

渤南洼陷沙三段浊积岩储层预测技术

王庆华

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:渤南洼陷沙三段广泛发育浊积岩,该类储集体具有单层厚度小、单砂体面积小、横向变化大、垂向叠置的特点,在地震反射上形成中、弱反射,受地震资料分辨率低的限制,无法满足储层描述的要求。从地震、钻井、测井资料入手,总结研究区沙三段浊积岩地震反射特征,开发了基于独立分量分析的盲源分离、小层自动精细解释、随机反演及小砂体自动拾取等4种技术,建立了浊积岩储层识别与描述的技术系列,完善了该类储层预测的地球物理解释技术。将开发的4种技术应用在渤南洼陷沙三段浊积岩储层的预测中,盲源分离处理后的地震数据主频由24 Hz提高到32 Hz,提高了研究区的地震分辨率;实现了沙三段6个砂层组的自动解释;储层预测结果砂体识别的精度为5~8 m,能很好地识别浊积砂体,自动追踪浊积砂体70多个,实现了单砂体的快速成图,取得了较好的应用效果。

关键词:浊积岩 盲源分离 储层预测 随机反演 自动拾取 渤南洼陷

中图分类号:P631.44

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2014)03-0048-04

渤南洼陷沙三段浊积岩探明石油地质储量为 1.4×10^8 t,“十一五”期间沙三段浊积岩累积上报探明石油地质储量为 $2\ 694.38 \times 10^4$ t,表明渤南洼陷沙三段浊积岩勘探潜力巨大,该类型油藏仍是“十二五”储量上报的重要类型。渤南油田是近源、零散、以沙三段浊积岩储层为主力储集体的构造-岩性油藏。研究区沙三段浊积岩主要集中在中、上亚段。由于浊积岩沉积规律复杂,所以勘探难度较大。“十一五”期间渤南洼陷水道型浊积岩勘探取得突破性进展,部署了义173和义944等井为代表的一批探井,并对多口老井进行试油,均获得成功,累积上报预测储量为 $7\ 130.57 \times 10^4$ t,控制储量为 $3\ 879.2 \times 10^4$ t,探明储量为 $2\ 606.69 \times 10^4$ t,从洼陷边缘到中心都有油气藏分布^[1-3]。渤南深洼带完钻的义361井测试获工业油流,说明水道型浊积岩单个砂体能够独立成藏,具有各自独立的油水关系。在勘探开发中后期,浊积岩储层的横向预测日益重要,是勘探成败的关键因素。笔者在分析渤南洼陷浊积岩地球物理响应特征的基础上,对其地球物理预测技术进行研究,以期为该类型油藏的勘探开发提供依据。

1 地球物理响应特征

岩性和电性特征 渤南洼陷浊积岩主要为粉

砂岩、细砂岩和含砾砂岩。砂岩储层具有低自然电位、低自然伽马、低电阻率的特征。声波速度与岩性对应关系较差,泥岩层段声波速度起伏变化剧烈,声波曲线已经不能很好地反映砂泥岩特征;声波速度存在差异,部分砂岩速度偏低。自然伽马曲线却与砂泥岩存在较好的对应关系。

地震响应特征 浊积岩储层具有单层厚度小、单砂体面积小、横向变化大、垂向上叠置的特点,地震反射特征表现为中、弱反射。渤南洼陷勘探程度较高,砂体相对比较发育,储层薄,并且单井砂组划分明确,但有边底水,有时出现下油上水的情况,油水关系复杂,需要确定各砂层组和主力砂体的展布范围及边界。由于地震资料的分辨率较低,无法满足储层描述的要求。在砂体预测和描述中存在4个难点:①储层厚度薄,地震反射信号弱;②砂层组层系多,地震同相轴连续性差,人工解释难度大、效率低;③单层厚度薄,超出常规地震资料与传统稀疏脉冲反演处理的识别精度;④砂体空间上相互叠置,地震解释和拾取的工作量大。

