

# 以海陆对比优选南黄海海相中—古生界油气勘探目标区

王文娟<sup>1,2,3</sup>, 陈建文<sup>1,2</sup>, 张银国<sup>1,2</sup>, 梁 杰<sup>1,2,3</sup>

(1 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; 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 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100)

**摘 要:**为优选南黄海盆地海相中—古生界油气勘探目标区,开展了上下扬子区陆域地质考察,对比分析了苏北—南黄海及上扬子四川叠合盆地海相中—古生界油气勘探现状、区域构造特征和烃源岩条件等。认为受区域构造演化差异的影响,南黄海崂山隆起海相中—古生界保留更完整,尤其是下古生界构造更稳定、地层分布广、厚度大、烃源岩条件好,发育多个大型构造圈闭,具有有利的成藏条件,是有利的勘探目标区。

**关键词:**海陆对比; 油气勘探; 海相中—古生界; 崂山隆起; 南黄海

**中图分类号:** P618.13

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2016.10010

全球古生界以海相沉积建造为主。据统计全球古生界海相地层石油探明储量约占全球油气探明储量的 14%,天然气探明储量约占 28.6%<sup>[1]</sup>,可见海相古生界在油气勘探中具有重要地位。前人的研究认为上下扬子区叠合盆地在震旦纪—中三叠世处于同一克拉通演化背景,都形成了以海相碳酸盐岩为主的厚层沉积。四川盆地已证实油气成藏的第 1 级控制因素之一是海相中—古生界提供了重要的油气烃源岩<sup>[2]</sup>。相比经历了 50 多年油气勘探的南黄海盆地尚未取得商业性发现,综观前人油气勘探失利的原因,20 世纪 70 年代是技术手段落后,深部地震资料不清晰;80 年代

是以坳陷为勘探重点,忽略了隆起;90 年代末重视新生界,忽略了中—古生界<sup>[3]</sup>。目前南黄海盆地仍处于钻井少,地震测网稀的低勘探阶段。南黄海海域仅有钻井 27 口,且探井井深浅,钻井揭示的最老地层为大陆架科钻 CSDP-2 井钻遇的上泥盆统,尚未有钻井钻至下古生界。同时由于海相碳酸盐岩对地震波能量的屏蔽和吸收极强,加之盆地构造复杂,海相中—古生界地震资料内幕反射品质差,因此,通过开展海陆对比,探讨海相中—古生界油气勘探具有重要的理论和现实意义。

## 1 区域构造背景

扬子块体北以秦岭—大别—苏鲁造山带一线与华北地块相接,西南以安徽歙县—南昌—湖南围山—广西河池一线、东南以江绍断裂为界与华南块体拼接,东临太平洋板块,西至龙门山断裂,以哑铃型横跨中国中南部腹地,发育了上扬子四川盆地、中扬子江汉盆地、下扬子苏北—南黄海等多个典型叠合盆地。南黄海盆地构造区划自北而

**收稿日期:** 2016-08-30

**基金项目:** 青岛市南区科技发展资金项目(2015-6-028-ZH);南黄海油气资源调查(DD20160152);南黄海海域油气资源普查(GZH200800503);南黄海前第三系油气前景研究(XQ-2005-01);南黄海崂山隆起和滩海区海相地层油气资源战略选区(XQ-2009-15)

**作者简介:** 王文娟(1980—),女,在读博士,主要从事石油地质方面的研究工作. E-mail: wangwenj04@163.com

南划分为烟台坳陷、崂山隆起、青岛坳陷 3 个二构造单元(图 1)。

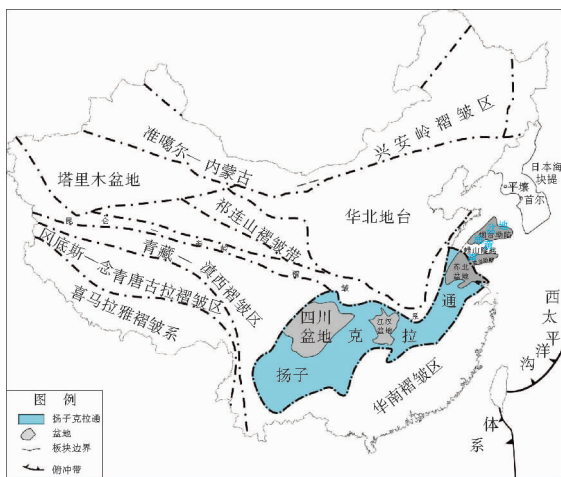


图 1 扬子区典型叠合盆地(据文献[4]修改)

