

混合速度建模技术 在东海西湖凹陷复杂断块解释中的应用

周静毅¹, 潘新朋², 李振伟¹

(1. 中国石化上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 上海 200120; 2. 中南大学地球物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:地震勘探中建立合理的速度场是一项至关重要的工作。在地震资料解释中时深转换的准确与否取决于速度。多项式拟合得到的时深关系在单口井较为准确, 对于复杂地区显得不合理。为了得到更为合理的构造图, 采取了混合速度模型技术。混合速度建模技术首先加入地震处理速度体作为参考, 其次利用精细解释的断层和层位建立构造框架模型作为横向约束, 钻井的时深关系和地质分层数据作为纵向约束生成混合速度模型。用混合速度模型得到的深度更接近实际钻井数据, 误差更小, 降低了勘探风险。

关键词:地震解释; 复杂断块; 混合速度建模; 勘探风险; 西湖凹陷

中图分类号: P631 **文献标志码:** A

Application of hybrid velocity modeling technique in the interpretation of complex fault blocks in Xihu Depression in the East China Sea

ZHOU Jingyi¹, PAN Xinpeng², LI Zhenwei¹

(1. Exploration and Development Research Institute of SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China;

2. Central South University Geophysical Institute, Changsha 410083, China)

Abstract: It is very important to establish a reasonable velocity field in seismic exploration. The accuracy of time-depth conversion in seismic data interpretation depends on the speed. The time-depth relationship obtained by polynomial fitting is more accurate in a single well, but it is unreasonable for complex areas. To obtain a more reasonable tectonic map, the hybrid velocity model technique is adopted. The hybrid velocity modeling technology first adds the velocity volume of seismic processing as a reference, then builds a structural framework model using the well-interpreted faults and layers as a horizontal constraint, and finally generates a hybrid velocity model by using the time-depth relationship of the drilled wells and the geological stratification data as a longitudinal constraint. The depths obtained with the hybrid velocity model are closer to the actual drilling data, and the error is smaller, reducing the exploration risk.

Key words: seismic interpretation; complex fault block; hybrid velocity model; exploration risk; Xihu Depression

引用格式: 周静毅, 潘新朋, 李振伟. 混合速度建模技术在东海西湖凹陷复杂断块解释中的应用[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(3): 289-292, 307.

ZHOU Jingyi, PAN Xinpeng, LI Zhenwei. Application of hybrid velocity modeling technique in the interpretation of complex fault blocks in Xihu Depression in the East China Sea[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 289-292, 307.

地震波在介质中的传播速度是地震资料解释、处理的重要参数^[1]。在地震资料的处理和解释环节中, 地震速度场的建立是不可缺少的。在偏移前要建立速度场, 汪功怀等^[2]利用叠加偏移速度联合反演求取层速度, 利用测井资料对地震速度场约束校正提高了速度场的精度。在地震解释构造成图前也需要速度模型^[3-7]。王香文^[7]利用三维叠加速度构建整个区域速度, 利用钻井曲线、地震解释层位对速度体约束、标定和筛选建立平均速度模型用于

时深转换。黄兆辉等^[8]提出了利用速度控制点法建立速度模型的改进措施。罗胜元等^[9]利用VSP速度对地震层速度的局部误差进行闭合差校正, 减小了速度误差。这些速度场的确定方法对于传统的速度场而言, 都是加入了一定的约束条件, 减少其不

收稿日期: 2023-02-04; 改回日期: 2023-05-11。

第一作者简介: 周静毅(1980—), 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋地震资料综合研究, E-mail: zhoujingyi.shhy@sinopec.com。

确定性降低速度误差。在海洋石油天然气勘探中,钻井较少的情况下,准确的速度场可以降低勘探目标的风险。传统的时深关系一般有井上速度多项式拟合法和地震处理速度体建模法^[7-11]。前者对于地质结构简单、地层平缓的工区可以使用;后者是利用Dix公式将叠加速度转换为层速度和平均速度获取,可适用于中等复杂的地质目标。西湖凹陷T区块岩性横向变化快,地层非均质性强,常规的速度建模方式已经不能满足勘探要求,本文提出了混合速度建模方法来建立速度模型:以地震处理速度为参考,钻井时深为基础,以精细解释的断层和层位建立构造框架为约束,用钻井地质分层数据做校正,最后建立合理的速度模型,用于地震解释中构造成因前的时深转换。

