

文章编号:0253-9985(2008)05-0668-08

鄂尔多斯盆地致密碎屑岩储层地震识别及预测

董宁,刘振峰,周小鹰,王箭波,刘俊州,夏红敏,余刚

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:鄂尔多斯盆地北部已经发现了多个致密-低渗透岩性气田,主要含气层位自下而上为上石炭统太原组、下二叠统山西组和下石盒子组。针对岩性圈闭、致密-低渗透碎屑岩储层中存在的难点,在气田勘探开发过程中,开展了地震储层综合预测和描述技术研究,开发应用了岩石物理、属性优化、分频成像、随机模拟反演等技术,形成了以突出低孔、低渗、致密储层为目标的完整的储层预测技术系列,有效地提高了预测的精度,为产能建设的持续开展提供了可靠的技术支撑。

关键词:致密储层;储层识别;地震储层预测;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Seismic detection and prediction of tight gas reservoirs in the Ordos Basin

Dong Ning, Liu Zhenfeng, Zhou Xiaoying, Wang Jianbo, Liu Junzhou, Xia Hongmin, She Gang

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Several tight lithologic gas fields with low permeability have been found in the north of Ordos Basin. From bottom to top, their main gas-bearing strata are the Taiyuan Formation of the Upper Carboniferous, the Shanxi Formation and lower Shihezi Formation of the Lower Permian. In view of the characteristics of lithologic traps and tight clastic reservoirs with low-permeability, studies are performed on integrated seismic reservoir prediction and characterization techniques for exploration and production of these gas fields. Corresponding techniques, including rock physics analysis, seismic attribute optimization, frequency decomposition and stochastic simulation inversion, are developed and applied. They form a complete series of reservoir prediction techniques that are suitable for tight clastic reservoirs with low porosity and low permeability, and can enhance the accuracy of reservoir prediction and promote the development process of tight gas fields in Ordos Basin.

Key words: tight reservoir; reservoir recognition; seismic reservoir prediction; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地北部近年来已经发现大牛地、苏里格庙等多个致密、低渗透岩性气田,含气层多为上石炭统一下二叠统。气田的基本特征是纵向上岩性圈闭叠合、横向上复合连片;储集层主要为潮坪-砂坝、三角洲平原分流河道及冲积平原辫状河河道成因的粗粒岩屑石英砂岩,孔隙度主要分布在4%~10%,渗透率主要分布在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。鄂尔多斯盆地北部气田的这种隐蔽圈闭、储层致密的特点给储层预测带来了极大的挑战^[1~9]。

此类气田在进入开发准备阶段后,一般单井

产量较低,有利储层的空间分布规律不清晰,严重制约了气田开发进程。针对该区致密岩性气田的储层预测这一难题,开展了地震储层综合识别和预测技术研究,积极推广应用物探新技术、新方法,逐步形成了一系列针对不同有效含气储层的识别和预测技术,较好地解决了鄂尔多斯盆地北部致密岩性气田的储层预测问题。

