

层序地层格架约束下的浅水三角洲沉积特征及其潜力研究

张振杰,宋洪亮,王欣然,张国浩,颜冠山

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300459)

摘要:岩性圈闭预测与成藏研究是渤海海域新近系明化镇组油气勘探获得新突破的关键。以黄河口凹陷 B 油田新近系明化镇组下段为例,在层序地层格架约束下开展沉积砂体发育特征及油气分布规律研究,在此基础上结合区域油气成藏规律以及研究区已钻含油气砂体的地震响应特征,采用地层切片、相干分析以及振幅属性等多种方法对研究区潜力砂体进行识别与精细刻画。研究部署的评价井新增探明石油地质储量近 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$,为该油田的挖潜提供了良好的物质基础,同时为黄河口凹陷类似油田的勘探开发提供了一定的借鉴。

关键词:渤海海域 层序地层格架 浅水三角洲 发育特征 精细刻画

中图分类号:TE321

文献标志码:A

Sedimentary characteristics and potential of shallow water delta under the constraint of sequence stratigraphic framework

ZHANG Zhenjie, SONG Hongliang, WANG Xinran, ZHANG Guohao, YAN Guanshan

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: Study on lithologic trap prediction and hydrocarbon accumulation is the key to the new breakthrough of hydrocarbon exploration in Minghuazhen Formation of Neogene in Bohai sea area. Taking the Neogene lower member of Minghuazhen Formation of B Oilfield in Huanghekou Sag as a case, it was carried out studies on the development characteristics of sedimentary sandbodies and the distribution pattern of oil and gas under the framework of sequence stratigraphy. On this basis, combined the regional hydrocarbon accumulation regularity with the seismic response characteristics of drilled oil – gas sandbodies, the identification and fine characterization of potential sandbodies in the research area are realized by means of stratigraphic section, coherent analysis, amplitude properties, and so on. The deployed evaluation wells indicated a newly increased proven reserves of nearly five million cubic meter and provided a good material base for the oilfield potential exploiting. At the same time, it has certain reference significance for the exploration and development of similar oilfields in the Huanghekou Sag.

Key words: Bohai sea area; sequence stratigraphy framework; shallow water delta; development characteristics; refined depiction

黄河口凹陷作为渤海海域最重要的含油气区之一,围绕着该区域周边在中深层地层发现了一系列构造圈闭油气藏。随着勘探的不断深入,近年来在浅层明化镇组下段陆续发现了一些低幅构造背景下的构造 – 岩性以及岩性油气藏并取得了一些认识^[1-3]。本文以黄河口凹陷 B 油田为例,在层序地层格架约束下对该区的沉积砂体发育特征开展研究,同时结合区域油气成藏规律以及已钻含油气砂体的地震响应特征,采用多种方法实现了对研究区潜力砂体的识别与精细刻画。实钻结果显示,本方

法能够较好地指导本区的油气勘探,同时为黄河口凹陷类似油田的勘探开发提供借鉴。

收稿日期:2018-04-17;改回日期:2018-05-17。

第一作者简介:张振杰(1986—),硕士,工程师,主要从事油气田开发地质方面研究。E-mail: zhangzhj35@cnooc.com.cn。

基金项目:“十三五”国家科技重大专项课题“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范(编号:2016ZX05058-001)”资助项目。

1 地质概况

研究区位于渤海南部海域,为发育于黄河口凹陷西北洼、渤南低凸起西段南界大断层下降盘的一个复杂断块,区域成藏位置十分有利。主力含油层

系为新近系明化镇组下段,沉积类型为浅水三角洲沉积,岩性主要为中—细粒岩屑长石砂岩,具有高孔高渗的特征。油田内部油气分布具有明显的分区性,具有典型的“一砂一藏”特征,油藏类型主要为构造—岩性油气藏,其次为岩性油气藏(见图1)。

