

DOI: 10. 16562/j. cnki. 0256-1492. 2017. 03. 014

下扬子陆域海相古-中生界烃源岩控制因素 及其对南黄海盆地的启示

王文娟^{1,2,3}, 窦振亚^{2,3}, 陈建文^{2,3}, 张银国^{2,3}, 梁杰^{2,3}

(1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2. 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘要:通过精细测量及观测南京、巢湖、浙江地区 25 个露头点露头资料和典型剖面测量以及资料收集整理, 综合分析认为下扬子陆域主要发育下寒武统荷塘组、下奥陶统宁国组(大湾-牯牛组)、上奥陶统五峰组-下志留统高家边组、下二叠统栖霞组、上二叠统龙潭组、上二叠统大隆组 6 套区域性主力烃源岩。烃源岩的发育受多种因素控制, 在下扬子地区主要受构造演化、最大海平面变化、古地貌单元、沉积环境等因素控制。在构造演化控制的特定古地理格局下, 大规模海侵期控制了烃源岩发育层位, 古地貌单元控制了烃源岩分布范围, 沉积环境控制了烃源岩的类型。以下扬子陆域烃源岩研究为对比基础, 探讨了寻找南黄海盆地烃源岩的方向。

关键词:古-中生界烃源岩; 控制因素; 下扬子; 南黄海盆地

中图分类号: P744. 4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2017)03-0138-09

为了突破南黄海古-中生界油气勘探的瓶颈, 开展了下扬子陆域与海域的地层对比工作, 其中首要任务在于对古-中生界烃源岩的评价。前人对下扬子陆域区域性烃源岩发育存在不同认识: 林小云等认为下扬子区海相沉积对应于早古生代的“一台两盆”、晚-早中生代的陆表海和印支-燕山海相盆地解体 3 个构造演化阶段形成 3 套海相烃源岩^[1]。梁狄刚等认为下扬子陆域主要存在下寒武统荷塘组、下志留统高家边组/霞乡组、下二叠统栖霞-孤峰组、上二叠统龙潭-大隆组 4 套区域性烃源岩^[2]。其中, 下寒武统荷塘组泥页岩分布广、厚度大、有机质丰度高, 但热演化程度高, R_o 普遍大于 3%, 不利于常规油气的保存; 下志留统高家边组烃源岩分布局限, 且缺失有机质丰富的鲁丹阶导致发育先天不足; 夏在莲等认为二叠系孤峰组、龙潭组、大隆组泥质岩有机质丰度高, 可达 0.8%~13%, 热演化程度适中, R_o 在 0.7%~2.0% 之间, 以生油为主, 是最有利的烃源岩层段^[3]。通过野外地质考察、资料的收集整理和研究认为下扬子下寒武统荷塘组、下奥陶统宁国

组、上奥陶统五峰组-下志留统高家边组、下二叠统栖霞组、上二叠统龙潭组-上二叠统大隆组六套烃源岩可作为古、中生界主力烃源岩,

在探讨 6 套烃源岩及其控制因素的基础上, 提出了下扬子海域南黄海盆地烃源岩层的预测方向。

1 陆域海相古-中生界烃源岩层发育特征

1.1 下寒武统荷塘组(C_1h)

荷塘组可分为上、中、下三部分。下部通常为深灰、灰黑色薄层硅质岩和硅质页岩, 底部常见浅灰色薄层灰质白云岩或含灰质白云岩凸镜体; 中部为石煤层、灰黑色碳质泥岩与含硅质碳质泥岩互层、碳质页岩, 含串珠状磷结核及结核状、星点状黄铁矿。上部为黑色碳质页岩、含硅碳质泥岩, 风化后呈现红褐色, 含海绵骨针。典型观察剖面为南京幕府山西段荷塘组剖面, 厚度约 108.90 m(图 1)。

1.2 下奥陶统宁国组(O_1n)

下扬子地层分区下奥陶统大湾组/紫台组-牯牛潭组相当于江南地层分区的宁国组。宁国市胡乐镇将军岭宁国组出露条件好, 故以此为观察点。

宁国组岩性可分为上下两段、6 个化石带和两

基金项目: 青岛市市南区科技发展资金项目(2015-6-028-ZH); 国土资源部海洋油气资源和环境重点实验室基金(MRE201219); 中国地质调查局项目南黄海油气资源调查(DD20160152)

