

地震波形指示反演技术在牛庄油田沙三下浊积岩储层适用性分析研究

管梦倩

胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i2.12933

[摘要] 牛庄洼陷是东营凹陷内重要的生油洼陷,主要发育滑塌浊积扇体于沙三段的三角洲快速连续推进时期,具有“个体小、薄互层、横变快、含灰质”的复杂隐蔽特征。横向上变化快,纵向上多叠置,砂体边缘尖灭难以识别。三维地震波形指示反演技术是基于井震协同的高频模拟,能够提高纵、横向分辨率,结合沉积规律相控思想,预测浊积岩储层,形成地质特征明确的储层反演结果。本研究分析利用该区高精度三维地震体,分析该技术在牛庄油田沙三下浊积岩储层的适用性并进行有利储层相带的预测,为该区域的后续勘探开发提供技术支持。

[关键词] 牛庄洼陷; 浊积岩; 波形指示反演; 井震结合; 储层预测

中图分类号: TU521.2+3 **文献标识码:** A

Seismic waveform indication inversion technology in the Lower Sha3 turbidite reservoir of Niuzhuang Oilfield Applicability analysis research

Mengqian Guan

Shengli Oilfield Dongsheng Jingkong Petroleum Development Group Co., Ltd.

[Abstract] Niuzhuang Depression is an important oil generating depression in Dongying Depression. It mainly develops slump turbidite fans during the rapid and continuous advancement of the delta in the third member of the Shahejie Formation, and has complex hidden characteristics of "small individual, thin interbedded, fast transverse transformation, and gray matter content". The horizontal changes quickly, and there are many overlaps in the vertical direction, making it difficult to identify the sharp edges of the sand body. The three-dimensional seismic waveform indication inversion technology is based on high-frequency simulation of well seismic synergy, which can improve the vertical and horizontal resolution, combine the idea of sedimentary law facies control, predict turbidite reservoirs, and form reservoir inversion results with clear geological characteristics. This study analyzes the applicability of high-precision 3D seismic volumes in the Lower Sha3 turbidite reservoir of Niuzhuang Oilfield and predicts favorable reservoir facies zones, providing technical support for subsequent exploration and development in the area.

[Key words] Niuzhuang Depression; Turbidite rock; Waveform indication inversion; Combination of well and earthquake; reservoir prediction

引言

牛庄油田沙三下浊积岩储层具有复杂的地质特征和较大的勘探开发潜力。准确预测储层分布和物性对于提高油气采收率至关重要。地震波形指示反演技术作为一种新兴的储层预测方法,在众多油田取得了良好的应用效果。然而,其在牛庄油田沙三下浊积岩储层的适用性尚需深入研究。通过对牛庄油田地质特征、地震资料品质以及该反演技术原理的深入研究,结合实际

应用效果分析,全面评估其在该地区浊积岩储层预测中的可行性和优势,同时指出应用中可能面临的挑战及应对策略,为牛庄油田的高效开发提供重要技术支持。

本文基于文献调研、现场应用,整合波形指示反演与多学科方法构建技术支撑体系。通过地质模型约束、地震响应分析及反演参数优化,结合测录井、岩芯数据验证,系统评价该技术在牛庄油田沙三下浊积岩储层的适用性,为该区后续高质量勘探

开发提供强有力的技术支撑。

1 波阻抗反演技术简介

1.1 波阻抗反演技术

地下情况复杂,在油气勘探开发中,通过人工激发地震波在地下传播过程中,遇到不同的地层界面会发生反射和折射。采集反射和折射回地震波,分析其传播时间、振幅等特征,推断地下岩层的结构和油气藏的位置。

地震波形可反映岩性组合、沉积环境变化特征,波的垂向变化代表储层垂向岩性组合,横向变化反映沉积相的变化。它将地质统计学反演进行了改进,赋予了反演“相控”的内涵^[1]。波形指示反演技术通过引入沉积相控约束机制,井震结合提高储层反演的精度和适用性。

1.2 传统反演方法的局限性

随着油田勘探、开发工作的进展,对储层预测的精度要求越来越高,传统的常规反演方法,无法准确刻画复杂储层的特征,已无法满足高精度储层预测的要求。陆相盆地普遍发育复杂结构储层,如河道、滩坝、浊积砂体等,单层厚度小,横向变化快,分布规律复杂。要落实探明储量,优化开发方案,分析注采关系,寻找剩余油潜力等,要求储层研究对象精确到小层或单砂体。

