

塔里木盆地中原探区速度场研究方法

陈业全^{1,2,3}, 刘春晓⁴, 王道义⁴(1. 中国科学院贵阳地球化学研究所, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中原油田分公司物探研究院, 濮阳 457001; 4. 中原油田分公司物探研究院, 濮阳 457001)

摘要 利用自行编程设计的速度场算法,建立了塔里木盆地中原探区的速度场模型,并应用于油气勘探生产之中。在塔中地区,影响平均速度的主要因素是地层埋深和火成岩的岩性。在巴楚地区,影响平均速度变化的主要因素是大的构造运动形成的多角度不整合界面和断距较大的断层。总结出了一套适合地质复杂地区速度场建立的方法;利用该速度场进行变速成图,能够提高成图精度、排除假构造、发现新的圈闭、减小勘探风险,落实发现了一批圈闭,提供探井多口,实现了油气勘探的突破。

关键词 速度场, 变速成图, 叠加速度

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2004)03-0656-07

The research method of velocity field in central plains
prospect area of tarim basinCHEN Ye-quan^{1,2,3}, LIU Chun-xiao³, WANG Dao-yi³

(1. Guiyang Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 55002, China; 2. Institute of graduate Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China; 3. Geophysical Research Institute of Zhongyuan Oil Field Company, SINOPEC, Puyang, 457001, China)

Abstract Utilizing velocity field algorithm designed by ourself has established velocity field of ZhongYuan Prospect Area in Tarim Basin(Tazhong area). Application of the velocity field is successful in production. In Tazhong Area, the main factor of impacting average velocity is the depth of stratum and lithology of igneous. In Bachu Area, the major factor of impacting average velocity variety is multi big angle unconformity interface that heave tectonic movement formed and big heave fault. Summarized a set of establishing velocity field method that is effectual for complicated gology area. Applying the velocity field to variable velocity mapping can enhance accuracy of making map, eliminate pseudo structure, find new trap, reduce exploration risk. A batch of traps has been affirmed and found, multi prospecting well has been offered. Oil gas breakthrough has been Actualized.

Keywords velocity field, variable velocity mapping, stacking velocity

0 引言

塔里木盆地中原探区共包括5个勘探区块,总面积23 011 km²(图1),包括阿东、顺西、卡1等区块。油气资源丰富,具有较大的油气勘探潜力。随着塔里木盆地油气勘探程度的不断深入,油气勘探的领域不断扩大,勘探难度逐渐增大。目前,总的趋势是:①由地表施工条件好的地区向沙漠、山地等地表

条件复杂的地区发展;②由浅层向中深层发展;③由大幅度构造向低幅度构造发展,尤其低幅度构造的发现和落实成为“油气勘探二次创业”^[2]的主要目标之一。

地震波速度是地震勘探中的一个重要参数,它随岩石弹性性质、埋藏深度的变化而变化。科学合理地球取地震速度一直是人们研究和努力解决的问题之一。塔里木中原探区已发现的油气层埋藏深度较

收稿日期 2004-03-15; 修回日期 2004-05-20.

作者简介 陈业全,男,高级工程师,1966年生,1986年毕业于长春地质学院应用地球物理系,1989年毕业于石油大学(北京)勘探系,获硕士学位,长期从事地震资料采集、处理、解释及地质综合研究工作,多次获部、局级科技进步奖,已发表论文多篇,现为中国科学院贵阳地球化学研究所在读博士。

