

下扬子高家边组烃源岩展布及其 对南黄海盆地的启示

龚建明^{1,2}, 陈建文^{1,2}, 孙 晶^{1,2}, 王建强^{1,2},
张银国^{1,2}, 廖 晶^{1,2}, 田瑞聪^{1,2}, 程青松³, 陈志强⁴

(1 国土资源部海洋油气资源与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;
2 海洋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; 3 长江大学地球环境与水资源学院,
武汉 430100; 4 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580)

摘 要:为了探讨下扬子高家边组烃源岩展布及其对南黄海盆地的启示, 开展了资料的收集整理、野外地质考察以及露头样品与邻近最新钻孔岩心样品对比。结果显示:高家边组烃源岩分布广, 黄绿色的高家边组露头样品其未风化前的颜色很可能为黑色, 其原始有机质丰度很可能较高; 露头样品和岩心样品均显示, 高家边组存在鲁丹阶的专属笔石, 显示其具有较高的生烃潜力。结合下扬子区域构造演化和南黄海地震剖面解释认为, 高家边组烃源岩分布广, 潜力大, 很可能是南黄海盆地一套较好的烃源岩。

关键词:南黄海盆地; 高家边组; 下扬子; 烃源岩

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.01007

为了突破南黄海盆地中古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, 其突破的重中之重就在于评价古生界的烃源岩。前人的研究认为, 下扬子陆域主要存在 4 套区域性烃源岩^[1-3], 它们分别是: 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。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 $>3\%$, 不利于常规油气的保存; 前人认为, 下扬子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^[1], 因而, 下扬子

高家边组烃源岩发育先天不足; 相对来讲, 二叠系孤峰组、龙潭组、大隆组泥质岩有机质丰度高, 可达 $0.8\% \sim 13\%$, 热演化程度适中, R_o 在 $0.7\% \sim 2.0\%$ 之间, 以生油为主, 是最有利的烃源岩层段^[4]。

事实上, 通过此次野外地质考察、以往资料的收集、整理和研究以及最新钻井岩心样品观察认为, 下志留统高家边组/霞乡组烃源岩分布范围较广、厚度较大, 存在鲁丹阶泥页岩, 有机质丰度较高, 而且成熟度适中, 是一套具有较高潜力的烃源岩, 有利于常规油气或页岩气的保存。

1 高家边组烃源岩分布和厚度

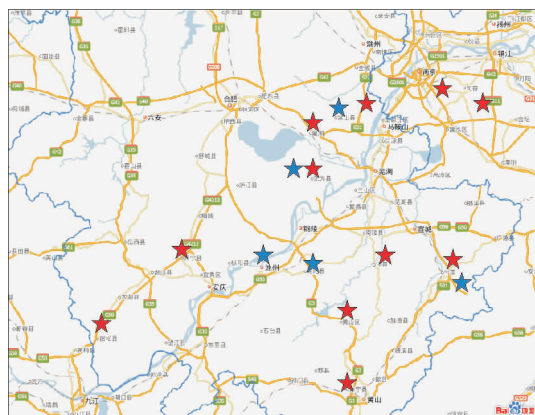
此次野外露头观察、以往资料整理分析以及最新钻井揭示, 下志留统高家边组/霞乡组泥页岩分布范围广。此次青岛海洋地质研究所组织的野外调查在南京汤山、句容岗岗山、巢湖汤山、巢湖

收稿日期: 2015-11-25

基金项目:国家自然科学基金(41406080); 国土资源部“南黄海前第三系油气前景研究”(XQ-2005-01); 中国地质调查局项目(GZH200800503); 国土资源部“南黄海崂山隆起和滩海区海相地层油气资源战略选区”(2009GYXQ10)

作者简介:龚建明(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事油气地质与天然气水合物研究工作。E-mail: gongjianm@aliyun.com

狮子口、安徽泾县、安徽太平、安徽宁国、安徽怀宁等地均观察到了下志留统高家边组/霞乡组。事实上,安徽省地质矿产局区域地质调查队在宿松县、休宁县、青阳县、无为县、和县等地也观察到了下志留统高家边组/霞乡组泥页岩^[5](图 1)。



注:红五星为露头点;蓝五星为鲁丹阶笔石点

图 1 下志留统高家边组/霞乡组野外露头及鲁丹阶笔石点(据文献[5])

Fig. 1 Distribution of outcrops of the Gaojiabian or Xiaxiang Formation of Lower Silurian and exclusive graptolites of Rhuddanian stage (from reference [5])