作者简介: 王文娟(1980—), 女, 在读博士, 主要研究方向为海洋地质学, E-mail: wangwenj04@163.com

收稿日期: 2016-07-01; **改回日期:** 2016-12-03. 周立君编辑

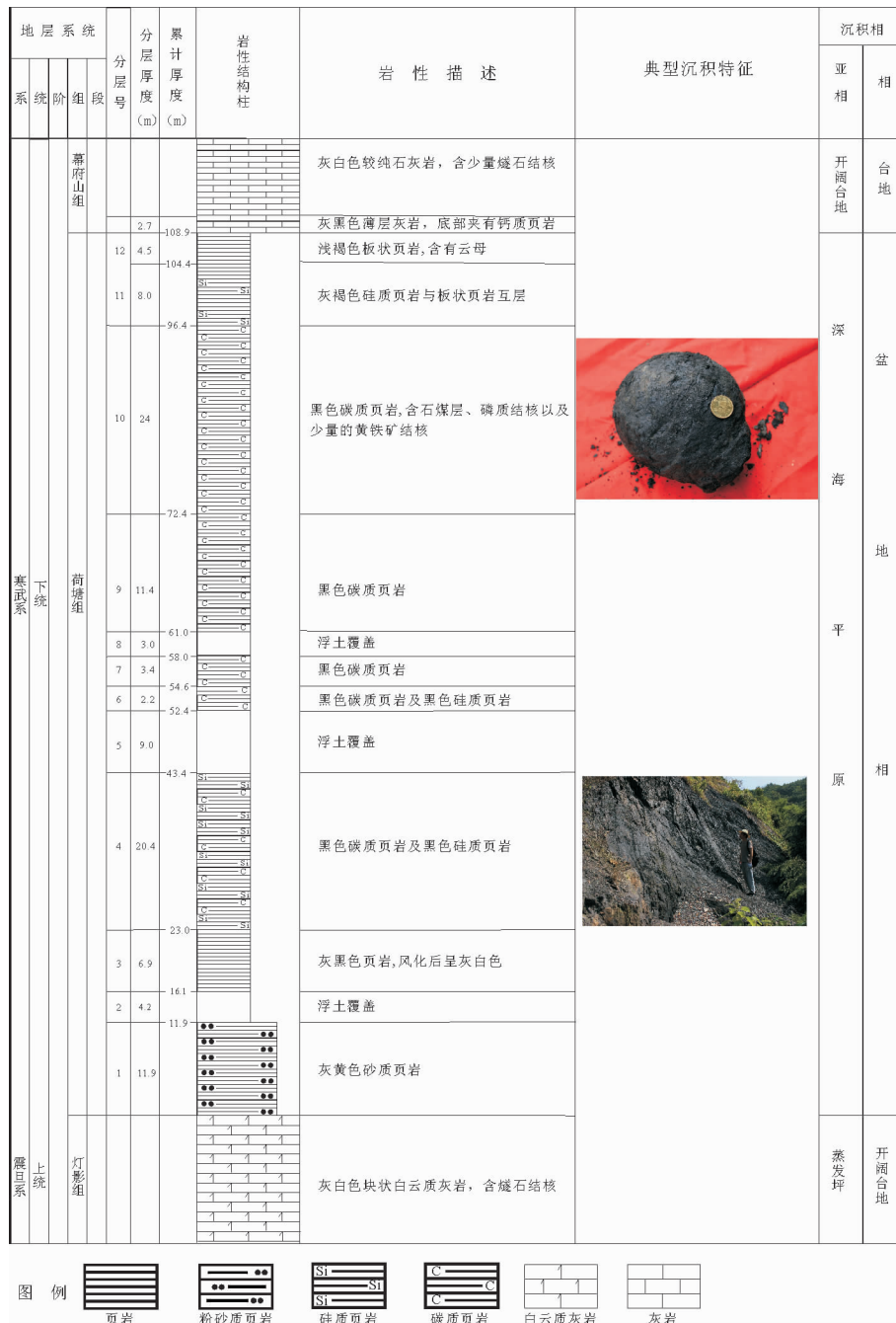


图 1 南京幕府山西段荷塘组综合柱状图

Fig. 1 Integrated column of Hetang Formation in west of Mufu Hill, Nanjing

个亚带。下段为灰绿、灰黄、黄绿色页岩夹粉砂质页岩, 富含笔石。上段为灰黑、暗灰色硅质页岩、硅质条带页岩、碳质硅质页岩, 富含笔石。厚度约 111.18 m(图 2)。

1.3 上奥陶统五峰组-下志留统高家边组 (O₃w-S₁g)

五峰组岩性一般为灰黑色硅质页岩、碳质页岩, 富含笔石, 分布广泛, 厚度一般为 10 m 左右。与上覆上志留统高家边组呈整合或假整合接触。

高家边组可分为上、中、下三段。下段岩性较稳定, 主要为灰黑色页岩, 偶夹粉砂岩、细砂岩, 页岩风化后呈灰白色, 页理较发育, 顶部页岩或泥岩呈灰绿、灰黄色。笔石化石丰富可划分成 4 个笔石带。中段岩性为黄绿色泥岩、页岩、粉砂质页岩, 有时夹薄层细砂岩及灰岩透镜体, 往上部灰岩夹层增多, 砂岩层面上见波痕, 下部含笔石较丰富, 上部含介壳相化石为主。上段岩性一般以灰绿—黄绿色薄层细砂岩、长石石英细砂岩、泥质细砂岩与粉砂岩、粉砂质页岩互层, 化石较少。野外高家边组出露的氧化面

