

下江群沉积地质特征及其对华南 新元古代构造演化的约束

张传恒^{1,2)}, 刘耀明³⁾, 史晓颖^{1,2)}, 高林志³⁾, 张 聪²⁾

1) 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3) 中国地质科学院地质研究所, 北京 1000373

摘 要: 华南西部新元古代裂陷纪大地构造属性和原型盆地性质是一个涉及到扬子古陆在全球构造中的定位、且争议较大的基础地质问题。新元古代下江群发育于强变形变质的盐边群和弱变形变质的板溪群之间, 处于以滨浅海沉积为主的板溪群向深海沉积转化的过渡带内。下江群以浊流沉积的杂砂岩为主, 沉积物扩散方向指向西。下江群清水江组砂岩骨架颗粒统计分析表明, 物源来自再旋回造山带。常量元素地球化学特征显示, 下江群碎屑岩系形成于活动陆缘区的弧后盆地靠大陆一侧。结合盐边群、苏雄组大地构造属性及其与下江群的空间关系, 推测当时的华南西部处于汇聚型板块边缘内, 总体属弧后伸展型盆地。

关键词: 下江群; 华南; 新元古代; 沉积地质; 弧后盆地

中图分类号: P534.3; P542.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)04-495-06

Sedimentological Features of the Xiajiang Group and Their Constraints on the Neoproterozoic Tectonic Evolution of South China

ZHANG Chuan-heng^{1,2)}, LIU Yao-ming³⁾, SHI Xiao-ying^{1,2)}, GAO Lin-zhi³⁾, ZHANG Cong²⁾

1) State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources & Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobng Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2) School of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Middle Neoproterozoic geotectonic characteristics and proto-basin types in the western part of South China have aroused much controversy and are important implications for determining the position of the Yangtze Continent within the Rodinia configuration. The Xiajiang Group is developed between the Yanbian Group in the west characterized by strong deformation and high-grade metamorphism and the Banxi Group in the east with light deformation and low-grade metamorphism. It consists mainly of deep-sea turbidites and is regarded as a clue to finding the answer to the basic geological problems. 73 small-sized cross-beddings were measured, and the result suggests that the paleocurrent of the Xiajiang Group flowed westwards. A debris composition analysis of 33 sandstone samples from the Qingshuijiang Formation in the middle part of the Xiajiang Group suggests that these clastic deposits were derived from a recycled orogenic belt. Geochemical features detected by the normal element analysis further indicate that the Xiajiang Group was developed in a retro-arc rift basin. Based on the above conclusions in combination with the geotectonic features of the Yanbian Group and the Suxiong Formation, it is held

本文由中国石化勘探准备项目(编号: G0800-06-ZS-319)、国家自然科学基金委员会创新群体(No.40621002)和教育部长江学者和创造性团队发展计划(No.IRT00546)联合资助。

收稿日期: 2009-05-03; 改回日期: 2009-07-20。

第一作者简介: 张传恒, 男, 1962 年生。教授。古生物学与地层学专业, 主要从事地层学、大地构造学和构造地貌学科研、教学工作。

通讯地址: 100083, 北京市海淀区学院 83 号。E-mail: zhangch@cugb.edu.cn。

that the western part of South China was a component part of an active continental margin during the deposition of the Xiajiang Group.

Key words: Xiajiang Group; South China; Neoproterozoic; sedimentology; retro-arc rift basin

Rodinia 超大陆裂解初期的华南西部大地构造属性和原型盆地性质是一个涉及到扬子古陆在全球构造中的定位、且争议较大的基础地质问题。迄今, 围绕着这一问题已形成两种不同的认识: 一种观点认为华南西部广泛发育新元古代裂谷型双峰模式岩浆岩, 是全球性新元古代裂谷带的组成部分(Li et al, 1999; 李献华等, 2002; Li X H et al, 2003; Li Z X et al, 2003; 沈渭洲等, 2003; 朱维光等, 2004; Zhou et al, 2006; Sun et al, 2007); 另一种观点则认为华南西部的新元古代岩浆岩不是裂谷型岩浆岩, 而完全可以与印度、塞舌尔群岛新元古代岩浆岩(Tucker et al,

2001)对比, 属俯冲型造山带的产物(颜丹平等, 2002; Zhou et al, 2006), 当时的华南西部应处于汇聚板块边缘带内。

显然, 以往的研究尽管认识上存在分歧, 但研究对象主要是华南西部新元古代早期的火山岩系和相同时代的侵入岩, 主要包括苏雄组 and 年龄为 825 Ma 左右的花岗岩体, 而对新元古代早期的沉积岩系研究较少。下江群出露于黔东南、桂北地区, 具有重要的区域地质意义。从构造地质学角度看处于强变形变质的盐边群和弱变形变质的板溪群之间; 从沉积学角度看处于以深海浊积岩系为主体的盐边群

