

Strata 反演技术在柳屯洼陷 沙三²⁻³亚段储层描述中的应用

耿会聚, 谢庆宾, 管守锐
(石油大学, 北京 102249)

摘 要: 地震波阻抗反演技术已日益成为油气藏勘探、开发中储集层横向预测的重要手段。柳屯洼陷沙三²⁻³亚段同时发育浊积砂体和厚层盐岩, 横向相变剧烈。笔者论述了 Strata 反演的原理及其在该区的应用, 在大量统计的基础上建立了不同岩性与波阻抗之间的解释标准。通过对反演剖面的解释, 明确了深水浊积扇向盐湖相的渐变关系, 做出了各体系域的砂体等厚图, 描述了储层的空间展布特征。

关键词 基于模型地震反演 子波 合成地震记录 深水浊积扇 盐湖

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2002)02-0118-04

东濮凹陷是在渤海湾盆地南端前中生代地台之上张裂形成的中新世断陷—坳陷盆地, 凹陷由东部陡坡带、东部洼陷带、中央隆起带、西部洼陷带和西部缓坡带 5 个次级构造单元组成。柳屯洼陷位于东濮凹陷西部含油气区北部, 南为海通集生油洼陷, 北为马寨生油次洼, 东以文西断层与中央隆起带相隔, 西为胡状集—马寨油田, 总面积约 60 km²。柳屯洼陷在其边界断层邢庄断层的控制下长期沉降发育, 层序齐全, 从上到下依次为第四系平原组、上第三系明化镇组、馆陶组及下第三系东营组、沙河街

组。其中下第三系厚度巨大, 主要为一套碎屑岩地层, 构成了该洼陷主要的生油岩地层和生储盖组合^[1]。截止目前该区共钻各类探井 11 口, 1999 年部署在洼陷西部的胡 96 井完井后在 Es₃³ 层系获工业油流, 后又分别在其南北部署了胡 108、胡 109 井。钻井取芯表明, 该区发育具有重力流性质的薄层状砂体, 纵向上与灰黑色泥岩形成频繁互层, 研究认为该区存在水下冲积扇、深水浊积扇、扇三角洲等砂体类型, 而横向上, 洼陷东侧文 218 井钻遇 1 000 m 厚的盐湖相沉积, 北部新卫 12 井也为盐湖相沉积, 因而砂体可能侧向与盐岩对接(图 1)。前人在钻井资料的基础上, 结合地震相分析给出了该区油藏剖面的预测模型^[2](图 2), 而研究沉积相带在平面上的精确划分、详细描述储层砂体的空间展布依然是亟待解决的问题。在研究区钻井数量有限, 而

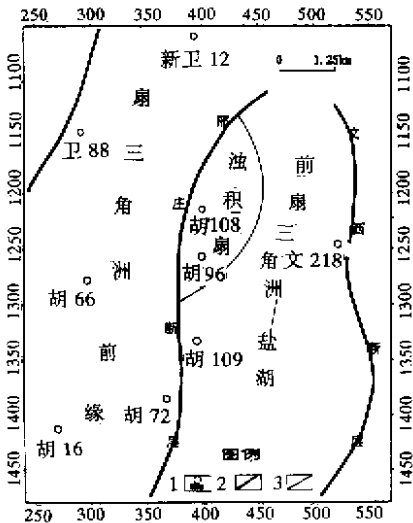


图 1 柳屯洼陷层序 I 高位体系域沉积相示意
1—井位及编号 2—断层 3—相带边缘

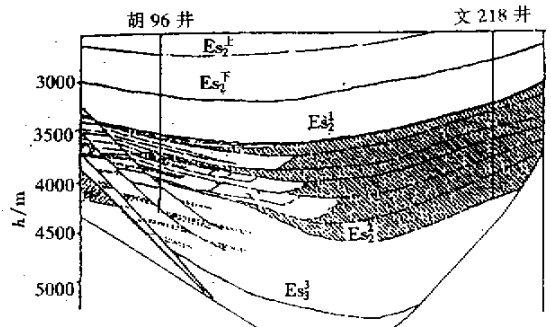


图 2 胡 96 井油藏剖面示意

横向上相变较快的情况下,地震波阻抗反演技术为此提供了有利的技术手段。

1 Strata 反演原理及处理流程

Strata 测井约束反演是由加拿大 Hampson Russell Sostware Services Limited 研制开发出来的一种基于模型的波阻抗反演技术,其方法思路如图 3 所示。这种方法利用测井资料,以地震解释的层位为控制,从井点出发内插外推,形成初始波阻抗模型,然后采用模型优选迭代扰动算法,对波阻抗模型不断进行修改更新,使模型正演合成地震数据与实际地震记录最佳吻合,最终的模型数据便是反演结果。

