

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.02.010

引用格式:吴俊,徐锦龙. 江南断裂带周边地区志留系层序地层特征及页岩气勘探前景[J]. 华东地质, 2020, 41(2): 184-194.

江南断裂带周边地区志留系层序地层特征及页岩气勘探前景

吴俊, 徐锦龙

(安徽省地质调查院, 合肥 230001)

摘要: 运用露头层序地层原理和方法,以古生物、红层和碎屑锆石 U-Pb 年龄资料为基础,研究江南断裂带周边地区志留系层序地层特征、富有机质页岩的产出特征及页岩气勘探前景。结果表明:江南断裂带以北高家边组具有形成页岩气藏的优越条件,可作为页岩气勘探的有利目的层系。江南断裂带周边地区高家边组和坟头组(江南断裂以南称霞乡组、河沥溪组和康山组)仍划归于下志留统,茅山组(江南断裂以南称唐家坞组)划归于上志留统,缺失中志留统;富有机质页岩主要发育于 SSQ1 三级层序低水位体系域(lowstand systems tract, LST)、海侵体系域(transgressive systems tract, TST)和 SSQ4 三级层序凝缩段(condensation section, CS)。

关键词: 层序地层;页岩气;富有机质页岩;志留系;江南断裂带

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2020)02-184-11

层序地层学主要研究年代地层框架的沉积关系和地层结构,作为一种具有完整理论体系划分、对比和沉积地层分析的方法,为地层划分、岩相古地理再造和油气勘探提供了新理论和新方法,已成为油气勘探的重要手段之一^[1]。2012年,我国首次在重庆涪陵地区焦页1井发现大型页岩气藏,龙马溪组页岩气产出可观^[2-4]。江南断裂带周边地区高家边组(江南断裂以南称霞乡组)与上扬子地区龙马溪组海相泥页岩发育,二者分别属于不同区域的志留纪沉积地层。目前,下扬子地区志留系调查与研究相对薄弱。对下扬子地区志留系进行层序地层研究,对低水位体系域和凝缩段进行识别,进一步评价页岩气勘探潜力,这对指导下扬子地区页岩气勘探开发具有重要意义。

本文采用露头层序地层学原理和方法,在详细的沉积学研究、地层划分与对比的基础上,对江南断裂带周边地区江南地层分区和下扬子地层分区志

留系3条剖面进行露头层序地层划分和对比,评价页岩气勘探潜力,为下扬子地区页岩气地质调查和参数井的布置提供参考。

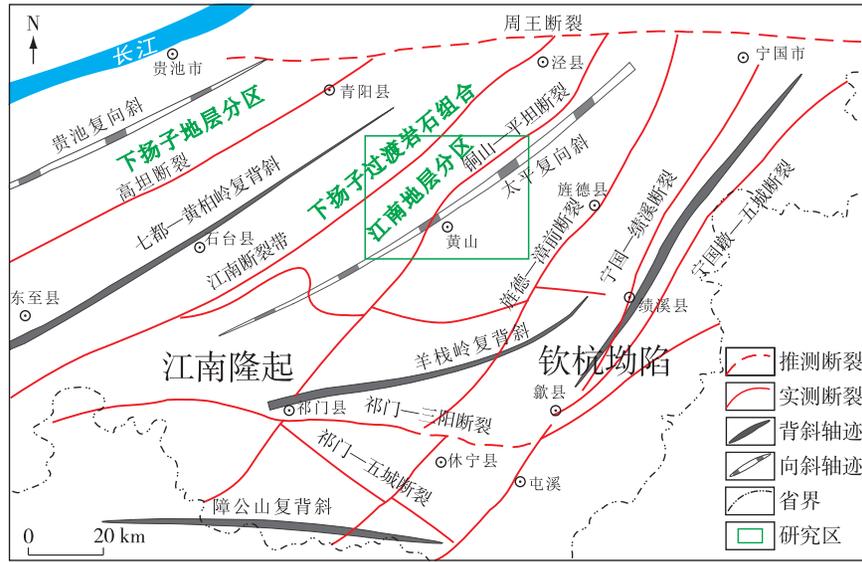
1 区域地质概况

研究区位于扬子板块北缘,江南造山带与沿江褶皱带交接处,以江南断裂带为界(图1),南侧为江南地层分区霞乡组、河沥溪组、康山组和唐家坞组,以盆地-陆棚-过渡带-滨岸-潮坪相碎屑岩沉积为主;北侧为下扬子地层分区高家边组、坟头组、茅山组,以陆棚-滨岸-砂坝相碎屑岩沉积为主。在江南断裂带附近泾县外马地区(江南断裂以北)发现一套江南地层分区与下扬子地层分区过渡岩石组合,原定为早志留世霞乡组和河沥溪组,现暂定为下扬子地层分区过渡岩石组合,使用下扬子地层分区的地层单元名称。

* 收稿日期:2019-07-29 修订日期:2019-10-15 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“长江中下游成矿带安庆—盱眙地区地质矿产调查(编号:DD20160036)”和“苏皖地区页岩气地质调查(编号:DD20190083)”项目联合资助。

第一作者简介:吴俊,1984年生,男,工程师,主要从事区域地质及矿产地质调查工作。

图 1 研究区构造地质简图^[5]Fig. 1 Tectonic geological sketch of the study area^[5]

2 志留系划分与对比

2.1 志留系划分

因缺少标准化石对比,志留系沉积时代未能准确限定。本文通过测制志留系剖面,古生物资料引用《安徽省地层志·志留系分册》^[6]、《安徽省岩石地层》^[7]和“1:25万安庆幅区域地质调查报告”^[8],重新划分该区岩石地层单位。岩石地层单位仍沿用“1:25万安庆幅区域地质调查报告”^[8]成果,对地层时代修正、补充,将高家边组和坟头组划归于下志留统,将茅山组规划于上志留统,依据如下。

