

华南五峰组—龙马溪组黑色岩系时空展布的主控因素及其启示

苏文博¹, 李志明², Frank R. Ettensohn³, Markes E. Johnson⁴,
Warren D. Huff⁵, 王巍¹, 马超¹, 李录¹, 张磊¹, 赵慧静¹

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. Dept. of Earth & Environ. Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY 40506-0053, USA

4. Dept. of Geosciences, Williams College, Williamstown, MA 01267, USA

5. Dept. of Geology, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0013, USA

摘要: 在回顾五峰组—龙马溪组两个地层单位沿革并重申其定义与划分基础上, 重建了华南五峰组—龙马溪组及其相关地层序列的区域地层框架。根据这一框架中奥陶—志留纪黑色笔石岩系的穿时性, 以及相关地层序列纵向演化特征与岩石圈板块挠曲模式的联系, 结合所发现钾质斑脱岩源岩的板块汇聚背景, 以及该阶段海平面升降与黑色岩系对应关系, 提出控制该阶段华南黑色岩系的时空展布格局的主要因素有两个, 即该阶段自南东向北西的华夏地块与扬子地块幕式汇聚过程所产生的岩石圈板块挠曲—周缘前陆盆地的同向迁移, 以及该阶段两次全球性的三级海平面变化快速上升阶段所导致的缺氧及欠补偿水体。本文认为, 要在华南奥陶—志留纪(包括其他断代)寻找其他可能的烃源岩层位, 可能要首先考虑类似背景下这两种因素综合作用所导致的快速沉降及深水缺氧的沉积环境。

关键词: 奥陶—志留纪烃源岩; 黑色页岩; 岩石圈挠曲; 全球海平面变化; 华南板块汇聚。

中图分类号: P736.22

文章编号: 1000-2383(2007)06-0819-09

收稿日期: 2007-08-25

Distribution of Black Shale in the Wufeng-Longmaxi Formations (Ordovician-Silurian), South China: Major Controlling Factors and Implications

SU Wen-bo¹, LI Zhi-ming², Frank R. Ettensohn³, Markes E. Johnson⁴,
Warren D. Huff⁵, WANG Wei¹, MA Chao¹, LI Lu¹, ZHANG Lei¹, ZHAO Hui-jing¹

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Dept. of Earth & Environ. Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY 40506-0053, USA

4. Dept. of Geosciences, Williams College, Williamstown, MA 01267, USA

5. Dept. of Geology, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0013, USA

Abstract Review of lithostratigraphic criteria for subdividing the Wufeng (Ordovician) and Longmaxi (Silurian) formations reaffirms their integrity and subdivisions and provides new regional correlations between the formations and related stratigraphic successions and facies. Both the black shales and the related overlying flysch deposits and other successions at the Ordovician-Silurian transition in South China appear to have migrated northwestward in time and space, reflecting probable flexural control in a foreland basin that developed in response to subduction-type orogeny southeast of the Yangtze block.

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 49802002, 40372057); 中国石油化工股份有限公司海相油气勘探前瞻性项目(No. G0800-06-ZS-319)。

作者简介: 苏文博(1965—), 男, 博士, 副教授, 主要从事早古生代层序地层及综合地层、沉积古地理研究。E-mail: suwenbo@cugb.edu.cn

The black shales also contain K-bentonites from explosive, felsic-intermediate volcanism, the distribution of which also supports orogeny to the southeast. Finally, analysis of sequence stratigraphy, which shows that the initiation of transgressive system tracts (TST) and condensed section (cs) in the related 3rd-order sequences coincided with the two black-shale horizons respectively, indicates that the major controlling factors for the deposition of the Ordovician-Silurian black shales in South China are (1) northwestwardly migrating foreland-basin subsidence caused by deformational loading related to episodic accretion of the Cathaysia block to the Yangtze block during this period, and (2) the anoxic, sediment-starved water column caused by rapid rise of the sea level during the two successive phases of the 3rd-order, eustatic sea-level rise near the Ordovician-Silurian transition in South China. In the future exploration for source rocks from the area in various periods, consideration of likely flexural and eustatic causes for subsiding, deep, anoxic seas may be important in recognizing other source-rock intervals.

Key words: Ordovician-Silurian source rocks; black shale; lithospheric flexure; eustasy; plate accretion in South China.

扬子地块及其周缘奥陶—志留系五峰组—龙马溪组黑色—暗色含笔石页岩, 已被公认为是华南地区“下组合”海相地层中的“三大优质烃源岩”之一。伴随着“普光气田”等重大突破, 深入剖析“下组合”各主力烃源岩的时空分布及其成因, 以及它们对相关油气资源的贡献, 寻找并确认更多层位的优质烃源岩以适应未来更长远时期的战略勘探和开发, 已成为目前华南海相油气勘探工作首要命题之一。

然而, 到目前为止, 学者们在论及华南下组合包括奥陶—志留系优质烃源岩时, 普遍存在这样的倾向: 习惯于忽略奥陶—志留纪之交的海平面升降以及曾经发生的构造隆升等造成的地层缺失等, 总是把五峰组和龙马溪组视为“同一套”黑色—暗色岩系来对待, 进而比较笼统地将其成因全部归之于志留纪初期全球海平面迅速上升导致的缺氧事件。这在相当程度上影响了对其成因和时空展布的深入探讨与准确把握。因此, 本文欲从华南奥陶—志留纪烃源岩—五峰组及龙马溪组的主要特征以及在华南的区域分布入手, 探讨其时空展布的主控因素, 以期能将相关研究引向深入。

