

文章编号:1000-0550(2017)03-0449-11

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.03.003

# 新一轮岩相古地理编图对华南重大地质问题的反映 ——早古生代晚期“华南统一板块”演化

周恩恩, 牟传龙, 葛祥英, 梁薇, 陈小炜, 王启宇, 王秀平

中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610082

**摘要** 以板块级别的小比例尺岩相古地理编图的手段, 重塑和反映构造—盆地演化过程, 可为探讨重大地质问题提供线索依据。从华南大区古地理重建的角度, 对构造学者提出的“华南统一板块”和加里东晚期“陆内造山”模式给予验证。研究表明: 以往认为属不同构造单元的扬子陆块和华夏地块之间, 沉积相配置为连续过渡、符合瓦尔特相律, 没有分隔盆地的重大构造界线, 指示华南残留洋盆并不存在。早古生代晚期的古地理演化并未反映出洋盆消减、被动大陆边缘向前陆盆地转换, 而是板内挤压的造山、造陆过程, 可分为板内地壳调整(中奥陶世至早志留世鲁丹期)和板块整体抬升(早志留世埃隆期至志留纪末)两个阶段。其实质是在构造转型背景下, 华南板块从松散到紧合的“再克拉通化”过程。

**关键词** 岩相古地理; 华南板块; 残留洋; 华夏地块

**第一作者简介** 周恩恩, 男, 1981年出生, 博士, 高级工程师, 沉积盆地分析与能源矿产勘查, E-mail: zhouken\_53@126.com

**通讯作者** 牟传龙, 男, 研究员, E-mail: cdmchuanlong@163.com

**中图分类号** P531 **文献标识码** A

岩相古地理学是沉积学的重要分支学科。迄今为止, 中小比例尺岩相古地理编图仍是重建沉积格局、探讨板块构造—盆地演化过程最直观有效的方法。特别是大区域、连续断代的古地理编图, 其代表性成果多在学科发展上具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。2008年至今, 笔者团队依托国家科技重大专项等项目, 编制完成新一轮全国岩相古地理图(震旦纪—三叠纪, 比例尺: 1:1200~1:500万), 填补了较长时间以来此类研究的空白。研究以华南早古生代晚期岩相古地理研究成果为基础, 从沉积学角度, 为探讨华南板块构造—盆地性质和“华南残留洋”等重大基础地质问题提供新线索。

## 1 华南早古生代构造—盆地演化的核心问题

### 1.1 华南早古生代构造单元组成

华南新元古代至早古生代主要构造单元为“扬子陆块”和“华夏地块群”(图1)。其中对华夏的构造性质曾有华夏古陆<sup>[4-5]</sup>、古华夏克拉通<sup>[6]</sup>、多旋回造山带<sup>[7-8]</sup>等多种认识。“华夏地块群”的观点源于近年来不断丰富的构造、岩石学证据; 于津海等<sup>[9]</sup>、

舒良树等<sup>[10]</sup>明确了华夏古老基底的存在, 并提出8~9亿年间华夏地块曾与扬子陆块碰撞拼合, 随后不久受Rodinia超大陆裂解影响, 原华夏地块肢解成“罗霄—武夷”、“赣南”和“云开”等多个次级地块(坐落在陆壳而非洋壳上), 中间为裂谷或海槽。这一观点

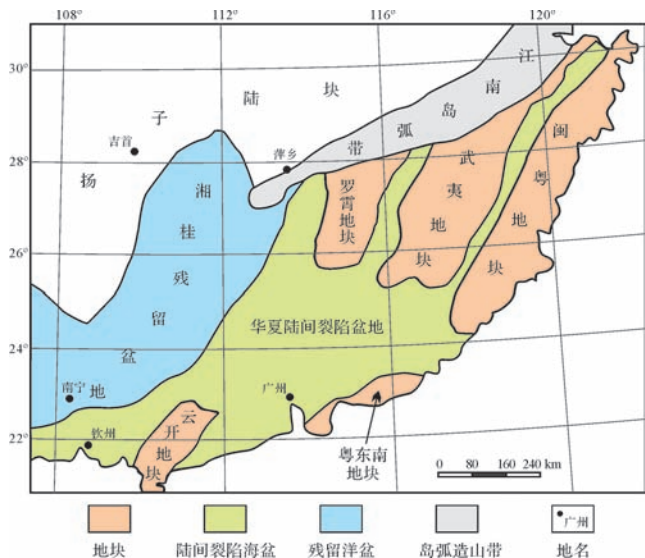


图1 新元古代华南大地构造图(据许效松等<sup>[3]</sup>简化)

Fig.1 Neo-Proterozoic tectonic framework of the South China (simplified from Xu *et al.*<sup>[3]</sup>)

收稿日期: 2016-04-07; 收修改稿日期: 2016-07-26

基金项目: 国家科技重大专项课题(2011ZX05043-005-02); 中国地质调查局基础调查项目(1212011120112); 国家自然科学基金项目(41302093)  
[Foundation: National Science and Technology Major Project, No. 2011ZX05043-005-02; China Geological Survey Project, No. 1212011120112; National Natural Science Foundation of China, No. 41302093]

逐渐得到多数人认同。

## 1.2 核心问题——扬子与华夏之间存在早古生代残留洋盆吗？

江绍缝合带的赣东北蛇绿混杂岩(约 900~850 Ma)被公认为 Rodinia 超大陆聚合过程中,古华南洋消减、扬子陆块与华夏地块局部碰撞拼合的证据<sup>[11-13]</sup>。然而,该缝合带以西、从江西萍乡至广西钦防长达数千公里的区域,因缺乏洋陆碰撞的直接地质记录而性质不明,带来一系列核心问题:该区域是否长期存在“华南残留洋盆”(图 1)? 扬子与华夏之间是怎样的构造配置关系? 早古生代经历怎样的板块演化过程?

## 1.3 两种截然不同的观点

长期以来针对上述问题开展的多学科研究,逐渐形成了两种基本观点:

(1) 扬子与华夏的碰撞仅发生在江绍—萍乡之间并形成江南岛弧造山带(图 1),以西仍存在古华南洋残留洋盆,并延续到志留纪末<sup>[1,14-15]</sup>。在盆地演化上,震旦纪至早奥陶世扬子东南部发育被动大陆边缘,从中奥陶世开始华南洋盆关闭、形成前陆盆地系统<sup>[16]</sup>。尽管缺乏洋壳消减的直接地质记录,但这一观点成为早期构造、沉积学家的主流认识。一个突出的表现是华南经典的古地理研究都以此模式为框架:将扬子与华夏作为各自独立的构造—沉积单元,由“绍兴—萍乡—郴州—凭祥”一级构造边界分隔(图 2),边界两侧沉积相展布不连续<sup>[1,17]</sup>。这一边界即华南残留洋盆后期消减带的推测位置,在古地理图上代表残留洋盆的存在。

(2) 新元古代初期的碰撞拼贴导致了华南洋的完全消亡,扬子与华夏拼合为“华南统一板块”<sup>[18]</sup>,属于 Rodinia 超大陆的一部分<sup>[19]</sup>,随后在早古生代仅发生“陆内裂解”<sup>[20]</sup>和加里东期“陆内造山”<sup>[18]</sup>。

