

饶 溯,胡 滨.基于崎岖海底定量校正的时深转换方法[J].海洋地质前沿,2019,35(12):66-73.

基于崎岖海底定量校正的时深转换方法

饶 溯,胡 滨

(中海石油国际能源服务(北京)有限公司,北京 100028)

摘 要:研究区位于深水低勘探区,崎岖海底等普遍存在,受地震、钻井和速度等资料条件的限制,只能采用去海水的拟合公式法进行时深转换。然而去海水拟合公式法时深转换会因崎岖海底而造成假构造现象,且常规的崎岖海底填平校正方法存在一定的不足。用去海水拟合公式法计算出时转深层位,并比较时转深层位与深度域地震资料的横向构造形态变化,引入了构造形态相似率的概念,建立了崎岖海底填平量化评分模板来对崎岖海底进行填平校正,最后根据最高得分值来确定最佳平滑网格的海底和合适的时转深层位,在一定程度上消除了崎岖海底造成的假构造现象和支持了构造成图的需求。

关键词:深水;低勘探区;时深转换;构造形态相似率;崎岖海底;假构造现象

中图分类号:P714+.8;P631.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.12009

0 引言

油气勘探由国内转向海外已成为全球油气勘探的趋势,深水区油气勘探领域备受全球大型石油公司关注。研究区位于海外某深水陆坡区,勘探程度低(地震资料仅含部分二维地震测线和钻井数量少),水深变化大,崎岖海底普遍存在(海底水道发育,重力滑塌,盐底辟,逆冲构造活动)等。

在研究区内,大部分地震测线都是叠前时间域偏移数据,仅有少部分为叠前深度偏移数据。因而在研究区内寻找有利构造目标、划分有利区带、了解勘探目标的构造形态必须通过时深转换方法将时间域数据解释成果转换至深度域中。常规的时深转换方法可以归为 4 类:①井点拟合公式法及崎岖海底校正^[1-2];②速度场法(变速度法)^[3-6];③速度谱转换法及崎岖海底校正^[7-8];④基于精准速度模型的叠前深度偏移法^[9]。研究区

内基础资料薄弱主要表现在:①可利用的钻井速度资料很少,且分布不均,远洋深水区无钻井;②深部地层没有井钻遇,深层地层速度无钻井标定,不确定性大;③叠加速度谱精度低,由叠加速度转成的层速度在深层过大,超出岩性的极限层速度,不能用于时深转换;④地震剖面上反映地层横向展布变化较大;⑤由于二维工区测网稀疏,难以形成覆盖研究区的层位。综上所述,受研究区内资料条件的限制,速度场法、速度谱转换法和基于精准速度模型的叠前深度偏移方法都无法实施,仅可用井点拟合公式法进行时深转换。但应用拟合公式法时深转换将引入重要的问题,即崎岖海底将造成假构造现象。

本文阐述了假构造现象产生的原因和常规崎岖海底校正方法,并分析了常规方法的不足,最终结合研究区内实际资料情况提出了一种基于构造形态相似率的崎岖海底校正方法。此方法通过比较时转深层位与深度域地震资料的横向构造形态变化^[10],引入了构造形态相似率的概念,建立了崎岖海底填平量化评分模板来对崎岖海底进行填平校正,根据最高得分值来确定最佳平滑网格的海底和合适的时转深层位,在一定程度上可以消

收稿日期:2019-01-25

作者简介:饶 溯(1989—),男,硕士,工程师,主要从事海外油气勘探及油气田开发研究工作。E-mail:raosu@cnooc.com.cn

除崎岖海底造成的假构造现象。

1 方法理论

1.1 假构造现象产生的原因

对于海外陆坡深水低勘探研究区,通常采用的时深转换方法主要包括以下几步:

(1)对不同水深井进行去掉海水影响的公式拟合,建立仅表征地层速度的时深关系式;

(2)将井点处的时深关系推广至平面上其他位置,将研究区内的时间厚度成果转换成为地层厚度成果;

(3)将转换的地层厚度成果加上各个位置的海水深度值即得到了实际地层深度值。

此方法会引起假构造现象,本文以一个单海沟的时-深转换模型为例(如图 1 所示)来说明产生假构造的原因。计算公式如下:

$$D_{\text{研究层}} = V_{\text{海水}} t_{\text{海水}} + V_{\text{地层}} (t_{\text{研究层}} - t_{\text{海水}}) = V_{\text{地层}} t_{\text{研究层}} - (V_{\text{地层}} - V_{\text{海水}}) t_{\text{海水}} \quad (1)$$

