

皖赣相邻地区双桥山群沉积序列及沉积环境分析

廖圣兵, 张彦杰, 周效华, 余明刚, 蒋 仁,
姜 杨, 陈志洪, 赵希林

(中国地质调查局 南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要: 皖赣相邻地区位于江南造山带东段北缘, 双桥山群为区内广泛分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岩的复理石建造。综合岩石组合及沉积构造分析, 其可能为一套形成于大陆边缘岛弧构造背景下的陆棚斜坡-滨浅海相火山-陆缘碎屑岩建造组合体, 具体可划分出次深海-陆棚边缘斜坡相、浅海陆棚相、陆棚斜坡相、陆棚斜坡相-陆棚相4个阶段的沉积相, 显示该时期海盆演化已处于萎缩闭合阶段。横涌组 and 安乐林组中近源间断不完整“鲍马序列”, 主要为浊流和部分砂质碎屑流成因, 分别形成于古华南海洋新元古代陆缘俯冲作用下有限俯冲过程中和俯冲之后洋盆狭缩海退环境; 从火山作用随沉积作用协同演化角度对沉积作用与大地构造的关系分析来看, 源于洋壳俯冲作用的火山活动可能始于研究区南西。研究结果从沉积地层学角度, 为新元古代皖赣相邻地区大地构造演化提供了重要证据。

关键词: 江南造山带; 双桥山群; 沉积序列; 沉积环境; 安徽; 江西

中图分类号: P588.34; P539.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2016)01-0130-14

Sedimentary Sequence and Environment of Shuangqiaoshan Group from the Adjacent Area Between Anhui and Jiangxi

LIAO Sheng-bing, ZHANG Yan-jie, ZHOU Xiao-hua, YU Ming-gang, JIANG Ren,
JIANG Yang, CHEN Zhi-hong, ZHAO Xi-lin

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing, Jiangsu 210016, China)

Abstract: The adjacent area between Anhui and Jiangxi is located in the northern margin of the eastern section of Jiangnan orogenic belt, in which Shuangqiaoshan Group is widely distributed in a large-thickness and low-grade greenschist-facies metamorphic flysch formation which is given priority to with argillaceous-arenaceous metamorphosed fine clastic rocks and contains a small amount of volcanic rocks. Synthesizing analysis of rock assemblages and sedimentary structures shows that Shuangqiaoshan Group may be formed in a set of volcanic-terrigeneous clastic rocks which can be divided into four stages of sedimentary facies about the bathyal-shelf margin slope, neritic shelf, shelf slope and shelf slope-shelf facies under tectonic background of continental margin island arc, indicating the shrinking-closing stage of the basin evolution during the period. The proximal source region and discontinuous incomplete Bouma sequence of Hengyong Formation and Anlelin Formation, mainly generated by turbidity current and few by sandy debris flow, respectively formed during the northward limited subduction process of the lithospheric fault block in South China with oceanic crustal sea areas, and after that under ocean-basin thinning regressive environment in Neoproterozoic. From the perspective of volcanism with sedimentation co-evolution on the relationship between the sedimentation and tectonic analysis, the volcanic activity resulted from oceanic crust subduction may be started from southwest of the study area. This study provides the important evidence for the geotectonic evolution of the Neoproterozoic in the adjacent area between

收稿日期: 2015-03-06; 改回日期: 2015-08-07; 责任编辑: 潘令枝。

基金项目: 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(1212010610609)。

作者简介: 廖圣兵, 男, 助理研究员, 1979年出生, 地质学专业, 主要从事区域地质调查研究工作。Email: 1005253612@qq.com。

Anhui and Jiangxi from the aspect of the sedimentary stratigraphy.

Key words: Jiangnan orogenic belt; Shuangqiaoshan Group; sedimentary sequence; sedimentary environment; Anhui; Jiangxi

0 引言

扬子板块和华夏板块之间有一明显带状分布的元古宙浅变质的沉积地层和一系列岩浆岩单元,被称为“江南造山带”。皖赣相邻地区位处该造山带东段北缘,经历了自新元古代以来的多次造山作用,是华南研究前震旦纪地质重要地区之一^[1-3]。区内广泛分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岩的复理石建造,其中双桥山群的沉积环境及其大地构造背景是研究江南造山带的重要地质问题,这对精细完善该区域中新元古代构造演化史及作为资源勘查依据均有重要意义。

本文的研究将瑶里—江潭构造带以北分布的浅变质地层体从原1:20万区调成果划分的溪口群中解体出来,沿用1:25万景德镇幅划分方案,归属双桥山群,并自下而上在研究区建立横涌组、计林组、安乐林组沉积序列。研究区双桥山群未出露其上、下部层位,出露总厚度约6 844 m。虽然经历了较强区域构造面理置换,但其原始沉积构造仍可辨析,基本沉积序列可大致恢复,从而能够客观地分析皖赣相邻地区的沉积序列和沉积盆地演化。

1 区域地质概况

1.1 地层

研究区地层隶属扬子地层区江南地层分区,马荣生^[4]和包超民等^[5]又分别进一步细分为鄣公山构造地层区和鄣公山地层小区。区内出露地层有新元古界青白口系溪口岩群板桥岩组(Pt_3b)、木坑岩组(Pt_3m)、双桥山群横涌组(Pt_3h)、计林组(Pt_3j)、安乐林组(Pt_3a),占研究区面积的90%以上。

另有少量晚古生代及中生代地层零星分布,有古生界上石炭统一二叠统船山组(C_2-P_1c)、中二叠统栖霞组(P_2q)、中生界下侏罗统月潭组(J_1y)、下白垩统徽州组(K_1hz)、上白垩统齐云山组(K_2q)和下岩组(K_2x)。局部被第四系全新统冲洪积物(Qh^{apl})和残坡积物(Qh^{esl})所覆盖。

1.2 构造

研究区位于江南造山带东段北缘(图1),广泛分布一套低绿片岩相变质火山-沉积岩系,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的溪口岩群,北部为双桥山群,属与岛弧有关盆地中的沉积物^[4-5]。双桥山群与溪口岩群呈断层接触关系,与上覆溪口群呈角度不整合接触^[4,6-8]。区内新元古代构造演化经历了4个阶段。

早期裂解沉积作用:古华南海发生向北的洋内俯冲诱发古扬子板块东南缘引张形成大陆边缘弧及陆缘盆地^[9-15]。早期盆地沉积以溪口岩群火山-陆缘碎屑复理石建造为特征,拉张初期火山物质较少,陆棚边缘斜坡-浅海陆棚细碎屑岩沉积发育,以溪口岩群板桥岩组为代表^[16]。进一步拉张使海侵范围逐渐扩大,海盆加深,火山活动增强,形成海侵体系域半深海火山-陆缘碎屑浊流沉积,以乐平—婺源一带细碧-石英角斑岩系及木坑岩组下段为代表^[17-19]。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,形成具初始洋壳特征的基性岩组合,分布于鄣源—伏川一带^[14,20-22]。

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,以鄣源—伏川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,俯冲诱发消减板片之上地幔楔部分熔融,产生新元古代中基性、中酸性钙碱性火山岩系^[17]。

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-陆碰撞形成一系列近南北向挤压机理下的构造组合,使新元古代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。

碰撞造山期后陆壳裂陷沉积作用:陆缘小洋盆俯冲-碰撞闭合后,大陆动力学机制由挤压转为松弛拉张,在固化不强的大陆壳基底上发生新的裂陷作用,前陆磨拉石盆地转为拉张的裂谷型盆地^[17]。

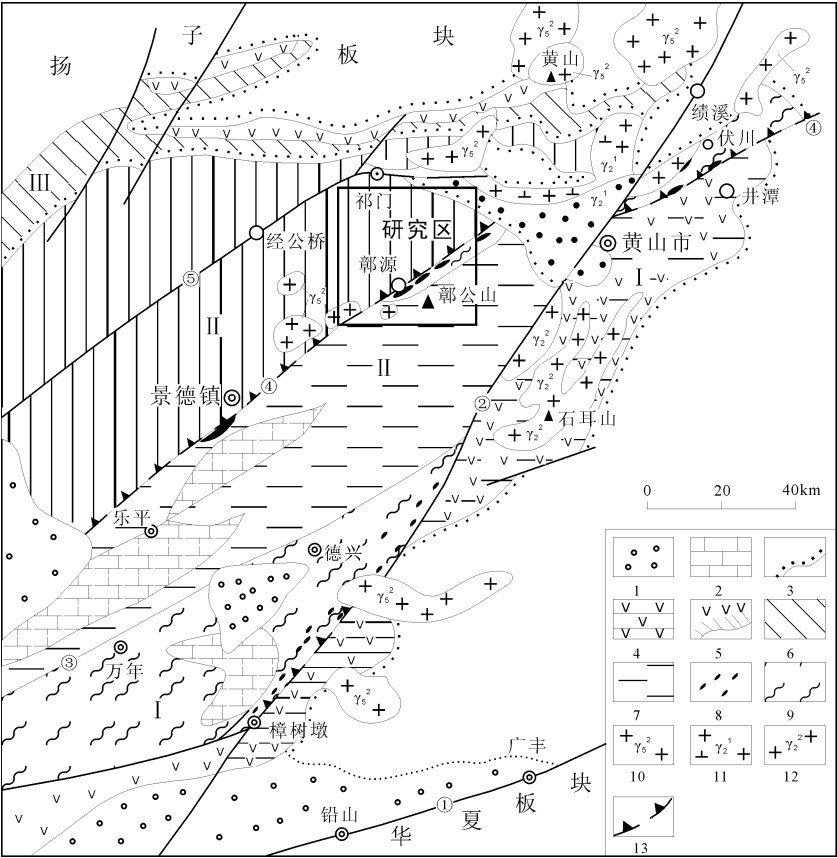


图 1 皖赣相邻区地质构造略图(据程光华等^[6]、余心起等^[23], 略改)

