

文章编号: 0253-9985(2007)04-0497-07

东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测

袁红军^{1, 2, 3}

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039 3. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 东营凹陷博兴洼陷古近系沙四段滨浅湖滩坝砂岩油藏是岩性油藏的一种重要类型。滩坝砂岩储层具有埋藏深、横向变化大、储层单层厚度较薄的特点, 充分利用地震信息, 结合地质和钻井资料, 研究其储层预测技术具有较大的意义。通过多年的勘探实践, 胜利油田目前已初步形成了一套针对滩坝砂岩储层预测技术, 主要为古沉积环境恢复技术、正演模型技术、地震属性分析技术和基于地质目标的反演技术, 在博兴洼陷古近系沙四段滨浅湖滩坝砂岩油藏勘探开发中取得了良好的效果。

关键词: 滨浅湖相; 滩坝砂岩; 古沉积环境恢复; 地震属性分析; 储层预测; 东营凹陷

中图分类号: TE112.221 **文献标识码:** A

Prediction of beach bar sand reservoirs of shore-shallow lake facies in Boxing subsag of Dongying sag

Yuan Hongjun^{1, 2, 3}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences Qingdao, Shandong 266071;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences Beijing 100039

3. SINOPEC Exploration & Production Research Institute Beijing 100083)

Abstract Featuring in deep burial depth, large lateral variation, and small single layer thickness, the beach bar sand reservoirs in the 4th member of Shahejie Formation is an important type of lithological deposits. Integrated utilization of seismic, geology and drilling data is important to the prediction of this kind of reservoirs. After years of exploration practices, a series of techniques, including palaeosimentary environment reconstruction, forward modeling, seismic attribute analysis and geologic target-oriented inversion, has taken a complete shape in Shengli Oil field by aiming at beach bar reservoir prediction. These techniques are employed in the exploration of the beach bar sand reservoirs in Boxing subsag of Dongying sag and the results are quite encouraging.

Key words shore-shallow lake facies; beach bar sands; palaeosimentary environment reconstruction; seismic attribute analysis; reservoir prediction; Dongying sag

随着构造油气藏勘探程度的日益提高, 岩性等复杂油藏所占的地位越来越重要; 目前, 济阳坳陷探明储量中岩性油藏所占的比例已高达 50% 以上^[1]。东营凹陷南坡古近系沙河街组四段(沙四段)滨浅湖滩坝砂岩油藏作为岩性油藏的一种重要类型, 取得了良好的勘探效果。1999 年在滨东地区控制石油地质储量 2.187×10^4 t; 2000 年部分升级探

明储量 733×10^4 t; 2001 年纯北的梁 4 块新增探明储量 279×10^4 t; 目前博兴洼陷沙四段滩坝砂岩探明储量已达 5.700×10^4 t; 东营凹陷已累计探明石油地质储量 1.6×10^8 t。近两年, 随着在纯北及博兴南坡地区部署的梁 106、108、110、梁 112、梁 116、高 89 等井都获得高产油流, 掀起了该类油藏新的勘探高潮, 2004 年博兴南坡上报预测储量 4.196×10^4 t。

收稿日期: 2007-07-10

作者简介: 袁红军(1968—), 女, 博士, 石油地质

基金项目: 中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目(970211)

显示出该类油藏蕴藏着巨大的勘探效益(图 1)。

滨浅湖滩坝砂岩储层主要分布在凹陷南部构造缓坡带沙四段上亚段。在沙四段沉积晚期,由于湖盆的不断扩张,湖盆范围由小变大,远岸碎屑物在湖浪等外力作用下向湖盆方向推进,湖浪在构造缓坡带鼻状构造及凹陷内部次级洼陷前缘及侧翼受阻后能量减弱,碎屑物质在高地边缘卸载沉积,成为东营凹陷十分重要的储层类型之一^[2-4]。

