

文章编号:1009-3850(2013)02-0017-08

## 中上扬子地区晚奥陶世—早志留世岩相古地理演化 与黑色页岩的关系

张海全, 许效松, 刘伟, 门玉澎

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:**晚奥陶世—早志留世时的中上扬子地区,是一个周边被前陆隆起围限的浅海陆棚,沉积环境受武陵-雪峰及黔中前陆隆起带的控制。前隆间的隆后盆地为滞留、还原环境的海域,为黑色页岩沉积提供了空间。上奥陶统凯迪阶五峰组黑色页岩厚度薄而稳定,含笔石生物层和丰富的放射虫,沉积环境为浅海深水盆地;下志留统鲁丹阶龙马溪组下部的黑色页岩为五峰组的继承性沉积,其上部及埃隆阶的龙马溪组为向上变浅的沉积序列,由潮下带潮汐沙坝—潮坪环境黑色含粉砂质页岩、灰色粉砂岩薄互层所构成。沉积序列的变化和时空演化受边缘古隆起的制约。晚奥陶世前陆隆起范围小(平缓),至早志留世鲁丹期,前陆隆起不断扩大并导致盆内构造分隔,发育了大致与前隆平行的坳陷,造成龙马溪组黑色页岩厚度变化大;至埃隆期晚期,海平面相对下降,水体变浅。除个别地区外,中上扬子地区基本结束了黑色页岩沉积。

**关键词:**中上扬子地区;晚奥陶世—早志留世;岩相古地理;黑色页岩

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

### 引言

晚奥陶世—早志留世,中上扬子地区在特殊古地理环境下沉积了两套黑色岩系,其分布广、有机质丰度高、生烃潜力大,是中国南方常规油气勘探的主力烃源岩之一,也是非常规页岩气勘探的主要目的层之一。本文涉及的晚奥陶世—早志留世黑色岩系沉积于中上扬子地区构造—古地理发生重大的变革阶段,黑色岩系沉积体系的平面展布和时空演化方面具有复杂性。从沉积相和古地理角度研究该套页岩层的发育、岩相变化和古地理分布,对中上扬子地区志留系的油气勘探具有十分重要的意义。

中上扬子地区晚奥陶世五峰组—早志留世龙马溪组底部黑色页岩分布较广,局部地区龙马溪组

中上部黑色页岩较发育。前人对晚奥陶世—早志留世世界线附近的五峰组—龙马溪组黑色页岩的沉积环境及沉积模式已有较多的论述<sup>[1-3]</sup>。其中两套黑色岩系以五峰组质优、分布广;龙马溪组底部的黑色页岩与前者具共性,向上黑色页岩的有机质丰度上略低,厚度变化大,并含粉砂质、钙质。黑色岩系组构的变化,受沉积环境和隆后盆地构造演化的制约。本文对中上扬子地区晚奥陶世—早志留世黑色页岩沉积相特征及沉积环境演化进行分析,指出岩相古地理演化与黑色岩系沉积的关系。

### 1 构造背景与地层

#### 1.1 中扬子盆地性质转换的构造背景

晚奥陶世—早志留世,是中国南方古地理轮廓发生巨大变革的时期。伴随着华夏板块向北西方

收稿日期:2012-06-12;改回日期:2012-06-20

作者简介:张海全(1981-)男,硕士,工程师,现主要从事沉积学与石油地质学方面的研究工作。E-mail:zhq433@126.com

资助项目:中石化海相前瞻性项目“中国南华纪—新近纪岩相古地理编图与综合研究”(YPH08108)和国土资源部油气中心全国页岩气项目“黔北地区页岩气资源战略调查与选区”(2008GYXQ15-03)联合资助

向强烈的推挤,中上扬子克拉通盆地由大陆边缘转为前陆盆地,由碳酸盐岩沉积转为碎屑岩沉积。周边形成了前隆带雏形,隆起的展布和走向有两种:一是北东向(包括近南北向)隆起,主要为川中隆起、武陵-雪峰隆起;二是东西向隆起,主要为黔中隆起、汉南古陆。前隆之间为中上扬子隆后盆地,中上扬子地区逐渐形成四周由古陆和隆起带包围的一个浅海深水盆<sup>[4]</sup>。前渊带位于安化-溆浦断裂以东、茶陵-郴县-兰山断裂以西<sup>[5]</sup>。本文的研究区主要位于商丹断裂以南、北川断裂以东、黔中隆起以北的广大中上扬子地区(图1)。

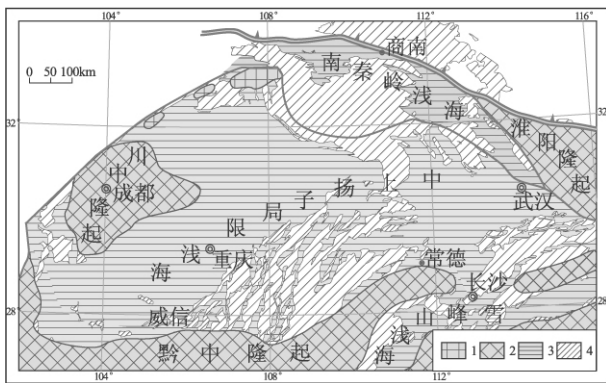


图1 中上扬子地区晚奥陶世-早志留世构造-古地理图

1. 古陆;2. 隆起区;3. 覆盖区;4. 出露区

Fig.1 Late Ordovician - Early Silurian tectonic-palaeogeographic map of the Middle-Upper Yangtze area