Fig. 1 Sketch map showing geological structures in the adjacent area of Anhui and Jiangxi provinces

(modified after CHENG Guanghua et al^[6] and YU Xinqi et al^[23])

1. 中新世; 2. 石炭系—三叠系; 3. 震旦系—下古生界; 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. 新元古界双桥山群火山沉积复理石; 7. 新元古界溪口岩群浅变质复理石; 8. 新元古代基性—超基性岩碎块; 9. 混杂岩带剪切基岩; 10. 燕山期花岗岩; 11. 晋宁期花岗岩闪长岩; 12. 晋宁期花岗岩; 13. 消减断裂带。扬子板块南缘新元古代活动陆缘: I. 皖浙赣岛弧褶皱带; II. 鄱公山陆缘弧后盆地冲褶带; III. 九岭陆缘褶皱带; 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

1.3 岩浆岩

研究区岩浆事件按造山作用旋回大致可分为两期: 一是晋宁期与板块俯冲作用相关的基性火山—侵入岩组合及酸性火山岩类; 二是燕山期与陆内伸展走滑作用有关的基性火山岩及中酸性侵入岩类。其中以燕山期中酸性侵入岩分布最具规模。区内岩浆活动从基性—中基性—中性—中酸性皆有不同程度表现, 岩浆岩出露面积约 70 km², 约占 4% 的基岩面积。

基性侵入岩北东—南西向呈构造岩块分布于研究区江潭—鄱源—瑶理一带木坑岩组中, 总体显示构造混杂岩带特征, 包括蚀变枕状—块状基性熔岩、角砾熔岩、辉长—辉绿岩等。中酸性侵入岩广泛分布于研究区南部瑶里—鄱公山一带, 位处鄱源及赣东北北东向深断裂带之间的鄱公山

大型复背形核部, 近东西向不连续出露, 呈岩株或岩瘤产出。

区内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, 多呈透镜体或似脉状沿浅变质碎屑岩区域面理北东东向展布。中酸性熔岩仅在江潭幅北缘石坑口可见, 岩性为流纹岩, 于双桥山群安乐林组浅变质凝灰质砂岩中呈近东西走向夹层产出, 该岩石与千枚状碎屑岩具一致变质变形特征。正常火山碎屑岩主要为酸性火山凝灰岩类, 在双桥山群各层位中均有不同程度分布。

2 双桥山群

2.1 时代厘定

在研究区采集了大量微古植物化石样品, 经

南京地质古生物研究所分析鉴定仅少数样品获得分异度低的疑源类化石：*Leiosphaeridia* sp.（光面球藻），*Laminarittes* sp.（拟昆布膜片），其中以前者居多。龚森等^[24]根据未见具刺疑源类或多细胞藻类碎片，认为研究区地层时代应是新元古代，而与已知安徽淮南地区刘老碑组的疑源类组合面貌较为接近。近年，江西省地质调查院在江西地区双桥山群中采获大量微古植物化石组合，可与蕲县青白口系微古植物群对比^[25-26]。

周效华等^[27]在双桥山群千枚状玻屑晶屑凝灰岩夹层中分别获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄（832.5 ± 9.5）Ma（安乐林组）及 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄（827.5 ± 4.1）Ma（安乐林组）和（830.4 ± 4.9）Ma（横涌组）；在变流纹岩中获得 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄（821.2 ± 4.6）Ma（安乐林组），在其中一安山岩夹层中获得 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄（822 ± 6）Ma，同时在双桥山群凝灰质砂岩中获得 SHRIMP 年轻碎屑锆石 U-Pb 年龄（837.8 ± 8.6）Ma（横涌组）及 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄（827.4 ± 6.6）Ma（安乐林组）。高林志等^[28]在研究区毗邻的 1:5 万桃墅店幅高滩一带计林组灰白色变沉凝灰岩中获得（831 ± 5）Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。WANG 等^[29]报道了双桥山群中石英角斑岩和流纹质凝灰岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为（878 ± 4）Ma 和（879 ± 5）Ma。上述年龄数据为准确标定双桥山群在地

层柱中的位置提供了时代依据，本区双桥山群原岩形成最可能时限在 821 ~ 832 Ma 之间，属晚青白口世。

2.2 地层特征

2.2.1 横涌组(Pt₃h)

研究区横涌组为一套以灰至青灰色为主间灰绿色的火山-陆缘碎屑岩建造，常含钙质砂岩透镜体，局部夹中基性火山熔岩。根据岩石组合特征可划分为三段。

横涌组下段(Pt₃h¹)：以江西省瑶里镇长明村—安徽省芦溪乡蕨基坦实测地质剖面(图 2)为代表。岩性为灰色/深灰色板岩、粉砂质板岩、绢云千枚岩、绢云石英千枚岩、粉砂质绢云石英千枚岩与灰绿色千枚状变细粒凝灰质砂岩、千枚状变细-粉砂岩，相互间或互层，或呈夹层产出。粉砂质板岩、板岩可见水平纹层、低角度交错层理、砂泥薄互水平层理构造，砂岩中可见粒序层理构造。该段分布于研究区西部查湾一带，构成查湾—流口镇—杭溪复背斜核部层位。由于后期褶皱叠加，其平面展布形态较为复杂，但总体仍呈近东西向分布，岩性横向延展稳定，纵向上上部层位砂质增高。研究区出露最大厚度 1 031 m。

横涌组中段(Pt₃h²)：以江西省瑶里镇长明村—安徽省芦溪乡蕨基坦实测地质剖面(图 2)和安徽省祁门县车田村—石坑口实测地层剖面(图 3)为代表。岩性为浅绿灰色细砂质绢云石英千枚岩、

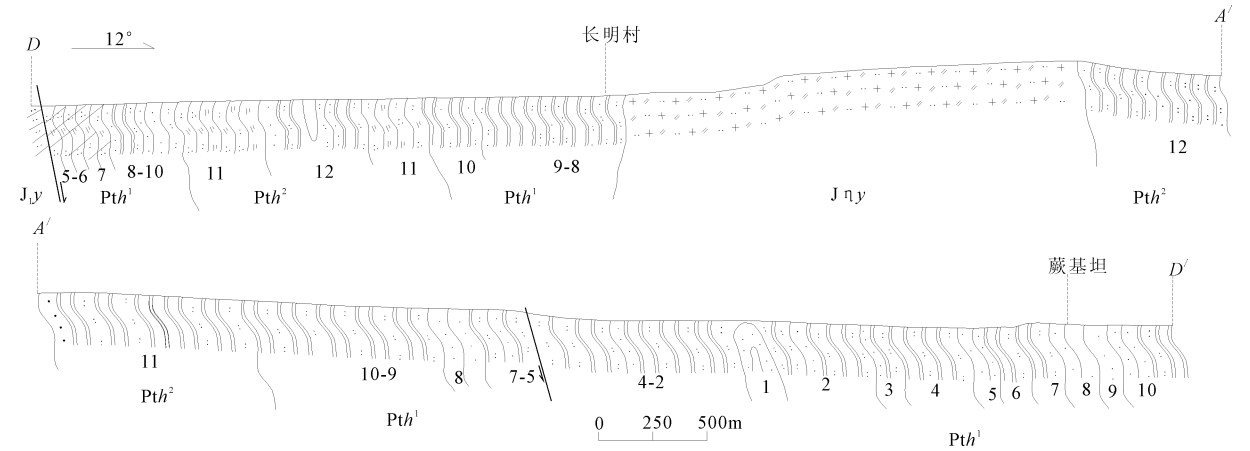


图 2 江西省瑶里镇长明村—安徽省芦溪乡蕨基坦横涌组实测地质剖面图

Fig. 2 The surveyed geological cross section of Hengyong Formation from Changming village of YaoLi in Jiangxi to Juejitan of Luxi in Anhui

1. 变凝灰岩与绢云千枚岩互层；2. 变凝灰质砂岩与石英绢云千枚岩互层；3、9、12、29. 凝灰质砂岩；4、7. 变凝灰质砂岩与粉砂质绢云千枚岩互层；5、6、10、18. 变凝灰质砂岩与绢云千枚岩互层；8、15、17、19. 变凝灰质砂岩；11、13、20. 绢云千枚岩；14. 石英绢云千枚岩与变凝灰质砂岩互层；16、21、22、23、26. 石英绢云千枚岩；24、28、30、31. 细砂质绢云石英千枚岩；25. 绢云石英绿泥千枚岩；27. 变晶屑玻屑凝灰岩；32. 变沉凝灰岩(未区分岩层颜色和夹层，详见文中；下文同)

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。该段以砂质成分增高为显著特点，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。纵横向变化较明显，横向上，祁红以西地带千枚状变(凝灰质)砂岩、粉砂质板岩岩层较多，且往往呈厚-块状层产出，以东流口一带含较多变粉砂-泥质岩类夹层。纵向上，自下而上碎屑粒度渐细，靠上部层位粉砂质板岩、板岩、千枚岩类明显占优势。总体上，自西向东、从下到上原岩碎屑粒度呈减小的趋势，显示海侵退积型地层结构特点。该段以底部发育延展较稳定的厚-块状变凝灰质砂岩层作为与下段的分界。研究区出露最大厚度为1 874 m。

