47	0.36
章村组	130309-11	10	59.04	17.11	0.78	6.54	1.34	2.75	2.79	2.74	3.39	0.112	0.218	2.31	0.37
	130309-12	11	69.49	14.07	0.56	4.17	0.86	0.58	2.18	3.56	1.41	0.060	0.117	2.21	0.37
	S1213-1	12	58.31	17.62	0.98	7.30	1.53	0.67	3.20	3.12	3.57	0.100	0.269	2.83	0.28
	S1213-2	13	64.94	14.39	0.83	4.64	1.58	2.27	3.21	0.53	4.60	0.127	0.190	2.02	0.23
	S1213-3	14	69.24	15.42	0.45	1.87	1.17	0.52	1.54	3.07	4.52	0.061	0.158	1.61	0.22

灰岩(879Ma),以及陈蔡群(848~845Ma^[24])和原平水群(陈塘坞组)凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(830~825Ma^[25])。通过系统的地球化学研究,对研究

区玄武岩样品主量元素进行 TiO₂-K₂O-P₂O₅ 投点,可以看出绝大多数样品点落入大陆玄武岩区域内,北坞组部分样品点落入大洋玄武岩区域,岩山组、章村组样品点则落入大陆玄武岩区域,反映了双溪坞群的构造环境是从大洋环境向大陆环境过度地带。

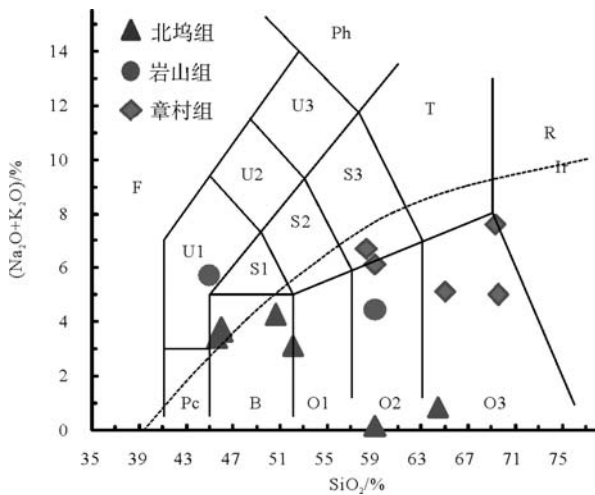


图5 双溪坞群火山岩全碱—硅图解(TAS)

Fig. 5 TAS diagram of volcanic rocks of the Shuangxiwu Group
Pc—苦橄玄武岩;B—玄武岩;O1—玄武安山岩;O2—安山岩;
O3—英安岩;R—流纹岩;S1—粗面玄武岩;S2—玄武质粗面
安山岩;S3—粗面安山岩;T—粗面岩、粗面英安岩;F—副长石岩;
U1—碱玄武岩、碧玄武岩;U2—响岩质碱玄武岩;U3—碱玄质响岩;
Ph—响岩;Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

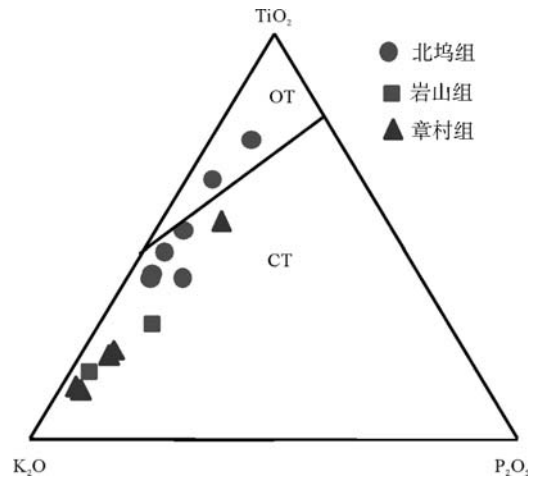


图6 玄武岩 TiO₂-K₂O-P₂O₅ 图解

Fig. 6 TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram of basalt
of the Shuangxiwu Group
OT—大洋玄武岩;CT—大陆玄武岩

表4 双溪坞群各样品微量和稀土元素含量
Table 4 Content of major elements and trace elements in various rocks of the Shuangxiwu Group in Zhejiang Province

