

下扬子烃源岩新层位——中下奥陶统

龚建明^{1,2,3}, 王建强^{1,2,3}, 程青松⁴, 陈建文^{1,2,3}, 张银国^{1,2,3},

赵青芳^{1,2,3}, 孙 晶^{1,2,3}, 廖 晶^{1,2,3}

(1 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 266061; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;
4 长江大学资源与环境学院, 武汉 4300100)

摘 要:中下奥陶统通常主要作为储层看待,然而皖南地区的下奥陶统宁国组主要为一套富含笔石的灰黑色—黑色薄层硅质、碳质泥岩,属广海陆棚相至深海盆地相沉积;而中奥陶统胡乐组主要为一套同样富含笔石的深灰色薄层粉砂质泥岩和中厚层硅质泥岩,属深海陆棚相至盆地相沉积。二者分布范围相当,但宁国组厚度明显大于胡乐组。下奥陶统宁国组 6 个样品的岩石热解数据显示,恢复后的 TOC 均值为 1.24%。根据上升流的识别标准,宁国组和胡乐组的岩性和岩相特征以及宁国组地球化学测试结果,推测皖南地区中下奥陶统可能是一套受上升流影响的中—好烃源岩。鉴于南黄海是下扬子的主体,建议加强南黄海中下奥陶统烃源岩的研究。

关键词:下扬子;中下奥陶统;宁国组;胡乐组;烃源岩

中图分类号:P618.130.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.06005

前人研究认为,下扬子陆域主要存在 4 套区域性烃源岩^[1-3],分别是:下寒武统荷塘组、上奥陶统五峰组—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。荷塘组主要为黑色—灰黑色泥页岩,分布稳定,有机质丰度高,尤以底部最好,但演化程度大多已达过成熟;高家边组烃源岩露头样品通常为黄绿色,未风化的样品通常为灰黑色,有机质丰度较高,同样以底部最好,热演化程度大多已成熟,少数过成熟;二叠系烃源岩主要以灰黑色泥页岩为主,少数为栖霞组的黑色碳酸盐岩,有机质丰度较高,热演化已达成熟。综合评价认为,下寒武统烃源岩有机质丰度高,有机质类型好,但热演化程度太高,烃

源岩评价中等;前人认为:下志留统烃源岩分布局限,有机质丰度中等—好,由于缺少鲁丹阶,因而存在先天不足。但是,最新钻井和以往资料综合分析认为,下志留统高家边组/霞乡组烃源岩评价较高^[4];二叠系烃源岩分布广、厚度大、有机质丰度较高,热演化程度适中,烃源岩评价好^[5],有利于油气的成藏。以往中下奥陶统通常是作为储集层而非烃源岩受到关注。因而,有关下扬子中下奥陶统烃源岩的文章或报道很少^[3],尤其是奥陶系碎屑岩烃源岩的文章几乎没有报道。此次野外调查在安徽省宁国县胡乐镇将军岭剖面观察到较厚的早中奥陶世地层,并采集到灰黑色、灰色硅质或碳质泥页岩,从岩性、颜色以及初步的测试分析结果来看,很可能是一套烃源岩新层系,值得关注。

收稿日期:2016-12-05

基金项目:国家自然科学基金(41406080);国家专项(XQ-2005-01)

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

1 中下奥陶统的岩性及岩相特征

在安徽省宁国县胡乐将军岭剖面可以较完整

地观察到奥陶纪 6 套地层,分别是下奥陶统谭家桥组(相当于仑山)、下奥陶统宁国组(相当于红花园、大湾组和牯牛潭组)、中奥陶统胡乐组(相当于庙坡组或大田坝组)、上奥陶统硯瓦山组(相当于宝塔组)、黄泥岗组(相当于汤头组)和新岭组(相当于五峰组)。其中,在宁国组和胡乐组采集到了灰黑色、灰色硅质与碳质泥页岩。

下奥陶统谭家桥组为含钙质结核的灰色钙质页岩与灰色灰岩互层,钙质结核呈透镜状、条带状、串珠状,谭家桥组顶部见透镜状灰岩,与宁国组灰色—深灰色泥岩整合接触。

下奥陶统宁国组出露完整,厚度约 135 m。宁国组原名宁国组页岩,以笔石页岩为特征,岩性为灰、深灰、灰黑色风化后呈灰绿、黄绿色页岩、泥岩。宁国组下段下部为灰黑色—黑色薄层含碳质泥岩(图 1),下段上部发育灰色粉砂质泥岩与硅质泥岩组成的鲍马序列沉积层,含笔石。