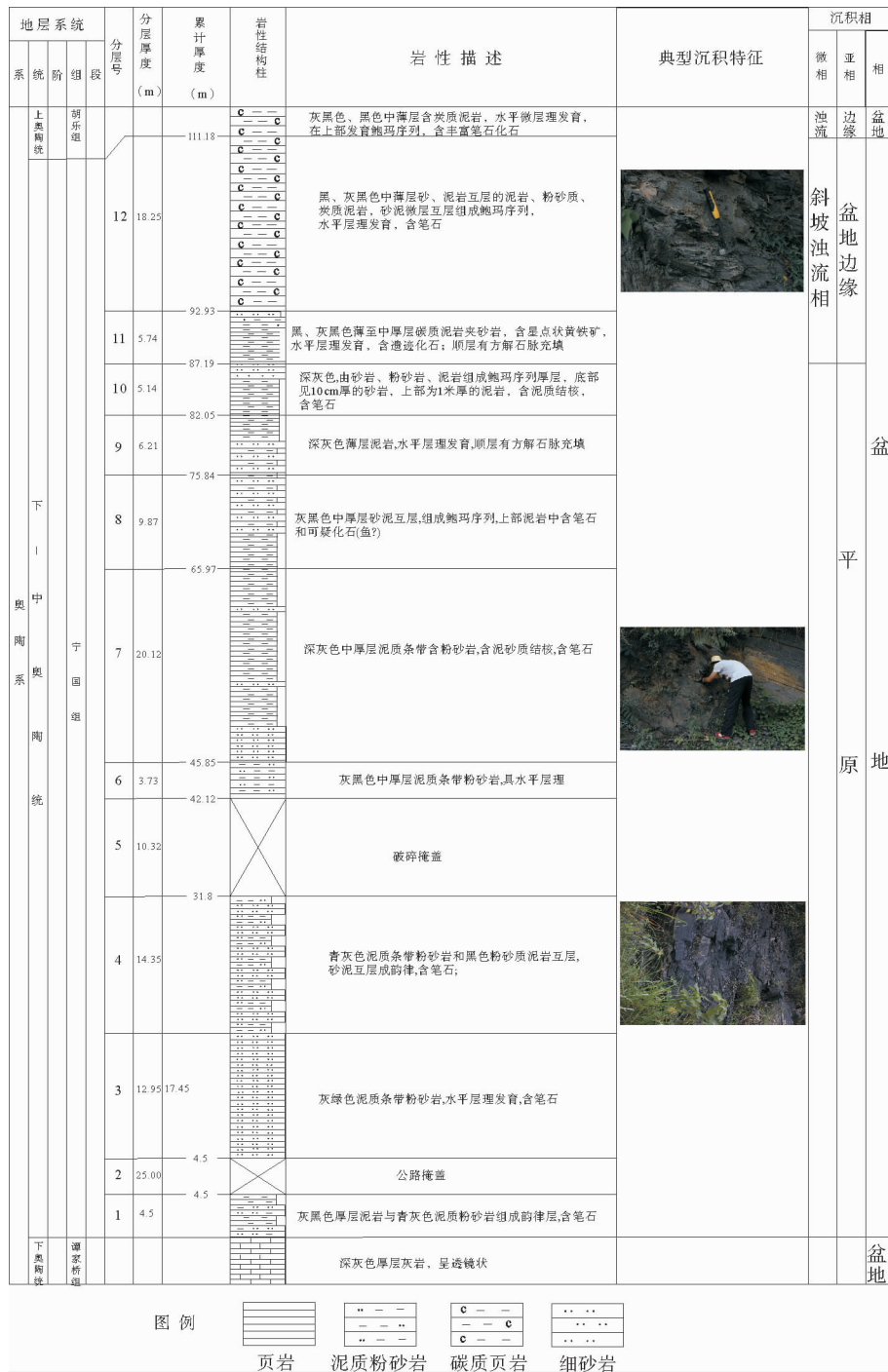


图 2 宁国胡乐将军岭奥陶系综合柱状图

Fig. 2 Integrated column of Ordovician at the Hulejiangjunling of Ningguo

整体以黄绿色泥页岩为主(图 3),有机质丰度总体不高。但据南京大学贾东 2015 钻探的汤山 2 号、3 号井岩心样品,发现高家边组从地表的黄绿色逐渐变化为浅灰色,到井深约 13~20 m 之下转变为黑色,其黑色泥页岩、硅质页岩、碳质泥岩的厚度可达 50~80 m, TOC 在 1.5%~3.0% 之间, Ro 在 1.7%~2.6%^[4]。

高家边组在下扬子江苏和安徽二省分布范围较广,野外在南京汤山、句容岗岗山、巢湖汤山和狮子

口、安徽泾县、太平、宁国、怀宁等地均出露高家边组/霞乡组灰绿色泥页岩露头。据安徽省地质矿产局记录,宿松、休宁、青阳、无为、和县等地有下志留高家边组泥页岩露头出露,至浙江余杭变为砂岩。陆域钻遇高家边组的厚度也较大,例如 N4 井钻遇厚度可达 1 700 多米。推断高家边组为一套区域性烃源岩,较前人认识的仅在句容—海安一带局限发育要广泛^[5]。