上述地区下志留统高家边组/霞乡组总体上为黄绿色泥页岩,底部泥页岩颜色较深,笔石化石较丰富,往上砂质含量增多,颜色变浅。单从颜色上判断,下志留统高家边组/霞乡组露头样品有机质丰度可能较低,难以成为良好的烃源岩。然而,南京大学在南京汤山地区钻探的汤山 2 号井和 3 号井却显示,从地表露头到地下 13~20 m,高家边组泥页岩从黄绿色、浅灰色逐渐转变为黑色(图 2)。因此,有理由相信,黄绿色的高家边组露头样品其未风化前的颜色很可能是黑色的,其原始有机质丰度很可能是较高的。由此可见,高家边组在下扬子江苏和安徽二省分布范围较广,并非前人认为的分布局限。另外,统计结果显示,下扬子陆域钻遇高家边组的厚度通常较大,其中,N4 井钻遇的高家边组厚度可达 1 719 m(表 1)。

1985 年,张全忠等对南京汤山志留系剖面进行了测试^[6]。在该剖面中,下志留统高家边组总厚度达 1 206.39 m,划分为下、中、上 3 段:



图 2 南京汤山 2 号孔高家边组黑色泥岩及其断面上的栅笔石(照片来自南京大学,2015)

Fig. 2 Black mudstone of Gaojiabian Formation No. 2 hole in Tangshan, Nanjing and the graptolite in section (photos from Nanjing University, 2015)

表 1 下扬子陆域钻遇高家边组或露头厚度统计

Table 1 The thickness of Gaojiabian Formation penetrated by drilling wells or on outcrop in Lower Yangtze Land Areas

井号/剖面	厚度/m	井号/剖面	厚度/m
沈 1	453	N1	94
N 参 2	681	句参 2	777
苏 98	174	金 21	524
苏 174	307	南京汤山	1 206
N4	1 719		

(1) 下段(厚 44.44 m)

灰白色含炭质硅质页岩,笔石很丰富,主要包括 *Pristiograptus cf. cyphus*, *Climacograptus-bicandatus*, *Climacograptus tornquist* 等鲁丹阶的专属笔石。

(2) 中段(厚 812.41 m)

主要为黄绿色页岩夹少量细砂岩及粉砂岩,下部含笔石,主要包括 *Pristiograptus cf. leei*, *Pristiograptus tenellus*; *Climacograptus sp.*, *Climacograptus minutus*; *Parakidograptus cf. nanjingensis* 等。同样,在这段地层中含有丰富的鲁丹阶笔石。从笔石种类推测,汤山地区高家边组中段与鄂西、黔北、川南龙马溪组的上部层位相当。

(3) 上段(厚 349.54 m)

底部为灰黄色或黄绿色细砂岩、粉砂岩夹砂质页岩;上部为橙黄色、黄棕色、黄绿色页岩夹少量粉砂岩。未见化石。

从上述高家边组的岩性及所含的笔石种类来

看,厚达 44 m 的高家边组下段主要为泥页岩,笔石含量丰富,可能是较好的烃源岩。南京大学在邻近该露头区钻探的汤山 2 号井和汤山 3 号井黑色泥页岩厚度分别在 52 m 和 80 m 以上,同样含有丰富的笔石。由此可见,下志留统高家边组/霞乡组烃源岩不仅厚度大,而且底部富含笔石的暗色泥页岩的厚度也较大。

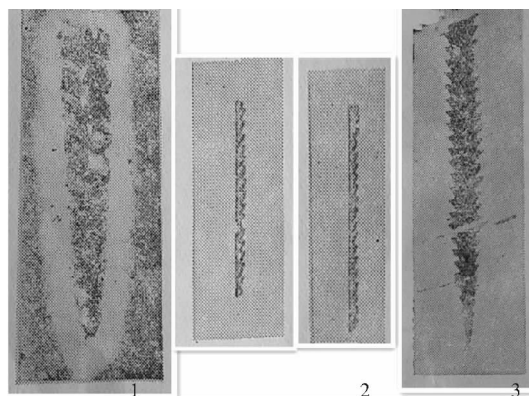
2 高家边组烃源岩评价级别

上扬子下志留统的沉积演化表明,自下而上从底部的深水陆棚逐渐转变为浅水陆棚,水体变浅,沉积序列从退积转变为进积,岩性由黑色炭质页岩演变为粉砂增多的灰色或灰黄色粉砂质页岩,生烃潜力以底部最好^[7,8],笔石含量最丰富。因此,下志留统烃源岩潜力高的层段位于其下段,而下段泥页岩中的笔石以鲁丹阶的专属笔石为主。

根据笔石动物带可划分出 3 套不同层位的高家边组烃源岩^[1]。下志留统鲁丹阶中的笔石主要有尖笔石、栅笔石和锯笔石;埃隆阶中的笔石有半耙笔石;而特里奇阶中的笔石有卷笔石、螺旋笔石、螺旋奥氏笔石和弓笔石(图 3)。上扬子的勘