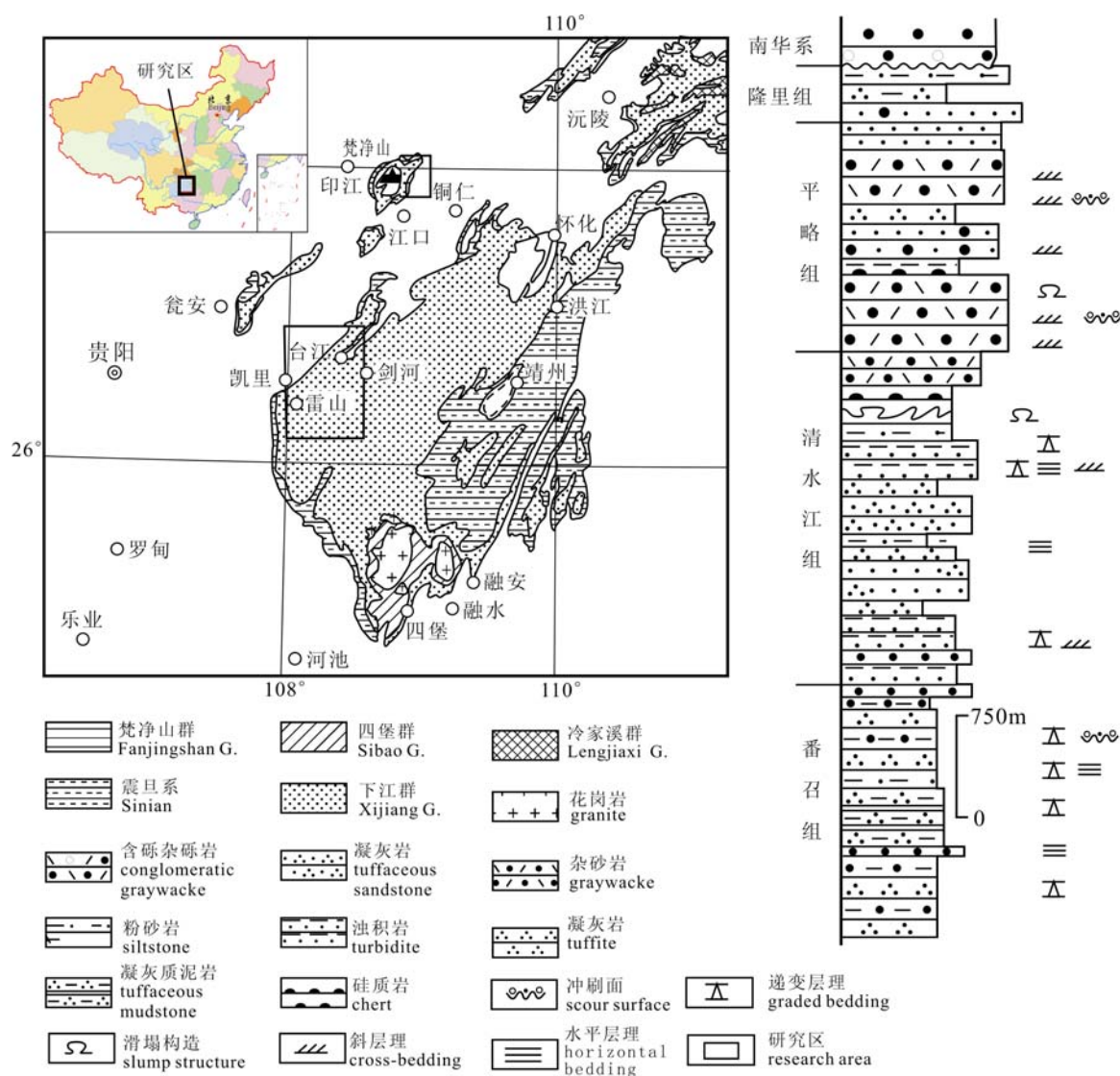


图 1 黔东南台江-雷山地区下江群出露特征和地层序列及岩石组合

Fig. 1 Distribution and stratigraphic sequence of Xiajiang Group in Taijiang-Leishan area, southeast Guizhou Province

和滨浅海沉积为主体的板溪群之间。本文主要通过研究下江群的沉积相类型及特征、沉积物扩散方向、骨架颗粒特征,确定下江群的沉积地质特征,进而结合下江群岩石地球化学特征分析确定下江群的原型盆地性质,讨论扬子古陆西部新元古代早期的地球动力学环境和大地构造演化历史。

1 时空位置与地层序列

下江群出露于黔东南梵净山地区、黔西南雷公山和桂北的九万大山地区,主体为一套沉积颗粒向上变粗的陆源碎屑岩、凝灰岩和碳质泥岩岩系,总厚度近万米(图 1)。基于岩石组合,前人将下江群之下而上划分成甲路组、乌叶组、番召组、清水江组、平略组和隆里组(贵州省地矿局, 1987)。其中,番召组、清水江组、平略组厚度较大,出露面积最大,研究程度最高。番召组出露厚达 1590 m, 主要由灰色板岩、砂质纹带泥岩、黑色碳质板岩和凝灰质砂岩组成,富含黄铁矿,夹多层凝灰岩。清水江组厚约 1940 m 左右,主要由灰绿色凝灰质砂岩、纹层状粉砂岩、碳质泥岩组成,大量发育滑混层、滑塌构造和液化砂脉构造。平略组厚约 1360 m, 主要由浅灰、灰绿色条带状、块状互层的凝灰质砂岩、变质泥岩组成,局部夹极薄层层凝灰岩。隆里组主要由浅灰至灰色块状、条带状砂岩、互层状粉砂岩和泥岩组成,偶见细砾岩或砾岩小透镜体,以及薄层、极薄层凝灰岩。

