



## 琼东南盆地梅山组浊积扇储层主控因素及其有效性分析

李建平, 徐 微, 闫琢玉, 张 成, 熊连桥

### Controlling factors on the effectiveness of turbidite fan reservoir of the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin

LI Jianping, XU Wei, YAN Zhuoyu, ZHANG Cheng, and XIONG Lianqiao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022090602>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 乐东陵水凹陷梅山组海底扇识别及沉积模式

Identification of submarine fan in the Meishan Formation of the Ledong–Lingshui Sag in the Qiongdongnan Basin and its depositional model

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(2): 90

#### 渤中19-6凝析气田太古宇潜山储层发育主控因素及地质模式

Archaeozoic buried–hill reservoir of Bozhong 19–6 condensate field: Main controlling factors and development model

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 170

#### 西湖凹陷Y构造花港组气藏特征及成藏主控因素

Characteristics of gas reservoir and controlling factors for gas accumulation in the Huagang Formation in Y Structure, Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 174

#### 东海西湖凹陷中央背斜带花港组成藏条件及主控因素分析—以H3气藏为例

Analysis of reservoir–forming conditions and key controlling factors of Huagang Formation in the central anticlinal belt of Xihu Sag of East China Sea—Taking the reservoir H3 for example

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(5): 127

#### 扇三角洲前缘沉积特征及对油藏有效开发的影响——以辽河西部凹陷某试验区于楼油层油藏为例

Depositional characteristics of fan delta deposits and their impacts to reservoir development—An example from Liaohe Basin

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(5): 156

#### 海盆沉积“源–汇”系统分析：南海北部珠江海谷–西北次海盆第四纪深水浊积扇

“Source to sink” analysis of a sea basin: The Quaternary deepwater turbidite fan system in Pearl River Valley–Northwest subbasin, Northern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(2): 1



关注微信公众号，获得更多资讯信息

李建平, 徐微, 闫琢玉, 等. 琼东南盆地梅山组浊积扇储层主控因素及其有效性分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(3): 157-166.  
LI Jianping, XU Wei, YAN Zhuoyu, et al. Controlling factors on the effectiveness of turbidite fan reservoir of the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(3): 157-166.

# 琼东南盆地梅山组浊积扇储层主控因素及其有效性分析

李建平<sup>1</sup>, 徐微<sup>1</sup>, 闫琢玉<sup>2</sup>, 张成<sup>3</sup>, 熊连桥<sup>1</sup>

1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028
2. 中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司, 湛江 524057
3. 中国地质大学(武汉)海洋地质资源湖北省重点实验室, 武汉 430074

**摘要:** 琼东南盆地中新统梅山组浊积扇是该地区天然气最主要的贡献者之一, 其沉积机理、储层主控因素分析及储层预测方法的提高直接影响着该区天然气增储上产。本文根据大量的岩心及井壁取心等实测资料, 对该区钻井揭示的海底扇储层进行了系统分析。研究表明, 琼东南盆地梅山组浊积扇类型及其内部组成、底流改造是影响和制约储层预测成功率的关键, 其中断控陡坡根部盆底扇、深洼盆底扇和峡谷切割深洼盆底扇是储层相对发育的浊积扇类型, 底流改造对处于敞流环境的中扇、外扇储层品质改善至关重要。对于深水环境的浊积扇储层而言, 沉积因素, 如岩性侧封、储层上倾尖灭构成这类岩性圈闭有效性的主要原因, 对于峡谷切割型深洼盆底扇需要重点考虑岩性侧封, 对于深洼盆底扇需要重点考虑上倾尖灭。研究成果可广泛应用于深水浊积扇储层预测。

**关键词:** 浊积体; 储层; 主控因素; 储层有效性; 梅山组; 琼东南盆地

**中图分类号:** P736      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022090602

## Controlling factors on the effectiveness of turbidite fan reservoir of the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin

LI Jianping<sup>1</sup>, XU Wei<sup>1</sup>, YAN Zhuoyu<sup>2</sup>, ZHANG Cheng<sup>3</sup>, XIONG Lianqiao<sup>1</sup>

1. CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China
2. CNOOC Enerteck-Drilling & Production Co., Zhangjiang 524057, China
3. Hubei Key Laboratory of Marine Geology Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The turbidite fan of Miocene Meishan Formation in Qiongdongnan Basin is one of the main contributors of natural gas in the area. To increase the natural gas reserve and production in this area, the sedimentary mechanism, the controlling factors and prediction methods were studied. According to a large number of DST, geological fluid sampling, core and rotary sidewall coring measured data, and relevant enterprise standards, the turbidite fan reservoir of the could be divided into four levels of grade: high-quality, good, effective, and tight. The four levels correspond to high production, commercial production capacity, merely productive capacity, and dry layer. Results show that the type of turbidite fans and its internal composition, bottom current reformation, and reservoir effectiveness are key factors on reservoir prediction success. Fault-terrace basin floor fans, basin floor fans cut by canyon, and integral basin floor fans are three types of relatively good reservoirs; and bottom current reworking is important to improve the reservoir of middle fan and outer fan in open flow environment. For the basin floor fan cut by canyon, the lithological side seal needs to be focused in the future. For the integral basin floor fans, the reservoir pinch out shall be considered too. At present, the rate of reservoir prediction of the Meishan turbidite fans in this area is very low. The methods developed in this study shall be of great value to improve the success rate of reservoir prediction.

**Key words:** turbidite fan; reservoir; main controlling factors; reservoir effectiveness; Meishan Formation; Qiongdongnan Basin

琼东南盆地是中国近海最重要的天然气勘探领域, 中新统浊积体是其主要的勘探开发目标, 探明储量主要集中在黄流组中央峡谷浊积砂体, 而梅山组和三亚组浊积扇研究薄弱、勘探程度低<sup>[1-3]</sup>。已

有研究表明, 琼东南盆地梅山组亦广泛发育浊积扇, 截至目前, 已有 20 余口探井钻遇浊积扇, 且钻探发现有逐年增加的趋势, 显示了良好的勘探潜力。然而, 梅山组浊积扇存在储层致密、泥质含量

**资助项目:** 中海石油(中国)有限公司科研项目“琼东南盆地梅山组有效浊积储集体主控因素及储层预测技术”(YXKY-ZX 03 2021)

**作者简介:** 李建平(1964—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事沉积储层方向的研究, E-mail: lij@cnoc.com.cn

**收稿日期:** 2022-09-06; **改回日期:** 2022-11-15.      张现荣编辑

高、砂层薄、顶油底水、油藏封闭性差等问题, 储层预测成功率低, 储层品质及有效性成为制约其勘探成功的瓶颈问题。

本文综合利用钻遇梅山组浊积扇探井的岩芯、井壁取芯及镜下薄片、压汞等资料, 分析了梅山组浊积扇储层主控因素, 并从岩性侧封、扇体上倾尖灭角度分析了储层成藏有效性。研究成果对梅山组浊积扇进一步勘探具有重要的指导意义, 对三亚组浊积扇勘探亦具有重要参考价值。

