

三维可视化技术在天然气水合物研究中的应用

沙志彬 梁金强 张 明 张光学

(广州海洋地质调查局 广州 510760)

摘 要 地震勘探三维可视化技术是利用三维地震信息和地震属性,对各种复杂的地质模型和三维地震数据进行描述,并在三维立体空间上展示出天然气水合物矿藏的空间展布形态。利用此技术有助于对矿藏的认识从二维的、局部的视角空间过渡到三维的、整体的视角空间,为进一步研究水合物的形成、存储提供依据,并可以为水合物勘探中的井位布置提供参考。

关键词 三维可视化 天然气水合物 研究 应用

1 前 言

地震勘探三维可视化技术是利用三维地震信息和地震属性,对各种复杂的地质模型和三维地震数据进行描述,并在三维立体空间显示。通过三维可视化技术,有利于理解各种地质现象的发生、发展及影响。同时,三维可视化也是地震成像的重要技术基础,可以实现解释结果的三维立体显示,以更加直观的方式展示目标体的形态^[1]。对天然气水合物矿藏的三维雕刻,使研究人员更加形象的了解水合物的赋存形态及空间展布,为水合物钻探井位的优选提供参考^[2]。

2 三维可视化基本原理

三维可视化技术的基本原理是通过对地震数据作透明度调整和立体显示,在三维空间中描述地下反射界面的地震反射率,即将地震道曲线的振幅值大小用一定的颜色来表示,从而使1个三维地震道数据体变成1个用不同的颜色体(通常称为体素)来代表的数据体(图1)。三维数据体可视化首先基于这样一个假设:地下界面的反射是一个地下三维模型的真实反映。其实质上是地下界面的构造、地层和振幅特性等在三维空间上的综合反映。在基于体素(1个大小近似面元和采样间隔的三维像素)的数据体可视化中,每个数据样点都被转换成一个体素,每个体素有一个对应于原三维数据体的数值和一个RGB(红、绿、蓝)色值以及一个透明度可调整的灰度变量。这样,每个地震道就被转换成一个体素柱。体素柱的数据是八位,它代表了一个地震道体素值的分布。通过调整体素柱的透明度变量,即

基金项目:国家高技术研究发展计划课题(编号:2006AA09A202)资助。

第一作者简介:沙志彬(1972-),男,高级工程师,主要从事石油地质和天然气水合物的研究。

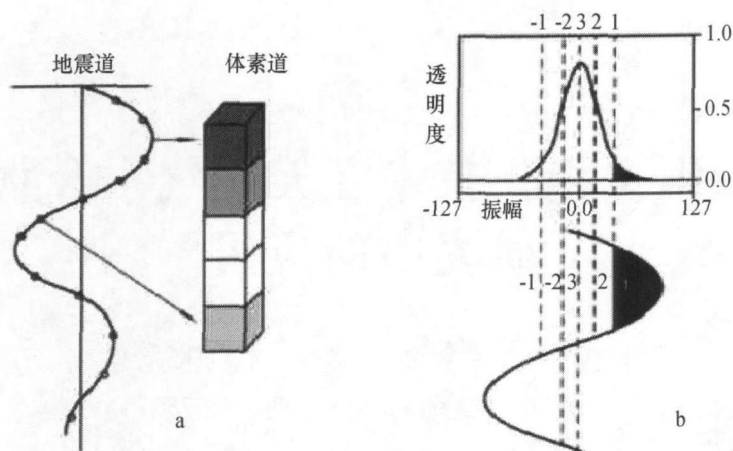


图 1 三维可视化技术的基本原理图
(a—地震道与体素道的转换关系;b—透明度与地震样值的关系)

Fig. 1 Map of fundamentals of volume visualization
(a—seismic trace and voxel trace relationships; b—reflectivity and seismic sample relationships)

调整地震道振幅的透明度变量,可对地震数据体进行快速浏览和透视^[1]。

根据所研究的地下地质体的不同,三维可视化可分为 2 种类型:一种是在地下地质体比较复杂,顶底界面起伏较大或断层较多的情况下,对数据体进行可视化。这首先需要对地质体的表层或多种物理界面及相关断层进行解释,然后对层间数据体进行可视化。它仅利用了数据体中的部分数据,称为基于表层的可视化,这种方法主要用于复杂断块的构造解释。另一种可视化称为基于数据体的可视化,该方法依赖于一个与地震数据体完全不同的属性——透明度,通过对地震数据体做透明度的调整和显示,直接对地下地质目标进行三维空间的解释和描述,即实现了无需对地震资料进行特殊处理就可进行天然气水合物储层预测的目的。