(1)黄山三峰庵—举坑剖面唐家坞组下段顶部新发现腕足类 *Resserella* sp.、腹足类 *Murchisonia* cf. *margrita* Whidborr 和古栉齿类双壳(未查到对应属种,可能是新属种)化石。上段产瓣鳃类化石 *Edmondia* sp.; 胞石化石 *Conochitina* cf. *acuminata* Eisenack、*Conochitina* sp. Indet.、*Eisenackitina venusta* Tsegeinjuk、*Calpichitina* (D.) cf. *densa* (Eisenack)、*Conochitina* sp.; 含舌形贝化石 *Lingula* sp.、*Fentounia* sp.、*Leptogonia analoga*、*Schuchertella* sp.; 直角石目 *Hormotoma*? sp.、*Loxoneina* sp.、*Lingula* sp.^[8],同时见鱼皮和植物化石^[7-8]。腕足类化石 *Resserella* sp.属于晚志留世及以后主要腕足类组合(小菜采贝动物群)^[9],属于上志留统卢德福德阶。

(2)黄山三峰庵—举坑剖面产植物碎片化石。宣城小坑—宁国深坑河剖面第 113 层和 120 层产植物碎片和植物茎干^[6],可能属于王恽等^[10]在安徽宿松发现的线形植物化石,其原始定义和最新发现表明,将唐家坞组划归于上志留统更合适。

(3)通过测制剖面,参考《安徽省地层志·志留系分册》^[6],发现研究区霞乡组发育厚 32~75 m 的红棕色、浅紫色粉砂岩、粉砂质页岩,高家边组发育厚 36~42 m 的黄绿色夹紫红色、紫红色、紫褐色粉砂质页岩、粉细砂岩,可能相当于“下红层”,时代为下志留统特列奇阶早期。康山组发育厚 60~150 m 的暗紫色、紫红色粉细砂岩、粉砂质泥页岩,坟头组发育厚 0~30 m 的粉砂岩、含砾粉砂岩,可能相当于“上红层”,时代为下志留统特列奇阶晚期。唐家坞组发育数层厚 30~150 m 的灰紫色、紫红色细粒岩屑砂岩夹粉砂质泥岩,茅山组中上部发育厚 0~80 m 的灰紫色、暗紫色细粒岩屑砂岩、细粒岩屑石英砂岩,可能相当于“罗德洛统红层”,时代为上志留统卢德福德阶晚期。

(4)志留纪时限及各统、阶起始和结束时间变化较大^[9]。对缺乏标准化石的“哑地层”,碎屑锆石 U-Pb 定年不仅能反映物源时代,且最年轻的单颗粒碎屑锆石年龄常被用来限定沉积地层的最大沉积年代^[11-13]。杨梅等^[14]在江南地层分区唐家坞组获得的最年轻单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 424 Ma,李

海滨^[15]在下扬子地层分区茅山组获得碎屑锆石 U-Pb 最小年龄为 425 Ma,最新国际年代地层表晚志留世时限为 427.4~423.0 Ma,推断唐家坞组沉积时代应为晚志留世。

综上所述,从地层、古生物、红层和碎屑锆石 U-

Pb 定年等手段,结合最新研究成果,将研究区高家边组和坟头组(江南段裂带以南称霞乡组、河沥溪组和康山组)划归于下志留统,将茅山组(江南段裂带以南称唐家坞组)划归于上志留统,缺失中志留统(表 1)。

表 1 志留系划分沿革

Table 1 Classification and change history of the Silurian System

1:20万安庆幅、旌德幅区域地质测量报告 ^[16]			《安徽省地层志·志留系分册》 ^[6]			《长江中下游地层志(寒武—第四系)》 ^[17]			《安徽省岩石地层》 ^[7]			本文		
时代	北区	南区	时代	下扬子地层分区	江南地层分区	时代	扬子区	江南区	时代	下扬子地层分区	江南地层分区	时代	下扬子地层分区	江南地层分区
晚志留世	茅山组	太平群	晚志留世	茅山群	举坑群	晚志留世	茅山组	举坑群	晚志留世	茅山组	唐家坞组	晚志留世	茅山组	唐家坞组
中志留世	坟头组	河沥溪组	中志留世	坟头组	嘏村组	中志留世	寨山组 坟头组 侯家塘组		中志留世	坟头组	康山组	中志留世		
早志留世	高家边组	霞乡组	早志留世	高家边组	河沥溪组 霞乡组	早志留世	高家边组	大白地组 安吉组	早志留世	高家边组	河沥溪组 霞乡组	早志留世	坟头组 高家边组	康山组 河沥溪组 霞乡组

2.2 下扬子过渡岩石组合

野外地质调查发现,研究区志留系与典型下扬子地层和江南地层志留系存在较大差异,岩性上难以进行区域对比,特别是下扬子地层分区高家边组—坟头组—茅山组(江南断裂与高坦断裂之间)与典型下扬子地区志留系相似又存在差异(高家边组中下段),可能指示研究区志留系存在下扬子地层分区与江南地层分区过渡岩石组合。

在泾县马村—外马村地层剖面^[6],下扬子地层分区晚奥陶世汤头组—五峰组之上为一套底部为灰黑色薄层含碳质泥页岩,产笔石化石;向上为黄绿色中厚层—块状细粒岩屑砂岩、粉砂岩与灰黑、深灰色中厚层粉砂质泥岩互层,见水平层理和球状风化,局部见泥砾,岩性、岩相和沉积构造类似于江南地层分区霞乡组。在野外地层剖面测量中,从岩性、岩相、沉积构造判断泾县马村剖面志留系层序与前人认识相似^[5-6,8],江南地层分区霞乡组之上为

下扬子地层分区高家边组上段坟头组—茅山组(图 2)。该剖面位于江南断裂带以北,下伏地层为下扬子地层晚奥陶世汤头组—五峰组,之上应发育高家边组—坟头组—茅山组,但实际呈“霞乡组”—高家边组上段—坟头组—茅山组序列,高家边组下段和中段类似于“江南地层分区霞乡组”,可能为一套过渡岩石组合。

