

胜利探区复杂地质构造的地震波照明与观测系统优化

徐 雷 良

(胜利石油管理局 地球物理勘探开发公司, 山东 东营 257086)

摘 要: 随着胜利探区勘探开发的逐步深入, 主要勘探目标开始转向小断块、小砂体等微幅构造以及岩性隐蔽油气藏, 传统的地震采集设计技术难以满足当前生产需求。为此, 选取胜利探区复杂构造地质模型, 开展基于波动方程理论的地震波照明和面向目标的观测系统优化设计技术的研究, 形成了一套适合胜利探区二次采集的观测系统优化设计的技术系列。研究结果表明, 该技术系列能够保证该区地质构造的形态完整, 小断块、小砂体等微幅构造的成像质量也有较大幅度的提高。

关键词: 微幅构造; 波动方程; 正演模拟; 偏移成像; 地震波照明; 观测系统优化设计

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2012)05-0788-05

近几年, 虽然在胜利探区做过大量的野外地震采集以及技术攻关工作, 地震资料品质较以往也有很大改善, 但由于中部复杂的小断块、小砂体等微幅构造落实不清, 造成断层接触关系不明确, 难以准确归位; 信噪比和分辨率低, 波阻特征不明显等固有问题, 使得准确评价该区复杂地质构造还存在很大的困难。

从以往资料处理分析来看, 复杂的地质构造会造成地震剖面成像振幅出现畸变, 而出现这种现象的主要原因是地震波成像技术的不完善和地震观测系统设计的不合理。基于波动方程理论, 并且依据特征精细建模, 需要对胜利探区复杂地质模型进行地震波照明与偏移成像技术的研究。地震波照明分析可确定特定地质模型的照射强度和激发范围, 从而更加合理地布设检波点和炮点, 达到最佳激发和接收效果, 提高能量的有效叠加, 提高复杂地质构造的成像质量。

1 地震波照明分析与偏移成像

1.1 模型建立

陡坡带构造反映了箕状湖盆的北段地质特点^[1]。它受控于湖盆的主断裂, 发育了多种类型的扇体, 如扇三角洲、近岸水下扇和浊积扇等。笔者针对这些特点并结合东营凹陷北段出现的类似构造样式, 设计了地质模型(图1)。

1.2 双程波照明试验

笔者采用精度较高的双程波照明方法进行测

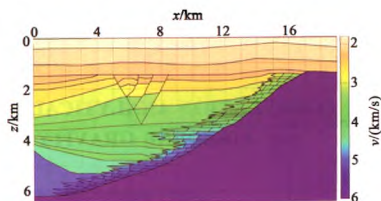


图1 陡坡带构造速度模型

试。共模拟 951 炮, 采用 20 m 的较小炮间距。中心放炮两边对称各 600 道接收, 每炮 1 201 道, 道间距 10 m, 最大偏移距 6 000 m, 2 ms 采样, 道长 5 s。

图2是将地表激发的所有炮记录的所有照明分析结果进行叠加得到的双程波的多炮照明强度分布。从图中可以看出, 双程波照明可以很好地反映地下各种构造在倾角方向上的定量分布, 能够更好地保持地震波在复杂构造情况下的传播和照明规律。

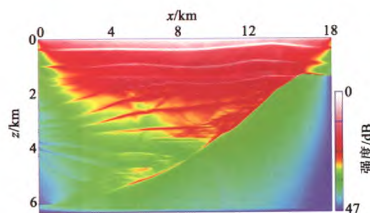


图2 双程波照明强度分布

为了更好地反映正演模拟与照明分析的正确性,笔者利用双程波照明分析结果绘制了水平叠加剖面(图3)。由图可以看出:深水浊积扇和近岸水下扇产生的反射波层次比较齐全,目的层特征清晰。

