

文章编号: 1000-0550(2013)03-0385-11

湘黔桂邻区板溪期与南华冰期之间的沉积转换 及其地层学涵义^①

汪正江¹ 江新胜¹ 杜秋定¹ 邓奇^{1,2} 杨菲^{1,3} 伍皓^{1,2} 周小琳¹

(1. 国土资源部成都地质矿产研究所 成都 610082;

2. 中国地质科学院研究生部 北京 100037; 3. 山东科技大学研究生院 山东青岛 266510)

摘要 前人一直认为湘黔桂邻区的板溪群及其相当层位的下江群、丹洲群与南华冰期的沉积序列是连续或部分连续的,没有明显的沉积—构造转换界面。本次调查的锦屏隆里剖面、黎平肇兴剖面、从江黎家坡剖面、三江泗里口剖面、罗城黄金友洞剖面等均显示,板溪期与南华冰期的沉积转换非常明显,主要表现是界面上下地层岩性、岩石结构构造和沉积相类型等迥然不同。其区域表现是:板溪沉积晚期为海退进积序列,从陆块内部到陆块边缘,地层缺失逐渐减少;江口冰期沉积从陆块边缘到陆块内部,显示出明显的渐次海侵上超特征,越靠近边缘早期沉积序列越完整。我们认为这就是前人提出的“雪峰运动”的沉积表现。因此,在扬子东南缘的湘黔桂邻区一带南华系地层序列是相对完整或近似完整的,应是层型剖面和点(GSSP)选择的最有利地区。目前首要问题是要进一步明晰“南华系”含义,而深入研究和探讨南华大冰期沉积前之板溪群及其相当层位地层的构造属性及其与冰期沉积的转换过程则是建立“南华系”的必要前提。

关键词 湘黔桂邻区 板溪期 南华冰期 沉积—构造转换面 沉积记录 南华系

第一作者简介 汪正江 男 1969年出生 博士 副研究员 沉积大地构造和油气地质 E-mail: wzjef@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

对于南华冰期与板溪期沉积的界线划分,一直以来存在争议,其典型就是关于莲沱组的归属问题。林树基等认为莲沱组为南华冰期沉积的一部分,可与桂北富禄组对比^[1],尹崇玉等认为莲沱组等同于溁水河组或长安组^[2],王自强等、冯连君等根据岩石风化指数(CIA),也认为莲沱组和溁水河组为寒冷气候沉积^[3,4]。然而刘鸿允等认为莲沱组可与板溪群对比^[5,6],王剑、汪正江等则认为莲沱组仅相当于板溪群上部沉积^[7-8],黄晶等、张启锐等也有相似认识^[9,10]。

争议的根源就在于湘鄂西地区南华冰期沉积与板溪群沉积的不连续性^[1,5,11]。当然莲沱组及其相当层位(与上下地层都为不整合、且具有正常水动力沉积作用标志的含砾粗砂岩—凝灰质砂泥岩组合)的同位素年代学研究一直未获实质性突破也是一个重要制约^[12-15]。

但在湘黔桂邻区,贵州省108地质队、殷保安等、董卫平等,以及刘灵等均认为板溪群和南华冰期长安

组之间是渐变过渡的、且没有明显的界线^[16-18];而林树基、王剑、张启锐等、卢定彪等也认为两者之间是连续沉积,不存在地层缺失^[1,7,19,20]。

造成板溪群与南华冰期沉积之间在南北存在较大差异的原因是什么呢?在扬子东南缘,从新元古代裂谷盆地早期充填(板溪群及其相当层位地层)到南华冰期沉积究竟是如何转换的呢?这一转换对于南华冰期沉积的区域对比和南华系层型剖面和点(GSSP)的选择又有何重要启示呢?

为了进一步确认板溪群与南华冰期之间沉积转换过程、促进相关问题的解决,我们着重针对扬子东南缘南华冰期与板溪群及其相当层位的沉积—构造转换的典型地层剖面开展了以沉积相、沉积序列、界面特征等为主要内容的沉积学综合调查研究工作,并以此为基础开展相关讨论,以期对上述问题的解决提供新的资料或证据,或抛砖引玉,使该问题引起国内外相关专家的重视。

①国家自然科学基金重点项目(批准号:41030315);国家自然科学基金项目(批准号:41072088);中国地质调查局基础研究项目(编号:1212011121111)联合资助

收稿日期:2012-06-25;收修稿日期:2012-08-27

1 板溪期与南华冰期沉积转换的剖面特征

对于湖南桃源—沅陵—古丈—芷江一带和黔东北地区板溪群与南华冰期沉积的不整合关系,已经基本明确了^[21, 22] 这里不再赘述,下面主要就湘黔桂邻区的一些典型剖面(图1)做些详细介绍:

1.1 锦屏隆里剖面

该剖面由贵州省108地质队1977年实测(1:20万黎平幅区域地质调查报告),是下江群隆里组的建组剖面。该剖面沿锦屏隆里古镇至新化乡公路实测,露头 and 交通条件良好。

(1) 隆里组沉积特征

该剖面是下江群隆里组的建组剖面。根据岩石组合隆里组可划分两段,下段下部为三角洲前缘砂岩与浅水陆棚砂质板岩互层,发育浪成波痕;上部以三角洲前缘砂岩为主,夹砂质板岩及砂砾岩透镜体。总体上,该段以浅灰色变余砂岩与浅灰色—灰绿色粉砂岩、砂质板岩构成韵律沉积,韵律层厚约数米至十几米不等,砂岩与板岩比例为4:1~1:1,总体上砂岩往上逐渐增多、增厚,为一明显的海退进积序列,厚约650 m。

该段特征是发育有较多的砂砾岩透镜体,砾石成分显示为远源与近源的混杂,主要有板岩、砂岩、和磨圆度较好的白色石英、黑色燧石等构成,粒径2~30 mm,且与上下层之间基本为渐变过渡关系,即既有正粒序也有逆粒序,与砂岩—板岩韵律之间也没有固定的上下关系,推测其沉积可能与风暴浪的筛积作用有关。

