

海陆对比看南黄海海相 中—古生界的生储盖组合特征

袁 勇^{1,2}, 陈建文^{1,2}, 梁 杰^{1,2}, 张鹏辉^{1,2}

(1. 国土资源部 海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛海洋地质研究所, 山东 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, 山东 青岛 266071)

摘要: 作为下扬子主体的南黄海盆地发育分布广泛、厚度大且较全的中—古生代海相地层, 通过对比扬子陆域的烃源岩、储层及盖层特征, 结合南黄海盆地近几年采集的地震剖面、钻井资料以及陆上野外露头资料, 总结和分析了南黄海海相中—古生界的生储盖组合特征。南黄海海相地层发育下寒武统荷塘组/幕府山组、下志留统高家边组、下二叠统栖霞组和二叠系龙潭—大隆组 4 套烃源岩, 对比扬子区陆域烃源岩特征, 确定为较好的烃源岩。苏北—南黄海盆地储集层以碳酸盐岩为主, 发育白云岩孔隙储层、礁滩相储层、风化壳储层和裂隙储层 4 种类型。研究认为南黄海发育扬子陆区已发现的典型油气藏的成藏层位, 海相地层发育 3 套区域性的盖层和 3 套完整的生储盖组合, 具有很好的油气远景。

关键词: 生储盖组合特征; 海相中—古生界; 南黄海盆地; 扬子区

中图分类号: TE122

文献标识码: A

Source-reservoir-seal assemblage of marine Mesozoic-Paleozoic in South Yellow Sea Basin by land-ocean comparison

Yuan Yong^{1,2}, Chen Jianwen^{1,2}, Liang Jie^{1,2}, Zhang Penghui^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology of Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: The South Yellow Sea Basin is the main body of the Lower Yangtze area, where marine Mesozoic-Paleozoic strata are widely distributed. The characteristics of source-reservoir-seal assemblage of the marine Mesozoic-Paleozoic strata in the South Yellow Sea Basin were analyzed by comparing the characteristics of hydrocarbon source rocks, reservoir and cap rocks, and combining with seismic sections, drilling and outcrop data. Four sets of hydrocarbon source rocks developed, including the Lower Cambrian Hetang and Mufushan formations, the Lower Silurian Gaojiabian Formation, the Lower Permian Qixia Formation, and the Upper Permian Longtan and Dalong formations. By comparing the characteristics of hydrocarbon source rocks of the Yangtze land area, the source rocks of the South Yellow Sea Basin may be classed as good hydrocarbon source rocks. Carbonate is the main reservoir type in the South Yellow Sea area, and there are four carbonate reservoir types: porous dolomitic, reef-bank, weathered crust and fractured. The marine strata of South Yellow Sea Basin developed three sets of regional cap rocks and three sets of complete assemblages. The South Yellow Sea Basin has very good oil and gas prospects.

Key words: source-reservoir-seal assemblage; marine Mesozoic-Paleozoic; South Yellow Sea Basin; Yangtze block

扬子区具有巨大的油气勘探前景, 其不仅在台地边缘、拗陷发育巨厚的海相中—古生界, 且陆相中、新生代断陷沉积发育, 具有形成大、中型油气田的潜力^[1]。上扬子四川盆地已发现威远、安岳、五

百梯、普光、焦石坝、元坝、龙岗等大型、特大型油气田, 中扬子发现建南气田, 而截至目前, 虽然下扬子陆域地区古生界油气显示达 400 余处, 但海相地层只发现句容油田、黄桥气田^[2]。南黄海地区是我国

收稿日期: 2016-10-27; 修订日期: 2017-02-10。

作者简介: 袁勇 (1988—), 男, 博士后, 从事地质综合解释及油气地质学研究。E-mail: yuany010@126.com。

通信作者: 陈建文 (1965—), 男, 博士, 研究员, 从事海域油气资源调查评价与研究。E-mail: jwchen2012@126.com。

基金项目: 国土资源部项目 (XQ-2005-01, 2009GYXQ10)、中国地质调查局项目 (GZH200800503, 121201005000150008) 和山东省博士后创新基金“南黄海盆地二叠系上统相震约束储层表征研究” (201602004) 资助。

近海盆地中迄今唯一没有发现工业油气流的地区,且以往油气勘探以中、新生界为主,而对海相中—古生界的油气勘探程度仍很低,只有少数钻井钻遇中—古生界^[3]。目前认为南黄海盆地海相中、古生界主要具有分布广、厚度大、保存比较完整^[3-4]、构造变形较陆区弱的油气地质条件,不仅沉积建造与上扬子地区相似,且与扬子区陆域油气田具有相同的含油气层位^[5],因此,通过对比扬子陆区的生储盖特征,对于南黄海油气成藏条件的研究具有重要意义。本文在前人研究认识及前期勘探的基础上,通过扬子区海陆对比,探讨和总结南黄海盆地的生储盖组合特征,以期对该区的后续勘探、油气富集规律研究提供借鉴。

1 南黄海区域地质背景

1.1 区域地质概况

下扬子地块北界为苏鲁—临津江造山带,该造山带是华北、扬子 2 大地块会聚碰撞的结果^[6];南界以江山—绍兴断裂与华南板块相接,江山—绍兴断裂进入海域后向东延伸;西界以郯庐断裂与中扬子地块、秦岭—大别造山带和华北板块分界;扬子板块向东越过南黄海进入朝鲜半岛,与朝鲜半岛的临津江拗陷、京畿地块、沃川拗陷相对应^[7](图 1)。南黄海盆地不仅是扬子地台向海域的延伸,而且是下扬子地块的主体^[5,8]。南黄海盆地是一个在前震旦系变质岩基底之上,经海相中—古生界、陆相中生界和新生界多期沉积叠覆而成的叠合盆地^[9],北以千里岩隆起为界,南以勿南沙隆起为界,盆地从北到南可以划分为烟台拗陷、崂山隆起

