



东海陆架盆地南部深部地层格架与油气资源潜力

杨长清, 杨传胜, 杨艳秋, 孙 晶, 王建强, 肖国林, 王 蛟, 袁 勇

Deep stratigraphic framework and hydrocarbon resource potential in the Southern East China Sea Shelf Basin

YANG Changqing, YANG Chuansheng, YANG Yanqiu, SUN Jing, WANG Jianqiang, XIAO Guolin, WANG Jiao, and YUAN Yong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022060602>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

杨长清, 杨传胜, 杨艳秋, 等. 东海陆架盆地南部深部地层格架与油气资源潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(5): 158-171.

YANG Changqing, YANG Chuansheng, YANG Yanqiu, et al. Deep stratigraphic framework and hydrocarbon resource potential in the Southern East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(5): 158-171.

东海陆架盆地南部深部地层格架与油气资源潜力

杨长清^{1,2}, 杨传胜^{1,2}, 杨艳秋^{1,2}, 孙晶^{1,2}, 王建强^{1,2}, 肖国林^{1,2}, 王蛟^{1,2}, 袁勇^{1,2}

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237

2. 青岛海洋科学与技术试点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 266237

摘要: 东海陆架盆地是发育于西太平洋边缘的前中生代克拉通基础上的中、新生代拗陷-断陷-拗陷叠合型盆地, 蕴藏着丰富的油气资源, 但深层(上三叠统—白垩系)由于埋藏深, 区域构造背景、地球物理场、构造演化复杂, 温度场、压力场与应力场变化大, 地质结构改造强烈, 油气成藏过程复杂, 影响了对盆地深层烃源岩与油气生、排、聚潜力综合评价。因此, 本文在利用前人研究成果的基础上, 综合应用钻井、地球物理和浙闽陆域资料, 通过区域地震地质解释和井-震标定, 将东海陆架盆地南部深层划分出上三叠统—中侏罗统、上侏罗统和白垩系3个二级构造层序, 建立了深部层序格架和层序演化序列, 明确了深部主要发育上三叠统—下侏罗统和下白垩统两套受海侵影响或海相泥页岩烃源岩, 提出东海陆架盆地南部深层总生烃能力和平均资源丰度较大, 具有可观的油气资源潜力, 是今后东海深部油气勘探值得探索的重要领域。

关键词: 资源潜力; 构造层序; 深部地层格架; 层序演化; 东海陆架盆地南部

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022060602

Deep stratigraphic framework and hydrocarbon resource potential in the Southern East China Sea Shelf Basin

YANG Changqing^{1,2}, YANG Chuansheng^{1,2}, YANG Yanqiu^{1,2}, SUN Jing^{1,2}, WANG Jianqiang^{1,2}, XIAO Guolin^{1,2}, WANG Jiao^{1,2}, YUAN Yong^{1,2}

1. Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266237, China

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

Abstract: The East China Sea Shelf Basin is an Upper Triassic-Middle Jurassic depression, Upper Jurassic-Cretaceous and Paleogene faulted-depressions, Neogene depression superimposed basin developed on the basis of the Pre-Mesozoic craton with rich hydrocarbon resources. It is located in the South China Block on the southeastern margin of the Eurasian Plate. However, in the deep layers (referring to the Upper Triassic-Cretaceous), due to the deep burial depth, complex regional tectonic background, geophysical field, and tectonic evolution, large changes in temperature fields, pressure fields and stress fields, strong geological tectonic transformation, and complex hydrocarbon accumulation process, a systematic evaluation on source rocks and oil and gas resource potential of the basin has not been carried out. Therefore, on the basis of previous studies, the drilling, seismic, and adjacent onshore data in the Southern East China Sea Shelf Basin (SECSSB) were comprehensively analyzed through regional seismic-stratigraphy and well-seismic calibration, three second-level tectonic sequences in the deep layers of the SECSSB were clarified: the Upper Triassic to Middle Jurassic, the Upper Jurassic, and the Cretaceous. The deep sequence framework and stratigraphic sequence evolution were established. Two sets of transgression-affected or marine shale source rocks mainly develop in the upper Triassic-Lower Jurassic and Lower Cretaceous were clearly pointed out. In addition, it is suggested that the total hydrocarbon generation capacity and average resource abundance in the deep layers of the SECSSB are relatively large and have considerable potential for petroleum resources, and it is an important area worthy of deep stratigraphic exploration for oil and gas exploration in the SECSSB in the future.

Key words: hydrocarbon resource potential; tectonic sequence; deep stratigraphic framework; sequence evolution; Southern East China Sea Shelf Basin

资助项目: 青岛海洋科学与技术试点国家实验室山东省专项经费“中国海域重点盆地发育时空差异及其深部过程”(2021QNLMO20001-1); 中国地质调查项目(DD20190211, DD20221723); 山东省自然科学基金项目“南黄海盆地崂山隆起上二叠统特低渗砂岩致密层表征研究”(ZR2020QD038)

作者简介: 杨长清(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海域油气调查与含油气盆地构造研究, E-mail: yangcq65@126.com

通讯作者: 杨传胜(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海洋地质与构造地质研究, E-mail: yangchuansheng@mail.cgs.gov.cn

收稿日期: 2022-06-06; **改回日期:** 2022-08-02. 周立君编辑

东海陆架盆地南部位于闽浙隆起带以东、钓鱼岛隆褶带以西、海礁隆起以南、台湾海峡盆地以北, 总体呈 NE 走向, 面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是发育于前中生代克拉通基础上的中、新生代拗-断-拗三层叠合型盆地。该盆地自 1974 年以来, 经历了 48 年的油气调查勘探, 已发现了宁波 17-1、残雪、平湖等 17 个新生界油气藏^[1-3], 累计探明油气储量超 3 亿 m^3 油当量^[4]。而深部地层(指上三叠统一白垩系)由于资料少且品质差, 埋藏深, 区域构造背景和地球物理场及构造演化复杂, 温度场、压力场与应力场变化都很大, 地质结构改造强烈, 油气成藏过程复杂, 深层油气勘探面临许多关键科学问题, 主要包括地层格架、多期改造过程与叠加地质结构、盆地动力学演化等基础地质存在不同认识^[5-10], 影响了对盆地深层油气成藏要素与油气资源潜力的评价, 严重制约了深部地层的油气勘探进展与发现。因此, 本文综合利用前期勘探研究成果, 应用东海陆架盆地南部钻测井资料、地震剖面和浙闽隆起陆域调查资料, 通过海陆对比、地震地层解译构建了深层地震地层格架, 探讨了东海陆架盆地南部深层烃源岩特征和油气资源潜力。

1 区域构造背景

东海陆架盆地是华南陆块在东海陆架海域的延伸^[11-12], 是夹持于欧亚板块、太平洋板块与印度-澳大利亚板块之间西太平洋大陆边缘构造域的重要组成部分, 位于华南陆块东南部。其形成和发展遭受太平洋板块俯冲、古特提斯关闭及印度-澳大利亚板块与欧亚板块碰撞、楔入等多重影响^[11,13-14]。

印支期是华南地块海-陆相互转换的重要时期。早、中三叠世总体继承了晚海西期以来的南海北陆的古地理格局。早三叠世时期, 古特提斯洋向东延的边缘海延伸到华南中、东部, 广东、广西及云南南部等地区为海相环境沉积^[15], 粤北、桂西地区发育稳定的浅海台地相碳酸盐岩和细碎屑岩沉积。中三叠世晚期, 华南地块西部继续受特提斯域所控制(以云开古陆为界), 广泛发育海侵, 南盘江盆地发育半深海相沉积^[15-16], 而浙闽隆起则发生海退; 构造走向从 EW 或 NEE 向为主转换为以 NE 向为主, 推断东海中生代逐渐进入古太平洋活动大陆边缘发展时期^[11,17]。晚三叠世—早侏罗世, 随着北部蒙古-鄂霍次克拗拉槽和南部古特提斯洋逐渐关闭, 古太平洋陆块向西北俯冲及新特提斯洋向北扩张而发生海侵, 在南海北部珠江口盆地—台湾海峡

盆地—东海南部形成“东南海盆”, 在粤东—闽西南形成“粤东海盆”^[18], 广泛沉积了一套厚逾千米的滨浅海、海陆交互相碎屑岩地层。中侏罗世末期, 古太平洋板块向欧亚板块的 NW 向俯冲加剧, 中国东部盆地整体挤压抬升, 以陆相沉积或者抬升剥蚀为主, 总体具有差异性隆升特征, 浙闽隆起抬升幅度相对较大, 沉积缺失或遭受剥蚀, 表现为下白垩统长林组角度不整合覆盖于上侏罗统南园组之上, 但构造面貌总体仍以北东向为主。晚白垩世—古新世, 东部地区整体处于应力松弛环境, 先存断层发生区域性反转与拆离, 形成箕状断陷; 古近纪晚期以来, 随着太平洋板块继续向西北欧亚板块俯冲, 中新世弧后扩张, 中国东部形成 NNE、NE 向断层控制的中-新生代断拗叠合盆地。

东海陆架盆地南部深部主要发育 NE-NNE 和 NW 向两组断裂系统, 它们控制盆地中、新生界的平面结构, 形成“东西分带、南北分块”的格局^[19], 而且表现为“早期北东分带、晚期北西分块”的结构演变过程, 呈现出“凹、凸相间”的中生代构造格局, 即“二凹两凸一斜坡”的格架, 自东向西分别为基隆凹陷、台北转折带、闽江斜坡、雁荡低凸起和瓯江断陷(图 1); 垂向剖面上整体表现为中生界和新生界叠置的三层结构: 拗陷、箕状断陷与拗陷结构。