1 = old land; 2 = uplifted area; 3 = covered area; 4 = outcropped area

晚奥陶世五峰组-早志留世龙马溪组黑色页岩主要分布在中上扬子克拉通盆地,其岩性比较均一。五峰组主要为一套深灰色-黑色薄层状硅质岩、硅质页岩和炭质页岩,龙马溪组主要为一套深灰色-灰黑色炭质页岩、泥岩、粉砂质泥岩<sup>[6]</sup>。对于这两套黑色岩系的成因,部分学者都将其归之为全球海平面迅速上升导致的缺氧事件,其实在扬子板块内部及其周缘的许多地区,五峰组和龙马溪组之间都存在着平行不整合和较严重的地层缺失现象,笼统地把五峰组和龙马溪组黑色页岩归入一起分析或许有些不合适<sup>[2]</sup>。一些学者则根据古气候和古海洋洋流认为,晚奥陶世五峰期黑色页岩与上升洋流有关,而早志留世龙马溪期黑色页岩则与海侵初期海平面的快速上升及环境的闭塞有关<sup>[7]</sup>。

## 1.2 地层划分对比

中上扬子地区晚奥陶世-早志留世地层在不同地区命名不同,参考前人区域地层划分对比的成

果(陈旭,中国海相地层岩石地层对比表(暂行方案),内部资料,2007),研究区主要包括五峰组、观音桥组、龙马溪组、高家边组、周家溪组和大贵坪组(表1),其特点如下:

五峰组( $O_3w$ ):岩性主要为灰黑色/黑色薄层硅质岩、碳硅质页岩及粉砂质页岩,厚约5~30m,局部地区还包括了一部分观音桥段暗色泥灰质地层。

龙马溪组( $S_1l$ ):主要分布在中上扬子台地区,下部为富含笔石的黑色碳质页岩,上部为灰绿-黄绿色泥岩夹薄层粉砂岩,厚100~800m。

高家边组( $S_1g$ ):主要分布在湖北通山一带,下部为炭质、硅质岩,上部为黄绿色泥质岩夹粉砂岩,厚250~1400m。

周家溪组( $S_1z$ ):主要分布在雪峰山东侧浅海区,该组下部一、二段相当于台地区龙马溪组,厚约1000m。第一段岩性为黑色炭质粉砂质板岩、黑色含炭板岩及薄层硅质岩,风化后呈紫红色、灰白色;第二段岩性为深灰色、青灰-灰绿色中-厚层状浅变质细砂岩、粉砂岩夹板岩、粉砂质板岩。

斑鸠关组( $S_1b$ ):主要分布在秦岭浅海区,岩性为黑色/灰黑色炭质板岩、炭质硅质板岩,厚300~600m。

由于前陆隆起带不断扩大及推挤,中上扬子地区晚奥陶世凯迪期-早志留世埃隆期总体为一局限浅海环境,其沉积环境演化主要为浅海深水环境、潮间-潮下带、潮坪环境。

## 2.1 浅海深水环境

浅海深水环境主要发育在晚奥陶世凯迪期-早志留世鲁丹期早期,在中上阳子的广大区域内为还原性、滞留、低能的海域环境,主要沉积一套黑色碳质页岩、硅质岩、硅质页岩或含粉砂质页岩层。页岩具纹层状水平层理,黄铁矿颗粒丰富,常呈星点状或纹层状分布。生物门类单调,几乎全为笔石生物,在毫米级的黑色页岩层面上,顺层形成生物层。硅质岩及硅质页岩中可见放射虫和硅质海绵骨针。在中上扬子陆架地带,两个隆起带之间常发育有静水的浅海深水盆地,其沉积深度一般比陆架深,但不会超过陆架的最大界线,主要分布在川中隆起与黔中隆起之间的威远-习水一线、川东鄂西以及汉南古陆与川中隆起之间的巴中地区。岩性为黑色碳质页岩、硅质页岩,发育不清晰的水平层理,代表平静、还原的滞留环境。该相带沉积构造发育,如旺苍正源剖面,龙马溪组下部含粉砂质泥岩中可见水平层理和小型粒序层理(具正粒序性)。

表 1 中上扬子地区晚奥陶世—早志留世地层划分对比表

Table 1 Division and correlation of the Late Ordovician – Early Silurian strata in the Middle-Upper Yangtze area

系	统	阶	川北广元地区	川南-黔北地区	秀山-黔东南地区	川东-鄂西地区	鄂东南通山地区	湖南湘中地区	秦岭高滩小区	秦岭紫阳小区
志留系	文洛克统	申伍阶	金台观组							
	兰多维列统	特列奇阶	宁强组	韩家店组	回星哨组 秀山组	纱帽组	茅山组 坟头组	周家溪组	五峡河组	梅子堽组
			王家湾组 催家沟组		石牛栏组		溶溪组 小河坝组			
		埃隆阶	龙马溪组	龙马溪组		龙马溪组	龙马溪组		斑鸠关组	
鲁丹阶	龙马溪组	龙马溪组	龙马溪组	龙马溪组						
奥陶系	O <sub>3</sub>	赫南特阶 凯迪阶	五峰组	观音桥组 五峰组	观音桥组 五峰组	五峰组	五峰组	五峰组	斑鸠关组	
		下覆地层	临湘组	临湘组	临湘组	临湘组	临湘组	临湘组		