探实践证实,存在鲁丹阶的龙马溪组(其时代相当于高家边组)烃源岩生烃潜力高。而此次野外调查和以往资料分析认为,下扬子下志留统同样存在鲁丹阶。因此,下扬子高家边组/霞乡组烃源岩的评价级别应该较高。

据安徽地层志(志留系分册)图版 IV^[5],在 21 个笔石的图版中有 11 个为鲁丹阶的专属笔石,即:尖笔石、栅笔石和锯笔石(图 4)。由此可见,下扬子安徽地区下志留统并不缺少鲁丹阶的专属笔石,因而也不缺少富含有机质的下志留统高家边组。安徽地区存在鲁丹阶专属笔石(尖笔石、栅笔石和锯笔石)的地区有:含山县、宁国县、无为县、青阳县、贵池县(图 1,表 2)。



注:1 宁国县霞乡组霞乡栅笔石;2 贵池县霞乡组贵池锯笔石;
3 宁国县霞乡组胡乐拟尖笔石

图 4 安徽省下志留统鲁丹阶专属笔石(据文献[5])

Fig. 4 Exclusive Rhuddanian graptolites of Lower Silurian in Anhui Province (from reference [5])

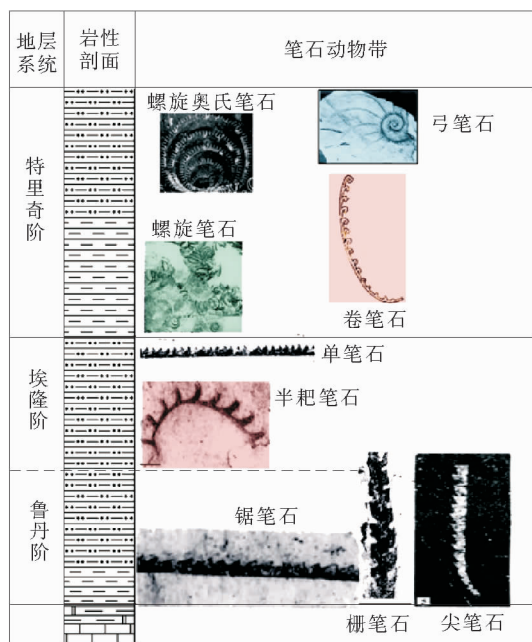


图 3 下志留统中的笔石动物带(据文献[1])

Fig. 3 Graptolite zones of Lower Silurian
(from reference [1])

据了解,汤山 2 号井高家边组黑色泥页岩、硅质页岩和炭质泥岩的厚度 > 52 m, TOC 一般在 1.2%~2.5% 之间, Ro 为 2.0%~2.5%。汤山 3 号井高家边组深灰—黑色泥页岩、炭质页岩、硅质泥页岩的厚度 > 80 m, TOC 一般在 1.5%~3.0% 之间, Ro 为 1.7%~2.6%。上述 2 口井的下志留统泥页岩中同样富含栅笔石(图 2)。这一事实再次说明,下扬子高家边组烃源岩的评价级别应该比过去的评价级别高,生烃潜力应该更大。

目前,南黄海盆地共有 7 口井钻遇了中—古生界海相地层,其中,钻遇的最老地层为石炭系,而下志留统高家边组目前尚未钻遇,其展布情况

表 2 安徽省鲁丹阶笔石分布区

Table 2 Distribution of exclusive graptolites of Rhuddanian stage in Anhui Province

地区	地层名称	笔石名称	笔石拉丁文
含山县苍山	高家边组	苍山锯笔石	<i>Pritiograptus cangshanensis</i> Ni
无为县沿山	高家边组	卢氏栅笔石	<i>Climacograptus looi</i> Sun
无为县严桥	高家边组	新月单栅笔石	<i>Monoclimacis lunata</i> Lin et Chen
贵池县	霞乡组	贵池锯笔石	<i>Pristiograptus kueichiensis</i> Hsu
贵池县	霞乡组	优美锯笔石	<i>Pristiograptus elegans</i> Li
青阳县张村徐	霞乡组	双尾栅笔石	<i>Climacograptus bicaudatus</i> Chen et Lin
宁国县	霞乡组	原始锯笔石	<i>Pristiograptus atapus</i> (Jones)
宁国县霞乡	霞乡组	尖削似尖笔石	<i>Parakidograptus acuminatus</i> (Nicholson)
宁国县	霞乡组	霞乡栅笔石	<i>Climacograptus xiaxiangensis</i> Li
宁国县	霞乡组	胡乐拟尖笔石	<i>Parakidograptus huloensis</i> Li
宁国县龚家坞	霞乡组	狭窄栅笔石	<i>Climacograptus angustus</i> Perner