支持该观点的证据大多来自扬子、华夏交界的关键区。陈旭等<sup>[21]</sup>指出,湘赣浙等地下古生界的生物相连续过渡,尤其是奥陶纪笔石动物群的地理分区,指示并无大洋或缝合带存在;王岳军<sup>[22]</sup>分析了湘赣桂粤闽地区加里东期花岗岩,认为是面状分布的地壳重熔花岗岩而无幔源物质参与,指示无洋陆碰撞事件;湘东南、赣西地区砂岩主/微量、稀土元素地球化学特征显示,寒武—奥陶纪的构造环境为陆内裂谷而非洋盆<sup>[20,23]</sup>;对湘西、湘南和广东韶关寒武系碎屑锆石年龄谱系的最新对比<sup>[24]</sup>,进一步揭示出扬子东南缘碎屑沉积物可能来自华夏地块,其间并无大洋相

隔;对萍乡至郴州寒武—奥陶系的详细研究也表明,不存在典型的大陆斜坡沉积,沉积相为连续展布而非跳相<sup>[25-27]</sup>。

上述研究分别从不同角度对“华南统一板块”的构造模式提供了佐证,但缺憾在于不足以建立和解释该模式下华南板块演化的整体图景。因此,板块级别的、连续断代的岩相古地理重建就显得尤为重要。

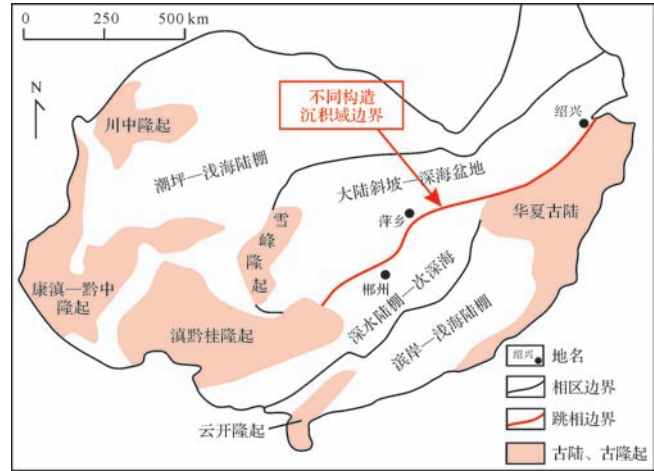


图 2 华南中奥陶世古地理图(据马永生等<sup>[17]</sup>简化)

Fig.2 Lithofacies paleogeography of the South China in Middle Ordovician (simplified from Ma *et al.*<sup>[17]</sup>)

## 2 岩相古地理图的编制

### 2.1 思路、方法与资料依据

针对大区域、小比例尺岩相古地理研究的特点,笔者曾提出“构造控盆、盆地控相、相控油气基本地质条件”的规律<sup>[28]</sup>,并总结了板块运动、盆地基底结构、全球性事件等主控因素对华南早古生代古地理演化的影响<sup>[29]</sup>。正是基于这一规律,岩相古地理编图才能作为反演板块构造—盆地性质的重要手段。

丰富可靠的岩相、沉积相资料无疑是忠实重建古地理格局的关键。本次编图采用最常用的“地层图法”<sup>[30]</sup>,基础资料来自笔者近年在华南完成的 90 余个实测剖面(部分剖面位置见下文各期岩相古地理图)、地质路线和地质点,以及大量前人成果(包括各省市地质志、区域地质报告、论文专著等)。本文限于篇幅,主要讨论涉及核心问题的重要信息。

### 2.2 编图范围与时代

编图范围为中上扬子陆块及其东南缘与华夏地块交界部分(包括云开、粤东南地块等)。经纬坐标在 22°00'~33°00' N、102°00'~115°00' E 间。时代为

中奥陶世至早志留世,涵盖了构造—沉积转型直至大部地区抬升、结束沉积旋回的过程。

### 3 华南早古生代晚期岩相古地理演化

#### 3.1 中奥陶世大坪—达瑞威尔期

中奥陶世是华南构造—沉积转型的开始<sup>[1]</sup>。本期构造环境由伸展转为挤压,但古地理有继承性。沉积相带整体上呈北东—南西走向,由扬子碳酸盐陆表海和华夏碎屑滨浅海分别向中部变深(图3)。中部深水相区的性质及其相邻沉积相配置是反映盆地格局的关键,具有三个重要特征:

(1) 该区属稳定的欠补偿沉积环境,中奥陶统七溪岭组、百马冲组、茶亭组、下黄坑组和上奥陶统双家口组、南石冲组均为硅质岩、硅质页岩,在以往的残留洋模式中被作为次深海—深海沉积。然而,上述地层中主要发育营浮游生活的正笔石类和浮游型圆尾虫类(*Cyclopyge*),分别指示古水深在 GA4 范围(60~

100 m)<sup>[31-32]</sup>和 100~200 m<sup>[33]</sup>。近年来又发现低分异度球形放射虫<sup>[26]</sup>,其特征与下扬子地区上奥陶统五峰组放射虫、大西洋沿岸陆表海古生代放射虫一致<sup>[34]</sup>,进一步指示浅海环境而非深海洋盆。故此,笔者将其命名为“陆棚凹陷盆地”(图3,相区代号 SBa),含义为浅海陆棚内部地形凹陷的相对深水区,与洋壳背景的“次深海—深海盆地”有本质区别。

(2) 陆棚凹陷盆地作为华南沉降中心和扬子、华夏间的纽带,与两侧沉积相的配置符合瓦尔特相律,既不存在“跳相”,也不发育洋—陆转换带。其西北侧连接扬子浅海陆棚,发育宁国组、胡乐组、九溪组的粉砂质页岩夹硅质页岩,笔石动物组合基本相同。再向西北为深水碳酸盐缓坡,发育大湾组、十字铺组瘤状灰岩、泥晶灰岩。笔者曾据此提出奥陶纪沉积模式(图4),反映了陆棚内部由碳酸盐岩、泥页岩到炭硅质岩的岩相过渡变化,其间并无陆缘坡折转换带。

