皖赣鄣公山地区新元古代地壳组成及造山过程

张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 张晓东, 武彬, 王存智, 余明刚
中国地质调查局南京地质调查中心, 南京, 210016

内容提要: 皖赣相邻的鄣公山地区位处江南造山带北缘, 区内广布一套厚度巨大、低绿片岩相变质的以泥砂质细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体, 大量高精度同位素测年数据显示, 其形成于821~840 Ma间的新元古代早期, 以景德镇-鄣源-伏川区域断裂带为界, 南部为形成于大陆边缘拉张构造环境下的溪口岩群; 北部的双桥山群火山-陆缘细碎屑岩系是与岛弧有关盆地中的沉积物。北东-南西向展布于鄣公山北坡的蚀变枕状-块状基性火山熔岩、辉长岩、辉绿岩等基性岩类呈构造碎块或碎片产出于溪口岩群火山-陆缘细碎屑岩组成的复理石基质中, 通过对其产出地质特征及岩石地球化学特征等的分析, 认为其形成于低速扩张的陆缘小洋盆扩张脊环境, 具初始洋壳基性岩特征, 属皖南伏川蛇绿岩西延组成部分。呈夹层产出于双桥山群地层中的大量玻屑晶屑凝灰岩及少量变安山岩、变流纹岩等具相似的岩石地球化学特征, 属中钾钙碱性岩石系列, 形成于大陆边缘火山弧构造环境。综合区内沉积事件、岩浆事件和构造事件等, 提出皖赣相邻区新元古代经历了古扬子板块东南缘裂开-陆缘小洋盆有限俯冲-弧陆碰撞造山-造山期后陆壳裂陷沉积的构造演化过程。

关键词: 江南造山带北缘; 新元古代; 物质组成; 造山过程; 鄣公山地区

在中国扬子板块和和华夏板块之间有一明显带状分布的元古代浅变质的沉积地层和一系列岩浆岩单元, 被称之为"江南造山带"(于津海等, 2006)。长期以来, 众多学者根据早期的同位素年代数据和时限分布较广的微古植物, 认为"江南造山带"是世界范围内的格林威尔造山带的一部分, 并认为它是罗迪尼亚(Rodinia)超大陆所对应的中国扬子和华夏板块的聚合和裂解(Li, et al., 2002; Li, et al., 2003)地带。但是, 近年来不少学者对该造山带内的前震旦纪岩浆岩及碎屑岩进行了一系列的高精度同位素定年研究, 大量的数据反映出该造山带明显比格林威尔期造山带年轻得多(顾雪祥等, 2003; 郑永飞等, 2007), 认为这套地层的形成不早于860 Ma(Wang et al., 2006, 2008), 从而引发对"江南造山带"构造演化时限和地层对比新的思考。皖赣相邻的鄣公山地区位处该造山带东段北缘, 区内植被茂密, 基岩裸露较差。我们运用数字填图系统(RGMAP)(李超岭等, 2003, 2004)在本区高质量地完成了4个1∶5万图幅的区调项目, 首次从真正意义上实现了地、物、化、遥等多元数据的一体化整合并贯穿于项目工作的全过程, 极大地提高了浅覆盖区地质信息的提取和解析。通过RGMAP在本区的成功实践, 新获取了一批具区域影响的宏观地学数据。本文拟通过系统的实测资料并结合前人相关资料, 着重从沉积学、岩石学及同位素年代学等方面对皖赣相邻鄣公山地区新元古代物质组成及造山作用过程做进一步诠释, 为重塑江南造山带北缘新元古代构造演化格架抛砖引玉。

1 区域主要地质概况

皖赣相邻区新元古代主要为一套火山-陆缘细碎屑岩为主夹少量火山熔岩的浅变质地层体, 区域上, 将前南华纪地层自下而上大致称之为溪口岩群和/或双桥山群及历口群, 其中前者主要分布于本文泛指的鄣公山地区, 以往众多学者根据早期的同位素年代数据和时限分布较广的微古植物, 将其形成时代置于中元古代。然而, 近些年包括我们在内的一些地学工作者在研究区应用SHRIMP及LA-ICPMS等测年方法在原定位于"中元古代"的地层中无一例外地获得了一大批集中在821~840 Ma间的锆石U-Pb年龄数据[1](Wang et al., 2006, 2008; 高林志等, 2008, 2009), 从而修正并标定了该

注: 本文为中国地质调查局"安徽1∶5万平里、江潭、瑶里、虹关幅区调"项目(编号1212010610609)资助成果。
收稿日期: 2010-03-25; 改回日期: 2010-05-17; 责任编辑: 郝梓国。
作者简介: 张彦杰, 男, 1971年生。高级工程师, 长期从事区域地质调查工作。通讯地址: 210016, 南京市中山东路534号; 电话: 025-84897937; E-mail: njzyj@126.com。
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

套地层体在新元古界地层柱中的位置(高林志等, 2008)。历口群主要分布于休宁- 祁门县以北的皖南东部一带, 与浙西的河上镇群层位相当, 为一套具裂谷成因特点的火山-沉积组合, 与下伏溪口岩群和/或双桥山群呈不整合接触, 顶部与上覆南华纪休宁组为不整合接触(程光华等, 2000; 杜建国等, 2002; 高林志等, 2008; 马荣生等, 2002)。在河上镇群中部层位虹赤村组流纹岩中获得 802±11 Ma SHRIMP 锆石 U-Pb 协和年龄, 且绝大部分测试点年龄值均落在 807±11 Ma(王剑, 2000), 考虑到与虹赤村组整合接触的下部骆家门组的沉积时间, 认为河上镇群(历口群) 底界年龄小于或接近 820 Ma(王剑等, 2005)。高林志等(2008) 在整合接触于虹赤村组之上的上墅组斑脱岩中获得 767±5 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄, 从而对河上镇群及其相关地层上限年龄进行了约束。上覆南华纪—早古生代为滨浅海相为主的地层组合, 属板内伸展机制下形成的稳定型盖层沉积。

区域新元古代岩浆岩主要包括与板块汇聚有关的弧沟系、造山后伸展的裂谷系和非造山构造环境下的岩浆岩组合。前者岩石类型主要有蛇绿岩套、拉斑玄武岩、钙碱性火山岩及花岗质岩类, 其中大家认可的蛇绿岩带有两条: 一条为皖南伏川蛇绿混杂岩带, 其南西向延伸经鄣源基性混杂岩带可与景德镇-宜丰断裂带相连[1,2], 本次, 我们与加拿大滑铁卢大学地球与环境科学系林寿发博士在伏川蛇绿岩伟晶辉长岩及蛇绿岩上覆英安质凝灰岩中分别获得 844±11 Ma(N 29°54′26.4″, E118°31′38.6″) 和 837±10 Ma(N 29°54′19.6″, E118°31′38.6″) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据; 另一条为赣东北蛇绿混杂岩带, 在其中斜长花岗岩中分别获得 968±23 Ma(李献华等, 1994) 和 970±21 Ma(Gao et al., 2009) 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。皖南伏川蛇绿岩形成于具陆壳性质的大陆边缘区的弧后盆地构造环境或陆壳上的小洋盆地内(周新民等, 1989), 认为是扬子- 华夏块体碰撞后期沿后撤板块边缘局部拉开的小洋盆残片(李献华等, 2001); 赣东北蛇绿岩可能形成于原始大洋岛弧的弧后盆地(赵建新等, 1995)。拉斑玄武岩系(不包括蛇绿岩之玄武岩) 主要分布于赣东北婺源- 乐平及怀玉山一带, 岩石类型有变细碧-角斑岩、玄武岩、安山岩、英安岩等, 具岛弧拉斑玄武岩特点[2](曾勇等, 2002)。产出于双桥山群地层中的火山岩类型主要为酸性凝灰岩, 另有安山岩及流纹岩, 地球化学特征显示岛弧钙碱性岩石系列特点。分布于九岭及皖南许村、休宁、歙县的新元古代花岗质岩类及基性岩墙群在化学成分上具陆壳和洋壳双重特征(程光华等, 2000; 曾勇等, 2002), 具 I 和 S 型花岗岩特点(Wu et al., 2006), 由于具有岛弧型地球化学特征, 又被归于岛弧成因或碰撞后成因(周新民等, 1988; Wang et al., 2004), 近些年大量的高精度同位素测年数据显示, 这些岩体形成于 820~830 Ma(李献华等., 2001; Wu et al., 2006), 认为是地幔柱活动导致下地壳重熔的产物(李献华等., 2001)。分布于历口群及河上镇群或与其相当层位中的双峰式火山岩及钾玄岩系列火山岩属造山后裂谷系岩浆岩组合。石耳山花岗质岩石具非造山 A 型花岗岩特征, 高精度同位素测年资料显示, 其形成于 776~779 Ma(Li et al., 2003; 吴荣新等, 2005)。

本区自晋宁运动以来历经多期不同层次伸展、压缩、剪切机制下构造变形、岩浆再造、变质作用和沉积作用。构造平、剖面结构总体反映了多期次不同成因与类型构造的叠加复合, 其中最主要显示以晋宁主造山期俯冲-碰撞构造为骨架, 以发育区域透入性构造面理为主要特点, 并叠加加里东及印支-早燕山期陆内逆冲推覆构造, 使区内地质体呈逆冲岩片叠置, 燕山晚期又强烈叠加北东向平移剪切构造和伸展断陷盆地等, 呈现出复杂构造图象(图 1)。

2 区内新元古代物质组成特征

现根据我们的实测资料, 着重就休宁- 祁门县以南至皖赣交界的鄣公山一带新元古代地壳物质组成从地层及岩浆岩两方面作以阐述。

2.1 浅变质火山-陆缘碎屑岩系

区内广布的一套厚度巨大、低绿片岩相变质的以泥砂质细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体, 以景德镇-鄣源-伏川区域断裂带为界, 南部称溪口岩群, 以北属双桥山群。

2.1.1 溪口岩群

溪口岩群系由夏邦栋(1962) 在本区溪口镇创名的"溪口群"沿革而来, 为一套陆缘细碎屑岩为主的浅变质强变形构造地层体, 原始沉积构造基本被区域构造面理置换。我们自下而上将其划分为板桥岩组和木坑岩组, 下面选择江西省婺源县沱川乡- 安徽休宁县汪村镇剖面(图 2) 对溪口岩群剖面结构及岩石组合进行描述。

横涌组上段(Pt_h^3): 浅灰白色、紫灰色千枚状变凝灰岩与绢云千枚岩互层

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

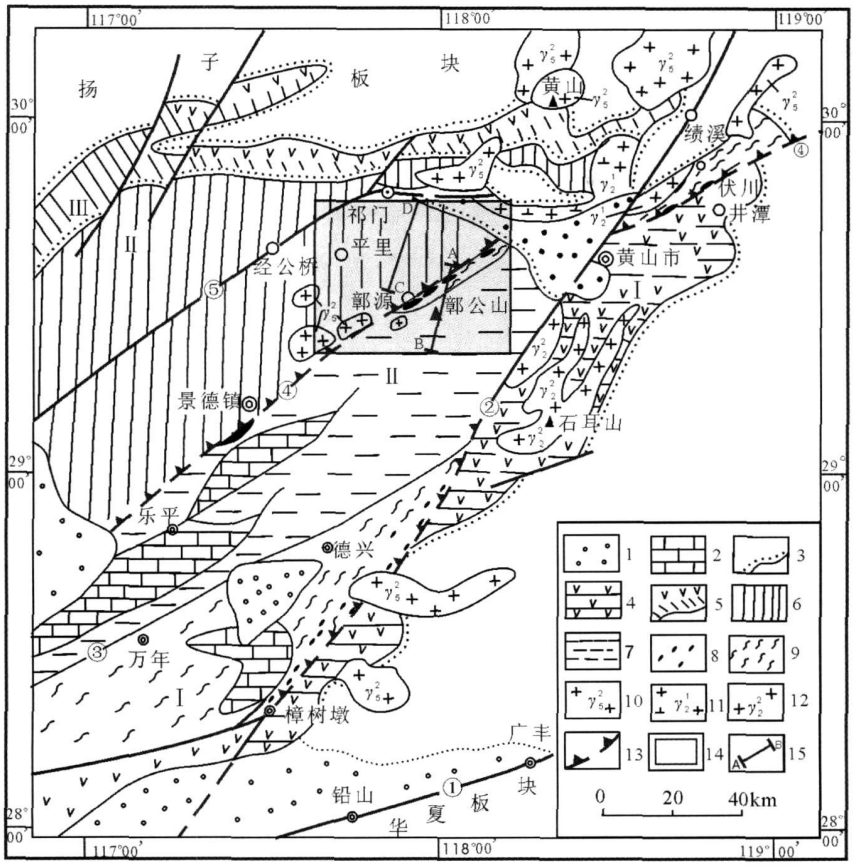


图 1　皖赣相邻区地质构造略图(据程光华等, 2000; 余心起等, 2007; 略改)

Fig. 1　Sketch map showing geological structures in adjacent region between Anhui Province and Jiangxi Province (modified after Chen Guanghua et al. 2000; Yu Xinqi et al. 2007)

1—中、新生界; 2—石炭—三叠系; 3—震旦系—早古生界; 4—怀玉岛弧新元古代火山岩; 5—九岭陆缘青白口纪晚期火山-沉积建造; 6—新元古代双桥山群火山-沉积复理石; 7—新元古代溪口岩群浅变质复理石; 8—新元古代基性-超基性岩碎块; 9—混杂岩带剪切基质; 10—燕山期花岗岩; 11—晋宁期花岗闪长岩; 12—晋宁期花岗岩; 13—推测俯冲断裂带; 14—研究区主要位置; 15—图 2 及图 7 剖面位置。江南造山带北缘: Ⅰ—皖浙赣岛弧褶带; Ⅱ—鄣公山陆缘弧后盆地冲褶带; Ⅲ—九岭陆缘褶带; ①—江-绍复合断裂带; ②—皖浙赣复合断裂带; ③—乐安江断裂; ④—景德镇-伏川复合断裂带; ⑤—祁门复合断裂带

1—Meso-Cenozoic; 2—Carboniferous—Triassic; 3—Sinian—Early Palaeozoic; 4—Neoproterozic volcanic rock of Huaiyu island arc; 5—late Qingbaikou volcanic-sedimentary formation of Jiuling continental margin; 6—Neoproterzoic volcanic-sedimentary flysch of the Shuangqiaoshan Group; 7—Neoproterzoic epimetamorphic flysch of the Xikou Group-complex; 8—Neoproterzoic basic-ultrabasic rock fragments; 9—shearing matix of the melange zone; 10—Yanshanian granite; 11—Jinningian granodiorite; 12—Jinningian granite; 13—speculative subduction fault belt; 14—location of the study area; 15—location of sections in Fig. 2 and Fig. 7; Northern margin of Jiangnan orogen: Ⅰ—Anhui-Zhejiang-Jiangxi island arc fold belt; Ⅱ—thrust-fold belt of the back arc basin along Zhanggongshan continental margin; Ⅲ—Jiuling continental margin fold belt; ①—Jiangshan-Shaoxing fault belt; ②—Anhui-Zhejiang-Jiangxi fault belt; ③—Le′anjiang fault; ④—Jingdezhen-Fuchuan fault belt; ⑤—Qimen fault belt

————脆性断层接触————

木坑岩组二岩段(Ptm^3)　　叠置厚度> 589 m

18. 灰绿色千枚状变凝灰质砂岩, 局部夹泥硅质板岩(背斜核部未见顶)。　　> 116 m

17. 灰色-灰绿色千枚状变凝灰质砂岩夹有少量的浅灰绿色绢云千枚岩。　　473 m

木坑岩组一岩段(Ptm^1)　　叠置厚度 424 m

————脆性断层接触————

16. 灰绿色千枚状变凝灰质砂岩与灰绿色绢云石英千枚岩互层。　　424 m

————构造面理接触————

板桥岩组三岩段(Ptb^3)　　叠置厚度> 935 m

15. 灰色绢云石英千枚岩。　　201 m

————断层接触————

14. 深灰色绢云千枚岩夹深灰色千枚状变凝灰质砂岩(向形核部)。　　227 m

13. 深灰色石英绢云千枚岩夹少量深灰色千枚状变凝灰质砂岩。　　124 m

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

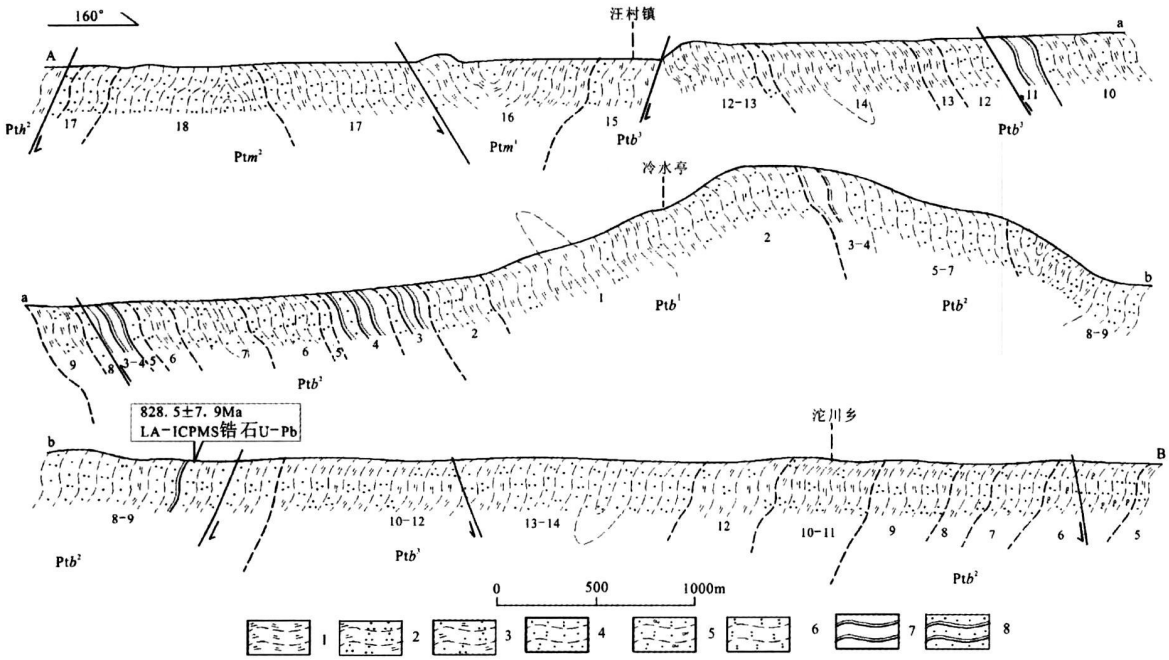


图 2 安徽休宁县汪村镇- 江西省婺源县沱川乡溪口岩群实测地质剖面图

Fig. 2 Measured geological section of Xikou Group in Wangcun Town Xiuning County Anhui Provence to Tuochuan Town Wuyuan County Jiangxi Provence

1—绢云千枚岩; 2—绢云石英千枚岩; 3—砂质绢云石英千枚岩; 4—千枚状变凝灰质砂岩; 5—条纹条带状变凝灰质砂岩; 6—千枚状变凝灰岩; 7—板岩; 8—砂质板岩; Ptb^1—板桥岩组一岩段; Ptb^2—板桥岩组二岩段; Ptb^3—板桥岩组三岩段; Ptm^1—木坑岩组一岩段; Ptm^2—木坑岩组二岩段; Pth^2—横涌组上段

1—Sericite phyllite; 2—sericite quartz phyllite; 3—sandy sericite quartz phyllite; 4—phyllitic metamorphic tuffaceous sandstone; 5—striped banded metamorphic tuffaceous sandstone; 6—phyllitic metamorphic tuff; 7—slate; 8—sandy slate; Ptb^1—the first formation of Banqiao Group- complex; Ptb^2—the second formation of Banqiao Group- complex; Ptb^3—the third formation of Banqiao Goup- complex; Ptm^1—the first formation of Mukeng Group- complex; Ptm^2—the second formation of Mukeng Group- complex; Pth^2—the upper member of Heyong Formation

12. 灰色千枚状变凝灰质砂岩夹有少量灰黑色板岩。 134 m

11. 深灰色板岩夹灰色千枚状变凝灰质砂岩, 在凝灰质砂岩中获得828.5±7.9 Ma LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄。 86 m