和青岛拗陷 3 个二级构造单元(图 1)^[7,10]。

1.2 海陆对比的理论基础

南黄海盆地与上扬子四川盆地具备相似的结晶基底,都是 1 700 Ma 前后中条运动固结的下元古界结晶基底^[11]。二者经历相同的构造运动的改造,在古生代期间,二地区构造演化史基本一致,海相沉积期内的沉积特征、地层特征、地质结构十分类似:(1)相同的构造活动和构造格架。加里东运动在四川盆地和南黄海都表现为隆升运动,形成大的隆起和拗陷,南黄海地区地震资料已初步揭示出早古生代的构造面貌,与四川盆地均表现为一隆二拗;印支期,南黄海与上扬子区构造格局相似,表现为一隆二拗或二隆二拗,印支运动后南黄海盆地海相地层受到了强烈的挤压、逆冲、剥蚀和岩浆作用(图 2);(2)相同的中—古生代沉积环境和地层。南黄海和四川盆地各时代的海相沉积主要是浅海台地相,四川盆地海相中—古生界沉积岩以石英砂岩、石灰岩、白云岩为主;南黄海虽只钻获部分上古生界和下三叠统,但下扬子陆区的中—古生界与四川盆地基本相同^[12],并可逐组对比。

2 海相中—古生界烃源岩特征对比

烃源岩的发育受不同盆地原型的控制,分布的地域不同^[3,13]。其中下寒武统(幕府山组/荷塘组)、下志留统(高家边组)、下二叠统(栖霞组)、上二叠统(龙潭—大隆组)4 套烃源岩在扬子区广泛发育,为区域性的主力烃源岩。

2.1 下寒武统烃源岩

上扬子四川盆地寒武统筇竹寺组为大套的黑色页岩。该套烃源岩主要生成气态烃,有机质主要为 I 型^[14],成熟度 R_o 值主要集中在 2.1%~5.2%^[15],具有较强的生烃潜力,有机质成熟度已达到成熟阶段(表 1)。中扬子地区相较上扬子地区有机质成熟度高,已然为过成熟阶段, R_o 值集中在 3.07%~3.29%^[16],有机质类型以 I 型为主^[17](表 1)。下扬子南黄海盆地未钻遇下寒武统,苏北盆地烃源岩 R_o 多为 3%~4%^[17],苏东 121 井及皖南皖宁 2 井烃源岩有机碳含量为 2%~9%,评价认为该套烃源岩在下扬子为一套好烃源岩^[18]。

2.2 下志留统烃源岩

四川盆地志留统龙马溪组烃源岩为一套具有双沉积中心特点的黑色页岩^[15],有机质主要为 I 型^[14],其有机碳丰度为 0.4%~1.79%, R_o 值主要集中于 2%~3.6%,烃源岩主要处于高成熟阶段,部分为过成熟阶段(表 1)。中扬子区龙马溪组烃

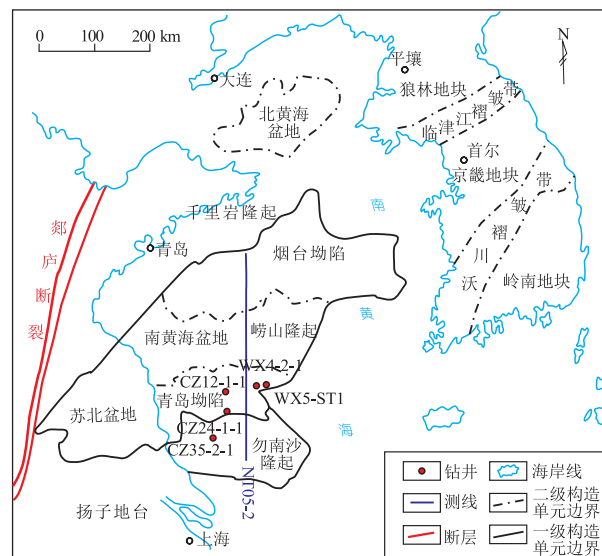


图 1 南黄海盆地位置

Fig.1 Regional location of the South Yellow Sea Basin

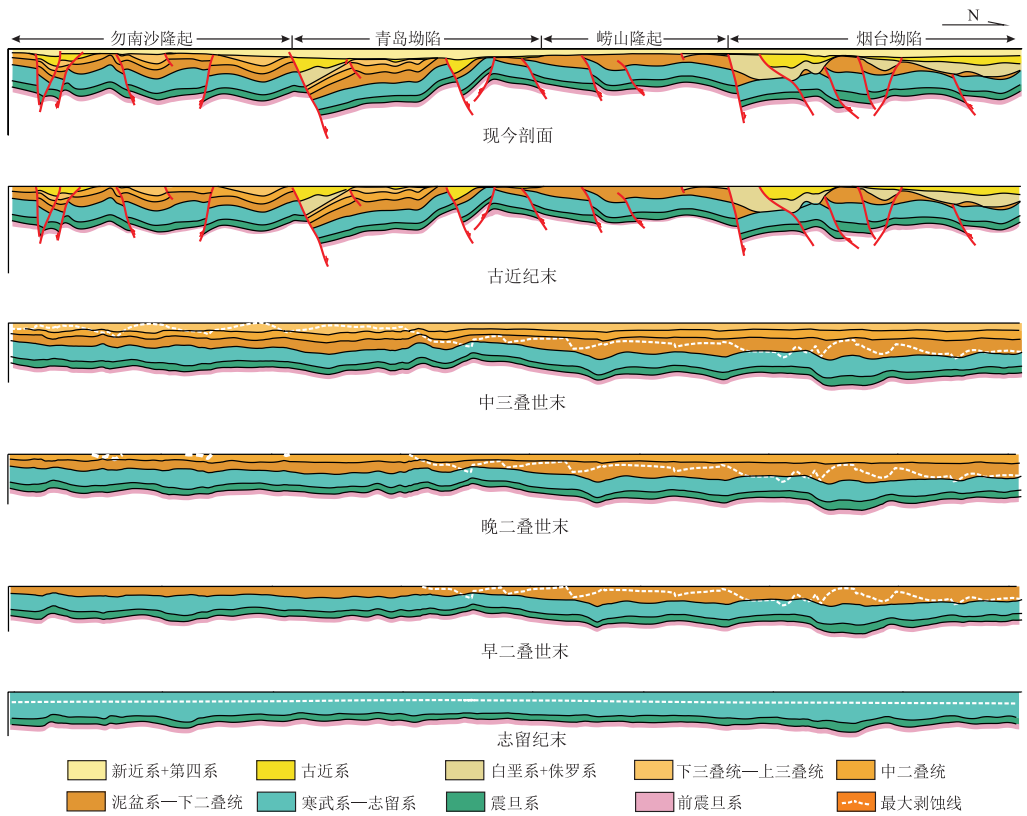


图 2 南黄海盆地 NT05-2 测线构造演化简图
测线位置见图 1。

Fig.2 Tectonic evolution sketch map along line NT05-2, South Yellow Sea Basin

表 1 苏北—南黄海盆地与中扬子区及上扬子四川盆地烃源岩特征对比

Table 1 Comparison of source rock characteristics between Subei-South Yellow Sea basins, central Yangtze and Sichuan Basin

