

一种三维地震数据空间解释方法

于正军^{1,2,3}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室, 山东青岛 266071; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司物探研究院, 山东东营 257022; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100083)

摘要:长期以来, 三维地震勘探资料的解释一直沿用二维的方法和流程, 不能完全、有效地发挥其应有的作用。随着勘探目标的进一步细化, 这种方法已不能满足解释的需要。根据目前解释技术的现状, 将常规剖面与三维所特有的切片资料紧密结合, 以大网格的剖面为格架, 用水平切片精细解释构造。初步总结出层位标定、骨架剖面建立、构造解释、数据拾取、网格化、平滑、时深转换、成图等一套较完整的三维资料解释方法, 与常规方法比较, 具有高效、直观、可检查的特点。该技术在滨东和宁海等地区进行了试验并取得了良好的效果。

关键词: 三维地震勘探; 地震切片; 层位标定; 空间解释

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

早在三维地震勘探初期, Brown^[1]就在他的“三维地震数据解释”专著中介绍了用地震时间切片做构造解释和地层学研究的成果, 并认为利用水平切片资料做出的等时线图可粗略、快速地了解构造形态, 还可结合垂直剖面编绘精确的构造图。遗憾的是, 这一工作思路并没有为以后的人们所继承和发展。

诚然, 目前常规的解释思路 and 操作流程^[2]仍在油气勘探中发挥着重要作用, 但就三维地震勘探方法的特点而言, 因为垂直剖面与水平切片包含的信息不同, 应相互参考, 而当前的三维资料二维解释, 也不能完全、有效地发挥三维地震技术的作用, 因此, 解释人员有必要对目前的工作方法进行思考, 探索新的方法。

笔者根据对三维地震数据体的理解, 针对断裂复杂地区的特点, 提出了在对三维地震资料进行构造解释时, 不需要对大量的地震剖面逐一进行解释, 重新建造三维构造形态, 而是用为数不多的经地质解释的地震时间剖面做控制(定层), 在地震时间切片上直接解释勾绘等值线的方法。该方法不仅能充分体现三维地震勘探的优点, 而且能保证解释质量, 简捷、快速地完成解释工作, 大大节约了解释的工作量。

1 可行性分析

经过偏移处理后的三维地震资料, 就是一个三维数据体^[3], 而水平切片是从三维数据体得到的一种很有用的资料, 它了解地下构造形态和查明某些特殊地质现象具有独特的优势^[4]。水平切片上

同相轴振幅的大小反映了反射波的强弱, 而同相轴的宽窄不仅与反射波的频率有关, 同时也与界面倾角有关。

我们知道, t_k 时刻的等时切片图上同时显示出许多地层在 t_k 时刻的等时线, 而地震构造图上则显示出某一个地层的全部等 t_0 线。 t_k 时刻的等时切片上某个地层的同相轴, 对应于该地层的等 t_0 图上 $t_0 = t_k$ 的那条等时线。因此, 通过对一系列水平切片的解释来直接绘制等 t_0 构造图显得简捷方便。

2 解释方法

2.1 方法流程

本文提出的对三维地震数据体进行空间解释的技术流程是: ①从井出发标定层位, 精细解释少量控制剖面; ②将上述解释结果输入到三维地震数据体中; ③按时间顺序, 根据控制解释剖面在时间切片上的映像, 进行构造解释; ④把同一地震标准层中不同时间间隔的等时线汇编在同一张图上, 即为某地震标准层的等时线图, 经时深转换可得到构造图; ⑤在完成地震时间切片解释的同时, 完成了数据体内所有地震剖面的解释(图 1)。

