

# 高分辨率地震资料约束下的砂体精细刻画

甘立琴, 谢岳, 石洪福, 李珍, 张文俊

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300452)

**摘要:**随着油田开发进入中后期,储层精细刻画决定了剩余油分布及油田挖潜方向。以Q油田北块砂体为例,针对区域生产动态矛盾,结合新处理高分辨率地震资料,以沉积模式为指导,完成复合砂体内部小层、单砂体级别储层精细对比。依据目标区存在的曲流河砂体叠置关系,建立3种叠置砂体的地震正演模型,明确不同叠置砂体剖面特征;在此基础上结合区域沉积背景,井震、动静结合开展平面储层精细刻画。研究成果指导了油田高含水期注采井网调整及挖潜,部署调整井8口,增加产能550 m<sup>3</sup>/d。

**关键词:**精细对比;井震结合;正演;沉积相;挖潜

**中图分类号:**TE321 **文献标志码:**A

## Fine description of sandbody under the constraints of high-resolution seismic data

GAN Liqin, XIE Yue, SHI Hongfu, LI Zhen, ZHANG Wenjun

(Bohai Petroleum Research Institute, Tianjin Company of CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** As the oilfield development progresses to the middle and late stages, the fine characterization of the reservoir determines the distribution of remaining oil and the direction of oilfield potential tapping. Taking the sandbody in the north block of Q Oilfield as an example, the fine correlation of small layers and single-sandbody-level reservoirs in the composite sandbody was completed in view of the contradiction of regional production performance, combined with newly processed high-resolution seismic data, and guided by the sedimentary mode. According to the superimposed relationship of meandering river sandbodies in the target area, the seismic forward modeling of three superimposed sandbodies was established to clarify the profile characteristics of different superimposed sandbodies. On this basis, the precise characterization of the plane reservoir was carried out, combining well-seismic and dynamic static data with the regional sedimentary background. During the high water-cut stage, the results guided the adjustment and potential tapping of the injection-production well pattern. The production capacity was increased by 550 m<sup>3</sup>/d due to the implementation of eight adjustment wells.

**Key words:** fine correlation; well seismic combination; forward modeling; sedimentary facies; tapping potential

油田开发中后期,储层刻画精度决定了剩余油分布及挖潜方向,而等时地层对比是储层刻画的基础。目前国内外众多学者就不同沉积体系进行了多尺度地层对比研究,总结出大量地层对比方法<sup>[1-5]</sup>,如河流相的标志层对比、等高程对比、旋回厚度对比等,三角洲相的沉积旋回对比、相控等时地层对比等,很好解决了小层及以上级别的地层对比问题。小层内部单砂体对比问题,目前露头和陆上密井网油田已经解决<sup>[6-7]</sup>,而海上油田开发井距大,陆上油田成熟的“井震结合、以井为主”的思路不能满足海上油田大井距条件下的小层内部单砂体对比。相对陆上油田,海上油田地震资料分辨率

更高,因此如何将海上高分辨率地震资料运用于小层对比和储层刻画是本次研究的重要攻关方向。本文以Q油田北块砂体为例,从复合砂体动态矛盾出发,结合高分辨率地震资料,提出“动态指导、井震结合的单砂体对比”方法。基于单砂体精细对比

收稿日期:2021-05-07;改回日期:2021-06-26。

**第一作者简介:**甘立琴(1987—),女,工程师,现从事油气田开发地质研究工作。E-mail:ganliqin77@163.com。

**基金项目:**国家重大科技专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001);中国海油重大科技专项课题“渤海油田强化水驱及增产挖潜技术”(CNOOC-KJ135ZDXM36TJ01TJ)。

及不同组合砂体叠置正演特征,结合沉积背景,井震、动静结合完成储层精细刻画。

## 1 区域地质背景

Q油田位于渤海中部海域,主要生产层段为明化镇组(Nm)曲流河沉积,高孔高渗储层<sup>[8-9]</sup>。本次研究以Q油田北块NmIV1砂体为例,砂体含油面积为1.3 km<sup>2</sup>,探明石油地质储量350×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,目前采出程度12%。