上段为浅水陆棚浅灰绿色绢云母板岩夹三角洲前缘砂岩(三套),总体上,显示为三个向上变粗的进积序列。其典型特征是常见绿泥石斑点和广泛发育水平纹层,厚约900 m。

需要提及的是,前人将隆里组顶部的一套0~70 m厚的浅灰色—灰紫色中厚层变余细—中粒砂岩夹砂质板岩地层归入南华冰期的长安组^[18]。本次调查表明,该套砂体槽状交错层理发育(图版I-A),具有三角洲前缘分流河道沉积(因槽状交错层的发育与水道砂体侧向迁移相关)特点(图1a),且与下伏隆里组砂质板岩之间未见明显沉积间断或岩性突变面,相反其与上覆长安组含砾杂砂岩、含砾砂质板岩却界线明显(图版I-B)。因此,本次将该套水道砂体归入隆里组顶部,它标志着板溪期裂谷盆地沉积充填的结

束,同时这一认识与《贵州省区域地质志》关于长安组底界的划分一致^[21]。

(2) 长安组底部沉积特征

长安组底部为一套浅灰色、浅黄绿色块状含砾凝灰质板岩,砾石成分复杂,主要岩性有浅黄色砂质板岩、灰白色凝灰岩、和少量脉石英,砾石含量5%~8%左右,粒度在2~30 mm,基底式胶结,砾石多为悬浮状,较大砾石表面可见冰川擦痕。而且该套沉积的变质程度相对隆里组砂质板岩明显减弱,片理(以矿物定向排列为标志)不发育,岩石易碎。

因此,隆里组顶部发育的紫红色发育交错层理、胶结致密的水道砂体与长安组底部含冰碛砾石砂质板岩之间的跳相现象,以及隆里组与长安组砂质板岩在变质程度上的差异性,均表明该剖面的长安组与隆里组之间是有沉积间断的(图1a)。

1.2 三江泗里口剖面

该剖面位于三江县城南15 km的马坪至泗里口公路边,因贵(阳)广(州)高铁施工,露头条件极好。

(1) 拱洞组上部沉积特征

该剖面拱洞组上部与隆里组上段岩性相似,虽然主要由浅水陆棚相绢云母板岩、砂质板岩组成,但也夹有多层厚度不大的陆棚或三角洲前缘粉砂—细砂岩(逆粒序特征明显,应为砂坝沉积),构成多个向上变粗的进积序列(图1d)。拱洞组总体面貌为浅灰色极发育水平纹层(可能与叠加了后期变质片理构造有关)的砂质板岩,层理清楚(图版I-C),绢云母化较强,岩石致密坚硬。

(2) 长安组底部沉积特征

底部为一套冰川泥石流形成的块状杂色砂砾岩,黄绿色调(风化色为紫红色—砖红色),基底式胶结,岩石胶结较疏松、易碎。其中的砾石成分复杂,主要有石英、燧石、砂岩、泥片、凝灰岩等,砾径2~30 mm不等,尤以5~20 mm为主,砾石含量约为15%。因此,它可能为冰期启动后与区域海平面下降相对应的低水位沉积楔状体,与下伏拱洞组的界线也是清楚的(图版I-D)。

1.3 从江黎家坡剖面

该剖面最初由贵州地质局区测队1964年实测,指出下江群与上覆冰期沉积为不整合接触,刘鸿允也认为是平行不整合或假整合接触^[5]。卢定彪等对该剖面重新做了详细工作,指出该剖面沉积序列完整、露头极佳,但认为南华冰期沉积与下江群为整合接触^[20]。

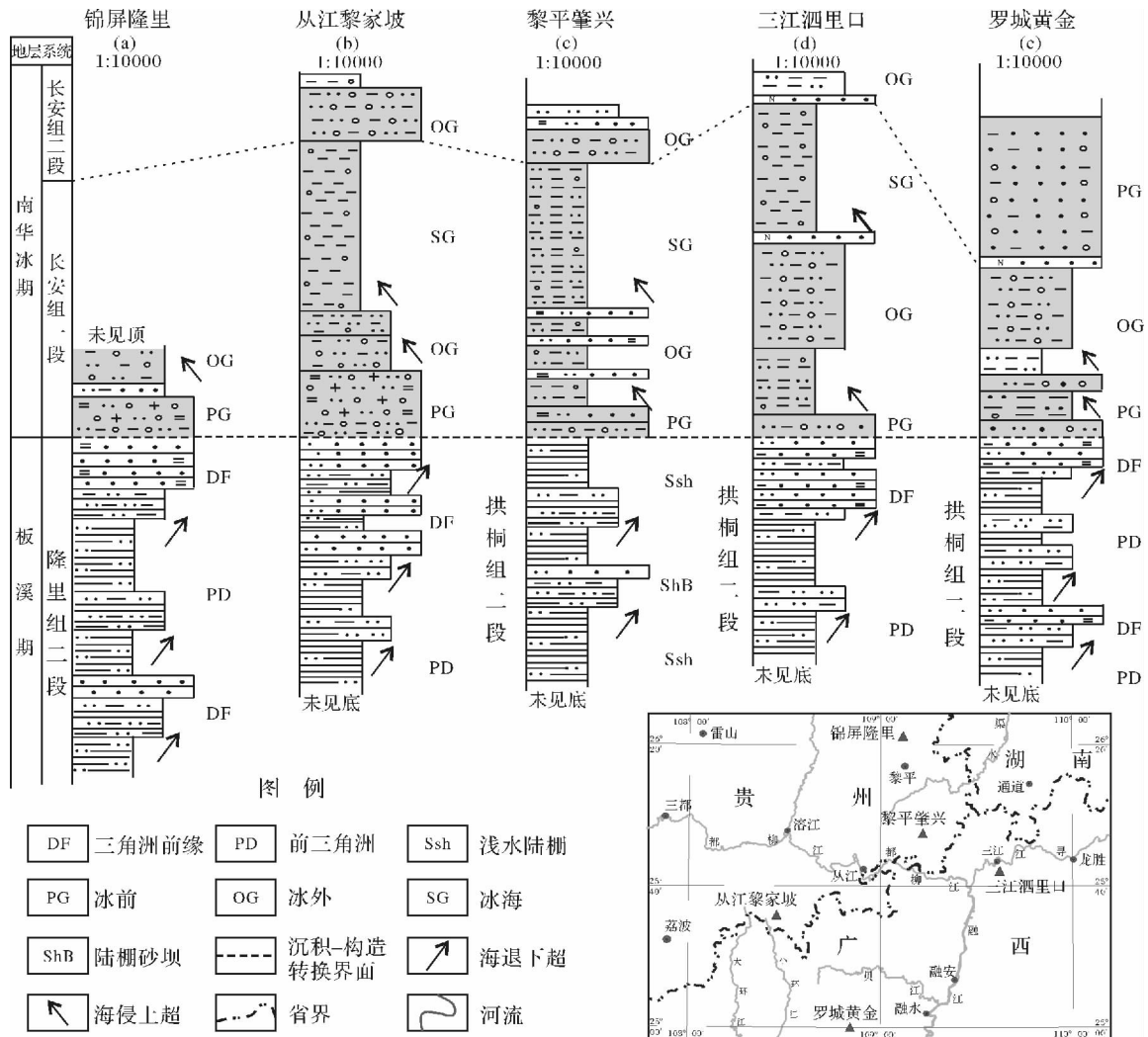


图1 黔桂邻区板溪期与南华冰期沉积转换的剖面特征

Fig. 1 Characteristics of typical sections for sedimentary transformation from Banxi period to Nanhua glacial period in the neighboring region of Guizhou-Guangxi