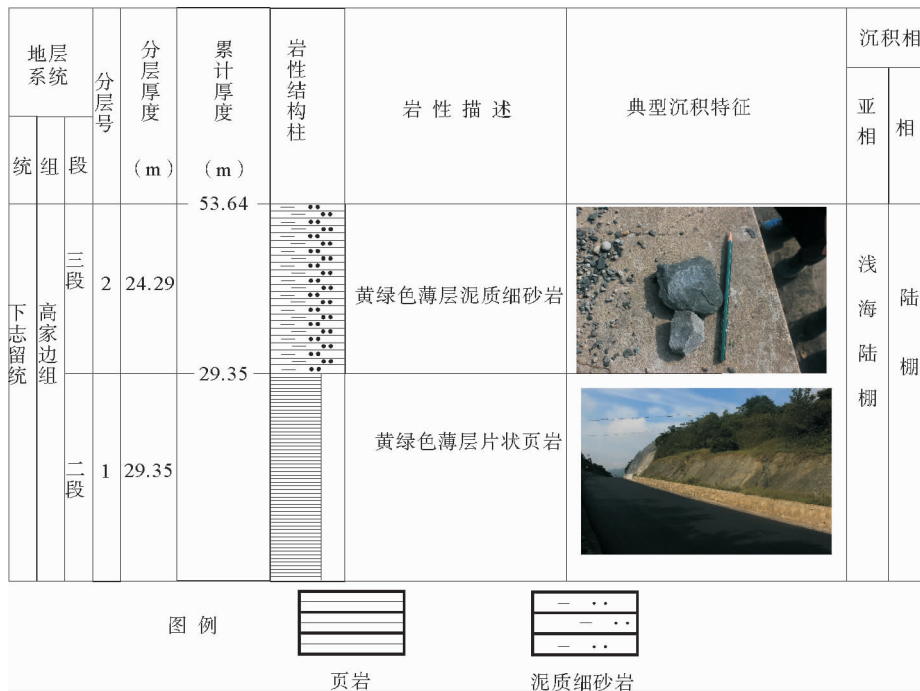


图 3 巢湖狮子口志留系综合柱状图

Fig. 3 Integrated column of Silurian system in Shizikou of Chaohu region

1.4 下二叠统栖霞组 (P₁q)

栖霞组岩性特征自下而上可分为 6 段。底部碎屑岩段,下部臭灰岩段、下硅质层段,中部燧石结核灰岩段、上硅质层段及顶部灰岩段。底部碎屑岩段为一套滨海-滨海沼泽相碎屑、含煤碎屑岩沉积;主要岩性为灰、灰黄、灰黑色页岩,碳质页岩夹粉砂岩及灰岩凸镜体,局部地区含煤,厚度 0.1~2 m,岩相变化大。下部臭灰岩段为一套还原条件下的浅海台地碳酸盐岩相沉积,沉积相稳定,主要为深灰-灰黑色中薄至厚沥青质灰岩夹灰岩、生物碎屑灰岩,局部地区夹白云质灰岩、结晶灰岩;富含化石,以蜓、珊瑚、腕足类为主。下硅质层段在区域上层位稳定,但岩性、厚度变化较大,大致可分为灰黑色薄层硅质岩、硅质页岩夹钙质页岩、泥灰岩;灰黑色硅质岩、硅质页岩含燧石结核灰岩;深灰、灰黑色薄层燧石条带灰岩。中部燧石结核灰岩段,为一温暖条件下的浅海台地含硅质碳酸盐沉积。区域上岩性稳定,一般为深灰、青灰、灰黑色中至中厚层含燧石结核灰岩,有时夹生物碎屑,灰岩呈不等厚互层出现。上硅质层段发育稳定,也可分为 3 种类型,硅质岩、硅质页岩夹页岩、碳质页岩,有时夹灰岩、泥灰岩、燧石结核灰岩、燧石条带灰岩。顶部灰岩段一般为深灰、灰、浅灰色厚至巨厚层灰岩,含燧石结核灰岩;近顶部常为一层白云质团块、泥质团块、眼球状或结核状灰岩

或夹硅质岩、硅质灰岩,局部地区上部被剥蚀,含有丰富的蜓类、珊瑚腕足化石。栖霞组从北到南,从东到西沉积厚度有增厚的趋势,岩性较稳定,六分明显,其中的臭灰岩顶部及本部灰岩段是主要烃源岩段。栖霞灰岩在下扬子陆域出露广泛。

1.5 上二叠统龙潭组 (P₂l)

龙潭组岩性可以分为 3 部分。下部长石石英砂岩段,为湖泊、河流相沉积,主要为浅灰-灰白色中、粗粒长石石英砂岩,灰-灰黑色细粒长石石英砂岩夹粉砂岩,砂质页岩、泥岩。中部含煤段,系海陆过渡交互相、泥炭沼泽相沉积,岩性为灰黑色页岩、碳质页岩、粉砂质页岩,夹细砂岩、砂岩,含 2~9 层煤,两煤层间夹一至数层长石石英砂岩、铝土质页岩,所夹砂岩中富含腕足类和珊瑚。上部灰岩段主要为浅海台地碳酸盐沉积,海相砂页岩段岩性为灰-灰黑色泥岩、页岩、砂质页岩夹细砂岩、粉砂岩、钙质砂岩及砂质灰岩,有时呈互层,岩性较稳定。龙潭组在下扬子陆域出露广泛。

1.6 上二叠统大隆组 (P₂d)

大隆组岩性可分为上、下两部分。下部岩性为深灰-灰褐色薄层硅质岩、硅质页岩,夹紫灰色页岩,钙质页岩,含菊石、腕足类化石。上部岩性为灰-灰黑色页岩夹硅质页岩、粉砂质页岩。有时夹薄层灰

岩或硅质灰岩,常呈凸镜状产出。富含菊石、腕足、双壳类和牙形刺化石。大隆组平均厚度不大但属全区分布,自北而南有增加的趋势,且碳酸盐成分增加;自东向西硅质成分增加,泥、砂质成分减少。

2 烃源岩发育的受控因素

震旦纪至中三叠世,下扬子地区经历了震旦纪—中奥陶世板块扩张裂隙,晚奥陶—志留纪板块汇聚,挤压隆升,晚泥盆纪—早、中三叠世稳定台地发展阶段(表1)^[6,7]。多期构造运动使其海相中、古生界构造格局经历了巨大的变化,控制了烃源岩层发育的古地理格局,在特定的古地理格局下,最大海泛面发育期决定了区域性烃源岩的发育层位。