1 梅山组浊积扇储层特征

琼东南盆地在中中新世梅山组沉积期处于裂后热沉降演化阶段, 沉积背景总体以滨浅海-半深海为特点, 发育了 2 个三级层序(图 1)。研究认为每个三级层序的不同体系域均沉积了一系列规模不同、类型多样的海底浊积扇体<sup>[2,4-8]</sup>, 诸如在斜坡脚和盆底深洼区发育的各类盆底扇, 斜坡上堆积的斜坡扇和高位期陆棚边缘发育的陆棚扇等<sup>[9-12]</sup>。综合海底地形地貌、断裂活动、海平面变化等因素, 李建平等认为盆底扇可划分为断控缓坡根部盆底扇、断控陡坡根部盆底扇、深洼盆底扇、峡谷切割深洼盆底扇等 4 种类型<sup>[3,13]</sup>。钻井资料揭示, 这些海底扇沉积物粒度总体较细, 以细-粉砂岩为主, 泥质粉砂岩次之, 少量为中-粗砂岩, 局部可见砾岩; 埋深总体较大, 绝大部分超过了 3 000 m, 胶结程度较高, 构成了琼东南盆地中新统重要的油气储层<sup>[2,8]</sup>。

梅山组浊积扇储层岩石类型以长石岩屑砂岩、长石岩屑石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩为

主, 砂岩中偶见砾石颗粒, 砾石最大可达 5 cm 以上。砾石成分复杂, 可见花岗岩、灰岩、火山岩、碎屑岩。砂岩沉积结构特征显示, 靠近盆地西北段的 A-7、A-12 井区距离物源区近, 沉积物粒度粗(砾石), 分选差, 磨圆度变化大。靠近盆地东北段的 A-1、A-5 井区距离物源区相对远, 沉积物磨圆度变好, 由棱角向圆状过渡(图 2)。

琼东南盆地梅山组已钻遇海底扇储层物性资料表明, 整体上随埋深增加, 孔隙度和渗透率降低, 局部分布异常高孔、高渗段。孔隙度主要分布在 10%~20%, 平均值为 12.4%, 渗透率主要为  $(0.05 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均值为  $12.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 以低孔-中渗透层为主(图 3), 孔隙度和渗透率相关性差, 孔渗测试数据离散, 说明影响孔渗的因素多而复杂(图 4)。

琼东南盆地梅山组浊积扇以产出天然气为主, 本次研究参考莺琼盆地天然气储层分类标准, 从生产实际出发(海上石油天然气储量估算规范, 2020), 提出了梅山组浊积体天然气储层分类方案, 结合中国近海海域天然气单井日产量下限、产能分类, 分高产( $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )、具有商业产能( $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )、有一定产能、见地层流体、见泥浆滤液, 分别对应于优质、好、有效、致密储层(表 1)。

2 储层主控因素分析

琼东南盆地不同凹陷梅山组浊积扇埋深有较大差异, 其浊积扇储层物性除受到埋深影响外, 还受到物源、海平面变化、扇体类型及内部构成以及底流改造的影响。

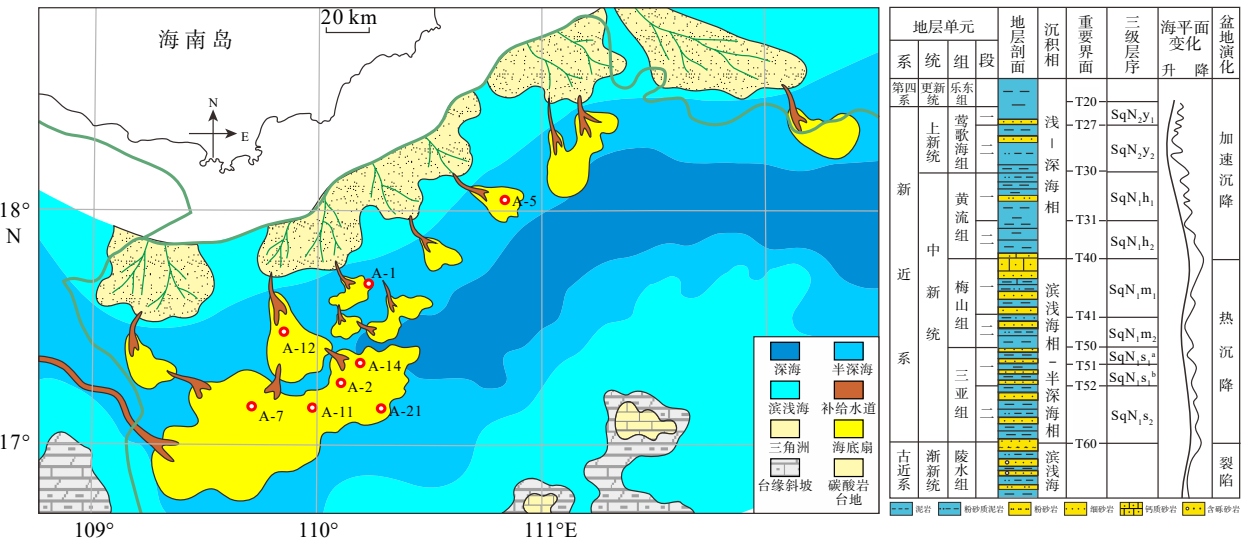


图 1 琼东南盆地梅山组浊积扇平面分布及新近系综合地层柱状图

Fig.1 Distribution of submarine fan of the Meishan Formation and stratigraphic sequence of the Neogene in the Qiongdongnan Basin

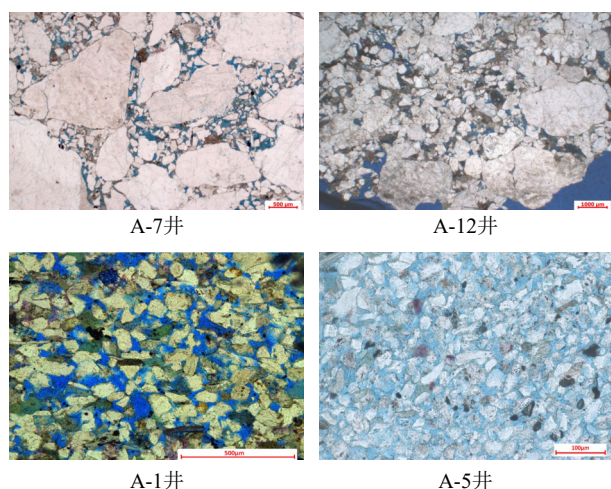


图 2 琼东南盆地梅山组浊积体储层岩石薄片照片  
Fig.2 Pictures of turbidite thin-sections in the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin

## 2.1 沉积物来源

沉积物源对储层发育特征的影响主要体现在不同来源沉积物其碎屑成分、矿物组合等可能存在较大差异,进而导致其储层物性存在一定差异<sup>[14-16]</sup>。琼东南盆地梅山组沉积期发育北部海南岛物源、西部越南物源以及东部神狐物源,利用岩屑成分、重矿物资料以及沉积相平面图可识别出物源差异。