2 深部地层格架

2.1 深部地层层序

构造层序代表同一构造应力背景下所沉积充填的阶段性产物, 是一套以角度不整合面、平行不整合或对应的整合面为标志的地层。从东海陆架盆地南部勘探状况看, 目前有 18 口钻井钻遇深部中生界, 但钻遇中生代地层较全的钻井仅 2 口, 主要揭示了中生代白垩系石门潭组、闽江组、渔山组和侏罗系厦门组与福州组, 沉积环境主要为河流-三角洲-湖泊相、海陆交互相及滨浅海相, 但综合地震剖面地质解释, 福州组之下尚有近千米有效反射, 根据福建西南部和浙江东部中生界野外观察与测量剖面对比(图 2), 推测其发育较厚的上三叠统。

根据对东海陆架盆地南部钻井层序、测井地层与地震地层解析, 通过与浙闽隆起对比及井-震桥式验证, 按地震地层学原理与方法, 东海盆地南部可以划分出 2 个超层序, 其中深部超层序可以划分出 3 个二级构造层序^[20-21](图 3)。地震反射整体具有“大角度倾斜、蚯蚓状、中-低频率、差-中连续性、

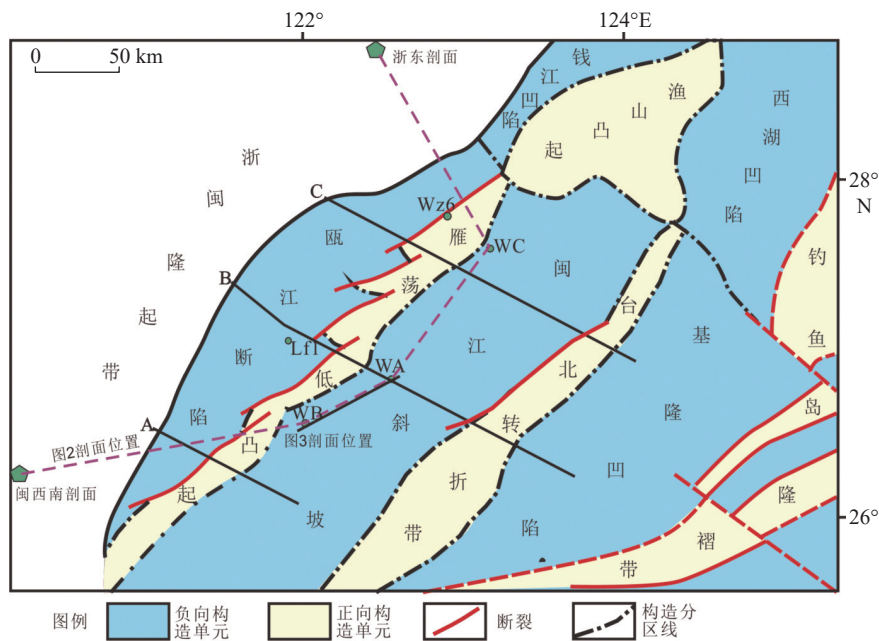


图1 东海陆架盆地南部中生代构造单元划分图

Fig.1 Division map of the Mesozoic tectonic units in the SECSB

高地震层速度”特征,代表该地层受改造强烈,但闽江斜坡地震反射相对清晰,连续性较好。遭受后期剥蚀改造后的残留地层形态仍然具有NE分带性分布,其沉积中心位于基隆凹陷^[22],厚度可达3000~5000 m。

2.1.1 基底特征

根据目前盆地钻井及周缘海域、陆域对比,东海陆架盆地的沉积基底是浙闽隆起出露的深变质岩系向东海海域的延伸,福建平潭岛东山群为早古生代二云(石英)片岩、变粒岩、浅粒岩,局部为混合岩;台湾中央山脉东部出露一套以黑色片岩、绿片岩、石英片岩、大理岩等为主的变质杂岩,夹少量片麻岩、混合岩、角闪岩,同位素年龄200~240 Ma,为华南地块海西—早印支期的变质结晶基底。盆地基底纵向上具有双层结构,既有代表前震旦系的高速(地震层速度约6.8~7.6 km/s)深变质岩系(结晶基底),区内钻遇基底的瓯江断陷Lfl井和Wz6井钻遇元古代黑云母角闪片麻岩^[18], Rb-Sr同位素年龄为1806.3±104.3 Ma,与浙闽隆起陈蔡群(Rb-Sr年龄1830 Ma)和建瓯群(U-Pb年龄1822 Ma)相当;也有地震层速度约为5.8~6.0 km/s,代表上元古界和古生界(加里东旋回与海西旋回)的浅变质岩系,及白垩系火山-侵入岩。SMT井和MYF井钻遇花岗闪长岩, K-Ar绝对年龄70~75 Ma。盆地基底根据重磁推断属于下元古界变质基底,岩性以片麻岩类为主和小范围的火成岩分布,火成岩磁性体活动较弱^[22-23],与浙江陈蔡群和福建麻源群、建甌群

等的岩性相似^[23]。

2.1.2 晚三叠世—中侏罗世

上三叠统一中侏罗统在福建和浙江陆域及冲绳群岛、琉球岛弧内带等地都有分布,主要为深海相放射虫硅质岩、海陆交互相碎屑岩与河湖沼泽相灰色粗复陆屑含煤建造。根据野外地质剖面观测,福建西南部为一套海湾潟湖相与河湖相含煤碎屑岩建造,上三叠统文宾山组不整合于下三叠统溪口组或中二叠统童子岩组,而闽北地区上三叠统焦坑组呈角度不整合覆于下古生界或更老的地层之上,是印支运动在华南大部分地区的反映。早侏罗世在福建南部和广东东北部发育一套滨岸体系和陆架-盆地体系的碎屑岩沉积。

东海陆架盆地南部上三叠统一中侏罗统福州组(T₃-J₂f)为一套滨—浅海相和海陆过渡相沉积。上部为海陆过渡相灰白色细砂岩、粉砂岩与浅灰、灰色、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩呈不等厚互层,含颗石藻、蓝细菌、海绵骨针等超微化石;中部为滨浅海相灰色、灰黑色、黑色泥页岩、粉砂质泥岩夹灰色粉砂岩;下部为滨浅海相的深灰色—灰白色中细砂岩、粉砂岩与薄层灰黑色泥页岩互层夹煤层,底部(未穿)为灰色厚层状细—粗砂岩夹薄层黑色泥岩。地层结构呈向东增厚趋势,显示沉积沉降中心位于基隆凹陷一带。

中侏罗世,海水自广东东部退出,隆升成陆。从野外地质剖面观测来看,福建西南、浙江东部等地主要出露福建的漳平组(J₂z)和浙江的毛弄组

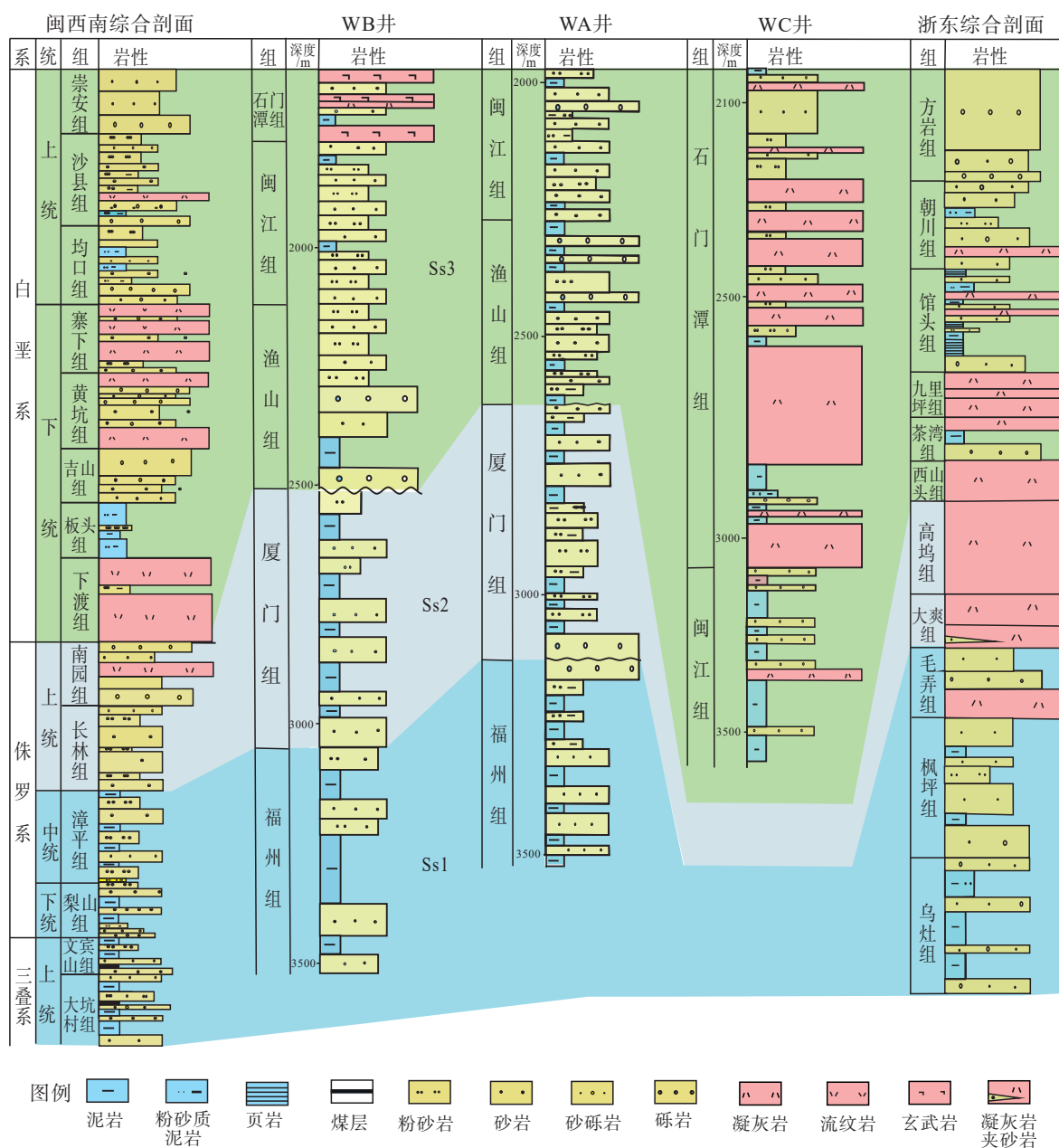


图 2 东海陆架盆地南部及周缘中生界对比图
剖面位置见图 1。

Fig.2 Stratigraphic correlation of the Mesozoic in the SECSSB and its periphery
The section location is shown in Fig. 1.

