

文章编号: 0253-9985(2011)03-0404-07

临南洼陷三角洲地震岩相解释方法

张云银^{1,2}, 杨泽蓉¹, 孙淑艳¹, 魏瑞香¹, 王惠勇¹

(1. 中国石化 胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022; 2 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 惠民凹陷西南部临南洼陷沙三段浊积岩发育规模小、数量多、分布广。以砂组为单元的储层预测容易漏掉地震特征不明显的砂体, 难于实现浊积岩的整体预测。在遵循层序及砂组“等时性”和沉积等相“穿时性”对比原则基础上, 由地质相、测井相和地震相建立了岩相的三元信息识别模式。通过层序、岩相和砂组单元的构造、厚度与储集体的地震属性研究, 形成了岩相单元的浊积岩储层预测三步法: 三级层序定古地貌, 岩相定区带, 砂组定储层。该方法在临南洼陷中应用并取得了良好效果: 建立了远砂坝与泥岩、远砂坝与浊积岩、河口坝与泥岩、河口坝与浊积岩 4 种三角洲前缘亚相与前三三角洲亚相的接触模式; 落实了多个前三三角洲亚相的相构形, 预测了洼陷带浊积岩有利发育区, 为临南洼陷浊积岩油藏的整体评价和勘探部署提供了可靠依据。

关键词: 三角洲; 浊积岩; 地震岩相; 储层预测; 沉积相; 临南洼陷; 惠民凹陷

中图分类号: TE121.1 **文献标识码:** A

Seismic lithofacies interpretation of delta deposits in the Linnan subsag

Zhang Yunyin^{1,2}, Yang Zerong¹, Sun Shuyan¹, Wei Ruixiang¹ and Wang Huaiyong¹

(1. Geophysical Research Institute of SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257022, China;

2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China)

Abstract Turbidite in the third member of Shahejie Formation in Linnan subsag features in small size, large number and wide distribution. It is hard to fully predict turbidites because the sandbodies with ambiguous seismic features could be easily missed in reservoir prediction when taking sand group as unit. Based on the principles of isochronism in sequence and sand group and diachronism in sedimentary isochron-facies, this paper establishes the recognition modes of lithofacies with ternary information including geologic facies, well log facies and seismic facies. By studying the structure, thickness and seismic attribute of the reservoir based on the unit of sequence, lithofacies and sand-groups individually, a three-step method is developed for the prediction of the turbidite reservoir in the unit of lithofacies: defining palaeotopography according to third-order sequence, determining plays according to lithofacies, and delineating reservoir distribution according to sand groups. The method has been successfully applied in Linnan sag: four kinds of contact models between the delta front and prodelta subfacies were established, i.e. distal sandbar-mudstone, distal sandbar-turbidite, mouth bar-mudstone, and mouth bar-turbidite. The shape of multiple prodelta subfacies is defined, and the favorable turbidite reservoirs are predicted, laying a reliable basis for turbidite evaluation and exploration deployment in Linnan subsag.

Key words delta, turbidite, seismic lithofacies, reservoir prediction, sedimentary facies, Linnan subsag, Huimin Sag.

地层岩性解释包括了储集体岩相、岩性、物性和流体 4 个方面的研究内容^[1], 其中岩相、岩性解

释已成为陆相盆地碎屑岩储层预测的成熟技术, 以地震相分析技术为代表的岩相解释主要用于盆地

收稿日期: 2011-01-03

第一作者简介: 张云银 (1969-), 男, 高级工程师, 石油地质综合研究。

基金项目: 中国石化科技攻关项目 (P07029)。

预探阶段的沉积体系区域预测, 以砂体储层预测技术为代表的岩性解释多用于区带评价阶段的岩性油藏描述^[2-4]。目前沉积体岩相的地质和测井定量识别和描述方面的文献较多^[5-7], 而地震相构形描述较少, 并多以定性描述为主^[8-12]。近年来地震沉积学引入储层预测中, 更需要发展沉积体相构形的地震定量描述和完善相控储层预测技术^[13]。