此外,贵池区官营村地层剖面也位于江南断裂带以北,应发育高家边组,实际发育的岩性与典型高家边组存在较大差异(称霞乡组^[6]),但与江南地层分区的霞乡组也存在差异,可能为一套过渡岩石组合。

综上所述,研究区志留系大致以江南断裂和高坦断裂为界,分为北侧下扬子地层分区和南侧江南地层分区。中部(江南断裂以北、高坦断裂以南)暂定为下扬子过渡岩石组合(图 1),划归于下扬子地层分区,可能与晚奥陶世—早志留世江南断裂(同沉积断裂)再次活化具有一定关系。

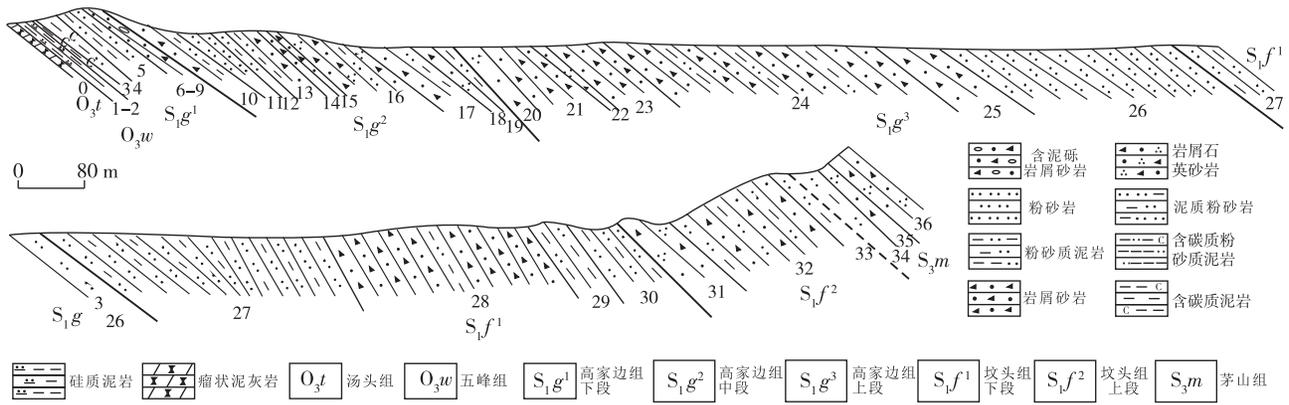


图 2 安徽省宣城马村—外马村志留系实测地层剖面
 Fig. 2 Measured Silurian stratigraphic profile in Macun-Waimacun, Xuancheng, Anhui Province

3 三级层序划分依据

志留纪是扬子地区加里东期地壳运动最强烈的时期,古地理轮廓发生巨大变化,复杂的沉积环境和条件决定了志留系沉积特征、分布及其发育程度复杂多变。志留系与奥陶系顶部五峰期沉积构成一个良好的沉积序列,可识别出 1 个二级层序、五峰组 1~5 个三级层序和志留系 8~13 个三级层序^[1]。

前人通过沉积学^[14,18-20]、古生物学^[21-25]和层序地层学^[26-29]对研究区志留系进行了研究。但下扬子地区志留系层序地层划分与对比方面尚存在较大分歧。皖南地区志留系可识出 2 个三级层序^[27],志留系霞乡组可识别出 2 个三级层序^[29];江苏宁镇地区志留系可识别出 10 个三级层序^[26]。以上差异不仅与其所处的古地理位置有关,还与层序级别划分、层序标准、不同相带间层序对比、三级层序界面和时间延续等认识相关^[30-32]。

4 层序地层划分及特征

根据露头层序地层原理,考虑层序关键界面、体系域和层序区域追踪对比性,以《中国南方层序地层与古地理》^[1]为借鉴,将江南断裂带周边地区志留系划分为 1 个不完整的二级层序(SS1-TST和SS1-HST)和 7 个三级层序(SSQ1—SSQ7)(图 3)。上述 7 个三级层序反映研究区志留系具有 7 次相对较大的海平面升降旋回。

4.1 二级层序

二级层序底界相当于下扬子地层分区汤头组

与五峰组之间的界面,江南地层分区黄泥岗组与长坞组之间界面光滑平整,岩相、沉积相、生态相截然突变,界面之上依次发育低水位体系域(lowstand systems tract, LST)、海侵体系域(transgressive systems tract, TST)和高水位体系域(highstand systems tract, HST)沉积。

4.1.1 下扬子地层分区二级层序

低水位体系域(LST)。相当于晚奥陶世五峰组,为一套陆棚相灰黑色、黑色碳质泥页岩、粉砂质泥岩夹灰岩透镜体。

海侵体系域(TST)。相当于高家边组中、下段,岩性为灰绿、黄绿色薄层粉砂质泥页岩夹粉砂岩,为陆棚-过渡相,呈向上变深的退积序列,伴随多期海平面变化。

高水位体系域(HST)。相当于下扬子地层分区高家边组上段、坟头组和茅山组,岩性为灰绿、黄绿、灰紫色粉砂质泥岩、粉砂岩、细粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩,为陆棚-临滨带-前滨带沉积,呈向上变浅的进积序列,伴随多期海平面变化。

4.1.2 江南地层分区二级层序

低水位体系域(LST)。相当于晚奥陶世长坞组,为一套深水浊积岩相灰绿、黄绿、黄褐色细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩韵律层。

海侵体系域(TST)。相当于霞乡组,底部发育一套灰黑色、黑色碳质泥页岩,向上为灰绿、黄绿色厚层细粒岩屑砂岩、粉砂岩,为盆地边缘-陆棚相沉积,呈向上变深的退积序列,伴随多期海平面变化。

