

蔡坤, 徐东浩. 东海丽水凹陷始新统温州组浪控三角洲-浊积扇沉积特征及沉积模式[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(7): 79-86.

CAI Kun, XU Donghao. Sedimentary characteristics and facies model of wave-controlled delta-turbidity fan in the Eocene Wenzhou Formation in the Lishui Sag of the East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(7): 79-86.

东海丽水凹陷始新统温州组浪控三角洲-浊积扇沉积特征及沉积模式

蔡坤, 徐东浩

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘要: 东海陆架盆地丽水凹陷是重要的油气勘探区。为了加快浅层始新统温州组岩性圈闭勘探, 利用新采集的三维地震、地质资料, 运用层序地层学理论方法, 对温州组进行层序地层划分, 将其划分为 SQ1、SQ2、SQ3 共 3 个三级层序, 其中, SQ1 发育典型的低位、海侵和高位体系域, SQ2 仅发育海侵和高位体系域。各体系域地震反射终止关系和地震相差异明显。本次研究重点是对 SQ1 低位域沉积平面展布特征进行刻画。SQ1 低位域发育浪控三角洲-浊积扇沉积体系, 沉积微相以三角洲前缘滨岸砂坝和薄层灰岩浅滩为主, 垂向叠置样式以进积为主。根据浪控三角洲和浊积扇的沉积特征, 建立了温州组 SQ1 低位域浪控三角洲-浊积扇沉积模式。本次研究厘清了低位域三角洲-浊积扇沉积体系的展布特征和形成机制, 以期在始新统温州组寻找岩性圈闭提供参考。

关键词: 丽水凹陷; 温州组; 低位域; 浪控三角洲; 滨岸砂坝; 浊积扇; 东海陆架盆地

中图分类号: P736; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.220

0 引言

丽水凹陷是东海陆架盆地重要的油气勘探区之一^[1-2]。一直以来, 古新统是油气勘探重点层系, 对始新统温州组关注和研究较少, 温州组层序地层划分不清, 储层平面展布特征不明, 岩性圈闭勘探潜力也不明确^[3-10]。随着勘探的深入, 勘探目标从构造圈闭向岩性圈闭过渡, 勘探层系从深层古新统向浅层始新统温州组转移。为了适应浅层始新统温州组岩性圈闭勘探的需要, 本次研究综合利用钻井、地震等资料, 开展温州组层序地层划分、沉积相研究, 初步厘清了温州组浪控三角洲-浊积扇沉积体系平面展布特征、沉积模式和形成机制, 以期在温州组寻找岩性圈闭提供参考。

收稿日期: 2022-08-05

资助项目: 中海油“七年行动计划”东海专项课题 2“丽水凹陷在生产气田保产及新领域勘探开发关键技术研究”(CNOOC-KJ135ZDXM39SH02)

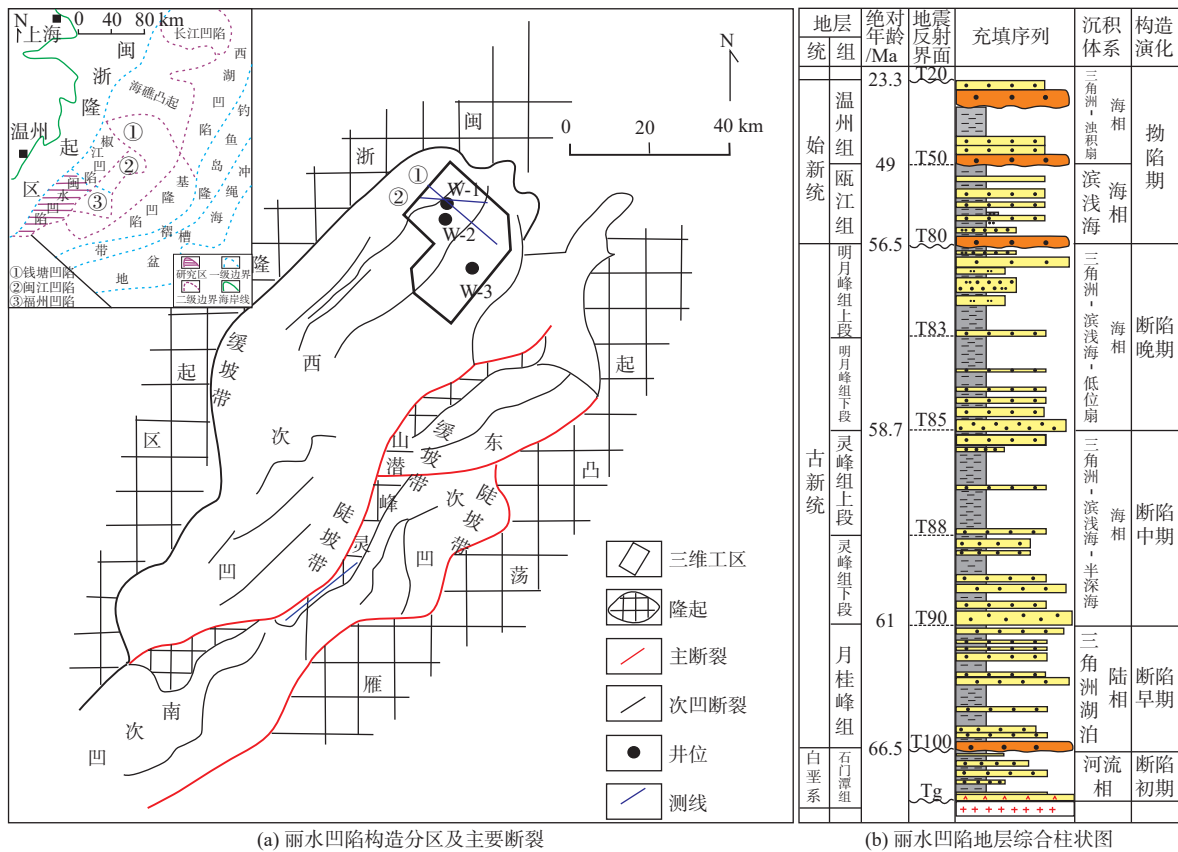
作者简介: 蔡坤(1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质方面的研究工作。E-mail: caikun@cnooc.com.cn