但由于滨浅湖滩坝砂岩储层横向变化大、储层单层厚度较薄的特点,致使地震描述及勘探难度较大。分析该类油藏的成藏控制因素及砂体地

震描述技术是提高勘探效益的关键因素之一。

1 滩坝砂岩的沉积特点和成藏控制因素

滩坝砂体主要发育于沉积物源丰富、古地形差异较小、波浪作用持续稳定的场所。常发育于陆相断陷盆地缓坡带,在缓坡带的 3 种类型(宽缓型、窄陡型、二元型)中,又以宽缓斜坡带最为发育。宽缓斜坡带通常是在基岩古地貌背景上发育的斜坡,断层较少,有利于滩坝砂岩的发育(图 2)。

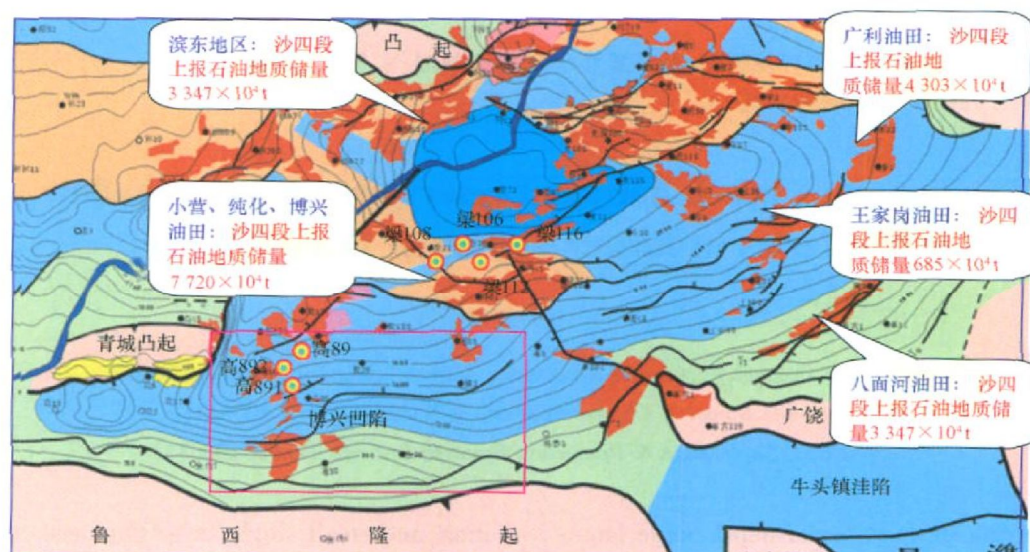


图 1 东营凹陷滩坝砂岩勘探形势图

Fig. 1 Scheme map showing the exploration extent of beach bar sand reservoirs in Dongying sag

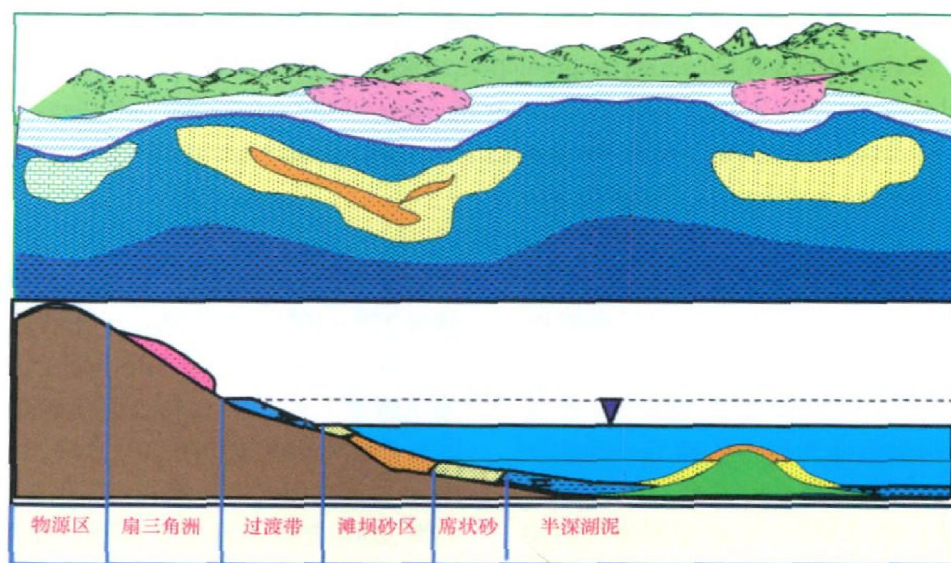


图 2 滩坝砂岩沉积模式图

Fig. 2 Map showing modes of deposition of beach bar sands

滩坝砂岩储层的分布主要受构造活动、物源供应和湖水动力条件的控制。不同地区和不同层位, 储层发育和分布特点有较大的差异; 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, 最有利于滨浅湖滩坝砂岩的沉积^[5~15]。