研究区单砂体厚度约9 m,多期砂体间夹层厚度3~12 m,原地震资料纵向分辨单砂体厚度为12 m,地质认识是基于地震包络线进行的等时对比,认为砂体整体为一期河道,局部发育夹层,储层为曲流河片状沉积,砂体全区发育且连通性好(见图1),开发模式为低部位注水高部位采油的排状井网,2018年完成基础井网实施。注水开发后,油井A2显示与周边注水井不受效,分析认为研究区地震资料分辨率较差,且目的层附近缺乏标志层,依据地震包络线的等时地层对比模式与动态矛盾较大,急需对地震资料进行优化处理、对小层对比认识进行更新,完成该砂体地质再认识,以指导下一步生产。

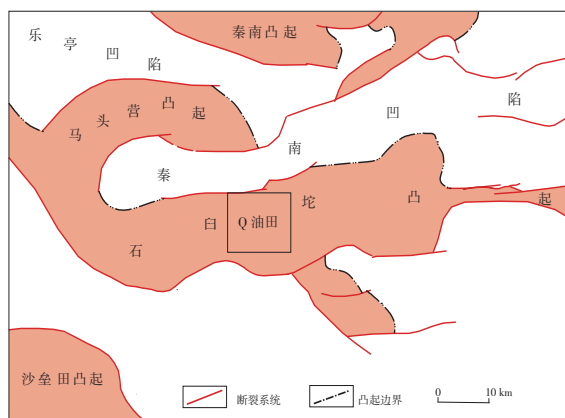


图1 Q油田区域位置

## 2 井震结合下的砂体期次划分

实钻井资料纵向分辨率高,但它仅能反映平面井点处地层特征,受井距大、平面沉积相变快等影响,仅依靠钻井资料对地层进行等时对比难度大、精度低。地震资料在横向上连续性好,可反映地层横向延伸及变化情况,因此井震结合可对砂体展布进行较精确的刻画<sup>[10-11]</sup>。

### 2.1 地震资料优化处理

研究区老地震资料处理面元为25×12.5 m,频带宽度8~90 Hz,频带呈双峰,频谱能量主要集中在50

Hz和80 Hz,整体分辨率较低,根据地震资料单层分辨厚度为四分之一主波长理论<sup>[12-13]</sup>,老地震资料分辨单层厚度为12 m,对砂体叠置情况及夹层展布的刻画较模糊。针对研究区单砂体厚度约9 m的地质条件,为了更好与实际储层结合,本次采取拓频方式加强频谱能量,补偿低、高频,采用高分辨率walkway融合处理技术,通过叠后重处理,处理面元变为25×6.25 m,频带宽度10~100 Hz,频带呈正态分布,频谱能量较为均匀,且单层厚度分辨率提高至9 m,与目的层储层厚度一致。相对老地震资料,处理后新资料相同属性刻画的砂体边界更清晰,识别薄层、夹层效果明显增加,且和已钻井吻合程度更好(见图2)。

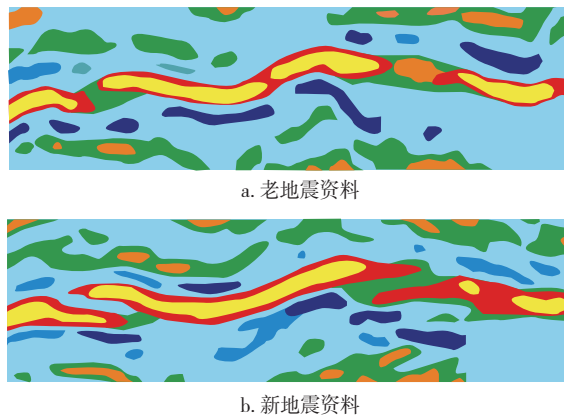


图2 新老地震资料对比

### 2.2 井震结合小层对比

基于重处理地震资料,通过声波时差曲线拟合生成地震合成记录,将深度域转换到时间域中,明确地质分层与地震反射之间的对应关系<sup>[14]</sup>。在油田大套地层格架之下,充分利用测井资料进行砂组级别的地质分层,基于动态连通性认识,结合高分辨率地震资料将NmIV1砂体细分为两套(见图3)。基于高分辨率地震资料的小层对比,打破传统简单的等高程对比,储层展布更加复杂,其平面连通性更符合动态认识。