1 五峰组和龙马溪组的地层学特征

五峰组源于 Sun (1931) 根据湖北五峰鱼洋关一带含晚奥陶世笔石页岩所创的“五峰页岩”。穆恩之 (1954) 最早开展了其区域分布研究, 并沿用 Sun (1943) 提出的“宜昌上升”来概括这套沉积在湘鄂交界的缺失, 作为与上覆志留系 (龙马溪组) 区分的基本依据。稍后 Zhang (1962) 改称为“五峰页岩组”, 实际包括了孙氏的含笔石“五峰页岩”和随后一些学者在其顶部所发现的暗色泥灰质壳相—混合相沉积“观音桥段 (层)”。这种易于操作的两段性岩性组合,

遂成为今天习用的五峰组的含义 (汪啸风等, 1996; Rong *et al.*, 2002; 汪啸风和陈孝红, 2005; 陈旭等, 2006)。按照最新的划分方案, 当前的五峰组由下部的黑色碳硅质笔石页岩段及上部的观音桥段组成, 包含了 *Dicellograptus complexus-Nomalograptus extraordinarius* 等生物带, 时限为晚奥陶世 Katian 晚期 ~ Hirnantian 期, 大体和英国传统的 Ashgill 中晚期相当。其同期沉积遍布上下扬子的川、渝、鄂、陕、滇、黔、苏以及毗邻的湘、赣、皖等地区 (图 1)。

龙马溪组源于 Lee and Chao (1924) 在峡东所创的“龙马页岩”及稍后尹赞勋 (1943) 的“龙马溪页岩”。按照 Lee and Chao (1924) 的划分, 其“龙马 (溪) 页岩”整合在“雷 (艾) 家山灰岩”即现今的宝塔—临湘组之上, 这实际上包括了后来被 Sun (1931) 称之为“五峰页岩”的奥陶系顶部地层。但此后穆恩之 (1954) 文中所称的“龙马溪群”实际上已经是将五峰组分解出来之后的划分, 也就是现在许多学者使用

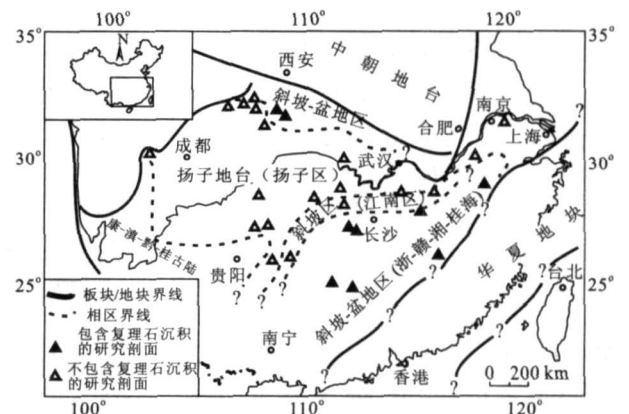


图 1 华南奥陶纪—志留纪构造—沉积分区及研究剖面分布示意图 (据 Wang *et al.* (2005), 苏文博 (2001), Su (2007) 修改)

Fig. 1 Sketch of Ordovician-Silurian tectonic units and depositional facies zones and studied sections, South China

