

文章编号: 1001—1749(2012)01—0001—06

海洋复杂陆坡深水区速度场建立方法探讨

万 欢¹, 逢建东², 杨平华², 刘 扬², 何玉梅¹

(1. 中海油能源发展股份有限公司 采油技术服务分公司, 天津 300000;

2. 中海油能源发展股份有限公司 采油技术服务公司, 广东 湛江 524057)

摘 要: 海洋深水探区多在陆坡区, 水深变化大, 最深超千米, 地质条件复杂, 探井稀少, 难以得到准确的速度场, 直接用叠加速度转换深度会导致沉积层构造畸变, 若仅用钻井速度预测深水区深度也将导致巨大误差。这里在分析深水速度结构特征和影响因素基础上, 通过理论模型正演方法研究优选最佳速度反演的方法; 利用钻井速度、叠前相干反演速度及地震叠加速度相互制约, 形成了适合白云凹陷深水区的时深转换方法, 较好地解决了深水区崎岖海底造成的构造畸变, 深度预测精度得到大幅提高。

关键词: 模型正演; 叠前相干; 速度反演; 层速度; 时深转换; 速度场

中图分类号: P 631.4 **文献标识码:** A

0 前言

随着海洋油气勘探向深水区发展, 海洋深水区长度的复杂性导致了沉积层构造畸变、深度预测难度大, 严重制约了深水区油气勘探。

在对白云凹陷深水区 B 构造进行井位部署时, 根据浅水区钻井速度预测 B—3 井 21Ma 的深度为 4 140 m, 而该井实际钻达 21Ma 层的深度为 3 655 m, 误差为 485 m; 若将浅水区钻井和深水区 L—1 井速度作渐变处理, 预测深度误差为 205 m; 这个误差足以致使油气勘探的失利或大大延迟勘探进程。利用钻井速度校正地震叠加速度场建立的时深转换速度场预测 B—3 井 21Ma 层深度时, 误差为 130 m 左右。虽然误差有所减小, 但仍无法满足勘探生产的需求。如何建立大尺度较为准确的速度场, 是关系到海洋深水区油气勘探成功与否的关键。

1 技术方法探讨

为了得到准确的深度成图, 目前国内、外速度场建立方法一般采用下面几种方法:

(1) 钻井 VSP 速度拟合得到综合速度进行时深转换, 适合沉积稳定, 速度横向变化小的地区。

(2) 多个 VSP 速度采用不同插值方法建立速度场, 适合钻井较多的小范围工区。

(3) 采用地震叠加速度建立平均速度场, 在钻井速度校正下, 建立时深转换速度场。

白云凹陷范围广, 跨陆架、陆坡、深海平原, 沉积环境非常复杂, 浅水陆架区地层速度较高, 且较为稳定, 利用钻井 VSP 速度拟合得到综合速度进行时深转换误差较小。陆坡区和深海平原海水深度变化大, 海底崎岖严重, 海底底质成份复杂, 厚度变化大, 欠压实泥岩发育, 导致地层速度异常明显。考虑到该区地层速度的结构特征和影响因素, 用单一速度场建立方法显然难以适应全部工区条件, 所以采取的针对性措施应当考虑以下几点。

(1) 利用双层模型(即海水层、海底至目的层)将沉积层和海水层分离, 消除海水层的影响。

(2) 白云凹陷钻井主要集中分布在番禺低隆起区, 仅靠钻井资料建立速度场无疑会产生较大误差。地震叠加速度来自于速度谱的拾取, 不同时间、不同人员处理的地震资料速度谱差异较大, 速度谱往往会产生抖动, 可能导致速度场建立的较大误差。

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05025—01, 2008ZX05025—03)

收稿日期: 2011—09—26

改回日期: 2011—10—14

(3) 寻求一种精度高且较为稳定, 规律性强的地震速度反演方法, 与钻井速度、地震叠加速度优势互补, 建立较为准确的时深转换速度场。

2 理论模型模拟确定速度反演方法

作者为确定最佳的速度反演方法, 建立了反映工区特征的构造模型和变速模型(既存在速度渐变, 又存在低速透镜体), 如图 1 所示。利用速度模型正演出的道集进行叠加速度反演, 横向变速和低速现象有所体现(见图 2 左图), 但速度特征与速度模型存在较大差异。在此基础上进行的叠前深度偏移结