1 地质概况及存在问题

T区块位于东海陆架盆地西湖凹陷斜坡带,地形呈西高东低,中间高南北两侧低。区块内发育新生代地层,有始新统平湖组和渐新统花港组,中新统龙井组等地层。T区块受多期构造运动的影响,断裂发育,构造复杂,速度横向变化快。整个T区块可以分为南北两块,南部扭张构造发育区和北部伸展构造发育区。南部又可以进一步划分为平湖大断裂帚状断裂发育区和反向断层帚状断裂发育区;北部可以进一步划分为张性平行断裂发育区和弱扭张平行断裂发育区(图1)。从地震剖面特征来看,从北西到东南方向地震剖面表现为断阶,于中深层地层而言,平湖组地层跨越的深度从3 000 m到4 500 m不等,由于埋深的影响其孔隙度等物性参数也不同,导致其横向速度差异变化大。钻井速度的多项式拟合和地震速度体建模显得不适用,因此提出了混合速度模型来建立速度场以符合实际的地质情况。

2 混合速度模型的建立

混合速度模型的建立主要分为3个步骤:第一步,用解释的断层和层位建立精细地质框架模型;第二步,用钻井速度和处理的地震速度等对框架模型进行速度充填得到初始的速度模型;第三步,层位的时深转换后利用井上分层进行质控,检查深度误差是否符合要求。具体技术流程如图2。