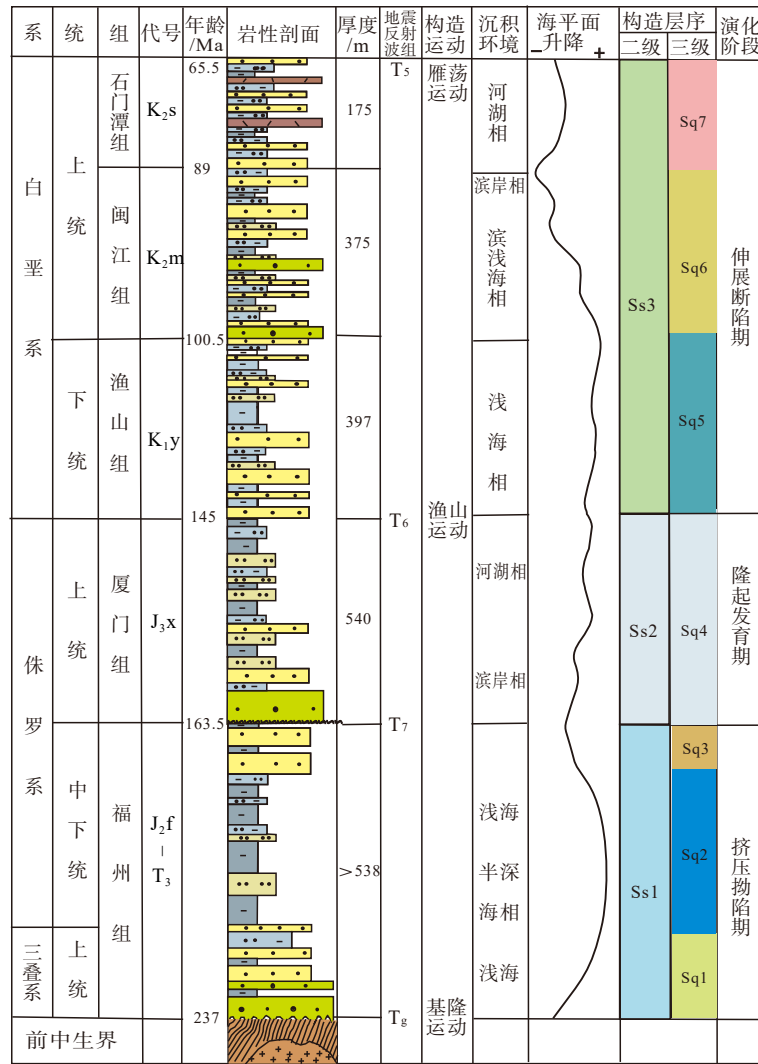
(J₂ml)(图 2), 以紫红色为主的杂色陆相粗碎屑岩的山间湖盆和河流沉积建造, 夹火山碎屑沉积物, 含陆相叶肢介、双壳类及植物化石, 为早侏罗世继承性盆地沉积。

2.1.3 晚侏罗世

晚侏罗世由于古太平洋板块向西北俯冲加剧且角度变陡, 浙闽隆起堆积了一套以灰色为主、中心式喷发火山活动为特色的火山碎屑岩-火山岩系, 岩性以中酸性、酸性火山岩占绝对优势, 火山岩呈大面积连片分布。受北东向断裂控制明显, 以政和-

大埔-海丰断裂为界, 呈北东向带状展布, 西部主要为中基性、酸性侵入岩组合, 伴有双峰式火山岩, 东部以中酸性-酸性火山岩为主, 早期岩性主要为玄武岩、安山岩(玄武安山岩)与流纹岩等组合, 以酸性岩石为主, 中侏罗世晚期以中-酸性火山岩为主, 晚白垩世早期为火山碎屑岩, 上部基性-酸性火山岩, 表现出由南向北喷发强度逐渐增强、规模扩大, 形成厚达 6000 m 的三套侵入岩和两套火山岩。

东海南部海域钻井揭露上侏罗统厦门组(J₃x), 垂向剖面上自下而上具有粗-细-粗韵律序列。上部



图例 泥岩 粉砂质泥岩 粉砂岩 砂岩 砂砾岩 玄武岩

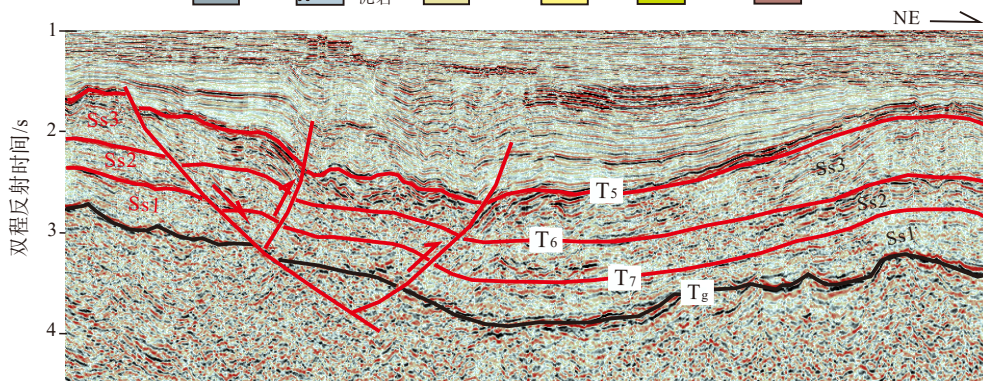


图3 东海陆架盆地南部中生界地震层序划分
地震剖面位置见图1。

Fig.3 Seismic stratigraphic sequence division of the Mesozoic in the SECSSB

The location of the seismic section is shown in Fig. 1.

为河流与三角洲相沉积的褐色、灰褐、棕褐色、棕红色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩与灰白色、杂色砂岩呈不等厚互层；中部主要为薄层细砂岩和厚层泥页岩互层；下段为海陆过渡相或受海侵影响湖

泊相沉积的灰、灰绿色中砂岩与薄层泥页岩互层。

2.1.4 白垩纪

进入白垩纪后，太平洋板块向西北欧亚板块的俯冲加剧。早白垩世晚期，华南地区又开始新一轮

沉降, 东海陆架盆地遭受来自东南方向古西太平洋的海侵^[6,24], 而浙闽隆起带在区域伸展应力背景下产生了大规模的箕状裂隙, 瓯江断陷就是其中一个较大的箕状断陷, 以东东海陆架盆地继续沉降, 沉积范围进一步扩大, 雁荡低凸起范围逐渐缩小, 凸起东部地层呈上超超覆, 南部一带越过雁荡低凸起。

白垩系在广东、福建、浙江陆域等地区都有分布, 早白垩世以正常碎屑岩沉积为主, 举岚、永安、永泰等盆地的坂头组(K_{1b})、浙东的馆头组(K_{1g})、寿昌组(K_{1s})大面积发育灰绿色、灰黑色甚至黑色泥页岩, 且厚度较大, 部分地区含火山碎屑岩、石膏及岩盐, 厚度为 224~2650 m。早白垩世, 海侵/海相依据丰富, 包括海相环境的褐藻和红藻, 海相动物化石菊石、丁丁虫、寿昌中鲚鱼、秀丽华夏鱼、浙东鲔鲚鱼, 还发育丰富的藻叠层石、藻灰结核、鲕粒灰岩、生屑灰岩^[25] 以及发育潮汐沉积构造的石浦灰岩等。

台西南盆地、东海陆架盆地南部、台湾海峡盆地、西南日本内带等地钻遇的下白垩统主要为滨浅海相与海-陆过渡相沉积的砂岩、泥页岩碎屑岩建造。发育 3 个层段: 下白垩统渔山组(K_{1y}) 主要为

一套海陆过渡相灰绿色、红色厚层砾岩、中砂岩与紫红色泥岩互层, 下部为辫状河沉积的杂色厚层砂砾岩夹棕红色泥岩, 见冲刷面, 与下伏厦门组呈假整合接触; 上白垩统闽江组(K_{2m}) 底部以冲积扇沉积的杂色砂砾岩、砾岩为主, 夹褐色泥岩, 下部发育海陆过渡相的灰黄色细砂岩与粉砂岩互层, 中上部发育滨-浅海相、三角洲相灰白色薄层细砂岩和粉砂岩与灰黑色泥岩不等厚互层, 含海相海绿石和丁丁虫, 夹灰黑色泥质纹层、波状层理、平行层理和生物遗迹化石等; 石门潭组(K_{2s}) 主要由下部三角洲相和上部泛滥平原相构成, 上部灰白色、浅灰色粉砂岩、细砂岩与棕褐色、灰色泥岩、粉砂质泥岩互层, 北部发育火山岩, 下部浅棕色、灰白色、浅灰色中细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与棕褐色、灰绿色粉砂质泥岩、泥岩互层夹火山碎屑岩建造。