横涌组上段(Pt₃h³): 以安徽省祁门县车田村-石坑口和祁红乡-上洲村实测地质剖面(图3、图4)为代表。岩性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。祁门县和村出露厚约数米的安山岩层，该段上部可见油泽

光亮的板岩及绢云千枚岩，当地百姓常用作建筑石材。该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。主要分布在查湾一流口镇-杭溪复式背斜两翼，呈近东西向展布。岩性纵横向延展较稳定，底部以灰黑色板岩层作为与中段的分界，顶部出现的具油脂光泽的板岩可作为与计林组的分界。研究区出露最大厚度1 485 m。

2.2.2 计林组(Pt₃j)

计林组为一套火山-陆缘细碎屑岩系。以安徽省祁门县祁红乡-上洲村和溶口乡-塘坑口实测地质剖面(图4、图5)为代表。岩石类型为紫灰色、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。岩层中变余水平纹层发育，与研究区毗连的经公桥可见平行层理、小型波状沙纹层理、包卷层理、斜层理等沉积构造。受褶皱及断裂构造影响，研究区计林组层位有较多缺失，横向上自西向东，灰白色、灰绿色(风化色)千枚状沉凝灰岩增多，紫色层碎屑岩减少或无。厚度322 m。

2.2.3 安乐林组(Pt₃a)

安乐林组为一套厚度大、以灰-深灰色、灰

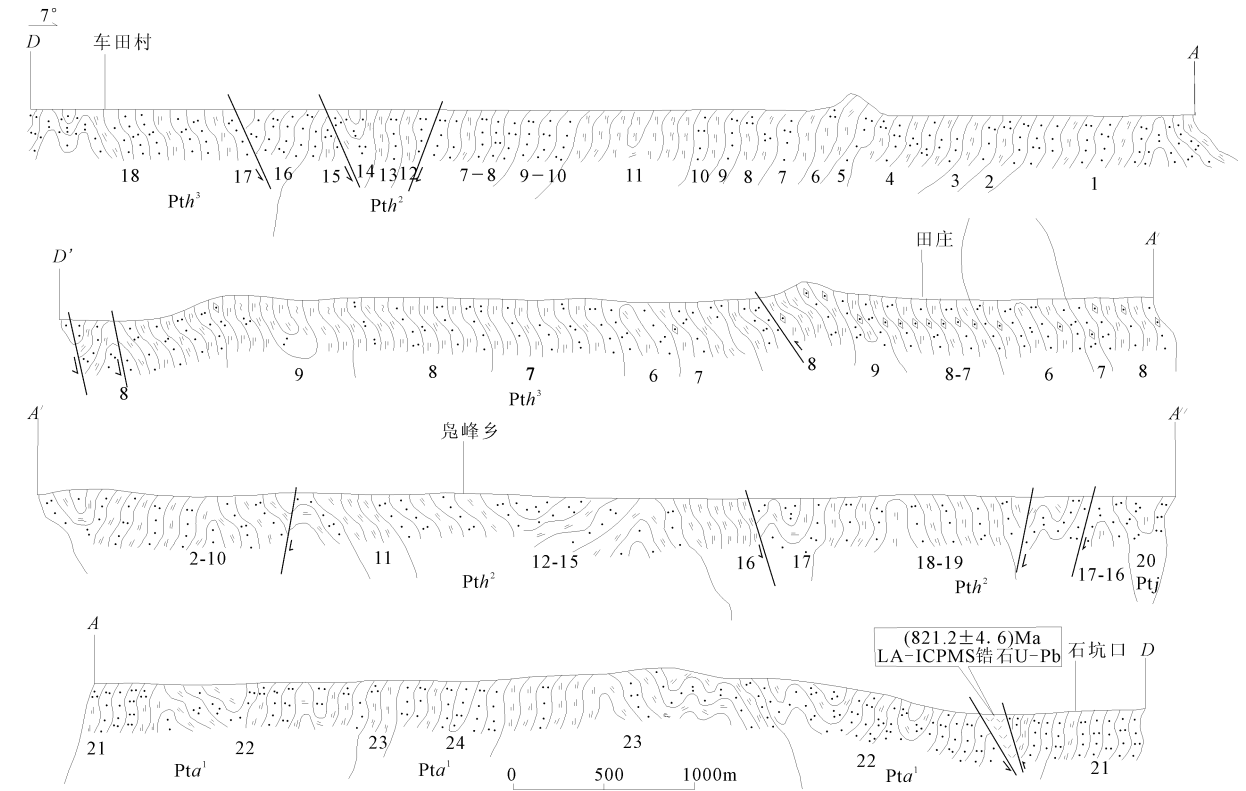


图3 安徽省祁门县车田村-石坑口双桥山群实测地层剖面图

Fig.3 The surveyed stratigraphic section of Shuangqiaoshan Group from Chetian village to Shikengkou in Qimen County, Anhui

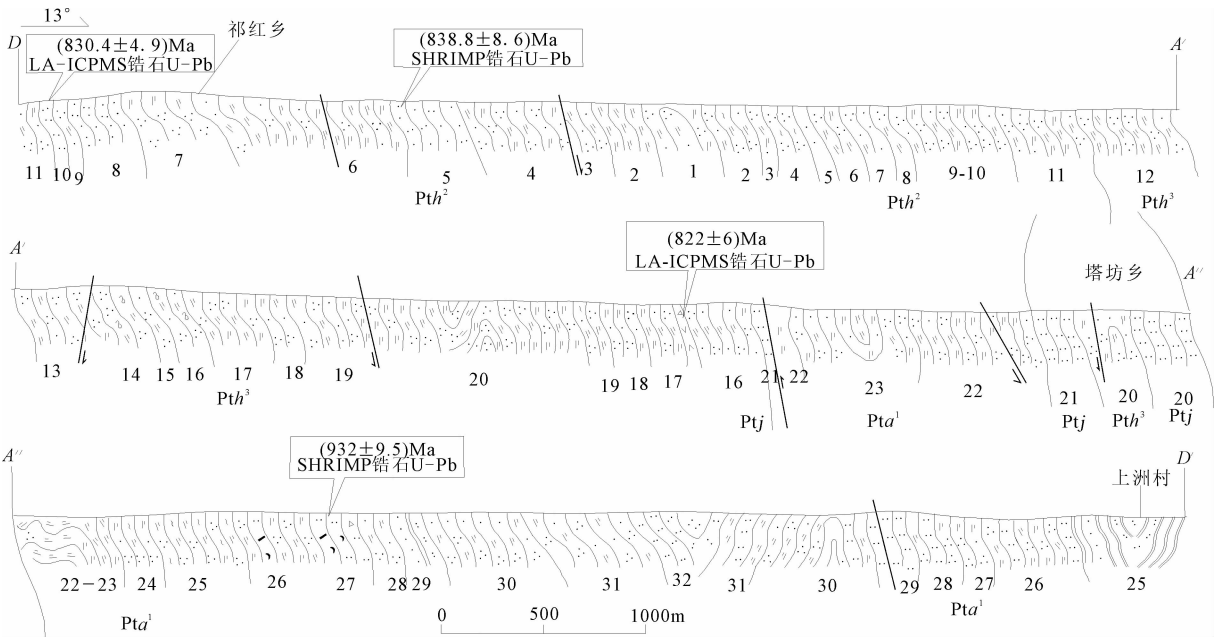


图 4 安徽省祁门县祁红乡—上洲村双桥山群实测地层剖面图

Fig. 4 The surveyed stratigraphic section of Shuangqiaoshan Group from Qihong township to Shangzhou village in Qimen County, Anhui

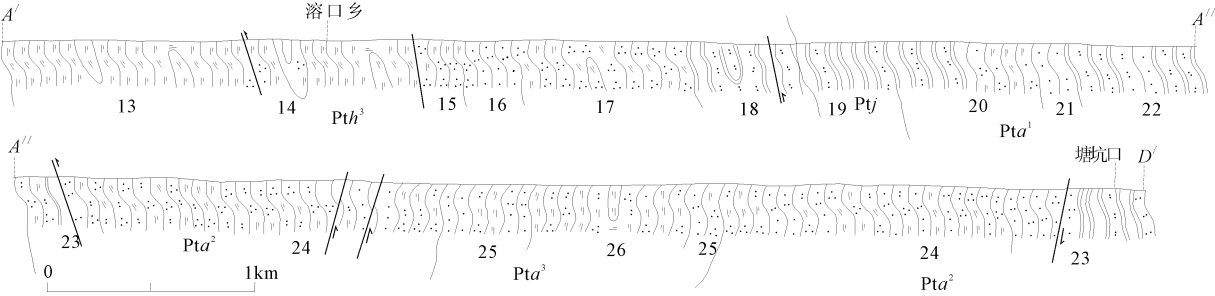


图 5 安徽省祁门县溶口乡—塘坑口双桥山群实测地层剖面图

Fig. 5 The surveyed stratigraphic section of Shuangqiaoshan Group from Rongkou township to Tangkengkou in Qimen County, Anhui

绿色泥砂质及火山质碎屑物为主的类复理石建造，常见钙锰质砂岩透镜体。岩层构造置换程度低，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。按其岩性组合特征可分为三段。

