

# 特殊地质体的速度恢复技术

易远元\*<sup>①</sup> 李健雄<sup>②</sup> 刘振彪<sup>③</sup>

(<sup>①</sup>长江大学油气资源与勘查技术教育部重点实验室,湖北武汉 430100; <sup>②</sup>长江大学地球物理与石油资源学院,湖北武汉 430100; <sup>③</sup>三河环波软件有限公司,河北三河 065201)

易远元,李健雄,刘振彪. 特殊地质体的速度恢复技术. 石油地球物理勘探,2013,48(2):239~245

**摘要** 准确求取地层介质的速度对建立高精度三维空间速度场很重要,尤其是在一些分布特殊岩性体的复杂区域,如火成岩、膏盐岩、砾岩等。由于其分布零散且成分复杂,导致速度场误差很大。因此建立高精度的速度场之前,恢复这些特殊地质体的速度显得尤为关键。本文针对火成岩速度恢复提出了相应的解决方法,即首先利用钻井资料分析地下火成岩的分布范围和深度,然后通过声波测井资料确定火成岩的顶、底界时间,进而求出火成岩的层速度,再将此速度充填至速度谱中以便建立高精度速度场。实践证明,该解决方案起到了良好的效果,并且操作简单,适合在实际生产中推广应用。

**关键词** 特殊地质体 火成岩 高精度速度场 假构造

**中图分类号**:P631 **文献标识码**:A

## 1 引言

在 seismic 勘探中,由于速度求取的准确与否直接影响着地震勘探的各个环节的成果质量,所以准确的速度求取一直是地震勘探的核心问题。只有求取高精度的地震波速度,才能准确计算地层的深度、倾角等信息。特别是在油气勘探复杂区,由于受各时期构造运动的影响,导致特殊地质体异常发育,使地下介质各向异性强、速度纵横变化大。因此准确求取地震速度、建立高精度速度场、获得精细构造图是地震勘探的重要目标之一。

龙虎庄研究区位于冀中拗陷霸县凹陷东北部,西面与牛北斜坡相邻,经过霸县二台阶后向东一直延伸至信安镇潜山,包括牛北斜坡、龙虎庄、顾辛庄、信安镇等四个区块,面积约 268.6 km<sup>2</sup>。根据现有的资料可知,特殊地质体——火成岩广泛分布于霸县凹陷北部的古近系和新近系地层,且岩性主要为玄武岩<sup>[1,2]</sup>。在整个研究区火成岩的速度纵、横向变化都很大,且层速度比围岩层速度要高出很多。

本文研究的目的是层为新近系馆陶组和古近系东营组地层,主要任务是在建立精确的速度场的基础上,获得精细的深度构造图。

## 2 速度场建立中特殊地质体速度恢复方法

### 2.1 火成岩速度的恢复技术

本文的火成岩速度恢复技术的研究思路是:首先由层速度谱和火成岩顶、底界面反射时间提取特殊地质体火成岩的速度;再由 VSP 或声波测井资料对火成岩速度进行标定,用标定后的火成岩速度充填层速度谱;然后将层速度谱转换为叠加速度谱,建立高精度的三维空间速度场;最后进行时深转换得到精细的深度构造图。其具体的工作流程如图 1 所示<sup>[3~8]</sup>。

如果一个工区内存在火成岩等特殊地质体,且分布广泛,则这些地质体会导致该区地层速度变化复杂,且横向速度变化梯度大,很难落实主要目的层的低幅度构造。因此,火成岩等特殊地质体的速度恢复对于建立三维高精度速度场至关重要。恢复特殊地质体速度的难点是如何准确获得特殊地质体的层速度。龙虎庄研究区火成岩在地震剖面上的反射同相轴不连续,在剖面上对其进行刻画难度很大。本文主要采用统计研究区的 25 口钻井的火成岩顶、底深度数据,结合声波测井资料确定的火成岩相应