2.2 潮下-潮间带

潮下-潮间带主要发育在早志留世鲁丹期晚期龙马溪组中部及中下部,岩性主要为黑色砂质泥岩与黑色泥质粉砂岩组成的薄韵律互层,间夹钙质粉砂岩和灰色细砂岩,为潮下泥坪和沙坪的间互沉积,其中泥坪为黑色粉砂质页岩,沙坪为黑色粉砂岩。上述各岩性段的单层厚约 2 ~ 5cm,具水平层理、波状层理、小型砂纹层理,泥岩中含笔石生物,为潮下低能带。其中间夹的粉砂岩和细砂岩,单层厚 5 ~ 30cm。层面常波状起伏,与下部的粉砂页岩有微弱的冲刷面和滞留砾。发育交错层理,并见双粘土层(梁瑞安,内部讲稿 1981),为典型潮下低能潮道沉积(图 1a、图 1b)。

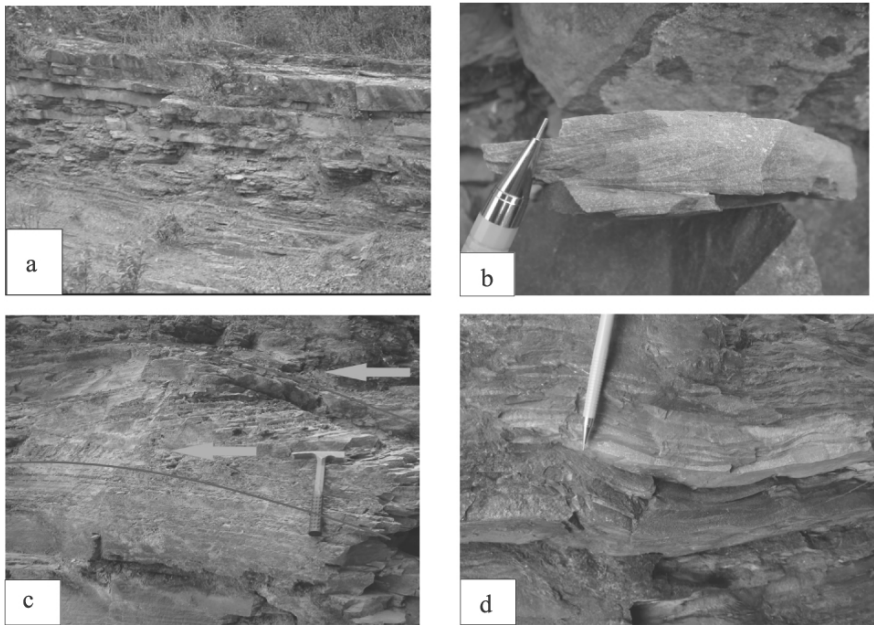


图 2 中上扬子地区晚奥陶世—早志留世典型露头

a. 龙马溪组中下部发育的潮汐水道砂岩(兴山); b. 砂岩中的交错层理,具双粘土层特征(兴山); c. 龙马溪组中上部发育的砂坝,见地层上超(兴山); d. 龙马溪组中上部的透镜状层理(高罗)

Fig. 2 Representative features of the Late Ordovician – Early Silurian outcrops in the Middle-Upper Yangtze area

a. Tidal channel sandstones in the middle and lower parts of the Longmaxi Formation in Xingshan; b. Cross-beddings in the sandstones with double clay bands in Xingshan; c. Sandbar in the middle and upper parts of the Longmaxi Formation in Xingshan; d. Lenticular beddings in the middle and upper parts of the Longmaxi Formation in Gaoluo

龙马溪组中部为向上变浅序列,在湖北兴山、建始太阳山及湖南龙山等地区,龙马溪组中下部—中部主要为黑色粉砂质泥岩夹粉砂岩或间互层,具潮间带与潮下沙坝间互层的特点。潮下沙坝以灰色粉砂岩、细砂岩为主,呈中厚层的丘状砂体,砂层的顶面上,可见上覆泥质粉砂岩超覆叠置的特征(图2c)。

### 2.3 潮坪相

潮坪相发育在早志留世埃隆期龙马溪组中上部,岩性主要为粉砂质泥岩与泥质粉砂岩,间夹粉砂岩、细砂岩,见水平层理、沙纹层理、潮汐层理、生物扰动构造(图2d)。根据沉积物类型及特征,可见砂坪、砂泥坪发育。砂坪沉积多为粉砂岩,发育平行层理、小型交错层理及生物遗迹,在鄂西、重庆秀山以及黔北印江等地均有发育;砂泥坪中常见透镜状层理、交错层理和生物扰动构造,在剖面序列上常表现为正韵律,下部为粉细砂岩,局部发育低角度楔状交错层理,上部为灰黑色或黑色,泥质岩,发育透镜状层理。总体上呈现向上砂质成分增多的特征。兴山地区,潮坪组合中还发育有由细砂岩、粉砂岩夹泥岩组成的潮汐砂坝沉积。

