

南堡35-2油田储层空间分布特征研究

王晖¹, 赵建辉², 童廉行³

(1. 中国海洋石油总公司研究中心, 北京 101149; 2. 石油大学, 北京 102200;

3. 中国海洋石油总公司研究中心渤海研究院, 天津 300450)

摘要:地震反演和地质统计是表征储层空间分布的两种方法。地震反演能较好地描述厚砂层的横向分布规律, 地质统计则能较好地描述薄砂层的垂向变化, 利用这两种相结合的方法对南堡35-2油田储层空间分布进行了研究。研究后认为, 本区河流相砂体有砂体和砂体直接接触、砂体上下叠置及砂体相互切割三种接触关系; 储层空间分布有单砂体厚度大、连续性强、平面分布广及单砂体厚度小、垂向“泥包砂”、呈窄条状二种模式。较厚砂体横向连通性好、分布范围广, 反映了河道的侧向迁移、砂体叠加的特征; 砂层薄、横向分布范围小、连续性差、多呈孤立状, 是曲流河截弯取直的结果。

关键词:储层空间分布; 河流相; 地震反演; 地质统计学; 综合

第一作者简介:王晖, 女, 29岁, 硕士, 开发地质, 油藏描述

中图分类号:P618.130.2+1 **文献标识码:**A

不同勘探开发阶段资料基础不同, 所要解决的开发任务不同, 因而油藏描述的重点内容和精度也不同^[1]。目前开发地质和油藏工程关注的问题是井间储层的横向连通性以及无井控制区储层的发育特点, 因此该阶段油藏描述所要解决的问题是如何充分利用现有资料精确描述储层的空间分布。目前用于表征储层空间分布的方法主要有3种: 地震方法、水平井方法和井间对比插值方法。常用的方法是地震方法和井间对比与插值方法^[2]。地震方法主要指地震反演方法, 井间对比与插值方法主要是指地质统计学方法。本文分别应用地震反演方法和地质统计学方法描述了南堡35-2油田储层空间分布特征, 指出对于钻井较少、储层较为复杂的油田单独应用一种方法表征储层空间分布规律是不全面的, 只有综合两种方法优势才能精确描述储层。

1 基础资料

1.1 地震

(1) 三维地震资料。本工区的三维地震资料分别为高分辨率地震资料和海底电缆地震资料, 其中, 高分辨率地震资料处理后面元为 $6.25 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$, 采样间隔 1 ms , 有效覆盖面积约 200 km^2 。海底电缆地震资料处理后面元为 $12.5 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$, 采样间隔 1 ms 。

(2) 地震解释成果。包括地震解释构造层面数据和断层数据, 其中地震解释层面数据7个, 分别为明化镇0油组(Nm0), 0油组油层顶(Nm0_{top}), I油组(NmI), II油组(NmII), III油组(NmIII), IV油组(NmIV)和馆陶组顶。

1.2 测井

在南堡35-2油田共开展了13个系列21项测井工作, 6口井都做了VSP测井, 具有VSP速度、VSP时深关系等较完整的VSP处理结果。完成了单井油层厚度及物性参数的解释工作, 提供了6口井的测井物性解释成果(包括孔隙度、渗透率、泥质含量及含油饱和度等), 采样间隔为 0.1 m 。

1.3 地质

通过油田地质的综合研究工作, 完成了明化镇组下段的地质分层, 提供了明化镇5个油组(0, I, II, III, IV油组)的地质分层数据。通过对南堡35-2油田沉积相的研究, 确定该油田明化镇组下段储层为河流相沉积, 为确定砂体的发育方向、长宽比、宽厚比以及砂体的大致延伸长度等提供了理论依据。

2 技术路线

本文的地震反演采用常规的波阻抗反演, 在STRATA反演软件中完成。它以地震解释建立的油藏地质模型为基础, 以校正后的测井资料的高频信息为约束条件, 在合成地震记录与实际地震资料的标定下, 根据地震剖面上相邻地震道之间的相关性,