传统上,下江群属新元古界,可与湘西地区的板溪群相对比,但准确的年代地层位置标定则主要依据近期获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄。迄今,下江群获得的直接测年数据有两个:一是番召组上部的层凝灰岩获得的 SHRIMP 锆石年龄 818 ± 16 Ma(张传恒, 2007),一是清水江组顶部层凝灰岩中获得的 SHRIMP 锆石年龄 803 ± 12 Ma(尹崇玉等, 2007),表明下江群为快速沉积的产物。此外,下江群甲路组不整合覆盖的花岗岩中获得锆石 SHRIMP 年龄 823 ± 12 Ma(陈文西等, 2007),指示下江群的底界年龄不大于 835 Ma。基于以上 3 个 SHRIMP 锆石年龄,有理由认为下江群的年龄范围为 835~780 Ma,应归属于新元古界拉伸系。

2 沉积地质特征

2.1 沉积相类型及特征

下江群主体为一套陆源碎屑沉积系,可识别浅海相、浊积扇和深海相。

浅海相主要发育于甲路组上段、乌叶组和平略组,以互层的泥岩、砂岩为特征,发育水平层理,偶见浪成波痕和丘状交错层理,局部地区可见小型大理岩透镜体。

浊积岩相是下江群最常见的沉积相,主要发育于番召组、清水江组。其中,番召组中发育的浊积岩以碎屑颗粒细、泥岩厚且颜色深为特征,沉积构造则主要为粒序层、变形层理和水平层理(图 2a,b,c);清水江组的浊积岩相则沉积颗粒较粗,泥岩层薄而颜色浅,可见典型的鲍马序列,粒序层理、小型斜层理十分发育(图 d,e,f)。

深海相则以硅质岩、碳质泥岩、含草莓状黄铁矿的黑色泥岩为主要岩石类型,发育极薄的水平纹层,偶见变形层理。

2.2 沉积物扩散方向

沉积物扩散方向,特别是浊积岩沉积构造所反映的沉积物扩散方向与盆地斜坡倾向一致,因此沉积物扩散方向对于认识原型盆地结构和属性具有重要意义。为了确定下江群的沉积物扩散方向,实测了黔东南剑河革东剖面、雷山丹江剖面和黔东北的梵净山剖面的下江群中发育的斜层理,获得 71 组斜层理数据(表 1)。

对实测的数据进行水平校正后,获得斜层理形成时前积层的位态(表 1)。根据校正后的前积层倾向做出玫瑰花图,结果显示当时的古流向主体指向西,表明下江群的沉积扩散方向向西(图 3)。而且,各地区略有不同。在梵净山地区,古流向为南西西向;在剑河、台江地区,古流向为北西西向;而在雷山地区,玫瑰花图显示存在 2 个方向:一是南西西向、一是北北西向,指示向西古流向具分叉特征。

2.3 砂岩骨架颗粒结构

在盆地的沉积建造中,碎屑岩的碎屑组分是判断物源区母岩类型的有力证据之一(邵磊, 1998)。砂岩碎屑组分与大地构造背景控制的物源区密切相关,它不仅反映了母岩的性质,也反映了大地构造的条件。本次研究以下江群清水江组为重点,共采集、统计分析了从清水江组获得的 33 个样品。结果显示,石英含量低,在 15%~65%之间,且主要为多晶石英,而长石含量则高达 45%之间,岩屑含量较高在 20%~75%之间。将这些统计结果投在 Dickenson 的 Q-F-L、Qp-Lv-Ls 三角图中,显示大部分样品点落在再循环造山带物源区和火山弧物源区内(图 4),表明下江群碎屑岩系的物源区为造山带,且主体为再旋回造山带。

3 盆地原型与构造古地理特征

在华南中、西部地区,下江群同期的地层单元主要为板溪群、盐边群火山岩系及其南的凝灰质碎屑岩系、苏雄组(Li et al., 2003; Zhou et al., 2007; 张传恒, 2007),但不包括盐边群火山岩系之北,原属盐边群的碎屑岩系(李献华等, 2002)。盐边群火山岩及上覆凝灰质碎屑岩系基于其地球化学特征而被解释成为弧后裂陷盆地的产物(Sun et al., 2006)。板溪

群发育于雪峰山之东的湘西、鄂西地区,主体为一套层序清晰的滨浅海沉积岩系,具有被动大陆边缘盆地碎屑岩岩石地球化学特征(李日俊等, 1991)。而另一些学者注意到板溪群发育大量凝灰质砂岩(刘鸿允等, 1992)和凝灰岩层(张世红等, 2008),且沉积速率很大(张世红等, 2008),表现出裂谷盆地沉积序列的基本特征。

下江群以深海浊积岩沉积为主,沉积物扩散方向指向西,表明下江群为板溪群的同“时”异“相”沉



图 2 黔东南地区下江群中发育的沉积构造

Fig. 2 Typical sedimentary structures developed in Xiajiang Group

a-水平层理, 番召组, 台江南市, 镜头朝北; b-变形层理, 番召组, 台江南市西, 镜头朝西北; c-小型斜层理, 番召组, 雷山县丹江, 镜头朝北西; d-粒序层理, 清水江组, 雷山县北 3 km, 镜头朝南; e-小型斜层理, 清水江组, 雷山县北 4 km, 镜头朝南东; f-斜层理, 剑河革东, 镜头朝西南

a-horizontal bedding, Fanzhao Fm., looking northward; b-deformational bedding, Fanzhao Fm., looking northwest; c-small-scale cross-bedding, Fanzhao Fm., looking northwest; d-graded bedding, Qingshuijiang Fm., looking southward; e-small-scale cross-bedding, Qingshuijiang Fm., looking southeast; f-cross-bedding, Qingshuijiang Fm., looking southwest