10^{-6}																
地层	样品号	序号	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
北坞组	130309-1	1	6.75	3.63	6.46	0.91	4.00	1.04	0.48	0.95	0.20	1.24	0.26	0.74	0.13	0.77
	130309-2	2	7.48	3.19	6.18	0.95	4.40	1.10	0.51	1.12	0.23	1.48	0.30	0.89	0.15	0.88
	130309-3	3	9.73	3.02	6.77	1.08	5.23	1.47	0.61	1.40	0.29	1.91	0.39	1.19	0.20	1.25
	130309-4	4	10.54	3.37	7.05	1.20	5.83	1.58	0.61	1.54	0.31	2.03	0.42	1.28	0.22	1.27
	130309-5	5	6.10	3.08	4.93	0.88	4.10	1.00	0.39	1.00	0.19	1.31	0.26	0.79	0.13	0.79
	130309-6	6	6.98	2.20	4.74	0.78	3.72	1.06	0.38	1.03	0.21	1.41	0.29	0.87	0.15	0.92
	BW1213-2	7	31.75	20.66	41.06	5.93	24.71	5.62	1.34	5.04	0.99	6.11	1.19	3.59	0.59	3.32
岩山组	YS130316-3	8	22.51	9.83	20.40	3.19	14.60	3.66	1.19	3.30	0.67	4.26	0.84	2.51	0.40	2.60
	YS130316-5	9	27.28	9.95	22.79	3.60	17.06	4.55	1.36	4.34	0.90	5.78	1.10	3.06	0.45	2.40
章村组	130309-11	10	19.94	7.80	18.50	2.91	13.69	3.61	1.15	3.31	0.66	4.23	0.81	2.18	0.33	1.79
	130309-12	11	25.33	8.41	19.24	2.90	13.55	3.73	0.93	3.60	0.78	5.10	1.00	2.92	0.46	2.65
	S1213-1	12	26.18	9.82	20.84	3.45	15.26	3.99	1.02	3.90	0.81	5.27	1.04	2.94	0.43	2.43
	S1213-2	13	13.70	16.84	35.89	4.90	19.85	3.86	1.25	3.28	0.56	3.05	0.55	1.56	0.24	1.41
	S1213-3	14	7.26	15.65	30.81	3.82	14.47	2.39	0.73	1.96	0.29	1.49	0.28	0.78	0.12	0.71
地层	样品号	序号	Lu	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	
北坞组	130309-1	1	0.10	9.76	0.60	25.8	278.2	58.7	27.2	30.4	113.2	47.7	15.08	8.1	308.3	
	130309-2	2	0.12	10.10	0.29	25.6	271.6	61.8	29.1	28.0	219.3	49.3	16.84	3.3	204.4	
	130309-3	3	0.16	12.76	0.18	34.8	289.2	91.9	33.9	30.9	128.7	69.3	15.45	6.3	414.9	
	130309-4	4	0.17	11.30	0.25	36.6	277.0	82.2	32.2	29.7	74.0	64.7	15.75	7.1	301.6	
	130309-5	5	0.11	9.99	0.16	24.7	197.7	53.3	21.4	19.0	52.6	39.1	14.96	2.0	1375	
	130309-6	6	0.13	13.38	0.26	33.2	278.8	73.9	33.4	26.5	68.8	65.8	15.57	2.6	288.0	
	BW1213-2	7	0.48	4.39	1.29	18.58	72.6	10.6	5.2	5.6	72.8	30.6	20.62	19.3	1648	
岩山组	YS130316-3	8	0.34	17.13	0.83	19.8	88.7	23.5	9.4	4.3	42.1	81.0	15.42	11.4	310.9	
	YS130316-5	9	0.35	31.55	0.81	30.3	216.1	29.9	39.1	15.7	95.4	123.6	18.00	46.3	201.2	
章村组	130309-11	10	0.24	17.56	0.86	24.8	108.0	8.2	13.1	3.3	47.2	83.9	16.05	50.5	866.2	
	130309-12	11	0.36	25.34	1.25	13.8	58.8	4.3	8.7	2.3	6.3	67.1	15.21	61.6	131.9	
	S1213-1	12	0.34	28.53	1.03	32.63	142.2	8.9	18.6	4.2	41.6	121.7	21.13	80.7	707.2	
	S1213-2	13	0.20	26.94	0.70	16.66	116.3	35.3	16.9	23.7	78.9	67.4	16.23	11.9	1169	
	S1213-3	14	0.10	7.61	1.86	4.80	46.8	11.3	8.3	13.6	19.5	49.0	17.92	44.2	157.9	
地层	样品号	序号	Zr	Nb	Mo	In	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Ti	Pb	Bi	Th	U
北坞组	130309-1	1	11.3	1.89	0.22	0.036	0.91	54.6	0.42	0.25	0.29	0.13	3.4	0.04	7.84	0.45
	130309-2	2	10.7	1.23	0.11	0.040	0.73	134.9	0.42	0.16	0.13	0.06	2.5	0.03	0.94	0.11
	130309-3	3	22.6	1.70	0.08	0.054	0.62	175.7	0.87	0.26	0.09	0.07	2.2	0.02	0.64	0.12
	130309-4	4	16.4	1.52	0.09	0.053	0.87	178.8	0.68	0.16	0.09	0.07	6.9	0.02	0.60	0.12
	130309-5	5	30.4	0.97	0.06	0.032	0.27	48.3	1.11	0.10	0.08	0.02	3.1	0.03	0.45	0.11
	130309-6	6	20.0	1.45	0.09	0.057	0.45	165.2	0.82	0.13	0.16	0.04	2.1	0.02	0.64	0.10
	BW1213-2	7	156.2	6.56	0.24	0.144	3.49	120.7	8.31	0.44	0.29	0.10	12.5	0.19	3.78	0.81
岩山组	YS130316-3	8	97.7	3.10	0.24	0.057	1.00	368.9	3.74	0.21	0.25	0.10	2.6	0.05	1.30	0.40
	YS130316-5	9	123.4	3.65	0.11	0.089	4.05	782.5	5.35	0.35	0.25	0.15	1.9	0.03	1.38	0.32
章村组	130309-11	10	106.5	0.073	2.86	646.2	5.63	0.24	0.54	0.15	6.7	0.06	1.38	0.46	0.073	2.86
	130309-12	11	136.5	0.063	3.57	909.0	6.65	0.35	0.77	0.20	4.0	0.05	1.74	0.60	0.063	3.57
	S1213-1	12	111.5	0.099	3.77	1091	5.53	0.30	0.89	0.27	5.8	0.06	3.37	0.65	0.099	3.77
	S1213-2	13	149.9	0.053	0.88	172.8	6.47	0.39	0.82	0.06	8.4	0.11	2.70	0.94	0.053	0.88
	S1213-3	14	122.0	0.023	2.06	680.0	6.45	0.47	0.34	0.19	3.1	0.04	3.08	0.90	0.023	2.06

