

文章编号: 0253-2697(2009)04-0550-05

# 高含水油田发展油藏地球物理技术的思考与实践

刘文岭<sup>1</sup> 韩大匡<sup>1</sup> 胡水清<sup>1</sup> 王大兴<sup>2</sup> 朱文春<sup>2</sup> 李树庆<sup>2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 大港油田第一采油厂 天津 300280)

**摘要:** 根据油田开发的需要,在高含水油田有必要开展油藏地球物理技术研究,横向上要精确识别和预测对剩余油富集具有遮挡作用的小断层、微幅度构造、砂体边界和岩性隔挡(如废弃河道),纵向上要精细预测控制剩余油丰度的砂体厚度和储层物性参数,重点解决河道边界预测和薄互层储层单砂体厚度预测精度问题。并结合高含水油田开发的需求,提出了关于发展油藏地球物理技术的发展方向。以大港油田港东I区I断块研究为例,说明了在高含水油田应用油藏地球物理技术的必要性和有效性。

**关键词:** 高含水油田; 储层物性参数; 剩余油预测; 预测精度; 油藏地球物理技术

中图分类号: T E631.4

文献标识码: A

## Consideration and practice of reservoir geophysics techniques in development of mature oilfields with high water cut

LIU Wenling<sup>1</sup> HAN Dakuang<sup>1</sup> HU Shuiqing<sup>1</sup> WANG Daxing<sup>2</sup> ZHU Wenchun<sup>2</sup> LI Shuqing<sup>2</sup>

(1. PetroChina Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China;

2. No. 1 Production Plant, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** Based on the development of oilfield, the reservoir geophysics techniques is necessary to accurately recognize and predict some geology features in the oilfields with high water cut, including minor fault, microstructure, frontier of sand body, lithologic barrier (abandoned channel). Those geologic features have important shelter effect on enrichment of residual oil along the horizontal direction. The thickness of sand body and property of reservoir are the factors for controlling abundance of residual oil along the vertical direction. The reservoir geophysics techniques are proposed to enhance the prediction accuracy of channel edge and the thickness of single sand body to meet the requirement for development of oilfield with high water cut. Taking the first block of East-1 District in Dagang Oilfield as an example, it is proved to be necessary and effective for developing these techniques.

**Key words:** oilfield with high water cut; reservoir property parameter; residual oil prediction; prediction precision; reservoir geophysics techniques

经过30~40年的开采,中国已开发油田主体上进入高含水后期,地下剩余油呈“整体高度分散、局部相对富集”的格局<sup>[1]</sup>。这一阶段,高效挖潜剩余油重点和难点在井间,建立井间高精度确定性储层地质模型是关键,而油藏地球物理是提供井间信息的最有效技术,油藏地球物理储层预测是建立井间高精度确定性储层地质模型的基础,为此在老油田高含水后期须大力发展油藏地球物理技术。尽管地震技术服务于石油勘探,已有几十年的历史,技术上已比较成熟,但是要用地震技术来解决油田开发后期剩余油分布问题,研究的目标、尺度发生了重大变化,对研究的精度也提出了更高的要求。

### 1 高含水油田开发对油藏地球物理的需求

高含水油田开展油藏地球物理技术研究,其目的是要重构地下认识体系,并体现到储层地质模型之中,服务于油藏数值模拟预测剩余油的需要,为此,老油田发展油藏地球物理技术研究与应用的重点在于横向上要精确识别和预测对剩余油富集具有遮挡作用的小断层、微幅度构造、砂体边界和岩性隔挡(如废弃河道),纵向上精细预测控制剩余油丰度的砂体厚度和储层物性参数,着重解决河道边界预测和薄互层储层单砂体厚度预测精度问题。从油田开发的角度具体有以下几

基金项目: 国家科技重大专项课题(2008ZX05014-002)资助。

作者简介: 刘文岭,男,1966年7月生,2002年获中国地质大学(北京)博士学位,2004年中国石油勘探开发研究院博士后出站,现为中国石油勘探开发研究院高级工程师,主要从事油藏地球物理与储层地质建模研究。E-mail: liuwenling@petrochina.com.cn