针对临南洼陷沙河街组三段岩性油藏具有埋深大、规模小、个数多和分布广等特点, 常规的砂体描述程序仅仅描述地震反射特征清晰的浊积砂体, 容易遗漏地震反射特征不明显但油气较富集的砂体, 不利于浊积岩油藏整体评价与目标优选。因此开展三角洲地震岩相解释, 识别浊积扇体发育的有利相带, 进而预测有效储层具有重要意义。

1 基本地质-地震特征

临南洼陷位于惠民凹陷西南部, 面积约 1 500 km², 是一个受临商断裂与夏口断裂控制的双断式洼陷, 具有多物源、多期充填、断裂复杂和火成岩发育的特点。其中沙三上亚段广泛发育的三角洲- 浊积扇体是本区有利的勘探目标, 也是本文研究的重点。

1.1 沙三段层序与沉积特征

临南洼陷古近系沙三段属于深水断陷湖盆型的 II 级层序, 包含了沙三下、沙三中、沙三上亚段 3 个 II 级层序, 分别对应低位体系域、湖侵体系域和高位体系域。主要发育两种沉积体系类型, 河流- 三角洲沉积体系、三角洲- 浊积扇体系^[10-14]。

临南洼陷主要发育南、北两个方向的物源。在北部发育了来自宁津凸起的盘河、临邑、基山、商河 4 个三角洲和来自南部鲁西隆起的双丰、江家店、瓦屋 3 个三角洲。沙三下亚段主要发育了盘河、基山、双丰、江家店和瓦屋 5 个三角洲, 为进积型河流- 三角洲- 浊积扇沉积体系。沙三中亚段为湖侵体系域, 临南地区发育双丰退积型河流- 三角洲, 在临北和江家店地区发育深水浊积扇体。沙三上亚段表现为进积充填模式, 北部发育临邑、基山和商河 3 个三角洲, 南部发育双丰、江家店- 瓦屋三角洲 (图 1), 其突出特点是三角洲前缘亚相与前三角洲亚相多期叠置、相互交汇。

1.1.1 沉积体系 迁移特点

临南洼陷北部发育迁移型三角洲, 受盘河和商河两个水下古隆起、临商带状断裂活动强度的控制, 从早期到晚期, 三角洲沉积经历了自西向东、从北向南的迁移, 前三角洲亚相主要发育滑塌浊积砂体、水道浊积砂体。洼陷南部主要发育原地型三角洲, 受营子街- 玉皇庙南和孟寺两组三级盆倾同沉积断裂分割, 分布于深洼区和缓坡区, 主要发育沉积构造坡折和断裂构造坡折两类浊积砂体。

1.1.2 浊积岩发育特征

本区沙三上亚段主要发育多物源三角州- 浊积扇沉积体系。在横向上相互交汇, 纵向上交叉叠置, 全洼陷皆有分布, 多形成中低渗透储集体。其中, 规模最大的是基山砂体, 分为 8 个砂层组, 砂岩厚度 10~ 20 m, 最厚达 40 m, 平面分布范围约 160 km²。其次是南部滑塌浊积砂体, 沿营子街- 玉皇庙南断裂两侧的构造坡折带分布, 储层物性中等, 分布范围约 60 km², 其他三角洲多发育规模较小的浊积砂体。

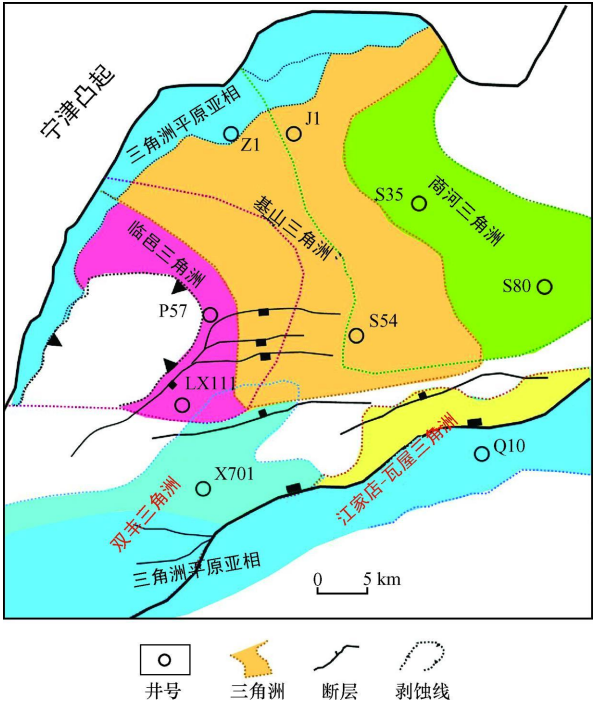


图 1 临南洼陷沙三上亚段三角洲分布略图

Fig 1 Sketch map showing delta distribution in the upper third member of Shehejie Fomation in Linnan subsag

