

韩自军, 裴小刚, 郭颖, 等. 火成岩发育区地震资料构造成图校正方法及应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(8): 23-27.

# 火成岩发育区地震资料构造成图校正方法及应用

韩自军, 裴小刚, 郭颖, 吴庆勋, 郭帅

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

**摘要:**渤海海域 BZ 油田区新生界广泛发育火成岩。由于不同期次的高速火成岩纵横向分布极不均衡, 造成其下伏构造受影响程度存在很大差异, 常规的时深转换方法无法真实反映地下的构造形态。笔者提出了一种新的火成岩下构造恢复的方法: 首先利用数值模拟分析不同厚度火成岩对下伏构造的影响程度, 建立火成岩厚度与时间校正量的数学关系式, 然后运用层速度约束反演方法定量识别火成岩的累计厚度, 进而得到其引起的时间校正量, 最终采用去除火成岩影响的时深关系进行时深转换得到更精确的深度域构造图。实践表明, 该方法有效提高了火成岩发育区的构造成图精度, 为渤海海域内首次开展新生界火成岩下油田评价提供了有力的技术支撑, 具有较好的推广应用价值。

**关键词:**火成岩; 构造校正; 数值模拟; 层速度约束反演

中图分类号: P744; P315.01

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.203

## 0 引言

随着渤海油田勘探程度的不断提高, 与火成岩相关的岩性油气藏正在逐渐成为勘探的重要目标。火成岩作为一种非正常沉积的特殊岩性, 其成因类型复杂多变, 往往以多种地震相侵入到正常沉积地层中, 造成了火成岩发育区地震资料品质相对较差<sup>[1-2]</sup>, 为不同火成岩相的定量刻画带来了很大的困难。同时, 由于高速火成岩空间分布的不均匀性, 直接影响其下伏构造深度域成图的精度, 进而增加了勘探开发的风险。钮学民等<sup>[3]</sup>对火成岩下构造成图校正方法进行了简单描述; 易远元等<sup>[4]</sup>通过钻井资料, 确定火成岩的分布范围和层速度, 进而建立三维速度场, 对其影响区进行构造成图; 许海涛等<sup>[5]</sup>对准格尔盆地南缘砾岩层下复杂构造带通过建立合理的速度场进行构造成图; 刘传奇等<sup>[6]</sup>通过建立“气云区”方差属性与其影响程度之间的关系式, 对其影响区的构造进行了校正。总体来说, 针对复杂多变的高速火成岩发育特征及其下伏构

造的校正研究相对较少。因此, 本文以海域内 BZ 油田为例, 对复杂火成岩发育区的构造恢复方法进行了研究。通过建立火成岩厚度与时间校正量的数学关系, 利用约束反演方法来定量识别火成岩, 并通过校正其引起的双程旅行时上拉量来消除火成岩对下伏构造的影响, 最终形成更高精度的构造图件, 为海域内首次开展新生界火成岩下油田评价提供了有力的技术支撑。实践表明, 该方法的成图结果在评价井深度预测中取得了很好的应用效果, 证实了该方法的实用性和有效性, 具有较好的推广应用价值。

## 1 火成岩对下伏构造的影响及构造校正方法

### 1.1 火成岩的识别及对下伏构造的影响

当地层中有高纵波速度、高密度的火成岩时, 地震波的双程旅行时会有一定程度减小, 同相轴出现上拉现象(与周围不含火成岩的地震反射相比)。根据 BAKUS<sup>[7]</sup>经典理论, 在射线理论成立的前提下, 下伏地层的地震反射轴理论上拉时间 $\Delta t$ (ms)为:

$$\Delta t = t_{\text{背景}} - t_{\text{火}} \quad (1)$$

$$t_{\text{背景}} = 2H/V_{\text{背景}}, \quad t_{\text{火}} = 2H/V_{\text{火}} \quad (2)$$

式中:  $H$ 为火成岩的厚度, m;

收稿日期: 2020-12-08

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(2016ZX05024-003)

作者简介: 韩自军(1981—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地震解释和储层综合研究方面的工作。E-mail: hanzj@cnooc.com.cn

$V_{背景}$  为砂泥岩的层速度, m/s;  
 $V_{火}$  为火成岩的层速度, m/s;  
 $t_{背景}$  为地震波在砂泥岩中传播的双程旅行时, ms;  
 $t_{火}$  为地震波在火成岩中传播的双程旅行时, ms。