\* 湖北省武汉市蔡甸区长江大学油气资源与勘查技术教育部重点实验室,430100。Email:yuanyuanyi@163.com

本文于 2012 年 3 月 29 日收到,最终修改稿于 2013 年 1 月 29 日收到。

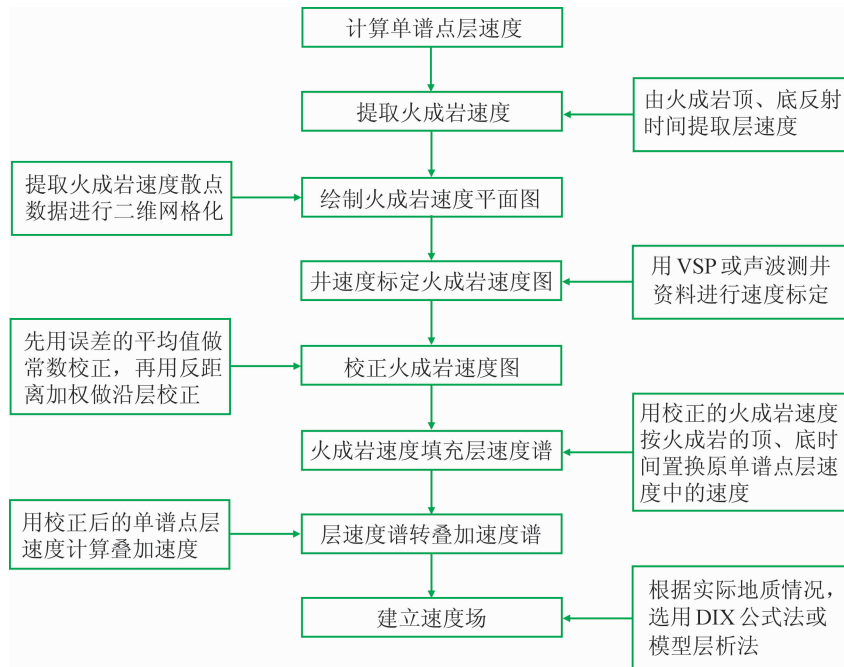


图 1 特殊地质体速度恢复建场流程图

的顶、底时间,计算出火成岩的速度,再将该速度充填至速度谱中,从而使整个研究区目的层的空间速度场更完整、更精确<sup>[9]</sup>。

## 2.2 火成岩在声波测井资料中的响应

霸县凹陷的火成岩以玄武岩为主要岩性,其厚度大,分布广泛,紧邻生油注槽。目前在霸县凹陷中已有数十口井在火成岩体中获得了工业油气流或油气显示,可见霸县凹陷是火成岩油气藏的有利区域。

在对火成岩速度的恢复时,我们主要通过拾取

声波测井资料上显示的火成岩的顶、底界面的深度和时差确定火成岩的层速度(图 2)。当地层岩性从酸性岩变为超基性岩时声波速度突然跳跃式增加,声波时差则骤然减小;当地层岩性从超基性岩变为酸性岩时则相反。火成岩在声波测井显示中为低声波时差,故可以用声波时差与密度的交会图来识别火成岩<sup>[10]</sup>。