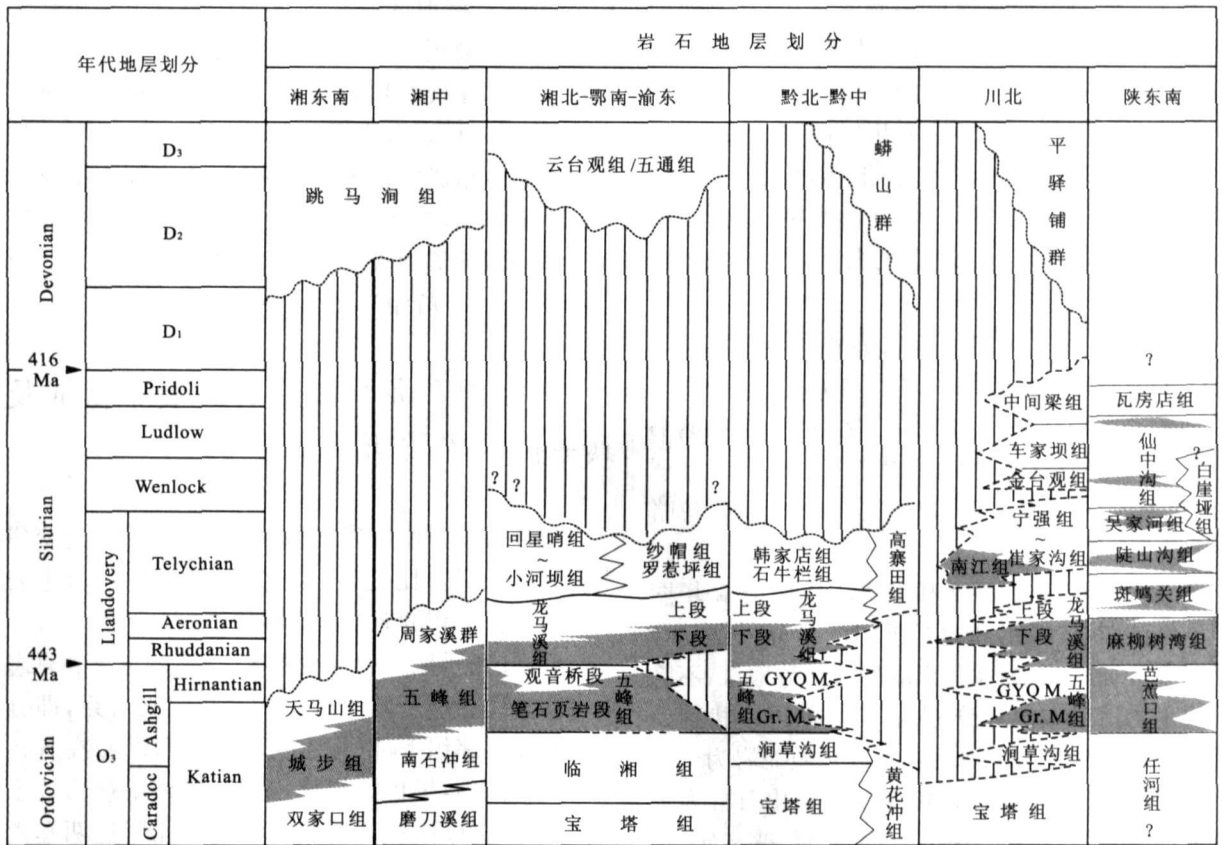


图 2 华南五峰组—龙马溪组及其相关地层序列对比

Fig. 2 Correlation of the Wufeng and Longmaxi formations and the related stratigraphic successions in South China 年代地层划分据 Gradstein *et al.* (2004) 及陈旭等 (2006); 岩石地层划分及其对比参照汪啸风等 (1996)、汪啸风和陈孝红 (2005)、陈旭和戎嘉余 (1996)、傅力浦和宋礼生 (1986)、刘义仁和傅汉英 (1989)、金淳泰等 (1992) 及苏文博 (2001) 等综合; GYQ M = 观音桥段; Gr. M = 笔石页岩段; UM = 上段; LM = 下段; 灰黑色条带代表黑色—灰黑色碳硅质笔石页岩层位

的“龙马溪组”的范畴 (林宝玉等, 1996; 汪啸风和陈孝红, 2005; 陈旭等, 2006). 按照最新划分, 当前的龙马溪组由下部黑色笔石相页岩和上部的灰绿色—黄绿色混合相泥质粉砂岩组成, 包含 *N. persculptus*, *Akidograptus ascensus*, *Parakidograptus acuminatus*, *Cystograptus vesiculosus*, *Coronograptus cyphus* (下部) 及 *Demirastrites triangularis* ~ *Monograptus sedgwickii* (上部) 等 8 个化石带.

由于新的 Hirnantian 阶包含了原来志留系最底部的 *N. persculptus* 带, 其顶界即笔石 *A. ascensus* 带的首现 (FAD), 被厘定为志留系的开始 (陈旭等, 2006). 因此, 在整个扬子区, 奥陶—志留系界线实际上是从当前的龙马溪组底部黑色笔石页岩中穿过的, 一般高于壳相的观音桥段数十厘米 (Rong *et al.*, 2002; 陈旭等, 2006). 即整个龙马溪组包含了 Hirnantian 阶最顶部以及 Rhuddanian ~ Aeronian

阶, 大体相当于新的龙马溪阶—大中坝阶 (汪啸风和陈孝红, 2005) (图 2). 在区域上, 该组主要见于上扬子区的川、渝、鄂、陕南、滇北、黔北、湘西北等地, 其同期其他沉积则见于赣北、皖东以及江苏中部等下扬子地区 (图 1).

显然, 现今意义上的五峰组和龙马溪组存在着如下的关系: 首先, 在建立时间上, “五峰页岩” (1931 年) 晚于 “龙马页岩” (1924 年), 在早期划分中, 前者实际上就相当于后者的下部; 其次, 在空间分布上, 五峰组与龙马溪组在扬子大部分地区都同时存在并出露; 再次, 在沉积记录上, 很多地区的五峰组与上覆的龙马溪组确实是连续沉积、彼此整合的; 最后, 在具体岩性上, 除去观音桥段, 五峰组页岩段与龙马溪组下部都是富含笔石的黑色—灰黑色碳硅质页岩或板岩. 况且在大部分情况下, 处于五峰组上部的观音桥段及其相当层位 (赣北—皖南的新开岭层等) 也

是厚度不大的暗色泥灰岩或钙质泥岩, 岩性特征确实不太突出. 鉴于这些特点, 20 世纪 90 年代中期, 部分学者根据“野外填图可操作性”、“岩石地层单位组的划分首先应当强调岩性的相似性和一致性”以及“命名优先权”等原则, 提出了将“五峰组”撤并, 恢复李四光当初的“龙马溪组”定义的方案, 并借丛书《全国地层多重划分对比研究》的发行向全国做了推介(赵自强和丁启秀, 1996).

客观地讲, 基于野外填图的需要而适时地做一些地层单位厘定, 《全国地层多重划分对比研究》的初衷无疑是值得肯定的. 但是, 在笔者看来, 此丛书在这两组及其他一些单位厘定中的一个不当之处就在于, 在考虑并强调从实际出发的同时, 却恰恰忽略了某些实际:

第一, 数十年来的科研和生产, 特别是区调填图工作已经证明, 五峰组和龙马溪组的划分依据是合理或基本合理的. 因为在其出露的大部分地区, 不管确切的生物地层如何划分, 人们几乎都可以找到良好的岩石地层界线——以泥灰岩或钙质泥岩为岩性特征、以腕足及三叶虫等壳相或混合相化石群为生物特征的观音桥段及其相当层位的顶面, 来界定、填制这样两个岩石地层单位.

第二, 无论是在扬子地块内部还是在其边缘的许多地区, 五峰组和龙马溪组之间都存在着区域性不整合和较严重的地层缺失现象. 此时, 五峰组和龙马溪组应当、而且完全可以作为两个不同的岩石地层单位. 正是根据湘鄂交界地区的观察, 穆恩之(1954)初步确立了此间曾有过的基底构造升降, 赋予孙云铸“宜昌上升”以新的含义, 并作为划分“五峰页岩”和“龙马溪群”的依据, 之后众多学者对此现象做了不同程度的肯定和补充(陈旭和戎嘉余, 1996; 苏文博, 2001; Chen *et al.*, 2004). 实际上, 上述许多相关地区的区调工作, 也正是借助这一不整合标志来进行两组界线的认知和划分, 以弥补因为观音桥段及其附近层位的缺失而带来的缺憾.