| 地区 | 地层 | 层位 | $R_o/\%$ | $w(\text{TOC})/\%$ | 氯仿沥青“A”/ $\%$ | $(S_1+S_2)/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ | 有机质类型 | 数据来源 |
|--------|--------|-----------------|-----------|---------------------|-----------------|---|----------------------------------|---------------------|
| 四川盆地 | 筇竹寺组 | ϵ_{1q} | 2~5 | 0.75~4 | 0.025 0~0.366 0 | 19.1 | I | 文献 [14~22] |
| | 龙马溪组 | S_{1l} | 2~3.6 | 1 | 0.001 0~0.012 0 | 9.5 | I | |
| | 栖霞组 | P_{1q} | 2 | 3.5(泥岩)/ 0.8(灰岩) | 0.008 5~0.048 0 | 4.1(泥岩)/ 2.1(灰岩) | III | |
| | 龙潭组 | P_{2l} | >2 | 3~7(泥岩) | 0.05 | 11.8 | I-II ₁ | |
| 中扬子区 | 牛蹄塘组 | ϵ_{1n} | 3.07~3.29 | 1.95 | 0.010 3 | 7.8 | I | 文献 [16~27] |
| | 龙马溪组 | S_{1l} | 2~3 | 0.5~2 | 0.012 4 | 10.1 | I-II ₁ | |
| | 栖霞组 | P_{1q} | 0.7~3.27 | 0.4~1 | 0.003 4~0.046 7 | 3.2 | I | |
| | 龙潭组 | P_{2l} | 1.3~2 | >1 | 0.009 7~0.011 0 | 8.9 | I-II ₁ | |
| 苏北—南黄海 | 幕府山组 | ϵ_{1m} | 3~4 | 3.1 | 0.05 | 17.8 | II ₁ -II ₂ | 文献 [16,18,21,28] |
| | 高家边组 | S_{1g} | 1.9 | 0.54~2.67 | 0.020 0 | 4.4 | I-II ₁ | |
| | 栖霞组 | P_{1q} | 2.45 | 0.45~1.52 | 0.09 | 6.1(泥岩)/ 3.1(灰岩) | I | |
| | 龙潭—大隆组 | P_{2l+d} | 1.6~2.2 | 1.704~2.077 | 0.052 7 | 5.1 | I-II ₁ | |

源岩同样为黑色页岩,有机质类型为 I-II₁型^[17],有机碳含量变化较大,主要集中在 0.5%~2%^[16](表 1)。下扬子有机质类型为 I-II₁型,苏北黄桥 N4 井有效烃源岩厚度 75 m,有机碳含量 1%~2%^[5];南京汤山 3 号井有效烃源岩厚度大于 80 m,

R_o 值约为 1.6%~2.5%(表 1),证明该套烃源岩在下扬子地区具有较高潜力^[19]。

2.3 下二叠统烃源岩

四川盆地下二叠统栖霞组泥质岩烃源岩厚度约为 5~34 m,较薄,而碳酸盐岩烃源岩平均厚度可

达 240 m 左右,泥质岩烃源岩有机质丰度值要大于碳酸盐岩烃源岩丰度值,总体来说四川盆地栖霞组烃源岩整体进入高成熟—过成熟阶段(表 1)。该套烃源岩在中扬子区的生烃强度相对较低, R_o 多集中在 0.7%~3.27%^[16],区域变化较大(表 1)。下扬子陆域烃源岩热演化程度中等, R_o 值平均 1.8%左右,有机质类型以 I 型为主(表 1),南黄海 CZ35-2-1 井揭示栖霞组为黑色灰岩, R_o 值平均为 2.45%,有机碳含量平均为 1.09%,是一套良好的烃源岩^[20]。

2.4 上二叠统烃源岩

四川盆地上二叠统龙潭组烃源岩为灰色页岩及泥岩,深灰色厚层泥晶灰岩^[15],有机碳丰度值约为 3%~7%;该期烃源岩同样演化至裂解气的阶段,其成熟度普遍较高,天然气类型主要为裂解气^[15](表 1)。中扬子上二叠统有机质类型主要为 I-II₁型,有机碳含量大于 1%, R_o 约 1.3%~2%^[20](表 1)。下扬子陆域地区烃源岩厚度为 50~200 m,有机碳含量为 1%~3%,南黄海 WX5-ST1 和 CZ35-2-1 井钻遇龙潭—大隆组,厚度约为 322 m,有机质丰度高, R_o 在 0.7%~2.0%之间,有机碳含量 0.79%~12.9%,热演化程度适中(表 1)。

3 海相中—古生界储层特征对比

扬子地区陆域海相中—古生界主要发育碳酸

盐岩储层^[28],碎屑岩次之^[29-31](表 2)。四川盆地碳酸盐岩储集层孔隙度约为 0.78%~8%,渗透率约为 $(0.01 \sim 54) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,长兴组的礁白云岩储集性能好于白云岩(表 2)。下扬子陆域地区碳酸盐岩储集层总体表现为低孔低渗特征,58.4%的碳酸盐岩孔隙度小于 1%,95.5%的碳酸盐岩渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[26],结合南黄海钻井信息,确定下扬子苏北—南黄海盆地碳酸盐岩储集层主要发育 4 种类型:

3.1 白云岩孔隙储层

上扬子四川盆地威远、安岳、资阳气田主要的产气层位为震旦系白云岩,震旦系灯影组的孔隙度约为 1%~2%,威远地区平均孔隙度为 1.97%^[32-33]。下扬子在南京幕府山、汤山和安徽巢湖、泾县观察到灯影组白云岩(图 3a,b)。巢湖地区白云岩储层藻类较为发育,由藻类与沉淀白云石粘结沉积而成,露头见葡萄状白云岩(图 3a)。南黄海盆地青岛坳陷 WX5-ST1 井钻遇下三叠统青龙组,岩性主要为团粒、鲕粒灰岩,白云岩厚 25 m,其中高孔高渗白云岩段为 10 m,与川东北三叠系优质储层相似,有效孔隙度 6%~8%(表 2)。

