

塔里木盆地亚肯北三维浮动基准面解释建模技术

范伟峰,李春雷,蒋进勇

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院,乌鲁木齐 830011)

摘要:塔里木盆地亚肯北三维地震工区地表起伏大,速度预测难度大。采用新开发的切片堆积法浮动基准面速度建模技术进行了一系列改进。基于浮动基准面建模避免迁移误差,利用压实速度规律填充速度谱浅部空白段,利用平均层速度计算层厚度补偿平均速度偏大情况,基于等时速度切片剔野值、平滑避免对解释层位的依赖,新技术解释深度对井误差标准偏差为123 m,相对误差为2.19%。新推导的平均静校正量法浮动基准面计算公式表明,替换速度偏大浮动基准面高于地表,基准面补偿至地表(长波长静校正)后对井误差标准偏差降为46 m,相对误差降为1.59%。基于新编制的构造图落实了亚肯北1号构造。

关键词:浮动基准面;静校正;替换速度;速度谱;切片堆积法速度建模;亚肯北;塔里木盆地

中图分类号:P631

文献标识码:A

Interpretation and modeling technology based on 3d floating datum, northern Yaken, Tarim Basin

Fan Weifeng, Li Chunlei, Jiang Jinyong

(Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: In the northern Yaken of the Tarim Basin, the surface of 3d work area fluctuates obviously, making it difficult for velocity prediction. Improvements have been made with the newly-designed velocity modeling technology based on floating datum. Migrating error is avoided. The regularity of compaction velocity is used to fill the gap for velocity spectrum data in the shallow. The use of average interval velocity to calculate thickness avoids the problem of bigger average velocity. Ticking outliers based on isochronous speed sliced, the dependence on interpretation layer is avoided smoothly. The interpretation depth with the new method has a standard deviation of 123 m from well, which is 2.19% of relative error. The new-derived equation shows that a larger replacement velocity causes floating datum higher than surface. After the floating datum is compensated to the surface (long wavelength static correction,) the standard deviation decreases to 46 m and the relative error is 1.59%. The new technology implements the structure of Ykb1.

Key words: floating datum; static correction; replacement velocity; velocity spectrum; velocity modeling of slice stacking capillary method; northern Yaken; Tarim Basin

1 三维浮动基准面解释建模技术

1.1 浮动基准面解释建模流程

地震资料处理时速度分析、动校正、叠加和偏移等环节都在浮动基准面上进行,基于尊重第一手(浮动基准面)地震资料和避免产生迁移误差考虑,地震资料解释、速度建模理应基于浮动基准面进行。

常规速度建模基于同一年代地质体速度横向变化平缓特性,借助解释层位内插提取沿层速度,利用剔野值、平滑处理的沿层速度纵向内插建立三维速度模型^[1-2]——层位控制法解释流程(图1

左)。层位控制法解释流程既可以用于固定基准面解释,又可以用于浮动基准面解释(浮动基准面资料当固定基准面资料解释,图1左黑色部分)。

在复杂地表低信噪比地区,解释足够数量、满足精度的控制层位是挺难的事情。基于同一埋深地质体速度横向变化平缓特性——压实速度规律^[3-7],可以对等时速度切片进行剔野值、平滑处理,将剔野值、平滑处理的等时速度切片依次堆积起来即可构建三维速度模型——切片堆积法解释流程(图1右)。因压实速度规律不适用于固定基准面资料^[3],切片堆积法解释流程只适用于浮动基准面解释。