个方面的需求:

(1) 砂体横向边界预测。不规则大型砂体的边角地区,主砂体边部变差部位,以及现有井网控制不住的小砂体形成的剩余油预测等都需要提高砂体横向边界的预测精度。这里应当重点预测对剩余油富集有利、具有一定厚度的河道砂体的边界位置,准确预测砂体横向边界对高含水油田二次开发在单砂体内完善注采井网具有积极意义。目前须解决的是薄互层储层预测问题,中国陆上老油田沉积呈多旋回性,油田纵向上油层多,有的多达数十层甚至百余层,层间差异大,是典型的薄互层储层。地震储层预测的精度,从目前的研究现状来看,对于“砂包泥”的储层,一般还只能达到满足预测砂层组的需求。多年来,油田开发实践表明,小层和单砂体是开发地质研究的最小和最基本单位,并由此形成了一套小层划分、对比、油藏描述以及沉积相分析的方法和技术,提高砂泥岩薄互层条件下识别小层、砂体的准确程度,至少要识别清楚其中较厚的主力砂体,是老区油田开发亟待解决的问题。薄互层储层预测是世界级难题,是高精度三维地震在老油田中应用的技术难点,须加大多学科联合攻关力度。

(2) 小断层识别。中国陆上老油田断层极为发育,尤其在东部渤海湾地区,断块小,差异性大。大断层的识别无论是利用井资料还是地震资料解释都相对容易,精度也很高,然而小断层的识别难度却很大,特别是许多老油田一般在开发初期和中期未曾做过三维地震工作,利用早期采集的二维资料和加密井数据解释和组合的断层,存在一定精度问题,有许多井上解释的断点难以组合,井间还可能存在一些断层没被发现。断层对剩余油的富集起着重要的遮挡作用,油藏地球物理技术在老油田的应用,应当注重发挥其在井间存在资料的优势,有效识别和组合断距大于等于3 m,长度大于等于100 m的断层。

(3) 微幅度构造解释。储层微幅度构造显示油藏总体构造背景上储层自身的细微起伏变化,幅度和范围都很小,一般小于等于5 m,面积小于等于0.3 km<sup>2</sup>,是原始沉积环境、差异压实和构造运动共同作用的结果。从微幅度构造在油气藏开发中所起的作用看,研究微幅度构造具有重要意义,其高部位油井的生产能力明显高于低部位油井的生产能力,并且高部位剩余油饱和度相对较高,水淹级别低,研究微幅度构造能进一步揭示储层的非均质性,预测剩余油分布,寻找高效井。但是在常规标准层构造图的大层段、大等高距下微幅度构造难以发现,需要结合密井网资料和地震资料,采用1~5 m小间距等高线法进行研究。

(4) 储层物性参数预测。建立高精度确定性储层

物性参数模型是开展剩余油预测油藏数值模拟的基础,仅靠井数据地质统计学插值和模拟,无法解决井间的不确定性问题,需要油藏地球物理技术对此进行高精度的研究。

(5) 岩性遮挡预测。砂体被纵向或横向的各种泥质遮挡形成滞油区,是剩余油挖潜的有利部位。预测对剩余油富集有利的各种岩性遮挡的位置,如废弃河道等,是地球物理技术在油田开发领域应用的一项新任务。

(6) 直接剩余油预测与油田开发动态监测。通过油藏地球物理技术精度的提高,为剩余油分布预测提供准确的、以地震资料为约束的确定性地质模型是现阶段油藏地球物理技术在油藏高含水后期应用迫切而现实的需求,但在老油田发展地球物理技术最终的目标应是直接剩余油预测与油田开发动态监测。随着油田开发对地球物理技术要求的提高,利用地震资料直接检测流体的方法越来越受到人们的重视<sup>[2]</sup>。

