

doi:10.11720/wtyht.2014.4.41

于景强,曲志鹏,吴明荣,等.东营凹陷始新世滩坝砂岩有效储层地震预测[J].物探与化探,2014,38(4):860-864.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.4.41

Yu J Q, Qu Z P, Wu M R, et al. Seismic prediction of effective reservoir in Eocene bearh-bar sandstone of Dongying depression[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(4): 860-864. http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.4.41

# 东营凹陷始新世滩坝砂岩有效储层地震预测

于景强,曲志鹏,吴明荣,罗平平

(胜利油田物探研究院,山东 东营 257022)

**摘要:** 滩坝砂岩是东营凹陷始新世晚期广泛发育的沉积类型,具有埋藏深、厚度薄、互层结构等特点,地震预测难度大。笔者针对滩坝砂岩在开发阶段如何区分滩砂与坝砂的关键问题,提出了应用“分频预测、多属性降维、反射系数反演”等多种地球物理方法解决有效储层描述的研究方案,实现了滩坝砂岩储层预测定性到定量的技术转变。该方法在具有同样的薄互层结构的沉积类型的描述中具有一定的推广意义。

**关键词:** 始新世;滩坝砂岩;薄互层;储层预测;东营凹陷

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2014)04-0860-05

东营凹陷滩坝砂岩勘探始于 20 世纪 60 年代,经过 40 余年的勘探仅在 5 个油田的构造有利区上报 6 000 余万吨的探明储量。2004 年以来,胜利油田在岩性油藏勘探中取得了丰硕的成果,尤其是滩坝砂岩油藏,以东营凹陷为主战场,通过科研攻关,累计探明石油地质储量近 2 亿吨,取得了巨大的勘探效益。

同时,多位学者对济阳拗陷的滩坝砂岩进行了深入的研究,提出了通过古地形恢复以及学习型地震波形聚类分析预测滩坝砂体宏观发育范围的方法<sup>[1-3]</sup>,基本明确了滩坝砂岩的宏观展布规律<sup>[4-7]</sup>。但在实际生产中,滩坝砂岩中坝砂或滩砂的集中段往往具有较高的产能,如何识别这些有效储层是滩坝砂岩进入开发阶段亟需解决的重要问题。针对滩坝砂岩油藏的勘探难点,确立了基础地质研究与储层描述技术发展并重的工作思路,结合滩坝砂岩发育的地质规律,开发出有针对性的储层预测描述方法,对识别滩坝砂岩的有效储层具有一定的指导作用。

## 1 地质背景

东营凹陷为一北断南超的箕状凹陷(图 1),在始新世沉积时期,东营凹陷处于断陷形成的初始阶段。受南北向和北东东向拉张性应力的影响,东营

凹陷发生沉降。受构造运动以及气候环境变迁的影响,始新世沉积由早期孔店组的洪水—漫湖沉积逐渐转变为始新世晚期沙四段沉积期的滨浅湖滩坝砂岩沉积<sup>[8-9]</sup>。

## 2 滩坝砂岩地震地质特征

东营凹陷滩坝砂岩广泛发育于始新世晚期沙四上亚段,储层单层厚度薄、横向变化快,灰质、白云质

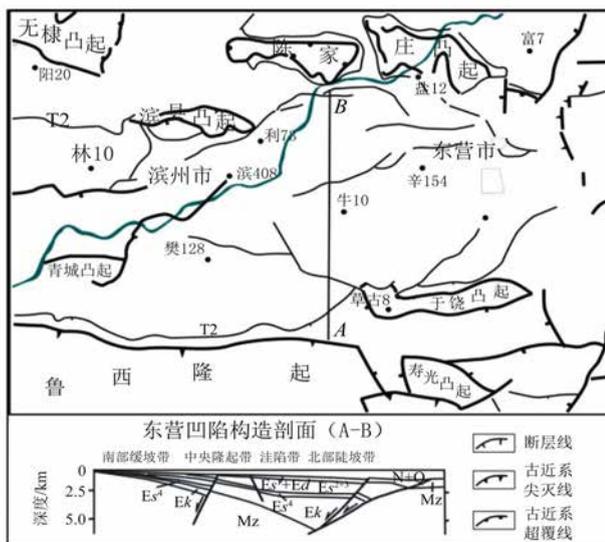


图 1 东营凹陷构造简图

成分含量普遍较高。根据钻井统计,滩坝砂体埋深在 1 800~4 500 m 之间,单层厚度小,滩砂一般在 2 m 以下,坝砂多在 2~5 m,最大厚度可达 15 m。其形成过程受构造运动、沉积环境条件等多种因素的影响与控制,前人研究形成了“古地貌、古水动力和古基准面”控制滩坝砂岩储层发育的“三古控砂”机制<sup>[10]</sup>,指明断陷湖盆在始新世晚期的基准面的长期波动震荡是滩坝砂岩具有薄互层的岩性组合特点关键因素。