高水位体系域(HST)。相当于河沥溪组、康山组和唐家坞组,灰绿、黄绿、深灰色粉砂质泥岩夹粉砂岩-粉砂岩-细粒岩屑砂岩与泥岩互层-细粒岩屑

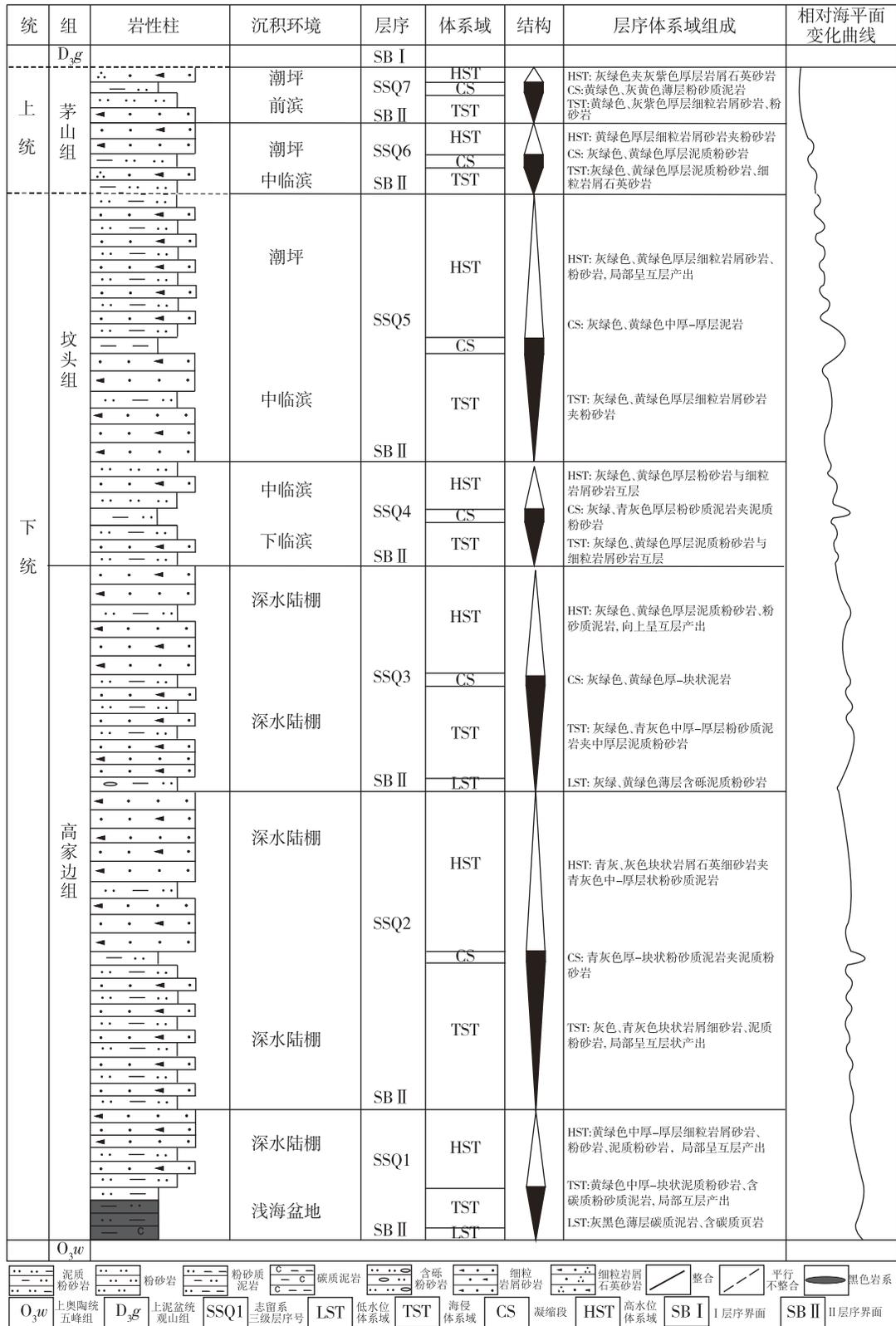


图3 下扬子地层分区过渡岩石组合志留系层序划分示意图

Fig. 3 Division and characteristic chart of transition rock assemblage Silurian sequence in the Lower Yangtze stratigraphic division

砂岩,呈过渡带-下临滨-中临滨-上临滨-前滨-泻湖-潮坪相沉积,呈向上变浅的进积序列。

4.2 三级层序

(1)SSQ1 三级层序。位于霞乡组或高家边组下段,为 II 型层序界面。自南东向北西,大体以江南断裂为界,南部为江南地层分区霞乡组,中部为下扬子过渡岩石组合,北部为下扬子地层分区高家边组(后文相同),各体系域特征见表 2。

表 2 SSQ1 三级层序体系域特征

Table 2 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ1 system domain

体系域	下扬子过渡岩石组合	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	黄绿色中厚-厚层细粒岩屑砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩,局部呈互层产出	黄绿色、红棕色薄-中厚层状细砂岩,粉砂岩,局部夹粉砂质泥岩
海侵体系域 (TST)	黄绿色中厚层-块状泥质粉砂岩与碳质粉砂质泥岩互层	灰绿色、黄绿色中厚层粉砂岩夹灰绿色粉砂质页岩
低水位体系域 (LST)	灰黑色薄层含碳质泥岩、含碳质页岩。产笔石化石	灰黑色薄层含碳质泥岩、含碳质页岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩
地层代号	S_1g^1	S_1x^1

(2)SSQ2 三级层序。位于霞乡组上部和高家边组中段,为 II 型层序界面。各体系域特征见表 3。

表 3 SSQ2 三级层序体系域特征

Table 3 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ2 system domain

体系域	下扬子过渡岩石组合	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	青灰色、灰色块状岩屑石英细砂岩夹青灰色中-厚层状粉砂质泥岩	黄绿色厚层块状细粒岩屑石英砂岩、泥质粉砂岩,局部呈互层产出
凝缩段 (CS)	青灰色厚层-块状粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩	
海侵体系域 (TST)	灰色、青灰色块状岩屑细砂岩、泥质粉砂岩,局部呈互层产出	灰黄色、黄绿色中层细粒岩屑砂岩与紫红色中薄层泥岩、粉砂质泥岩互层
地层代号	S_1g^2	S_1x^2