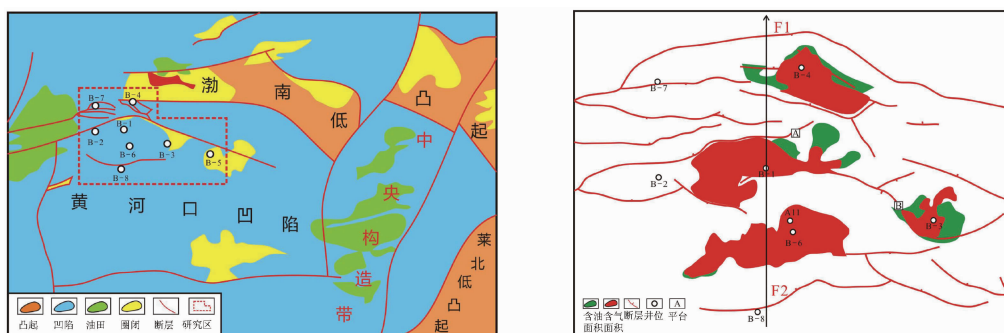


图1 研究区区域构造位置及含油气面积叠合图

2 层序地层格架研究及沉积砂体发育特征

2.1 高分辨率层序地层研究

高分辨率层序地层的分析首先是进行同时代地层和界面的对比,而基准面旋回的转换面是进行时间地层对比的优选位置,具体表现为2种类型:(1)基准面由下降到上升的转换面,即层序界面,通常表现为不同成因和产出规模的构造不整合面、侵蚀冲刷面、沉积相或岩相转换面。(2)基准面由上升到下降的转换面,即洪泛面,在地层对比中具有重要的等时对比意义^[4]。

根据对研究区钻井取心、录井和测井资料分析,同时结合井震标定结果,从明下段地层中识别的基

准面旋回主要有:(1)明下段底部与馆陶组顶部的岩相转换面,录井上明下段岩性整体为粉—细砂岩区别于馆陶组顶部的中细粒含砾砂岩,测井上受黏土矿物影响明下段底部GR值较馆陶组顶部明显偏高,另外地震上馆陶组顶面为一套弱振幅弱连续地震反射底界面,总体表现为中低频中强振幅较连续波峰反射;(2)基准面内部的洪泛面,整体上表现为大段的泥岩沉积,GR曲线表现为低幅齿状—平直型的特征。

根据上述在明下段内普遍发育的在钻井以及测井中可被识别的层序界面,自下而上可将研究区新近系明下段划分为1个长期基准面旋回和4个中期基准面旋回(见图2)。

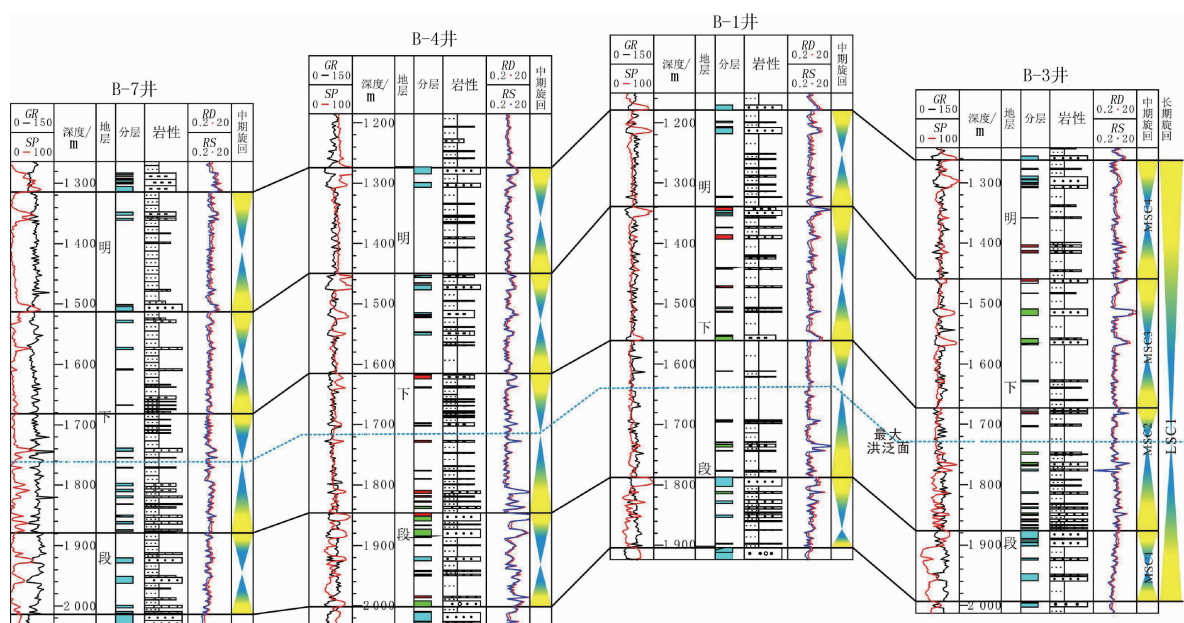


图2 研究区明下段层序地层格架内砂体展布特征

2.2 沉积砂体发育特征

在等时层序地层格架建立的基础上,分析储集砂体分布及与不同级别基准面旋回变化的关系^[5-7]。研究区层序地层格架内沉积砂体的发育具有如下特点:

(1)在MSC1中期基准面旋回内,湖平面表现为先上升后逐渐下降,该时期可容纳空间较小,物源供给相对充分,垂向上多期河道叠置,整体表现“砂包泥”的特征,由于明下段沉积期湖底地形平坦,受湖平面水体波动变化的影响,录井泥岩颜色显示由下部紫红色逐渐变为绿灰色,测井曲线为锯齿状,自然伽马曲线表现为箱型和钟型,呈现高幅特征;沉积特征以发育浅水三角洲平原的水上分流河道和分流河道间为主,同时发育浅水三角洲前缘水下分流河道等沉积相,河道型砂体在垂直河道走向的地震剖面上往往表现为短而强的反射,形态呈顶平底凸的透镜状;而沿河道方向则表现为强而连续的反射,延伸距离较远,该时期地层厚度普遍在130 m左右,而在B-4井区达到最厚约150 m。

(2)在MSC2中期基准面旋回内,湖平面表现为缓慢上升后快速下降,录井泥岩颜色显示由下部少量的紫红(褐)色到上部大段的绿灰色沉积,整体表现为厚层泥岩夹薄层砂岩的特征,测井曲线表现为低幅齿状—平直型特征,沉积相为浅水三角洲前缘水下分流河道和分流河道间到前浅水三角洲—滨浅湖沉积。具体而言,在基准面上升半旋回,可容纳空间持续增加,沉积物供应逐渐减少,砂体呈退积结构,垂向上砂体沉积逐渐减薄,泥岩含量增加,在最大湖泛面处发育前浅水三角洲—滨浅湖的沉积特征;在基准面下降半旋回早期,沉积物供给增加,砂体呈现加积结构,受潮盆水体波浪影响,沉积主体为分流砂坝,砂体表现为席状化的特点,呈朵状、坨状和片状分布,横向连续性较好,砂坝型砂体在地震剖面上表现为较强振幅反射,在平面呈片状或朵叶状展布。在基准面下降半旋回中晚期可容纳空间逐渐减小,沉积物供给逐渐增加,砂体呈现进积结构,向上砂体含量逐渐增加,仍以发育浅水三角洲前缘水下分流河道砂体为主,该时期地层厚度普遍在210 m左右,同样在B-4井区达到最厚约230 m。

(3)在MSC3~MSC4中期基准面旋回内,湖平面持续下降,录井泥岩颜色显示为大段的紫红(褐)色到黄褐色沉积,说明该时期水体较浅,处于半氧化半还原的环境,测井曲线表现为漏斗型及低幅齿状

型,砂体呈现持续进积结构;主要发育浅水三角洲平原水上分流河道和分流河道间沉积。该时期地层厚度在B-3井区最厚约410 m。

总之,在中期基准面旋回内沉积物供给和可容纳空间的变化对储集砂体的发育具有明显的控制作用,在基准面上升半旋回早期和下降半旋回中、晚期为砂体发育的有利部位。

3 区域油气分布及成藏因素分析

3.1 油气分布特征

黄河口凹陷主要发育沙三段、沙一段—沙二段和东三段3套主力烃源岩^[8]。通过生烃史模拟表明研究区油气主要来自古近系沙河街组湖相暗色泥岩,而浅层明化镇组发育的砂体为油气聚集提供了有利的储集空间。通过分析研究区油气分布特征可知,平面上油气主要位于B-1、B-3、B-4和B-6井区;从层序地层格架内油气分布的结果来看,纵向上油气主要分布在中期基准面旋回上升半旋回的早期和下降半旋回的中晚期,该时期砂体较发育,相应的含油气砂体规模也较大。