————断层接触————

10. 灰色千枚状变凝灰质砂岩与浅灰色绢云千枚岩互层。 163 m

————构造面理接触————

板桥岩组二岩段(Ptb^2) 叠置厚度 1050 m

9. 浅灰色绢云千枚岩夹同色粉砂质绢云石英千枚岩。 159 m

8. 深灰色一青灰色千枚状变凝灰质砂岩夹深灰色石英绢云千枚岩。 36 m

7. 灰色千枚状变凝灰质砂岩夹浅灰色绢云石英千枚岩。 114 m

6. 千枚状变凝灰质砂岩为主夹有浅绿灰色、深灰色绢云石英千枚岩。 268 m

5. 深灰色千枚状变凝灰质砂岩。 81 m

4. 深灰色—灰黑色板岩夹灰色千枚状变凝灰质砂岩。 197 m

3. 灰色—浅灰色板岩为主夹有斑点状千枚状变凝灰质砂岩, 偶见少量深灰色—灰黑色绢云千枚岩。 195 m

————构造面理接触————

板桥岩组一岩段(Ptb^1) 叠置厚度> 570 m

2. 灰色千枚状变凝灰质砂岩夹深灰色绢云千枚岩。 302 m

1. 灰色绢云千枚岩夹浅绿灰色千枚状变凝灰质砂岩(背形核部未见底)。 268 m

根据上述剖面并结合面上情况, 溪口岩群各岩组(段)特征: 板桥岩组以灰、深灰—灰黑色浅变质火山-陆缘细碎屑岩为主, 岩石类型主要为板岩、粉砂质板岩、千枚岩及千枚状细砂岩及千枚状粉砂岩类, 局部含钙质砂岩透镜体。在成分组成上, 板桥岩组一岩段, 原岩砂泥比值大致相等, 二岩段原岩粉砂、细砂质成分增多, 三岩段原岩泥质成分明显增高。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

木坑岩组为一套灰绿色为主的火山-陆缘碎屑岩系, 以含较多火山物质为特征, 岩性以灰绿色细砂质绢云石英千枚岩(千枚状变砂岩) 、千枚状变凝灰质砂岩为主, 夹石英绢云千枚岩、绢云千枚岩、泥硅质板岩, 相互间或为夹层, 或成互层产出, 岩石中普遍含有数量不等的以菱铁矿为主, 少量黄铁矿、白云石等组成的变斑晶。

溪口岩群地球化学特征: 16 个样品的分析结果表明(表 1) , 变砂岩类岩石化学成分以高硅、铝, 贫钙为特征, SiO_2 含量较高, 为 62.77%~ 77.23%, 平均 69.18%; Al_2O_3 含量为 12.23%~ 15.49%, TiO_2 含量为 0.53%~ 0.82%, $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 比值均大于 1。CaO 含量 0.28%~ 2.26%, 平均 1.02%。MgO 含量在 1.44%~ 2.2%之间, 近似于大陆边缘弧砂岩的特点。千枚岩、板岩类 SiO_2 含量在 58.73%~ 68.13%, 大部分样品含量在 60%附近, 相比砂岩类偏低; Al_2O_3 含量为 13.6%~ 17.8%, 且 $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 比值均接近 3; CaO 含量较低, 为 0.26%~ 1.02%。MgO 含量在 1.79%~ 2.45%之间, 变化范围较小。相对而言千枚岩等变泥质岩石较变砂岩富铝、镁低硅。化学成分特征表明岩石成分成熟度较低。溪口岩群浅变质碎屑岩类稀土总量较高(表 3) , 为(160.20~ 340.71) × 10^{-6}。δEu 在 0.87~ 2.00 之间, δCe 在 0.9~ 1.19 之间, $(La/Yb)_N$ 在 0.39~ 2.53 之间。所有样品稀土元素含量经后太古宙澳大利亚页岩(PAAS) 标准化, 其曲线模式近似平坦型(图 3) , 相比较, Eu、Sm 略正异常, 说明陆缘区可能为表壳岩系。微量元素(表 2) MORB 标准化配分曲线(图 4) 呈"大隆起"形式, 不相容元素除 Ti、P、Sr 略亏损外,

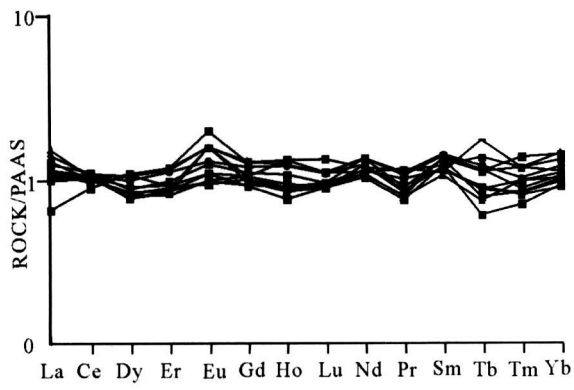


图 3　溪口岩群浅变质碎屑岩稀土元素标准化模式图

Fig.3　Normalized REE pattens of epimetamorphic fine clastic rocks in Xikou Group

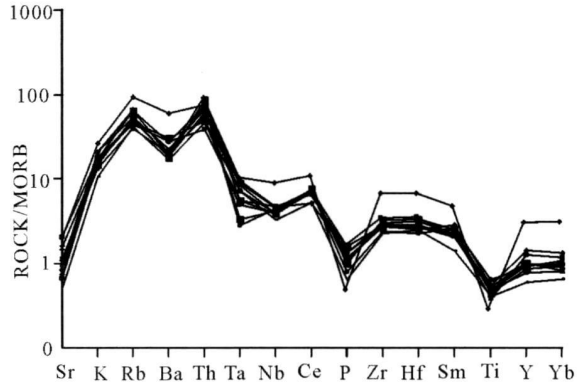


图 4　溪口岩群浅变质碎屑岩微量元素标准化模式图

Fig.4　Normalized trace elements patterns of epimetamorphic fine clastic rocks in Xikou Group

其余元素均富集, 其中 K、Rb、Ba、Th、Ta 等强烈富集, Zr、Hf、Sm、Y、Yb 弱富集。

Nd 和 Sr 同位素组成: 溪口岩群浅变质碎屑岩 10 个样品分析表明[1]: $^{147}Sm/^{144}Nd$ 范围变化较小, 集中在 0.10~ 0.12 之间, 只有个别大于 0.12, 平均值为 0.117, 非常接近全球泥质沉积岩所代表的大陆地壳平均 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 值 0.118 (Jahn and Condie) , 现代 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值变化不大, 在 0.511981~ 0.512125 之间, 平均值为 0.512056; $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围在 -1.67~ -3.98 之间, t_{DM} 年龄变化也比较小, 集中在 1.6~ 1.8 Ga 之间。$^{87}Rb/^{86}Sr$ 初始值在 1.39~ 4.207 之间, $^{87}Rb/^{86}Sr$ 平均值为 2.91, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值在 0.72111~ 0.75268 之间, 平均值为 0.7379。

在 Bhatia(1981) 建立的碎屑岩微量元素判别图解(图 5) 中, 溪口岩群样品点主要落在活动大陆边缘及其附近区域, 显示拉张构造背景下的沉积作用特征。综合岩石组合及残留沉积组构特征认为, 溪口岩群原岩形成于大陆边缘拉张构造背景下的陆棚边缘斜坡至次深海相沉积环境。

本次我们在区内溪口岩群不同层位浅变质凝灰质砂岩中获得 835.4±9.4 Ma(图 6a; 位置: N29°30′21″, E117°53′16″) 、841.5±8 Ma(图 6b; 位置: N 29°40′47″, E118°00′10″) 、837.8±8.6 Ma(图 6c; 位置: N 29°33′18″, E117°54′34″) 的年轻碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及 828.5±7.9 Ma(表 4, 图 6d; 位置: N 29°32′19″, E117°48′29″) 的年轻碎屑锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄。此外, 在沱川北侵入溪口岩群中的一片理化闪长岩脉中获得 788±6.8 Ma (位置: N29°31′58″, E117°50′28″) 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄, 制约了溪口岩群形成的上限。据上

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 浅变质碎屑岩主量元素含量表(%)(据张彦杰等, 2009❶)

Table 1 The contents (%) of major elements of the metamorphosed fine clastic rocks (after Zhang et al., 2009❶)

	溪口岩群													
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样号	3301	3692	4267	405-2	4910	401-4	404-3	403-4	3304	4312	403-9	403-13	404-3	403-30
采样位置	休宁四门	瑶里低坑	汪村横坑	沱川乡南	虹关浙岭	虹关詹坑	虹关詹坑	漳前村南	四门倪家	花桥村北	板桥梓坞	板桥王塘	板桥呈村	板桥小官坑
SiO_2	65.51	70.86	66.97	77.23	70.42	65.95	68.64	62.77	72.44	71.04	68.13	58.73	61.34	61.11
Al_2O_3	15.05	13.64	14.91	9.94	13.47	14.83	14.82	15.49	12.23	13.20	13.68	17.80	17.21	16.02
Fe_2O_3	2.19	1.06	0.94	1.09	0.91	0.53	0.37	1.59	1.41	1.36	1.65	4.30	1.22	1.57
FeO	3.64	3.87	4.49	3.42	3.93	3.56	3.90	2.55	3.17	3.76	3.25	2.82	5.29	3.91
CaO	2.26	0.38	0.65	0.28	0.35	0.66	1.12	3.19	0.88	0.40	0.33	1.02	0.26	0.52
MgO	1.99	1.64	2.15	1.43	1.53	1.72	1.78	2.20	1.44	1.61	1.79	1.95	2.02	2.45
Na_2O	1.59	2.38	3.10	1.30	2.97	4.03	4.14	3.66	2.33	2.13	2.06	1.65	2.28	1.71
K_2O	3.92	2.47	2.38	1.59	3.12	2.32	2.71	3.05	2.19	2.60	2.32	2.68	3.09	3.16
TiO_2	0.82	0.73	0.79	0.61	0.71	0.53	0.58	0.72	0.67	0.72	0.65	0.81	0.96	0.83
MnO	0.13	0.07	0.06	0.10	0.07	0.05	0.07	0.07	0.13	0.05	0.10	0.12	0.07	0.10
P_2O_5	0.16	0.13	0.19	0.08	0.13	0.16	0.16	0.23	0.12	0.14	0.17	0.19	0.10	0.19
L.O.I	2.30	2.45	3.06	2.74	2.33	1.56	1.53	3.12	2.68	2.66	3.20	4.48	4.06	4.05
总量	99.43	99.32	99.7	99.8	99.94	95.90	99.82	98.64	99.57	99.67	97.33	96.55	99.49	95.62
	溪口岩群		双桥山群											
序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
样号	3401	3318	105-2	107-2	101-7	101-5	204-4	204-5	204-3	204-6	204-3	1232	1006	1008
采样位置	内屋基	休宁棣店	祁门景石	祁门红光	祁门上洲	祁门舟口	祁门牌楼	祁门石坑	祁门石坑	祁门石坑	流口镇南	祁门双河	祁门溶口	祁门平里
SiO_2	72.04	70.430	75.45	65.75	58.51	71.74	58.42	68.93	68.53	68.42	72.41	69.53	67.69	70.72
Al_2O_3	13.48	12.910	10.95	17.62	16.24	17.49	17.59	14.76	13.81	13.44	12.16	13.11	12.28	13.40
Fe_2O_3	0.860	0.820	0.55	0.56	1.28	0.47	0.64	0.79	0.53	0.95	1.44	4.25	0.72	0.90
FeO	2.360	4.650	3.25	4.04	4.87	0.42	5.23	4.01	3.93	3.11	3.22	1.11	3.75	3.84
CaO	1.140	0.720	1.00	0.22	1.56	0.08	0.60	0.19	0.53	1.52	0.76	0.18	3.52	0.39
MgO	1.220	1.650	1.19	1.51	1.91	0.54	1.90	1.11	1.32	1.26	1.15	1.03	1.36	1.89
Na_2O	1.530	2.340	2.86	1.64	1.20	0.68	1.96	2.85	2.49	2.13	2.22	1.05	2.79	2.94
K_2O	3.480	2.170	1.40	3.71	3.18	2.88	3.39	1.86	2.29	2.72	2.17	2.40	1.90	1.91
TiO_2	0.350	0.740	0.58	0.85	0.83	0.86	0.82	0.63	0.62	0.58	0.64	0.70	0.60	0.67
MnO	0.070	0.100	0.06	0.06	0.11	0.01	0.08	0.08	0.12	0.11	0.07	0.15	0.19	0.15
P_2O_5	0.050	0.180	0.11	0.11	0.87	0.02	0.38	0.08	0.12	0.11	0.13	0.07	0.13	0.12
L.O.I	3.060	2.970	2.27	3.54	8.37	4.43	3.49	3.05	2.68	3.44	3.06	4.18	4.74	2.72
总量	99.5	99.7	99.67	99.61	98.93	99.62	94.50	98.34	96.97	97.83	99.43	97.76	99.67	99.65
	双桥山群													
序号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
样号	101-5-2	101-8-1	101-9-4	101-21	101-24	3109-1	3202	3683	3612	204-45	3159	101-92		
采样位置	祁门窄里村北	祁门祁红乡	祁门祁红乡	祁门邱村北	祁门盘舍口南	查湾采育场	祁门牛角坞	瑶里镇	瑶里镇内坦	祁门枫亭	祁门舍会山	祁门塔坊乡		
SiO_2	70.08	64.10	71.67	62.45	64.18	66.81	74.51	70.91	65.43	65.78	74.23	66.38		
Al_2O_3	13.03	15.64	12.73	15.39	14.34	15.77	11.49	13.40	16.59	14.66	11.35	16.23		
Fe_2O_3	0.86	3.96	1.37	1.22	1.08	0.76	0.42	0.68	0.86	0.77	0.74	0.89		
FeO	3.71	1.62	3.43	4.45	4.39	4.61	4.02	4.31	4.32	4.13	4.42	4.30		
CaO	0.83	0.06	0.52	0.28	0.73	0.21	0.47	0.49	0.76	0.81	0.24	0.35		
MgO	1.20	1.31	1.50	1.72	1.90	2.03	1.57	1.56	1.81	1.48	1.64	2.51		
Na_2O	2.06	1.02	2.52	1.23	1.88	2.05	2.19	2.41	1.57	2.08	1.79	2.54		
K_2O	2.28	3.02	2.53	3.66	2.74	3.28	1.81	2.37	3.56	2.84	1.89	2.18		
TiO_2	0.62	0.68	0.68	0.69	0.67	0.82	0.64	0.72	0.76	0.70	0.70	0.64		
MnO	0.10	0.06	0.08	0.06	0.09	0.06	0.08	0.07	0.06	0.09	0.06	0.28		
P_2O_5	0.11	0.08	0.14	0.15	0.11	0.13	0.12	0.14	0.12	0.13	0.11	0.08		
L.O.I	3.12	4.39	2.68	3.24	3.30	3.12	2.36	2.57	3.84	3.20	2.50	3.33		
总量	98.00	95.94	99.7	99.8	95.41	99.65	99.680	99.63	99.68	96.67	99.67	99.71		

注: 序号 1、5、6、21、23~ 25、29、33、38 为变凝灰质砂岩类; 2~ 4、7~ 10、17、19、27、28、36、37 为变砂岩类; 11~ 15、20、22、26、30、31、32、40 为千枚岩类; 16、19、35、39 为板岩类。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　碎屑岩微量元素含量表(× 10^{-6})(据张彦杰等, 2009[9])

Table 2　The contents (× 10^{-6}) of trace elements of the epimetamorphic fine clastic rocks (after Zhang et al., 2009[9])

	溴口岩群													
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样号	3301	3692	4267	4052	4910	4014	4043	4034	3304	4312	4039	4031	404	4039
Ba	1190.0	369.0	613.0	416.0	602.0	539.0	623.0	341.0	447.0	549.0	555.0	608.0	354.0	395.0
Co	15.2	15.3	13.3	20.6	18.6	17.0	18.6	15.1	14.6	10.7	12.3	11.7	13.3	16.8
Sc	34.8	12.4	11.6	21.8	7.0	20.7	20.4	13.2	10.3	9.9	11.8	5.8	10.1	6.8
Cr	68.0	63.7	71.4	82.5	90.2	87.0	90.8	114.0	66.6	53.2	46.9	14.6	55.4	61.7
Ni	34.8	24.2	28.5	44.0	34.8	36.5	46.6	27.4	25.1	22.3	19.1	6.4	20.8	27.0
Ga	20.9	19.3	19.1	23.8	19.9	24.5	25.1	12.6	20.0	22.8	18.7	22.8	16.2	18.3
Ge	0.9	1.0	1.4	2.0	1.2	1.3	1.8	1.5	0.5	2.0	2.0	1.6	0.8	1.1
Rb	185.0	100.0	98.5	108.0	94.1	128.0	145.0	83.2	107.0	94.2	89.3	143.0	106.0	127.0
Nb	16.2	13.7	16.9	15.5	16.0	15.6	18.0	11.4	13.4	18.5	16.5	9.6	13.7	14.7
Cs	13.9	6.3	14.9	7.3	6.0	9.2	13.9	20.0	15.4	32.0	28.8	23.4	11.9	19.9
Hf	6.0	6.8	6.8	5.5	6.6	5.4	5.6	5.9	6.4	8.1	7.5	5.1	7.9	6.3
V	79.4	95.4	79.9	113.0	109.0	117.0	125.0	92.6	96.2	75.0	72.6	108.0	74.7	81.2
Sr	240.0	79.7	117.0	197.0	185.0	100.0	132.0	59.1	97.8	207.0	242.0	547.0	124.0	92.4
Zr	247.0	259.0	257.0	216.0	249.0	216.0	221.0	203.0	252.0	299.0	268.0	188.0	294.0	242.0
Ta	1.7	1.3	0.9	1.0	1.6	0.5	1.3	1.3	1.5	0.6	1.0	0.6	1.0	0.6
Th	14.9	12.2	8.7	9.1	9.7	14.6	11.1	9.2	13.2	9.3	7.7	5.9	17.1	14.6
	溴口岩群		双桥山群											
序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
样号	3401	3318	1052	1072	1017	1015	2044	2045	2048	2043	2045	1232	1006	1008
Ba	428.0	449.0	233.0	589.0	837.0	406.0	683.0	347.0	386.0	476.0	379.0	332.0	315.0	366.0
Co	1.70	14.60	14.3	17.1	14.0	14.0	16.9	13.3	13.0	11.1	15.5	0.0	13.6	17.8
Sc	5.59	12.10	8.1	17.1	17.2	14.9	13.0	15.4	12.9	9.2	13.2	6.8	9.8	6.5
Cr	24.00	66.80	54.6	75.8	78.4	66.8	75.7	71.0	55.9	57.7	55.2	0.3	53.5	54.8
Ni	11.90	23.60	13.6	29.3	38.0	25.0	35.2	22.7	21.5	20.1	23.7	3.9	22.8	23.5
Ga	25.90	18.20	13.5	25.6	26.5	22.1	25.8	18.6	18.5	17.7	16.8	20.5	16.5	17.7
Ge	1.00	0.90	1.1	1.5	1.3	1.1	1.7	1.2	1.5	1.5	1.5	1.8	1.1	1.4
Rb	162.00	93.60	51.9	156.0	132.0	116.0	125.0	72.5	94.2	105.0	90.7	482.0	81.2	79.1
Nb	32.80	13.90	9.8	16.4	18.8	14.6	18.2	13.9	13.7	13.5	12.3	39.2	10.6	13.0
Cs	12.90	< 6.0	< 6.0	12.5	14.1	< 6.0	16.4	15.7	6.8	8.6	5.6	32.6	7.1	7.5
Hf	16.70	8.30	7.4	5.7	5.8	7.1	6.2	6.9	6.1	7.5	6.6	4.5	5.7	6.5
V	39.70	99.40	74.2	109.0	108.0	97.3	99.3	78.0	83.7	74.2	87.7	24.6	91.4	94.0
Sr	100.0	120.0	131.0	87.9	222.0	69.3	142.0	106.0	142.0	171.0	142.0	113.0	330.0	83.7
Zr	627.0	304.0	255.0	223.0	222.0	265.0	247.0	249.0	222.0	279.0	232.0	173.0	203.0	235.0
Ta	2.00	0.90	1.2	1.7	1.0	2.0	1.4	0.8	1.5	0.7	1.1	3.7	0.6	0.6
Th	23.10	12.70	9.6	14.3	13.5	12.1	9.1	9.5	11.2	9.7	7.1	52.0	9.9	11.7