1 技术流程

研究中紧紧抓住储层识别和储层预测这两大

收稿日期:2008-08-18。

第一作者简介:董宁(1963—),女,教授级高级工程师,石油物探。

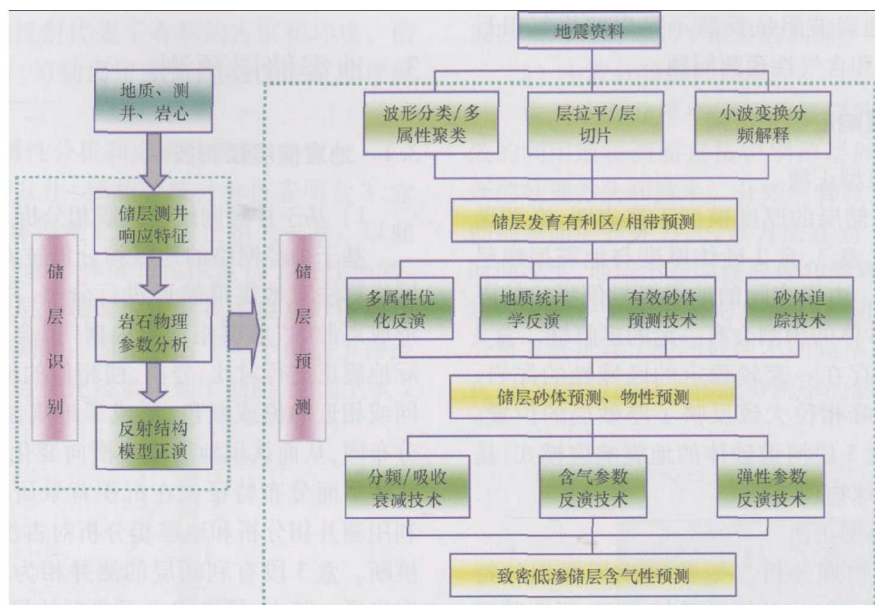


图1 储层识别及预测技术流程

Fig. 1 Flow chart of seismic reservoir prediction

技术关键,遵循从宏观到微观,从已知到未知的原则,坚持地质、测井、地震多信息一体化和逐级控制下的研究思路,进行储层发育有利区带圈定、储层砂体预测、储层物性预测、储层含气性预测。在储层预测基础上,进行储层综合评价,优选有利部位进行开发井井位部署,具体技术流程图如图1所示。

2 储层识别

2.1 储层测井响应特征识别

在该区多井统计分析的基础上,对目的层段的储层、气层的测井响应特征进行了归纳总结,得出如下认识。

1) 自然伽马曲线能敏感地识别岩性及岩性粒度。储层归一化自然伽马平均值普遍小于致密砂岩,高产气层归一化自然伽马平均值最小,在盒3—盒2段其值小于0.2 API,其他气层归一化自然伽马平均值小于0.3 API(图2)。

2) 声波测井对砂、泥岩分辨能力随深度增加而降低。盒3—盒2段泥岩声波时差平均值约240 $\mu\text{s}/\text{m}$,储层和气层的声波时差平均值为220 $\mu\text{s}/\text{m}$;盒1—太2段泥岩声波时差平均值为230 $\mu\text{s}/\text{m}$,储层和气层的声波时差平均值为

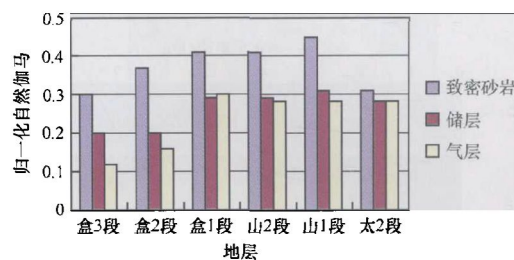


图2 致密砂岩、储层、气层归一化自然伽马直方图

Fig. 2 Histogram of normalized GR of tight sandstones, reservoirs and gas layers

220 $\mu\text{s}/\text{m}$;用声波测井识别盒1—太2段储层效果较差。

3) 密度测井对储层的分辨能力随深度增加而增高。目的层段泥岩、致密砂岩的密度平均值均大于2.6 g/cm^3 ,储层的密度平均值小于2.55 g/cm^3 。而且随深度增加,密度测井对储层的识别能力明显增高。

4) 盒3—盒2段,电阻率测井能准确指示气层,高产层与高电阻率有较好的正相关对应关系。盒1、山2段气层与泥岩电阻率平均值几乎相同,山1、太2段气层的电阻率平均值小于泥岩层。

5) 由于波阻抗是声波与密度的乘积,基于第2、第3点的认识,乘积后的波阻抗,以高、低分辨率互补的方式降低了对储层和气层的识别能力。

因此,常规的地震波阻抗反演不足以解决气田目的层段的储层和含气性预测问题。

2.2 储层地震响应模式识别

1) 厚度模型正演

盒2、盒3储层的厚度模型正演表明,在调谐厚度范围之内,盒3、盒2砂体厚度与地震振幅呈正相关(图3)。由于实际的地震资料信噪比的限制,局部薄层砂体的预测会有一些的多解性。盒3段的上部普遍存在一套较稳定的区域性的泥岩,因此可以说波峰相位大致反映了厚砂层的位置。这是盒2段、盒3段河道砂体的地震响应模式,是储层识别的地球物理基础。

2) 形态模型正演

根据岩石物理分析参数及河流相沉积的特点,研究中设计了二维的河道砂体模型,研究其河道砂体的反射特征(图4),正演分析表明透镜状砂体的地震响应特征为中强振幅的地震反射特征。

