

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.03.009

# 南黄海盆地二叠系地震-沉积相分析及烃源岩分布预测

邱尔康, 杨风丽, 张若愚, 周晓峰

同济大学海洋地质国家重点实验室, 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092

**摘要:**二叠系烃源岩是南黄海盆地多套优质烃源岩之一, 多年来, 由于地震测线少和品质差, 导致对其分布一直认识不清。基于南黄海盆地近年来新采集处理的大量二维地震测线, 结合老地震测线和5口钻遇二叠系的钻测井资料, 通过单井相分析、地震-沉积相分析, 开展了对南黄海下二叠统、上二叠统的沉积相及有利烃源岩分布预测研究。分析表明: 下二叠统栖霞组沉积时期, 青岛坳陷及崂山隆起西部以台地相为主、中东部以盆地相发育为主; 上二叠统龙潭组沉积时期, 青岛坳陷南部和勿南沙隆起以三角洲平原相、崂山隆起和青岛坳陷西部以三角洲前缘沉积相、青岛坳陷东北部及崂山隆起东部以滨浅海沉积相发育为主。结合有利烃源岩沉积相和残留地层厚度分析, 认为崂山隆起中部及青岛坳陷东北部是下二叠统烃源岩有利分布区, 崂山隆起中东部及青岛坳陷东北部是上二叠统烃源岩有利分布区。

**关键词:**地震相; 沉积相; 烃源岩; 二叠系; 南黄海盆地

**中图分类号:** P744.4      **文献标识码:** A

## Seismic and sedimentary facies analysis and prediction of favorable Permian source rocks in the South Yellow Sea basin

QIU Erkang, YANG Fengli, ZHANG Ruoyu, ZHOU Xiaofeng

State Key Laboratory of Marine Geology (Tongji University), School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China

**Abstract:** The Permian source rock is one of the high-quality hydrocarbon source rocks in the South Yellow Sea basin. However, the seismic data available is so poor in quality that the distribution pattern of Permian source rocks is not clear. Based on the recently acquired and processed seismic data, integrated with old seismic data and well log data from the basin, by means of single well facies and seismic-sedimentary facies analysis, we discerned the distribution pattern of sedimentary facies and favorable source rocks of early and late Permian. It is revealed that during the period of early Permian, the western part of Laoshan uplift and the western part of Qingdao depression are both dominated by platform facies, while the eastern part of Laoshan uplift and the eastern part of Qingdao depression dominated by basin facies. During late Permian, however, the western part of Laoshan uplift and the northwestern part of Qingdao depression are covered by deltaic front facies, and the southern part of Qingdao depression by delta plain facies, whereas the northeastern part of Qingdao depression and the eastern part of Laoshan uplift are occupied by littoral-shallow facies. Combining the favorable sedimentary facies together with the residual stratigraphic thickness, we suggest that the middle part of the Laoshan uplift and the northeastern part of the Qingdao depression be the favorable source rocks distribution area of lower Permian; the mid-eastern part of the Laoshan uplift and the northeastern part of the Qingdao depression be favorable source rocks distribution area of upper Permian.

**Key words:** seismic facies; sedimentary facies; source rock; Permian; South Yellow Sea basin

南黄海位于中国大陆和朝鲜半岛之间, 总面积约  $31.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 作为我国海域至今尚未突破的油气勘探新区, 几十年来, 一直是人们关注和研究的热点。前人研究结果表明, 盆地下部中古生界为海相

沉积, 上部中生界陆相沉积, 盆地内存在多个油气组合<sup>[1,2]</sup>。同时南黄海盆地作为下扬子地块的主体, 发育着巨厚的海相中生界沉积地层<sup>[3]</sup>并存在着类似上扬子四川盆地的下寒武统、上奥陶统一

**资助项目:** 国家重点研发计划项目“中新元古代中国古大陆重建与盆地演化及油气远景”(2016YFC0601005); 国家自然科学基金“台湾海峡中-新生代张裂盆地形成机制及油气响应”(41541027); 国家科技重大专项子课题“长江坳陷油气资源潜力评价”(2016ZX05027008)

**作者简介:** 邱尔康(1994—), 男, 硕士研究生, 构造地质学专业, E-mail: qiuerkang@126.com

**通讯作者:** 杨风丽(1964—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事构造与含油气盆地分析方面的研究, E-mail: yangfl@tongji.edu.cn

**收稿日期:** 2017-07-12; **改回日期:** 2017-11-24.      周立君编辑

志留统、下二叠统、上二叠统 4 套区域性的烃源岩<sup>[4-6]</sup>,其中以二叠系栖霞组、龙潭组、大隆组的烃源岩最为有利<sup>[5]</sup>。

针对二叠系烃源岩,前人从残留地层分布和沉积相展布方面做过一定的研究分析。在残留地层分布方面,欧阳凯等<sup>[7]</sup>、杨艳秋等<sup>[8]</sup>基于地震及邻区钻井资料分析,认为崂山隆起二叠系仅残留下二叠统,上二叠统缺失;张训华等<sup>[9]</sup>、杨艳秋等<sup>[10]</sup>通过地震、磁力异常资料分析,认为南黄海盆地二叠系主要分布于青岛坳陷、崂山隆起,但崂山隆起上二叠统缺失;孙晶等<sup>[11]</sup>、杨长清等<sup>[12]</sup>基于部分新采集的地震资料,认为崂山隆起二叠系保存完整,上二叠统并未大面积缺失。在沉积相研究方面,吴淑玉等<sup>[13]</sup>、林年添等<sup>[14]</sup>、袁勇等<sup>[15]</sup>基于南黄海盆地二叠系地震属性、张银国等<sup>[16]</sup>和王明建等<sup>[17]</sup>基于二叠系地震反射特征分别对二叠系沉积相展布进行了预测,普遍认为上二叠统龙潭-大隆组发育三角洲相、滨浅海相、陆棚相,而对于下二叠统栖霞-孤峰组尚未开展详细研究。显然前人的这些研究为我们本次研究奠定了良好的基础,但是由于使用的地震测线稀疏、品质差<sup>[18]</sup>,导致对二叠系地震相-沉积相和有利烃源岩分布仍认识不清,这也直接影响了对南黄海盆地油气的预测及评价。

本文基于近年来在南黄海盆地新采集处理的大量二维地震测线,结合老剖面和 5 口钻遇了二叠系的钻井(图 1),通过单井相、地震相-沉积相、残留地层分布等的研究,对二叠系烃源岩的有利分布进行了预测,以期对南黄海盆地上古生界的下一步勘探起到一定的指导作用。