Fig. 1 Typical superimposed basins in Yangtze area  
(modified from reference [4])

## 2 海相地层油气勘探

### 2.1 陆域油气勘探

1935 年四川隆昌圣灯山三叠系嘉三段钻获日产  $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  的天然气<sup>[5]</sup>, 揭开了四川盆地油气勘探的序幕。1937 年巴县民国政府临渴掘井在巴县石油沟三叠系嘉陵江组钻获日产  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$  天然气<sup>[6]</sup>。新中国成立以来, 四川盆地最早在 1959 年发现产层为下三叠统嘉陵江组的卧龙河气田, 1964 年发现产层为上震旦统灯影组的威远气田是当时中国最大的整装气田。1977 年在川东相国寺构造石炭系黄龙组产层相 18 井发现高产气井测试日产量  $76.38 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。之后相继取得川东石炭系天然气勘探的系列突破, 奠定了四川盆地的产气基地。后续又发现产层为石炭系黄龙组的大天池、下三叠统飞仙关组的渡口河等海相地层气田。2004 年勘探突破普光气田, 产层为上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组<sup>[7]</sup>, 是目前四川盆地天然气探明储量最大的气田, 此后又陆续发现合川、元坝等大气田。近期高石梯构造震旦系灯影组和磨溪构造寒武系龙王庙组天然气勘探取得重大突破。据 2011 年统计, 四川盆地累计探明天

然气地质储量达  $2.24 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 占全国的 28.6%。最近几年在高石 1 井上震旦统灯影组, 页岩气威 201 井下寒武统筇竹寺组、磨溪 8 井下寒武统龙王庙组、页岩气宁 201 井志留系龙马溪组、建深 1 井下志留统韩家店组、川科 1 井下二叠统茅口组和栖霞组、中三叠统雷口坡组、上三叠统马鞍塘组等均有重大油气发现<sup>[2]</sup>。苏北盆地目前仅发现了朱家墩中—古生界油气田、黄桥中—古生界气田; 在苏南句容发现 1 个二叠系油田——句容残留油田。但在发现的新生代油气田井中测得有 22 口井中的烃气显示气源来源于古生代海相地层<sup>[8-10]</sup>。

### 2.2 海域油气勘探

南黄海盆地地质地球物理调查工作始自 1961 年, 50 多年来南黄海的油气勘探可划分为 5 个阶段: 1961—1979 年自营勘探阶段, 1979—1999 年对外合作勘探研究阶段; 1999—2005 年国土资源大调查阶段; 2005—2010 年前第三系油气前景勘探研究阶段, 其中 2005—2010 年阶段揭开了海相地层油气勘探研究的序幕; 在 2010 年至今的新一轮调查评价中, 地震调查采用长排列、深释放, 地震资料采用特殊处理等新技术, 使得南黄海海相中—古生界的面貌逐渐清晰。

陆域四川盆地和苏北盆地勘探的海相中—古生界油气田对比表明, 扬子地台海相中—古生界具有广阔的勘探前景, 南黄海盆地海相中—古生界是油气勘探的远景区。

## 3 构造运动对比

扬子地台在晋宁运动之后形成了统一的结晶基底, 作为扬子地台典型叠合盆地单元的四川盆地和苏北—南黄海盆地在区域上共同经历了加里东运动、海西运动、印支运动、燕山运动以及喜马拉雅运动 5 期重要的构造运动, 形成了震旦—志留系海相构造层、泥盆系—下三叠统海相构造层、中三叠统海陆过渡相地层、上三叠统—第四系陆相构造层。其中 2 套海相构造层奠定了上下扬子区古油气藏的发育基础, 具有可类比性。但上下扬子块体构造演化的强弱差异对烃源岩层保存具有不同影响(表 1)。