3 地震储层预测

3.1 地震储层预测技术

1) 基于神经网络的地震相分析

基于神经网络的地震相分析技术是利用神经网络算法对地震道波形进行分类,并把这种分类形成离散的“地震相”,再根据“拟合度”准则对实际地震道进行对比、分类,使相似的地震道具有相同或相近的值或颜色,形成了地震波形分类平面分布图,从而认识地震信号横向变化,得出地质异常体平面分布特征。在沉积背景研究的基础上,利用测井相分析和地震相分析对古沉积体系进行推断。盒3段有利储层的测井相为箱形、钟形和锯齿形。其中,箱形代表了典型的河道沉积环境,相应的3种地震相模式分别为强峰强谷型、弱峰弱谷型和中等强度峰谷型。具有中等以上能量和

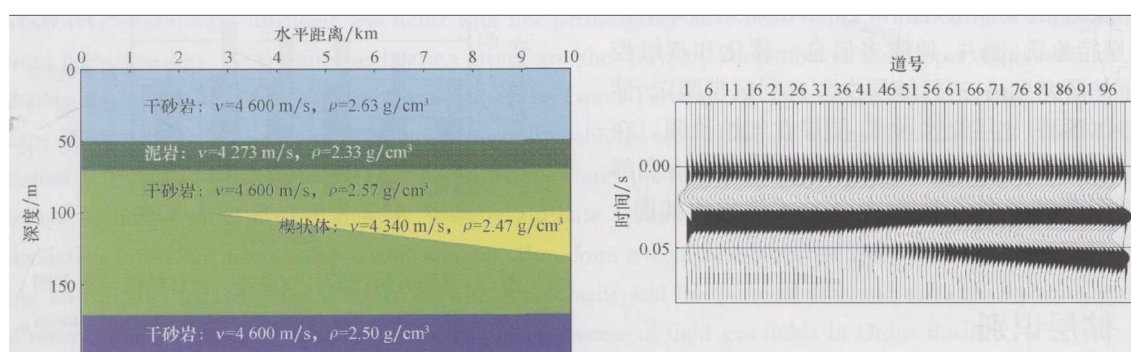


图3 盒3段砂体厚度模型正演

Fig. 3 Forward modeling of sands with various thicknesses in P1x3 formation

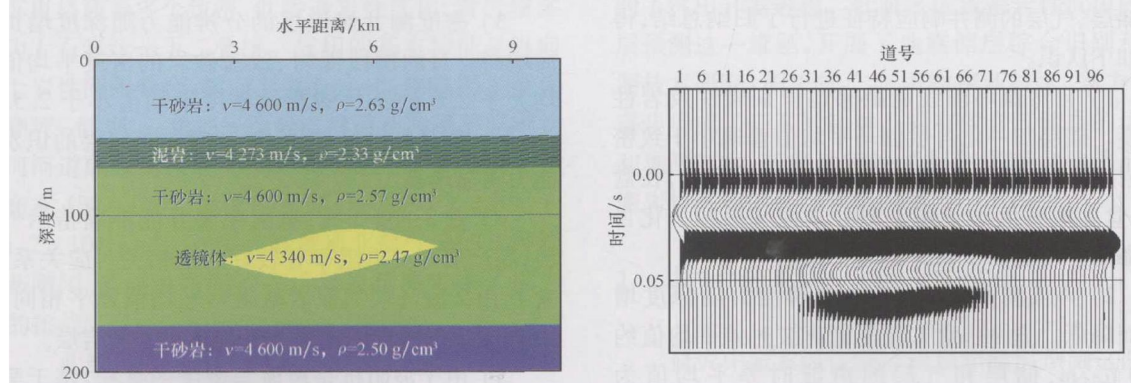


图4 二维储层厚度模型

Fig. 4 2-D reservoir model with changing thickness

较好连续性的反射代表了有利的古沉积环境。借助于以上分析,勾勒出了某工区的古河道发育域(图5)。

2) 地震属性分析和多属性优化

正演模型及井-震相关统计分析表明盒3、盒2段振幅与砂体厚度之间存在正相关关系。以此为根据,对盒3段砂体展布范围进行了定性预测。此外在煤系地层地震属性优化技术也对砂体展布状况有较好的刻画。图6给出了一个由基于神经网络的地震属性优化技术得到了剖面,剖面上太2段