## 1 基本地质特征

南黄海盆地由烟台坳陷、崂山隆起、青岛坳陷、勿南沙隆起 4 个二级构造单元组成(图 1),作为下扬子块体的一个重要组成部分,与整个下扬子地区相一致,经历了晚震旦世—早三叠世的海相沉积与晚三叠世—第四纪的陆相沉积演化过程<sup>[19,20]</sup>。

二叠系沉积时期下扬子地区以板内升降活动为主,沉积特征主要受控于海平面升降<sup>[16,21]</sup>。早二叠世区内发生了晚古生代以来规模最大的海侵<sup>[4,22]</sup>,区内以碳酸盐岩沉积为主,发育栖霞组的灰岩、泥灰岩、泥岩;随着海侵规模增大,沉积了孤峰组的黑色硅质页岩<sup>[23]</sup>。早二叠世末受东吴运动影响,区内发生了大规模海退,表现为孤峰组的局部缺失与地层的平行不整合接触。进入晚二叠世,下扬子地区已

整体抬升,随着海水再次侵入,区内发育了龙潭组的砂质页岩,砂泥岩互层夹煤层;大隆组沉积时期海侵规模增大,区内以陆棚相的泥页岩沉积为主(图 2)。



图 1 南黄海构造单元划分及地震测线、二叠系钻井分布图  
Fig.1 Tectonic map of the South Yellow Sea drilling and distribution of drilling sites and seismic profiles

从南黄海二叠系残留地层的整体分布特征来看,前人研究表明其主要分布于青岛坳陷和崂山隆起,在烟台坳陷内除了局部零星分布外,其余地区大面积缺失<sup>[10,11,16]</sup>。

## 2 二叠系地震相分析

### 2.1 地震反射层序确定

无锡 5-ST1 井位于南黄海盆地青岛坳陷中东部和崂山隆起结合部位(图 1),通过合成地震记录标定和地震反射特征,在二叠—三叠系可识别出 4 个地震反射界面: $T_{T_2}$ 、 $T_P$ 、 $T_{P_1}$  和  $T_c$ (图 3)。

其中, $T_{T_2}$ 代表海相三叠系与上覆陆相地层之间的界面,作为区域角度不整合和反射标准层,与上下反射波之间呈“上超下截”接触关系,全区可连续追踪; $T_P$ 代表上二叠统与下三叠统之间界面,平行整合接触于上覆一套弱反射波组和下伏较强反射波组之间; $T_{P_1}$ 代表下二叠统与上二叠统之间的界面,平行整合接触于上覆一套较强反射波组和下伏强反射波组之间; $T_c$ 代表石炭系与下二叠统之间的界面,平行整合接触于上覆一套强反射波组和下伏弱反射

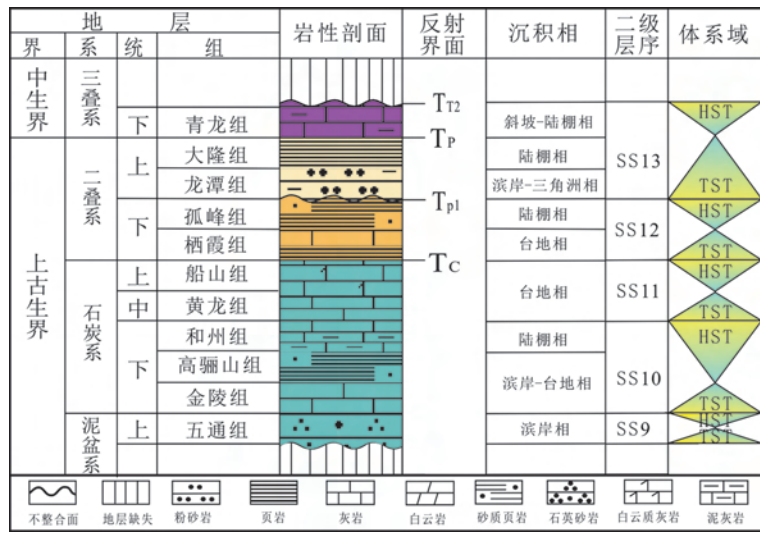


图2 南黄海盆地上古生界地层层序划分柱状图(据文献[22]修改)

Fig.2 Sequence stratigraphy of Upper Paleozoic in South Yellow Sea basin

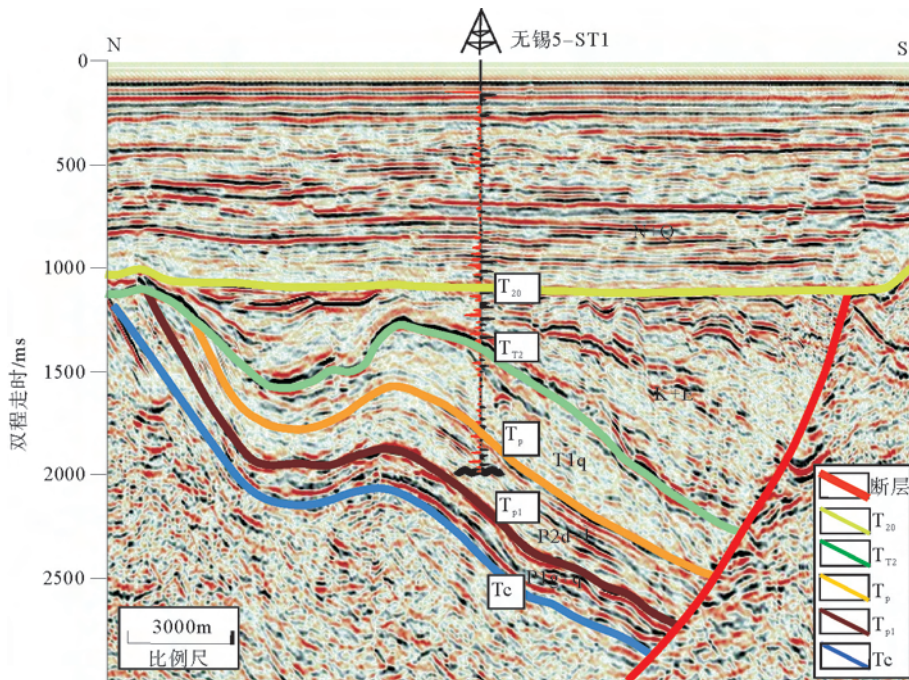


图3 南黄海 WX5-ST1 井震标定

Fig.3 Seismic profile calibrated by WX5-ST1 well in South Yellow Sea

波组之间。

在 T<sub>P1</sub> 与 T<sub>P</sub> 之间为上二叠统龙潭-大隆组,在地震剖面上整体表现为中-低振幅、中-低连续性的一套反射波组,局部为空白反射;在 T<sub>C</sub> 与 T<sub>P1</sub> 之间为下二叠统栖霞-孤峰组,在地震剖面上整体表现为 4~5 组高振幅、中等频率、连续性较好的一套强反射波组。