	双桥山群											
序号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
样号	1015-2	1018-1	1019-4	1021	1024	3109-1	3202	3683	3612	2045	3159	1092
Ba	368.0	464.0	348.0	460.0	455.0	395.0	239.0	422.0	662.0	392.0	246.0	448.0
Co	13.3	14.5	16.4	19.5	19.2	14.1	12.7	15.5	15.4	14.7	17.7	16.2
Sc	9.3	15.5	11.0	14.1	13.1	9.5	10.7	12.4	16.2	12.7	2.3	9.5
Cr	55.7	62.3	58.8	66.1	62.1	82.5	85.7	65.7	75.8	63.3	119.0	60.7
Ni	19.4	27.2	20.5	32.7	28.6	33.7	17.9	24.4	31.0	22.7	28.0	32.3
Ga	14.0	21.6	14.4	22.2	20.1	23.2	15.9	18.5	24.4	18.2	16.1	25.3
Ge	1.8	2.0	< 2.0	1.4	1.6	1.1	1.1	0.9	1.3	1.7	1.2	1.3
Rb	80.9	131.0	86.7	164.0	114.0	152.0	100.0	105.0	162.0	99.6	90.3	97.7
Nb	11.3	16.4	11.5	16.2	15.0	15.8	12.6	12.9	14.5	13.7	13.7	16.0
Cs	10.5	13.2	6.4	12.6	9.1	< 6.0	17.2	14.0	16.8	9.6	6.1	< 6.0
Hf	7.3	6.3	6.8	6.0	6.5	5.7	7.3	7.1	5.7	6.9	11.0	5.8
V	80.0	96.5	88.7	97.9	92.3	106.0	78.7	100.0	109.0	97.0	84.0	84.6
Sr	84.5	61.2	126.0	90.2	95.0	57.0	78.5	125.0	84.4	119.0	67.5	165.0
Zr	229.0	239.0	233.0	240.0	247.0	222.0	268.0	261.0	223.0	257.0	400.0	208.0
Ta	0.8	0.5	1.3	0.6	1.0	1.5	1.0	1.4	0.9	1.0	0.7	1.0
Th	6.0	13.3	6.6	11.9	9.6	16.3	12.5	13.5	15.7	10.2	15.1	15.8

注: 采样位置同表 1。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 浅变质碎屑岩稀土元素含量表($\times 10^{-6}$)(据张彦杰等, 2009[●])

Table 3 The contents ($\times 10^{-6}$) of REE of the epimetamorphic fine clastic rocks(after Zhang et al., 2009[●])

溴口岩群													
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样号	3301	3692	4267	405-2	4910	401-4	404-3	403-4	3304	4312	403-9	403-1	404	403-9
La	23.50	33.10	49.20	21.10	33.80	37.00	41.60	23.20	36.10	45.20	35.50	34.10	40.20	32.30
Y	42.80	23.10	31.60	40.40	30.50	27.80	31.80	18.00	28.40	42.80	38.10	13.10	25.90	29.60
Ce	51.10	75.00	70.80	60.70	72.50	72.00	68.80	52.30	70.20	74.50	65.40	55.60	75.80	71.50
Dy	8.85	4.56	4.60	6.50	5.35	5.86	4.90	3.56	4.80	6.30	6.30	2.30	5.23	6.37
Er	5.75	2.98	2.90	4.10	3.25	3.91	3.10	2.33	2.80	4.10	4.00	1.10	3.41	3.18
Eu	2.73	1.19	1.90	2.40	1.32	1.57	1.90	0.76	1.20	1.90	1.90	1.90	1.51	1.14
Gd	8.82	4.95	5.20	6.80	4.85	6.33	5.60	3.62	5.60	6.90	6.70	3.70	5.91	5.34
Ho	2.45	0.96	0.90	1.40	0.81	1.29	1.00	0.73	1.40	1.30	1.40	0.40	1.14	0.94
Lu	0.67	0.43	0.40	0.50	0.40	0.49	0.40	0.33	0.50	0.50	0.60	0.10	0.43	0.42
Nd	34.40	31.30	30.30	33.90	28.50	37.20	34.10	18.20	30.40	37.10	32.50	26.90	37.30	29.60
Pr	6.55	8.10	6.30	6.80	6.05	8.88	6.90	6.94	9.40	7.20	9.20	5.90	8.58	6.41
Sc	34.80	12.40	10.80	21.60	7.02	–	17.10	203.00	10.30	9.90	11.80	8.20	10.10	6.82
Sm	9.29	6.93	6.40	8.00	7.28	8.56	7.10	4.64	6.70	8.00	7.30	5.30	8.34	8.08
Tb	1.55	0.73	0.60	0.90	0.49	0.98	0.70	0.58	1.40	0.90	1.10	0.40	0.93	0.63
Tm	0.83	0.41	0.50	0.70	0.36	0.52	0.50	0.32	0.60	0.60	0.60	0.20	0.45	0.43
Yb	4.52	2.72	3.10	4.30	2.78	3.65	3.30	2.20	3.40	4.40	4.00	1.00	3.17	3.07
总量	238.61	208.86	225.50	220.10	205.26	216.04	228.80	340.71	213.20	251.60	226.40	160.20	228.40	205.83
溴口岩群			双桥山群											
序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
样号	3401	3318	105-2	107-2	101-7	101-5	204-4	204-5	204-8	204-3	204-5	1232	1006	1008
La	116.00	68.10	29.50	34.80	43.10	37.30	28.60	25.10	34.90	39.10	51.30	50.80	27.20	28.80
Y	15.70	4.98	19.10	27.30	77.90	27.80	47.70	32.00	30.10	30.30	27.30	28.70	21.20	20.20
Ce	10.90	2.99	57.10	82.70	90.60	69.00	68.40	62.70	54.80	74.10	55.90	70.70	52.40	58.60
Dy	2.87	1.32	3.78	5.40	14.30	5.69	8.20	5.30	5.00	4.60	4.00	3.90	4.26	4.24
Er	13.80	5.60	2.60	3.66	7.36	3.61	4.50	3.00	2.80	2.70	2.40	2.80	2.60	2.52
Eu	3.60	0.94	1.40	1.31	2.65	1.39	1.60	2.20	1.50	1.40	1.10	2.70	1.09	1.17
Gd	1.50	0.41	4.25	5.02	14.70	5.67	8.40	5.40	5.00	4.90	4.50	5.60	4.62	4.35
Ho	60.80	31.80	0.67	0.93	2.90	1.16	1.60	1.10	1.10	1.10	0.70	1.00	0.64	0.65
Lu	15.30	7.38	0.32	0.44	0.70	0.45	0.50	0.40	0.40	0.40	0.30	0.40	0.33	0.37
Nd	5.59	12.10	29.30	34.00	51.00	33.70	36.10	28.60	25.30	28.50	25.50	37.30	27.30	28.00
Pr	15.70	6.91	6.36	6.84	11.40	6.84	6.90	7.40	6.70	7.80	4.90	8.00	4.71	5.35
Sc	2.53	0.69	8.07	17.10	17.20	14.90	16.70	12.40	11.20	10.60	10.50	13.00	9.75	6.45
Sm	1.45	0.42	5.96	7.59	14.10	7.70	8.60	6.70	6.10	7.00	5.40	7.60	6.18	6.24
Tb	10.30	2.94	0.32	0.40	2.26	0.82	1.10	1.00	0.90	0.90	0.50	0.80	0.22	0.21
Tm	418.04	204.08	0.27	0.38	0.89	0.46	0.70	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50	0.28	0.30
Yb	263.87	147.51	2.49	3.37	5.01	3.26	4.40	2.90	2.90	2.70	2.70	3.20	2.30	2.45
总量	154.17	56.57	171.5	231.2	356.1	219.8	244.0	196.7	189.2	216.6	197.4	237.0	165.1	169.9
双桥山群														
序号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
样号	101-5-2	101-8-1	101-9-4	101-21	101-24	3109-1	3202	3683	3612	204-45	3159	101-92		
La	41.90	36.30	59.80	61.40	54.80	69.50	56.50	61.80	79.10	57.80	62.00	69.80		
Y	22.90	35.10	4.10	5.50	4.30	5.90	4.55	4.57	5.34	4.10	3.94	6.60		
Ce	57.10	67.50	2.50	3.30	2.80	3.23	2.93	2.83	3.30	2.50	2.48	4.38		
Dy	4.30	5.80	1.30	1.60	1.20	1.15	1.04	1.18	1.29	1.10	0.98	0.89		
Er	2.70	3.70	4.50	5.80	4.60	6.16	5.16	5.11	5.90	4.50	4.43	6.64		
Eu	1.40	1.90	0.80	1.00	0.80	0.89	1.17	0.95	1.11	0.80	0.62	1.42		
Gd	4.60	5.90	0.40	0.40	0.40	0.42	0.41	0.43	0.49	0.40	0.36	0.56		
Ho	0.80	1.20	27.10	33.30	27.90	31.40	26.60	29.20	32.50	26.90	28.80	34.90		
Lu	0.30	0.40	7.30	6.90	5.50	6.79	7.28	6.98	8.26	5.30	6.72	8.47		
Nd	28.50	35.10	11.00	14.80	13.40	9.50	10.70	12.40	16.20	11.70	2.29	9.47		
Pr	5.80	7.00	5.60	7.30	5.80	6.99	6.67	6.80	7.74	5.60	6.67	8.44		
Sc	10.80	15.30	0.60	0.80	0.50	0.47	1.12	0.72	0.90	0.50	0.34	1.03		
Sm	6.10	7.60	0.40	0.50	0.40	0.37	0.44	0.41	0.49	0.40	0.28	0.57		
Tb	0.60	0.90	2.50	3.40	3.10	3.28	2.58	2.75	3.17	2.80	2.41	4.08		
Tm	0.40	0.60	179.4	201.7	178.0	212.3	178.4	189.7	228.3	176.7	176.6	192.0		
Yb	2.90	3.90	129.9	133.7	120.5	149.9	126.0	135.9	163.5	122.7	135.7	157.2		
总量	191.1	228.2	49.5	68.0	57.5	62.3	52.4	53.9	64.8	54.0	41.0	34.8		

注: 采样位置同表 1。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

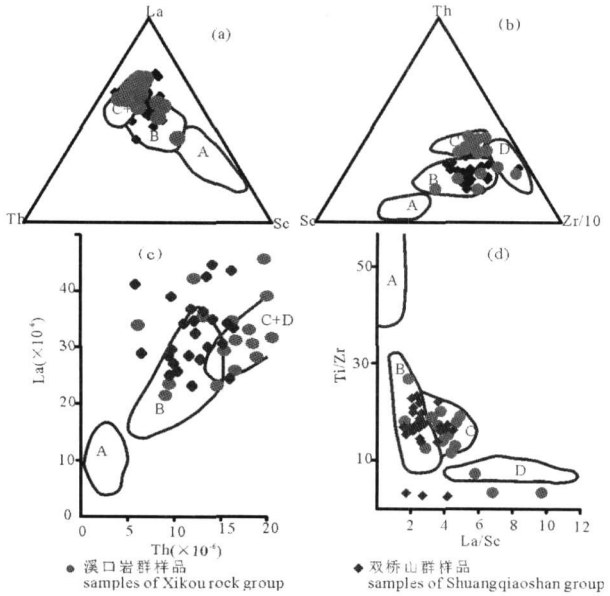


图 5　浅变质碎屑岩构造判别图解(据 Bhatia, 1981)

Fig. 5　Tectonic discrimination diagram for Neoproterozoic epimetamorphic clastic rocks (after Bhatia, 1981)

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

A—Oceanic island arc; B—continental island arc; C—active continental margin; D—passive continental margin

判断, 认为溪口岩群原岩形成年龄不小于 830 Ma, 我们约束的最佳估计值在 830~ 840 Ma。

2.1.2　双桥山群

分布于景德镇-鄣源-伏川区域断裂带以北, 该套地层体尽管亦经历了较强区域构造面理置换, 但其原始沉积构造及序列仍可分辨, 构造变形程度明显低于南部溪口岩群, 区域上自下而上建立横涌组、计林组、安乐林组沉积序列。区内与溪口岩群呈断层相接, 出露总厚度约 6844 m。现将安徽省祁门县祁红乡-上洲双桥山群实测地质剖面(图 7)描述如下:

安乐林组上段(Pt_a^2)　　厚度> 561 m

32. 灰色千枚状变沉凝灰岩(向斜核部未见顶)。 183 m
31. 覆盖(推测为细砂质绢云石英千枚岩)。 175 m
30. 黄绿灰色细砂质绢云石英千枚岩夹浅绿灰色变沉凝灰岩, 含有少量褐铁矿。 129 m
29. 风化色呈浅绿灰色千枚状凝灰质砂岩夹粉砂质板岩, 底部有浅灰色变含角砾凝灰岩。 74 m

————整合接触————

安乐林组下段(Pt_a^1)　　厚度: 616 m

28. 浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩夹千枚状变凝灰质砂岩。 43 m
27. 灰白色变晶屑玻屑凝灰岩, 获得 832±9.5 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 827.4±6.6 Ma 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄。 93 m
26. 浅绿灰色石英绢云千枚岩夹灰白色千枚状晶屑玻屑凝灰岩。 85 m
25. 浅绿灰色绢云石英绿泥千枚岩。 140 m
24. 浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩夹条带状石英绢云千枚岩。 104 m
23. 深灰色石英绢云千枚岩, 可见黄铁矿颗粒。 96 m
22. 深灰色石英绢云千枚岩夹绢云千枚岩。 55 m

————整合接触————

计林组(Pt_j)　　厚度 322 m

21. 紫灰色绢云石英千枚岩、粉砂质板岩夹灰白色千枚状凝灰岩。 322 m

————整合接触————

横涌组上段(Pt_h^2)　　厚度 1439 m

20. 浅绿灰色石英绢云千枚岩夹浅灰色细砂质绢云石英千枚岩, 局部可见粒序层理, 水平层理较发育, 偶见交错层理, 顶部可见风化色为灰白色具油脂光泽板岩。 160 m
19. 深灰色细砂质绿泥石英千枚岩夹浅绿灰色、浅黄绿色石英绢云千枚岩, 石英砂屑多已亚颗粒化, 呈多晶集合体产出, 粒径 0.05~ 0.1 mm。 234 m
18. 浅黄绿灰色细砂质绢云石英千枚岩。 52 m
17. 浅灰色、浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩夹浅绿灰色绢云千枚岩及角闪安山岩, 在安山岩中获得 822±6 Ma 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄。 157 m
16. 浅绿色细砂质绿泥绢云石英千枚岩与浅黄色绢云千枚岩互层。 149 m
15. 青灰色细砂质绿泥绢云石英千枚岩夹浅绿色细砂质石英绢云千枚岩。 118 m
14. 浅黄绿灰色条带状绢云石英千枚岩, 偶见包卷层理。 122 m

————断层接触————

13. 浅绿色石英绢云千枚岩夹浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩。 159 m
12. 深灰色细砂质绢云石英千枚岩与石英绢云千枚岩, 底部出露宽 20 余米的灰黑色板岩。 288 m

————整合接触————

横涌组下段(Pt_h^1)　　厚度 1296 m

11. 浅绿灰色、浅黄绿色石英绢云千枚岩夹黄绿色绢云千枚岩。 260 m
10. 浅绿灰色、浅黄绿色石英绢云千枚岩与深灰色细砂质绢云石英千枚岩夹千枚状晶屑玻屑凝灰岩, 在千枚状晶屑玻屑凝灰岩中获得 830.4±4.9 Ma 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄。 216 m
9. 深灰色细砂质绢云石英千枚岩夹浅黄绿灰色石英绢云千枚岩, 可见包卷层理及交错层理。 128 m
8. 浅黄绿灰色石英绢云千枚岩夹深灰色细砂质绢云石英千枚岩。 63 m

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

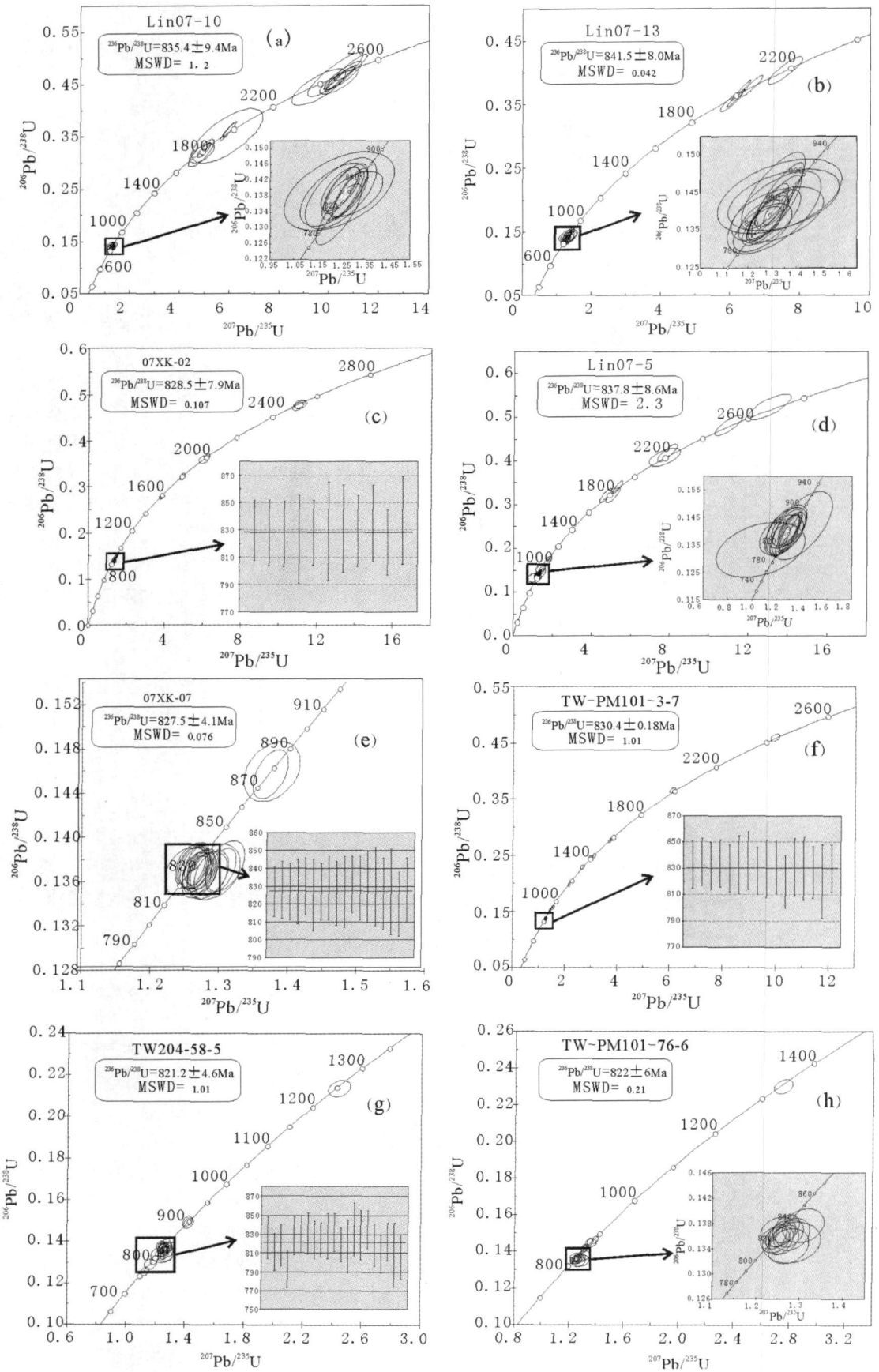


图 6 锆石 U-Pb 协和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram of zircons

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　岩石 La-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素分析结果(据张彦杰等, 2009❶)

Table 4　La-ICP-MS zircon U-Pb data for the rocks (after Zhang et al., 2009❶)