表 1 黔东南下江群浊积岩系小型斜层理前积层野外实测与水平校正数据表

Table 1 Attitudes of small-sized cross-beddings in turbidites of Xiajiang Group in East Guizhou Province

剖面名称		剑河革东剖面		地层单位		清水江组	
层 面 S ₀	前积层(Sc)		层 面 S ₀	前积层(Sc)			
	野外测量值	水平校正值		野外测量值	水平校正值		
测点位置: N26°38'36.7", E108°19'06.7"			测点位置: N26°38'36.7", E108°19'06.7"				
151°/16°	224°/19°	268°/20°	89°/23° 175°/28°	205°/21°	235°/35°		
	255°/18°	290°/27°		220°/15°	324°/21°		
	265°/5°	317°/18°					
130°/20°	240°/21°	273°/34°	测点位置: N26°43'19.4", E108°29'57.3"				
	220°/19°	264°/27°	285°/10°	315°/19°	338°/5°		
	145°/49°	153°/30°		350°/22°	16°/20°		
162°/59°	169°/29°	336°/30°	295°/21°	271°/31°	237°/14°		
145°/28°	169°/21°	284°/12°		275°/28°	238°/11°		
	180°/16°	294°/18°		275°/34 °	248°/14°		
	195°/24°	269°/22°	测点位置: N26°44'30.6", E108°30'02.2"				
	210°/9°	282°/26°	91°/10°	275°/6°	274°/16°		
	99°/10°	344°/22°	330°/34°	35°/24°	74°/34°		
剖面名称		雷山丹江剖面		地层单位		番召组、清水江组	
层 面 S ₀	前积层(Sc)		层 面 S ₀	前积层(Sc)			
	野外测量值	水平校正值		野外测量值	水平校正值		
测点位置: N26°23'21.5", E108°04'32.3"			测点位置: N26°25'27.9", E108°04'12.7"				
125°/30°	100°/37°	53°/15°	120°/43°	144°/32°	262°/16°		
	105°/40°	68°/15°		126°/24°	293°/19°		
	135°/24°	355°/9°		135°/27°	282°/18°		
181°/63°	176°/49°	18°/14°	107°/46°	130°/41°	227°/16°		
测点位置: N26°24'06.7", E108°04'29.7"			106°/45°	135°/32°	243°/20°		
50°/21°	30°/39°	13°/21°		145°/24°	257°/29°		
测点位置: N26°24'29.6", E108°04'31.3"			115°/42°	138°/28°	262°/19°		
110°/30°	30°/22°	346°/30°		137°/30°	259°/17°		
	95°/19°	312°/12°		155°/34°	241°/25°		
	95°/21°	316°/11°	110°/43°	163°/32°	240°/30°		
测点位置: N26°26'03.5", E108°04'03.9"				146°/31°	242°/25°		
128°/32°	156°/24°	262°/15°		40°/31°	337°/39°		
	148°/20°	281°/15°		166°/36°	232°/36°		
测点位置: N26°26'27.1", E108°03'54.3"					148°/27°	251°/26°	
122°/56°	80°/46°	3°/33°	118°/36°	165°/27°	248°/34°		
	110°/65°	64°/14°		138°/30°	250°/12°		
	96°/62°	40°/23°	测点位置: N26°25'27.4", E108°04'15.2"				
120°/44°	110°/61°	92°/21°	130°/46°	115°/34°	342°/5°		
	95°/69°	73°/32°		90°/34°	1°/32°		
测点位置: N26°28'32.82", E108°03'48.70"				90°/36°	6°/27°		
212°/10°	80°/15°	62°/23°		105°/34°	357°/20°		
	15°/12°	347°/21°	测点位置: N26°26'38.1", E108°03'35.7"				
	165°/34°	176°/22°	60°/24°	57°/31°	44°/7°		
143°/13°	140°/45°	64°/31°		74°/7°			
剖面名称		印江梵净山剖面		地层单位		下江群	
层 面 S ₀	前积层(Sc)		层 面 S ₀	前积层(Sc)			
	野外测量值	水平校正值		野外测量值	水平校正值		
测点位置: N26°28'32.82", E108°03'48.70"			310°/41°	305°/49°	279°/40°		
280°/51°	330°/29°	224°/33°	310°/37°	281°/35°	251°/54°		
	276°/72°	263°/78°		292°/41°	265°/59°		
	337°/27°	218°/31°		295°/44°	269°/51°		
310°/41°	304°/48°	276°/63°	294°/34°	278°/46°	261°/52°		

表 2 下江群清水江组砂岩常量元素分析结果(%)
Table 2 Major element composition of sandstone samples from Qingshuijiang Formation of Xiajiang Group (%)