表 1 上、下扬子区叠合盆地构造运动差异

Table 1 Difference of tectonic movement between the superimposed basins of upper and lower Yangtze areas

| 地区           | 加里东运动                 | 海西运动                         | 印支运动                   | 燕山运动                                      | 喜山运动             |
|--------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| 上扬子<br>四川盆地  | 相对强<br>志留—奥陶系<br>剥蚀量大 | 相对强<br>泥盆—石炭系区域缺失<br>二叠系见玄武岩 | 相对弱<br>三叠系分布广、<br>厚度大  | 相对弱<br>侏罗—白垩系分布广、<br>厚度大                  | 强烈<br>整体褶皱<br>隆升 |
| 下扬子<br>南黄海盆地 | 相对弱<br>志留系<br>剥蚀量小    | 相对弱<br>泥盆—石炭系<br>局部剥蚀        | 相对强<br>仅见上三叠统且<br>分布局限 | 相对强<br>白垩系主要分布于<br>烟台坳陷,侏罗系仅见于<br>烟台坳陷东北凹 | 强烈<br>整体断坳<br>沉降 |
| 对比结果         | 下扬子构造运动弱              |                              |                        | 上扬子构造运动弱                                  |                  |
|              |                       |                              |                        | 都强                                        |                  |

志留纪末的加里东运动在四川盆地表现强烈,以整体隆升作用为主,隆升幅度大,涉及范围广,露头观察志留系—奥陶系遭受大量剥蚀,威远气田钻井揭露志留系仅厚 0~40 m。但同期志留系高家边组在下扬子江苏和安徽二省露头分布较广、厚度大,N4 井钻遇厚度可达 1 700 多米<sup>[11]</sup>;海域地震资料解释推测志留系厚度大、分布广。

晚古生代的海西运动在四川盆地表现出时间长、范围广的特点,露头和钻井观察四川盆地泥盆系和石炭系普遍缺失,上下二叠统不整合接触,峨眉山见喷发玄武岩。但下扬子陆域考察发现同期二叠系地层发育齐全、厚度大、分布广泛,且下二叠统栖霞组、上二叠统龙潭组、大隆组可作为区域性烃源岩层。

晚三叠世受印支运动的影响,扬子地块结束了以海相沉积为主的建造期,开始了扬子与华北板块的碰撞造山。据黄宝春等<sup>[12]</sup>研究认为,华南陆块与华北陆块晚二叠—早三叠世初始碰撞在现今苏鲁—大别地区,而后扬子地块逆时针、华北地块顺时针相对旋转,在 226 Ma 左右全面碰撞。理论上印支面是一个不整合面,即代表了海相中—古生界的顶界面,又是陆相中—新生界沉积盆地的底界面。南黄海盆地地震资料解释认为,二叠—震旦系地层应为全区范围内大量保留。大陆架科钻在崂山隆起西部钻遇下三叠统青龙组、二叠系、石炭系和上泥盆统等地层<sup>[13]</sup>,中、上三叠统普遍缺失,证明印支运动在下扬子表现强烈,而四川盆地露头及钻井资料证实三叠系分布广、厚度大。

上下扬子区构造运动对比显示下扬子海西—加里东构造运动相对较弱,更有利于海相中—古生界烃源岩层的保存。

4 烃源岩对比

4.1 四川盆地烃源岩发育特征

四川盆地发育有 5 套被公认具有重要生烃意义的海相烃源层岩层。包括:

- (1)上震旦统陡山沱组(Z<sub>2</sub>d)  
发育 I 型烃源岩,TOC 平均值为 1.96%,主要分布在川东、川东北,平均厚度 55 m。
- (2)下寒武统筇竹寺组(C<sub>1q</sub>)/或称牛蹄塘组(C<sub>1n</sub>)  
发育 I 型烃源岩,TOC 平均值为 2%,主要分布在川南、川北大巴山,平均厚度 80 m。
- (3)上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组(O<sub>3w</sub>—S<sub>1l</sub>)  
发育 I—II 型烃源岩,TOC 平均值为 1.1%,主要分布在川北、川东、川中、川南,平均厚度 20~80 m。
- (4)中二叠统栖霞组和茅口组(P<sub>2y</sub>)  
发育 I+II 型烃源岩,TOC 平均值为 0.3%~0.5%,主要分布在川北、川西南,平均厚度 175~400 m。
- (5)上二叠统龙潭组+长兴组(P<sub>3l</sub>+ch)  
发育 I、II、III 型烃源岩,TOC 平均值为 2.91%,主要分布在重庆—泸州以南及川西南段,平均厚度 0~25 m(煤),10~125 m(泥),大隆组分布在川东北,TOC 含量>5%。