2.2 深层地震地层格架

以中生界为目的层, 选择剖面结构与波组特征比较清晰、通过深钻并能反映全区深部地层格架的区域地震剖面作为骨干剖面, 根据地震反射终止特征(上超、下超、削截和顶超等)及地震反射标准

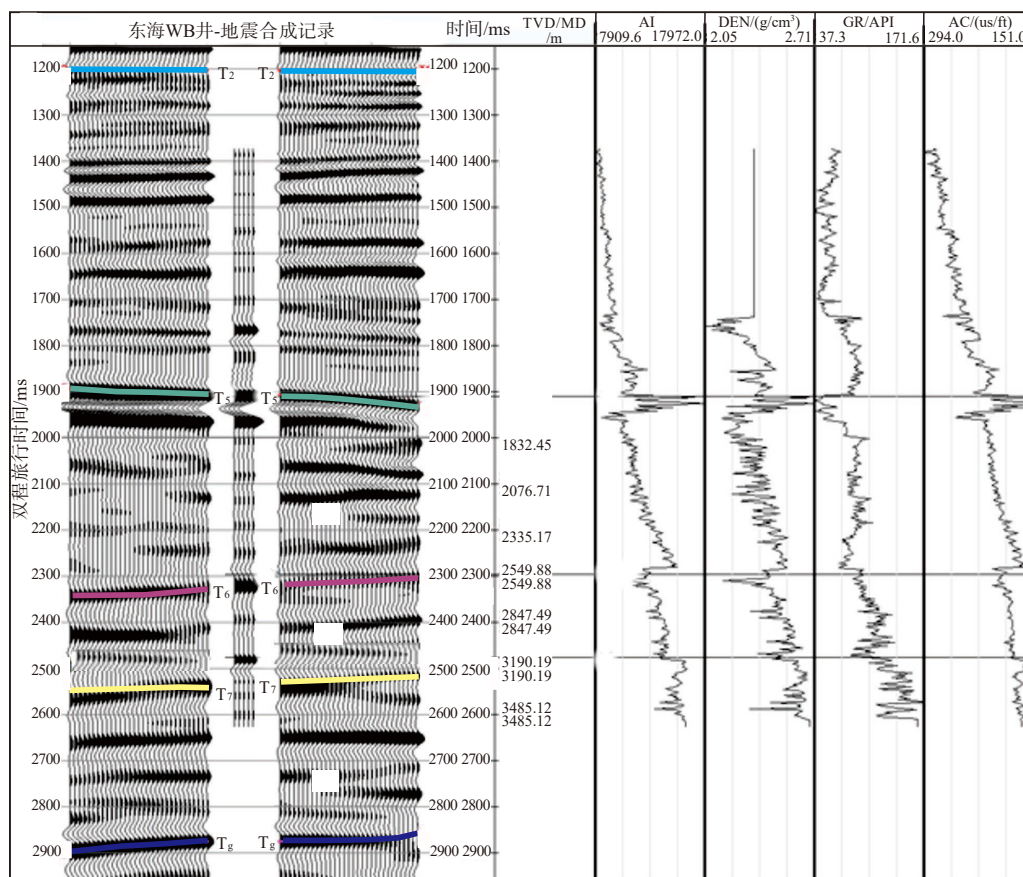


图 4 东海陆架盆地南部钻井-地震合成记录及地震层序划分

Fig.4 Drilling-seismic synthetic records and seismic sequence in the SECSSB

层,在地震反射剖面上识别出中生界 T_5 、 T_6 、 T_7 和 T_8 4个地震反射波组和4套地震层序(图3)。利用区内钻达中生界的最深钻井制作合成地震记录剖面进行钻井-地震层位标定^[26](图4),结合区域地质构造和地震地质对比解释,4个二级地震层序分别对应白垩系、上侏罗统、上三叠统—中侏罗统和沉积基底,之间是以不整合、平行不整合或相应的整合面为界。

2.2.1 基底层序

该层序代表 T_8 波以下的反射层。其顶部为削截不整合接触关系(图3、5)。该层序明显具有双层结构,但内幕反射总体品质差,弱振幅-空白反射,低连续-蚯蚓状,成层性差,部分地区上部存在有高角度的反射层,可能是存在古生代地层所致,但层速度明显高于上覆沉积盖层,推测岩性为变质

岩或火山碎屑岩系反射。

2.2.2 晚三叠世—中侏罗世层序

该层序为 T_7 与 T_8 之间的反射层系,主要发育在闽江斜坡东南部至基隆凹陷,该层序顶、底部为削截不整合或平行不整合接触关系(图3、5)。总体反射结构层次欠丰富,内部反射能量中等—弱,连续性一般—较差,地震反射结构为平行—似平行状—杂乱空白反射,表现为岩性相对均—^[21],闽江斜坡地震反射连续性较好,振幅较强,对应钻遇地层为中、下侏罗统福州组砂砾岩、砂岩、泥岩夹煤层,钻遇厚度401 m,之下尚有未钻遇地层近千米,根据海陆对比,推测未钻遇地层应为上三叠统,相当于浙江上三叠统乌灶组,福建上三叠统文宾山组,以海相泥质岩为主^[27]。

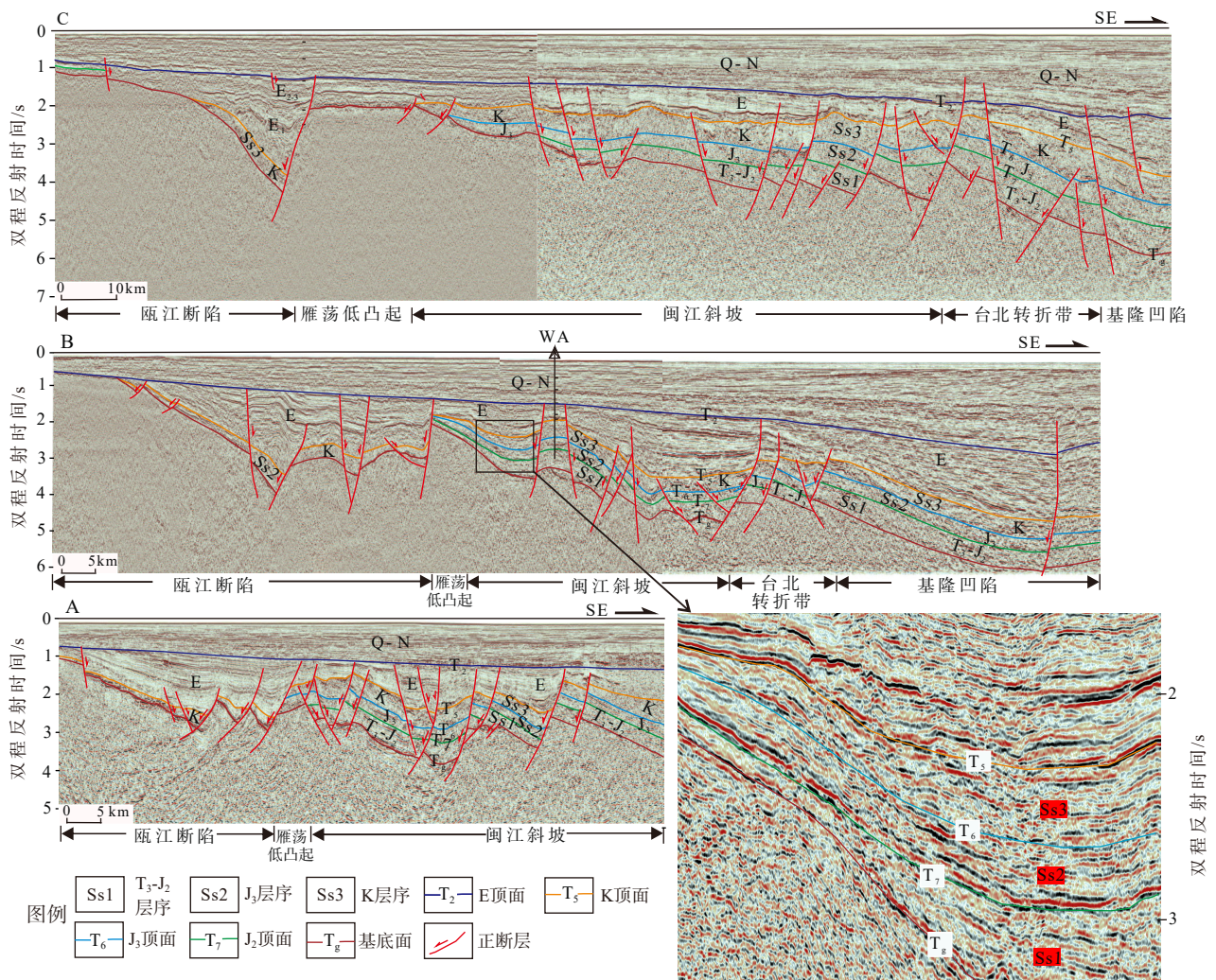


图5 东海陆架盆地南部深部地震地层与中生界分布剖面图
剖面位置见图1。

Fig.5 Deep seismic stratigraphy and distribution profile of the Mesozoic in the SECSB

The section location is shown in Fig. 1.