砂坝与煤层得到了很好的刻画。

3) 小波分频解释技术

由于地震分辨率较低及煤层的存在,无法有效的利用地震剖面直接识别薄层砂体,迫切需要新的处理方法和新技术。分频解释技术是一种全新的地震储层研究方法,该方法在对三维地震资料时间厚度、地质不连续性成像和解释时,可在频率域内对每一个频率所对应的振幅进行分析,这种分析方法排除了时间域内不同频率成分的相互干扰,从而可得到高于传统分辨率的解释结果。

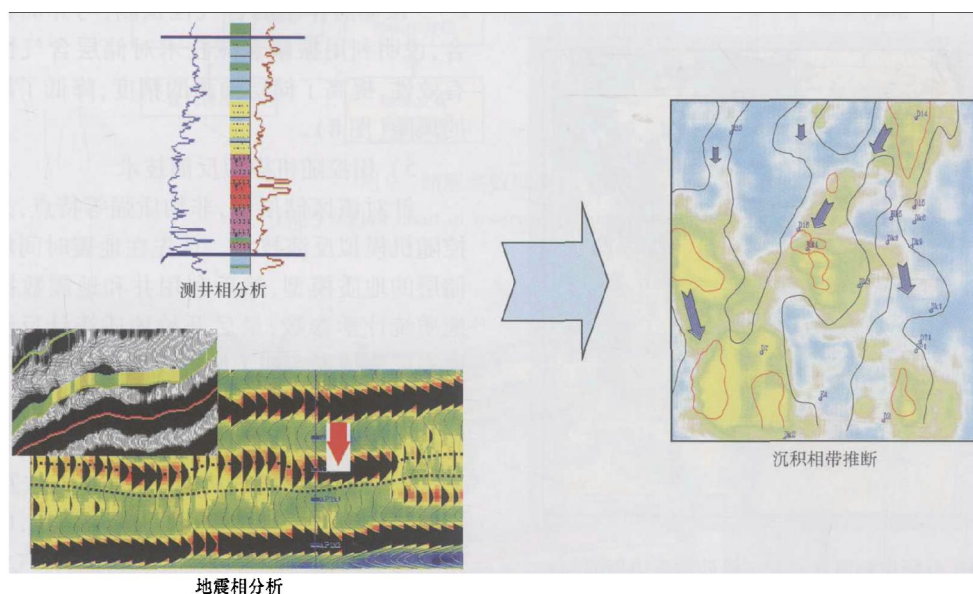


图5 地震相分析推断古沉积环境示意图

Fig. 5 Speculation of paleo-environment through seismic facies analysis

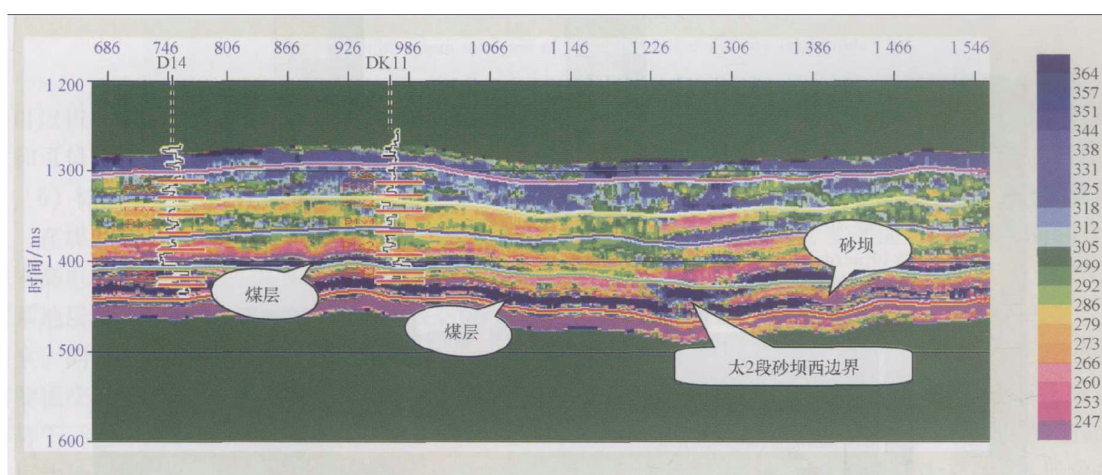


图6 地震属性优化技术对砂坝边界的刻画

Fig. 6 Recognition of the boundaries of a sand bar through seismic attribute optimization