安乐林组下段(Pt_3a^1)：以安徽省祁门县祁红乡—上洲村实测地质剖面(图 4)和溶口乡—塘坑口实测地质剖面(图 5)为代表。岩性以灰绿色千枚状变(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、(深)灰色粉砂质板岩、板岩及少量的钙质砂岩透镜体。

岩性纵横向变化明显，研究区以西地带灰白色(风化色)千枚状变沉凝灰岩层较多，以东则以

灰绿色、灰色千枚状变凝灰质砂岩及板岩夹层居多；纵向上自下而上，碎屑粒度呈明显减小的趋势，板岩、千枚岩类夹层明显增多，灰白色(风化色)千枚状变沉凝灰岩层亦较下部层位多。该段构成研究区北端塔坊—大坞口向斜的翼部层位，顶部以发育黄绿色的绢云千枚岩作为与安乐林组中段的分界。研究区出露厚度 1 177 m。

安乐林组中段(Pt_3a^2)：以安徽省祁门县车田村—石坑口和溶口乡—塘坑口实测地层剖面(图 3、图 5)为代表。岩性为灰绿色、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少量的钙质砂岩透镜体。该段上部含有延伸稳定的灰黑色板岩，以此作为

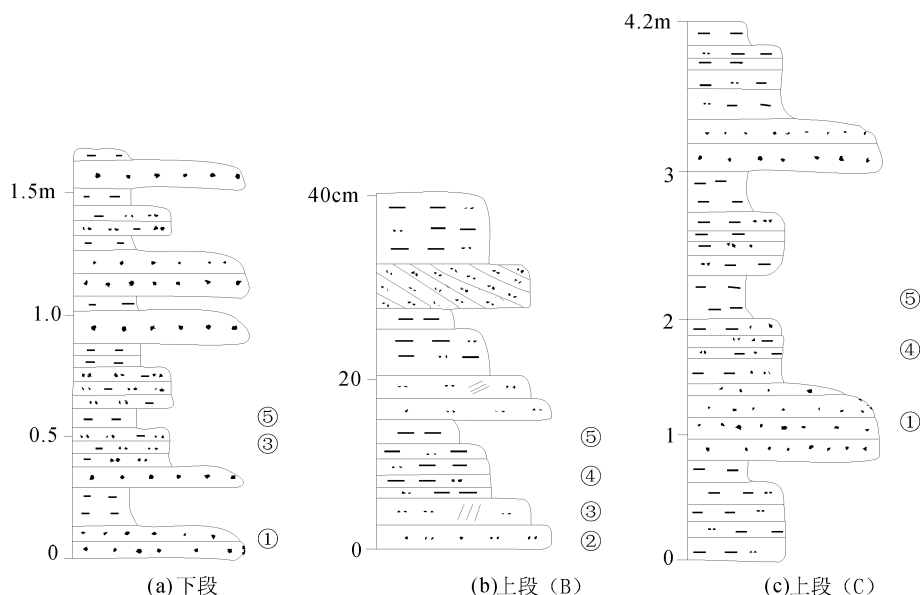


图6 横涌组下段(Pt_3h^1)、上段(Pt_3h^3)基本层序图

Fig. 6 The basic sequence diagram of the top and bottom of Hengyong Formation

- ① 千枚状变砂岩; ② 千枚状含砂粉砂岩; ③ 千枚状变粉砂岩、粉砂质绢云石英千枚岩;
④ 含细砂粉砂质板岩、粉砂质板岩; ⑤ 板岩、绢云千枚岩; 下文同

与安乐林组上段的分界。该段出露厚度 758 m。

安乐林组上段(Pt_3a^3): 研究区出露不全, 仅少量分布于研究区西北角, 以安徽省祁门县溶口乡一塘坑口实测地质剖面(图 5)为代表。岩性为灰绿色细砂质绢云石英千枚岩、粉砂质绢云石英千枚岩夹灰绿色绢云千枚岩。与研究区毗连的北部及西部一带广泛出露灰绿色厚层状变余含泥砾岩屑砂岩、变余细粒钙质凝灰质岩屑砂岩夹深灰色中薄层状粉砂质板岩。研究区该套地层构成轴向北东向向斜核部地层, 出露厚度约 197 m。

3 基本层序特征

3.1 横涌组(Pt_3h)

横涌组下段(Pt_3h^1): 基本层序如图 6(a)所示, 由细粒凝灰质砂岩(灰绿色千枚状变凝灰质砂岩)与粉砂质泥岩(粉砂质千枚岩)、泥岩(绢云千枚岩)构成沉积韵律, 砂岩具平行层理、斜层理、粒序层理构造。

横涌组中段(Pt_3h^2): 表现“鲍马层序”特征(图 7), 可分 A、B、C 三种。基本层序 A 由“鲍马序列”a-c-d 段构成(图 7(a)), a 段为具粒序层理含砾千枚状变中-细砂岩, 厚 20~30 cm, 砾石成分主要为泥板岩; c 段为浅灰绿色千枚状含砂粉砂岩, 厚 8~15 cm, 发育小型斜层理; d 段为灰色粉砂质板岩夹凝灰质板岩, 厚 2~7 cm, 水平

层理较发育。基本层序 B 由 a-b-d-e 段构成(图 7(b)): a 段由浅灰色千枚状中粒凝灰质砂岩-浅灰色千枚状细粒凝灰质砂岩构成粒序层理, 厚度 50~90 cm; b 段为浅灰绿色粉砂质绢云石英千枚岩和千枚状变粉砂岩, 厚 40~60 cm, 水平层理发育; d 段为灰色粉砂质板岩或石英绢云千枚岩, 厚 20~40 cm, 部分可见水平层理; e 段为深灰色板岩, 厚 5~10 cm。基本层序 C, 由 a-b-d 段构成(图 7(c)): a 段为灰绿色千枚状变细砂岩和细砂质绢云石英千枚岩, 可见粒序层理, 厚度 60~80 cm; b 段为浅灰绿色含砂粉砂质绢云石英千枚岩和粉砂质板岩, 厚 30~55 cm, 局部小于 10 cm, 水平层理发育; d 段为浅灰色绢云千枚岩, 厚 2~10 cm。

横涌组上段(Pt_3h^3): 基本层序 B、C 如图 6(b)和(c)所示, 其中基本层序 B 由平行层理砂质粉砂岩(千枚状变含砂粉砂岩)-平行层理、斜层理、变形层理粉砂岩-水平层理粉砂质泥岩(粉砂质板岩、粉砂质绢云石英千枚岩)-水平层理泥岩(板岩、绢云千枚岩)等组成向上变细旋回或半旋回型沉积层序, 单个旋回厚 15~30 cm。该层序类型多分布于上段上部层位。基本层序 C 由变余水平层理粉砂质板岩、含砂粉砂质板岩、千枚岩、板岩夹平行层理千枚状变砂岩组成旋回性沉积层序, 单个层序厚 120~150 cm。该层序多见于横涌