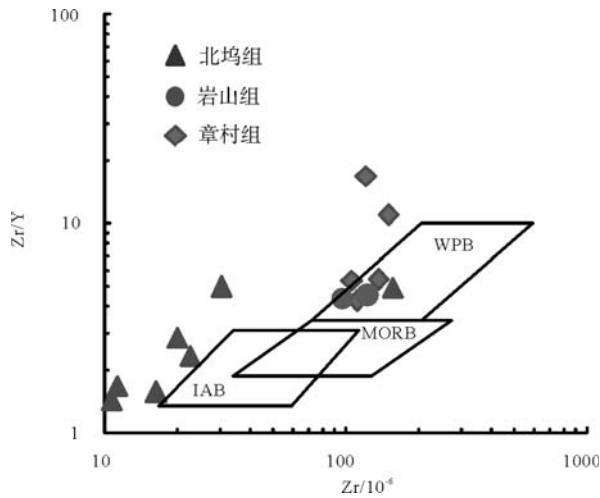


图7 双溪坞群 Zr/Y-Zr 图解

Fig. 7 f Zr/Y-Zr diagram of basalt of the Shuangxiwu Group

IAB—火山弧玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩; WPB—板内玄武岩

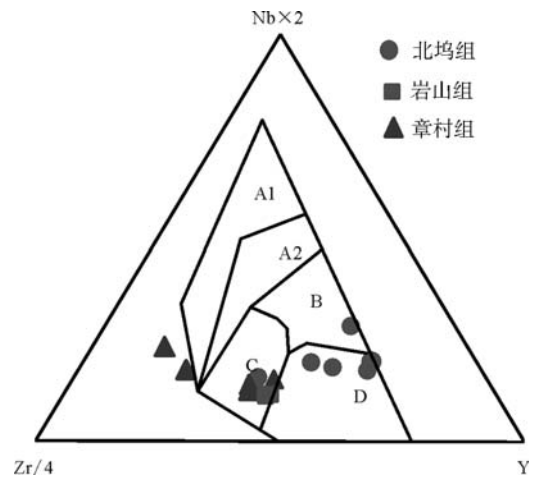


图8 双溪坞群 Nb×2-Zr/4-Y 图解 (据参考文献[23])