## 3 岩相古地理特征

### 3.1 晚奥陶世凯迪期晚期岩相古地理

自凯迪期开始,扬子海域逐渐由碳酸盐台地转变为以碎屑岩为主的局限浅海域,伴随着扬子板块前陆隆起由东向西推移和隆升,扬子地区的古地理轮廓与沉积特征发生了明显的变化。扬子克拉通边缘或内部,不断出现一些水下隆起,有些出露水面形成岛屿。如宁强侯家院志留系崔家沟组与奥陶系宝塔组呈不整合接触,崔家沟组底部还发育了约3cm厚的风化壳<sup>[8]</sup>;鄂东南五峰组底部发育一套潮道型石英砂砾岩<sup>[9]</sup>;湘中桃江一带,五峰组底部为一套近源浊积型砂砾岩,沿北东东—北西西方向展布,具有典型的鲍马序列特征<sup>[10-11]</sup>。这种沉积物及沉积相的突变,均是海底形态突变的标志<sup>[12]</sup>,代表了华夏与扬子板块之间汇聚过程的沉积响应。

五峰组厚度总体呈现东南厚西北薄的分布特征,前陆隆起的前渊及隆后常出现沉积物的快速沉降充填而厚度较大,黔中—雪峰前陆隆起周缘厚度可达20~30m,中上扬子克拉通中部地区厚度约5~10m,北部南郑中梁山厚1.2m,西乡三郎铺仅0.79m厚,其沉积沉降中心位于秀山、盐津—威信等前陆隆起的隆后坳陷带。

凯迪期晚期南方发生了大规模的海退,扬子克拉通地区主体为陆架沉积环境,其岩性分带特征明显,中扬子地区、上扬子北部及雷波地区岩性主要为薄层状硅质岩、硅质页岩,常夹多层斑脱岩(图4a);川南黔北—渝东南地区岩性为碳质页岩、硅质页岩。硅质岩中普遍含有放射虫(图4b),可能与富硅质海水(上升洋流或水团)进入扬子克拉通盆地有关<sup>[13-14]</sup>;紧邻康滇古陆东侧的金阳—威信一线为潮坪相砂质页岩。扬子北缘仍为被动大陆边缘环境,大巴山弧形断裂以北的紫阳—竹溪一线为被动的深水斜坡—盆地沉积区,岩性主要为碳硅质页岩、硅质岩。扬子东南缘的常德—安化—溆浦一线的湘中地区沉积物为黑色的碳质页岩、砂质页岩,生物群落以笔石为主,属大陆边缘盆地浊流沉积亚相;湘南—赣西一线的五峰组为石英砂岩夹板岩或互层,发育鲍马序列,只有笔石生物发育,总体为还原条件下的静水滞留海盆<sup>[15]</sup>(图3)。

### 3.2 早志留世鲁丹—埃隆期岩相古地理

早志留世中上扬子及周缘地区整体表现为收缩背景,扬子克拉通内部及边缘隆起加剧,基底发生构造掀斜,特别是东部的武陵—雪峰一带隆起为物源区,盆地形成东高西低的古地貌,海水逐渐向西退出。而奥陶—志留纪之间的冰成海退和生物灭绝事件,使得五峰组与龙马溪组之间常存在着平行不整合和地层的缺失现象,局部地区龙马溪组底部可见古风化壳或底砾岩型沉积物<sup>[16]</sup>。如湄潭牛场高滩龙马溪组 *Monograptus cyphus* 笔石带直接覆盖在宝塔组之上,缺失了五峰组和龙马溪组下部地层;湖南慈利宜冲桥、失马溪缺失五峰组地层<sup>[17]</sup>;宁强黄坝驿龙马溪组与临湘组之间有一层2~3cm厚的砂砾岩层;西乡三郎铺龙马溪组与五峰组界面之间有一套含砾不等粒石英砂岩层。

龙马溪期,在扬子克拉通隆坳相间的构造格局下,形成了有利于有机质保存的滞留环境,在龙马溪组下部普遍发育一套黑色页岩层。该黑色页岩层厚度分布不均,其中以石柱—长宁双河—綦江观音桥一线黑色页岩最厚,厚度可达140m,最薄的仅10m。黑色页岩厚度平面分布的巨大差异可能与扬子克拉通内部隆坳相间的构造格局下发育多个沉积沉降中心有关,纵向上黑色页岩的发育与该地区长期处于还原环境有关(图5)。