式中: $t_{\text{研究层}}$ 为 A、B 两点旅行时;

$t_{\text{海水}}$ 为海平面到海底的旅行时;

$V_{\text{海水}}$ 为海水速度;

$V_{\text{地层}}$ 为地层平均速度。

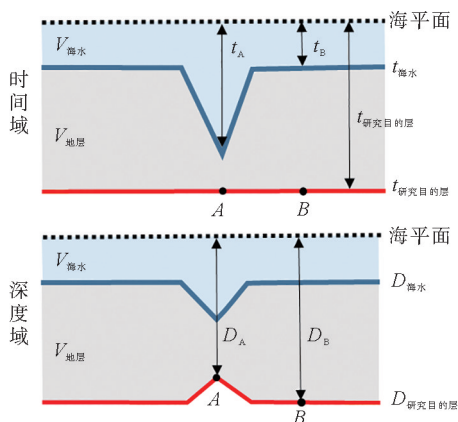


图 1 单海沟时-深转换模型

Fig.1 Time-depth conversion model for single trench seabed

对于公式(1)中,可假设 $t_{\text{研究层}}$ 、 $V_{\text{海水}}$ 、 $V_{\text{地层}}$ 为常量,唯一变化值仅有 $t_{\text{海水}}$,故影响 A 和 B 两点处的深度值 D_A 和 D_B 仅有 $t_{\text{海水}}$ 一项。对于 A 和

B 两点处 $t_{\text{海水}}$ 分别取 t_A 和 t_B ,如图 1 所示,A 点处为海沟时, $t_A > t_B$,并根据公式(1)有 $D_A < D_B$,故可见深度域模型 A 点处明显的假构造现象。反之当 A 点为海底凸起时,有 $D_A > D_B$ 。当研究目的层埋深过深时,公式(1)中 $t_{\text{海水}}$ 的系数项地层平均速度与海水速度的差值将变大,从而将扩大 A 点处假构造现象的特征。

1.2 常规崎岖海底填平校正

用于消弱崎岖海底引起假构造现象可进行“填平或削平”校正处理^{[2][11]},其基本原理为:由于海沟的存在,导致地层速度横向突变,故时-深转换后 A 点出现假构造现象。当海水速度和地层平均速度一定时,地层实际深度值仅受到公式(1)中 $t_{\text{海水}}$ 的影响,可通过减小如图 1 中所示 t_A 和 t_B 的差值,相当于对海沟及周边区域的海底层位按照海底地貌沉积趋势规律进行校正。这种校正方法称为海底移动平均校正或人工填平解释海底,该方法选择垂直于海沟方向的测线,按海底隆起和海沟底为包络多次移动平均收敛校正,在一定程度上有助于消除这种速度横向突变所引起的假构造现象。但该方法存在以下不足:①需增加一定的人工解释工作量;②填平尺度未给出合理量化的合理说明;③仅适用于海沟小且数量较少的研究区;④研究目的层较浅。

1.3 本文校正方法

对于本研究区,其主要影响因素有 4 项:①水深变化快(500~4 000 m)、水深大(普遍 > 1 500 m);②崎岖海底普遍存在(崎岖海底之间间隔约 10~20 km);③研究层位埋深大(7 000~8 000 m,钻井仅钻遇浅部地层(~3 000 m));④时间域地震资料在大断层附近偏移不准,从而影响构造解释及成图(图 2)。

考虑到研究区内除了有时间域地震资料,还有少量深度域地震资料,故可对常规海底填平方法进行改进,以深度域地震资料地层横向构造形态为判别标准,建立基于构造形态相似率的崎岖海底校正方法。其中有 3 项关键技术:

(1) 构造形态相似率

本方法假设:鉴于叠加速度谱转换的层速度在深层位置畸大,故深度域地震资料的深度绝对

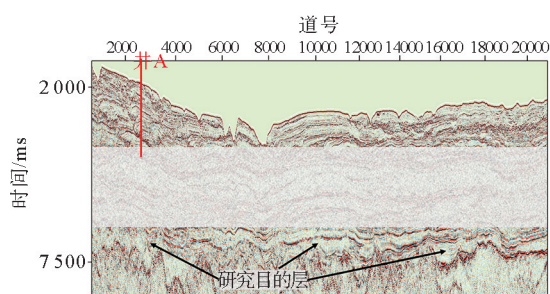


图2 深水低勘探区地震剖面示意图

Fig.2 A sketch seismic section in deep-water and low exploration area

值不太准确,但是反映地层横向的构造特征是较为准确的。如图3所示,假设黑色层位为时间域解释层位,红色和粉色层位为通过不同时深转换方法或不同崎岖海底校正参数而获得的2个深度域层位,蓝色层位为深度域地震资料解释层位。直接对比蓝色层位,从绝对深度上看,粉色与蓝色层位更为接近,但从构造形态上看,红色层位与蓝色层位更为相似。依据上述假设可认为红色层位代表的时深转换方法和崎岖海底校正参数更为合理。同时也可认为构造形态的相似程度可作为判别时深转换方法和崎岖海底校正参数优劣的依据。本文采用统一的去海水拟合公式法来进行时深转换,故时深转换层位仅受崎岖海底校正参数的影响。

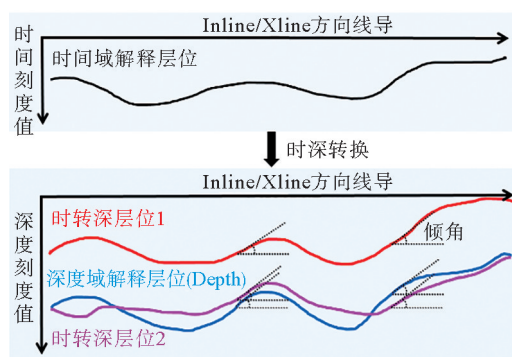


图3 时深转换深度值准确性判断标准示意图

Fig.3 A sketch showing the judgment standard for depth value accuracy of time-depth conversion

构造形态的相似程度可表示为:时深转换层位与深度域解释层位在每个样点位置的倾角之差,如下公式(2)所示。

$$\Delta\theta = |\theta_{\text{时深}} - \theta_0| \quad (2)$$

式中: $\theta_{\text{时深}}$ 为某一个样点位置时转深层位的倾角;

θ_0 为某一个样点位置深度域解释层位的倾角。

倾角差 $\Delta\theta$ 越小,表明两个层位形态更为相似。为了确定最佳时深转换层位和合理的崎岖海底校正参数,定义了误差容忍度 ϵ 。当 $\Delta\theta < \epsilon$ 时,表示倾角差 $\Delta\theta$ 在一定误差容忍度范围内,能接受该样点位置上时转深层位结果。误差容忍度 ϵ 可以选取不同的大小,当 $\epsilon \gg \Delta\theta$ 时,时转深层位上更多样点位置上时转深层位结果能被接受。反之,当 $\epsilon \ll \Delta\theta$ 时,时转深层则很难被接受。故定义构造形态相似率为:时转深层位在每个样点位置上倾角差 $\Delta\theta$ 小于误差容忍度 ϵ 的概率,且构造形态相似率可作为时深转换准确性和崎岖海底校正参数优劣的主要判别标准。

(2)海底自动化平滑网格

常规崎岖海底校正方法多为海底移动平均校正或人工填平解释海底,其填平方法受人为因素影响较大。为消除这种影响,试验不同的平滑网格参数以获取不同的海底,进而得到不同的时转深层位。通过计算时转深层位与深度域解释层位的倾角差,计算出构造形态相似率,确定出最佳填平的平滑网格参数。通过该项关键技术可以减少填平海底的不确定性,可增强海底填平方式的可解释性,在一定程度上减少人工解释海底的工作量。

(3)量化评分优选

本文假设倾角差 $\Delta\theta = 1$ 度为“低误差容忍度”,即不同平滑网格参数的时转深层位与深度域解释层横向构造特征相似高;假设倾角差 $\Delta\theta = 2$ 度为“中等误差容忍度”,即两者横向构造特征相似较高;假设倾角差 $\Delta\theta = 3$ 度为“高误差容忍度”,即两者横向构造特征相似一般。