3.2 风化壳储层

风化壳古岩溶的发育使四川盆地上震旦统灯影组获得新突破^[34],在上扬子二叠系和三叠系地

表 2 南黄海盆地与扬子陆域碳酸盐岩储层物性特征对比

Table 2 Comparison of petrophysical characteristics of carbonate rocks between South Yellow Sea Basin and Yangtze land area

| 地区 | 采样位置 | 层位 | 岩性 | 孔隙度/% | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | 数据来源 |
|---------|------------|----------|---------|--------------|------------------------------|--------|
| 上扬子 | 川中、川西北 | 雷口坡组 | 白云岩 | 6.36 | 0.94 | |
| | 川东、川西南 | 嘉陵江组三、四段 | 白云岩和石灰岩 | 1.49 | 0.69 | |
| | 川东、川南 | 嘉陵江组二段 | 白云岩和石灰岩 | 2.56 | 6.14 | |
| | 川东北 | 飞仙关组二、三段 | 白云岩 | 8.16 | 22.8~54.0 | |
| | 川南、川东南 | 飞仙关组一段 | 石灰岩 | 0.78 | <0.01 | |
| | 四川盆地 | 长兴组 | 礁白云岩 | 3.5~8 | 2.8~15.4 | |
| | 四川盆地 | 长兴组 | 石灰岩 | 1.51 | <0.01 | 文献[36] |
| | 四川盆地 | 茅口组 | 石灰岩 | 0.84 | <0.01 | |
| | 泸州、自贡 | 栖霞组 | 石灰岩 | 1.09 | <0.01 | |
| | 川东 | 黄龙组 | 白云岩 | 5.94 | 0.5~2 | |
| | 龙女寺 | 下奥陶统 | 白云岩 | 2.33 | 0.01~1 | |
| | 威远、龙女寺 | 下寒武统 | 白云岩 | 2 | 0.01~1 | |
| | 川中、川南 | 上震旦统 | 白云岩 | 4.02 | 0.1~10 | |
| 下扬子陆域地区 | 句容 | 青龙组 | 灰岩 | 0.11~2.88 | 0.012~11.466 | 文献[37] |
| | 苏北—皖东 | 炮台山组 | 白云岩和灰岩 | 6.57 | 0.31 | |
| | | 仑山组 | 灰岩 | 2.1 | 0.006 | 文献[38] |
| | | 青龙组 | 灰岩 | 0.1~0.5 | 1.35 | |
| | 南京—巢湖 | 灯影组 | 白云岩 | 2.3 | | |
| | 句容仑山 | 观音台组 | 残余颗粒白云岩 | 2~4.9 | 0.005 2~0.14 | 文献[39] |
| 句容仑山 | 观音台组 | 细粉晶白云岩 | 0.5~1.3 | 0.003 9~0.03 | | |
| 南黄海 | CZ35-2-1 井 | 青龙组 | 灰岩 | 8.4 | | |
| | WX5-ST1 井 | 青龙组 | 白云岩 | 6~8 | 0.279 | |

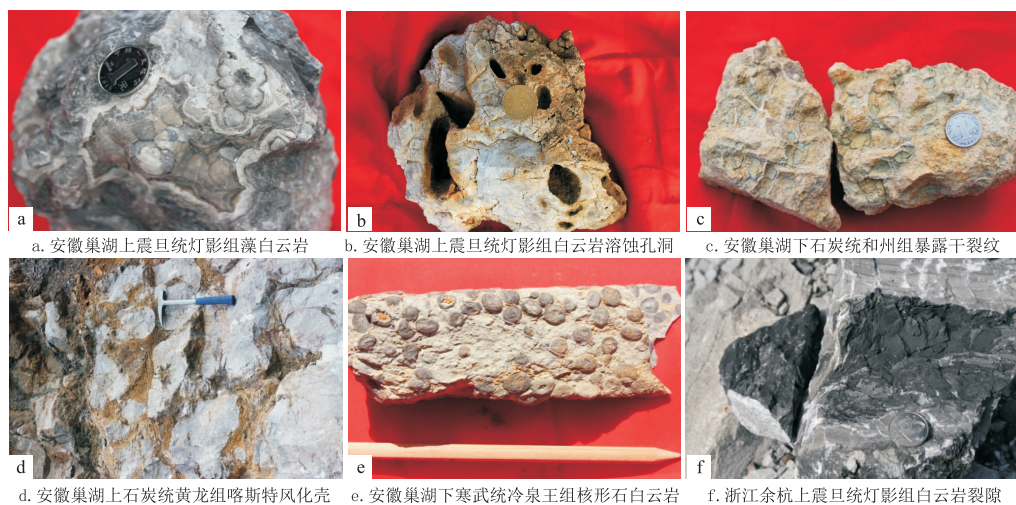


图3 下扬子陆区野外储层露头观察照片

Fig.3 Reservoir outcrops in Lower Yangtze land area

层中也同样发现风化壳。下扬子地区主要发育印支面和海西面2套风化壳。野外露头观测石炭系存在风化剥蚀面,发育暴露干裂纹、龟裂纹(图3c);黄龙组顶面观测到喀斯特风化壳,溶蚀缝被泥质充填(图3d)。南黄海 CZ35-2-1 井栖霞组风化壳比较薄,只发育地表岩溶带和潜流岩溶带,缺渗流岩溶带。由于高部位活动潜流带存在的可能性,栖霞组风化壳具有巨大的储集潜力。CZ35-2-1 井青龙组风化壳为致密灰白色、浅灰色及灰色灰岩,风化严重且易碎(表2),主要以微晶、细晶结构为主。

3.3 礁滩相储层

四川盆地二叠系长兴组与下三叠统飞仙关组发育礁滩体油气藏(表2),台内礁滩体储量丰度相对较低,台缘带礁滩白云岩储集层物性好、厚度大^[35]。下扬子野外露头观测巢湖汤山下寒武统冷

泉王组含有滩相核形石(图3e)。南黄海盆地青岛坳陷 CZ12-1-1 井石炭系发育礁滩相储层,为生物碎屑灰岩,其船山组属于台地边缘滩相;顶部发育浅灰色细粉晶生物藻团灰岩及灰色生物碎屑细粉晶或泥晶灰岩;中、下部发育褐灰色藻团细粉晶灰岩及深色含生物粉晶灰岩,由此揭示南黄海盆地存在礁滩相储层发育区(图4)。