2.2.3 晚侏罗世层序

该层序为 T_6 与 T_7 之间的反射层系, 主要发育在闽江斜坡至基隆凹陷, 该层序底界接触关系为上超—整合, 由几个反射波组成一套似平行密集反射 (200 ms), 顶部为削截不整合—整合接触关系 (图 5), 地震剖面显示上侏罗统超覆于中侏罗统之上, 说明该时期的盆地沉积范围更广。地震内部反射结构总体不均, 有楔状—平行—似平行状—杂乱, 反射能量中等—弱, 波组连续性一般—较差, 西部闽江斜坡反射质量相对较好。对应钻遇地层为中侏罗世厦门组 (J_{3x}) 海陆过渡相或受海侵影响的湖泊相杂色碎屑岩层。

2.2.4 白垩纪层序

该层序为 T_5 与 T_6 之间的反射层系, 基本上全区都有分布, 瓯江断陷仅发育上白垩统, 顶部削截型不整合, 底部为上超或底超接触关系。该层序地震反射外部形态为似席状—楔状, 主要由一组低频、中—弱振幅、断续—连续、内部结构亚平行—波状反射组成。在斜坡带部位主要发育中强振幅、高连续、中—低频、平行席状充填地震反射, 中

部发育中强振幅、中连续、前积反射充填地震反射, 在靠近断层一侧, 主要发育中振幅、中连、低频、亚平行席状充填地震反射。对应钻遇地层包括下白垩统海陆过渡相渔山组 (K_{1y}) 和上白垩统滨—浅海相—河流相闽江组 (K_{2m}) 及石门潭组 (K_{2s})。

2.3 深层层序演化

通过钻井揭示和地震剖面解释, 中生代地层广泛分布于基隆凹陷、台北转折带、闽江斜坡、雁荡低凸起南部和瓯江断陷, 但不同构造单元中生代地层分布和残留厚度极不均匀, 南部分布广, 厚度大, 最大残留厚度达 6500 m, 往北沉积规模越来越小, 中生界残留厚度越来越薄; 西部瓯江断陷残留厚度小, 仅残留少量上白垩统, 而东部发育较全, 厚度较大, 最大厚度可达 7000 m, 沉积、沉降中心均位于基隆凹陷^[28] (图 6)。

根据东海陆架盆地南部深部层序界面类型、构造层序的空间展布、叠置关系及地震层序发育特征, 可以总结出该区深部中生代历经拗陷期、隆起期和断陷期 3 个相互继承的沉积充填演化阶段。

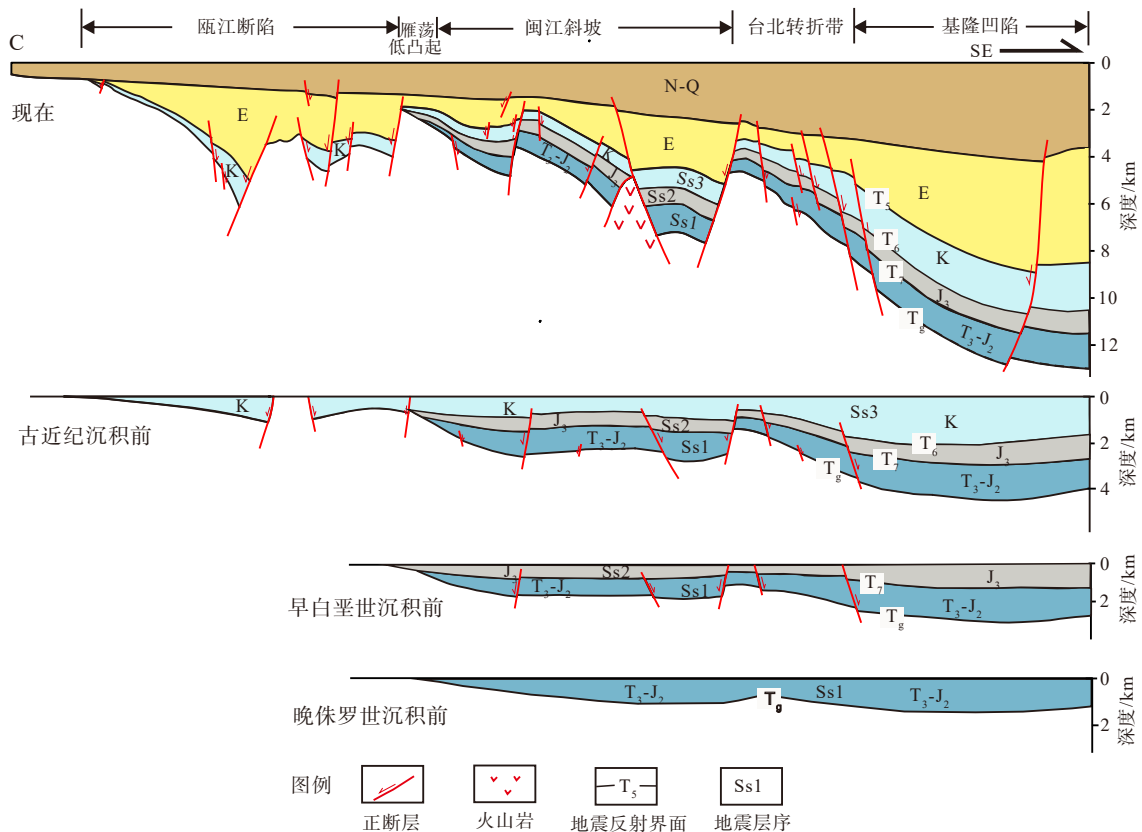


图 6 东海陆架深部地震地层格架演化图
剖面位置见图 1。

Fig.6 Evolution of deep stratigraphic framework in the SECSSB

The section location is shown in Fig. 1.

拗陷期(晚三叠世—中侏罗世):晚三叠世随着古特提斯海关闭,伊泽奈崎板块以低角度向北西方向欧亚板块俯冲,受此影响,盆地东缘基底地层遭受俯冲挤压形成陆缘隆起或增生楔,成为盆地东部物源区,后缘东海陆架盆地发生挠曲沉降,而瓯江断陷—雁荡低凸起—浙闽隆起应该为一个整体抬升的前陆隆起,成为古剥蚀区,也是中生代东海陆架盆地南部西缘主要物源区^[7]。沉积了一套热带气候、温暖潮湿的近海河湖相含煤地层。此时台北低凸起尚未形成,可能仅仅是一水下低隆起,闽江凹陷—基隆凹陷是一个稳定的向东倾斜的斜坡,具有东海西陆的格局^[7],形成了一套从西至东河湖相、滨浅海三角洲相、半深海相的沉积格局。与西缘浙闽沿海相似,此时没有明显的岩浆活动,沉积层序由基隆凹陷向两侧超覆,盆地构造样式总体表现为“凹陷”或单斜,盆地类型属于挤压拗陷型盆地或前陆拗陷。到中侏罗世末期,由于燕山 I 幕强烈的构造活动,整个华南大幅度抬升,海水逐渐向东、向南退却,使上侏罗统不整合覆盖于早期沉积中—下侏罗统之上。

隆起期(晚侏罗世):经历中侏罗世末期抬升剥蚀后,晚侏罗世浙东南区主要由磨石山群构成,为中酸性—酸性岩浆火山喷发堆积和河湖相沉积,岩性由中酸性、酸性火山岩和火山碎屑岩及砂岩、粉砂岩、泥岩组成(图 2),不整合于中侏罗世毛弄组或乌灶组、枫坪组和前震旦纪变质岩系之上。东海陆架盆地南部晚侏罗世厦门组主要发育一套干旱气候条件下的陆内盆地河流—湖泊相碎屑沉积。雁荡低凸起也开始慢慢发育,逐渐形成一个水下低凸起,南部接受了少量河湖相碎屑岩沉积。

断陷期(白垩纪):受太平洋板块向北西俯冲的速度加快和角度变陡及板块俯冲回撤的影响^[11],华南地区发生区域性沉降和大规模岩浆活动,东海陆架盆地在区域伸展应力背景下产生拉张变形,形成多个次级地堑、半地堑类型组合。东海盆地继续扩张,沉积范围逐渐向西扩大。瓯江断陷是浙闽隆起上受到雁荡西断裂和灵峰断裂控制的双箕状断陷盆地,接受来自浙闽隆起及灵峰断凸的陆源碎屑,沉积了一套陆源碎屑为主的冲积扇—三角洲—滨浅湖碎屑岩建造;闽江斜坡—台北转折带—基隆凹陷继承性发育,强烈沉降,呈现长期的裂谷地貌特征,主要发育以海相和海陆过渡相为主的含煤碎屑岩沉积。

之后,古新世时东海陆架盆地南部主要继承晚白垩世沉积格局,受区域构造控制,早期沉积沉降

中心都位于瓯江断陷,最大沉积厚度超过 4000 m,闽江凹陷缺失下古新统,晚期上古新统全区广泛沉积^[27],总体发育两个断阶式的箕状断陷盆地,沉积了以浅海相为主的古新统碎屑岩建造。

3 深层油气资源潜力

勘探实践证明,中生界油气资源潜力巨大,据不完全统计目前中国东南海域及周边环西太平洋地区 30 个中-新生代盆地(包括东北亚、印度尼西亚、泰国和澳大利亚北部等)中有 22 个盆地具备生烃能力,其中 16 个盆地发现了油气田^[18,29],而且各盆地都是油气勘探的热点地区。目前东海陆架盆地南部中生界油气勘探程度与地质研究程度都很低,前期勘探发现的油气地质储量主要集中在西湖凹陷和丽水凹陷新生界。据赵金海^[13]预测东海油气资源量 92 亿 t(油当量)、须雪豪等^[30]模拟东海油气资源量 88 亿 t(油当量)^[2]推算,探明率尚不足油气地质资源量的 5%,按中国海洋石油总公司 2016 年油气资源评价^[31],东海石油地质资源量 2.7×10^8 t、天然气 6.05×10^{12} m³,而探明地质储量石油 0.4×10^4 t、天然气 0.32×10^{12} m³,总探明率不足 6%(其中石油探明率 14.8%,天然气探明率 5.3%),而深部地层仅有的两口深井都获得了较好的油气显示,说明具有一定的油气资源勘探潜力。