因此, 就华南地区奥陶—志留系界线附近地层划分而言, 笔者认为目前应有如下的共识: 一方面, 可能至少在扬子区范围内(图 1), 应当肯定并重申五峰组和龙马溪组的定义, 坚持将其作为两个各自独立的岩石地层单位来使用. 其间宏观界线, 或为观音桥段及其相当沉积的顶界、或为分隔上下地层序列的不整合界面; 另一方面, 在湘中等地, 奥陶系和志留系虽然同为连续沉积, 但由于地处斜坡—盆地

相区(图 1), 该地区原来的五峰组及其上覆志留系周家溪群的最底部层位, 均为黑色碳硅质笔石页岩, 显然不应都笼统地划归为“周家溪群”(赵自强和丁启秀, 1996), 可以考虑进行新的厘定. 考虑到“由浊积型杂砂岩组成的复理石沉积”是周家溪群的基本岩性特征, 笔者在此建议, 可以复理石杂砂岩的出现作为该地区该群的底界, 其下伏的黑色笔石页岩可全部划归为“五峰组”(图 2).

2 五峰组和龙马溪组时空展布特征及其主控因素浅析

根据最新工作所建立的奥陶纪—志留纪之交华南各相区地层对比关系(图 2), 可将该阶段黑色岩系及其相关沉积的时空展布特征概括如下:

(1) 在扬子地台的台地相区, 晚奥陶世末和早志留世初实际出现了两个层位的黑色笔石岩系, 即五峰组和龙马溪组下部(即本文所称“下段”). 在各自的时间框架内, 黑色页岩出现层位总体呈现出近乎完美的等时性. 而观音桥段往往与该相区这两套黑色岩系之间的区域性不整合或地层缺失在时空上相互共生, 即处于最低海平面时期.

(2) 在扬子东南缘的斜坡—盆地相区, 即湘东南(包括赣西南)—湘中一带, 在奥陶纪—志留纪之交仅出现了一套黑色笔石岩系(城步组和五峰组), 其内部没有出现任何沉积缺失或不整合. 这套黑色岩系在湘东南从晚奥陶世 Katian 早期(相当于传统的 Caradoc 晚期)即开始出现, 到湘中则一直延续到早志留世初 Rhuddanian 末期才结束, 从南东向北西总体上呈现出时代逐渐变新的穿时楔状体或黑色岩系“爬坡”现象.

(3) 在扬子北缘的斜坡—盆地相区, 即陕东南(包括邻近的鄂西北)等地, 从晚奥陶世到晚志留世, 黑色笔石岩系曾多次出现. 除去与台地相区对应的 Katian 末—Hirnantian 末(Ashgill 中晚期)芭蕉口组, 以及 Rhuddanian—Aeronian 初麻柳树湾组之外, 还在其上与复理石杂砂岩交互出现 5~6 次.

(4) 在扬子西北缘的川北—渝北一带, 在 Telychian 早期还出现了一套黑色笔石页岩——南江组等. 这是目前发现的发育在扬子地台台地相区志留系最高层位的黑色笔石岩系, 只是它的分布非常有限, 并与下伏层位呈平行不整合. 这一层位的黑色页岩

岩和地处扬子北缘斜坡—盆地相区的陕西紫阳等地的陡山沟组所夹黑色岩系的时代大体相当。

上述华南奥陶—志留纪之交相关地层序列的时空展布格局, 必然有其特殊的大地构造背景以及特殊的沉积条件及过程。下面就这两方面做一简单地分析。

2.1 华南奥陶—志留纪之交大地构造背景及其演化与黑色岩系关系

在孙云铸、尹赞勋以及穆恩之等奠基性工作基础上, 多年来许多学者从不同角度探讨了华南奥陶—志留纪之交黑色岩系及相关沉积体的时空分布与华南大地构造演化之间的关系。李志明和全秋琦(1992)可能最早提出, 应将华南奥陶—志留纪笔石页岩以及复理石沉积的穿时性分布与华南构造古地理演化结合起来, 他(她)们把主要的动力学机制归结为在现今东南沿海地区曾经存在过的“南华大洋”的北西向俯冲。陈旭等(1995, 1996, 2006)通过对华南的剖析, 阐述了华南地区奥陶—志留纪阶段与黑色笔石岩系共生的自南东向北西不断侵进的碎屑岩楔状体的动力学背景, 在于“华夏古陆”向扬子地块的靠拢与不断扩大。并认为, 该阶段扬子地台和“华夏古陆”应视为一个整体, 其间并不存在许靖华等所指的“板溪洋”(即南华洋)。刘宝珺等(1993)以及许效松等(1996, 2004)则认为一个源于中晚元古代的残余“南华洋”(图1“浙赣湘桂海”)曾横亘于北西的扬子地块和南东的华夏地块之间, 正是这一残余洋盆在早古生代末的最终消亡, 导致了此间华南地区整体上的盆山转换和耦合。与其早先研究一致, 王鸿祯先生在最近的论述中(Wang *et al.*, 2005)仍倾向于刘、许等人的解释。

近年来, 笔者通过对华南奥陶—志留纪之交五峰组—龙马溪组黑色页岩中所发现钾质斑脱岩的研究, 确认它们源于该阶段岛弧—同碰撞背景(Huff *et al.*, 1992)的中酸性火山喷发, 并在时空上和华夏与扬子地块之间的板块汇聚作用相关(Su *et al.*, 2003)。基于此并参照 Ettensohn (1994)对北美古生代黑色岩系沉积的研究, 笔者等进一步提出, 当前华南奥陶—志留纪之交的钾质斑脱岩—黑色笔石页岩以及相邻的地层序列, 与 Ettensohn 所提出的前陆盆地岩石圈板块负载挠曲效应模式完全一致, 代表了华夏与扬子地块之间汇聚过程的沉积响应(苏文博等, 2006)。在这里, 黑色岩系沉积所呈现的相对海侵, 首先被解释为汇聚过程中变形载荷(defor-

mational loading)所导致的盆地基底的快速沉降; 而其上覆的总体变浅的沉积序列, 则可解释为接踵而至的加载—卸载等阶段的对应沉积。换言之, 图2所示的华南奥陶纪—志留纪之交的穿时性黑色笔石岩系楔状体(即城步组—五峰组—龙马溪组下段由南东向北西逐渐变新的“爬坡式”现象), 是此间华夏地块与扬子地块由南东向北西的“幕式”拼合过程中, 其负载挠曲效应所产生的前陆盆地沉积中心(或称前渊盆地)——即黑色岩系发生沉积的深水还原及欠补偿相区——由南东向北西逐渐迁移的结果。

