

下扬子陆域下志留统高家边组 烃源岩特征

陈志强^{1,2}, 龚建明^{2,3*}, 王 蛟^{2,3}, 徐承芬²,
李 刚^{2,3}, 陈中红¹, 程青松^{2,4}, 田瑞聪², 刘 蕾¹

(1 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;
3 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; 4 长江大学地球环境与水资源学院, 武汉 430100)

摘 要:通过 2015 年下扬子地区野外地质考察、以往资料的整理以及最新钻井岩心的分析认为,下志留统高家边组在早志留世主体发育于陆棚相沉积环境,烃源岩分布范围较广、厚度较大,笔石含量丰富,生烃潜力以底部最好。高家边组露头样品主体为黄绿色,但随着深度增大,颜色逐渐加深至灰黑色和黑色,推测其未风化前的颜色很可能较深,原始有机质丰度可能较高,而且成熟度适中,是一套具有较高潜力的烃源岩。高家边组地层构造变形弱,同时发育有较好的生储盖组合,有利于常规油气或页岩气的保存。

关键词:下扬子陆域;高家边组;烃源岩;生储盖组合

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.01012

下扬子地区一般指长江下游被郯庐断裂和江绍断裂所限制的大型海相沉积分布区,面积达 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该区震旦系—三叠系海相地层巨厚,其中宁镇地区厚 3 000~5 000 m,皖南及浙北地区厚达 11 000~13 000 m^[1]。海相沉积建造及其含油气性受到了若干次的构造运动改造,其原始沉积面貌发生了较大甚或根本性改变,致使油气成藏条件复杂,勘探难度增大。然而,在海相地层中烃源岩发育良好,现今油气显示十分活跃,应有良好的油气勘探前景。

为了评价古生界的烃源岩,青岛海洋地质研究所开展了下扬子陆域与海域的地层对比工作。前人的研究认为,下扬子陆域主要存在 4 套区域性烃源岩^[2-4],它们分别是:下寒武统荷塘组、下志留统高家边/霞乡组、下二叠统栖霞—孤峰组、上二叠统龙潭—大隆组。其中下志留统高家边组烃源岩分布局限,生烃潜力较小。事实上,通过 2015 年下扬子地区野外地质考察,以往资料的收集、整理和研究以及最新钻井岩心样品观察,有了新的认识:下志留统高家边组烃源岩分布范围较广、厚度较大,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 高家边组古地理概况

高家边组属于下志留统,最早称“高家边页岩”,由刘季辰、赵汝钧(1924)命名,标准剖面在句容仑山附近的高家边村^[5]。

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);国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室基金(MRE201311)

作者简介:陈志强(1990—),男,在读硕士,主要从事油气田勘探研究工作. E-mail:chenzhiqiang1990@qq.com

*** 通讯作者:**龚建明(1964—),男,博士,研究员,从事油气地质与天然气水合物研究. E-mail:gongjianm@aliyun.com

上奥陶统五峰组和下志留统高家边组早期发生了大规模海侵,发育碎屑岩盆地—滨岸沉积模式。在志留纪末期,下扬子地区整体抬升,遭到剥蚀形成了志留系与上泥盆统间的区域性不整合。此次巢湖狮子口高家边组野外露头精细实测、沉积学观察及沉积环境分析认为,该处高家边组在早志留世时期主体发育于陆棚相沉积环境。

因受江南古陆的阻隔,志留纪时海水只能绕过江南古陆,从东端或西端侵入,故无高能带的沉积物,一般为中低能的细粒陆源碎屑沉积物。除受江南古陆、华北古陆的控制外,细粒陆源碎屑沉积物还受 NEE 向古构造控制。在东至一石台—泾县—宣城一线的两侧,2 个拗陷带长期存在,因此,在岩性、厚度、生物群、地层发育程度上,两侧存在一定差异^[6,7]。

(1) 早志留世早期

海侵范围不断扩大。主要岩性为砂岩和页岩,页岩主要分布在西北侧。生物群主要为笔石,均系漂浮的正笔石目。太平、宁国一带沉积较厚,最厚可达 970 m,表明该处为沉积中心,物源较为充足。从黑色页岩的展布情况来看,推测有同沉积断裂存在,该期可能为一次缺氧事件。

(2) 早志留世中期

海侵沉积范围与早期一致。该期页岩在区内广泛分布,局部夹砂岩。化石西北侧较丰富,且种类繁多,有笔石、海百合、珊瑚、层孔虫、三叶虫等。在太平西南和贵池殷汇 2 处沉积较厚,东至一石台一线的沉积厚度明显变薄。说明古隆起对本期沉积控制明显,其西北侧应为浅水陆棚微相,而东南侧为深水陆棚微相。