果表明, 变速带下伏地层成像扭曲, 断层归位不合理(见图 2 右图), 证明速度反演结果欠准确。

利用道集速度分析得到的叠加速度进行叠前相干速度反演(见图 3 左图), 其横向变速和低速透镜体的体现与原速度模型基本一致, 而且在此基础上进行的叠前深度偏移结果与构造模型一致, 成像准确, 断层归位合理(见图 3 右图)。这说明了叠前相干速度反演是解决速度异常的较为有效的方法。

虽然叠前相干速度反演方法准确、有效, 但由于整个白云~荔湾凹陷面积近 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 地震资料非常丰富, 包括十六个年度的二维测线 988 条和六块三维地震资料, 要在短期内全部完成叠前相

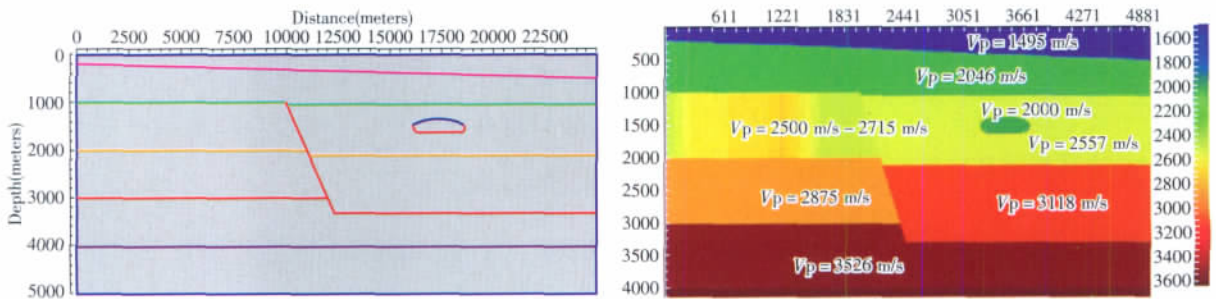


图 1 正演构造模型和变速模型

Fig. 1 Forward structural model and variable speed model

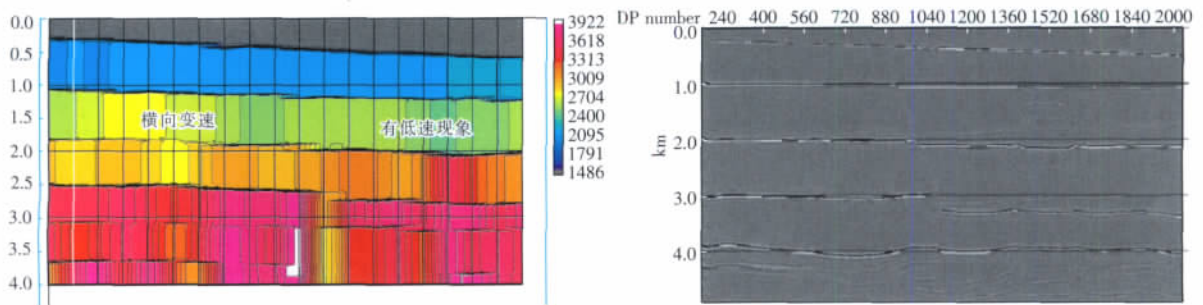


图 2 常规速度分析及叠前深度偏移结果

Fig. 2 Conventional velocity analysis and the PSDM results

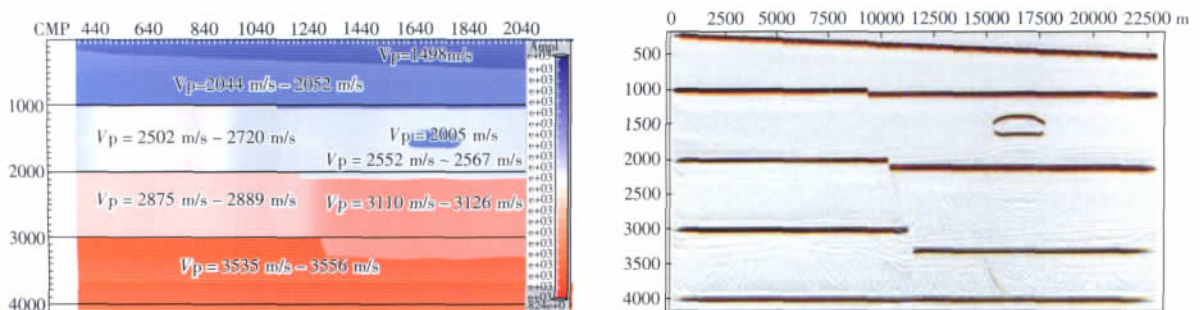


图 3 叠前相干反演速度及其叠前深度偏移结果

Fig. 3 The velocity of pre-stack coherent inversion and the PSDM results

干速度反演建立速度场是不现实的。所以既有效又经济的技术方法是:利用地震叠加速度建立平均速度场,用叠前相干反演速度、钻井速度,以及剔除海水层来校正,建立较为准确的时深转换速度场。