无论是基于表层的可视化还是基于数据体的可视化,都是通过对地震数据透明度的调整起到对数据体“透视”的作用,从而达到通过所谓“进去看”的方法来研究地质体的内部特征的目的。因此这是该技术有别于传统的常规解释技术的根本所在,也是进行天然气水合物储层描述的最便捷方法^[3]。

3 三维可视化技术研发及应用

3.1 地震数据体的三维可视化

对一个三维地震数据体 $\{xi, yj, zk, al\}$, 其中 xi 代表纵测线 (inline), yj 代表横测线 (crossline), zk 代表采样点的时间, al 是振幅值, 由于它是规则数据体, 用规则六面体进行剖分, 对每个六面体内的振幅值充填不同颜色, 就完成地震三维数据体的可视化。图 2 为三维地震数据体的立体显示图。该图能在空间任意平移、旋转和缩放^[4,5]。

为了更好地观看地震数据, 可对数据体进行挖空和切割处理, 这就是通常所看到的时间切片, 纵剖面、横剖面等。通过对三维数据体进行不同的挖空显示 (图 3), 可以对研究的地质构造有一定的了解。

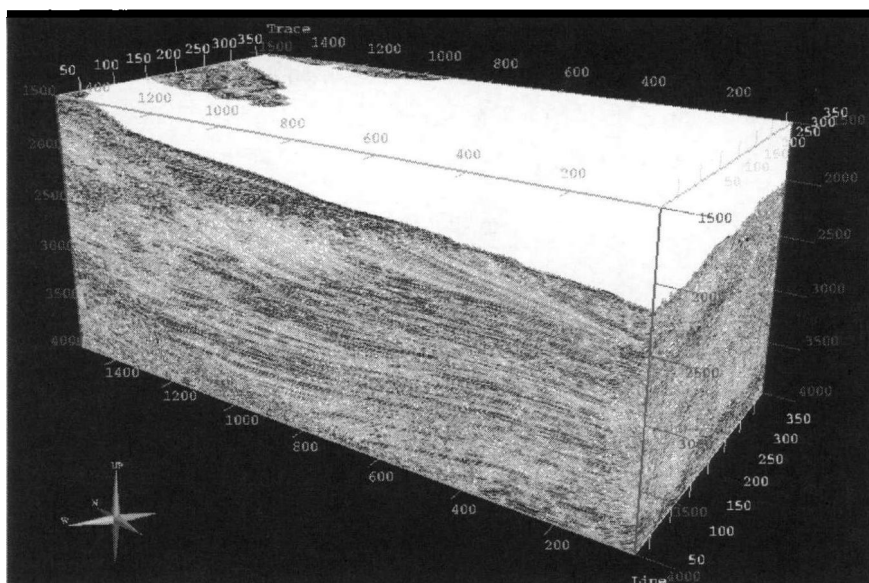


图2 三维地震数据体的立体显示图

Fig. 2 Volume visualization of 3-D seismic data

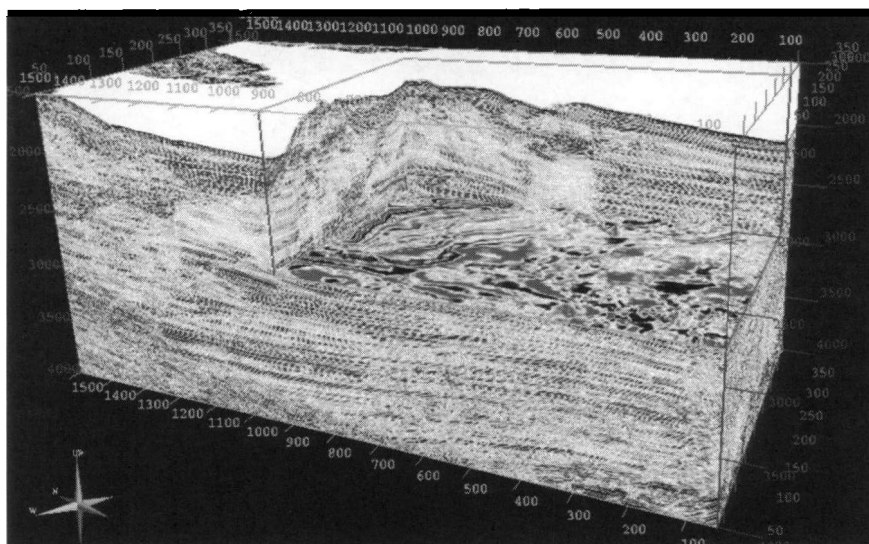


图3 三维地震数据体的椅式显示图

Fig. 3 Volume chair visualization of 3-D seismic data