3.1 烃源岩和储盖组合

东海陆架盆地南部深部中生界的油气钻井资料很少。目前钻达白垩系的钻井有 18 口,但主要是钻遇上白垩统,钻遇地层较全即钻达侏罗系的钻井仅 2 口。岩心测试分析数据就更少,难以全面准确解释盆地中生界的烃源岩。依据邻域浙闽出露的中生界剖面或周缘海域对比预测,东海陆架盆地南部深层发育上三叠统—下侏罗统和下白垩统两套受海侵影响或海相烃源岩^[32]。

3.1.1 上三叠统—下侏罗统福州组烃源岩

上三叠统—下侏罗统福州组烃源岩在东海陆架盆地南部 2 口井钻遇,主要为近海三角洲相黑色页岩沉积,具较强的还原环境。相对应陆域包括闽西南的大坑村组、文宾山组,闽北的焦坑组,浙东的乌灶组等,主要为一套受海侵作用影响的河湖相和沼泽相泥页岩含煤沉积。盆地内钻遇的上三叠统—下侏罗统福州组含粉砂质泥岩烃源岩品质不太好,泥质岩有机碳含量为 1.17%~1.53%,氯仿沥青“A”含量为 0.05%~0.1%, S_1+S_2 为 1.09~1.53 mg/g,

大部分低于有效烃源岩, 氢指数值为 50~196 mg/g, 氧指数值为 50~140 mg/g, 腐泥组含量占 20% 以下, 壳质组含量占 30%~40%, 镜质组+惰质组含量占 40% 左右, 为 II₂—III 型干酪根^[33], 煤层的 TOC 可达 67%~75%, S₁+S₂ 为 155~169.6 mg/g^[34]。但根据沉积相、地震相分析, 钻井所揭示的福州组位于盆地西部大陆边缘高水位体系域, 地震地层解释盆地东部沉降中心及下部层段发育较好的海相泥质岩烃源岩层, 推测烃源岩最大厚度大于 1000 m。福建地区上三叠统暗色泥岩、碳质泥岩总有机碳含量为 0.28%~14.96%, 干酪根类型主要为 II₂—III 型, 少量 I 型, 镜质体反射率 R_o 为 1.155%~2.318%, 处于成熟—高成熟阶段^[33], 是一套较好—优质烃源岩层, 福州组热模拟显示具有很强的生烃潜力, 产出烃类以天然气和轻质油为主^[35]。

3.1.2 下白垩统渔山组烃源岩

该套烃源岩在东海陆架盆地、台湾海峡盆地和台西南盆地都有钻遇。东海陆架盆地南部所钻遇的 K₁² 渔山组的灰色、灰绿色砂岩与泥岩、粉砂质泥岩互层, 主要为陆内盆地扇三角洲和滨浅湖相沉积建造, 有机质丰度较低^[18], 钻遇白垩统泥岩总有机碳 0.24%~0.72%, 氯仿沥青“A”含量为 0.008%~0.028%, S₁+S₂ 为 0.18%~0.85%, 有机质类型为 II—III 型, 镜质体反射率大于 0.5%^[36], 仅有少量样品 TOC 和 S₁+S₂ 指标达到中等至较高丰度。主要因为东海陆架深钻井所处盆地西部边缘, 发育扇三角洲和滨浅湖相沉积环境, 但根据沉积相、地震相推测, 往盆地东部沉降中心发育较好的半深海泥质岩烃源岩层的有效烃源岩厚度可达 500 m。而且邻域台西北港隆起的 WX-1 井, 下白垩统云林组发育的深灰色—黑色海相泥岩可以与盆地中东部烃源岩对比, 其有机碳含量 0.573%~0.818%; 与之相对应的粤北热水洞组、福建板头组和浙东馆头组、寿昌组、茶湾组, 主要为陆内盆地沼泽-湖泊相沉积的含煤碎屑岩建造, 其有机碳含量多数大于 0.4%, TOC 含量为 1.0% 以上的占比为 59.7% (图 7)^[37], 干酪根显微组分主要为镜质组, 其次是腐泥组和惰质组, 有机质类型主要为 III 型; R_o 为 0.625%~>1.69%, 处于成熟—高成熟阶段。

3.1.3 油气成藏特征

根据两口深钻井 WA 和 WB 的解析, 东海陆架盆地南部深层油气成藏因素主要包括:

(1) 断层系统既是油气运移通道也是油气藏封隔层, 断层活动性决定油气保存

前人分析认为^[32] 东海陆架盆地南部中生代主

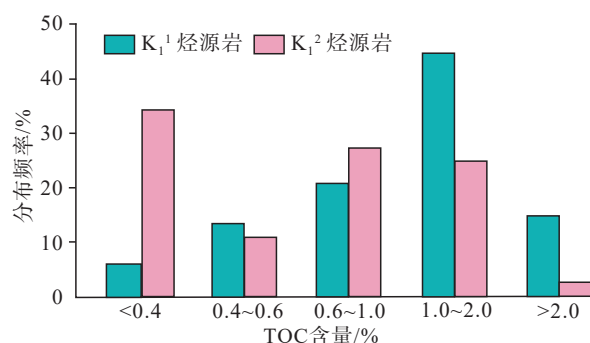


图 7 浙闽粤沿海地区下白垩统泥质岩烃源岩有机碳 (TOC) 含量分布频率图^[37]

Fig.7 Frequency distribution of organic carbon (TOC) content in the Lower Cretaceous dark mud shale in the coastal areas of Zhejiang, Fujian, and Guangdong provinces^[37]

要发育 NE 或 NNE、NW 两套断层系统^[19,32], NE 或 NNE 断层形成于燕山期古太平洋板块俯冲与后撤, 以正断层为主, 与油气生成期匹配性较好^[18], 是早期油气运移的有利通道, 后期断层的封闭性决定油气藏的有效性^[32]; NW 断层系统形成于喜山期古太平洋 NW 向扩张与地壳水平应力差异调整, 主要为张扭性断层, 对早期油气藏具有破坏或调整效果。因此断层活动性决定了油气藏保存的完整性。

(2) 有效烃源岩的分布是基础, 烃源岩生排烃强度决定油气资源丰度

前文所述, 东海陆架盆地南部发育两套烃源岩。上三叠统—下侏罗统烃源岩是盆地裂陷前期海侵初期产物, 遭受来自东部和南部两个方向的海侵作用, 沉积沉降中心位于基隆凹陷、台北转折带和闽江斜坡南段。根据 A 井和 B 井钻井资料解析, 两井所处沉积环境主要为河湖相-海陆交互相, 上三叠统—下侏罗统有效烃源岩厚度不到 50 m, 其自身生烃能力较差; 下白垩统渔山组为扇三角洲与滨浅海环境, 几乎没有暗色泥岩存在, 基本不具备生烃能力, 而且超过闽江斜坡南部和基隆凹陷烃源灶有效排烃范围^[32], 因此烃源岩生、排烃资源不足是其没有突破(但有油气显示)的决定因素。

(3) 丰富的油源、良好的运移通道与多套储盖组合配置是成藏关键

综合多类信息研究表明, 东海陆架盆地南部中侏罗统、上侏罗统—下白垩统、上白垩统发育滨浅海沉积的砂岩、粉砂岩都具有良好的储集能力, 钻井岩芯和测井资料解析表明 2300 m 以上砂岩的孔隙度可达到 20%, 2300~3100 m 的砂岩储层孔隙度达 15%, 主要储集空间为孔隙和裂缝, 裂缝改造储层, 提升储层质量。

东海陆架盆地南部深层主要发育两套生储盖组合^[26,28,32,38]：下组合主要烃源岩为晚三叠统一下侏罗统暗色海相泥页岩，主要储层是中—上侏罗统滨河流相—浅海三角洲相砂质岩、下白垩统低水位砂岩，不整合面、断层或裂缝和孔隙构成油气运移网络，早白垩世第二次海侵域所形成的海相偏泥页岩作为其区域性盖层形成“下生上储型”、“自生自储型”成藏组合；上组合是以早白垩世海侵泥页岩为烃源岩层，由于早白垩世构造活动较强，湖（海）平面升降频繁，发育了河湖相、三角洲相、滨浅海相砂泥岩互层建造，储集层由三角洲前缘、分流河道砂体构成，断层或裂缝和孔隙形成运移通道，而之间的泥页岩则构成该组合的局部盖层，区域性盖层则是古新统一始新统海（湖）侵月桂峰组或明月峰组泥质岩，之间相互配置可以形成“古生新储型”、“自生自储型”油气成藏组合^[18,26]，推测发育斜坡型、凹中隆型、古潜山披覆型和构造（断层）型油气藏^[28]。

3.2 深层油气资源潜力

如前所述，东海陆架盆地南部深层烃源岩发育，既有上三叠统一下侏罗统福州组海（湖）侵泥页岩，又有下白垩统渔山组，储层既有福州组、厦门组滨浅海、三角洲砂体，也有闽江组三角洲或河流砂体或石门潭组砂体。勘探实践证明，东海陆架盆地南部深层具备形成油气藏要素，钻达中生界的18口井，在侏罗系福州组和下白垩统渔山组可见良好油气显示，而且多层砂岩中有机质抽提物含量很高，达 $(1628\sim 4088)\times 10^{-6}$ ^[34]，而且砂岩内见到大量

烃类包裹体，显示曾经发生过油气的生成和运移，且白垩系砂岩中的烃类包裹体色-质谱与侏罗系烃源岩色-质谱对比显示其具有较明显的亲缘关系^[34]，说明东海陆架盆地南部深层具有良好的油气资源前景。