由式(1)、(2)可以得到

$$\Delta t = 2H(1/V_{背景} - 1/V_{火}) \tag{3}$$

式(3)表明, 火成岩下伏地层的时间校正量与火成岩厚度、速度以及砂泥岩的背景速度有关。在火成岩发育层段, 大量资料显示, 火成岩表现为明显的高纵波速度、高密度的特征<sup>[8-11]</sup>。由于砂泥岩速度的不同以及每一期次火成岩各相带的定量刻画难以实现, 因此, 通过采用火成岩累计厚度与地层时间校正量的关系来校正构造。

根据实钻井数据建立砂泥岩的背景速度, 并通过火成岩的楔状模型计算不同厚度火成岩引起的下伏地层时间校正量。其中, 火成岩的速度为 5 200 m/s, 砂泥岩的速度完全根据测井曲线计算, 在火成岩发育层段的砂泥岩的层速度为 3 200~3 500 m/s(图 1)。通过正演模拟结果可以统计火成岩厚度与下伏地层时间校正量(图 2)之间的关系:

$$\Delta t = -7 \times 10^{-8} H^4 + 3 \times 10^{-5} H^3 - 0.002 2H^2 + 0.164 4H \tag{4}$$

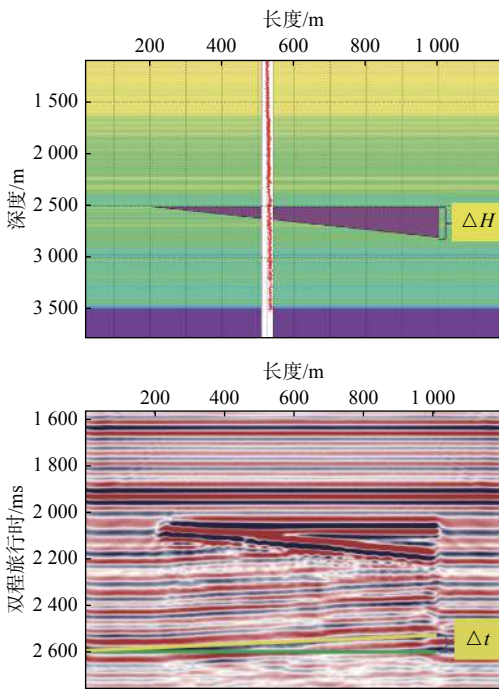


图 1 火成岩楔状模型(上)和正演模拟(下)

Fig.1 The model with wedge shaped igneous rock(up)and numerical simulation(down)

从图 2 中可以看出, 当火成岩的厚度为 100 m 时, 地震波在高纵波速度的火成岩双程旅行时间比

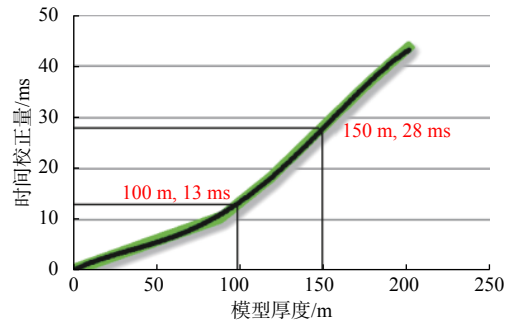


图 2 火成岩厚度与下伏地层校正量的关系

Fig.2 The relationship between time-correction and thickness of igneous rock

在正常砂泥岩少 13 ms 左右, 如果砂泥岩的层速度按照 3 200 m/s 算, 对构造图的影响约有 20.8 m; 而当火成岩的厚度在 150 m 时, 地震波在高纵波速度的火成岩双程旅行时间比在正常砂泥岩少 28 ms 左右, 此时对构造图的影响将达到 44.8 m 左右。这影响对后续的钻井深度预测, 储量计算都较大的影响。