(1) 拱洞组沉积特征

该剖面的拱洞组(相当于番禺组—隆里组)上段上部为三角洲前缘厚层长石石英砂岩夹灰白色、浅灰色凝灰质砂质板岩,砂岩发育斜层理、平行层理和水平层理(图版 I-E)等,三角洲前缘砂体具逆粒序特征(图版 I-F);下部为浅水陆棚相浅灰绿色薄层砂质板岩,夹砂质条带或薄层细砂岩,砂岩胶结致密坚硬,发育由细砂、粉砂和泥质细层构成的韵律层,单个韵律厚约 5~15 mm,因此,地层总体特征是层理极为发育。

(2) 长安组沉积特征

该剖面长安组厚度约 1 100 m,可划分出三段或三个韵律(从下往上厚度依次为 490 m±、260 m±、350 m±),每个韵律下部为冰川泥石流形成的块状

含砾杂砂岩,向上渐变为可见层理的冰外含砾砂质板岩、含砾板岩(图 1b),砾石含量为下部多(10%~15%),上部少(砾石稀疏,一般小于 1%),砾石成分上主要为砂质板岩、粉砂岩及脉石英、凝灰岩等,粒度多为 5~10 mm,成层性是下部差、无层理,中上部层理发育,局部可见坠石^[20]。

1.4 罗城黄金剖面

该剖面位于罗城黄金—四堡公路友洞附近之四堡河西南岸,露头 and 交通条件良好。

(1) 拱洞组上部沉积特征

拱洞组上部主要由条带状砂质板岩、变质细砂岩构成的韵律,以发育极好的水平层理、沙纹层理、斜层理、交错层理、波痕以及波状起伏冲刷面等(广西壮族自治区地质局区测队,1966(1:20万三江幅区域

地质测量报告), 1968(1:20 万罗城幅区域地质测量报告); 刘鸿允, 1991) 沉积构造为特征^[5], 前人多认为是深水复理石沉积组合。本次调查表明, 其韵律主要是由三角洲前缘砂体和分流间湾粉砂质泥岩夹少量浅水陆棚泥岩构成(图 1e), 前人认为是复理石的原因, 可能主要是基于其砂岩的成熟度很低。实际上, 下江群清水江组、隆里组和丹洲群拱洞组的砂岩成熟度均很低, 这主要与板溪晚期的物源近、充填快, 且物源区暴露剥蚀的地层又主要是板溪群或下江群中早期沉积的弱成岩的细碎屑岩有关, 而沉积水体的深度可能不是主控因素, 这一点与该时期砂岩发育各种浅水沉积构造(如上所述)的地质实际是吻合的。

(2) 长安组底部沉积特征

长安组底部为 $15\text{ m} \pm$ 的浅灰色厚层含砾杂砂岩夹含砾砂质板岩(图 1e), 与拱洞组顶部浅灰色中厚层细粒岩屑石英砂岩界线不明显(与界面上下岩性相近有关), 局部可见冲刷面。向上变为薄层状灰褐色含黄铁矿晶粒的砂质板岩。长安组总厚约 950 m , 可划分为两段, 下段厚约 300 m , 为含砾砂岩、含砾板岩与砂质板岩构成两个沉积韵律, 含砾杂砂岩中砾石含量约 $5\% \sim 10\%$, 成分复杂(有下伏地层砂岩、板岩, 以及脉石英、燧石、基性火山岩等), 磨圆分选均较差, 粒径 $5 \sim 20\text{ mm}$ 为主; 上段为无层理块状含砾砂质板岩, 夹杂砂岩透镜体, 砾石含量约 $1\% \sim 5\%$, 厚约 650 m 。

由此可见, 板溪期沉积与南华冰期沉积之间的差异主要表现在三个方面: 岩性、结构构造、沉积相(图 1)。岩性方面, 界面上下的岩石在岩石类型和碎屑成分上差异明显。界面之下, 岩性相对简单, 主要岩石类型是岩屑细砂岩、长石石英砂岩、粉砂质页岩等; 界面之上, 岩性复杂、成分也复杂, 岩石类型有含砾杂砂岩、中粗粒杂砂岩、砂质板岩、含砾砂质板岩等, 碎屑成分主要体现在所含砾石成分上, 不仅有近源的板岩、砂岩、凝灰岩、基性火山岩, 也有远源的脉石英、燧石等。

结构构造方面, 主要体现在成层性、沉积构造及其发育情况等。界面之下, 岩石成层性好, 多为薄层砂质板岩(原岩多为粉砂质页岩)和中薄层粉砂—细砂岩, 砂岩的成熟度一般较高, 各种沉积构造发育, 如沙纹层理、斜层理、平行层理、波痕等; 界面之上, 岩石成层性差, 多为块状, 不易看出层面, 沉积构造不发育, 岩石结构成熟度和成分成熟度都很低。

沉积相方面, 界面附近尤以出现明显岩性突变或

称之为跳相为标志。在湘黔桂邻区, 界面之下多为浅水陆棚相或三角洲相(主要为三角洲前缘亚相和前三三角洲亚相)组合, 构成海退进积序列; 界面之上则跳变为以冰水重力流沉积为主的冰前相或冰外相, 向上演化为海侵退积序列。