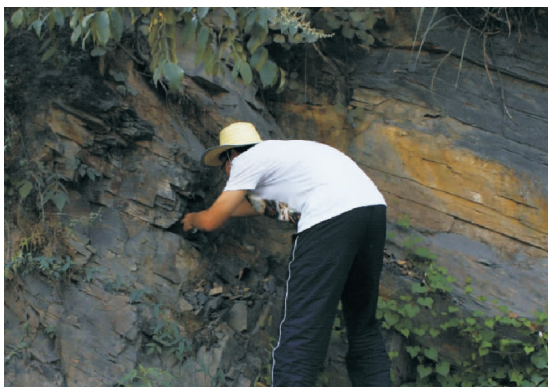


图 1 安徽宁国胡乐将军岭宁国组灰黑色—黑色薄层含碳质泥岩

Fig. 1 Greyish black-black carbonaceous mudstone of Ningguo Formation at Jiangjunling, Hule, Ningguo city

中奥陶统胡乐组下段为深灰色薄层含粉砂质泥岩、灰绿色泥质条带粉砂岩;中段为深灰色中厚层硅质泥岩、中厚层粉砂质硅质泥岩、中厚层泥质粉砂岩互层;上段为深灰色中厚层硅质泥岩。

上奥陶统硯瓦山组为青灰色薄层泥、灰色泥灰岩、蓝灰色中厚层钙质泥岩;黄泥岗组发育黄褐色—灰绿色中薄层至中厚层钙质泥岩,见 X 节理球状构造;新岭组下部粉砂岩、砂质泥岩、页岩、硅质泥岩,上部厚层细砂岩夹页岩。

在 20 世纪 80 年代,有些学者在对安徽志留系的岩相古地理分析后认为^[6],皖中地区奥陶纪时为下扬子海,而皖南地区奥陶纪时为浙赣海。就宁国胡乐沉积期的岩相古地理来讲,在宁国早期(相当于红花园),处于浙赣海的皖南地区沉积了一套岩性为灰绿、深灰色页岩、粉砂质页岩和钙质页岩,沉积厚度在 80~120 m 之间,化石以三叶虫为主,属广海陆棚沉积;在宁国中期(相当于大湾期),处于浙赣海的皖南地区沉积了笔石相的灰、灰黑色、黄绿色硅质页岩,化石以营漂浮生活的笔石为特征,无底栖生物,属广海陆棚相至深海盆地相沉积;在宁国晚期(相当于牯牛潭期),皖南地区(如:宁国、太平等)沉积了一套灰黑色、黑色硅质、碳质页岩,富含笔石,属广海陆棚相的深水沉积。在胡乐期(大田坝期或庙坡期),皖南地区沉积了一套灰黑色、黑色硅质岩、硅质页岩夹粉砂质页岩,胡乐组厚度在 30~40 m 之间,富含笔石,属深海陆棚相至盆地相。

由上可见,宁国组(特别是中—后期)和胡乐组从岩性、颜色以及所处的沉积环境推测,具有烃源岩的特征。

2 中下奥陶统对比及烃源岩特征

2.1 上下扬子中下奥陶统岩性对比

上下扬子中下奥陶统分布广厚度大,但其沉积环境存在很大差别。从表 1 可见,下扬子的宁国组与上扬子的红花园组+大湾组+牯牛潭组在岩性上存在很大差别。上扬子的下奥陶统主要为灰岩,夹少量泥页岩,而下扬子的下奥陶统除了灰岩外,还沉积了大量的碎屑岩,例如:灰黑色硅质泥页岩。下扬子的胡乐组与上扬子的大田坝组或庙坡组同样也存在较大的差别。上扬子中奥陶统主要为灰岩沉积,下扬子宁镇—皖南地区中下奥陶统碳酸盐岩台地两侧主要为浅水潮坪环境的生物碎屑微晶灰岩^[7]。因此,传统的观点认为,中下奥陶统主要作为储层。下扬子中奥陶统主要为硅质泥岩,而安徽、江西、浙江、广东、湖南等地区的中奥陶统主要为硅质泥页岩。所以下扬子陆域乃至南黄海海域陆棚相—盆地相的中下奥陶统可能为烃源岩层。