滩坝砂岩的坝砂与滩砂地震相特征差异不明

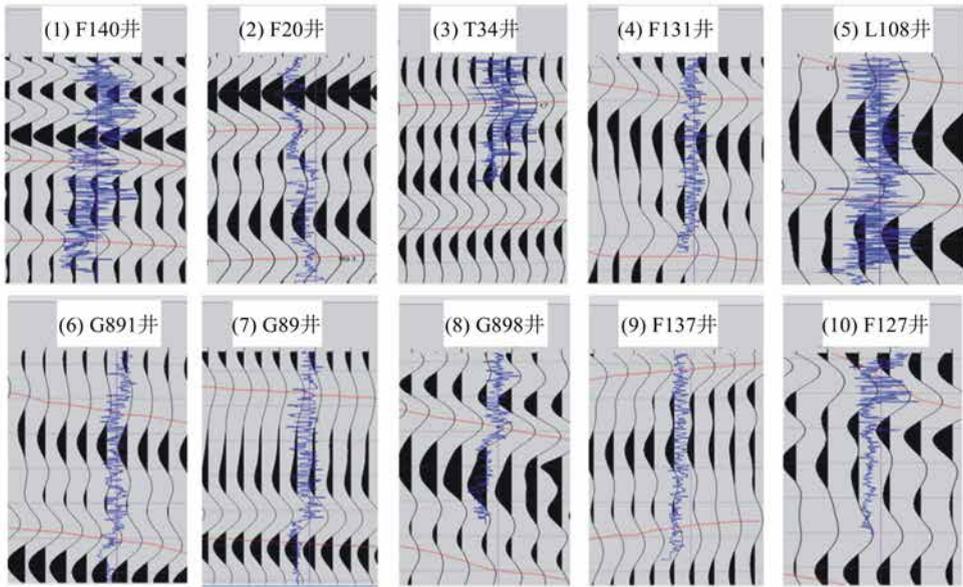


图 2 滩坝砂岩 10 类波形结构

### 3 滩坝砂岩有效储层地震预测

识别与描述坝砂和滩砂是当前滩坝砂岩油藏开发过程中的关键问题,为此,笔者提出了分频技术落实坝砂与滩砂集中发育区,多属性降维厚度预测到反射系数反演描述单砂体的三级多元储层预测技术序列。在实际应用中,很好地解决了滩坝砂岩有效储层预测的问题。

#### 3.1 分频技术

分频技术是一项基于频率的储层解释技术,该技术针对地震的调谐效应这一原理,可确定复杂岩石的层内薄层厚度变化,使解释人员迅速而有效地基于薄层干涉确定不连续的地下地质体<sup>[11-12]</sup>。

受古地形的控制作用,不同厚度的滩坝砂体在分布上也具有明显的分带性。坝砂在水下古隆起、湖湾转弯处、以及斜坡带上更为发育。与之对应的是引起这些区域波形及振幅频率等属性的变化。结合钻井与正演模拟发现,坝砂和滩砂的集中发育区具有强振幅低频率的特征,而滩砂区位具有低振幅

显,大部分呈现出中弱反射的振幅特征,地震剖面上很难识别。通过实际资料的对比表明,不同的地层岩性组合模式具有不同的地震波形,分析总结多口井沙四段滩坝砂岩发育层段岩性组合模式及对应地震反射波形特征,共总结出了 10 类滩坝砂岩的典型波形结构(图 2)。

