

惠民凹陷江家店地区滩坝砂岩特征与储层预测

石 秀¹, 董长安², 陈吴金²

(1 中石化胜利油田分公司, 山东东营 257022; 2 中石化地球物理有限公司胜利分公司, 山东东营 257022)

摘 要:惠民凹陷江家店地区沙四上亚段沉积时期广泛发育滨浅湖滩坝砂体沉积, 油气资源丰富。滩坝砂岩具有砂泥互层、单砂层厚度薄、横向变化快等特点, 增大了滩坝砂岩储层的地震识别与预测难度。通过分析滩坝砂岩与古地形、古沉积环境等因素的关系, 综合应用录井、测井、地震相分析和多属性融合等技术对滩坝砂体进行有效识别, 指导了该区油气勘探实践。

关键词:惠民凹陷; 滩坝砂岩; 储层预测

中图分类号: P618.21; P763.1

文献标识码: A

惠民凹陷为济阳拗陷内最大的次一级凹陷, 呈 NEE 向延伸, 东西长约 130 km, 南北宽 30~70 km, 面积约为 7 000 km²。惠民凹陷沙四上亚段沉积时期, 为初始裂陷沉降期, 中央隆起带还没有形成, 当时凹陷内的状态为山高盆深^[1]。位于湖盆浅水地区面积相对较小的与油气关系密切的滩坝储集体日益受到人们的重视^[2]。由于滩坝砂岩具有储层薄、岩相横向变化快和储层物性差、产能低等特点, 严重制约了储量的有效动用和勘探区域的进一步扩大。

近两年, 通过对惠民凹陷构造演化与沉积控制作用的深入研究, 深化了沙四上亚段古地貌及沉积特征的认识, 认为惠民凹陷西部的环洼沙四上亚段为典型的滨浅湖环境。在江家店、商河地区发现了滩坝砂油藏, 打破了以往沙四上亚段油气勘探的思维禁区, 使得该层系油藏的勘探前景进一步扩大, 拉开了滩坝砂岩岩性勘探的序幕。研究表明, 滩坝储集体具有近物源、储集性能较

好、生储盖组合配置较完善等有利于油气富集的地质条件, 能够形成一定规模的油气田^[2-4]。

1 滩坝砂岩发育特征

1.1 平面特征

惠民凹陷沙四段至沙三段沉积时期, 沿鲁西隆起发育多个物源体系。滩坝沉积多发育于地形相对平缓的斜坡古地貌背景上, 坡度一般 < 10°^[5]。由于受古地貌、湖水动力等具体因素的影响^[2], 滩坝砂岩平面上呈带状、土豆状相间分布, 连续性比较差, 垂向上多期叠置, 厚薄不均, 具有薄互层的地层结构特征。

沙四段沉积晚期, 惠民凹陷缓坡地段发育滩坝沉积体系。这个时期陆源碎屑供给相对不足, 由于湖盆的不断扩张, 湖盆范围由小变大, 碎屑物在湖浪等外力作用下向湖盆方向推进, 湖浪在鼻状构造的前缘及侧翼受阻后能量减弱, 碎屑物质在构造高地周缘卸载沉积, 从而在惠民凹陷南部广泛发育滨浅湖滩坝相成因的砂体。