龙马溪期沉积范围较凯迪期晚期略小,沉积环境更加局限。扬子克拉通盆地主体为陆架沉积,地层下部为一套含笔石生物的黑色碳质页岩,基本上

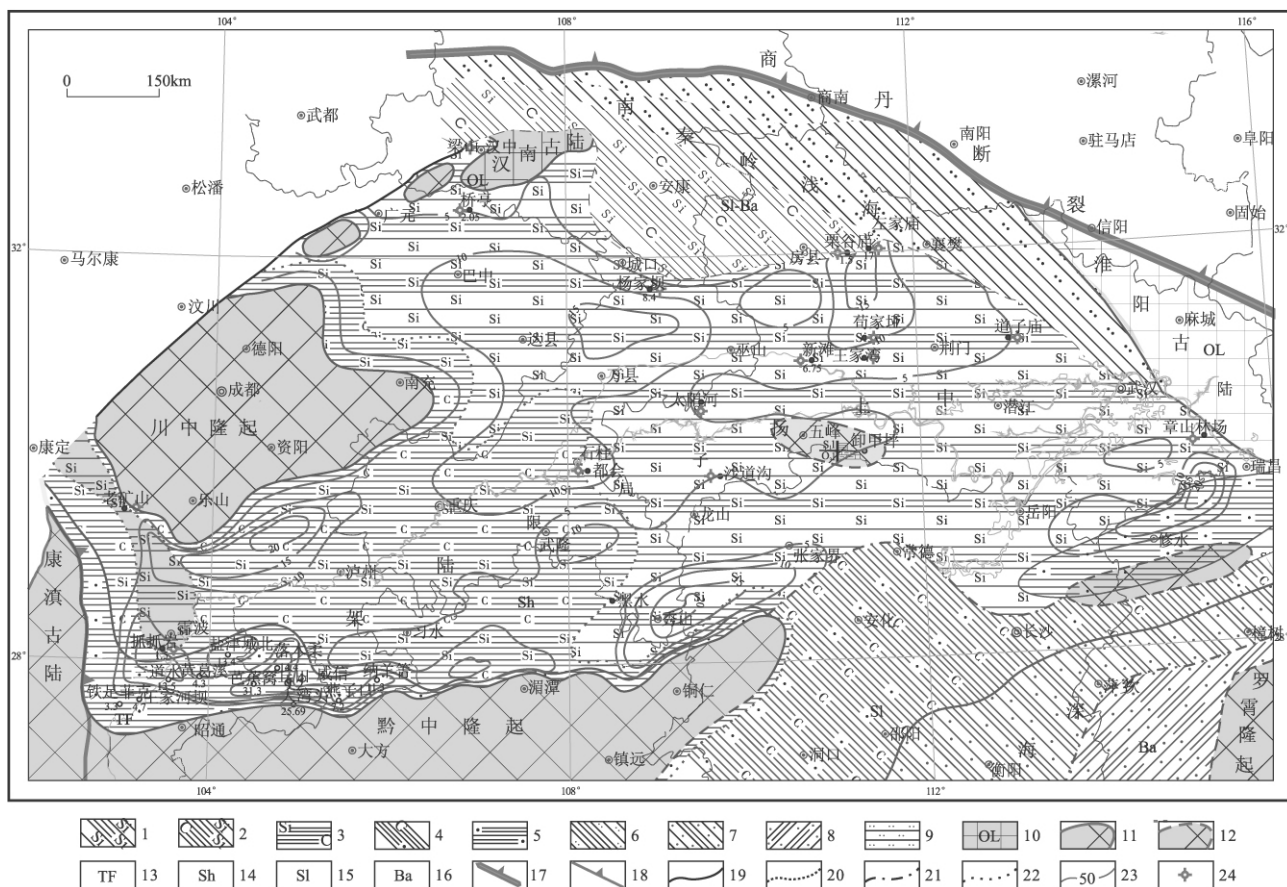


图3 中上扬子地区晚奥陶世凯迪期晚期岩相古地理图

1. 硅质岩夹硅质页岩; 2. 硅质岩、硅质页岩、碳质页岩互层; 3. 硅质页岩、碳质页岩互层; 4. 碳质页岩与砂质页岩互层; 5. 砂质页岩; 6. 粉砂岩、页岩互层; 7. 砂岩夹页岩; 8. 砂岩与砂质页岩; 9. 浅海碎屑岩; 10. 古陆; 11. 隆起区; 12. 推测隆起区; 13. 潮坪; 14. 陆架; 15. 斜坡; 16. 盆地; 17. 板块俯冲边界; 18. 推覆断裂; 19. 相边界; 20. 岩性边界; 21. 跳相边界; 22. 推测岩相边界; 23. 地层厚度等值线; 24. 放射虫

Fig. 3 Katian (Late Ordovician) sedimentary facies and palaeogeographic map of the Middle-Upper Yangtze area

1 = siliceous rock intercalated with siliceous shale; 2 = siliceous rock, siliceous shale and carbonaceous shale; 3 = siliceous shale and carbonaceous shale; 4 = siliceous shale and sandy shale; 5 = sandy shale; 6 = siltstone and shale; 7 = sandstone intercalated with shale; 8 = sandstone and sandy shale; 9 = shallow marine clastic rock; 10 = old land; 11 = upwarped area; 12 = inferred upwarped area; 13 = tidal flat; 14 = continental shelf; 15 = slope; 16 = basin; 17 = plate subduction boundary; 18 = thrust fault; 19 = facies boundary; 20 = lithologic boundary; 21 = abrupt facies boundary; 22 = inferred sedimentary facies boundary; 23 = isopach map; 24 = Radiolarians

不含硅质,有机质丰富,富含微粒黄铁矿,发育水平纹层;上部为一套粉砂质页岩、粉砂岩沉积(图5)。巫山-荆门一线粉砂质含量略多,主要为粉砂质页岩、页岩沉积;桑植、石门一带隆后坳陷区,龙马溪组沉积厚度较大,砂质成分较多,岩性为砂质页岩夹粉砂岩;黔中隆起、武陵-雪峰隆起带周缘发育潮坪相,以灰绿色页岩、砂质页岩、粉砂岩为主。扬子北缘早志留世发育碳质页岩和火山凝灰岩层,其伸展背景下的火山活动及海底热水沉积较明显,沉降带为EW向展布,在紫阳-岚皋和安康-双河一线为被动大陆边缘斜坡带,主要发育有变质岩系和未变质的碳质页岩系,尚能发现早志留世笔石生物代