3 二维地震叠前相干速度反演

考虑到海水深度变化,地层发育情况,崎岖海底及平面上的分布等,作者选择了具有代表性的九条测线(如图 4 所示),在地震资料前置处理基础上,根据地震解释的各层序界面逐层进行叠前相干速度反演。作者在本文仅以 B-5 二维测线为例,对叠前相干速度反演的结果进行分析。

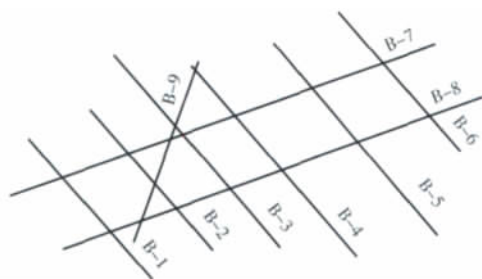


图 4 叠前相干速度反演的代表测线位置

Fig. 4 The lines location for pre-stack coherent inversion of velocity

B-5 测线为北西~南东方向(如图 5 所示),跨陆架、陆坡、深海平原,沉积厚度相差悬殊,海水深度差异大,海底崎岖严重。

逐层叠前相干反演层速度谱能量比较收敛,峰值较为突出,速度变化规律性较强(见下页图 6)。从层速度谱和层速度剖面(层间速度进行线性渐变插值)可以看出(如下页图 7 所示),陆架区层速度较高且相对稳定,陆坡区层速度沿海水变深方向具有整体变低的趋势,但在不同层位、不同位置速度异常明显,深海平原区层速度相对稳定,但较陆架区低。

4 地震平均速度场的建立

4.1 大三维方式建立地震叠加速度场

研究区面积大(近 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$),地震资料(二维、三维)丰富,共有二维地震测线约 $3 \times 10^4 \text{ km}$ (除去 3D 重合区),三维工区六块,约 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。为充分利用地震资料,作者将 540 条整理后的二维测线和六块三维工区内的速度文件进行加载、合并、异常值编辑,以大三维方式将二维、三维地震资料有机的结合在一起(见下页图 8)。