## 2.2 地震相识别

基于二叠系地震反射结构的振幅、频率、同相轴

连续性特征(图 4,5),可将其划分为 10 种类型(表 1)。

## 2.3 地震相特征

### (1) 剖面地震相特征

以表 1 中 10 种地震相的划分为标准,对每条测线地震反射层序进行了解释,并在此基础上对剖面地震相进行了分析。以下以近南北向的地震剖面 A-A',近东西向的地震剖面 B-B' 为例进行说明。

下二叠统地震相在 A-A' 剖面上总体为中-高振

幅、中-高频反射,横向连续性变化较大,青岛凹陷内整体为中-高连续性反射,崂山隆起则整体表现为中-低连续性反射(图 4);在 B-B' 剖面上地震相可明

显划分为 3 个单元,西段为中频、中-高振幅、中-低连续性反射为主,中段相对西段振幅减弱,东段则表现为高频、中-高振幅、中-高连续性反射(图 5)。

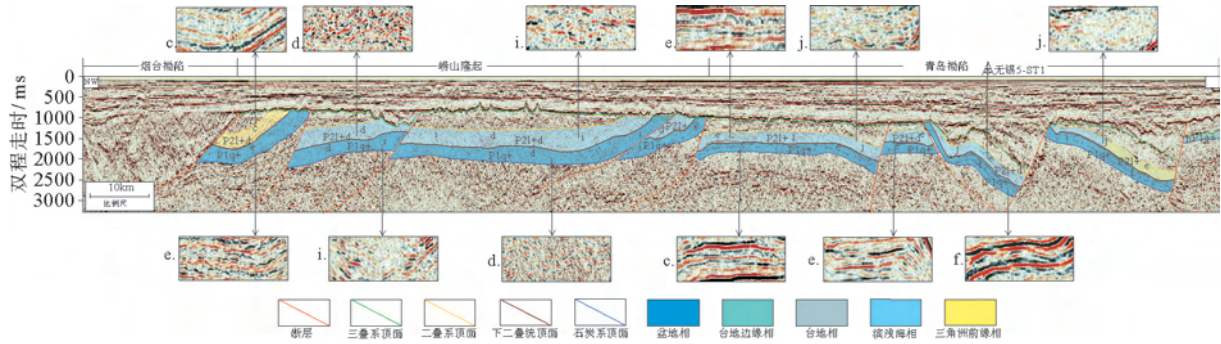


图 4 A-A'剖面地震-沉积相图

Fig.4 Seismic-sedimentary facies cross section along the profile A-A'

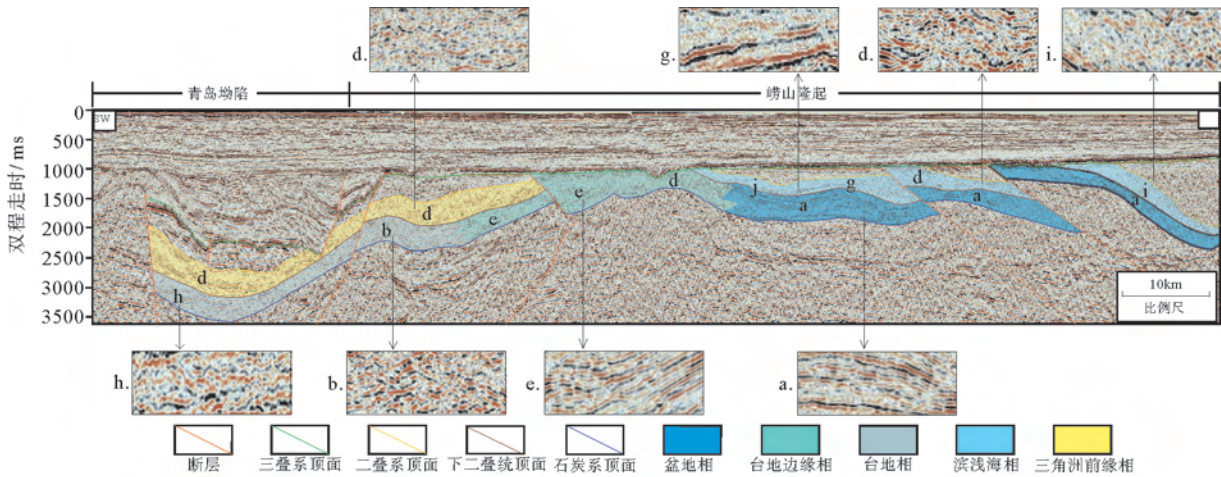


图 5 B-B'测线地震-沉积相图

Fig.5 Seismic-sedimentary facies cross section along the profile B-B'

表 1 南黄海二叠系地震相类型划分

Table 1 Seismic facies types of the Permian in South Yellow Sea

地震相类型	典型地震剖面	地震相类型	典型地震剖面
a. 高频高振幅中连续性		f. 中频高振幅中连续性	
b. 高频高振幅低连续性		g. 低频中振幅中连续性	
c. 高频中振幅高连续性		h. 低频中振幅低连续性	
d. 高频中振幅低连续性		i. 高频低振幅低连续性	
e. 中频中振幅中连续性		j. 极弱反射	

上二叠统地震相在 A-A' 剖面上总体为极弱反射、高频中振幅低连续反射局部表现为高频中振幅中连续性反射,在崂山隆起最北部和青岛拗陷南部过渡为高频中振幅高连续性反射;在 B-B' 剖面上,上二叠统因构造运动在剖面中部缺失,东段和西段地震相差异较大,西段主要以高-中频、高-中振幅、中连续性反射为主;东段以极弱反射和低频中振幅低连续性反射为主。

(2) 平面地震相特征

在对研究区所有二维测线逐条进行剖面地震相分析基础上,进行平面成图即可得到上、下二叠统地震相平面展布图(图 6)。

下二叠统地震相平面展布特征:青岛拗陷和崂山隆起中东部地区以中-高频、中-高振幅、中-高连续性反射为主,青岛拗陷东部、崂山隆起西北部出现高频、中-高振幅、低连续性反射(图 6a)。

上二叠统地震相平面展布特征:青岛拗陷东部以中-高频、中振幅、中-高连续性反射为主,局部发育高频、高振幅、低连续性反射和极弱反射;青岛拗陷的南部和崂山隆起则主要为高频、中振幅、低连续性反射,局部发育中-高频、中-高振幅、中连续性反射(图 6b)。