依据不同平滑网格参数的时转深层位与深度域解释层横向构造特征相似程度的排序,可对不同误差容忍度给予不同的权重分值:低误差容忍度时给权重大值,高误差容忍度时给权重小值。“低误差容忍度”、“中等误差容忍度”、“高误差容忍度”的权重分值分别记为3、2、1。另外对每个误差容忍度情况下,针对不同平滑网格参数的构造形态相似率大小,按由低到高分别记为从小到大的分值。

选择一定数量的二维测线,根据误差容忍度的权重分值和构造形态相似率的分值打分,制作出评分模板。最后将不同二维测线各个相同平滑

网格参数的得分求和,取总得分值最高对应的平滑海底为最佳平滑网格参数的海底。用此海底进行时深转换即得到较为合适的时转深层位,并能合理地支持构造图的需求。

2 方法实现及试验

2.1 方法步骤

本文方法的基本步骤可分为:

(1)解释时间域层位,利用钻井的时深关系拟合去海水的公式;

(2)对时间域海底层位采用不同平滑网格参数进行自动化处理,得到不同平滑网格参数的海底时间域解释层位;

(3)计算研究目的层到海底的时间厚度,根据去海水的拟合公式时深转换出地层厚度,再加上不同平滑网格参数的海底,得不同的研究目的层时转深层位;

(4)对比不同的研究层时转深层位与深度域解释层位的构造相似率,通过量化评分优选出最佳平滑网格参数的海底。

本文方法相应的技术流程见图 4。

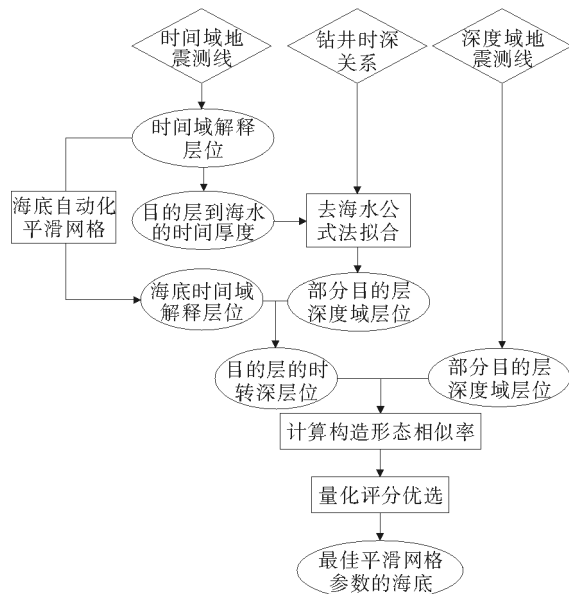


图 4 基于构造形态相似率的崎岖海底校正的技术流程图

Fig.4 Technical flow chart of the correction method of rugged seabed based on structural similarity

2.2 方法试验

以某 2 条测线为例来阐明本方法的具体试验过程。如图 5 所示,先对 1 号测线上的时间域海底层位分别采用 2 km、4 km、6 km、8 km、10 km 平滑网格参数进行海底自动化平滑网格处理,再依据图 6 中的该区时深关系拟合公式,可计算得出图 7 中不同平滑网格参数下的研究层时转转换层位。通过对比深度域解释层位,分别计算出“低误差容忍度”、“中等误差容忍度”和“高误差容忍度”情况下的构造形态相似率,将其汇总为表 1。按类似方法同理可得表 2。

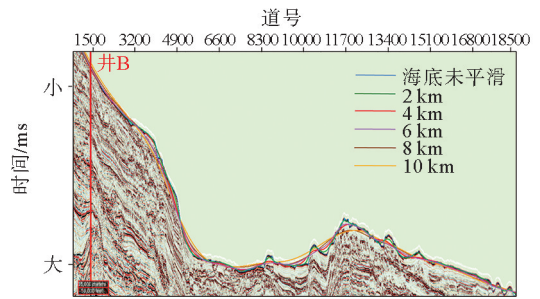


图 5 1 号测线上不同网格平滑参数下的时间域海底层位

Fig.5 Sea bottom horizon in time domain with different mesh smoothing parameters in Line1