用人工神经网络方法自适应地外推地震子波,并将中低频地震信息加入,反演出岩性绝对波阻抗剖面。以此剖面为基础进行砂体追踪,从而确定储层空间分布特征。用地震波阻抗反演方法可以较为准确地描述储层横向分布规律,但由于地震分辨率的限制,难以分辨厚度较小和垂向隔层较薄的储层。

地质统计学方法描述储层空间分布特征是通过建立储层地质模型实现的。本次研究的地质模型是在 GRIDSTAT 建模软件中完成的,以地震解释层面、断层和地质分层搭建的构造框架为基础,以测井解释提供的井点孔隙度为已知点,用地质统计学方法计算井间及无井控制区孔隙度的分布,形成储层孔隙度模型,以孔隙度模型为基础分析储层空间分布特征。由于该方法严格遵循井点孔隙度变化规律,因而能够准确描述井点较小范围内储层垂向分布特点,但很难准确描述井间储层分布情况,对于钻井较少的油田这一缺陷更加明显。因此只有将上述两种方法相结合才能准确描述储层空间分布规律。

3 地震反演

常规地震剖面上,反射同相轴代表地下岩层界面信息,追踪的是反射系数。波阻抗资料为岩层型剖面,它反映了砂层的形态,因此砂体追踪和解释应在波阻抗资料上进行。

本次研究采用常规的波阻抗反演方法,以地震纯波数据为基础建立南堡 35-2 油田三维波阻抗反演数据体,在该数据体上进行砂体定量描述。

3.1 单砂体追踪解释

将波阻抗剖面直接视为地层剖面,追踪砂体的顶底界面。在南堡 35-2 油田含油范围内,对 0、I、II、III、IV 5 个油组的砂体进行了追踪解释。对所追踪砂体的顶面 t_0 时间用 6 口井内插得到的平均速度场进行时深转换:利用工区内 6 口井 VSP 测进资料,首先将原

始 VSP 曲线 25 m 的采样间隔内插为 1 m 的采样间隔,以满足精细油藏描述的需要;以处理过的 6 口井的 VSP 曲线为已知点,在工区范围内内插全区的速度场;最后用该速度场对追踪的砂体进行时深转换,即可获得深度域砂体的顶面形态。

3.2 砂体空间展布及接触关系

通过砂体空间展布及接触关系的研究,可以确定油藏类型和模式,进而为油田开发提供有参考价值的储层空间分布模式。

根据波阻抗解释砂体的结果,本工区的河流相砂体接触关系大致分为 3 种类型:

第 1 种类型,砂体与砂体直接相连。

在波阻抗剖面上为一个连续的或近似连续的相位。它反映出沉积时期相同或接近的河道砂体,推测可能为横向连通的砂体。

第 2 种类型,砂体上下叠置。波阻抗剖面上表现为双波谷,其间有较弱的波峰时隐时现。弱波峰可能反映了上下砂体之间有薄隔层存在。

第 3 种类型,砂体被明显切割,是后期河道侵蚀的现象。

通过对砂体接触关系和河流相储层沉积特征的研究,在南堡 35-2 油田确定了两种储层空间分布模式:

第 1 种:主要位于 0、I、II 油组,单砂体厚度大,连续性较强,平面分布范围广。

第 2 种:主要位于 III、IV 油组,单砂体厚度小,垂向上呈“泥包砂”的特点,呈窄条状分布。

在波阻抗剖面上(图 1,2),清晰地反映了储层的横向分布特征和接触关系,砂岩对应高波阻抗值,泥岩对应低波阻抗值。厚砂层在横向上连续性较强,砂体之间呈直接连通或叠置接触关系。较薄砂层横向连续性较差,部分薄砂层呈孤立分布。砂体的分布特征符合河流相储层分布特点。但是部