3 二叠系沉积相分析

3.1 单井相分析

在对研究区已有 5 口钻探井岩心观察描述基础上,结合测井资料和综合录井资料对单井相进行了分析。

(1) 无锡 5-ST1 井

无锡 5-ST1 井(WX5-ST1)共钻遇二叠系 439.84m,从上至下依次是上二叠统大隆组、龙潭组(图 7)。

上二叠统龙潭组钻遇地层厚度为 329.84m(未见底),上部为灰黑色粉砂岩、细砂岩,生物扰动较为强烈,下部以灰色、灰黑色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,砂岩中夹薄层灰黑色碳质泥岩,为滨岸相沉积。

上二叠统大隆组厚 110m,岩性主要为黑色泥岩,局部夹灰色粉砂岩,为浅水陆棚相。

井区地震剖面上,下二叠统表现为高频、高振幅、中连续性反射特征;上二叠统表现为高频、中振幅、高连续性及极弱反射的特征。

(2) CSDP-2 井

CSDP-2 井位于崂山隆起西北部(图 1),钻遇二叠系 850.8m,从上至下依次是上二叠统大隆组、上二叠统龙潭组、下二叠统孤峰组、下二叠统栖霞组(图 8)。

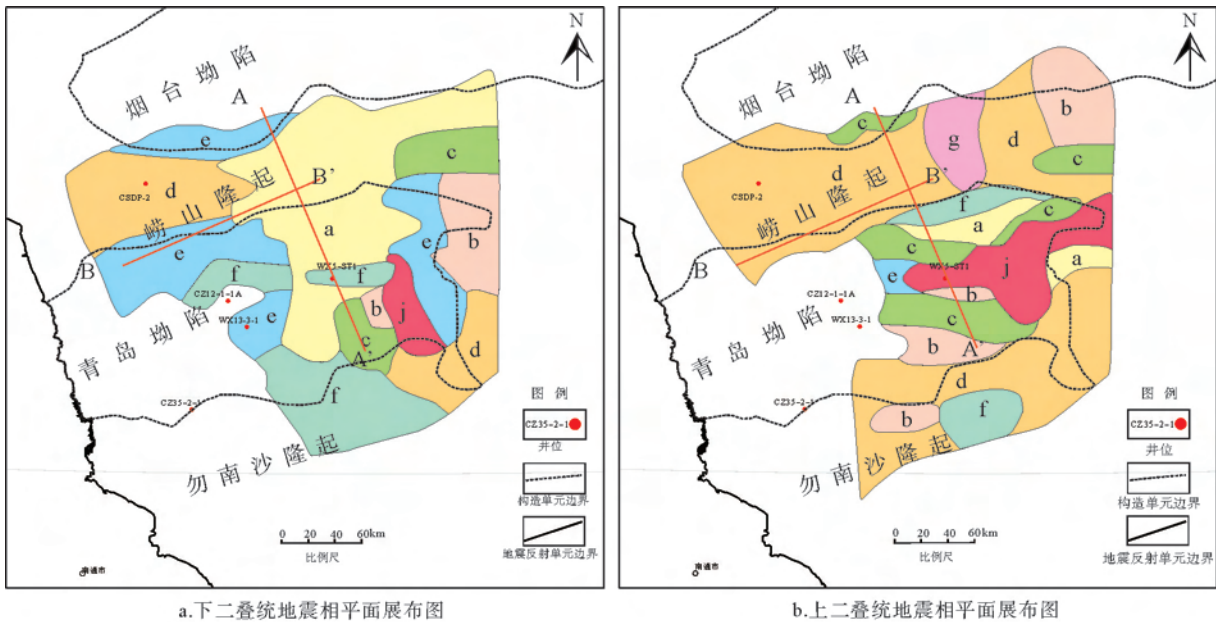


图 6 南黄海二叠系地震相平面展布图(地震相标号对应于表 1)

Fig.6 Permian seismic facies map of South Yellow Sea(see table 1 for seismic)