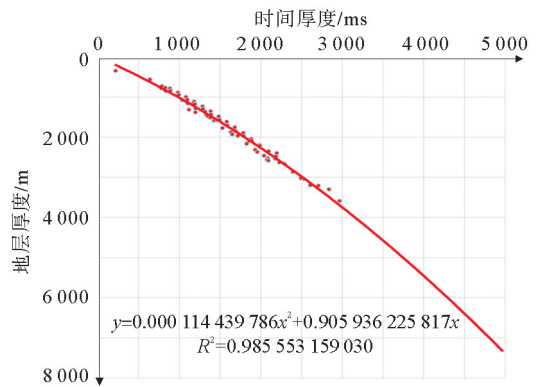


图 6 去海水公式拟合的时深关系图

Fig.6 The graph of time-depth relationship of the fitting formula method of removing depth of sea

从表 1 中可见,1 号测线上平滑网格 4~8 km 效果较好,未经平滑而直接使用的水底层位误差最大,即海底普遍存在时误差最大,这与前述的构造假象分析结果一致。2 号测线采用相同的步骤

有试验结果见表 2,平滑网格 8~10 km 效果较好,而 2 km 以下的平滑网格较差。因此,不同测线的平滑网格参数可能是不同的,其原因是在不同海沟位置的海沟宽窄可能不一致,考虑海底自动化网格填平的实用性忽略其影响,则认为 4~10 km 均可选用,而在未经平滑的海底层位形态相似率最低。

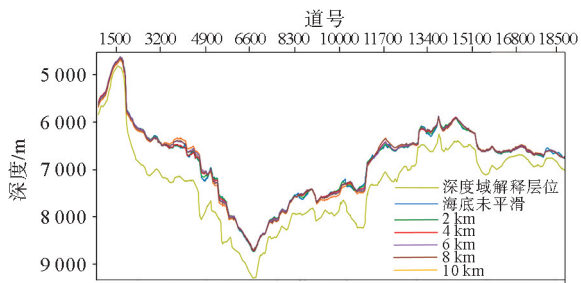


图 7 1 号测线上不同网格平滑参数下的时转深层位与深度域解释层位对比图

Fig.7 Comparison of interpreted horizon in depth domain and sea bottom horizon in time domain with different mesh smoothing parameters along Line1

表 1 1 号测线上不同网格平滑参数的构造形态相似率
Table 1 Structural similarity rate of different mesh smoothing parameters of Line1

海底层位的网格 平滑参数/km	误差容忍度		
	高	中	低
未平滑	0.378	0.642	0.774
2	0.522	0.743	0.866
4	0.574	0.782	0.877
6	0.547	0.781	0.877
8	0.554	0.777	0.872
10	0.539	0.773	0.882

表 2 2 号测线上不同网格平滑参数的构造形态相似率
Table 2 Structural similarity rate of different mesh smoothing parameters of Line2

海底层位的网格 平滑参数/km	误差容忍度		
	高	中	低
未平滑	0.675	0.850	0.907
2	0.715	0.834	0.894
4	0.685	0.869	0.936
6	0.723	0.904	0.952
8	0.762	0.920	0.951
10	0.740	0.907	0.958

对表 1 和表 2 中的结果,分别给定不同程度误差容忍度和构造形态相似率一定的分值,可见表 3 和表 4。从中可以看出,1 号测线上的得分值最高,为 4 km 网格平滑参数,而 2 号测线上的得分值最高,为 8 km 网格平滑参数。折中处理,将 1 号和 2 号测线上的得分值求和,并对总得分值重新排序,计算可知 8 km 网格平滑参数的总得分值最大,即 8 km 网格平滑参数为填平崎岖海底的最佳参数。

表 3 1 号测线上不同网格平滑参数的评分模板
Table 3 Score value template of different mesh smoothing parameters of Line1

海底层位的网格 平滑参数/km	误差容忍度			合计分值
	3	2	1	
未平滑	1	1	1	6
2	2	2	2	12
4	6	6	5	35
6	4	5	4	26
8	5	4	3	26
10	3	3	6	21

表 4 2 号测线上不同网格平滑参数的评分模板
Table 4 Score value template of different mesh smoothing parameters of Line2

海底层位的网格 平滑参数/km	误差容忍度			合计分值
	3	2	1	
未平滑	1	2	2	9
2	3	1	1	12
4	2	3	3	15
6	4	4	5	25
8	6	6	4	34
10	5	5	6	31