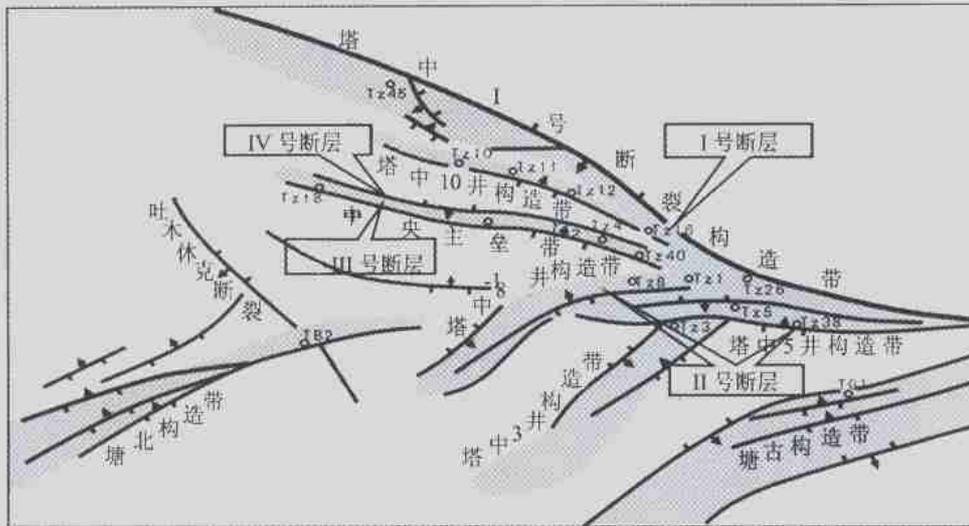


图1 研究区区域位置图

Fig. 1 Locality map of the Tazhong area

深,大约在3 600~4 500 m,最深达6 000 m。地震波传播速度横向变化大,最大平均速度梯度可达每 km 30 m/s;另外,区内火成岩的发育和分布使速度场变化进一步复杂化,对于研究区内的低幅度构造的落实极为不利。速度场对于构造圈闭的落实非常重要。

1 速度分析

1.1 区内速度特征

塔里木盆地是陆壳基底上大型叠置复合型盆地,中、深部地层不同程度地受到挤压、褶皱、剥蚀,地下介质存在着较强的各向异性,使得地震波的传播速度在纵、横方向上变化均较大。

(1) 区域速度场变化复杂,地震波传播速度横向变化大,最大平均速度变化梯度可达每千米 30m/s,这对低幅度构造的落实极为不利。

(2) 地下地质条件复杂,存在地质异常体、速度异常体,对其下部构造的发现和落实有不同程度的影响。如卡1区块的火山岩体。

(3) 勘探程度不同,各个地区速度研究的方法和精度不同。例如,塔中地区勘探程度相对较高,有钻井、测井、VSP等资料,但钻井少且分布不均,三维地震测线达到 $1 \times 2 \sim 4 \times 8$ 和 400 km^2 的三维。

1.2 速度分析

不同的速度资料因其来源不同其精度也不同。速度资料的获得途径有:

(1) 由准确的层位标定和钻井地质分层求取的伪平均速度。

(2) 垂直地震剖面求取的层速度、平均速度。

(3) 声波测井、偶极横波测井等资料获得的声波速度。

(4) 地震资料获得的叠加速度。

按照速度获得的精度分析,纵向精度高的为伪平均速度、VSP和声波测井求取的平均速度;精度差的为来自于叠加速度谱的平均速度,但其平面上分布密度大,能够控制速度横向的变化规律。前三种速度受工区钻井数目的多少、钻井分布的均匀程度的影响较大,只能作为速度在横向上变化的控制点,控制速度变化的总体趋势。因此,速度场的建立的主要资料来源为叠加速度谱,井资料用来约束来自于叠加速度的层速度。

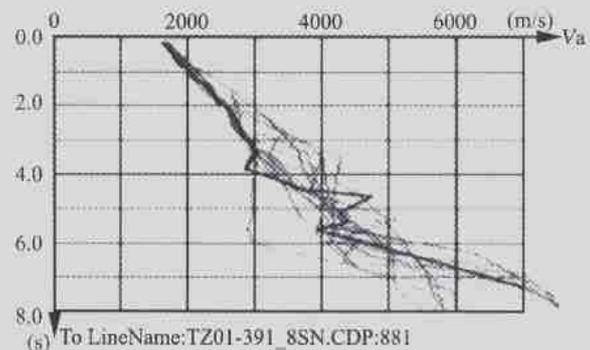


图2 不规则叠加速度叠合图

Fig. 2 The congruence picture of anomalous stacking velocity

1.2.1 影响叠加速度的主要因素

(1) 地震资料的采集、处理参数的影响:叠加速度是使共反射点叠加取得最佳叠加效果的速度。叠加速度既是射线参数的函数,又是炮间距的函数,并

随炮间距增大而增大,所以叠加速度随野外的观测系统和叠加次数的不同而不同,初至的切除、时窗的宽度也影响叠加速度的大小;资料的信噪比的高低和速度采样密度的大小影响叠加效果,进而影响叠加速度的精度。