2.1 构造运动控制了区域性烃源岩发育的构造古地理格局

从震旦纪开始,华南地区晋宁期的板块汇聚作用,已由加里东早期的拉张—伸展作用所代替,晚震旦世末期形成南北两侧陆缘盆地,主体为台地陆表海的构造古地理格局。加里东运动晚期,江南隆起从浙皖边界抬起,持续向盆地挤压导致早志留世“一台两盆”的格局消失。晚泥盆世末期,下扬子凹地上升,华南隆起褶皱带陆内伸展裂隙,华北古陆与江南古陆连成一片平地,发育成台地陆表海,直至中三叠世印支期褶皱抬升,海水退出本区^[8]。

2.2 最大海泛面控制了区域性烃源岩发育层位

下寒武统底界出现的笔石带各处不一,其趋势是由北东向南西方向笔石带缺失逐渐增多,表明下寒武世海侵范围由北东向西南逐渐扩大,先后接受沉积,荷塘期海侵最大,淹没整个地区,控制了寒武统烃源岩的发育层位。中寒武世至晚寒武世,以海退为主,下扬子接受稳定的地台型海相碳酸盐岩沉积建造。早奥陶仑山组—红花园组—大湾组沉积时期,逐步由局限台地—开阔台地的白云岩、灰岩沉积渐过渡到斜坡—陆棚的角砾灰岩—薄层灰岩与页岩互层,并夹硅质条带,且硅质条带有增加的趋势,反应了由板块再次扩张引起的较大规模性海侵,在下奥陶统宁国组发育较好烃源岩^[9-13]。

下志留统高家边组时期,江南隆起北部因物源供给不足成为饥饿型盆地,水体由北西向南东向逐渐入侵,平面上呈盆地—深水陆棚—浅水陆棚—滨岸的沉积分异,深水陆棚区及前端盆地相区发育烃源岩^[14]。

早二叠世栖霞期初,海水由南向北入侵;在栖霞中晚期,发育成浅水碳酸盐开阔台地,中部发育局限碳酸盐台地,南部水体已较深,富含有机质,形成了区域性烃源岩^[13]。晚二叠世龙潭早期东吴运动达到高潮期,地壳剧烈上升,海水全面向西南方向退出,沉积以潮坪—沼泽相为主,大羽植物群繁盛。中、晚期整个下扬子再次发生大规模海侵,区域上接受

表1 下扬子地区古-中生界构造演化

Table 1 Tectonic evolution of the Paleo-Mesozoic in Lower Yangtze region

地质时代		时间 /Ma	构造体制	构造阶段	构造期	主要构造演化特征			
中生代	三叠纪	T ₃	洋陆板块构造体制	古亚洲洋阶段	早印支期 晚海西期	残余盆地(前陆盆地)			
		T ₂				古特提斯洋关闭,早印支期褶皱抬升,海水退出本区			
		T ₁				局部裂隙,整体为台地陆表海			
古生代	二叠纪	P ₂			加里东期	早海西期	特提斯陆内裂隙,局部抬升		
		P ₁					台地陆表海		
	石炭纪	C ₂					扬子与印支南海陆块相对挤压,板缘褶皱造山、板内形成古隆起		
		C ₁						南北两侧陆缘盆地,主体为台地陆表海	
		D ₃						华南扬子拼接,板缘褶皱造山,区域热变质	
	泥盆纪	D ₂					加里东期	早海西期	北侧被动大陆边缘,南侧沟弧体系
		D ₁							
S									
志留纪	S	438							
奥陶纪	O	500							
寒武纪	Є	600							
新元古代	震旦纪	Z	800						
元古代		P ₁							

了海陆交互相含碎屑沉积煤层,形成一套烃源岩。晚二叠世大隆组,继承了龙潭期的海侵,下扬子海侵规模达到最大直至早三叠世,发育陆棚相,有机质类型丰富,含量较高,形成一套区域性主力烃源岩^[15,16]。

2.3 古地貌单元控制了烃源岩的分布

在构造运动形成的特定的古地理格局下,古地貌单元往往控制了层段内烃源岩的空间分布。晚震旦世至中奥陶世下扬子“一隆两坳”的构造格局,表现为北部滁州海槽、南部休宁海槽,中部为巢湖-泾县-常州隆起。位于滁州海槽中的南京下寒武统荷塘组发育黑色泥页岩,而在巢湖地区则为台地相深灰色白云岩,烃源岩不发育,说明以南京为沉积中心的滁州海槽是下寒武统荷塘组有利烃源岩的分布区。在休宁海槽下奥陶统发育深灰色-灰黑色含笔石泥页岩,夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,并形成反映一定深水的浊流沉积鲍马序列沉积特征,说明休宁海槽是下奥陶统有利烃源岩的分布区。