3.2 地震层位的三维可视化

三维可视化能够根据给定的地震层位数据集建立三维图形图像,用更接近实际的方式去描绘它,从各个不同的角度观察它^[3]。

在一个目标探区,经过处理解释后的地震层位可能由若干层组成。一般情况下,各层位在地下由浅到深依次排列。每个特定层位可能是一个空间曲面,但在复杂地质构造情况下,由于断层的错断切割,一个层位就可由若干个空间曲面组合而成^[6]。

在对地震层位进行三维可视化之前,首先要分析地震层位的数据结构,一般情况下,经

过解释系统拾取的某一个地震层位的数据可以表示为 $\{xi,yj,zk\}$,其中 xi 代表纵测线(in-line), yj 代表横测线(crossline), zk 代表所拾取的时间或深度。不同的测线拾取的样点数是不同的,本文利用Delaunay三角形剖分对地震层位进行剖分,形成三角形网格,并记录下各三角形之间的接触关系,然后进行显示。地震层位的三维可视化流程如图4:

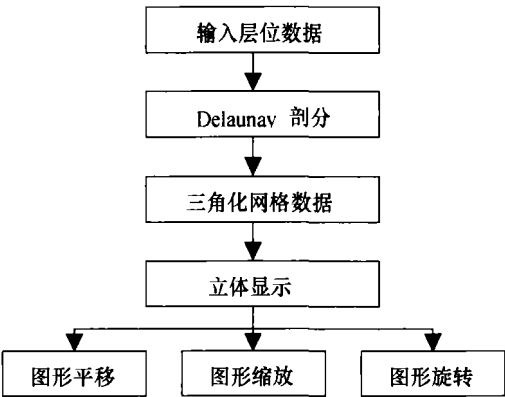


图 4 地震层位的三维可视化流程图

Fig. 4 Flow chart of 3-D volume visualization of seismic layers

图 5 是南海北部试验区 T_0 (海底)层位的三维空间立体图,图 6 是试验区四个层位的立体图。从图中可以看出,空间层位的起伏变化形象、直观,这些图较好地描述了各层面的起伏变化。