### 1.2 下伏构造校正方法

在火成岩发育区, 通过井震联合的方法可以消除火成岩对下伏构造影响, 其具体流程如图 3。

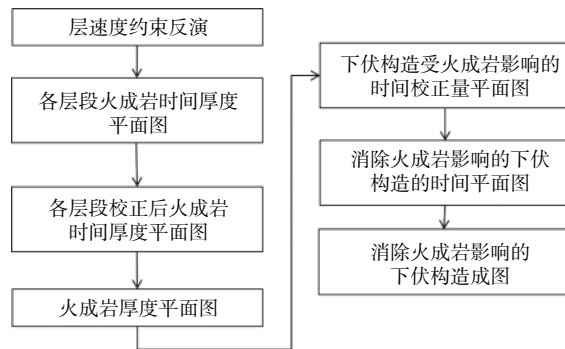


图 3 火成岩下伏构造校正流程图

Fig.3 The procedure of structural correction

## 2 火成岩下伏构造校正方法的实际应用

BZ 油田位于黄河口凹陷东部, 其火山呈典型的中心式喷发和裂隙-中心复合式喷发, 有大量的火山口, 其特点是火成岩沿火山通道或者断裂呈多期次喷发, 火成岩各相带横向变化很快。目前工区有基于叠前时间偏移的三维地震资料, 采样间隔为 2 ms, 火成岩发育层段地震资料的主频为 30 Hz, 分辨率为 20.8 m<sup>[12-13]</sup>。在目标工区火成岩主要分布在东营组, 根据已钻井统计表明, 该区发育的高纵

波速度火成岩的厚度为 16~49 m。岩性主要为玄武岩,平均层速度约为 5 200 m/s,围岩的层速度约为 3 200 m/s。由于火成岩的层速度远远高于沉积围岩的层速度,而且火成岩厚度不均,全区变化较大,使得其下伏构造用于时深转换的平均速度不易确定,由此影响下伏构造的成像精度,我们以此为目标来测试本文方法的有效性。

## 2.1 层速度约束反演方法定量识别火成岩

由于该工区钻井少、火成岩的厚度呈不规则分布,根据钻井信息结合火成岩的强反射特征,利用层速度约束进行无井反演<sup>[14-16]</sup>,本文用的层速度是采用处理时的均方根转换得到的<sup>[17-19]</sup>。通过连井剖面的反复测试,确定适合火成岩特点的反演参数,最终得出符合火成岩变化规律的三维波阻抗数据体。通过对火成岩响应特征精细的井震标定,确定火成岩在反演数据体的振幅阈值为 $(1.05 \times 10^7 + 7) \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$ ,并生成用于后续研究的火成岩数据体。图 4 为火成岩的地震剖面特征,可见其空间分布不均匀,给火成岩的定量描述带来了很大的困难。根据前面的论述可知,最终研究的是火成岩整体厚度对下伏构造的影响,因此,本研究采用分层段累加的方法计算各个层段的火成岩厚度。首先根据火成岩的发育情况以及地质需求,分了 3 个层段,即东一段、东二段和东三段。通过统计具有火成岩响应特征的样点数得到计算火成岩的累计时间厚度,原始资料的采样率为 2 ms,如果单层多或者少一个样点,按照火成岩层速度 5 200 m/s 计算的话,单层将影响 5.2 m。为了降低单层这一误差,把地震数据体进行重采样为 0.25 ms,多或者少一个样点话,只影响 0.65 m,这一误差是在较为合理的范围之内。根据钻井结果以及火成岩数据体,通过统计具有火成岩响应特征的样点数,从而得到各层段火成岩的累计时间厚度平面图。从东二段火成岩累计时间厚度(图 5)可以看出,火成岩的累计厚度在平面上呈现无规律的变化。根据统计的各层段火成岩的平均层速度进行火成岩深度域厚度的转换。

## 2.2 地层校正时间量的计算

根据式(4)和求得的火成岩累计深度域厚度,计算即可得到各层段火成岩引起的地层校正时间量,图 6 为东营组火成岩引起的地层校正时间量平面图,从图中可以看出火成岩引起的地层校正时间量在平面上变化较快,分布极不均匀。地层校正时