2 地球物理预测技术

针对渤南洼陷浊积岩储层的特点,从地震、钻井、测井资料入手,总结地震反射特征,开发了基于

收稿日期:2014-03-10。

作者简介:王庆华,女,工程师,硕士,从事油气勘探综合研究。联系电话:(0546)8716725,E-mail:wangqinghua112.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

独立分量分析的盲源分离技术、小层自动精细解释技术、随机反演技术及小砂体自动拾取技术,建立了浊积岩储层识别与描述的技术系列,完善了浊积岩体的地球物理解释技术。

2.1 基于独立分量分析的盲源分离技术

浊积岩砂体在地震反射上信号弱,与围岩反射、背景噪声混叠在一起难以识别,需要借助现代盲源信号处理手段将储层目标中的弱信号提取出来。根据盲源信号理论^[4-5]与地震勘探原理,将盲源分离理论与地球物理模型结合,可知地震记录是由不同源产生的围岩信号与弱信号组成的。其中围岩信号具有一定的空间分布,即尽管其在各地震道上的时间、幅度不同,但具有相同的波形,可用统一的函数来表示;而弱信号分布范围较小,空间变化明显。按照盲源信号分析的原理,将不同的地质目标看成不同的信号源,那么地震道的一个同相轴可能是由多个波包混叠而成。尤其是当围岩与储层目标反射存在频率、相位与能量上的差异时,可以对储层目标弱信号进行提取与分析。

渤南洼陷沙三段发育多期水道型浊积扇,这些砂体在地震剖面上表现为中、弱振幅反射特征,连续性较差,部分地区呈空白反射(图1a),研究区地震数据主频为24 Hz,频宽为10~60 Hz,在进行储层预测时,由于受地震资料和反射条件的限制,预测结果不可靠。应用盲源分离技术后,原始地震剖面上能量较弱的反射经过弱信号增强处理后,地震信号变强,处理前呈空白反射的地方,在处理后的剖面上地震波形变得更连续,分辨率提高,主频提高到32 Hz,频宽变为10~80 Hz,处理的结果保持了原有的地层结构,地层的反射特征更明显(图1b)。

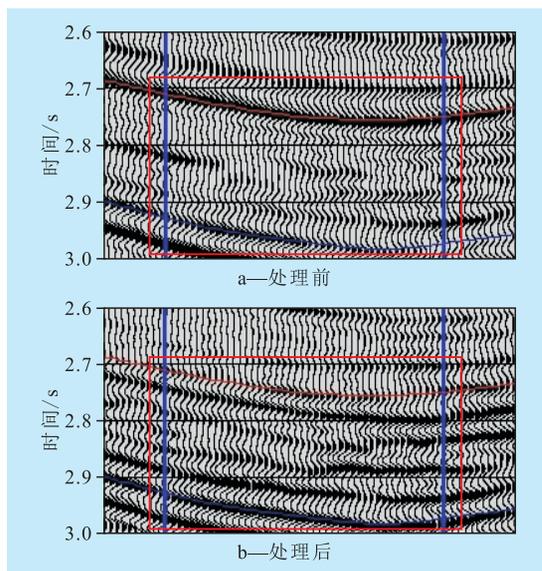


图1 渤南洼陷沙三段浊积岩储层盲源分离处理效果分析

2.2 小层自动精细解释技术

常规的砂层组解释方法有3种:①人工解释。由于砂层组多,地震轴连续性差,人工追踪解释难度大、效率低。②地层切片。由于各井砂层组厚度占地层厚度的比例变化大,存在较大误差。③内插。根据井标定的分层进行内插,由于缺乏标志层的控制,造成井少地区、断层附近和研究区边部的误差大。为解决这些问题,提出了利用标志层控制的支持向量机非线性趋势面拟合方法来追踪砂层组层位。支持向量机的基础是Vapnik的统计学习理论^[6-9]。当学习样本很多时,神经网络与支持向量机2种方法都能得到很好的回归效果,随着样本数的减少,支持向量机的推广能力比神经网络好,在小样本的情况下,神经网络回归的泛化能力很差,而支持向量机依然表现出很好的泛化能力。