对于地震资料无法反映的井上实钻河道下切、叠加情况,在小层细分基础上,利用河道叠置及下切砂体对比模式进一步细分单砂体。由于河道的冲刷作用,晚期形成的河道下切早期河道形成砂体叠加,此时应充分结合邻近井测井资料,并考虑砂体在平面上的变化趋势及河道迁移方向,参考邻井单层砂体厚度及叠加砂体测井曲线回返,对其进行劈分。根据以上方法,将Q油田北块NmIV1-2砂体细分为两期河道沉积。

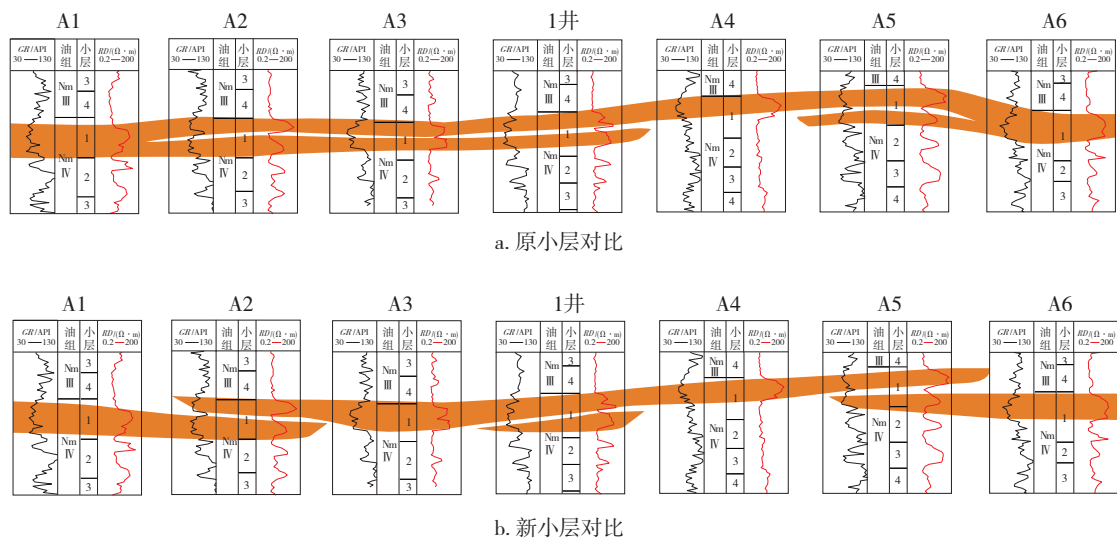


图3 新老地震资料指导下的小层对比

2.3 同期不同河道对比

Q油田北块砂体为典型曲流河沉积,以点坝和河道沉积为主,砂体横向变化较大。在井震结合约束下的小层细分之后,总结出三种同期不同河道对比模式(见图4)。

(1)沉积相变对比模式。同期砂体中,由于平面相序变化导致的由点坝—河道—泛滥平原的微相变化,其测井曲线特征差异大,但横向上属于同

一沉积单元,不同河道的判别可根据平面相序组合来确定。

(2)高程差对比模式。同一时期不同河道即使厚度相似,但受物源、古地貌等影响,测井曲线形态、砂体相对标志层距离均存在一定差异。

(3)河道规模差异对比模式。不同物源的同时期河道砂体规模存在一定差异,结合平面相序,可进行同期不同河道对比。

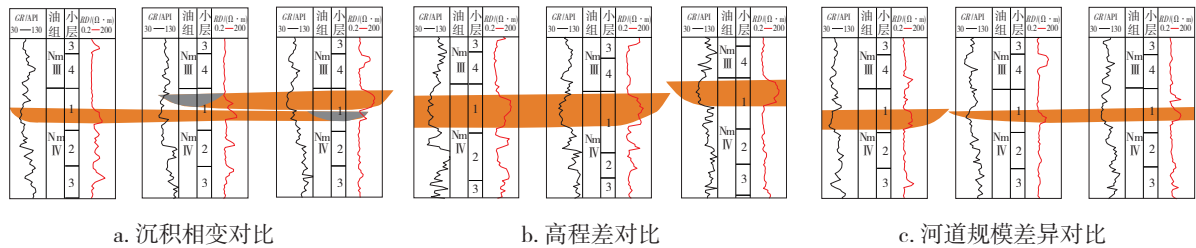


图4 同期不同河道对比

3 储层精细刻画

3.1 不同叠置砂体正演特征