我们综合分析龙虎庄目前所有的已知资料以及前人的分析结果,得出了工区内 25 口井比较准确的

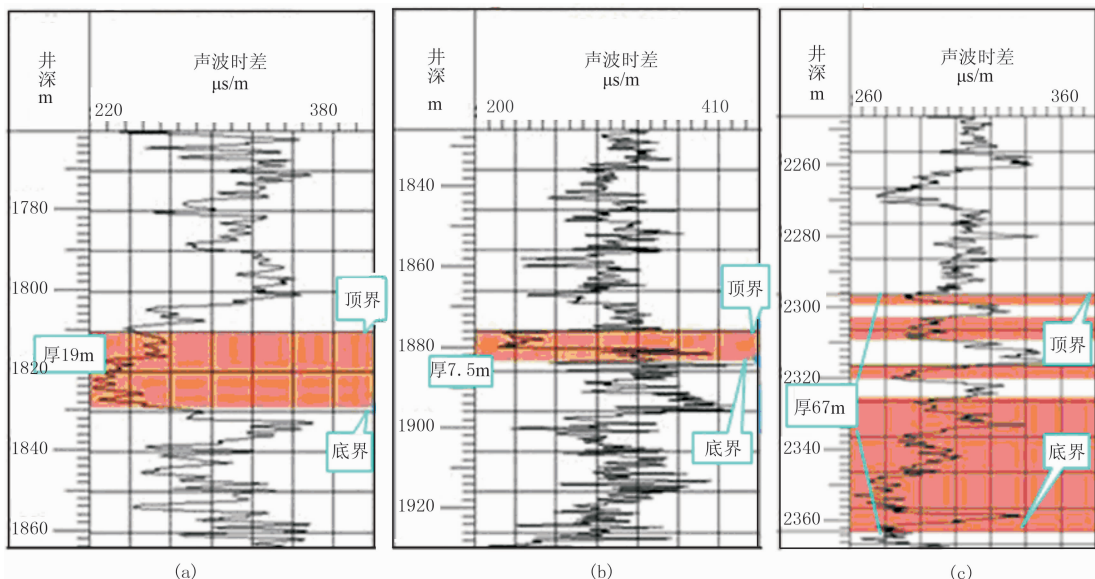


图 2 ba102 井(a)、ba121 井(b)、ba70 井(c)测井曲线及火成岩解释结果(橙色为火成岩)

火成岩顶界深度、底界深度、顶界时间、底界时间、火成岩厚度、以及对应的层速度。如果一口井有多段火成岩显示,如图 2 的 ba70 井所示,将最顶面和最底界的火成岩数据定义为火成岩的顶、底数据。

### 3 火成岩速度恢复效果分析

#### 3.1 火成岩速度的恢复结果

工区内 25 口井中火成岩的顶、底时间、顶底深

度、厚度和层速度的统计结果见表 1、图 3 和图 4。由此可见,整个工区内火成岩顶、底时间大致分布范围为 1054~2574ms, ba21 井附近的火成岩最深;查明各井的火成岩层段数目不等,其中 ba64 井的火成岩层段数达 41 层;火成岩的厚度为 1~603m,其中 ba62 井附近火成岩累计最厚, ba84 井附近累计最薄;通过计算,火成岩层速度为 2148~4702m/s,其中最大处位于 ba125 井附近,最小处位于 ba84 井附近。

表 1 25 口含火成岩井速度恢复结果

井名	顶、底时间 ms	层段 数目	厚度 m	层速度 m/s	井名	顶、底时间 ms	层段 数目	厚度 m	层速度 m/s
ba102	1557~1570	1	19.0	2965	xba67	2107~2178	8	129.0	3581
ba13	1054~1056	1	4.0	3500	ba23	1566~1730	3	276.5	3372
ba21	2142~2574	33	770.5	3567	ba51	1563~1720	5	265.0	3373
ba3	2381~2535	18	293.0	3805	ba59	1609~1649	4	54.0	2694
ba33	2185~2306	10	250.0	4132	xba6	1239~1295	4	104.0	3700
ba62	2018~2382	12	603.0	3317	ba70	1926~1980	4	67.0	4101
ba63	2034~2332	19	558.0	3744	ba84	1096~1097	1	1.0	2148
ba64	1922~2067	41	278.0	3862	ba86	1732~1750	5	29.0	3258
ba65	2202~2417	24	364.5	3394	ba75	1552~1694	5	244.5	3444
ba67	2205~2326	26	243.0	4008	ba121	1583~1587	1	7.5	3750
ba71	2177~2400	23	327.0	2926	ba125	1589~1591	1	4.0	4702
ba72	2162~2550	16	784.0	4037	ba92	1892~2007	22	209.0	3647
ba95	2155~2180	3	49.0	3920					