(3) 早志留世晚期

该期海侵范围、海陆分布状况与中期基本一致,并开始了早志留世的海退阶段。岩性主要为砂岩和页岩,呈 NE 向带状分布,从中心往两侧,砂质成分逐渐增多,可能与陆源碎屑物来源较近有关。砂岩具平行层理、单向斜层理,砂岩层面上具波痕。生物化石少。太平至贵池殷汇以南一带沉积厚度最大,可达千米,而泾县以北的地区厚度明显变薄。其西北侧为陆棚亚相,东南侧为海滩亚相。由于东南侧靠近江南古陆,物源丰富,加上沉积区构造活动性较大,形成了巨厚的碎屑沉积。

2 高家边组烃源岩分布

20 个世纪 80 年代,张全忠等^[5]对南京汤山志留系剖面进行了测试,当时的剖面名称为江宁县汤山侯家塘羊山—古泉志留系剖面。在该剖面中,下志留统高家边组被划分为下、中、上 3 段:下段厚 44.44 m,灰白色含炭质硅质页岩,笔石很丰富。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,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。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^[8]。

前人曾系统研究了整个扬子区 4 套区域性海相烃源岩的厚度及有机质丰度的纵横向变化^[2],认为下扬子地区上奥陶统五峰组—下志留统高家边组烃源岩分布局限,仅在句容—海安一带发育,厚度 40~130 m(图 1)。

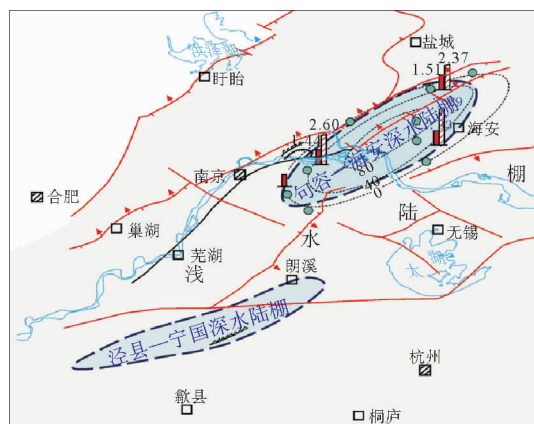


图 1 下扬子区上奥陶—下志留统烃源岩分布
(据文献[2])

Fig. 1 Distribution of Upper Ordovician-Lower Silurian source rocks in Lower Yangtze area
(from reference [2])

然而,此次青岛海洋地质研究所组织的野外露头观察(图 2)、以往区调资料整理分析和最新钻井揭示,下志留统高家边组泥页岩分布范围较广、厚度较大。此次野外调查在南京汤山(图 3)、巢湖汤山、巢湖狮子口、安徽怀宁(图 4)、句容岗



图 2 江苏—安徽下志留统高家边组野外露头
Fig. 2 Field outcrops of Gaojiabian Formation of Lower Silurian in Jiangsu-Anhui Province



图 3 南京汤山高家边组黄绿色泥岩
Fig. 3 Yellow green mudstone of Gaojiabian Formation at Tangshan, Nanjing



图 4 怀宁高家边组黄绿色泥岩
Fig. 4 Yellow green mudstone of Gaojiabian Formation in Huaining, Anhui Province

岗山、安徽泾县、安徽太平、安徽宁国等地都观察到了下志留统高家边组(表 1)。上述地区下志留统高家边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。

由此可见,下志留统高家边组烃源岩在江苏和安徽二省分布范围不仅较广,而且厚度较大,平均厚达 44 m,并非前人认为的分布局限。

3 烃源岩地球化学特征

高家边组露头样品整体以黄绿色泥页岩为主,前人认为其有机质丰度总体不高,其生烃潜力一般,难以成为良好的烃源岩。然而,南京大学在

表 1 高家边组野外剖面岩性特征及厚度分布
Table 1 Lithology and thickness of Gaojiabian Formation in some outcrops

剖面名称	高家边岩性描述与接触关系	黑色泥岩厚度/m
和县三道坝剖面	中段:灰黄、黄绿色页岩,偶夹粉砂岩,含笔石,厚度 49.7 m 下段:黑色页岩,含笔石,厚度 22.3 m,与五峰组(灰黑色页岩)呈假整合接触	22
无为县沿山剖面	中段:黄绿色页岩夹砂质页岩,含笔石,厚度>206 m 下段:杂色(会、黄、灰黑色)页岩,厚度 45 m,与五峰组(灰黑色硅质岩夹少量硅质页岩)呈假整合接触	45
无为方家坝子剖面	中段:黄绿色薄层片状页岩夹薄层细砂岩,含笔石,厚度大于 1.38 m 下段:灰白、灰黑色薄层页岩,黄绿色薄层泥质粉砂岩,含笔石,厚度 18.98 m,与五峰组(灰黑色硅质岩、页岩)呈假整合接触,两者之间有 14 cm 厚的灰黄色泥质胶结的硅质岩角砾的风化壳	19
怀宁县大排山剖面	下段:黑色炭质页岩,含笔石,厚度 43.96 m,与五峰组(黑色炭质页岩)假整合接触	44
宿松龙山剖面	中段:黄绿色、灰绿色页岩,厚度>3 m 下段:灰黑色页岩,含笔石,厚度 19 m,与五峰组(灰黑色硅质页岩)呈假整合接触	19
平均厚度		44