结合研究区的砂体叠置情况,总结出了三类砂体切叠模式,即河道切点坝、点坝切点坝和河道切河道。

依据研究区目的层岩石物理参数(砂岩反射速度 2 200 m/s,岩石密度 2.05 g/cm<sup>3</sup>;泥岩反射速度 2 578 m/s,岩石密度 2.20 g/cm<sup>3</sup>)及地震资料品质,采

用频率 55 Hz 雷克子波建立三种叠加模式正演模型(见图5)。正演结果显示:

(1)河道切点坝时,河道叠置部位地震波振幅减弱,频率降低,并有一定产状变化。

(2)点坝切点坝时,点坝叠置部位振幅略有变弱,子波间距较小,且形态上有一定变化,可据此识别河道边界。

(3)河道切河道时,河道间地震波振幅大幅度减弱,且弱振幅范围大。

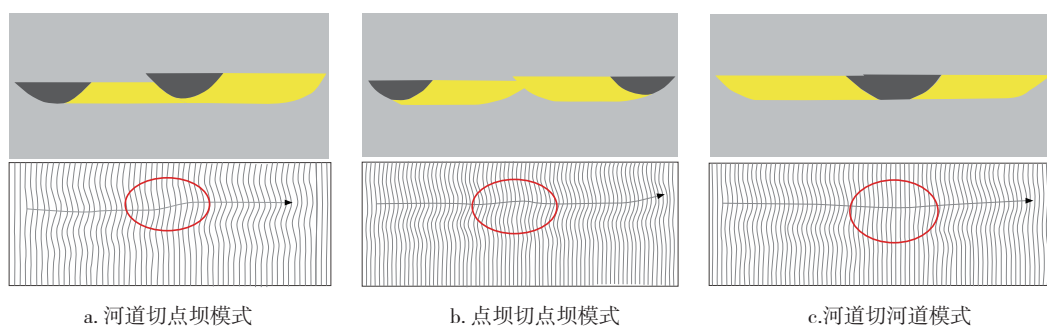


图5 三种叠加模式

### 3.2 地震约束下的储层精细刻画

从Q油田取心井出发,分析不同沉积微相岩心、测井特征及对应关系,建立测井相图版。区别于常规基于地质知识库的储层刻画,本次研究密切结合研究区生产动态,采用以下两种方法进一步判断砂体连通性:①测压资料,新钻井若出现超压或者压力亏空,则说明测压点所在储层与注水井或者油井连通;②测井资料,砂体水淹后电阻率出现明显下降,测井资料易识别,若新钻井出现水淹则反

映该砂体与注水井连通。基于以上分析,参考全油田地质知识库,结合不同叠置砂体正演特征,井震结合分别从平面、剖面寻找储层相变点,精细完成两期砂体沉积微相展布(见图6)。