(2) 地质构造的影响:1)地层的倾角使叠加速度的大小发生变化.2)构造顶部和凹界面底部使双曲线变化而影响叠加速度.3)层位的尖灭和断层的断棱产生的绕射波、高速层和薄互层等产生多次波使叠加速度谱复杂化.4)介质的不均匀性也影响叠加速度.如图2,叠加速度谱出现了大幅度的反转。

(3) 测线交点处的叠加速度闭合差:由于施工年度、施工技术、处理技术等原因使得到的叠加速度谱在相邻测线之间存在系统误差,相邻谱点之间存在较大的速度闭合差。

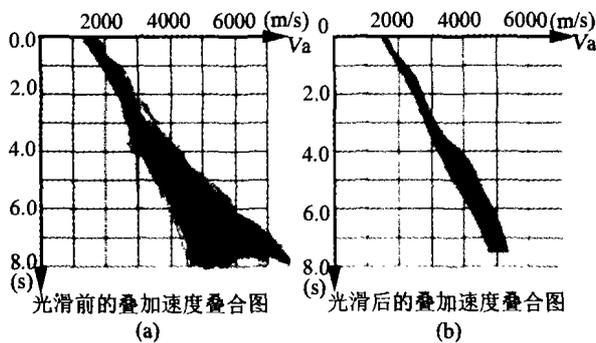


图3 塔中地区叠加速度光滑前后对比图

Fig. 3 The comparison diagram that stacking velocity is smoothed before (a) and after (b) in Tazhong area

1.2.2 研究区内速度变化规律

(1) 叠加速度:塔中地区的叠加速度的特征(图3),较客观地反映出该区地下的地质和地球物理特征.1)叠加速度在总体上变化范围不太大,图3的光滑后的叠加速度叠合图就是证明.2)塔中地

区的火成岩的较发育且岩性变化大,使得地震反射较凌乱,也致使局部的叠加速度谱变化较大,有时甚至发生畸变。

(2) 平均速度:由图4可见,研究区内平均速度随深度的变化规律,大概以下二叠统火成岩段顶界(约3350m左右)为界分为两部分,以上平均速度变化范围较小;以下变化范围较大.在3300m以下,与中1井相邻的塔中39井的平均速度明显的低于中1井的平均速度.表1、2可以看出:2000m深度时,平均速度的最大值与最小值相差34.91m/s;4000m时,研究区内平均速度的最大值与最小值相差1372.77m/s,其中塔中18井由于火成岩发育,平均速度最高,满西2井地层较新,平均速度最低。

由于平均速度是地层的总厚度除以地震波在地层中垂直传播的总时间,所以平均速度的大小主要与高、低速层所占的比例有关.当待计算层位的以上的地层中以层速度随深度的增加而增加的较新地层为主时,平均速度的变化也随深度的增加而增加;计算层位以上的地层中以层速度随深度的增加而基本不变化的地层为主时,平均速度的变化随低速层厚度占总厚度的比例的增加而减小。

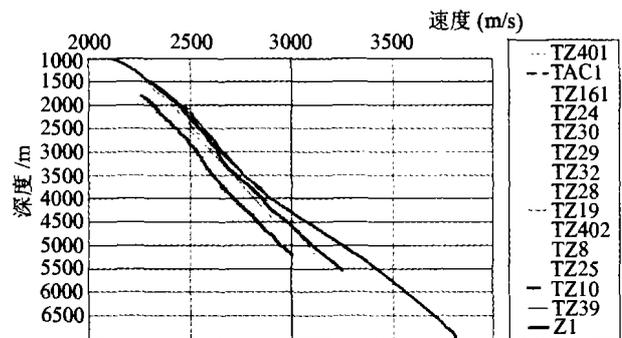


图4 重点探井 VSP 速度分析图

Fig. 4 The important exploratory VSP velocity well analytic map

表1 塔中工区2000m深度的平均速度对比表

Table 1 The correlation table of average velocity in 2000 meter's depth Tazhong area

井名	中1	塔中10	塔中18	塔中39	塔中45	满西2	和3	和4
平均速度	2855.65	2785.52	2926.98	2815.78	2809.10	2772.96	3211.02	4145.73
双程时	2812.06	2872.00	2736.00	2841.13	2847.89	2885.00	2491.02	1929.70