岩屑成分特征显示,A-2井和A-11井岩屑包括

了岩浆岩、变质岩、沉积岩。A-2井区岩屑含量呈跳跃分布,A-11井岩屑含量相对稳定,其中喷出岩岩屑较多。反映前者物源环境有不稳定性。A-2井、A-14井和A-11井花岗岩、变质岩和沉积岩屑分布与A-7井有一定相似性,说明可能受同一物源影响(图5)。

重矿物资料显示,琼东南盆地梅山组沉积期不同构造带的源-汇供给存在差异。A-7井区及以西区域,重矿物组合以锆石+电气石+白钛矿为主,ZTR指数值高,表明A-7井区远离物源,不仅受海南岛物源控制,还受红河物源注入的影响。A-12井区和A-1井区及西南和松东凹陷东南向区域,重矿物组合以锆石+电气石+白钛矿为主,白钛矿含量占据绝对优势。靠近海南隆起区域ZTR数值较A-1井区高,相对靠近物源,与海南岛河流砂岩重矿物特征一致。A-5井区重矿物组合以锆石+电气石+白钛矿为主,ZTR数值占据绝对优势,应属于海南岛物源独立分支,且远离海南岛母岩物源方向(图6)。

岩石薄片、岩矿组分和轻重矿物组合特征,以及宏观构造演化和河道发育分析结果表明,A-7井区是海南岛、越南中部和红河多物源供给,沿红河断裂带1号和13号断裂和多期河道,NW至SE向搬运和沉积。A-12和A-1井区是海南岛物源供给,经5号、3号和2号断裂和多期河道,NNW至SSE

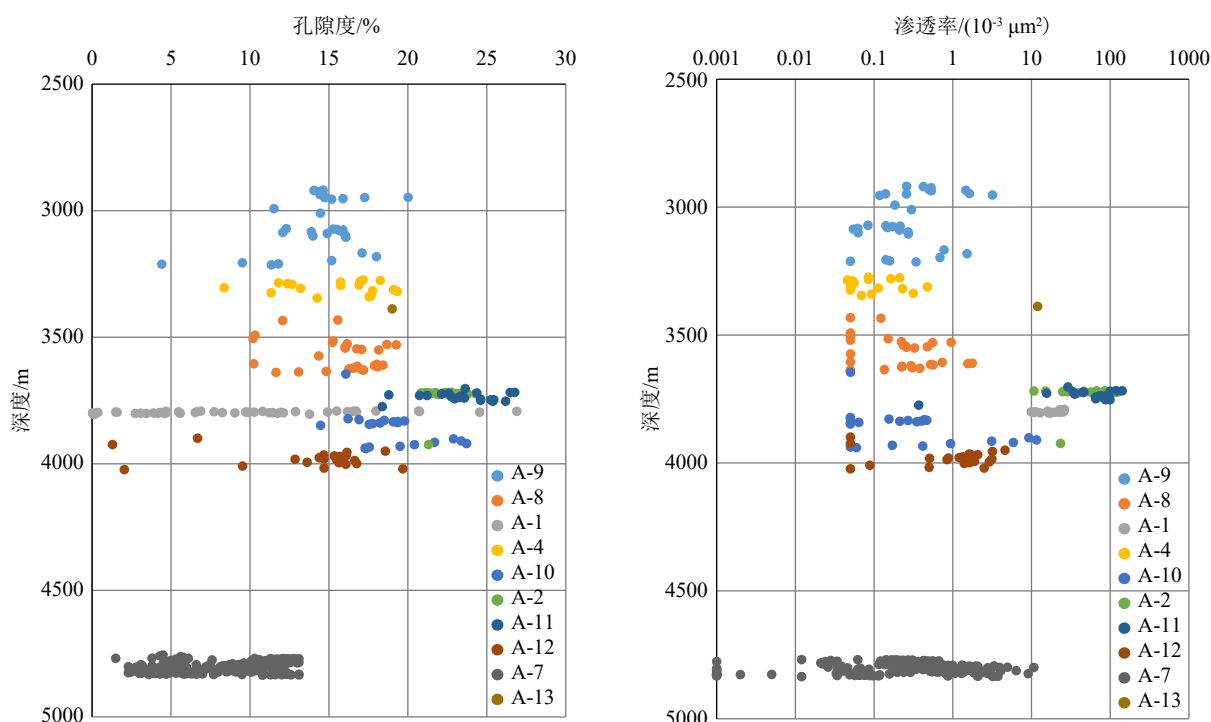


图 3 琼东南盆地梅山组浊积体储层物性与埋深关系图

Fig.3 Relationship between reservoir physical properties and burial depth of turbidite in the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin

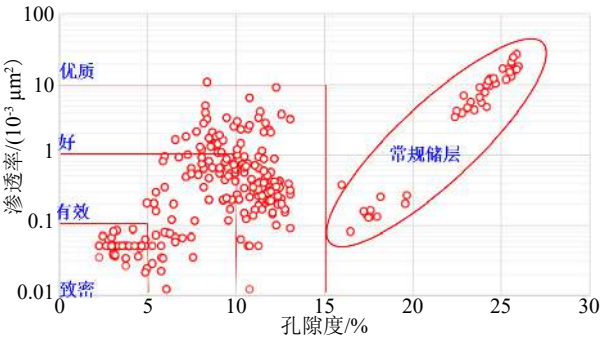


图 4 琼东南盆地梅山组浊积体岩心、旋转井壁取心孔隙交会图

Fig.4 Cross plot of porosity and permeability of turbidite sandstones from core and rotary sidewall coring hole of the Meishan Formation in the Qiongdongnan Basin

向搬运和沉积。A-5 井区为海南岛不同分支物源, 经 5 号、6 号和 2 号断裂和多期河道, NE 至 SW 向搬运和沉积(图 6)。琼东南盆地梅山组沉积物总体

| 表 1 琼东南盆地梅山组天然气储层分类标准                                                                                       |       |                                         |    |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------|----|--------|--------|
| Table 1 Classification standard of natural gas reservoir in the Meishan Formation of the Qiongdongnan Basin |       |                                         |    |        |        |
| 中石油分类                                                                                                       |       |                                         |    | 本次研究分类 |        |
| 储层分类                                                                                                        | 孔隙度/% | 渗透率/(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 评价 | 分类     | 评价     |
| I                                                                                                           | >20   | >1000                                   | 最好 |        |        |
| II                                                                                                          | 15~20 | 100~1000                                | 好  | 优质储层   | 高产     |
| III                                                                                                         | 10~15 | 10~100                                  | 较好 |        |        |
| IV                                                                                                          | 5~10  | 1~10                                    | 较差 | 好储层    | 商业产能   |
| V                                                                                                           | <5    | 0.1~1                                   | 差  | 有效储层   | 少量地层流体 |
|                                                                                                             |       | <0.1                                    |    | 致密层    | 泥浆滤液   |