原地质认识认为:研究区为曲流河片状沉积,砂体全区发育且连通性好。储层精细刻画后,原砂体细分为两期河道,且点坝间发育废弃、末期河道,局部井组间储层连通性变差,更符合实际井组动态认识。

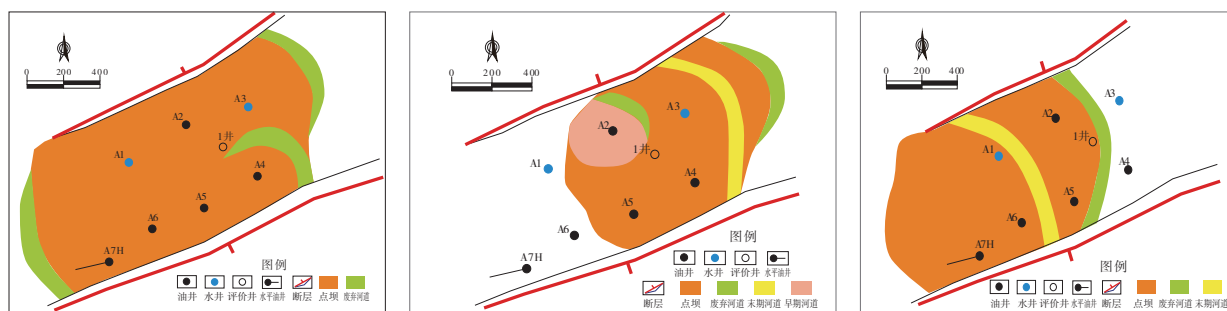


图6 北块NmIV1砂体沉积微相展布

## 4 成果应用

基于两期砂体沉积微相展布,分析认为NmIV 1-1砂体油井A1井位于泛滥平原,储层不发育,A2井位于早期点坝内,与注水井A3之间发育废弃河道,储层连通性差,注采不受效;NmIV 1-2砂体注水井A1与油井A2之间发育末期河道,储层连通性差,注采不受效,A3井位于泛滥平原,储层不发育。针对动态矛盾,2020年初将油井A2侧钻至南侧点坝内进行注水,侧钻后该井组日增油 $35\text{ m}^3/\text{d}$ ,数值模拟预测增油量可达 $4.3\times 10^4\text{ m}^3$ ,采收率提高1.3%。

将以上地震资料重处理下的地震约束下的砂体精细刻画应用至北区NmI3砂体,其平面沉积微相展布指导了注采井网调整及挖潜,截止目前部署实施调整井8口,增加产能 $550\text{ m}^3/\text{d}$ 。该方法也为

其他类似河流相油田储层刻画及挖潜提供了指导。

## 5 结论

(1)通过拓频方式加强频谱能量,补偿低、高频后,识别薄层、夹层效果明显增加。在油田地层格架之下,井震结合进行的小层对比更符合地质及动态认识。

(2)针对曲流河沉积,总结出3种同期不同河道对比模式:沉积相变对比模式、高程差对比模式和河道规模差异对比模式。

(3)结合曲流河砂体叠加模式,建立3种叠置砂体的地震正演模型,明确了不同叠置砂体的地震剖面特征。

(4)基于取心井的测井相图版,结合砂体连通关系及不同叠置砂体的正演特征,参考全油田地质



知识库,完成沉积微相展布研究,指导了油田的调整及挖潜。

参考文献:

[1] 王渝明.陆相沉积地层油层对比方法[M].北京:石油工业出版社,2001:117-127.  
 [2] 隋军.大庆油田河流—三角洲相储层研究[M].北京:石油工业出版社,2000:80-85.  
 [3] 申春生,罗宪波,孟鹏,等.渤海 L 油田小层对比研究[J].中国海上油气,2012,24(S1):97-100.  
 [4] 王西文,苏明军,王大兴,等.相控—等时小层对比方法及应用[J].石油勘探与开发,2003,30(6):78-80.  
 [5] 刘伟方,于兴河,孙勤华,等.井震联合分级控制小层对比方法[J].石油物探,2006,45(6):597-601.  
 [6] 胡光义,范廷恩,梁旭,等.河流相储层复合砂体构型概念体系、表征方法及其在渤海油田开发中的应用探索[J].中国海上油气,2018,30(1):89-98.  
 [7] 胡光义,范廷恩,陈飞,等.从储层构型到“地震构型相”——一种河流相高精度概念模型的表征方法[J].地质学报,2017,91(2):465-478.