另外, 转换界面上下在颜色和岩石固结程度(包括成岩作用强度和变质作用强度两方面)上也有较明显的差异, 如图版 I-A, B, D 等。

2 讨论

2.1 雪峰运动构造属性及其对地层划分对比的制约

众所周知, 根据层序地层学原理以及海平面变化的周期性, 在沉积盆地中心, 海侵上超是相对超前的; 而在盆地边缘, 海侵则相对滞后, 这就是长安组发育比较局限的原因所在。因为长安组是板溪群沉积末期大规模海平面下降后、南华大冰期渐进海侵上超的第一套沉积。

田奇瑞^[23] 1948 年根据板溪群与南华大冰期沉积之间的不整合关系, 提出了“雪峰运动”的概念, 其原意是指武陵山地区板溪群与南沱冰碛层(包含目前的古城组或东山峰组、大塘坡组、南沱组)之间的不整合^[5, 24]。实际上, 这一界面在湘中和湘西南江口组沉积区仍是清晰可见的, 即江口组超覆在高洞群或板溪群不同层段之上, 表现为区域性假整合或微角度不整合^[5]。

然而, 由于不同学者对构造不整合界面含义的理解和认知差异, 便产生了南华冰期内古城组(或铁丝坳组)与富禄组、长安组的对比问题, 莲沱组的区域对比问题等等, 这些问题的长期悬而未决, 严重制约了对华南新元古代中期沉积盆地古地理重建及其演化阶段性的认识。

实际上, 在板溪群和南华冰期沉积之间发生过两个重要过程(图 1): 一是板溪群沉积晚期存在一次区域性较大规模的海退下超过程和三角洲砂体向沉降中心的持续进积作用, 如锦屏隆里剖面、罗城黄金剖面等所表现的。二是南华冰期开启后渐次海侵上超过程, 长安初期, 区域性(更可能是全球性的)海平面下降, 使新一轮低位进积斜坡扇及冰海重力流沉积下超于拱洞组上部浅海高位体系域之上, 并在板溪群及其相当层位与长安冰期沉积之间形成了区域性不整合。其具体沉积表现是, 从扬子东南缘到克拉通内部, 出现了南华冰期不同地层上超到板溪群及其相当层位地层之上或更老地层之上, 显示出强制海退

(forced regression) [25] 与渐次海侵上超的叠加效应 (表 1、图 2)。这就是雪峰构造运动的沉积表现。

为进一步明确层序不整合界面的沉积—构造含义, 许效松等提出了“层序界面等于顶底复合面 + 时间损失量”的重要认识 [26], 这为深入认识构造不整合界面奠定了基础。构造不整合界面与层序不整合界

面相似, 都是海退下超面 (A)、海侵上超面 (B) 以及两者之间的“时间损失量”(沉积间断) 的总和, 而“时间损失量”又包含三部分: ①海退下超 (downlap) 之超前效应形成的沉积间断、②构造运动之沉积间断和③海侵上超 (onlap) 之滞后效应形成的沉积间断 (图 2)。

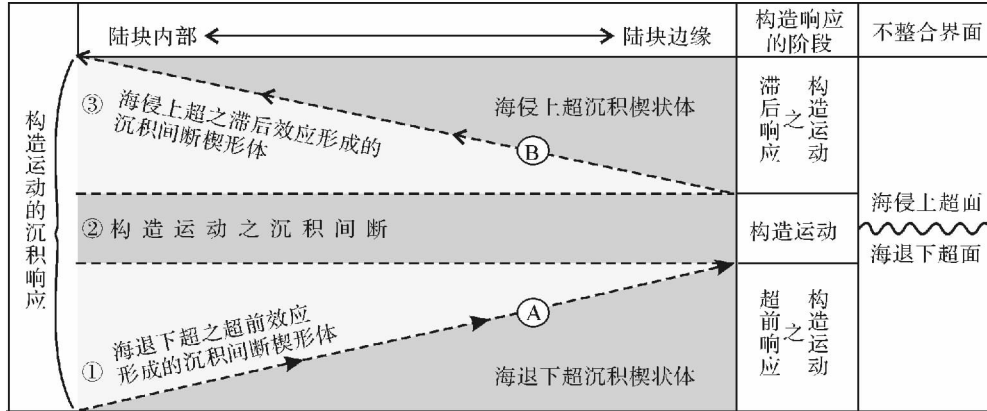


图 2 构造运动的沉积响应与不整合界面构成示意图(据文献 [26] 重编)

Fig. 2 Sketch for the sedimentary response to the tectonic movement and construction of unconformity(Revised after [26])

表 1 扬子东南缘板溪期—南华冰期地层的划分对比(据文献 [5 ~ 8 , 19 , 27] 等修编)

Table 1 The stratigraphic correlation from Banxi to Nanhua glacial period in southeast margin of Yangtze Block (Revised after [5 ~ 8 , 19 , 27])

岩石地层 地质时代	分区	扬子地层区				江南地层区				东南地层区		
		滇中	鄂西	湘西北	沅陵-桃江	芷江-会同	黔东	新化-洪江	从江-三江	湘东南		
新元古代	震旦纪 635Ma	陡山沱组		陡山沱组		金家洞组		金家洞组	金家洞组	埃岐岭组		
		南沱组		南沱组		南沱组		洪江组	酒里口组	正园岭组		
	南华冰期	湘锰组		湘锰组		大塘坡组		大塘坡组		富禄组	天子地组	
		东山峰组		古城组		铁丝坳组		上段				
		地层缺失		地层缺失		西界河组		中段		长安组	酒洲山组	
		地层缺失		地层缺失		下段		江口组				
	板溪群沉积期	720Ma	澄江组		莲沱组		多益塘组		隆里组		拱洞组	大江边组 (以下未出露)
			地层缺失		溇水河组 ??		五强溪组		平略组			
		伸展裂陷阶段	地层缺失		张家湾组		通塔湾组		清水江组		丹洲群	合桐组
			地层缺失		板溪群		马底驿组		乌叶组二段			
地层缺失			板溪群		横路冲组		乌叶组一段					
地层缺失			板溪群		宝林冲组		甲路组					
820Ma	晋宁		宁远		四堡		梵净山群		四堡群	???		
	冷家溪群		冷家溪群		冷家溪群		冷家溪群					
???	昆阳群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	冷家溪群	四堡群	???	