3.2 区域油气成藏因素分析

3.2.1 构造背景控制油气分布格局

油气成藏是潜力存在的基本条件,因此区域油气成藏条件分析有助于开展局部的潜力研究。在黄河口凹陷,构造背景控制了油气的运移方向,紧邻生烃洼陷的正向构造带是油气运移聚集的有利地区^[9]。研究区新近系整体受近东西向边界断层控制,表现为西高东低长而宽缓的斜坡,是油气运移的主要指向区之一,来自黄河口凹陷西次洼的油气经断裂、不整合面以及渗透性砂体等进行运移,进而在研究区不同区块之间成藏。

3.2.2 次级断裂控制油气晚期再分配

黄河口凹陷新近系油气藏具有近源、晚期和快速成藏的特点。其油气充注时间主要在明下段沉积时期之后,而次级断裂对来自古近系沙河街组烃源岩的油气运移聚集成藏具有晚期调节再分配作用^[10]。研究区受郯庐走滑断裂带和晚期新构造运动的影响,断裂非常发育,其中北部边界断层为长期活动断层,走向近东西向,次级断裂走向大部分与边界断层平行或低角度斜交,个别断层与边界断层较大角度斜交,这样早期边界断层和晚期断裂贯通深、浅层,沟通古近系烃源岩与新近系储层,促使油气向浅层运移聚集成藏(见图3)。

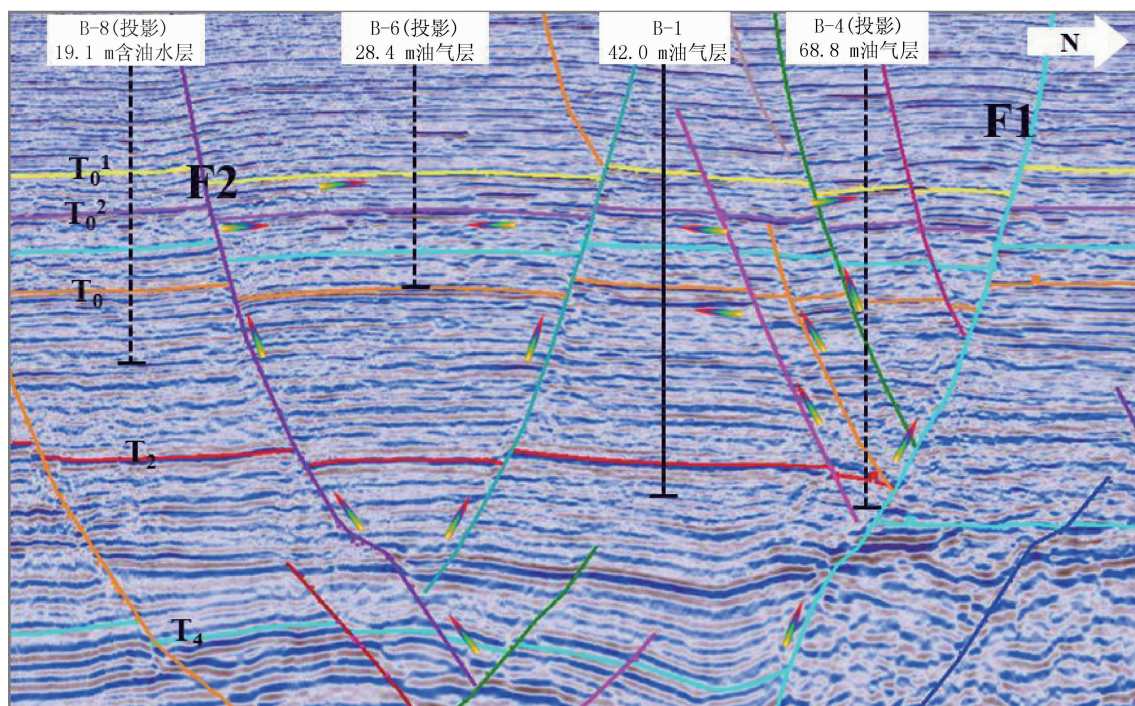


图3 研究区油气运移剖面示意(剖面走向见图1)

3.2.3 断-砂耦合控制油气富集程度

前人研究表明,在断裂-砂体复式输导体系下,可以形成断块、断背斜、断层遮挡等油气藏,断裂与砂体耦合,更多的是形成在构造背景下的断层-岩性油气藏^[11]。彭文绪等提出新近系河道砂体与油源断层在剖面上可形成正向正断层式、反向正断层式、反屋脊式和屋脊式4种断层-岩性组合样式,其中反屋脊式对浅层油气的聚集最为有利^[12]。对于研究区已钻成藏砂体分析表明,多数与油源断层呈“反屋脊式”接触关系,且砂体与断层的接触面积越大油气充满度越高。因此,在砂体和断层发育且活动性强的构造内,油气充注能力强,富集程度高。