Fig. 8 Nb×2-Zr/4-Y diagram of basalt of the Shuangxiwu Group

A1+A2—板内碱性玄武岩; A2+C—板内拉斑玄武岩; B—P型 MORB; D—N型 MORB; C+D—火山弧玄武岩

SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和地球化学研究表明,江—绍断裂带包括了新元古代早期的多岛洋构造体系和扬子块体与华夏块体的碰撞关系。结合江西弋阳地区的铁砂街组变流纹岩高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄加权平均值^[26]和德兴地区张村群锆石 U-Pb 年龄^[27],应重新思考江南造山

带的构造演化格局(图 11)。

由于双溪坞群与河上镇群仅分布于浙西地区,在大地构造上又是发育在扬子板块和华夏板块之间,是江南造山带新元古代地层的重要组成部分,也是华南新元古代地层研究的关键地区之一。这 2 套巨厚火山碎屑岩系之间发育着神功运动,双溪坞

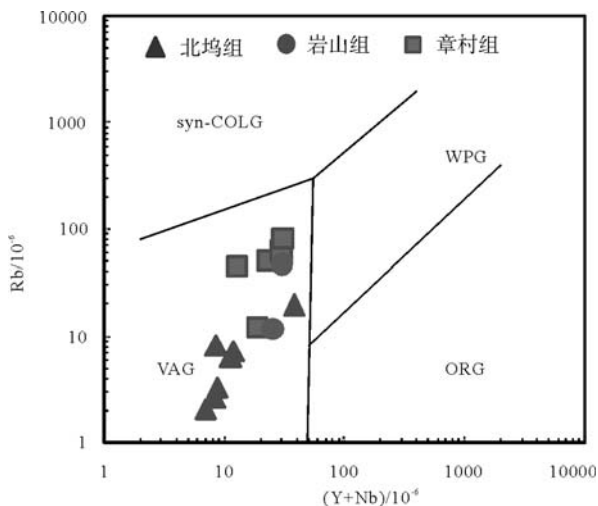


图9 双溪坞群玄武岩 (Y+Nb)-Rb 图解

Fig. 9 Y+Nb-Rb diagram of basalt of the Shuangxiwu Group