根据东海陆架深部中生代盆地性质与沉积演化特征^[7]，认为东海陆架盆地中生界可以与中国陆上中生代鄂尔多斯盆地延长组（刻度区）对比^[39]。根据与刻度区对比优化了东海陆架盆地南部盆地模拟的地质模型及关键参数的选取。盆地模拟结果表明， T_3-J_1 暗色泥岩烃源岩层的有机质在晚侏罗世末期进入低成熟，开始生烃，至早白垩世末期（100 Ma）， T_3-J_1 层系烃源岩达到成熟，开始大量生烃期，生烃强度以基隆凹陷最强，达 $(300\sim 400)\times 10^4$ t/km²，台北转折带一般为 $(200\sim 300)\times 10^4$ t/km²，闽江斜坡带 $(50\sim 200)\times 10^4$ t/km²，至晚白垩世末期，达生烃高峰期，该套烃源岩大部分进入高熟—过成熟阶段的凝析油—湿气阶段，生烃强度 $(50\sim 450)\times 10^4$ t/km²，基隆凹陷最大生烃强度达 500×10^4 t/km²（图8）。 K_1 烃源岩至早白垩世末期局部进入低成熟阶段开始生烃，但生烃范围和强度都很小，至晚白垩世末期该套烃源岩达到第一次生烃高峰，生烃范围包含闽江斜坡—基隆凹陷，最大生烃强度在基隆凹陷中部，达 $(200\sim 350)\times 10^4$ t/km²，闽江斜坡中段和台北转折带南段生烃强度较低，约为 $(50\sim 250)\times 10^4$ t/km²；古新世末期生烃范围进一步扩大，生烃强度持续增强，达到生烃最高峰，并以较高的生烃强度保持至始新世末期，生烃强度 $(50\sim 300)\times 10^4$ t/km²，

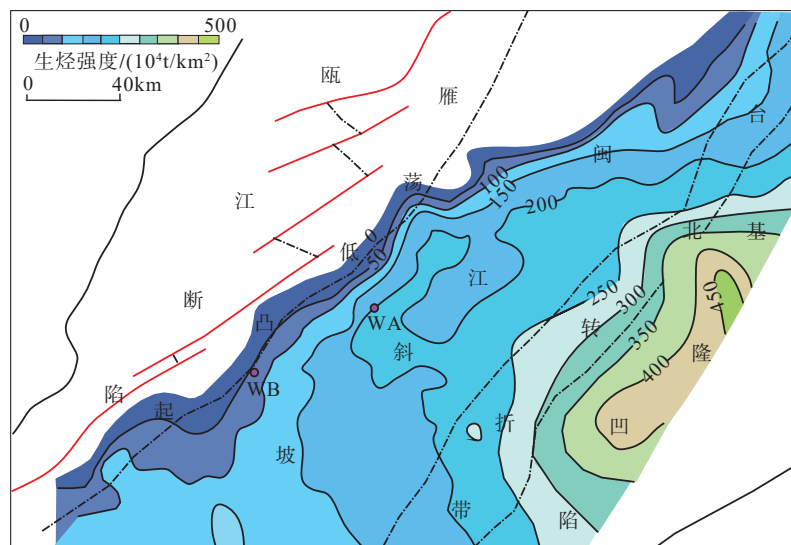


图8 上三叠统一下侏罗统烃源岩盆地模拟生烃强度图

Fig.8 Hydrocarbon generation intensity of the Upper Triassic-Lower Jurassic source rocks from basin simulation results

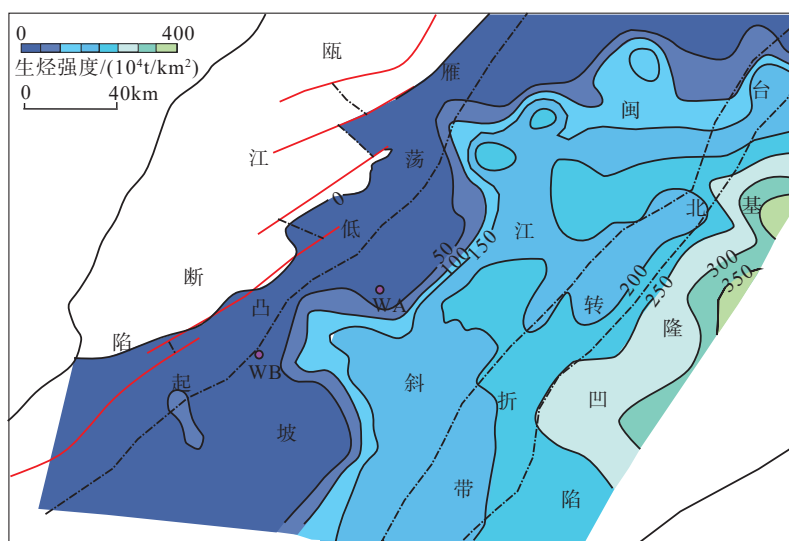


图 9 下白垩统烃源岩盆地模拟生烃强度图

Fig.9 Hydrocarbon generation intensity of the Lower Cretaceous source rocks from basin simulation results

基隆凹陷最大生烃强度达 $400 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ (图 9)。对比分析东海陆架盆地南部深层中生界总生烃能力和平均资源丰度与鄂尔多斯盆地的中生界大致相当^[39], 表明东海陆架盆地南部深层具有可观的油气资源潜力。

综上所述, 东海陆架盆地南部深层虽然油气勘探和研究程度较低, 深层的生油气强度及资源分布状况仍不十分清楚, 但深层油气资源勘探仍是今后值得探索的重要领域。

4 结论

(1) 根据钻井、地震和邻近陆域资料, 通过区域地震剖面解释和井—震标定, 东海陆架盆地南部深层中生界广泛分布于瓯江断陷、闽江斜坡、台北转折带和基隆凹陷, 沉积厚度达 $2000 \sim 5000 \text{ m}$, 沉积中心位于基隆凹陷, 结合其构造-沉积演化特征, 划分出上三叠统一中侏罗统、上侏罗统和白垩系 3 个二级构造层序。

(2) 根据层序界面类型、构造层序的空间展布与叠置关系及地震地层特征分析, 东海陆架盆地南部中生代经历了拗陷期、隆起期和断陷期 3 个相互继承的沉积充填演化过程。拗陷期主要表现为“西抬东降”, 形成一套西部海陆过渡、东部海相的沉积建造格局, 隆起期主要发育一套干旱气候条件下陆内盆地的河流-湖泊相碎屑沉积, 断陷期则是西部瓯江断陷发育了一套陆源碎屑为主的河湖相沉积, 往东闽江斜坡-台北转折带-基隆凹陷呈现长期的裂谷格局, 主要以海相和海陆过渡相为主。

(3) 东海陆架盆地南部深层主要发育上三叠

统一下侏罗统和下白垩统 2 套受海侵影响或海相泥页岩烃源岩, 纵向上发育 2 套生储盖组合; 根据盆地模拟结果, 其总生烃强度和平均资源丰度较大, 是今后东海油气勘探值得探索的重要领域。

参考文献 (References)

- [1] 李上卿, 李纯洁. 东海西湖凹陷油气资源分布及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 721-728. [LI Shangqing, LI Chunjie. Analysis on the petroleum resource distribution and exploration potential of the Xihu Depression, the East China Sea [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(6): 721-728.]
- [2] 黄志超, 叶加仁. 东海海域油气资源与选区评价[J]. 地质科技情报, 2010, 29(5): 51-55. [HUANG Zhichao, YE Jiaren. Petroleum resources and regional selection evaluation in the East China Sea [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010, 29(5): 51-55.]
- [3] 朱伟林. 中国近海油气勘探进展[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 18-24. [ZHU Weilin. Advancements of oil and gas exploration in China offshore area: overview and perspective [J]. *Engineering Science*, 2010, 12(5): 18-24.]
- [4] 钟锴, 王雪峰, 张田, 等. 东海陆架盆地西部拗陷带中生界残留盆地分布特征与勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 41-51. [ZHONG Kai, WANG Xuefeng, ZHANG Tian, et al. Distribution of residual Mesozoic basins and their exploration potential in the western depression zone of East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 41-51.]
- [5] 冯晓杰, 蔡东升, 王春修, 等. 东海陆架盆地中生代构造演化特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 33-37. [FENG Xiaojie, CAI Dongsheng, WANG Chunxiu, et al. The Meso-Cenozoic tectonic evolution in East China Sea Shelf Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 33-37.]
- [6] 蔡东升, 冯晓杰, 高乐, 等. 中国近海前第三纪残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 1-17. [CAI Dongsheng,