1 区域地质概况

丽水凹陷位于东海陆架盆地西南部, 北部和东部分别与椒江凹陷、福州凹陷相邻, 西部与浙闽隆起区相接, 是在中生代残留盆地上发育起来的新生代断陷盆地, 面积约 12 500 km²。丽水凹陷基底由中生代火山岩、花岗岩组成, 上覆沉积地层为上白垩统石门潭组, 古新统月桂峰组、灵峰组和明月峰组, 下始新统瓯江组, 中始新统温州组以及中新统、上新统和第四系, 缺失始新统上部及渐新统^[11-15]。凹陷构造演化从下向上依次经历了断陷期、拗陷期和区域沉降期, 其中, 白垩系和古新统为断陷期沉积, 始新统为拗陷期沉积。丽水凹陷整体呈 NE-SW 向展布, 可进一步划分为 4 个构造单元: 西次凹、东次凹、南次凹、灵峰潜山带^[11-15](图 1)。西次凹北部主洼三维区是本文研究的目标区(图 1)。

2 温州组层序地层特征

随着三维地震资料的采集和已钻井的部署实



(a) 丽水凹陷构造分区及主要断裂 (b) 丽水凹陷地层综合柱状图

图1 丽水凹陷区域地质背景及沉积充填序列^[15]

Fig.1 Geological background and sedimentary sequence of the Lishui Sag^[15]

施,地震地质资料逐渐丰富。综合利用钻井、地震资料,井震结合,准确识别出层序界面和体系域界面,并且进行横向对比追踪,建立了目标区等时地层格架。本次研究将温州组划分为3个三级层序,从下向上分别为SQ1、SQ2和SQ3,其中,SQ1发育典型的低位域(LST)、海侵域(TST)和高位域(HST),SQ2仅发育海侵域和高位域,SQ3仅发育底部的低位域,海侵域和高位域被剥蚀(图2、3)。

2.1 地震反射界面特征

三级层序和体系域界面在地震剖面上最直观可靠的识别标志为:削截、顶超、上超和下超4种超覆关系。温州组发育4个三级层序界面,从下向上分别是SB1、SB2、SB3、SB4(图3)。底界面SB1在物源区为典型的下超面,三角洲前积到SB1界面上,在盆地中心斜坡区为典型的上超面,低位域地层上超到SB1界面上;SB2为典型的上超面,SB3界面上下超覆关系不明显,但是界面上下的地层地震相差别明显,上部为中频较连续强反射,下部为中低频较连续中弱反射;SB4为大的区域不整合面,将SQ1和SQ2西部地层全部夷平

(图3、4)。初始海泛面(FFS1)为上超面,界面较连续,在工区内分布范围较广;最大海泛面(MFS1)为典型的下超面,地震同相轴连续,在工区内分布范围较广;最大海泛面(MFS2)为下超面,高位三角洲前积的底界面,并且为最晚期次的上超界面(图3、4)。

2.2 钻井层序特征

W-1井温州组识别出SQ1和SQ2,SQ3缺失。SQ1测井曲线特征为向上GR值先减少、增大、再减小的过程,整段古生物数据较少,在1205m处丰度和分异度达到最大值,钙超丰度达到1200,分异度达到25,综合GR值、古生物值以及岩性组合特征,将初始海泛面(FFS)和最大海泛面(MFS)分别定在1200m和1152m处(图2)。SQ1低位域由5个向上变粗的反旋回组成,岩性组合为灰色细砂岩和灰岩互层发育,每个反旋回顶部为一套灰岩,海侵域由向上变细的正旋回组成,下部发育灰色粉砂岩,上部发育灰色泥岩,高位域由向上变粗的反旋回组成,下部为灰色泥岩,上部发育灰色细砂岩。SQ2海侵域发育较薄,由向上变细的泥岩组成,高