表2 塔中4000m深度的平均速度对比表

Table 2 The correlation table of average velocity in 4000 meter's depth Tazhong area

井名	中1	塔中10	塔中18	塔中39	塔中45	满西2
平均速度	2446.84	2421.31	2436.05	2456.22	2451.29	2424.32
双程时	1645.18	1652.00	1642.00	1628.52	1631.80	1649.95

1.3 方法原理

1.3.1 叠加速度在不同基准面之间的转换

在叠加速度谱基准面校正量不大的情况下,共 CDP 点的时距曲线为

$$t^2 v_e^2 + x^2, \quad (1)$$

x 是偏移距, v_e 是速度谱时间为 t_0 时的叠加速度, t 是双程时。

当时间有 Δt 的改变量时利用公式

$$v^2 = (t + t_0) v_e^2 / (t + t_0 + 2\Delta t) \quad (2)$$

可以把速度谱 t_0 时间的叠加速度 v_e 换算为时间剖面上 $t + \Delta t$ 处的速度 v 。

1.3.2 层速度和叠加速度的关系

模拟野外施工情况,可以得到模拟的叠加速度,结合水平层状介质的时距关系可以得到下面的迭代公式

$$v_{n,k+1} = v_{n,k} + \frac{\sum_{j=1}^m x_j^2 t_j^2 - t_0^2 \sum_{j=1}^m x_j^2}{v_a t_0 v_n \sum_{j=1}^m \frac{x_j^2 t_j^2}{\sqrt{1 - p_j^2 v_n^2}}} dv_a, \quad (3)$$

式中, $v_{n,k+1}$ 是第 $k+1$ 次迭代的第 n 层的层速度, $v_{n,k}$ 是第 k 次迭代的第 n 层的层速度, t_0 第 n 层的时间厚度(双程), dv_n 为 v_n 的改变量, t_0 、 v_a 为第 n 层的双程时、叠加速度, dv_a 为 v_a 的改变量, x_j 、 t_j 、 p_j 分别为共反射点道集中的第 j 个炮检距、旅行时、射线参数, m 为覆盖次数。

1.3.3 层速度约束

设 d 为观测数据, m 为模型数据, 它们的线性关系式为

$$d = Gm. \quad (4)$$

d 是 $M \times 1$ 维向量; G 是 $M \times N$ 阶矩阵, m 是 $N \times 1$ 维向量。根据数据的精度或重要程度增加相应的权系数 w , 设 e 为观测数据 d 与理论计算值 Gm 之误差向量, 则方差为

$$E = e^T e = [w(d - Gm)]^T [w(d - Gm)], \quad (5)$$

其最小方差解为

$$m = [G^T w_e G]^{-1} G^T w_e d. \quad (6)$$

式中,

$$w_e = w^T w.$$

2 速度场的建立

2.1 叠加速度的预处理

从图 2(不规则叠加速度叠合图)可见,由于施工年度、技术、处理技术等原因使得到的叠加速度谱在相邻测线之间存在系统误差,相邻谱点之间存在

速度畸变。基于上述原因须对原始叠加速度谱进行预处理。

2.1.1 叠加速度谱的基准面的统一

不同处理年度,不同处理单位所利用的叠加速度谱之间的基准面不闭合,所以必需把不同基准面下的叠加速度谱转换统一的基准面下的叠加速度。叠加速度谱的基准面是一个近地表的光滑面,而研究区的地表高差较大,如果把这一基准面设置为固定基准面,转换后的叠加速度将会很严重的畸变。为了降低这种影响,在速度场的建立过程中,基准面的校正分两步,第一,把叠加速度谱转换到统一的浮动基准面上;第二,把所得的平均速度校正到成图剖面的基准面上。

2.1.2 叠加速度的分频光滑处理

对于不规则、分布广、速度谱资料很乱的地区,一般都采用以下方法:结合周围井的速度特征通过多项式拟合程序进行处理,使其具有区域分布均匀、不规则畸变点少的特点。对于个别与相邻谱差别大的点,使用交互编辑的方法,对速度谱点进行剔除、修改处理,使其符合总体规律。但是,多项式拟合因受多项式次数的限制在叠加速度变化较大的地区效果不太理想;同时交互编辑方法的对速度谱点的删除、修改,不仅把速度谱的有用信息给予剔除,而且也加入了解释人员的主观认识。