综上所述,宏观上研究区油气分布受断裂控制,边界断层 F1 和反向深大断层 F2 控制了油气“垂向贯通式”运移模式,次级断裂进行晚期调节再分配;微观上油气的富集受砂体发育程度的影响,而砂体发育程度受基准面旋回变化的控制,进而影响油气富集的层位。明下段主要表现为厚层泥岩夹砂岩的沉积特征,浅水三角洲前缘砂体席状化程度高,横向连通性较好,滨浅湖相泥岩厚度稳定,分布范围广,可作为良好的封堵盖层,与浅水三角洲前缘砂体形成有利的储盖组合,为油气成藏提供优越的条件。

4 岩性圈闭精细刻画及其应用效果

4.1 已钻含油气砂体地震响应特征

(1)理论和实验研究表明,地震波在地下岩层

介质中传播时会造成地震波振幅的衰减,同时也造成高频成分的损失,其衰减程度受其温压、所含流体性质、流体饱和度、岩石组分和结构等因素的影响。当储层含流体时,油气层与水层相比,有更强烈的衰减作用^[13]。通过统计研究区已钻油气层和水层的顶底面振幅比值,可以得出其界限大致为1.5(见表1),这对于该区的潜力砂体含油气性预测提供了一定的参考范围。

(2)研究表明当地层孔隙中所含流体性质不同时,其对应的地震响应记录特征具有一定差异,而亮点技术对油气层的响应具有较好的应用效果^[14-15]。对于在正极性地震剖面上,气层低速层在地震剖面上表现为由强波谷分隔的双轨地震反射^[16]。

统计全油田8口评价井和23口开发井钻遇的69个砂层,分析表明含气砂层(气层、顶气底油、顶气底水)中有70%具有强波谷加复波峰的特征,含油砂层(油层、顶油底水)中有67%具有强波谷加复波峰的特征,含水砂层中仅有14%具有此特征(见图4),据此特征对于进一步锁定目标砂体提供了方向。

4.2 应用效果

通过对已钻含油气性砂体平面和垂向的分布位置以及地震响应特征进行分析,在层序地层格架模式指导下,采取平剖相结合的方式对岩性圈闭砂体进行精细描述,具体做法为:

(1)地层切片搜索,根据明下段基准面旋回内

不同时期砂体发育特征选取合适的时窗进行大范围的搜索,重点针对已钻含油气砂体同期沉积的潜力砂体分析其发育规模和展布范围(见图 5a)。

(2)地震属性分析采用多种地球物理手段,以地震反演数据体为主,结合常规地震对有利砂体进行精细解释(见图 5b~5d)。

(3)优选砂体,多层串联。在平面上对潜力砂

体追踪刻画范围的同时纵向上尽可能地兼顾相互叠置的砂体数量,从而优化井位部署,落实砂体潜力(见图 5e~5f)。

通过上述地质-地震综合研究,针对研究区潜力砂体部署评价并获得成功(如在 10D-1 579 m 砂体钻遇 15.5 m 的油气层),新增探明石油地质储量近 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

表 1 研究区明细段厚层砂体顶底面地震振幅统计

井号	顶深/m	底深/m	厚度/m	顶面振幅	底面振幅	比值	流体类型
B-2	1 390.4	1 402.2	11.8	-17 096	12 835	-1.332	水层
	1 254.4	1 262.9	8.5	-7 848	8 409	-0.933	
B-3	1 289.4	1 308.2	18.8	-10 230	9 234	-1.108	
	1 468.1	1 476.6	8.5	-15 170	12 134	-1.250	
B-4	1 398.4	1 408.4	10.0	-16 495	12 934	-1.275	
B-6	1 279.3	1 291.6	12.3	-8 669	7 134	-1.215	
	1 369.5	1 384.4	14.9	-11 097	10 177	-1.090	
B-7	1 502.7	1 512.2	9.5	-14 164	13 782	-1.028	
B-8	1 532.0	1 549.0	17.0	-23 077	18 070	-1.277	
B-1	1 385.6	1 392.4	6.8	-15 156	4 242	-3.573	油(气)层
	1 509.1	1 520.3	11.2	-15 605	9 799	-1.593	
B-3	1 557.1	1 568.5	11.4	-11 397	5 652	-2.016	
	1 615.7	1 625.0	9.3	-8 803	4 479	-1.965	
B-6	1 546.4	1 558.1	11.7	-27 925	18 163	-1.537	
	1 594.1	1 603.4	9.3	-10 669	4 596	-2.321	