受海南岛物源的绝对控制, 表现为海南岛、红河和越南中部等多物源供给格局、沿继承性活动断裂和多期发育的河道汇聚、沉积在深洼中央。

物源条件决定了储层的原始碎屑成分及其分选情况, 进而从根本上影响和控制储层物性特征。

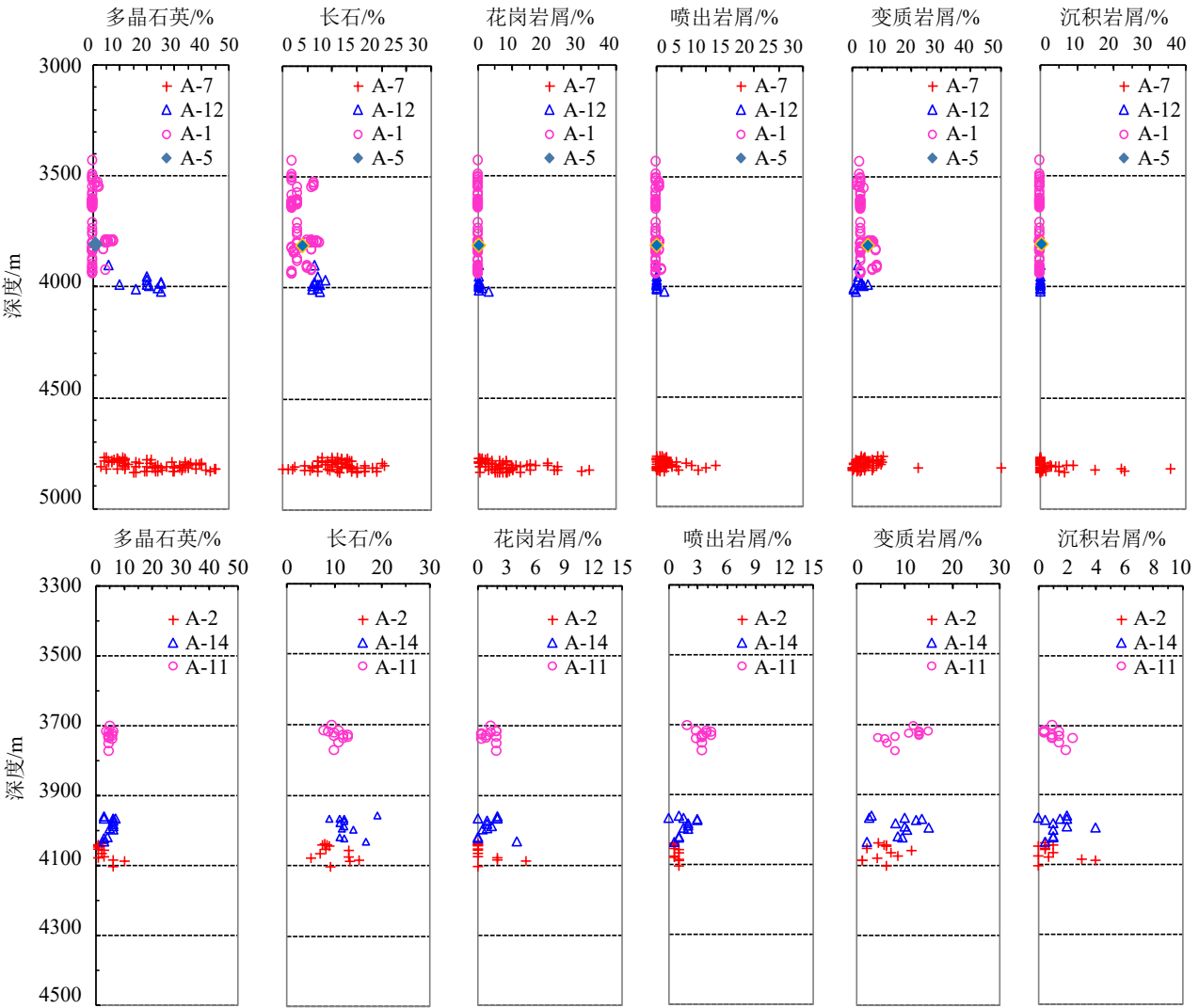


图 5 琼东南盆地梅山组岩石碎屑成分分布图

Fig.5 Distribution of rock clastic composition of the Meishan Formation, Qiongdongnan Basin