2.2 方法要点

1) 层位标定。

层位标定是架起地震与地质之间的桥梁^[5]。主要运用的标定方法有 2 种: 一是利用平均速度资

收稿日期: 2006-12-03; 改回日期: 2007-03-20。

作者简介: 于正军(1968—), 男, 高级工程师, 中国科学院海洋研究所读博士, 主要从事地震资料解释及综合研究工作。

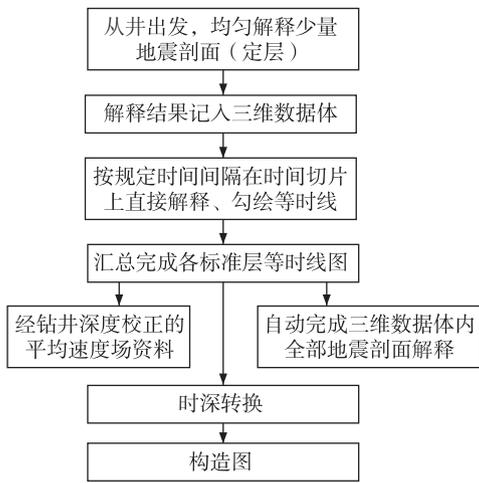


图 1 空间解释流程

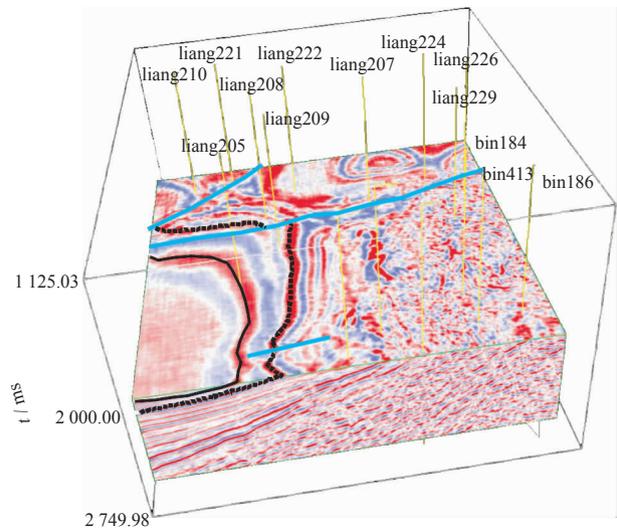


图 2 空间构造解释方法示意

料直接进行标定；二是利用合成记录进行标定。

在第一种方法中，利用研究区平均速度资料很容易把钻井所钻遇的目的层标定在地震剖面上，但标定结果受资料品质和速度的精确程度影响较大。

在用合成记录和地震剖面对比时，需要进行漂移校正，以消除人工合成记录与井旁地震道之间的时差。将地震剖面上反复对比的最终结果应用座椅式显示方式再标定在水平切片上。

2) 建立骨干剖面。

建立骨干剖面的目的是明确对比追踪的反射相位，确定宏观解释方案。骨干剖面网格密度不必太大，在实际操作中，一般选择 $800\text{ m} \times 1\ 600\text{ m}$ 即可满足方法研究的需要。对选择出的骨干剖面作精细层位标定，进行相位的对比和追踪，完成构造格架的基本解释。

3) 构造解释。

空间法构造解释的主要内容是在水平切片上进行波的对比和追踪解释(图 2)。波的对比包括在一张等时切片上识别和追踪出各反射层的同相轴，以及在一系列等时切片上追踪同一反射层的同相轴^[6]。

如果反射层是一个背斜(向斜)，它在水平切片上的同相轴表现为一个圆，连续几张时间值逐渐增大的水平切片上，这个背斜(向斜)的圆形同相轴将会逐渐扩大(缩小)；如果反射层是一个单斜地层，那么在连续几张水平切片上，这个反射层的同相轴将会有规律地向一个方向移动。

在水平切片上，断层可有如下反映：①同相轴中断、错开；②同相轴错开，但不是明显中断；③同相轴的宽度发生突变；④同相轴突然拐弯；⑤相邻两组同相轴走向不一致。如果是直立断层，则在一系列等时切片上同一条断层的位置应重合^[7]。应当指出：断层的识别和断层线的追踪须综合利用垂直剖面 and 水平切片来互相对比验证，而且需要将所追踪层位的同相轴在一系列等时切片上的断点都找出来^[8]。