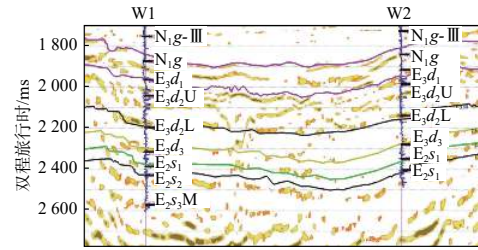


图 4 火成岩反演剖面特征

Fig.4 A inversion section of igneous rock

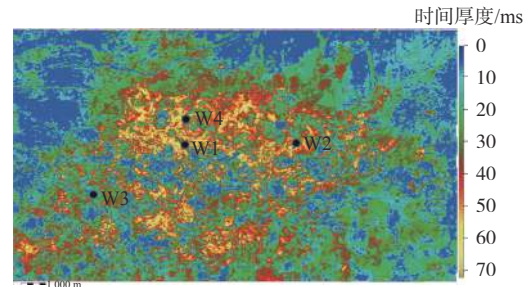


图 5 东二段火成岩累计时间厚度

Fig.5 The time-thickness map of igneous rock in  $E_2$

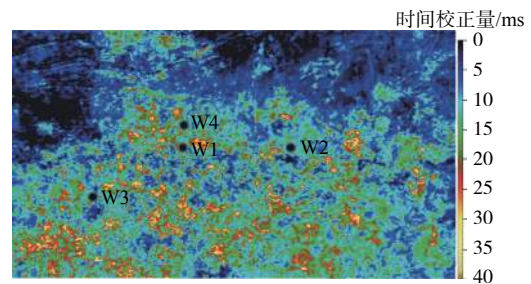


图 6 东营组火成岩引起的地层校正时间量

Fig.6 The time-correction map caused by igneous rock in Dongying Formation

间量加上相对应的时间域地震解释层位网格就可得到消除火成岩影响的各层时间平面图。

## 2.3 时深转换

由于之前获得的层位已消除了火成岩的影响,因此,用于时深转换的关系式或者平均速度场也应把火成岩的速度替换为正常砂泥岩的速度。其做法如下:

- (1) 利用原始含火成岩的声波时差曲线进行合成地震记录的标定,并记录其时移量;
- (2) 在火成岩段,将声波时差值和密度测井值替换为正常砂泥岩的参数值;
- (3) 用替换后的曲线进行时深标定,并时移相同的时间量,生成去除火成岩影响的时间-深度对应表;
- (4) 利用此时间-深度对应表拟合其关系式并进

行时间-深度转换。

## 2.4 应用效果分析

以该工区火成岩影响的下伏地层中的 H1、H2、H3 3 层为目标层位,以新完钻的 W3、W4 井作为验证井来证实本方法的可靠性。通过对比常规方法与本方法的结果发现,在火成岩发育区构造形态以及圈闭的幅度都发生了很大的变化(图 7)。通过统计常规成图方法与本文方法在新钻 W3、W4 井处的预测深度误差表明,本文采用的方法使深度误差大幅度减低,精度平均提高了 58%(表 1)。采用本文方法的成图结果可以降低后续井位优选的风险,

提高储量计算结果的可靠性。实际应用效果表明该方法可行、有效,具有一定的工业应用价值。

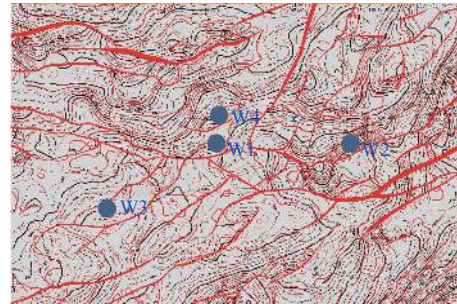


图 7 常规方法(黑色)与新方法(红色)构造对比  
Fig.7 The structural map obtained using traditional method(black)and new method(red)

表 1 W3、W4 井处校正前后结果误差对比

Table 1 The error of traditional method and the new method of Well-W3 and Well-W4

T3层	井名	实钻海拔/m	常规方法/m	本文方法/m	常规方法误差/m	本文方法误差/m	精度提高
T3层	W3	-2 953.2	-2 963.6	-2 951.4	10.4	-1.8	82.6%
T4层	W4	-29.6	-2 954.6	-2 942.7	20	8.1	59.5%
T4层	W3	-3 055.2	-3 066.6	-3 062.8	11.4	7.6	33.3%
T5层	W4	-3 039.9	-3 054.1	-3 036.9	14.2	-3	78.9%
T5层	W3	-3 156.2	-3 184	-3 165.3	27.8	9.1	67.3%
	W4	-31.6	-3 144.7	-	-	-	27.8%

## 3 结论

(1)通过层速度约束反演可以定量识别高纵波速度、高密度、高波阻抗特征的火成岩,通过确定反演数据体的振幅阈值生成火成岩数据体,利用统计采样点的方法可以计算出各层段所能识别的火成岩累计时间厚度。

(2)通过正演模拟计算火成岩厚度与地层时间校正量的关系,可以得到不同层段火成岩厚度所对应的时间校正量,并用于时间域图件的校正。

(3)采用该方法校正后的构造图可以降低勘探阶段井位评价的风险,提高储量计算结果的可靠性,具有较好的推广应用价值。

### 参考文献:

[1] 夏步余, 谌廷姗. 地震技术在火成岩发育区开发中的应用[J]. 石油物探, 2002, 41(4): 461-465.  
[2] 于宝利, 刘新利, 范素芳, 等. 火山岩相地震研究方法及应用[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(2): 264-266.  
[3] 钮学民, 孟宪军, 宋旭, 等. 火成岩下储层构造图校正方法及其应用[J]. 石油物探, 2003, 42(4): 538-540.  
[4] 易远元, 李健雄, 刘振彪. 特殊地质体的速度恢复技术[J]. 石油

地球物理勘探, 2013, 48(2): 239-245.