表;扬子东南缘早志留世沉积仅在桃源-安化-溆浦-洞口-绥宁-兴安一线的北西,形成一条长条状的海槽,主要为一套浊积岩复理石沉积,岩石微变质,由凝灰质杂砂岩与页岩互层组成,具鲍马序列,向南未发现边缘浅水相,其上又未见变浅序列,可能是陆架基础上发展起来的陆架边缘海盆地,其沉积厚度较大,页岩中有一定数量的笔石生物<sup>[18]</sup>。

#### 4 岩相古地理演化和沉积模式

根据区域古构造背景和以上各时期岩相古地理分析,可看出中上扬子地区晚奥陶世-早志留世为一向西与外海(松潘-甘孜洋)相通的局限浅海,

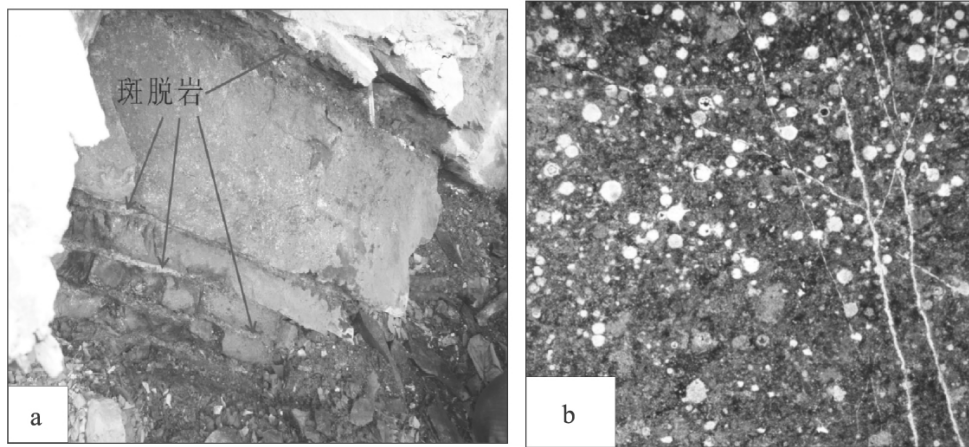


图4 中上扬子地区五峰组典型露头及生物微观特征

a. 五峰组硅质岩夹层中的斑脱岩(五峰红渔坪); b. 五峰组硅质岩中放射虫(兴山,  $\times 2.5$  单偏光)

Fig. 4 Microscopic features of the representative outcrops and palaeobiological fossils from the Wufeng Formation in the Middle-Upper Yangtze area

a. Bentonite in the siliceous rocks from the Wufeng Formation in Hongyuping; b. Radiolarians in the siliceous rocks from the Wufeng Formation in Xingshan, plane-polarized light,  $2.5 \times$