如果进一步将扬子北部边缘川北—渝北一带更高层位的黑色笔石页岩——南江组等及其相关沉积也考虑在内的话, 则可以认为, 这样的岩石圈远程挠曲效应可能在 Telychian 早期才抵达此地。而秦岭洋最南端的扬子地台北缘(图1), 整个奥陶—志留纪基本为一种被动陆缘环境(殷鸿福等, 1999; Wang *et al.*, 2005)。因此, 陕西东南紫阳—岚皋及鄂西北竹溪一带, 很有可能由于一直都维持着这样一种被动的深水斜坡—盆地相区, 才在复理石为主的沉积当中, 大体对应地沉积了多个层位的黑色笔石岩系(图2)。

2.2 华南奥陶—志留纪之交海平面升降与黑色岩系关系

研究证明, 海相地层中富含有机质黑色岩系的出现, 除去特殊的大地构造背景和过程、生物有机体的高生产量外, 另一个重要因素就是沉积水体的还原和非补偿性质。正是由于奥陶纪中晚期以及志留纪初期全球海平面的快速上升所导致的缺氧事件, 在全球许多地区都出现了富含有机质的黑色笔石页岩沉积, 并成为最重要的烃源岩层位(Leggett, 1980; Fortey, 1984; Johnson *et al.*, 1998; Luning *et al.*, 2000)。

限于篇幅和主题, 这里主要简述笔者近年来在华南地区开展的层序地层学研究, 以尝试揭示此间海平面升降与黑色岩系沉积之间可能的联系。

首先, 扬子地台及其周缘的区域层序地层学研究表明, 在整个台地及台地边缘相区的五峰组和龙马溪组下段黑色页岩沉积, 明显与此间的两个三级海平面的上升及最大海泛期相对应。扬子地台及其周缘的五峰组笔石页岩段及其相当层位, 恰好组成该地区奥陶纪末期最后一个完整的三级层序 OSq16 (即前 OSq18, 参见苏文博, 2001; Su, 2007; 下同); 而观音桥段和整个龙马溪组则构成志留纪初期该地

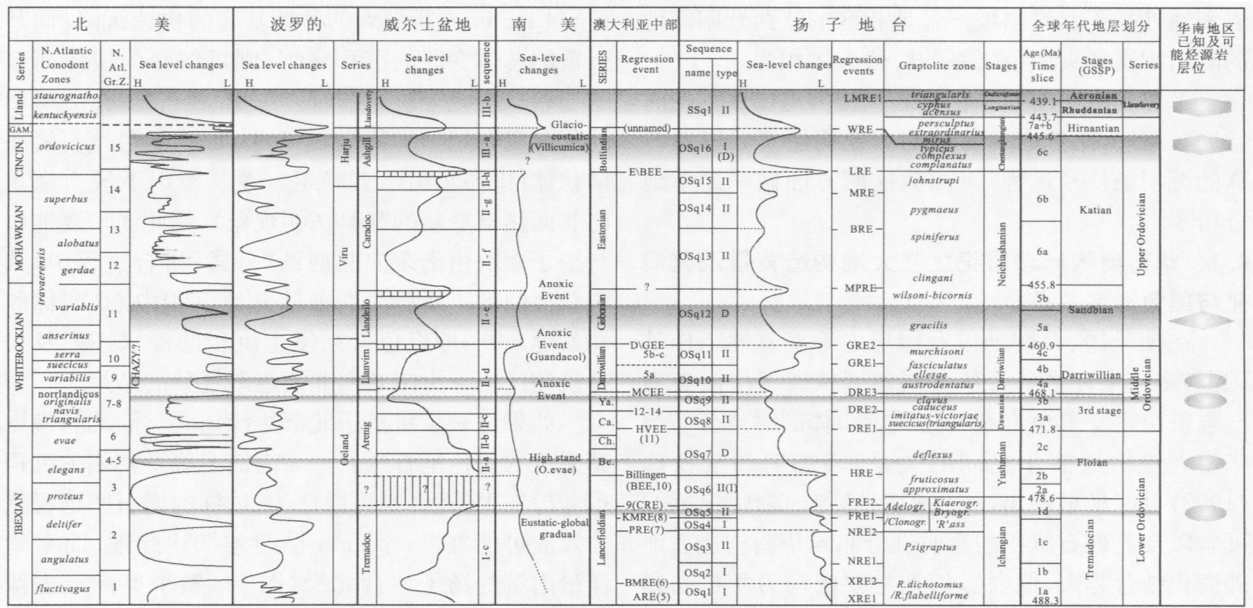


图 3 扬子地台奥陶纪—志留纪初层序地层及海平面变化与全球主要古大陆对比图(据苏文博(2001)及 Su (2007)修改)

Fig. 3 Ordovician-earliest Silurian sequence stratigraphy and sea-level changes at the Yangtze platform and their correlation with other main paleocontinents around the world

图中灰色条带为相关的全球性海平面上升事件, 图右为对应层位烃源岩特征. 其中六方形为已知烃源岩层位, 菱形代表目前确认可能性最大的层位, 椭圆形为可能存在的层位

区的第一个三级层序 SSq1, 其中观音桥段是奥陶—志留纪之交冈瓦纳冰川事件导致的海退期间扬子地台陆架边缘沉积体系域 (SMST), 龙马溪组下段黑色笔石页岩沉积则为海进体系域 (TST), 其上段灰绿—黄绿色泥岩砂岩等则为高水位体系域 (HST). 这说明, 扬子地台的五峰组和龙马溪组下段黑色页岩的形成, 首先受到了该地区曾经发生过的两次三级海平面升降旋回的控制 (图 3).