[5] 许海涛, 景海璐, 阿依努尔, 等. 准噶尔盆地南缘复杂构造变速成图方法及效果分析[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 50-53.  
[6] 刘传奇, 明君, 马奎前, 等. 方差技术在“气云区”深度预测中的应用探讨[J]. 中国海上油气, 2012, 24(5): 21-23.  
[7] BACKUS G. Long-wave elastic anisotropy produced by horizontal layering[J]. Journal of Geophysical Research, 1962, 67(11): 4427-4440.  
[8] 郎晓玲, 韩龙, 王世瑞, 等. XB地区火山岩岩相划分及储层精细刻画[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(2): 271-277.  
[9] 胡治华, 申春生, 刘宗宾, 等. 渤海湾盆地火山岩喷发旋回和期次研究的方法及应用[J]. 油气地球物理, 2013, 11(2): 30-33.  
[10] 冯子辉, 印长海, 刘家军, 等. 中国东部原位火山岩油气藏的形成机制[J]. 中国科学, 2014, 44(10): 2221-2237.  
[11] 谢云喜. 新疆哈巴河县白哈巴村一带火山岩地质特征及构造意义[J]. 四川地质学报, 2009, 29(S2): 70-77.  
[12] 黄诚, 桂红兵, 杨飞, 等. 基于模型正演的深层砂泥岩薄互层地震分辨率研究[J]. 断块油气田, 2014, 21(5): 594-596.  
[13] 周家雄, 刘薇薇, 孙月成, 等. 小于地震分辨率极限的薄储集层预测技术[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(5): 554-556.  
[14] 黄安敏, 李林, 王立华, 等. 虚拟井技术在深水无井区碎屑岩储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2011, 50(3): 281-287.  
[15] 李元平, 颜承志, 李杰, 等. 宽频地震无井反演技术在神狐海域天然气水合物矿体描述中的应用[J]. 中国海上油气, 2019, 31(1): 51-59.

- [16] 叶勇. 三维约束Dix反演层速度方法及其应用研究[J]. *石油地球物理勘探*, 2008, 43(4): 443-446.
- [17] 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.
- [18] 杜斌山, 雍学善, 王建功, 等. 测井约束下高精度叠前地震速度预测[J]. *岩性油气藏*, 2019, 31(4): 92-100.
- [19] 李贺, 秦童, 张笑桀, 等. 基于精细迭代建模的速度异常识别方法与应用[J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35(12): 74-80.

## STRUCTURE-CORRECTION METHOD WITH SEISMIC DATA AND ITS APPLICATION TO IGNEOUS ROCK AREAS

HAN Zijun, PEI Xiaogang, GUO Ying, WU Qingxun, GUO Shuai

(Tianjin Branch of CNOOC (China), Ltd, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Cenozoic igneous rocks are widely and unevenly distributed in the BZ Oilfield of the Bohai Sea. The underground structure of igneous rocks varies with depth. It is not able to correctly describe the underground structure by the conventional time-depth conversion method with seismic data, and as the result it will increase the risk and uncertainty in hydrocarbon exploration and development. In this paper, a new method for structure correction is proposed specifically for igneous rock areas. Firstly, the impact of igneous rock is studied by means of numerical simulation method so as to establish the relationship between the igneous rock thickness and the time span to be corrected. Secondly, the total thickness of igneous rocks is calculated using the interval velocity constrained inversion, then the time-correction for seismic events is obtained. Finally, time-depth relationship is adopted to eliminate the effects of igneous rock, and get more accurate structural maps by time-depth conversion. The drilling results show that this method can effectively improve the precision of structural mapping and may provide strong technical support for the first time to carry out the oilfield evaluation under the Cenozoic igneous rocks in the Bohai Sea.

**Key words:** igneous rock; structural-corrected; numerical simulation; interval velocity constrained inversion