横表

从表 1 中还可以看到,下扬子早中奥陶世地层不仅主要为泥页岩,而且主要由硅质泥页岩组成。这一特征在安徽胡乐将军岭剖面上尤为明显,从宁国组和胡乐组的岩性来看,硅质含量很高,可能与上升流的活动有关。

1.2 下扬子中下奥陶统烃源岩特征

通过以往的资料整理后发现,位于江苏扬州西南的古参 1 井,中下奥陶统汤山组的灰黑色泥岩厚约 9 m,TOC 在 2% 左右, $S_1 + S_2$ 达 0.8 mg_烃/g_{岩石},有机质类型为 II 型,已成熟,综合评价为中等烃源岩(图 2)。

2015 年 9 月青岛海洋地质研究所在安徽宁国县胡乐镇下奥陶统宁国组采集了 11 个样品,选择 6 个样品进行了岩石热解实验,从中选了 4 个样品进行了抽提和 GC—MS 分析。结果见表 2。

野外露头样品由于遭受风化、淋滤等作用的严重影响,实验测得的有机质丰度往往失真,特别是高过成熟的样品,实测有机碳为残余有机碳,用 T_{max} 值判断成熟度不可靠,所以人们需要对测得的有机碳含量进行恢复。参考庞雄奇^[8]、金强^[9]等的有机碳恢复方法,要先了解烃源岩的有机质类型和成熟度后再进行原始有机碳含量的恢复。由于宁国组为海相烃源岩,不存在镜质体反

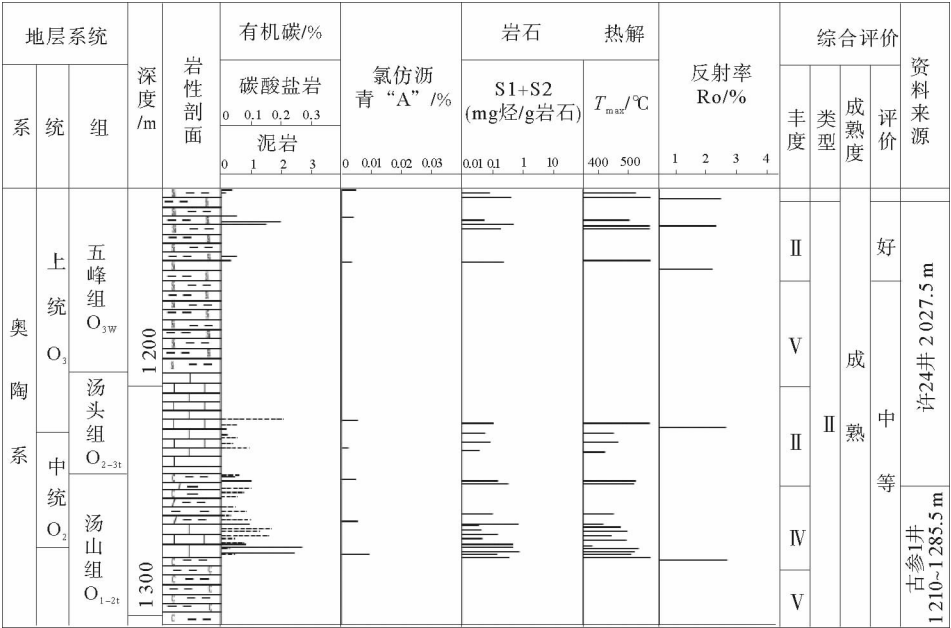


图 2 古参 1 井单井相柱状图(据华东分公司)

Fig. 2 Single well facies column diagram of Well Gucan 1(after East China Branch SINOPEC)

表 2 宁国组岩石热解数据

Table 2 Organic geochemistry of Ningguo Formation source rocks from Hule

原始编号	原始 TOC/%	总烃	饱芳比	氯仿沥青“A”/(mg/g)	PIR	Ro/%	恢复后 TOC/%
HL-O ₁₋₂ n-1	0.16	3.53	3.9	0.002 51	0.889	2.1	0.507
HL-O ₁₋₂ n-3	0.08	—	—	—	—	—	0.257
HL-O ₁₋₂ n-5	0.48	2.04	14.25	0.003 44	0.802	1.48	1.417
HL-O ₁₋₂ n-7	0.21	—	—	—	—	—	0.634
HL-O ₁₋₂ n-9	0.2	2.16	15.75	0.003 77	0.838	1.74	0.595
HL-O ₁₋₂ n-11	1.01	5.74	2.567	0.004 72	0.846	1.79	3.038