测点	同位素比值										年龄(Ma)							
	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ	$\frac{^{238}U}{^{232}Th}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ
样品 TW07XK-02(砂质板岩, 江西婺源县沱川乡北)　年轻碎屑锆石 LA-ICPMS U-Pb 协和年龄 828.5±7.9 Ma																		
xk2-01	0.06697	0.00172	1.26864	0.03222	0.13743	0.00199	0.04336	0.00537	1.97	0.01	837	55	832	14	830	11	858	104
xk2-02	0.06765	0.00147	1.27766	0.02931	0.13699	0.00214	0.02639	0.00226	7.9	0.02	858	46	836	13	828	12	526	45
xk2-04	0.07236	0.00163	1.36572	0.03196	0.13685	0.00206	0.03931	0.00444	5.32	0.01	996	47	874	14	827	12	779	86
xk2-05	0.06811	0.00138	1.3605	0.02885	0.14487	0.00208	0.03935	0.00308	2.46	0.01	872	43	872	12	872	12	780	60
xk2-06	0.06707	0.00306	1.26002	0.05663	0.13623	0.00286	0.03081	0.00781	2.06	0.01	840	97	828	25	823	16	613	153
xk2-07	0.06823	0.00263	1.34257	0.05149	0.14276	0.00275	0.03469	0.00728	1.5	0.01	876	82	864	22	860	16	689	142
xk2-08	0.0697	0.00205	1.36704	0.04083	0.14219	0.00237	0.04208	0.00717	5.98	0.02	920	62	875	18	857	13	833	139
xk2-09	0.07019	0.00237	1.47409	0.04955	0.1524	0.00262	0.04084	0.00837	1.04	0.01	934	71	920	20	914	15	809	163
xk2-10	0.06848	0.00169	1.36288	0.0347	0.1444	0.00222	0.03985	0.0061	1.89	0.01	883	52	873	15	869	13	790	119
xk2-12	0.06653	0.00143	1.25657	0.02921	0.13698	0.00215	0.03147	0.00378	2.53	0.01	823	46	826	13	828	12	626	74
xk2-13	0.12356	0.00222	6.20661	0.1232	0.36437	0.00569	0.12008	0.01327	60.8	0.38	2008	33	2005	17	2003	27	2292	239
xk2-14	0.06726	0.00133	1.2992	0.02782	0.14012	0.00215	0.03589	0.00299	1.82	0.01	846	42	845	12	845	12	713	58
xk2-15	0.06899	0.00357	1.30603	0.06553	0.13731	0.00312	0.03481	0.00744	2.8	0.01	898	110	848	29	829	18	692	145
xk2-16	0.06783	0.00157	1.34135	0.032	0.14343	0.00219	0.03736	0.00367	2.17	0.01	863	49	864	14	864	12	741	72
xk2-17	0.06785	0.00347	1.28748	0.06427	0.13764	0.0029	0.0366	0.00404	0.71	0.01	864	109	840	29	831	16	727	79
xk2-18	0.06787	0.0015	1.28305	0.03028	0.13715	0.00221	0.02948	0.00291	2.41	0.01	865	47	838	13	829	13	587	57
xk2-19	0.09801	0.00163	3.76513	0.07113	0.27867	0.00419	0.05708	0.00465	1.77	0.01	1587	32	1585	15	1585	21	1122	89
xk2-20	0.07007	0.00241	1.39978	0.04778	0.14489	0.00263	0.03808	0.00593	1.67	0.01	930	72	889	20	872	15	755	115
xk2-21	0.10998	0.00183	4.90007	0.09193	0.32321	0.00479	0.0729	0.00658	4.68	0.01	1799	31	1802	16	1805	23	1422	124
xk2-22	0.11058	0.00239	4.88346	0.11072	0.32035	0.00487	0.08325	0.01138	4.39	0.01	1809	40	1799	19	1791	24	1616	212
xk2-23	0.06739	0.00209	1.28422	0.04015	0.13824	0.00246	0.02898	0.00365	2.04	0.01	850	66	839	18	835	14	577	72
xk2-24	0.06796	0.00185	1.34833	0.03676	0.14389	0.00221	0.03823	0.00623	1.92	0.01	867	58	867	16	867	12	758	121
xk2-25	0.07003	0.00156	1.4921	0.0344	0.15455	0.00234	0.04356	0.00443	3.57	0.01	929	47	927	14	926	13	862	86
xk2-26	0.06743	0.00167	1.26338	0.03196	0.13591	0.00215	0.0349	0.00389	2.82	0.01	851	53	829	14	821	12	693	76
xk2-27	0.06934	0.0024	1.43494	0.04894	0.15013	0.00267	0.03679	0.00527	1.21	0.01	909	73	904	20	902	15	730	103
xk2-28	0.06807	0.00191	1.34221	0.03793	0.14305	0.00235	0.03619	0.00443	1.73	0.01	871	60	864	16	862	13	719	86
xk2-29	0.07092	0.00289	1.35451	0.05418	0.13859	0.00284	0.0249	0.00385	1.71	0.01	955	85	870	23	837	16	497	76
xk2-30	0.06654	0.00229	1.23721	0.04244	0.13487	0.00245	0.03505	0.00838	8.6	0.01	823	74	818	19	816	14	696	164
xk2-31	0.06736	0.00134	1.25157	0.02681	0.13478	0.00206	0.03095	0.00265	1.31	0.01	849	42	824	12	815	12	616	52
xk2-32	0.06789	0.00164	1.33689	0.0333	0.14283	0.00225	0.03605	0.00388	3.76	0.02	865	51	862	14	861	13	716	76
xk2-33	0.09891	0.00219	3.82009	0.08864	0.28017	0.00443	0.06546	0.00774	1.49	0.01	1604	42	1597	19	1592	22	1282	147
xk2-34	0.067	0.00373	1.25107	0.0672	0.13542	0.00313	0.0384	0.00832	2.81	0.02	838	119	824	30	819	18	762	162
xk2-35	0.06649	0.00499	1.26173	0.09125	0.13774	0.00412	0.03951	0.01355	1.41	0.01	822	162	829	41	832	23	783	263
xk2-36	0.06622	0.00136	1.23721	0.02706	0.13551	0.00205	0.03299	0.00394	4.49	0.01	813	44	818	12	819	12	656	77
xk2-37	0.12138	0.0039	6.00789	0.19077	0.35901	0.00643	0.09326	0.01702	2.55	0.02	1977	59	1977	28	1977	31	1802	315
xk2-38	0.16767	0.00339	10.9684	0.23682	0.47448	0.00736	0.10414	0.0124	1.75	0.01	2535	35	2520	20	2503	32	2002	227
xk2-39	0.06708	0.00223	1.27437	0.04236	0.13781	0.0025	0.04148	0.00702	1.84	0.01	840	71	834	19	832	14	821	136
xk2-40	0.06841	0.00171	1.35419	0.03421	0.14359	0.00217	0.04283	0.00534	2.86	0.01	881	53	869	15	865	12	848	104
xk2-41	0.06744	0.00242	1.26276	0.04512	0.13582	0.00257	0.03088	0.0036	3.57	0.01	851	76	829	20	821	15	615	71
xk2-42	0.06763	0.00391	1.33481	0.07408	0.14315	0.00343	0.04456	0.01314	2.65	0.01	857	123	861	32	862	19	881	254
xk2-43	0.06855	0.00261	1.39001	0.05156	0.14711	0.00268	0.04252	0.00889	1.3	0.01	885	81	885	22	885	15	842	172
xk2-44	0.06885	0.00155	1.44157	0.03379	0.15186	0.00232	0.03791	0.00407	2.67	0.01	894	48	906	14	911	13	752	79
xk2-45	0.06695	0.00197	1.26552	0.03821	0.13714	0.00244	0.02575	0.00339	7.06	0.01	836	63	830	17	828	14	514	67
xk2-47	0.06758	0.00324	1.2578	0.05835	0.135	0.00282	0.03437	0.00648	1.94	0.01	856	102	827	26	816	16	683	127
xk2-48	0.07206	0.00205	1.3684	0.03944	0.13774	0.00232	0.03861	0.00455	1.15	0.01	988	59	875	17	832	13	766	89
xk2-49	0.16876	0.0037	11.1229	0.25831	0.47806	0.00754	0.14094	0.01987	5.19	0.02	2545	38	2533	22	2519	33	2665	352
xk2-50	0.1672	0.00331	11.05	0.23248	0.47933	0.00743	0.13559	0.01609	2.6	0.02	2530	34	2527	20	2524	32	2570	286

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表 **4**

测点	同位素比值										年龄(Ma)							
	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ	$\frac{^{238}U}{^{232}Th}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$	1σ	$\frac{^{207}Pb}{^{238}U}$	1σ	$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$	1σ
样品 TW07XK-07(千枚状玻屑晶屑凝灰岩,安徽祁门县塔坊) LA-ICPMS U-Pb 协和年龄 827.5±4.1 Ma																		
xk7-01	0.06747	0.00082	1.27292	0.01372	0.13687	0.00122	0.04229	0.00118	2.3	0.01	852	26	834	6	827	7	837	23
xk7-02	0.06741	0.00089	1.273	0.01581	0.13699	0.00134	0.04176	0.00141	2.48	0.01	850	28	834	7	828	8	827	27
xk7-03	0.0677	0.00087	1.27737	0.01619	0.13682	0.00145	0.04039	0.00124	3.09	0.01	859	27	836	7	827	8	800	24
xk7-04	0.06731	0.00105	1.27098	0.0202	0.13689	0.00163	0.03673	0.00189	2.53	0.01	847	33	833	9	827	9	729	37
xk7-05	0.06655	0.00085	1.26029	0.0162	0.13733	0.00149	0.03991	0.00167	1.73	0.01	824	27	828	7	830	8	791	32
xk7-06	0.06806	0.00128	1.28253	0.02434	0.13661	0.00175	0.03828	0.00225	2.13	0.01	870	40	838	11	825	10	759	44
xk7-07	0.06717	0.00094	1.26808	0.01737	0.13692	0.00144	0.03995	0.00192	2.07	0.01	843	30	832	8	827	8	792	37
xk7-08	0.06671	0.00083	1.26285	0.01648	0.13727	0.00154	0.03736	0.0017	2.5	0.01	829	27	829	7	829	9	741	33
xk7-09	0.06834	0.00106	1.28904	0.02057	0.13678	0.00165	0.03611	0.00192	1.39	0.01	879	33	841	9	826	9	717	37
xk7-10	0.06636	0.00137	1.25273	0.02624	0.13692	0.0018	0.03898	0.00365	2.5	0.01	818	44	825	12	827	10	773	71
xk7-11	0.06689	0.00077	1.26808	0.0148	0.13751	0.00146	0.03885	0.00103	2.93	0.01	834	25	832	7	831	8	770	20
xk7-12	0.06674	0.00109	1.26324	0.02041	0.13732	0.00158	0.03993	0.00162	2.7	0.01	830	35	829	9	829	9	791	31
xk7-13	0.06841	0.00097	1.37422	0.02079	0.14572	0.00181	0.03911	0.00151	2.19	0.01	881	30	878	9	877	10	775	29
xk7-14	0.06674	0.00121	1.26436	0.02311	0.13744	0.00173	0.03795	0.00238	1.47	0.01	830	39	830	10	830	10	753	46
xk7-15	0.06841	0.00165	1.37627	0.03347	0.14595	0.0022	0.03561	0.0022	2.38	0.01	881	51	879	14	878	12	707	43
xk7-16	0.06909	0.00117	1.30883	0.02346	0.13742	0.00186	0.03417	0.00157	1.98	0.01	901	36	850	10	830	11	679	31
xk7-17	0.0675	0.00109	1.27262	0.022	0.13677	0.00181	0.03551	0.00204	3.6	0.01	853	34	834	10	826	10	705	40
xk7-18	0.06849	0.00165	1.2926	0.03138	0.13691	0.00204	0.03668	0.00264	2.58	0.01	883	51	842	14	827	12	728	51
xk7-19	0.07456	0.00358	1.39511	0.06503	0.1357	0.00159	0.04089	0.00048	2.05	0.01	1057	99	887	28	820	9	810	9
xk7-20	0.06894	0.00091	1.30256	0.01847	0.13704	0.00164	0.0402	0.00155	2.38	0.01	897	28	847	8	828	9	797	30
样品 TW204-58-5(变流纹岩,安徽祁门县石坑口) LA-ICPMS U-Pb 协和年龄 821.2±4.6 Ma																		
0458-1	0.06647	0.00139	1.25178	0.02646	0.13665	0.00191	0.01909	0.00093	1.49	0.01	821	45	824	12	826	11	382	18
0458-2	0.06646	0.00133	1.22902	0.02466	0.13413	0.00179	0.02581	0.00182	2.32	0.01	821	43	814	11	811	10	515	36
0458-3	0.06789	0.00132	1.265	0.02503	0.13522	0.00187	0.01777	0.001	2	0.01	865	41	830	11	818	11	356	20
0458-4	0.06607	0.00113	1.19257	0.02113	0.13092	0.00173	0.01558	0.00071	1.96	0.01	809	37	797	10	793	10	312	14
0458-5	0.06667	0.00145	1.25968	0.02699	0.13703	0.00181	0.03187	0.00276	1.78	0.01	827	46	828	12	828	10	634	54
0458-6	0.06733	0.00121	1.27581	0.02331	0.13744	0.00178	0.02403	0.00138	2.29	0.01	848	38	835	10	830	10	480	27
0458-7	0.06542	0.00125	1.24032	0.0242	0.13751	0.00186	0.01903	0.00129	1.47	0.01	788	41	819	11	831	11	381	26
0458-8	0.08095	0.00541	1.60082	0.10086	0.14347	0.00406	0.04203	0.00953	1.77	0.01	1220	135	971	39	864	23	832	185
0458-10	0.00139	1.24447	0.02613	0.13638	0.00183	0.02735	0.00257	0.00139	4.84	0.01	812	45	821	12	824	10	545	51
0458-12	0.06731	0.00105	1.26508	0.01993	0.13632	0.00161	0.03749	0.00171	1.5	0.01	847	33	830	9	824	9	744	33
0458-13	0.06852	0.00129	1.41575	0.02669	0.14988	0.0019	0.03467	0.00211	1.57	0.01	884	40	896	11	900	11	689	41
0458-14	0.06736	0.00196	1.27203	0.03612	0.13697	0.00211	0.02732	0.00149	1.68	0.01	849	62	833	16	828	12	545	29
0458-15	0.06623	0.00135	1.25756	0.02558	0.13773	0.00181	0.03371	0.00256	1.67	0.01	814	44	827	12	832	10	670	50
0458-16	0.06919	0.0013	1.42051	0.02753	0.14895	0.00206	0.01838	0.00091	1.76	0.01	904	40	898	12	895	12	368	18
0458-17	0.06806	0.00104	1.27191	0.01993	0.13555	0.00163	0.03554	0.00206	1.66	0.01	870	32	833	9	819	9	706	40
0458-18	0.06828	0.00233	1.26954	0.04244	0.13506	0.00241	0.01165	0.00104	2.81	0.01	877	72	832	19	817	14	234	21
0458-19	0.06733	0.00252	1.28162	0.0468	0.13821	0.00256	0.01681	0.0018	2.57	0.01	848	80	838	21	835	14	337	36
0458-20	0.06702	0.00194	1.26748	0.03634	0.13723	0.00221	0.01996	0.00181	2.6	0.01	838	62	831	16	829	13	399	36
0458-21	0.0647	0.00107	1.23292	0.02149	0.13826	0.00184	0.01703	0.00069	1.59	0.01	765	36	816	10	835	10	341	14
0458-22	0.08291	0.00212	2.44199	0.06129	0.21364	0.0032	0.03592	0.00311	2.65	0.01	1267	51	1255	18	1248	17	713	61
0458-23	0.06718	0.00143	1.25225	0.02679	0.13523	0.00188	0.02193	0.00135	1.79	0.01	843	45	824	12	818	11	438	27
0458-24	0.06842	0.0012	1.26064	0.02294	0.13365	0.00179	0.01522	0.00066	1.68	0.01	881	37	828	10	809	10	305	13
0458-25	0.06708	0.00119	1.25685	0.02284	0.13592	0.00176	0.02517	0.00159	2.11	0.01	840	38	826	10	822	10	502	31
0458-26	0.06778	0.00362	1.24804	0.06379	0.13359	0.00299	0.03332	0.00808	1.88	0.01	862	114	823	29	808	17	662	158
0458-27	0.06898	0.00227	1.26578	0.04025	0.13311	0.00217	0.03146	0.0042	1.85	0.01	898	70	831	18	806	12	626	82

7. 浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩夹浅绿灰色千枚状变凝灰质砂岩,砂岩中可见粒序层理。 129 m
6. 浅黄绿灰色石英绢云千枚岩,有氧化铁质斑点和铁锰混染现象。 79 m
5. 浅绿灰色千枚状变凝灰质砂岩。 54 m
4. 浅绿灰色石英绢云千枚岩,可见变余水平层理构造。 82 m
3. 浅绿灰色石英绿泥千枚岩。 66 m

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

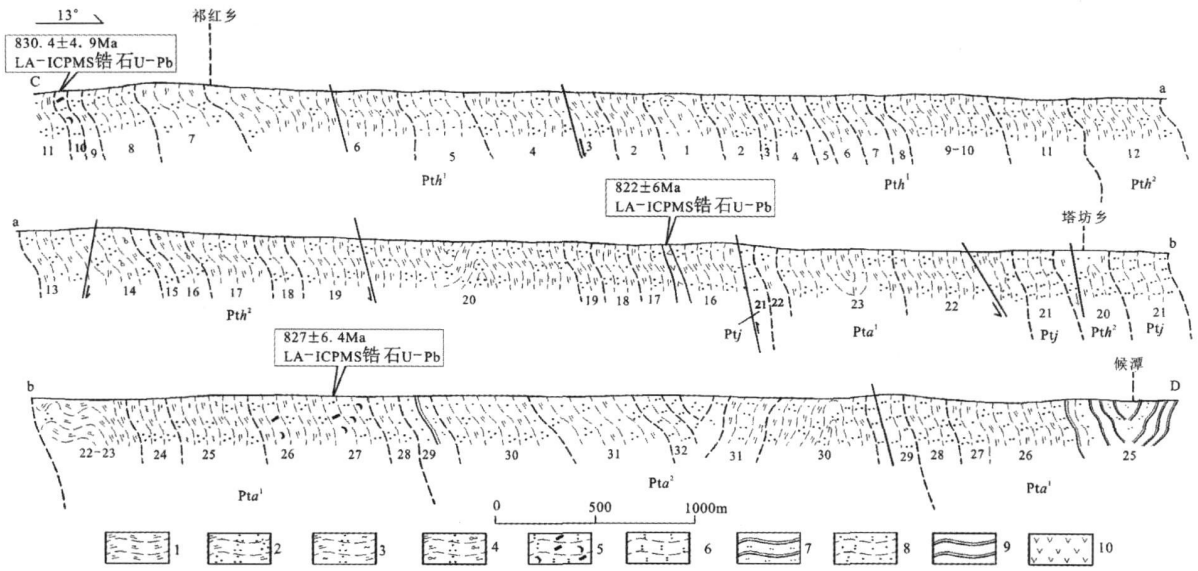


图 7　安徽省祁门县祁红乡- 侯潭双桥山群实测地质剖面

Fig. 7　Measured geological section of Shuangqiaoshan Group in Qihong- Houtan Town Qimen County Anhui Provence

1—绢云千枚岩; 2—绢云石英千枚岩; 3—含绿泥绢云石英千枚岩; 4—条纹条带状绢云石英千枚岩; 5—千枚状晶玻屑凝灰岩; 6—千枚状变凝灰岩; 7—粉砂质板岩; 8—千枚状变凝灰质砂岩; 9—板岩; 10—安山岩; $Pt h^1$—横涌组下段; $Pt h^2$—横涌组上段; $Pt j$—计林组; $Pt a^1$—安乐林组下段; $Pt a^2$—安乐林组上段

1—Sericite phyllite; 2—sericite quartz phyllite; 3—with chlorite sericite quartz phyllite; 4—striped banded sericite quartz phyllite; 5—phyllitic chip crystal vitric tuff; 6—phyllitic metamorphic tuff; 7—silty slate; 8—phyllitic metamorphic tuffaceous sandstone; 9—slate; 10—andesite; $Pt h^1$—the lower member of Heyong Formation; $Pt h^2$—the upper member of Heyong Formation; $Pt j$—the upper member of Jilin Formation; $Pt a^1$—the lower member of Anlelin Formation; $Pt a^2$—the upper member of Anlelin Formation

2. 浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩局部夹浅黄绿灰色绿泥绢云石英千枚岩。　153 m

1. 深灰色石英绢云千枚岩, 岩石中可见氧化铁质斑点(复式背形核部未见底)。　66 m

上述剖面基本反映了双桥山群岩石组合特征, 横涌组下段为浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩、浅绿灰色千枚状变凝灰质砂岩、千枚状变凝灰岩、灰色千枚状变细砂岩夹灰色板岩、粉砂质板岩、浅黄绿灰色石英绢云千枚岩, 以砂质成分较高为显著特点, 砂屑多呈次棱角状, 分选差, 可见变余水平层理、交错层理、粒序层理构造; 上段为灰黑色粉砂质板岩、板岩、灰色绢云(石英)千枚岩夹浅灰绿色千枚状变细粒凝灰质砂岩、粉砂质绢云石英千枚岩, 另可见含菱铁矿变砂岩及变余钙质砂岩透镜体, 局部夹安山岩层, 上段原岩总体以泥质成分较高为特征, 岩石具变余砂泥薄互水平层理、水平纹层及小型交错层理构造。

计林组为紫灰色、灰绿色粉砂质板岩、板岩、绢云千枚岩夹灰白色(风化色)千枚状变沉凝灰岩。

安乐林组下段为灰绿色千枚状变(含砾)细粒凝灰质砂岩、千枚状变沉凝灰岩为主, 夹风化色为浅黄绿色细砂质绢云石英千枚岩, 灰色、深灰色粉砂质板岩、板岩, 少量的钙质砂岩透镜体, 韵律性沉积特征清楚, 平行层理, 水平层理, 交错层理, 粒序层理等沉积构造多见; 上段灰绿色、黄绿色、黄色绢云千枚岩、绢云石英千枚岩、粉砂质绢云石英千枚岩、灰色粉砂质板岩、板岩夹少量灰白色(风化色)千枚状变沉凝灰岩及钙质砂岩透镜体。

双桥山群地球化学特征: 24 个样品分析结果显示(表 1), 变砂岩类 SiO_2 含量 64.18%～75.45%; Al_2O_3 含量为 10.59%～16.59%, CaO 含量为 0.39%～3.52%, 变化较大, 主要集中在 0.6%～0.7%之间, $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 比值均大于 2, K_2O/Na_2O 比值大多数大于 1, 部分小于 1。MgO 含量在 1.11%～3.93%之间。千枚岩、板岩类 SiO_2 含量 58.51%～74.51%; Al_2O_3 含量为 11.35%～17.62%之间, $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 比值大于 2; K_2O/Na_2O 比值大部分大于 1, 只有两个值小于 1; CaO 含量较低, 为 0.06%～1.56%之间, 大部分都小于 0.3%, MgO 含量大部分 1%～