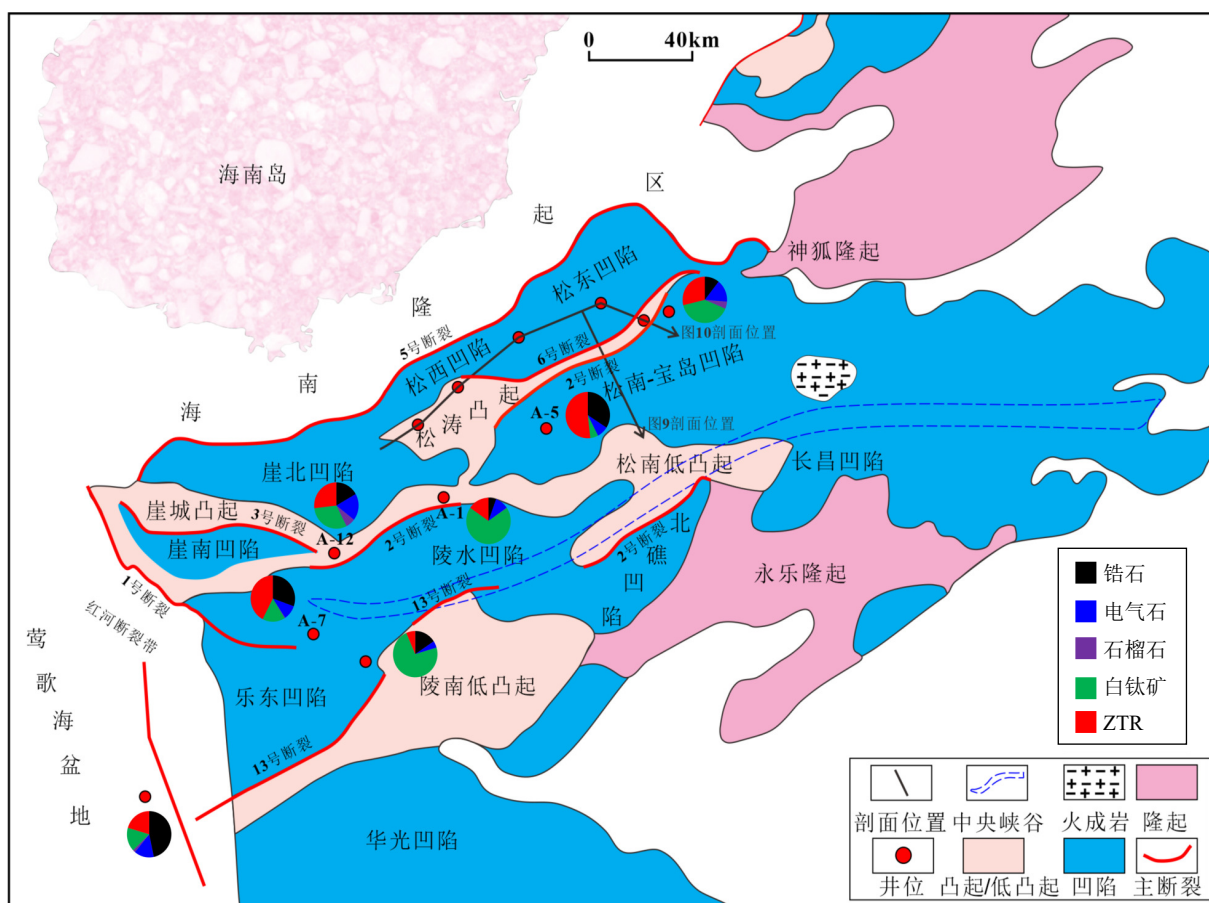


图 6 琼东南盆地中央拗陷西北段梅山组储层重矿物平面分布

Fig.6 Plane distribution of heavy minerals in the Meishan Formation reservoir in the northwest of central depression of the Qiongdongnan Basin

总体上,海南岛物源供给的浊积扇储层的碎屑成分成熟度和结构成熟度都均高于西部越南物源为主供给的浊积扇储层;砂岩中值粒径方面,海南岛物源供给浊积扇储层低于西部越南物源供给浊积扇储层。物源条件决定了梅山组浊积扇储层原始成分和结构的差异,进而影响其物性特征的差异。

## 2.2 海平面变化

海平面变化对储层发育特征的影响主要反映在海平面变化不同阶段发育的海底扇其储层物性特征存在较大差异。A-7 井连续超 180 m 的取芯段上,以正常深海泥岩为界,可识别出 3 期海底扇浊积体,钻遇的梅山组海底扇为高位体系域沉积,黄流组海底扇为低位体系域沉积(图 7)。

浊积体碎屑颗粒组成复杂,岩性从中细砂岩到砾岩,砾石最大可达 5 cm 以上;砾石成分上,花岗岩、灰岩、火山岩、碎屑岩均可见,且分选磨圆都很差;间夹异重流沉积、见有片状泥砾、假团块。这些沉积特点增强了储层内部非均质性,是储层变差的重要因素。颗粒粗使其保存有一定数量的大孔

隙,因此仍有好储层存在,但储层物性变化很大。其中异重流沉积属于洪水事件重力流沉积,一次性搬运,分选磨圆差。从图 7 可以看出,低位体系域海底扇储层物性明显优于高位体系域。

低水位晚期,陆坡浊积沟道会有溢岸沉积,颗粒细,泥质含量高,斜坡扇好-优质储层仅占 7%;高水位时期,陆架三角洲前端可能发育陆棚扇。由于可能夹有洪水期的异重流沉积,分选差,陆棚扇好-优质储层仅占 13%。

## 2.3 浊积扇类型及内部构成

研究认为不同类型海底扇其储层物性有较大差别<sup>[4,14,17]</sup>。盆底扇储层中好-优质储层占 68%,但不同类型间差别很大。断控缓坡根部盆底扇好-优质储层在 76% 以上;而断控陡坡根部盆底扇储层品质总体不好;深洼盆底扇优质储层占比高达 85%,但上倾不尖灭是关键风险;峡谷切割深洼盆底扇与之类似,但侧封是最大风险(表 2)。

此外,每期海底扇不同相带的储层物性亦存在较大差别<sup>[18-20]</sup>。A-7 井(图 7)梅山组海底扇中扇为

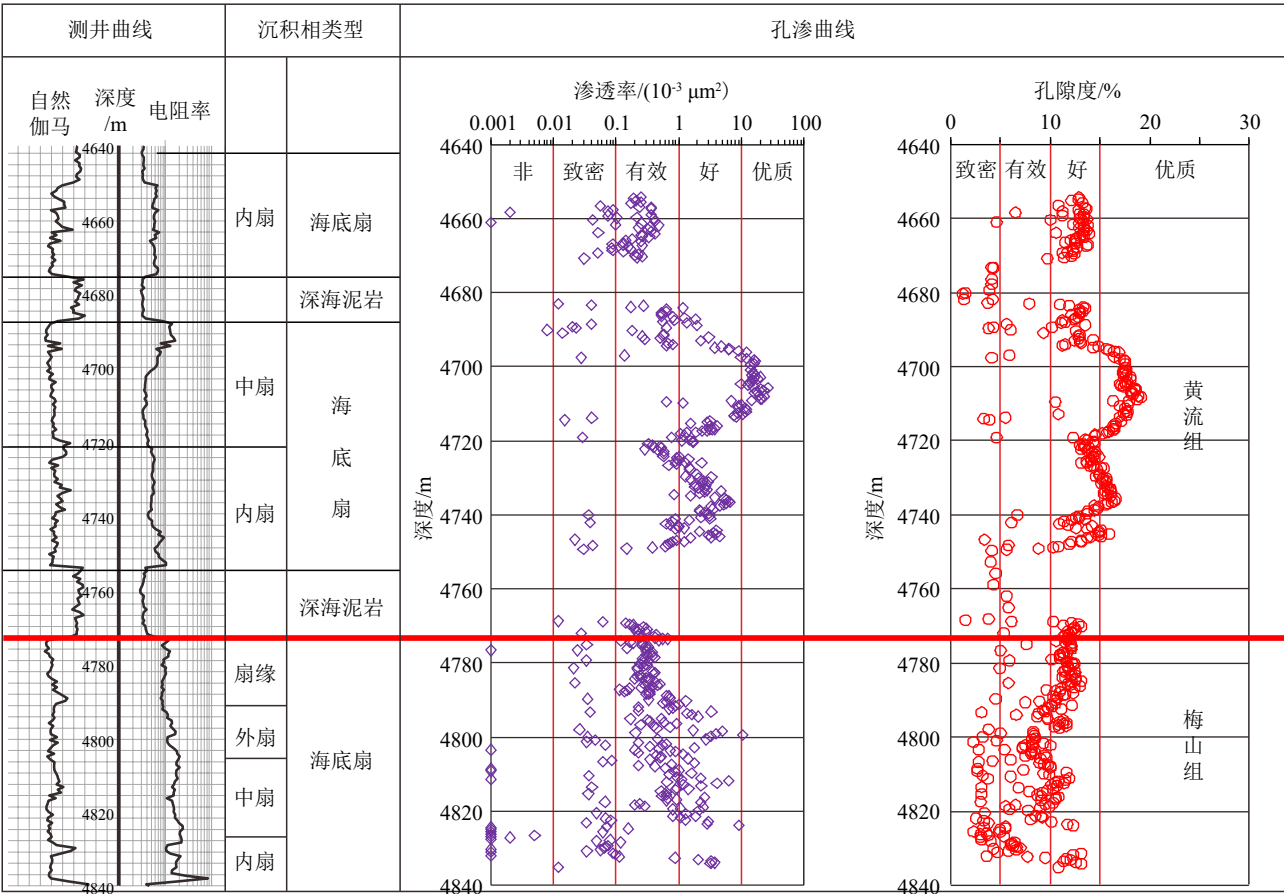


图 7 A-7 井系统取芯段黄流组、梅山组浊积扇物性差异变化

Fig.7 Variations in porosity and permeability of turbidite fan in the Huangliu and Meishan Formations in coring section of the well A-7