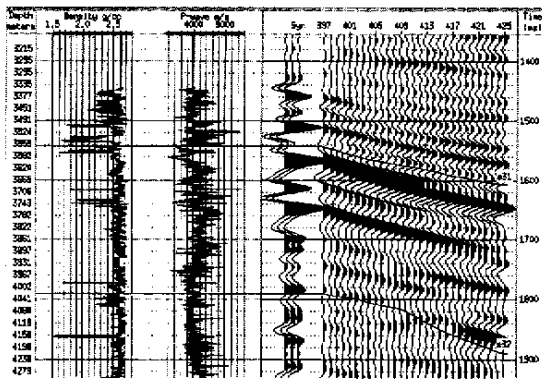


图 3 胡 96 井合成地震与井旁道的标定

1.1 测井资料预处理

测井资料通常受井径、泥浆等测井环境的影响,会产生误差,用于形成反演的波阻抗模型,必须经过校正。而本区在研究过程中,因用到多井反演,必须进行标准化处理,消除不同井之间由于测井系列不一致引起的系统误差。

1.2 地震子波的提取

子波提取是基于模型反演中的关键因素。确定子波通常有确定性方法和统计方法 2 类方法。其中统计方法是目前求取子波实用而有效的方法^[3,4]。本次研究对子波按零相位假设,以不用井资料的统计方法来求取子波。

1.3 地震层位解释及井震关系匹配

地震资料在反演中一个重要的作用就是提供层位信息,在建立初始模型时约束测井资料的内插外推,地震层位解释越准确,初始模型就越接近实际情况。本次研究在参考前人基础上,对研究区地震剖面重新进行了层位解释。另一方面,利用声波测井数据(或声波、密度组合)经深—时转换可以计算得到地层的反射系数序列,在求得子波条件下,由反射系数序列和子波褶积,得到合成地震记录,将合成地

震记录与井旁道进行对比标定,可以达到测井与地震数据在时深上的一致。这一工作建立在准确的地震层位解释及钻井地质分层的基础上。研究区的地震资料层位界面清晰,地震强轴具有明显的地质意义,测井曲线分层也经过了大量而有效的地层对比工作,从而为井震关系的匹配创造了有利条件。如图 3 为胡 96 井合成记录与井旁道的标定情况,可以看出,合成记录与井旁道具有很好的相似性。

1.4 初始波阻抗模型的建立

Strata 软件中初始模型的建立实质上就是一个按地震解释层位把测井声阻抗曲线沿层位横向外推的过程,外推的同时,按层序的厚度变化对声阻抗曲线进行拉伸和压缩。多井约束时,井间则按井的距离加权。建立尽可能接近实际地层情况的波阻抗模型,是减少反演结果多解性的根本途径。本区反演处理的实践表明,在横跨浊积相和盐湖相沉积的剖面上,仅利用钻穿砂体的胡 96 井或仅利用钻穿盐岩的文 218 井来建立模型,反演结果均不能表现横向的相变关系,只有应用两者同时约束建立模型,才能取得理想的效果。这也表明 Strata 反演对于井资料具有较强的依赖性,钻井越多,约束信息越丰富,反演结果就越接近实际。

1.5 约束反演

以初始波阻抗模型作为反演的起点,设定一个最大阻抗变化的“硬边界”,本次研究基本为 25%,即每次迭代过程中,修改不超过上次模型波阻抗的 25%,在此范围内不断更新模型的阻抗曲线,重新生成正演合成地震数据,并使其尽可能与实际地震道吻合。依次迭代,最终修正的模型就是反演得到的波阻抗(见图 5)。

2 实际应用

2.1 储层地球物理特征及岩性预测标准的建立

不同岩性的波阻抗特征是地震横向预测的对比标准和地质解释的基本依据。为得到不同岩性的波阻抗值,本文选取了研究区内 4 口井共 228 个样点,对不同岩性的声波测井速度进行了统计(表 1)。速