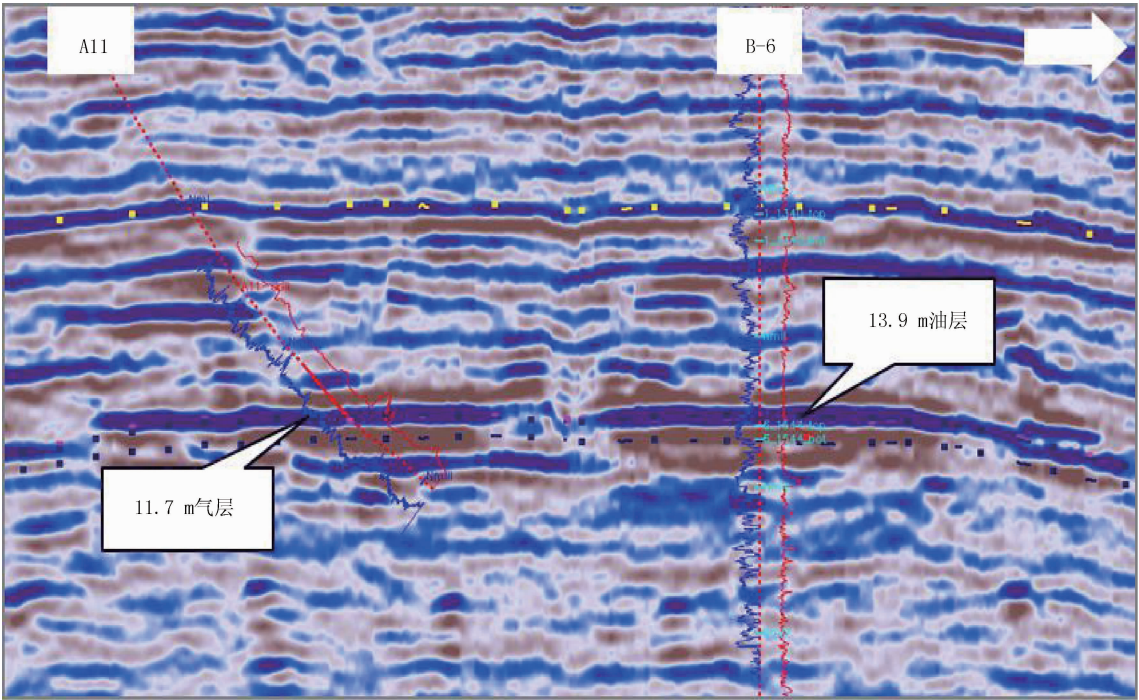


图 4 研究区典型含油气层段地震响应特征剖面

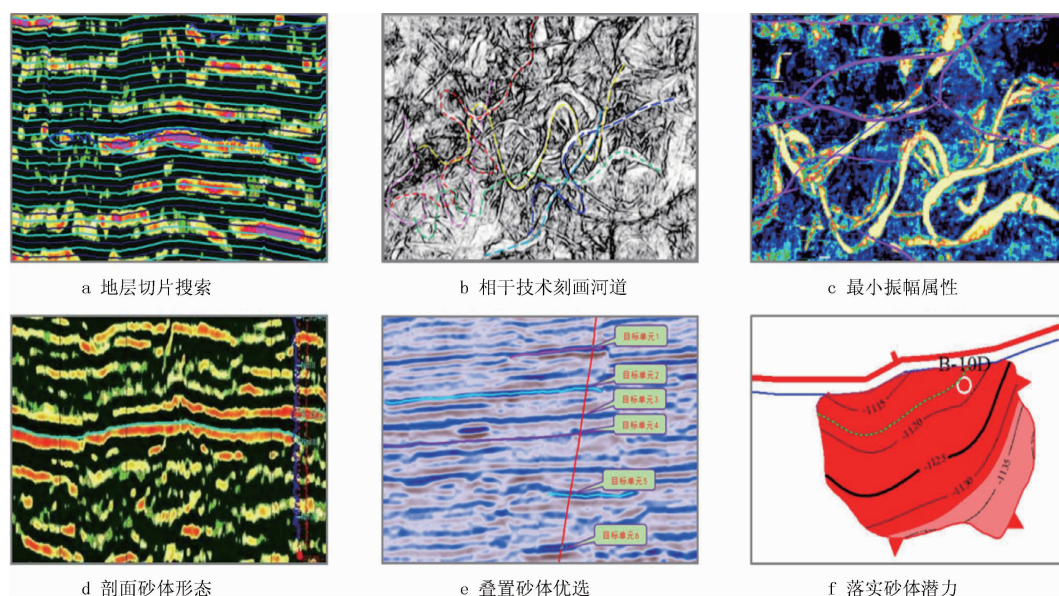


图5 研究区岩性圈闭精细刻画

5 结论

(1) 研究区新近系明下段明化镇组可以划分为1个长期和4个中期基准面旋回,基准面旋回内沉积物供给和可容纳空间的变化对储集砂体的发育具有明显的控制作用,在基准面上升半旋回早期和下降半旋回中、晚期为砂体发育的有利部位,同时该时期含油气砂体的规模相对也较大。

(2) 构造背景控制了油气分布的格局,紧邻生烃洼陷的正向构造带是油气运移聚集的有利地区;纵贯深层的断裂直接沟通古近系烃源岩和新近系储层促使油气向浅层垂向运移,而次级小断裂对浅层油气进行晚期调节再分配;断层与砂体的耦合则控制了油气富集的程度,砂体与油源断层呈“反屋脊式”接触关系最有利于油气聚集,且砂体与断层的接触面积越大油气充满度越高。

(3) 通过对已钻含油气性砂体平面和垂向的分布位置以及地震响应特征进行分析,在层序地层格架模式指导下,采取平剖相结合的方式实现了对研究区岩性圈闭砂体的识别和精细刻画,评价井钻探的成功进一步说明该技术对于本区具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 代黎明,李建平,周心怀. 渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析[J]. 岩性油气藏,2007,19(4):75-81.
- [2] 朱伟林,李建平,周心怀. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报,2008,26(4):575-582.
- [3] 孙和风,周心怀,彭文绪. 黄河口凹陷新近系浅水三角洲岩性油

气藏成藏模式[J]. 大庆石油学院学报,2010,34(2):11-16.