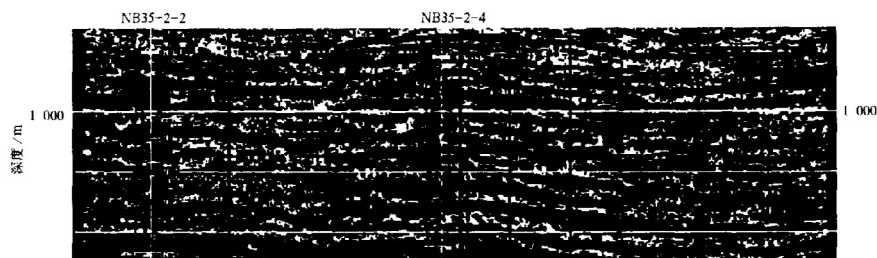


图 1 过 NB35-2-2、NB35-2-4 井波阻抗剖面

Fig.1 Section of Wave impedance across NB 35-2-2 and NB 35-2-4 Wells

分井上钻遇的基层砂体(厚度小于3 m),在波阻剖面上难以反映,而在河流相储层特别是曲流河储层

中此类砂体占相当比例,因此,对薄储层的描述只利用地震方法是不全面的。

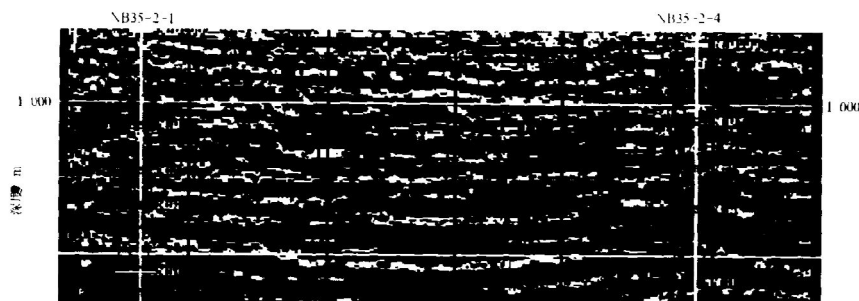


图2 过NB35-2-1,NB35-2-4井波阻抗剖面

Fig.2 Section of Wave impedance across NB 35-2-1 and NB 35-2-4 wells

4 地质统计

4.1 关键点分析

4.1.1 权值确定

用地质统计学方法通过计算机软件(GRIDSTAT)描述孔隙度的空间分布,进而确定储层的空间分布特征,其实现过程是以井为出发点用地质统计学方法预测井间和无井控制区储层孔隙度的分布,以孔隙度数据体为基础分析储层的分布特征。用这种方法的关键在于确定每口井的权值,传统的方法是反距离加权法,其缺点是没有考虑储层分布的方向性,不同的沉积环境储层的分布方向和延伸长度是不同的。因此,需要研究人员综合地质沉积相的研究成果以及测井解释成果确定每口井的权值。本次研究是通过建立孔隙度变差函数模型来确定已知点权值的。

在GRIDSAT软件中变差函数可以通过两种途径获得:一是通过统计已知数据对的变差分布,用最佳的变差方程拟合变差分布特点,得到变差函数模型,用该模型确定各个已知数据点的权值;另一种方法就是在对该地区沉积相研究较为细致的情况下,根据储层沉积相特征确定变差函数模型。在井网密度较大的情况下,用第一种方法效果较好;但钻井较少时,已知数据不能代表油田的整体特征,只有将两种方法相结合才能确定变差函数模型。本次研究中确定变差函数模型时,结合了上述两种方法。首先,分别计算已知数据点各个方向的变差函数分布,用球形方程拟合各个方向的变差函数分布特征,得到储层变差函数模型;然后根据对沉积相的分析对变差函数模型通过调整搜索半径、长宽比、宽厚比和分布方向等参数来进行调整。由

于边滩砂体受河流摆动影响,平面上叠合连片,很难确定其延伸方向,只根据6口井的资料在近200 km²油田范围内也难以统计出储层的延伸方向,因此确定变差函数模型平面上各个方向具有相同的相关性,即软件中的长宽比定为1,宽厚比用渤海湾地区河流相储层的统计结果确定,其他参数用井点数据计算结果,确定出最终的变差函数模型。

4.1.2 构造层面

在软件中进行克里金插值时是沿构造面进行的,因此需要首先建立油田构造框架,将地震层面数据加上相应层位的断层,重新网格化,形成构造框架模型;构造层面对于井间插值影响很大,不同的构造层面会形成不同的插值结果。这种现象可以通过下面两个例子加以说明(图3):例一,“?”处为将要预测的位置,当构造层面位于“砂”顶时,“?”

