

南黄海盆地南部坳陷

二叠系烃源岩演化及资源潜力

曹倩¹, 李海华¹, 单帅强¹, 戚家振², 李风勋¹, 王斌¹, 韩或¹

1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;

2. 中国石化上海海洋油气分公司, 上海 200120

摘要: 南黄海盆地南部坳陷二叠系烃源岩已被证实为较好—好烃源岩。为厘清该烃源岩热演化和生烃过程, 在分析近年来古生界油气勘探及研究成果的基础上, 选择合适的地质参数, 利用 TSM 盆地模拟方法, 对其热演化及生排烃过程进行分析, 进而对该区二叠系烃源岩油气资源潜力进行评价。研究表明, 分布在南部坳陷新生代断陷内的二叠系烃源岩经历了两次生排烃过程, 初次生排烃发生在晚三叠世至早侏罗世, 二次生排烃主要发生在古近纪; 而分布在隆起区的二叠系烃源岩只经历了第一次生排烃过程。二叠系烃源岩总资源规模达 20.76×10^8 t, 资源丰度达 12.2×10^4 t/km², 达到中等丰度级别, 能够为油气田的形成提供一定的物质基础。整个南部坳陷二叠系烃源岩二次生烃资源量占总资源量的 30.4%, 而在新生代断陷中, 其二次生烃量占总资源量的比例可达 55%, 因此, 发育二叠系烃源岩及新生界烃源岩的新生代断陷是有利的油气勘探区。

关键词: 烃源岩演化; 生排烃; 资源潜力; 二叠系; 南黄海盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Evolution and resource potential of Permian source rocks in the southern depression of the South Yellow Sea Basin

CAO Qian¹, LI Haihua¹, SHAN Shuaiqiang¹, QI Jiazhen², LI Fengxun¹, WANG Bin¹, HAN Yu¹

1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Petroleum Exploration
and Production Research Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

2. Sinopec Shanghai Offshore Petroleum Company, Shanghai 200120, China

Abstract: The Permian source rocks in the southern depression of the South Yellow Sea Basin have been proved to be fair-good source rocks. Based on the analysis of recent Paleozoic oil and gas exploration and research results, the thermal evolution and hydrocarbon generation process of Permian source rocks was analyzed by selecting appropriate geological parameters and using TSM basin simulation method, and then the potential of oil and gas resources was evaluated. The research shows that the Permian source rocks distributed in Cenozoic fault depression in the southern depression experienced a two-stage hydrocarbon generation and expulsion process. The first hydrocarbon generation and expulsion occurred from the Late Triassic to the Early-Middle Jurassic and the secondary hydrocarbon generation and expulsion mainly occurred in Paleogene. However, the Permian source rocks distributed in the uplift area only experienced the first hydrocarbon generation and expulsion process. The Permian source rocks have a total resource scale of 20.76×10^8 t and a resource abundance of 12.2×10^4 t/km², reaching a medium abundance level, which can provide a certain material basis for the formation of oil and gas fields. The secondary hydrocarbon generation resources of the Permian source rocks in the whole southern depression account for 30.4% of the total resources, but it can reach 55% in the Cenozoic fault depression. The Cenozoic fault depression with Permian source rocks and Cenozoic source rocks developed is a favorable exploration area.

Key words: source rock evolution; hydrocarbon generation and expulsion; resource potential; Permian; South Yellow Sea Basin

历经近 60 年油气勘探, 南黄海盆地迄今仍然是中国近海唯一未获得商业发现的沉积盆地^[1-2]。在

经历了陆相盆地调查与勘探、探索与研究、海相盆地勘查等 3 个阶段后, 中生代海相盆地逐渐成为勘

探及研究的重点^[3-5]。近年来,前人针对南黄海盆地前新生界油气资源潜力进行了分析与预测,取得了一些重要的成果与认识^[6-8],但由于残留盆地地质演化时间长、多期构造运动叠加,造成研究困难,仍存在生烃潜力不清、主成藏期不明等问题,制约了海相油气的勘探进程^[3-4,9-10]。本文在分析近年来古生界油气勘探及研究成果的基础上,利用 TSM 盆地模拟手段,对南黄海盆地南部拗陷二叠系烃源岩的热演化及生排烃过程进行分析,进而对其油气资源潜力进行评价,旨为该区上古生界勘探部署提供依据。

1 地质背景及勘探概况

南黄海盆地不仅是扬子板块在海域的延伸,更是下扬子的主体,其西南部与陆上苏北盆地相连,合称苏北—南黄海盆地。盆地北依苏鲁造山带和千里岩断裂,西临郯庐断裂,南抵江绍断裂,东以南黄海东缘断裂为界,自北向南划分为千里岩隆起、北部拗陷、中部隆起、南部拗陷和勿南沙隆起等 5 个构造单元(图 1a)。南部拗陷北部为 3 个凹陷,中部为凸起,南部为 3 个凹陷(图 1b)。南黄海盆地是一个多期、多类型叠加的残留盆地,广泛发育中、古生界海相地层及中、新生界陆相地层。自震旦纪以来,盆地主要经历了加里东、海西—印支期 2 大构造旋回和 5 个成盆阶段^[11]:Z—O₂为被动陆缘盆地阶段,O₃—S 为前陆盆地和克拉通内拗陷阶段,D—C₁为裂谷和前陆盆地阶段,C₂—P₁为台内断、拗陷盆地阶段,P₂—T₂为拉张断陷盆地阶段。