盆地东南侧则连接云开、粤东南古隆起周缘的碎

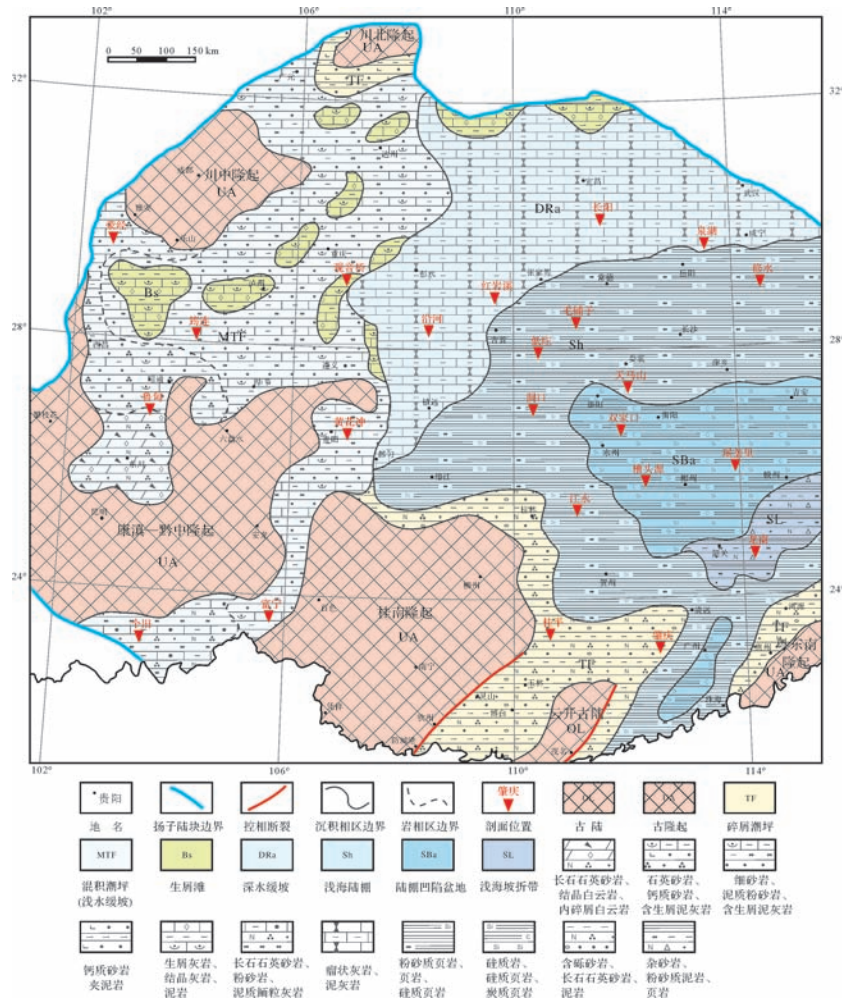


图3 研究区中奥陶世大坪—达瑞威尔期岩相古地理图

Fig.3 Lithofacies paleogeography of the study area during Dapingian to Darrivilian in Middle Ordovician

屑滨浅海,以黄隘组潮坪、三角洲相砂泥岩为代表。在粤北韶关等地发育一套韵律层碎屑岩,沉积特征与上奥陶统韩江组、石口组、城步组、天马山组相同,以往常被视为大陆斜坡相浊积岩。但笔者在其中发现大量具颗粒支撑结构的石英砂岩、长石石英砂岩(图5a,b),结构成熟度低,发育小型交错层理、平行层理,为近源牵引流沉积。加之这些碎屑岩基本不发育典型鲍马序列的粒序段(A段),而以B、C、D段组合为主(图5c),故其浊积岩性质仍需仔细考证。笔者将其命名为“浅海坡折带”(图3,相区代号SL),指示在东南侧强烈构造挤压的驱动下,地形坡度变大并接受东南侧快速碎屑供给的浅海相区(图4)。作为正

常陆棚与陆棚凹陷盆地间的过渡区,浅海坡折带发育近源牵引流和局部重力流的混合沉积,并以此区别于大陆边缘斜坡。

(3) 更重要的是“陆棚凹陷盆地”的展布位置,位于邵阳—萍乡—吉安一线以南、韶关—赣州以西(图3),大幅跨越了前人推测的残留洋缝合带,即扬子、华夏的“板块边界”。结合上述沉积环境与相序配置特征,构成了“不存在重大控相断裂或缝合带”的直接证据。

### 3.2 晚奥陶世桑比期—凯迪期早期

本期古地理演化进一步显示华南盆地的整体性。东南方向持续的构造挤压造成盆地内迁,逐步改变着

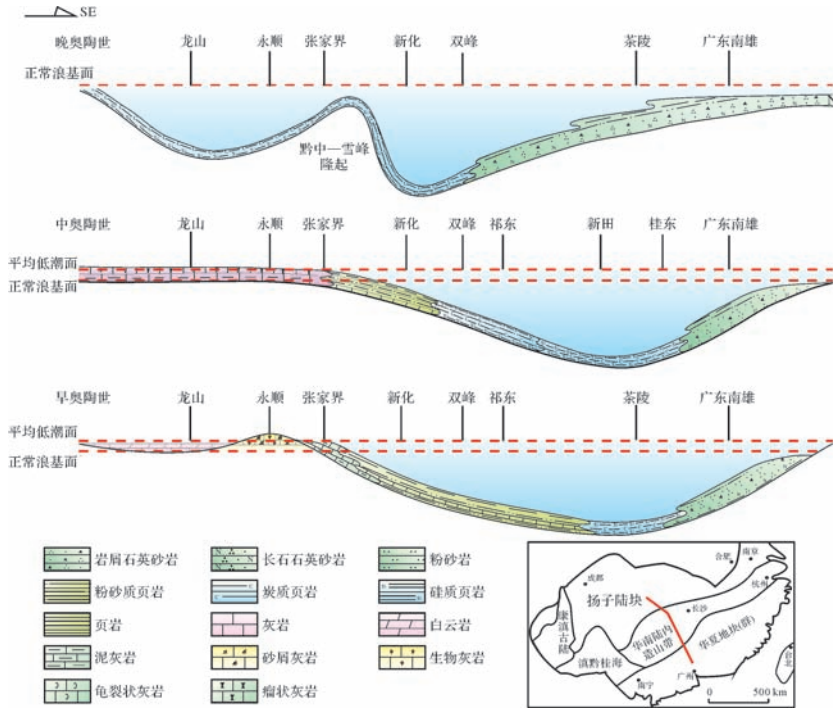


图4 扬子东南缘奥陶纪沉积模式演化(据葛祥英等<sup>[26]</sup>修改)

Fig.4 Ordovician sedimentary-pattern evolution in the southeast margin of Yangtze block (after Ge *et al.*<sup>[26]</sup>)

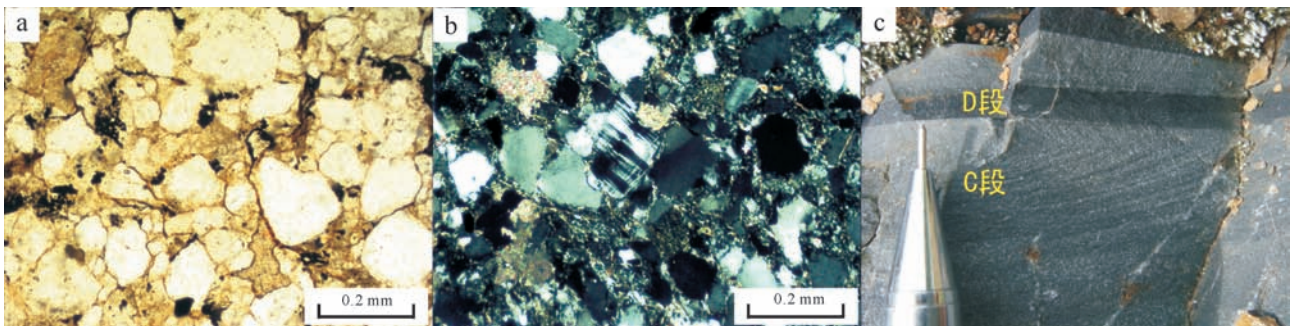


图5 浅海坡折带碎屑岩沉积特征

a.双峰天马山组石英砂岩,具颗粒支撑结构,以石英、长石为主,单偏光;b.桂东城步组长石石英砂岩,具颗粒支撑结构,颗粒磨圆较差、分选中等,正交偏光;c.双峰天马山组疑似鲍马序列C+D段组合,发育小型交错层理。