首先对渤南洼陷各个单井小层进行分层统计,完成精细的合成记录标定,并对每口井与控制层 T_4 反射层相减得到残差,对残差进行非线性拟合,得到残差层位,再与 T_4 反射层相加,最终得到各个小层的层位。完成了渤南洼陷沙三段中亚段1,2+3,4,5,6+7和8共6个小层层位的自动精细解释。

2.3 随机反演技术

随机反演技术结合了地震反射资料、地质模型以及地质统计数据等多种信息,从随机建模产生的一系列储层模型中优选出与地震数据最佳匹配的储层模型,通过波阻抗特征将储层特性和地震记录相联系来直接评估油藏特征^[10]。随机反演技术的特点是确定地质体的空间结构和井震结合。地质体的空间结构有变差函数和地质体的方向性2个核心参数。变差函数一般用变差函数曲线来表示,通过井数据自动确定变差函数曲线,变差函数是最能反映区域内变量的空间结构函数,不同的变差函数得出不同地质体的规模,对于渤南洼陷发育的浊积岩储集体类型,采用的是高斯模型的变差函数,再结合地质认识和地球物理属性分析,确定地质体方向为 135° ,可以满足研究区砂体预测的要求。井震结合将随机模拟与地震反演相结合进行迭代,利用地质统计信息(变差图)作为反演的约束条件,同时,反演的结果又用来约束随机模拟,该流程真正模拟了储层的均一性,产生了等概率模型范围,拟合出柱状图和变差图,产生一个最佳模拟地震数据的储层模型,以此达到高分辨率反演的目的。

渤南洼陷沙三段浊积砂体层层叠置,并且砂泥岩互层,砂体小,由于地震资料的分辨率较低,无法满足储层描述的要求,而该区钻井资料丰富,随机

反演是建立在井插值的基础上进行,在钻井资料丰富的地区,模拟结果可以直接对目的层进行岩性识别,并精细描述储层。

选取研究区部分井参与反演,从反演结果来看(图2),储层横向上特征明显,各套储层在反演剖面

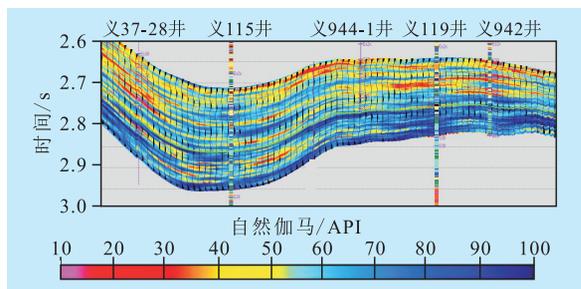
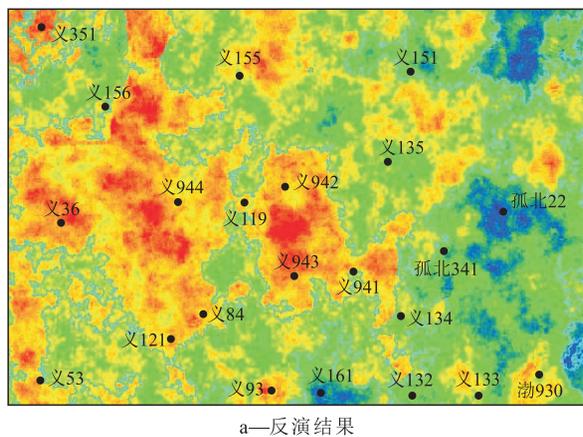
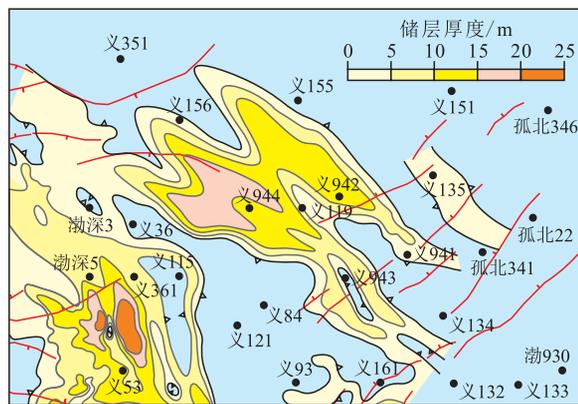