同时,四川盆地持续的高古地温梯度和深埋藏使得盆地内海相地层中一切能生成天然气的有机质均充分而完全地转化成天然气,有机质成气

率极高,所生成的天然气以高丰度形式赋存在常规天然气气藏中,或以低丰度形式赋存在非常规天然气气藏中<sup>[2,14,15]</sup>。

## 4.2 苏北—南黄海盆地烃源岩发育特征

通过对下扬子南京、巢湖、浙江等地陆域的露头观察和典型剖面的测量以及资料收集整理后的综合分析认为,苏北—南黄海盆地发育 5 套区域性烃源岩。包括:

### (1) 下寒武统荷塘组( $\in_1h$ )

发育 I 型干酪根,梁狄刚等<sup>[16]</sup>测得下扬子陆域 TOC 含量可达 3%,南部可达到 4%~6%,厚度可达 465 m,属优质海相泥质烃源岩。

### (2) 上奥陶统五峰组—下志留统高家边组( $O_3w-S_1g$ )

据胡书毅等<sup>[17]</sup>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,贾东测得下志留统 TOC 含量为 1.5%~3%,干酪根为 I 型泥质烃源岩,南京汤山志留系剖面高家边组总厚度达 1 200 多米<sup>[11]</sup>,显示为优质厚层烃源岩。

### (3) 下二叠统栖霞组( $P_1q$ )

据刘峰<sup>[18]</sup>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 > 0.5% 的地层呈非均质分布,累计厚度 > 40 m,属较纯碳酸盐岩烃源岩。

### (4) 上二叠统龙潭组( $P_2l$ )

TOC 含量为 2%~4.5%,一般厚 100~200 m,干酪根为 II、III 型,煤、炭质泥岩含量高,属含煤层系。

### (5) 上二叠统大隆组( $P_2d$ )

大隆组 TOC 含量为 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,属含煤层系<sup>[16]</sup>。

另外,下奥陶统宁国组( $O_1n$ )/大湾—牯牛组在皖南休宁海槽露头显示为富含笔石的灰黑色炭质页岩,表明为受古地理格局限制的局限分布烃源岩区。下扬子岩相古地理平面展布及地层延伸方向表明烃源岩有利相带具有向南黄海延伸的趋势;海域地震资料解释认为,南黄海海相中—古生界构造层在南黄海盆地分布广、厚度大。据统计

陆域下扬子地块下寒武统烃源岩  $R_o$  为 2.0%~3.0%,黄桥地区  $R_o$  平均为 1.9%,南黄海盆地青龙组  $R_o$  为 1.05%、大隆组 1.6%、龙潭组 2.2%、栖霞组 2.45% 均以达到高成熟—过成熟演化<sup>[19]</sup>,表明下扬子有机质同样转化充分而完全。显然,南黄海盆地同样具有丰富的海相中、古生界烃源岩层和成烃成藏条件。

## 5 油气勘探目标区

四川盆地的勘探经验认为,烃源岩和保存条件是油气富集的先决条件,盆地内构造变形弱的大隆起、大斜坡地带是地质时期形成油气聚集的场所,盖层未遭受大规模破坏的地带易形成大规模油气藏。在南黄海盆地崂山隆起具备类似的地质特征。

### 5.1 崂山隆起构造稳定

南黄海盆地受印支运动的影响普遍发育逆冲推覆构造,主要表现为苏鲁造山带由北向南逆冲推覆,形成了一系列由北向南的叠瓦状逆冲推覆带;华南造山带由南向北逆冲挤压推覆作用次之。在这些逆冲推覆作用中,北部由北向南的逆冲推覆作用规模较大,活动性较强;南部由南向北的逆冲推覆主要表现在勿南沙地区;因此,处于盆地中部的崂山隆起推覆构造不发育(图 2)。杨长清<sup>[20]</sup>等认为崂山隆起在晚三叠世末逐渐抬升,其后一直处于相对隆起,是构造的相对稳定部位,是形成油气聚集的有利场所。