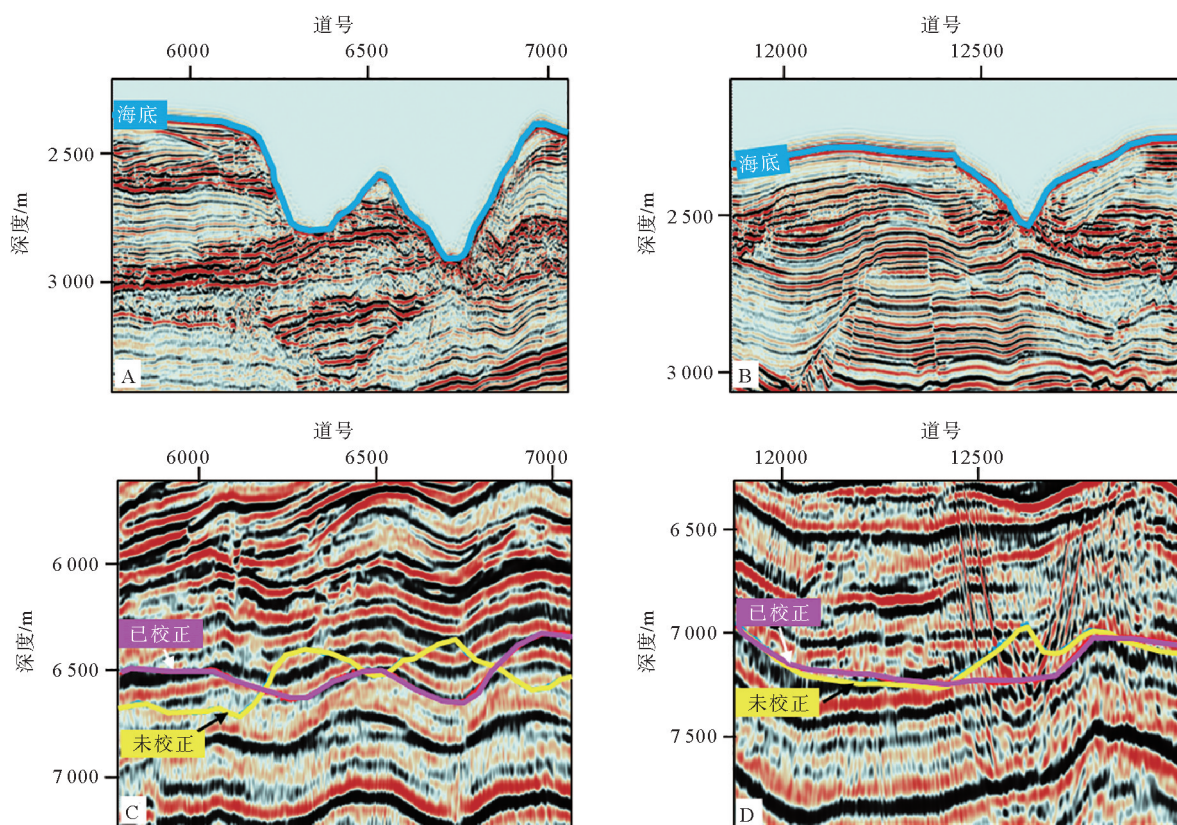
3 应用效果

将基于构造形态相似率的崎岖海底校正的基本方法和技术流程,推广应用到整个研究区中,对其进行时深转换,对构造解释和圈闭落实的最终结果产生了一定的影响,可证实本文方法能较好地消除崎岖海底引起的假构造现象。研究区中选取 10 条深度域二维地震测线的解释成果作为计

算形态相似率的标准,并确定 8 km 网格平滑参数为整个研究区填平崎岖海底的最佳参数。本文选取图 2 中两个崎岖海底位置的深层目的层作为实际应用展示。

如图 8 所示,在地震剖面上通过在该两个崎

岖海底位置研究层位的对比,未对海底进行校正的黄色时深转换层位存在较为明显的假构造现象,而经本文方法校正的粉色时深转换层位在一定程度上就消除了崎岖海底引起的假构造现象。



(A)崎岖海底位置 1;(B)崎岖海底位置 2;(C)研究目的层位置 1;(D)研究目的层位置 2

图 8 未校正海底与本文方法校正海底的研究层位变化

Fig.8 Change between the study horizon of uncorrected seabed and the study horizon after seabed correction