收稿日期: 2013-01-26

作者简介: 石 秀(1972—)女, 工程师, 主要从事地震资料的综合研究工作。E-mail: shixiu, slyt@sinopec.com

1.1.1 古地形古地貌控制滩坝砂体的展布格局

古地形古地貌是控制一个盆地后期沉积相发育与分布的主要因素之一,并在一定程度上控制着后期油藏的储盖组合。通过对盆地古地形的恢复,可以有效地确定地质历史时期盆地的古沉积背景。受古地形、物源供给、波浪强弱、水进水退的共同影响,在湖盆构造缓坡带的古构造高地周围、鼻状构造的前缘和侧翼以及构造转折带区域,最有利于滨浅湖滩坝砂岩的沉积,沿湖岸线方向存在多个相间平行排列的储层发育条带。不同的岸线形态对沉积物的沉积作用、分布特征起到一定的控制作用^[2]。建立在基准面旋回理论基础上,应用高分辨率层序地层学进行古地形、古地貌的恢复,包括零标准面的选取、压实校正系数的求取、差异构造校正、背景校正等。选取江家店沙四上的 T_7 作为零标准水平面,深度比例因子选为 2 000,背景校正经验系数选择 0.2,通过压实校正、构造校正、背景校正等环节,最终得到沙四上高精度古地形图(图 1)。

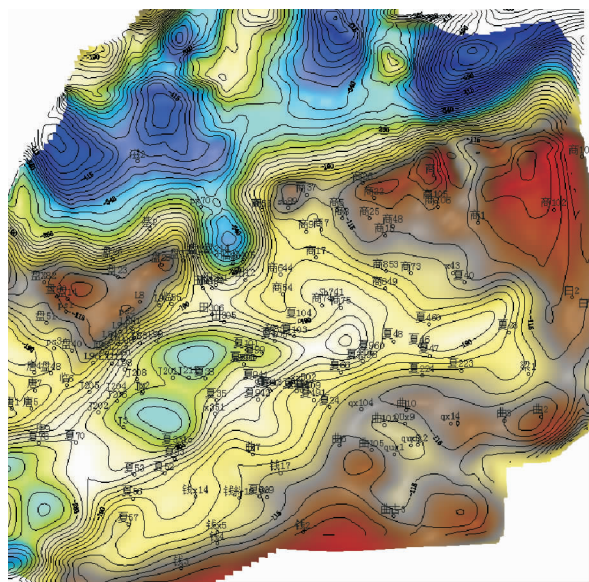


图 1 惠民凹陷沙四上亚段古地形图

Fig. 1 Paleotopography of upper submember of 4th member of Shahejie Formation in Huimin Sag

从古地形图上可以看出,沙四上沉积时期惠民凹陷为北断南超式箕状断陷格局。北部湖岸线凹凸相间蜿蜒展布,沿岸发育多个古沟槽可形成不同规模的风暴口,为湖浪改造提供动力,具备了

滩坝砂发育的构造条件。在湖心一边缘地区,地层向西向南抬升,形成 2 个沉积坡折,第 1 个坡折为坝砂发育区,第 2 个坡折为滩砂发育区,局部可发育坝砂(图 1)。

1.1.2 物源控制滩坝砂富集范围

对沉积物源的研究,前人已经探索出许多有效的方法,如岩石化学成分法、岩屑类型、裂变径迹法、石英阴极发光、重矿物组合、古流向法等^[6-13]。滩坝砂岩的陆源碎屑物质主要来自附近的三角洲、扇三角洲或其他类型近岸浅水砂体,经湖浪和湖流再搬运和改造而形成。陆源碎屑物质在波浪和沿岸流的作用下,沿岸漂移,在滨岸区具有一定消能条件的部位沉积下来,形成滩坝砂。一般位于湖泊边缘、湖湾、湖中局部隆起及湖中岛屿周围的缓坡侧滨浅湖地区,靠近河流入口处,以迎风侧波浪较强的湖岸处发育较好。由于以波浪作用作为主要动力,所以在浅湖区滩坝砂岩最为发育。陆源物质供给的多少控制了滩坝砂岩的发育规模。在碎屑物质供给充分的湖盆,滩坝砂体较为发育。在洼陷广大斜坡上发育广泛而层薄的滩砂,在有物源供给及有利于砂体堆积的环境形成坝砂;在无或少量物源供给的区域形成白云岩、灰岩和泥岩;洼陷腹地为半深湖、深湖相泥岩。