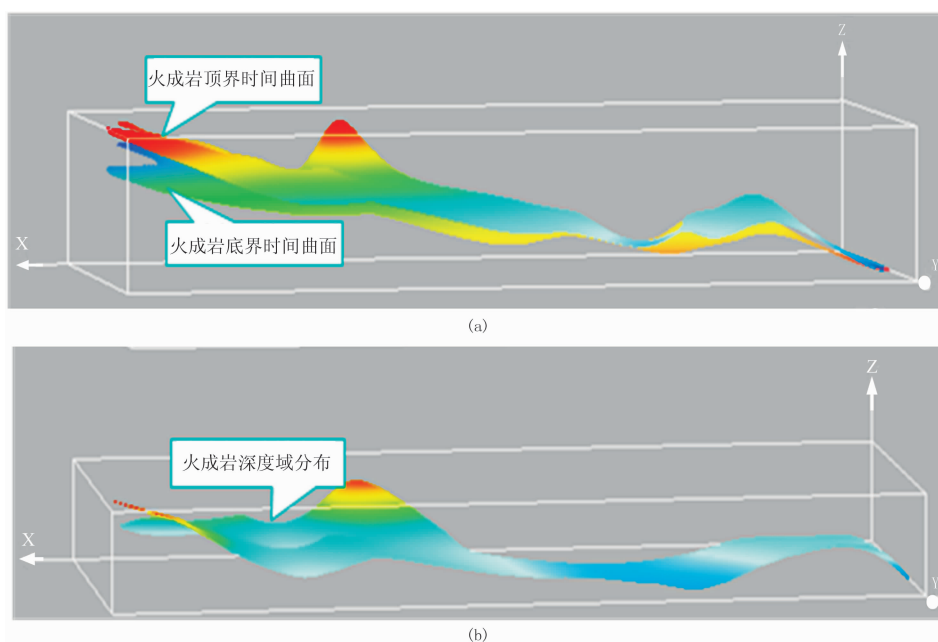


图 3 火成岩三维显示图

(a) 顶、底时间; (b) 深度

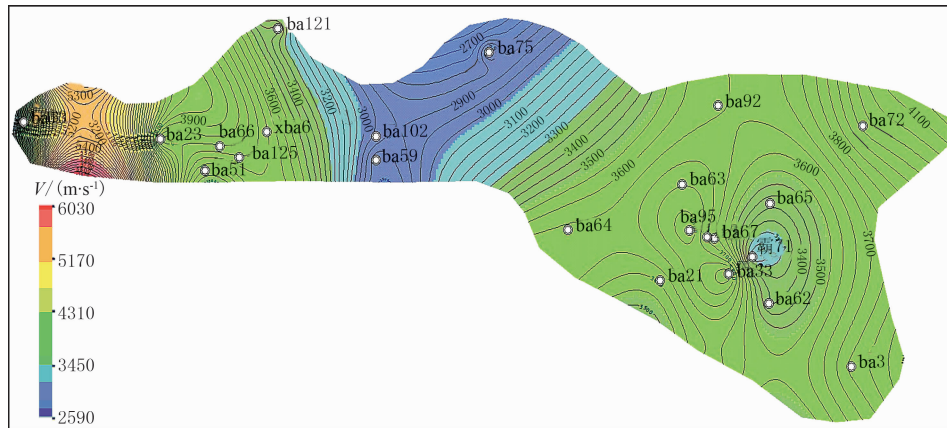


图4 火成岩层速度平面图

### 3.2 火成岩速度恢复前、后对比

为了研究火成岩速度恢复前、后对该区相应层速度的影响,对速度恢复前、后的叠加速度谱、层速度、深度域地震剖面、沿层速度图以及构造图进行了对比分析。

(1) 叠加速度谱和层速度的比较 图5是火成岩速度填充前、后3个谱点的速度变化情况。上边3幅图是叠加速度;下面3幅图是层速度。从图5中可以看出,除了层速度在火成岩分布处有了明显变化之外,其他层均没有明显变化。