1.2 沙三上亚段地震相特征

本区沙三上亚段三角洲的 3 个亚相发育较齐全,地震反射特征明显。北部的三角洲平原亚相位于滋镇洼陷和中央隆起带,前缘亚相和前三角洲亚相位于临南洼陷内。三角洲平原亚相的地震相表现为短轴蠕虫状、断续中弱-中等反射;前缘亚相为 S 型或斜交型中等连续地震相,前积层为连续中强-中弱连续斜交前积、切线型地震相;前三角洲底积层分为泥岩型和砂泥岩型两种地震相,泥岩型底积层为中弱-空白反射地震相,砂泥岩型底积层为断续-中等连续地震相。浊积岩发育区的地层一般与前缘亚相呈似不整合接触,为中等-中强断续地震相,垂直于水流方向的剖面呈叠瓦状或斜列状分布(图 2)。

2 地震岩相解释方法

岩相是指一定沉积环境中形成的岩性或岩性特征的组合^[15],地震岩相解释是利用地质相、测井相和地震相标志,通过井标定,利用地震资料开展层序、砂组和岩相的识别和描述,实现沉积相、亚相和微相的相构形、有利储集相带的宏观研究。

地震岩相解释的依据是当沉积体的层序等时界面和岩相界面不一致时,岩相界面表现为“地质地震双重穿时性”(图 3),三角洲地震岩相解释就是利用了三角洲亚相表现为地震反射同相轴的穿

时性特征,实现等时格架下 II 级层序沉积体的等相定量预测,目的是预测亚相单元内沉积微相的有利储集相带,如三角洲平原亚相的分流河道砂体、前缘亚相的河口坝砂体、前三角洲亚相的浊积砂体等。

2.1 研究思路

以三维地震资料为基础,充分利用钻井、测井及地质等资料,以临南洼陷沙三上亚段为研究对象,探索三角洲地震岩相定量解释方法。

具体实现步骤是:在遵循层序及砂组“等时性”和沉积等相“穿时性”的基本对比原则的基础上,由地质相、测井相和地震相建立岩相的三元信息识别模式;通过层序、岩相和砂组分单元的构造、厚度与储集体地震属性研究,开展基于岩相控制的储层预测三步法研究,即三级层序明确古地貌、亚相解释确定有利区带和砂组描述预测有效储层。

2.2 岩相三元信息识别

利用层序及砂组“等时性”和沉积等相“穿时性”,建立三角洲亚相边界的地质模型,通过地震正演模拟技术验证,建立三角洲岩相地震识别模式。由地质相、测井相和地震相三元信息综合确定三角洲亚相的地震边界,称为三角洲岩相的三元信息识别模式。