(3)SSQ3 三级层序。位于河沥溪组和高家边组上段,为 II 型层序界面。各体系域特征见表 4。

(4)SSQ4 三级层序。位于康山组下段和坟头组下段,为 II 型层序界面。各体系域特征见表 5。

(5)SSQ5 三级层序。位于康山组上段和坟头组上段,为 II 型层序界面,各体系域特征见表 6。

表 4 SSQ3 三级层序体系域特征

Table 4 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ3 system domain

体系域	下扬子地层分区	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	灰绿色、黄绿色厚层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,向上呈互层产出	灰绿色、青灰色中厚层粉砂质泥岩、泥岩、泥质粉砂岩,局部呈不等厚互层产出
凝缩段 (CS)	灰绿色、黄绿色厚层-块状泥岩	深灰色、灰黑色中薄层泥岩,含碳质泥岩
海侵体系域 (TST)	灰绿色、青灰色中厚-厚层粉砂质泥岩夹中厚层泥质粉砂岩,局部互层状产出	灰色、深灰色中厚层岩屑石英砂岩与粉砂岩、粉砂质泥岩互层
低水位体系域 (LST)	灰绿色、黄绿色薄层含砾泥质粉砂岩	
地层代号	S_1g^3	S_1h

表 5 SSQ4 三级层序体系域特征

Table 5 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ4 system domain

体系域	下扬子地层分区	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	灰绿色、黄绿色厚层粉砂岩与细粒岩屑砂岩互层	灰绿色、黄绿色中厚-厚层粉砂岩与灰、深灰色中厚层粉砂质泥岩互层
凝缩段 (CS)	灰绿色、青灰色厚层厚层粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩	黄绿色、黄褐色厚层泥岩,局部夹泥质粉砂岩
海侵体系域 (TST)	灰绿色、黄绿色厚层泥质粉砂岩与细粒岩屑砂岩互层	灰绿色、青灰色中厚-厚层细粒岩屑石英砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩
地层代号	S_1f^1	S_1k^1

表 6 SSQ5 三级层序体系域特征

Table 6 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ5 system domain

体系域	下扬子地层分区	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	灰绿色、黄绿色厚层细粒岩屑砂岩、粉砂岩,局部呈互层产出	灰绿色、青灰色厚层细粒岩屑石英砂岩与深灰色、黄绿色中薄层泥岩互层
凝缩段 (CS)	灰绿色、黄绿色中厚-厚层泥岩	灰绿色、黄绿色中厚-厚层泥岩、含粉砂质泥岩夹青灰色、灰绿色中厚层粉砂岩
海侵体系域 (TST)	灰绿色、黄绿色厚层细粒岩屑砂岩夹粉砂岩。见平行层理和板状交错层理	青灰色、灰绿色中厚-厚层细粒岩屑砂岩与灰绿色、暗灰色中厚-厚层粉砂质泥岩互层,见水平层理和板状交错层理
地层代号	S_1f^2	S_1k^2

(6)SSQ6 三级层序。位于唐家坞组下段和茅山组下段,为 I 型或者 II 型层序界面,各体系域特征见表 7。

表 7 SSQ6 三级层序体系域特征

Table 7 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ6 system domain

体系域	下扬子地层分区	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	灰绿色、黄绿色厚层细粒岩屑砂岩夹粉砂岩,见平行层理和板状交错层理	灰绿色中厚-厚层细粒岩屑(石英)砂岩夹中厚层粉砂质泥岩,见平行层理,偶见板状交错层理
凝缩段(CS)	灰绿色、黄绿色厚层泥质粉砂岩夹中厚层细粒岩屑砂岩	灰绿色中厚-厚层粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩
海侵体系域 (TST)	灰绿色、黄绿色厚层泥质粉砂岩、细粒岩屑石英砂岩,见板状交错层理和平行层理	灰绿色中厚-厚层细粒岩屑(石英)砂岩夹中厚层粉砂质泥岩,见平行层理,偶见板状交错层理
地层代号	S ₂ m ¹	S ₂ l ¹

(7)SSQ7 茅山组上部。位于唐家坞组下段和茅山组下段,为 II 型层序界面,各体系域特征见表 8。

表 8 SSQ7 三级层序体系域特征

Table 8 Characteristics and distribution of the third-order sequence SSQ7 system domain

体系域	下扬子地层分区	江南地层分区
高水位体系域 (HST)	灰绿色、黄绿色夹灰紫色厚层细粒岩屑石英砂岩。见平行层理,偶见板状交错层理	浅灰绿色中厚层极细粒岩屑砂岩夹薄层粉砂岩,见平行层理和板状交错层理
凝缩段(CS)	黄绿色、灰黄色薄层粉砂质泥岩	浅灰绿色中厚-厚层泥质粉砂岩夹粉砂质泥岩
海侵体系域 (TST)	黄绿色、灰紫色厚层细粒岩屑砂岩、粉砂岩,见平行层理、板状交错层理	灰绿色、灰褐色中厚层细粒岩屑(石英)砂岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,见平行层理、板状交错层理
地层代号	S ₂ m ²	S ₂ l ²

5 富有机质页岩地层格架对比

(1)研究区志留系呈 NE 向展布,大致以江南断裂和高坦断裂为界,南东部为江南地层分区,中部为下扬子过渡岩石组合,北西部为下扬子地层分区。横向上,自南东到北西,水体逐渐变浅,沉积厚度南东厚北西薄,可能与物源主要来源于南东部有