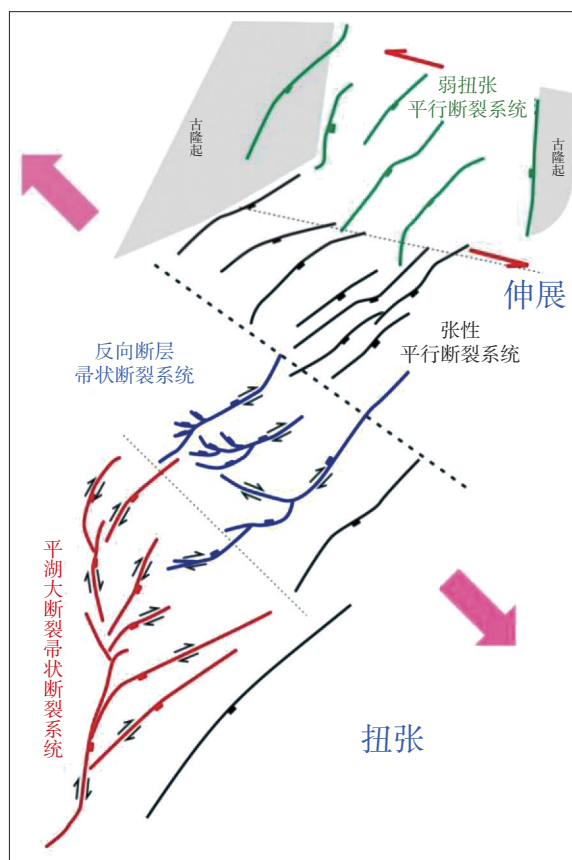


图1 东海西湖凹陷T区块断裂平面样式分布

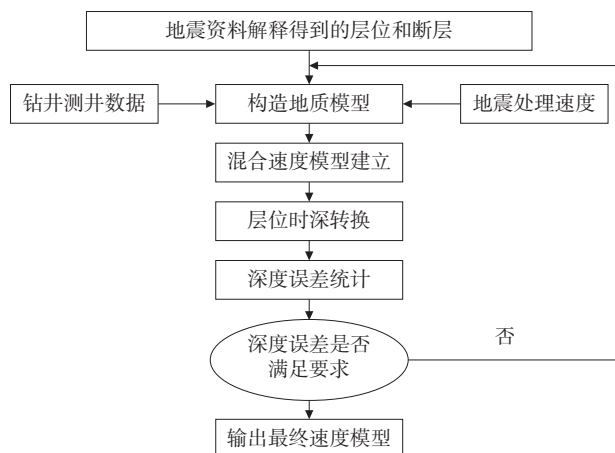


图2 T区块混合速度模型建立技术流程

2.1 利用断层和层位建立框架模型

在井震标定基础之上,对工区内的主要地震层位进行闭合解释。抽取不同方向绕开断层的任意线和过井线,用于层位解释结果的质控,以确保解释层位准确,为构造模型提供基础。构造框架的建立是混合速度模型的重要步骤。根据T区块精细解释的断层和层位来建立构造框架(图3),同时需要对断层的接触关系进行定义。

2.2 地震速度优化处理分析

在T区块有一块三维速度谱资料,为叠前深度

偏移精细处理的地震速度,采用了先进的地震速度处理技术:提高信噪比三维噪音压制技术、曲波域多次波压制技术、消除假象的稀疏tau-p 鬼波压制技术、精细速度分析。

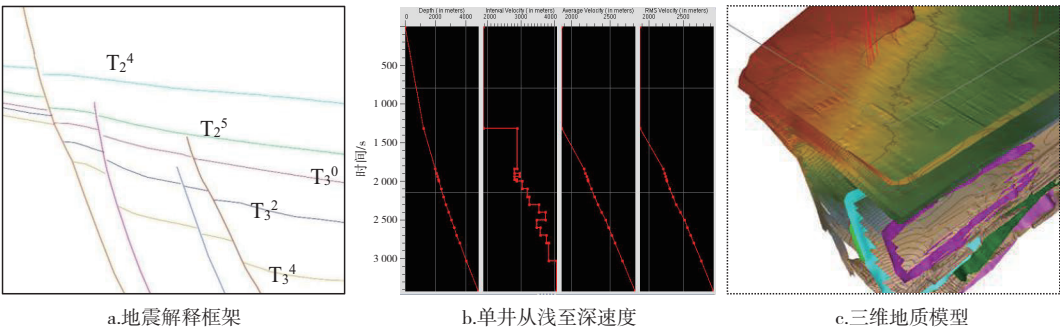


图3 T区块地质构造模型

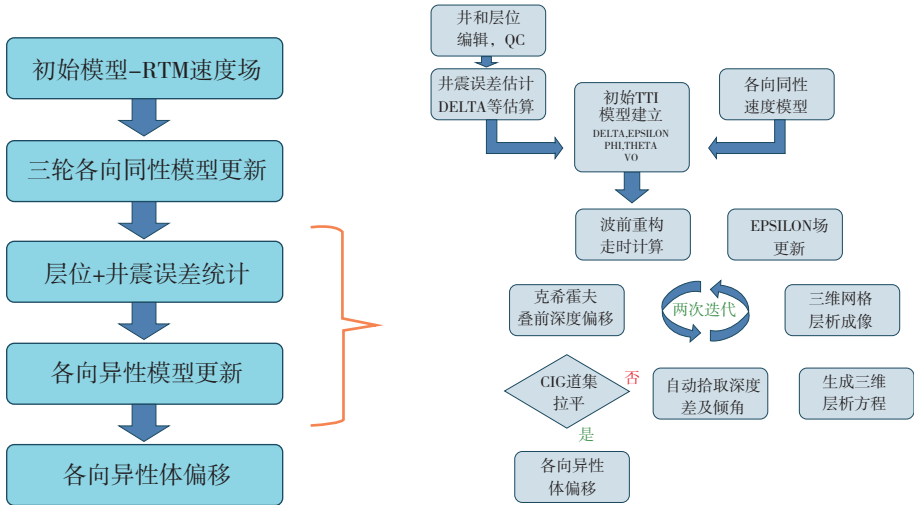


图4 地震速度处理流程

处理解释一体化优化速度建模。由于解释层位离散、不连续,偏移处理需要连续光滑且不能交叉的层位信息,因此需要作以下几个相应处理:(1)网格化,目的是建立层位与工区对应关系;(2)插值、外推、平滑,达到建立完整的连续光滑层位;(3)编辑交叉层位,需要首先判断两层是否有交叉情况,如果有交叉情况,在重叠部位,把较浅层位重新编辑。经优化处理后的地震速度作为速度模型的充填速度。