在研究中,通过小波分频处理解释,对太2段的砂坝分布范围有了较为精细的刻画,图7是在太2段对应时段附近所提取的22 Hz分频振幅属性,太2段砂坝西边界得到了较好的刻画。对比波形分类和常规地震属性分析结果,可以发现分频处理结果在刻画砂坝的分布范围时,效果更为理想。

4) 吸收衰减技术

地层介质品质因子、地震波振幅的梯度变化与储层的含油气性密切相关^[10-12]。当地震波在

地下岩层介质中传播时,由于岩石物理性质不同,所含流体性质不同,会造成振幅衰减,同时也造成高频损失。在分析时,需要对地震道进行小波变换后,在频率域对每个样点进行振幅能量衰减分析。首先将检测到的最大能量频率作为初始衰减频率,然后再分别计算65%和85%的地震波能量对应的频率,最后在这个频率范围内根据频率对应的能量值,拟合出能量与频率的衰减梯度,得到振幅衰减梯度因子。通过振幅衰减梯度技术对鄂尔多斯北部地区D16井区二叠系下石盒子组盒2+3段储层作出的含气性预测,与井的含气性吻合,说明利用振幅衰减技术对储层含气性预测的有效性,提高了储层预测的精度,降低了勘探开发的风险(图8)。

5) 相控随机模拟反演技术

针对该区储层薄、非均质强等特点,采用了相控随机模拟反演技术。首先在地震时间域内建立储层的地质模型,然后利用井和地震数据来确定地质统计学参数,最后开始地质统计反演。随机地震反演技术实现了地震反演与地质统计模拟技术的结合。该方法既有效地提高的纵向识别薄层砂体的能力,又保证砂体横向预测的精度^[13,14]。

根据岩石物理分析,利用上述方法重点反演了基于伽马、中子重构的岩性指示曲线,电阻率及孔隙度等参数(图9),从岩性、物性、含气性3个层面对储层进行了定量描述。图10给出了一条岩性及电阻率反演剖面,通过钻井分析,岩性反演结

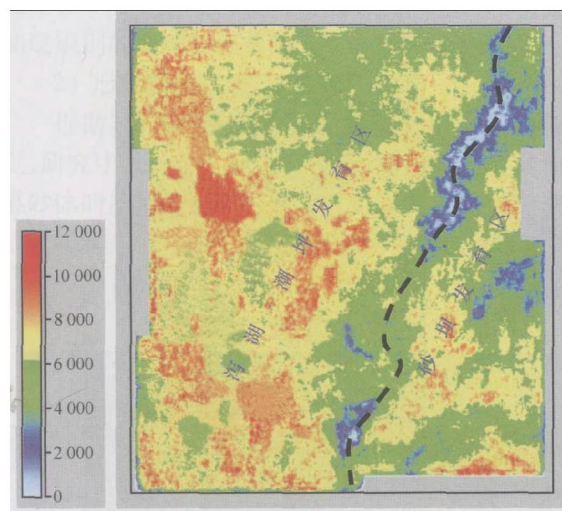
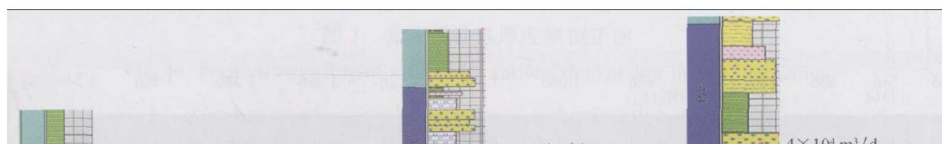


图7 22 Hz分频振幅属性对太2段砂坝西边界的刻画
Fig. 7 Recognition of the west boundary of the sand bar in C_3t_2 formation with 22 Hz component