- [4] 郑荣才,文华国,李凤杰. 高分辨率层序地层学[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [5] 赖维成,程建春,周心怀. 湖盆萎缩期准平原沉积层序划分与砂体特征研究——以黄河口地区新近系明下段为例[J]. 中国海上油气,2009,21(3):157-161.
- [6] 王德英,余宏忠,于海波. 渤海海域新近系层序地层格架约束下岩性圈闭发育特征分析及精细刻画——以石臼坨凸起明下段为例[J]. 中国海上油气,2010,24(1):23-28.
- [7] 张新涛,周心怀,李建平,等. 敞流沉积环境中“浅水三角洲前缘砂体体系”研究[J]. 沉积学报,2014,32(2):260-269.
- [8] 陈斌,邓运华,郝芳,等. 黄河口凹陷BZ34断裂带油气晚期快速成藏模式[J]. 石油学报,2006,27(1):37-41.
- [9] 于海波,王德英,牛成民. 层序—构造对黄河口凹陷新近系油气分布及成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2012,19(6):42-46.
- [10] 田立新,余宏忠,周心怀. 黄河口凹陷油气成藏的主控因素[J]. 新疆石油地质,2009,30(3):319-321.
- [11] 何登发. 断裂—岩性体油气成藏[J]. 石油学报,2007,28(2):22-28.
- [12] 彭文绪,孙和风,张如才. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):511-518.
- [13] 黄凯,徐群洲,杨晓海. 地震波能量的衰减及其影响因素[J]. 新疆石油地质,1997,18(3):212-217.
- [14] 刘洪文. 含油气地层地震响应特征分析[J]. 石油物探,2008,47(6):577-582.
- [15] 张秀丽,张桂明,杨树合. 地震油气检测技术在大港油田浅层气识别中的应用[J]. 天然气地球科学,2013,24(4):815-820.
- [16] 李淑恩,张延章,温艳军. 北大港构造浅层地震亮点与天然气勘探[J]. 天然气地球科学,2003,14(4):291-294.

(编辑 谢葵)