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2%, 含量变化较窄。上述化学成分及其相关比值显示, 原岩总体具有低的成分成熟度。双桥山群浅变质碎屑岩稀土总量较高(表 3), ΣREE= (171.49~356.07) × 10^{-6}, 平均 205.3× 10^{-6}。稀土元素含量经后太古宙澳大利亚页岩(PAAS) 标准化, 其曲线模式(图 8) 与溪口岩群基本一致, 相比, 正 Eu 异常和 Pr、Tb 负异常更明显。微量元素(表 2) MORB 标准化配分曲线(图 9) 呈"大隆起" 形式, 其特征与溪口岩群微量元素特征相似, 相比, 具有较强的 P 负异常和较弱的 Ti 负异常。

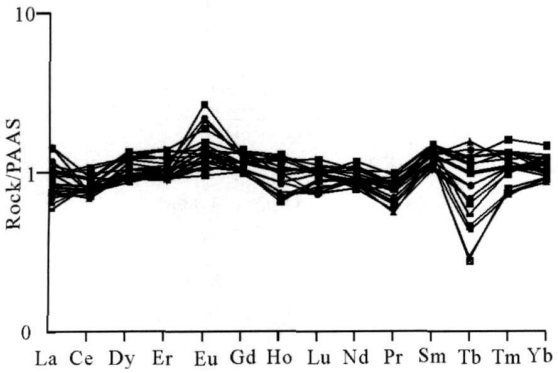


图 8 双桥山群浅变质碎屑岩稀土元素标准化模式图

Fig. 8 Normalized REE patterns of epimetamorphic fine clastic rocks in Shuangqiaoshan Group

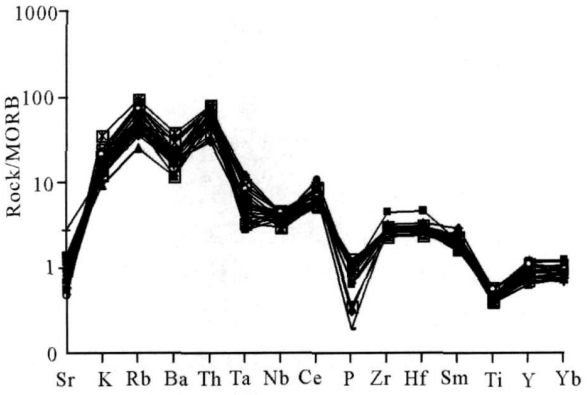


图 9 双桥山群浅变质碎屑岩微量元素标准化模式图

Fig. 9 Normalized trace elements patterns of epimetamorphic fine clastic rocks in Shuangqiaoshan Group

Nd 和 Sr 同位素组成: 12 组样品测试结果表明❶, 区内双桥山群浅变质碎屑岩的$^{147}Sm/^{144}Nd$范围变化较小, 集中在 0.10~0.14 之间, 只有个别大于 0.14, 平均值为 0.119; $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围在 -0.6~-4.71 之间。t_{DM} 年龄在 1.5~1.8 Ga 之间, 平均值为 1.7Ga, 与溪口岩群 t_{DM} 值一致, 与扬子古陆南缘其它新元古代变质沉积岩的 t_{DM} 年龄 1.60Ga~1.89Ga(李献华等, 1996) 相似, 表明它们来源于共同的或具有相同地壳存留年龄的物源区, 这从一个侧面反映了分布于鄂公山地区的这套浅变质火山-沉积岩系形成年龄不应大于 1.6 Ga。浅变质碎屑岩 t_{DM} 年龄与星子岩群原岩年龄 1.8~2 Ga 比较接近, 认为可能来源于古元古代星子岩群或与其相当地层。双桥山群$^{87}Rb/^{86}Sr$初始值有较大变化范围, 其中 7 个样在 0.6191~3.008 之间, 4 个样在 3.968~6.695 之间, 另有一个高达 9.208, 12 个样平均值为 3.24, 较溪口岩群$^{87}Rb/^{86}Sr$值(2.91) 高。$^{87}Sr/^{86}Sr$比值在 0.71902~0.8030 之间, 平均值为 0.6880, 比溪口岩群$^{87}Sr/^{86}Sr$比值(0.72111~0.75268, 平均值为 0.7379) 低, 上述特征是否可以说明双桥山群沉积蚀源区陆壳成熟度较高呢?

在 Bhatia(1981) 建立的碎屑岩微量元素判别图解(图 5) 中, 双桥山群样品投影点主体落在大陆岛弧区域, 少部分落在活动大陆边缘及其附近区域, 与溪口岩群存在明显差异, 我们有理由认为, 双桥山群火山-陆缘碎屑岩是与岛弧有关盆地中的沉积物, 大量钙碱性火山岩夹层的存在也证明了此判断。

本次我们在双桥山群千枚状玻屑晶屑凝灰岩夹层中分别获得 827.5±4.1 Ma(表 4, 图 6e; 位置: N29°47′56″, E117°39′51″)、830.4±4.90 Ma(图 6f; 位置: N29°41′5″, E117°38′55″) LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄; 在变流纹岩中获得 821.2±4.6 Ma(表 4, 图 6g; 位置: N29°49′32″, E117°48′37″) 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄, 在其中一安山岩夹层中获得 822±6 Ma(图 6h; 位置: N29°45′38″, E117°40′30″) 的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄。另在经公桥高滩村一带横涌组和安乐林组灰白色变沉凝灰岩中分别获得 831±5 Ma、829±5 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(高林志等, 2008) (笔者参与采样)。据此, 认为双桥山群原岩形成最可能时限在 821~832 Ma 之间。

2.2 岩浆岩概况

区内新元古代岩浆岩主要与板块构造体制有关的基性火山-侵入岩组合及酸性火山岩类。按产出构造环境的不同将区内岩浆岩划分为初始洋壳型基性岩块和岛弧钙碱性火山岩, 分别叙述如下。

2.2.1 初始洋壳型基性岩块

本次野外调查, 我们在区内鄢源至江潭一带发现大量呈构造碎块或碎片产出于木坑岩组火山-陆缘碎屑复理石基质中的基性岩块, 基性岩残块包括蚀变枕状-块状基性熔岩、角砾熔岩、辉长-辉绿岩

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等基性岩等, 它们在空间上紧密相伴, 以前者分布最具规模, 岩块大小悬殊, 多呈透镜状、团块状、带状、楔状及不规则状产出, 岩块间多被规模不等的断层及逆冲剪切片理分割, 总体显示构造混杂岩带特征, 该构造带北东向延伸被休宁中生代陆相红盆掩盖后可与伏川蛇绿岩带相接, 南西向经赣东北瑶里镇可与景德镇-宜丰深断裂带相连, 是一条多期活动的中深层为主、中浅层构造掺杂的区域性超壳构造变形带, 构造变形主要显示自北而南多层次多期叠瓦状复合逆冲运动学特征。鄣源一带基性岩带出露最宽, 约 500 余米, 带内基性岩被自北而南的高角度逆冲断层所切割(图 10) , 另有出露宽度不大的强韧性变形的钙硅泥沉积体呈构造透镜体混杂于基性岩中。基性岩南北两侧以脆性断裂构造与浅变质复理石建造体相接触。

岩石地球化学特征: 从表 5 看出, 鄣源基性岩中蚀变辉长岩具高铝、钙、镁及铁中等碱偏的特点, TiO_2及 P_2O_5偏低。玄武岩化学成分显示高钠、铁及低钾、低钙、低钛的特点, TiO_2含量介于 0. 64% ~ 1. 05% 之间, 平均为 0. 83% , 与活动大陆边缘及岛弧区火山岩的 TiO_2含量(0. 83%, 0. 58% ~ 0. 85%) 相当, 与伏川蛇绿岩基性火山岩成分较相近, 与赣东北蛇绿岩变基性火山熔岩[2] 相比, 鄣源基性火山熔岩 TiO_2、P_2O_5明显偏低, CaO、MgO 略高, 显示伏川、鄣源基性岩与赣东北蛇绿岩形成构造环境的差异。在 SiO_2-Nb/ Y 及 SiO_2-Zr/ TiO_2图解中, 鄣源及伏川玄武岩属于亚碱性拉斑玄武岩类。鄣源辉绿岩化学成分与相伴产出的其它基性岩基本相似, 相比较, 具 TiO_2、TFe、P_2O_5略高, CaO、MgO 略低的特点。上述在空间上紧密伴生的辉长岩、玄武岩、辉绿岩在 FMA 图(图 11) 中, 显示拉斑趋势, 从辉长岩 —玄武岩 —辉绿岩, TiO_2、P_2O_5、TFe 渐增, MgO 递减, FeO* /(FeO* + MgO) 值呈增高趋势, 在化学成分上显示连续演化特点, 反应它们是同一成因系列的岩石。鄣源基性岩各单元微量元素(表 6) 在洋中脊玄武岩(MORB) 标准化比值蛛网图(图 12) 中显示出不同程度的 Sr、Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素(LIL) 的富集以及相对平坦或略右倾的 HFS

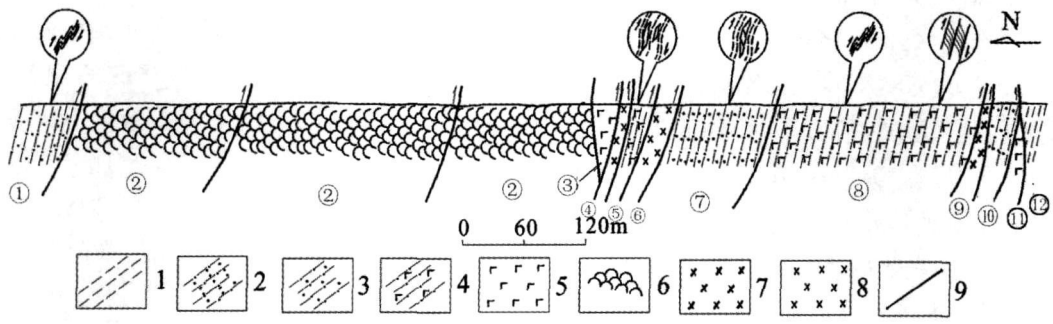


图 10　鄣源基性混杂岩带剖面图

Fig. 10　Section map of the Zhangyuan mafic tectonic melange belt

剖面图分层说明: ①—糜棱岩化变砂岩, 条纹条带构造, 剪切流褶构造发育, 少部分石英砂屑呈透镜体状定向拉长, 并具剪切旋转拖尾现象; ②—蚀变枕状玄武岩, 局部具弱的片理化现象; ③—蚀变块状玄武岩; ④—蚀变辉长岩; ⑤—玄武质糜棱岩, 旋转碎斑及流状构造发育, 可见 S-C 组构, 其中 C 面理由片状矿物集合体定向排列显示, S 面理由基性岩剪切透镜体或碎斑长轴优选方位的斜列显示; ⑥—蚀变辉长岩; ⑦—糜棱岩化凝灰质砂岩, 具条纹条带构造, 可见石英碎屑拉长并剪切错移形成的书斜式构造, 亦可见同变质分泌石英脉剪切流褶构造; ⑧—玄武质糜棱岩, 发育条纹条带构造, 可见剪切碎斑及流褶构造及 S-C 组构; ⑨—蚀变辉绿岩; ⑩—糜棱岩化凝灰质砂岩, 发育条纹条带及碎斑构造; ⑪—糜棱岩化玄武岩; ⑫—千糜岩及糜棱岩化凝灰质砂岩, 糜棱面理发育; 1—糜棱岩; 2—糜棱岩化变凝灰质砂岩; 3—糜棱岩化变砂岩; 4—糜棱岩化玄武岩; 5—块状玄武岩; 6—枕状玄武岩; 7—辉绿岩; 8—辉长岩; 9—断层

illustration of layered profile: ①—Mylonitized metasandstones, streaky structure, developed the shearing rheid fold structure, a small part of quartz sand in the shape of lens was directionally elongated and has rotation shearing tailing phenomena; ②—altered pillow basalt, weak schisteous phenomenon in some section; ③—altered massive pillow basalt; ④—altered gabbro; ⑤—basaltic mylonite, developed rotational mortar and flow-like structures, S-C fabric, which the directional arrangement of C foliation consists of the flaky mineral aggregate, and S foliation in err-echelon consists of the basic rock shear lens and mortar; ⑥—altered gabbro; ⑦—mylonitized tuffaceous sands, developed streaky structure, quartz grains were elongated and the shearing mis- shifted formed domino structures, also can see the syntectonic quartz veins shearing rheid fold structure; ⑧—basaltic mylonite, developed streaky structure, have shearing mortar texture, rheid fold structures and S-C fabric; ⑨—altered diabase; ⑩—mylonitized tuffaceous sands, developed streaky structure and mortar texture; ⑪—mylonitized basalt; ⑫—phyllite and mylonitized tuffaceous sands, developed mylonite foliation; 1—mylonite; 2—mylonitized metamorphism tuffaceous sands; 3—mylonitized metasandstones; 4—mylonitized basalt; 5—massive basalt; 6—pillow basalt; 7—diabase; 8—gabbro; 9—faults

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

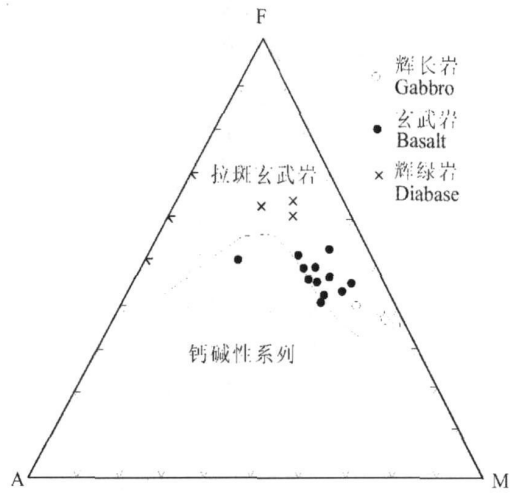


图 11 基性岩 FMA 图解

Fig. 11 FMA diagram of the mafic rocks

和 REE(从 Nb 到 Yb)分布特征。在 Pearce 提出的典型岛弧和弧后盆地玄武岩不相容元素的 MORB 归一化分布图中,鄯源拉斑玄武岩微量元素分布范围与弧后盆地拉斑玄武岩相近。从表 7 看出,鄯源基性岩辉长岩稀土总量介于(32.34~40.00)×10^{-6},平均为 36.04×10^{-6};基性火山岩稀土总量介于(51.64~109.02)×10^{-6},平均 69.68×10^{-6},$(La/Lu)_N$ 为 1.71~3.03,平均 2.31,略低于伏川基性火山岩[ΣREE=85.80×10^{-6},$(La/Lu)_N$ 为 3.68],轻重稀土分馏不明显,稀土元素配分型式(图 13)总体为轻稀土元素略富集的右倾式,其重稀土元素曲线较平坦,Eu 无明显负异常。

其配分曲线与伏川蛇绿岩基性火山岩稀土元素球粒陨石标准化模式图相一致。鄯源基性岩与伏川蛇绿岩具相似的岩石地化特征,总体上从辉长岩-基性熔岩-辉绿岩稀土总量呈渐次增加趋势,稀土配分型式总体一致,显示各岩石间的亲源性。

Nd 同位素特征:我们在鄯源基性火山岩中获取了 4 组 Sm-Nd 同位素数据❶,$^{147}Sm/^{144}Nd$ 为 0.1418~0.1569,t_{DM} 年龄基本一致,约 2.1 Ga。与伏川蛇绿岩具基本一致或相似的 Sm-Nd 同位素特征。每个样品均用我们在伏川蛇绿岩伟晶辉长岩中获得的 844 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 值计算 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值,其中鄯源基性岩变化范围+3.9~-1,伏川蛇绿岩变化范围+4.3~-0.2,二者具相近的变化范围,且 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值较低且不均一,显示它们可能来自亏损的地幔源区。相比较,赣东北蛇绿岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值较高[8](+5~+7),且相对均一,显示二者成岩环境的迥异。

构造环境分析:尽管目前在鄯源基性岩带中未发现超镁铁质岩,但据其与伏川蛇绿岩基性岩类相似的地球化学特征及相近的产出地质特征、空间位态等,仍有理由推断鄯源基性岩类可能属伏川蛇绿岩西延组成部分。在 La/Nb-La 图(图 14)中样品点落在洋脊与岛弧玄武岩过渡区;在 Nb×2-Zr/4-Y 图(图 15)及 Cr-Y 图中本区玄武岩显示火山弧玄武岩特征。在 Th/Yb-Ta/Yb 图中,除一个样品外,其余样品点落在洋脊玄武岩与岛弧及板内玄武岩相互过渡区。在 Y/15-La/10-Nb/8 图中显示大陆玄武岩及火山弧玄武岩特点。鄯源及伏川这种具过渡地球化学特征的基性火山岩常常出现于与板块俯冲有关的狭窄的扩张的弧后盆地环境(赵建新等,1995),Ti/Y-Zr 图显示洋盆处于初始扩张阶段。鄯源基性岩带及伏川蛇绿岩基性岩墙群不发育,且含有较多深海-半深海沉积,这些特征与初始洋盆型蛇绿岩(王希斌等,1994)特征一致,也与"仅出现镁铁质的喷出岩和侵入岩,缺少席状岩墙群和堆晶超镁铁岩或堆晶岩不发育的洋壳厚度较小的蛇绿岩"(张旗等,1998)组合相似。综合以上分析,我们认为鄯源

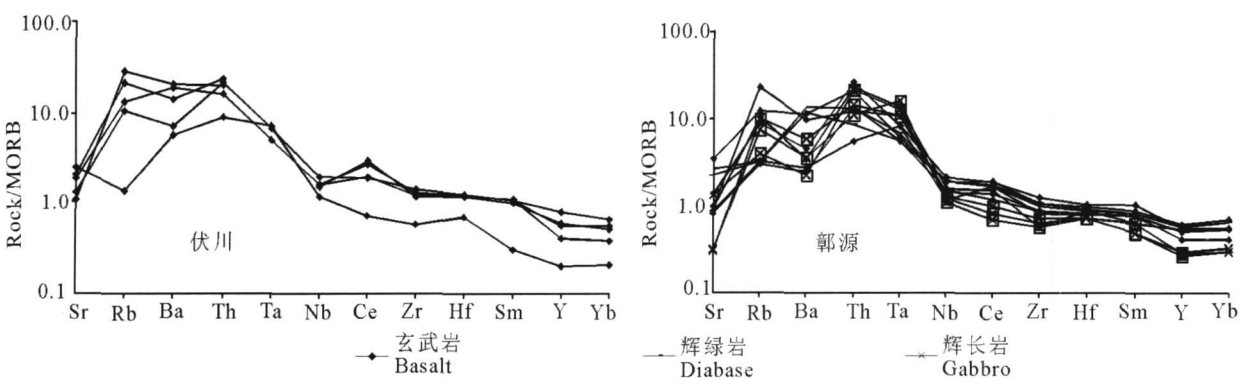


图 12 基性岩微量元素 MORB 标准化比值蛛网图

Fig. 12 MORB-normalized trace element spider diagram of the mafic rocks

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 5　鄣源和伏川基性岩主量元素分析表(%)

Table 5　Major elements compositions (%) of the Zhangyuan and Fuchuan mafic rocks

编号	ZY-1-1	ZY-1-2	ZY-1-3	ZY-1-4	ZY-1-5	ZY-1-6	ZY-1-7	ZY-1-8	ZY-1-9	ZY-1-10	ZY-2◆	ZY-1◆	ZY-4◆	ZY-5◆	FC-2	FC-3	FC-4	F-20◆
岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	细碧岩	细碧岩	细碧岩	细碧岩	辉长岩	玄武岩	玄武岩	细碧岩
采集地点	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	伏川	伏川	伏川	伏川
SiO_2	50.34	46.88	45.93	48.06	49.22	47.49	48.21	48.51	44.74	51.29	50.33	50.9	49.88	55.79	49.18	55.6	49.9	48.25
Al_2O_3	14.13	13.3	16.63	13.54	12.65	13.48	13.35	12.73	10.2	11.05	14.61	13.5	15.54	16.26	14.07	16.06	16.3	14.92
Fe_2O_3	1.81	2.46	3	2.69	2.56	5.31	3.77	2.3	1.16	1.17	3.02	3.8	1.64	7.04	1.26	1.58	2.4	1.18
FeO	7.59	7.95	8.25	6.75	9.49	8.69	9.1	7.2	9.71	8.36	6.9	8.15	8.29	3.76	6.74	3.75	5.71	9.35
TiO_2	0.79	0.7	0.9	1.05	1.06	0.9	1.08	0.6	0.55	0.56	0.64	0.71	0.91	1.24	0.4	0.55	0.88	0.92
CaO	7.54	10.13	9.39	9.78	7.47	7.81	7.34	10.43	7.82	6.53	9.14	8.02	8.84	2.96	12.27	7.47	9.72	11.64
MgO	8.12	11.15	8.22	9.11	6.88	7.54	8.27	11.63	17.84	12.93	8.33	8.91	7.55	3.33	9.97	5.72	6.84	6.16
K_2O	0.2	1.19	0.55	0.15	0.72	0.16	0.14	0.24	0.49	0.7	0.25	0.17	0.42	0.08	0.13	1.27	0.83	0.57
Na_2O	3.23	0.41	2.3	1.74	3.38	2.72	2.7	1.91	0.2	1.31	2.1	1.45	2.92	5.56	2.38	3.52	2.87	3.09
P_2O_5	0.076	0.07	0.093	0.081	0.12	0.095	0.097	0.056	0.048	0.056	0.07	0.07	0.08	0.15	0.011	0.095	0.11	0.07
MnO	0.15	0.18	0.16	0.12	0.19	0.12	0.13	0.17	0.18	0.17	0.2	0.18	0.17	0.13	0.15	0.11	0.14	0.18
L.O.I	5.61	5.15	4.22	6.57	5.85	5.17	5.32	3.81	6.55	5.39	3.86	3.86	3.3	2.98	3	3.92	3.94	3.23
总和	99.59	99.57	99.64	99.64	99.59	99.63	99.58	99.59	99.49	99.52	99.45	99.72	99.54	99.28	99.56	99.65	99.64	99.56