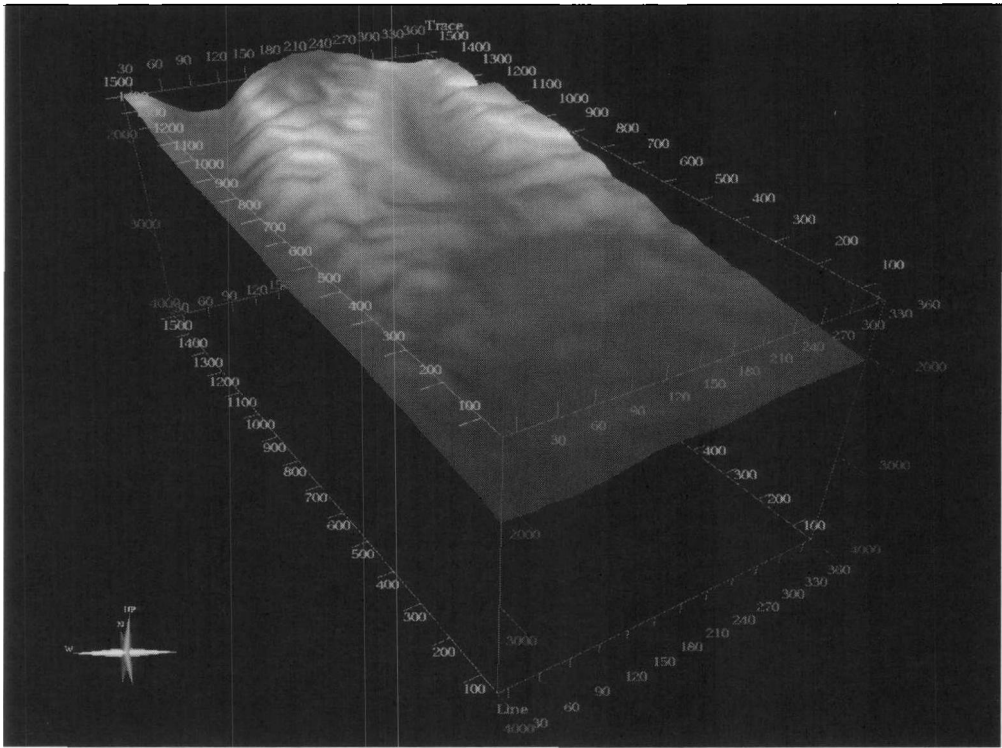


图 5 海底地形三维显示图

Fig. 5 3-D volume visualization of topography of seafloor

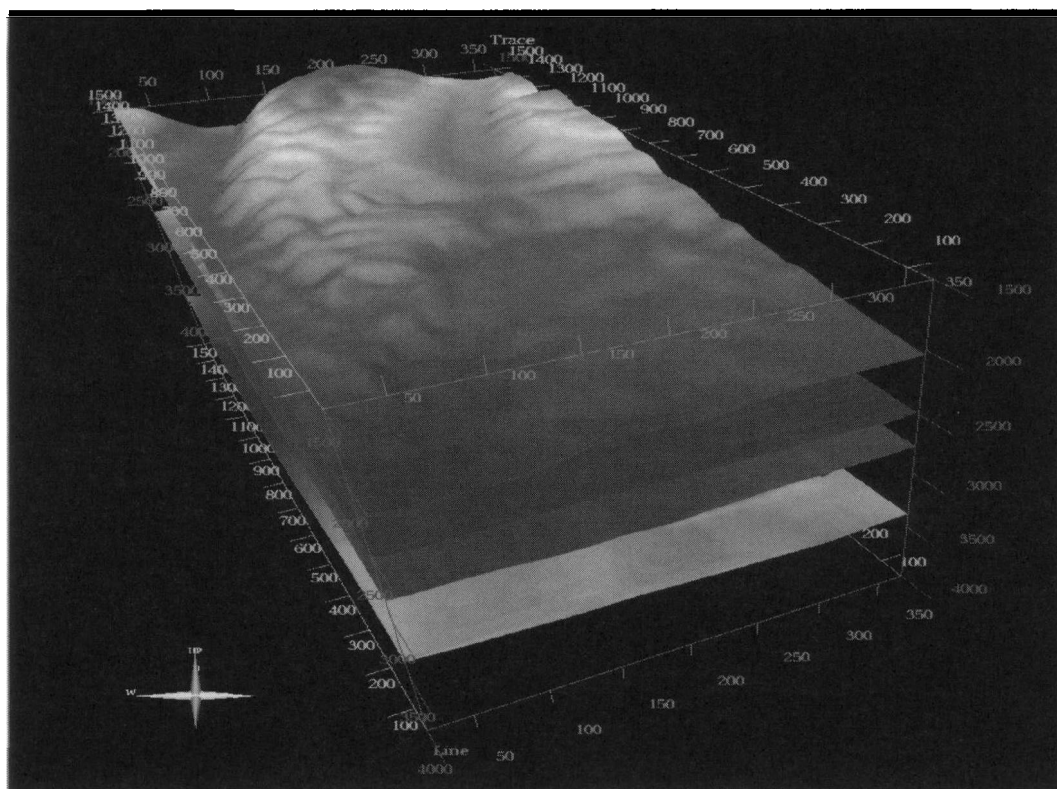


图 6 T_0 T_1 T_2 T_3 层三维立体显示图

Fig. 6 3-D volume visualization of topography of seismic layers of T_0 , T_1 , T_2 and T_3