### 5.2 崂山隆起生储盖组合

地震资料解释分析认为,崂山隆起海相中—古生界存在 2 套生储盖组合。第 1 套组合为下寒武统一下志留统,其中,烃源岩为下寒武统荷塘组,储层为中寒武统一下奥陶统的白云岩、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泥页岩;第 2 套组合为上奥陶五峰组+下志留统高家边组—二叠系,其中,烃源岩主要为上奥陶统五峰组和下志留统高家边组,储层主要为泥盆系砂岩、石炭系的生物礁滩相,上覆二叠系龙潭组为区域盖层。

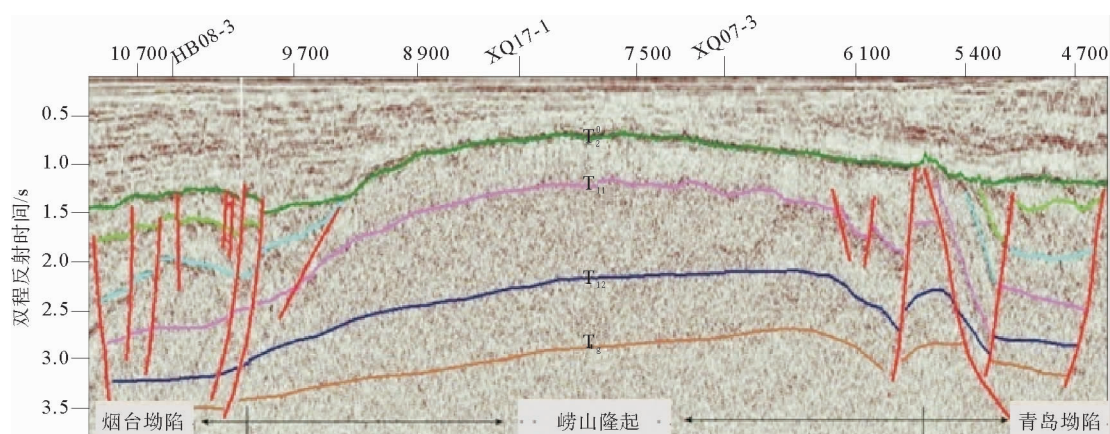


图 2 XX 线显示崂山隆起构造稳定

Fig. 2 The XX line displaying the stability of the Laoshan Uplift

### 5.3 崂山隆起构造圈闭

综合解释结果显示,在崂山隆起目标区内发现多个大型断鼻状构造圈闭,这些构造圈闭部位的地震波组特征清晰、地层发育齐全、地质构造相

对简单。其中,崂山隆起中南部构造圈闭的海相地层埋藏浅,最浅埋深 800 m,最大圈闭面积超过 100 km<sup>2</sup>(图 3),是南黄海海相中—古生界有利的勘探靶区。

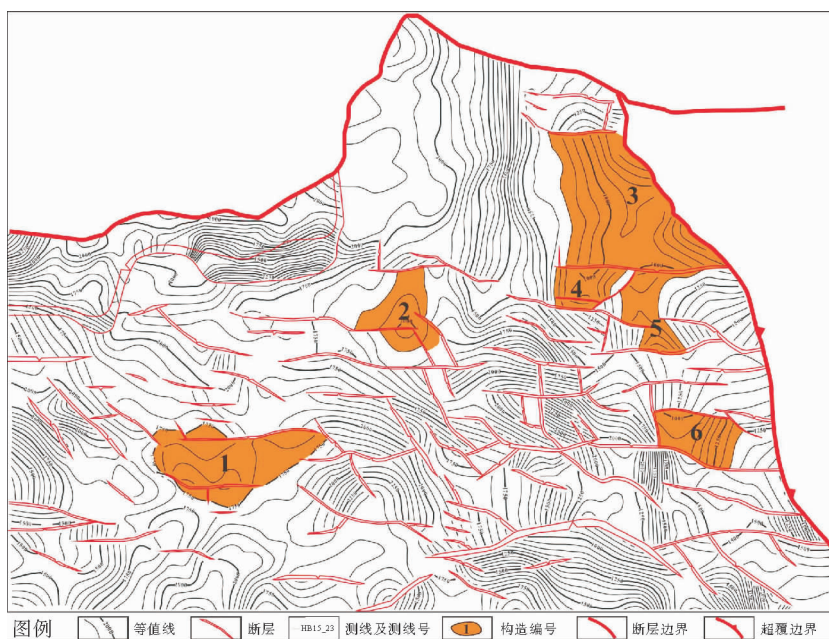


图 3 崂山隆起中南部构造圈闭(据文献[21])