Fig.5 Sedimentary characteristics of Ordovician clastic rock in shelf facies

原先西浅东深的盆地结构。粤东南、云开等古隆起有小范围扩张,边缘相区发育进积型序列和指示相对海平面下降的地球化学指标<sup>[35]</sup>。与之呼应的是中部深水相区向西北方向大幅迁移;陆棚凹陷盆地到达淑浦—安化—益阳以南、长沙—株洲—郴州以西(图6),岩性仍以富产笔石、放射虫的硅质岩、硅炭质页岩为主;而浅海坡折带向西北的推进,直接造成韩江组浅水碎屑岩超覆于前期陇溪组深水笔石相硅页岩之上,两套地层在生物相、岩相上的剧变正是广西运动的重要沉积响应<sup>[36]</sup>。

古地理格局还反映出不同于典型“前陆盆地”的地形与沉积充填样式。前人认为东南部是板块碰撞的前陆逆冲推覆带,黔中—雪峰隆起是地壳挠曲形成的前隆,两者之间为前渊<sup>[16]</sup>。然而从古地理演化上看,云开隆起、粤东南隆起较之前期并无明显变化,反而黔中—雪峰有大范围抬升(图6),这从负荷地壳均

衡调整的角度难以解释;既无明显的前陆推覆造山,如何形成了大规模的前隆?对此,笔者曾提出板块内部继承性基底构造的应力作用才是黔中—雪峰隆起形成的主因<sup>[29]</sup>。其次从沉积充填上,东南部隆起边缘发育宽缓的海岸—陆棚,为连续沉积的滨浅海相碎屑岩,不具备前渊带从深海相到浅水磨拉石堆积的典型构造层序;而雪峰隆起东侧仅发育狭窄的碎屑海岸带,紧邻硅炭质深水凹陷,指示地形坡度较大(图4)。这与箕状前渊盆地的形态特征恰恰相反。

最后,对于本期形成以宝塔组灰岩为特色的大面积深水缓坡(图6,相区代号DRa),前人提出是由于黔中—雪峰“前隆”向扬子克拉通方向推进,构造掀斜、隆后挠曲变深所致<sup>[16,37]</sup>。笔者赞同构造掀斜与海平面相对上升是重要因素。但从宝塔组具统治性的角石动物群判断,古水深在100~150 m<sup>[37]</sup>,与前期以湄潭组、十字铺组为代表的浅水台地差别甚大。众

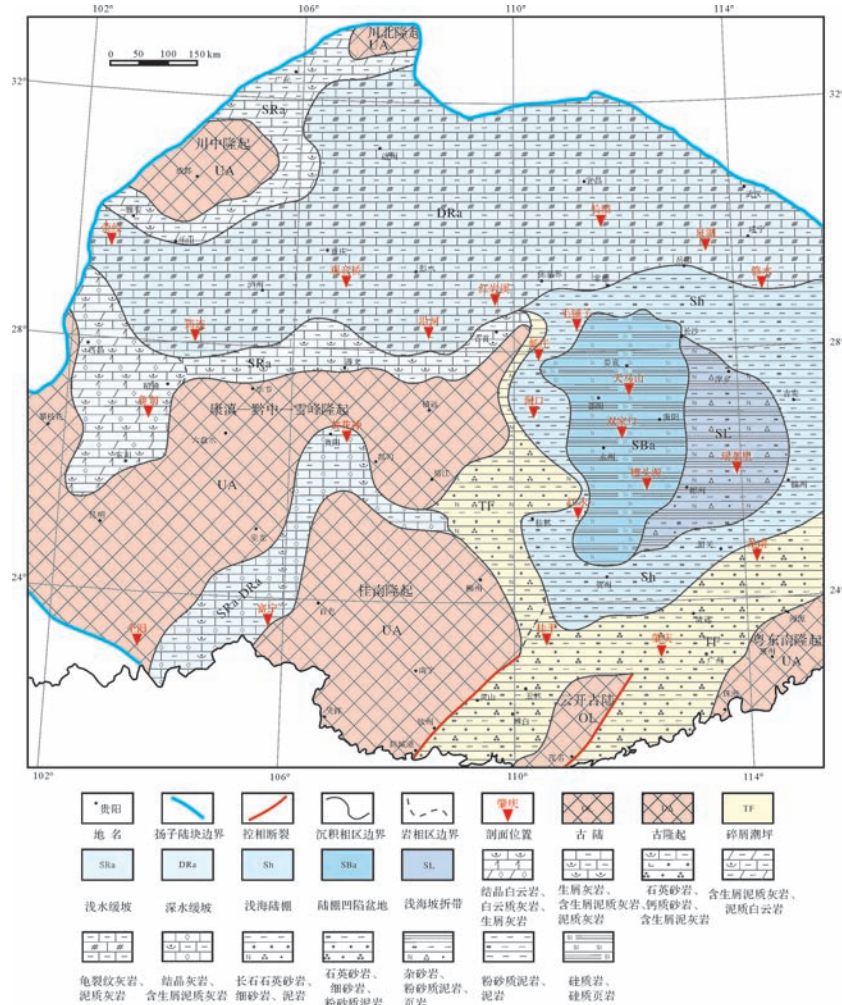


图6 研究区晚奥陶世桑比—凯迪期早期岩相古地理图

Fig.6 Lithofacies paleogeography of the study area during Sandbian to Early Katian in Late Ordovician

所周知,在前陆系统中,隆后盆地仅接受构造远程效应、地壳变形最微弱,很难产生如此大范围、大幅度的地壳沉降。因此笔者认为,康滇—黔中—雪峰大型隆起带导致的挠曲沉降固然重要,但宝塔组深水缓坡的形成更归因于华南板块的整体性变化,是盆地结构向“南浅北深”转变的序幕。

### 3.3 晚奥陶世凯迪期晚期—赫南特期、早志留世鲁丹期

本阶段延续了盆地整体收缩和结构转变的趋势。东南部作为构造挤压的前锋区,率先完成了板内地壳调整,呈现面状抬升(图7,8),成为华南的地形高地。桂东、粤北、粤东、赣西广泛发育相应地层与泥盆系的不整合面,是面状隆起的可靠证据。浅水边缘相(潮坪、滨岸等)成为主体,范围越过娄底—永州一线,接受来自南侧的碎屑沉积,例如江西修水下志留统梨树窝组石英砂岩、雪峰隆起北侧龙马溪组三角洲相砂泥

岩<sup>[38]</sup>。陆棚凹陷盆地等深水相区因相对海平面下降而消失。

受东西两侧隆起夹持的洞口—安化—东安一线是过渡区,充填序列和沉积格局可指示扬子、华夏地形单元的对接过程。凯迪晚期—赫南特期沉积一套粉砂质页岩、炭质页岩,向北与扬子区五峰组页岩连通;鲁丹—埃隆期沉积千余米厚的周家溪组石英砂岩、长石石英砂岩、凝灰质砂岩,反映两侧抬升造成的挠曲沉降、可容纳空间剧增和快速物源供给,是海槽关闭前的末期沉积响应。