临南洼陷三角洲前缘亚相与前三角洲亚相的接触关系有 4 种模式,即远砂坝与泥岩、远砂坝与

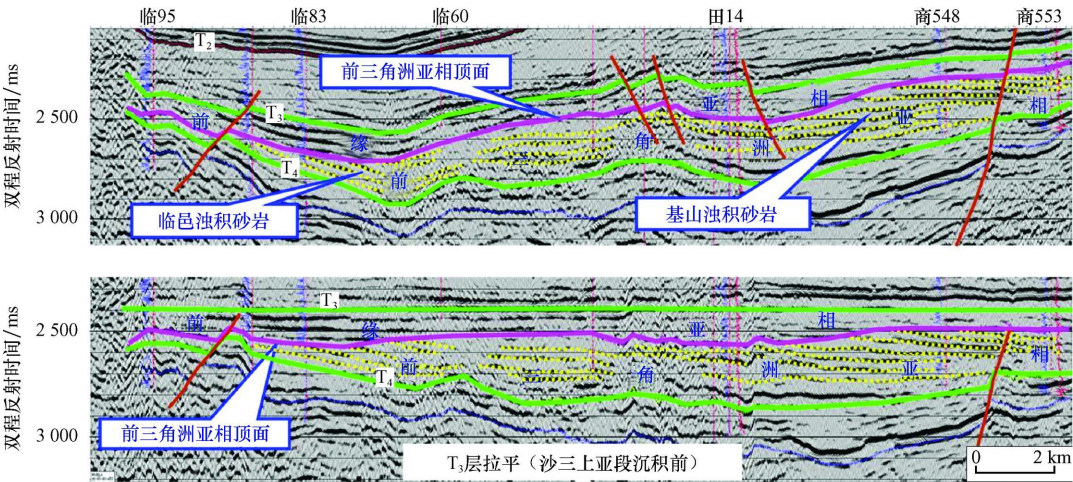


图 2 临南洼陷沙三上亚段高位体系域三角洲地震相

Fig 2 Seismic facies map of the high systems tract delta in the upper third member of Shehejie Formation in Linnan subsag (井左侧蓝色曲线为自然伽马曲线,右侧红色曲线为声波时差曲线)