如图 9 所示,在平面图上通过未校正海底和本文方法校正海底的构造图中对比,发现圈闭的类型未有变化,但圈闭的形态、高点埋深、面积大小和幅度都有一定的变化,故能在一定程度上消除崎岖海底在时间域地震资料中对构造解释和圈闭落实的影响,是勘探项目研究和区带评价中解决崎岖海底影响的有效技术手段。

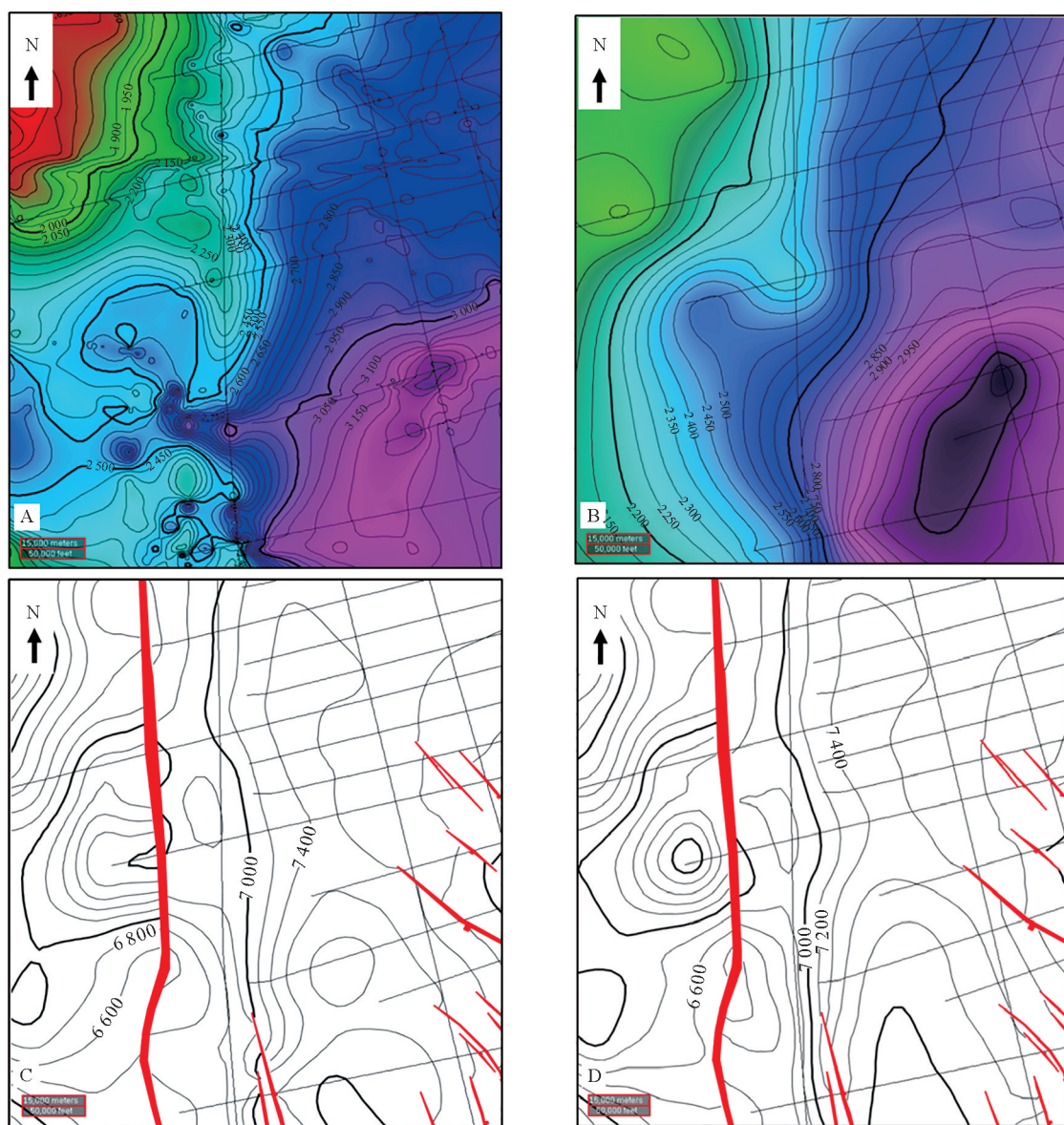
4 结论

鉴于研究区水深大、水深变化、崎岖海底普遍存在、仅有二维地震测线、钻井少且钻井浅、速度

资料基本不可用的特殊条件下,只能采用公式法进行时深转换。而采用公式法必然受崎岖海底引起假构造的影响。本文通过去海水拟合公式法计算出时转深层位,并比较时转深层位与深度域地震资料的横向构造形态变化,引入了构造形态相似率的概念,建立了崎岖海底填平量化评分模板来对崎岖海底进行自动化方法校正。研究结果表明:

(1)常规校正方法对于如何填平海底未给出量化的合理说明,而本文方法通过评分优选可量化获取填平参数;

(2)常规校正方法仅多用于海沟小、海沟数量



(A)未校正的海底;(B)本文方法校正的海底;(C)未校正的目的层;(D)本文方法校正的目的层

图9 未校正海底与本文方法校正海底的构造图变化

Fig.9 Comparison between the structural map of uncorrected seabed and the structural map after corrected seabed correction

较少和研究目的层较浅的研究区,而本文方法并不受海沟数量及大小的限制,且对深层研究目的层同样适用;

(3)常规校正方法需增加一定的人工解释工作量,而本文方法并不需要大量的人工填平解释海底的工作量,仅需部分深度域二维地震测线的解释层位;

(4)在崎岖海底普遍存在的深水陆坡低勘探区项目研究和区带评价工作中,本文方法对时深

转换和构造成图有一定的支持作用。

参考文献:

- [1] 张英德,彭佳勇,郝立业,等.海外深水复杂地质条件下时深转换难点及技术对策[J].地球物理学进展,2012,27(4): 1484-1492.
- [2] 喻英梅,张英德,彭佳勇.海底峡谷对深部地层时深转换的影响及其消除方法[J].中国海上油气,2008,20(4): 236-238.
- [3] 徐立恒,鲜波,薛玉英,等.高精度地震时深转换方法研究

- 及应用[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(5):1712-1719.
- [4] 李 军.三维地震资料解释中时深转换方法对比分析及应用[J].海洋石油,2014,34(1):36-40.
- [5] 张国栋,廖 仪,马光克.速度体高精度建模法在深水 M 气田时深转换中的应用[J].地球物理学进展,2016,31(5):2246-2254.
- [6] 黄兆林,王兴芝,李添才,等.变速成图技术在南海西部地区的应用[J].海洋地质前沿,2011,27(11):55-59.
- [7] 刘 杰,秦成岗,全志臻,等.一种识别陆架坡折带“隐形构造”的时深转换方法[J].石油地球物理勘探,2013,48(1):128-133.
- [8] 胡青琴.叠加速度在稀疏二维工区速度场建立中的应用[J].吉林地质,2016,35(3):85-87,105.
- [9] 刘道理,汪瑞良,秦成岗,等.利用特色叠前深度偏移技术消除崎岖海底影响——以珠江口盆地番禺一流花地区应用为例[J].海相油气地质,2013,18(1):67-70.
- [10] 陈海清,戴晓云,潘良云,等.时间剖面上的假构造及其解决方法[J].石油地球物理勘探,2009,44(5):590-602.
- [11] 杨东升,赵志刚,杨海长,等.深水崎岖海底区构造解释与圈闭落实方法——以琼东南盆地深水区宝岛凹陷为例[J].石油学报,2018,39(7):767-774.

THE CORRECTION OF RUGGED SEABED BASED ON STRUCTURAL SIMILARITY

RAO Su, HU Bin

(CNOOC International Energy Services (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: The time-depth conversion faces many difficulties in some special conditions, such as rugged seabed, deep-water and the areas of low exploration degree, owing to the deficiency in seismic, shallow drilling and improper velocity data. The fitting formula by removing water depth was the only method for time-depth conversion. However, the practice may lead to pseudo-structures because of rugged seabed, and the conventional correction method by filling up the sea bottom has similar shortcomings. The method used in this paper calculate the time-to-depth horizon first, and then compare the horizons in depth-domain for the change in the transverse structures. This method introduced in the concept of structure similarity rate and quantitative templates are built up for filling up the sea bottom for correction of the rugged seabed. Based on the highest score value, the suitable sea bottom and time-to-depth horizons are determined. To some extent, it can eliminate the pseudo-structures caused by rugged seabed and better support the requirements of structural mapping.

Key words: deep-water; low exploration degree area; time-depth conversion; structural similarity rate; rugged seabed; pseudostructural phenomena