## 2 地震资料分辨率与储层预测能力

根据地球物理学理论,地震分辨率是地震波长的四分之一,一般三维地震主频为30 Hz,对于3000 m/s速度的地层,分辨率仅约25 m;主频提高到60 Hz,分辨率也只能达到约12 m。而中国陆相储层多为砂泥岩薄互层,其中小层厚度达到4 m以上,是比较厚的主力层。因此单纯根据地震分辨率的理论,只能认为地震技术没有可能识别各个小层的展布,这使得开发地震技术无法被油田开发人员所接受。

地震技术在油田开发中的应用,人们关心的是地震储层预测的能力,而地震储层预测能力与地震分辨率并不完全一样。地震分辨率一般是指地震时间分辨率,是地震资料分离地层顶底反射的能力。对地震分辨率的经典阐述就是“四分之一地震波长”的理论,即“瑞利准则”。李庆忠先生对这一理论的缺陷,从理论、模型与实际应用的角度进行了详细分析<sup>[3]</sup>,指出“四分之一地震波长”的垂向分辨率定义是不适合的。笔者认为传统的分辨率理论强调的是视觉可分辨,是地震剖面上岩性体可视意义上的分辨率,其实质是能否用肉眼从地质剖面上直接分辨开单一的岩性体。然而,地震技术发展到现在,现代地震技术提升了地震资料的应用能力,从过去依赖从地震剖面上直接识别储层特征,发展到应用隐含在地震资料中的地震信息,联合井数据,采用计算机计算的手段,综合预测储层的几何分布特征、岩性和物性,地震技术的储层预测能力已经远远突破了“四分之一地震波长”的限制,发展了地震属性分析、地震反演、模式识别、波形聚类、相干体和

谱分解等一系列储层预测技术。

推进油藏地球物理技术,特别是开发地震技术在油田开发阶段应用,要改变传统对地震分辨率的认识,着重考察以地震反演为代表的地震储层预测技术的储层预测能力。大量的研究表明,尽管砂泥岩薄互层在地震剖面上肉眼难以分辨,但只要充分发挥三维地震数据在横向上具有密集采样的特点,结合纵向上具有高分辨率的井资料,通过井震联合反演等地震储层预测技术是有可能探测具有一定厚度条件的薄层的<sup>[4-7]</sup>。

### 3 薄互层储层地震预测研究的重点

中国陆上老油田纵向上油层多,有的多达数十层甚至百余层,是典型的薄互层储层。薄互层储层预测是世界级难题,是高精度三维地震在老油田中应用的技术难点。

提高油藏地球物理储层预测精度首先要从源头抓起。开发地震资料野外采集要切实采取“高分辨率、高信噪比、高保真”技术,做到小面元、小采样率、宽高频,力争将原始地震资料主频提高到60 Hz以上。

鉴于高频地震信息对薄层预测具有十分重要的意义,开发地震目标处理,要采取先进的分频处理技术,有效保护和补偿高频地震信息,实现“宽高频”处理,并在确保具有高信噪比的前提下,最大限度地做好保真处理,为后续薄互层储层预测奠定高品质资料基础。

认识岩性体在三维空间的边界、厚度与搭接关系,需要开展三维储层预测。地震反演至今仍是三维储层预测最主要的技术手段。目前地震反演最理想的效果能达到预测3~4 m以上厚度砂体,但厚度预测还存在一定的误差,要预测更薄的储层还需要开展更加深入的创新研究。

地震记录由许多不同频率的信号组成,地层厚度、岩性和噪声对地震信号频率具有选择性,即一般低频成分对应地层厚度较大的岩石体和沉积颗粒较粗的岩石成分,高频成分对应地层厚度较薄的岩石体和沉积颗粒较细的岩石成分;噪声对不同频率的地震信号所产生的影响也不同,不同频率信号的信噪比往往是不同的。而目前的地震储层预测方法多数没有考虑地层厚度、岩性和噪声对地震信号频率的选择性,“全频”信息整体计算,模糊了不同频率信号携带的不同地质信息,这成为限制常规方法预测精度提高的一个重要方面。为此,在频率“域”挖潜薄层预测潜力应是提高薄互层储层预测精度研究的重点努力方向。这方面的研究有两个方向值得特别关注:①分频反演、多尺度反演是20世纪90年代后期发展起来的技术,这两种反演方法可以利用不同频率成分携带的不同地层厚度和岩