表 2 琼东南盆地梅山组已钻盆底扇储层厚度统计

Table 2 Statistics in the thickness that drilled into the basin-floor fan reservoir in the Meishan Formation of Qiongdongnan Basin

| 浊积扇类型 |                | 各种类型储层厚度占比/% |      |     |
|-------|----------------|--------------|------|-----|
| 大类    | 亚类             | 优质+好         | 有效   | 致密  |
| 盆底扇   | 深洼盆底扇峡谷切割深洼盆底扇 | 85           | 5    | 10  |
|       | 断控缓坡根部盆底扇      | 76           | 5    | 19  |
|       | 断控陡坡根部盆底扇      | 10           | 87.5 | 2.5 |
|       | 斜坡扇            | 5            | 15   | 80  |
|       | 陆棚扇            | 0            | 13   | 87  |

均匀的中细砂岩, 储层物性好, 油迹清楚可见, 以优质储层为主; 内扇以中粗砂岩为主, 夹顺层分布的片状泥砾, 储层物性差, 非均质性增强; 外扇为砂泥互层, 砂岩颗粒变细、泥质含量增加, 储层物性有所降低。

2.4 底流改造

琼东南盆地陵水凹陷北部陆坡梅山组可见底流对重力流沉积物改造的标志<sup>[17]</sup>(图 8)。当流速超过一定值时, 底流可侵蚀和携带一定粒级的碎屑物

质, 尤其是细粒泥质沉积物, 进而导致浊积砂体中泥质含量显著降低; 使片状泥质碎屑顺层分布; 清除孔隙内杂质; 保持大孔喉半径并使喉道壁更加光滑。比较而言, 底流对敞流环境沉积物, 如海底扇中扇、外扇改造强, 对限制环境(浊积沟道)的内扇改造弱<sup>[21-23]</sup>。

表 3 显示了 A-8 井不同深度段壁芯样品的储层物性特征。如表所示, 3 个壁芯样品均为海底扇沉积物, 岩性为粉砂岩, 但因其所处相带不同, 受底流改造程度不同, 导致其储层物性存在较大差异。壁心 1 属内扇浊积沟道底部沉积, 泥质含量高达 25%, 且含灰质, 渗透率小于  $0.1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ , 以细小孔喉为主, 属致密层; 壁心 2 属内扇上部沉积, 泥质含量 12%, 渗透率  $0.711\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ , 存在一定的中大孔喉, 但占比不高, 属有效储层; 壁心 3 为外扇沉积, 泥质含量 9%, 渗透率  $3.72\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ , 大中孔喉占比很高, 属于好储层(表 3)。

综上所述, 浊积扇储层以盆底扇为最有利, 断控陡坡根部盆底扇、深洼盆底扇和峡谷切割深洼盆底扇等 3 种属于有利于储层发育的类型。海底扇相带中以中扇和外扇发育好储层、内扇物性相对较

表 3 A-8 井梅山组海底扇储层实测物性特征  
Table 3 Measured physical property data of submarine fan reservoir of Well A-8

| 序号 | 井深/m    | 沉积相    | 孔隙度/% | 渗透率/(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 泥质含量/% | 描述                  |
|----|---------|--------|-------|-----------------------------------------|--------|---------------------|
| 1  | 3 639   | 内扇浊积沟道 | 11.6  | < 0.05                                  | 25     | 致密储层小孔喉占比高          |
| 2  | 3 615   | 内扇上部沉积 | 16.8  | 0.52                                    | 12     | 有效储层中大孔喉普遍存在, 但占比不高 |
| 3  | 3 550.5 | 外扇沉积   | 18.2  | 3.33                                    | 9      | 好储层中等孔喉占比很高         |

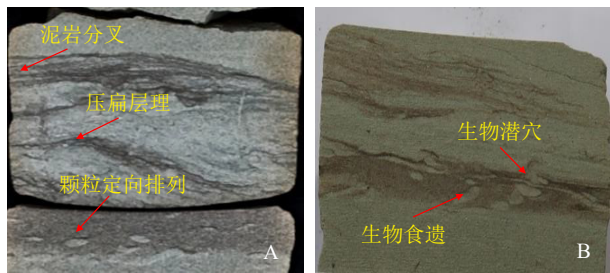


图 8 底流改造部分识别标志 (A-1 井)  
A. 3795.66m, 压扁层理, 泥岩分叉和颗粒定向排列; B. 3795.7m, 生物潜穴、生物食遗被底流改造。

Fig.8 Identification marks of turbidite fan reworked by bottom currents in the Well A-1  
A: 3795.66m, flattening bedding, mudstone bifurcation and grain orientation; B: 3795.7m, animal burrow and feeding tracks that reworked by bottom flow.

差。敞流环境底流改造强、限制性环境底流改造弱。底流活动强会显著降低泥质含量, 制约碳酸盐的沉淀及其自生矿物的产生, 有利于大孔隙的保存<sup>[4,14,17]</sup>。

3 储层有效性分析

前已述及, 琼东南盆地梅山组浊积扇发育好甚至优质储层。然而, 好-优质储层并不等于成藏有效, 只有圈闭条件好, 与油气输导通道连通, 才有可能成藏。探井钻前预测与实钻结果对比显示, 仅

18% 的钻井基本符合; 26% 的钻井符合性较差; 高达 56% 的钻井基本不符合。鉴于琼东南盆地裂后期总体处于伸展背景, 构造圈闭不发育, 岩性圈闭成为该区主要勘探目标。造成梅山组浊积扇储层成藏有效性成功率低的原因, 除储层不发育外, 沉积因素造成的岩性侧封不好、储层上倾不尖灭也是主要原因, 前者主要见于峡谷切割型盆底扇、后主要见于深洼盆底扇。因此, 两者构成了制约储层有效性的关键因素。

3.1 富泥峡谷充填侧封

琼东南盆地中央坳陷带发育了一条自西向东延伸的中央峡谷, 该峡谷切割了梅山组甚至更深地层<sup>[18,24-25]</sup>。若梅山组富砂海底浊积扇被中央峡谷切割, 峡谷充填过程及其内部组成、断控峡谷壁等对浊积扇储层成藏是否有效非常重要。中央峡谷的富泥充填形成的削截尖灭可以在浊积体上倾端或侧翼形成或协助形成圈闭。富泥沟道、沉积尖灭、局部断层共同控制了浊积扇油藏的形成和分布。