注: 带◆号数据引注释文献❸; 其余数据引自注释文献❶。

表 6　鄣源和伏川基性岩微量元素分析表(× 10^{-6})

Table 6　Trace element compositions (× 10^{-6}) of the Zhangyuan and Fuchuan mafic rocks

编号	ZY-1-1	ZY-1-2	ZY-1-3	ZY-1-4	ZY-1-5	ZY-1-6	ZY-1-7	ZY-1-8	ZY-1-9	ZY-1-10	ZY-2◆	FC-2	FC-3	FC-4	AW-301★
岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	细碧岩	辉长岩	玄武岩	玄武岩	细碧岩
采集地点	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	鄣源	伏川	伏川	伏川	伏川
Sr	97.3	121	166	106	417	272	317	159	37.7	37.3	117.0	306.0	227	161	133.0
Rb	6.1	44.8	17.3	6.6	24.2	6.5	6.5	7.9	14.8	20	21.0	2.8	26.4	20.7	57.6
Ba	50.3	191	92.1	55.4	225	270	235	45.7	72.1	118	70.7	114.0	372	145	408.0
Th	2.7	2.4	5.2	1.1	4.1	2.6	1.7	4.2	2.2	2.9	4.6	1.8	3.2	4.2	4.02
Ta	1	1.9	1.5	1.5	1.1	1.2	1	2.3	2.9	1.9	2.4	1.3	0.9	1.2	–
Nb	5.3	5.1	7.4	4.1	6.5	6.8	6.8	4.3	3.8	4.6	5.5	4.1	5.7	7	5.68
Ce	11.60	13.90	18.80	16.80	16.40	19.70	17.70	8.10	6.90	10.00	15.30	7.36	19.9	18.9	27.67
Zr	78.7	78.2	113	74.7	95	91	96	57.6	52	65.4	50.7	52.2	111	128	116.0
Hf	2	1.9	2.5	1.9	2.3	2.1	2.2	1.7	1.7	1.7	2.1	1.7	2.8	3	3.01
Y	12.3	12.5	16.8	14.9	18.3	16.9	17.6	8.9	8	8.5	16.2	6.00	12.4	16.9	24.0
Yb	1.40	1.40	1.90	1.80	2.40	2.20	2.20	1.10	1.00	1.00	1.80	0.7	1.3	1.9	2.29
Pb	5.3	7.1	7.6	6.6	5.8	3.1	2.5	3.1	2.7	5.1	5.1	3.1	9.5	7.3	3.1
Ga	14.5	15.9	18.9	16.6	23.3	22.9	23	15.1	13.5	11.6	–	15.5	15.4	19.3	22.9
Ni	83.1	140	27.8	198	12.1	36.2	32.2	258	420	213	86.9	157	86.9	78.7	36.2
Co	47.9	50.3	48.4	55.6	26.2	37.5	37.7	55.1	73.8	53.3	38.8	50.2	36.9	42.1	37.5
V	261	224	263	215	176	251	254	210	202	191	243	243	125	192	251
Sc	34.8	27.9	42.5	27.8	41.7	49.4	42.2	35.4	32.3	29.4	40.9	43.9	21	28.6	49.4
Cr	317	531	270	554	14	98.8	81.1	853	1200	909	450	373	192	215	98.8

注: 带◆号数据引注释文献❸; 带★号数据据赵建新等(1995); 其余数据引自注释文献❶。

基性岩是在一个具低速扩张的陆缘小洋盆扩张脊环境中形成, 具初始洋壳基性岩组合特征。

2.2.2　岛弧钙碱性火山岩

产出地质特征: 区内双桥山群地层中分布较多呈夹层产出的正常火山碎屑岩及少量的中基性—中酸性火山熔岩。其中火山碎屑岩主要为酸性凝灰岩类, 岩石类型为玻屑晶屑凝灰岩, 其中以安乐林组及计林组地层出露较多, 北东东向延展相对稳定, 多呈宽度不一的夹层产出, 与正常沉积碎屑岩具一致的变质变形特征。中基性火山熔岩呈较薄的夹层极少量分布于双桥山群横涌组地层中, 受区域强烈变质变形作用的改造, 地表延伸差, 多呈透镜体或似脉状沿浅变质碎屑岩千枚理产出。较典型的为分布于祁门县塔坊以南的和村蚀变角闪安山岩, 呈夹层产出于千枚状碎屑岩层中, 沿区域面理北东东向展布, 厚约 0.8m, 其卷入早期轴面近直立紧闭同斜褶皱变

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 7 鄞源和伏川基性岩稀土元素分析表(× 10^{-6})

Table 7 Rare earth element compositions (× 10^{-6}) of the Zhangyuan and Fuchuan mafic rocks

编号	ZY-1	ZY-2	ZY-3	ZY-4	ZY-5	ZY-6	ZY-7	ZY-8	ZY-9	ZY-10	ZY-2◆	ZY-4◆	ZY-5◆	FG-2	FG-3	FG-4	AW-301★	AW-376★
岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	细碧岩	细碧岩	细碧岩	辉长岩	玄武岩	玄武岩	细碧岩	细碧岩
采集地点	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	鄞源	伏川	伏川	伏川	伏川	伏川
La	4.80	6.00	8.80	7.10	23.70	17.10	16.90	3.10	2.80	4.30	7.10	6.94	12.44	3.35	9.10	8.30	12.25	12.80
Ce	11.60	13.90	18.80	16.80	59.40	42.70	43.70	8.10	6.90	10.00	15.30	16.26	27.53	7.36	19.90	18.90	27.67	29.64
Pr	1.95	1.78	3.30	1.67	8.90	8.70	8.40	1.10	1.20	1.18	1.90	1.64	3.58	1.15	3.50	2.90	3.52	3.61
Nd	7.30	7.80	11.20	5.70	36.80	27.90	27.70	5.10	4.40	6.00	8.50	9.83	16.76	3.10	11.50	11.20	14.49	14.26
Sm	2.50	2.50	3.40	2.50	10.20	7.70	7.70	1.60	1.60	2.10	2.10	2.68	4.38	1.00	3.70	3.60	3.60	3.36
Eu	0.60	0.70	0.80	0.70	3.00	2.30	2.20	0.50	0.40	0.40	0.65	0.88	1.44	0.40	0.70	0.80	0.72	0.73
Gd	2.84	2.80	4.20	3.50	13.30	10.90	10.40	2.20	2.20	2.30	2.50	3.41	5.02	1.30	3.80	4.20	3.72	3.31
Tb	0.55	0.68	0.53	0.52	1.80	1.60	1.60	0.29	0.28	0.30	0.45	0.59	0.72	0.26	0.45	0.43	0.67	0.57
Dy	2.40	2.30	3.10	2.80	9.60	7.40	7.30	1.80	1.60	1.70	3.00	3.56	5.13	1.40	2.40	3.10	4.03	3.27
Ho	0.90	0.78	0.86	0.82	2.30	2.20	2.10	0.40	0.39	0.42	0.66	0.84	1.24	0.41	0.85	0.76	0.85	0.66
Er	1.90	1.70	2.20	2.10	6.00	4.70	4.60	1.20	1.20	1.40	1.90	2.20	2.94	1.10	2.00	2.30	2.45	1.89
Tm	0.30	0.28	0.31	0.29	0.86	0.82	0.79	0.18	0.17	0.20	0.26	0.34	0.50	0.19	0.32	0.29	–	–
Yb	1.40	1.40	1.90	1.80	5.40	4.20	4.20	1.10	1.00	1.00	1.80	2.03	2.92	0.70	1.30	1.90	2.29	1.77
Lu	0.30	0.30	0.40	0.40	1.00	0.80	0.80	0.20	0.20	0.20	0.29	0.31	0.44	0.15	0.30	0.40	0.35	0.25
Y	12.3	12.5	16.8	14.9	54.3	39.9	40.6	8.9	8	8.5	16.2	19.93	23.98	6.00	12.4	16.9	24.0	18.3
ΣREE	51.64	55.42	76.60	61.60	236.56	178.92	178.99	35.77	32.34	40.00	62.61	71.44	109.02	27.87	72.22	75.98	100.61	94.42

注: 带◆号数据引注释文献❸; 带★号数据据赵建新等(1995); 其余数据引自注释文献❶。

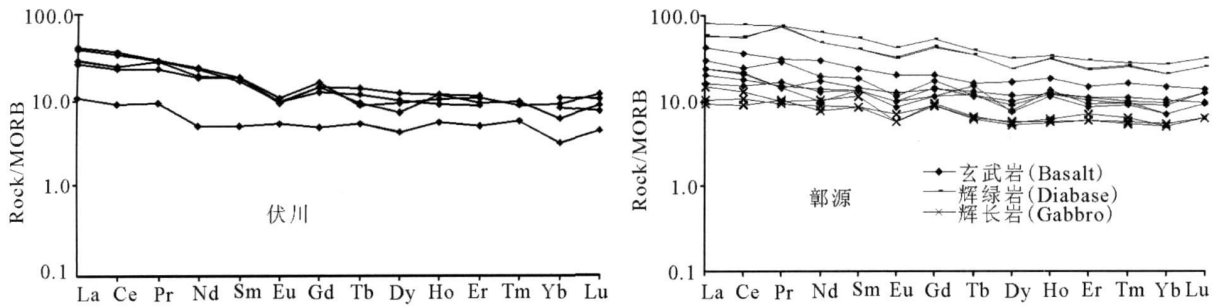


图 13 基性岩稀土元素球粒陨石标准化图

Fig. 13 Chondrite-normalized REE patterns of the mafic rocks

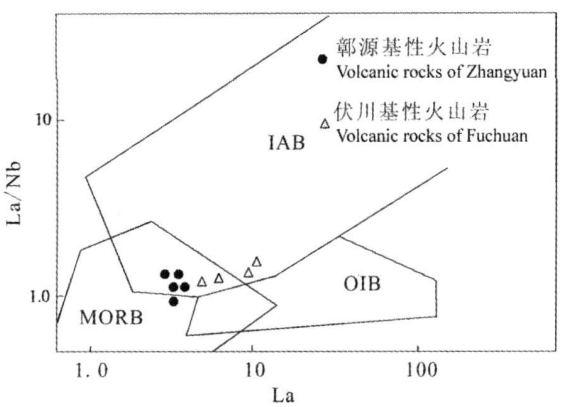


图 14 玄武岩 La/Nb-La 图

Fig. 14 La/Nb-La diagram of the basalts

MORB—洋脊玄武岩; IAB—岛弧玄武岩; OIB—洋岛拉斑玄武岩

MORB—Middle ocean ridge basalt; IAB—island arc basalt; OIB—oceanic island basalt Laban

形, 在和村公路边不足 10 m 宽的范围出现 4 层安山岩的假象(图 16) 。中酸性熔岩仅在祁门县石坑口见及, 岩石类型为流纹岩, 呈近东西走向的夹层产出于双桥山群安乐林组浅变质凝灰质砂岩中, 出露宽度约 10 m, 与千枚状碎屑岩具一致变质变形特征。

地球化学特征: 从表 8 看出, 蚀变角闪安山岩 SiO_2 含量为 54.33%; CaO 为 7.48%, MgO 含量 7.09%; 全碱含量 4.71%, K_2O/Na_2O 为 0.49; TiO_2 含量为 1.03%, 在 IUGS(1989) 全碱-二氧化硅(TAS) 图中样品落入玄武质安山岩区。流纹岩 SiO_2 含量为 69.99% ~ 80.38%; 全碱含量低, 为 2.91% ~ 4.07%, K_2O/Na_2O 值为 1.97 ~ 2.48, TAS 图中样品落入英安岩区及流纹岩区。酸性凝灰岩 SiO_2 含量为 65.46% ~ 77.73%, 平均为 72.53%; 全碱含量为 4.33% ~ 6.48%, K_2O/Na_2O

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

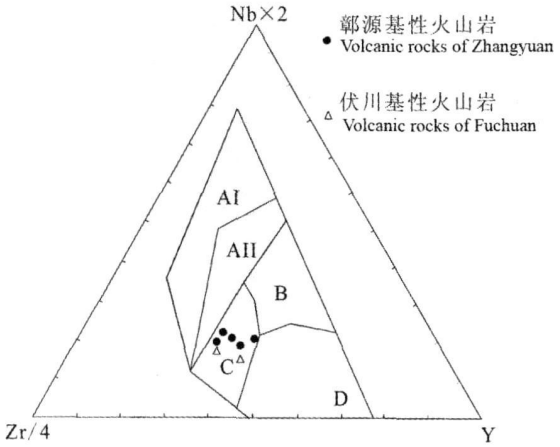


图 15　玄武岩 Nb×2-Zr/4-Y 图

Fig. 15　Nb×2-Za/4-Y diagram of the basalts

AI—板内碱性玄武岩; AII—板内拉斑玄武岩; B—富集型 MORB; C—火山弧玄武岩; D—正常型 MORB 火山弧玄武岩

AI—Intraplate alkaline basalt; AII—Laban intraplate basalt; B—enriched type MORB; C—volcanic arc basalt; D—normal-type MORB volcanic arc basalt

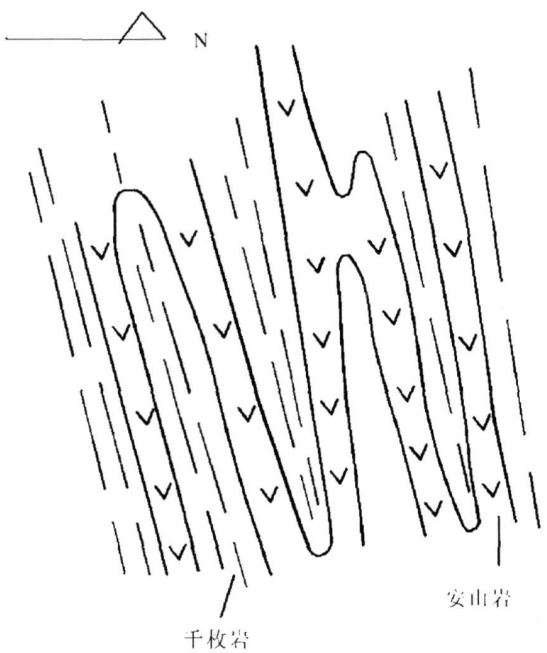


图 16　千枚岩中安山岩夹层紧闭同斜褶曲构造

Fig. 16　Tight isoclinal fold of andesite interlayer in phyllite rock

值为 0. 59~ 7. 50, 平均为 5. 60。相关图解分析(图 17), 上述火山岩均属中钾钙碱性岩石系列。安山岩 ΣREE= 128. 2 × 10^{-6}, $(La/Yb)_N$ 为 11; 流纹岩 ΣREE= (145. 7~ 257. 6) × 10^{-6}, $(La/Yb)_N$ 为 7~ 8; 凝灰岩 ΣREE= (159~ 305. 3) × 10^{-6}, $(La/Yb)_N$ = 4. 6~ 9. 4。不同类型火山岩具基本一致的球粒陨石标准化曲线型式(图 18)。从安山岩- 流纹岩- 酸性凝灰岩, 稀土元素丰度有渐次增高, 表明它们应是同源岩浆分异演化的产物。在 La-La/Sm 图上各成分点构成一条似水平的趋势线, 反映它们应是分离结晶作用的产物。上述火山岩微量元素经球粒陨石标准化的曲线型式(图 19) 相近。

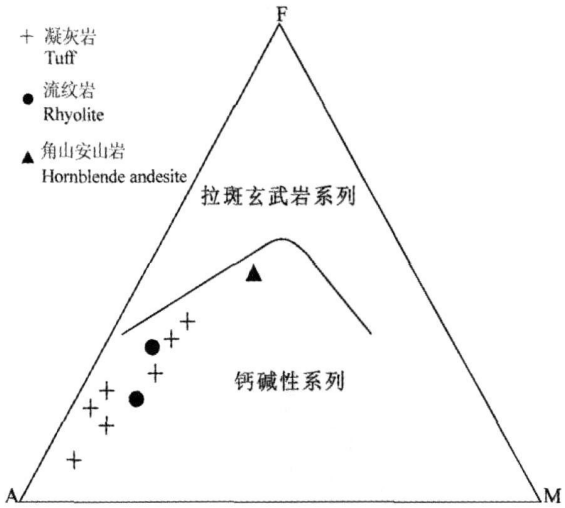


图 17　双桥山群火山岩 FAM 图解

Fig. 17　FAM discrimination diagram of Shuangqiaoshan Group volcanic rocks

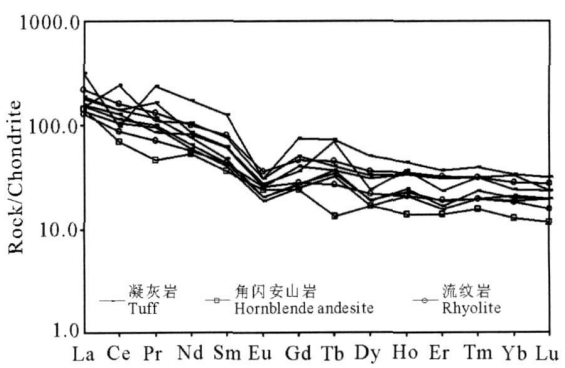


图 18　双桥山群火山岩稀土元素标准化曲线图

Fig. 18　Normalized REE patterns of Shuangqiaoshan Group volcanic rocks

Nd 同位素特征: 3 个样品结果显示[9], 安山岩 $\varepsilon_{Nd}(t)$ = 2. 099, 晶屑玻屑凝灰岩一个样品 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 为- 0. 306, 另一个样品 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 为 0. 715。反映本区火山岩可能具壳、幔混合特征。

构造环境分析: 本区火山岩"源" 岩浆显示中钾钙碱性火山岩特征, 不同岩类稀土、微量元素球粒陨石标准化模式图具基本一致的型式, 显示其同源性。在酸性火山岩构造判别图解中与火山弧构造环境最具相关性(图 20), Nd 同位素特征反映成岩物质具壳混、幔混合特征。综上认为, 测区双桥山群火山岩

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 8 双桥山群火山岩主量元素($\times 10^{-2}$)、微量元素($\times 10^{-6}$)、稀土元素($\times 10^{-6}$)含量及相关参数表(据张彦杰等,2009[●])

Table 8 The main element ($\times 10^{-2}$), trace elements ($\times 10^{-6}$), rare earth elements ($\times 10^{-6}$) and relevant parameters of Shuangqiaoshan Group volcanic rocks (after Zhang et al., 2009[●])