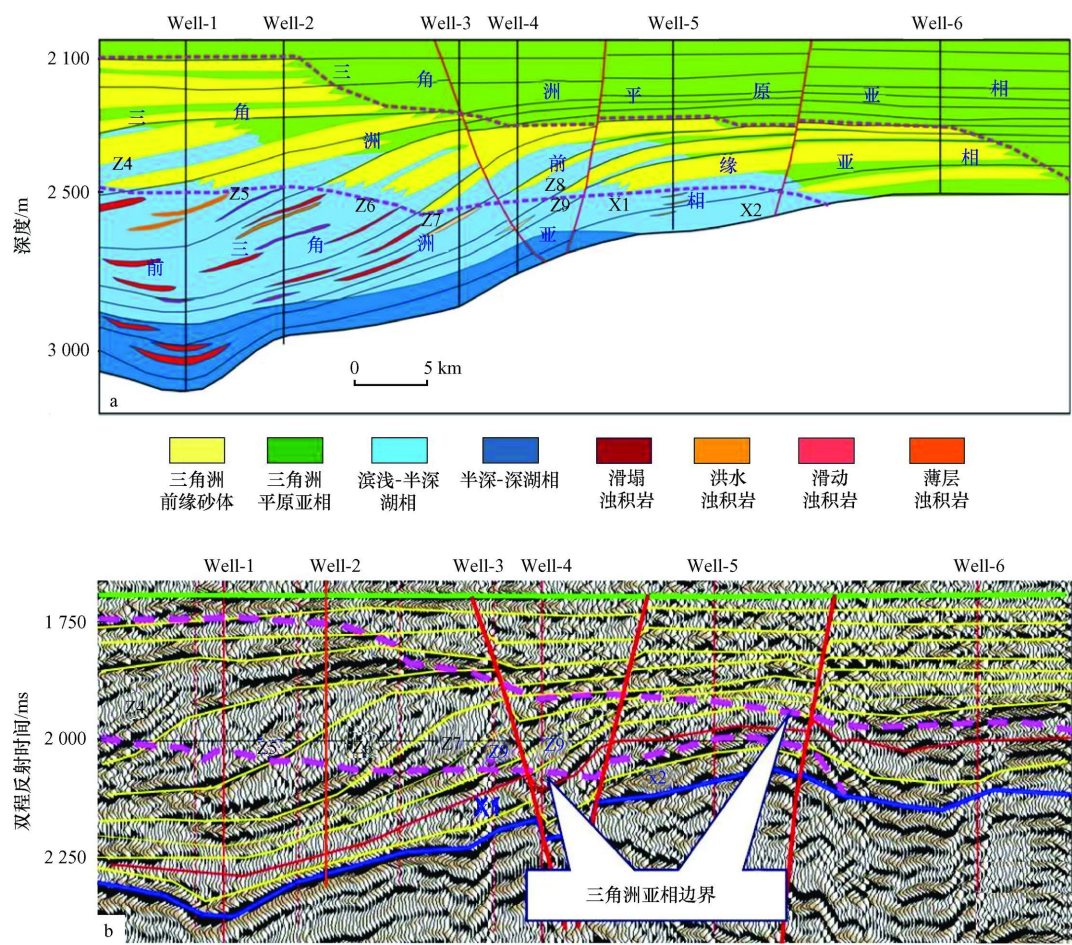


图 3 三角洲岩相地质-地震双重穿时性对比

Fig 3 Comparison of double geologic-seismic diachronism for delta lithofacies

a 三角洲各亚相地质剖面; b. 三角洲各亚相地震剖面

Z4—Z9代表沙三中 4—9砂组; X1、X2代表沙三下 1、2砂组

浊积岩、河口坝与泥岩、河口坝与浊积岩, 受微相岩性组合的砂泥比控制, 产生了测井电性和地震属性特征的差异性 (表 1), 因此, 通过地质相与测井相标定和对比, 由地震属性作为识别标志, 开展前三三角洲亚相顶界面的区域横向对比和追踪研究。

应用二维地震正演模拟技术, 验证三角洲亚相地震界面识别方法的可行性。根据三角洲地震相, 设计了斜列式三角洲前积层-滑塌浊积岩地质模型, 通过地震模拟获得的地震响应剖面, 与研究区的三维实际地震剖面特征对比, 具有较好的相似性 (图 4)。

表 1 临南洼陷三角洲前缘亚相与前三三角洲亚相地震边界特征

Table 1 Seismic boundary features of delta front and prodelta subfacies in Linnan subsag

亚相边界的沉积微相接触模式	岩性组合	测井相	地震相	地震识别标志
远砂坝 泥岩	砂泥岩互层 泥岩	指状型 平直型	中等连续到中弱连续过渡型	常规地震
远砂坝 浊积岩	砂泥岩互层 厚层泥岩 夹薄砂层砂泥岩层	指状型 脂状型	中等连续到中强连续过渡型	常规地震
河口坝 泥岩	厚砂岩 厚泥岩	钟型 平直型	中弱或空白反射型	波阻抗属性
河口坝 浊积岩	厚砂岩 厚层泥岩夹薄砂层砂泥岩层	钟型 脂状型	中弱或空白反射到中强连续过渡型	常规地震

