

# Analysis of Seismic Response Characteristics of Sand Body at Isochronous Interface

Yan Nie, Hongjun Fan, Jianhua Dong, Xianwen Zhang, Xin Du

CNOOC Research Institute Co, Ltd., Beijing  
Email: nieyan3@cnooc.com.cn

Received: Jul. 31<sup>st</sup>, 2020; accepted: Aug. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 20<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

With the development of oil and gas exploration and development technology, the development of oil field requires more and more precision. In order to identify effective reservoirs, it is necessary to deepen the understanding of subsurface media. Forward modeling is the process of simplifying a specific geological or geophysical problem, forming a simplified mathematical model, and obtaining the seismic response by means of numerical calculation. It is an effective means to explain the reservoir characteristics and to help geophysicists understand the seismic data quickly. In this paper, the sand bodies in the target block of P oilfield change fast in transverse and have various superposition phenomena. So seismic response characteristics are ambiguous. Therefore two sets of forward modeling are established based on the analysis of 3D seismic data, the data of drilling and logging and comprehensive geological interpretation. Firstly, it is proved that the energy attenuation of the seismic amplitude of the upper layer is due to the influence of the lower sand body, excluding the lateral mutation of the upper reservoir. Secondly, it is proved that the upper reservoir is an argillous sand layer, affected by the lower sand body, and the amplitude energy is weakened. The forward modeling of the geological model based on the actual data can obtain certain rules and improve the understanding of the geological body, providing some guidance in the description of the sand body.

## Keywords

Forward Modeling, Simplify, Seismic Response, Reservoir Characteristics, Description of the Sand Body

---

# 等时界面处砂体地震响应特征分析

聂 妍, 范洪军, 董建华, 张显文, 杜 昕

中海油研究总院有限责任公司, 北京  
Email: nieyan3@cnooc.com.cn

收稿日期: 2020年7月31日; 录用日期: 2020年8月13日; 发布日期: 2020年8月20日

## 摘要

随着油气勘探开发技术的不断深入, 油田开发的精度要求越来越高。识别有效储层, 加深对有效储层分布范围和分布规律的认识是十分必要的。正演模拟是对一定的地质、地球物理问题作适当简化, 形成数学模型, 通过数值计算获取地震响应的过程, 是解释储层性质的有效手段, 能够帮助开发地震人员快速认识地震资料。本文针对P油田目标区块砂体横向变化快, 叠置现象多样, 地震响应特征不清等问题, 在精细分析三维地震资料的基础上, 结合该区钻井、测井及地质综合解释等资料, 建立两套正演模型。首先论证了上层地震振幅能量减弱是由于下层砂体对其的影响, 排除上部储层横向突变的情况。其次论证了上层储层为偏泥质砂层才会受下层砂体影响, 振幅能量减弱, 从而应用负振幅属性预测砂体的展布范围。对根据实际资料建立的地质模型进行正演, 可以得到一定的规律, 提高地震人员对地质体的认识, 从而在砂体描述中提供一定的指导。

## 关键词

正演模拟, 简化, 地震响应, 储层性质, 砂体描述

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

油气勘探开发初期, 只需要有限的地震资料就能达到寻找大规模油气藏的目的。随着勘探开发目标逐渐进入小、边际、剩余油、砂描的精细范畴, 地球物理工作者迫切需从地震资料中挖掘更多有用的信息, 以求更好地认识有效储层的分布范围及规律, 正演模拟就是重要的手段之一[1][2]。

地震正演模拟技术是一种基础性的工作, 因为它为开展储集层预测提供了基础, 例如利用正演模拟对储层的岩性、物性、所含流体进行预测等。正演模拟技术在确定储集层和地震属性的关系方面是一种行之有效的方法, 它能够揭示不同物性的地震响应特征。精确的正演模拟可以确定储集层岩性和物性与地震响应的关系, 这为利用地震资料预测油气提供了基础[3]。

## 2. 正演模拟的基本理论

其基本原理是基于地下地层结构的认识, 通过震源的作用, 按特定的计算方法了解地震波在地层中的传播规律的方法。

正演模拟的表达式如下式(1)所示:

$$d = A(m) \quad (1)$$

上式中,  $m$  为地震模型参考向量;  $A$  为正演模拟算子;  $d$  为向量数据。 $d$  受模拟算子  $A$  和  $m$  的精度影响[4]。该公式的原理是, 在建立地质 - 地球物理模型的基础上, 即  $m$ , 应用合适的地震子波及地震波方程进行计算, 即  $A$ , 求解地震波方程数值解, 计算波场沿正时间轴方向的传播, 最后得到合成地震记录, 即  $d$ 。