通过对海底地形三维显示可以看出,海底地形总体呈东北高、西南低的斜坡形态,发育的两条海沟将目标区分割成东、中、西三部分。东北部地形变化较为剧烈,海底倾角较大;西南区域海底地形较为平缓,水深变化较小。

利用前面叙述的可视化技术,在统一的坐标系统下,把地震层位和三维地震数据体作为两个不同的对象,同时输入到系统中,就可实现三维地震数据体和地震层位的综合显示。由于把层位放在三维数据体中,对数据体做各种挖空显示,可以检验解释层位的正确性。图 7 是试验区三维数据体与其四个层位的综合立体显示图。

3.3 地震属性的三维可视化

通过选取对天然气水合物及游离气较敏感的瞬时振幅、瞬时频率、瞬时相位、速度、波阻抗等属性来达到预测天然气水合物的目的。地震属性的可视化与地震数据体的可视化方法类似,将三维地震数据体 $\{xi, yj, zk, al\}$ 中的 al ——振幅值,换成地震属性,用规则六面体进行剖分,对每个六面体内的地震属性值充填不同颜色,就完成地震属性的三维可视化^[7]。图 8 是三维地震属性的立体显示图。

通过地震属性的三维空间显示,可以清晰地观察到高波阻抗体的三维空间形态,形象地展示天然气水合物的空间分布。高波阻抗体主要分为两个区域,东南区块面积较大,西北区块面积较小;高波阻抗体顶底界面埋深都比较浅,高波阻抗体底界与 BSR 吻合得很好,高波阻抗体厚度较大。