近年来,中国地质调查局及中海石油(中国)有限公司都先后开展了南黄海盆地油气资源调查,完成了地球物理、地球化学及油气地质综合条件等方面的研究,取得了一些重要成果:(1)通过一系

列攻关,在南黄海盆地中部隆起区获得中、古生界有效地震反射,突破了深部地震资料成像技术瓶颈^[12-14],二叠系地层界面为“2 负+1 正”的界面反射特征;(2)最新科探井——CSDP-2 井揭示,南黄海盆地上、下二叠统发育龙潭组—大隆组和栖霞组—孤峰组 2 套烃源岩层^[8,15-16],进一步证实了南黄海海域中、古生界具备形成大中型油气田的物质基础^[2,6-7,10,17]。

二叠系烃源岩的发育主要受盆地性质及沉积相类型的控制。二叠纪,南黄海盆地以台内拗陷及断陷为主,受区域构造拉张的影响,早、晚二叠世发生 2 期较大规模的海侵,在海侵期发育了有利烃源岩层段^[18-19],下二叠统烃源岩主要为台内拗陷型的碳酸盐岩烃源岩,上二叠统主要发育台内断陷型的泥质烃源岩(图 2)。二叠系烃源岩演化则主要受中生代构造改造的影响,三叠纪末至白垩纪早期的印支—燕山运动导致下扬子地层抬升剥蚀,二叠系烃源岩热演化停止;晚白垩世至新生代的喜马拉雅运动下,受多期拉张断陷的分割及差异升降作用,二叠系呈差异性保存、横向分布不均的面貌,其中断陷区由于新生界地层叠加,二叠系烃源岩重新开启热演化过程,实现二次生烃。

目前,南黄海盆地钻井共计 30 口^[1],其中南部拗陷钻遇中古生界钻井共 4 口(图 1),分别为 CZ24-1-1 井、CZ12-1-1A 井、WX13-3-1 井和 WX5-ST1 井。其中,CZ24-1-1 井仅钻至三叠系青龙组,并在青龙组气测异常;其余 3 口井都钻遇二叠系,其中,CZ12-1-1A 井黄龙组气测异常,其他井都未见油气显示。另外,南部勿南沙隆起 CZ35-2-1 井及中部隆起 CSDP-2 井也都钻遇二叠系,CSDP-2 井在上、下二叠统都有不同级别的油气显示。

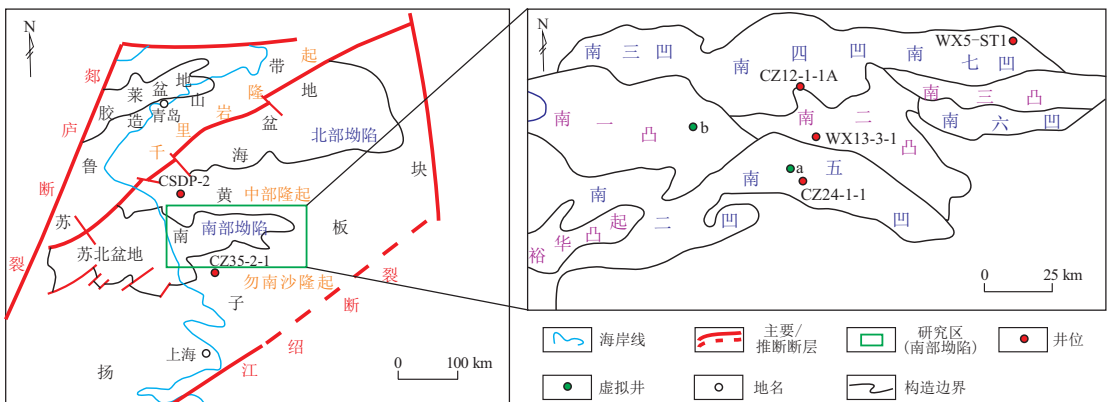


图 1 南黄海盆地构造位置及构造单元划分
据文献[8,12]修改。

Fig.1 Tectonic location and division of structural units of South Yellow Sea Basin