图2 过义37-28—义942井连井反演剖面



a—反演结果



b—储层厚度分布

图3 渤南洼陷沙三段上亚段1砂组反演效果分析

2.4 小砂体自动拾取技术

传统的砂体提取方法是依靠人工解释或是一些软件的自动追踪,通常需要地质人员逐个解释砂体,并通过解释结果编制顶底构造图和砂体厚度图,常规解释1个砂体和最终成图需要1d,工作效率低,同时由于存在砂体粘连和不能快速成图等问题而难以推广,对此开发了小砂体自动拾取技术。该技术是将数学形态学边缘检测方法引入到砂体自动追踪中。数学形态学的4种基本运算(腐蚀、膨胀、开、闭)结果表明,对原图像进行腐蚀后,窄通道被消除,图像形状变小;对原图像进行膨胀后,图像中的空洞被填充,图像变胖且平滑;对图像进行开运算可以在保持图像基本形态不变的情况下消除窄通道;对图像进行闭运算可以在保持图像基本形态不变的情况下填充空洞。如果将原始图像看成2个相互粘连的砂体,为了解决砂体的粘连问题,须消除砂体之间存在的细小通道,开运算可以满足这种要求。因此,将开运算引入到自动追踪算法中,对算法进行优化。

通过小砂体自动拾取技术自动批量解释渤南

上都有所表现,厚薄关系反映比较清晰。参与反演的各井在纵向上发育的多套砂体,例如义115井的2套砂体、义119井的4套砂体、义942井的4套砂体在反演剖面上均有反映;横向上砂体的边界清楚,分布范围基本可以描述;其中研究区内约90%参与反演的井的砂体对应关系较好,未参与反演的井例如义944-1井,钻遇的2套砂体在反演剖面上均有所表现,吻合率达到80%,深层储层识别精度达到5~8 m左右,并且能客观反映储层纵、横向的展布规律,砂体尖灭点清晰。对比储层反演平面属性与厚度分布(图3)可见,砂体展布符合沉积规律,在义944井砂体发育,在义161井砂体不发育,砂体厚薄变化与实钻井情况吻合。

洼陷沙三段浊积砂体70多个,根据实际地质认识对自动解释的砂体进行了修正,从70多个砂体中选取目标地质体,针对目标地质体的单个砂体解释成图,从解释到最终自动成图(图4)用时10多分钟,大