样品编号	PM10H3-4	PM 10H112-3	D1235-H2	D1235-1-7	D1306-1-2	D1359-H2	D4910-H2	10H-76-5	204-58-4	204-58-8
样品名称	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	安山岩	流纹岩	流纹岩
采样位置	祁门祁红	祁门塔坊	祁门侯潭	祁门舟口	祁门湾口	塔坊江村	虹关浙岭	祁门和村	祁门石坑	祁门石坑
SiO_2	68.9	77.73	75.67	75.55	65.46	74.01	70.42	54.33	80.38	69.99
Al_2O_3	13.03	11.5	12.92	12.94	19.98	15.96	13.47	16.21	10.99	16.12
Fe_2O_3	0.84	1.05	0.98	1.06	1.99	0.29	0.91	3.67	2.6	3.92
FeO	3.49	0.39	0.62	1.59	0.26	0.22	3.93	3.33	0	0
TiO_2	0.65	0.18	0.25	0.28	0.86	0.81	0.71	1.03	0.24	0.37
CaO	0.51	2.55	0.92	0.27	0.07	0.08	0.35	3.45	0.07	0.09
MgO	1.4	0.25	0.54	1.15	0.49	0.37	1.53	4.5	0.18	0.28
K_2O	3.35	3.56	2.62	1.99	5.4	3.47	3.12	1.55	1.93	2.9
Na_2O	2.48	1.44	3.86	3.39	0.72	0.86	2.97	3.16	0.98	1.17
P_2O_5	0.09	0.02	0.03	0.03	0.01	0	0.07	0.29	0.07	0.11
MnO	0.12	0.04	0.03	0.07	0.04	0.04	0.13	0.16	0.19	0.31
L.O.I	5.03	1.18	2.14	2.21	4.51	3.73	2.33	7.07	2.16	3.41
Σ	99.89	99.89	100.58	100.53	99.79	99.84	99.94	98.75	99.79	98.67
Na_2O+K_2O	5.83	5	6.48	5.38	6.12	4.33	6.09	4.71	2.91	4.07
K_2O/Na_2O	1.35	2.47	0.68	0.59	7.5	4.03	1.05	0.49	1.97	2.48
δ(AR)	1.31	0.72	1.29	0.89	1.67	0.6	1.35	1.96	0.23	0.61
A/CNK	1.51	1.06	1.19	1.57	2.79	3	1.51	1.23	2.87	3.08
Mg#	40.88	28.2	42.99	48.67	33.38	61.73	40.32	58.73	13.89	14.27
DI(SI)	81.49	84.26	90.05	87.15	81.6	81.36	86.15	27.8	88.83	82.62
Rb	112	92.7	107	33.8	187	102	107	55.7	64.7	103
Sr	115	169	68.3	182	63.5	111	97.8	288	102	175
Ba	451	556	470	340	770	653	447	435	346	636
P	406	96	140	148	30.5	17.5	284	1266	305	480
Y	26.4	40.1	59.6	54.6	30.8	36.2	28.4	28.3	39.9	59.9
Cs	16.1	9.1	6.7	3.1	24.5	15.6	15.4	20.8	6.3	4.6
Pb	21	32.4	12.8	3.5	23.1	14.9	12.2	9.6	42.4	25.1
Zr	249	140	265	95.7	221	287	252	174	199	349
Hf	6.6	5.1	7.5	2.5	5.6	7.8	6.4	4.7	6	9.7
Nb	12.6	8.3	14.1	7.7	15.1	14.9	13.4	11.5	9.9	15.5
Ta	0.5	1	0.4	0.8	0.9	2.2	1.5	0.7	0	0.7
Th	12.3	6.8	8.8	3.3	16.3	14.1	13.2	5.2	8.8	16.9
Ga	19.5	16	17.4	17.9	29.4	21.9	20	21.6	14.3	21.3
Ge	0.3	2	1.7	1.6	0.6	0.7	0.5	1.5	1.8	2
Ni	21.8	2.9	25.7	74.9	13.6	8.8	25.1	20.4	16.4	27.1
Co	13	6.5	15.1	41.8	1.6	1.6	14.6	26	3.3	2.4
V	92.6	16.4	92	235	113	82.9	96.2	185	12.8	26.7
Cr	66.1	3.4	65.7	264	76.2	117	66.6	52.6	9	12.3
Sc	8.8	10.2	14.7	36.5	18.4	11.8	10.3	18.3	7.4	13.3
La	32.6	74.9	37	35.8	43.1	44.8	36.1	34	30.6	51.9
Ce	63.5	60.1	78.2	148	86.5	85	70.2	42.2	53	98.6
Pr	9	22.3	8.1	10.5	11.2	15.5	9.4	4.4	6.8	12.5
Nd	27.9	79.7	38.3	48.4	35.7	39.8	30.4	24.8	26.4	46.3
Sm	6.2	19.3	9.3	11.6	7.2	9.5	6.7	5.6	6.6	12.1
Eu	1.1	1.8	1.5	1.8	1.2	1.6	1.2	1.4	1.5	2.1
Gd	5.2	15.4	8.4	10.4	5.7	7.5	5.6	5	5.8	9.6
Tb	1.2	2.7	1.4	1.5	1.3	2.6	1.4	0.5	1	1.7
Dy	4.3	13	7.9	8.4	4.9	6.1	4.8	4.3	5.6	9.2
Ho	1.2	2.5	1.9	1.9	1.3	2.1	1.4	0.8	1.2	2
Er	2.6	6.1	5.3	5.1	3.1	3.9	2.8	2.3	3.2	5.3
Tm	0.5	1	0.8	0.8	0.5	0.8	0.6	0.4	0.5	0.8
Yb	3.2	5.7	5.6	5.6	3.6	4.1	3.4	2.2	3.1	4.8
Lu	0.5	0.8	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.3	0.4	0.7
LREE/HREE	7.5	5.47	5.4	7.47	8.85	7.08	7.51	7.11	6	6.55
REE	159	305.3	204.3	290.4	205.8	223.9	174.5	128.2	145.7	257.6
Sm/Nd	0.22	0.24	0.24	0.24	0.2	0.24	0.22	0.23	0.25	0.26
$(La/Yb)_N$	7.31	9.43	4.74	4.59	8.59	7.84	7.62	11.09	7.08	7.56
$(La/Sm)_N$	3.4	2.51	2.57	1.99	3.87	3.05	3.48	3.92	2.99	2.77
$(Gd/Yb)_N$	1.34	2.23	1.24	1.54	1.31	1.51	1.36	1.88	1.55	1.65
δEu	0.59	0.32	0.52	0.5	0.57	0.58	0.6	0.81	0.74	0.6

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

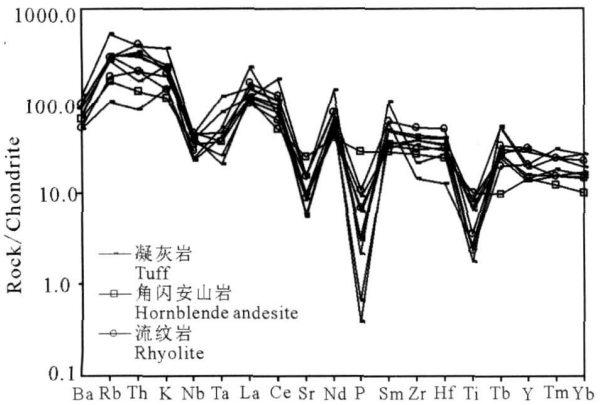


图 19　双桥山群火山岩微量元素标准化曲线图

Fig. 19　Normalized trace elements patterns of Shuangqiaoshan Group volcanic rocks

主体可能形成于消减板块边缘的火山弧构造环境。

3　新元古代构造演化探讨

关于皖赣相邻区构造格局及其构造演化, 许多学者从不同的角度提出了多种观点和构造演化模式, 郭令智等(1980) 最先提出, 王鸿祯等(1986) 、周新民等(1989) 继而进一步论证了江南中、晚元古代为一活动大陆边缘的沟弧盆复合构造体系; 徐备等(1992) 及舒良树等(1995) 提出皖浙赣古岛弧地体观点; 李献华等(1996) 、曾勇等(2002) 提出华南多岛洋陆- 弧- 陆碰撞造山模式, 认为皖赣相邻区属大陆边缘弧后盆地带; 刘宝珺等(1994) 认为扬子东南缘是元古代华南洋向扬子陆块俯冲形成的增生褶皱带; 邓国辉等(2005) 认为皖赣相邻区在元古代经历了早期俯冲和晚期碰撞两个造山阶段。显见, 众多学者认为研究区一带应属元古代俯冲- 碰撞造山带组成部分, 根据早期的同位素年代数据和时限分布较广的微古植物, 认为是世界范围内的格林威尔造山带的一部分。然而, 近些年包括我们在内的一些地学工作者在研究区应用 SHRIMP 及 LA-ICPMS 等测年方法在原定位于“中元古代”的地层中无一例外地获得了一大批集中在 820~ 840 Ma 间的锆石 U-Pb 年龄数据, 从而引发对整个江南造山带构造演化时限新的思考, 皖赣相邻区鄣公山一带位处江南造山带东段北缘, 地质景观极其复杂, 由于缺乏系统的地质资料, 长期以来, 对其构造格架的定位及构造演化的描述多是区域构造解释的外延推断。本次我们通过面上系统的调查及大量岩石地球化学测试数据的分析整理, 初步拟定了鄣源基性混杂岩带, 并认为属皖南伏川蛇绿岩西延组成部分, 该混杂岩带以北分布的双桥山群中基性、中酸性火山岩夹层具火山弧钙碱性岩石系列特点。鉴于上述新进展, 我们提出皖赣相邻区在新元古代经历了古扬子板块东南缘裂开—陆缘小洋盆有限俯冲—弧陆碰撞造山—造山期后陆壳裂陷沉积的演化过程, 属华南多岛洋陆- 弧- 陆俯冲碰撞造山体系的组成部分。

3.1　早期裂解沉积作用

在扬子和华夏古板块之间存在一元古宙华南大洋已被大部分学者所认同, 但洋盆形成和消亡的地质时代有中元古代、中新元古代及新元古代之争, 近年来, 随着区域大量高精度同位素年代学的研究, 愈来愈多的证据显示古华南洋关闭致扬子、华夏古板块碰撞对接是在新元古代早期之末的晋宁运动(周新民等, 1993; 邹海波等, 1993; 章泽军等, 2003; 邓国辉, 2005; 杨明桂等, 2009) 。该阶段或略早, 古华南洋发生向北的洋内俯冲消减, 俯冲作用引起地幔对

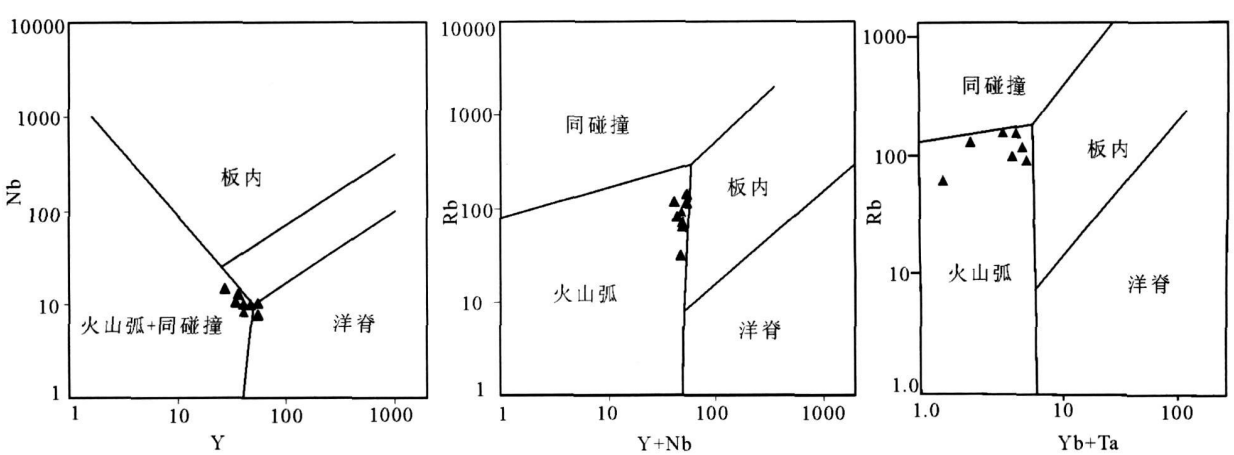


图 20　火山岩构造判别图解

Fig. 20　Tectonic discrimination diagram for the volcanic rocks

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

流使扬子板块东南缘引张, 并最终形成大陆边缘弧及陆缘盆地(徐备, 1990, 1992; 赵建新等, 1995; 李献华等, 1996;) (图 21a)。早期盆地充填以拉张构造沉积背景下的溪口岩群火山-陆缘碎屑复理石建造为特征, 拉张初期火山物质较少, 以溪口岩群板桥岩组为代表的陆缘细碎屑岩沉积为主, 进一步拉张, 火山活动增强, 形成溪口岩群木坑岩组火山-陆缘碎屑沉积, 随着拉张强度的不断增强, 陆壳减薄直至开裂, 地幔岩浆活动, 形成伏川-鄱源一带具大陆边缘小洋盆特征的蛇绿岩组合。根据我们约束的溪口岩群原岩形成年龄, 认为古扬子东南缘早期裂解时限为 830~840 Ma 的新元古代早期。

3.2 陆缘小洋盆有限俯冲作用

继裂解作用之后, 由于地幔柱流能量的迅速减弱, 构造变形场由伸展转化为收缩体制, 以伏川-鄱源蛇绿岩为代表的陆缘小洋盆发生向北的小规模的有限俯冲(图 21b), 俯冲诱发消减板片之上地幔楔部分熔融, 产生中基性、中酸性钙碱性火山岩系。另分布在九岭-许村一带的新元古代花岗质岩体具 I 和 S 型双重地球化学特征, 认为属初始陆壳改造型或不成熟陆壳重熔型花岗岩(邢凤鸣等, 1989), 由于具有岛弧型地球化学特征, 又被归于岛弧成因或碰撞后成因(周新民等, 1988; Wang et al., 2004)。同时在较高的地热梯度下, 产生高热流场, 使九岭地体下部构造层古一中元古代星子岩群发生角闪岩相动热变质(?)。持续的俯冲消减使陆缘小洋盆不断狭缩, 转化为大陆边缘海盆, 盆地的基底是大陆地壳或大陆地壳的增生部分, 区内双桥山群属该构造盆地沉积响应, 不论是火山-陆缘碎屑浊积岩还是中基性-中酸性火山熔岩夹层均显示火山弧构造成因环境, 暗示与俯冲作用相关的沉积-岩浆作用特征。关于俯冲作用发生的时代可根据前述双桥山群原岩成岩年龄进行制约, 认为陆缘小洋盆俯冲的下限年龄不应小于 832 Ma。

3.3 弧-陆碰撞造山作用

持续的俯冲消减, 海盆不断狭缩, 最终导致弧后陆缘小洋盆关闭, 弧-陆碰撞(徐备等, 1990, 1992; 赵建新等, 1995) (图 21c), 形成一系列近南北向挤压机制下构造组合, 使区内新元古代早期地层发生北东东向展布的紧闭同斜褶皱及逆冲型脆韧性剪切构造变形, 形成首次区域叶理事件, 由于强烈的构造面理置换及期后构造叠加, 明显可识别的早期褶曲为露头尺度级原始层理片内无根褶曲。伴随此次构造变动, 发生区域低温动力变质作用。同时, 由于强烈的挤压, 使有限俯冲作用致地壳中深层次的陆缘小洋盆型蛇绿岩被剪切、逆冲回返至地壳浅层部位, 与火山-陆源碎屑复理石基质共同组成构造混杂岩系[1]。碰撞造山作用使地壳强烈抬升, 沿造山带北麓形成磨拉石堆积, 历口群与下伏双桥山群高角度不整合面之间出露的数十至数百米不等的葛公镇组砾岩及含砾砂岩层属碰撞造山后期发育在前陆盆地的挤压型磨拉石盆地沉积(马荣生, 1994, 2002; 程光华等, 2000; 杜建国等, 2002), 其标志着一个沉积旋回, 岩浆事件和构造旋回的结束, 关于碰撞造山作用发生的时限可用历口群(河上镇群)形成下限及双桥山群沉积时代上限进行约束, 认为碰撞作用发生的最可能时限在 807~821 Ma 间。

3.4 碰撞造山期后陆壳裂陷沉积作用

俯冲-碰撞造山作用使地壳大规模抬升去顶, 随后由于地幔柱上涌, 华南发生大规模岩浆深熔侵入活动, 诱使大陆岩石圈发生大规模侧向拉伸, 包括本区在内的整个华南在固化不强的大陆壳基底上发生新的裂陷作用(Li et al., 1999), 前陆磨拉石盆地转为拉张的裂谷型盆地(图 21d)。在皖浙赣一带出露的历口群(河上镇群)火山-陆缘碎屑沉积组合体为 Rodinia 超大陆裂解后的早期裂谷沉积, 裂解的下限年龄可用河上镇群开始接受沉积的时限进行约束, 认为不小于 807±11 Ma(王剑, 2000)。皖南的历口群早期葛公镇组属类磨拉石复成分砾岩及砂砾岩沉积, 之上为邓家组成熟度较高、碎屑成分以石英为主的陆缘碎屑岩建造, 其顶部的铺岭组为一套基性火山岩建造, 形成于拉张构造环境(马荣生, 2002; 杜建国等, 2002)。同时在赣东北石耳山一带形成后造山铝质 A 型花岗岩体。区域上, 该裂谷盆地一直演化到早古生代中后期, 期间地壳振荡频繁, 但总体仍处于伸展构造环境, 该裂谷盆地直到志留纪末即加里东运动主幕闭合(程光华等, 2000; 王剑, 2000)。

4 结论

目前, 区域上争论的主要焦点仍是前南华纪地层形成时代、沉积序列及大地构造环境问题, 本文概括的以下几点结论将对重新思考区域构造格架及其构造演化具有重要意义。

(1) 本文提供了大量高精度同位素测年数据, 将对重新思考江南造山带构造演化的时限等问题有重要意义。广布于皖赣相邻区的浅变质陆缘细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体形成于约 821~840 Ma 的新元古代早期, 其以景德镇-鄱源-伏川

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

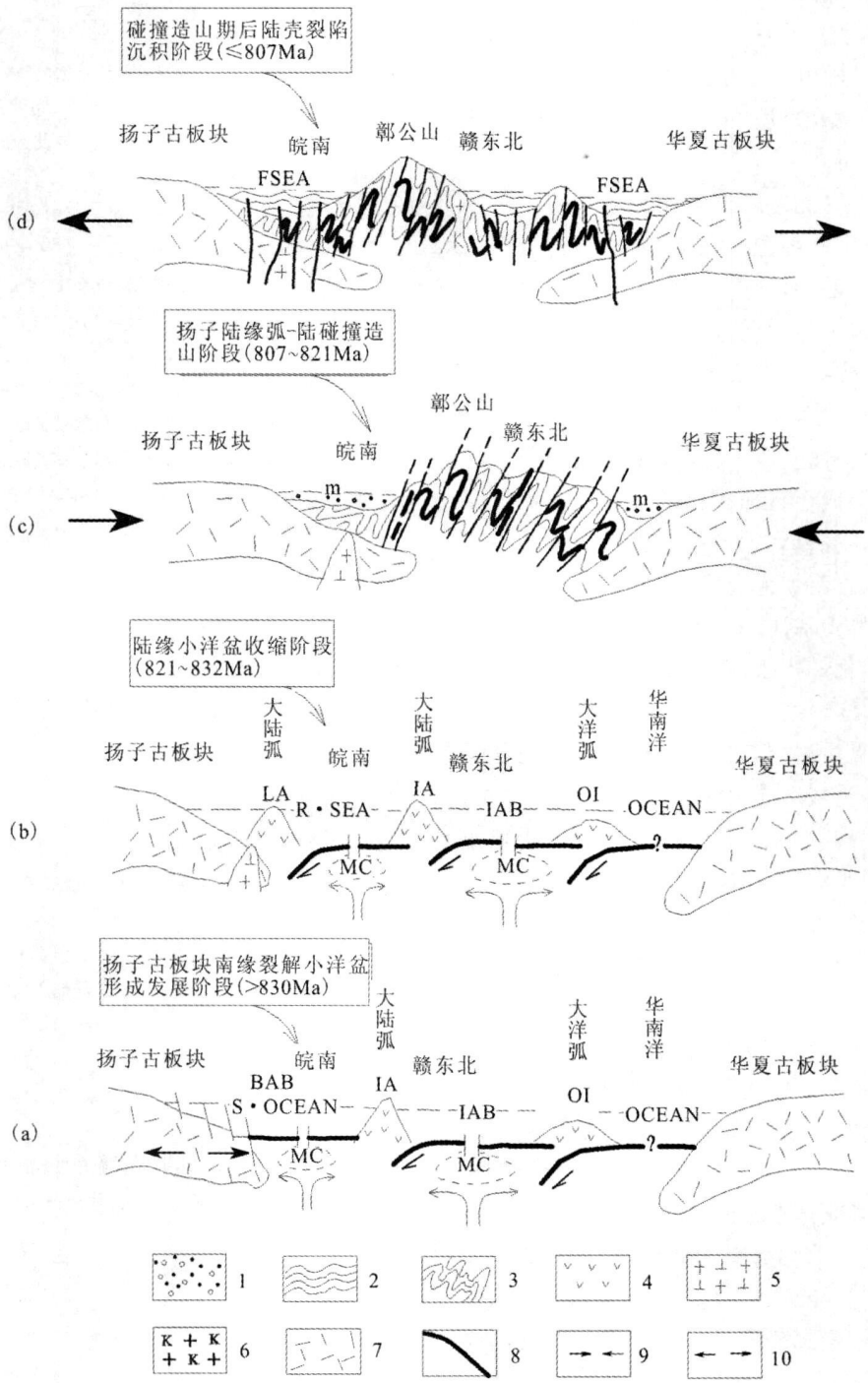


图 21　皖赣相邻区新元古代构造演化阶段模式图

Fig. 21　Neoproterozoic tectonic evolution model on the border of Jiangxi and Anhui Province