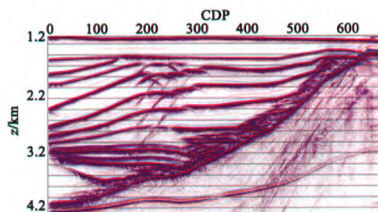


图3 自激自收剖面

1.3 叠前偏移成像技术

评价一个叠加剖面的好坏,不仅要剖面本身的品质去考虑,还应从后续处理的偏移成像考虑,它是否接近于零炮检距剖面,因此笔者对叠前偏移成像技术进行了研究。

目前的叠前偏移方法大体分为基于 Kirchhoff 绕射积分理论的叠前时间偏移和基于波动方程有限差分理论的叠前深度偏移。对于构造复杂,速度横、纵向有一定变化的地区,叠前时间偏移成像方法仅考虑了波场传播中的绕射效应,没有考虑速度横向变化所引起的折射效应。而叠前深度偏移是以构造成像为主要目标,满足于得到地下反射的位置,保证了走时信息的准确性^[2],因此叠前深度偏移方法更适合复杂地区的偏移成像。

如图4所示是利用 Kirchhoff 积分方法做的叠前时间偏移剖面,由于 Kirchhoff 积分是基于射线绕射理论,从成像效果来看,射线近似容易导致在复杂介质中存在焦散、多重路径和干涉等问题。

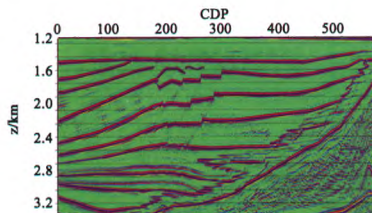


图4 叠前时间偏移剖面

图5所示是利用波动方程有限差分方法^[3]做的叠前深度偏移剖面,从图中可以看出各个地层的反

射连续性好,断层清晰,地质现象清楚,右边的大断裂成像清楚,绕射波得到了归位,小断块清晰可见,而且分辨率不会随着深度的增加而变差。

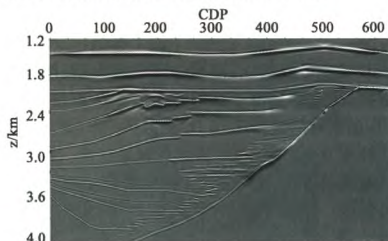


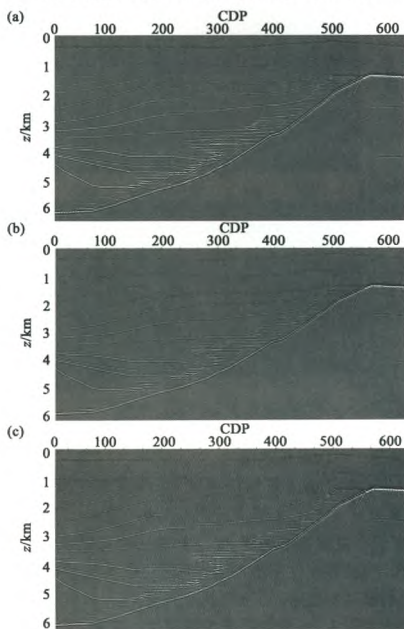
图5 叠前深度偏移剖面

1.4 不同因素对剖面影响的对比

为了分析不同采集参数、不同成像速度对地震数据处理结果的影响,笔者对不同时间采样、不同子波主频、不同偏移速度数据进行了对比,研究结果可以为使用更加合理的模拟参数提供依据。

1.4.1 不同时间采样

分别采用 1、2、4 ms 进行采样(图6)。从图中



a—1 ms; b—2 ms; c—4 ms

图6 不同采样时间的叠后深度偏移剖面

可以发现 1 ms 采样相对来说对精细构造描述最清晰,但 2 ms 采样就可以保证 200 Hz 内不会出现假频,所以笔者认为 2 ms 的采样要更为合适。

1.4.2 不同子波主频

分别采用 20、30、40 Hz 子波主频进行对比(图 7)。从图中可以看出:随着主频的增加,频散越来越厉害,这主要是由于有限差分法的计算精度^[4]。40 Hz 的主频的波长比 20 Hz 的减小一半,相应的空间采样率也会减小,精度当然就越低。如果想达到较高的精度,需要相当大的计算量,这显然是不切实际的。综合考虑,笔者认为 30 Hz 的子波主频更为合适。