注: 表中灰色充填表示冰成沉积, 阴影充填表示地层缺失, ? 表示有待进一步研究确定。

目前对雪峰运动的动力学机制研究还很少,根据现有研究成果来看,板溪群沉积末期大规模海平面下降的动因很可能与江口冰期(与Sturtian冰期对应)的启动密切相关,而冰期的启动又可能与扬子陆块与澳大利亚板块的分离(drifting)有关。因此,雪峰运动主要是由区域伸展驱动的海平面下降过程,即强制海退(forced regression)^[25],而非造山运动,其沉积记录也主要表现为区域性地层缺失或/和平行不整合。

在明确了雪峰运动的性质、含义及其沉积表现后,扬子东南缘南华系沉积地层的划分对比就比较清楚了。从沉积记录看,在湘西地区,南华冰期沉积与三峡地区一样,地层序列也是不完整的。在扬子东南缘,与“南沱冰碛层”相对应的沉积层序发育最完整的地区是湘黔桂邻区^[18,19,28],即刘鸿允1991年所说的南华大冰期沉积,它可划分出两个冰期、一个间冰期^[5](表1):江口群为早冰期沉积(相当于Sturtian冰期)、大塘坡组代表间冰期沉积、南沱组为晚冰期沉积(相当于Marinoan)^[9,13,28~30]。

同时,根据冰期沉积(即古气候环境变化)的等时性,湘鄂西东山峰组、古城组和黔东铁丝坳组等冰碛砾岩沉积,应该只是江口冰期的晚幕沉积,而不能代表其全部(表1)。同时,桂北富禄组和湘东南天子地组中冰成沉积不发育可能与江口冰期晚幕的冰川规模较小、对相对深水区影响较小、其沉积记录主要保存在陆块边缘有关。

2.2 雪峰运动与澄江运动的关系及其意义

滇中的“澄江运动”的概念是由Misch 1942年提出,并经花友仁和刘鸿允发展而来的,其沉积响应是南沱冰碛砾岩与澄江组的不整合^[5,11,31,32],但也有前人认为这一不整合界面是南华冰期内部构造事件的沉积响应^[1,17,33,34]。但采自澄江组下部凝灰岩SHRIMP锆石U—Pb同位素定年结果((797.8±8.2 Ma(MSWD=0.85,江新胜等待刊数据))表明,澄江组应归属板溪晚期形成的陆相—盆地边缘相沉积(表1),并非是湘黔桂邻区南华冰期富禄组(含冰成沉积)的相当层位沉积,这与澄江组砂体中发育大量牵引流沉积构造的地质事实相吻合。

因此,滇中的澄江运动与湘西的雪峰运动都是板溪期与南华冰期之间的构造运动(表1),其性质相同,只是在经历板溪晚期大规模海退后,由于南华大冰期渐次海侵上超的滞后效应,在扬子克拉通内部较其边缘暴露的时间更长、缺失的地层更多罢了(图2)。

2.3 板溪沉积期顶界年龄

关于板溪群顶界,目前还存在很大分歧,主要体现在两个方面:接触关系和年代地层格架。对于板溪群及其相当层位地层与南华冰期沉积的接触关系(或沉积转换),我们在2.1节已经做了相应讨论,在此不再赘述。

实际上,目前关于板溪期和南华冰期沉积的同位素年代学数据已经很多了,但出现的问题也很多,最重要的是在测试对象的甄别和测试数据的解释上,这是产生分歧的主要原因所在。

为了进一步确定下江群和丹州群的顶界,我们在详细的沉积相剖面调查的基础上,开展了锆石U—Pb LA—ICP—MS年代学研究。在剔除不谐和数据后,结合样品岩矿鉴定结果将数据对照锆石阴极发光照相和透反射图像进行分组分析处理,获得了丹州群顶部最年轻一组锆石谐和年龄的加权值为(734±7) Ma($n=10$),其对应下交年龄为(720±5) Ma;下江群顶部最年轻一组锆石谐和年龄的加权值为(733±15) Ma($n=4$)(汪正江等待刊数据),两者在误差范围内一致(见表2)。

表2给出了目前获得的扬子东南缘板溪晚期及其相当层位的同位素年代学测试数据。根据此表,我们也不难发现,板溪群及其相当层位地层的顶界并不是目前全国地层委员会推定的780 Ma,而是趋向于720 Ma,这与我们最新获得的数据一致,也接近Sturtian冰期启动年龄718 Ma^[30,35,36]。

值得重视的是,前人长期的、大量的、详细的区域调查成果表明,板溪群、下江群、丹州群、高洞群等是一套完整的沉积旋回,其内部并无明显的沉积间断存在。同时,板溪期沉积的上部也非冰期沉积,除莲沱组和溁水河组外,也从未有过与寒冷气候沉积的报道。由此可见,将南华系底界推定为780 Ma是值得商榷的(若如此,则板溪期沉积序列将面临一分为二的尴尬局面,这也是不符合国际地层委关于前寒武纪地层划分原则的)。因此,我们将板溪群顶界年龄暂定为720 Ma。

综上所述,在扬子东南缘,板溪群及其相当层位的下江群、丹州群等与南华冰期沉积之间存在着明显的构造运动和沉积转换,它们是两个不同沉积旋回、不同气候环境、相对独立的沉积体(表1),其下限年龄约为820 Ma^[37~42],上限年龄约为720 Ma^[28,43,44],时限跨度约为100 Ma,与南华冰期(720~635 Ma)的沉积时限相当,当区别对待为妥,不宜肢解。

表2 扬子东南缘上板溪群及其相当层位地层同位素年代学数据一览表

Table 2 Isotope chronological data of the upper Banxi Group and its equivalences in southeast margin of Yangtze Block