在地层结构已知的情况下, 即地质体的空间分布, 地下介质的速度、密度等参数明确, 根据地震波运动学及动力学基本原理, 计算地质模型的地震响应。正演模拟时, 利用反射界面来获得零偏移距的地震剖面。反射界面成像原理是这样的, 它把自炮点发出的下行波到达反射点后再按原路径按上行波形

式返回接收点的传播过程等效为地震波在  $t=0$  时从反射点爆炸后以速度为介质速度一半的上行波向地面传播的过程[5]。

### 3. 地质背景及地震响应特征

目标油田 P 位于渤海海域中南部渤南低凸起之上，作为渤海湾盆地最大的新近系油田，具有埋藏深度浅、成藏时间晚以及储量规模大的特征。P 油田于 1999 年钻探发现，经过十余年的勘探、开发，其探明储量和三级地质储量不断增加，是渤海海域主力油田[6]。

目标区位于 P 油田西南处，受南北向走滑断层控制的断裂背斜构造[7] [8] [9]，本区目前钻井 3 口，均为 A 平台所钻大斜度井。钻井揭示该区明化镇组下段发育砂体，砂体厚度范围在 7 m 到 20 m 之间。然而，由于该区明下段属于曲流河沉积，砂体横向变化快，叠置现象多样，加剧了该区砂体反射特征认识及识别的难度。

实钻井储层段响应特征如图 1 所示：A1 井测井综合解释 L2 层油层厚度 7.4 m，通过井震标定在地震剖面上对应为 L2 波谷反射界面，内幕砂体为强波谷反射特征。L1 层为区域稳定分布的层序界面。L1 及 L2 地震反射特征均为波谷，依据井震标定的结论，该两层均为含油砂层段，但 L2 振幅响应强的位置对应 L1 振幅响应弱的位置，为什么振幅会有此消彼长的现象，L1 并未钻井落实因此是否为含油砂层，是品质较好的纯砂还是砂泥混合，这些反映到储层地震响应特征的问题都十分复杂，需要通过正演模拟来建立储层与地震响应特征之间的对应关系。不要使用空格、制表符设置段落缩进，不要通过连续的回车符(换行符)调整段间距。

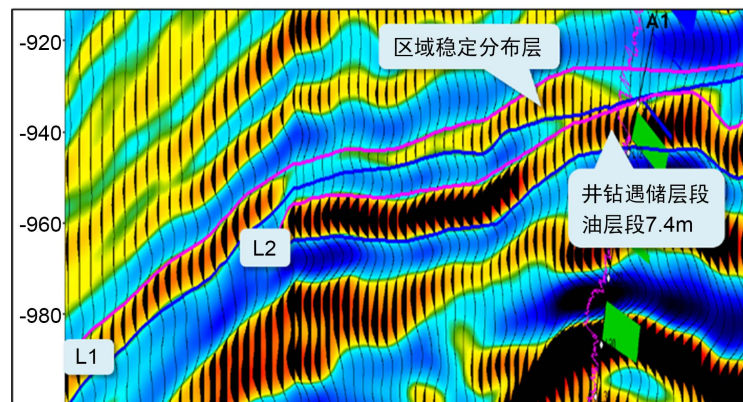


Figure 1. Seismic profile across A1 well in Mingxia formation  
图 1. 明下段过 A1 井地震时间剖面