样品编号	GD-2	GD-3	GD-4	GD-5	GD-6	GD-7	GD-11	GD-14	GD-16	平均值
SiO ₂	68.15	69.40	72.41	82.01	66.61	71.25	69.12	65.24	74.46	70.96
TiO ₂	0.55	0.54	0.40	0.38	2.14	0.56	0.51	0.59	0.32	0.67
Al ₂ O ₃	16.58	14.54	15.19	9.82	17.64	15.46	16.14	18.07	13.91	15.26
TFe ₂ O ₃	3.53	4.09	1.25	1.29	2.05	1.96	3.58	4.32	2.39	2.72
MnO	0.04	0.05	0.13	0.06	0.07	0.12	0.05	0.06	0.11	0.08
MgO	0.72	0.68	0.74	0.36	0.90	0.81	0.76	1.01	0.46	0.72
CaO	0.11	0.72	0.29	0.03	0.12	0.45	0.12	0.40	0.52	0.31
Na ₂ O	3.34	3.14	4.36	4.80	3.18	2.37	4.36	3.32	4.24	3.68
K ₂ O	3.64	2.62	2.58	0.34	4.54	4.15	2.71	3.98	1.70	2.92
P ₂ O ₅	0.06	0.53	0.03	0.03	0.07	0.32	0.09	0.15	0.09	0.15
LOI	2.73	3.07	1.99	0.91	2.53	2.41	2.14	2.64	1.83	2.25
TOTAL	99.45	99.37	99.36	100.04	99.85	99.87	99.59	99.80	100.03	99.71
TFe ₂ O ₃ +MgO	4.25	4.78	1.99	1.65	2.95	2.77	4.34	5.33	2.85	3.43
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.24	0.21	0.21	0.12	0.26	0.22	0.23	0.28	0.19	0.22
K ₂ O/Na ₂ O	1.09	0.84	0.59	0.07	1.43	1.75	0.62	1.20	0.40	0.79
Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+CaO)	4.80	3.78	3.27	2.04	5.35	5.48	3.60	4.86	2.93	3.83

测试单位：中国地质大学(北京)地质实验中心，分析方法为 XRF 法

K₂O/Na₂O–SiO₂ 图解可以有效地示踪砂岩形成构造环境(Roser et al, 1986)，可以确定砂岩形成时的构造古地理背景。下江群清水江组的样品大部分落入活动大陆边缘区(图 5)。Al₂O₃/SiO₂–Fe₂O₃+MgO、TiO₂–Fe₂O₃+MgO 图解可以用来进一步标定砂岩形成的大地构造位置(Bhatia, 1983)。下江群清水江组的绝大多数样品落在这两类图解的活动大陆边缘区(图 6)，表明清水江组砂岩系形成于活动陆缘之内，但又不在于大陆岛弧内，即物源不在岩浆弧区。

基于以上对下江群岩石地球化学特征的分析，结合下江群大量发育凝灰岩，以及板溪群兼具被动陆缘和裂谷盆地的岩石大地构造特征，推测下江群发育于弧后裂陷盆地靠大陆一侧，而盐边群则发育于弧后裂陷盆地靠岩浆弧一侧(图 7)。从这一视角观

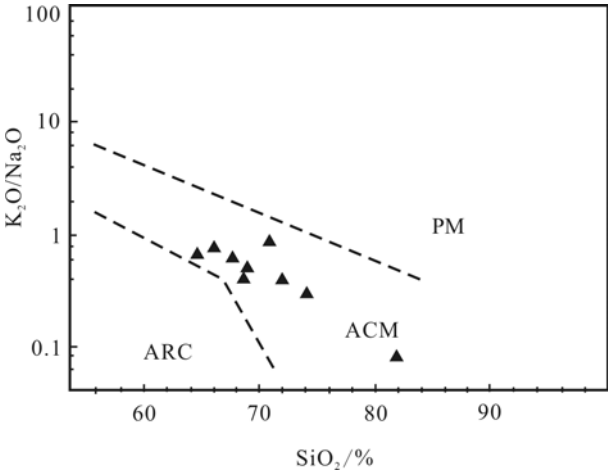


图 5 下江群清水江组砂岩样品的 K₂O/Na₂O–SiO₂ 图解
Fig. 5 K₂O/Na₂O–SiO₂ diagram of sandstone samples from Qingshuijiang Formation of Xiajiang Group
ACR-岛弧; ACM-活动陆缘; PM-被动陆缘

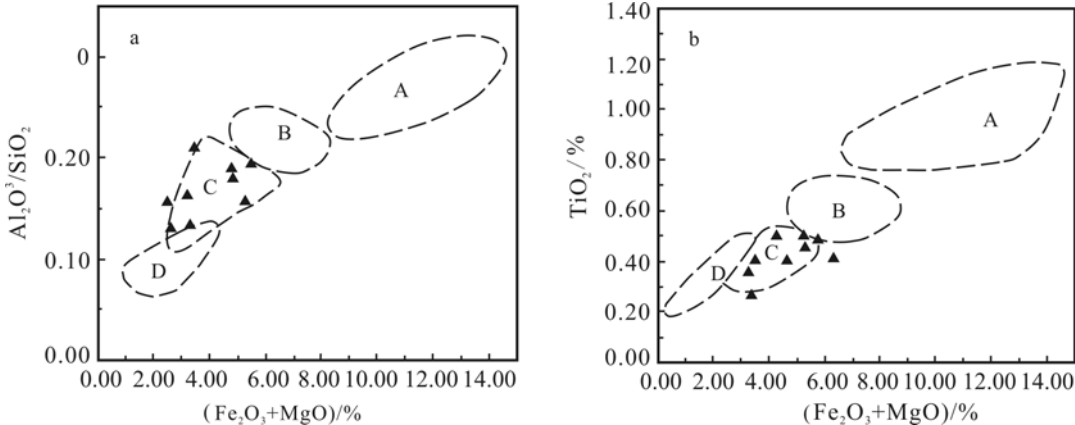


图 6 下江群清水江组砂岩常量金属元素氧化物构造环境判别图解
Fig. 6 Discrimination diagrams of major elements for geotectonic environments of sandstones from Qingshuijiang Formation of Xiajiang Group
a. Al₂O₃/SiO₂–Fe₂O₃+MgO 图解; b. TiO₂–Fe₂O₃+MgO 图解
A-大洋岛弧; B-大陆岛弧; C-活动陆缘; D-被动陆缘
A-oceanic island; B-continent island; C-active continental margin; D-passive continental margin