目前高分辨率反演方法主要应用地质统计学随机反演,该方法对井位均匀分布要求较高,且反演结果随机性强,平面分辨率低,生产中难以推广应用。

1.3 波阻抗反演技术的发展历程

波阻抗反演技术从确定性反演到地质统计学随机反演,不断改进和创新反演方法,提高反演的精度和可靠性,以满足油田勘探、开发对高精度储层预测的需求,在勘探开发中具有重要的应用价值。

确定性反演常见的方法包括模型法反演和稀疏脉冲反演^[2],在特定的解约束条件下,仅能提供唯一解而无法量化不确定性。地质统计学反演主流算法均为地质统计学随机模拟方法与马尔科夫链-蒙特卡洛方法的某种结合,并没有将地震反演、测井数据约束、随机模拟方法统一在一个理论框架下。

地震波阻抗反演是综合应用地震和测井资料进行储层预测的重要技术。在地震波阻抗反演的几种常规方法的基础上,提出了基于波阻抗反演的地震波形指示模拟反演(SMI)^[2],可在充分应用了测井和地震资料的基础上,提高反演的储层预测精度,为薄储层预测提供了更好的依据。

1.4 SMI地震波形指示反演

本文中应用的实例分析,采用北京中恒利华自主研发的“SMI地震波形指示反演”高精度相控储层预测软件平台,通过采取井震结合高精度储层预测技术,可实现2-10m的薄层储层预测难题。基于地震大数据智能驱动,反演参数自动寻优,减少人工干预,大幅度提高储层预测的精度和可靠性的定量表征技术,有效提升反演效率。

2 牛庄油田地质概况及浊积岩储层特征

牛庄洼陷位于济阳拗陷东营凹陷的东南部,北临中央隆起带河庄油田,南与东营凹陷南斜坡相接,西起梁家楼油田东翼,东至广利油田。

2.1 牛庄油田区域地质概况

牛庄油田构造位置位于东营凹陷牛庄洼陷东部,整体呈现东南向西北倾伏的构造格局。主力储集层沙三段主要发育低渗透浊积砂岩体,为东营三角洲前缘滑塌浊积岩沉积,具有埋深大(3200-3300m)、物性差(平均孔隙度<15%、渗透率<5mD)、砂体叠置边界难以描述等典型低渗透油藏特征,目前探明地质储量已达亿吨级规模。

研究区地层发育齐全新生界自下而上依次发育古近系沙河街组、东营组、新近系馆陶组、明化镇组和平原组。主要含油层系为沙三下,油藏埋深3200-3300m,物源来自于东南部东营三角洲,发育三角洲-重力流沉积体系。

2.2 浊积岩储层发育特征

牛庄油田滑塌浊积扇体发育于沙三段的三角洲快速连续推进时期,于湖盆洼陷区形成多个滑塌扇体,具有“个体小、薄互层、横变快、含灰质”的复杂隐蔽特征。横向上,砂体呈孤立透镜状分布,但存在同期异相砂体叠置;纵向上多期扇体叠合连片,形成大面积含油的岩性油气藏。

沙三段沉积期物源主要发育来自东南部物源的大型三角洲沉积,储层以中-细砂岩为主,胶结类型为孔隙式和接触式,胶结成分以泥质为主,属中孔隙度、特低渗透率砂岩储层。储层单砂体厚度约在5-15m,沙泥岩间声波时差差异较明显反射界面清晰,但由于围岩多含灰质形成一定困难。且浊积岩沉积横向多零散,纵向多叠置,变化较快,故砂体边缘尖灭难以识别。

2.3 地震数据体资料属性

该区域地震现有牛庄高精度三维频谱资料(主频:38Hz,有效频宽:10-55Hz,CDP面元:12.5m×12.5m)。符合精细构造解释及储层边界刻画需求,适本区进行综合分析。

2.4 浊积岩地震反射特征研究

该区目的层泥岩、灰质泥岩沉积特征稳定,表现为连续且稳定的中强-中弱振幅地震反射同向轴,浊积岩横向上沉积不稳定,具有单砂体厚度小、面积小、纵向叠置的特征,地震相表现为变振幅、短同向轴、时而叠合的形式。该区通过常规的地震资料识别精度不够,地震分辨率只能反映到砂层组而难以识别其中的单砂体,无法完成储层精细描述刻画的目的。

3 牛庄油田浊积岩储层预测技术实验

地震属性是从地震数据中提取出能够反映储层及其含油气性的特征参数,如振幅、频率、相位、能量等。地震属性分析方法就是利用各种数学方法从地震数据体中提取各种地震属性,结合地质、钻井、测井资料对目的层的特征进行综合分析研究的方法。^[3]