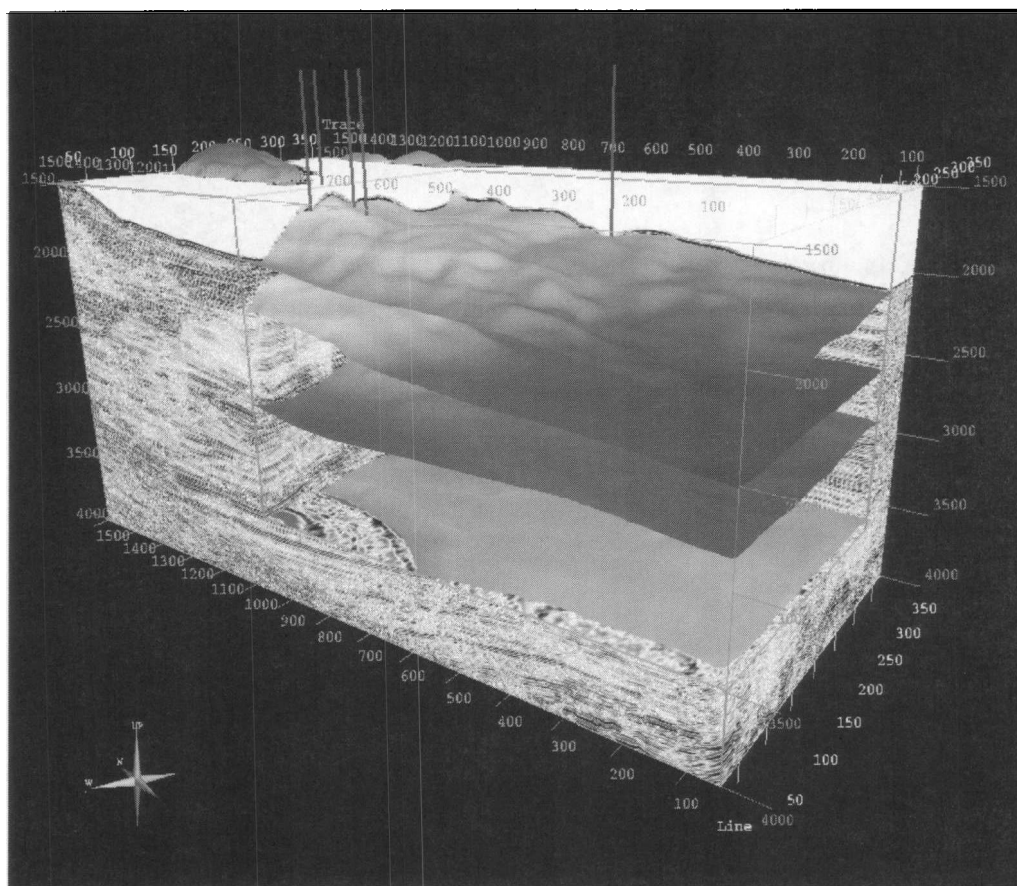


图 7 数据体及层位综合显示图

Fig. 7 Synthetical volume visualization of 3-D seismic data and layers

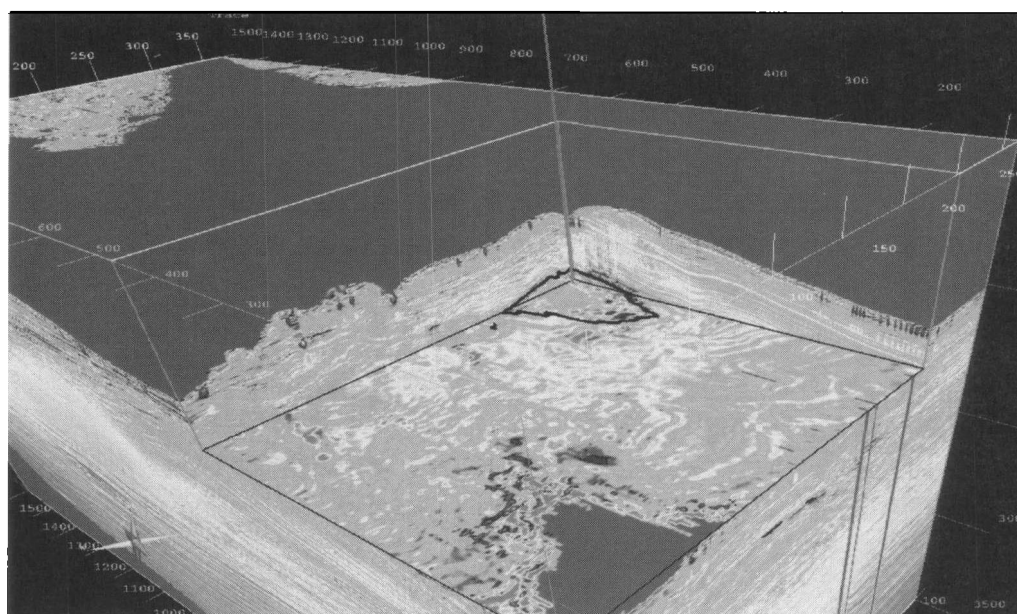


图 8 高波阻抗体与钻探目标三维立体显示

Fig. 8 3-D volume visualization of high wave impedance body and drilling target

3.4 天然气水合物矿藏的三维可视化

在三维数据体上,先沿层雕刻出天然气水合物矿藏的顶、底反射层。再利用三维可视化技术对两反射层之间的地震振幅、速度等地震属性数据进行沿层透视。由于天然气水合物矿藏有利分布区在地震剖面上为弱反射带,透视结果表明,在地震数据体上天然气水合物矿藏反映不明显,而在速度体上有较明显的响应,天然气水合物有利分布区的速度明显高于周围区域。利用种子点探测方法对天然气水合物矿藏进行雕刻^{[5][8]}。从雕刻的结果可直观地看出天然气水合物的赋存形态及空间展布,如图9所示。