滩坝砂岩油气成藏主要受构造背景、储层条件和油源条件 3 个因素的影响。

1.1 构造背景

滩坝砂体的分布明显受到沉积时古地形条件的控制。古地形的高地往往是沉积滩坝砂体的有利区域。同时, 有利的构造背景是油气运移的方向, 利于油气的聚集 (图 2)。

1.2 储层条件

滩坝砂岩油层产能的高低主要取决于储层的发育状况。物性好、厚度大的坝砂含油性较好, 产能相对较高。因此, 利用有效的物探技术对其储层 (尤其是坝砂) 进行预测就显得尤为重要。

博兴洼陷沙四段上亚段储层具有以下特点 (图 3): 1) 埋藏深, 平均深度 2 800 m; 2) 储层薄, 单层平均厚度 2 m; 3) 储层横向变化大, 连通性差; 4) 储层类型多, 分布不均衡。

博兴洼陷沙四段上亚段滩坝砂岩的储层变化较大, 可分为以下 3 种情况: 1) 在滩砂 (席状砂) 大面积发育区内存在多个坝砂砂体较为发育的局部区块, 且分布较小, 集中在中部的高 89 井区; 2) 以

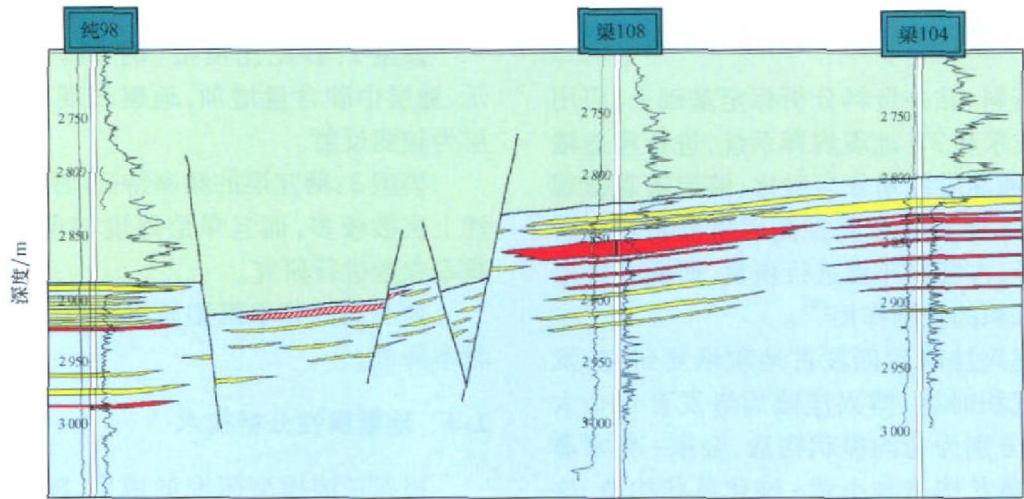


图 3 滩坝砂岩典型油藏剖面
Fig. 3 A typical reservoir profile of beach bar sands

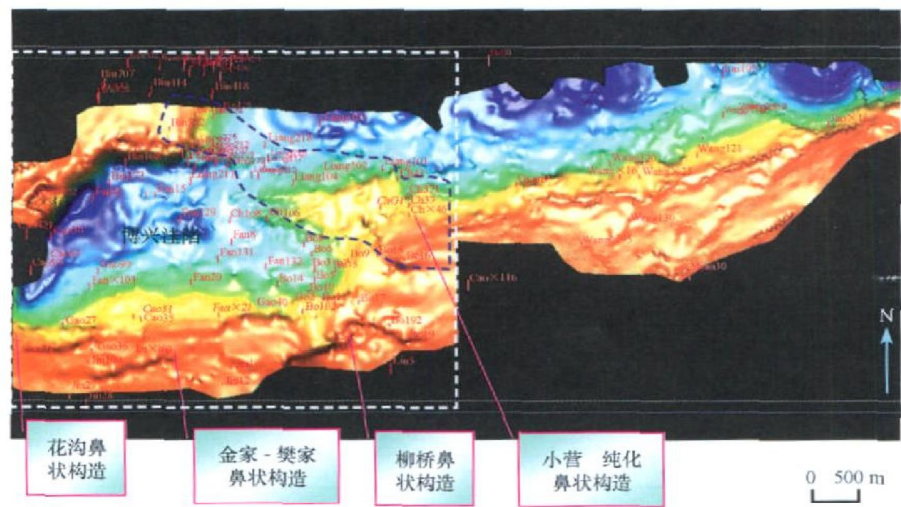


图 4 博兴洼陷沙四上古地貌恢复图
Fig. 4 Palaeogeomorphology reconstruction in the upper 4th member of Shahejie Formation, Boxing subsag