性信息,规避其他频段噪音的影响,开展有针对性的反演研究,并在反演的过程中对不同频带的信息进行有机的融合得到最终的全频反演成果。②谱分解技术也为预测薄层提供了良好的手段。尽管在频率“域”提高储层预测精度的研究还处于起步阶段,但是任何频率成分的改进和有效利用都将提高储层预测精度。

采用随机反演方法开展地震反演与储层地质建模一体化研究,有利于进一步提升薄互层储层预测精度。地震反演与储层地质建模的研究目标都是认识地下砂体与储层参数在三维空间的分布特征,但是这两种技术却是相互独立的<sup>[8]</sup>,其实地震反演需要一个好的地质模型作为反演的初始模型,而储层地质建模在井间需要地震反演成果给与约束和评价。采用随机反演的方法将两者有机地结合,以储层地质模型随机模拟实现为基础建立的合成记录与实际地震进行比较,实现地震反演,将有利于进一步提升薄互层储层预测和储层地质建模的精度,这是由于:①随机地质建模可以得到许多个实现,而地震反演与储层地质建模一体化研究得到的最终成果是一个能够和地震相吻合的地质模型实现;②地震随机反演采用地质统计学随机模拟方法,由于随机模拟是条件模拟,即计算结果在井上忠实于井数据,加之地震反演过程进行模型道和实际地震道对比,使得随机反演成果在井上忠实于井数据,在井间忠实于地震数据;③受到地质建模过程相控和地质统计参数的驱动,薄层在井间的纵向组合通过建模技术而趋于合理(降低地震反演的多解性),加以反演过程对这种组合关系通过合成地震记录与实际地震道对比进行确认(降低地质建模的随机性),薄层在储层地质模型与地震数据双重驱动下得到有效反演。

### 4 发展多波与叠前储层预测技术

在高含水后期开展剩余油挖潜需要建立高精度储层地质模型,以往人们关注地球物理技术,更多地希望于提高井间砂体的预测精度,从而提高砂体骨架模型的建模精度。然而,即便有一个高精度的砂体骨架模型为约束,通过井数据的插值计算,取得的储层物性参数模型在井间还是具有一定的不确定性,孔隙度、渗透率数据的不确定性对油藏数值模拟预测剩余油分布具有不利的影响。这就需要采用井间具有丰富信息的地球物理资料,开展储层物性参数预测研究。深入开展此项研究对利用孔隙度等参数差异识别废弃河道等岩性隔挡也具有积极的意义。与叠后反演相比,叠前反演和属性分析具有能够充分利用横波等岩石物理信息的特点,叠前储层预测结果较叠后更为准确、完整。为此,叠前储层预测的目标在目前主要致力于改善砂体

反演精度和流体检测的同时, 还应加强提高储层物性参数预测精度的研究, 特别是多分量地震技术应对此发挥更大作用。

### 5 推进多种地震技术综合油藏描述

井间地震、VSP 等井中地震技术, 具有较地面地震更高的品质, 是开发地震的重要组成部分, 但由于其采集范围的局限性, 其数据不能形成足够大的三维数据体, 甚至仅是一维或二维的数据, 这限制了该项技术在油田开发中的推广应用。以往的井中地震技术主要是针对油田开发解决局部地质问题开展的, 为了解决局部地质问题而暂停采油去采集井中地震数据, 油田开发人员往往认为得不偿失, 这是井中地震技术在油田难以工业应用的另一个原因。然而, 利用井中地震资料提升三维地震资料的品质, 是一个很重要的发展方向。这主要包括两方面的研究内容: ①以井中地震资料提升三维地震资料的处理品质; ②井一地联合约束反演, 提高储层预测的精度。为此, 需要改变以往井中地震采集与研究很少考虑与地面地震结合的做法, 在开展新的地震资料采集时, 为进一步提升三维地震资料的处理与解释品质, 需要考虑井中地震与地面地震统一设计, 推进多种地震技术综合油藏描述在高含水后期的应用。