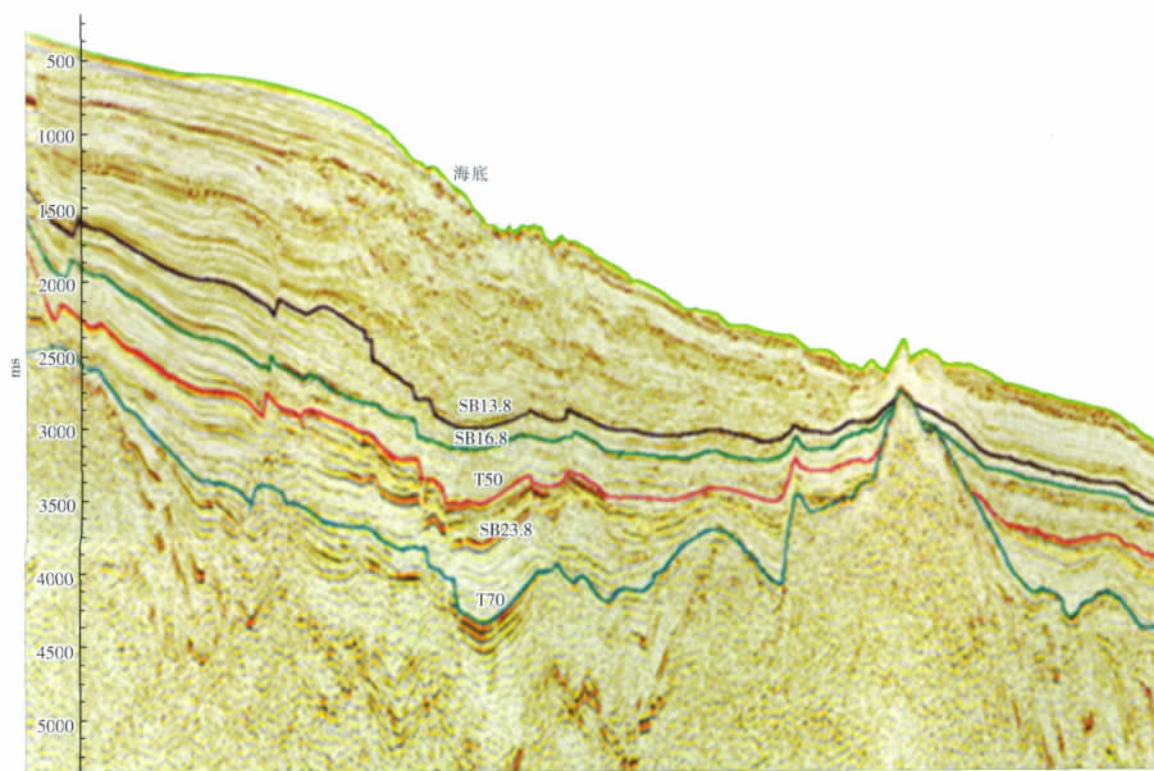


图 5 B-5 测线偏移成果剖面

Fig. 5 The migration results section of B-5 line

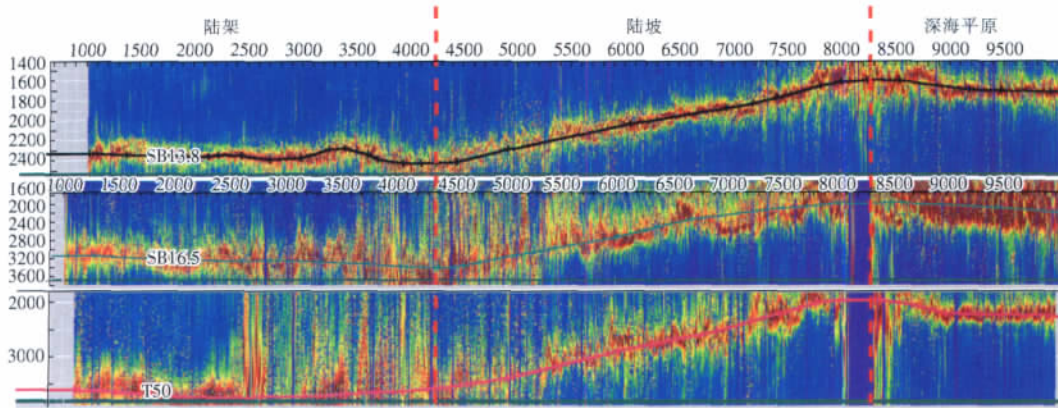


图 6 B-5 二维地震叠前相干反演层速度谱

Fig. 6 2D seismic pre-stack coherent inversion velocity spectrum of B-5 line

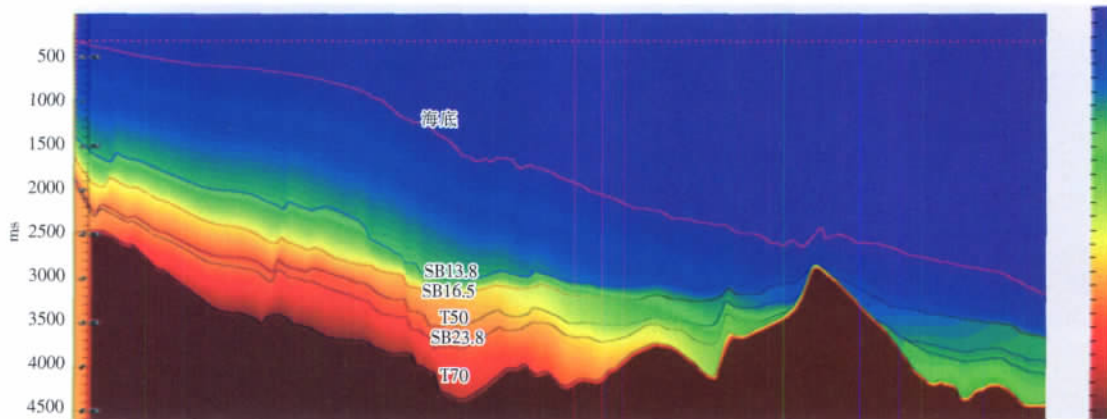


图 7 B-5 二维地震叠前相干反演层速度剖面(层间速度线性内插)

Fig. 7 2D seismic pre-stack coherent inversion velocity profile of B-5 line(speed linear interpolation between layers)