表 1 研究区主要岩性速度统计

岩性	速度分布范围/(m·s ⁻¹)
砂岩	4 200 ~ 4 850
泥岩	4 100 ~ 4 400
盐(膏)盐	3 800 ~ 4 200

度样本值的分布具有自然随机数的正态分布特点。其中,细砂岩和粉砂岩速度分布范围接近,将它们一

起作为储层砂岩统计,盐岩和膏岩分布范围接近,将它们一起统计,而将泥岩、粉砂岩及泥质粉砂岩一起统计。

从直接的样本统计结果看,砂岩和盐岩具有明显的速度分区,而泥岩和砂岩、泥岩和盐岩的速度区间均有部分重叠,即在重叠区间,它们的速度相等,但从统计角度来讲不同岩性在重叠区间的分布是不均匀的。例如,砂岩和泥岩的速度重叠区为 4 200 ~ 4 400 m/s,以 4 300 m/s 为分界点,大于 4 300 m/s 的 (4 300 ~ 4 400 m/s) 区间,泥岩样点有 6 个,占样点总数的 22%,砂岩样点 21 个,占样点总数的 78%,因而认为该速度区间以砂岩为主;同理,认为小于 4 300 m/s (4 200 ~ 4 300 m/s) 区间以泥岩为主。分布在重叠区间中的多为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及粉砂岩,可能在钻井地质鉴定中难以做到精确地划分,因而取 4 300 m/s 作为泥岩和砂岩的速度分界点。同样,根据重叠区间样点的分布状况,取 4 150 m/s 作为泥岩和盐岩的速度分界点。这样,不同岩性的速度划分区间分别为:盐岩的速度区间 (3 800 ~ 4 150 m/s),泥岩速度区间 (4 150 ~ 4 330 m/s),砂岩速度区间 (4 330 ~ 4 850 m/s)。将这些速度区间乘以相应岩性的密度值得到对应的波阻抗区间,并用不同的色标来表示。其波阻抗值和色标与反演结果的波阻抗剖面相同,建立了反演剖面岩性判别的标准 (图 4),从而在反演结果剖面上,以不同色级的色标来直观地显示波阻抗的变化,即岩性的变化。

在实际应用中,按照前面所述的处理流程,进行测井约束反演得到波阻抗数据。在此基础上,依据不同岩性与波阻抗色标的对应标准对反演结果剖面

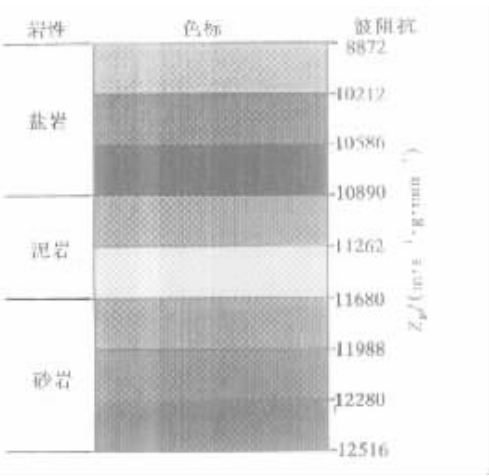


图 4 波阻抗值及其色标与岩性对比解释标准
进行解释,从井点出发,紧密结合测井地质剖面,对砂岩进行追踪,通过多个剖面的解释即得到储层的空间展布特征。

2.2 反演剖面实例及反演结果应用

图 5 为 1254 测线的波阻抗反演结果。由区域的古地理背景及相关沉积学研究推测,本区可能发育扇三角洲—深水浊积扇和扇三角洲—盐湖沉积体系 (见图 1)。如图 5 所示,以红色表示的砂体以楔状体形态发育在断层的下降盘,根据浊流沉积发育的构造古地理环境、岩体形态和机制,认为此处砂体应属于扇三角洲前浊积砂体^[6],由扇三角洲前缘向深水滑塌形成,受扇三角洲和同沉积断层的双重影响。此外,由图 6 可以看出,侧向上砂体由断层向盆内延伸逐渐变薄,并发生相变、尖灭,与蓝色表示的盐岩呈指状接触关系,反演结果验证了前人限于井资料基础上建立的油藏预测模型,并相对于预测模型大大提高了对于储层描述的精细化程度。