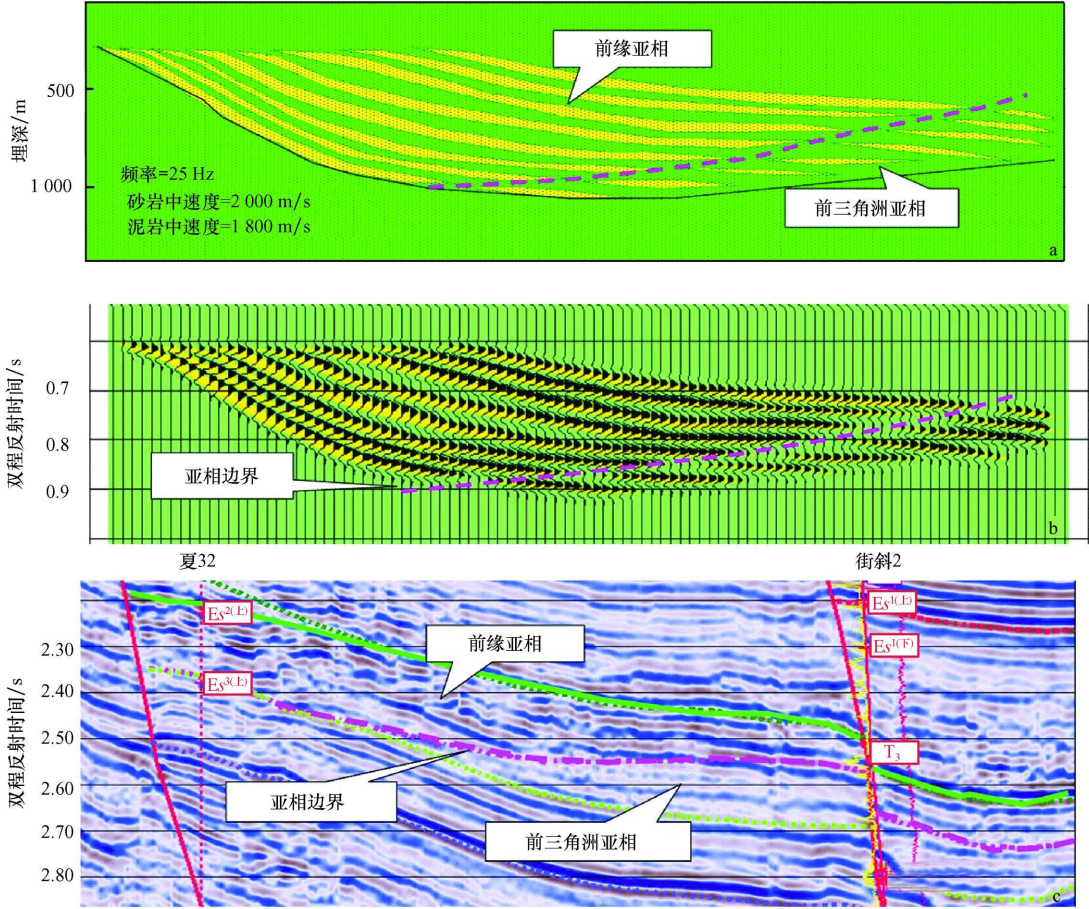


图 4 临南洼陷三角洲前缘-滑塌浊积岩地震正演模拟 (剖面长度 15 km)
Fig. 4 Seismic forward modeling for delta front slump in Linan subsag (the length of profile is 15 Km)
a. 地质模型; b. 地震响应; c. 实际地震剖面

依据以上建立的岩相识别模式和三角洲各亚相的不同地震反射特征,并遵循沉积等相的地震穿时性的对比原则,解释了多个三角洲的平原亚相与前缘亚相、前缘亚相与前三角洲亚相的两种地震界面,通过对三级层序界面和三角洲亚相界面的识别描述,开展洼陷带多物源三角洲平原亚相、前缘亚相和前三角洲亚相的有效预测,为在三角洲平原亚相寻找河道砂体和前三角洲亚相寻找浊积砂体打下了坚实的基础。

2.3 亚相单元浊积岩预测三步法
2.3.1 III级层序分析确定古地貌

结合地质、钻井、测井和地震等资料,建立沙三上亚段II级层序的顶底界面和三角洲各亚相界面的识别标志,进行地震横向追踪对比,获得高位体系域层序的顶底界面构造形态和层序地层厚度分布,开展古地貌恢复研究,从而确定三角洲主物

源方向与宏观分布规律。

2.3.2 亚相解释确定有利区带

亚相解释包括相构形与亚相内有利储集体区域预测。以前三角洲亚相解释为例,首先进行洼陷带内前三角洲亚相顶界面地震解释,获得其亚相空间形态与构造样式,再由前三角洲亚相顶界面与沙三上亚段III级层序底面相减,获得前三角洲亚相的地层厚度;其次以层序界面和亚相界面为约束,通过优选与前三角洲浊积岩敏感的地震属性,预测亚相内有利储集体的空间展布;最后根据陆相断陷湖盆的“断坡控砂”机理^[3],综合研究浊积扇体的可能发育区和岩相单元内有利相带的分布规律。