### 6 应用实例

近年来通过开展高含水油田油藏地球物理技术研究, 建立了以分频去噪、分频静校和分频能量补偿为特色的地震目标处理、井中断点引导的小断层识别方法、多井条件下地震层位约束构造成像、地震反演高精度初始模型建模、分频反演和地震约束储层地质建模等技术和方法。在大港油田港东一区一断块的应用实例

表明, 在高含水油田发展油藏地球物理技术具有十分的必要性和有效性。

(1) 重构地下构造认识体系。地震资料构造解释在断层和微幅度构造方面有新认识, 有利于指导剩余油富集区挖潜工作。

大港港东一区一断块断层系统的整体变化如图 1 所示, 3 条主要控边断层均有延长和摆动, 断块内部有 4 条小断层被证实不存在。图 1 中红色线为原来解释的断层, 蓝色线为本次地震资料解释的断层。断层变化得到了生产数据与油藏数值模拟认证。

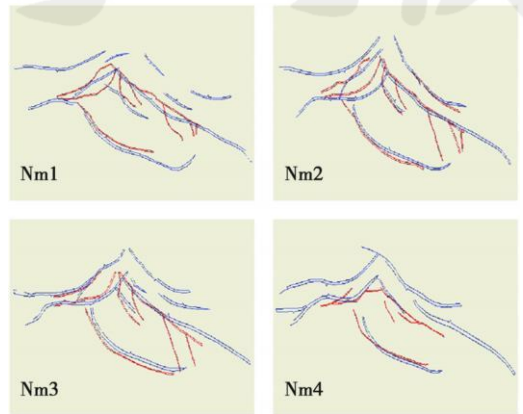


图 1 断层体系新认识

Fig. 1 The newly recognition of fault systems

在地震资料微幅度构造解释中, 发现了一些新的有利于剩余油分布的圈闭, 被现场钻井所证实。2006 年 5 月在 G218 井向构造高部位侧钻 Ng11 油层 (图 2), 获得了高产油流, 最高产油量超过 50 t/d。

(2) 重构地下储层认识体系。以地质分层数据复查和测井砂体重新解释为基础, 开展地震储层预测, 井震联合重绘沉积相带图, 相对较厚砂体以地震储层预测结果为主, 薄砂体采用井数据刻画, 对小层砂体展