只能通过地震剖面进行推测。从目前最新的地震解释剖面来看^[9](图 5),南黄海盆地,特别是崂山隆起上的寒武系—志留系分布广、厚度稳定、构造变形弱。鉴于南黄海盆地是下扬子的主体^[10],南黄海盆地下志留统高家边组的岩性应与陆域相似,特别是下志留统底部的深水陆棚相泥页岩,因此,推测南黄海盆地下志留统高家边组同样具有较高的生烃潜力^[11]。

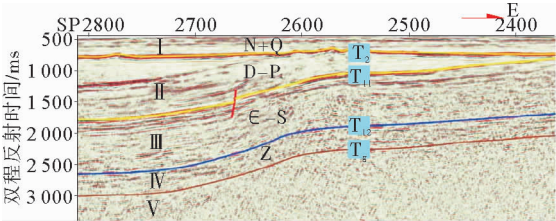


图 5 南黄海盆地崂山隆起东西向地震剖面 (XQ07-3) (据文献[9])

Fig. 5 Seismic profile of XQ07-3 through the Laoshan Uplift, South Yellow Sea Basin (from reference [9])

3 结论

(1)野外露头观察、以往资料分析以及最新钻井样品分析结果揭示,下志留统高家边组分布广,厚度大,有机质丰度较高。露头观察与钻井结果对比分析认为,黄绿色的高家边组露头样品其未风化前的颜色很可能是黑色的,其原始有机质丰

度很可能是较高的。

(2)野外调查和以往资料分析发现,下扬子地区下志留统广泛分布有鲁丹阶的专属笔石。结合上扬子下志留统鲁丹阶烃源岩特征推测,下扬子高家边组/霞乡组烃源岩的评价级别应该更高。

(3)下扬子区域构造特征与南黄海地震剖面解释综合分析认为,南黄海盆地下志留统高家边组分布广,厚度稳定,构造变形弱,是一套较好的烃源岩。

参考文献:

[1] 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.

[2] 杨方之,闫吉柱,苏树桢,等. 下扬子地区海相盆地演化及油气勘探选区评价[J]. 江苏地质,2001,25(3):134-141.

[3] 郭念发,尤效忠,刘德法. 下扬子区古生界油气地质条件及勘探选区[J]. 石油勘探与开发:地质勘探,1998:25(1):4-7.

[4] 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.

[5] 安徽省地矿局区域地质调查大队. 安徽地层志(志留系分册)[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1989:1-164.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 李双建,肖开华,沃玉进,等. 南方海相上奥陶统—下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.
- [9] 王 丰,李慧君,张银国.南黄海崂山隆起地层属性及油气地质[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(2):95-102.
- [10] 张海敏,陈建文,李 刚,等.地震调查在南黄海崂山隆起的发现及其石油地质意义[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(3):107-113.
- [11] 龚建明,王建强,王 蛟,等.南黄海崂山隆起古生界页岩气远景区[J].海洋地质与第四纪地质,2013,33(6):114-120.

DISTRIBUTION OF SOURCE ROCKS OF THE GAOJIABIAN FORMATION IN THE LOWER YANGTZE AREAS AND ITS IMPLICATIONS FOR THE SOUTH YELLOW SEA BASIN

GONG Jianming^{1,2}, CHEN Jianwen^{1,2}, SUN Jing^{1,2}, WANG Jianqiang^{1,2},

ZHANG Yinguo^{1,2}, LIAO Jing^{1,2}, TIAN Ruicong^{1,2}, CHENG Qingsong³, CHEN Zhiqiang⁴

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China;

2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;

3 School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

4 College of Earth Science and Technology, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: In order to further understand the distribution pattern of the Gaojiabian Formation in the Lower Yangtze areas and its implications for the South Yellow Sea Basin, collection and analysis of previous data, field geological investigation, and correlations of outcrop and drilling cores samples have been carried out. The results show that the source rocks in the Gaojiabian Formation are widely distributed. The yellowish green outcrops of the Gaojiabian Formation should be black before weathering. The original abundance of organic matters might be higher. The exclusive graptolites of the Rhuddanian stage have been discovered in the Gaojiabian Formation, indicating high hydrocarbon-generating potential. In consideration of the regional tectonic evolution of the Lower Yangtze areas and upon the seismic profile interpretation of the South Yellow Sea Basin, it is concluded that the Gaojiabian Formation could be a suit of excellent source rocks widely distributed with high organic matter abundance.

Key words: South Yellow Sea Basin; Gaojiabian Formation; Lower Yangtze areas; hydrocarbon