在临南洼陷分别以沙三上亚段层序顶界面与前三角洲亚相顶界面,前三角洲亚相顶界面与沙三上亚段层序底界面为约束,通过综合分析,

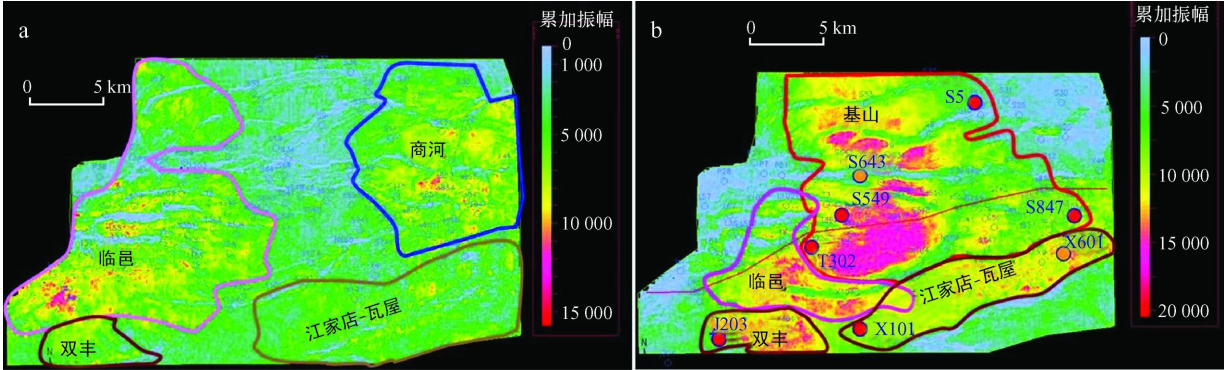


图 5 临南洼陷北部三角洲亚相内部有利储层预测

Fig. 5 Prediction of favorable reservoirs within delta subfacies in northern Linnan subsag
(红色及黄色为储层发育区)

a 三角洲前缘亚相内部有利储层预测图; b. 前三角洲亚相内部有利储层预测图

优选出累加地震振幅、累加地震相位数等属性, 预测了沙三上亚段高位体系域层序的多个三角洲平原与前缘亚相的空间展布, 以及各物源三角洲滑塌浊积岩发育的有利相带。以层序顶界面与前三角洲亚相顶界面约束的地震属性明显地表征了临邑、商河三角洲前缘相分布规律(图 5a); 以前三角洲亚相顶界面与层序底界面为约束的地震属性较好地反映了基山三角洲浊积砂体及江家店扇三角洲坡折带滑塌浊积砂体的分布范围(图 5b)。

2.3.3 砂组描述确定有效储层

首先根据钻井及测井等资料标定砂层组, 开展砂层组横向追踪与对比, 落实各砂组的构造形态和厚度变化规律; 其次优选并提取敏感地震属性, 预测各砂组内有效砂体的分布范围; 然后通过与已知井对比分析, 对所提取的储层敏感地震参数进行聚类分析, 计算有效储层的各种物性参数等; 最后开展综合评价和勘探部署工作。

2.3.4 应用效果

通过对临南洼陷沙三段高位体系域三角洲岩相解释方法研究, 定量描述了洼陷带多个三角洲亚相的相构形, 结合岩相地震储层预测成果, 落实了洼陷带浊积砂岩有利发育区, 共预测了 4 个浊积砂体发育区, 有利面积 260 km², 有效地指导了临南洼陷浊积岩油藏的勘探开发, 部署并完钻探井 22 口, 解释油层或获得工业油流井 18 口, 取得了良好的勘探效果。

3 结论

临南洼陷三角洲地震岩相解释是利用三角洲层序的“等时性”与沉积等相的“穿时性”原理, 通过开展相构形定量描述、亚相单元的有利储集体宏观预测与砂体描述, 建立了三角洲岩相的三元信息识别模式和浊积岩预测技术, 取得了以下 3 点结论:

- 1) 综合地质相、测井相和地震相特征建立的三角洲岩相三元信息识别模式, 可以有效地识别三角洲的平原亚相与前缘亚相、前缘亚相与前三角洲亚相两种地震界面;
- 2) 在 II 级层序的顶底界面和三角洲亚相界面的约束下, 通过古地貌研究, 结合地震属性技术和地质分析, 可以预测岩相单元内有利区带的分布;
- 3) 在以上工作基础上, 利用地震属性开展以砂组为单元的储层物性参数预测, 可以有效地指导下步勘探部署。

通过在临南洼陷浊积岩油藏勘探中的应用, 取得了明显的勘探效果, 对类似成熟探区的岩性油藏勘探具有一定的借鉴意义。

致谢: 在成文过程中得到胜利油田物探院惠民室科研人员的帮助, 在此致以诚挚的谢意!