[8] 赵春明,胡景双,霍春亮,等.曲流河与辫状河沉积砂体连通模式及开发特征——以渤海地区秦皇岛 32-6 油田为例[J].油气地质与采收率,2009,16(6):88-91,116.  
 [9] 马华平,霍梦颖,何俊,等.渤海湾盆地秦皇岛 32-6 油田曲流河沉积体系综合解剖[J].新疆石油地质,2017,38(5):567-574.  
 [10] 林承焰,张宪国,董春梅.地震沉积学及其初步应用[J].石油学报,2007,28(2):69-72.  
 [11] 徐兆辉,胡素云,王露,等.地震沉积学在不同沉积相和储集层研究中的应用[J].古地学报,2020,22(4):727-743.  
 [12] 刘彩燕,潘树新,梁苏娟.松辽盆地西部地区地震沉积相研究[J].地球物理学进展,2017,32(5):2044-2050.  
 [13] 李磊,张鹏,邹韵,等.莺歌海盆地东方 X 区浅海地震沉积相[J].海洋地质前沿,2019,35(3):31-39.  
 [14] 李宏军,郑振英,姚芳,等.复杂断块等时地层格架建立方法[J].断块油气田,2009,16(1):6-8.

(编辑 谢 葵)

(上接第 52 页) 相对不稳定;平面砂体形态复杂多样,井网控制程度好,平面物性受控于沉积单元的展布。

(3)从层内、层间、平面三个方面分析了储层非均质性对剩余油分布的影响,层内剩余油主要分布在层顶部以及夹层底部,层间剩余油主要分布在物性差的主力含油层位,平面上低渗带及高低渗过渡带剩余油较富集。

参考文献:

[1] 陈欢庆.中国石油精细油藏描述进展与展望[J].中国地质,2021,48(2):424-446.  
 [2] 秦婷婷,傅强,李林祥,等.非均质高含水油藏流场调整提高采收率研究——以孤东油田七区西区块馆陶组为例[J].石油地质与工程,2021,35(3):67-72.  
 [3] 肖文联,杨玉斌,李闯,等.鄂尔多斯盆地不同类型储集层水驱油特征实验[J].石油勘探与开发,2021,48(4):807-816.  
 [4] 张静,蔡晖,刘斌,等.厚层油藏高含水期基于剩余油的分层精细注水[J].复杂油气藏,2021,14(1):51-56.

[5] 王妍,王若谷,魏克颖,等.基于随机森林的致密储层分类——以延安气田东部盒 8 段为例[J].西安石油大学学报(自然科学版),2021,36(6):1-8.  
 [6] 侯娟,黄帅博,柯思,等.旬宜地区延长组长 7 致密油特征与富集主控因素[J].西北地质,2021,54(4):171-179.  
 [7] 王猛,叶青,袁丙龙,等.基于量化参数的储层非均质性分布规律研究——以涪西南凹陷为例[J].断块油气田,2020,27(5):597-602.  
 [8] 李源流,郭彬程,杨兆平,等.横山地区三叠系延长组长 61 沉积微相特征及其对储层非均质性的影响[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(5):840-850.  
 [9] 康保平,钟玉梅,刘昊年,等.四川盆地西部雷口坡组第四段储层非均质性[J].天然气勘探与开发,2020,43(3):19-29.  
 [10] 高阳东,向绪洪,张向涛.南海北部新生代沉积演变及其油气地质意义[J].天然气地球科学,2021,32(5):645-656.

(编辑 谢 葵)