滩坝砂岩的波形结构是储层组合样式的直接体现,与之对应的会引起能量、频率等的变化,通过相关分析就可以推测出滩坝砂岩不同厚度储层的分布特征。

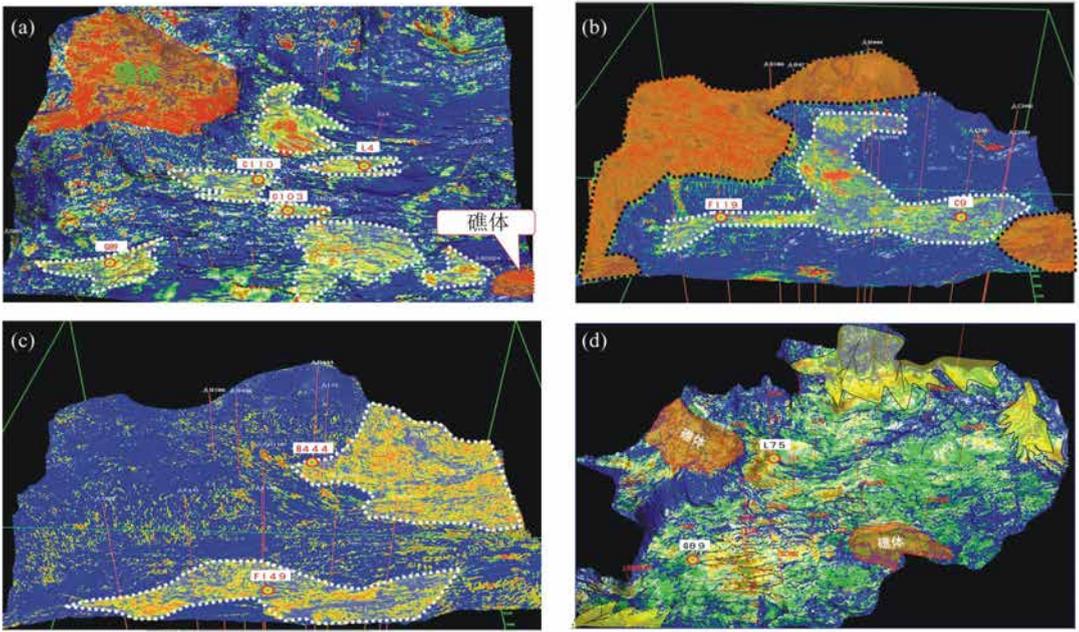
高频率的特征。分析发现坝砂段的频率在 25 Hz 左右,而滩砂的集中段在 35 Hz 左右,薄层滩砂区频率在 45 Hz 比较集中。为此应用 25 Hz、35 Hz 以及 45 Hz 的分频体分别进行储层的预测,从而较为清楚地落实出了不同厚度的滩坝砂岩的发育带(图 3)。实现了滩坝砂岩精细预测的目的。从各种频率的砂体叠合结果发现,东营凹陷滩坝砂岩具有“满盆尽砂”的特点。

#### 3.2 多属性降维分析技术

在实际勘探过程中,单一属性无法定量地解决滩坝砂岩厚度的预测问题,需要综合多种地震属性进行整体预测描述。为此提出一套基于不同地震属性的降维分析储层定量评价技术。

该技术提取多种沿层地震属性,通过交汇分析选择出最佳的属性组合,用该属性组合与储层参数采用 BP 神经网络的算法进行人工智能储层预测,来实现储层定量评价<sup>[13-14]</sup>。

多属性降维储层定量描述技术的总体思路是按照地震相、测井相特征划区,不同区块内根据滩坝砂



a—25 Hz 分频属性;b—35 Hz 分频属性;c—45 Hz 分频属性;d—分频属性叠合图

图3 分频属性储层预测图

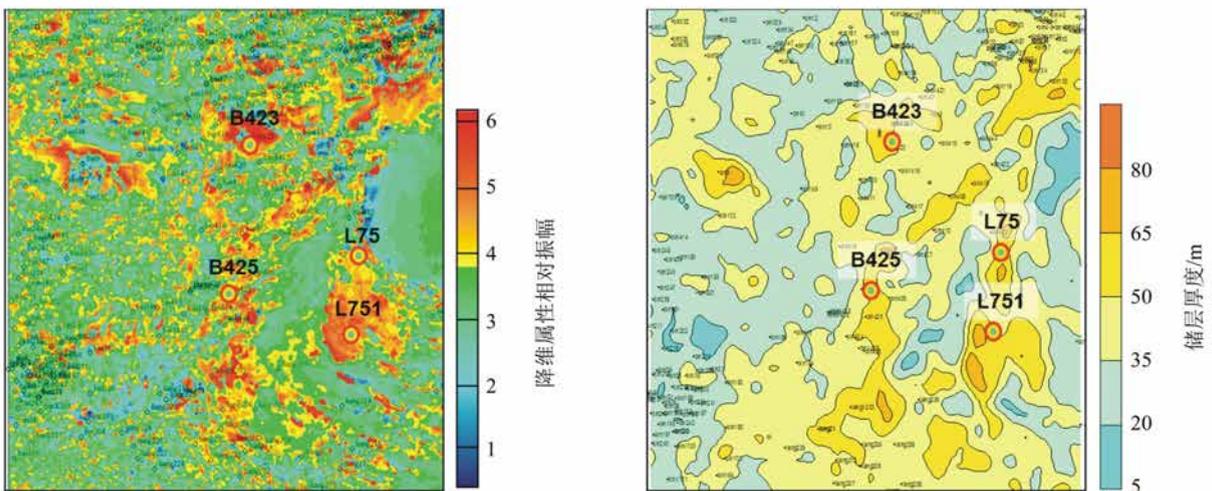
岩发育特点采取针对性的人工智能储层预测技术。具体包含了以下几个关键的步骤:①实钻井储层厚度统计;②地震属性的提取;③地震属性的相关性分析;④地震属性优选;⑤地震属性降维映射;⑥人工智能储层厚度预测。通过该方法,准确落实了滨东地区滩坝砂岩总厚度上的变化(图4)。