取样位置	取样层位	样品岩性	同位素年龄/Ma	测试方法	资料来源
上板溪群及其相当层位沉积年龄					
湖南石门杨家坪	溇水河组上段	凝灰质岩	758 ± 23 (n = 5)	SHRIMP	[2]
湖北宜昌王丰岗	莲沱组中上部	沉凝灰岩	748 ± 12	单颗粒锆石	[12]
湖北宜昌王丰岗	莲沱组顶部	沉凝灰岩	724 ± 12 (n = 2) #	SHRIMP	[14]
浙江开化张湾	河上镇群上墅组	凝灰岩	767 ± 7 (n = 13)	SHRIMP	[45]
皖南石耳山东侧	井潭组	凝灰岩	779 ± 7 (n = 9)	SHRIMP	[46]
皖南石耳山北西	井潭组	英安岩	773 ± 5 (n = 15)	SHRIMP	[46]
湖南怀化芷江	板溪群牛牯坪组	凝灰质粉砂岩	725 ± 10 (n = 18)	SHRIMP	[43]
贵州雷山	下江群清水江组	粉砂质凝灰岩	774 ± 8 (n = 9)	SHRIMP	[47]
贵州印江永义	下江群清水江组	细粒凝灰质岩	750 ± 16 (n = 8) #	LA-ICP-MS	[48]
贵州锦屏	下江群清水江组	粉砂质凝灰岩	774 ± 5 (n = 17) #	LA-ICP-MS	[44]
湖南中方新路河	高洞群岩门寨组	凝灰质粉砂岩	最小锆石谐和年龄为 719 ± 10	LA-ICP-MS	[44]
广西罗城黄金	丹州群拱洞组	凝灰质粉砂岩	731 ± 4 (n = 8) #	LA-ICP-MS	[44]
湖南新化	南华系长安组	凝灰质粉砂岩	752 ± 4 (n = 32) #	LA-ICP-MS	[44]
广西三江瓢里	丹州群拱洞组顶	沉凝灰岩	734 ± 7 (n = 10) #	LA-ICP-MS	汪正江等待刊数据
贵州锦屏敦寨	下江群隆里组顶	沉凝灰岩	733 ± 15 (n = 4) #	LA-ICP-MS	
Sturtian 冰期启动年龄					
美国 Pocatello 南部	Pocatello 组 Scout-PorteufNarro 地区	Mountain 段之上	斑状流纹岩	717 ± 4	SHRIMP [35]
加拿大西北部 Mackenzie 山脉	Mount Harper 上部冰碛岩	冰碛岩下的火山杂岩	冰碛岩内部角砾状凝灰岩	717.4 ± 0.1 716.5 ± 0.2	TIMS TIMS [36]

为最小锆石谐和年龄峰值。

3 结论与建议

在扬子东南缘的湘黔桂邻区,板溪群及其相当层位地层与南华冰期之间的沉积—构造转换及其界面是清楚的,界面上下主要表现在岩性、结构构造和沉积相等方面的差异性,这些特征为地层划分对比提供了重要的、可操作的宏观标志。

其具体表现是:板溪沉积晚期为海退进积序列,从陆块内部到陆块边缘,地层缺失逐渐减少;江口冰期沉积从陆块边缘到陆块内部,显示出明显的渐次海侵上超过程,越靠近陆块边缘早期沉积序列越完整。这就是前人提出的“雪峰运动”的沉积表现。因此,在扬子东南缘的湘黔桂邻区一带南华系地层序列是相对完整或近似完整的,应是选择层型剖面 and 点(GSSP)的最有利地区。

同时,根据目前获得的同位素年代学数据分析,表明板溪期沉积的顶界趋向于 720 Ma,与 Sturtian 冰期启动的年龄接近。而且大量的调查研究也表明,板溪期沉积是新元古代中期裂谷盆地充填,是一个完整的沉积旋回,不宜肢解。

需要提及的是,在华南板溪群及其相当层位的地层归属尚未明确之前,要建立我国的南华系是困难

的。目前首要问题就是要进一步明晰“南华系”含义,而深入研究和探讨南华大冰期沉积前之板溪群及其相当层位地层的构造属性及其与冰期沉积之间的转换过程则是进一步明晰和建立“南华系”的必要前提。

致谢 本文在成文过程中曾与成都地质矿产研究所许效松研究员,湖南地质调查院孙海清教授级高工,贵州地质调查院林树基研究员、陈建书高工、王敏博士等进行过有益讨论;同时审稿专家也为本文的修改完善提出了许多建设性意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References)

- 1 林树基. 板溪群与莲沱组对比问题与震旦/前震旦界限[J]. 贵州地质, 1995, 12(1): 23-29 [Lin Shuji. Correlation for Liantuo Formation to Banxi Group and boundary between the Presinian and the Simian in Eastern Guizhou[J]. Guizhou Geology, 1995, 12(1): 23-29]
- 2 尹崇玉, 刘敦一, 高林志, 等. 南华系底界与古城冰期的年龄: SHRIMP II 定年证据[J]. 科学通报, 2003, 48(16): 1721-1725 [Yin Chongyu, Liu Dunyi, Gao Linzhi, et al. Lower boundary age of the Nanhua System and the Gucheng glacial stage: evidence from SHRIMP II dating[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(16): 1721-1725]