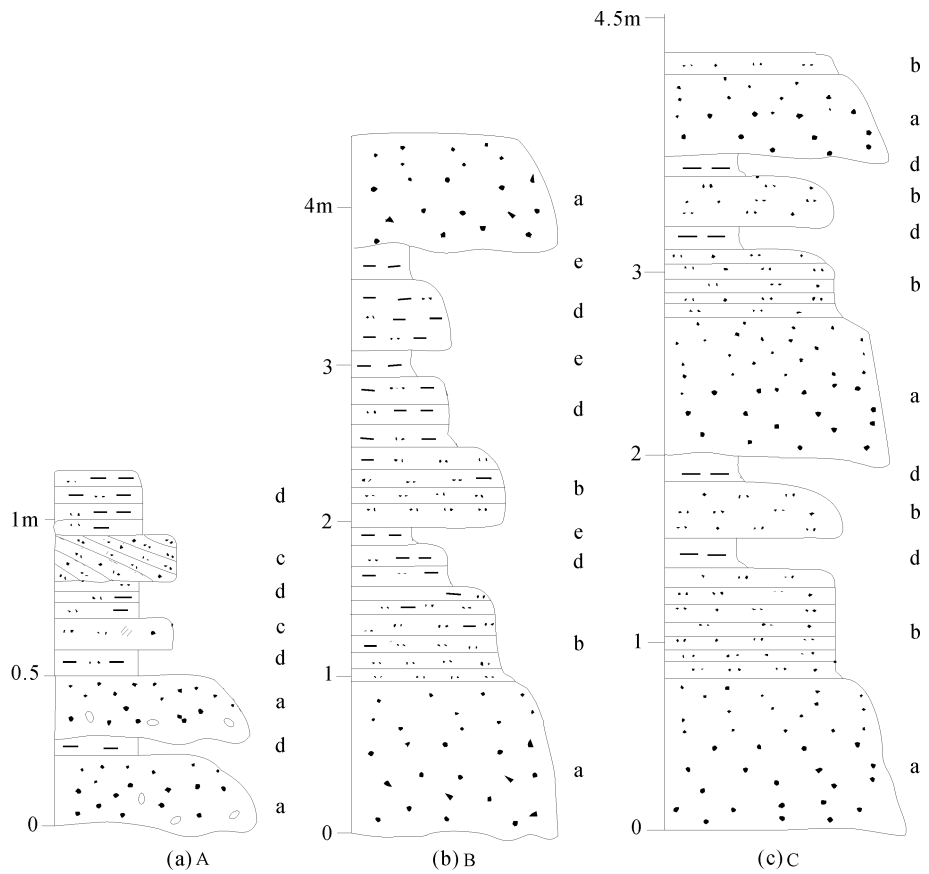


图 7 横涌组中段(Pt_3h^2)基本层序图

Fig. 7 The basic sequence diagram of the middle of Hengyong Formation

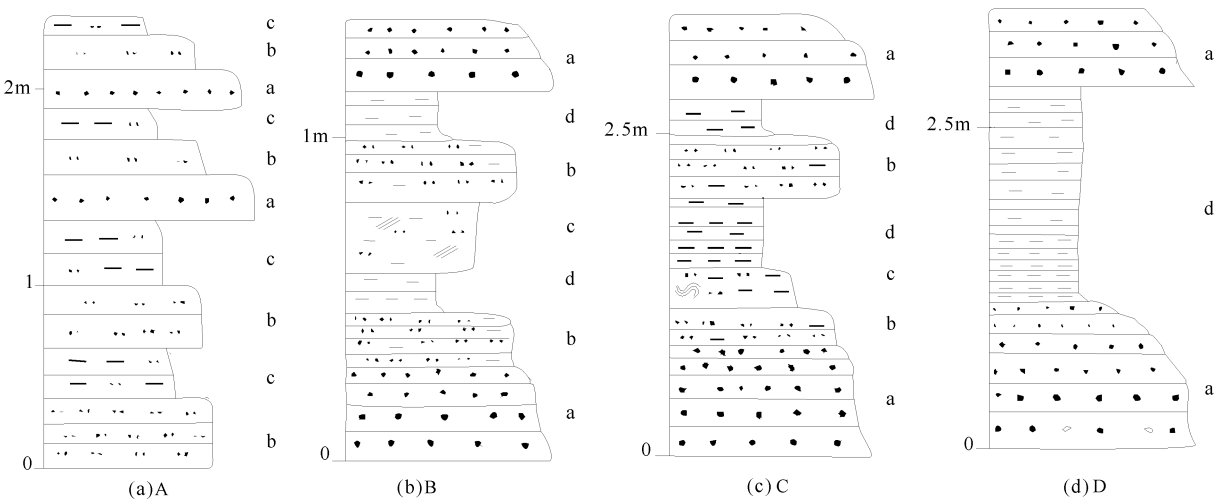


图 8 计林组(Pt_3j)基本层序图

Fig. 8 The basic sequence diagram of Jilin Formation

组下部层位。

3.2 计林组(Pt_3j)

研究区计林组(Pt_3j)出露较差,可识别的基本层序主要有一种形式 A(图 8(a)),但在紧邻研究区东侧的经公桥一带,计林组出露较好,基本层

序主要有 B、C、D 三种形式(图 8(b)–(d))。

基本层序 A,由块状层理、平行层理、小型交错层理细砂岩(灰绿色千枚状变细砂岩)–水平层理泥质粉砂岩(粉砂质绢云石英千枚岩)–水平层理粉砂质泥岩(粉砂质板岩)组成韵律或半旋回

型沉积层序, 单个旋回厚 40 ~ 100 cm。该层序一般在计林组下部层位多见。基本层序 B, 由灰绿色中厚层状变余杂砂岩、千枚状变粉砂岩与灰绿色砂质板岩和粉砂质板岩、板岩组成半旋回性沉积层序, 见粒序层理、平行层理、斜层理, 单个旋回厚 50 ~ 80 cm。基本层序 C, 由灰绿色中厚层状变余杂砂岩、浅灰绿色千枚状变粉砂岩与灰绿色粉砂质板岩、板岩组成韵律互层, 见粒序层理、平行层理、变形层理等, 单个韵律厚 150 ~ 250 cm。基本层序 D, 由灰绿色中厚层状含泥砾变余杂砂岩与浅灰色板岩组成韵律层, 见粒序层理, 单个韵律厚 200 ~ 300 cm。

3.3 安乐林组(Pt_3a)

安乐林组下段(Pt_3a^1): 显示“鲍马层序”特征(图 9), 可辨别两种组合类型。基本层序 A: 由“鲍马序列”a-b-c-d 段构成, a 段为灰绿色千枚状变砂岩和千枚状变含砾砂岩, 砾石主要为泥质板岩, 含量 5% ~ 10%, 厚 20 ~ 25 cm, 发育粒序层理; b 段为灰绿色千枚状变粉砂岩、千枚状变含砂粉砂岩, 厚 20 ~ 50 cm, 发育水平层理; c 段为千枚状变粉砂岩、粉砂质板岩, 厚 4 ~ 10 cm, 发育小型斜层理、包卷层理; d 段为灰色、深灰色粉砂质板岩夹粉砂质绢云千枚岩, 厚 2 ~ 6 cm。基本层序 A 主要出露于安乐林组下段下部。基本层序 B: 由 a-b-c-e 段构成, a 段为灰绿色千枚状变细砂岩和千枚状变含砾砂岩, 砾石主要为泥质板岩, 发育粒序层理; b 段为灰绿色细砂质绢云石英千枚岩, 厚 30 ~ 40 cm, 发育水平层理; c 段为浅灰绿色千枚状变粉砂岩、粉砂质绢云石英千枚岩, 厚 15 ~ 25 cm, 发育小型斜层理、包卷层理; e 段为灰色、深灰色板岩夹绢云千枚岩, 厚 10 ~ 30 cm。基本层序 B 主要出露于安乐林组下段上部。

安乐林组中段(Pt_3a^2): 基本层序如图 10 所示, 可分两种类型。基本层序 A, 由平行层理含砂粉砂岩(灰绿色千枚状变含砂粉砂岩)-水平层理粉砂质泥岩(浅灰色粉砂质板岩、粉砂质绢云千枚岩)-水平纹层泥岩(灰色、深灰色板岩和绢云千枚岩)构成向上变细旋回或半旋回型沉积层序, 单个旋回厚 30 ~ 50 cm。该层序主要出露于本段下部。基本层序 B, 由粒序层理、平行层理细砂岩、杂砂岩(灰绿色千枚状变细砂岩、细砂质绢云石英千枚岩)-水平层理泥质粉砂岩(粉砂质绢云石英千枚岩)-水平层理粉砂质泥岩(浅灰色粉砂质板

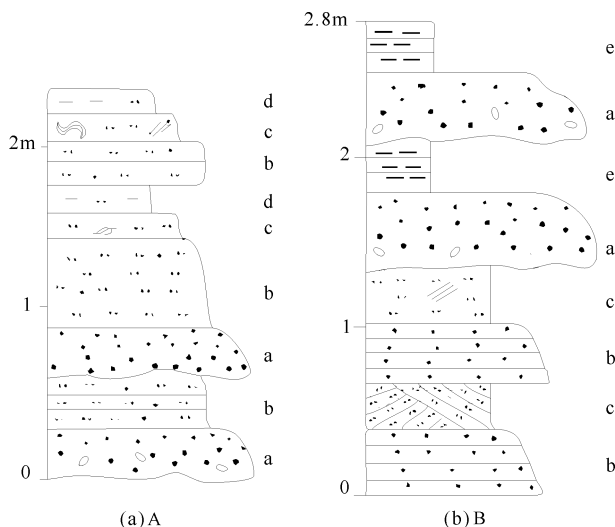


图 9 安乐林组下段(Pt_3a^1)基本层序图

Fig. 9 The basic sequence diagram of the bottom of Anlelin Formation

岩、粉砂质绢云千枚岩)-泥岩(灰色、深灰色板岩和绢云千枚岩)构成向上变细旋回或半旋回层序, 单个旋回厚 200 ~ 250 cm。该层序主要出露于本段上部。

安乐林组上段(Pt_3a^3): 显示“鲍马层序”特征(图 11), 可分为两种类型。基本层序 A: 由“鲍马序列”a-b-d、b-d 段构成; a 段为灰绿色千枚状变砂岩和细砂质绢云石英千枚岩, 厚 16 ~ 30 cm, 发育粒序层理; b 段为灰绿色千枚状变粉砂岩、千枚状变含砂粉砂岩, 厚 10 ~ 15 cm, 部分发育水平层理; d 段为灰色、深灰色板岩夹绢云千枚岩, 厚 4 ~ 10 cm。该层序主要出露于本段上部。基本层序 B: 主要由 a-b 段构成, 另有零星可见的 a-b-d 段组合; a 段为灰绿色千枚状变细砂岩和细砂质绢云石英千枚岩, 厚 30 ~ 80 cm, 发育粒序层理; b 段为浅灰绿色粉砂质绢云石英千枚岩, 厚 10 ~ 30 cm, 发育平行层理构造; d 段为灰色、深灰色板岩和绢云千枚岩, 厚 3 ~ 8 cm。该层序主要出露于本段上部。

4 沉积环境分析

张彦杰等^[19]对研究区双桥山群中变泥砂质岩石的地球化学特征进行了系统的研究, 结果显示浅变质碎屑岩物源主要来自长英质岩石组成的后太古宙上地壳。碎屑锆石 U-Pb 年龄主要集中在 826 ~ 2 600 Ma 之间, 出现显著的 5 个峰值, 即 2 500 Ma、2 000 ~ 2 200 Ma、1 800 Ma、960 Ma 和