沉积滩砂(席状砂)为主,基本不发育单层厚度较大的坝砂砂体的局部区块,分布较广,在博兴洼陷内是区域性分布的;3)滩坝砂体发育区带内灰质、白云质岩类含量较重。

储层的多样性给储层预测工作带来了较大的难度,滩砂在地震剖面上表现为弱振幅、坝砂为中、强振幅,灰质砂岩表现为强振幅。

1.3 油源条件

由于储层集中在纯化镇组下部,以纯化镇组上部为油源,有断层才能沟通油源,因此断裂发育带油源条件好,断层复杂的地段油气富集。

2 滩坝砂岩储层的地震描述技术

2.1 古沉积环境恢复技术-对构造背景的研究

在地质资料、钻井资料分析标定基础上,应用三维可视化技术和 3D 地震解释系统,进行构造精细解释、地层和油层组划分与对比、储层宏观微观特征描述、流体性质分布及控制因素分析。对研究区的古地形、古沉积环境进行恢复,研究古地形对滩坝砂体沉积的控制作用^[7]。

通过对博兴洼陷沙四段古地貌恢复研究,发现在沙四末沉积时期,博兴洼陷周缘发育 4 个大的鼻状构造,分别为花沟鼻状构造、金家-樊家鼻状构造、柳桥鼻状构造和小营-纯化鼻状构造,这 4 个鼻状构造为滩坝砂岩的沉积提供了良好的构造背景(图 4)。

2.2 正演模型技术

借助正演模型技术,研究不同厚度、具有不同岩性组合特征的滩坝砂体的地球物理特征,建立砂体的地震识别模式,在地震相位和地质模型上建立识别滩坝砂岩的桥梁,为后续储层预测工作奠定基础^[8~9]。针对储层的多样性,模型设计了 3 类。

模型 1 滩砂与坝砂的区分(图 5)。正演模型的结果证明,随着滩坝砂岩单层厚度及砂层组内砂岩百分含量的加大,反射振幅逐渐增强;对博兴洼陷而言,在不含灰质的情况下,坝砂在地震剖面上均表现为强振幅,而滩砂则表现为中弱振幅,这种认识对于在地震剖面上对滩坝砂岩的识别和利用地震属性对其预测都具有十分重要的意义。