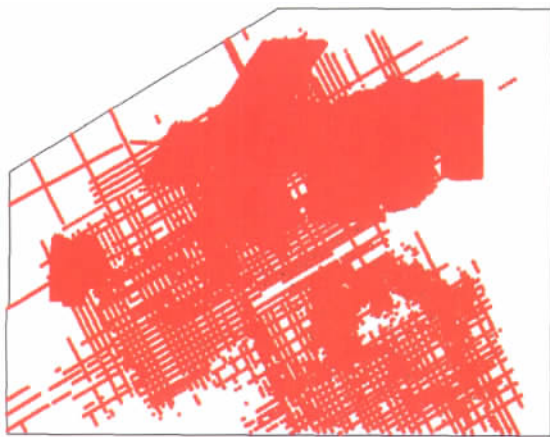


图 8 连片大三工区最终所有速度点平面图

Fig. 8 Final speed points plan of contiguous large 3D area

4.2 沿层地震平均速度场的建立

从全区均方根速度函数中,应用 DIX 公式提取沿层平均速度控制点,得到海水层和沉积层的平均速度,受海水层影响,精度受到限制。作者采用

双模型法将海水层和沉积层剥离,消除海水层对平均速度的影响。

地层平均速度与沉积层厚度,应该具有较好相关性的规律。但从建立的海平面至目的层的平均速度与时间深度交汇图来看(见下页图 9 左图),规律很差。但当剥除海水之后,速度具有随深度增加而增大的较强规律性,将异常值编辑掉之后(见下页图 9 中图),速度规律更强(见下页图 9 右图)。

在工区内速度场是由二维和三维速度文件产生的,受地震速度解释精度限制,速度点分布不均匀,在修正好的速度控制点基础上进行内插和外推,可以得到与解释层位相对应的地震平均速度场(海底至目的层)。