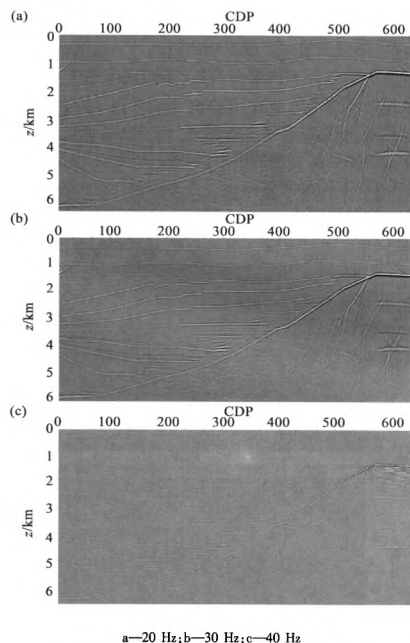


图 7 不同频率子波主频叠后深度偏移剖面

1.4.3 不同偏移速度

笔者分别选取偏移速度 $v_{\text{偏}}$ 为真实速度 $v_{\text{真}}$ 的 0.8、0.9、1.1、1.2 倍进行对比分析(图 8)。可以发现,当速度模型准确时,断层和储层附近成像质量很好。当偏移速度不准时,由于断层以及沉积砂体的反射波相对复杂,当速度扰动变化较大时偏移剖面变化也较大,一是会造成成像深度不正确,二是造成绕射波收敛不归位,引起偏移剖面信噪比降低,对后续的解释工作带来困难。

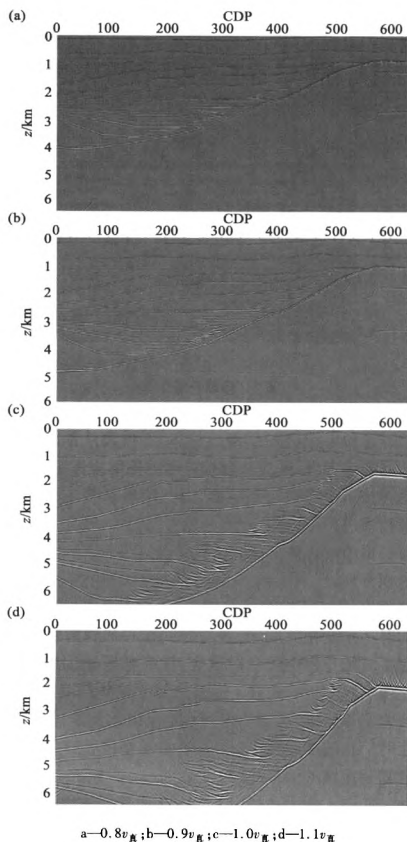


图 8 不同偏移速度的叠后深度偏移剖面

2 面向目标的观测系统优化设计

观测系统优化设计流程见图 9。

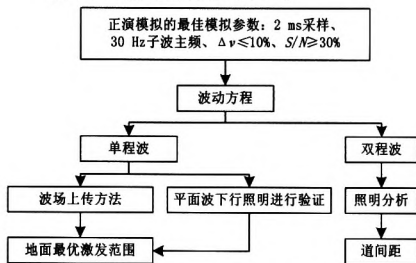


图 9 观测系统优化设计的流程

2.1 照明分析选取道间距

陡坡带地质模型中,小砂体、扇体内幕和微幅构造是重点勘探目标,所以采集系统的有效性和准确性都是非常重要的。

笔者分别采用 5、10、15、20 m 的道间距,对东营凹陷北段速度模型进行目标区的照明分析(图 10)。相比较而言,道距为 5~15 m 时向下传播的能量更

强,而道距为 20 m 时能量比较分散,不利于目的层成像。虽然采用更小的道间距能有效地提高复杂构造处小断块、陡倾角资料的分辨率,但是 5~15 m 的道间距对提高后期偏移效果基本是一样的。如果需要横向上分辨 10~20 m 的微幅构造,选取 10~15 m 的道间距比较合适。