此外，象岩溶坑、河道、盐丘等特殊的地质现象在水平切片上也有较为明显的识别特征，可较容易地圈定其分布范围。

空间法构造解释的基本标志详见表 1。

表 1 空间解释的基本标志

序号	时间剖面	时间切片
1	在时间剖面上，对地震标准层同相轴进行解释	在时间切片上，对地震标准层同相轴的等时线进行解释
2	认为波峰极大处为标准层顶面的准确时间值	认为等时线的中线是标准层顶面的准确位置
3	标准层、波组错动解释为断层	等时线、等时线组错开解释为断层
4	根据波组或 2 个标准层错动后的特征，确定断层性质(正、逆断层)	根据相邻等时线断开后的断面等高线的排列特点确定断层性质
5	地层(同相轴)倾角变化的分界处解释为断层	等时线疏密变化的分界处可解释为断层
6	同相轴频率变化的分界处可能为断层显示	等时线粗细变化的分界位置可能为断层显示
7	反射水平层时间值相同	水平反射层的等时线呈黑片状
8	标准层同相轴倾向不同可能为断层显示	等时线走向不同可能为断层显示

4) 进行三维空间解释。

要做好骨干剖面的设计和解释工作,除考虑能有效地控制时间切片解释外,还要尽量优选通过探井的剖面。在空间解释完成后,用骨干剖面对解释成果进行全面检查,做到剖面 and 切片解释合一。

在着手解释之前,有必要对解释层段水平切片进行浏览,以便对构造特征和地质目标有个全面的了解。

在地层倾角较陡、解释确有困难时,可加大时间切片间距进行解释。

在完成某标准层的等时线图后,要对其自动完成的垂直剖面进行抽样检查,保证解释质量。

在时间切片上进行断层组合和划分断块时,应考虑同一断块内等时线走向和倾向的一致性

周围断块的协调性。

3 应用实例及效果分析

3.1 宁海地区

宁海地区三维地震资料的信噪比、分辨率高,浅、中、深层反射波波组特征明显,层间信息丰富。在该区应用空间解释方法完成了 T_2, T_3, T_g 反射层的等 t_0 图和构造图,成图面积达 590 km^2 。以 T_6 层等 t_0 图为例,构造形态和断层展布较以前常规解释结果有较大差别,但空间解释的方案更符合钻井和开发情况。空间法解释的 A 区内 3 条断层与水平切片上解释的 3 条断层的特征基本相同(图 3),用控制剖面对空间解释的这 3 条断层进行了检查,断点