A-2 井钻遇的梅山组海底扇被中央峡谷切割后与黄流组峡谷充填物形成侧向对接, 峡谷下部充填为块体流沉积, 空白弱反射, 泥质为主, 上部为平行连续强反射, 属于黄流组 II 砂组 (图 9A)。富泥块体流沉积与梅山组海底扇 T40A 砂体侧向对接, 形成了侧向封挡型圈闭, 测试获得 13 层累计厚度

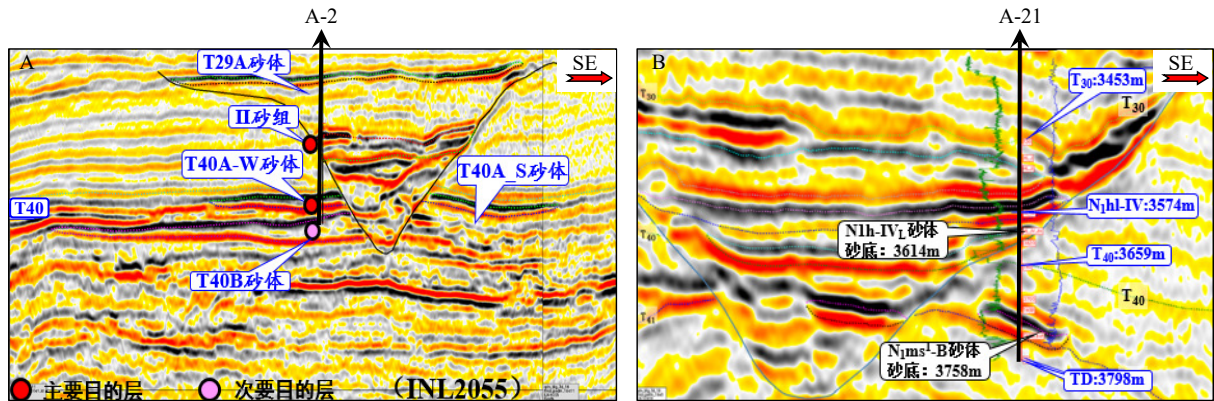


图 9 梅山组峡谷切割海底扇过井地震剖面图  
Fig.9 Crossing well seismic sections of basin floor fan cut by canyon in the Meishan Formation

18.7 m 的气层。与 A-2 井截然不同的, A-21 井梅山组砂体被中央峡谷切割后, 与峡谷充填的黄流组浊积砂体对接, 侧向封挡失败(图 9B), 导致梅山组浊积扇储层含水。

3.2 储层上倾尖灭

钻探实践表明, 琼东南盆地裂后期以发育岩性圈闭为主, 且超过 50% 的岩性圈闭属于砂岩上倾尖灭型圈闭。梅山组海底浊积扇体因显著的地形高差和过路不沉积, 虽然多数上倾尖灭风险不大, 但若物源区富砂, 碎屑颗粒粗, 物源充足, 则有可能存在储层上倾尖灭差的风险。

琼东南盆地乐东凹陷东北部梅山组 B 盆底扇紧邻物源, 均方根振幅属性展示砂体的东南部发育很好的地层尖灭, 但在 NE、NW 方向存在一定上倾尖灭风险(图 10)。B-1 井位于该圈闭 B 砂体较高部位, 钻井揭示属于海底扇内扇, 碎屑颗粒成分复杂、粒度粗, 分选磨圆差、碳酸盐胶结严重。因中

粗颗粒占比高, 仍保留了不少原生孔隙、普遍发育好储层, 渗透率在  $1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$  以上, 孔喉半径以中大者为主, 且占一定比例(表 4), 测试结果为水层。造成储层含水的主要原因是扇体西侧浊积沟道含砂

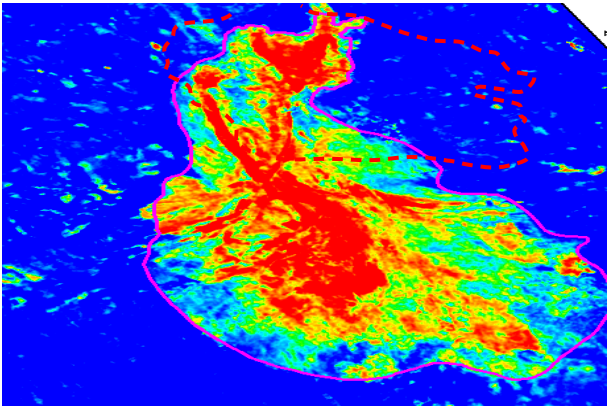
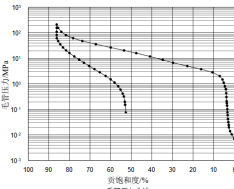
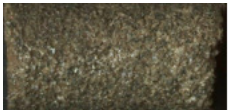
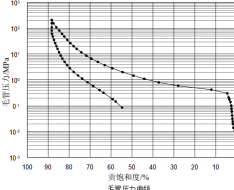
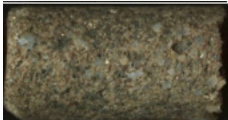


图 10 B 盆底扇均方根振幅地震属性图

Fig.10 Seismic attribute of the root mean square amplitude of the basin floor fan B

表 4 B-1 井梅山组海底扇储层实测物性特征  
Table 4 Measured physical property data of submarine fan reservoir of Well B-1

| 序号 | 井壁取芯   |       |                                                                                     |              |                                         | 压汞资料 |       |                                         |                                                                                                |
|----|--------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|------|-------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 深度/m   | 岩性    | 照片                                                                                  | 孔隙度/%        | 渗透率/(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 储层类型 | 孔隙度/% | 渗透率/(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 压汞曲线及孔喉半径                                                                                      |
| 1  | 3899   | 中砂岩   |  | 6.7<br>6.1   | <0.05<br>8.17                           | 致密   | 6     | 0.0438                                  | <br>3899m |
| 2  | 3950   | 中砂岩   |  | 18.6<br>18.4 | 4.61<br>13                              | 好-优质 | 17.9  | 4.85                                    |                                                                                                |
| 3  | 3968   | 粗砂岩   |  | 16.1<br>15.6 | 2.08<br>4.85                            | 好-优质 | 15.7  | 2.46                                    |                                                                                                |
| 4  | 3980.5 | 中砂岩   |  | 14.7         | 0.88                                    | 好-优质 | 15.2  | 2.79                                    | <br>3994m |
| 5  | 3994   | 含砾粗砂岩 |  | 13.6         | 1.89                                    | 好-优质 | 12.8  | 2.19                                    |                                                                                                |
| 6  | 4002   | 中砂岩   |  | 16.1         | 1.4                                     | 好-优质 | 15.7  | 1.77                                    |                                                                                                |
| 7  | 4017   | 粗砂岩   |  | 14.7         | 0.5                                     | 有效   | 14.7  | 0.75                                    |                                                                                                |