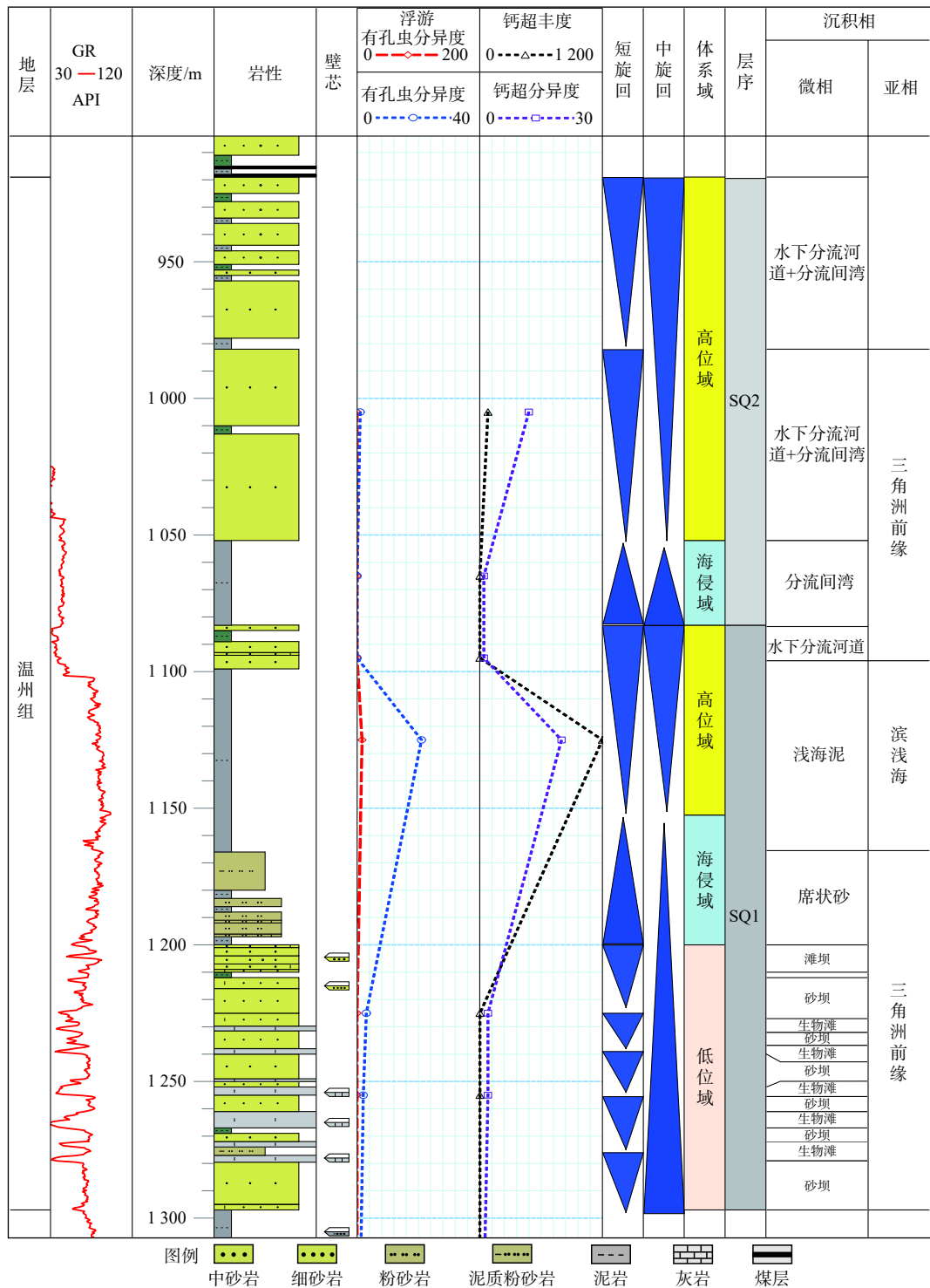


图 2 W-1 井温州组沉积相图

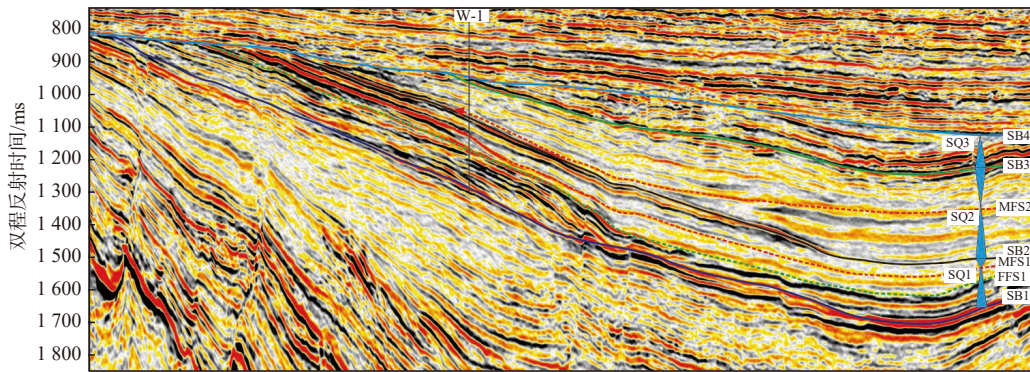
Fig.2 Sedimentary facies of the Wenzhou Formation in Well W-1