5 时深转换速度场的建立

钻井速度准确度高,但只是一孔之见。在钻井少且集中分布在陆架区的情况下,由于深水区速度

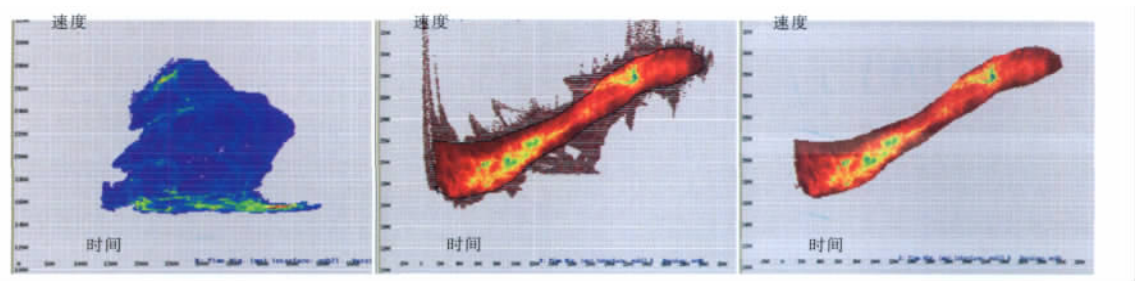


图 9 SB21.0 地震平均速度与时间深度交汇图
Fig. 9 Average speed and T-D intersection map of SB21.0

异常严重,仅靠钻井速度进行深度换算,将产生较大误差。而利用钻井速度校正地震平均速度场,将会在一定程度减小误差,但难以满足深水区勘探生产的需求。在目前资料状况和研究程度下,利用双层模型将钻井速度、地震平均速度,以及叠前相干反演速度有机的结合,是建立合理的时深转换速度场的最佳方法。

在研究区内,作者选择了二十四口代表井进行地震平均速度与钻井速度之间的误差分析,SB23.8 层序界面以上沉积层钻井平均速度与地震平均速度的误差,均在 $-150\text{m/s}\sim 0\text{m/s}$ 之间(见图 10),符合地震速度大于钻井速度的一般规律。

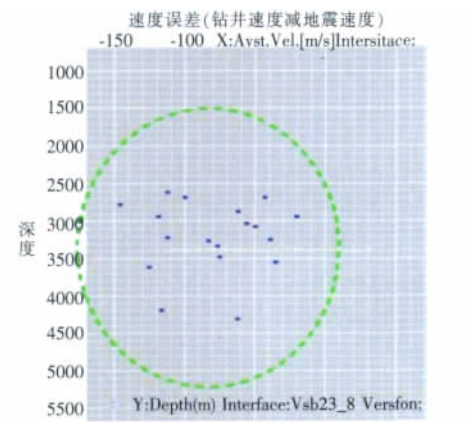


图 10 SB23.8 钻井与地震平均速度误差
Fig. 10 Average speed error of drilling and seismic for SB23.8

从叠前相干反演速度与地震平均速度的比较来看,三级层序界面 SB13.8、SB21.0 的叠前相干反演速度与地震平均速度的差值均在 $0\text{ m/s}\sim 100\text{ m/s}$ 之间。

在双模型法得到的最终地震平均速度场的基础上,利用钻井速度(二十四口井中二十二口井参与校正,预留二口井作为验证井)和叠前相干反演速度进行校正,得到白云~荔湾凹陷相应层位较为

准确的时深转换速度场(见图 11)。

作者利用最终的时深转换速度场进行时深转换,从得到的过井剖面 and 深度构造图来看(如图 12 所示),崎岖海底造成的构造畸变得到较好的解决,与勘探成果较为吻合。

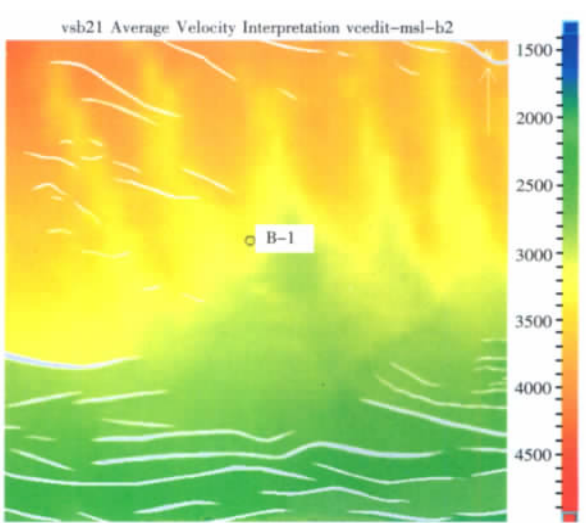


图 11 SB21.0 时深转换速度场(B-1 井区局部)
Fig. 11 SB21.0 velocity field of T-D conversion(well B-1 near)