VAG—火山弧玄武岩; syn-COLG—同碰撞玄武岩; WPG—板内; ORG—洋中脊玄武岩

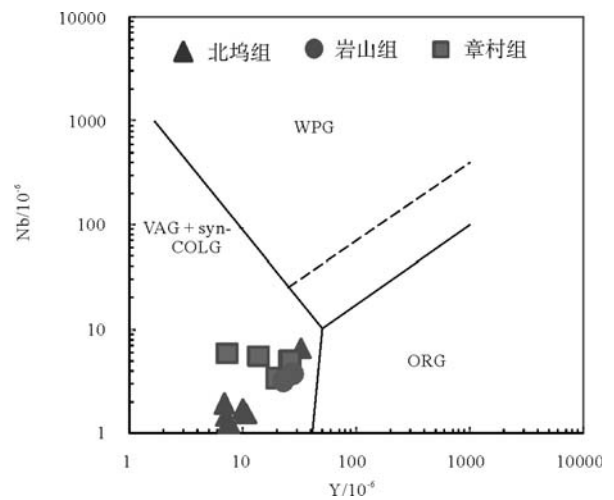


图10 双溪坞群玄武岩 Y-Nb 图解

Fig. 10 Y-Nb diagram of basalt of the Shuangxiwu Group

WPG—板内玄武岩; VAG+syn-COLG—火山弧和同碰撞玄武岩; ORG—洋中脊玄武岩

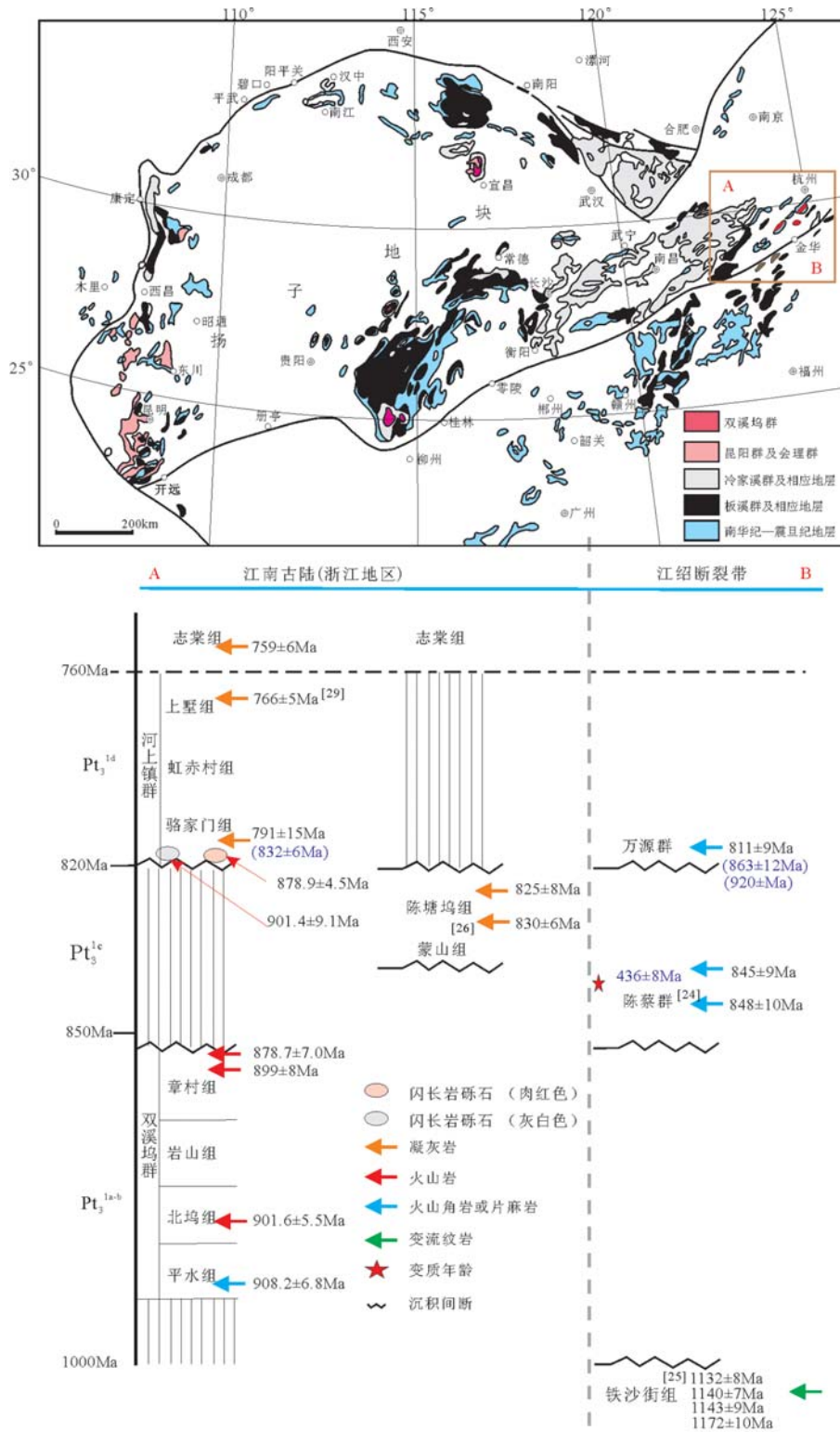


图 11 浙东—赣中地区中—新元古代地层年代学格架

Fig. 11 Mesoproterozoic–Neoproterozoic stratigraphic geochronologic framework of eastern Zhejiang–middle Jiangxi area

群为一套厚度巨大、以泥砂质及火山碎屑(安山岩)为主的沉积建造,属于岛弧环境。而河上镇群及相关地层为Rodinia超大陆形成后的早期裂谷沉积。然而,关于华夏陆块的讨论涉及到江南造山带的构造格局和湘、皖、浙、赣地区大量同位素年龄数据的解释问题,笔者认为当前研究的大量高质量SHRIMP 锆石U-Pb 年龄为新的构造观提供了精确的年代学制约。浙西双溪坞群和河上镇群锆石U-Pb 新年龄,对重新思考江南造山带的构造演化时限具有重要的地质意义^[28]。