关。纵向上,岩性相对单一,主要为细粒岩屑砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,沉积水体由多个浅-深-浅-深-浅序列组成,伴随着浅水盆地-陆棚-过渡带-临滨-过渡带-临滨-潮坪相沉积。沉积岩性相对单一,早期水体相对较深,晚期水体相对较浅。整体上二级层序可进行区域对比,三级层序在不同相带剖面上可大致对比,每个三级层序延续时限大体与公认时限相当。

(2)黑色岩系主要分布于 SSQ1 和 SSQ4,主要表现为高水位体系域(HST)、海侵体系域(TST)和凝缩段(CS)(图 4)。

SSQ1 富有机质页岩主要发育于低水位体系域(LST)和海侵体系域(TST),岩性为灰黑、黑色泥页岩、碳质泥页岩。南东侧霞乡组底部厚 1~3 m,作为低水位体系域(LST),主要为灰黑、黑色碳质泥页岩;中部下扬子过渡岩石组合,厚 25~30 m,底部为灰黑、黑色碳质泥页岩(低水位体系域,LST),向上为灰、灰黑色中厚层含碳质粉砂质页岩与粉砂岩、泥质粉砂岩互层(海侵体系域 TST 下部),向上渐变为黄绿、灰绿和青灰色,碳质减少。北西侧高家边组中下部,厚 15~20 m,底部为厚 1.5~15 m 的灰黑、黑色含碳质泥岩、碳质泥岩(低水位体系域,LST),向上为深灰、灰黑色页岩、含碳质页岩,笔石化石丰富。

SSQ4 富有机质页岩仅发育在江南地层分区凝缩段(CS),其他层位未见,厚 15~25 m,岩性为深灰、灰黑色厚层含碳质泥岩。

6 页岩气勘探潜力

下志留统高家边组和霞乡组中下部均发育一套富有机质深灰、黑色页岩、碳质页岩、硅质页岩、粉砂质页岩夹泥质粉砂岩组合,笔石化石丰富,往上砂质含量增多,颜色变浅。岩石厚度达 5~40 m,天然露头下志留统黑色页岩普遍风化为灰黄、灰白色泥页岩,可能影响了其页岩气勘探潜力的评价和预测^[33]。

平面上,自南东向北西,宁国霞乡早志留世霞乡组底部为厚 1~2 m 的深灰色、黑色碳质页岩,向上为细砂岩与碳质页岩互层,TOC 值为 0.173~1.50,平均值为 0.64($n=3$, n 为样品数)^[34]。泾县外马早志留世高家边组过渡岩石组合为浅灰、灰黑色页岩,厚 14.35 m,向上为粉砂岩与页岩互层(图

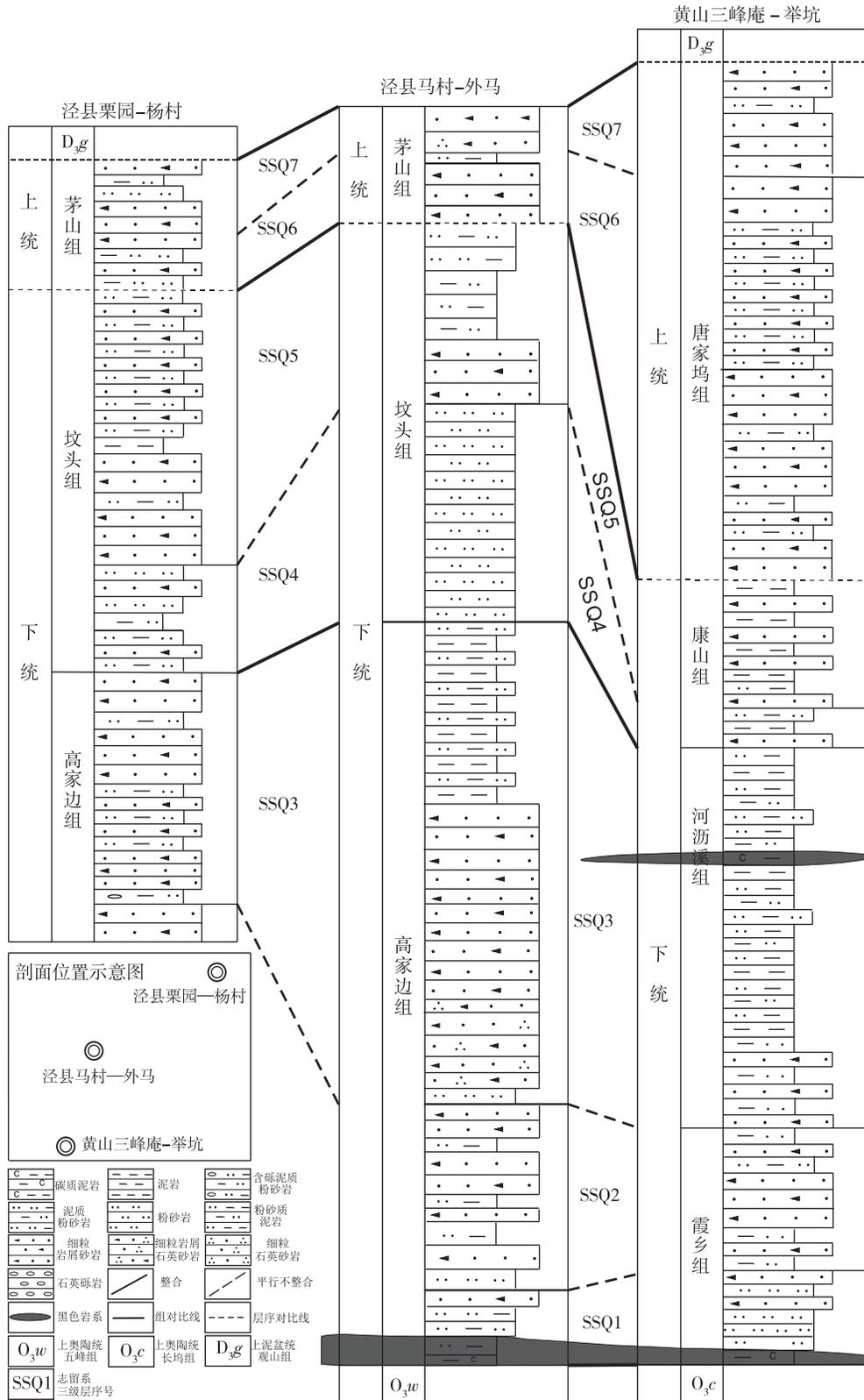


图 4 研究区志留系三级层序及黑色岩系对比图

Fig. 4 Comparison of the third-order sequence of the Silurian and the black rock series in the study area