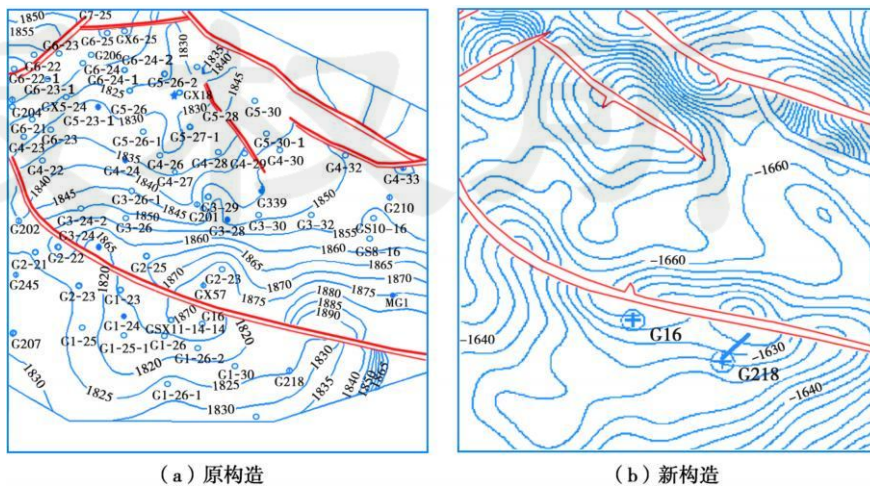


图 2 Ng11 顶部新老构造对比

Fig. 2 The comparison of Ng11 top structure between the primary and the new

布有新认识(图 3、图 4, R1 河道被后来所钻 GS58-1 井所证实), 为建立高精度储层地质模型奠定了基础。

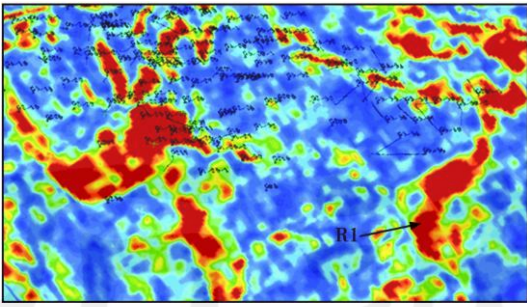


图 3 地震储层预测成果

Fig. 3 The result of reservoir prediction using seismic data

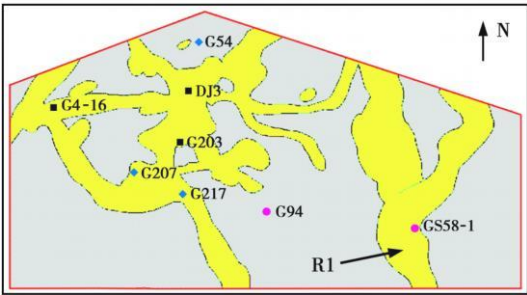


图 4 井震联合绘制的沉积相带

Fig. 4 Facies belt using seismic data combined with well information

(3) 重构地下流体认识体系。在井震联合建立高精度储层地质模型的基础上, 通过开展精细油藏数值模拟预测剩余油分布, 大港油田采油一厂在研究区整体高含水(综合含水率为 93.6%)、密井网条件下(4.45 km<sup>2</sup>, 209 口井) 打出高效调整井。如图 5 所示,

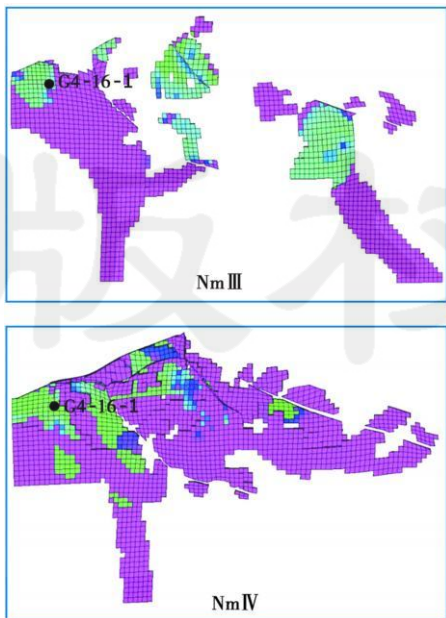


图 5 NmIII和 NmIV 小层剩余油预测成果

Fig. 5 The residual oil distribution of NmIII and NmIV layers

G4-16-1 井钻在油藏数值模拟预测的剩余油富集部位, 剩余油富集区的准确预测与地震解释对微幅度构造高点和砂体展布的新认识有关。G4-16-1 井 2008 年 5 月完钻投产, 初期产油量为 23.07 t/d, 含水率为 11%, 相对于全区平均约产油量为 4 t/d 而言, 具有高产优势, 充分体现了高含水油田发展油藏地球物理技术对于高效挖潜老油田的积极意义和价值。

### 7 结 论

(1) 高含水油田地下剩余油“整体高度分散、局部相对富集”, 高效挖潜剩余油重点和难点在井间, 尽管高含水期井数多, 但井间仍然具有较大不确定性, 而地震是提供井间信息的有效技术, 高含水老油田二次开发须大力发展油藏地球物理技术。