- FENG Xiaojie, GAO Le, et al. Petroleum potential and exploration direction of pre-Tertiary remnant basins in offshore China [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2004, 16(1): 1-17.]
- [7] 杨长清, 杨传胜, 李刚, 等. 东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(3): 105-111. [YANG Changqing, YANG Chuansheng, LI Gang, et al. Mesozoic tectonic evolution and prototype basin characters in the southern East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(3): 105-111.]
- [8] 金春爽, 乔德武, 须雪豪, 等. 东海陆架盆地南部油气资源前景与选区[J]. *中国地质*, 2015, 42(5): 1601-1609. [JIN Chunshuang, QIAO Dewu, XU Xuehao, et al. Oil and gas potential and target selection in southern East China Sea Shelf Basin [J]. *Geology in China*, 2015, 42(5): 1601-1609.]
- [9] 高乐. 东海陆架中生代残余盆地特征及勘探方向探讨[J]. *中国海上油气*, 2005, 17(3): 148-152. [GAO Le. Mesozoic remnant basin characteristics and hydrocarbon exploration direction on East China Sea shelf [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(3): 148-152.]
- [10] 杨长清, 韩宝富, 杨艳秋, 等. 东海陆架盆地中生界油气调查进展与面临的挑战[J]. *海洋地质前沿*, 2017, 33(4): 1-8. [YANG Changqing, HAN Baofu, YANG Yanqiu, et al. Oil and gas exploration in the Mesozoic of East China Sea Shelf Basin: progress and challenges [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(4): 1-8.]
- [11] 杨长清, 杨传胜, 孙晶, 等. 东海陆架盆地南部中生代演化与动力学转换过程[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2019, 49(1): 139-153. [YANG Changqing, YANG Chuansheng, SUN Jing, et al. Mesozoic evolution and dynamics transition in Southern Shelf Basin of the East China Sea [J]. *Journal of Jilin University:Earth Science Edition*, 2019, 49(1): 139-153.]
- [12] 李三忠, 余珊, 赵淑娟, 等. 东亚大陆边缘的板块重建与构造转换[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(3): 65-94. [LI Sanzhong, YU Shan, ZHAO Shujuan, et al. Tectonic transition and plate reconstructions of the East Asian continental margin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(3): 65-94.]
- [13] 赵金海. 东海中、新生代盆地成因机制和演化(上)[J]. *海洋石油*, 2004, 24(4): 6-14. [ZHAO Jinhai. The forming factors and evolution of the Mesozoic and Cenozoic Basin in the East China Sea [J]. *Offshore Oil*, 2004, 24(4): 6-14.]
- [14] 包汉勇, 郭战峰, 张罗磊, 等. 太平洋板块形成以来的中国东部构造动力学背景[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(3): 337-346. [BAO Hanyong, GUO Zhanfeng, ZHANG Luolei, et al. Tectonic dynamics of eastern China Since the formation of the pacific plate [J]. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(3): 337-346.]
- [15] 李家彪. 东海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2008. [LI Jiabiao. Regional Geology in the East China Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2008.]
- [16] John B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: isotopic and geochemical constraints [J]. *Tectonophysics*, 1990, 183(1-4): 145-160.
- [17] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in South-eastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. *Tectonophysics*, 2000, 326(3-4): 269-287.
- [18] 杨长清, 李刚, 龚建明, 等. 中国东南海域中生界油气地质条件与勘探前景[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2015, 45(1): 1-12. [YANG Changqing, LI Gang, GONG Jianming, et al. Petroleum geological conditions and exploration prospect of the Mesozoic in Southeast China Sea Area [J]. *Journal of Jilin University:Earth Science Edition*, 2015, 45(1): 1-12.]
- [19] 杨艳秋, 杨长清, 杨传胜, 等. 东海陆架盆地南部中生代断裂系统与盆地结构[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(6): 52-61. [YANG Yanqiu, YANG Changqing, YANG Chuansheng, et al. Mesozoic fault system in the Southern East China Sea Shelf Basin and its bearing on basin structures [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 52-61.]
- [20] 杨艳秋, 李刚, 戴春山. 东海陆架盆地西部坳陷带中生界分布特征及其有利区探讨[J]. *世界地质*, 2011, 30(3): 396-403. [YANG Yanqiu, LI Gang, DAI Chunshan. Characteristics of Mesozoic distribution and discussion on its favourable area in western depression zone of East China Sea Shelf basin [J]. *Global Geology*, 2011, 30(3): 396-403.]
- [21] 王文娟, 李刚, 杨长清, 等. 东海陆架盆地地震层序特征及地质属性[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(3): 117-122. [WANG Wenjuan, LI Gang, YANG Changqing, et al. Characteristics of seismic sequences in the East China Sea shelf basin and their geological attributes [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(3): 117-122.]
- [22] 杨长清, 杨艳秋, 杨传胜, 等. 东海陆架盆地南部中生代构造-沉积演化与油气勘探方向[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(6): 30-40. [YANG Changqing, YANG Yanqiu, YANG Chuansheng, et al. Tectono-sedimentary evolution of the Mesozoic in the southern East China Sea Shelf Basin and its bearing on petroleum exploration [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 30-40.]
- [23] 高德章, 赵金海, 薄玉玲, 等. 东海及邻近地区岩石圈三维结构研究[J]. *地质科学*, 2006, 41(1): 10-26. [GAO Dezhong, ZHAO Jinhai, BO Yuling, et al. A study on lithosphere 3D structures in the East China Sea and adjacent regions [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(1): 10-26.]
- [24] 许璐, 杨长清, 王海荣. 东海陆架南部海域及周边陆域白垩纪海侵标志及地质意义[J]. *海洋地质前沿*, 2017, 33(4): 22-30. [XU Lu, YANG Changqing, WANG Hairong. Cretaceous Transgression in the Southern East China Sea Shelf Basin and adjacent land areas: evidence and geological significance [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(4): 22-30.]
- [25] 徐立明, 金春爽, 姜在兴, 等. 浙江东部沿海早白垩世海侵地层确定及其意义[J]. *福建地质*, 2016, 35(2): 92-103. [XU Liming, JIN Chunshuang, JIANG Zaixing, et al. The establishment of marine Early Cretaceous strata in east area of Zhejiang coast and its significance [J]. *Geology of Fujian*, 2016, 35(2): 92-103.]
- [26] Yang C Q, Sun J, Yang Y Q, et al. Key factors controlling Mesozoic hydrocarbon accumulation in the Southern East China Sea Basin [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020, 118: 104436.
- [27] 段九春, 赵英杰, 米慧芬. 东海陆架盆地南部中生界及古近系层序地层格架[J]. *洁净煤技术*, 2010, 16(6): 100-104. [DUAN Jiuchun, ZHAO Yingjie, MI Huifen. Sequence-stratigraphic framework on

- Mesozoic and Paleogene of the East China Sea shelf basin [J]. *Clean Coal Technology*, 2010, 16(6): 100-104.]
- [28] 杨长清, 孙晶, 杨传胜, 等. 东海盆地南部中生界油气成藏模式[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(8): 89-92. [YANG Changqing, SUN Jing, YANG Chuansheng, et al. The Mesozoic hydrocarbon accumulation model in the southern East China Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(8): 89-92.]
- [29] 何家雄, 姚永坚, 马文宏, 等. 南海东北部中生代残留盆地油气勘探现状与油气地质问题[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(5): 635-642. [HE Jiaxiong, YAO Yongjian, MA Wenhong, et al. Status of oil & gas exploration and analysis of geological character in Mesozoic residual basins, Northeastern South China Sea [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(5): 635-642.]
- [30] 须雪豪, 陈琳琳, 汪企浩. 东海陆架盆地中生界地质特征与油气资源潜力浅析[J]. *海洋石油*, 2004, 24(3): 1-7,55. [XU Xuehao, CHEN Linlin, WANG Qihao. Analysis of Mesozoic Geological Characteristics and resource potential in the East China Sea Shelf Basin [J]. *Offshore Oil*, 2004, 24(3): 1-7,55.]
- [31] 谢玉洪. 中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望[J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(1): 26-35. [XIE Yuhong. New progress and prospect of oil and gas exploration of China National Offshore Oil Corporation [J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(1): 26-35.]
- [32] 杨传胜, 杨长清, 李刚, 等. 东海陆架盆地中-新生界油气勘探研究进展与前景分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(2): 136-147. [YANG Chuansheng, YANG Changqing, LI Gang, et al. Prospecting of Meso-cenozoic hydrocarbon in the East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(2): 136-147.]
- [33] 刘建, 谢睿, 徐敏, 等. 东海西部台北坳陷中生界油气成藏模式研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(6): 150-158. [LIU Jian, XIE Rui, XU Min, et al. Hydrocarbon accumulation model of the Mesozoic in Taibei Depression, western East China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 150-158.]
- [34] 王连进, 叶加仁, 吴冲龙. 东海陆架盆地台北坳陷前第三系油气地质特征[J]. *天然气工业*, 2004, 24(6): 12-14. [WANG Lianjin, YE Jiaren, WU Chonglong. Petroleum geological characteristics of the pretertiary in Taibei Depression of East China Sea Shelf Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24(6): 12-14.]
- [35] 冯晓杰, 张川燕, 王春修, 等. 东海陆架和台西南盆地中生界及其油气勘探潜力[J]. *中国海上油气(地质)*, 2001, 15(5): 306-310,316. [FENG Xiaojie, ZHANG Chuanyan, WANG Chunxiu, et al. Mesozoic in the East China Sea Shelf and Taixinan Basin and its petroleum potential [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(5): 306-310,316.]
- [36] 朱伟林, 王国纯. 中国近海前新生代油气勘探新领域探索[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 215-226. [ZHU Weilin, WANG Guochun. New venture of exploration of pre-Cenozoic oil and gas in Chinese offshore areas [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 215-226.]
- [37] 徐立明, 邓克, 卢清地, 等. 东海陆架盆地南部邻近陆域中生代盆地演化研究[R]. 福州: 福建省地质调查研究院, 2013: 111-115. [XU Liming, DENG Ke, LU Qingdi, et al. Research on the Mesozoic basin evolution in the neighboring continental areas in the South of the East China Sea Shelf Basin [R]. Fuzhou: Fujian Institute of Geological Survey, 2013: 111-115.]
- [38] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 中国海域油气资源潜力分析与黄东海海域油气资源调查进展[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(6): 1-29. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Regional evaluation of oil and gas resources in offshore China and exploration of marine Paleo-Mesozoic oil and gas in the Yellow Sea and East China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(6): 1-29.]
- [39] 肖国林, 杨长清, 孙晶, 等. 东海南部与鄂尔多斯中南部中生代油气成藏地质条件比较性研究[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(5): 77-80. [XIAO Guolin, YANG Changqing, SUN Jing, et al. Comparative study on the geological conditions of mesozoic hydrocarbon accumulation in the Southern East China Sea and the Central-Southern Ordos Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(5): 77-80.]