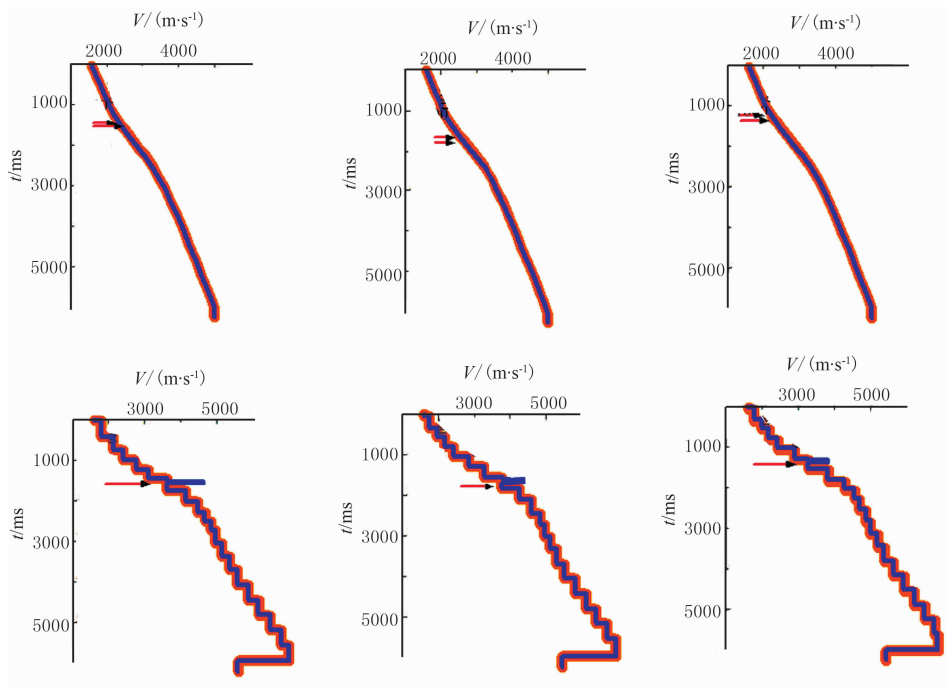


图5 火成岩速度恢复前、后三个叠加速度谱(上)和层速度谱(下)对比  
红色为恢复前速度谱,蓝色为恢复后速度谱。箭头所指为火成岩位置

(2) 深度域地震剖面图对比 火成岩速度恢复前后,肯定会造成火成岩下伏地层的沿层速度发生变化。应用速度场将时间域地震剖面转换成深度域地震剖面,就是对时间域地震数据的每个样点进行时深转换<sup>[11]</sup>。因此,应用火成岩速度恢复前、后所建速度场进行地震数据体时深转换可能会有差异,而

这种差异主要表现在两个方面:一是反射同相轴产状发生微小变化;二是在火成岩顶界面附近,会发生同相轴胖瘦变化(但这种情况一般难以见到)。从图6中可以看出,同一地层在深度上有一定的变化,但是地层的产状几乎没有变化。

(3) 沿层平均速度图的比较 古近系东营组底

界面( $T_6$ 层)沿层平均速度在火成岩速度恢复前、后稍有变化(图 7)。火成岩速度恢复前、后  $T_6$  层平均速度差值如图 8 所示,差值范围为 2~16m/s,井点处变化较大。

(4)构造图的比较 利用火成岩速度恢复后的速度谱建立的变速速度场,可以较充分地考虑特殊地质体对层速度的影响,从而能够较真实地描述地层的构造形态。对  $T_6$  层进行常速成图和变速成

图,其深度构造图分别见图 9、图 10。在图 10 中颜色变化丰富,且出现了图 9 中没有的一些低幅度构造以及微幅度构造,可见变速成图更能精细地描述出地层的变化。