位域由 2 个向上变粗的反旋回组成, 发育厚层的灰色中砂岩、灰色含砾中砂岩与薄层的灰色、灰绿色泥岩互层。

2.3 井震结合及地震相特征

将已钻井和过井地震剖面对比分析, 钻井层序、

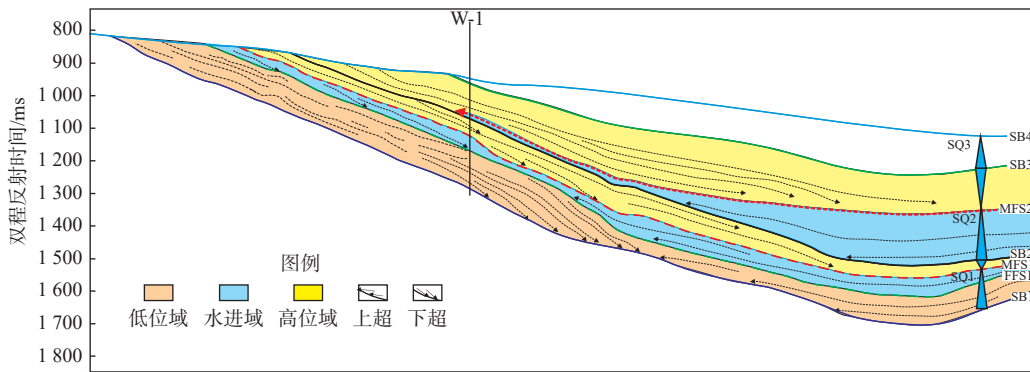
体系域界面和地震层序界面能够较好地一一对应。温州组各体系域地震相差异明显, 其中, SQ1 低位域地震相为高频连续强反射, 海侵域物源区为中频连续强反射, 盆地区为低频连续弱反射, 高位域从物源区到盆地区为低频连续强反射和低频较连续弱反射。SQ2 海侵体系域和高位体系域地震相特征分



剖面位置见图 1a 测线②

图 3 温州组地震层序划分剖面

Fig.3 Division of seismic sequence section of the Wenzhou Formation



剖面位置见图 1a 测线②

图 4 温州组层序地层剖面

Fig.4 Sequence stratigraphic section of the Wenzhou Formation

别为低频连续弱反射和高频较连续弱反射(图 3)。

3 浪控三角洲-浊积扇沉积体系展布特征及沉积模式

目标区砂岩储层主要发育在低位域和高位域,泥岩发育在海侵域。SQ1 海侵域和低位域形成一套储盖组合, SQ2 海侵域和 SQ1 高位域形成一套储盖组合(图 2)。温州组 SQ1 低位域是岩性圈闭发育的重要层段,下文重点对低位域浪控三角洲-浊积扇沉积体系展开论述。

3.1 沉积相类型

目前已有大量实例证明三角洲和浊积扇伴生,但多是河控三角洲和浊积扇伴生,浪控三角洲和浊积扇伴生的实例较少。浊积扇规模大小取决于三角洲沉积物供给量,进积三角洲意味着沉积物供应充足,更易伴生浊积扇。

3.1.1 浪控三角洲

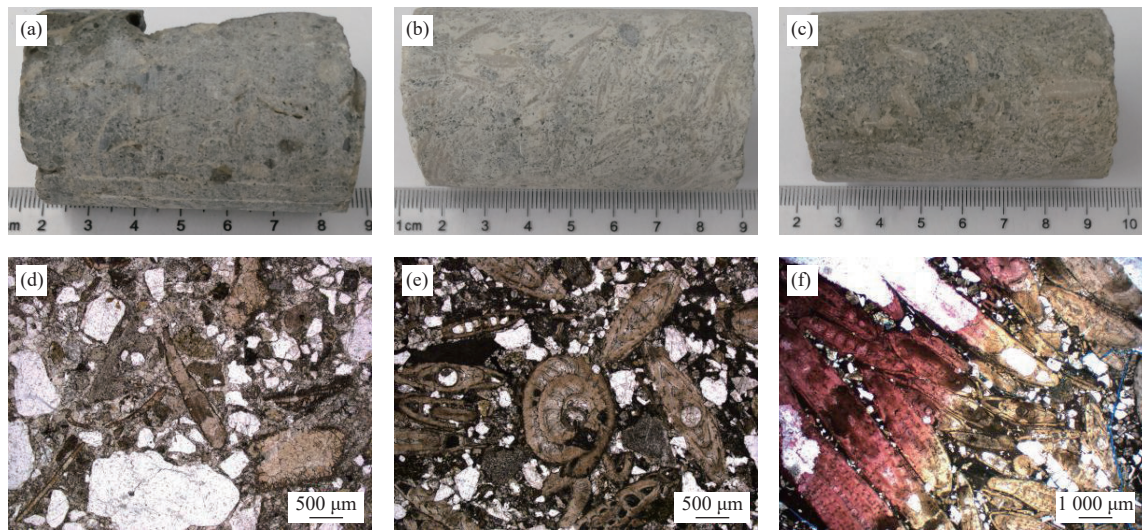
温州组 SQ1 低位域发育浪控三角洲,沉积主体

是浪控三角洲前缘滨岸砂坝,主要识别依据包括:

(1) 岩性组合为灰色砂岩与灰白色有孔虫灰岩互层

以 W-1 井为例(图 2),发育层段总厚度约 100 m,以灰色中砂岩、灰色细砂岩与灰白色有孔虫灰岩互层为特征,偶见灰色泥岩,其中共发育 7 层灰白色灰岩,单层厚度为 2.1~4.3 m。在该层段共取了 4 个壁芯样品,并对其进行了岩石薄片分析。1 204 和 1 254 m 壁芯岩性主要为含砾生屑质细-中粒砂岩,碎屑颗粒分选差,以中砂为主,少量细砂和砾石;1 265 和 1 278 m 壁芯为泥晶有孔虫灰岩,有孔虫含量高达 85%,生屑结构,厚壁虫科的货币虫个体保存较好,一般 1.5~2.3 mm,最大为 2.7 mm(图 5)。

目的层段货币虫灰岩发育,货币虫营底栖生活,是底栖有孔虫的一种,始新世以来特别繁盛,成为一种重要的造岩生物,一般生活于热带亚热带清澈的浅海中,位于透光带的较深水区域。生活水深在 20~60 m 以内^[16]。货币虫大量堆积且定向排列,表明在波浪的单方向地质营力作用下,形成高能货



(a)含砾生屑质细中砂岩(1 204 m);(b)有孔虫灰岩(1 265 m);(c)有孔虫灰岩(1 278 m);(d)含砾中砂岩中富含生物碎屑,包括棘皮、腕足等(1 204 m,单偏光);(e)富含大型底栖有孔虫(货币虫),反映滨海沉积环境(1 265 m,单偏光);(f)富含大型底栖有孔虫(货币虫)(1 278 m,单偏光)。具体深度见图 2

图 5 温州组壁芯及薄片鉴定

Fig.5 Biological identification of core and thin-section of the Wenzhou Formation

币虫滩体。

(2) 灰色砂岩层段地震相为低角度前积(叠瓦状前积)反射

温州组浪控三角洲顺物源方向为低角度前积反射(叠瓦状前积反射),不同前积层大致平行(图 6);垂物源方向为丘状体反射特征。浪控三角洲前积反射沿着海岸线均有发育,平原分流河道携带沉积物进入水体,受波浪或沿岸流的作用改造使得砂体沿岸线分布,致使三角洲向海方向加积或进积。叠瓦状前积反射是沉积单元前积进入浅水环境的反映。

3.1.2 浊积扇

目标区 W-3 井位于坡折带之下,低位域岩性组合为灰色粉砂岩和(深)灰色泥岩互层,粉砂岩厚度为 4~10 m(图 7),未钻遇浊积扇主体部位。顺物源方向地震反射特征为典型的上超反射特征(图 6)。

3.2 三角洲-浊积扇剖面相分析

目标区钻遇 W-1、W-2、W-3 三口井,岩性组合差异明显,W-1 井砂岩与灰岩互层,W-2 井底部发育一套砂岩,上部发育灰岩和灰绿色泥岩互层,灰岩层数和 W-1 井相当。W-2 井不是滨岸砂坝主要发育位置,仅在早期发育砂坝,后期发育灰岩滩。W-3 井发育浊积扇,但是处于扇体边部位置(图 7)。

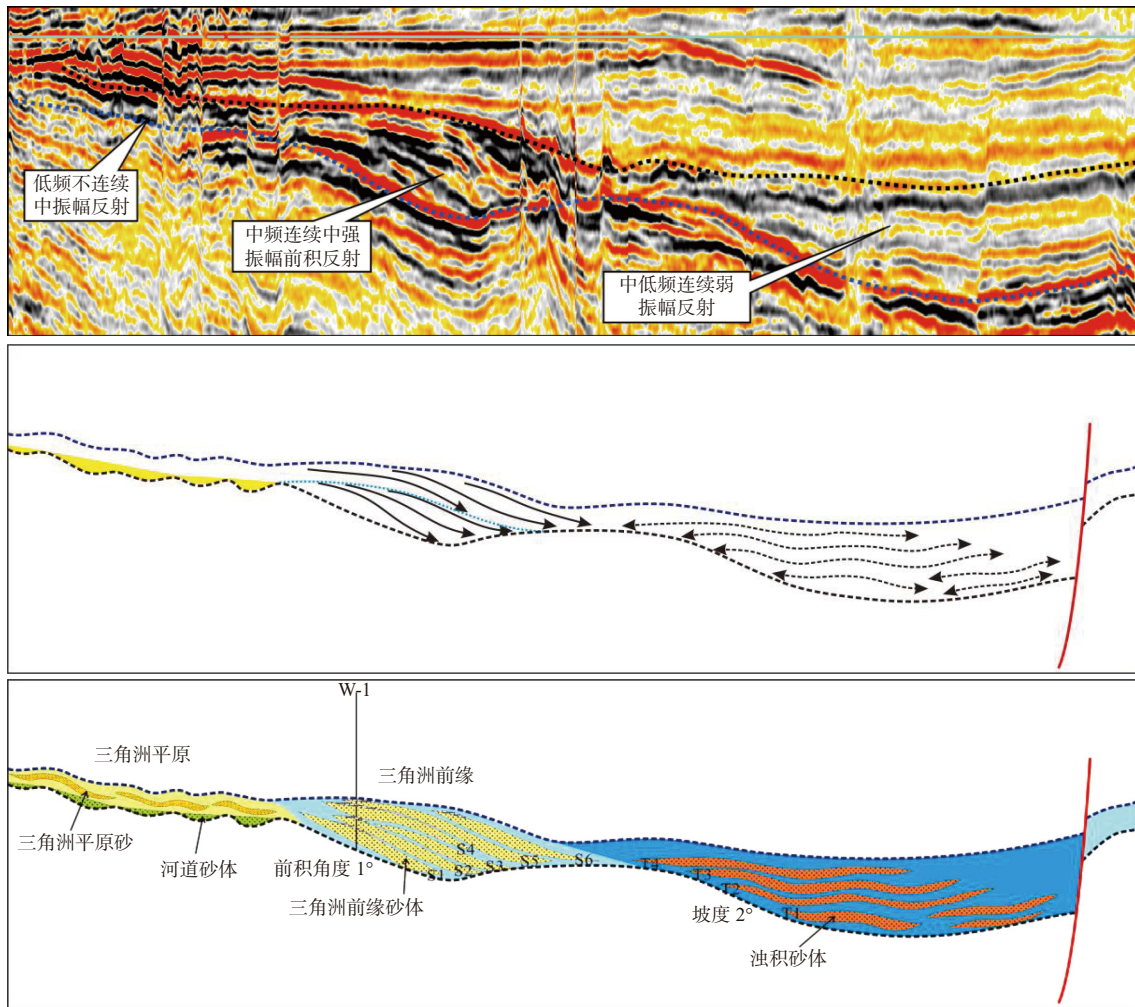
SQ1 低位域浪控三角洲-浊积扇沉积体系从西向东依次发育平行—亚平行低频不连续中振幅反射、中频连续中强振幅前积反射和平行—亚平行中低频连续弱振幅反射,分别代表三角洲平原分流河道和分流河道间微相、三角洲前缘滨岸砂坝和浊积扇(图 6)。