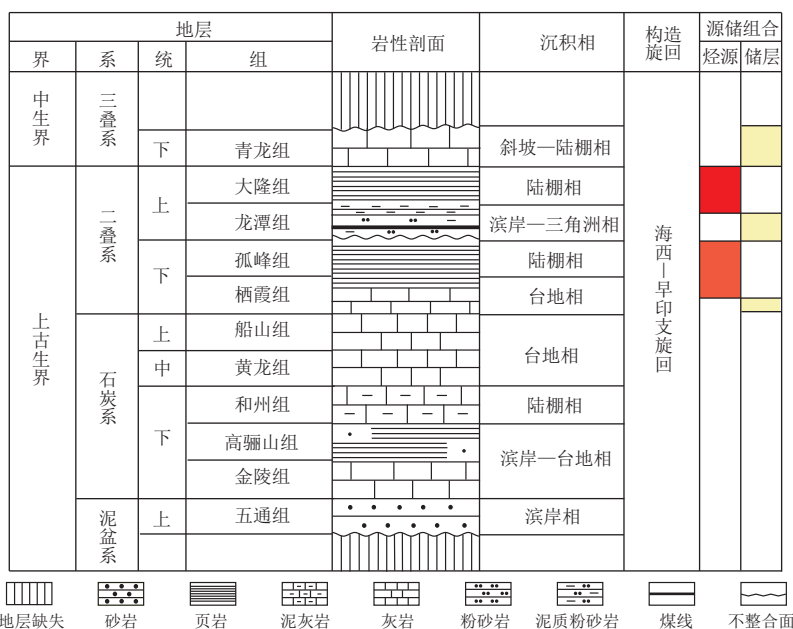


图 2 南黄海盆地上古生界地层综合柱状图

Fig.2 Stratigraphic column of Upper Paleozoic in South Yellow Sea Basin

2 烃源岩评价

2.1 烃源岩沉积环境及展布

由于南黄海盆地仅有少量井钻遇二叠系,对烃源岩分布的研究主要是基于区域沉积环境特征、地震属性信息、少量钻井及海陆域基础资料对比开展的^[20-23]。海西—印支期下扬子南黄海地区整体处于板块离散环境,发生多幕次区域拉张,形成台内断陷以及拉张间歇期转化的台内拗陷,2 种类型盆地并列发育或交互叠加,成为烃源岩发育的主要场所^[24]。

早二叠世,受古特提斯洋扩张、南秦岭海槽开启的影响,下二叠统栖霞组接受了大规模海侵沉积,孤峰期达到顶峰。在下扬子地区发育了范围广阔的碳酸盐台地相、陆棚—盆地相沉积^[20,24-26],并在台地

缓坡区及陆棚—盆地分布区发育了品质较好的碳酸盐岩烃源岩,该套烃源岩广泛分布于下扬子陆域及南黄海南部地区。研究区沉积相类型以台地相—盆地相为主,是烃源岩的有利发育区^[20]。钻井揭示栖霞组以灰色、深灰色、灰黑色灰岩为主,局部夹灰色泥灰岩和黑色页岩;孤峰组厚度较薄,主要为含泥硅质页岩、泥页岩及灰岩。根据钻井及残留地层厚度^[21],结合沉积相特征,绘制了烃源岩厚度图,下二叠统烃源岩的厚度在 100~250 m 左右(图 3a)。

晚二叠世,受南秦岭海槽扩张影响,下扬子地区进入强烈拉张期,发育大面积的北东—南西向台内断陷、断拗转化盆地,沉积相带的展布呈北东—南西向,主要发育陆棚相、潮坪—泻湖—沼泽相等^[22-23]。龙潭组形成于断陷初期,钻井揭示研究区主要发育沼泽相煤层和潮坪—泻湖相暗色泥岩

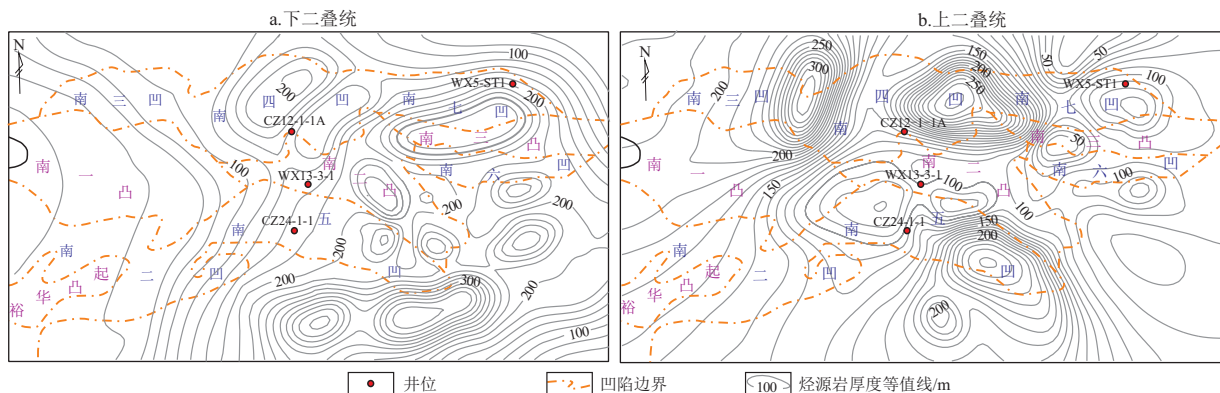


图 3 南黄海盆地南部拗陷二叠系烃源岩厚度分布

Fig.3 Thickness of Permian source rocks in southern depression of South Yellow Sea Basin

夹煤层;大隆组沉积时为断陷扩张期,海平面上升,研究区主要发育陆棚相、盆地相等深水沉积的黑色泥岩、页岩。根据钻井及残留地层厚度^[21],结合沉积相特征,绘制了烃源岩厚度图,上二叠统烃源岩的厚度在100~300 m左右(图3b)。