其次, 与全球奥陶纪末—志留纪初各主要地区研究的对比结果表明, 发生在扬子地台的上述海平面升降旋回, 明显具有全球可比性. 从图 3 中可以看到, 华南奥陶—志留纪之交优质烃源岩—五峰组和龙马溪组所代表层序, 恰好是奥陶纪末最后一次和志留纪初第一次全球性海侵阶段. 这一事实表明, 当前扬子地台五峰组和龙马溪组下段黑色页岩的形成, 也是对该阶段接连两次大规模的全球海平面升降旋回的沉积响应. 鉴于上述华南地区奥陶—志留纪之交的海平面升降变化所具有的良好全球可比性, 可以认为, 扬子地台及其边缘五峰组和龙马溪组下段黑色页岩的形成, 在受到华南大地构造演化制约的同时, 也同样受到了全球海平面升降的控制: 全球海平面快速上升所导致的缺氧和欠补偿水体, 同

样参与了这两套黑色岩系的沉积过程.

3 讨论和认识

由上文可知, 华南下组合主力烃源岩五峰组和龙马溪组黑色笔石岩系的时空展布格局, 明显受到了该阶段大地构造演化的控制, 同时也受到了全球海平面变化的制约. 这一认识深入下去, 可能对华南地区类似研究有着如下的启示和参考:

(1) 从现有资料看, 华南奥陶—志留纪其他阶段当然也在类似的构造格局之下, 那么, 其他相关层位是否存在类似的烃源岩, 关键就需要综合考虑上述两方面因素共同影响的时段和地区. 就目前来看, 华南志留纪中晚期总体处于大的海退阶段, 沉积盆地面积逐渐缩小, 水体逐渐变浅 (图 2), 有价值的烃源岩可能只在扬子北缘斜坡—盆地相区陕东南—鄂西北某些层位出现. 奥陶纪早期的华南, 华夏对扬子的影响似乎尚不明显, 扬子地台相当于一种被动大陆的浅海碳酸盐台地沉积背景, 因此总体上台地及其边缘斜坡相区水体很浅且动荡, 只有在个别较大规模海平面上升时期, 可能产生非常有限的地方性烃源岩 (如分乡组某些层段及其相当层位). 但这一阶

段在扬子东南缘地区即习称的湘黔桂赣皖边缘海, 水体较深且总体处于非补偿状态, 可能会找到一些比台地相区规模稍大的小区域性烃源岩。

进入中晚奥陶世后, 华夏与扬子之间的拼合对扬子地台的影响开始凸现, 扬子地台从东南缘开始逐渐转入淹没台地阶段(刘宝珺等, 1993; 许效松等, 1996; 苏文博, 2001), 扬子地台上开始发育一系列较深水背景的沉积层序(图3), 有可能在一些地区形成一些较大规模的烃源岩。一个特别需要指出的层位, 是晚奥陶世早期扬子地台相区的庙坡组、以及在扬子东南缘的浙赣湘桂边缘海同期沉积(如胡乐组及烟溪组等)(图1, 3)。这套沉积主体也是一套还原背景下的黑色—灰黑色含笔石页岩沉积, 普遍见有残余沥青等, 其成烃能力也许并不亚于稍晚的五峰组及龙马溪组黑色笔石岩系。这套黑色页岩的沉积, 对应着显生宙全球两次最大规模海侵之一的晚奥陶世 Caradoc 期(相当于现在的 Sandbian 早中期)高海平面阶段(Leggett, 1980; Fortey, 1984), 也同样受到了华南区域构造背景的控制。此前一些学者(陈旭和丘金玉, 1986; 姜岳华等, 1994)即指出其良好的油气潜力。鉴于这套沉积在扬子区主要分布于渝北—鄂西, 总面积接近 100 000 km², 而且非常接近“普光气田”等, 而在扬子东南缘的斜坡—盆地相区更是超过 300 000 km²(相关研究拟另文介绍), 因此, 笔者谨借此文的发表, 再次提请有关方面予以足够的重视。

(2)从现有资料来看, 震旦纪(即 Ediacaran 纪)初期陡山沱组、早寒武世牛蹄塘组及其上下相关地层, 似乎都与当前奥陶—志留纪之交沉积序列可以类比。这可能说明, 震旦纪以及整个早古生代的华南地区, 可能都处于类似的板块构造背景之下。因此, 当前奥陶—志留纪之交上述两种主要因素的控制作用, 很可能也体现在华南震旦—寒武纪等类似沉积的形成过程中。相信今后进一步的分析将会更好地揭示其有关细节。

4 结论

(1)区域资料和近来研究都表明, 应当明确并重申将五峰组和龙马溪组作为两个不同的岩石地层单位, 这将会更有利于烃源岩成因分析、野外填图等相关工作的实际应用。

(2)综合在此间黑色页岩里所发现钾质斑脱岩

源岩的性质、相关层段的层序地层及海平面变化等, 以及该阶段黑色页岩及相关岩系的时空分布格局与岩石圈板块挠曲响应模式之间的对应关系, 本文初步确认, 华南五峰组和龙马溪组黑色笔石页岩分布的主要控制因素, 应该包括如下两个方面: 该阶段自南东向北西的华夏地块与扬子地块拼接过程所产生的岩石圈板块挠曲—前陆盆地沉积中心(即前渊盆地)的同向迁移, 以及该阶段两次全球性的三级海平面快速上升所导致的缺氧—欠补偿水体。