FSEA—裂陷海; S. OCEAN—陆缘小洋盆; OCEAN—大洋盆地; R·OCEAN—残留洋盆; R·SEA—残留海盆; C. M. SEA—陆表海; IA—大陆弧; OI—大洋弧; BAB—弧后盆地; MC—岩浆房; 1—磨拉石(m); 2—新元古代中晚期裂谷海盆沉积; 3—新元古代洋早期陆缘小洋盆沉积; 4—弧火山岩; 5—九岭—许村花岗闪长岩; 6—石耳山钾长花岗岩; 7—陆壳; 8—洋壳; 9—挤压方向; 10—伸展方向

FSEA—Rift sea; S. OCEAN—continental margin small ocean basin; O. CEAN—ocean basin; R. OCEAN—residual oceanic basin; R. SEA—residual sea basin; C. M. SEA—epicontinental sea; IA—continental arc; OI—oceanic arc; BAB—back-arc basin; MC—magma chamber; 1—molasse (m); 2—middle and late Neoproterozoic rift basin sediments; 3—early Neoproterozoic continental margin small ocean basin sediments; 4—arc volcanic rocks; 5—Jiuling-Xucun granodiorite; 6—Shiershan moyite granite; 7—continental crust; 8—oceanic crust; 9—extrusion direction; 10—extension direction

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

区域断裂带为界,南部为形成于大陆边缘拉张构造环境下的溪口岩群,认为其形成时限在 830~ 840 Ma 间;北部的双桥山群显示与俯冲作用相关的火山弧构造沉积环境,我们约束的最佳形成时限在 821~ 832 Ma 之间。

(2)鄣源基性岩北东- 南西向分布于皖赣相邻区鄣公山北坡瑶里- 鄣源- 江潭一带,呈构造碎块或碎片产出于新元古代火山-陆缘细碎屑岩组成的复理石基质中,总体显示构造混杂岩带特征。基性岩残块包括蚀变枕状- 块状基性熔岩、辉长岩、辉绿岩等,它们在空间上紧密相伴,形成于新元古代早期。通过对鄣源基性岩地质及岩石地球化学特征等的分析,认为其形成于低速扩张的陆缘小洋盆扩张脊环境,具初始洋壳基性岩特征。提出鄣源基性岩属皖南伏川蛇绿岩西延组成部分。

(3)双桥山群中基性、中酸性火山岩夹层具基本一致的岩石地球化学特征,属中钾钙碱性岩石系列,Nd 同位素特征显示成岩物质具壳、幔混合特征。认为,双桥山群火山岩属鄣源基性岩为代表的陆缘小洋盆向北俯冲消减形成的陆缘弧火山岩。

(4)分析认为皖赣相邻区经历了古扬子板块东南缘裂开- 陆缘小洋盆有限俯冲- 弧陆碰撞造山- 造山期后陆壳裂陷沉积的完整的造山作用过程。属华南多岛洋陆- 弧- 陆俯冲碰撞造山体系组成部分。

致谢:加拿大滑铁卢大学地球与环境科学系林寿发博士亲赴野外指导采集 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素样并完成其测试,南京大学地球科学系王晓磊教授参与了部分 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素样野外采集并对所有 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测试数据进行了整理。本文撰稿过程中与江西地勘局原总工程师杨明桂教授级高工及中国地质科学院地质研究所高林志、丁孝忠研究员进行过富有意义的交流。在此一并致以衷心感谢!

注 释

❶ 张彦杰,廖圣兵,周效华,余明刚,姜杨,蒋仁. 2009. 安徽 1∶ 5 万平里、江潭、瑶里、虹关幅区调报告. 中国地质调查局南京地质调查中心.

❷ 楼法生,邓国辉,宋志瑞,黄志忠,吴新华,凌联海,罗春林,罗小洪,谢清辉,吴明仁,雷良城. 2002. 1∶ 25 万景德镇幅区调报告. 江西省地质调查院.

❸ 马荣生,王爱国,张宜勇,郭继宝,郑光文. 1993. 安徽江南古陆金矿成矿地质条件和找矿方向. 安徽省地质矿产局三三二地质队,安徽省地质科学研究所.

参 考 文 献

程光华,汪应庚. 2000. 江南东段构造格架. 安徽地质, 10(1): 1~ 8.

杜建国,孙乘云,许卫,杜森官,王有生,谢建成,黄耀华,陶启云. 2002. 皖南地区葛公镇组砾岩性质及其构造含义. 资源调查与环境, 23(2): 106~ 112.

邓国辉,刘春根,冯晔. 2005. 赣东北- 皖南元古代造山带构造格架及演化. 地球学报, 26(1): 9~ 16.

顾雪祥,刘建明,Oskar S,郑明华. 2003. 江南造山带学雪隆起区元古宙浊积岩沉积构造背景的地球化学制约. 地球化学, 32(5): 406~ 426.

郭令智,施央申,马瑞士. 1980. 华南大地构造格架和地壳演化. 国际交流地质学术论文集(1). 北京:地质出版社.

高林志,杨明桂,丁孝忠,刘燕学,刘训,张传恒. 2008. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄——南新元古代造山带演化的制约. 地质通报, 27(10): 1744~ 1751.

高林志,张传恒,刘鹏举,丁孝忠,王自强,张彦杰. 2009. 华北- 江南地区中、新元古代地层格架的再认识. 地球学报, 30(4): 433~ 446.

李献华,周国庆,赵建新,Fanning C M, Compston W. 1994. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 23(2): 125~ 131.

李献华,McCulloch M T. 1996. 扬子南缘沉积岩的 Nd 同位素演化及其大地构造意义. 岩石学报, 12(3): 361~ 368.

李献华,李正祥,葛文春,周汉文,李武显,刘颖. 2001. 华南新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 271~ 273

李超岭,于庆文,杨东来,邱丽华,朱云海,葛梦春. 2003. PRB 数字地质填图技术研究. 地球科学- 中国地质大学学报, 28(4): 377~ 384.

李超岭,张克信,于庆文,邱丽华,李丰丹,吕霞,刘畅. 2004. 数字填图中不同阶段数据模型的继承技术. 地球科学- 中国地质大学学报, 29(6): 745~ 752.

刘宝珺,许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集. 北京:科学出版社.

马荣生,王爱国. 1994. 皖南晚元古代碰撞造山带构造轮廓. 安徽地质, 4(2): 14~ 22

马荣生. 2002. 皖南前南华纪岩石地层. 资源调查与环境, 23(2): 94~ 106.

舒良树,施央申,郭令智,Charvet J,孙岩. 1995. 江南中段板块- 地体构造与碰撞造山运动学. 南京:南京大学出版社.

王鸿祯. 1986. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓. 华南地区古大陆边缘构造史. 武汉地质学院出版社.

王希斌,郝梓国. 1994. 中国造山带蛇绿岩的时空分布及构造类型. 中国区域地质, 3: 193~ 204

王剑. 2000. 华南新元古代裂谷盆地演化——兼论与 Rodinia 解体的关系. 北京:地质出版社.

王剑. 2005. 华南"南华系"研究新进展——论南华系地层划分与对比. 地质通报, 24(6): 491~ 495.

吴荣新,郑永飞,吴元保. 2005. 皖南石耳山新元古代花岗岩锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究. 高校地质学报, 11(3): 364~ 382.

邢凤鸣,徐祥,李应运,任思明. 1989. 皖南晋宁早期花岗岩带的确定

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

及其岩石学特征. 岩石学报, (4): 33~ 44.

夏林圻, 夏祖春, 李向民, 马中平, 徐学义. 2009. 华南新元古代中期裂谷火山岩系: Rodinia 超大陆裂谷化——裂解的地质纪录. 西北地质, 42(1): 1~ 32.

徐备. 1990. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系. 地质学报, 1: 33~ 41.

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. 北京: 地质出版社.

于津海, 魏振海, 王丽娟, 舒良树, 孙涛. 2006. 华夏地块: 一个有古老物质组成的年轻陆块. 高校地质学报, 12(4): 440~ 447.

余心起, 江来利, 许卫, 邱瑞龙, 杜建国, 戴圣潜. 2007. 皖浙赣断裂带的界定及其基本特征. 地学前缘, 14(3): 102~ 113.

杨明桂, 黄水保, 楼法生, 唐维新, 毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用. 中国地质, 36(3): 528~ 542.

周新民, 王德滋. 1988. 皖南低$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比的过铝花岗闪长岩及其成因. 岩石学报, 4(3): 37~ 45.

周新民, 邹海波, 杨杰东. 1989. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. 科学通报, (16): 1243~ 1245.

邹海波, 周国庆, 周新民. 1993. 华南晚元古代碰撞造山带的两个蛇绿岩套的研究. 见: 李继亮主编. 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京: 冶金工业出版社.

赵建新, 李献华, McCulloch M T, 周国庆, 邢凤鸣. 1995. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其构造意义: 元素和 Sm-Nd 同位素制约. 地球化学, 24(4): 311~ 324.

张旗, 陈雨, 钱青. 1998. 两类蛇绿岩剖面及其成因的探讨. 自然科学进展, 8(3): 326~ 330.

章泽军, 张雄华, 易顺华. 2003. 赣西北幕阜山- 九岭山一带前震旦纪构造变形. 高校地质学报, 3(1): 81~ 88.

曾勇, 杨明桂. 1999. 赣中碰撞带. 中国区域地质, 18(1): 17~ 22.

曾勇, 杨明桂, 赖新平, 王发宁. 2002. 赣东北地区中晚元古代的岩浆作用与构造环境. 华南地质与矿产, 3: 37~ 43.

郑永飞, 张少兵. 2007. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化. 科学通报, 52(1): 1~ 10.

Cheng Guanghua, Wang Yinggeng. 2000. The structural framework of the eastern section of the jiangnan orogen. Geology of Anhui, 10(1): 1~ 8.

Du Jianguo, Sun Chenyu, Xu Wei, Du Senguan, Wang Yousheng, Xie Jiancheng, Huang Yaohua, Tao Qiyun. 2002. Characters and its tectonic implication of basal conglomerate from Gegongzhen formation in southern area of Anhui province. Volcanology & Mineral Resources, 23(2): 106~ 112.

Deng Guohui, Liu Chungen, Feng Ye. 2005. Ectonic Features and Evolution of the Proterozoic Orogenic Belt between Northeastern Jiangxi and Southern Anhui. Acta Geosicientica Sinica, 26(1): 9~ 16.

Gu Xuexiang, Liu Jianming, OSKAR S, FRANZ V, Zheng Minghua. 2003. Geochemical constraints on the tectonic setting of the Proterozoic turbidites in the Xuefeng Uplift region of the Jiangnan orogenic belt. Geochimica, 32(5): 406~ 426.

Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. 1980. South China tectonic framework and crustal evolution. International Geological Papers Collection (1), Beijing: The Geological Publishing House.

Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, Liu Xun, Ling Lianhai, Zhang Chuanheng. 2008. HRIMP U- Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China——nstraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt. Geological Bulletin of China, 27(10): 1744~ 1751.

Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, Ding Xiaozhong, Wang Ziqiang, Zhang Yanjie. 2009. Recognition of Meso- and Neoproterozoic Stratigraphic Framework in North and South China. Acta Geoscientica Sinica, 30(4): 433~ 446.

Jun Gao, Reiner Klemd, Lingli Long, Xianming Xiong, Qing Qian. 2009. Adakitic signature formed by fractional crystallization: An interpretation for the Neo-Proterozoic metar plagiogranites of the NE Jiangxi ophiolitic mélange belt, South China. Lithos, 110(1~ 4): 277~ 293.

Li Xianhua, McCulloch M T. 1996. Nd Isotopic Evolution of Sediments from the Southern Margin of the Yangtze Block and Its Tectonic significance. Acta petrologica sinica, 12(3): 361~ 368.

Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, Zhou Hanwen, Li Wuxian, Liu Ying. 2001. U-Pb Zircon Ages of the Neoproterozoic Granitoids in South China and Their Tectonic Implications. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 20(4): 271~ 273.

Li Xianhua, Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, Fanning C M, Compston W. 1994. shrimp ion microprobe zircon U - Pb age of the ne jiangxi ophiolite and its tectonic implications. Geochimica, 23(2): 125~ 131.

Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, Zhou Hanwen, Li Wuxian, Liu Ying. 2002. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian rift of south China: implications for the initial rifting of Rodinia. Precambrian Research, 113: 135~ 154.

Li Z X, Li X H, Kinny P D. 1999. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? Earth Planet. Sci., 173: 171~ 181.

Li Zhengxiang, Li Xianhua, Kinny P D. 2003. Geochronology of Neproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle super plume that broke up Rodinia. Precam brian Res., 122(1~ 4): 85~ 109.

Li Chaoling, Yu Qingwen, Yang Donglai, Qiu Lihua, Zhu Yunhai, Ge Mengchun. 2003. Research on PRB Digital Mapping Techniques. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 28(4): 377~ 384.

Li Chaoling, Zhang Kexin, Yu Qingwen, Qiu Lihua, Li Fengdan, Lü Xia, Liu Chang. 2004. Inherited Technique of Data Model in Different Stages in Digital Mapping. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 29(6): 745~ 752.

Liu Baojun, Xu Xiaosong. 1994. Lithofacies paleogeography in

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

South China Atlas. Science Press.

Ma Rongsheng, Wang Aiguo. 1994. Tectonic outline ofthe late pkoterozoic collisional orogenic belt in south anhui. Geology of Anhui, 4(2): 14~ 22.

Ma Rongsheng. 2002. The stratigraphy of Pre- Nanhua system in south Anhui, . Volcanology & Mineral Resources, 23(2): 94~ 106.

Wu Rongxin, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao, Zhao Zifu, Zhang Shaobing, Liu Xiaoming, Wu Fuyuan. 2006. Reworking of juvenile crust: Element and isotope evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China, Precambrian Research, 146(3~ 4): 179~ 212.

Shu Lingshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi, Jacques Charvet, Sun Yan. 1995. Plate Tectonic Evolution and the Kinematics of Collisional Orogeny in Middle Jiangnan, Eastern China. Nanjiang: Publishing House of Nangjing University.

Wang Hongzhen. 1986. The outline of the development of South China tectonic. History of the ancient continental margin of South China. Wuhan Geological College Press.

Wang Xibin, Hao Ziguo. 1994. Temporal- spatial distribution and tectonic types of ophiolites in orogenic belts of china. Regional Geology of China, 3: 193~ 204.

Wang, Jian. 2000. Neoproterozoic rifting history of South China: significance to Rodinia breakup. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 146.

Wang Jian. 2005. New advances in the study of "the Nanhuaan System"- with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuaan System, South China. Regional Geology of China. 24(6): 491~ 495.

Wang Xiaolei, Zhou J S, Qiu J S, Gao J F. 2004. Geochemistry of the mesoto Neoproterozoic basic- acid rocks from Hunan Province, South China: implications for evolution of the western Jiangnan orogen . Precambrian Research, 135: 79~ 103.

Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Qi J S, Zhang W L, Liu X M, Zhang G L. 2006. LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: implications for petrogenesis and tectonic evolution. Precambrian Research, 145: 111~ 130.

Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Zhou Jincheng, Liu Yongsheng, Hu Jian. 2008. 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. Gondwana Research, 14: 355~ 367.

Wu Rongxin, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao. 2005. Zircon U- Pb Age, Element and Oxygen Isotope Geochemisty of Neoproterozoic Granites at Shiershan in South Anhui Province. Geological Journal of China Universities, 11(3): 364~ 382.

Xing Fengming, Xu Xiang, Li Yingyun, Ren Siming. 1989. The determination of a granodiorite zone and its petrologic characteristics at the early jinning period in southern anhui province. Acta Petrologica Sinica, (4): 33~ 44.

Xu Bei. 1990. The late proterozoic trench- basin- arc system in northeastern Jiangxi- southeastern Anhui Provinces. Acta Geological Sinica, 1: 33~ 41.

Xu Bei, GUO Linzhi, SHI Yangshen. 1992. Proterozoic Terranes and Multiphase Collision Orogens in Anhui-Zhejiang-Jiangxi Area. Beijing: Geological Publishing House.

Xia Linqi, Xia Zuchun, Li Xiangmin, Ma Zhongping, Xu Xueyi. 2009. Mid-Neoproterozoic Rift- related Volcanic Rocks in South China: Geological Records of Rif ting and Break-up of the Supercon tinent Rodinia. North western Geology, 42(1): 1~ 32.

Yu Jinhai, Wei Zhenyang, Wang Lijuan, Shu Liangshu, Sun Tao. 2006. Cathaysia Block: A Young Continent Composed of Ancient Materials. Geological Journal of China Universities, 12 (4): 440~ 447.

Yu Xinqi, Jiang Laili, Xu Wei, Qiu Ruilong, Du Jianguo, Dai Shengqian. 2007. Identification and basic characteristics of the Anhui- Zhejiang- Jiangxi fault zone. Earth Science Frontiers. 14(3): 102~ 113.

Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, Tang Weixin, Mao Subin. 2009. Lithospheric structure and large - scale metallogenic process in Southeast China continental area. Geology in China. 36(3): 528~ 542.

Zhou Xinmin, Wang Dezi. 1998. The peraluminous granodiorites with low initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio and their genesis in southern Anhui province, eastern China. Acta Petrologica Sinica, 4(3): 37~ 45.

Zhou Xinming, Zou Haibo, Yang Jiedong. 1989. Sm-Nd isotopic age and geological significance of Fuchuan ophiolites in Shexian county, Anhui province. Chinese Science Bulletin, (16): 1243 ~ 1245.

Zhao Jianxin, Li Xianhua, McCulloch M T, Zhou Guoqing, Xing Fengming. 1995. Petrogenesis of ophiolites from south Anhui and northeast Jiangxi, and their tectonic implications: chemical and Sm-Nd isotopic constraints. Geochimica, 24(4): 311~ 324.

Zhang Qi, Chen Yu, Qian Qing. 1998. Two types of ophiolite sections and their genesis. Progress in Natural Science. 8(3): 326~ 330.

Zhang Zejun, Zhang Xionghua, Yi Shunhua. 2003. Intraplate Tectonic Deformation of the Precambrian in the Mufu and Jiuling Mountains Area, North-West Jiangxi. Geological Journal of China Universities, 3(1): 81~ 88.

Zeng Yong, Yang Minggui. 1999. Central Jiangxi Collision Melange zone. Regional Geology of China, 18(1): 17~ 22.

Zeng Yong, Yang Minggui, Lai Xinping, Wang Faning. 2002. Middle-Late Proterozoic magmatism and its tectonic settings in northeastern Jiangxi Province. Geology and Mineral Resources of South China, 3: 37~ 43.

Zheng Yongfei, Zhan Shaobing. 2007. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China . Chinese Science Bulletin, 52(1): 1~ 10.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Neoproterozoic Crustal Composition and Orogenic Process of the Zhanggongshan Area, Anhui—Jiangxi

ZHANG Yanjie, ZHOU Xiaohua, LIAO Shengbing, ZHANG Xiaodong,
WU Bin, WANG Cunzhi, YU Minggang
Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing, 210016

Abstract

Zhanggongshan area of Anhui- Jiangxi border, located in the northern margin of the Jiangnan orogen (South Yangtze River), contains very thick low greenschist- facies metamorphic flysch rocks dominated by argillo calcareous fine-grained clastic rocks with minor volcanic materials. A mass of high precise isotopic dating shows that it may form in early Neoproterozoic between 821 ~ 840 Ma, bordered by the Jingdezhen- Zhangyuan- Fuchuan regional faulting belt. The Xikou Group in the southern part resulted from extension of continental margin, while the volcanic-terrestrial clastic rocks of Shuangqiaoshan Group in the northern part is the sediments in basins related to island arc. The basic rocks such as altered pillow-lump basic volcanic lava, gabbro and dolerite distributed from northeast to southwest on the northern slope of Zhanggong Shan (mountain), occur as structural fragments in flysch matrix consisting of Xikou Group volcanic-margin fine-grained clastic rocks. The geological feature and petrochemical analysis show that they resulted from low-speed spreading of small oceanic basins in continental margin and characterized with initial features of oceanic crust basic rock, indicating that they belong to part of the westward extension of the Fuchuan ophiolite in southern Anhui . Large amount of vitric crystal tuff and minor andesite and rhyolite occurring in the Shuangqiaoshan Group strata as interlayer formation is similar with geochemical features, suggesting that they belong to potassium-calcium-alkali rock series, and formed in a tectonic setting of the volcanic arc in the continental margin. Combined with sedimentary characteristic, magmatic and tectonic occurrences in the area, this study proposed that the Neoproterozoic Anhui- Jiangxi border underwent a series of tectonic development processes from the splitting of the southeastern margin of ancient Yangzi plate, limited subduction of small oceanic basins in continental margin, arc-continent collision orogeny and finally to post-orogenic rifting sedimentation of continental crust.

Key words: northern margin of the Jiangnan orogen; Neoproterozoic; material composition; orogenic process, Anhui, Jiangxi

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net