3.4 裂隙储层

四川盆地裂缝—孔洞型储层的分布受风化岩溶作用影响明显,储层可大面积展布,如威远气田和川中气田^[36]。裂缝孔隙度与储集性能的强弱存在直接关系,1%裂缝孔隙度相当于5%~8%原生孔隙度的储集能力。以下扬子苏北盆地 N11 井、N12 井为例,前者岩石裂缝孔隙度平均约为5%^[31],后者平均为2%,裂缝井段均为优质储层。该类储层的一种见于浙江余杭泰山古油藏,在上震

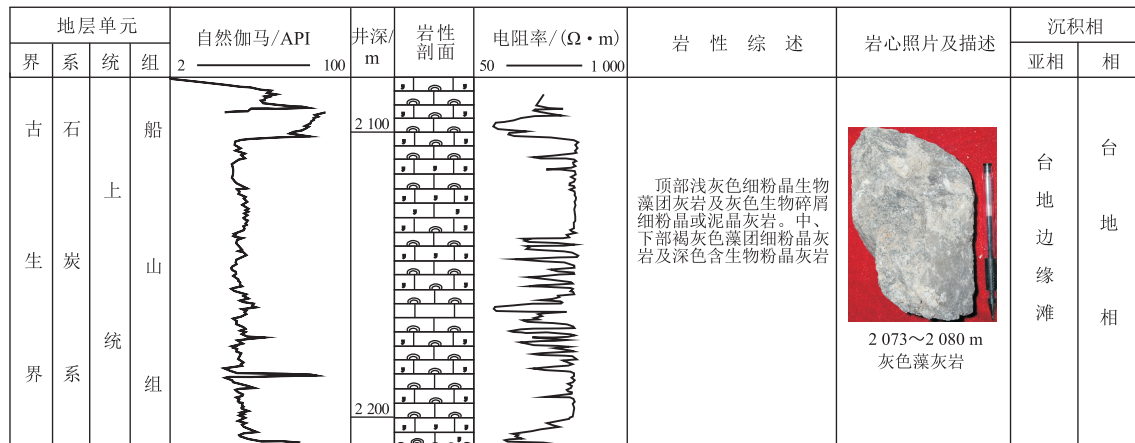


图4 南黄海盆地 CZ12-1-1 井石炭系船山组岩性描述

Fig.4 Petrographic description of Carboniferous Chuanshan Formation from well CZ12-1-1, South Yellow Sea Basin

且统灯影组泥质白云岩中发育裂缝型碳酸盐岩储层,裂隙面富含沥青(图 3f)。虽然南黄海未钻遇该类储层,但陆上裂隙储层发育,苏北黄桥高纯度 CO₂ 主要储集在泥盆系砂岩、二叠系灰岩及三叠系灰岩的裂隙系统中,预测南黄海地区裂隙储层为潜在储层。

4 海相中—古生界生储盖组合特征

4.1 盖层特征

下扬子区的区域封盖条件良好^[40-41],根据海陆对比,南黄海盆地海相中—古生界广泛分布 3 套区域性的盖层:下志留统高家边组、上二叠统龙潭—大隆组和下三叠统青龙组。

(1)下志留统高家边组盖层。下扬子陆域高家边组稳定连片发育,为陆棚相的巨厚泥质盖层,江苏大部分地区泥质岩厚度大于 600 m,其中句容、黄桥地区可达 1 400 m^[11]。

(2)上二叠统龙潭组—大隆组盖层。南黄海上二叠统龙潭—大隆组泥岩具有较好的封盖能力,其中 CZ35-2-1 井钻遇龙潭组 270 m,泥岩含量达 70%;大隆组 115 m,泥岩含量达 93.92%。优质盖层区主要分布于陆棚相带,平面分布连续。

(3)三叠统盖层。南黄海下三叠统青龙组发育较为连续的、厚度大的斜坡—陆棚相泥岩夹泥质灰岩或薄层灰岩,水体稳定,封盖条件较好。在下扬子陆域地区,上三叠统周冲村组主要发育厚度大、均质的膏盐岩,对中生代及古生代油气藏具有良好的封盖作用,其中黄桥地区膏岩层平均厚 247.8 m,南京地区膏岩层平均厚 83.4 m。

4.2 生储盖组合及油气远景

前人虽对南黄海盆地烃源岩、储集层及盖层有了一定的认识,但未对生、储、盖组合进行全面、系统的总结。由于南黄海勘探程度低、钻进较少,本文通过海陆对比,分析认为南黄海海相中—古生界发育 3 套完整的生储盖组合(图 5)。

第 I 组合为下寒武统幕府山组—下志留统高家边组;以下寒武统幕府山组/荷塘组的泥页岩为烃源岩;以中寒武统一—奥陶统的裂隙型及溶蚀型灰岩、生物碎屑灰岩、白云岩为储层;下志留统厚层高家边组泥质岩作为盖层。该组合在四川盆地发现威远、安岳 2 个大型气田。

第 II 组合为下志留统高家边组—上二叠统大隆组;烃源岩为下志留统高家边组泥页岩;以下志留统坟头组、中志留统茅山组、上泥盆统五通组砂岩以及石炭系和州—船山组的白云岩、生物碎屑灰