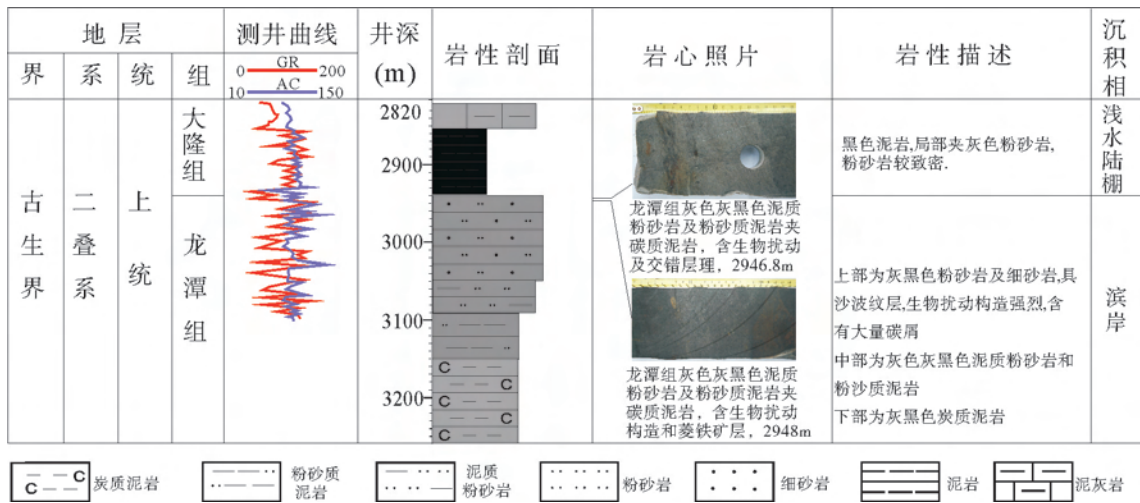


图 7 无锡 5-ST1 井二叠系沉积相图

Fig.7 Sedimentary facies column of the Permian of well WX5-ST1

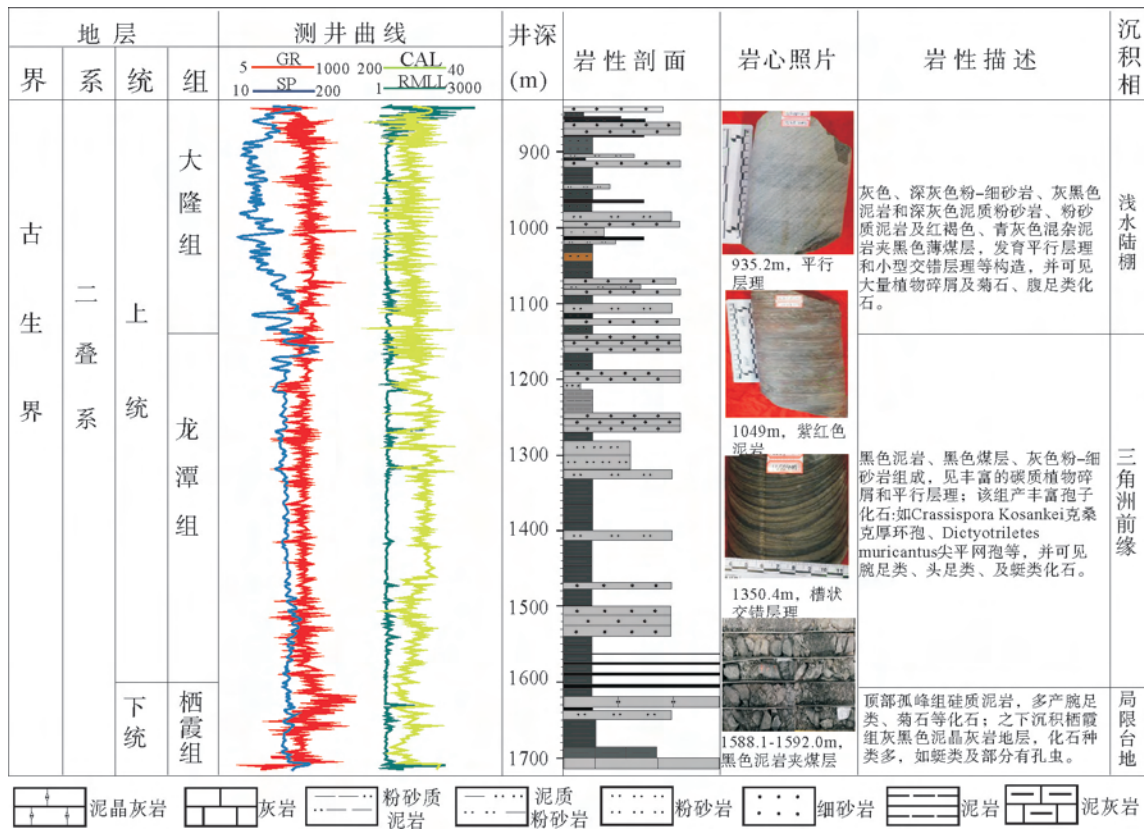


图 8 CSDP-2 井二叠系沉积相图(据文献[23]修改)

Fig.8 Sedimentary facies column of the Permian of well CSDP-2

下二叠统栖霞组厚 70m,主要发育灰黑色泥晶灰岩,为局限台地相。

下二叠统孤峰组钻遇厚度较小,仅 6.1m。岩性主要为硅质泥岩,为深水盆地相沉积。

上二叠统龙潭组厚 453.4m,发育灰色粉-细砂岩、黑色泥岩,局部夹煤层,含少量碳屑,见平行层

理,GR 测井曲线呈现与常州 35-2-1 井龙潭组类似的反旋回漏斗与钟形和箱形的测井曲线组合特征,为三角洲前缘相。

上二叠统大隆组厚 321.3m,岩性为灰色粉-细砂岩、深灰色粉砂-泥岩、青灰色混杂泥岩夹黑色薄煤层,发育平行层理和小型交错层理,为浅水陆棚沉

积环境。

井区地震剖面上,下二叠统表现为高频、中-高振幅、低连续性反射特征;上二叠统表现为高频、高振幅、低连续性反射特征。

(3) 无锡 13-3-1 井

无锡 13-3-1 井(WX13-3-1)位于青岛坳陷中部(图 1),仅钻遇下二叠统栖霞组 143.6m,之上的其余二叠系均缺失(图 9)。栖霞组岩性主要为深灰色灰岩、灰黑色生物碎屑灰岩、底部发育砂屑灰岩,生物化石非常发育,常见燧石条带,为开阔台地相。

井区地震剖面上,下二叠统表现为中频、中振幅、中连续性反射特征。

除以上 3 口钻井外,CZ35-2-1 井位于青岛坳陷西南部(图 1),钻遇二叠系 651m,其中下二叠统栖霞组钻遇地层厚度为 266m(未见底),岩性为深灰色灰岩和黑色泥灰岩,沉积环境主要为局限台地;钻遇上二叠统龙潭组厚 270m,岩性为灰色细砂岩和

粉砂岩,局部夹泥岩,为三角洲前缘相;上二叠统大隆组厚 115m,岩性为大套黑色泥岩,局部夹致密灰色粉砂岩,为深水陆棚相<sup>[22]</sup>。

常州 12-1-1A 井(CZ12-1-1A)位于青岛坳陷中部(图 1),钻遇上二叠统龙潭组,钻遇厚度较小,仅 40m 左右,主要岩性为灰黑色泥岩夹煤层,为滨岸相<sup>[22]</sup>。

根据单井相分析及前人研究成果,将上二叠统龙潭-大隆组划分为三角洲平原相、三角洲前缘相、滨浅海相;将下二叠统栖霞-孤峰组划分为台地相、台地边缘相、盆地相<sup>[24-26]</sup>。

3.2 地震相与沉积相的转换

基于单井相标定和研究区地震相特征,结合区域沉积环境,可以建立起研究区地震相与沉积相的对应转换关系,见表 2。

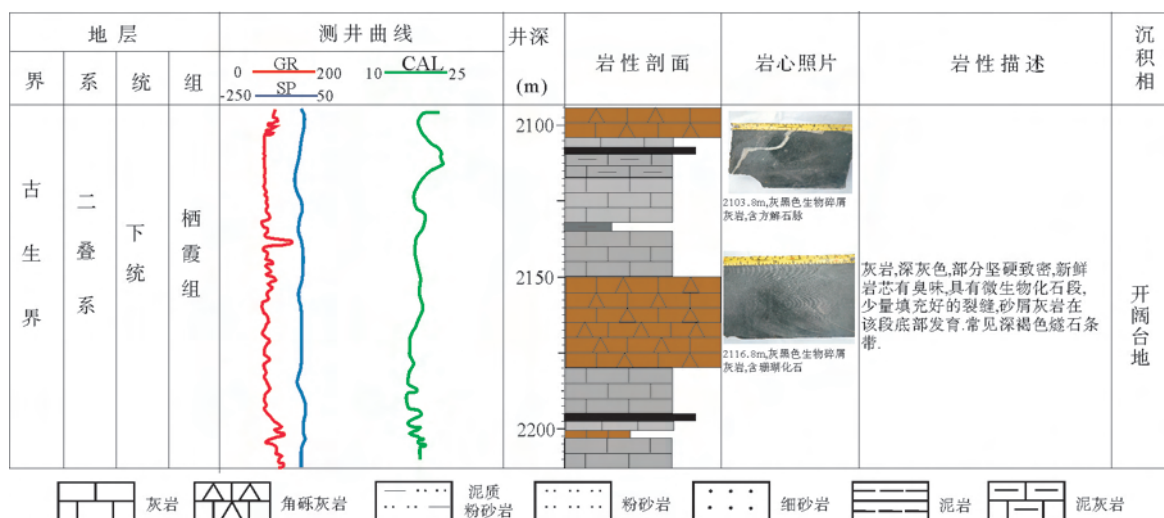


图 9 无锡 13-3-1 井二叠系沉积相

Fig.9 Sedimentary facies column of the Permian of well WX13-1-1

表 2 南黄海地区二叠系典型沉积相地震反射特征

Table 2 Seismic reflection characteristics of typical sedimentary facies of Permian in South Yellow Sea area