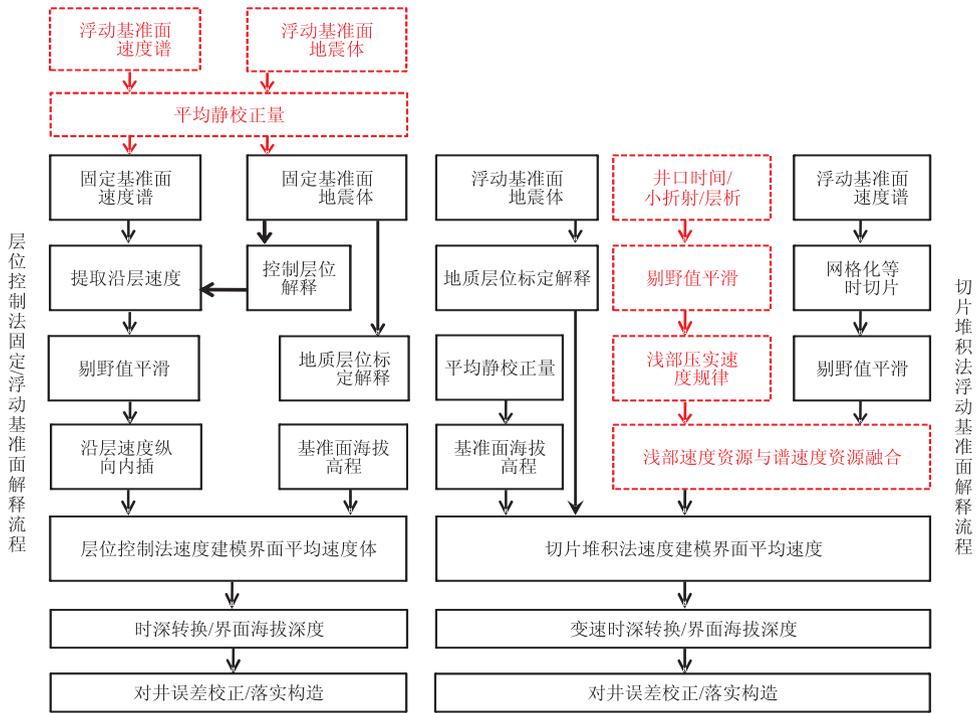


图 1 层位控制法与切片堆积法解释流程比较

Fig. 1 Interpretation process comparison between controlled approach (left) and slice stacking capillary method (right)

切片堆积法解释流程可以将浅部速度资源(图 1 右红色部分)与谱速度资源融合建立完整的速度模型,且流程简单、适应性强,是本文采用的解释流程。

1.2 速度资料网格化处理

速度成果和速度模型一般通过网格化数据体现,速度资料剔野值、平滑处理需要参考相邻横向信息和上下纵向信息,这些信息通过网格化描述更加简单、方便。

亚肯北三维速度建模网格化横向参数为 800 m×800 m,与速度谱纵横向间距一致。

对亚肯北三维 1 017 个浮动基准面速度谱进行统计:平均首能量团时间、平均末能量团时间、平均能量团数分别为 426 ms、4 675 ms 和 19.5 对,能量团平均间隔为 217 ms。由此确定了浮动基准面速度建模网格化纵向参数:起始时间为 200 ms,时间间隔为 200 ms,最大时间为 5 000 ms,共计 25 张速度切片。

所有参与速度模型建立的速度资源均需进行网格化处理和网格化运算。

1.3 速度切片剔野值和平滑处理

剔野值和平滑处理基于等时速度切片或沿层速度切片进行。

剔野值工作分两轮完成,第一轮对每张速度切片的 Z 值(速度)进行统计,依据 Z 值分布分别舍

弃高、低端 n% 的点;第二轮融合在平滑过程中,对 5×5 平滑算子内的 Z 值(速度)进行统计,分别舍弃最小值和最大值后再进行平滑、平均运算。

前人^[8]针对地震解释层位和属性,论述了各种平滑方法的效果。本研究借鉴其推荐的 2 种平滑方法,不考虑断层时采用 Max/Min Trimmed Mean 平滑方法,考虑断层时采用 Symmetric Nearest Neighbor 平滑方法。

平滑后的速度切片每个网格结点均有值(剔除的野值点被重新赋值,空白点被内插或外推)。

1.4 浅部速度资源与谱速度资源融合

地震波场特征和观测系统决定了浅部叠加次数较少,加之复杂山地区表层结构复杂导致静校正误差相对较大,使得速度谱浅部能量团往往不聚焦,造成可拾取的速度谱首能量团时间偏大。亚肯北三维浮动基准面速度谱首能量团时间平均值为 426 ms、叠加速度平均值为 2 857 m/s(图 2 紫色实心方点)。

常规解释一般用首能量团速度充填不聚焦段,即假设网格化后的 200 ms、400 ms 两张速度切片均来自于速度谱首能量团速度,这种做法将导致时深转换后的深度偏大^[9]。将浅部速度资源与谱速度资源融合将提高速度模型的精度^[1-2]。

1.4.1 浅部速度资源整理

(1) 激发井深 D 和井口时间反映的浅部速度

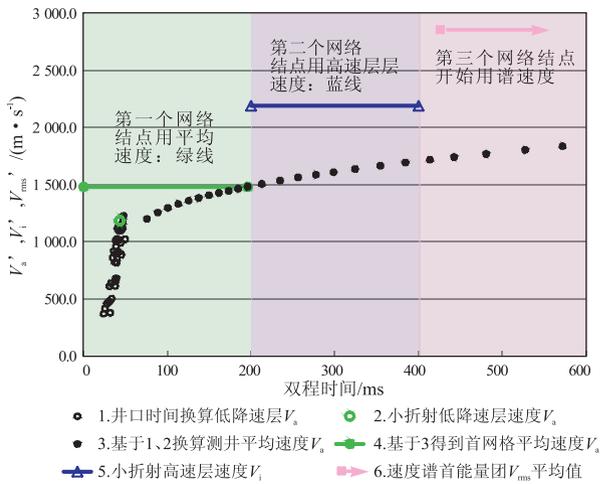


图2 浅部速度资源与谱速度资源融合路线

Fig. 2 Combined route map of shallow velocity and spectrum velocity resources

资源:对亚肯北三维工区 10 648 个炮点(工区中部为可控震源激发)资料按 1 m 的激发深度步长对激发深度 D 、井口时间 t 取平均,得到不同激发深度对应的平均速度 V_a (图 2 黑色空心圆),并有:

$$2t = 0.82 D + 24.75$$

$$R^2 = 0.88 \quad (0 \sim 30 \text{ m}) \quad (1)$$

$$V_a = 41.98 \times 2t - 701.65$$

$$R^2 = 0.81 \quad (0 \sim 30 \text{ m}) \quad (2)$$

由此可计算出:22 m 平均激发深度对应的(低降速层)平均速度为 1 095 m/s。

(2)小折射资料反映的浅部速度资源:对亚肯北三维工区 725 个小折射资料进行剔野值、平滑整理,得到低降速层厚度平均值为 25 m,整理的低降速层双程旅行时间和平均速度分别为 43 ms 和 1 185 m/s(图 2 绿色空心圆),高速层层速度平均值 2 191 m/s(图 2 蓝色空心三角)。

(3)测井资料反映的区域性浅部压实速度规律:在全盆地范围内筛选、收集起始测井深度最浅的 15 口井的测井资料,并按一定深度步长分段求平均,将 50 ~ 1 000 m 深度段声波时差换算至层速度,按公式(1)将 50 m 起始深度转换为双程旅行时 $T_0 = 2t$,进而得到双程时间域测井资料平均速度 V_a (图 2 黑色实心圆),并有:

$$V_a = 497.79 T_0^{0.2064}$$

$$R^2 = 0.99 \quad (50 \sim 1\,000 \text{ m}) \quad (3)$$

1.4.2 浅部速度资源与谱速度资源融合原则

在时间域融合层速度。200 ms 网络结点赋予平

均速度(首点层速度等于平均速度),参照公式(3)取值(图 2 绿线);400 ms 网络结点赋予层速度,参照小折射高速层层速度取值(图 2 蓝线);400 ms 之后网络结点赋予层速度,基于网格化后的速度谱和 DIX 公式计算的层速度取值(图 2 紫箭头)。

融合后可将融合模型转换为平均速度或均方根速度模型。

若考虑浅部速度空间变化,需对 200 ms、400 ms 网络结点进行空变赋值:先将井口时间、激发深度、小折射成果进行网格化、剔野值、平滑处理,然后结合测井资料反映的层速度,赋予 200 ms、400 ms 网络结点横向变化的速度属性。

1.5 对 DIX 公式层速度往上取平均

DIX 公式将依据 $m-1$ 、 m 相邻能量团资料计算的层速度定义为 m 能量团处的层速度,并用该层速度计算 $m-1$ 、 m 能量团之间的厚度,考虑到一般情况下层速度随着时间的增大而增大,考虑到常规解释得到的平均速度一般偏大,我们采用对 DIX 公式层速度往上取平均改进措施,即用层顶和层底的平均层速度计算该层的厚度。

1.6 设定层速度门槛值

由于工区内浅部存在高速砾岩层、中深部存在(新近系吉迪克组)低速膏泥盐层,亚肯北三维工区 1 017 个浮动基准面速度谱中有 462 个谱点存在速度倒转现象。为防止产生不合理层速度用于后续运算,我们在层速度计算环节设置了低速、高速门槛:低速门槛值参照煤层速度,设置为 2 566 m/s,高速门槛值参照库 1 井 VSP 测到的最高速度,设置为 6 250 m/s。

1.7 速度模型建立

应用 Office Excel 编程环境,完成上述所有关键环节的数学实现和相互衔接,即得到浮动基准面三维平均速度模型(体)。基于该模型既可以实现地质界面的时深转换,又可以实现地震体资料的时间域—深度域相互映射,为时间域地震资料和深度域测井、钻井资料共享解释和盆地级连片解释奠定了基础。

2 应用效果

利用常规解释的固定基准面层位和 DT_i 层位进行反迁移可以得到浮动基准面解释层位,利用上述切片堆积法建立的速度模型对浮动基准面解释层位进行时深转换,得到浮动基准面地震解释深度 $TVDSS_{浮}$,与钻井深度 $TVDSS$ 相减,得到浮动面建模对井误差($errFU1 = TVDSS - TVDSS_{浮}$,表 1 蓝色)。

表 1 亚肯北工区不同基准面地震资料解释井校前对井误差对比

Table 1 Error comparison to well of seismic interpretation from different datum in northern Yaken