惠民凹陷南部广泛发育滨浅湖滩坝相成因的砂体,并成为惠民凹陷重要的储层类型。其中以江家店一瓦屋和双丰北地区滩坝砂最为发育,目前在这些地区共有 23 口探井钻遇沙四上段,其中 5 口井获工业油流,见油气显示 12 口,特别是夏 509-3 井在 Es_{4s} 井段电测解释油层 13m/5 层,试油日产 5.5 t 工业油流,充分显示了惠民地区沙四段滩坝砂岩油藏的良好勘探前景。

1.1.3 古沉积环境、古水动力作用为滩坝的形成提供必要条件

惠民凹陷沙四上亚段沉积时期,气候湿润,盆地由早期的洪水漫湖演化为正常湖泊,但以滨浅湖发育为特征,深湖—半深湖分布范围较小。此时,大量陆源碎屑流入湖盆,临邑、宿安和商河等大部分地区发育滨浅湖滩坝沉积,阳信洼陷发育扇三角洲。该时期最大沉积中心在阳信洼陷(图 2)^[14-16]。

古水动力条件决定滨浅湖沉积的分布格局。滨浅湖环境是水动力作用强烈、复杂的地区,湖浪是控制湖岸水动力特征和发育状况的主导因素。

滨浅湖的水动力条件越好,越有利于滩坝砂的形成。江家店沙四上沉积时期为开阔的湖岸带,滩坝砂岩往往比较发育。

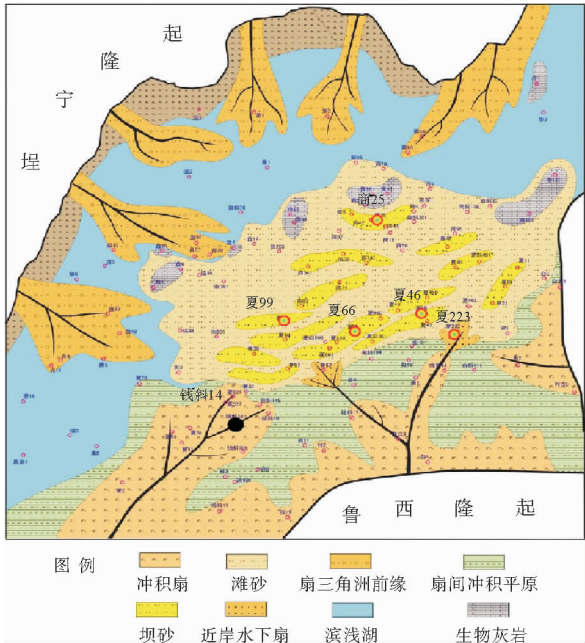


图 2 惠民凹陷沙四上亚段沉积相

Fig. 2 Sedimentary facies of upper submember of 4th member of Shahejie Formation in Huimin Sag

1.2 沉积相特征

不同类型的沉积微相由于其形成时的水动力条件及沉积方式等不同,决定着储层岩性、颗粒结构、杂基含量等特征,并且对埋藏成岩作用改造的过程和程度等产生深远的影响^[17]。根据砂岩的形态和产状,滩坝砂岩沉积相可分为坝砂和滩砂 2 种亚相。坝砂沉积主要岩性为厚度>2 m 的灰色粉砂岩或细砂岩,垂向上与泥岩互层。单层砂体厚度大,粒度适中,分选好,是很好的油气储层。滩砂沉积的主要岩性为<2 m 的灰色粉砂岩,呈席状和较宽的条带状,一般分布于坝砂体的周围,常与滨浅湖的泥岩互层沉积,单层砂体厚度薄,粒度细,泥岩夹层数量多。