沉积体系	沉积相	地震反射特征
碳酸盐岩沉积体系	浅-深水陆棚相	极弱反射、高频低振幅低连续、高频中振幅中连续
	台地相	低频中振幅中连续、高频中振幅高连续、高频中振幅中连续、高频高振幅低连续、中频高振幅中连续、中频中振幅中连续、极弱反射
	台地边缘相	高频中振幅低连续、高频高振幅低连续
	盆地	高频中振幅中连续、高频中振幅高连续
碎屑岩沉积体系	三角洲平原	高频中振幅低连续、高频高振幅低连续
	三角洲前缘	高频高振幅中连续、高频中振幅高连续、中频中振幅中连续、中频高振幅中连续
	滨浅海	极弱反射、高频中振幅低连续、高频中振幅中连续

据此建立起的地震相和沉积相转换关系,进一步结合单井相分析结果,可以确认出上、下二叠统的沉积相剖面和平面特征。

下二叠统栖霞组沉积相在 A-A'剖面上总体为盆地相,仅在青岛坳陷最南部局部出现台地边缘相(图 4);在 B-B'剖面上自西向东沉积相变化为台地相-台地边缘相-盆地相(图 5)。上二叠统龙潭组沉积相在 A-A'剖面上整体为滨浅海相,在青岛坳陷最南部、崂山隆起最北部过渡为三角洲前缘相(图 4);在 B-B'剖面上西段表现为三角洲前缘沉积相,西段为滨浅海沉积相(图 5)。

下二叠统栖霞组平面沉积展布特征:青岛坳陷及崂山隆起西部为台地相,崂山隆起中部及青岛坳陷南部可见台地边缘沉积;崂山隆起及青岛坳陷中东部地区主要为盆地相。以上沉积相展布特征表明,栖霞组沉积时期盆地整体的沉积格局为由南西向北东水体逐步加深,由台地相过渡为盆地相(图 10a)。

上二叠统龙潭组平面沉积展布特征:青岛坳陷南部、勿南沙隆起为三角洲平原相,崂山隆起西部以及青岛坳陷西部为三角洲前缘沉积相,崂山隆起东部及青岛坳陷中-东部以滨浅海沉积相为主。以上沉积相展布特征表明,龙潭组沉积时期盆地整体沉积格局继承了栖霞组,整体由南西向北东水体逐步加深,由三角洲平原相、三角洲前缘相向滨浅海相过

渡(图 10b)。

### 4 有利烃源岩分布预测

全区二维地震剖面解释结果表明,栖霞-孤峰组和龙潭-大隆组主要分布在崂山隆起、青岛坳陷中东部、勿南沙隆起东北部。其中,栖霞-孤峰组厚度分布普遍在 300~500m 之间,最大厚度可达 500m 以上,最大厚度位于崂山隆起中部(图 11a);龙潭-大隆组厚度分布普遍在 200~500m,最大厚度可达 1000m 以上,最大厚度位于崂山隆起中部和西南部(图 11b)。

根据前人研究,有效烃源岩的发育往往受到有利沉积相的控制:在碳酸盐岩沉积体系内,海侵体系域和高位体系域下部是发育烃源岩的有利层位,其中水深较大的陆棚相、盆地相是理想的烃源岩层;在碎屑岩沉积体系内,烃源岩分布更广,不仅海侵体系域-高位体系域发育期间的浅海-陆棚相可以作为烃源岩,在高位域沉积时期形成的三角洲平原也可形成潜在的烃源岩层<sup>[27]</sup>。据此判断,下二叠统栖霞组的有利烃源岩沉积相主要为盆地相,孤峰组的有利烃源岩沉积相主要为陆棚相;上二叠统龙潭组的有利烃源岩沉积相主要为浅海相,大隆组的有利烃源岩沉积相主要为陆棚相。同时,胡芬等对研究区二叠系岩心 TOC 测试结果显示,栖霞组灰岩 TOC 值