受巨型隆起带围限的中上扬子成为华南盆地的深水中心,以局限陆棚为主体。能在挤压抬升的一级构造旋回中保持较长期的的高水位、缺氧、还原环境,得益于两个重要因素<sup>[29]</sup>:一是康滇、川中、黔中、雪峰古陆核等刚性基底构造的阻隔、传导,赢得了地壳结构调整的宝贵时间;二是赫南特期全球性冰川事件造成

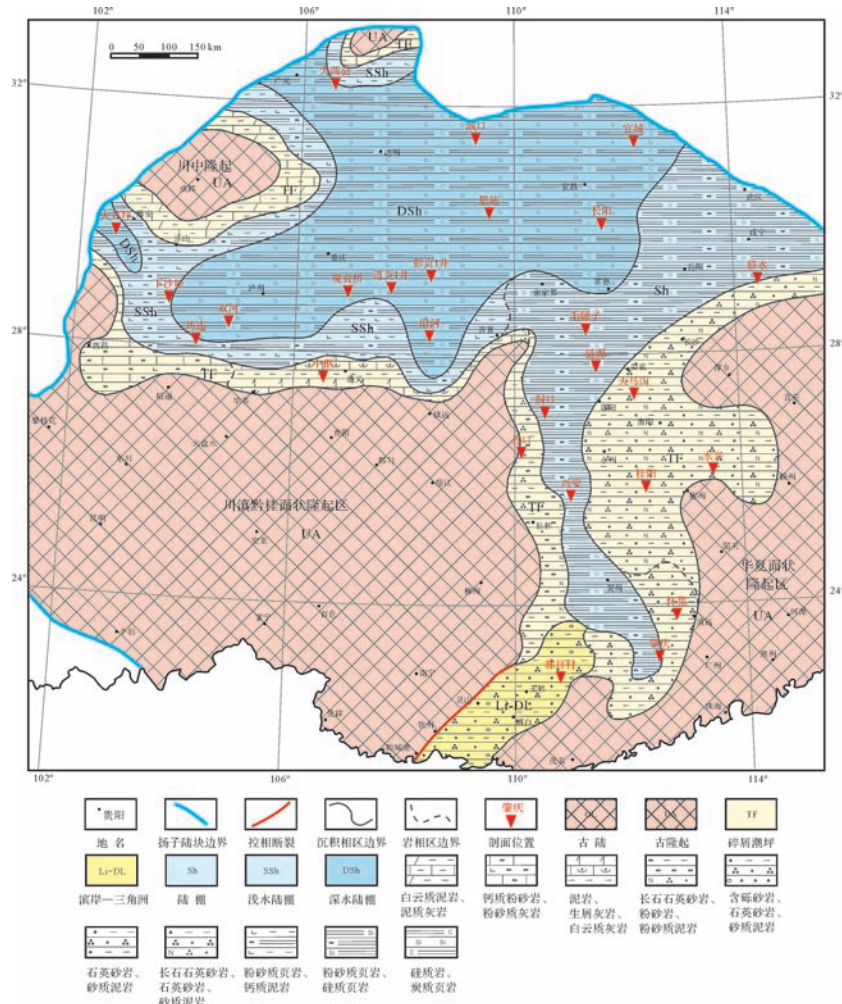


图7 研究区晚奥陶世凯迪期晚期—赫南特期岩相古地理图

Fig.7 Lithofacies paleogeography of the study area during Late Katian to Hirnantian in Late Ordovician

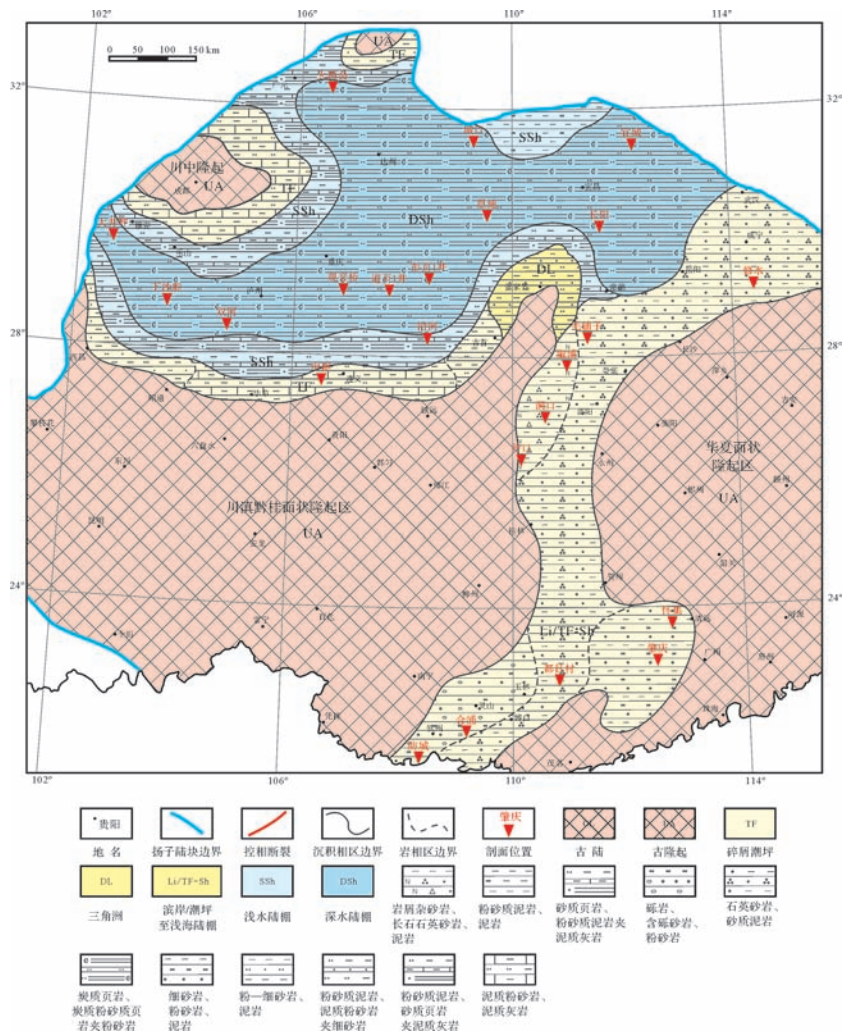


图8 研究区早志留世鲁丹期岩相古地理图

Fig.8 Lithofacies paleogeography of the study area of Rhuddanian in Early Silurian

的海平面升降。两者共同作用,为下古生界最重要的两套优质烃源岩(页岩气层)——五峰组和龙马溪组的发育创造了绝佳条件。

### 3.4 早志留世埃隆期、特列奇期

经过长期地壳调整,华南板块自本期进入均衡性整体抬升阶段,古地貌趋于平缓。

东南部陆地边缘仅存滨海沉积区(图9,10)。湘中周家溪组上段的细砂岩、粉砂岩发育波痕;钦防、北流、郁南等地的连滩组上段为泥岩、细砂岩夹粗砂岩,发育透镜状层理、脉状层理。这些残留海域在特列奇期全面关闭(除钦防外),导致中—上志留统普遍缺失。