### 3.3 反射系数反演技术

单砂体的厚度明显影响产能的大小,同时钻井显示滩坝砂岩也存在着油水边界,生产实际表明滩坝砂岩的储层描述需要达到能够描述单砂体形态的

程度。为此,引入了反射系数反演技术来落实单砂体的描述。

反射系数反演是将地震资料与钻井相结合,将地震剖面去除子波从而得到反射系数剖面,反演结果可以揭示厚度远小于地震调谐厚度的地层,该技术极大地提高了地震资料的分辨率。从岩屑录井和反射系数的对应关系来看,反射系数频繁出现的层段一般发育的是滩砂沉积,而在反射系数序列上分布较稀的地区一般对应着坝砂发育段。反射系数序列基本能反映出滩砂、坝砂的沉积。



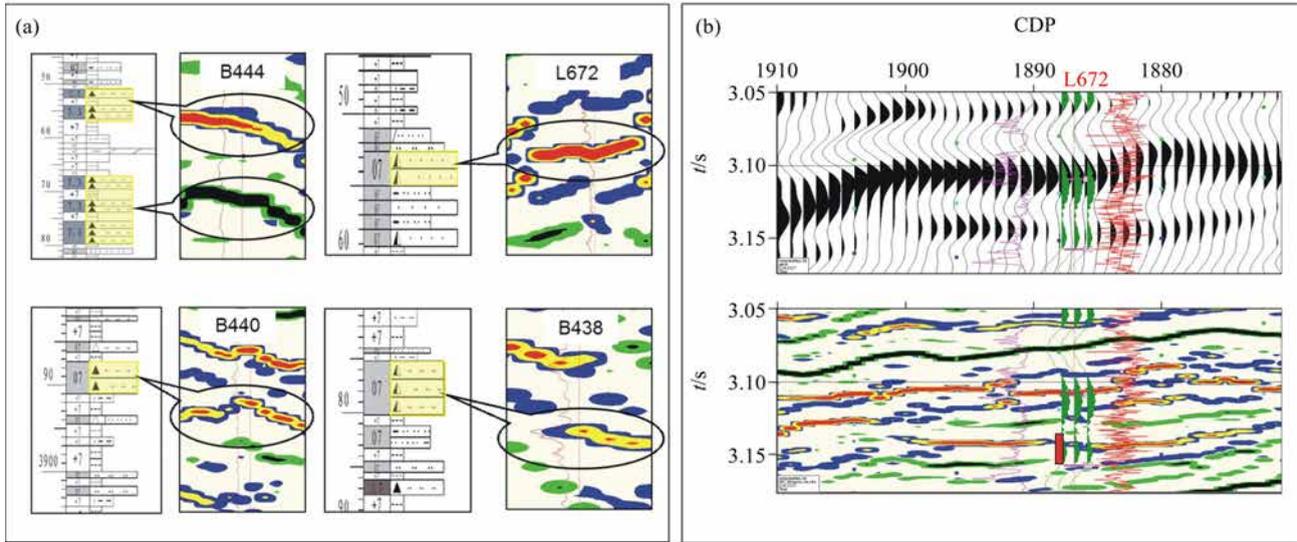
a—降维属性图;b—BP神经网络法估算储层厚度图

图4 滩坝砂岩厚度预测

在合成记录标定的基础上,对实钻井进行了对比,发现每一套坝砂(小层)在反射系数剖面上都存在着对应的响应。由此就在反射系数剖面识别出了每一套坝砂的反射,从而使对坝砂(小层)的追踪解

释成为可能(图5)。

应用该方法,通过精细的追踪解释准确落实出坝砂的展布形态及规模,在实际生产中有效指导了开发井位的部署。



a—反射系数剖面井震标定;b—地震剖面与反射系数剖面对比

图5 反射系数反演处理效果

## 4 结论

(1)滩坝砂岩受沉积背景的控制,形成了多种岩性组合特征,岩性组合决定其地震响应,结合钻井总结出10种典型的地震波形特征。

(2)依据滩坝砂岩的地震波形、能量、频率特征,提出了分频技术落实坝砂与滩砂集中发育区,多属性降维厚度预测到反射系数反演描述单砂体的三级多元储层预测技术序列,解决了坝砂及滩砂的有效储层预测问题。