南京汤山钻探了 3 口浅孔(汤山 1、2、3 号孔)。其中,汤山 2 号井在 13 m 以下发现了黑色高家边组泥页岩(图 5),其岩性组合为黑色泥页岩、硅质页岩、炭质泥岩。页岩厚度>52 m,TOC 一般在 1.2%~2.5%之间,Ro 为 2.0%~2.5%。汤山 3 号井岩性组合为深灰色—黑色泥页岩、炭质页岩、硅质泥页岩夹薄层粉砂质泥岩。页岩厚度大于 80 m,TOC 一般在 1.5%~3.0%之间,Ro 为 1.7%~2.6%。这一现象揭示,地表露头为黄绿色的高家边组其本色为有机质丰富的黑色烃源岩,其原始有机质丰度可能很高,其生烃潜力可能较大。高家边组岩心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。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。



图 5 南京汤山 2 号孔高家边组黑色泥岩
(照片来自南京大学,2015)

Fig. 5 Black mudstone of Gaojiabian Formation from No. 2 hole in Tangshan, Nanjing (photo from Nanjing University,2015)

另外,江苏油田 N4 井完井地质报告中有机质分析结果同样表明,下志留高家边组为较好烃源岩(表 2)。从 N4 井揭示的高家边组泥岩来看,

表 2 江苏油田 N4 井高家边组暗色泥岩有机质丰度(据 N4 井完井地质报告,1986)

Table 2 Abundance of organic matter in dark mudstone of Gaojiabian Formation from N4 well in Jiangsu Oilfield
(from complete geological report of N4 well, 1986)

井深/m	岩性	有机碳/%	沥青/Apm	烃含量/ppm	总烃/有机碳/%
3 809~3 812	浅灰色泥岩	0.54	2 120	1 083	20.06
3 880~3 883	浅灰色泥岩	1.63	12 950	5 312	32.59
3 910~3 912	浅灰色泥岩	0.95	7 450	4 096	43.12
3 980~3 982	浅灰色泥岩	1.17	9 010	5 316	45.44
4 205~4 212	灰黑色泥岩	2.67	9 150		
4 306~4 307	灰黑色泥岩	1.80	30		

泥岩厚度达 1 719.5 m,有机碳为 0.54%~2.67%,平均原始生烃潜量为 4~10 mg/g,最大为 36 mg/g,氯仿沥青“A”含量为 30~12 950 μg/g,总烃为 1 083~5 136 μg/g,有机质类型为Ⅱ型。黄桥地区 Ro 平均 1.95%,热演化程度为高

成熟,是一套中等—好泥质烃源岩^[9,10]。安徽省高家边组露头样品的测试结果显示(表 3),高家边组烃源岩丰度低可能与成熟度太高以及露头风化作用有关。从有机质类型来看,其原始有机质丰度可能较高。

表 3 安徽高家边组露头样品有机质丰度

Table 3 Abundance of organic matter of outcrop samples of Gaojiabian Formation in Anhui Province

剖面	样品编号	总烃/ppm	饱芳比	有机质丰度	有机质类型	有机质成熟度
大排山	DPS-S1g-1	69.173	22	差	I	高成熟
高家边组	DPS-S1g-3	137.841	105	差	I	过成熟
狮子口	SZK-S1g-4	163.188	13.33	差	I	高成熟
高家边组	SZK-S1g-6	71.042	4.41	差	Ⅱ ₁	成熟
	SZK-S1g-8	78.161	10.33	差	I	高成熟
泾县霞乡组	JX-S1x-4	224.444	19.2	差	I	高成熟
	JX-S1x-6	253.870	40	差	I	过成熟

由此可见,高家边组烃源岩有机质丰度较高,其生烃潜力应该比过去评价的级别更高,值得进一步研究。

4 高家边组烃源体系生储盖组合

下扬子地块经历了多期构造运动,形成多套生储盖组合。结合下扬子陆域和海域中古生界钻井资料及地震资料解释结果分析认为,与高家边组有关的储盖组合主要有 2 套^[11-13]。