利用前积反射的顶和底计算三角洲前积角度约在 1° ,恢复当时古水深约 25 m,同时,利用相同的方法对斜坡坡度进行计算,约为 2° ,利于三角洲前缘的砂体在事件性触发机制的作用下向盆地中心进行滑塌,形成浊积扇(图 6)。三角洲的期次和浊积扇的期次基本对应。

SQ1 低位域浪控三角洲发育 6 期,从西向东依次为 S1、S2、S3、S4、S5、S6(图 6),砂体均呈现 NE 向展布,每期砂体均具有一定的规模,面积介于 $96.3\sim 37.6\text{ km}^2$,且逐渐减小。浊积扇发育 4 期,从下向上分别是 T1、T2、T3、T4(图 6),沉积规模依次变大,单期扇体面积介于 $72\sim 194\text{ km}^2$,呈不规则朵状分布。

3.3 沉积相平面展布规律

研究区面积大、钻井少,单纯利用钻井资料难以刻画平面相带展布和储层的平面展布特征,新采集的三维地震资料能够较好地解决这一问题。综合利用已钻井地震相和典型地震反射特征,将目标区沉积相带推广到无井区,从而厘清目标区浪控三



剖面位置见图 1a 测线①

图 6 温州组低位域典型地震反射结构沉积剖面

Fig.6 Sedimentary profile of typical seismic reflective structures in the low-level domain of the Wenzhou Formation

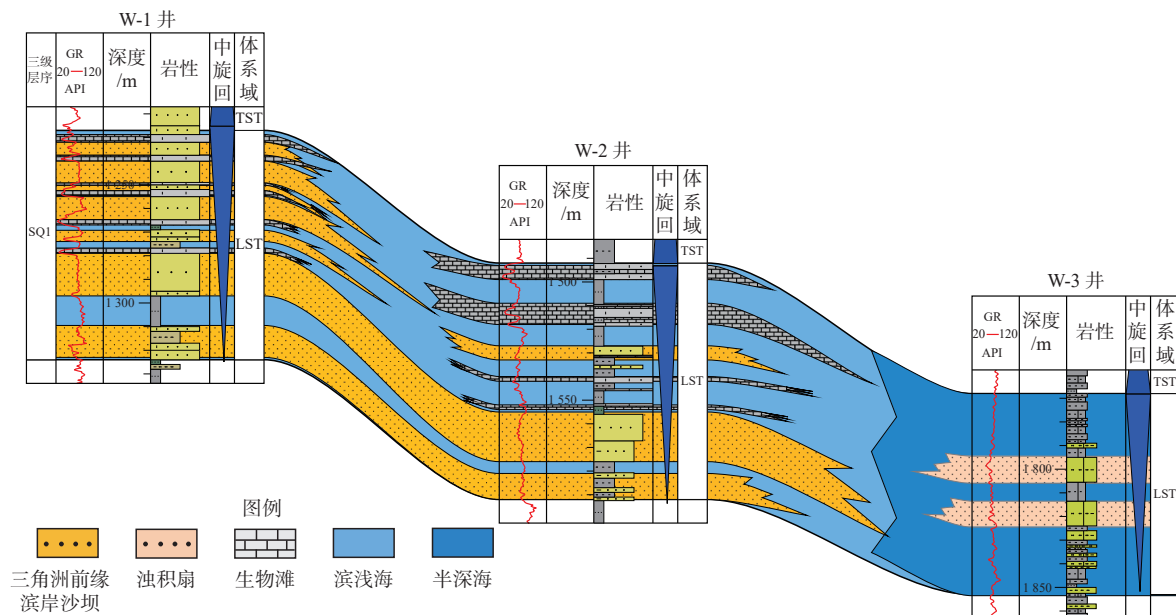


图 7 温州组 SQ1 低位域连井沉积相

Fig.7 Inter-well comparison in sedimentary facies of the SQ1 low-domain of the Wenzhou Formation