模型 2 砂泥比模型(图 6)。砂泥比模型显示,地层中砂含量增加,地震表现振幅增强,薄互层为较弱反射。

模型 3 薄互层的频率特征(图 7)。滩坝砂岩性上层数较多,而且单层厚度较薄。因此可以用频率参数进行研究。

薄互层的频率模型显示,薄互层中砂层增加,频率降低。

2.3 地震属性分析技术

根据正演模型研究的成果,随着滩坝砂岩单层厚度及砂层组内砂岩百分含量的加大,反射振幅逐渐增强。砂泥比模型显示,地层中砂含量增

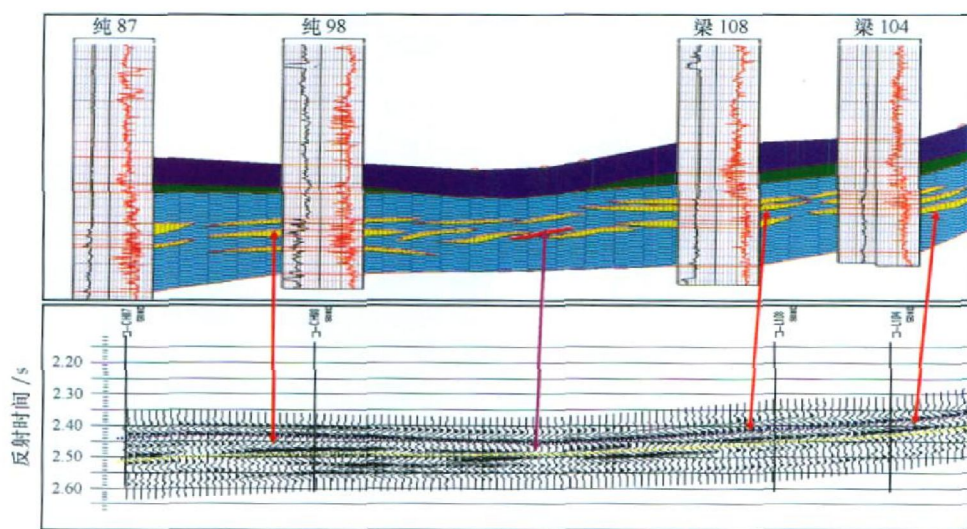


图 5 滩砂与坝砂的区分

Fig. 5 Distinguishing beach sands from bar sands

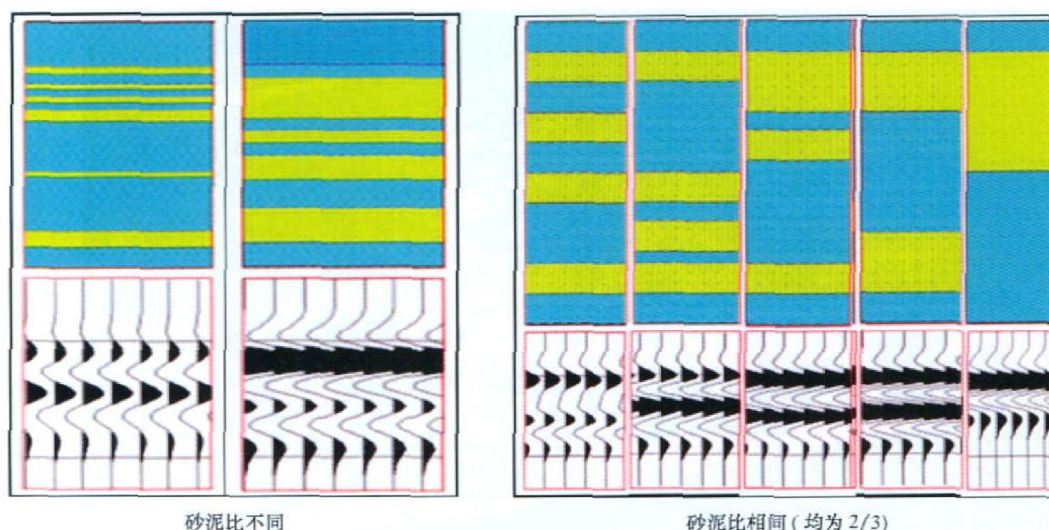


图 6 砂泥比模型

Fig. 6 Sand/mud ratio model

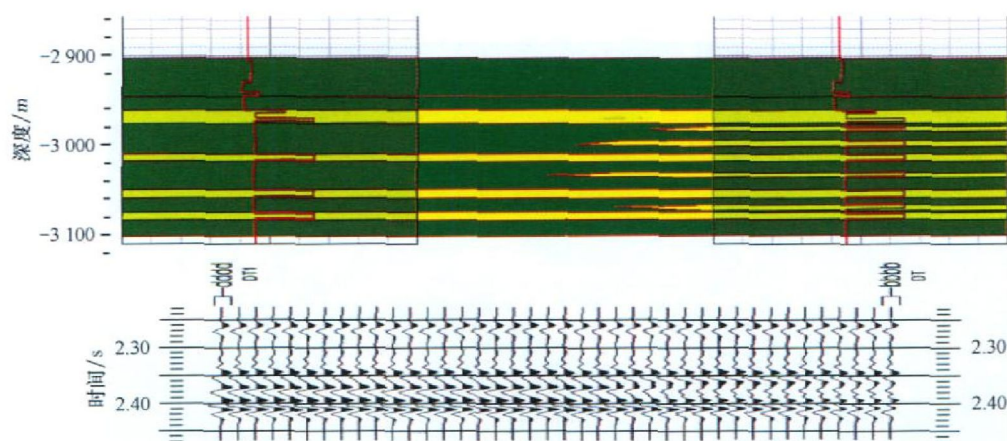


图 7 薄互层的频率模型

Fig. 7 A frequency model of interbedded thin sands and mudstones