2.2 烃源岩地化特征

二叠系烃源岩地化分析数据主要来源于研究区的3口钻遇井、勿南沙隆起的CZ35-2-1井及中部隆起的CSDP-2井。这几口井的烃源岩样品指标分析表明,下二叠统烃源岩整体为中等—较好烃源岩。研究区及CZ35-2-1钻井的栖霞组烃源岩75个样品TOC含量为0.05%~2.36%,平均为1.21%^[24];S₁+S₂含量为0.34~1.3 mg/g,平均0.84 mg/g;沥青“A”含量平均为0.09%^[7]。CSDP-2井栖霞组上部碳质泥岩、臭灰岩TOC含量平均为8.06%,S₁+S₂含量平均值为1.475 mg/g^[8]。

烃源岩指标分析还表明,上二叠统烃源岩综合评价为好烃源岩。研究区及CZ35-2-1井龙潭组泥岩及碳质泥岩24个样品TOC含量为0.37%~5.43%,平均为1.57%;S₁+S₂含量为0.89~7.79 mg/g,平均3.09 mg/g;沥青“A”含量平均为0.3%^[7]。大隆组9个泥岩样品TOC含量为0.49%~3.48%,平均为1.75%^[24];S₁+S₂含量为1.29~3.42 mg/g,平均2.71 mg/g;沥青“A”含量平均为0.2%。CSDP-2井龙潭组—大隆组烃源岩TOC含量分布在0.23%~12.41%,平均含量为1.81%;S₁+S₂含量最高值可达2.79 mg/g^[8]。

3 烃源岩热演化史及资源潜力

本次通过盆地模拟的方法对烃源岩的演化及资源潜力进行评价,主要对二叠系烃源岩的埋藏史、热史、生烃史进行了模拟,模拟软件为中国石化石油地质研究所自主研发的TSM盆地模拟系统。与以往资源量的计算不同,本次研究重点关注了二次生烃过程,计算了二次生烃量及资源量。

3.1 盆地模拟关键参数

盆地模拟涉及的参数较多,本次研究主要通过对所掌握资料的梳理,重点分析了对埋藏史、热史及生烃史影响较大的剥蚀量、大地热流、生烃曲线及聚集系数等主要参数。

3.1.1 剥蚀量

南黄海盆地自古生代以来主要经历了2次剥蚀:第一次为中生代印支运动导致三叠系中上部至白垩系下部都被剥蚀,剥蚀厚度较大、范围较广;第二次剥蚀为始新世之后的三垛运动,导致渐新统减

薄,此次剥蚀厚度小、影响范围不大,模拟过程仅考虑第一次剥蚀。

印支期剥蚀厚度的恢复一方面参考了典型井的剥蚀厚度,在部分有三维地震区域则采用趋势法进行恢复。典型井——CSDP-2井剥蚀厚度采用声波时差法、镜质体反射率法、地面趋势法,得到剥蚀厚度为1400 m左右^[27]。CSDP-2井位于中部隆起,印支期遭受剥蚀要明显强于南部坳陷,故南部坳陷的剥蚀厚度推测在1400 m以下。三维地震资料区位于南五凹周边,印支面清楚、较容易识别,剥蚀厚度在800~1000 m左右。总的来看,研究区印支期剥蚀厚度在800~1400 m之间。

3.1.2 大地热流

大地热流是热史模拟过程中的重要参数,本次模拟主要参考了杨树春等^[28]的研究成果。杨树春等首次对南黄海南部盆地古生代以来的热演化史进行了系统研究,利用实测的地温资料和镜质体反射率数据,结合盆地构造沉降量和沉降史对热—构造演化史进行了分析。结果表明,南黄海盆地整个中生代是一个热流升高的过程,中生代末期经历了最高古热流(平均古热流值达106 mW/m²),到新生代早期有一短暂而快速的冷却过程,之后整个新生代均保持相对低的热流状态,虽然有热流变化,但变化的幅度不大。

3.1.3 生排烃曲线

由于研究区研究程度较低,钻井较少,前人并未取到合适的低成熟烃源岩样品进行生排烃的研究。本次模拟借用其他地区的生排烃曲线进行计算。研究区上二叠统烃源岩主要为泥岩,类型从Ⅱ₁型到Ⅲ型都有分布。本次模拟的产烃率曲线及排油曲线都采用了秦建中2005年建立的典型Ⅱ₂型烃源岩产烃率图版来进行模拟(图4)^[29]。下二叠统烃源岩以碳酸盐岩为主,类型以Ⅱ₁型为主,产烃率曲线及排油率曲线都采用了中国石化石油地质研究所2019年利用上扬子广元地区茅口组Ⅱ型泥灰岩样品建立的图版进行模拟(图5)。

3.1.4 聚集系数和排聚系数

本次资源量采用油和气不同计算方法、早期和晚期分别计算的思路。石油资源量由排烃量乘以聚集系数得到,天然气资源量由生烃量乘以排聚系数得到。早期生成的油气在印支期聚集,晚期生成油气在新生代聚集,印支期构造运动比新生代断陷期构造运动要复杂得多,因此早期石油聚集系数应比晚期聚集系数小。借鉴胡芬^[7]对南部坳陷、勿南沙隆起上古生界油气聚集系数的取值(4%~