2 滩坝砂地震识别及储层预测

2.1 地震识别

在地震剖面上,滩坝砂岩发育层段顶底在地

震剖面上可以分辨,其内部为连续性较差的弱反射或无反射。由于地震分辨率的限制,滩坝砂岩顶面反射呈现为一套薄互地层的反射。厚度较大的坝砂体有一定地震相特征,当地层厚度较大时,能够部分识别;而滩砂地震相特征不明显,在地震常规剖面上很难与坝砂相区分。当地层灰质含量较重时,滩、坝地震相特征差异较小,顶面均呈现强振幅、席状较连续反射。通过制作多口探井的合成地震记录,开取合理的时窗,分析多口探井沙四段岩性组合与相应地震波形特征之间的关系,进行多属性参数优选,认为波形分类地震相分析可以较为宏观地展现滩坝砂的分布区域,通过波形分类可得到典型井旁道,作为模型道进行储层相关系数预测,可反映出滩坝砂局部精细的分布规律(图 3)。依据模型道执行波形分类,即可形成地震相图。通过实际地震道、模型道及地震相图比较分析,最终确定符合地质意义的地震相图。

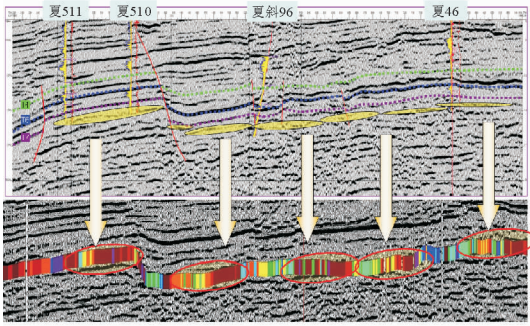


图 3 夏 511—夏 46 井波形聚类地震剖面

Fig. 3 Seismic profile of wave—shape classification of well Xia511-Xia46

利用上述方法在惠民洼陷共总结出 10 类波形结构,对江家店沙四上亚段目的层段地震波形进行了分类,产生新的分类图。通过与已有钻井对比分析,可以划分出砂岩发育、灰质白云质发育和砂岩相对不发育 3 类区域,预测结果与钻探情况吻合较好。不同区域地震波形特征分析表明,砂岩发育区多形成双肩波形或拖尾较长的积分波形,中—低振幅;灰质白云质发育区多形成双峰或三峰波形,波形不对沉,振幅较强;砂岩相对不发育区多形成微分、单峰波形,中—弱振幅。因此,通过研究目的层段的地震波形特征及其在横向上的变化,利用神经网络算法对地震道波形进行分

类,建立不同的地震反射波与储层的沉积微相的对应关系,可以确定储层的有利分布区域^[18]。

2.2 滩坝砂储层预测

目前,盆地储层砂体描述越来越精细,滩坝砂体的横向准确预测将会更有意义。不同区块之间岩性组合及地层结构变化较大,滩坝砂体发育层段表现为砂泥岩薄互层、横向变化快、纵向上呈“千层饼”状,层多而薄,且常含有白云质或灰质,需要进行储层预测^[19,20]。

在惠民凹陷沙四上亚段砂岩厚度图上(图 4),沙四上时期临南洼陷南部发育冲积扇,砂体厚度大,横向对比性高,特征明显,夏斜 502—夏 46—夏 463 带为滩坝砂沉积。在 SN 向油藏剖面上,沙四上亚段发育薄层滩坝砂岩,砂体连通性较差,但横向叠合连片发育(图 5)。

应用多属性融合技术提取地震属性,将反映

储层某特征的 2 种或 2 种以上地震属性进行融合,在不同的地震属性之间寻找一种匹配关系,利用多源表征数据能够减少多参数的多解性,提高成果的可靠性,产生的解释值比单一数据更加精确可靠,可以更准确地反映油气储层特征。采用地震相划分的结果,结合测井相的特征,绘制出江家店沙四上亚段多属性图,同时,通过速度分析结果,沙四上亚段砂泥岩速度存在明显差异,主要以断续低频中强振幅反射和不连续低频中—弱振幅反射为主。据地震反射特征与已钻砂层的变化关系及滩坝砂的发育时期,进行时窗选取与属性提取试验,完成临南洼陷沙四上储层预测图(图 6)。