加,地震表现振幅增强,薄互层为较弱反射。薄互层的频率模型显示,薄互层中砂层增加,频率降低,因此,振幅类和频率类参数可以作为滩坝砂岩储层预测的重要参数^[5~9](图 8 图 9)。

单一地震属性的预测在博兴洼陷的纯化一小营地区取得良好效果。钻探证实,强振幅往往是坝砂发育的区域,但是在洼陷南部的斜坡地带,钻探证实,强振幅区往往是灰质砂岩的发育区,而且灰质含量越高,振幅越强。灰质砂岩相对致密,储集性能较差,因此运用单一地震属性的预测在南部斜坡带预测效果较差。究其原因,主要是由于洼陷内滩坝砂岩岩性差异造成:纯化一小营地区沙四段滩坝砂岩物源主要来自沙四早期发育的规模巨大的、含巨厚砂岩的、由南

向北发育的高青三角洲,因此滩坝砂岩岩性相对单一,主要为中砾砂岩,储集性能较好;洼陷南部的斜坡地带滩坝砂岩物源部分来自高青三角洲,部分来自洼陷南部的鲁西隆起,母岩为寒武系灰岩,因此,部分滩坝砂岩的成分含灰质较多储层条件较差。

因此,地震属性预测应分区、分条带进行。在不含灰质滩坝砂岩发育区,以振幅类地震属性预测其分布,在灰质滩坝砂岩发育区,综合钻井、测井、地震等多种资料,发展并引进了地震属性优化技术。研究发现,滩坝砂岩中灰质含量的多少,对储层的物性及其含油性有着十分重要的影响。砂岩中含灰质成分较重时,储层的储集物性及其含油性较差。以往,单一地震属性预测储层,可以找