角洲-浊积扇沉积体系平面展布特征。

工区内浪控三角洲与其他区块浪控三角洲具有相类似的特征^[17-19]。工区内主要发育 2 个三角洲朵体, 从西北方向向东南方向推进, 已钻井主要发育在北部朵体上。平原分流河道携带沉积物流入海盆中, 受到波浪作用的影响, 在河口两侧形成一系列平行于岸线分布的砂坝或滩坝, 且在河口处相较于平行岸线的其他位置堆积更多的砂体, 形成向海方向突出的弓形或者鸟咀状河口。三角洲前缘滨岸砂坝为浪控三角洲的骨架砂体, 平面上呈 NNE 向展布的长条形砂质条带, 与海岸线平行, 且向海洋中心进积的特征。NNE 向砂坝向海方向进积到坡折处时, 由于地形坡度较大, 斜坡之上的沉积物发生滑塌, 在坡脚处堆积, 形成一系列浊积扇, 沿坡折 NNE 向展布(图 8)。

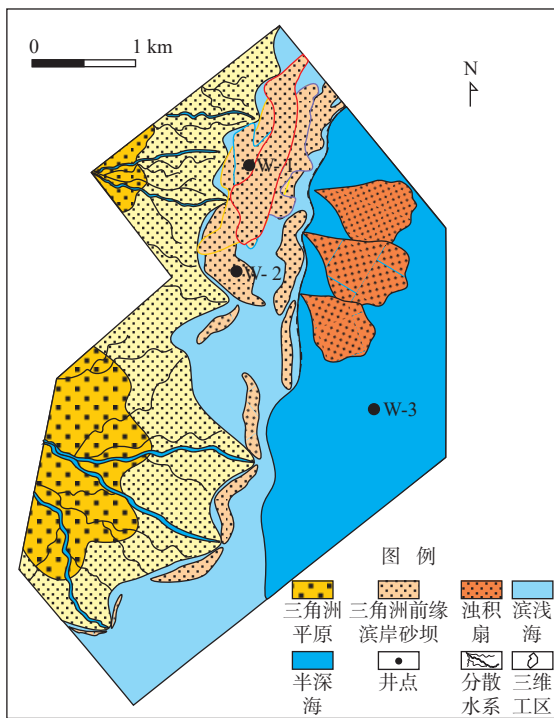


图 8 温州组 SQ1 低位域沉积相图

Fig.8 Sedimentary facies of low-lying domains of the Wenzhou Formation

3.4 沉积模式

目标区三角洲同时具有浪控、货币虫大量发育的特征, 浪控三角洲滨岸砂坝和生物滩垂直向叠置形成, 并且以发育砂岩储层为主导, 是目标区重要的骨架砂体相带。利于岩性圈闭发育的低位域时期, 沉积体由下超在陆架上的三角洲和上超在斜坡之

上的浊积扇组成。低位域早期, 三角洲向盆地方向推进, 受波浪改造形成一系列平行于岸线的砂坝沉积体, 随着三角洲向前推进, 填平第 1 个洼槽, 三角洲推进到地形坡度突变点, 水深急剧加深, 沉积物发生垮塌, 形成一系列浊积扇群(图 9)。

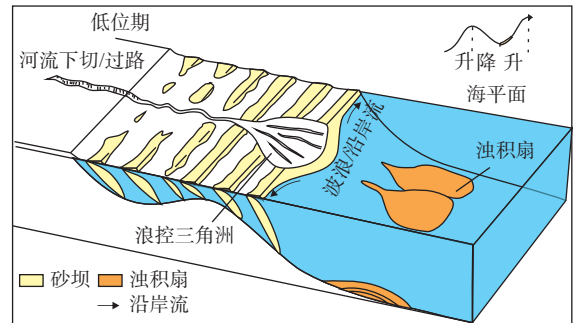


图 9 温州组浪控三角洲-浊积扇沉积模式图^[20]

Fig.9 The sedimentation pattern of wave-control delta-turbidity fan in the Wenzhou Formation^[20]

4 结论

(1) 丽水凹陷始新统温州组发育 3 个三级层序, 从下向上分别为 SQ1、SQ2 和 SQ3, 其中, SQ1 发育典型的低位域、海侵域和高位域。浪控三角洲-浊积扇沉积体系主要发育在 SQ1 低位域。

(2) 温州组浪控三角洲同时具有浪控、货币虫大量发育的特征, 浪控三角洲滨岸砂坝和生物滩垂直向叠置, 平面上呈 NNE 向展布, 与海岸线平行。NNE 向砂坝向海进积到坡折处发生滑塌, 在坡脚处堆积, 形成一系列浊积扇。