(3)华南五峰组和龙马溪组黑色笔石页岩主控因素研究, 可能对华南其他时段的烃源岩研究有参考意义。本文初步认为, 基于类似的背景, 华南早中奥陶世以及中晚志留世可能只存在很小规模的烃源岩, 且仅分布在扬子东南缘或扬子北缘等很小范围。而晚奥陶世早期的庙坡组及其类似沉积, 则应视为奥陶—志留纪阶段另外一套具有重要价值的优质烃源岩。

致谢: 衷心感谢王鸿祯院士和殷鸿福院士对本研究给予的指导、鼓励和支持, 感谢谢树成教授及其他众多同事的热诚帮助, 感谢两位匿名评议专家的中肯意见。特别感谢黄毓桃女士与邓明亮先生多方面的无私帮助。

References

- Chen, X., Qiu, J. Y., 1986. Ordovician palaeoenvironment reconstruction of Yichang area western Hubei. *Journal of Stratigraphy*, 10(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Rong, J. Y., 1996. Telychian (Landover) of the Yangtze region and its correlation with British Isles. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chen, X., Rong, J. Y., Fan, J. X., et al., 2006. A final report on the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the Hirnantian Stage (Upper Ordovician). *Journal of Stratigraphy*, 30(4): 289—305 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., Rong, J. Y., Lu, Y., et al., 2004. Facies patterns and geography of the Yangtze region, South China, through the Ordovician and Silurian transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 204: 353—372.
- Chen, X., Rong, J. Y., Rowley, D. B., et al., 1995. Is the Early Paleozoic Banxi Ocean in South China necessary? *Geological Review*, 41(5): 389—400 (in Chinese with English abstract).

- Ettensohn, F. R., 1994. Tectonic control on formation and cyclicity of major Appalachian unconformities and associated stratigraphic sequences. In: Dennison, J. M., Ettensohn, F. R., eds., Tectonic and eustatic controls on sedimentary cycles. *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 4: 217–242.
- Fortey, R. A., 1984. Global earlier Ordovician transgressions and regressions and their biological implications. In: Bruton, D. L., ed., Aspects of the Ordovician system. Palaeontological contributions from the University of Oslo, 295. Universitetsforlaget, Oslo, 37–50.
- Fu, L. P., Song L. S., 1986. Stratigraphy and paleontology of Silurian in Ziyang region (transitional belt). *Northwest Geoscience*, 14: 1–198 (in Chinese with English abstract).
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., et al., 2004. A new geologic time scale with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27(2): 83–100.
- Huff, W. D., Bergström, S. M., Kolata, D. R., 1992. Gigantic Ordovician volcanic ash fall in North America and Europe: Biological, tectonomagmatic, and event-stratigraphic significance. *Geology*, 20(10): 875–878.
- Jiang, Y. H., Yue, W. Z., Ye, Z. Z., 1994. Anoxic event, black shales and related mineral resources: Taking the Lower Paleozoic in South China as an example. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 3(5): 272–278 (in Chinese with English abstract).
- Jin, C. T., Wan, Z. Q., Ye, S. H., et al., 1992. The Silurian System at Guangyuan, Sichuan and Ningqiang, Shaanxi. Chengdu Scientific and Technologic University Press, Chengdu, 1–97 (in Chinese).
- Johnson, M. E., Rong, J. Y., Kershaw, S., 1998. Calibrating Silurian eustasy by erosion and burial of coastal paleotopography. In: Landing, E., Johnson, M. E., eds., Silurian cycles: Linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic, and tectonic changes. *NY State Museum Bull.*, 491: 3–14.
- Leggett, J. K., 1980. British Lower Palaeozoic black shales and their palaeo-oceanographic significance. *J. Geol. Soc. London*, 137(1): 139–156.
- Lee, J. S., Chao, Y. Z., 1924. Geology of the Gorges district on the Yangtze (from Ichang to Tzekuei) with special reference to the development of the Gorges. *Bull. Soc. Geol. China*, 3(3–4): 351–391.
- Li, Z. M., Quan, Q. Q., 1992. Lithofacies types and tectonic palaeogeography of Ordovician and Silurian graptolite-bearing strata in South China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(3): 261–269 (in Chinese with English abstract).
- Lin, B. Y., Su, Y. Z., Zhu, X. F., et al., 1996. Stratigraphical lexicon of China—The Silurian System. Geological Publishing House, Beijing, 1–104 (in Chinese).
- Liu, B. J., Xu, X. S., Pan, X. N., et al., 1993. Plate tectonic and sedimentary evolution of the paleocontinents and their mineralization process in South China. Science Press, Beijing, 1–236 (in Chinese).
- Liu, Y. R., Fu, H. Y., 1989. A candidate stratotype section of Hanjiangian and Shikouian stages (Ordovician): The Shuangjiakou section of Qidong, Hunan. *Journal of Stratigraphy*, 13(3): 161–191, (4): 235–253 (in Chinese with English abstract).
- Luning, S., Craig, J., Loydel, D. K., et al., 2000. Lower Silurian hot shales' in North Africa and Arabia: Regional distribution and depositional model. *Earth Science Reviews*, 49(1): 121–200.
- Mu, E. Z., 1954. On the Wufeng shale. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2(2): 153–170 (in Chinese with English abstract).
- Rong, J. Y., Chen, X., Harper, D. A. T., 2002. The latest Ordovician Hirnantia fauna (Brachiopoda) in time and space. *Lethaia*, 35: 231–249.
- Su, W. B., 2001. Ordovician sequence stratigraphy and sea level changes in the southeast margin of the Yangtze platform, China. Geological Publishing House, Beijing, 1–108 (in Chinese).
- Su, W. B., 2007. Ordovician sea-level changes: Evidence from the Yangtze platform. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46 (Suppl.): 471–476.
- Su, W. B., He, L. Q., Li, Q. G., et al., 2003. K-bentonite beds near the Ordovician-Silurian boundary on the Yangtze Platform, South China: Preliminary study of the stratigraphic and tectonomagmatic significance. In: Albanesi, G. L., Beresi, M. S., Peralta, S. H., eds., Ordovician from the Andes. *INSUGEO, Serie Correlación Geológica*, 17: 209–214.
- Su, W. B., Li, Z. M., Shi, X. Y., et al., 2006. K-bentonites and black/dark shales from the Wufeng-Longmaxi Fm. (Early Paleozoic, South China) and Xiamaling Fm. (Early Neoproterozoic, North China): Implications for tectonic processes during two important transitions. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 82–95 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Y. C., 1931. Graptolite bearing strata in China. *Bulletin of the Geological Society of China*, 10: 291–299.