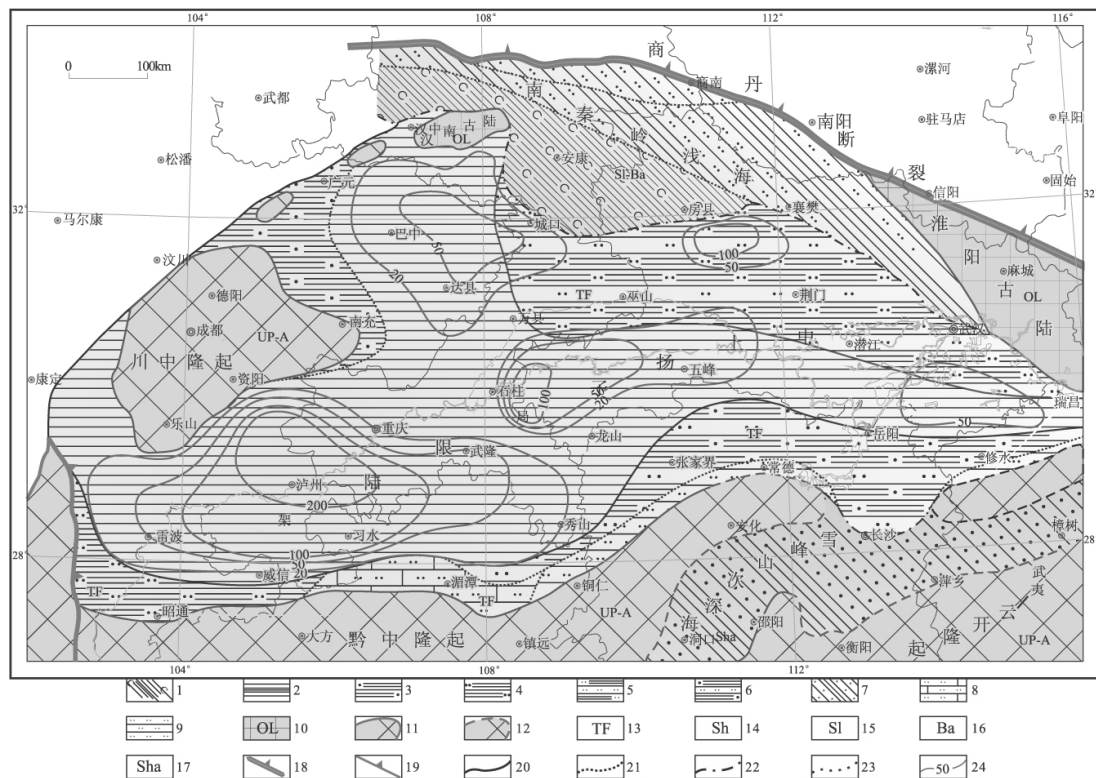


图5 中上扬子地区早志留世岩相古地理

1. 碳质页岩; 2. 页岩; 3. 砂质页岩; 4. 粉砂质页岩; 5. 粉砂质页岩夹粉砂岩; 6. 砂质页岩夹粉砂岩; 7. 复理石建造; 8. 钙质粉砂岩; 9. 浅海碎屑岩; 10. 古陆; 11. 隆起区; 12. 推测隆起区; 13. 潮坪; 14. 陆架; 15. 斜坡; 16. 盆地; 17. 浅海-次深海; 18. 板块俯冲边界; 19. 推覆断裂; 20. 相边界; 21. 岩性边界; 22. 跳相边界; 23. 推测岩相边界; 24. 黑色页岩厚度等值线

Fig. 5 Early Silurian sedimentary facies and palaeogeographic map of the Middle-Upper Yangtze area

1 = carbonaceous shale; 2 = shale; 3 = sandy shale; 4 = silty shale; 5 = silty shale intercalated with siltstone; 6 = sandy shale intercalated with siltstone; 7 = flysch formation; 8 = calcareous siltstone; 9 = shallow-sea clastic rock; 10 = old land; 11 = upwarped area; 12 = inferred upwarped area; 13 = tidal flat; 14 = continental shelf; 15 = slope; 16 = basin; 17 = neritic-bathyal; 18 = plate subduction boundary; 19 = thrust fault; 20 = facies boundary; 21 = lithological boundary; 22 = abrupt facies boundary; 23 = inferred sedimentary facies boundary; 24 = isogram for black shale

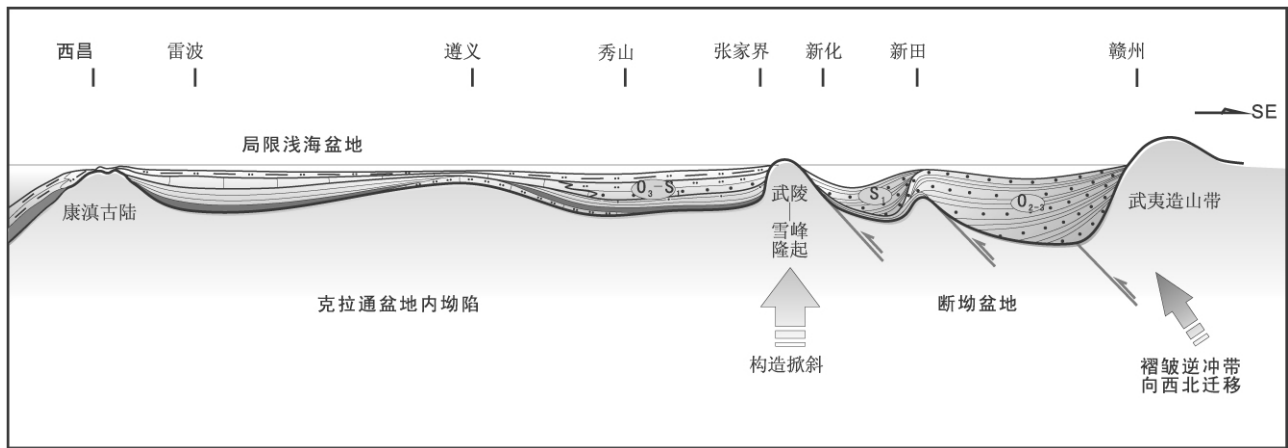


图6 中上扬子地区晚奥陶世-早志留世沉积模式

沉积和古地理环境主要受武陵-雪峰隆起的制约(图6)。

中晚奥陶世为中上扬子地区构造和古地理的重大转折期,由克拉通台地-大陆边缘转为前陆盆地演化阶段<sup>[19-21]</sup>。原台地碳酸盐沉积转为淹没台地,典型沉积物为宝塔组-临湘组灰岩被五峰组黑色页岩覆盖,二者界面平整、截切,为一重大的沉积转换面,反映边缘前陆隆起的形成,特别是武陵-雪峰隆起对其西侧隆后坳陷和深水盆的控制。中晚奥陶世,中上扬子大陆边缘特征较明显,雪峰山以东为深海的硅质泥岩沉积,泥岩中含有放射虫。

晚奥陶世凯迪期晚期,华夏陆块中各块体由东向西碰撞、推挤,形成迁移的逆冲推覆带,除前陆隆起边缘地层沉积厚度略大,扬子克拉通盆地内基底较稳定,地层沉积厚度变化不大,扬子克拉通大陆边缘的湘中地区出现黑色岩系“爬坡”现象<sup>[2]</sup>。