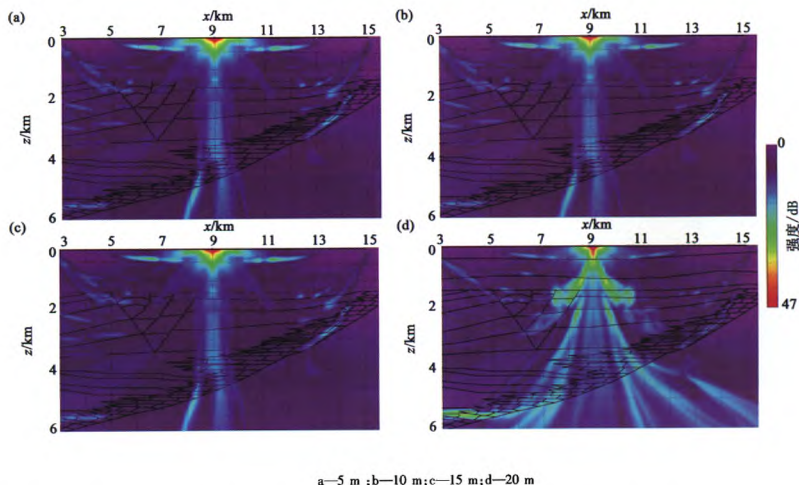


图 10 不同道间距的单炮模拟记录

2.2 目的层控制照明确定地表最优激发范围

根据地震波传播的互换原理,目的层界面上均匀分布的震源产生的地震波到达地面,如果根据地面不同位置接收到的地震波能量强弱来选择地表激发地震波的位置,就能够对该目的层界面达到最理想的照明。在地面接收到的地震波能量越强的位置激发,对该目的层界面的照明越有利。因此,可以利用波场上传照明法确定面向勘探目标的地面最优激发范围。

波场上传过程中,可以采用双程波方程或单程波方程来计算地震波的传播,前者更加符合地震波的实际传播规律,数学上没有近似,但计算效率较低;后者尽管有一定的近似,精度上存在一定程度的下降,但效率更高。同时,从试验结果发现,在目的层较深、地表观测孔径有限的情况下,二者差别并不大。因此,可以利用单程波方程来快速地计算深部目的层激发的地震波在地面的能量分布情况。

笔者选定陡坡带断面水平方向 4~12 km 共 8 km 的范围作为勘探目标。图 11 是利用波场上传方

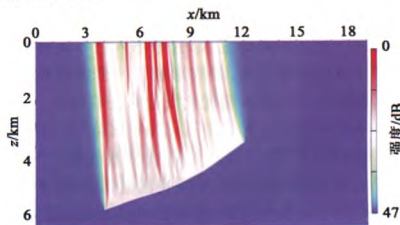


图 11 目标层段上行波照明

法做的地震波上传照明图,图 12 为目标范围平面波源上行波照明地面能量分布曲线,其中红色部分为选定的面向该目标的最优炮点范围 3.26~10.9 km (有效能量值 90%)。试算得出,在确定的最优炮点范围内共 382 炮激发时,对选定的目标照明比较强,而在确定的最优炮点范围外共 569 炮激发时,却对选定的目标照明比较弱。

为了对确定的最优激发范围进一步验证,笔者分别利用确定的最优炮点范围内激发的 382 炮数据

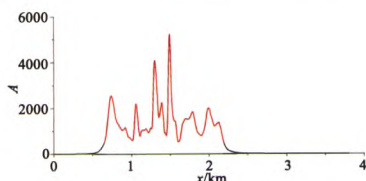
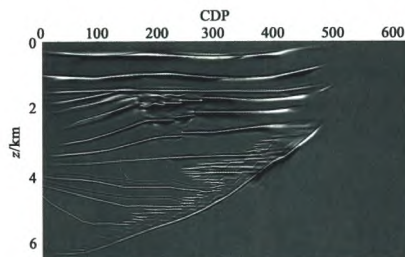
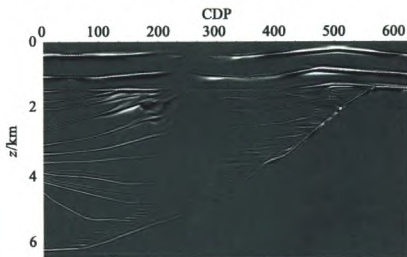


图 12 目标范围平面波源上行波照明地面能量分布曲线以及在确定的最优炮点范围外激发的 569 炮数据进行了叠前深度偏移处理。图 13a 是利用在确定的最优激发范围内激发的 382 炮(第 164 炮到第 547 炮)