由于板块整体抬升和鲁丹期碎屑充填,以及前期挠曲沉降之后的地壳回返,中上扬子形成了可供碳酸

盐生长的平坦垫板。于是在埃隆期出现短暂的沉积体制转换,形成以石牛栏组为代表的“混积型碳酸盐缓坡”<sup>[29]</sup>(图9),但很快因构造挤压、碎屑掩盖而夭折,被特列奇期碎屑滨浅海取代(图10)。此后,华南板块进入持续的海退期直至抬升暴露,绝大部分地区因此缺失特列奇阶之上地层,早古生代沉积旋回结束。

## 4 岩相古地理对华南构造—盆地问题的反映及讨论

(1) 以往作为扬子、华夏板块分界的“江山—萍乡—郴州”一线,并未表现出对沉积物配置、相区展布的控制,表明早古生代华南板块内部没有分隔盆地的重大构造界线,扬子与华夏是连续、统一的构造—

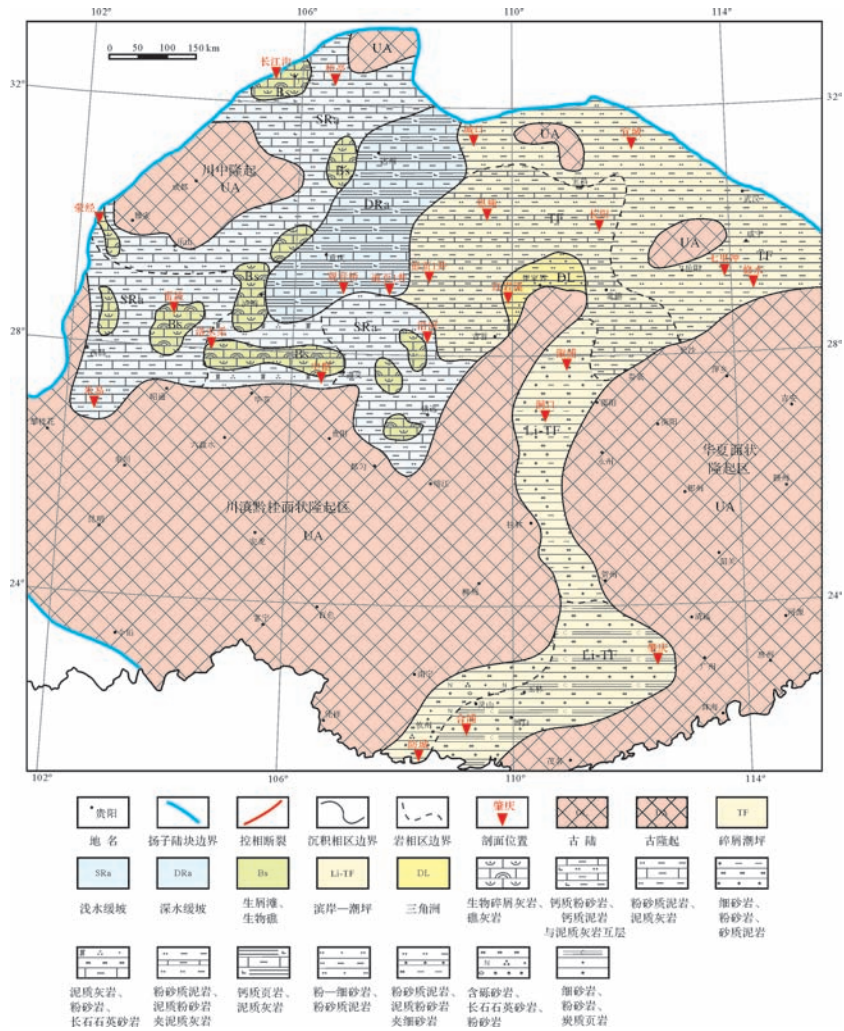


图9 研究区早志留世埃隆期岩相古地理图

Fig.9 Lithofacies paleogeography of the study area of Aeronian in Early Silurian

沉积单元。这是本次岩相古地理研究与前人认识的重要差异。

(2) 中奥陶世以后各期岩相古地理格局反映出的盆地结构和沉积充填样式,不符合典型前陆盆地的特征。

(3) 华南早古生代晚期并无洋盆消减,由被动大陆边缘到前陆盆地的演化,而表现为板内挤压的造山、造陆过程。具体分为两个阶段:一是挤压初期的板内地壳调整阶段(中奥陶世至早志留世鲁丹期),呈隆凹相间的古地貌,沉积、沉降中心持续迁移;二是调整完成之后的板块整体抬升阶段(早志留世埃隆期至志留纪末),古地貌趋于平缓,沉积区不断萎缩。

(4) 尝试对华南板块演化提出一种设想:从新元古代末超大陆裂解至早古生代早期,华南板块长期处

于伸展性构造环境,加之扬子陆块与华夏地块群在早期克拉通化程度上的明显差异,华南板块呈“松散衔接”状态。早古生代晚期的构造转型,是板块内部从松散到紧合的“再克拉通化”过程,而非大洋消减、陆陆碰撞。

(5) 从华南大区古地理重建的角度,对构造学者提出的“华南统一板块”和加里东晚期“陆内造山”模式给予了验证。但对华南构造盆地演化这一地学难题的破解,仍需积累更丰富扎实的多学科地质证据。例如对扬子、华夏交界区砂岩沉积环境的精细识别、物源分析等,或可成为破解难题的关键之钥。