(3)该方法在具有同样的薄互层结构的沉积类型的储层描述中具有一定的推广意义。

## 参考文献:

- [1] 才巨宏. 综合应用波形分析及地震特征反演技术预测滩坝砂岩:以博兴洼陷梁108地区为例[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 42-44.
- [2] 袁红军. 东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 497-803.
- [3] 王金铎, 徐淑梅, 于建国, 等. 用波形分析法预测滨浅湖滩坝砂岩储层:以东营凹陷西部地区沙4上亚段为例[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2008, 33(5): 627-634.
- [4] 张宇, 唐东, 周建国. 东营凹陷缓坡带滩坝砂岩储层描述技术[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 14-16.
- [5] 潘兴祥. 断陷盆地滩坝砂岩储集体勘探方法[J]. 天然气工业, 2007, 27(S1): 278-281.
- [6] 操应长, 王健, 刘惠民. 利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨:以东营凹陷西部沙四上滩坝砂体沉积为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 274-284.
- [7] 宋国奇, 王延章, 路达, 等. 山东东营凹陷南坡地区沙四段纯下亚段湖相碳酸盐岩滩坝发育的控制因素探讨[J]. 古地理学报, 2012, 14(5): 565-570.
- [8] 袁静. 中国东部古近系洪水—漫湖沉积特征——以济阳坳陷南部为例[J]. 矿物岩石, 2008, 25(2): 99-103.
- [9] 操应长, 王健, 刘惠民, 等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J]. 中国石油大学学报, 2009, 6(2): 5-10.
- [10] 王永诗, 刘惠民, 高永进, 等. 断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏:以东营凹陷沙四上亚段为例[J]. 地质前缘, 2012, 19(1): 100-107.
- [11] 袁志云, 孔令洪, 王成林. 频谱分解技术在储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(S1): 11-15.
- [12] 王鹏, 钟建华, 张宏伟, 等. 频谱分解技术在复杂断块区的应用研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(3): 248-252.
- [13] 刘洪林, 胡建, 王金山, 等. GA+BP神经网络在薄互层储层预测中的应用[J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 460-470.
- [14] 邹伟, 李瑞, 旺旺旺. BP神经网络在致密砂岩储层测井识别中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2006, 29(6): 428-433.

## Seismic prediction of effective reservoir in Eocene beach-bar sandstone of Dongying depression

YU Jing-Qiang, QU Zhi-Peng, WU Ming-Rong, LUO Ping-Ping

(*Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Co., Ltd., Dongying 257022, China*)

**Abstract:** Late Eocene beach bar sandstone constitutes an important reservoir type in Dongying depression. As the beach bar sandstone is thin and interbedded with mudstone, it is difficult to identify it from normal seismic data. Aimed at solving the key issues of the beach bar sandstone existent at the development stage, the authors proposed the employment of a variety of geophysical methods such as frequency division multiple attribute dimension reduction and reflection coefficient inversion to solve the problem of effective reservoir microscopic description. The transformation from qualitative prediction to quantitative prediction is realized in the beach bar sandstone reservoir prediction studies. These methods have certain promoting significance for the description of the same sedimentary type.

**Key words:** Eocene; beach-bar sandstone; thin interbeds; reservoir prediction; Dongying depression

作者简介: 于景强(1981-),男,工程师,主要从事地震资料综合解释工作。

上接 859 页

## A borehole TEM anomaly inversion method

YANG Yi, DENG Xiao-Hong, ZHANG Jie, WU Jun-Jie, WANG Xing-Chun

(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China*)

**Abstract:** Borehole TEM is widely used in deep prospecting and has achieved fruitful results; nevertheless, qualitative and semi-quantitative interpretation is mainly used in borehole TEM data Interpretation at present, which restrictes the use and popularization of this method to a large extent. In view of this situation, the authors studied pure anomaly inversion of TEM based on current filament by using genetic algorithm. With this method, we can accurately determine the size, dip and center coordinates of the in-hole or off-hole abnormal body. The inversion results of sheet model forwarded by Maxwell software and measured data further prove the correctness and applicability of the algorithm.

**Key words:** borehole TEM; current filament; genetic algorithm; quantitative inversion

作者简介: 杨毅(1985-),男,2010年毕业于吉林大学,获硕士学位,现在主要从事电磁法勘探方法技术研究。