2.3 井上时深关系分析

而对于T区块而言,可以获取的相对可靠的井上速度。但来自声波曲线的时深关系更容易产生噪音,对其分析质控,是建立速度模型前最重要的准备工作。对T区块内的多口井进行合成地震记录制作,完成地震层位标定。以主要目的层为基础,对井上分层和过井地震剖面检查,建立工区内合理的时深关系。由于这几口井都靠近主断裂附近,因

此速度比较相似,而往东离主断裂越远,地层越深,同一深度速度差异明显。

2.4 混合速度模型的建立

根据建立的构造框架模型将模型沿层分割,每一层有其特定的网格。对于T区块而言,目的层为平湖组(T_3^0 – T_3^4),对构造框架模型进行速度充填后,每个层段可以定义不同的速度来源。从上往下:第一层(海水层),海水层就充填固定的速度1 500 m/s;第二层,对于浅部(海底到 T_2^3)用函数速度,函数速度定义式:

$$V(z)=1\,500+0.5z \tag{1}$$

式中, z 表示深度,m。第三层,也是目的层(T_2^4 – T_3^4)使用井上合成记录标定速度来充填;第四层,深部(T_3^4 以下)仅用地震优化处理的速度。这种混合速度建模的方式可以解决浅井时深关系缺失和不准的问题,也可以解决深井缺时深关系的问题。对于速度变化剧烈区,使用高密度采样网格。

速度的网格化如图5所示。不规则采样的速度以地层分辨率在深度域内被网格化。每个地层在整个模型范围内被网格化(层位边界除外)。模型中的每一个层位初始都被赋予相对应地层的网格化后地震速度。所有后续计算都与这个背景模型相关。如果在同一个网格单元中,对应有多个地震函数速度值,那么所有的结果计算平均值,这个平均值将被放在网格单元的中心。如果地震速度函数值被过

采样,那么距离网格节点最近的采样值将被采用。

建立了T区块的混合速度模型如图6所示。井分层数据是应用级别最高的,会无条件将分层标定结果应用到速度模型中,因此,井分层标定的正确性特别重要。井上深度域分层数据是应用到速度模型中最可靠的数据。由于井上分层会用于引导空间插值,因此进行校正之前对错误的地质分层进行检查,以保证速度校正的准确性。