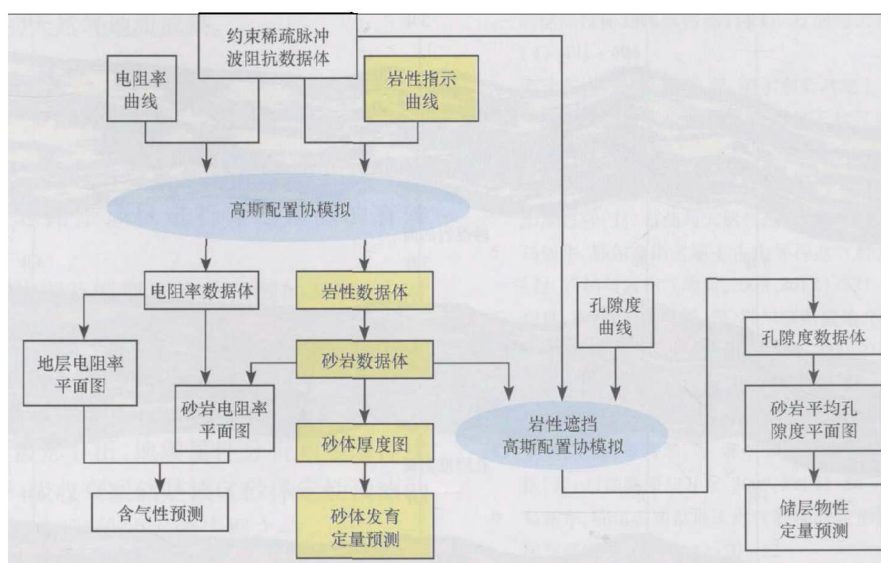


图9 储层参数反演技术流程

Fig. 9 Flow chart of reservoir parameter inversion

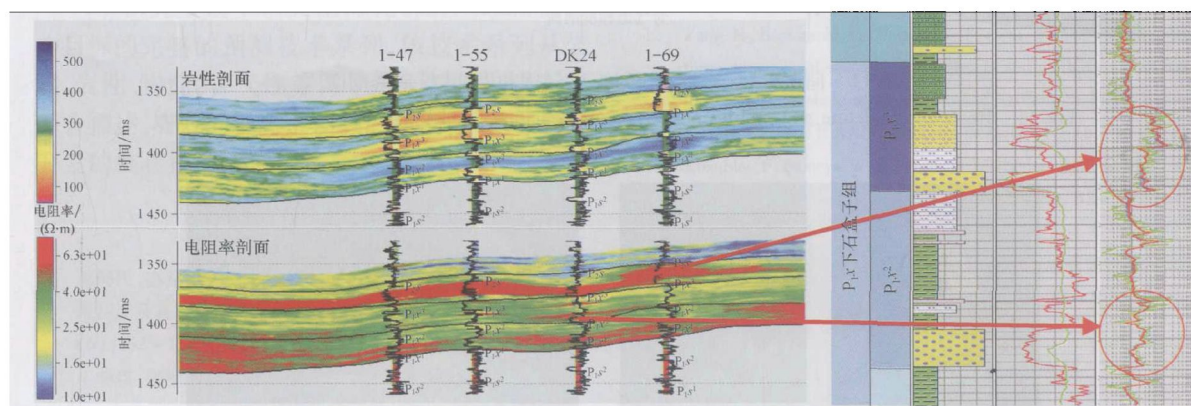


图10 岩性反演、电阻率反演效果跟踪分析

Fig. 10 Subsequent analysis of lithology and resistivity inversions

果可以识别 10 m 以上的有效砂体,具有较高的精度和可信度。

6) 储层参数建模技术

在煤系地层含气性预测方面,由于煤系地层泥岩高电阻率的特征使得电阻率反演不能适用于煤系地层的含气性预测,新的技术解决方案需要探索。同时,随着气田开发对水平井部署的需求,需要提交相应的深度域的预测成果。在以上需求形势下,储层参数随机建模技术被应用于相应的储层物性和含气性预测工作中。考虑到该区储层致密、非均质性强的特点,建模工作采取了相控建模的思路,即在岩相建模基础上,分岩相对孔隙度

模拟、含气饱和度模拟的相关参数进行分析选择,在岩相模型控制下,用地震属性(阻抗)约束来进行。图 11 给出了储层参数建模的一个成果剖面,从上而下,依次为岩性剖面、孔隙度剖面和含气饱和度剖面。

7) 三维可视化技术

利用可视化技术能够从不同角度、不同时间段发现数据体的异常特征。通过调节色标、透明度和子体检测等手段可以突出、细化、雕刻异常体(图 12),从而将异常体转化为直观的、形象的、具立体感的地质现象、地质目标体,通过综合分析、解释获得具有空间立体感的地质认识和结论。