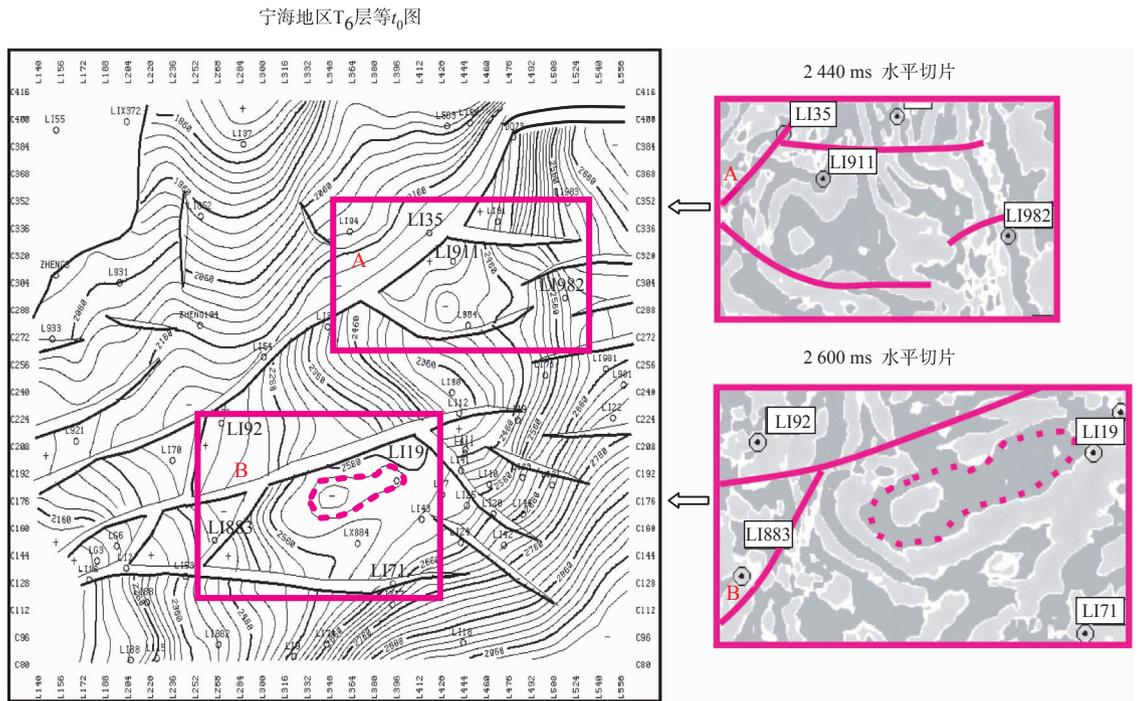


图3 宁海地区空间解释效果显示

都准确无误。而 B 区的小向斜在等 t_0 图与其相对应的水平切片上显示的形状完全一致。与以前解释成果相比较,应用本方法新发现了断块 4 个,落实了圈闭面积 3.8 km^2 ,部署的 3 口探井均获得了成功。

试验结果表明,应用切片法解释构造比常规剖面法节约机时近 $1/3$,以完成 100 km^2 的三维解释工作为例,剖面法按 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的测网密度解释,最终提交的解释剖面为 202 条;而空间法解释完毕后,提供的解释剖面为 802 条,解释的地震时间剖面的网格密度与数据体相同。

3.2 滨东地区

滨东地区构造较为复杂,工作的重点是精细落

实断层及合理组合,应用空间解释法完成了 T_2, T_4, T_6 反射层的解释成图,面积近 232 km^2 。由于每一张水平切片是地下不同层位的信息在同一时间内的反映^[9],而同一层位的信息又连续清晰地反映到多张切片上,因此,在断裂复杂地区,用剖面法进行构造解释时,断点连接和断层组合常常是解释过程中的一大难题,而水平切片在研究地层走向和了解构造平面分布方面具有独特优势,三维空间解释方法可使二者得到优势互补。同时,在解释过程中,二者相互验证、相互检查,发现问题能及时改正,从而可提高解释工作质量,做到时间剖面、水平切片和构造图的三者合一。

利用水平切片绘制等 t_0 构造图具有快速、准确和简便的特点,对构造细节刻画、小幅度构造及小断层的识别尤为实用。关于这一点,可用小断层在水平切片上地震响应的模型(图4)来定量说明:

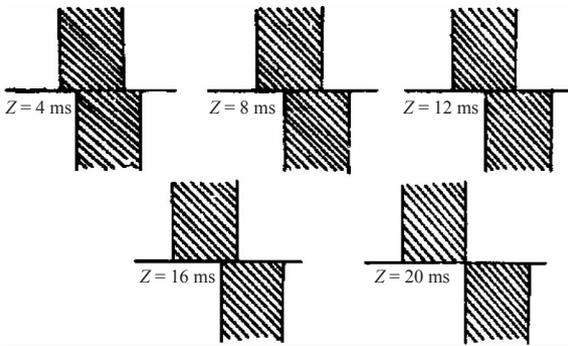
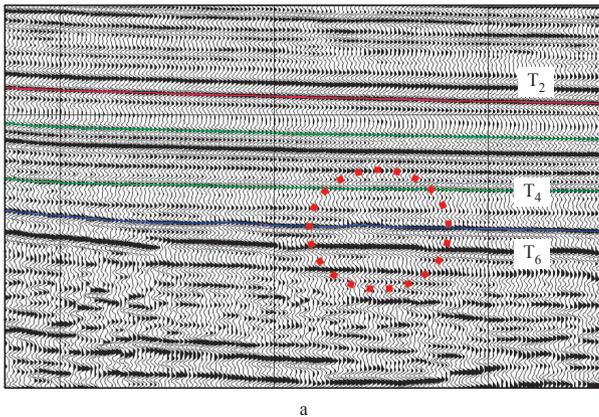