由于到目前为止研究区域还没有新的钻井,还不能证实新速度产生的构造图就是完全准确的,但与原有井资料对比显示,相对误差均在 0.5%左右。

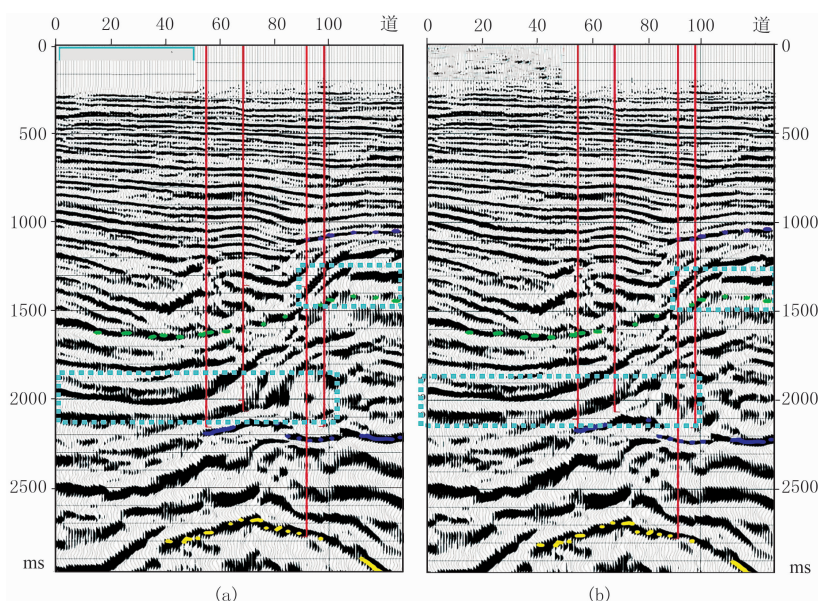


图 6 火成岩速度恢复前(a)、后(b)的深度域地震剖面对比图

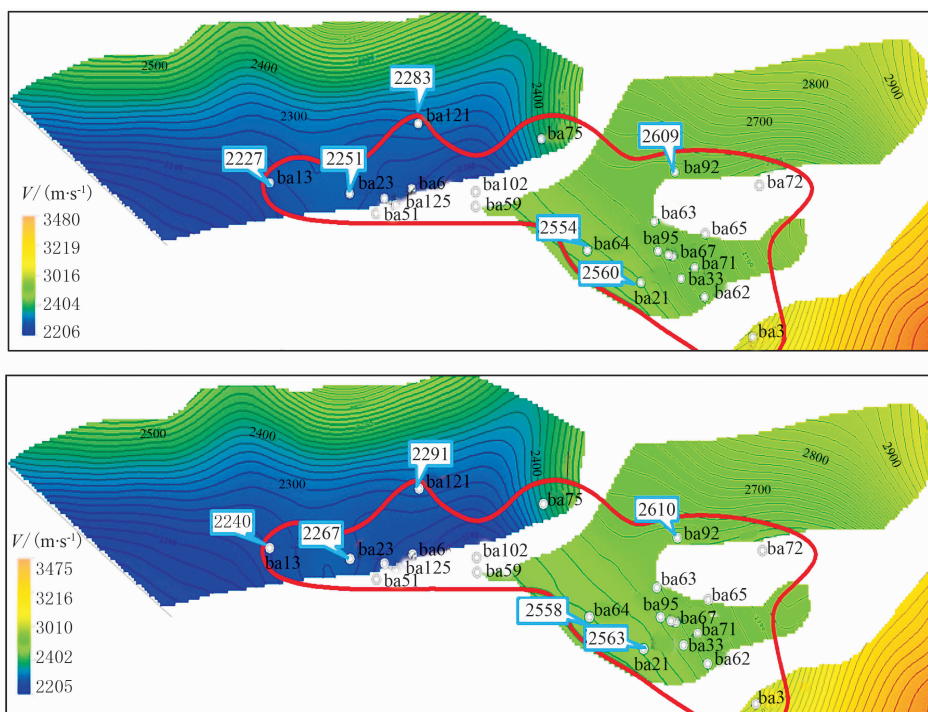


图 7 火成岩速度恢复前(上)、后(下) $T_6$  沿层平均速度比较