- 3 王自强,尹崇玉,高林志,等. 用化学地层学研究新元古代地层划分和对比[J]. 地学前缘,2006,13(6):268-279 [Wang Ziqiang, Yin Chongyu, Gao Linzhi, *et al.* Chemostratigraphic studies to explain Neoproterozoic stratigraphic division and correlation[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6):268-279]
- 4 冯连君,储雪蕾,张启锐,等. 湘西北南华系溁水河组寒冷气候成因的新证据[J]. 科学通报,2004,49(2):1172-1178 [Feng Lianjun, Chu Xuelei, Zhang Qirui, *et al.* New evidence of deposition under cold climate for the Xieshuihe Formation of the Nanhua System in northwestern Hunan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49: 1420-1427]
- 5 刘鸿允. 中国震旦系[M]. 北京:地质出版社,1991:1-388 [Liu Hongyun. *The Sinian System in China*[M]. Beijing: Science Press, 1991: 388]
- 6 刘鸿允,李日俊. 论板溪群的时代归属和层位对比[J]. 地质科学,1992,(增刊):1-16 [Liu Hongyun, Li Yuejun. On the age and regional correlation of Banxi Group [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1992,(Suppl.):1-16]
- 7 王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化-兼论与 Rodinia 解体的关系[M]. 北京:地质出版社,2000:1-146 [Wang Jian. *Neoproterozoic Rifting History of South China and Significance to Rodinia Breakup* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-146]
- 8 汪正江. 关于建立“板溪系”的建议及其基础的讨论[J]. 地质论评,2008,54(3):296-306 [Wang Zhengjiang. A proposal to establish the Banxi System and discussion on its foundations based mainly on studies in eastern Guizhou area [J]. *Geological Review*, 2008, 54(3):296-306]
- 9 黄晶,储雪蕾,张启锐,等. 新元古代冰期及其年代[J]. 地学前缘,2007,14(2):249-256 [Huang Jing, Chu Xuelei, Zhang Qirui, *et al.* Constraints on the age of Neoproterozoic global glaciations [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(2):249-256]
- 10 张启锐,储雪蕾,冯连君. 南华系“溁水河组”的对比及其冰川沉积特征的探讨[J]. 地层学杂志,2008,32(3):741-747 [Zhang Qirui, Chu Xuelei, Feng Lianjun. A correlation of the “Xie Shuihe Formation”, Nanhua System, with a discussion to its glacial sedimentary structures [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2008, 32(3):741-747]
- 11 刘鸿允,沙庆安. 中国南方的震旦系及其地层柱位置问题[J]. 科学通报,1963,8(4):65-65 [Liu Hongyun, Sha Qing'an. Position of the Sinian system in stratigraphic column [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1963, 8(4):65-65]
- 12 马国干,李华芹,张自超. 华南地区震旦纪时限范围的研究[R]. 宜昌地质矿产研究所所刊,1984,8:1-29 [Ma Guogan, Li Huaqin, Zhang Zichao. An investigation of the age limits of the Sinian System in South China [R]. *Bulletin of Yichang Institut of Geology*, 1984, 8: 1-29]
- 13 郑永飞. 新元古代岩浆活动与全球变化[J]. 科学通报,2003,48(16):1705-1720 [Zheng Yongfei. Neoproterozoic magmatic activity and global change [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16):1639-1656]
- 14 高维,张传恒. 长江三峡黄陵花岗岩与莲沱组凝灰岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造地层意义[J]. 地质通报,2009,28(1):45-50 [Gao Wei, Zhang Chuanheng. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the Huangling granite and the tuff beds from Liantuo Formation in the Three Gorges area of Yangtze River, China and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(1):45-50]
- 15 谢士稳,高山,柳小明,等. 扬子克拉通南华纪碎屑锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素对华南新元古代岩浆事件的指示[J]. 地质科学-中国地质大学学报,2009,34(1):117-126 [Xie Shiwen, Gao Shan, Liu Xiaoming, *et al.* U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons of Nanhua sedimentary rocks from the Yangtze Gorges: implications for genesis of Neoproterozoic Magmatism in South China [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2009, 34(1):117-126]
- 16 殷保安. 广西壮族自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997:14-18 [Yin Baoan. *Stratigraphy (lithostratic) of Guangxi Province* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 14-18]
- 17 董卫平主编. 贵州省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997:29-52 [Dong Weiping, *et al.* *Stratigraphy (Lithostratic) of Guizhou Province* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 29-52]
- 18 刘灵. 黔东南隆里期和长安期沉积相与环境演化及其地层界线的新认识[J]. 贵州地质,1999,16(4):288-293 [Liu Ling. Different opinion on sedimentary facies and environmental evolution and stratigraphic limit in Longli age and Changan age of Southeastern Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1999, 16(4):288-293]
- 19 张启锐,储雪蕾. 扬子地区江口冰期地层的划分对比与南华系层型剖面[J]. 地层学杂志,2006,30(4):306-314 [Zhang Qirui, Chu Xuelei. The stratigraphic classification and correlation of the Jiangkou glaciation in the Yangtze Block and the stratotype section of the Nanhua System [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2006, 30(4):306-314]
- 20 卢定彪,肖加飞,林树基,等. 湘黔桂交界区贵州省从江县黎家坡南华系剖面新观察:一条良好的南华大冰期沉积记录剖面[J]. 地质通报,2010,29(8):1143-1151 [Lu Dingbiao, Xiao Jiafei, Lin Shuji, *et al.* The Nanhua section at Lijiapo Village, Congjiang County, Guizhou Province in Hunan-Guizhou-Guangxi adjacent region, China: a good section with sedimentary record in Nanhua Large Glaciation age [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(8):1143-1151]
- 21 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1987:13-48 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province. *Regional Geology of Guizhou Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 13-48]
- 22 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1988:14-40 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. *Regional Geology of Hunan Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 14-40]
- 23 田奇瑞. 湖南雪峰地轴与古生代海侵之关系[J]. 地质论评,1948,13(3-4) [Tian Qijun. The relationship between Xuefeng Uplift and Paleozoic transgression in Hunan Province [J]. *Geological Re-*