参 考 文 献

[1] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 东营: 石油大学出版社, 1993
Lu Jineng Seismic exploration theory [M]. Shangdong Dongying

- ing Petroleum Industry Press 1993
- [2] 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳凹陷为例 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3–10.
- Li P ilong Zhang Shanwen, Song Guoqi et al Form ing m echanism of subtle oil pools in fault basins taking Jiyang depression of the Bohaiwan Basin as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment 2004, 26(1): 3–10
- [3] 张善文. 济阳凹陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践 [J], 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731–740
- Zhang Shanwen. Exploration theory and practice of the Tertiary subtle reservoirs in Jiyang Depression [J], Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 731–740.
- [4] 韩文功, 张建国, 王金铎. 济阳坳陷隐蔽圈闭识别与精细描述 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 849–859.
- Han W engong Zhang Jianing Wang Jinduo Recognition and fine description of subtle traps in Jiyang Depression [J]. Oil & Gas Geology 2006, 27(6): 849–859
- [5] 张小莉, 查明, 杨懿. 惠民凹陷沙河街组三段岩性油藏储层孔隙结构特征及油气意义 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 287–292.
- Zhang Xiaoli Zha Ming Yang Yi Pore structure features of lithologic reservoirs in the third member of Shahejie formation in Huimin sag and their significance in petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 287–292.
- [6] 张勇, 柳永清. 惠民凹陷西部老第三系沙河街组三段三角洲体系及砂岩体沉积特征和演化规律 [J]. 地质论评, 2001, 47(3): 322–329.
- Zhang Yong Liu Yongqing The evolution of Palaeogene delta depositional systems and sand bodies in the western Huimin depression, Shandong Province [J]. Geogical Review, 2001, 47(3): 322–329
- [7] 张宇, 邱桂强, 李趁义, 等. 惠民凹陷沙河街组三段岩性油藏勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 162–165.
- Zhang Yu Qiu Guixiang Li Chenyi et al Exploration trend for litho oil reservoir in 3rd member of Shahejie Formation of Huimin Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 162–165.
- [8] 潘元林, 李思田. 大型陆相断陷盆地层序地层与隐蔽油藏研究——以济阳凹陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004, 57–82.
- Pan Yuanlin, Li Sitan. Study of largescale continental rift basin sequence stratigraphy and subtle oil and gas reservoir—Taking Jiyang Depression for example [M]. Beijing Petroleum Industry Press 2004, 57–82
- [9] 潘元林, 宗国洪, 郭玉新, 等. 济阳断陷湖盆层序地层学及砂砾岩油气藏群 [J]. 石油学报, 2003, 24(3): 16–23
- Pan Yuanlin Zong Guohong Guo Yuxin et al Temestrial sequence stratigraphy and lithological deposit group of sandstone in Jiyang faulted lacustrine basin [J]. Acta Petroli Sinica 2003, 24(3): 16–23
- [10] 姜在兴, 操应长. 砂体层序地层及沉积学研究——以山东惠民凹陷为例 [M]. 北京: 地质出版社, 2000
- Jiang Zaixing Cao Yingchang The study for sandbody sequence stratigraphics and sediments— a case of shandong huimin sag [M]. Beijing Geology Industry Press 2000
- [11] 操应长, 韩敏, 王艳忠, 等. 济阳坳陷车镇凹陷沙二段浅水三角洲沉积特征及模式 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 576–582, 601.
- Cao Yingchang Han M in Wang Yanzhong et al Sedimentary characteristics and models of shallow-water delta deposits in the second member of the Shahejie Formation in the Chechen Sag the Jiyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 576–582, 601.
- [12] 刘永强, 刘晓龙. 冀中坳陷饶阳凹陷留西地区沙三上亚段层序地层与隐蔽油藏 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 747–753
- Liu Yongqiang Liu Xiaolong Sequence stratigraphy of the upper third member of the Shahejie Formation in Liuxi area of the Raoyang Sag the Jizhong Depression and exploration of subtle reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 747–753.
- [13] 董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 698–704
- Dong Chunmei Zhang Xanguo Lin Chengyan Conception method and technology of the seismic sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2006, 24(6): 698–704
- [14] 赵密福, 信荃麟, 刘泽容. 惠民凹陷临南洼陷滑塌浊积岩分布规律及其控制因素 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(5): 14–17.
- Zhao Mifu, Xin Quanlin, Liu Zerong Distribution rule and its controlling factors of slump turbidite of Linnan subsag in Huimin Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(5): 14–17
- [15] 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 63–87.
- Wu Chongjun, Xue Shuhao Sedimentology of Petroiferous Basins in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1992, 63–87