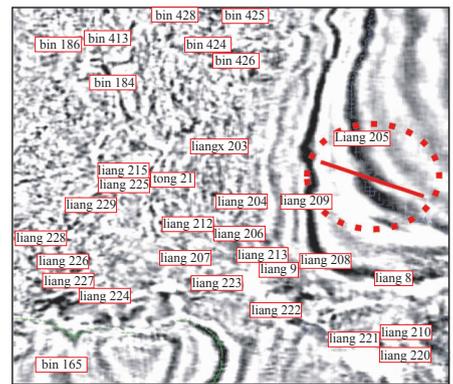
图4 小断层在水平切片上的地震响应模型

当有断层存在时,水平切片上同相轴即错开,错开量与断距成正比。当断距(Z)小至4 ms时,在垂直剖面上只错开0.4 mm,是不可分辨的;但在水平切片上的错开量达到2.72 mm时或在断距为8, 12, ..., 20 ms时,水平切片错开量是剖面断层落差的6.8倍。水平切片对这种小断层的“放大”作用,使我们利用三维地震资料分辨4~5 ms断距的小断层成为可能^[10]。

图5是一个应用空间解释方法解释小断层的实例。在地震剖面上小断层仅表现为挠曲且易被人忽略,但在水平时间切片上的断层显示明确无误。应用本方法,在滨东地区共解释断距为1/10相位的小断层5条,理顺了2个断块的油水关系,为本区微幅构造滚动勘探开发提供了可靠依据。



a



b

图5 小断层解释结果对比

a 滨东地区 sn505 线地震剖面; b 滨东地区 2396 ms 水平切片

4 结论

1) 本文所介绍的空间解释方法是应用切片一剖面一切片在三维空间中进行交互解释,体现了三维地震勘探的特点,充分发挥了三维数据体的作用。

2) 滨东和宁海2个试验区的解释方法研究表明,本方法不仅适合于一般简单地区,而且在断裂复杂地区同样见到了明显的效果,对研究小幅度、小断层、小断块尤为适用。

3) 通过在不同研究区的工作实践,证实了本方法具有直观、逼真、简捷快速和便于掌握的优点,具有进一步加深研究应用的价值。

参考文献

1 Brown A R. 三维地震资料解释[M]. 张孚善译. 北京:石油工业出版社,1996. 19~36

2 谢里夫 R E, 吉尔达特 L P. 勘探地震学(下册)[M]. 初英,李承楚,王宏伟等译. 北京:石油工业出版社,1999. 443~455

3 常子恒主编. 石油勘探开发技术[M]. 北京:石油工业出版社,2001. 732~735

4 国洪伟,陈勃,刘和芝等. 地震属性分析中水平切片的应用[J]. 物探化探计算技术,2005,27(1):10~15

5 宋传春,韩文功. 车西地区地震 T6 反射层精细标定与解释[J]. 勘探地球物理进展,2004,27(4):285~289

6 王成彬. 全三维储层解释技术及其应用[J]. 石油物探,2003,42(4):480~485

7 董树政,卢刚臣,马军等. 对地震剖面中正断层几种特殊表现形式的认识[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(1):72~76

8 陆基孟主编. 地震勘探原理(下册)[M]. 东营:石油大学出版社,1993. 118~119

9 李承楚,吴律. 地震勘探新技术[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 35~38

10 郝钧编著. 三维地震勘探技术[M]. 北京:石油工业出版社,1992. 109~112