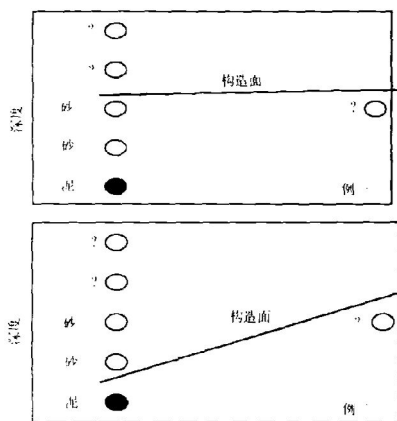


图3 沿不同构造面插值效果示意图

Fig.3 Sketch map of interpolation results along different structural surfaces

处为砂的可能性很大。例二,当地质层面位于“泥”顶时,“?”处为泥的可能性很大。可见在进行井间插值时构造层面的反复对比和调整是很必要的。将地震层面输入软件后,分别检查每个层面数据,剔除解释异常点,重新网格化,确保每个地震层面能准确反映构造特征,以满足储层属性插值的准确性。

4.2 储层空间分布特征

以地质统计学方法建立的孔隙度模型为基础分析储层空间分布特点,孔隙度值大于测井解释储层孔隙度截止值的部分代表储层,小于孔隙度截止值的部分代表非储层。在孔隙度模型中储层在井点分布特征与测井解释结果吻合,砂体横向连续性较强。如过南堡 NB35-2-3 等 4 口井的孔隙度横剖面(图 4),I,II 油组储层分布特征:根据岩石物

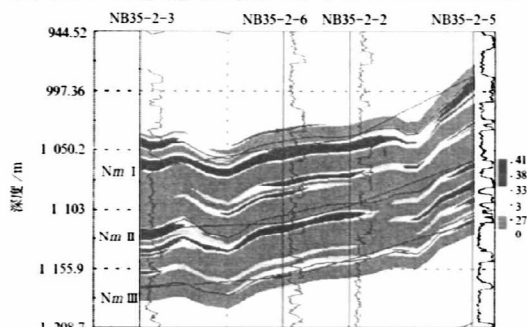


图 4 孔隙度横剖面

Fig.4 Cross section of porosity

理研究结果,储层孔隙度的截止值是 0.27,在孔隙度模型中以孔隙度大于 0.27 的部分代表储层。从

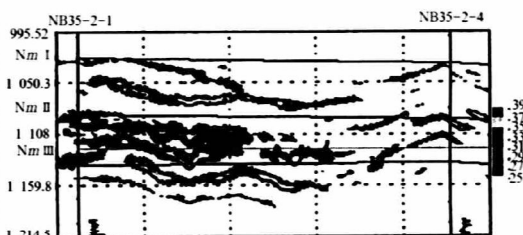
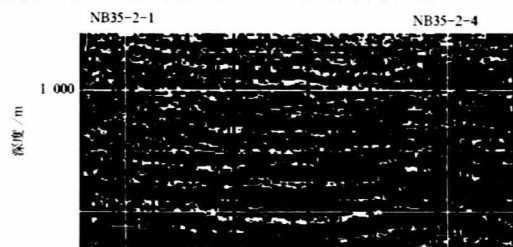


图 5 过 NB35-2-1 和 NB35-2-4 井 I,II 油组波阻抗剖面(左)和孔隙度模型剖面(右)

Fig.5 Profiles Showing wave impedance(left)and porosity model(right)of I and II oil horizons across NB 35-2-1 and NB 35-2-4 Wells