(2) 针对当前油田开发的需求, 在老油田开展油藏地球物理技术研究与应用, 重点应在于横向上要精确识别和预测对剩余油富集具有遮挡作用的小断层、微幅度构造、砂体边界和岩性隔挡(如废弃河道), 纵向上精细预测控制剩余油丰度的砂体厚度和储层物性参数, 着重解决河道边界预测和薄互层储层单砂体厚度预测精度问题。

(3) 提高开发地震储层预测精度需要从地震资料采集与处理环节做起, 以高品质地震资料为基础, 油藏地球物理技术在重构老油田地下构造认识体系、储层认识体系和流体认识体系方面能够发挥积极作用, 进一步提高薄互层条件下单砂体的预测精度, 还要开展更加深入的创新研究。

致谢 感谢中国石油勘探开发研究院王经荣、王玉学、王继强、马鹏善、黄文松、罗娜、金志勇、侯伯刚, 大港油田周嘉玺、任瑞川、倪天禄等同志在论文实例研究中所做的大量工作。

### 参 考 文 献

[1] 韩大匡. 准确预测剩余油相对富集区提高油田注水采收率研究[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 73-78.  
Han Dakuang. Precisely predicting abundant remaining oil and improving the secondary recovery of mature oilfields[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 73-78.

[2] 赵邦六, 石玉梅, 刘颖, 等. 利用多分量地震数据预测油气藏分布[J]. 石油学报, 2008, 29(5): 676-679.  
Zhao Bangliu, Shi Yumei, Liu Ying, et al. Prediction of hydrocarbon distribution using multi-component seismic data[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(5): 676-679.

[3] 李庆忠. 岩性油气藏地震勘探若干问题的讨论(II)——关于垂向分辨率的认识[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(3): 1-5.

1: 2, 累计提高采收率为 3.9%~7.3%。

据动态资料统计, 2000—2002 年的 3 年间, 在河南油田井楼零区、一区、七区和古城油田 BQ 10 区应用治理储层伤害技术后, 2000 年增油量为  $3.2581 \times 10^4$  t, 2001 年增油量为  $4.8463 \times 10^4$  t, 2002 年增油量为  $1.3094 \times 10^4$  t。3 年累计增油量达到  $9.4138 \times 10^4$  t, 热采区块开发后期的累计油气比达到了 0.36, 取得了较好的增油效果。

## 7 结 论

(1) 稠油油藏注蒸汽过程中由于岩石骨架颗粒的溶解作用, 使井筒附近储层更加松散化, 导致油井大量出砂或油层坍塌; “热虹孔”的形成造成层间汽窜严重; 注汽前缘“冷凝带”因黏土水化膨胀及结垢沉淀而产生物性伤害。沥青沉积附着在岩石表面使润湿性发生反转; 沥青沉积堵塞孔隙或在窄狭喉道处形成桥堵, 井筒附近因沥青堵塞而造成油井产量大幅度降低或停产。

(2) 根据储层注蒸汽前后物性变化规律, 结合稠油油藏开发后期储层的变化特点, 提出了降低注入蒸汽的 pH 值, 严重出砂吞吐井采用螺杆泵采油以及抑制井间汽窜和低频脉冲波强化采油的技术对策。