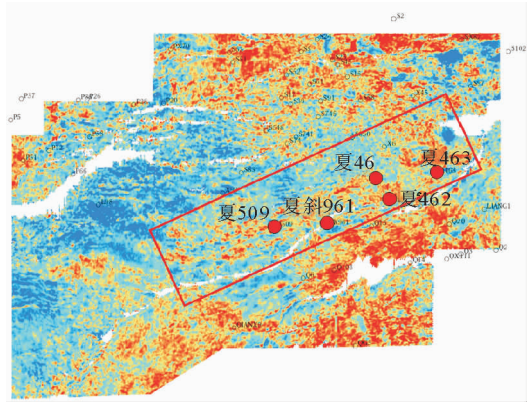


图 6 临南沙四上滩坝预测

Fig. 6 Prediction of beach bar of upper submember of 4th member of Shahejie Formation in Linnan

从预测图上看,滩坝砂在夏口断裂带下降盘呈半环状分布,其中在江家店—瓦屋地区西部夏 1 地堑带、夏斜 507 地垒带、夏斜 49 反向屋脊带南部及夏 38 东南区域较为发育,呈条带状 NEW 向展布;而东部在夏 21 断鼻呈席状,夏斜 96 南及夏 46 二台阶以南呈丘状分布。钻井资料显示,夏 509、夏 46 已在夏斜 507 地垒带,夏 46 二台阶上钻遇滩坝砂体。将预测情况与钻井统计图对比,预测结果基本反映了滩坝砂的分布状况,砂岩发育的位置和横向变化与钻井资料吻合度较高。

3 结论

应用滩坝砂岩古地貌恢复技术、地震资料多属性融合提取等新技术,可以预测滩坝砂岩储层发育的有利地区。虽然古地形、物源条件、水动力

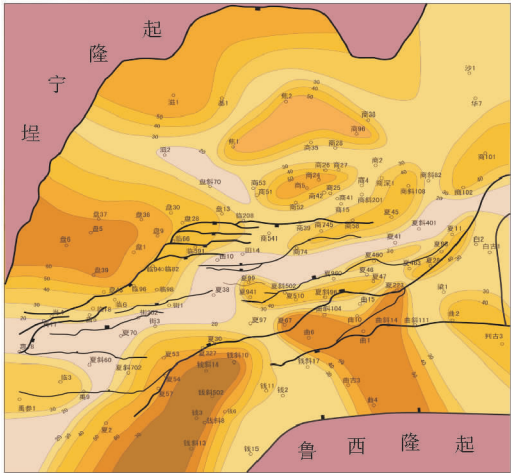


图 4 惠民凹陷沙四上亚段砂岩厚度

Fig. 4 Thickness of sandstone of upper submember of 4th member of Shahejie Formation in Huimin Sag

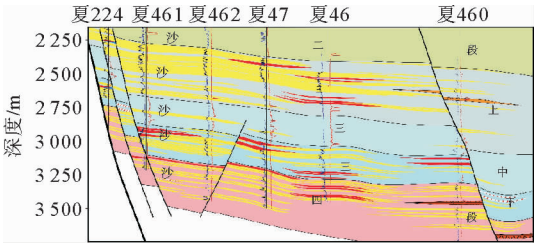


图 5 夏 223—夏 42 油藏剖面

Fig. 5 Reservoir profile of well Xia223-Xia42

条件等条件的不同造成岩性组合上具有较大差异,但局部范围具有较好的一致性,因此可以按照古地形控带、地震相结合测井相划区、区内人工智能预测的步骤进行储层预测。

参考文献:

[1] 姜在兴,操应长.砂体层序地层及沉积学研究[M].北京:地质出版社,2000.64-65.

[2] 朱筱敏,信荃麟,张晋仁,等.断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J].沉积学报,1994,12(2):20-28.