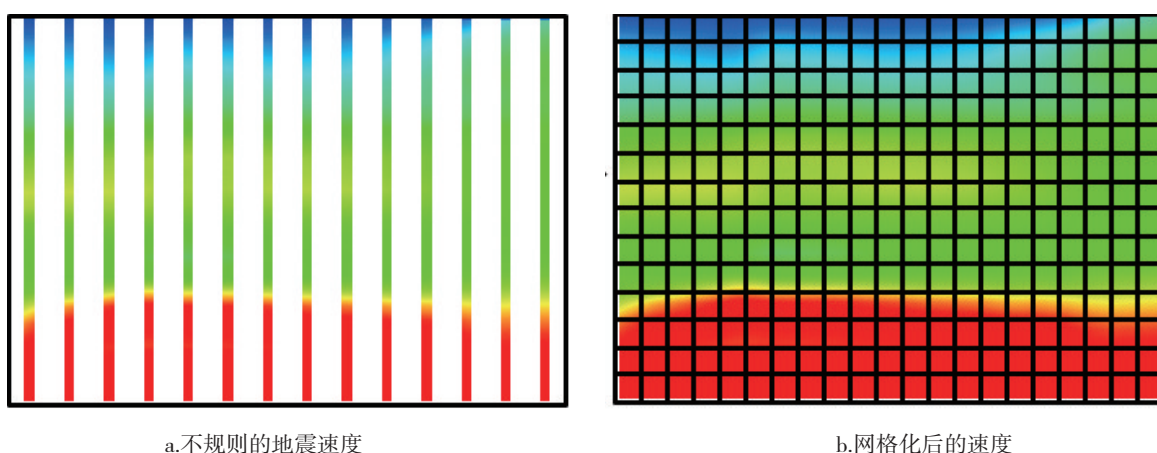


图5 速度的网格化过程

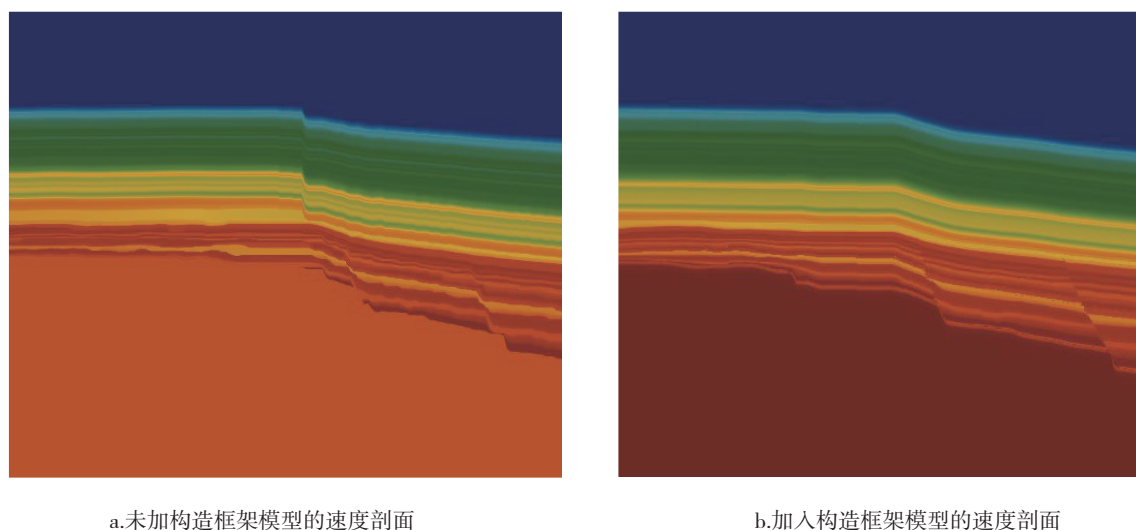


图6 T区块速度模型对比

2.5 速度误差分析

将基于构造框架且没有钻井分层所参与的混合速度模型对解释的时间域层位进行了时深转换,得到主要目的层的深度构造图,如图7所示,将钻井地质分层与深度构造图进行深度误差分析。从表1

混合速度模型所转深度与实际钻井深度的对比结果来看,可以看到用混合速度模型所转的深度与实际钻井地质分层深度接近,在合理的误差范围内,而且误差值较小,为后期区块的勘探部署提供了准确的速度模型和技术支撑。(下转第307页)

内部侧积层定量表征[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 137-141.

[12] 叶小明, 刘小鸿, 张岚, 等. 曲流河储层构型建模方法研究进展[J]. 中国海上油气, 2022, 34(1): 84-93.

[13] 周连敏, 王晶晶, 林火养, 等. 复杂断块不整合地层地质建模方法[J]. 断块油气田, 2018, 25(2): 181-184.

[14] 张存才, 付志国, 黄述旺. 曲流河点坝砂体内部建筑结构三维地质建模[J]. 海洋石油, 2007, 27(4): 19-24.

[15] 霍春亮, 叶小明, 高振南, 等. 储层内部小尺度构型单元界面等效表征方法[J]. 中国海上油气, 2016, 28(1): 54-59.

[16] 尹楠鑫, 罗波波, 向守洪, 等. 文南油田文33断块沙二下亚段储层构型建模研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2020, 22(4): 1-5, 64.