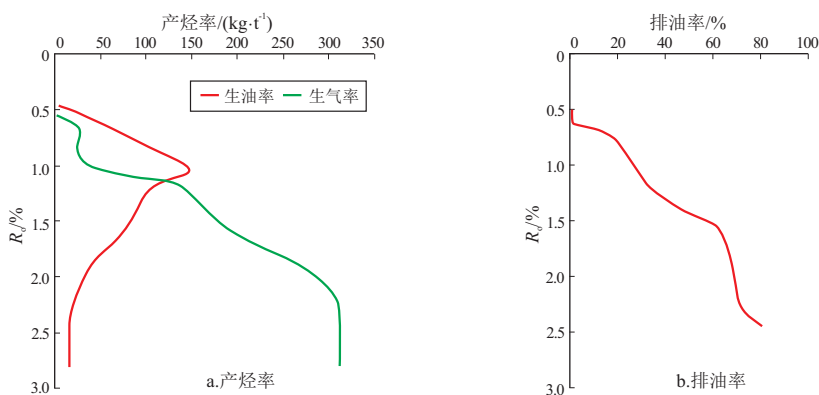
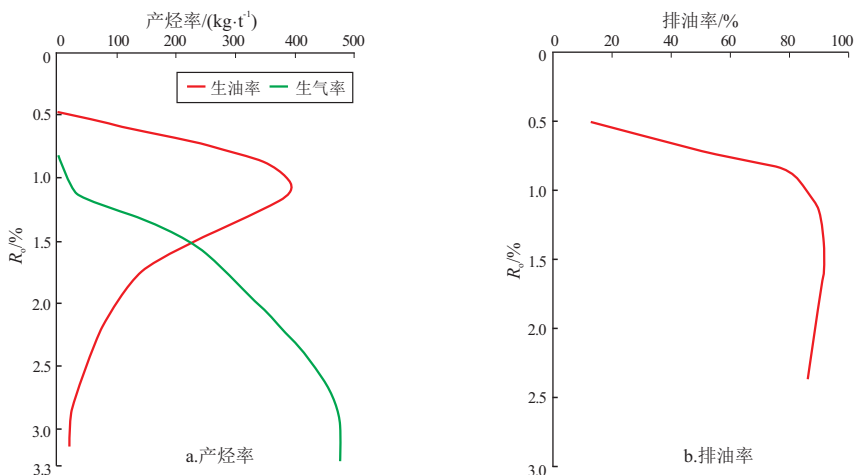
图 4 冀中坳陷廊固凹陷古近系沙河街组 II₂型泥岩产烃率和排油率曲线据秦建中 2005 数据^[29]编制。Fig.4 Hydrocarbon production rate and oil displacement rate curves of type II₂ mudstones in Paleogene Shahejie Formation in Langgu Sag, Jizhong Depression

图 5 四川盆地广元地区二叠系茅口组 II 型泥灰岩样品产烃率和排油率曲线

Fig.5 Hydrocarbon production rate and oil displacement rate curves of type II mudstones in Permian Maokou Formation in Guangyuan area, Sichuan Basin

6%),本次模拟早期生烃的石油聚集系数采用 6%,晚期石油聚集系数为 8%。借鉴了肖国林^[30]对南黄海盆地的天然气排聚系数取值(0.67%~1.14%),又依据全国油气资源评价(2005)标准,南部坳陷早期排聚系数、晚期排聚系数分别赋值为 0.3%和 0.7%。

3.2 盆地模拟结果分析

3.2.1 烃源岩热演化及生排烃史

为了反映不同构造上烃源岩热演化过程,分别在隆起区及断陷区选区了 2 口虚拟井(图 6)进行分析。

断陷区虚拟井的埋藏史表明,经历了二叠纪到中三叠世(约 230 Ma)的持续沉降后,二叠系最大埋深超过 3 km;从三叠纪中晚期到晚白垩世(约 85 Ma)处于持续抬升阶段,三叠系遭受严重剥蚀;晚白垩世之后持续沉降,并沉积了上白垩统和新生界,二

叠系埋深最大超过 8 km。烃源岩的热演化过程受到埋藏史的影响,三叠纪中期,二叠系烃源岩已进入大量生油阶段,埋深最大处可达到生油高峰;之后抬升阶段烃源岩演化停止,一直到晚白垩世(约 85 Ma),二叠系烃源岩再次持续深埋,开始二次生烃,现今已进入高熟阶段,以生气为主。

隆起区虚拟井的埋藏史特征与凹陷中虚拟井有明显的不同,二叠纪到中三叠世处于持续沉降阶段,二叠系最大埋深超过 3 km。三叠纪末之后的抬升一直持续到新生代,直到始新世才开始再次沉降,但是地层未达到早三叠世时的最大埋深。埋藏史的差异也导致了热史的差异,二叠系烃源岩在三叠纪中期达到最大演化阶段,成熟度 R_e 在 1.0% 以下,以生油为主;之后由于地层抬升,二叠系烃源岩未经历二次生烃。