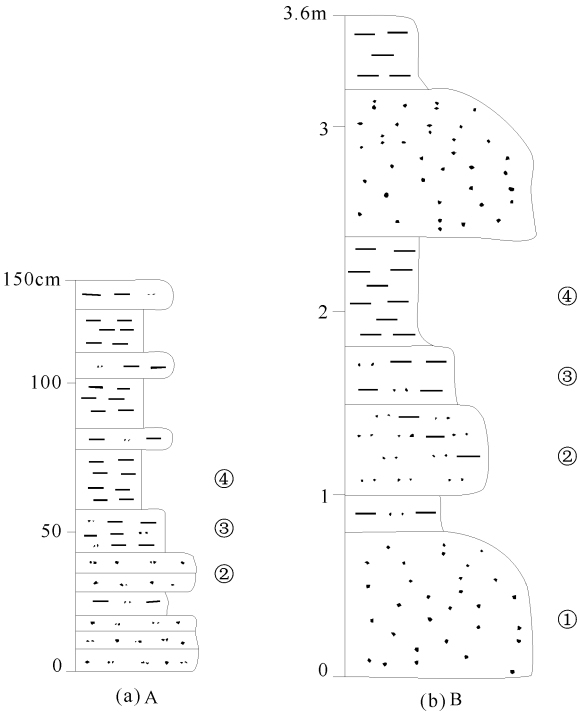


图 10 安乐林组中段(Pt_3a^2)基本层序图

Fig. 10 The basic sequence diagram of the middle of Anlelin Formation

① 千枚状变细砂岩、细砂质绢云石英千枚岩；② 千枚状变含砂粉砂岩；③ 粉砂质板岩、粉砂质绢云千枚岩；④ 板岩和绢云千枚岩

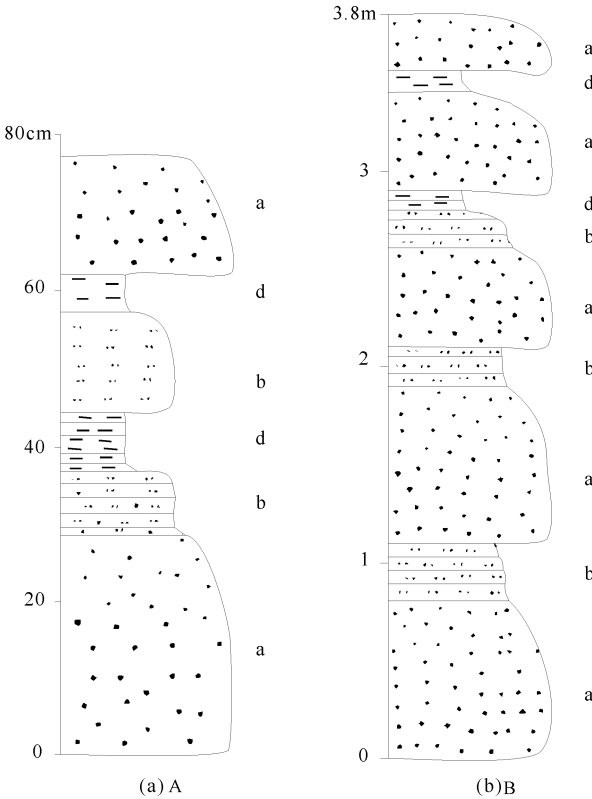


图 11 安乐林组上段(Pt_3a^3)基本层序图

Fig. 11 The basic sequence diagram of the top of Anlelin Formation

827 ~ 841 Ma，绝大多数为年轻锆石，且其 U-Pb 年龄多与碎屑岩密切共生的火山岩夹层年龄相近，反映浅变质碎屑岩物质主要来源于同时代火成岩类区内浅变质火山 - 陆缘细碎屑岩。双桥山群原岩沉积构造环境与大陆岛弧关系较密切，显示板块俯冲阶段的沉积特征。

区内双桥山群垂向沉积充填特征基本反映了盆地演化的挤压抬升萎缩阶段。该沉积演化阶段，形成机制为地幔岩浆活动，释放了地幔热柱大量的热能，壳下热对流强度减弱，从而导致初始洋盆不再扩张或壳下热对流方式改变，盆地带地壳收缩，构造变形场由伸展转化为收缩体制，初始洋壳发生有限俯冲。以鄯源基性杂岩为代表，俯冲消减使初始洋盆不断狭缩，转化为大陆边缘海盆环境，该构造盆地沉积响应形成新元古界双桥山群，为一套陆棚斜坡 - 滨浅海相火山 - 陆缘碎屑岩为主的复理石建造^[14-15, 17]。持续的俯冲使弧 - 陆碰撞，最终导致该裂解小洋盆萎缩闭合，区域上安乐林组与上覆历口群角度不整合接触界面是该小洋盆消亡的记录。根据研究区双桥山群沉积物质组合及沉积构造，具体可划分出 4 个阶段

的沉积相(图 12)。

4.1 次深海 - 陆棚边缘斜坡相

对应沉积体为横涌组下、中段，岩性主要为灰色、灰绿色、灰黄色粉砂质板岩、板岩、含砂粉砂质板岩与千枚状变细粒砂岩、含砂粉砂岩，相互间或成夹层产出，或为互层。总体上，横涌组下段表现为泥、砂互层组合特征，偶见变含泥砾砂岩；中段显示砂质成分较多的特点。砂岩往往显粒序层理，粉砂质板岩、板岩可见水平纹层、低角度交错层理构造。碎屑多呈次棱角状，分选差，成分组成中含有较多长石及岩屑，显示快速沉积特征。可见“鲍马序列”a - d、a - d - e、d - e 段组合层序。综上认为，横涌组下、中段形成于次深海 - 陆棚边缘斜坡相带。

4.2 浅海陆棚相

横涌组上段沉积主要为灰、灰黑色粉砂质板岩、板岩夹变余细粒凝灰质砂岩、变余粉砂岩等，另可见含菱铁矿变砂岩及变余钙质砂岩透镜体。具砂泥薄互水平层理、水平纹层及小型交错层理构造。总体显示物源充足、水体相对稳定的陆棚碎屑岩沉积。横涌组上段上部可见油泽光亮的板

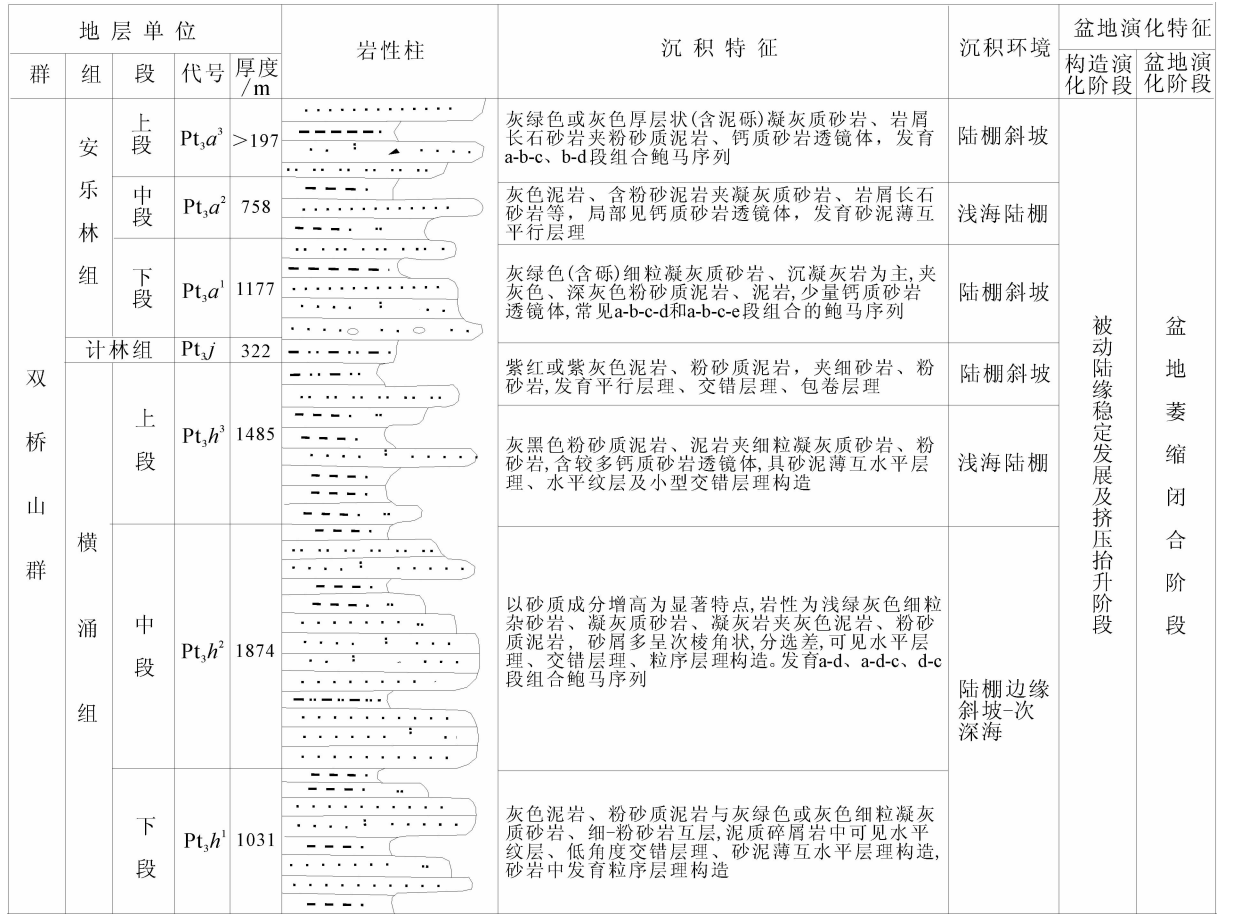


图 12 皖赣相邻区双桥山群地层综合柱状图及沉积盆地演化过程

Fig. 12 The synthetic stratigraphic column and sedimentary basin evolution process of Shuangqiaoshan Group in the adjacent area of Anhui and Jiangxi