3.1 浊积岩多属性预测分析

沙三下浊积岩由于埋藏深、多套薄层、含灰质、砂泥岩互层形成波谷或弱反射,分别选取最大振幅、均方根振幅属性、平

均波谷振幅属性进行分析。结合地震属性与砂岩厚度相关性分析,进行无井区域储层展布预测(如图1所示)。

对比发现最大振幅分带性较好,与储层厚度呈正相关且相关性较高,适合本区储层定量预测。均方根分带性较差,与储层厚度没有明显的相关性,不能反映真实的储层响应。波谷振幅分带性同样较差,不能反映真实的储层响应。

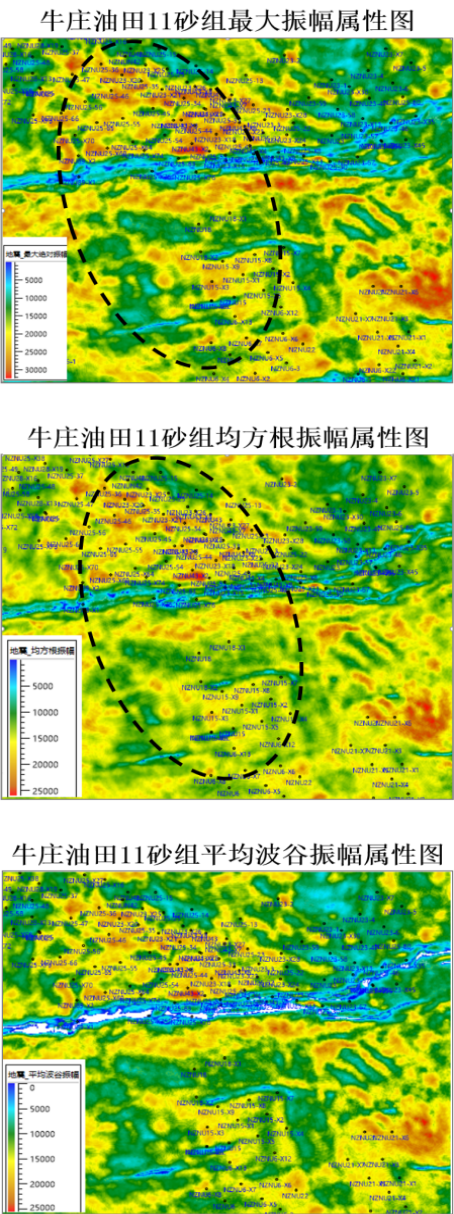


图1 牛庄油田牛6-21块沙三下11砂组多属性储层分析图

3.2 SMI波形指示反演实验

波形指示反演利用地震波形的横向变化代替变差函数表征储层的空间变异程度,更符合沉积规律,波形指示反演能够画出各期三角洲前缘及前方发育的多期坡移扇体基本能够描清不同类型砂体间接触关系。针对埋藏深、多套薄层、含灰质、砂泥岩互层问题的砂体,运用波形指示反演在该地区能较好地区分灰质与浊积砂体,如图2中所示,形成针对薄层灰质泥或灰岩

地层中找浊积砂体的描述手段^[4]。

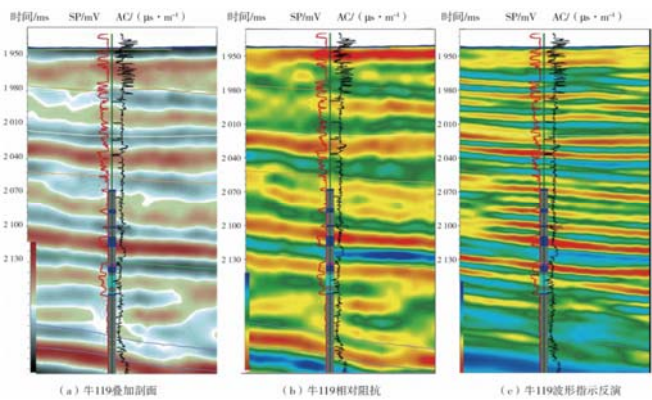


图2 牛119井地震波形指示反演对比图^[4]

3.3 波形指示反演适应性分析

选取该区域浊积岩储层,开展波形指示反演,并结合井震结合方法进行结果对比。通过该区地震波形指示反演地震剖面图显示,砂体尖灭点及储层变化点清晰明确且与实钻资料、实际开发情况较为吻合,如图3中所示砂体变化点清晰可见。