早志留世鲁丹期,前陆隆起向西迁移和扩大,逐渐影响到扬子克拉通内部,隆后盆地内部也因构造分割,基底的突变,形成多个沉积沉降中心,中上扬子地区沉积了一套富含有机质的黑色笔石页岩,湘中地区从南石冲组开始一直持续到周家溪组的碎屑岩增生楔由东南向西北已推进到雪峰山东侧沅陵琵琶湾一带。埃隆期,前陆隆起带的扩大及碎屑岩的增加,造成龙马溪组上部黑色页岩砂质增多,黑色页岩的沉积仅局限在相对较深的长宁-习水一线及川北地区。

## 5 结论

(1)晚奥陶世凯迪期晚期-早志留世龙马溪期,扬子克拉通盆地主体为局限浅海环境,纵向上

主要发育由浅海深水环境—潮下—潮间带—潮坪环境的演化序列,沉积环境向上逐渐变浅。

(2)黑色页岩的形成与该期特殊的事件沉积背景有明显的关系,其展布受古地理的控制明显,主要分布在扬子克拉通盆地及北部边缘,在隆起带之间的凹陷区沉积厚度较大。

## 参考文献:

- [1] 严德天,王清晨,陈代钊. 扬子及周缘地区上奥陶统一志留统烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 321-327.
- [2] 苏文博,李志明,FRANK R,等. 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[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2007, 32(6): 819-827.
- [3] 王清晨,严德天,李双建. 中国南方志留系底部优质烃源岩发育的构造-环境模式[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 289-297.
- [4] 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.
- [5] 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, 1999, 22(5): 425-428.
- [6] 李双建,肖开华,沃玉进,等. 南海相上奥陶统一志留统优质烃源岩发育的控制因素[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 872-880.
- [7] 胡望水,吕炳全,王红罡,等. 扬子地块东南陆缘寒武系上升流沉积特征[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 9-11.
- [8] 张海全,许效松,余谦,等. 扬子板块西北缘晚奥陶-早志留世岩相古地理演化与烃源岩的关系[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(2): 43-47.
- [9] 刘永耀,孙振华,杨少铭. 鄂东南过渡类型的寒武奥陶纪地层[J]. 地层学杂志, 1984, 8(2): 94-106.
- [10] 王传尚,陈孝红,汪啸风. 峡区晚奥陶世地球化学异常与奥陶系-志留系之交环境变迁[J]. 地层学杂志, 2002, 26(4): 272-279.

- [11] 苏文博. 从层序地层学观点论奥陶-志留系界线划分[J]. 华南地质与矿产, 1999(1): 1-12.
- [12] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [13] 刘伟, 许效松, 冯心涛, 等. 中上扬子上奥陶统五峰组含放射虫硅质岩与古环境[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(3): 65-70.
- [14] 谭智源, 陈木宏. 中国近海的放射虫[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 刘义仁, 傅汉英. 湖南晚奥陶世五峰期的古地理[J]. 湖南地质, 1990, 9(1): 1-7.
- [16] 苏文博, 何龙清, 王永标, 等. 华南奥陶-志留系五峰组及龙马溪组底部斑脱岩与高分辨综合地层[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(3): 207-219.
- [17] 陈旭, 戎嘉余, 周志毅, 等. 上扬子区奥陶-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升[J]. 科学通报, 2001, 46(12): 1052-1056.
- [18] 李志明, 全秋琦. 中国南部奥陶-志留纪笔石页岩相类型及其构造古地理[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1992, 17(3): 261-269.
- [19] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1-236.
- [20] 许效松, 徐强, 潘桂堂, 等. 中国南方大陆演化与全球古地理对比[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1-161.
- [21] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方中及晚奥陶世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2001, 3(4): 10-24.

## Late Ordovician – Early Silurian sedimentary facies and palaeogeographic evolution and its bearings on the black shales in the Middle-Upper Yangtze area

ZHANG Hai-quan, XU Xiao-song, LIU Wei, MEN Yu-peng

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** During the Late Ordovician – Early Silurian, the Middle-Upper Yangtze area appeared as a shallow shelf surrounded by foreland uplifts, where the sedimentary environment was controlled by the Wuling-Xuefeng and central Guizhou foreland upwarped zones. The stagnant and reducing conditions in the inter-foreland back-uplift basins once provided vast accommodation spaces for the deposition of the black shales. The Katian black shales of the Late Ordovician in the Wufeng Formation are thin in thickness, and contain graptolite biostromes and abundant Radiolarias, suggesting a shallow-marine deep-water basin environment. The Rhuddanian black shales as the black graptolite shales in the lower part of the Lower Silurian Longmaxi Formation are considered as the inherited deposits of the Wufeng Formation. The overlying Aeronian Longmaxi Formation displays the shallowing-upward depositional sequences composed of the thin interbeds of black silty shales and grey siltstones, and records the transition from subtidal to intertidal and finally to tidal-flat environments. The space-time evolution of the depositional sequences was constrained by the surrounding palaeouplifts. The space-time range of the foreland uplifts was relatively small and gentle during the Late Ordovician. Till the Rhuddanian (Early Silurian), the steady expansion of the foreland uplifts led to the structural separation, development of the depressions nearly parallel to the foreland uplifts, and considerable variations in the thickness of the black shales in the Longmaxi Formation. Finally during the late Aeronian, the relative falling of sea levels and shallowing of sea water marked the termination of the deposition of the black shales in the Middle-Upper Yangtze area.

**Key words:** Middle-Upper Yangtze area; Late Ordovician – Early Silurian; sedimentary facies and palaeogeography; black shale