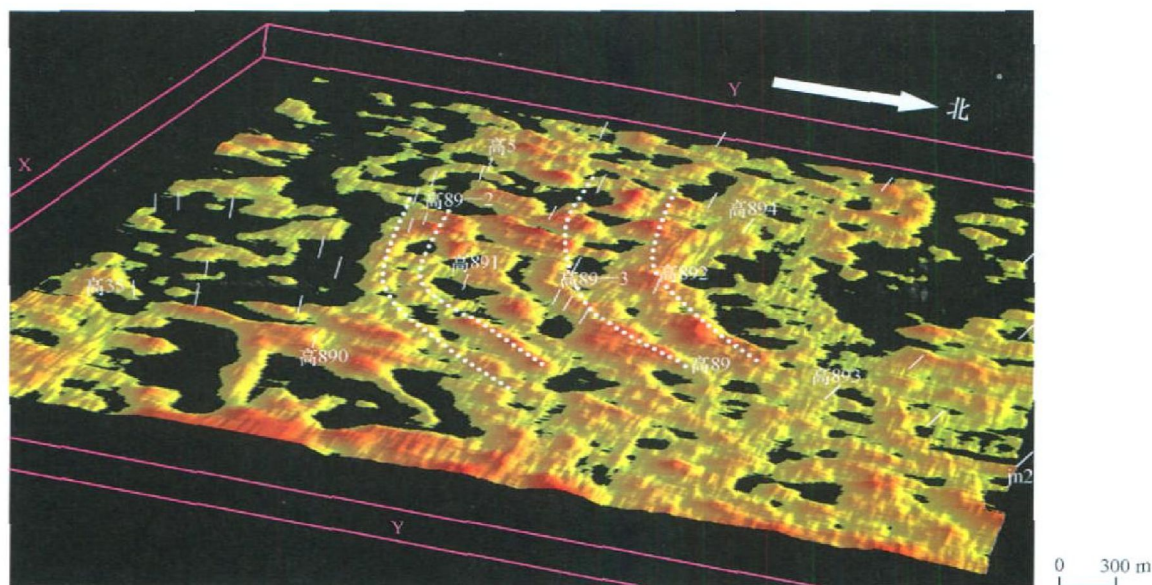


图 8 高 89 井区振幅属性预测图

Fig. 8 Prediction of amplitude attribute in Gao-89 wellblock

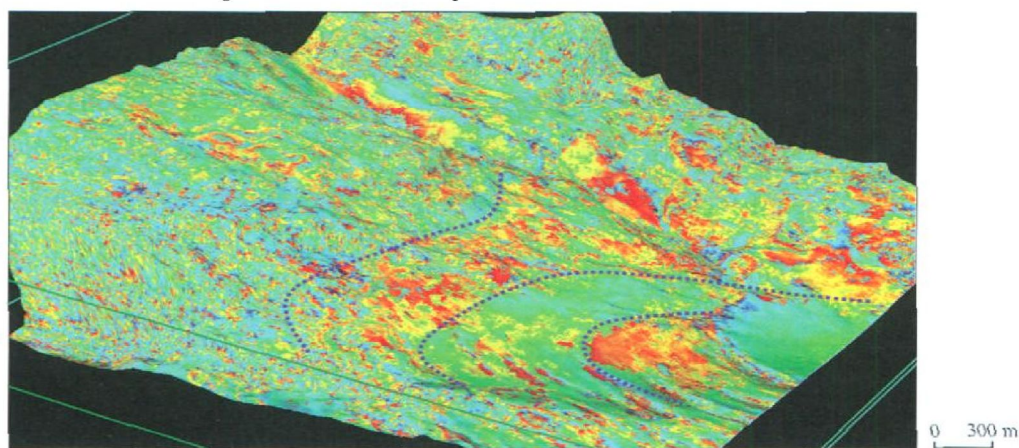


图 9 博兴洼陷局部瞬时频率属性与构造叠合图

Fig. 9 A structural map with instantaneous frequency attribute in Boxing subsag

(从立体显示图上可更清楚地看出滩坝砂的分布规律,可看出在水体较浅,

坡度较缓的区域是滩坝砂发育的有利场所,此外,沟谷两边的斜坡也是发育的有利场所。)

到平面上滩坝砂体的有利发育范围,但并不能指出何处滩坝砂岩不含或少含灰质成分、物性更好。利用地震多属性优化技术,针对研究的物性参数,在井资料对比标定下,通过频带扫描分析,对于某些地震属性,找出最能反映储层参数的频带范围。然后利用在该频带范围内对地震记录进行带通滤波,最后对滤波后的地震记录进行地震属性的提取及组合优化计算,区分出了灰质砂岩和坝砂的分布,成功地解决了这一棘手问题。

2.4 基于地质目标的反演技术

在对滩坝砂体地震相特征进行正演模拟和岩

石地球物理特征分析技术的基础上,在地震属性分析技术宏观储层预测的前提下,利用特殊处理得到的高分辨率地震资料,应用测井约束反演技术对有利区块进行储层精细雕刻^[10],落实滩坝砂岩尤其是坝砂的有利发育范围。(图 10)

3 结语

古沉积环境恢复技术、正演模型技术、地震属性分析技术和基于地质目标的反演技术等 4 大类技术,在岩性油藏的勘探中经常用到,我们的创新点在于针对滩坝砂成藏的特点将 4 项技术进行了