数据平滑的前提是,人们正在测量的变量是慢变化的,并受到随机噪声的干扰。有时用某一点周围值的平均值来代替该点的值是非常有用的。这是由于周围点值与该点的值差别不大,平均只会减少噪声而不会给该点值带来太大的偏差。叠加速度的变化较缓,其畸变可以看作随机噪声。所以,为了确保叠加速度在剖面上和平面上有规律的变化,消除各种因素造成的误差,进行光滑处理是一个有效的方法。

在时间域内,沿反射层面光滑较好,但是受资料质量和工作量的限制不太可能追踪太多的反射层。在频率域内,低频分量反映了区域上大套地层速度变化的规律,相对较高频率分量局部上层组速度的变化规律。所以对叠加速度不同的频率分量运用不同的光滑参数进行光滑,使其能更好地符合总体规律同时,又能反映局部的变化特征。图 3 是塔中地区的叠加速度光滑前后对比图,从图中明显的可以看出:畸变的叠加速度得到了光滑,单个速度谱有规律的逐渐变化。

2.2 基于模型的层速度计算

变速成图的关键在于对速度的研究,速度的准确与否,将直接影响构造解释的精度.目前,利用速度谱求取层速度有两种方法:

(1) 利用 DIX 公式法,该方法是在排列长度不大的情况下,水平层状介质的叠加速度可以近似地看作均方根速度,用 DIX 公式计算层速度.但现在野外排列长度较大(都在 10 000 m 左右),把叠加速度认为是均方根速度,误差就不容忽视.

(2) 模型法.该方法基本思想是利用计算机模拟野外实际排列,将地下介质抽象为倾斜层状介质,按照一定的覆盖次数,用射线追踪的方法求出初始层速度模型及其共中心点时距曲线,根据双曲线理论和最小二乘法的基本原理,计算叠加速度,并将其与对应谱点的实际叠加速度进行比较,如果差值小于给定误差,该中心点的相应层速度模型就此确定,否则继续修改层速度模型,直到满足要求为止,然后继续下一个谱点的计算,如此得到整条测线谱点处的层速度.

基于模型计算层速度的方法,精度较高,得到了广泛的应用.一般情况,采用的模型都是以解释的地层层位为基础建立模型,该模型可以适应各种地层倾角,但在应用中也存在有不足之处.

(1) 实际应用中追踪的层位有限,从而浪费了许多叠加速度数据.

(2) 层速度的确定是采用速度扫描来实现的,其精度也就受计算量的制约.

(3) 在第一层较深时,第一层层速度的精度将对下一步的计算精度起着重要的作用.

塔中中原探区内地层倾角较小,建成水平层状模型,同时把叠加速度作倾角校正来计算层速度能够满足成图精度.这样做的目的是:

(1) 能够更有效、更充分地利用叠加速度数据.

(2) 可以建立尽可能多的层位.

(3) 第一层层速度确定容易且准确,因为上部精度相对较高的速度谱得到了有效地利用.

(4) 不再利用层速度扫描,取而代之的是利用迭代公式来确定层速度.

2.2.1 射线参数的计算步骤

计算过程中,由最小炮间距的射线参数算起,最后计算最大炮间距的射线参数,主要计算步骤如下:

(1) 按射线直线传播计算最小炮间距的射线参数初值.

(2) 计算出与实际炮间距的误差.

(3) 利用迭代公式计算出新的射线参数.

(4) 重复步骤(2)和(3)直到计算的炮间距与实际炮间距之间的误差满足误差要求为止.

(5) 以计算所得的射线参数作为下一个的炮间距的射线参数的初值.

(6) 重复步骤(2)到(5),把共 CDP 道集内的所有炮间距的射线参数计算完.

2.2.2 速度计算

本次采用的基于模型的层速度计算方法(图 5),主要步骤如下:

(1) 把研究区分为若干水平层,求出每条剖面各层的叠加速度.

(2) 设第一层为均匀介质,求出层速度和界面位置.

(3) 用 DIX 公式计算出第二层的层速度作为待求层的初始层速度.

(4) 模拟野外施工情况,计算出这层共反射点的各个炮检距旅行时.

(5) 进行理论曲线拟合,求出的叠加速度和实际叠加速度的误差.