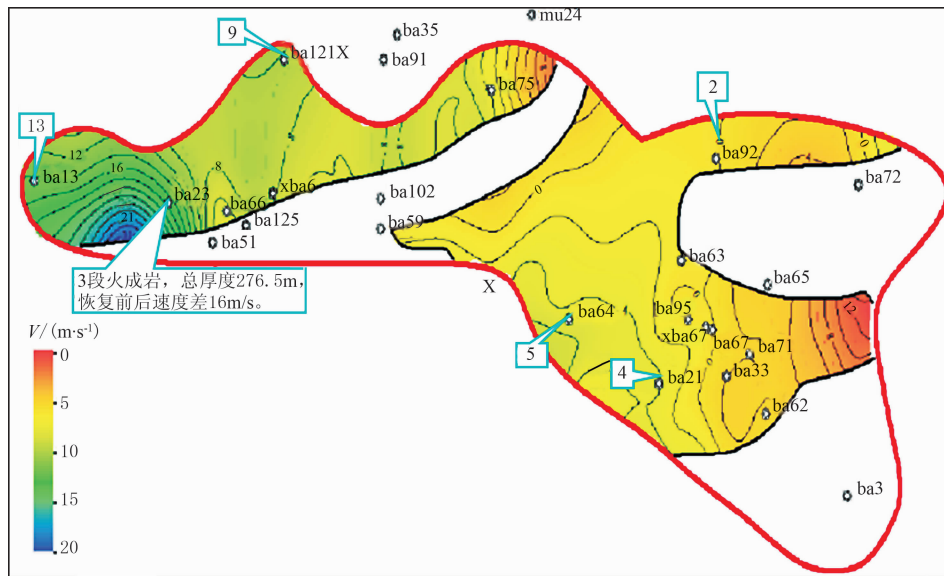


图8 火成岩速度恢复前、后  $T_6$  层平均速度差值

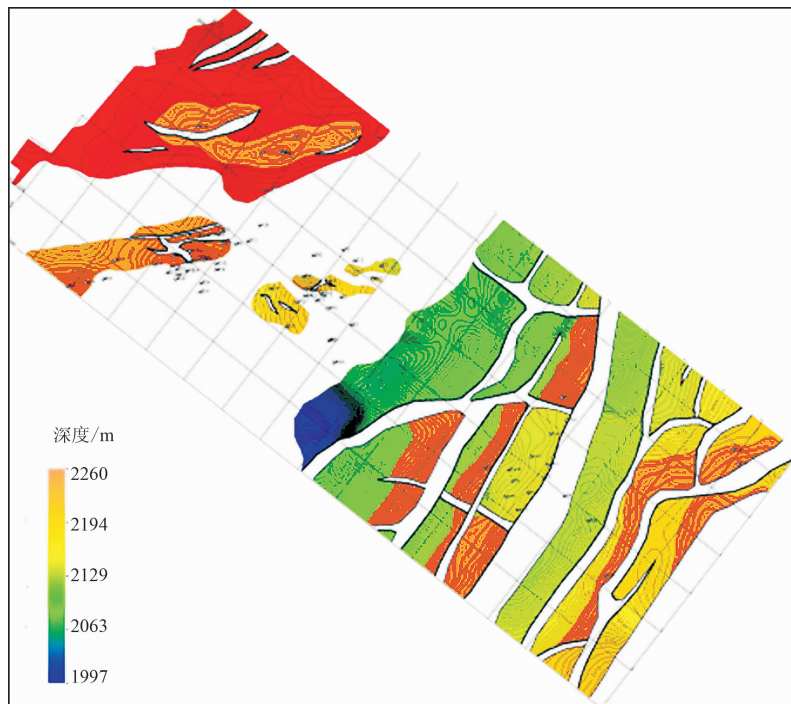


图9  $T_6$  的常速成图结果

## 4 结束语

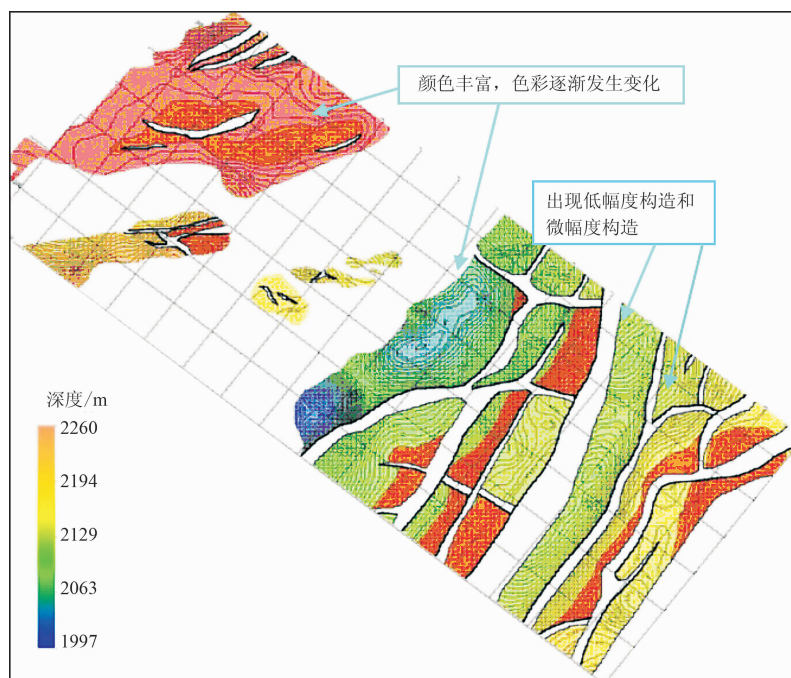
通过对龙虎庄区火成岩速度恢复前、后的对比分析,得到以下几点认识:

(1) 龙虎庄区的火成岩分布零散且厚度变化较大,仅依据现有的地震资料很难进行精确解释。通过恢复地层中火成岩的速度后,地层的全貌得以展

示。因此在进行精细成图时,需要考虑研究区的火成岩对速度的影响。

(2) 通过对龙虎庄区的研究,探索出了一种操作简单、适用性强的火成岩速度恢复方法,即利用井资料计算火成岩速度,再将该速度充填至速度谱中建立高精度的三维速度场,从而获得较精确的构造图。

(3) 本文所述火成岩速度的恢复方法也可以用于其他特殊地质体的速度恢复,如膏盐岩层、砾岩层等。

图 10  $T_0$  的变速成图结果

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 彭宁,崔秀梅,崔周旗等. 冀中拗陷古近系一新近系火成岩岩相特征与油气成藏模式. 油气地质与采收率,2010,17(2):17~20  
Pen Ning, Cui Xiumei, Cui Zhouqi et al. Tertiary volcanic lithofacies characteristics and oil-gas reservoir accumulation model in Jizhong depression. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2010, 17(2): 17~20
- [ 2 ] 谢晓军,邓宏文. 冀中拗陷霸县凹陷横向调节带对物源体系的控制作用. 天然气地球科学,2008,19(3):334~338  
Xie Xiaojun, Deng Hongwen. Controls of the transverse accommodation zones on the provenance system in Baxian Sag. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(3): 334~338
- [ 3 ] 王树华,刘怀山,张云银等. 变速成图方法及应用研究. 中国海洋大学学报,2004,34(1):139~146  
Wang Shuhua, Liu Huaishan, Zhang Yunyin et al. Research on variable-velocity structure mapping and its application. *Journal of Ocean University of China*, 2004, 34(1): 139~146
- [ 4 ] 易远元,姜建莉,赵殿君. 基于模型层析法的地震速度研究. 江汉石油学院学报,2003,25(1):47~49  
Yi Yuanyuan, Jiang Jianli, Zhao Dianjun. Velocity research based on model chromatography. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2003, 25(1): 47~49
- [ 5 ] 易远元,袁三一. 叠前深度偏移技术在李埠地区的应用. 石油天然气学报,2006,28(3):66~68  
Yi Yuanyuan, Yuan Sanyi. Application of prestack depth migration in Libu area. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(3): 66~68
- [ 6 ] 易远元. 浅谈速度场建立的意义和方法. 科协论坛,2010(10):94~95  
Yi Yuanyuan. On the meaning and methods of seismic velocity field created. *Science and Technology Association Forum*, 2010(10): 94~95
- [ 7 ] 易远元,袁三一,查树贵等. 变速成图技术在江陵凹陷万城地区的应用. 内蒙古石油化工,2007(9):3~6  
Yi Yuanyuan, Yuan Sanyi, Zha Shugui et al. Application of fast plotting technology in Wancheng region in Jiangling sunken. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2007(9): 3~6
- [ 8 ] 宋玉梅,易远元,查树贵等. 变速成图技术在李埠地区的应用. 科技咨询导报,2007(6):171~172  
Son Yumei, Yi Yuanyuan, Zha Shugui et al. Application of fast plotting technology in Libu area. *Science and Technology Consulting Herald*, 2007(6): 171~172
- [ 9 ] 张锐锋,易远元,李先平等. 高精度三维空间速度场技术在龙虎庄地区的应用. 石油天然气学报,2011,33(7):63~67  
Zhang Ruifeng, Yi Yuanyuan, Li Xianping et al. Application of high precision 3-D space velocity field technology in Longhuzhuang area. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(7): 63~67
- [ 10 ] 杜治业. 哈拉哈塘地区火成岩对速度影响的研究. 石油地埋物理勘探,1999,34(增刊):76~84  
Du Zhiye. Seismic velocity impact research of igneous rocks in Halahatang area. *OGP*, 1999, 34(Sup): 76~84
- [ 11 ] 蒋先勇,王锡文,秦广胜等. 地震速度分析的不确定性研究. 石油地埋物理勘探,2005,40(1):35~41  
Jiang Xianyong, Wang Xiwen, Qin Guangsheng et al. Studying uncertainty of deep seismic velocity analysis. *OGP*, 2005, 40(1): 35~41

(本文编辑:宜明理)