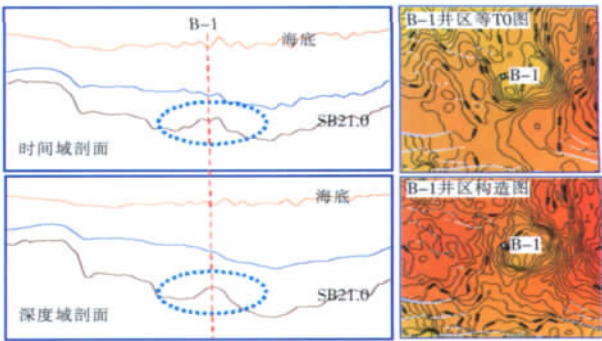


图 12 时间域、深度域剖面及构造图
Fig. 12 Time domain profile, Depth of field profiles and structural map

预留的二口井 B-3 和 B-6 井,实际钻井深度与利用时深转换速度场换算得到的深度相比,SB13.8 误差分别为 23m 和 28m,SB21.0 误差分别为 35 m 和 59 m(见表 1),与 B-3 井仅用钻井速度预测的 SB21.0 深度误差(485m)相比,精度大幅提高,基本能够满足深水区油气勘探的需求。

表 1 钻井深度与换算深度误差分析表
Tab.1 Error analysis of drilling depth and calculate depth

井名	SB13.8		
	井深(m)	换算深度(m)	误差(m)
B-3	2322	2345	23
B-6	2283	2311	28
井名	SB21.0		
	井深(m)	换算深度(m)	误差(m)
B-3	3655	3690	35
B-6	3706	3765	59

6 结论

- (1)由于受到速度异常的影响,如果仅用钻井速度预测深水区地层深度,将会产生较大误差。
- (2)双模型法将海水层和沉积层剥离分析,可以较好地消除海水对地层平均速度的影响。
- (3)将钻井速度、地震平均速度和叠前相干速度反演有机地结合,是建立海洋深水大尺度研究区速度场的较为有效的方法,适应性较强,可以在具有类似条件的其它海洋深水区加以运用。

参考文献:

[1] 李杏莉,王彦春. 不同基准面上的速度场及时深转换[J]. 物探与化探,2008,33(1):49.
[2] 马涛,严又生. 塔里木盆地速度场的研究与应用[J]. 石油地球物理勘探,1996,31(3):382.

[3] 何敏,朱明,汪瑞良. 白云深水崎岖海底区时深转换方法探讨[J]. 地球物理学进展,2007,22(3):966.
[4] 武学明,张勇军. 一种由叠加速度转换为平均速度的方法[J]. 地球物理学报,2008,20(8):50.
[5] 李伍志,王璞珺,张功成. 珠江口盆地深部基地地层的地震时深转换研究[J]. 地球物理学报,2011,54(2):499.
[6] 韩小俊,韩波. 塔里木盆地库车坳陷中部地震速度场的建立方法[J]. 天然气工业,2009,29(12):23 .
[7] 谢锐杰,朱广生,漆家福. 声波测井资料在平均速度场中的应用[J]. 西南石油学院学报,2003,25(1):9.
[8] 尚延安. 塔里木盆地轮南地区速度场的建立和应用[J]. 油气地质与采收率,2008,15(4):49.
[9] 曾驿,汪瑞良,刘从印. 变速成图技术在番禺 4 洼低幅构造研究中的应用[J]. 内蒙古石油化工,2010,47(4):117.
[10] 冯全雄,黄兆林,葛勇. 模型研究指导层速度解释方法探索及应用[J]. 内蒙古石油化工,2010,47(4):117.
[11] 马海珍,赢学善,杨午阳,等. 地震速度建模与变速构造造成图[A]. 全国石油物探西部地区第十次技术研讨会论文专辑,2001.
[12] 吴清岭,李来林,李慧. 约束速度反演在大庆油田复杂构造成像中的应用[J]. 大庆石油地质与开发,2009,28(5):295.
[13] 杨淑卿,王立歆,黄剑航,等. 反射走时及走时梯度联合层析速度反演方法研究[J]. 油气地球物理,2008,6(1):11.
[14] 张玉芬. 测井资料约束的层速度反演[J]. 石油与天然气地质,1998,19(3):227.
[15] 王天禧. 石油地震勘察数据叠前速度反演稳定性初步分析[J]. 中国海上油气(地质),1998,12(3):206.