(6) 利用迭代公式计算出新的层速度.

(7) 重复步骤(4)到(6)直到计算的叠加速度和实际叠加速度之间的误差满足误差要求为止.

(8) 计算完第二层后再计算第三层,方法同上,以下各层依次类推,直到把所有的层计算完.

(9) 重复步骤(2)到(8),直到把区内的所有叠加速度谱计算完.

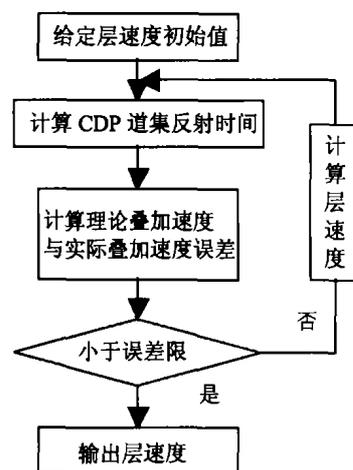


图 5 基于模型的层速度计算法框图

Fig. 5 Diagram of the model of inter-layer velocity's numeration

2.3 层速度约束

由于模型法在计算层速度时仍然是在单点处进

行的,而单点计算过程中往往存在速度随机误差等多种因素,因此造成的速度误差和系统误差仍无力消除.为了尽最大可能消除和减少各种误差造成的影响,可采用对层速度的约束处理.

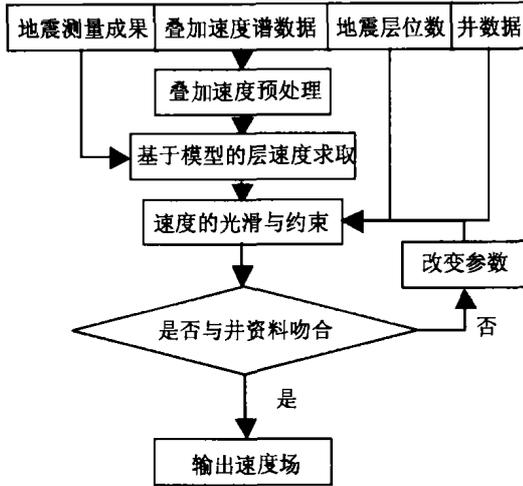


图 6 速度场建立流程图
Fig. 6 The velocity field building flow chart

根据同一时代地层层速度渐变的特点,对层速度沿层位作平滑处理,由层位控制的平滑优于常规沿时间平面的处理.此外,对速度的平滑分析应符合统计学规律,用统计方法求出平滑点附近区域的速度平均值,并滤去偏离平均值较大的数据点,然后进行平滑处理,这样得到的层速度就排除了个别异常点的干扰,更好反映了速度的真实分布.如果断层的断距较大,在作速度平滑处理时还应考虑断层的影响.

由于不同的速度资料因其来源不同其精度也不同.在实施过程中,根据各个主要目的层(或角度不整合面)计算出各层的层速度.根据其精度分为三类:

- (1) 从 VSP 所得层速度.
- (2) 从合成记录所得的层速度.
- (3) 从叠加速度所得层速度.

根据层速度的类型和离计算点的距离赋予不同的权值,对层速度进行约束处理.计算完成后,对层速度作分析,在层速度剖面上对比层速度走势与构造的关系,分析趋势是否合理;分析层速度平面分布与沉积环境、构造和埋深的关系.确保层速度在纵横向变化都符合地质规律.

2.4 速度场建立流程图

总流程图如图 6 所示,按此步骤,可以建立本区的速度场.

3 效果分析

3.1 平均速度变化趋势

利用上方法我们对塔中中原探区 23 000 km² 勘探范围进行速度分析与计算,建立了新的速度场;得出塔中中原探区平均速度的变化趋势为:在塔中地区构造高部位平均速度相对较小,低部位平均速度相对较大,同样根据平均速度的变化趋势也能判断构造的变化趋势;在巴楚地区构造高部位因低速层相对较薄而平均速度相对较大,构造低部位因低速层相对较厚而平均速度相对较小.