[17] 乔勇, 李少华, 李君. 基于改进布尔模拟的曲流河点坝建模[J]. 断块油气田, 2010, 17(3): 274-276, 292.

[18] 范峥, 吴胜和, 岳大力, 等. 曲流河点坝内部构型的嵌入式建模方法研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(3): 1-6.

[19] 牟中海, 刘雪, 常琳, 等. 薄互层型沉积体储层构型建模[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(3): 1-12.

[20] 尹艳树, 张昌民, 李少华, 等. 一种新的曲流河点坝侧积层建模方法[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 315-319.

(编辑 卞 炜)

(上接第292页)

表1 混合速度模型转深与实际钻井深度误差对比

地震层位	井名	①混合速度模型所转深度/m	②实际钻遇深度/m	②-①误差/m
T ₂ ⁵	W1	2 784.7	2 788.2	3.5
	W2	2 746.5	2 748	1.5
	W3	2 776.1	2 778.5	2.4
T ₃ ⁰	W1	3 079.9	3 075.5	-4.4
	W2	2 942.4	2 943.8	1.4
	W3	3 023.7	3 026.4	2.7

3 结论

(1)混合速度建模技术过程中精细的断裂和层位解释成果是构造框架模型的基础,有十分关键的作用。

(2)基于框架模型约束的混合速度建模方法适合于速度纵横向变化比较大或地层倾角比较大的地区。

(3)在地质和地球物理特征复杂地区,用混合速度模型建立的速度场更接近实际地层速度。

(4)通过实际工区的应用分析认为,混合速度建模方法可以用来提高速度预测精度,尽可能减少预测深度误差,降低勘探风险。

参考文献:

[1] 陆基孟,王永刚.地震勘探原理[M]. 东营:中国石油大学出版社,2009.

[2] 汪功怀,秦广胜,蔡其新.东濮凹陷地震速度场建立方法与应用研究[J]. 中国石油勘探,2011,16(2): 58-66.

[3] 张敏,李振春.偏移速度分析与建模方法综述[J]. 勘探地球物理进展,2007,30(6): 421-427.

[4] 何敏,朱明,汪瑞良,等.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): 966-971.

[5] 李伍志,王璞珺,张功成,等.珠江口盆地深部基底地层的地震时深转换研究[J]. 地球物理学报,2011,54(2): 449-456.

[6] 王伟,陈易周,刘晓晖,等.基于构造约束的地震速度建模及在东海气田中的应用[J]. 上海国土资源,2020,41(3): 93-96, 103.

[7] 王香文.东岭地区三维速度模型的建立和应用[J]. 勘探地球物理进展,2006,29(6): 412-414, 418.

[8] 黄兆辉,刘洪雷,唐必锐,等.高陡构造地区勘探失误分析及速度建模改进方法——以云安10井为例[J]. 石油物探,2008,47(3): 301-305.

[9] 罗胜元,何生,宋国奇,等.渤南洼陷井-震速度误差分析和速度模型的建立及应用[J]. 石油物探,2014, 53(2): 196-205.

[10] 张志明,曹丹平,印兴耀,等.时深转换中的井震联合速度建模方法研究与应用现状[J]. 地球物理学进展, 2016,31(5): 412-418.

[11] 刘爱群,李强,陈殿远,等.速度预测存在的误区及问题研究——莺-琼盆地天然气勘探典型实例分析[J]. 中国石油勘探,2012,17(1): 42-46.

[12] 王西文,刘全新,苏明军,等.多井约束下的速度建模方法和应用[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(3): 263-267.

[13] 姜岸.多井约束速度建模在海安区块应用[J]. 石化技术,2018,25(7): 317-318.

[14] 潘宏勋,方伍宝.地震速度分析方法综述[J]. 勘探地球物理进展,2006,29(5): 305-311, 332.

[15] 凌云,郭建明,郭向宇,等.油藏描述中的井震时深转换技术研究[J]. 石油物探,2011,50(1): 1-13.

(编辑 刘义梅)