致谢 成都地质调查中心许效松研究员对本文给予诸多启发性指导,康建威、门玉澎、闫剑飞高级工程师和博士研究生陈超等协助完成野外工作,在此致谢。



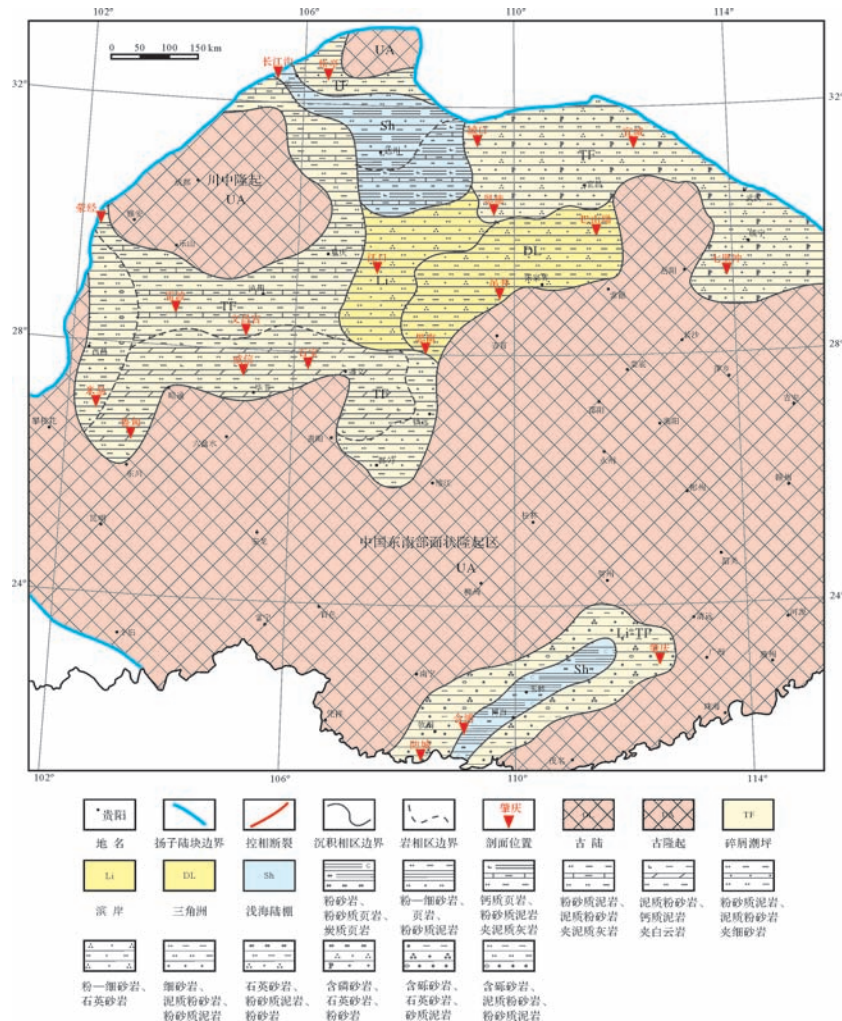


图10 研究区早志留世特列奇期岩相古地理图

Fig.10 Lithofacies paleogeography of the study area of Telychian in Early Silurian

参考文献 (References)

[1] 刘宝珺,许效松,夏文杰,等. 中国南方岩相古地理图集[M]. 北京:科学出版社,1994:1-188. [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Xia Wenjie, et al. Lithofacies paleogeography in South China Atlas[M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-188.]

[2] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,2004:1-233. [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Cambrian and Ordovician in South China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 1-233.]

[3] 许效松,刘伟,门玉澎,等. 对新元古代湘桂海盆及邻区构造属性的探讨[J]. 地质学报,2012,86(12):1890-1904. [Xu Xiaosong, Liu Wei, Men Yupeng, et al. Probe into the tectonic nature of Neoproterozoic southern Hunan-northern Guangxi marine basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(12): 1890-1904.]

[4] 龚世福,林锦雄. 试论福建前寒武纪地层的划分对比[J]. 福建地质,1987,6(2):71-107. [Gong Shifu, Lin Jinxiong. Stratigraphic

classification and correlation of Precambrian strata in Fujian province [J]. Geology of Fujian, 1987, 6(2): 71-107.]

[5] 李献华,赵振华,桂训唐,等. 华南前寒武纪地壳形成时代的 Sm-Nd 和锆石 U-Pb 同位素制约[J]. 地球化学,1991(3):255-264. [Li Xianhua, Zhao Zhenhua, Gui Xuntang, et al. Sm-Nd isotopic and zircon U-Pb constraints on the age of formation of the Precambrian crust in southeast China[J]. Geochimica, 1991(3): 255-264.]

[6] 水涛. 华夏造山带基底年代学研究的评析[J]. 浙江地质,1995,11(2):14-19. [Shui Tao. Progresses and problem of the basement chronological research on the Cathaysia orogenic zone[J]. Geology of Zhejiang, 1995, 11(2): 14-19.]

[7] 郭令智,施央申,马瑞士,等. 中国东南部地体构造的研究[J]. 南京大学学报:自然科学版,1984,20(4):732-739. [Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi, et al. Tectonostratigraphic terranes of southeast China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences Edition, 1984, 20(4): 732-739.]

[8] 胡受奚,叶瑛. 对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子—华夏古陆统一体”等观点的质疑[J]. 高校地质学报,2006,12(4):432-

439. [Hu Shouxi, Ye Ying. Questions to "Cathaysia old land", "Cathaysia block" and "united Yantze-Cathaysia old land" of South China[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 432-439.]
- [9] 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. [Yu Jinhai, Wei Zhenyang, Wang Lijuan, et al. Cathaysia block: a young continent composed of ancient materials[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 440-447.]
- [10] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报,2006,12(4):418-431. [Shu Liangshu. Predevonian tectonic evolution of south China: from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 418-431.]
- [11] 徐备,郭令智,施央申. 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,1992:1-112. [Xu Bei, Guo Lingzhi, Shi Yangshen. Proterozoic Terranes and multiphase collisional orogens in anhui-Zhejiang-Jiangxi area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-112.]
- [12] Li Xianhua, Zhao Jianxin, McCulloch M T, et al. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of Neoproterozoic ophiolites from southeastern China: petrogenesis and tectonic implications[J]. Precambrian Research, 1997, 81(1/2): 129-144.
- [13] Shu L, Charvet J. Kinematics and geochronology of the Proterozoic Dongxiang - Shexian ductile shear zone: with HP metamorphism and ophiolitic melange (Jiangnan region, South China) [J]. Tectonophysics, 1996, 267(1/2/3/4): 291-302.
- [14] 殷福鸿,吴顺宝,杜远生,等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学,1999,24(1):1-12. [Yin Hongfu, Wu Shunbao, Du Yuansheng, et al. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system [J]. Earth Science, 1999, 24(1): 1-12.]
- [15] 王鹤年,周丽娅. 华南地质构造的再认识[J]. 高校地质学报,2006,12(4):457-465. [Wang Henian, Zhou Liya. A further understanding in geological structure of South China [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 457-465.]
- [16] 尹福光,许效松,万方,等. 华南地区加里东期前陆盆地演化过程中的沉积响应[J]. 地球学报,2001,22(5):425-428. [Yin Fuguang, Xu Xiaosong, Wan Fang, et al. The sedimentary response to the evolutionary process of Caledonian foreland basin system in South China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(5): 425-428.]
- [17] 马永生,陈洪德,王国力. 中国南方构造—层序岩相古地理图集[M]. 北京:科学出版社,2009:1-45. [Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli. Atlas of tectono-sequence lithofacies paleogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-45.]
- [18] 张国伟,郭安林,王岳军,等. 中国华南大陆构造与问题[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2013,43(10):1553-1582. [Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun, et al. Tectonics of South China continent and its implications [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2013, 43(10): 1553-1582.]
- [19] Li Z X, Metcalfe I, Powell C M. Breakup of Rodinia and Gondwanaland and assembly of Asia [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43(6): 591-592.
- [20] 柏道远,周亮,王先辉,等. 湘东南南华系—寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代—早古生代构造背景的制约[J]. 地质学报,2007,81(6):755-771. [Bai Daoyuan, Zhou Liang, Wang Xianhui, et al. Geochemistry of Nanhuan-Cambrian sandstones in southeastern Hunan, and its constraints on Neoproterozoic-Early Paleozoic tectonic setting of South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(6): 755-771.]
- [21] 陈旭,戎嘉余,Rowley D B,等. 对华南早古生代板溪洋的质疑[J]. 地质论评,1995,41(5):389-400. [Chen Xu, Rong Jiayu, Rowley D B, et al. Is the early Paleozoic Banxi ocean in South China necessary? [J]. Geological Review, 1995, 41(5): 389-400.]
- [22] 李聪,陈世悦,张鹏飞,等. 华南加里东期陆内构造属性探讨[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(5):18-24. [Li Cong, Chen Shiyue, Zhang Pengfei, et al. Research of South China Caledonian intracontinental tectonic attribute [J]. Journal of China University of Petroleum, 2010, 34(5): 18-24.]
- [23] 沈渭洲,舒良树,向磊,等. 江西井冈山地区早古生代沉积岩的地球化学特征及其对沉积环境的制约[J]. 岩石学报,2009,25(10):2442-2458. [Shen Weizhou, Shu Liangshu, Xiang Lei, et al. Geochemical characteristics of Early Paleozoic sedimentary rocks in the Jinggangshan area, Jiangxi province and the constraining to the sedimentary environment [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10): 2442-2458.]
- [24] Yao Weihua, Li Zhengxiang, Li Wuxian. Was there a Cambrian ocean in South China? - Insight from detrital provenance analyses [J]. Geological Magazine, 2014, 152(1): 184-191.
- [25] 陈世悦,李聪,张鹏飞,等. 江南—雪峰地区加里东期和印支期不整合分布规律[J]. 中国地质,2011,38(5):1212-1219. [Chen Shiyue, Li Cong, Zhang Pengfei, et al. The unconformable distribution of Caledonian and Indosinian strata in Jiangnan-Xuefeng area [J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1212-1219.]
- [26] 葛祥英,牟传龙,周恩恩,等. 湖南地区晚奥陶世桑比期—凯迪早期早期沉积特征及沉积模式[J]. 古地理学报,2013,15(1):59-68. [Ge Xiangying, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, et al. Sedimentary characteristics and depositional model in the Sandbian-early Katian Ages of Late Ordovician in Hunan area [J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15(1): 59-68.]
- [27] 梁薇,牟传龙,周恩恩,等. 湘中—湘南地区寒武纪岩相古地理[J]. 古地理学报,2014,16(1):41-54. [Liang Wei, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, et al. Lithofacies palaeogeography of the Cambrian in central and southern Hunan province [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 16(1): 41-54.]
- [28] 牟传龙,周恩恩,梁薇,等. 中上扬子地区早古生代烃源岩沉积环境与油气勘探[J]. 地质学报,2011,85(4):526-532. [Mou Chuanlong, Zhou Kenken, Liang Wei, et al. Early Paleozoic sedimentary environment of hydrocarbon source rocks in the Middle-Upper Yangtze region and petroleum and gas exploration [J]. Acta