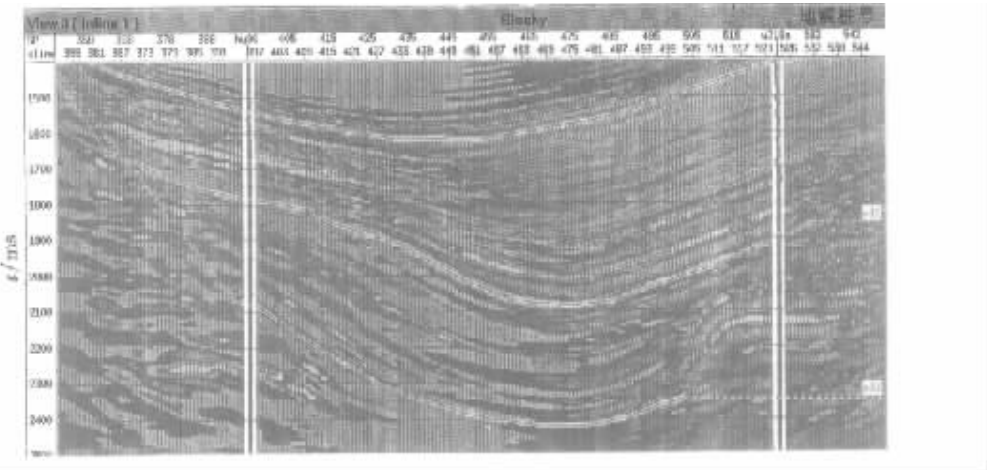


图 5 1254 测线反演结果

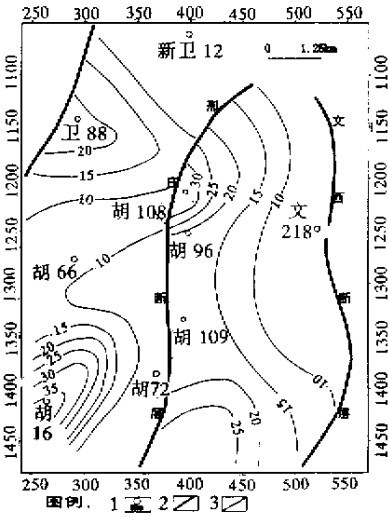


图 6 柳屯洼陷层序 I 高位体系域砂岩等厚度

1—井位及编号 2—断层 3—砂岩厚度等值线

通过对不同反演剖面的连续追踪,基本查明了研究区砂岩的分布特征,结合钻井剖面的砂岩分布,作出了本区各层序中每个体系域的砂岩等厚图,仅以层序 I 高位体系域为例进行说明(图 6)。层序 I 高位体系域与沙三³上段相当,但层位界面并不一致,由图可看出,在邢庄断层上升盘存在 2 个砂岩发育区,即卫 88 井区和胡 16 井区,2 砂体呈扇形由洼陷边缘向洼陷内部逐渐减薄,邢庄断层下降盘的油积扇砂体主体位于胡 108 井附近,此外,在洼陷西南部发育一分流河道砂体。

THE APPLICATION OF STRATA SEISMIC INVERSION TECHNIQUE TO THE DESCRIPTION OF S²⁻³ RESERVOIRS IN LIUTUN SAG OF DONGPU DEPRESSION

GENG Hui-ju, XIE Qing-bin, GUAN Shou-rui
(University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract : The seismic wave impedance inversion technique is becoming an increasingly important tool in carrying out reservoir prediction for oil exploration and development. There exist both turbidite sand and thick-bedded halite in S²⁻³ formation of Liutun sag. The lithofacies vary greatly in transverse direction. The application of the Strata inversion technique in this area is discussed according to the data processing order, which mainly includes well logging data correction, wavelet extraction, correlation of the synthetic records with the seismic profile, establishment of the initial model, and the constraint inversion. Ideal results are achieved showing the gradual modification from the deep turbidite fan to the salt lake face. The contour map of the sand body in each system tract is made, so the spatial distribution of the reservoir is characterized.

Key words : inversion based on model ; wavelet ; synthetic seismic record ; deep turbidite fan ; salt lake

作者简介 : 耿会聚(1974-),男,1997年毕业于江汉石油学院测井专业,现攻读石油大学矿物学、岩石学、矿床学博士学位,从事地质、地球物理综合解释研究。

万方数据

3 结论

1. Strata 反演技术将测井垂向上的高分辨率与地震在横向上的连续性很好地结合了起来,通过测井约束反演为精确的岩相分析及地层沉积体系的研究提供了直接的依据,同时反演结果直观展示了砂体的空间范围,查明了储层的分布形态,对后续的勘探无疑具有重要的指导意义。

2. Strata 反演对井数据有较强的依赖性,反演处理的约束井数量越多,就可以取得更理想的效果。

本文在研究过程中得到中国石油科学研究院廊坊分院李熙哲高级工程师、黄家强工程师的帮助和指导,在此表示衷心感谢!

参考文献 :

[1] 刘孟慧,等.东濮洼陷下第三系砂体微相合成岩作用[M].东营:华东石油学院出版社,1988.
[2] 刘绍光,胡玉杰,等.东濮洼陷隐蔽油气勘探突破区沉积储层特征[J].断块油气田,2000,7(2):66-68.
[3] 姚逢昌,甘利灯.地震反演的应用与限制[J].石油勘探与开发,2000,27(2):53-56.
[4] 张继武.应用 Strata 软件进行波阻抗反演的几点认识[J].新疆石油地质,1999,20(1):26-30.
[5] 刘雯林.油气田开发地震技术[M].北京:石油工业出版社,1996.
[6] 冯增昭,王英华,等.中国沉积学[M].北京:石油工业出版社,1994.