间分布特征:较厚储层横向连通性强,分布广,反映了河道侧向迁移,砂体叠加的特征;薄砂层,横向分布范围小,连续性差,多呈孤立状,是曲流河截弯取直的结果。

剖面图上可以看出,储层在井点上与测井解释结果是吻合的,薄储层和厚储层在井间的连续性很强。根据地质研究结果可知,南堡 35-2 油田储层为河流相沉积,而目前所钻探井和评价井井距较大,NB35-2-3 井与 NB35-2-6 井相距约 2 km,对于小于 2 m 的储层,很难形成如此高的连续性。因此用地质统计学方法描述钻井较少且分布特征复杂的河流相储层,只能对井点附近较小范围内的储层做到较好的描述,而对于距离井点较远的储层难以准确描述。开发方案设计阶段,钻井较少,对井间及无井控制区储层的需要有较为清晰的认识。只利用测井资料很难满足这一要求。

5 综合分析法

上述两种方法均能较好地反应厚层砂岩的空间分布特征,用两种方法描述的储层分布特征相近,以过 NB35-2-1, NB-2-4 井的剖面为例(图 5) I,II 油组的厚砂层在波阻抗剖面和孔隙度模型剖面上均呈连续分布。但对于厚度较小的储层两种方法都存在不足之处,在波阻抗剖面上 III,IV 油组的许多薄砂体难以反应(图 1,2),而在孔隙度模型剖面上多数薄砂层井间连续性较强(图 4),不符合河流相薄砂体的分布特征。对于河流相储层,特别是曲流河储层,只有充分结合地震反演方法和地质统计学方法,才能较好地把握储层的真实分布规律。结合地震反演方法和地质统计学方法可以确定南堡 35-2 油田储层的空

参考文献

- 1 裴泽楠,陈子琪.油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1996.336
- 2 张一伟,熊琦华,王志章,等.陆相油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1997.52~53

DISTRIBUTION CHARACTERS OF RESERVOIR SPACE IN NANPU 35-2 OILFIELD

Wang Hui¹ Zhao Jianhui² Tong Lianxing³

(1. Research Center of China Offshore Oil Corporation, Beijing; 2. Petroleum University, Beijing; 3. Bohai Institute of CNOOC Research Center, Tianjin)

Abstract: Seismic inversion and geostatistic methods are two important methods for demonstrating reservoir space distribution. The seismic inversion method can properly describe the lateral distribution regularity of thick sand bodies; the geostatistic method can describe vertical changes of thin sand bodies. The combination of these two methods was used to study the reservoir space distribution of Nanpu 35-2 Oilfield, the results suggest that three kinds of contact relations could be found within fluvial facies sand bodies in the study area such as direct connection, superimposition and cut; the space distribution models include a thick sand body with continuous and extensive plane distribution and a thin sand body with banded vertical distribution. The first distribution model reflects the feature of river channel lateral shift and the superimposition and the second distribution model is the result of meandering stream cutoff.

Key Words: reservoir space; distribution; fluvial facies; seismic inversion; geostatistics; combination

(上接第140页)

Hercynian basement. The landform of the basins is the result of multiple superimposition of structures. The basin's structural evolution underwent five different evolution stages such as stretch-depressed stage in Early-Middle Jurassic and Early Cretaceous Periods, the reversion stage in late Late Jurassic and late Early Cretaceous and the complete uplift stage since Late Cretaceous. The formation of the Early-Middle Jurassic fault-depressed basin was related to the differential movement of the East Asian Plate; the reversion of the structures was the result of the close of Monggol-Okhotsk Ocean and the subduction of oceanic plate, the Early Cretaceous fault-depressed basin was derived from back-arc deep-seated action caused by the subduction of the Pacific tectonic tract; the late Early Cretaceous basin reversion might be resulted from sinistral strike-slip of East China.

Key Words: fault-depression; structural reversion; dynamics; Middle Cenozoic; Nei Monggol