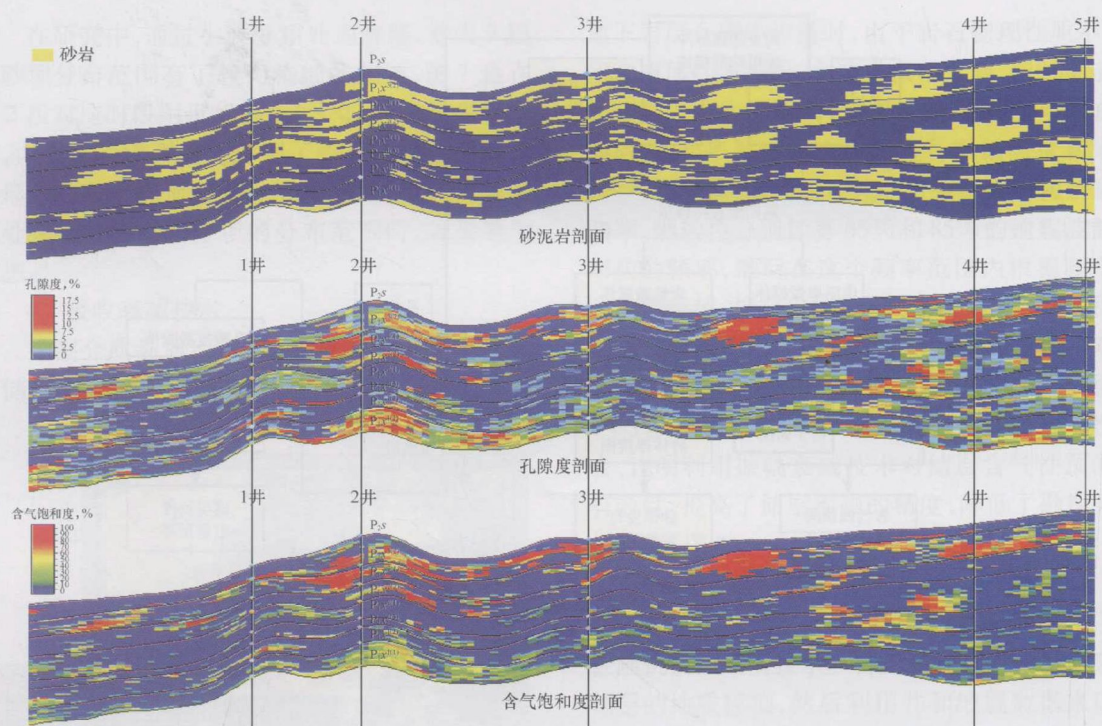


图 11 储层参数(岩性、孔隙度、含气饱和度)建模成果剖面

Fig. 11 Reservoir modeling and profiles of reservoir parameters(lithology, porosity and gas saturation)

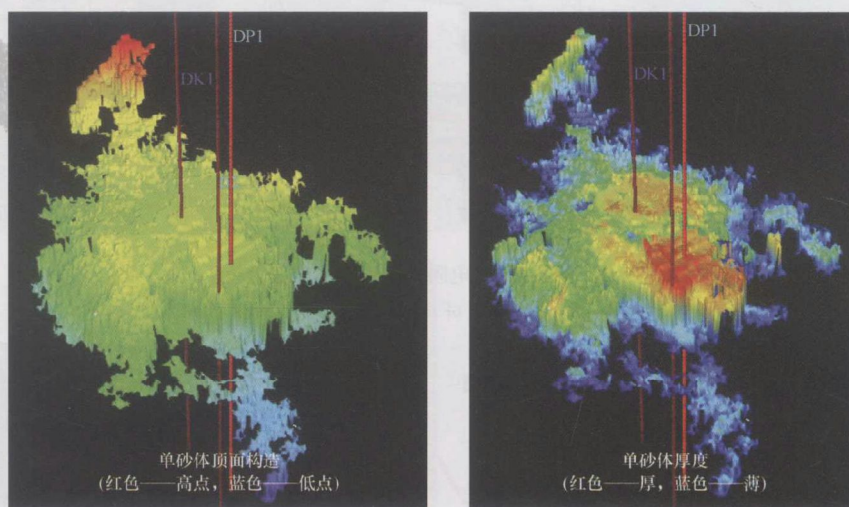


图 12 单砂体可视化分布

Fig. 12 Description of spatial distribution of single sandbody by use of 3D visualization technique

3.2 技术应用效果

以鄂北致密储层为目标的地震预测技术取得了较好的现场应用效果。通过上述技术在鄂北某气田的应用实施,气田主要目的层段及有利储层

分布范围得以落实。2004年以来,气田开发准备井与开发井的部署均使用了三维地震储层预测成果。依据地震储层识别及预测成果,提交了共计530余口钻井部署建议,95%的钻井取得了成功,获得了商业气流。三维地震储层预测技术的应用