根据实验区域波形指示反演结果显示,该技术其具备更高的横向和纵向分辨率,能够有效地表征波阻抗变化与井间砂体变化规律,如图4中所示与实钻结果相吻合,砂体尖灭情况显示清晰,可通过波阻抗变化点清晰地分辨出砂体的尖灭点。

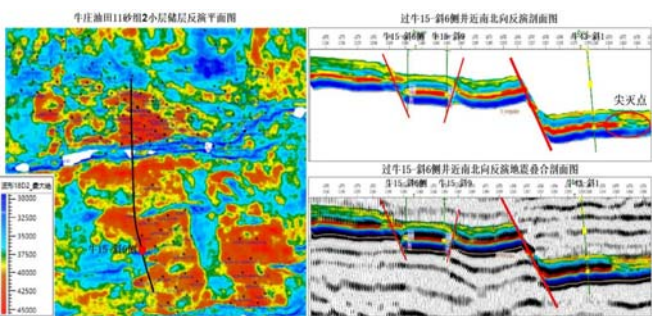


图3 牛庄油田沙三下11砂组地震波形指示反演南北向地震剖面图(储层变化点)

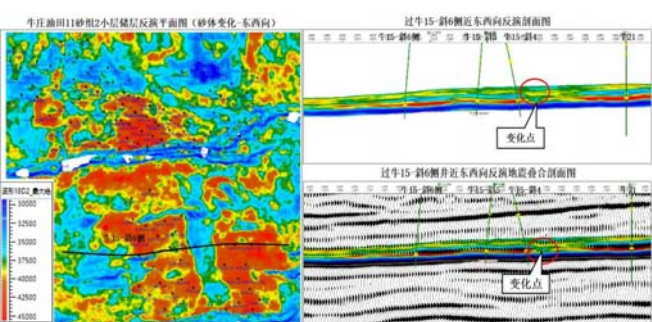


图4 牛庄油田沙三下11砂组地震波形指示反演东西向地震剖面图(砂体尖灭点)

3.4 波形指示反演效果预测

2020年孔省吾^[5]等根据反演结果与实钻井进行对比,提取井点位置的波阻抗反演结果,根据数据体的门檻值由波阻抗反

演曲线建立井点位置的砂泥岩解释结论,在一定的时窗范围内,将新生成的解释结论与实钻井数据进行对比,检验吻合率可达80.5%以上。

2023年杜雨佳^[4]利用波形指示反演利用地震波形刻画出各期三角洲前缘及前方发育的多期坡移扇体,应用结果显示浊积岩砂体描述吻合,指导区带井位部署探井10口,且取得较好投产效果。

2024年窦铭^[6]波形指示反演技术通过地震波形驱动测井曲线实现高分辨率反演,预测结果与实际钻井符合率较高,部署滚评井2口,目前已全部完钻,均钻遇较厚油层,投产后油井全部获工业油流。

4 结论

(1)牛庄油田浊积岩存在“埋藏深、多套薄层、含灰质、砂泥岩互层”的问题,运用波形指示反演技术能较好地区分灰质与浊积砂体,实现单砂岩的刻画。

(2)通过优选波形指示反演参数,对研究区进行相控井震结合预测,实验结果表明,波形指示反演具备更高的横向和纵向分辨率,能够有效地表征波阻抗变化与井间砂体变化规律,可通过波阻抗变化点清晰地分辨出砂体的尖灭点。

(3)结合该区前人在牛庄油田利用波形指示反演技术进行

储层预测实施效果,与已钻井对比吻合度较高,且可高效地指导该区域勘探开发。

[参考文献]

[1]刘南,董明,夷晓伟,等.波形指示反演对岩性油藏边界识别的指导作用[J].石化技术,2023,30(7):161-163.

[2]盛述超,毕建军,李维振,等.关于地震波形指示模拟反演(SMI)方法的研究[J].内蒙古石油化工,2015(21):147-151.

[3]赵玉霞.东营凹陷中带沙三下浊积岩储层预测技术研究[J].石油石化物资采购,2023(6):76-78.

[4]杜雨佳.三角洲滑塌浊积岩提高砂体描述精度研究——以东营凹陷牛庄洼陷和中带地区为例[J].山东石油化工学院学报,2023,37(2):22-27.

[5]孔省吾,张云银,沈正春,等.波形指示反演在灰质发育区薄互层浊积岩预测中的应用——以牛庄洼陷沙三中亚段为例[J].物探与化探,2020,44(3):665-671.

[6]窦铭.灰质背景下薄互层浊积岩储层预测方法研究[J].石化技术,2024,31(7):290-292,286.

作者简介:

管梦倩(1990--),女,汉族,山东诸城人,硕士研究生,工程师,从事油藏地质研究。