岩及绢云千枚岩,可能属最大海侵阶段沉积层。

4.3 陆棚斜坡相

计林组为一套紫红、紫灰色泥质板岩、粉砂质板岩,夹灰绿色、灰黄色粉砂质板岩及变余细粒砂岩,在研究区西邻的经公桥可见平行层理、小型波状沙纹层理、斜层理、包卷层理等沉积构造,研究区可见粒序层理、水平纹层构造。上述特征表明计林组属陆棚斜坡相沉积。

4.4 陆棚斜坡相 - 陆棚相

区内安乐林组下段和上段主要为砂质夹泥质碎屑岩,岩性主要为灰绿色、灰色厚层状千枚状变凝灰质砂岩、变中细粒岩屑长石砂岩夹同色粉砂质板岩、凝灰粉砂质板岩、凝灰质千枚岩、变余钙质砂岩透镜体,局部可见块状层含泥砾中粗粒凝灰质砂岩。岩石结构及成分成熟度较低,碎屑大都呈棱角状 - 次棱角状,成分组成中含有较多岩屑和长石。粗碎屑岩中可见粒序层理构造,相对细碎屑岩具平行层理、水平纹层构造。常见

“鲍马序列”a - d、b - d 段组合。

安乐林组中段主要为灰色板岩、含粉砂绢云千枚岩、绢云千枚岩、粉砂质板岩夹千枚状变凝灰质砂岩、变岩屑长石砂岩等,局部见钙质砂岩透镜体,发育砂泥薄互平行层理构造。

结合邻区安乐林组沉积特征认为,安乐林组下段和上段属陆棚斜坡相沉积,中段属水体相对稳定的浅海陆棚相沉积,总体上,从早期至晚期沉积环境由浅变深,再由深变浅,之后有一明显的快速海退过程,但未出露水面遭受剥蚀。研究区该组未见顶,但区域上与历口群呈角度不整合接触。

5 沉积类型与沉积作用分析

研究区双桥山群非重力流沉积主要为条带状层理和水平层理,重力流沉积以浊流和部分砂质碎屑流发育为特征。

非重力流沉积,主要为条带状层理和水平层

理, 它们是深水正常沉积的标志, 在双桥山群各组中均有发育。纵向上由颜色和岩性差异形成的条带状层理呈韵律频繁出现, 往往与构造环境变化、海平面波动及陆源物质注入有关, 可据条带宽度划分为窄条带层理与宽条带层理两个基本类型。(1)窄条带层理, 宽度 $<1\text{ cm}$, 间隔 $\approx 2\text{ mm}$, 延伸平整呈席状分布, 并与变砂岩共生, 韵律比较对称, 基本上不受外界的影响, 由盆内微弱和频繁的变动所产生, 常为静水形成标志;(2)宽条带层理, 宽度 $>1\text{ cm}$, 内部岩性和颜色有差异, 常与浊流细碎屑岩系和变形层理共生, 其形成环境应位于相对陆源组分供应较充足的斜坡地带, 由海水间歇性地供给^[30]。水平纹层和窄条带层理尤其在横涌组的粉砂质板岩中广为发育, 是在相对较深海静水环境下形成; 而安乐林组中发育的宽条带层理, 则主要反映海平面低、陆源物质充足。

最近 20 多年国内外深水沉积学研究进展之一即“鲍马序列”的成因存在多解性, 其既可为一次事件由浊流作用形成^[31], 也可经多次沉积事件由碎屑流和底流共同作用产生^[32-33]。“鲍马序列”a 段中有递变正粒序者为浊流成因, 无递变正粒序者特别是其中具泥岩碎屑或漂浮石英砾石的块状砂岩则应为砂质碎屑流成因, 所谓“高密度浊流”实际为砂质碎屑流成因; b-d 段中无正粒序的交错层理, 亦非浊流成因, 而更可能为底层牵引流沉积产生, 但其中具爬升纹层的深水砂岩应是浊流沉积产物; 而 e 段也更可能为(半)远洋泥质沉积^[34-35]。

浊流原始定义中指出浊流属牛顿流体, 现认为其是一种有牛顿流和紊流状态的沉积物重力流, 正粒序为鉴定浊流沉积的最重要依据^[31, 36]。浊积岩仅为浊流作用形成的沉积物, 无复杂的颗粒悬浮层和碎石浮层/漂浮碎屑, 不发育逆粒序^[34]; 交错层理和有波痕的细粒沉积等深水牵引构造更可能为深水底层流成因^[32]。砂质碎屑流则具多种沉积物支持机制(内聚强度、摩擦强度及浮力)^[33, 37], 其形成无需如颗粒流所需的陡坡环境或粘结性碎屑流所需的高基质含量, 可形成深水环境中无沉积构造的块状砂岩^[32]。

浊流沉积作用形成具有水道与叶状体的海底扇; 砂质碎屑流占主导的斜坡环境中, 还存在滑塌及底流改造等作用过程, 于平面上形成孤立/叠加/席状舌状体, 对应于剖面上孤立/叠加的透镜体或侧向连续的席状体^[32]。

研究区“鲍马序列”相应的 a 段由砂砾岩、含砾砂岩及粒序层理杂砂岩组成, 相应的 b、c、d、e 段由具平行层理的细砂岩与斜层理、波状层理发育的粉砂岩及水平层理发育的粉砂岩和泥质粉砂岩组成^[38], 多以间断不完整序列为主, 早、中期以远源为主, 晚期以近源为特点, 岩性总体上碎屑粒度由细变粗, 与区域上一致, 由远基向近基演化。

横涌组中、下段砂岩均呈粒序层理, 见含泥砾变砂岩, 特别是中段为分选差的次棱角状长石、岩屑, 且底部局部见延展稳定的厚块状变凝灰质砂岩。“鲍马序列”a 段的中-细砂岩下部亦含泥质板岩砾石, 同时显示砂质碎屑流沉积特征; (粉)砂质板岩中发育低角度交错层理, 但“鲍马序列”b→e 段均显示递变正粒序, 应为浊流成因; 上段主要岩性板岩夹粉砂岩中发育小型交错层理, 可见含菱铁矿砂岩透镜体。总体由下至上砂质碎屑流减少, 碎屑粒度也渐小, 浊积岩相对厚度增加。

计林组中厚层状杂砂岩中发育粒序层理, 且含泥砾, 应存在砂质碎屑流; 发育由细砂岩到泥质粉砂岩到粉砂质泥岩正粒序, 下部发育块状层理、小型波状砂纹层理和交错层理, 主要为浊流成因。

安乐林组下段和上段均显示“鲍马层序”, a 段中均发育粒序层理, 下段砂岩中含泥质板岩砾石, 上段粒度相对变细; b→e 段由含砂粉砂岩到泥质板岩均呈现递变正粒序, 下段发育小型斜层理和包卷层理, 上段则仅发育平行层理和水平层理; 中段呈现向上变细旋回, 局部见砂岩透镜体。这指示安乐林组下段中除浊流作用外应还存在砂质碎屑流作用, 而上段中则应以浊流作用为主, 但整体由下至上砂质碎屑流沉积相对厚度增加, 粗粒碎屑粒径由大变小, 而浊积岩中泥质成分变少或无, 层理厚度由窄变宽, 反映水动力条件增强。局部见块状层含泥砾中粗粒凝灰质砂岩。岩石结构及成分成熟度较低, 碎屑大都呈棱角状-次棱角状, 成分组成中含有较多岩屑和长石。

研究区早期发育既有缺底的也有缺顶的“鲍马序列”, 反映在构造比较动荡的环境中, 不时发生阵发性的浊流事件和砂质碎屑流作用, 可能该阶段处于构造间歇期沉积向着远源趋势发展; 而中期随着构造活动增强, 海平面退至氧化还原界面深度, 沉积作用向海方进积; 晚期构造活动进一

步加剧,以近源为特点的具递变层理的中、细砂岩,出现以底为主、缺顶的“鲍马序列”类型。

发育于次深海-浅海的“鲍马层序”沉积,本身是构造作用、海平面变化、物质供给等相互作用的结果,本区向上变厚、变粗的“鲍马层序”演化特点明显受控于沉积物类型、构造环境和海平面变化,且以剧烈的构造活动、海平面不断下降为主要原因。

完整的“鲍马序列”,随浊流流速衰减依次沉积各端并在远端依次超覆,经过浊流强度强弱程度的交互形成;不完整间断的“鲍马序列”,或缺顶(底)或跳跃序列组合,其形成原因对于远源细粒浊积岩而言,为浊流强度迅速衰减的结果,或叠加多个浊流事件,或易受其他事件(如等深流、底流及深海暴流)干扰;对于近源粗粒浊流沉积而言,则可能受构造活动环境的影响较大。