5(a)), TOC 值为 0.13~1.74, 平均值为 0.91 ($n=5$)^[34]。贵池—石台一线灰黑、浅灰色粉砂质页岩、碳质页岩, 厚 20~30 m, 贵池区梅街霞乡组(高家边组中下段) TOC 值为 7.37 ($n=1$)。黄山区举坑河沥溪组中上部可见深灰、灰黑色厚层含碳质泥岩(图 5(b)), TOC 值为 2.23~5.33, 平均值为 3.89 ($n=5$)^[33]。石台红桃霞乡组 TOC 值为 4.32~

4.84, 平均值为 4.58 ($n=2$)^[34]。贵池区梅街石台七都河沥溪组(下扬子过渡岩石组合高家边组) TOC 值为 2.45~3.75, 平均值为 2.91 ($n=3$)^[34]。自南东向北西, 黑色泥页岩中间厚, 两侧薄, 均含大量笔石化石, 为深水陆棚—浅水陆棚环境, TOC 值为 1%~4%, 显示中部下扬子过渡岩石组合高家边组黑色岩系具有形成页岩气藏的基础。



图 5 高家边组过渡岩石组合黑色泥岩(a)和河沥溪组黑色泥岩(b)野外照片

Fig. 5 Black mudstone (a) of transition rock assemblage of Gaojiabian Formation and black mudstone (b) of Helixi Formation

综上所述, 富有机质黑色岩系主要位于高家边组(江南断裂以南称霞乡组和河沥溪组), 指示早志留世早期在特定沉积水体环境下, 有利于有机质的保存, 早志留世晚期和晚志留世均不利于有机质富集。富有机质黑色岩系主要位于低水位体系域(LST)和凝缩段(CS), 指示低水位体系域和凝缩段海平面变化时, 有利于有机质保存。

总之, 志留系黑色岩系发育较局限, 厚度不一, 可能与较深的缺氧环境有关。自南东向北西, 浅水盆地浊积岩相—斜坡折带—陆棚相沉积序列, 水体逐渐变浅。南东侧宁国—宣城地区霞乡组底部发育厚 1~3 m 的富有机质页岩, TOC 含量较高; 北西侧无为—巢湖—和县地区高家边下部发育厚 15~25 m 富有机质页岩, TOC 含量达 1%; 中部东至—石台—宣城地区高家边组下部过渡岩石组合发育厚 30~45 m 富有机质页岩, TOC 含量较高。黑色岩系南东侧较薄, 中部和北西侧较厚, 基本达到页岩气有利区的条件。

7 结 论

(1) 江南断裂带周边地区志留系高家边组和坟

头组(江南断裂以南称霞乡组、河沥溪组和康山组)仍划归于下志留统, 茅山组(江南断裂以南称唐家坞组)重新湖岸归于上志留统, 缺失中志留统沉积。

(2) 江南断裂以北、高坦断裂以南, 下志留统高家边组应单独划出, 暂定为下扬子过渡岩石组合, 划归于下扬子地层分区, 可能与晚奥陶世—早志留世江南断裂带(同沉积断裂)再次活化有关。

(3) 江南断裂带周边地区志留系识别出 1 个不完整二级层序(SS1)和 7 个三级层序(SSQ1—SSQ7), 划分出低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)、凝缩段(CS)及高水位体系域(HST), 反映了志留系具有 7 次相对较大的海平面升降旋回。

(4) 富有机质页岩主要发育于 SSQ1 三级层序和 SSQ4 三级层序中, 主要表现为低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)和凝缩段(CS), 下扬子过渡岩石组合高家边组具有形成页岩气藏的优越条件。

参考文献

[1] 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 137-180.