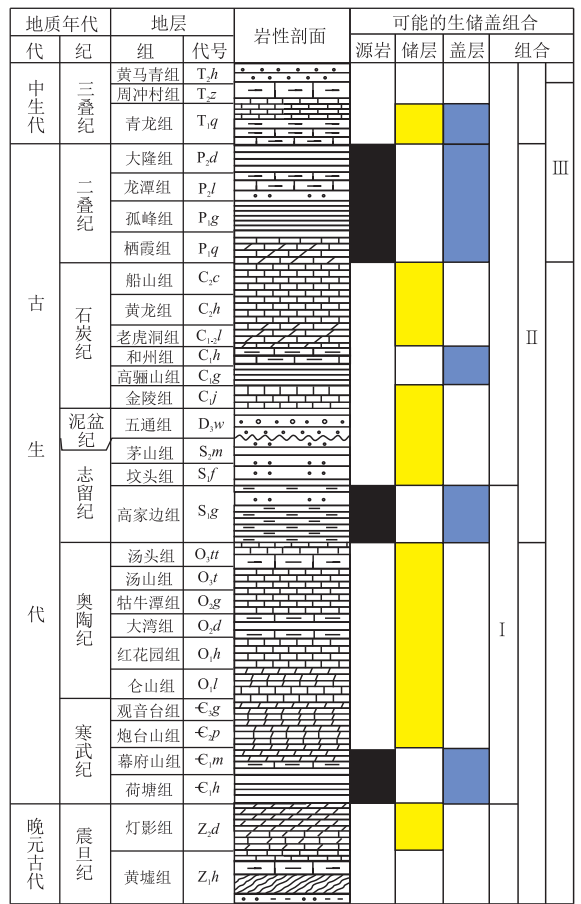


图 5 南黄海盆地海相中—古生界柱状图

Fig.5 Histogram of marine Mesozoic and Paleozoic, South Yellow Sea Basin

岩及裂隙、溶蚀型灰岩为储集层;以下二叠统孤峰组泥岩及上二叠统的龙潭—大隆组的厚层泥岩为盖层。该组合发现的代表性气田为五百梯、卧龙河、沙坪场等大型气田及 26 个中小型气田。

第 III 组合为下二叠统一—下三叠统;烃源岩为下二叠统栖霞组泥灰岩、上二叠统龙潭组及大隆组泥页岩;储层为上二叠统龙潭组碎屑岩和下三叠统青龙组大套白云岩;上三叠统周冲村组膏盐层及下三叠统青龙组泥灰岩层为盖层。在该组合发现普光、龙岗、元坝等特大型气田。

上述 3 套生储盖组合可以类比四川盆地,南黄海发育扬子陆区已发现的典型油气藏的成藏层位,具有很好的油气前景。

5 结论

(1)南黄海盆地海相中—古生界主要发育二叠系龙潭—大隆组、下二叠统栖霞组、下志留统高家边组和下寒武统荷塘组/幕府山组 4 套烃源岩,与扬子区陆域(四川盆地、苏北盆地)烃源岩特征相似,南黄海盆地海相地层具有较好的油气潜力。

(2) 苏北—南黄海盆地海相中—古生界储集层以碳酸盐岩为主,发育白云岩孔隙储层、礁滩相储层、风化壳储层和裂隙储层4种类型,南黄海地区震旦—寒武系白云岩储层和石炭系、三叠系礁滩相储层为重点储层目标。

(3) 南黄海盆地海相地层发育3套区域盖层:下志留统高家边组、上二叠统龙潭—大隆组和下三叠统青龙组盖层。南黄海海相中—古生界发育3套完整的生储盖组合,具有很好的油气远景。

参考文献:

- [1] 庞玉茂,张训华,肖国林,等.上下扬子构造演化及叠合盆地油气地质条件对比[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(1):133-142.
Pang Yumao,Zhang Xunhua,Xiao Guolin,et al.Comparative study of tectonic evolution and petroleum geological conditions of typical superimposed basins in Upper and Lower Yangtze Block[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2016,36(1):133-142.
- [2] 张鹏辉,陈建文,梁杰,等.南黄海盆地海相储层成岩作用与储层发育特征[J].海洋地质前沿,2016,32(1):35-42.
Zhang Penghui,Chen Jianwen,Liang Jie,et al.Diagenesis and characteristics of the marine reservoirs in the South Yellow Sea Basin[J].Marine Geology Frontiers,2016,32(1):35-42.
- [3] 徐旭晖,周小进,彭金宁.从扬子地区海相盆地演化改造与成藏浅析南黄海勘探方向[J].石油实验地质,2014,36(5):523-531.
Xu Xuhui,Zhou Xiaojin,Peng Jinning.Exploration targets in southern Yellow Sea through analysis of tectono-depositional evolution and hydrocarbon accumulation of marine basin in Yangtze area[J].Petroleum Geology and Experiment,2014,36(5):523-531.
- [4] 吴志强,陆凯,闫桂京,等.南黄海前新生代油气地球物理勘探方法[J].海洋地质动态,2008,24(8):1-7.
Wu Zhiqiang,Lu Kai,Yan Guijing,et al.Geophysical exploration methods of early Cenozoic oil gas in South Yellow Sea[J].Marine Geology Letters,2008,24(8):1-7.
- [5] 陈建文,龚建明,李刚,等.南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力巨大[J].海洋地质前沿,2016,32(1):1-7.
Chen Jianwen,Gong Jianming,Li Gang,et al.Great resources potential of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin[J].Marine Geology Frontiers,2016,32(1):1-7.
- [6] 李慧君.南黄海盆地海相中—古生界构造区划[J].海洋地质前沿,2014,30(10):8-13.
Li Huijun.The tectonic division of the Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(10):8-13.
- [7] 袁勇,陈建文,张银国,等.南黄海盆地崂山隆起海相中—古生界构造地质特征[J].海洋地质前沿,2016,32(1):48-53.
Yuan Yong,Chen Jianwen,Zhang Yinguo,et al.Geotectonic features of the marine Mesozoic-Paleozoic on the Laoshan uplift of the South Yellow Sea Basin[J].Marine Geology Frontiers,2016,32(1):48-53.
- [8] 蔡乾忠.中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(1):7-24.
Cai Qianzhong.Corresponding division of geotectonic units of Eastern

China and Korea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15(1):7-24.