Fig. 3 Structural traps in central and southern Laoshan Uplift (modified from reference [21])

## 6 结论

(1)上下扬子露头 and 地震资料对比显示构造运动在两块体表现不同,加里东和海西期下扬子构造运动相对弱,印支和燕山期上扬子构造运动

相对弱,喜山期两者的构造运动都表现强烈。

(2)南黄海盆地烃源岩发育层位多,TOC 含量高,分布范围广,厚度大,尤其是崂山隆起下古生界海相构造层更稳定,发育多个大型构造圈闭,是油气勘探的重要目标区。

## 参考文献:

- [1] Bois C, Bouch P, Pelet R. Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserves [J]. AAPG Bulletin, 1982, 66(9): 1248-1270.
- [2] 刘树根, 孙 玮, 王国芝, 等. 四川叠合盆地油气富集原因剖析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 481-495.
- [3] 冯志强, 姚永坚, 曾祥辉, 等. 黄海中—古生界地质构造特征及油气远景的新认识[C]//海洋地质杂志社. 黄海海域油气地质. 北京: 海洋出版社, 2003: 38-45.
- [4] 马丽芳. 中国大地构造图[M]//马丽芳, 丁孝忠, 尉远景. 中国地质图集. 北京: 地质出版社, 2002.
- [5] 西南油气田新闻中心. 四川油气化工的奠基石—圣灯山[N]. 四川工人日报, 2016-01-27.
- [6] 四川油气田发展简史编写组. 四川油气田发展简史[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2008.
- [7] 马永生, 蔡勋育, 李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 858-865.
- [8] 许 红, 王果寿. 苏北盆地的油气勘探及下扬子中、古生界储层的系统研究[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(2): 21-27.
- [9] 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.
- [10] 赵永强, 段铁军, 袁东风, 等. 苏北朱家墩气田成藏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.
- [11] 龚建明, 陈建文, 孙 晶. 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, 2015, 1(32): 43-47.
- [12] 黄宝春, 周桃秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成及演化[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 348-356.
- [13] 郭兴伟, 朱晓青. 大陆架科钻 CSDP-2 井完成 2 千米钻探[N]. 中国矿业报, 2016-05-30.
- [14] 徐胜林, 陈洪德, 陈安清, 等. 四川盆地海相地层烃源岩特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(2): 343-350.
- [15] 黄金亮, 邹才能, 李建忠, 等. 川南下寒武统筇竹寺组页岩气形成条件及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 69-75.
- [16] 梁秋刚, 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.
- [17] 胡书毅, 文 玲, 田海琴. 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, 5(15): 317-334.
- [18] 刘 峰, 蔡进攻, 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, 6(41): 873-886.
- [19] 闫桂京, 李慧君, 何玉华, 等. 南黄海海相层石油地质条件分析与勘探方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(5): 107-112.
- [20] 杨长清, 董贺平, 李 刚. 南黄海盆地中部隆起的形成和演化[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(7): 17-33.
- [21] 陈建文. 南黄海崂山隆起海相中—古生界发现多个大型圈闭构造[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(4): 69-70.

## DISCUSSION ON EXPLORATION TARGETS OF MARINE MESOZOIC AND PALEOZOIC HYDROCARBON IN THE SOUTH YELLOW SEA

WANG Wenjuan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Jianwen<sup>1,2</sup>, ZHANG Yinguo<sup>1,2</sup>, LIANG Jie<sup>1,2,3</sup>

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, MLR,

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

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

3 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** For optimization of the marine Mesozoic and Paleozoic hydrocarbon targets in the South Yellow Sea, we made a comparative study of the hydrocarbon exploration situation, regional tectonics and source rock conditions of the Sichuan and the Subei-South Yellow Sea superimposed basins through field investigation. After comparison of the differences in tectonic evolution between the upper and lower Yangtze, it is found that the marine Paleozoic is more complete on the Laoshan uplift of the South Yellow Sea, especially the lower Paleozoic which is formed in a more stable tectonic environment. The lower marine Paleozoic has large thickness, good hydrocarbon source rock conditions and large structural traps. The Laoshan uplift is a favorable exploration target in the South Yellow Sea Basin.

**Key words:** comparative study; hydrocarbon exploration; marine Mesozoic-Paleozoic; Laoshan Uplift; South Yellow Sea