2.4 沉积环境控制了烃源岩的类型

下扬子陆域海相古-中生界以海相沉积环境为主,主要发育了盆地相、陆棚相和台地相 3 类大相。早寒武世和早奥陶世烃源岩主要发育于“一隆两坳”的坳部,实属深海盆地相,其盆地边缘亚相和盆地平原相发育黑色碳质泥页岩类烃源岩。早志留世陆缘海环境,其浅水陆棚区发育黄绿色(可能仅代表氧化色)粉砂质泥页岩,深水陆棚、盆地相都发育黑色碳质泥页岩类烃源岩。二叠纪处于陆表海环境发育浅海台地相,栖霞中、晚期发育成浅水碳酸盐开阔台地,其中南部水体较深,富含有机质,形成区域性泥质碳酸盐烃源岩,中部的局限台地还原性极强,形成较纯的碳酸盐岩类烃源岩。龙潭早期潮坪-沼泽相及繁盛的植物群使区域上形成一套以Ⅲ型干酪根为主的煤系烃源岩。大隆期直至早三叠世,沉积了一套陆棚相暗色泥页岩夹薄层泥灰岩具较高有机质含量,形成一套区域性泥质为主烃源岩。

3 6 套主力烃源岩纵向对比

有机质丰度是指有机质在烃源岩中的富集程度,它是油气生成的基本物质基础,是盆地能否形成工业性油气聚集的重要因素,可作为评价盆地烃源岩的重要指标。目前国内外普遍采用的有机质丰度指标为:有机碳百分含量(Toc)、氯仿沥青“A”、总烃

含量(HC)及生烃潜量($S_1 + S_2$)等参数^[17]。但梁狄刚认为应从多年来对南方勘探评价实际应用的可操作性考虑,提出南方高、过成熟海相烃源岩的有效评价指标是着重考虑总有机碳(Toc)含量;且碳酸盐岩烃源岩的评价标准要与泥岩接轨,统一采用 Toc > 0.5% 作为商业性烃源岩有机质丰度的下限值不需恢复成熟度。依这一指导性意见针对陆域 6 套烃源岩收集了相关的数据:据梁狄刚等实验数据,下扬子下寒武统烃源岩 Toc 含量可达 3%,且往南部可达 4%~6%,厚度可达 465 m,Ⅰ型干酪根,属优质海相泥质烃源岩;上二叠统龙潭组 Toc 含量为 2%~4.5%,一般厚 100~200 m,干酪根为Ⅱ、Ⅲ型,煤、碳质泥岩含量高,属泥质煤系烃源岩;大隆组可达 3.7%~8.5%,最大可达 14%~21%,干酪根为Ⅱ型,厚度不大,局部可达 55 m,属煤系烃源岩^[4];下志留统 Toc 含量为 1.5%~3%,干酪根为Ⅰ型泥质烃源岩(据贾东,2015),南京汤山志留系剖面高家边组总厚度达 1 200 多米^[18];据刘峰测得巢湖地区栖霞组 Toc 含量为 0.04%~3.08%,干酪根为Ⅱ、Ⅲ型,Toc 含量大于 0.5% 的地层非均质分布,累计厚度大于 40 m,属较纯碳酸盐岩烃源岩^[19];据胡书毅等测得安徽宁国上奥陶统 Toc 含量为 1.13%,厚度 100~300 m,属较好泥质烃源岩^[13]。

纵向上综合分析烃源岩发育类型、Toc 含量及各烃源岩层厚度分布认为,下寒武统荷塘组(ϵ_1h)和上奥陶统五峰组-下志留统高家边组(O_3w-S_1g)属Ⅰ型优质泥质烃源岩;其次是上二叠龙潭组(P_2l)Ⅱ、Ⅲ型煤系烃源岩、大隆组(P_2d)Ⅱ型泥质碳酸盐岩型烃源岩,下二叠统栖霞组(P_1q)Ⅱ、Ⅲ型碳酸盐岩类烃源岩;下奥陶宁国组(O_1n)属差一中等泥质烃源岩。

4 对南黄海盆地烃源条件分析评价的启示

南黄海盆地古、中生界是下扬子陆域向海域的延伸,下扬子岩相古地理平面展布及地层延伸方向可以表明,烃源岩有利相带明显具有向南黄海延伸的趋势。南黄海海域目前没有 1 口井钻至下古生界,钻遇最老地层是石炭系,当前地震资料解释的古、中生界烃源岩展布情况均为推测。陆域古油田研究表明下扬子海相古-中生界烃源岩具有形成油气藏所需的优质烃源物质基础:朱家墩油气田气源来源于上古生界二叠系^[20];黄桥油气田油气来源于

石炭系—二叠系烃源岩晚期生烃充注^[21]。推测南黄海盆地不缺乏优质古、中生界烃源岩,通过对下扬子陆域烃源岩的研究提出寻找南黄海盆地烃源岩层的启示:理清南黄海构造运动期次和地层划分,以下扬子陆域6套区域性烃源岩为参照向海域对应寻找区域性烃源岩发育层位,分析岩相古地理,以海槽向南黄海盆地的延伸向海域寻找由古地貌单元(实属深海盆地)控制的下寒武统、下奥陶统I型干酪根海相泥质烃源岩;分析沉积相,在下二叠统潮坪-沼泽相寻找III型干酪根为主的煤系烃源岩,在下志留统寻找盆地—深水陆棚相I型干酪根泥质烃源岩;分析沉积环境,优选还原性沉积相,如局限台地等环境为佳,在上二叠统栖霞组寻找II、III型干酪根碳酸盐岩类烃源岩分布。