可以看出,南部坳陷二叠系烃源岩只有在发育

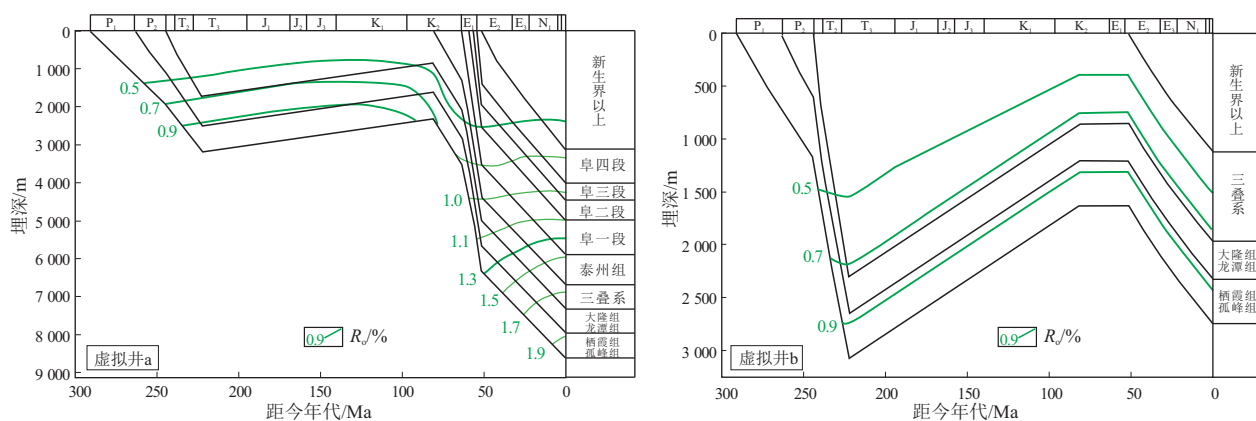


图 6 南黄海盆地南部坳陷虚拟井埋藏史及热史
虚拟井 a, b 位置见图 1。

Fig.6 Burial and thermal history of virtual wells in southern depression of South Yellow Sea Basin

新生代断陷的区域经历了二次生烃,其他隆起区烃源岩只有早期生烃过程。

从阶段排烃量图(图 7)可以看出,上、下二叠统烃源岩都有 2 期主要的排烃过程:第一次排烃主要发生在晚三叠世到早侏罗世(230~200 Ma);第二次排烃主要发生在古近纪(56~23.5 Ma)。

3.2.2 烃源岩资源潜力

本次模拟统计了不同地质历史阶段资源量,以 85 Ma(印支期剥蚀结束)为界,85 Ma 之前为早期生排烃过程,85 Ma 之后为晚期二次生排烃过程。对不同时期不同层位的资源进行统计后,得到南部坳陷二叠系的早期及晚期资源规模及分布(表 1)。

南部坳陷二叠系总资源量为 20.76×10^8 t,资源丰度为 12.2×10^4 t/km²,资源以早期油资源量为主,占总资源量的 69.5%,晚期资源量即二次生烃资源量占总资源量的 30.4%。

南部坳陷二叠系资源丰度可以达到中丰度级别,具有一定的资源基础。另外南黄海盆地作为一个叠合盆地,除了上古生界烃源岩,还发育下古生界、新生界烃源岩。在新生代断陷发育区,其下部发育的二叠系烃源岩存在二次生烃。对南五凹陷二叠系二次生烃资源量进行统计,二次生烃资源量占二叠系总资源量的 55%。可以看出在断陷区,二次生烃资源量占优势。新生代断陷发育区,二叠

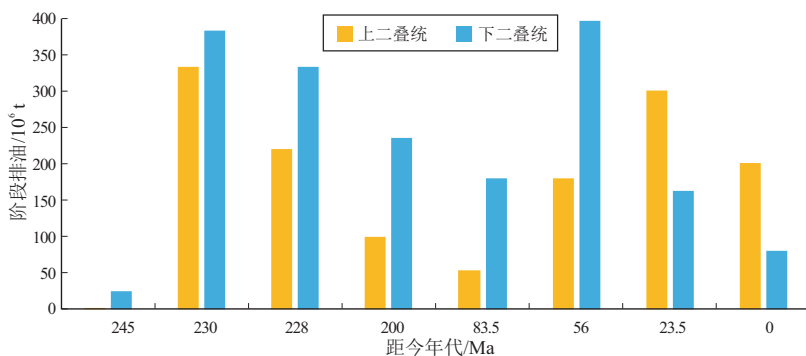


图 7 南黄海盆地南部坳陷二叠系烃源岩阶段排烃量

Fig.7 Hydrocarbon expulsion of Permian source rocks in southern depression of South Yellow Sea Basin

表 1 南黄海盆地南部坳陷二叠系不同时期油气资源量

Table 1 Oil and gas resources in different periods of Permian in southern depression of South Yellow Sea Basin

10⁶ t

层位	油资源量			气资源量			油气资源量合计
	早期油资源量	晚期油资源量	油资源量	早期气资源量	晚期气资源量	气资源量	
上二叠统	652.1	157.0	809.1	1.4	0.8	2.2	811.3
下二叠统	791.0	473.4	1 264.4	0.1	0.5	0.6	1 265.0
共计	1 443.1	630.4	2 073.5	1.5	1.3	2.8	2 076.3