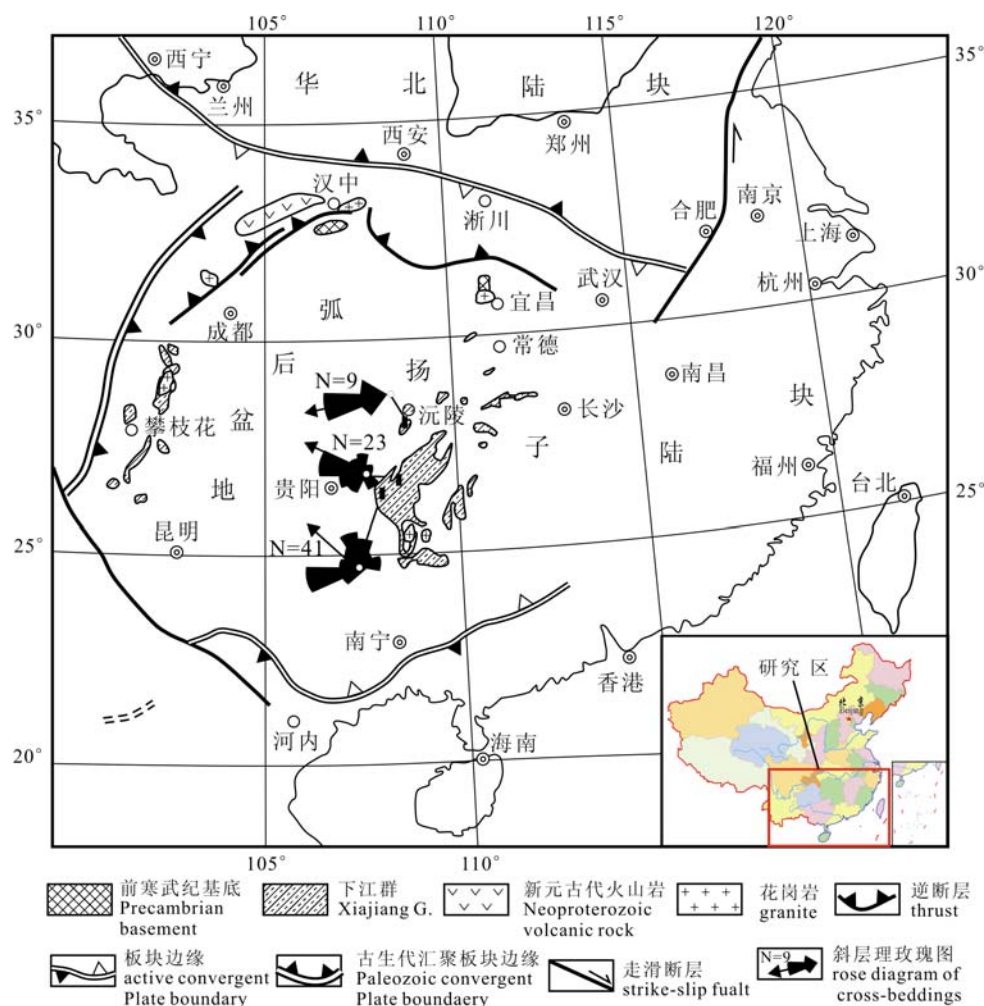


图 7 华南新元古代下江群沉积期的构造古地理轮廓
Fig. 7 Tectono-paleogeographic sketch map of South China, showing the position of Xiajiang Group

察,可以看出华南西部发育的新元古代火山岩应为岩浆弧火山岩,而830~780 Ma期间侵位的花岗岩应是俯冲作用控制的岩浆弧型花岗岩,华南西部总体处于一西太平洋型活动大陆边缘内(图7)。

830~780 Ma期间, Rodinia 超大陆正沿澳大利亚东缘、东南极北缘、北美西缘裂解而逐渐形成冈瓦纳、劳亚两个大陆群(Hoffman, 1991; Dobretsov et al, 2003; Cawood, 2005)。在这一过程中,源于 Rodinia 超大陆核心区的陆块裂解成为劳亚大陆群,而处于 Rodinia 超大陆外围的陆块则随着 Rodinia 裂解而汇聚成为冈瓦纳大陆。因此,从地球动力学背景看,劳亚大陆群总体处于裂解状态,以被动陆缘的广泛发育为特征;冈瓦纳大陆则总体处于挤压碰撞状态,以广泛发育造山带为特征。华南新元古代构造演化的起点始于 Rodinia 的裂解,起点之时的构造属性决定了扬子古陆在 Rodinia 构型中的位置和大陆群的归属,进而决定了扬子古陆在整个新元古代构造演化的进程。下江群沉积特征和盆地原型的研究表明,

华南西部的板块构造环境为汇聚型板块边缘,总体处于汇聚挤压环境,当属冈瓦纳大陆群。因此,华南新元古代构造演化具有冈瓦纳大陆群构造演化的基本属性。

4 主要结论

基于以上对下江群沉积特征和构造古地理构造特征分析,可以得出以下结论:

1) 下江群以深海陆源碎屑浊积岩沉积为主,鲍马序列、滑塌构造、软沉积物变形构造发育,属活动类型沉积建造。

2) 发育于鲍马序列c段的小型斜层理等古流向示向沉积构造位态统计分析表明,下江群沉积时的古流向为北西西向,表明当时的盆地坡向朝西。

3) 下江群清水江组砂岩样品骨架颗粒组分统计分析表明,石英含量在15%~65%范围内,且主要为多晶石英,而长石含量则高达45%左右,岩屑含量则在20%~75%范围内变化。骨架颗粒成分三角

图解显示, 这些碎屑岩系的物源区主体为再旋回造山带。

4) 常量元素地球化学特征显示, 下江群碎屑岩系形成于活动陆缘区的弧后盆地靠大陆一侧。结合盐边群、苏雄组大地构造属性及其与下江群的空间关系, 推测当时的华南西部处于汇聚型板块边缘内, 总体属弧后伸展型盆地。

参考文献:

- 陈文西, 王剑, 付修根, 汪正江, 熊国庆. 2007. 黔东南新元古界下江群甲路组沉积特征及其下伏岩体的锆石 U-Pb 年龄意义[J]. 地质论评, 55(1): 126-131.
- 贵州省地矿局. 1987. 贵州省地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1-698.
- 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖, 梁细荣, 李武显. 2002. 川西南关刀山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学—岩石成因与构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 32: 60-68.
- 李献华, 祁昌实, 刘颖, 梁细荣, 涂湘林, 谢烈文, 杨岳衡. 2005. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩成因: Hf 同位素和 Fe/Mn 新制约[J]. 科学通报, 50(19): 2155-2160.
- 李献华, 周汉文, 李正祥, 刘颖, P Kinny. 2001. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征[J]. 地球化学, 30(4): 315-322.
- 李献华, 周汉文, 李正祥, 刘颖. 2002. 川西新元古代双峰式火山岩成因的微量元素和 Sm/Nd 同位素制约及其大地构造意义[J]. 地质科学, 37(3): 264-276.
- 李曰俊, 郝杰, 胡文虎. 1991. 从岩石化学特点看板溪群的沉积大地构造背景[J]. 湖南地质, 10(3): 186-188.
- 刘鸿允, 李曰俊. 1992. 论板溪群的时代归属和层位对比. 地质科学[J], 增刊, 1-16.
- 邵磊, K. Stattegger, 李文厚. 1998. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背景[J]. 科学通报, 43(9): 985-988.
- 沈渭洲, 高剑峰, 徐士进, 谭国全, 杨铸生, 杨七文. 四川盐边冷水箐岩体的形成时代和地球化学特征[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 27-37.
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, John MALPAS. 2002. 华南在 Rodinia 古陆块位置的讨论—扬子地块西缘变质岩浆杂岩证据及其与 Seychelles 地块的对比[J]. 地学前缘, 9(4): 249-256.
- 尹崇玉, 柳永清, 高林志, 唐烽, 刘鹏举. 2007. 震旦(伊迪卡拉)纪早期磷酸盐生物群——瓮安生物群特征及其环境演化[M]. 北京: 地质出版社, 1-126.
- 张传恒. 2007. 康滇古陆中、新元古代地质事及其对 Rodinia 超大陆的响应[D]. 中国地质大学(北京)博士论文. 1-133.
- 张世红, 蒋干清, 董进, 韩以贵, 吴怀春. 2008. 华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学新结果及其构造地层学意义[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 38(12): 1496-1503.
- 朱维光, 邓海琳, 刘秉光, 李朝阳, 覃喻, 骆耀南, 李志德, 皮道会. 2004. 四川盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩体的形成时代: 单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学制约[J]. 科学通报, 49(10): 985-992.

References:

- BHATIA M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 91(6): 611-627.
- CAWOOD P A. 2005. Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic[J]. Earth-Science Reviews, 69: 249-279.
- CHEN Wen-Xi, WANG Jian, FU Xiu-Gen, WANG Zheng-Jiang, XIONG Guo-Qing. 2007. Sedimentary Characteristics of the Jia lu Formation and Its Underlying Granite's U-Pb Zircon Age in Southeast Guizhou, China[J]. Geological Review, 55(1): 126-131. (in Chinese with English abstract)
- DALZIEL I W D. 1991. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica as a conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent[J]. Geology, 19: 598-601.
- DICKINSON W R. 1984. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones[C]. In: Zuffa G G (ed). Provenance of Arenites. Dordrecht: D Reidal Pub Co, 333-361.
- DOBRETISOV N L, BUSLOV M M, VERNIKOVSKY V A. 2003. Neoproterozoic to Early Ordovician Evolution of the Paleo-Asian Ocean: Implications to the Break-up of Rodinia[J]. Gondwana Research, 6(2): 143-159
- Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. 1987. Regional geology of Hunan province[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-698. (in Chinese with English abstract)
- HOFFMAN P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? [J]. Science, 252: 1409-1412.
- LI Xian-Hua. 1999. U-Pb zircon age of granites from the southern margin of the Yangtze Block; timing of Neoproterozoic Jinling: Orogeny in SE China and implications for Rodinia assembly[J]. Precambrian Research, 97: 43-57.
- LI Xian-Hua, ZHOU Han-Wen, LI Zheng-Xiang, LIU Ying, Kinny P. 2001. Zircon U-Pb age and petrochemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanics from western Yangtze block[J]. Geochimica, 2001, 30(4): 315-322. (in Chinese with English abstract)
- LI Xian-Hua, ZHOU Han-Wen, LI Zheng-Xiang, LIU Ying. 2002. Petrogenesis of Neoproterozoic bimodal volcanics in western Sichuan and its tectonic implications: geochemical and Sm-Nd isotopic constraints[J]. Chinese Journal of Geology, 37(3): 264-276. (in Chinese with English abstract)
- LI Xian-Hua, LI Zheng-Xiang, ZHOU Han-Wen, LI Ying and KINN Y D. 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[J]. Precambrian Research, 113: 135-154.
- LI Xian-Hua, LI Zheng-Xiang, Ge Wen-Chun, ZHOU Han-Wen, LI Wu-Xian, LIU Ying and Michael T D WINGATE. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above amantle plume at ca. 825 Ma ? [J]. Precambrian Research, 122: 45-83.