目前最新的地震解释认为南黄海盆地应在全区范围内大量保留以海相沉积为主的震旦—二叠系地层(图4),在崂山隆起上二叠统龙潭组至下三叠统青龙组几乎剥蚀殆尽甚至下二叠至泥盆系也遭到部分剥蚀^[22]。同时地震解释认为崂山隆起上的海相下古生界构造层寒武系-志留系构造稳定,地层分布广,厚度大。推测南黄海盆地寒武系-下志留统高家边组深水盆地相是南黄海油气勘探的最有利靶区。

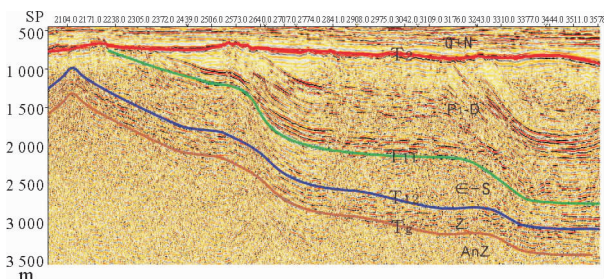


图4 崂山隆起XX地震测线解释结果

Fig. 4 Interpretation results of seismic line XX of Laoshan uplift

5 结论

(1) 下扬子陆域海相古-中生界具备了形成油气藏所需的烃源物质基础和烃源供给条件,发育多套以海相沉积为主的烃源岩层,主要有下寒武统荷塘组、下奥陶统大湾组、下志留统高家边组、下二叠统栖霞组、上二叠统龙潭组、上二叠统大隆组6套烃源岩。纵向上比较 ϵ_1h 、 O_3w - S_1g 最好, P_2l - d 次之, P_1q 、 O_1n 属差—中等烃源岩。

(2) 受构造演化、最大海平面变化、古地貌单元、沉积环境等多种因素控制,下志留统高家边组、

二叠系栖霞组、龙潭组和大隆组四套烃源岩具有区域性发育特点;下寒武统荷塘组和下奥陶统大湾组两套烃源岩主要受古地貌单元控制分布局限;沉积环境控制了烃源岩主要发育泥质类、泥质碳酸盐岩类和煤类3种烃源岩类型。

(3) 推测南黄海盆地寒武系-下志留统高家边组深水盆地相是南黄海油气勘探的最有利靶区。

参考文献(References)

- [1] 林小云, 刘建, 陈志良, 等. 中下扬子区海相烃源岩分布与生烃潜力评价[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(3): 15-19. [LIN Xiaoyun, LIU Jian, CHEN Zhiliang, et al. Marine source rock distribution and hydrocarbon generation potential in middle and lower Yangtze Region[J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2007, 29(3): 15-19.]
- [2] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二)南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1): 1-15. [LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, southern China (part 2): geochemical characteristics of four suits of regional marine source rocks, South China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(1): 1-15.]
- [3] 夏在连. 下扬子黄桥地区上古生界油气成藏研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 505-508, 512. [XIA Zailian. Petroleum accumulation in Upper Paleozoic, Huangqiao region, Lower Yangtze Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 505-508, 512.]
- [4] 龚建明, 陈建文, 孙晶, 等. 下扬子高家边组烃源岩展布及其对南黄海盆地的启示[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 43-47. [GONG Jianming, CHEN Jianwen, SUN Jing, et al. Distribution of source rocks of the Gaojiabian formation in the lower Yangtze Areas and its implications for the south Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 43-47.]
- [5] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一)南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质, 2008, 13(2): 1-16. [LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, southern China (part 1): distribution of four suits of regional marine source rocks[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(2): 1-16.]
- [6] 余晓宁, 徐宏节, 何治亮. 江苏下扬子区中、古生界构造特征及其演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 226-230, 236. [SHE Xiaoning, XU Hongjie, HE Zhiliang. Tectonic characteristics and evolution of Mesozoic and Paleozoic in lower Yangtze Region, Jiangsu[J]. Oil & Gas Geology, 25(2): 226-