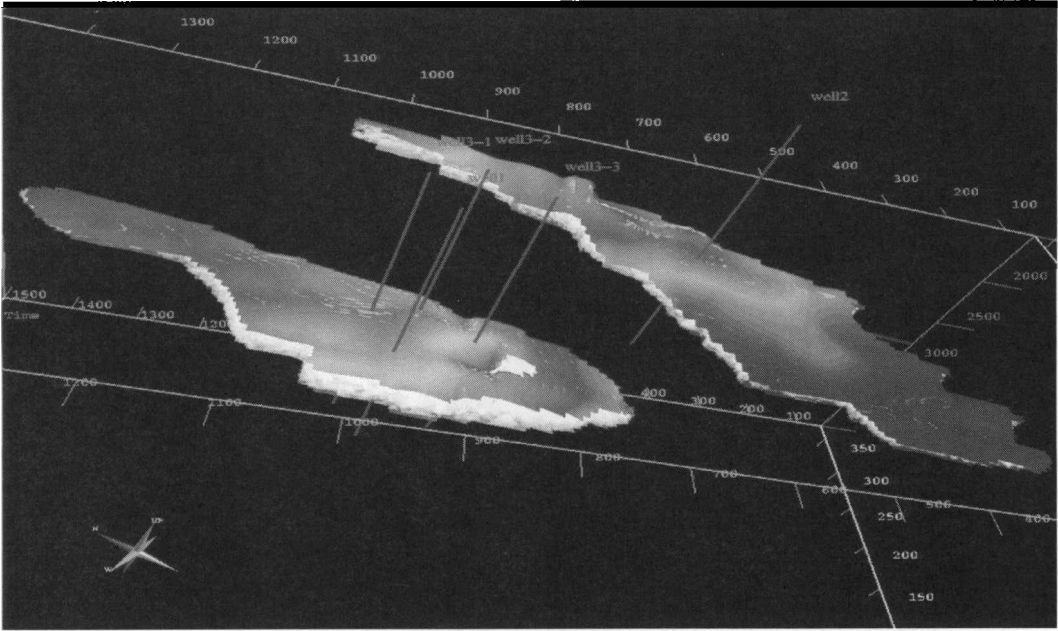


图9 水合物矿藏的三维立体雕刻与井位综合显示

Fig.9 Synthetical volume visualization of mineral resources of gas hydrates and drilling wells

通过天然气水合物三维立体图可以看出,水合物主要分布在两个区块,埋深均由北向南逐渐变深,最浅部位于最北端,最深部位于最南端。其中东南区块面积较大,西北区块面积较小,叠合目标区地形图,可以发现水合物主要发育于陆坡转折带。

3.5 钻探井位的三维可视化

在三维立体图中进行,通过对井位和层位等信息的综合显示,可以直观地看出井位布设情况,为井位优选提供参考^{[6][9]}。

从井位与水合物矿藏综合显示(图9)可以看出,5口井位均位于水合物矿藏中部,井位位置水合物矿藏厚度较厚,且设计井深均穿过水合物矿藏底部。从 T_0 (海底)层与井位的综合立体显示图(图10)中可以看出,5口井位均位于陆坡转折带,其中4口井位位于同一有利区带内,水深较浅;1口井位位于另一有利区带内,且水深较深。综合以上各点,说明井位布设合理。