取得了良好的天然气地质成果。

4 结论

1) 地质、测井、地震多信息一体化和逐级控制下的研究思路是该区进行储层预测的有效思路。

2) 岩石物理及模型正演是预测的基础,它对储层岩性、物性、含气性的地震响应模式建立及储层预测方法技术的遴选和技术参数的确定具有重要的指导意义。

3) 地震波形分析、地震属性分析和多属性优化、分频解释、吸收衰减法是该区砂体定性预测的有效技术,是选区评价的主要依据之一。

4) 相控随机模拟多参数反演、储层建模技术可达到储层岩性、物性、含气性定量预测的目的,是井位部署的主要依据之一。

5) 研究形成了以突出低孔、低渗、致密储层为目标的完整的预测技术系列,该技术系列从岩相、岩性、物性、含气性等四个层面对储层进行了综合描述,有效的提高了预测的精度,是该区勘探开发的核心技术。

参 考 文 献

- 郝蜀民,惠宽洋,李良.鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术[J].石油与天然气地质,2006,27(6):762~768
- 丁晓琪,张峭楠,周文,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨[J].石油与天然气地质,2007,28(4):491~496
- 李仲东,郝蜀民,李良,等.鄂尔多斯盆地上古生界压力封存箱与天然气的富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(4):466~472
- 袁际华,柳广弟.鄂尔多斯盆地上古生界异常低压分布特征及形成过程[J].石油与天然气地质,2005,26(6):762~799
- 马新华.鄂尔多斯盆地上古生界深盆气特点与成藏机理探讨[J].石油与天然气地质,2005,26(2):231~236
- 李良,袁志祥,惠宽洋,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律[J].石油与天然气地质,2000,21(3):268~282
- 翟爱军,邓宏文,邓祖佑.鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[J].石油与天然气地质,1999,20(4):336~340
- 李剑,罗霞,单秀琴,等.鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏特征[J].石油勘探与开发,2005,32(4):54~59
- 马新华.鄂尔多斯盆地天然气勘探开发形势分析[J].石油勘探与开发,2005,32(4):50~53
- Tanner M T. Seismic attributes[Z]. CSEG Recorder, 2001. 48~56
- Barnes A E. Seismic attributes in your faces[Z]. CSEG Recorder, 2001. 41~47
- Zang H, Backus M M, Barrow K T, et al. Facies mapping from three dimensional seismic data: potential and guidelines from a tertiary sandstone-shale sequence model, Powderhorn Field, Calhoun County, Texas[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(1): 16~46
- Ecoublet P, Semeys W W. Porosity prediction from seismic attributes and inversion[Z]. TRIP Internal Report, Rice University, 1997
- 刘文岭,牛彦良,李刚,等.多信息储层预测地震属性提取与有效性分析方法[J].石油物探,2002,41(1):70~76
- 焦方正.塔河油气田开发研究文集[M].北京:石油工业出版社,2006
- 袁国芬.塔河油田碳酸盐岩储层地球物理响应特征[J].石油物探,2003,42(3):318~321
- 王世星,曹辉兰,靳文芳,等.碳酸盐岩缝洞系统地震响应特征分析和卡1区缝洞储层预测[J].石油物探,2005,44(5):421~427
- 李明,李守林,赵一民.塔里木盆地某地区碳酸盐岩裂缝储层预测研究[J].石油物探,2000,39(2):24~35
- 张永升.波形分析方法在碳酸盐岩储层预测中的应用[J].石油物探,2004,43(2):135~138
- 闫相宾.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J].石油与天然气地质,2002,23(3):262~265
- 王金琪.塔里木奥陶系岩溶储集的油气前景[J].石油与天然气地质,1999,20(4):305~310
- 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井识别与评价[J].石油与天然气地质,2008,29(1):61~65
- Guan Luping, Wang Shixing. Prediction of fracture-cavity system in carbonate reservoir: a case study from Tahe oilfield, China[J]. The Leading Edge, 2006, 25(11): 1396~1400
- Perez M A, Gibson R L, Toksoz N. Detection of fracture orientation using azimuthal variation of P-wave AVO responses[J]. Geophysics, 1999, 64(4): 1253~1265

(编辑 董立)

(编辑 李军)

(上接第667页)