据研究区沉积特征推测,横涌组中近源间断不完整“鲍马序列”的形成是洋壳有限俯冲环境之反映;安乐林组中间断近源砂质不完整“鲍马序列”,是受俯冲构造活动影响之后洋盆狭缩海退环境下的沉积产物。这也与关于研究区古华南海新元古代陆缘俯冲作用同位素年代学研究结果,即双桥山群形成年龄约束的最佳估计值在 821 ~ 832 Ma 之间、且陆缘小洋盆开始俯冲的时间不应小于 $(832.5 \pm 9.5 \text{ Ma})^{[17]}$ 相一致。

6 沉积作用与大地构造演化

横涌组由下至上,岩性颜色由(深)灰经灰绿-灰-黄绿到灰(黑);沉积碎屑成分由砂质渐多经粉砂泥质渐细到泥质含量高,并于上段见含磷铁矿及钙质砂岩透镜体,显示海侵退积型地层结构特点;火山碎屑物质有逐渐增多趋势,且于上段局部发现安山熔岩层,于中段见西部较东部凝灰质成分为多。

计林组岩性颜色以紫灰-灰绿色为主,含凝灰岩,自西向东灰白/绿色凝灰岩增多,紫色碎屑岩减少。紫红色层与灰绿色层共生,可以作为 Fe^{3+} - Fe^{2+} 氧化还原界面深度标志^[30],由此可知海退程度。

安乐林组由下至上,岩性颜色由灰白/绿色经灰/黄绿色至灰绿色夹(深)灰色;沉积碎屑成分由碎屑颗粒明显减小经粉砂质泥质千枚岩板岩到较多粗碎屑,显示海退进积型沉积结构特征;火山碎屑物质以凝灰岩为主,并逐渐减少,且由西

向东沉凝灰质成分渐少。

研究区双桥山群整体近东西向分布,由下到上,沉积碎屑颗粒变粗,显示海退进积型沉积特征;由下向上、由西向东,随南东向北西地层变新,火山熔岩及火山碎屑成分逐渐减少,渐远离火山碎屑物源,暗示火山作用由南西开始扩散,这也与研究区处于江南造山带北东段的大地构造位置相协调。研究区南西向双桥山群多发育海退进积型碎屑粒度向上变粗的大陆斜坡海底扇体,其杂砂岩地球化学组成特征类似岛弧环境^[30];双桥山群沉积特征反映初始洋壳向北有限俯冲使洋盆不断狭缩逐渐转变为大陆边缘海盆的过程,为陆缘弧构造-沉积环境,这与其地球化学特征的分析结果一致^[19],也是这一结论的进一步有力佐证。

7 结 论

综上所述,可以得出以下三点认识:

(1)根据由下至上垂向沉积特征,研究区双桥山群可划分为次深海-陆棚边缘斜坡相、浅海陆棚相、陆棚斜坡相、陆棚斜坡相-陆棚相 4 个沉积相,整体呈碎屑颗粒向上变粗的海退进积型沉积特征,反映海盆演化已走向萎缩闭合阶段。

(2)由沉积类型与沉积作用分析可知,横涌组和安乐林组中近源间断不完整“鲍马序列”,主要为浊流和部分砂质碎屑流成因,分别形成于古华南海新元古代陆缘俯冲作用下有限俯冲过程中和俯冲之后洋盆狭缩海退环境。

(3)从火山作用随沉积作用协同演化角度对沉积作用与大地构造的关系分析来看,源于洋壳俯冲作用的火山活动可能始于研究区南西;由下向上、由西向东,随南东向北西地层变新,火山熔岩及火山碎屑成分逐渐减少,反映洋壳向北有限俯冲使洋盆不断狭缩逐渐转变为大陆边缘海盆的陆缘弧构造-沉积环境。

致谢:感谢审稿专家提出的宝贵意见!

参考文献:

- [1] 刘英俊,孙承轅,马东升.江南金矿及其成矿地球化学背景[M].南京:南京大学出版社,1993:251-260.
- [2] 于津海,魏震洋,王丽娟,等.华夏地块:一个由古老物质组成的年轻陆块[J].高校地质学报,2006,12(4):440-447.
- [3] 晏俊灵,江俊杰,张娟,等.江西省东乡火山岩区成矿地质、地球化学特征及找矿潜力[J].物探与化探,2012,36

(4): 534–538.

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

[5] 包超民, 许红根, 程光华. 华南中部造山带地层层序划分对比和南华系底界的讨论 [J]. 资源调查与环境, 2002, 23(2): 84–87.

[6] 程光华, 汪应庚. 江南东段构造格架 [J]. 安徽地质, 2000, 18(1): 1–8.

[7] 杜建国, 孙乘云, 许卫, 等. 皖南地区葛公镇组砾岩性质及其构造含义 [J]. 资源调查与环境, 2002, 23(2): 107–112.

[8] 马荣生, 王爱国. 皖南晚元古代碰撞造山带构造轮廓 [J]. 安徽地质, 1994, 12(1/2): 14–22.

[9] 徐备. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 112.

[10] 徐备. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系 [J]. 地质学报, 1990, 64(1): 33–42.

[11] 舒良树. 江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动学 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1995: 174.

[12] 郭令智, 卢华复, 施央申, 等. 江南中、新元古代岛弧的运动学和动力学 [J]. 高校地质学报, 1996, 2(1): 1–13.

[13] 王卫平, 方迎尧, 吴成平. 江西宜黄地区物探组合异常特征与矿产 [J]. 物探与化探, 2010, 34(5): 573–578.

[14] 赵建新, 李献华, 周国庆, 等. 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 [J]. 地球化学, 1995, 24(4): 311–326.

[15] 李献华. 扬子南缘沉积岩的 Nd 同位素演化及其大地构造意义 [J]. 岩石学报, 1996, 12(3): 359–369.

[16] 廖圣兵, 张彦杰, 周效华, 等. 皖赣相邻地区溪口岩群沉积序列及沉积环境分析 [J]. 矿产与地质, 2014, 28(6): 660–667.

[17] 张彦杰, 孙磊, 周效华, 等. 皖赣相邻区新元古代构造演化探讨 [J]. 地质学刊, 2010, 34(4): 351–357.

[18] 陈富荣. 安徽宁墩地区金钨地球化学异常找矿远景 [J]. 物探与化探, 2010, 34(2): 150–153.

[19] 张彦杰, 廖圣兵, 周效华, 等. 皖赣相邻鄣公山地区变泥砂质岩石元素组成特征及源区分析 [J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1183–1198.

[20] 张焱孙, 张虎生, 邢应太, 等. 江西北武夷某多金属矿区复电阻率法勘查效果 [J]. 物探与化探, 2010, 34(5): 587–589.

[21] 张彦杰, 廖圣兵, 周效华, 等. 江南造山带北缘鄣源构造带主要地质特征 [J]. 地质学报, 2012, 86(12): 1905–1916.

[22] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 江南造山带北缘鄣源基性岩地质—地球化学特征及成因机制 [J]. 高校地质学报, 2011, 17(3): 393–405.

[23] 余心起, 江来利, 许卫, 等. 皖浙赣断裂带的界定及其基本特征 [J]. 地学前缘, 2007, 14(3): 102–113.

[24] 龚森, 周传明, 尹磊明, 等. 元古代刘老碑组 *Leiosphaeridia asperata* 膜壁的超微结构及其亲缘关系探讨 [J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(9): 1098–1104.

[25] 文子才, 王希明. 赣北前震旦纪微古植物组合及其时代讨论 [J]. 江西地质, 2000, 14(3): 167–171.

[26] 孙淑芬. 赣东北前震旦系微古植物群及其地层意义 [M] // 中国地质科学院天津地质矿产研究所. 中国地质科学院天津地质矿产研究所文集. 天津: 中国地质科学院天津地质矿产研究所, 1992: 26–27.

[27] 周效华, 张彦杰, 廖圣兵, 等. 皖赣相邻地区双桥山群火山岩的 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 2012, 18(4): 609–622.

[28] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U–Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约 [J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1744–1751.

[29] WANG X, ZHAO G, ZHOU J, et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen [J]. Gondwana Research, 2008, 14(3): 355–367.

[30] 蔡雄飞, 章泽军, 王德珏, 等. 赣北双桥山群浅变质岩沉积学研究的新进展 [J]. 地质调查与研究, 2003, 26(3): 151–159.

[31] BOUMA A H, KUENEN P H, SHEPARD F P. Sedimentology of Some Flysch Deposits: a Graphic Approach to Facies Interpretation [M]. Amsterdam: Elsevier, 1962: 1–264.

[32] SHANMUGAM G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s–1990s): deep-water processes and facies models – a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 285–342.

[33] 李相博, 卫平生, 刘化清, 等. 浅谈沉积物重力流分类与深水沉积模式 [J]. 地质论评, 2013, 59(4): 607–614.

[34] SHANMUGAM G. Ten turbidite myths [J]. Earth-Science Reviews, 2002, 58(3): 311–341.

[35] SHANMUGAM G. The Bouma Sequence and the turbidite mind set [J]. Earth-Science Reviews, 1997, 42(4): 201–229.

[36] KUENEN P H, MIGLIORINI C I. Turbidity currents as a cause of graded bedding [J]. The Journal of Geology, 1950, 58(2): 91–127.

[37] SHANMUGAM G. High-density turbidity currents: are they sandy debris flows? [J]. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66(1): 2–10.

[38] 黄修保, 余忠珍, 邹国庆. 赣西北地区中元古界双桥山群沉积学特征 [J]. 地质通报, 2003, 22(1): 43–49.