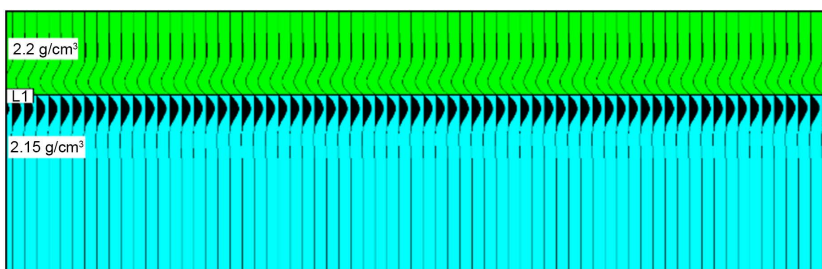
## 4. 模型建立及地震响应特征分析

### 4.1. 正演模型建立

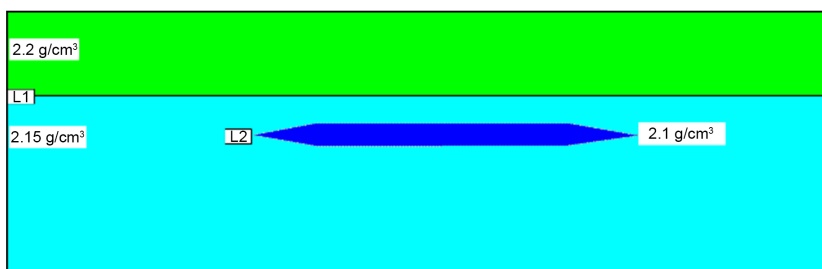
结合钻井、测井及地震解释资料，依据研究区明化镇地层结构及地层岩石物理参数[10] [11]，建立只有 L1 层的正演模型(如图 2)，其中 L1 上部地层密度为  $2.2 \text{ g/cm}^3$ ，L1 内部地层密度为  $2.15 \text{ g/cm}^3$ ，正演模拟结果见图 3。当只有 L1 一层时，L1 呈现连续强振幅响应特征。当 L1 层下部发育一套 L2 好砂层时，正演模型见图 4 所示，模拟剖面见图 5。不难发现，当 L2 好砂层在 L1 下部发育时，对应位置的 L1 响应特征变弱。因此，我们得出结论，L1 层振幅响应的变弱并不是因为其本身砂体性质变差，而是由于 L2 层的影响。那么下一个亟需解决的问题就是 L1 层的储层性质如何，是好的砂体还是偏泥质的砂体呢？因此我们建立了另一套正演模型。



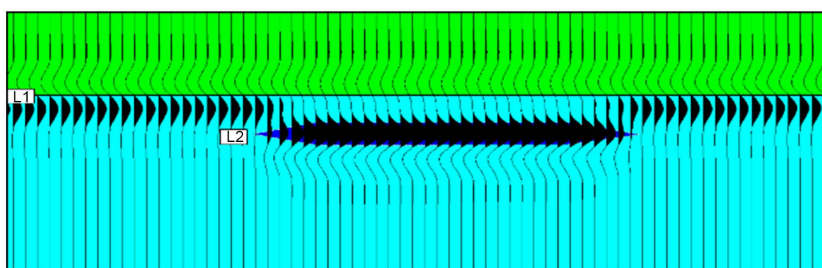
**Figure 2.** Forward modeling of L1  
**图 2.** L1 层正演模型



**Figure 3.** Forward modeling seismic profile of L1  
**图 3.** L1 层正演模拟剖面



**Figure 4.** Forward modeling of L1 and L2  
**图 4.** L1 与 L2 正演模型



**Figure 5.** Forward modeling seismic profile of L1 and L2  
**图 5.** L1 与 L2 正演模拟剖面

假设 L1 层储层由泥到砂分布，密度由  $2.3 \text{ g/cm}^3$  变化至  $2.1 \text{ g/cm}^3$ ，L2 层好砂岩发育于 L1 层下部，正演模型见图 6 所示，当仅发育 L1 单层时，由泥至砂界面响应特征由弱变强，正演模拟剖面见图 7 所示。L2 发育于 L1 下部时，观察正演模拟剖面发现，当 L1 为泥岩或偏泥质砂岩时，受 L2 纯砂岩影响较大，地震响应特征消失。当 L1 为品质较好的砂岩时，L2 的砂岩储层不但不会影响 L1 振幅响应特征，而且 L1 振幅能量明显增强，L2 振幅能量明显减弱，如图 8 所示。