系烃源岩二次生烃资源量叠加新生界烃源岩的资源量,得到的总资源量预计较为可观。因此,在此类断陷中,优选新生界烃源岩有利区进行立体勘探,是下一步勘探的重要方向。而在隆起区,虽然古生界烃源岩不存在二次生烃,但是由于下古生界烃源岩也有一定的资源潜力,因此,寻找古生界烃源岩有利区且保存条件较好的区域是勘探的另一方向。

4 结论

(1)南黄海盆地南部拗陷断陷区二叠系烃源岩经历了二次生排烃过程:第一生排烃发生在晚三叠世—早侏罗世,烃源岩成熟度在 1.0% 以下,以生油为主;第二次生排烃主要发生在古近纪,成熟度较高,以生气为主。

(2)南部拗陷二叠系总资源量为 20.76×10^8 t,资源丰度达 12.2×10^4 t/km²,达到中等丰度级别,能够为油气田的形成提供一定的物质基础。整个南部拗陷的二次生烃资源量占总资源量的 30.4%,但是在新生代断陷中可以达到 55%,因此,对发育新生界烃源岩且在底部叠加二叠系烃源岩的新生代断陷进行多层系立体勘探是有利勘探方向。

参考文献:

- [1] 许红,张海洋,张柏林,等.南黄海盆地 26 口钻井特征[J].海洋地质前沿,2015,31(4):1-6.
XU Hong, ZHANG Haiyang, ZHANG Bolin, et al. Characteristics of the 26 wells from the South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2015, 31(4): 1-6.
- [2] 陈建文,雷宝华,梁杰,等.南黄海盆地油气资源调查新进展[J].海洋地质与第四纪地质,2018,38(3):1-23.
CHEN Jianwen, LEI Baohua, LIANG Jie, et al. New progress of petroleum resources survey in South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018, 38(3): 1-23.
- [3] 马立桥,陈汉林,董庸,等.苏北—南黄海南部叠合盆地构造演化与海相油气勘探潜力[J].石油与天然气地质,2007,28(1):35-42.
MA Liqiao, CHEN Hanlin, DONG Yong, et al. Tectonic evolution of Subei—South Nanhuanhai superimposed basin from the Late Mesozoic to the Cenozoic and marine petroleum potential[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1): 35-42.
- [4] 吴志强,张训华,赵维娜,等.南黄海水相油气勘探前景探讨与问题分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(1):26-38.
WU Zhiqiang, ZHANG Xunhua, ZHAO Weina, et al. Marine oil and gas exploration prospects, problem and strategies in South Yellow Sea[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2019, 49(1): 26-38.
- [5] 梁杰,许明,陈建文,等.印支运动在南黄海盆地的响应及其对

- 油气地质条件的影响[J].地质通报,2021,40(2/3):252-259.
LIANG Jie, XU Ming, CHEN Jianwen, et al. The response of the Indosinian Movement to the South Yellow Sea Basin and its influence on the hydrocarbon geological conditions[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(2/3): 252-259.
- [6] 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.
 - [7] 胡芬.南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力研究[J].海洋石油,2010,30(3):1-8.
HU Fen. Hydrocarbon resources potential study in Mesozoic—Paleozoic marine strata in the South Yellow Sea Basin[J]. Offshore Oil, 2010, 30(3): 1-8.
 - [8] 蔡来星,肖国林,郭兴伟,等.南黄海盆地科学钻探 CSDP-2 井上古生界—中生界烃源岩评价及海相油气勘探前景[J].石油学报,2018,39(6):660-673.
CAI Laixing, XIAO Guolin, GUO Xingwei, et al. Evaluation of Upper Paleozoic and Mesozoic source rocks in well CSDP-2 and marine oil & gas exploration prospect in the South Yellow Sea Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(6): 660-673.
 - [9] 王明健,陈晞,雷宝华,等.南黄海盆地油气勘探现状及存在问题[J].海洋地质前沿,2018,34(11):20-25.
WANG Mingjian, CHEN Xi, LEI Baohua, et al. Current status and problems of oil and gas exploration in South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2018, 34(11): 20-25.
 - [10] 张敏强,漆滨汶,高顺莉,等.南黄海中古生界勘探进展及油气潜力[J].海洋地质前沿,2016,32(3):7-15.
ZHANG Minqiang, QI Binwen, GAO Shunli, et al. New exploration progress and hydrocarbon potential of the Meso—Paleozoic systems in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(3): 7-15.
 - [11] 徐旭辉,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 & Experiment, 2014, 36(5): 523-531.
 - [12] 陈建文,施剑,刘俊,等.南黄海水相中—古生界地震地质条件[J].海洋地质前沿,2016,32(10):1-8.
CHEN Jianwen, SHI Jian, LIU Jun, et al. Seismic geological conditions of the marine Meso—Paleozoic in the South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(10): 1-8.
 - [13] 雷宝华,陈建文,李刚,等.南黄海盆地二叠系地震地质特征与识别[J].海洋地质前沿,2016,32(1):29-34.
LEI Baohua, CHEN Jianwen, LI Gang, et al. Seismic stratigraphic features and recognition of the Permian in the South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 29-34.
 - [14] 陈建文,张异彪,陈华,等.南黄海盆地海相中—古生界地震探测技术攻关历程及效果[J].海洋地质前沿,2021,37(4):1-17.