射率,而且沥青质等效反射率效果也不好,因此,采用吴英琴^[10]等人提出的姥鲨烷非对映异构体的异构化指数(PIR)来判识有机质的成熟度。根据姥鲨烷非对映异构体的异构化指数换算出成熟度 R_o 为 1.48%~2.1%,均值为 1.78%,处于高成熟阶段。最后,通过计算得到恢复后的 TOC 含量在 0.5%~3.0%之间,均值为 1.24%,属于好烃源岩。

3 宁国组烃源岩可能受控于上升流

海相烃源岩的优劣主要受原始生产力、沉积速率、海平面变化、上升流、海底热液活动、冰期、沉积环境和保存条件等因素的控制^[11]。其中,上升流在海相烃源岩中又起着重要作用。因为,上升流常引发缺氧事件,沉积的泥页岩富含有机质,有利于形成优质烃源岩,同时见石煤和磷矿^[12]。

关于上升流沉积的识别方法目前尚无统一标准,吕炳全等^[13]将硅质岩的发育作为上升洋流发育的判断标志之一。根据这一标准,以往的研究认为^[14],上奥陶统五峰组在扬子全区都发育有硅质岩沉积,由此推测扬子地区晚奥陶世上升洋流广泛发育,进而形成五峰组优质烃源岩。

野外地质考察和样品采集发现,皖南地区的早、中奥陶世宁国组和胡乐组可能存在上升流的古地理环境,因为中下奥陶统宁国组和胡乐组主要由灰、灰黑色硅质、碳质泥页岩组成,其中,胡乐组泥页岩中硅质含量更高,甚至沉积大套的硅质泥岩,同时含多套石煤层。由此推测,宁国组和胡乐组可能是一套受上升流影响的烃源岩新层位。

4 结论

综上所述,中下奥陶统可能是下扬子一套值得关注的烃源岩新层位,具体结论如下:

(1) 下奥陶统宁国组中上部主要为一套灰黑色—黑色薄层硅质、碳质泥岩,而中奥陶统胡乐组主要为一套深灰色薄层粉砂质泥岩和中厚层硅质泥岩。

(2) 下奥陶统宁国组中上部富含笔石化石,属广海陆棚相至深海盆地相沉积,而中奥陶统胡乐

组同样富含笔石,属深海陆棚相至盆地相沉积。二者分布范围几乎相同,但宁国组厚度明显大于胡乐组的厚度。

(3) 上扬子中下奥陶统主要为灰岩沉积,而下扬子中下奥陶统除了碳酸盐岩地层外还分布有大量的碎屑岩沉积,中下奥陶统泥岩测试结果显示为中等—好烃源岩。

(4) 根据前人的资料以及宁国组和胡乐组的岩性和岩相特征,推测皖南地区的中下奥陶统可能是受上升流影响的一套烃源岩,建议加强南黄海中下奥陶统烃源岩的研究。

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] 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的启示[J].海洋地质前沿,2016,32(1):54-62.
- [5] 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.
- [6] 安徽省地矿局区域地质调查大队.安徽地层志(奥陶系分册)[M].合肥:安徽科学技术出版社,1989:1-164.
- [7] 黄志诚,朱嗣昭.安徽奥陶系石灰岩中含铁非骨架核形石的成因及其聚铁作用[J].沉积学报,1987,5(2):29-38,148.
- [8] 庞雄奇,方祖康,陈章明.地史过程中的岩石有机质含量变化及其计算[J].石油学报,1988,9(1):17-24.
- [9] 金强.生油岩原始有机碳恢复方法的探讨[J].石油大学学报:自然科学版,1989,13(5):1-10.
- [10] 吴应琴,王永莉,雷天柱,等.下古生界高过成熟烃源岩成熟度指标-姥鲨烷异构化指数研究[J].质谱学报,2014,35(4):317-323.
- [11] 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.
- [12] 胡望水,吕炳全,王红盟,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.
- [13] 吕炳全,王红盟,胡望水,等.扬子地块东南古生代上升流沉积相及其与烃源岩的关系[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(4):29-35.
- [14] 李双建,肖开华,沃玉进,等.南海相上奥陶统-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.