- [2] 贾东,胡文瑄,姚素平,等.江苏省下志留统黑色页岩浅井钻探及其页岩气潜力分析[J].高校地质学报,2016,22(1):129-139.
- [3] 王红岩,郭伟,梁峰,等.四川盆地威远页岩气田五峰组和龙马溪组黑色页岩生物地层特征与意义[J].地层学杂志,2015,39(3):289-293.
- [4] 王社教,王兰生,黄金亮,等.上扬子区志留系页岩气成藏条件[J].天然气工业,2009,29(5):45-50.
- [5] 安徽省地质调查院.安徽省区域地质志[D].合肥:安徽省地质调查院,2015:1-200.
- [6] 安徽省地质矿产局区域地质调查队.安徽省地层志·志留系分册[M].合肥:安徽科学技术出版社,1989:1-162.
- [7] 安徽省地质矿产局.安徽省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:174-176.
- [8] 安徽省地质调查院.1:25万安庆幅区域地质调查报告[R].合肥:安徽省地质调查院,2005:56-60.
- [9] 戎嘉余,王怿,詹仁斌,等.中国志留纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,2019,49(01):97-118.
- [10] 王怿,蒋青,唐鹏,等.安徽宿松坐山志留纪晚期地层的研究[J].地层学杂志,2018,42(2):159-166.
- [11] TUCKERRT, ROERTS E M, HU Y, et al. Detrital zircon age constraints for the Winton Formation, Queensland; contextualizing Australia's Late Cretaceous dinosaur faunas [J]. *Gondwa Research*, 2013, 24 (2): 767-779.
- [12] NELSON D R. An assessment of the determination of depositional ages for Precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircons [J]. *Sedimentary Geology*, 2001, 141/142: 37-60.
- [13] DICKINSON W R, GEHRELS G E. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: a test against a Colorado Plateau Mesozoic database [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, 288(1/2): 0-125.
- [14] 杨梅,洪天求,徐锦龙,等.皖南志留系唐家坞组物源分析:来自碎屑锆石年代学和岩石地球化学的制约[J].沉积学报,2018,36(01):42-56.
- [15] 李海滨.下扬子地区早古生代前陆盆地与油气前景分析[D].南京:南京大学,2013.
- [16] 安徽地质局317队.1:20万安庆幅、旌德幅区域地质测量报告[R].合肥:安徽地质局317队,1965:1-108.
- [17] 陈华成,吴其切.长江中下游地层志(寒武—第四系)[M].合肥:安徽科学技术出版社,1989:233-316.
- [18] 张文华.下扬子地区中上志留统砂质风暴岩特征和巢县狮子口剖面风暴岩序列[J].淮南矿业学院学报,1987(2):4-14.
- [19] 姜在兴,赵激林,熊继辉.皖中下志留统的等深积岩及其地质意义[J].科学通报,1989(20):1575-1576.
- [20] 王茵,曾勇,陈松.安徽巢北地区下志留统坟头组沉积环境分析[J].安徽地质,2007,17(3):166-170.
- [21] 王士涛,夏树芳,杜森官,等.安徽巢县志留纪无颌类和鱼类化石的发现及其地质意义[J].中国地质科学院地质研究所文集,1981:101-118.
- [22] 夏凤生,齐敦伦.安徽含山早志留世晚期陈夏村组的苔藓动物化石[J].微体古生物学报,1989(1):75-90,126-129.
- [23] 胡斌,王观忠.安徽含山中志留世海湾沉积环境中的痕迹化石组合[J].沉积与特提斯地质,1993(6):53-61.
- [24] 孙乘云,杜森官,王有生.安徽省黄山地区唐家坞组生物地层[J].地层学杂志,2008,32(3):290-293,343.
- [25] 王怿,蒋青,唐鹏,等.安徽宿松坐山志留纪晚期地层的研究[J].地层学杂志,2018,42(2):159-166.
- [26] 王小群,翟爱军.江苏宁镇地区下古生界层序地层划分[J].江汉石油学院学报,2003,25(3):25-26.
- [27] 吴跃东,江来利.皖西南地区泥盆纪—三叠纪层序地层[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(1):19-28.
- [28] 陈洪德,侯明才,许效松,等.加里东期华南的盆地演化与层序格架[J].成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(1):1-8.
- [29] 王俊涛.皖南地区志留系霞乡组沉积层序和沉积环境分析[J].赤峰学院学报(自然科学版),2016,32(18):116-117.
- [30] 王鸿祯,史晓颖.沉积层序及海平面旋回的分类级别——旋回周期的成因讨论[J].现代地质,1998,12(1):1-16.
- [31] 王训练.露头层序地层学研究的几个基本理论问题[J].中国科学(D辑),1999,29(1):22-30.
- [32] 苗巧银,朱志国,陈火根,等.镇江地区长江南北两岸第四纪地层结构划分与沉积特征对比[J].华东地质,2017,38(3):175-183.
- [33] 赵牧华,石刚,张安徽,等.安徽皖江地区页岩气地质调查地震勘探数据采集技术研究[J].华东地质,2017,38(3):203-209.
- [34] 吴浩.安徽省扬子地层区古生界页岩气地质条件与勘探前景[D].南京:南京大学,2014.

Characteristics of Silurian sequence stratigraphy around the Jiangnan fault zone and analysis of shale gas potential

WU Jun, XU Jin-long

(Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, China)

Abstract: Based on the principle and method of outcrop sequence stratigraphy, paleontology, red beds and detrital zircon U-Pb ages, the Silurian sequence stratigraphic characteristics, organic-rich shale occurrence and shale gas exploration prospects around the Jiangnan fault zone are studied. The study shows that the Gaojiabian Formation in the north of the Jiangnan fault zone has superior conditions for the formation of shale gas reservoirs, which can be listed as a target area for shale gas exploration. The Gaojiabian and Fentou formations around the Jiangnan fault zone, which are called Xiaxiang, Helixi and Kangshan formations in the south of the Jiangnan fault zone, should be classified into the Lower Silurian, while the Maoshan Formation (Tangjiawu Formation in the south of the Jiangnan fault zone) should be classified into the Upper Silurian, with Middle Silurian sediments missing. The organic-rich shale mainly occurs in the SSQ1 third-order sequence in the lowstand systems tract (LST) and the transgressive systems tract (TST) and the SSQ4 third-order sequence in the condensed section (CS). From the perspective of thickness and TOC value, the Gaojiabian Formation in the Lower Yangtze transitional rock combination should be a favorable target layer for shale gas exploration.

Key words: sequence stratigraphy; shale gas; organic-rich shale; Silurian; Jiangnan fault zone

地质调查创新：古地磁采样工具

近日,由中国地质调查局南京地质调查中心科技人员研制的古地磁采样工具(国家发明专利号: ZL201710598636.4)推出第一代产品,并在野外地质工作中使用。该套工具主体分为手扶横杆、立杆、采样仓三部分,配合采样仓设置辅助采样的下压杆。横杆设水平仪调节工具的竖直;立杆可根据个人需要选择组装高度,适应站立或坐式取样操作;采样仓为铜质材料,可避免采样时受磁性干扰;横杆、采样仓等标识采样方向及对准点,保证采样准确无误。该套工具操作简单,一步式完成采样,样品一次性成型入盒,可提高采样效率3~5倍以上。采样全程基本实现无磁性干扰、无接触式取样,降低了样品被污染的可能性,确保了古地磁样品质量,为获取高质量的地球磁学数据提供了保障。

(中国地质调查局南京地质调查中心 常晓军,葛伟亚)