- CHEN Jianwen, ZHANG Yibiao, CHEN Hua, et al. Research experiences and application of seismic exploration technology to the Mesozoic-Paleozoic marine strata in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(4): 1-17.
- [15] 肖国林, 蔡来星, 郭兴伟, 等. 南黄海中部隆起 CSDP-2 井中—古生界烃源岩精细评价 [J]. *海洋地质前沿*, 2017, 33(12): 24-36.
- XIAO Guolin, CAI Laixing, GUO Xingwei, et al. Detailed assessment of Meso-Paleozoic hydrocarbon source rocks: implications from well CSDP-2 on the central uplift of the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(12): 24-36.
- [16] 张训华, 郭兴伟, 吴志强, 等. 南黄海盆地中部隆起 CSDP-2 井初步成果及其地质意义 [J]. *地球物理学报*, 2019, 62(1): 197-218.
- ZHANG Xunhua, GUO Xingwei, WU Zhiqiang, et al. Preliminary results and geological significance of well CSDP-2 in the central uplift of South Yellow Sea Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2019, 62(1): 197-218.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张银国, 梁杰. 南黄海盆地二叠系至三叠系沉积体系特征及其沉积演化 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2014, 44(5): 1406-1418.
- ZHANG Yinguo, LIANG Jie. Sedimentary system characteristics and their sedimentary evolution from the Permian to Triassic in the Southern Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2014, 44(5): 1406-1418.
- [20] 邱尔康, 杨风丽, 张若愚, 等. 南黄海盆地二叠系地震—沉积相分析及烃源岩分布预测 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3): 96-106.
- QIU Erkang, YANG Fengli, ZHANG Ruoyu, et al. Seismic and sedimentary facies analysis and prediction of favorable Permian source rocks in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3): 96-106.
- [21] 陈建文, 杨长清, 张莉, 等. 中国海域前新生代地层分布及其油气勘查方向 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2022, 42(1): 1-25.
- CHEN Jianwen, YANG Changqing, ZHANG Li, et al. Distribution of Pre-Cenozoic strata and petroleum prospecting directions in China Seas [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2022, 42(1): 1-25.
- [22] 袁勇, 陈建文, 梁杰, 等. 应用多属性聚类分析方法研究南黄海盆地二叠系沉积特征 [J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(10): 44-50.
- YUAN Yong, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Application of multiple attributes cluster analysis to Permian deposits in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(10): 44-50.
- [23] 王明健, 张训华, 王安国, 等. 南黄海盆地南部坳陷二叠系龙潭组—大隆组沉积相 [J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(7): 46-50.
- WANG Mingjian, ZHANG Xunhua, WANG Anguo, et al. Depositional facies of Longtan and Dalong formations in the southern depression of South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(7): 46-50.
- [24] 谭思哲, 陈春峰, 徐振中, 等. 南黄海古生界烃源特征及资源潜力评估 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3): 116-124.
- TAN Sizhe, CHEN Chunfeng, XU Zhenzhong, et al. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potentials of Paleozoic source rocks in the Southern Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3): 116-124.
- [25] 谭思哲, 高顺莉, 葛和平, 等. 南黄海盆地二叠系烃源岩孢粉相特征及其形成环境 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(3): 691-700.
- TAN Sizhe, GAO Shunli, GE Heping, et al. Palynofacies characteristics and formation environment of Permian source rock in South Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2015, 45(3): 691-700.
- [26] 高顺莉, 谭思哲, 陈春峰, 等. 下扬子—南黄海二叠纪岩相古地理特征及油气勘探启示 [J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(4): 53-60.
- GAO Shunli, TAN Sizhe, CHEN Chunfeng, et al. Permian lithofacies paleogeography of the South Yellow Sea area, Lower Yangtze plate and its implications for petroleum exploration [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(4): 53-60.
- [27] 庞玉茂, 郭兴伟, 张训华, 等. 南黄海中部隆起印支面剥蚀量恢复与演化过程: 来自 CSDP-2 井的证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2019, 43(2): 235-245, doi: 10.16539/j.ddgzycxk.2019.02.004.
- PANG Yumao, GUO Xingwei, ZHANG Xunhua, et al. Denudation of indosinian unconformity and tectonic evolution in the central uplift of South Yellow Sea Basin: insights from CSDP-2 well [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2019, 43(2): 235-245.
- [28] 杨树春, 胡圣标, 蔡东升, 等. 南黄海南部盆地地温场特征及热—构造演化 [J]. *科学通报*, 2003, 48(14): 1564-1569.
- YANG Shuchun, HU Shengbiao, CAI Dongsheng, et al. Geothermal field and thermotectonic evolution in southern South Yellow Sea Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2466-2471.
- [29] 秦建中. 中国烃源岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 618.
- QIN Jianzhong. *Source rocks in China* [M]. Beijing: Science Press, 2005: 618.
- [30] 肖国林. 南黄海盆地油气地质特征及其资源潜力再认识 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(2): 81-87.
- XIAO Guolin. Reassessment of petroleum geologic features and potential reserves in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 22(2): 81-87.