[3] 周丽清,邵德艳,房世瑜,等.板桥凹陷沙河街滩坝砂体[J].石油与天然气地质,1998,19(4):351-355.

[4] 毛宁波,范哲清,李玉海,等.岐南洼陷西斜坡滩坝砂隐蔽油气藏研究与评价[J].石油与天然气地质,2004,25(4):455-461.

[5] 宋春晖,王新民.青海湖现代滨岸沉积微相及其特征[J].沉积学报,1999,17(1):51-57.

[6] 白云凤,王振升,韦阿娟,等.黄骅坳陷东营组重矿物时空展布特征及物源体系分析[J].大庆石油地质与开发,2008,27(2):39-42.

[7] 刘立,胡春燕.砂岩中主要碎屑成分的物源区意义[J].岩相古地理,1991,11(6):48-53.

[8] 李云海,杨作升.赤道东北太平洋悬浮体物源示踪元素的研究[J].海洋学报,2007,29(4):77-86.

[9] 李双应,李任伟,孟庆任,等.大别山东南麓中新代碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约[J].岩石学报,2005,21(4):1157-1166.

[10] 陈安清,陈洪德,向芳,等.鄂尔多斯东北部山西上石盒

子组砂岩特征及物源分析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(3):305-311.

[11] Colombo F. Normal and reverse in roofing sequences in syntectonic conglomerates as evidence of progressive basin ward deformation[J]. Geology,1994,22(3):235-238.

[12] 和钟铎,刘招君,郭宏伟,等.漠河盆地中侏罗世沉积区分析及地质意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(3):398-404.

[13] 齐井顺,李广伟,孙立东,等.徐家围子断陷白垩系营城组四段层序地层及沉积相[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(6):983-986.

[14] 马士忠.惠民凹陷古近纪构造与沉积演化及油气成藏模式[D].北京:中国地质大学(北京),2007.

[15] 张铭.高分辨率层序地层学在惠民凹陷下第三系隐蔽油气藏研究中的应用[D].北京:中国地质大学(北京),2002:1-19.

[16] 赵省民,王计堂.高分辨率层序地层学在东海古新近系油气地质预测中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(4):61-65.

[17] 郝建明,邱隆伟.高南油田东三段低渗透层特征及控制因素[J].中国石油大学学报,2008,32(6):6-11.

[18] 张玉芬.影响薄互层地震反射波特征因素分析[J].地质科技情报,1998,17(3):101-106.

[19] 吴试勇,李自安.精细地质研究现状及发展趋势[J].地球科学与环境学报,2006,28(2):58-63.

[20] 钱杰,冯文光,董志林.大庆萨尔图中部油田主力油层单元间夹层发育特征[J].地球科学与环境学报,2005,27(3):23-25.

RESERVOIR DESCRIPTION AND PREDICTION FOR BEACH-BAR
SANDBODIES IN JIANGJIADIAN AREA OF HUIMIN SAG

SHI Xiu¹, DONG Chang'an², CHEN Wujin²

(1 Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying 257022, Shandong, China
2 Geophysical Company Ltd. of Shengli Oilfield Brand Company, SINOPEC, Dongying 257022, Shandong, China)

Abstract: Abundant beach-bar sandbodies with rich oil and gas resources are widely distributed in the upper part of the 4th member of the Paleogene in Jiangjiadian area of Huimin Sag. The beach-bar reservoirs are characterized by interbedded sandy and muddy deposits, thin sand layers, and drastic lateral facies variation. It made the seismic interpretation and reservoir prediction very difficult in practice. In this paper, we studied the beach bar sandstone and its relationship with paleotopography within a sequence stratigraphical framework by means of logging, well logging, seismic facies analysis and multiple attribute fusion technology. As the results, beach-bar sandstones were effectively identified that is helpful to oil and gas exploration in the sag.

Key words: Huimin Sag; beach-bar sandstone; reservoir prediction