- [9] 欧阳凯,张训华,李刚.南黄海中部隆起地层分布特征[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(1):59-66.
Ouyang Kai,Zhang Xunhua,Li Gang.Characteristics of stratigraphic distribution in the middle uplift of South Yellow Sea [J].Marine Geology & Quaternary Geology,2009,29(1):59-66.
- [10] 姚永坚,冯志强,郝天珧,等.对南黄海盆地构造层特征及含油气性的新认识[J].地质学前沿,2008,15(6):232-240.
Yao Yongjian,Feng Zhiqiang,Hao Tianyao,et al.A new understanding of the structural layers in the South Yellow Sea Basin and their hydrocarbon-bearing characteristics [J].Earth Science Frontiers,2008,15(6):232-240.
- [11] 陈建文.南黄海前第三系油气前景研究成果报告[R].青岛:青岛海洋地质研究所,2009:20-100.
Chen Jianwen.The pre Tertiary oil and gas prospects research of South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology,2009:20-100.
- [12] 祁江豪.南黄海盆地中、古生界构造演化及与四川盆地对比分析[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
Qi Jianghao.Mesozoic-Paleozoic tectonic evolution in the South Yellow Sea Basin and the comparative analysis with Sichuan Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- [13] 马永生.中国海相油气勘探[M].北京:地质出版社,2007:231-260.
Ma Yongsheng.Chinese marine oil and gas exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House,2007:231-260.
- [14] 魏国齐,刘德来,张林,等.四川盆地天然气分布规律与有利勘探领域[J].天然气地球科学,2005,16(4):437-442.
Wei Guoqi,Liu Delai,Zhang Lin,et al.The exploration region and natural gas accumulation in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience,2005,16(4):437-442.
- [15] 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.
Xu Shenglin,Chen Hongde,Chen Anqing,et al.Source rock characteristics of marine strata, Sichuan Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2011,41(2):343-350.
- [16] 高林,周雁.中下扬子区海相中—古生界烃源岩评价与潜力分析[J].油气地质与采收率,2009,16(3):30-33.
Gao Lin,Zhou Yan.Evaluation and potential analysis on source rocks in Mesozoic and Paleozoic marine sequence, middle-lower Yangtze area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3):30-33.
- [17] 李艳霞,林娟华,龙幼康,等.中扬子地区下古生界海相泥—页岩含气勘探远景[J].地质通报,2011,30(2/3):349-356.
Li Yanxia,Lin Juanhua,Long Youkang,et al.Exploration prospect of gas-bearing marine mudstone-shale in Lower Palaeozoic in the central Yangtze area, China [J]. Geological Bulletin of China,2011,30(2/3):349-356.
- [18] 祁江豪,温珍河,张训华,等.南黄海地区与上扬子地区海相中—古生界岩性地层对比[J].海洋地质与第四纪地质,2013,33(1):109-119.

- Qi Jianghao, Wen Zhenhe, Zhang Xunhua, et al. Lithostratigraphic correlation of Mesozoic and Palaeozoic marine strata between South Yellow Sea and Upper Yangtze region[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(1): 109-119.
- [19] 张银国, 梁杰, 杨艳秋. 南黄海海相中、古生界油气资源战略选区评价[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2009: 58-79.
- Zhang Yinguo, Liang Jie, Yang Yanqiu. Paleozoic oil and gas resource evaluation of strategic constituencies in South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2009: 58-79.
- [20] 蔡峰, 熊斌辉. 南黄海海域与下扬子地区海相中—古生界地层对比及烃源岩评价[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(6): 1-6.
- Cai Feng, Xiong Binhui. Comparison of marine Mesozoic-Paleozoic strata and hydrocarbon source rocks in the South Yellow Sea and Lower Yangtze area[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(6): 1-6.
- [21] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南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.
- [22] 向鼎璞. 四川盆地油气藏主要特征[J]. 石油实验地质, 1992, 14(4): 359-371.
- Xiang Dingpu. On the characteristics of the oil/gas pools in the Sichuan Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1992, 14(4): 359-371.
- [23] 黄良汉. 中扬子海相高演化区生油岩特征及评价标准[J]. 江汉石油科技, 1992, 2(4): 6-10.
- Huang Lianghan. The middle Yangtze marine high evolution and source rock evaluation standard[J]. Jianghan Petroleum Science and Technology, 1992, 2(4): 6-10.
- [24] 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.
- 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, 2007, 29(3): 15-19.
- [25] 彭金宁, 刘光祥, 罗开平, 等. 中扬子地区下寒武统烃源岩横向分布及主控因素分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2009, 24(6): 17-20.
- Peng Jinning, Liu Guangxiang, Luo Kaiping, et al. Transverse distribution of Lower Cambrian hydrocarbon source rocks in the middle Yangtze region and its major control factors[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science), 2009, 24(6): 17-20.
- [26] 张云霞. 中上扬子地区二叠系烃源岩评价与油气生成[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(2): 16-19.
- Zhang Yunxia. Permian hydrocarbon source rock evaluation and hydrocarbon generation in middle-upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2014, 28(2): 16-19.
- [27] 刘光祥. 中上扬子北缘中古生界海相烃源岩特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 490-495.
- Liu Guangxiang. Characteristics of middle Palaeozoic marine source rock in the north margin of middle and upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 490-495.
- [28] 张银国, 陈清华, 陈建文, 等. 下扬子海相中—古生界烃源岩发育的控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 8-12.
- Zhang Yinguo, Chen Qinghua, Chen Jianwen, et al. Controlling factors on the Mesozoic-Paleozoic marine source rocks in the lower Yangtze platform [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 8-12.
- [29] 梁杰, 张银国, 董刚, 等. 南黄海海相中—古生界储集条件分析与预测[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(5): 101-108.
- Liang Jie, Zhang Yinguo, Dong Gang, et al. A discussion on marine Mesozoic-Paleozoic reservoirs in South Yellow Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(5): 101-108.
- [30] 吴淑玉, 陈建文, 梁杰, 等. 南黄海海相中—古生界碳酸盐岩储层特征及成藏模式: 对比四川盆地和苏北盆地[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 13-21.
- Wu Shuyu, Chen Jianwen, Liang Jie, et al. Characteristics of Mesozoic-Paleozoic marine carbonate reservoir in the South Yellow Sea Basin and hydrocarbon accumulation: Comparison between the Sichuan Basin and the Subei Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 13-21.
- [31] 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.
- Xu Hong, Wang Guoshou. Hydrocarbon exploration in Subei Basin and Mesozoic-Paleozoic reservoir system research in Low Yangtze area [J]. Marine Geology Letters, 2008, 24(2): 21-27.
- [32] 王兴志, 穆曙光, 方少仙, 等. 四川盆地西南部震旦系白云岩成岩过程中的孔隙演化[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 549-554.
- Wang Xingzhi, Mu Shuguang, Fang Shaoxian, et al. Evolution of porosity in the process of Sinian dolostone diagenesis in Southwest Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 549-554.
- [33] 刘树根, 宋金民, 赵异华, 等. 四川盆地龙王庙组优质储层形成与分布的主控因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(6): 657-670.
- Liu Shugen, Song Jinmin, Zhao Yihua, et al. Controlling factors of formation and distribution of Lower Cambrian Longwangmiao Formation high-quality reservoirs in Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2014, 41(6): 657-670.
- [34] 罗贝维, 贾承造, 魏国齐, 等. 四川盆地地震旦统灯影组风化石古岩溶特征及模式分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(3): 8-19.
- Luo Beiwei, Jia Chengzao, Wei Guoqi, et al. Characteristics and models of weathering paleo-karst in Upper Sinian, Sichuan Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2015, 39(3): 8-19.
- [35] 邹才能, 徐春春, 汪泽成, 等. 四川盆地台缘带礁滩大气区地质特征与形成条件[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 641-651.
- Zou Caineng, Xu Chunchun, Wang Zecheng, et al. Geological characteristics and forming conditions of the large platform margin reef-shoal gas province in the Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(6): 641-651.