- LI Xian-Hua, LI Zheng-Xiang, ZHOU Han-Wen, LIANG Xi-Rong, LI Wu-Xian. 2005. SHRIMP U-Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan: Petrogenesis and tectonic significance[J]. Science in China Series D-Earth Science, 2002, 46: 73-83.
- LI Xian-Hua, QI Chang-Shi, LIU Ying, LIANG Xi-Rong, LI Wu-Xian. 2005. Petrogenesis of the Neoproterozoic bimodal volcanic rocks along the western margin of the Yangtze Block: New constraints from Hf isotopes and Fe/Mn ratios[J]. Chinese Science Bulletin, 50(21): 2481-2486.
- LI Yue-Jun, HAO Jie, HU Wen-Hu. 1991. Judgement of geotectonic setting of Banxi group in sedimentary process from petrochemical study[J]. Hunan Geology, 10(3): 186-188, 206. (in Chinese with English abstract)
- LI Zheng-Xiang, LI Xian-Hua, KINNY P D et al. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. Precambrian Res, 122: 85-109.
- LIU Hong-Yun, LI Yue-Jun. 1992. On the age and regional correlation of Banxi group[J]. Scientia Geologica Sinica (special), 27(S1): 1-16. (in Chinese with English abstract)
- ROSER B P, KORSCH R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. Journal of Geology, 94(5): 635-650.
- SHAO LEI, STATTEGGER K, LI Wen-Hou. 1998. Determination of tectonic background for sedimentary basin from sandstone geochemistry[J]. Chinese Science Bulletin, 43(14): 1191-1196.
- SHEN Wei-Zhou, GAO Jian-Feng, XU Shi-Jin, TAN Guo-Quan, YANG Zhu-Sheng, YANG Qi-Wen. 2003. Formation age and geochemical characteristics of the Lengshuiqing body, Yanbian, Sichuan province[J]. Acta Petrologica Sinica, 19(1): 27-37. (in Chinese with English abstract)
- SUN Wei-Hua, ZHOU Mei-Fu, ZHAO Jun-Hong. 2007. Geochemistry and tectonic significance of basaltic lavas in the Neoproterozoic Yanbian Group (Southern Sichuan Province, SW China) [J]. Int. Geol Rev, 49: 554-571.
- TUCKER R D, ASHWAL L D, TORSVIK T H. 2001. U-Pb geochronology of Seychelles granitoids: a Neoproterozoic continental arc fragment[J]. Earth Planet. Sci. Lett, 187: 27-38.
- YAN Dan-ping, ZHOU Mei-fu, SONG Hong-lin, John MALPAS. 2002. Where was South China located in the reconstruction of Rodinia? [J]. Earth Science Frontiers, 9(4): 249-256. (in Chinese with English abstract)
- YIN Cong-Yu, LIU Yong-Qing, GAO Lin-Zhi, TANG Feng, LIU Peng-Ju. 2006. Phosphatized Biota in Early Sinian (Ediacaran): Weng An Biota and its Environment[M]. Beijing: Geological Publishing House. 2007. 1-126. (in Chinese with English title)
- ZHANG Chuanheng. 2007. Mesoproterozoic to early Neoproterozoic geologic events in Kangdian region, China and their response to Rodinia supercontinent. Dissertation for Ph.D of China University of Geosciences (Beijing) [D]. 1-133. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Shi-Hong, JIANG Gan-Qing, Dong Jin, HAN Yi-Gui, WU Huai-Chun. New SHRIMP U-Pb age from the Wuqiangxi Formation of Banxi Group: Implications for rifting and stratigraphic erosion associated with the early Cryogenian (Sturtian) glaciation in South China[J]. Science in China Series D-Earth Science, 2008, 51(11): 1537-1544.
- ZHOU Mei-Fu, MA Yu-Xiao, YAN Deng-Ping. 2006. The Yanbian Terrane (Southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block[J]. Precambrian Research, 144: 19-38.
- ZHOU Mei-Fu, YAN Deng-Ping, Kennedy A K, et al. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China[J]. Earth Planet Sci Lett, 196: 51-67.
- ZHU Wei-Guang, DENG Hai-Lin, LIU Bing-Guang, LI Chao-Yang, TAN Yu, LUO Yao-Nan, LI Zhi-De, PI Dao-Hui. 2004. The age of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex in the Yanbian area, Sichuan Province: Geochronological constraints by U-Pb dating of single zircon grains and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende. Chinese Science Bulletin, 49(10): 985-992.