致谢:北京离子探针中心董春燕、张维和石玉若博士在测试期间给予技术保障,杨淳高级工程师和周丽芹、李宁工程师在制靶和阴极发光照相过程中给予帮助;中国地质大学王自强教授在构造解释方面给予指导,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 邓国辉,刘春根,冯晔. 赣东北—皖南元古代造山带构造格架及演化[J]. 地球学报, 2005, 26(1): 9-16.
- [2] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报——区域地质, 第11号, 北京: 地质出版社, 1989.
- [3] 马瑞士. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 448-456.
- [4] 竺国强, 陈梓军, 杨树锋, 等. 浙北双溪坞群的构造特征及地质意义[J]. 高校地质学报, 2006, 2(1): 58-64.
- [5] 邓家瑞, 张志平. 闽浙赣晚前寒武纪构造格局探讨[J]. 地质论评, 1998, 44(6): 561-567.
- [6] 俞国华, 包超民, 方柄兴, 等. 浙江省岩石地层清理成果简介[J]. 浙江地质, 1995, 11(1): 1-14.
- [7] 李江海, 穆剑. 我国境内格林威尔期造山带的存在及其中元古代末期超大陆再造的制约[J]. 地质科学, 1999, 34(3): 259-272.
- [8] Li Z X, Zhang L, Powell C McA. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antacticle and Laurentia? [J]. Geology, 1995, 23: 407-410.
- [9] Li Z X, Zhang L H, Powell C McA. Position of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia[J]. Aust J. Earth Sci., 1996, 43(6): 593-604.
- [10] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. Precambrian Research, 2003, 122(1/4): 85-109.
- [11] Li X H. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze margin: timing of Neoproterozoic Jinning Orogen in SE China and implication for Rodinia assemble[J]. Precambrian Research, 1999, 97: 43-57.
- [12] 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.
- [13] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(D辑), 1987, 4: 414-421.
- [14] 杨明桂, 廖瑞君, 刘亚光. 江西变质基底类型及变质地层的划分对比[J]. 江西地质, 1999, 12(3): 201-208.
- [15] 余达淦, 黄国夫, 艾桂根, 等. 江西周潭同位素年龄特征及其地质意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 1999, 20(2): 195-200.
- [16] 余达淦, 管太阳, 巫建华, 等. 江西基础地质研究新进展述评[J]. 东华理工大学学报, 2006, 增刊: 1-11.
- [17] 胡肇荣, 邓国辉. 钦—杭接合带之构造特征[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2009, 26(2): 114-122.
- [18] 徐备. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系[J]. 地质学报, 1990, 1: 33-42.
- [19] Lance P B, Sandra L K, Charlotte M A, et al. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2003, 200: 155-170.
- [20] Lance P B, Sandra L K, Ian S W, et al. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology; a critical appraisal of four zircon standards[J]. Chemical Geology, 2003, 200: 171-188.
- [21] Ludwig K R. SQUID 1.02, a user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 2. 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA. 2002.
- [22] Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1975, 26: 207-221.
- [23] Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chemical Geology, 1986, 56: 207-218.
- [24] 高林志, 丁孝忠, 刘燕学, 等. 江山—绍兴断裂带陈蔡岩群片麻岩锆石U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(5): 641-648.
- [25] 高林志, 刘燕学, 丁孝忠, 等. 江山—绍兴断裂带铁沙街组流纹岩SHRIMP 锆石U-Pb 测年及其意义[J]. 地质通报, 2013, 32(7): 996-1005.
- [26] 高林志, 丁孝忠, 刘燕学, 等. 浙江浦江县蒙上地区陈堂坞组在地层柱中的位置: 来自锆石SHRIMP U-Pb 年龄的制约[J]. 地质通报, 2013, 32(7): 988-995.
- [27] 刘树文, 杨朋涛, 王宗起, 等. 赣东北婺源—德兴地区新元古代浅变质火山岩的地球化学和锆石U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2012, 29(2): 581-593.
- [28] 王自强, 高林志, 丁孝忠, 等. “江南造山带”变质基底形成的构造环境及演化特征[J]. 地质论评, 2012, 58(3): 401-413.
- [29] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群及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地质演化的制约[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1744-1758.