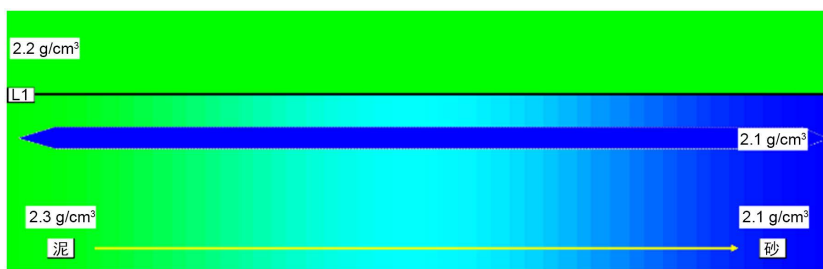


Figure 6. Forward modeling from mud to sand

图 6. 由泥至砂渐变的正演模型

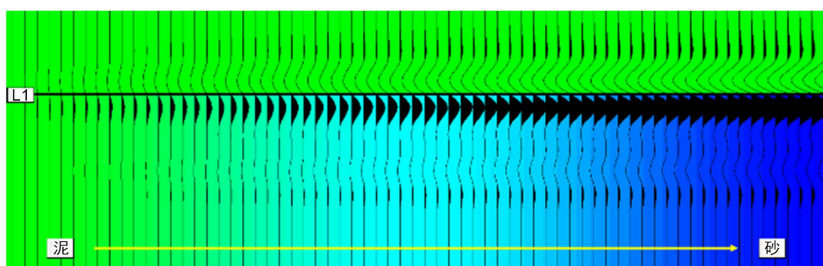


Figure 7. Forward modeling seismic profile from mud to sand

图 7. L1 由泥至砂渐变的正演模拟剖面

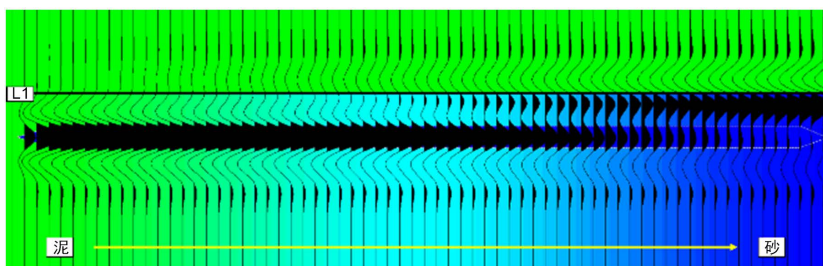


Figure 8. Forward modeling seismic profile with L1 which is from mud to sand and L2

图 8. L2 发育时 L1 由泥至砂渐变的正演模拟剖面

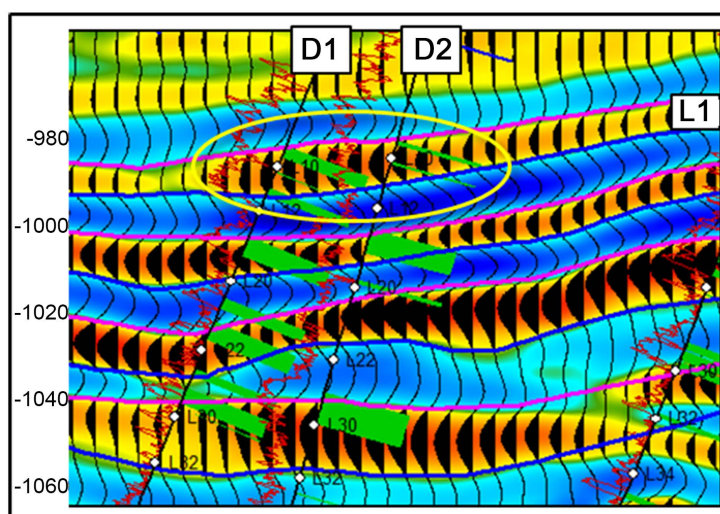


Figure 9. Seismic profile across two wells in same block

图 9. 同区块两口井地震时间剖面

基于正演模拟分析，L1 层地震响应变弱并不是 L1 层本身储层性质发生变化，而是由于下部 L2 砂层发育对其造成的影响，致使 L1 层地震响应减弱。也正是由于其地震响应减弱，说明 L1 这套储层并非特别好的砂岩储层，而是泥质成分偏多的砂层，因此才造成其响应特征变弱的现象。

为了验证我们的分析是否正确，在同区块找两口已钻井，典型过井剖面如图 9 所示。D1 井及 D2 井钻遇 L1 层的振幅相对较强的位置，但根据测井解释结果，D1 井及 D2 井的 L1 层油层相对较薄，因此验证了我们前面的结论，虽然 L1 层位为负振幅砂层组响应特征，但砂的品质并不好。