A NEWLY DISCOVERED SOURCE ROCK IN THE MID-LOWER ORDOVICIAN IN LOWER YANGTZE AREA

GONG Jianming^{1,2,3}, WANG Jianqiang^{1,2,3}, CHENG Qingsong⁴, CHEN Jianwen^{1,2,3},
ZHANG Yinguo^{1,2,3}, ZHAO Qingfang^{1,2,3}, SUN Jing^{1,2,3}, LIAO Jing^{1,2,3}

(1 Laboratory for Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, 266061, China;

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

3 The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Qingdao 266071, China;

4 College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: The Mid-lower Ordovician usually acts as reservoir for oil and gas accumulation in the Yangtze area. However, in the southern Anhui Province, there occurs a sequence of gray black to black siliceous mudstone and carbonaceous mudstone in the Ningguo Formation of Lower Ordovician. It consists of rich graptolite and is inferred as an open sea shelf or deep sea facies. The Hule Formation of Middle Ordovician which consists of thin-layered dark grey silty mudstone and thick-layered siliceous mudstone with rich graptolite, is also deposited in a shelf to deep basin environment. The two Formations are similar in depositional features and distribution patterns with rich graptolite fossil, but the Ningguo Formation is obviously thicker than the Hule Formation. Organic geochemistry of Ningguo Formation source rocks show that the average TOC is 1.24%. According to the upwelling features, and studies on lithology, lithofacies and organic geochemistry, it is concluded that the Middle-Lower Ordovician is likely to be a medium-good source rocks deposited by upwelling flow in the southern Anhui region. Since the South Yellow Sea Basin is the major part of the Lower Yangtze, it is suggested that the research of the Middle-Lower Ordovician source rocks be strengthened in the South Yellow Sea Basin.

Key words: Lower Yangtze; Mid-Lower Ordovician; Ningguo Formation; Hule Formation; source rocks

Table 1 Early and medium Ordovician stratigraphic correlation between Upper and Lower Yangtze area (from reference [7])

地区	四川秀山大田坝		江苏南京地区		安徽和县狮碾潘		安徽宿松地区		皖南地区		浙西北		浙西		江西武宁		江西崇义		湖南桃江—安华地区		粤北—粤中	
胡乐阶	大田坝组	与条岩6层互层灰质泥带m	大田坝组	生屑晶微物2.2mm灰岩	庙坡组	上部泥岩4.5m灰部	庙坡组	黄色灰岩1.4m黄页岩	胡乐组	质岩、质砂页岩25m硅页岩、质岩m	胡乐组	质岩硅页岩63m硅泥夹质岩m	胡乐组	色石夹质岩360m黑燧层炭页岩	胡乐组	质岩顶部质岩泥10m硅泥顶钙泥	胡乐组	质、质岩层81m硅炭板互m	胡乐组	质岩炭页岩28m硅页岩夹质岩m	长坑水组	质岩砂68m硅页岩夹岩m
宁国阶	牯牛潭组	与瘤岩31m灰质状灰泥	牯牛潭组	生屑晶微物13mm灰岩	牯牛潭组	中层灰色厚岩7.1m灰层	油榨岭组	绿色泥状岩9m黄瘤灰岩m	宁国组	上段质岩段页岩、砂页岩200m硅页岩下页粉质岩m	宁国组	黑色硅质页岩234m灰色质页岩	宁国组	黑色页岩含铁矿核50m黑页岩	宁国组	质岩硅质砂泥及质岩139m砂泥	宁国组	黑色质岩670m色质硅质炭硅板m	烟溪组	质岩炭页岩208m硅页岩夹质岩m	下黄坑组	质质炭泥硅页岩
	大湾组	粗岩页20.2m上部灰岩	蒋家围组	色夹43m绿页岩黄页岩m	大湾组	瘤岩、互204m页岩、灰岩页状灰层m	大湾组	下部页碎岩15m上部生物灰岩m														
	红花园组	石灰岩56m燧核结岩	红花园组	及碎岩24.2mm晶微生物灰屑150m	红花园组	灰色厚层24.2m厚岩m	红花园组	厚白云36m白色灰岩层m														