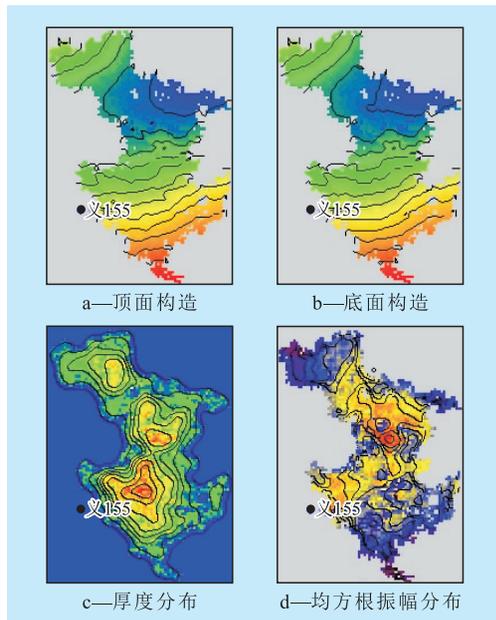


图4 渤南洼陷沙三段中亚段1砂组单砂体自动成图结果

大减少了砂体追踪解释的工作量,提高了工作效率。

3 结束语

针对渤南洼陷沙三段浊积岩纵向上多期砂体叠置,单期砂体厚度薄、面积小,在地震上形成中、弱反射轴,分辨率无法满足储层描述需要的问题,开发了基于独立分量分析的盲源分离、标准层控制的支持向量机非线性趋势面拟合的小层自动精细解释、随机反演及小砂体自动拾取等4种技术,建立了浊积岩体识别与描述的技术系列,完善了浊积岩的地球物理预测技术。开发的4种技术应用在渤南洼陷沙三段浊积岩的预测中,盲源分离处理后的数据主频提高到32 Hz,频带变宽,提高了该区的地震分辨率;利用小层自动解释技术实现了沙三段6个砂层组的精细解释;利用自然伽马随机反演技术进行储层预测,将常规地震资料对砂体识别的精度提高到5~8 m,能很好地识别浊积砂体;小砂体自动拾取技术在该区自动追踪浊积砂体70多个,实现了单个砂体的解释和快速自动成图,取得了较好的效果,证明该技术是对浊积岩勘探行之有效的技术。

参考文献:

- [1] 李丕龙,庞雄奇.陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳陷为例[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 王永诗,巩建强,房建军,等.渤南洼陷页岩油气富集高产条件及勘探方向[J].油气地质与采收率,2012,19(6):6-10.
- [3] 刘瑞娟,王永诗,张博,等.渤南洼陷浊积砂体岩石学特征及其对储层物性的影响——以沙三段0—9砂组为例[J].油气地质与采收率,2011,18(6):32-36,41.
- [4] 杨培杰.地震子波盲提取与非线性反演[D].东营:中国石油大学(华东),2008.
- [5] 穆星.基于盲信号处理技术的地震弱信号分离方法[J].油气地质与采收率,2012,19(5):47-49.
- [6] 杨培杰,印兴耀.基于支持向量机的叠前地震反演方法[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):37-41.
- [7] 邴萍萍,曹思远,路交通.基于支持向量机的非线性AVO反演[J].地球物理学报,2012,55(3):1 025-1 032.
- [8] 史鑫.支持向量机在医学图像分割中的应用[D].北京:首都医科大学,2007.
- [9] Jia Kang, Castag Na J, Li Dongan, et al. Reservoir prediction via SVM pattern recognition[C]//74th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2004:425-428.
- [10] 王长江,穆星.陆相断陷盆地储层地震预测技术优化[J].上海地质,2010,31(增刊):222-226.

编辑 经雅丽

(上接第47页)

- [7] 陆基孟.地震勘探原理[M].东营:中国石油大学出版社,2006.
- [8] 孙家振,李兰斌.地震地质综合解释教程[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [9] 王桐,姜在兴,张元福,等.罗家地区古近系沙河街组水进型扇三角洲沉积特征[J].油气地质与采收率,2008,15(1):47-48.
- [10] 赵帮六.多分量地震勘探在岩性气藏勘探开发中的应用[J].石油勘探与开发,2008,35(4):397-400.
- [11] Daniel P Hampson, Brian H Russell. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data[R]. SEG, 2005:1 633-1 637.
- [12] 慎国强,汤婕,王玉梅,等.叠前叠后联合反演技术在油气藏精细描述中的应用[J].油气地质与采收率,2014,21(2):87-90.
- [13] Fatti J, Smith G, Vail P, et al. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: a 3D seismic case history using the Geostack technique[J]. Geophysics, 1994, 59(9): 1 362-1 376.
- [14] Margrave G F, Stewart R R, Larsen J A. Joint PP and PS seismic inversion[J]. The Leading Edge, 2001, 20(9): 1 048-1 052.
- [15] 马劲风,傅旦丹,刘一峰,等.转换波人工合成地震记录制作及纵、横波层位对比[J].石油地球物理勘探,2004,39(1):60-67.
- [16] 康红庆,马春华,宋考平.测井约束地震反演在储层预测中的应用[J].特种油气藏,2012,19(2):14-17.
- [17] 黄德济,贺振华,赵宪生,等.多波层位对比的原则与方法[J].物探化探计算技术,1996,18(3):194-205.
- [18] 孟宪军,金翔龙,钮学民,等.地震反演中的三维复杂约束模型[J].石油大学学报:自然科学版,2004,28(6):22-26.

编辑 裴磊