(3) 温州组岩性圈闭勘探潜力较大, 浪控三角洲和浊积扇均为岩性圈闭发育的重要相带。浪控三角洲由 6 期平行于岸线分布的长条形砂坝组成; 浊积扇由 4 期朵状展布砂体组成。

参考文献:

- [1] 陈志勇. 丽水、椒江凹陷油气潜力分析和勘探突破口的选择[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(6): 451-458.
- [2] 陈志勇, 吴培康, 吴志轩. 丽水凹陷石油地质特征及勘探前景[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(6): 384-391.
- [3] 刘俊海, 吴志轩, 于水, 等. 丽水凹陷古新统微量元素地球化学特征及其地质意义[J]. 中国海上油气, 2005, 17(1): 8-11.
- [4] 刘景彦, 陈志勇, 林畅松, 等. 东海丽水西次凹古新统明月峰组层序-体系域分析及沉积体系展布[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 380-386.
- [5] 田杨, 叶加仁, 杨宝林, 等. 东海陆架盆地丽水凹陷油气成藏规律及区带优选[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(4): 639-653.

- [6] 侯国伟,刘金水,蔡坤,等.东海丽水凹陷古新统源-汇系统及控砂模式[J].地质科技情报,2019,38(2):65-74.
- [7] 吕成福,陈国俊,梁建设,等.东海陆架盆地瓯江凹陷古近系沉积演化[J].海洋地质前沿,2011,27(8):1-7.
- [8] 覃军,张迎朝,刘金水,等.东海陆架盆地丽水-椒江凹陷古新统L气田成藏过程与主控因素[J].天然气地球科学,2022,33(4):605-617.
- [9] 刘正华,侯元立,陈淑慧,等.东海丽水凹陷早新生代沉积特征及物源演化[J].地球科学,2022,47(7):2562-2572.
- [10] 田兵,李小燕,庞国印,等.叠合断陷盆地沉积体系分析:以东海丽水-椒江凹陷为例[J].沉积学报,2012,30(4):696-705.
- [11] 王毅,姜亮,杨伟利.丽水-椒江凹陷断裂构造运动学[J].地质科学,2000,35(4):441-442.
- [12] 杨伟利,王毅.丽水-椒江凹陷伸展运动分析[J].西南石油学院学报,2002,24(3):8-9.
- [13] 刘俊海,杨香华,吴志轩,等.东海盆地丽水凹陷古新统锆石示踪作用分析[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(1):85-92.
- [14] 葛和平,陈志勇,方来富,等.丽水凹陷油气成藏期次探讨[J].中国海上油气(地质),2003,17(1):44-50.
- [15] 蔡坤,徐东浩,袁悦,等.东海丽水凹陷西次凹明月峰组浊积扇沉积特征及沉积模式[J].海洋地质与第四纪地质,2020,40(1):22-30.
- [16] 李娟,王天奇,孙松领,等.北非Sabrakah盆地始新统El Garia组货币虫灰岩层序地层与沉积模式[J].地质科技情报,2015,34(5):21-26.
- [17] 陈旭,欧荣生,斯尚华,等.巴基斯坦N区块浪控三角洲沉积相划分及模式[J].沉积学报,2022,40(1):255-266.
- [18] 高雨,屈红军,陈硕,等.浪控三角洲发育特征:以莺歌海盆地东方1-1气田上新统二段为例[J].海洋地质前沿,2021,37(11):42-52.
- [19] 罗顺社,高振中.塔西南考库泥盆系浪控陆棚和浪控三角洲微相[J].石油与天然气地质,1995,16(3):227-233.
- [20] 卡图尼努.层序地层学原理[M].北京:石油工业出版社,2009.

Sedimentary characteristics and facies model of wave-controlled delta-turbidity fan in the Eocene Wenzhou Formation in the Lishui Sag of the East China Sea Shelf Basin

CAI Kun, XU Donghao

(Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: Lishui Sag is an important oil and gas exploration area in the East China Sea Shelf Basin. To accelerate the exploration of lithologic traps in the shallow Eocene Wenzhou Formation, we analyzed new three-dimensional seismic and geological data in sequence stratigraphy theory, by which the sequence stratigraphy of the Wenzhou Formation was divided into three third-order sequences, i.e., SQ1, SQ2, and SQ3. Among them, SQ1 developed typical lowstand, transgressive, and highstand system tract, SQ2 developed transgressive system tract and highstand system tract. There are obvious differences between seismic reflection termination relations and seismic facies in each system tract. Moreover, the sedimentary plane distribution of the SQ1 tracts was anatomized. SQ1 lowstand domain system was a delta and turbidity fan featuring sedimentary microfacies indicative of delta front shore sandbars and thin limestone shoals, based on which the sedimentary model of wave-controlled delta turbidity fan was established. This study clarified the distribution characteristics and formation mechanism of the wave-controlled delta-turbidity fan sedimentary system in the Eocene Wenzhou Formation, in order to provide reference for searching lithological traps.

Key words: Lishui Sag; Wenzhou Formation; lowstand system tract; wave-dominated delta; coastal sandbar; submarine fan; East China Sea Shelf Basin