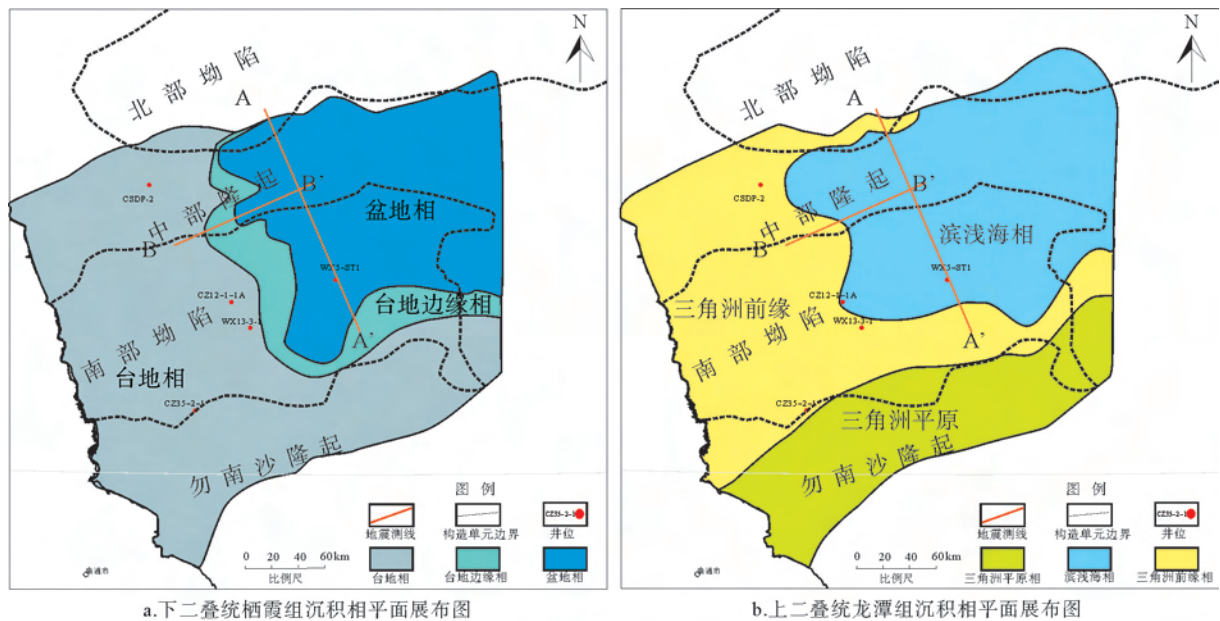


图 10 南黄海二叠系沉积相平面展布  
Fig.10 Permian sedimentary facies map of South Yellow Sea



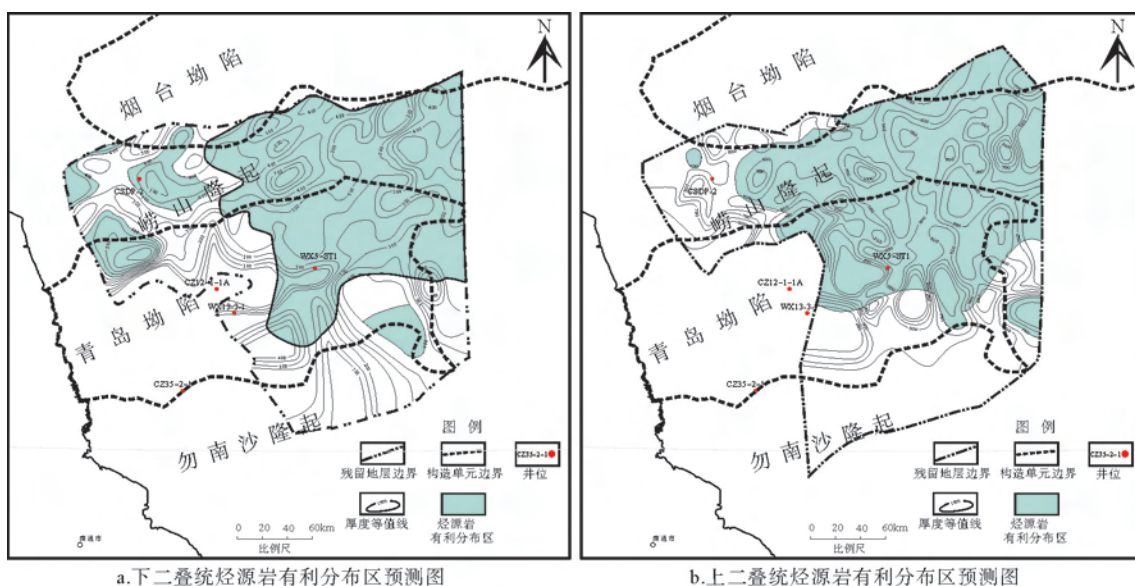


图 11 南黄海二叠系烃源岩有利分布区预测

Fig.11 Prediction map of favorable distribution area of Permian source rocks in South Yellow Sea

为 0.45%~1.52%，平均 1.52%；龙潭组黑色泥岩 TOC 值为 0.75%~5.43%，平均 1.70%；大隆组黑色泥岩 TOC 值为 0.92%~3.48%，平均 1.52%<sup>[28]</sup>。此外，蔡来星等对 CSDP-2 井的岩心 TOC 测试结果显示，栖霞组灰岩 TOC 值为 0.65%~1.13%，平均 0.92%；龙潭组黑色泥岩 TOC 值为 0.27%~12.41%，平均值高达 2.13%；大隆组黑色泥岩 TOC 值为 0.7%~4.85%，平均 1.67%<sup>[23]</sup>。以上测试结果说明，南黄海二叠系烃源岩达到了下扬子区的烃源岩标准<sup>[29,30]</sup>，具有良好的勘探前景。

下二叠统在南黄海海域以栖霞组为主体，孤峰组整体缺失或在局部极少量残留，其烃源岩有利分布区主要受控于栖霞组沉积相展布及残留地层厚度分布，本次预测以栖霞组盆地相分布区及台地残留地层厚度大于 500m 分布区作为下二叠统烃源岩有利分布区；南黄海上二叠统大隆组厚度较小，在 seismic 剖面上难以与龙潭组区分，本次预测以龙潭组浅海相分布区及上二叠统残留地层厚度大于 750m 分布区作为上二叠统烃源岩有利分布区。

综合有利烃源岩沉积相和残留地层厚度分布，预测下二叠统烃源岩有利分布区为崂山隆起中部及青岛拗陷东北部(图 11a)；上二叠统烃源岩有利分布区为崂山隆起中东部、青岛拗陷东北部(图 11b)。

## 5 结论

(1)南黄海二叠系单井相、地震相-沉积相综合

研究表明：二叠系栖霞组沉积时期为海相碳酸盐岩沉积体系，盆地水深整体由南西向北东逐步加深，青岛拗陷及崂山隆起西部为台地相，崂山隆起及青岛拗陷的中东部地区主要为盆地相。

(2)二叠系龙潭组沉积时期为海陆过渡碎屑岩沉积体系，盆地水深自南西向北东逐步加深，青岛拗陷南部、勿南沙隆起为三角洲平原相，崂山隆起西部以及青岛拗陷西部为三角洲前缘沉积相，青岛拗陷东北部及崂山隆起东部为滨浅海沉积相。

(3)通过有利烃源岩沉积相和残留地层厚度分布分析，认为崂山隆起中部及青岛拗陷东北部是下二叠统烃源岩有利分布区，崂山隆起中东部及青岛拗陷东北部是上二叠统烃源岩有利分布区。

**致谢：**本次研究使用的地震、钻井资料来自于中海石油(中国)有限公司上海分公司和中国地质调查局青岛海洋地质研究所，在此表示感谢。同时感谢中国石油大学(北京)纪友亮教授在本次研究中的指导和协助。

## 参考文献 (References)

- [1] 金之钧, 刘光祥, 方成名, 等. 下扬子区海相油气勘探选区评价研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(5): 473-479. [JIN Zhi-jun, LIU Guangxiang, FANG Chengming, et al. Evaluation of selected areas for petroleum exploration in marine strata of Lower Yangtze region[J]. Petroleum Geology&Experiment, 2013, 35(5): 473-479.]