- 230, 236.]
- [7] 邱海峻, 许志琴, 乔德武. 苏北盆地构造演化研究进展[J]. 地质通报, 2006, 25(9-10): 1117-1120. [QIU Haijun, XU Zhiqin, QIAO Dewu. Progress in the study of the tectonic evolution of the Subei Basin, Jiang Su, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9-10): 1117-1120.]
- [8] 陈学时, 周进高. 下扬子区寒武纪斜坡—盆地相沉积的成岩作用及储集类型[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(1): 70-79. [CHEN Xueshi, ZHOU Jin'gao. Diagenesis and reservoir types of slope-basin sediments in Cambrian of Lower Yangtze region[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(1): 70-79.]
- [9] 周浩达. 下扬子区早寒武世“石煤”沉积特征与成因机理探讨——兼论与含油气性关系[J]. 石油实验地质, 1990, 12(1): 36-43. [ZHOU Haoda. On the mechanism and the characteristics of early Cambrian "stone coal" in lower Yangtze Region and their relation to petroliferous potentials[J]. Experimental Petroleum Geology, 1990, 12(1): 36-43.]
- [10] 吴跃东. 皖南东至地区寒武系层序地层[J]. 古地理论, 2001, 3(3): 55-62. [WU Yuedong. Sequence stratigraphy of the Cambrian in the Dongzhi region of southern Anhui province[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(3): 55-62.]
- [11] 杨爱华, 朱茂炎, 张俊明. 扬子地台早寒武世古虫类的地层分布及其古地理控制[J]. 古地理论, 2005, 7(2): 219-232. [YANG Aihua, ZHU Maoyan, ZHANG Junming. Stratigraphic distribution and palaeogeographic control on the early cambrian eodiscoids in Yangtze Platform[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 219-232.]
- [12] 吴跃东, 钟华明. 皖南地区奥陶系层序地层学分析[J]. 现代地质, 2002, 16(1): 45-52. [WU Yuedong, ZHONG Huaming. Analysis of the Ordovician sequence stratigraphy in Southern Anhui[J]. Geoscience, 2002, 16(1): 45-52.]
- [13] 胡书毅, 文玲, 田海芹. 扬子地区奥陶纪古地理与石油地质条件[J]. 中国海上油气(地质), 2011, 15(5): 317-334. [HU Shuyi, WEN Ling, TIAN Haiqin. Ordovician paleogeography and petroleum geology in Yangtze region[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2011, 15(5): 317-334.]
- [14] 安徽省地质矿产局区域地质调查队. 安徽地层志(志留系分册)[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989. [Departmental Regional Geological Survey in Anhui Province. Anhui Formation (The Silurian Fascicule)[M]. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House, 1989.]
- [15] 冯增昭, 何幼斌, 吴胜和. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 1993, 11(3): 13-24. [FENG Zengzhao, HE Youbin, WU Shenghe. Lithofacies paleogeography of Permian middle and Lower Yangtze region[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(3): 13-24.]
- [16] 吴基文, 李东平. 皖南地区二叠纪层序地层研究[J]. 地层学杂志, 2001, 25(1): 18-23. [WU Jiwen, LI Dongping. Study on the Permian sequence stratigraphy of southern Anhui[J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(1): 18-23.]
- [17] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社, 2005. [QIN Jianzhong. The Hydrocarbon Source Rocks in China[M]. Beijing: Science Press, 2005.]
- [18] 张全忠, 焦世鼎. 南京汤山地区志留系研究的新进展[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1985, 6(2): 97-111. [ZHANG Quanzhong, JIAO Shiding. The new success in the study of Silurian of Tangshan, Nanjing, Jiangsu Province[J]. Bulletin of the Nanjing Institute Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, 1985, 6(2): 97-111.]
- [19] 刘峰, 蔡进功, 吕炳全, 等. 巢湖地区栖霞组碳酸盐烃源岩的形成及影响因素[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(6): 873-886. [LIU Feng, CAI Jingong, LV Bingquan, et al. Formation and influencing factors of carbonate source rock of the Lower Permian Chihsia Formation in Chaohu region, Anhui Province[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(12): 1926-1939.]
- [20] 赵永强, 段铁军, 袁东风, 等. 苏北朱家墩气田成藏特征对南黄海南部盆地勘探的意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(4): 91-96. [ZHAO Yongqiang, DUAN Tiejun, YUAN Dongfeng, et al. Importance of Zhujiadun gas field reservoir researches to the gas explorations in the south basin of the South Yellow Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(4): 91-96.]
- [21] 陈红, 文可东, 陈立军. 从苏北盆地黄桥和朱家墩气田成藏特征看江汉盆地勘探前景[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 23-29. [CHEN Hong, WEN Kedong, CHEN Lijun. Reservoir characteristics of Huangqiao and Zhujiadun gas fields in Subei Basin: enlightening on exploration prospect of Jianghan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(4): 23-29.]
- [22] 张训华, 杨金玉, 李刚, 等. 南黄海盆地基底及海相中、古生界地层分布特征[J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 4041-4051. [ZHANG Xunhua, YANG Jinyu, LI Gang, et al. Basement structure and distribution of mesozoic-paleozoic marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(12): 4041-4051.]

MARINE PALEO-MESOZOIC HYDROCARBON SOURCE ROCKS ON LAND OF THE LOWER YANGTZE PLATFORM AND THEIR IMPLICATIONS FOR OIL AND GAS EXPLORATION IN THE SOUTH YELLOW SEA BASIN

WANG Wenjuan^{1,2,3}, DOU Zhenya^{2,3}, CHEN Jianwen^{2,3}, ZHANG Yinguo^{2,3}, LIANG Jie^{2,3}

(1. College of Marine Geoscience, Ocean University of China, Qingdao 266100;

2. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology,

MLR, Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071;

3. Laboratory for Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

Abstract: Field studies have been made for 25 outcrops in the region around Nanjing, Chaohu and Zhejiang, in addition to a thorough review of collected data and references. Six regional hydrocarbon source rocks are recognized on land of the lower Yangtze platform, which include the Lower Cambrian Hetang Formation, Lower Ordovician Ningguo Formation (Dawan - Guniu), Upper Ordovician Wufeng - Lower Silurian Gaojiabian Formation, Lower Permian Qixia Formation, Upper Permian Longtan and Dalong Formations. The development of hydrocarbon source rocks is controlled by many factors. In the Yangtze region they include mainly the tectonic evolution, maximum flooding surface, ancient geomorphology, sedimentary environment etc. The tectonics and maximum flooding surface control the stratigraphic horizons of hydrocarbon source rocks, the paleogeomorphology controls the distribution of hydrocarbon source rocks, and the depositional environment controls the types of hydrocarbon source rocks. The research results on land of lower Yangtze platform may provide a basis for comparison in the South Yellow Sea Basin.

Key words: Paleo-Mesozoic source rocks; controlling factors; Lower Yangtze; the South Yellow Sea Basin