Province[J].Acta Sedimentologica Sinica,2006,24(1):56-67.

[25] 杨生超,邱隆伟,刘魁元,等.渤海湾盆地济阳拗陷邵家洼陷沙四段湖相碳酸盐岩储层特征与分类评价[J].天然气地球科学,2016,27(4):628-638.
Yang Shengchao, Qiu Longwei, Liu Kuiyuan, et al.Characteristics and classification and evaluation of lacustrine carbonate reservoir of the fourth member of Shahejie Formation of Shaojia Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J].Natural Gas Geoscience, 2016, 27(4):628-638.

[26] 彭传圣.湖相碳酸盐岩有利储集层分布:以渤海湾盆地沾化凹陷沙四上亚段为例[J].石油勘探与开发,2011,38(4):435-443.
Peng Chuansheng.Distribution of favorable lacustrine carbonate reservoirs: A case from the upper Es₄ of Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(4):435-443.

[27] 王广利,王铁冠,张林晔.济阳拗陷渤南洼陷湖相碳酸盐岩成烃特征[J].石油学报,2007,28(2):62-68.
Wang Guangli, Wang Tieguan, Zhang Linye.Hydrocarbon-generation characteristics for lacustrine carbonate source rocks in Bonan Sag of Jiyang Depression[J].Acta Petrolei Sinica,2007,28(2):62-68.

[28] 苏朝光.沾车地区沙四段湖相碳酸盐岩沉积特征及储层物性[J].油气地质与采收率,2010,17(6):20-22.
Su Chaoguang.Study of sedimentary facies and reservoir physical properties on lacustrine carbonate developing in Sha IV member of Zhanche area[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(6):20-22.

[29] 张鹏,苏朝光,张营革,等.车西地区沙四段碳酸盐岩沉积特征及储集性研究[J].新疆石油天然气,2008,4(4):25-28.
Zhang Peng, Su Chaoguang, Zhang Yingge, et al.Sedimentary character and reservoir quality of the Es₄ carbonate reservoir in Che-Xi area[J].Xinjiang Oil & Gas,2008,4(4):25-28.

[30] 黄杏珍,闫存凤,王随继,等.苏打湖型的湖相碳酸盐岩特征及沉积模式[J].沉积学报,1999,17(S):728-733.
Huang Xingzhen, Yan Chunfeng, Wang Suiji, et al.The feature and deposit model of lacustrine carbonate rocks formed in the course of soda lake evolution[J].Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(S):728-733.

[31] 袁剑英,黄成刚,夏青松,等.咸化湖盆碳酸盐岩储层特征及孔隙形成机理:以柴西地区始新统下干柴沟组为例[J].地质论评,2016,62(1):111-126.
Yuan Jianying, Huang Chenggang, Xia Qingsong, et al.The characteristics of carbonate reservoir, and formation mechanism of pores in the saline lacustrine basin: A case study of the Lower Eocene Ganchaigou Formation in western Qaidam Basin [J]. Geological Review, 2016, 62(1):111-126.

[32] 黄成刚,袁剑英,吴梁宇,等.湖相白云岩成因模式及研究方法探讨[J].岩性油气藏,2016,28(2):7-15.
Huang Chenggang, Yuan Jianying, Wu Liangyu, et al, Origin and research methods of lacustrine dolomite [J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(2):7-15.

[33] 王兵杰,蔡明俊,林春明,等.渤海湾盆地塘沽地区古近系沙河街组湖相白云岩特征及成因[J].古地理学报,2014,16(1):65-76.
Wang Bingjie, Cai Mingjun, Lin Chunming, et al.Characteristics and origin of lacustrine dolostone of the Paleogene Shahejie Formation in Tanggu area, Bohai Bay Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 16(1):65-76.

[34] 郭峰.碳酸盐岩沉积学[M].北京:石油工业出版社,2011.
Guo Feng. Cararbonate sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.

[35] 冯增昭.沉积岩石学[M].2版.北京:石油工业出版社,1994:27-35.
Feng Zengzhao. Sedimentary petrology [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994:27-35.

(编辑 徐文明)

(上接第 202 页)

[36] 洪海涛,杨雨,刘鑫,等.四川盆地海相碳酸盐岩储层特征及控制因素[J].石油学报,2012,33(S2):64-73.
Hong Haitao, Yang Yu, Liu Xin, et al.The characteristics and development law of marine carbonate reservoirs in Sichuan Basin, China[J].Acta Petrolei Sinica,2012,33(S2):64-73.

[37] 花彩霞.下扬子句容地区海相上组合油气地质条件评价[J].地质学刊,2014,38(2):200-205.
Hua Caixia.Evaluation on oil and gas geological conditions of upper marine formation assemblage in Jurong area of lower Yangtze area[J].Journal of Geology,2014,38(2):200-205.

[38] 李皓月.苏北盆地中—古生界储集层特征分析[D].长春:吉林大学,2014.
Li Haoyue.Analysis of Mesozoic-Paleozoic reservoirs in Subei Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2014.

[39] 李海滨.下扬子地区早古生代前陆盆地与油气前景分析[D].南京:南京大学,2013.
Li Haibin. Analysis of early Palaeozoic foreland basin and oil and gas prospect [D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.

[40] 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,1998,25(1):4-7.
Guo Nianfa, You Xiaozhong, Liu Defa.Palaeozoic oil and gas geological conditions and exploration area screening in Lower Yangzi region [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(1):4-7.

[41] 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.
Yang Fangzhi, Yan Jizhu, Su Shu'an, et al.Evolution of marine basins and exploration direction estimation of oil and gas in Lower Yangtze areas [J]. Jiangsu Geology, 2001, 25(3):134-141.

(编辑 徐文明)