- [2] 冯志强,姚永坚,曾祥辉,等.对黄海中、古生界地质构造特征及油气远景的新认识[J].海洋地质前沿,2002,18(11):17-20. [FENG Zhiqiang, YAO Yongjian, ZENG Xianghui, et al. The new understanding on Mesozoic-Paleozoic structural feature and hydrocarbon prospect in the Yellow Sea[J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(11): 17-20.]
- [3] 闫桂京,许红,杨艳秋.苏北—南黄海盆地构造热演化特征及其油气地质意义[J].天然气工业,2014,34(5):49-55. [YAN Guijing, XU Hong, YANG Yanqiu. Tectonic-thermal evolution characteristics of the northern Jiangsu and South Yellow Sea basins and their petroleum geological significance[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(5): 49-55.]
- [4] 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.]
- [5] 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.]
- [6] 袁勇,陈建文,梁杰,等.海陆对比看南黄海海相中-古生界的生储盖组合特征[J].石油实验地质,2017,39(2):195-202. [YUAN Yong, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Source-reservoir-seal assemblage of marine Mesozoic-Paleozoic in South Yellow Sea basin by land-ocean comparison[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(2): 195-202.]
- [7] 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):69-76. [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.]
- [8] 杨艳秋,易春燕,李刚.南黄海中部隆起地震层序地层的识别及其地质时代探讨[J].海相油气地质,2015,20(4):49-56. [YANG Yanqiu, YI Chunyan, LI Gang. Sequence stratigraphic identification and geologic age inference of seismic profiles in Central uplift, South Yellow Sea[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2015, 20(4): 49-56.]
- [9] 张训华,杨金玉,李刚,等.南黄海盆地基底及海相中、古生界地层分布特征[J].地球物理学报,2014,57(12):4041-4051. [ZHANG Xunhua, YANG Jinyu, LI Gang, et al. Basement structure and distribution of Mesozoic-Paleozoic marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(12): 4041-4051.]
- [10] 杨艳秋,李刚,易春燕.南黄海盆地海相地层地震反射特征及地震层序地质时代[J].东北石油大学学报,2015,39(3):50-59,124. [YANG Yanqiu, LI Gang, YI Chunyan. Characteristics of seismic reflection and geological ages of seismic sequences for marine strata in the South Yellow Sea basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015, 39(3): 50-59, 124.]
- [11] 孙晶,王建强,肖国林,等.南黄海盆地中部隆起海相上构造层分布及断裂系统特征[J].海洋地质前沿,2014,30(10):18-25. [SUN Jin, WANG Jianqiang, XIAO Guolin, et al. Distribution pattern of marine upper structural layer and fault system on the central uplift of the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(10): 18-25.]
- [12] 杨长清,董贺平,李刚.南黄海盆地中部隆起的形成与演化[J].海洋地质前沿,2014,30(7):17-21. [YANG Changqin, DONG Heping, LI Gang. Formation and tectonic evolution of the central uplift of the South Yellow Sea basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(7): 17-21.]
- [13] 吴淑玉,刘俊,肖国林,等.地震多属性预测技术在南黄海二叠系至三叠系沉积分析中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,2011,31(5):109-116. [WU Shuyu, LIU Jun, XIAO Guolin, et al. Application of seismic attribute analysis to the Permian-Triassic deposits in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(5): 109-116.]
- [14] 林年添,高登辉,孙剑,等.南黄海盆地青岛坳陷二叠系、三叠系地震属性及其地质意义[J].石油学报,2012,33(6):987-995. [LIN Niantian, GAO Denghui, SUN Jian, et al. Seismic attributes of the Permian and Triassic in Qingdao depression, South Yellow Sea basin and their geological significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(6): 987-995.]
- [15] 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.]
- [16] 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.]
- [17] 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一大隆组沉积相[J].海洋地质前沿,2014,30(7):46-50,65. [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, 65.]
- [18] 吴志强,骆迪,曾天玖,等.南黄海海相油气地震勘探难点分析与对策建议[J].海相油气地质,2014,19(3):8-17. [WU Zhiqiang, LUO Di, ZENG Tianjiu, et al. Technical difficulties and countermeasures of petroleum seismic exploration in the South Yellow Sea basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(3): 8-17.]
- [19] 庞玉茂,张训华,肖国林,等.下扬子南黄海沉积盆地构造地质特征[J].地质论评,2016,62(3):604-616. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Guolin, et al. Structural and

- geological characteristics of the South Yellow Sea basin in Lower Yangtze block[J]. Geological Review, 2016, 62(3): 604-616.]
- [20] 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]. 地学前缘, 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.]
- [21] 纪友亮, 周勇, 王改为, 等. 下扬子地区古生界海相碳酸盐岩层序地层发育模式及储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 724-732, 786. [JI Youliang, ZHOU Yong, WANG Gaiwei, et al. Sequence stratigraphic models and reservoir prediction of the Paleozoic marine carbonates in the Lower Yangtze area[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 724-732, 786.]
- [22] 纪友亮, 王艳艳, 周勇. 南黄海骨干地震剖面综合地球物理解释[R]. 北京: 中国石油大学(北京), 2015. [JI Youliang, WANG Yanyan, ZHOU Yong. Comprehensive geophysical interpretation of the seismic section, South Yellow Sea[R]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2015.]
- [23] 蔡来星, 王蛟, 郭兴伟, 等. 基于CSDP-2井分析南黄海中部隆起中-古生界沉积相及烃源岩特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2017(3): 1-17. [CAI Laixing, WANG Jiao, GUO Xingwei, et al. Analysis of characteristics on sedimentary facies and source rocks of Mesozoic-Paleozoic in the Central uplift of the South Yellow Sea based on CSDP-2 Overall Coring Well, China[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2017, 1(5): 6-13.]
- [24] Wilson J L. Carbonate Facies in Geologic History[M]. New York, NY: Springer, 1975.
- [25] Erik F. Microfacies of Carbonate Rocks[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2004.
- [26] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008. [ZHU Xiaomin. Sedimentary Rock[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.]
- [27] Sangree J B, Vail P R. 应用层序地层学[M]. 张宏达译. 东营: 石油大学出版社, 1990. [Sangree J B, Vail P R. Application of Sequence Stratigraphy[M]. ZHANG Hongda, trans. Dongying: Petroleum University Press, 1990.]
- [28] 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, 77. [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, 77.]
- [29] 张水昌, 梁狄刚, 张大江. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 8-12. [ZHANG Shuichang, LIANG Digang, ZHANG Dajiang. Evaluation criteria for Paleozoic effective hydrocarbon source rock[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 8-12.]
- [30] 高瑞祺, 赵政璋. 中国油气新区勘探: 中国南方海相油气地质及勘探前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. [GAO Ruiqi, ZHAO Zhengzhang. The Frontier Petroleum Exploration in China: Marine Geology and Exploration Prospects in Southern China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.]