#### 4.2. 储层展布特征预测

基于以上综合分析，认为 L1 层的强地震反射是该层附近沉积相带变化的界面响应，该区域整体应以泥岩为主，局部发育薄储层。在井震标定分析的基础上，明确负振幅属性可准确刻画该区储层的展布规律，如图 10 所示。红色区域为砂体分布区，蓝色区域则泥岩发育，红蓝过渡区则为砂泥互层。同样可以通过上图 9 验证 L1 砂体平面分布的可靠性。D1 井位于属性绿色区，D2 井位于属性蓝色区，平面预测结果来看 D1 井含有少量的砂，D2 井基本没有砂分布，此认识与实钻井情况吻合。

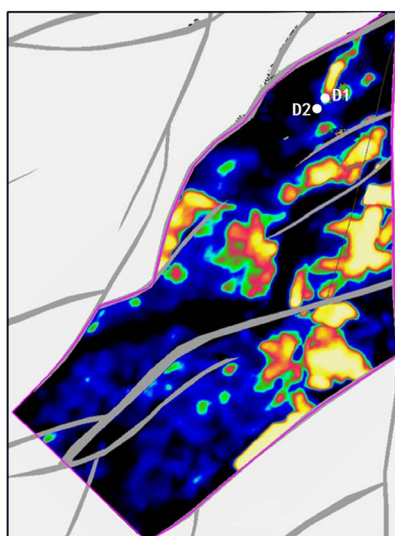


Figure 10. Sand distribution map  
图 10. 应用负振幅属性预测 L1 层砂体分布

### 5. 结论

本文采用地震正演模拟技术，对渤海 P 油田某块的明下段储层特征进行研究，得出以下结论。

- 1) 基于井震标定，明确该区砂层组对应负振幅响应特征，理论上，负振幅能量越强，砂层组的性质越好。
- 2) 基于实际地震剖面的砂层组反射，在测井综合解释的基础下，建立了单层砂体模型及两层砂体模型，正演结果表明，下层砂体会影响上层砂体的振幅响应。
- 3) 基于实际地震剖面的砂层组反射，在测井综合解释的基础下，建立了单层砂体模型及两层砂体模型，其中，上层砂体性质由差至好分布，正演结果表明，当上层砂体性质好时，并不受下层砂体影响，地震振幅响应能量强。当上层砂体性质偏泥质时，受下层砂体影响，地震振幅响应能量减弱。
- 4) 应用负振幅属性可有效刻画该区砂体展布范围，针对 L1 层，明确该层的强地震反射是该层附近沉积相带变化的界面响应，整体应以泥岩为主，局部发育薄储层。

5) 针对研究区的储层响应特征的认知可为后续砂体描述、精细储层表征提供地质基础。基于地震正演的储层研究方法可为其他相似研究提供借鉴。

## 参考文献

- [1] Zeng, H. and Kerans, C. (2003) Seismic Frequency Control on Carbonate Seismic Stratigraphy: A Case Study of the Kingdom Abo Sequence, West Texas. *AAPG Bulletin*, **87**, 273-293. <https://doi.org/10.1306/08270201023>
- [2] Zeng, H., Henry, S.C. and Riola, J.P. (1998) Stratatal Slicing, Part II: Real 3-D Seismic Data. *Geophysics*, **63**, 514-522. <https://doi.org/10.1190/1.1444352>
- [3] 万秀娟. 基于正演模拟的复杂储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [4] 郭轩. 二位地震正演模拟的储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [5] 韩建彦. 复杂地质体地震正演与偏移[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [6] 薛永安, 邓运华, 王德英, 等. 蓬莱 19-3 特大型油田成藏条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2019, 40(9): 1125-1146.
- [7] 赵志平, 官大勇, 刘朋波, 等. 等蓬莱 19-3 油田西北斜坡带构造特征及控藏作用[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(3): 59-67.
- [8] 邓运华, 李秀芬. 蓬莱 19-3 油田的地质特征及启示[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(1): 68-71.
- [9] 郭太现, 刘春成, 吕洪志, 等. 蓬莱 19-3 油田地质特征[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 26-28.
- [10] 王文枫, 岳大力, 赵继勇, 等. 利用地震正演模拟方法研究地层结构——以鄂尔多斯盆地合水地区延长组三段为例[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(2): 411-418.
- [11] 王保才, 刘军, 马灵伟, 等. 塔中顺南地区奥陶系缝洞型储层地震响应特征正演模拟分析[J]. 石油物探, 2014, 53(3): 344-359.