地震数据的叠前深度偏移剖面,而图 13b 是利用在确定的最优激发范围外激发的 569 炮(第 1 炮至第 163 炮和第 548 炮至第 951 炮)地震数据的叠前深度偏移剖面。可以发现,在利用确定的最优激发范围内激发的 382 炮地震数据的叠前深度偏移剖面上,目的层成像非常好,陡坡带之上的砂体、砂砾岩体的成像也非常清晰;而在利用确定的最优激发范围外激发的共 569 炮地震数据的叠前深度偏移剖面上,目标范围内的陡坡带断面成像比较模糊,选定的目标范围内的缓坡带断面之上的砂体、砂砾岩体基本没有成像,这就从数据处理效果的角度有力证明了所选定的最优激发范围的正确性。



a—最优激发范围内;b—最优激发范围外

图 13 不同最优激发范围的叠前深度偏移剖面

3 结论

以陡坡带地质模型为分析对象,展开正演模拟和照明分析技术的研究,结合考虑入射和反射的双程地下方向照明分析,最终形成了一套针对胜利探区二次采集的观测系统优化设计的技术系列。

本次研究工作属于中石化先导试验与应用项目“胜利油田利用模型正演进行观测系统设计”。在研究过程中,感谢同济大学董良国老师、朱金平同志的热心指导和技术支持,感谢胜利油田地质院提供的资料和数据。

参考文献:

- [1] 单联瑜,刘洪,匡斌,等.基于胜利典型地质模型的波动方程地震照明分析研究[J].石油地球物理勘探,2009,44(1):1-6.
- [2] 叶月明,李振春,全兆岐.基于稳定成像条件的保幅叠前深度偏移[J].石油地球物理勘探,2009,44(1):28-32.
- [3] 程玖兵,王华忠,马在田.频率-空间域有限差分法叠前深度偏移[J].地球物理学报,2001,44(3):389-395.
- [4] 董良国,李培明.地震波数值模拟中的频散问题[J].天然气工业,2004,24(6):53-56.

SEISMIC WAVE ILLUMINATION AND GEOMETRIC OPTIMIZATION OF COMPLEX GEOLOGICAL STRUCTURE IN SHENGLI EXPLORATION AREA

XU Lei-liang

(Geophysical Exploration and Development Co. Ltd., Shengli Oil Administration, Dongying 257860, China)

THE APPLICATION OF TDI TO PREDICTING POROSITY IN DEEP OVERPRESSURE ENVIRONMENT

YUE You-xi¹, YUAN Qing^{1,2}, HAN Hong-wei³, LIU Shi-zhong³

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China; 2. Gudong Oil Production Plant, Shengli Oilfield Co., Ltd., Dongying 257237, China; 3. Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Co., Ltd., Dongying 257022, China)

Abstract: Porosity is an important parameter in reservoir description. Reservoir porosity is mainly influenced and controlled by sedimentary facies and diagenesis. In this paper the method of porosity prediction in the overpressure environment by utilizing TDI (time-depth index) has been studied. The key to this method lies in establishing the correlation model and recovering burial history curve including recovering denudation and decompaction correction. In the process of calculating TDI, the overpressure value is predicted according to the 3D velocity field and pressure coefficient, and is introduced into the formula of effective burial depth calculation to correct the affect caused by the overpressure environment. Porosity prediction model suitable for overpressure formation has been established. It can provide scientific basis for oil and gas exploration of deep zones.

Key words: overpressure; burial history evolution curve; TDI (time-depth index); porosity prediction

作者简介: 乐友喜(1966 -),男,教授,博士,江苏盐城人,1987年毕业于华东石油学院物探专业,现在中国石油大学地球物理系任教,主要研究方向为:地震储层预测、信号处理与分析、模式识别、开发地震等。

(上接 792 页)

Abstract: In recent years, three-dimensional seismic acquisition was carried out in Jiyang depression, even second-round three-dimensional seismic acquisition was completed in some complex oil and gas blocks and many complex media and small fault block reservoirs were studied. As a result, the oil and gas production in the Shengli oil field has been steadily growing. However, it is difficult for the traditional seismic acquisition design technology to meet the current production requirements, and hence the authors selected the steep slope belt of the Shengli exploration area to build velocity model and form a set of observation system optimization design technological series suitable for the second-round Shengli exploration district collection through the seismic wave illumination and object-oriented geometric optimization and design technology research based on the theory of wave equation. The research results show that the technological series can ensure the integrity of the form of steep geological structure and the improvement of the imaging quality of micro structures such as minor fault blocks and small sand bodies.

Key words: microtectonics; wave equation; forward modeling; migrated imagery; seismic wave illumination; geometry optimization

作者简介: 徐雷良(1983 -),男,工程师,在读硕士,主要从事物探采集方法研究工作,公开发表学术论文数篇。