率高,保留了部分渗透性好的储层,导致B-1井所钻圈闭的砂体上倾尖灭不彻底,增加了圈闭成藏的风险。

## 4 结论与建议

(1)琼东南盆地梅山组浊积扇埋深有较大差异,其浊积扇储层物性除受到埋深影响外,还受到物源、海平面变化、扇体类型、内部构成以及底流改造的影响。浊积扇类型及其内部组成、底流改造等是影响和控制浊积体储层品质的主要因素。低位时期的断控陡坡根部盆底扇、深洼盆底扇和峡谷切割深洼盆底扇是好-优质储层相对发育的浊积体类型;从相带来看,中扇和外扇发育好储层,内扇储层非均质性强;此外,在底流强烈活动区,底流改造带走泥质、改善孔隙内壁,明显提高了储层物性。

(2)梅山组浊积扇储层成藏有效性主要取决于岩性侧封和储层上倾尖灭两方面。切割浊积扇的富泥峡谷充填和块体流沉积可以形成有效的顶部和侧向封堵,岩性及断裂侧向封堵是海底扇岩性圈闭形成的关键,特别是精细的断层分析与成图是浊积扇储层成藏有效性评价的关注重点。

## 参考文献 (References)

- [1] 王振峰. 深水重要油气储层: 琼东南盆地中央峡谷体系[J]. 沉积学报, 2012, 30(4): 646-653. [WANG Zhenfeng. Important deepwater hydrocarbon reservoirs: the central canyon system in the Qiongdongnan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 646-653.]
- [2] 解习农, 陈志宏, 孙志鹏, 等. 南海西北陆缘深水沉积体系内部构成特征[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2012, 37(4): 627-634. [XIE Xinong, CHEN Zhihong, SUN Zhipeng, et al. Depositional architecture characteristics of deepwater depositional systems on the continental margins of northwestern South China Sea [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(4): 627-634.]
- [3] 李建平, 廖计华, 方勇. 基于露头 and 岩心的深水重力流沉积新认识及其油气地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(6): 30-37. [LI Jianping, LIAO Jihua, FANG Yong. New understanding of deep-water gravity flow deposition and its significance in petroleum geology based on outcrops and cores [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(6): 30-37.]
- [4] 魏魁生, 崔早云, 叶淑芬, 等. 琼东南盆地高精度层序地层学研究[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2001, 26(1): 59-66. [WEI Kuisheng, CUI Hanyun, YE Shufen, et al. High-precision sequence stratigraphy in Qiongdongnan Basin [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 59-66.]
- [5] Xie X N, Müller R D, Ren J Y, et al. Stratigraphic architecture and evolution of the continental slope system in offshore Hainan, northern South China Sea [J]. *Marine Geology*, 2008, 247(3-4): 129-144.
- [6] 吴时国, 秦蕴珊. 南海北部陆坡深水沉积体系研究[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 922-930. [WU Shiguo, QIN Yunshan. The research of deepwater depositional system in the northern South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 922-930.]
- [7] 雷超, 任建业, 李绪深, 等. 琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 560-569. [LEI Chao, REN Jianye, LI Xushen, et al. Structural characteristics and petroleum exploration potential in the deep-water area of the Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 560-569.]
- [8] 何云龙, 解习农, 陆永潮, 等. 琼东南盆地深水区块体流构成及其沉积特征[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2011, 36(5): 905-913. [HE Yunlong, XIE Xinong, LU Yongchao, et al. Architecture and characteristics of mass transport deposits (MTDs) in Qiongdongnan Basin in northern South China Sea [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 905-913.]
- [9] Shanmugam G. Submarine fans: a critical retrospective (1950-2015) [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2016, 5(2): 110-184.
- [10] Posamentier H W, Kolla V, 刘化清. 深水浊流沉积综述[J]. 沉积学报, 2019, 37(5): 879-903. [Posamentier H W, Kolla V, LIU Huaqing. An overview of deep-water turbidite deposition [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(5): 879-903.]
- [11] 傅烱埔, 刘群, 胡修棉. 水下沉积物重力流与海底扇相模式研究进展[J]. 地球科学进展, 2020, 35(2): 124-136. [FU Hanpu, LIU Qun, HU Xiumian. Review on subaqueous sediment gravity flow and submarine fan [J]. Advances in Earth Science, 2020, 35(2): 124-136.]
- [12] Chen H, Stow D A V, Xie X N, et al. Depositional architecture and evolution of basin-floor fan systems since the Late Miocene in the Northwest Sub-Basin, South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, 126: 104803.
- [13] 李建平, 刘子玉, 谢晓军, 等. 深水重力流沉积机理新认识及其在北海G油田发现中的应用[J]. 中国海上油气, 2021, 33(1): 23-31. [LI Jianping, LIU Ziyu, XIE Xiaojun, et al. New understanding of deep-water gravity flow deposition mechanism and its application in the discovery of G oilfield in North Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(1): 23-31.]
- [14] Reading H G, Richards M. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system [J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(5): 792-822.
- [15] Scott R A, Smyth H R, Moton A C, 等. 油气勘探开发中的沉积物源研究[M]. 李胜利, 李顺利, 单新, 等译. 北京: 石油工业出版社, 2018: 1-472. [Scott R A, Smyth H R, Moton A C, et al. Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production[M]. LI Shengli, LI Shunli, SHAN Xin, et al, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2018: 1-472.]
- [16] Shanmugam G. Deep-Water Processes and Facies Models: Implications for Sandstone Petroleum Reservoirs[M]. Amsterdam: Elsevier, 2006: 1-474.
- [17] Chen H, Xie X N, Mao K N, et al. Depositional characteristics and

- formation mechanisms of deep-water canyon systems along the northern South China Sea margin [J]. *Journal of Earth Science*, 2020, 31 (4) : 808-819.
- [18] Purvis K, Kao J, Flanagan K, et al. Complex reservoir geometries in a deep water clastic sequence, Gryphon Field, UKCS: injection structures, geological modelling and reservoir simulation [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19 (2) : 161-179.
- [19] Mayall M, Jones E, Casey M. Turbidite channel reservoirs – Key elements in facies prediction and effective development [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23 (8) : 821-841.
- [20] 王英民, 王海荣, 邱燕, 等. 深水沉积的动力学机制和响应[J]. 沉积学报, 2007, 25 (4) : 495-504. [WANG Yingmin, WANG Hairong, QIU Yan, et al. Process of dynamics and its response of deep-water sedimentation [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25 (4) : 495-504.]
- [21] Brackenridge R E, Hernández-Molina F J, Stow D A V, et al. A Pliocene mixed contourite-turbidite system offshore the Algarve Margin, Gulf of Cadiz: seismic response, margin evolution and reservoir implications [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 46: 36-50.
- [22] Alonso B, Ercilla G, Casas D, et al. Contourite vs gravity-flow deposits of the Pleistocene Faro Drift (Gulf of Cadiz): sedimentological and mineralogical approaches [J]. *Marine Geology*, 2016, 377: 77-94.
- [23] 苏明, 李俊良, 姜涛, 等. 琼东南盆地中央峡谷的形态及成因[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29 (4) : 85-93. [SU Ming, LI Junliang, JIANG Tao, et al. Morphological features and formation mechanism of central canyon in the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29 (4) : 85-93.]