3.2 精度分析

利用该速度场进行变速成图,成图精度得到了提高,在塔中地区,落实发现了 5、17、33、34 号等圈闭,提供并实施探井 6 口.实现了中石化西部新区油气勘探的突破;同时,成图精度得到了提高(见表 3、表 4). 三维工区内的中 1 井最大绝对误差为 -80 m,最大相对误差为 1.5%;二维工区详查工区

表 3 实钻层位深度与转换层位深度误差表
Table 3 The error table of the real horizon depth and converted horizon depth

层位	TZ45 井				TZ49 井				阿满 2 井			
	实钻埋深(m)	转换埋深(m)	埋深误差(m)	相对误差(%)	实钻埋深(m)	转换埋深(m)	埋深误差(m)	相对误差(%)	实钻埋深(m)	转换埋深(m)	埋深误差(m)	相对误差(%)
第三系底	2 080	2 064	-16	0.77	2 167	2 160	-7	0.32	2684			
白垩系底	2 502	2 498	-4	0.16	2 630	2 614	-16	0.61	3 193	3 282	89	2.79
叠系底	3 325	3 280	-45	1.35	3 390	3 342	-48	1.42	4 163	4 204	41	0.99
二叠系底	4 004	4 070	66	1.65	4 121	4 138	27	0.66	4 848	4 886	38	0.78
生屑灰岩顶	4 422	4 436	14	0.32	4 531	45	32	1	0.02	5 137	5 118	-19
东河砂岩底	4 580	4 570	-10	0.22	4 628	4 648	20	0.43	5 253	5 250	-3	0.06
志留系底	5 440	5 364	-74	1.36	5 532	5 494	62	1.12				
中上奥陶统底	6 039	5 942	-97	1.61	6 015	5 994	-21	0.35				

表 4 实钻层位深度与转换层位深度误差表
Table 4 The error table of the real horizon depth and converted horizon depth

层位	中1井				TZ64井			
	实钻埋深(m)	转换埋深(m)	埋深误差(m)	相对误差(%)	实钻埋深(m)	转换埋深(m)	埋深误差(m)	相对误差(%)
第三系底	1 928	1 937	9	0.47	1 958	1 959	1	0.05
白垩系底	2 265	2 279	14	0.62	2 159	2 151	-8	-0.37
三叠系底	2 906	2 890	-16	-0.55	2 822	2 795	-27	-0.96
二叠系底	3 916	3 902	-14	-0.36	3 720	3 730	10	0.27
生屑灰岩顶	4 339	4 310	-29	-0.67	4 126	4 124	-2	-0.05
东河砂岩底	4 469	4 512	43	0.96	4 305	4 318	15	0.35
志留系底	5 180	5 200	20	0.39				
中上奥陶统底	5 350	5 270	-80	-1.50				

内的 TZ45 井最大绝对误差为 -97 m, 最大相对误差为 1.65%, TZ49 井最大绝对误差为 62 m, 最大相对误差为 1.42%, AM2 井最大绝对误差为 89 m, 最大相对误差为 2.79%, TZ64 井最大绝对误差为 -27 m, 最大相对误差为 0.96%.

4 结论和建议

塔中中原探区速度场的研究, 查明了区内速度变化规律, 提出了不同地质条件下速度变化规律不同. 总结出了一套适合地质复杂地区速度场建立的方法. 该方法能够推广应用于诸如富县、准噶尔等地区的勘探中, 以便提高成图精度、排除假构造、发现新的圈闭、减小勘探风险, 将创造良好的经济效益及社会效益, 对集团公司可持续发展具有十分重要的意义. 该速度场的建立方法得到了专家的认可, 并加以推广. 随着资料的不断积累, 该速度场的建立方法

将会逐步完善.

参 考 文 献 (References):

- [1] 刘洋, 等. 基于连续速度模型的速度分析方法[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1999.
- [2] 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 1~3.
- [3] 王家映. 地球物理反演理论[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1998.
- [4] 万志超, 滕吉文, 张秉明. 各向异性介质中地震波速度分析的研究现状[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(3): 35~44.
- [5] 王光杰, 张中杰, 滕吉文. TI 介质双参数速度分析[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(1): 113~118.
- [6] 刘振宽, 吴永刚, 刘英杰, 于晶. 利用初至波走时速度成像进行近地表静校正的方法[J]. 地球物理学报, 1995, 38(增刊): 153~159.
- [7] 刘伊克, 常旭, 王辉. 三维复杂地形近地表速度估算及地震层析静校正[J]. 地球物理学报, 2001, 44(2): 272~278.