- view, 1948, 13(3-4)]
- 24 尹赞勋,徐道一,浦庆余. 中国地壳运动名称资料汇编[J]. 地质论评, 1965, 23(增刊): 20-81 [Yin Zanzun, Xu Daoyi, Pu Qingyu. The data index of Crust Movement in China [J]. Geological Review, 1965, 23(Supp.): 20-81]
- 25 Catuneanu O, Abreu V, Bhattacharya J P, *et al.* Towards the standardization of sequence stratigraphy [J]. Earth-Science Reviews, 2009, 92: 1-33
- 26 许效松,刘宝珺,牟传龙,等. 中国中西部海相盆地分析与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 14-16 [Xu Xiaosong, Liu Baojun, Mou Chanlong, *et al.* The Marine Basin Analysis in the Middle and West of China and Their Oil and Gas Resources Prospect [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 14-16]
- 27 刘鸿允,李曰俊,郝杰. 论华南板溪群及其有关的大地构造问题[J]. 地球学报, 1994, 15(3-4): 88-96 [Liu Hongyun, Li Yuejun, Hao Jie. On the Banxi Group and its related tectonic problems in South China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994, 15(3-4): 88-96]
- 28 张启锐,储雪蕾. 南华系建系问题探讨[J]. 地层学杂志, 2007, 31(3): 321-327 [Zhang Qirui, Chu Xuelei. Problems in defining the Nanhua period [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(3): 321-327]
- 29 Zhou C M, Tucker R, Xiao S H, *et al.* New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in south China [J]. Geology, 2004, 32(5): 437-440]
- 30 赵彦彦,郑永飞. 全球新元古代冰期的记录和时限[J]. 岩石学报, 2011, 27(2): 545-565 [Zhao Yanyan, Zheng Yongfei. Record and time of Neoproterozoic glaciations on Earth [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 27(2): 545-565]
- 31 Misch P. Sinian stratigraphy of central eastern Yunnan [J]. Natural Journal of University Peking, 1942, 4
- 32 花友仁. 对东川铜矿区地层划分和区域构造的探讨[J]. 地质论评, 1959, 19(4): 155-162 [Hua Youren. Discussion on the stratigraphic division and regional structure in Dongchuan Cu ore mine [J]. Geological Review, 1959, 19(4): 155-162]
- 33 张远志主编. 云南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 55-57 [Zhang Yuanzhi, *et al.* Stratigraphy (Lithostratic) of Yunnan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 55-57]
- 34 辜学达主编. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 51-60 [Gu Xueda, *et al.* Stratigraphy (Lithostratic) of Sichuan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 51-60]
- 35 Fanning C M and Link P K. U-Pb SHRIMP ages of Neoproterozoic (Sturtian) glaciogenic Pocatello Formation, southeastern Idaho [J]. Geology, 2004, 32: 881-884
- 36 Macdonald F A, Schmitz M D, Crowley J L, *et al.* Calibrating the Cryogenian [J]. Science, 2010, 327: 1241-1243
- 37 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球化学, 1999, 28(1): 1-9 [Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance [J]. Geochimica, 28(4): 1-9]
- 38 王剑,潘桂堂. 中国南方古大陆研究进展与问题评述[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 818-825 [Wang Jian, Pan Guitang. South China research progress and problems on the ancient continent [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 818-825]
- 39 王剑,曾昭光,陈文西,等. 华南新元古代裂谷系沉积超覆作用及其开启年龄新证据[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4): 1-7 [Wang Jian, Zeng Zaoguang, Chen Wenxi, *et al.* The Neoproterozoic rift systems in southern China: New evidence from the sedimentary onlap and its initial age [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(4): 1-7]
- 40 Li X H, Li Z X, Ge W C, *et al.* Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma [J]. Precambrian Research, 2003, 122: 45-83
- 41 Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, *et al.* LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: implications for petrogenesis and tectonic evolution [J]. Precambrian Research, 2006, 145: 111-130
- 42 Zhou J C, Wang X L, Qiu J S. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, south China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. Precambrian Research, 2009, 170: 27-42
- 43 Zhang Q R, Li X H, Feng L J, *et al.* A new age constraint on the onset of the Neoproterozoic glaciations in the Yangtze Platform, South China [J]. Journal of Geology, 2008, 116: 423-429
- 44 Wang X C, Li X H, Li Z X, *et al.* Episodic Precambrian crust growth: Evidence from U-Pb ages and Hf-O isotopes of zircon in the Nanhua Basin, central South China [J]. Precambrian Research, 2011, doi: 10.1016/j.precamres.2011.06.001
- 45 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 [Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, *et al.* New SHRIMP U-Pb dating for the Shuangqiaoshan Group in South China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1744-1758]
- 46 吴荣新,郑永飞,吴元保. 皖南新元古代井潭组火山岩锆石 U-Pb 定年和同位素地球化学研究[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 282-296 [Wu Rongxin, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao. Zircon U-Pb age and isotope geochemistry of Neoproterozoic Jingtan volcanics in South Anhui [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(2): 282-296]
- 47 高林志,戴传固,刘燕学,等. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1071-1080 [Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, *et al.* Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1071-1080]
- 48 Wang L J, Griffin W L, Yu J H, *et al.* Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks [J]. Precambrian Research, 2010, 177: 131-144

Depositional Transformation from Banxi Period to Nanhua Glacial Period in Southeast Margin of Yangtze Block and its Implications to Stratigraphic Correlation

WANG Zheng-jiang¹ JIANG Xin-sheng¹ DU Qiu-ding¹
DENG Qi^{1,2} YANG Fei^{1,3} WU Hao^{1,2} ZHOU Xiao-lin¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources PRC, Chengdu, 610082;

2. Graduate Faculty of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3. Graduate Faculty of Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510)

Abstract: The depositional-structural transformation and the regional correlation of relevant important strata units from Banxi period to Nanhua glacial period in southeast margin of Yangtze block have been a major focus of debate for a long time.

Predecessors had been regarded that they wear conformity without obvious boundary surface between the Danzhou Group and Nanhua glacial deposition in North Guangxi and East Guizhou. However, the authors' survey of some important sections in Guizhou-Guangxi neighboring region, such as Jinping Longli section, Liping Zhaoxing section, Congjiang lijiapo section, Sanjiang Silikou section and Luo Cheng Huangjin section, indicate that the transforming surface from Banxi period into Nanhua glacial period was clearly and sharply, for the upper part and down part of the surface were different completely in rock component, contexture, construction, and depositional facies types.

The regional change of the transformation token on that the stratigraphic missing of the Banxi Group and its equivalences with a regressive progradational sequences become more and more obvious from the margin to the interior of Yangtze Block, and in reverse, the sedimentary sequences of the Nanhua glacial period with a transgressing process gradually become more and more integrated from the interior to the margin. We think that this was the depositional records of "Xuefeng Movement" brought forward by predecessor. Therefore, it was more probability and feasibility in the Hunan-Guizhou-Guangxi neighboring region of the southeast margin than the Gorges region in the interior of Yangtze Block to find a relatively integrated sedimentary sequence of Nanhua glacial period, and so the region should be the most favorable area to select the Global Standard Section and Point (GSSP) for "Nanhua System".

At the same time, the available geo-chronological data suggest that the top boundary of Banxi period should be towards 720Ma, which is close to the onset age of Sturtian Glacial stage, and should not be limited at 780Ma subjectively. The most important is that the depositional sequence of Banxi period was a tact sedimentary cycle standing for the filling of mid-Neoproterozoic rift basin, and also there was not observable and identifiable hiatus in the sequence. so this sequence should not be dismembered or fragmented, otherwise we will be going against the principle of International Commission on Stratigraphy (ICS) for the classification of Precambrian strata. Therefore, at present, we consider that 720Ma is reasonable for the top boundary age of Banxi Group.

And now, the first thing is to get more distinct and clear concept and implication of "Nanhua System". So it is necessary for its foundation to research and discuss deeply the tectonic settings of the Banxi Group and its equivalences and the depositional transformation from Banxi period to the Nanhua glacial period.

Key words: The neighboring region of Hunan-Guizhou-Guangxi; Banxi period; Nanhua glacial period; depositional transforming surface; Xuefeng Movement; Nanhua System



图版 I 说明 A、B - 锦屏隆里剖面隆里组与长安组界线特征,隆里组顶部紫红色砂岩发育交错层理,且交错层底部(水道底部)保留有透镜状沉凝灰岩透镜体; C - 三江泗里口剖面拱洞组上段发育水平层理的砂质板岩, D - 三江泗里口拱洞组与长安组界线特征,该剖面界面上下岩石类型、结构构造、固结程度、颜色等均有很大差异; E、F 分别为从江黎家坡剖面拱洞组上段砂岩的水平层理和逆粒序层理。