界面	KU1 井;KB=1 154 m				DUH4 井;KB=1 030 m				YANG1 井;KB=1 041 m			
	钻井揭示深度 TVSS	固定面建模对井误差 差 errGU	浮动面建模对井误差 差 errFU1	浮动面建模基准面校正后对井误差 errFU2	钻井揭示深度 TVSS	固定面建模对井误差 差 errGU	浮动面建模对井误差 差 errFU1	浮动面建模基准面校正后对井误差 errFU2	钻井揭示深度 TVSS	固定面建模对井误差 差 errGU	浮动面建模对井误差 差 errFU1	浮动面建模基准面校正后对井误差 errFU2
T_2^0	-2 520	599	-106	-30	-2 332	408	27	-151	-2 336	667	164	-42
T_2^1	-3 609	657	-127	-50	-3 284	266	17	-161	-3 406	686	52	-154
T_2^2	-4 466	670	-112	-38	-4 061	49	77	-100	-4 178	847	160	-48
T_2^3	-4 851	703	-112	-38	-4 314	276	122	-51	-4 455	864	183	-22
T_3^0	-5 003	668	-158	-85	-4 494	186	39	-131	-4 632	781	114	-91
T_3^2	-5 342	717	-158	-85	-4 786	254	120	-52	-4 938	819	164	-42
平均值		669	-129	-54	-3 878	273	67	-107	-3991	777	139	-66

固定基准面建模对井误差 errGU 最小值为 186 m,最大值为 864 m,平均值为 573 m,标准偏差为 232 m

浮动基准面建模对井误差 errFU1 最小值为-158 m,最大值为 183 m,平均值为 26 m,标准偏差为 123 m

基准面校正后浮动基准面建模对井误差 errFU2 最小值为-161 m,最大值为-22 m,平均值为-76 m,标准偏差为 46 m

可以看出,浮动基准面速度建模精度明显提高:3口井18个界面的对井误差标准偏差由232 m降为123 m,按规范计算的垂向深度相对误差平均绝对值由11.46%降为2.19%。

3 结语

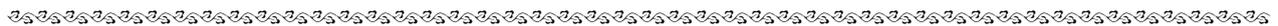
1)固定基准面速度建模、解释存在较大的问题:固定基准面等 T_0 图形态较浮动基准面改变较大,改变量 DT_i 随空气垫的厚度(地表至固定基准面之间的距离)和替换速度非系统变化;固定基准面速度资料存在较大的非系统迁移误差,2个非系统误差的叠合将恶化构造解释精度,地震资料解释深度对井误差为11.46%。

2)浮动基准面速度建模、解释更尊重第一手资料,有利于浅部速度资源与速度谱资源的融合,有利于盆地级地震项目联片解释建模,有利于提高构造解释精度,建议根据实际情况推广浮动基准面速度建模、解释技术。

参考文献:

- [1] 漆立新,顾汉明. 天山南缘亚肯北地区速度建场因素分析[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(4):407-412.
- [2] 杨举勇,梁向豪,肖又军,等. 塔里木盆地山地地震勘探技术及应用[M]. 北京:石油工业出版社,2009:69-144.
- [3] Hilterman F J. 地震振幅解释[M]. 孙夕平,等译. 北京:石油工业出版社,2007:11-17.
- [4] 常文会. 地层压力预测技术[J]. 勘探地球物理进展,2005,28(5):314-319.
- [5] 赵健. 松辽盆地西斜坡地层压实规律[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):486-492.
- [6] 魏茂安,陈潮,王延江,等. 地层孔隙压力预测新方法[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):395-400.
- [7] 李新宁,李留中,徐向阳,等. 异常地层压力的形成原因及预测方法[J]. 吐哈油气,2006,11(2):120-126.
- [8] Hall M. Smooth Operator Smoothing seismic interpretations and attributes[J]. The Leading Edge,2007,26(1):16-20.
- [9] 满益志,王兴军,张耀堂,等. 库车山地复杂逆掩构造区变速成图技术研究与应[J]. 石油地球物理勘探,2008,43(增刊1):119-121.

(编辑 徐文明)



(上接第3页)

模块对叠加速度谱进行监控分析,确保基础资料的准确性;

2)在速度分析完成的基础上,运用现有解释层位及断裂,利用变速成图模块对其进行速度场建立和时深转换。此过程中,可做到步步监控,以保证最终深度图和实际深度误差最小化。

参考文献:

- [1] 蔡刚,屈志毅. 构造复杂地区地震资料速度和成图方法研究应用[J]. 天然气地球科学,2005,2(16):246-249.
- [2] 甘庆明,姬鹏程,温怀英. 逆冲推覆构造的主要特征及勘探前景[J]. 特种油气藏,2008,1(15):28-31.
- [3] 李庆忠. 走向精确的勘探道路[M]. 北京:石油工业出版社,1993.

(编辑 徐文明)