作者简介:万欢(1969—),男,高级工程师,硕士,现任中国海洋石油能源发展钻采院物探总工,研究方向是地球物理方法运用与地质综合研究相结合,提高海洋油气勘探成功率。

ABSTRACTS

THE METHOD RESEARCH FOR VELOCITY FIELD ESTABLISHING IN THE COMPLEX DEEPWATER AREA

WAN Huan¹, PANG Jian-dong², YANG Ping-hua², et al. (1. CHOOC Energy Technology and Services Limited, Drilling Engineering Research Institute, Tianjin 300000, China; 2. CNOOC Energy Technology and Services Limited, Drilling Engineering Research Institute, Zhanjiang 524057, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 1

In the deepwater exploration, it is difficult to get the accurate velocity as there is varying water-depth (most over several kilometers), fewer wells and complex geologic condition in the continental slope area. Depth conversion of the direct use of stack velocity will lead to distortion of sedimentary layer structure. Only use drilling speed for the depth prediction of deepwater area will also lead to large errors. Based on the analysis of velocity structure characteristics and influencing factors, authors select the best velocity-inversion method due to the research of forward modeling. Then build up the depth conversion method suitable for the deepwater area of Baiyun sag, by use of the mutual restraint of drilling speed, velocity of coherent inversion and seismic stacking speed. This method resolves tectonic distortion owing to rough subsea preferably, and improves depth-prediction accuracy consumedly.

Key words: forward modeling; coherent velocity; inversion of pre-stack; lateral velocity picking; time-depth conversion; velocity field

ROCK VELOCITY REVERSE CAUSE ANALYSIS BASED ON GASSMANN EQUATION

LIN Kai¹, ZHONG Jie-lin², HE Zhen-hua¹, et al. (1. State Key Lab. of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. No. 141 Exploration Team, Sichuan Bureau of Coal Geological Exploration, Deyang 618000, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 7

RATION, 2012, 34(1): 7

Gassmann effective medium theory is the most classic and most basic rock physics model. On this basis, the other equivalent model established greatly enriched media saturated rock elastic wave propagation theory. Gassmann theory is mainly used for dealing with the issue of fluid substitution, but fluid substitution always appear "reverse phenomena" under certain conditions. Interpreted as the porosity under a certain, fully gas-saturated rock velocity more than water-saturated, which is contrary to the result of physics rock laboratory test. Therefore, graphic analysis the cause of saturated rock speed reverse for different rock sample and well log data, found that the density difference of saturated rock is too large causes leading to reverse. At the same time, the saturation of carbonate reservoir rocks were replaced by numerical simulation, the simulation results was consistent with the laboratory test data, only carbonate rocks of different porosity size. Therefore emphasizes on the importance of fluid substitution forward modeling, the actual value of fluid substitutions only under certain physical meaning.

Key words: gassmann effective medium theory; fluid substitution; cause analysis; reverse phenomenon

ANALYSIS AND APPLICATION OF THE SEISMIC REFLECTION MODE OF CHANNEL SANDS FOR J1Y FORMATION IN MAHUANGSHAN WESTERN BLOCK

CHONG Li-ping (Exploration and Development Research Institute of North China Branch, SINOPEC, Zhengzhou Henan 450006, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2012, 34(1): 12

Mahuangshan western block includes complex fault zone in western and stable region of formation in eastern, the main traps of the former are the structural traps and the main traps of the latter are the structural-lithological traps, but the sand body of J1y formation is thin and changes