第 1 套组合为下寒武统一下志留统。烃源岩主要为下寒武统荷塘组和下志留统高家边组泥岩;储层主要是中寒武统一早奥陶统白云岩、生物碎屑灰岩及裂隙溶蚀型灰岩;盖层为下志留统高家边组厚层泥岩,形成了旁生侧储顶盖的储盖组合。高家边组厚度大(最大厚度为 1.4 km),在下扬子区北部连续分布,南部断续分布,是下古生界的直接盖层。

第 2 套组合为下志留统一上二叠统。烃源岩为下志留统高家边组和上二叠统龙潭一大隆组;储层主要包括石炭系黄龙组和二叠系龙潭组砂岩;盖层为二叠系或二叠系之上的厚层泥岩。

下扬子地区海相沉积建造及其含油气性受到了若干次的构造运动改造^[14]。对本区影响最为剧烈的 2 期构造运动分别为加里东期和印支期。加里东运动主要发生在中寒武世—早泥盆世,使得华南块体与扬子块体碰撞拼贴,组成统一的南方古陆,扬子块体出现地壳上升。志留纪时期形成海退沉积旋回,整体逐渐上升为陆。早志留世海水加深,下志留统见复理石建造;中志留世海退明显,从坟头组开始海水深度不足 50 m,为半封闭浅海;晚志留世为剥蚀夷平阶段,地层缺失,而后遭受剥蚀,缺失上志留统沉积^[15]。印支运动是本区古生代以来最大规模的一次陆陆碰撞和挤压造山运动,由于华北块体和扬子块体发生碰撞,扬子地区整体应力从拉伸转变为挤压,此后由海相沉积转变为陆相沉积,进而对海相油气成藏及其保存带来了不利影响。相对而言,下扬子下志留统高家边组分布广、厚度大,构造变形弱,利于油气的保存。

5 结论

(1)根据野外露头观察,下志留统高家边组泥页岩分布范围广厚度大,并非前人认为的分布局限。

(2)高家边组主体发育于陆棚相沉积环境。早志留世海水加深,中志留世明显海退,为半封闭浅海,晚志留世为剥蚀夷平阶段,地层缺失。

(3)最新资料和相邻钻井揭示,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。

(4)下志留统高家边组是一套较好的烃源岩,有机质丰度较高,成熟度适中,可能发育 2 套较好的储盖组合,构造变形弱,有利于油气的形成和保存。

参考文献:

- [1] 郭念发,赵红格,陈红,等.下扬子地区海相地层油气赋存条件分析及选区评价[J].西北大学学报,2002,32(5):526-530.
- [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(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.
- [3] 李刚,陈建文,肖国林,等.南黄海海域的海相中—古生界油气远景[J].海洋地质动态,2003,19(8):12-16.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 牟传龙,周恳恳,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.
- [7] 李双建,肖开华,沃玉进,等.南方海相上奥陶统一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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 张家强.南黄海中、古生界油气勘探前景[J].海洋地质动态,2002,18(11):25-27.
- [11] 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,2007,29(3):15-19.

- [12] 李天义,何生,杨智.海相优质烃源岩形成环境及其控制因素分析[J].地质科技情报,2008,27(6):63-70.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 张海敏,陈建文,李刚.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.

THE CHARACTERISTICS OF LOWER SILURIAN SOURCE ROCKS IN GAOJIABIAN FORMATION IN THE LOWER YANGTZE LAND AREA

CHEN Zhiqiang^{1,2}, GONG Jianming^{2,3*}, WANG Jiao^{2,3}, XU Chengfen², LI Gang^{2,3},
CHEN Zhonghong¹, CHENG Qingsong^{2,4}, TIAN Ruicong², LIU Lei¹

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

2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China;

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

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

Abstract: Upon the request of the field excursion to the Yangtze region in 2015, previous research data and references as well as latest drilling wells are collected. The Gaojiabian Formation of Lower Silurian is considered as the deposits of the continental shelf facies, with a wider range of hydrocarbon source rocks in large thickness in the Lower Yangtze area. A great number of graptolite is discovered, indicating a great potential of hydrocarbon generation, in particular the bottom layers. The outcrop of the Gaojiabian Formation is mainly yellow-green in color, but becomes darker with depth. It is speculated that the source rock would be black if it was not weathered. The original organic matter abundance is high with moderate maturity. It is considered as a set of hydrocarbon source rocks with high potential. The Gaojiabian Formation suffered from weaker tectonic deformation and there are better combinations of source rock, reservoir and cap rock. So it is good for formation and preservation of conventional oil and gas and shale gas.

Key words: Lower Yangtze Land area; Gaojiabian Formation; source rock; combinations of source rocks, reservoir and cap rock area