- Geologica Sinica, 2011, 85(4): 526-532.]
- [29] 周恩恩, 牟传龙, 许效松, 等. 华南中上扬子早志留世古地理与生储盖层分布[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(5): 623-632. [Zhou Kenken, Mou Chuanlong, Xu Xiaosong, et al. Early Silurian paleogeography and source-reservoir-cap rocks of the Middle-Upper Yangtze region in South China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(5): 623-632.]
- [30] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 238-347. [Liu Baojun, Zeng Yunfu. Base and working procedure of lithofacies paleogeography[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 238-347.]
- [31] 周名魁, 王汝植, 李志明, 等. 中国南方奥陶—志留纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-95. [Zhou Mingkui, Wang Ruzhi, Li Zhiming, et al. Ordovician and Silurian lithofacies paleogeography and mineralization in South China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-95.]
- [32] 陈旭. 论笔石的深度分带[J]. 古生物学报, 1990, 29(5): 507-526. [Chen Xu. Graptolite depth zonation[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1990, 29(5): 507-526.]
- [33] 周志毅, 周志强, 袁文伟, 等. 湘鄂西部地区晚奥陶世三叶虫相和古地理演化[J]. 地层学杂志, 2000, 24(4): 249-263. [Zhou Zhiyi, Zhou Zhiqiang, Yuan Wenwei, et al. Late Ordovician trilobite biofacies and palaeogeographical development, western Hubei-Hunan[J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24(4): 249-263.]
- [34] 王玉净, 张元动. 江苏仑山地区上奥陶统五峰组放射虫动物群及其地质意义[J]. 微体古生物学报, 2011, 28(3): 251-260. [Wang Yujing, Zhang Yuandong. Radiolarian fauna of the Wufeng Formation (Upper Ordovician) in Lunshan area, Jiangsu and its geological significance [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2011, 28(3): 251-260.]
- [35] 周恩恩, 牟传龙, 陈小炜, 等. 广东肇庆奥陶系砂泥岩沉积环境的地球化学表征[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 340-346. [Zhou Kenken, Mou Chuanlong, Chen Xiaowei, et al. Elemental geochemistry evidence for sedimentary environment of Ordovician siltstones in Zhaoqing, Guangdong province[J]. Earth and Environment, 2014, 42(3): 340-346.]
- [36] 陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等. 赣南奥陶纪笔石地层序列与广西运动[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2010, 40(12): 1621-1631. [Chen Xu, Zhang Yuandong, Fan Juanxuan, et al. Ordovician graptolite-bearing strata in southern Jiangxi with a special reference to the Kwangsi Orogeny[J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2010, 40(12): 1621-1631.]
- [37] 许效松, 万方, 尹福光, 等. 奥陶系宝塔组灰岩的环境相、生态相与成岩相[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 64-68. [Xu Xiaosong, Wan Fang, Yin Fuguang, et al. Environmental facies, ecological facies and diagenetic facies of Baota Formation, of Late Ordovician [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 64-68.]
- [38] 周恩恩, 牟传龙, 梁薇, 等. 湘西北龙山、永顺地区龙马溪组潮控三角洲沉积的发现——志留纪“雪峰隆起”形成的新证据[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 468-477. [Zhou Kenken, Mou Chuanlong, Liang Wei, et al. Tide-dominated deltaic deposits in Lungmachi Formation, Longshan-Yongshun regions, northwestern Hunan; the initial sedimentary responses to outset of “Xuefeng uplift”[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(3): 468-477.]

## Lithofacies Paleogeography of the South China in Early Paleozoic and Its Reflection on Key Geological Problems

ZHOU KenKen, MU ChuanLong, GE XiangYing, LIANG Wei, CHEN XiaoWei, WANG QiYu, WANG XiuPing

Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610082, China

**Abstract:** Palaeogeographic reconstruction in small scale is one of the most effective method for discussing tectonic-basin evolution in geological time. Recent progresses in lithofacies paleogeographic study on South China provide new clues on the key geological problems in early Paleozoic. The results of our study show that there is no critical tectonic-basin boundary between the Yangtze and Cathaysia block in early Paleozoic, which has a continuous distribution of sedimentary facies in time and spaces. These lines of evidence deny the presence of Huanan remnant-ocean basin in early Paleozoic, and, with the coupled evolution of paleogeography in successive stages, support the hypothesis of one solid South China Plate. The results also support a mountain-basin coupling process inside of South China Plate, instead of transition from passive continental margin to foreland basin system. This process can be considered as re-creation of South China Plate in Early Paleozoic.

**Key words:** Lithofacies paleogeography; South China Plate; remnant-ocean basin; Cathaysia block