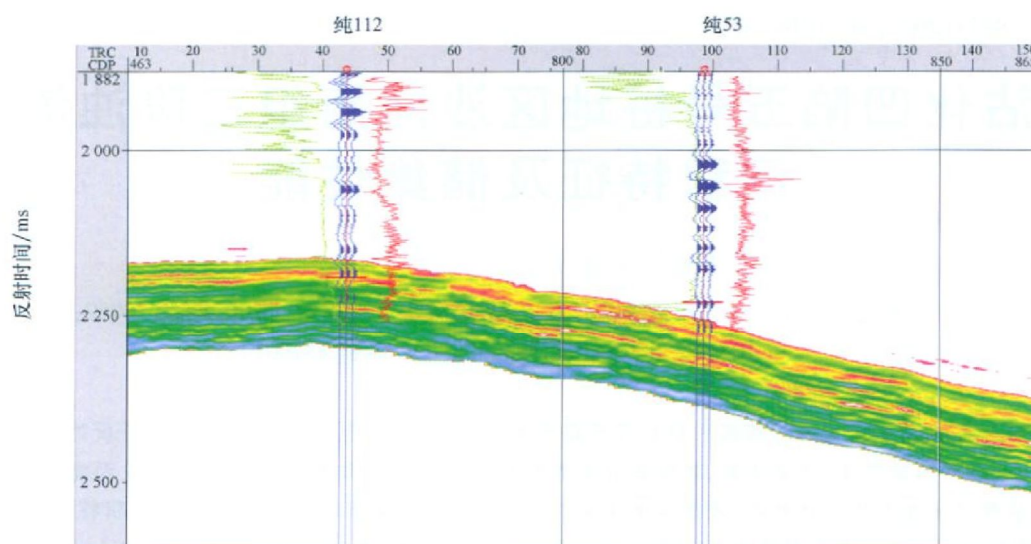


图 10 滩坝砂岩反演剖面

Fig. 10 An inversion profile of beach bar sands

有机的结合, 首先利用古沉积环境恢复技术对滩坝砂岩的发育环境进行分析, 找到滩坝砂岩可能分布的区域; 在此基础上, 利用正演模型技术在地质分层和地震相位建立了桥梁; 利用地震属性技术, 从区域上宏观预测滩坝砂岩的分布, 其后, 利用反演技术对砂体进行精细雕刻。

参 考 文 献

- 1 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 2 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁. 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): 20~27
- 3 宋维琪, 刘江华, 王小马, 等. 预测油气的地震属性优化组合、灰关联分析技术 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(5): 34~36
- 4 李秀华, 肖焕钦, 王宁. 东营凹陷博兴洼陷沙四段上亚段储集层特征及油气富集规律 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(3): 21~24
- 5 牟荣. 复杂小断块圈闭识别描述方法——以苏北盆地为例 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 269~274
- 6 吴东胜, 杨申谷, 刘少华. 陆相盆地隐蔽油气藏综合勘探方法

- 与应用初探 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 118~123
- 7 谭茂金, 杨邦伟, 贾黎, 等. 胜利老河口油田桩 106 井区馆陶组成藏规律研究 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 44~47
- 8 鲁国明, 刘魁元. 济阳坳陷高凸起斜坡带新近系油气成藏与勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 258~262
- 9 梁生正, 任铁扣, 曾宪云, 等. 渤海湾盆地天然气勘探方向与目标 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(6): 265~269
- 10 孙锡年, 刘渝, 满燕. 东营凹陷西部沙四段滩坝砂岩油气成藏条件 [J]. 国外油田工程, 2003, 19(7): 24~25
- 11 杨云岭, 韩文功. 胜利油田高分辨率地震勘探方法与实践 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- 12 陈遵德. 储层地震属性优化方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 13 潘林. 油气地质地球物理综合勘探技术 [M]. 北京: 地震出版社, 1998
- 14 范祯祥, 郑仙种, 范书蕊, 等. 利用地震、测井资料联合反演物性参数 [J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(1): 38~53
- 15 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

(编辑 陈喜禄)