### 参 考 文 献

- [1] 邵先杰, 汤达祯, 樊中海, 等. 河南油田浅薄层稠油开发技术试验研究[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 74-79.  
Shao Xianjie, Tang Dazhen, Fan Zhonghai, et al. Development technologies for shallow and thin heavy-oil reservoir in Henan Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(2): 74-79.
- [2] 张红玲, 刘慧卿, 王晗, 等. 蒸汽吞吐汽窜调剖参数优化设计研究[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 105-108.  
Zhang Hongling, Liu Huiqing, Wang Han, et al. Optimization design of profile control parameters for steam stimulation wells[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 105-108.
- [3] Jabbour C, Quintard M, Bertin H, et al. Oil recovery by steam injection: Three-phase flow effects[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1996, 16(3): 109-130.
- [4] 李云峰, 钱会. 稠油热采注入水对储层岩石化学破坏作用的研究[J]. 油田化学, 1996, 13(1): 40-43.  
Li Yunfeng, Qian Hui. A study on formation damage owing to water-rock interactions in thermal recovery process[J]. Oilfield Chemistry, 1996, 13(1): 40-43.
- [5] 赵红静, 张春明, 梅博文, 等. 利用地化参数预测稠油油藏开采难度[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 64-65.  
Zhao Hongjing, Zhang Chunming, Mei Bowen, et al. Prediction of difficulty for developing heavy oil reservoir with geochemical parameters[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 64-65.
- [6] 李云峰, 钱会. 蒸汽吞吐稠油储层矿物溶蚀量和沉淀量的计算[J]. 油田化学, 1997, 14(2): 143-147.  
Li Yunfeng, Qian Hui. Calculation of the amount of mineral species dissolved and precipitated in steam huff and puff wells[J]. Oilfield Chemistry, 1997, 14(2): 143-147.
- [7] 杨春梅, 陆大卫, 张方礼. 蒸汽吞吐后期近井地带储层的变化及其对油田开发效果的影响[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 74-77.  
Yang Chunmei, Lu Dawei, Zhang Fangli, et al. Reservoir characteristics in the near region of thermal recovery wells and their effects on development of oilfield in the later period of steam stimulation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 74-77.
- [8] 田红, 邓金根, 孟艳山, 等. 渤海稠油油藏出砂规律室内模拟实验研究[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 85-87.  
Tian Hong, Deng Jingen, Meng Yanshan, et al. Laboratory simulation on sand production of heavy oil reservoir in Bohai area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 85-87.
- [9] Wardlaw N C, Mckellar M. Wettability and connate water saturation in hydrocarbon reservoirs with bitumen deposits[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1998, 20(4): 141-146.
- [10] 樊洪福, 刘永健, 张丽莹, 等. 稠油蒸汽吞吐过程中重质油成分变化研究[J]. 石油学报, 2002, 23(13): 1733-1738.
- (收稿日期 2008-10-27 改回日期 2008-12-29 编辑 黄小娟)
- (上接第 554 页)
- Li Qingzhong. Discussion on seismic exploration of lithologic reservoirs(II)——Seismic vertical resolution[J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(3): 4-5.
- [4] 李传江, 葛玉辉, 李林山. 大庆榆林油田地震资料反演技术应用评价[J]. 世界地质, 2008, 27(3): 294-297.  
Li Chuanjiang, Ge Yuhui, Li Linshan. Evaluation of seismic inversion technique in Yushulin Oilfield of Daqing[J]. Global Geology, 2008, 27(3): 294-297.
- [5] Liu Wenling, Han Dakuang, Wang Jingrong, et al. Techniques of predicting remaining oil in a mature oilfield with high water cut: Case study[R]. SPE 104437, 2006.
- [6] 慎国强, 王玉梅. 垦 71 地区油藏开发中的精细储层反演研究[J]. 油气地球物理, 2008, 6(1): 34-33.  
Shen Guoqiang, Wang Yumei. The fine reservoir inversion re-search on petroleum pools in Ken71 area[J]. Petroleum Geophysics, 2008, 6(1): 34-33.
- [7] 吕晓光, 张学文, 刘合年, 等. 综合运用地震反演及测井资料建立单砂体骨架模型[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 82-86.  
L Xiaoguang, Zhang Xuewen, Liu Henian, et al. Development of single-channel sandbody framework model by integrating seismic inversion and well data[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 82-86.
- [8] 刘文岭. 地震约束储层地质建模技术[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 64-68.  
Liu Wenling. Geological modeling technique for reservoir constrained by seismic data[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 64-68.
- (收稿日期 2008-11-09 改回日期 2009-03-10 编辑 张怡)