- Sun, Y. C., 1943. Bases of the chronological classification with special reference to the Paleozoic stratigraphy of China. *Bulletin of the Geological Society of China*, 23 (1-2): 36-56.
- Wang, H. Z., Zhang, S. H., He, G. Q., 2005. China and Mongolia. In: Selly, R. C., Cocks, L. R. M., Plimer, I. R., eds., *Encyclopedia of geology*. Elsevier, Oxford, 1: 345-358.
- Wang, X. F., Chen, X., Chen, X. H., et al., 1996. Stratigraphical lexicon of China—The Ordovician System. Geological Publishing House, Beijing, 1-126 (in Chinese).
- Wang, X. F., Chen, X. H., 2005. Stratigraphic subdivision and correlation of each geologic period in China. Geological Publishing House, Beijing, 1-596 (in Chinese).
- Xu, X. S., Liu, B. J., Mu, C. L., et al., 2004. Sedimentary-tectonic transition and source and reservoir rocks of three major marine cratonic petroleum-bearing basins in western China. *Geological Bulletin of China*, 23(11): 1066-1073 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. S., Xu, Q., Pan, G. T., et al., 1996. Paleogeography of the South China continents and its contrast with Pangaea. Geological Publishing House, Beijing, 1-161 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Wu, S. B., Du, Y. S., et al., 1999. South China defined as part of Tethyan archipelagic ocean system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(1): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Yin, Z. X., 1943. On the Longmachi shale. *Geological Review*, 8(1-6): 1-8 (in Chinese).
- Zhang, W. T., 1962. Ordovician of China. Science Press Beijing, 1-161 (in Chinese).
- Zhao, Z. Q., Ding, Q. X., 1996. Multiple classification of stratigraphy of China (40); Regional stratigraphy of Central-South China. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1-197 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈旭, 丘金玉, 1986. 宜昌奥陶纪的古环境演变. *地层学杂志*, 10(1): 1-15.
- 陈旭, 戎嘉余, 1996. 中国扬子区兰多维列统特列奇阶及其与英国的对比. 北京: 科学出版社.
- 陈旭, 戎嘉余, 樊隽轩, 等, 2006. 奥陶系上统赫南特阶全球层型剖面 and 点位的建立. *地层学杂志*, 30(4): 289-305.
- 陈旭, 戎嘉余, Rowley, D. B., 等, 1995. 对华南早古生代板溪洋的质疑. *地质论评*, 41(5): 389-400.
- 傅力浦, 宋礼生, 1986. 陕西紫阳地区(过渡带)志留纪地层及古生物. *西北地质科学*, 14: 1-198.
- 姜岳华, 岳文浙, 业治铮, 1994. 华南下古生界缺氧事件与黑色页岩及有机矿产. *有色金属矿产与勘察*, 3(5): 272-278.
- 金淳泰, 万正权, 叶少华, 等, 1992. 四川广元、陕西宁强地区志留系. 成都: 成都科技大学出版社, 1-97.
- 李志明, 全秋琦, 1992. 中国南部奥陶—志留纪笔石页岩相类型及其构造古地理. *地球科学——中国地质大学学报*, 17(3): 261-269.
- 林宝玉, 苏养正, 朱秀芳, 等, 1996. 中国地层典——志留系. 北京: 地质出版社, 1-104.
- 刘宝瑛, 许效松, 潘杏南, 等, 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1-236.
- 刘义仁, 傅汉英, 1989. 中国奥陶系韩江阶、石口阶的候选层型剖面——湖南祁东双家口剖面. *地层学杂志*, 13(3): 161-191, (4): 235-253.
- 穆恩之, 1954. 论五峰页岩. *古生物学报*, 2(2): 153-170.
- 苏文博, 2001. 上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海平面变化研究. 北京: 地质出版社, 1-108.
- 苏文博, 李志明, 史晓颖, 等, 2006. 华南五峰组—龙马溪组与华北下马岭组的钾质斑脱岩及黑色岩系——两个地史转折期板块构造运动的沉积响应. *地学前缘*, 13(6): 82-95.
- 汪啸风, 陈旭, 陈孝红, 等, 1996. 中国地层典——奥陶系. 北京: 地质出版社, 1-126.
- 汪啸风, 陈孝红, 2005. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社, 1-596.
- 许效松, 刘宝瑛, 牟传龙, 等, 2004. 中国西部三大海相克拉通含油气盆地沉积—构造转换与生储岩. *地质通报*, 23(11): 1066-1073.
- 许效松, 徐强, 潘桂棠, 等, 1996. 中国南大陆演化与全球古地理对比. 北京: 地质出版社, 1-161.
- 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等, 1999. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. *地球科学——中国地质大学学报*, 24(1): 1-12.
- 尹赞勋, 1943. 关于龙马溪页岩. *地质论评*, 8(1-6): 1-8.
- 张文堂, 1962. 中国的奥陶系. 北京: 科学出版社, 1-161.
- 赵自强, 丁启秀, 1996. 全国地层多重划分对比研究(40)中南区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-197.