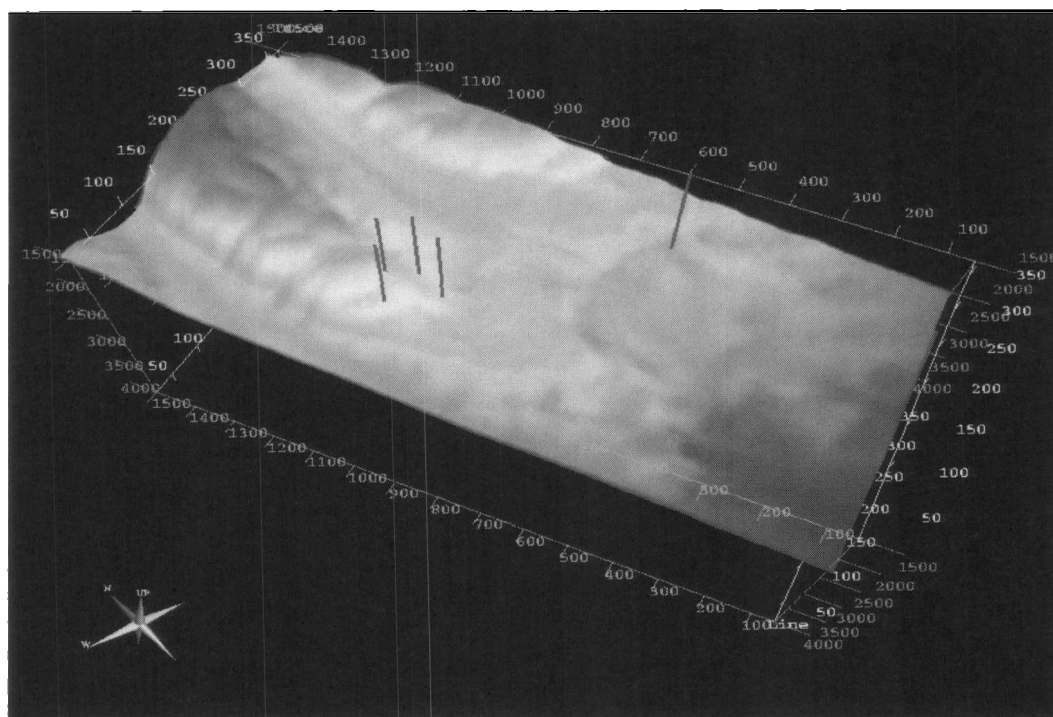


图 10 T_0 (海底)与井位综合显示图

Fig. 10 Synthetical volume visualization of T_0 (seafloor) and drilling wells

4 认识与讨论

三维可视化技术可以应用于天然气水合物矿藏的勘探与评价当中,通过对水合物三维地震资料的三维立体显示,展示出了水合物矿藏的空间展布形态,有助于对矿藏的认识从二维的、局部的视角空间过渡到三维的、整体的视角空间,为进一步研究水合物的形成、存储提供依据,并为水合物勘探中的井位布置提供了参考。总结本文得出以下几点认识与讨论:

1. 地震数据体的三维可视化

对数据体进行挖空和切割处理,也就是通常所看到的时间切片,纵剖面、横剖面等,从三维立体空间角度研究区域地质构造。

2. 地震层位的三维可视化

对解释的层位、断层进行三维立体显示,给解释者以直观形象的认识,进一步验证层位解释的合理性;把地震层位和三维地震数据体作为两个不同的对象,同时输入到系统中,实现三维地震数据体和地震层位的综合显示,了解区域构造发育和沉积情况。

3. 属性数据体三维可视化

对各种属性进行三维立体显示,突出属性体内异常区域,结合地震资料进行综合分析。

4. 天然气水合物矿藏的三维可视化

对天然气水合物矿体进行三维雕刻,从空间立体角度展示水合物赋存状态和空间展布,为布设井位提供参考。

5. 钻探井位的三维可视化

对建议井位与层位数据、矿体数据综合显示,更加直观了解井位布设位置及各项井位信息,进一步验证井位布设的合理性。

参 考 文 献

- [1] 张明,张光学,雷新华等.南海北部海域天然气水合物首钻目标优选关键技术报告.“十五”快速 863. 2006
- [2] 张光学,黄永祥,陈邦彦等.海域天然气水合物地震学[M].北京:海洋出版社,2003
- [3] 张光学,耿建华,刘学伟等.“天然气水合物探测技术”之子课题“天然气水合物地震识别技术”。“十五”863,2005
- [4] 宋海斌,张岭,江为为等.海洋天然气水合物的地球物理研究(Ⅲ):似海底反射[J].地球物理学进展,2003,18(2),182~187
- [5] 李正文,赵志超.地震勘探资料解释[M].北京:地质出版社,1988
- [6] Katzman R, Holbrook W S, Paull C K. Combined vertical - incidence and wide - angle seismic study of gas hydrate zone, Blake Ridge[J]. J. Geophys. Res., 1994, 99: 17975 ~ 17995
- [7] Ecker C, Dvorkin J, Nur A M. Estimating the amount of gas hydrate and free gas from marine seismic data[J]. Geophysics, 2000, 65, 565 ~ 573
- [8] Wood W T, Stoffa P L, Shipley T H. Quantitative detection of methane hydrate through high - resolution seismic velocity analysis[J]. J. Geophys. Res. 1994, 99, 9681 ~ 9695
- [9] Miller J J, Myung W L, von Huene R. An analysis of a reflection from the base of a gas hydrate zone of Peru[J]. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 1991, 75, 910 ~ 924

Technology of 3-D Volume Visualization by Application and Study of the Gas Hydrates

Sha Zhibin Liang Jinqiang Zhang Min Zhang Guangxue

(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, 510760)

Abstract: Technology of 3-D volume visualization, with which we can use the information and attribute of 3-D seismic data to describe the different and complicated geological model, and 3-D volume visualization of mineral resources of natural gas hydrates can be shown in the 3-D space. The technology can be used to know the mineral resource from 2-D to 3-D, and from partial to holistic and different visual angle, so that we can study the form and preservation of gas hydrates, and we can use it to provide the drilling wells in gas hydrates exploration survey.

Key words: 3-D volume visualization Gas hydrates Application and study