

文章编号: 0253- 9985(2001) 04- 0355- 04

油藏特性与时间推移地震监测

云美厚¹, 管志宁², 曹广华¹

(1. 大庆石油学院勘探系, 黑龙江安达 151400; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 大庆油田葡萄花油层一油组砂岩储层注水地震监测正演模拟分析结果表明: 不同的油藏对监测地震资料的视觉信噪比与视觉分辨率的要求是不同的, 对于相同的岩石物性变化, 薄层或薄互层对地震资料视觉分辨率与视觉信噪比的要求要比厚储层高得多; 要监测薄互层内各小层中流体动态的变化, 必须提高差异地震剖面的分辨率与视觉信噪比, 差异地震剖面的视觉信噪比与视觉分辨率的乘积可作为时移地震监测可行性定量分析的良好指标。

关键词: 油藏特性; 时移地震; 正演模拟; 视觉分辨率; 视觉信噪比; 大庆油田

第一作者简介: 云美厚, 男, 36岁, 讲师(博士), 应用地球物理

中图分类号: P315.2

文献标识: A

近年来, 用于油藏管理的时间推移地震监测技术(简称时移地震)已受到了人们的普遍重视, 但就总体发展水平而言, 这一技术尚未成熟, 目前还只是处于理论分析与模拟试验阶段。时移地震的主要目的是分析油藏注入流体和开采后, 其特性在地震响应方面的变化。实施时移地震必须在一定时间间隔内对油藏进行至少两次地震测量, 前一次地震数据称为基础地震数据。后一次地震数据称为监测地震数据, 并非所有的储层均能进行时移地震监测*, 笔者以大庆油田葡萄花油层一油组油藏为例, 讨论了油藏特性及地震资料对时移地震监测的影响。

1 方法

地震正演模拟主要包括地质模型建立、储层参数转换和地震模拟3个部分。

地质模型通常根据研究工区的地震、测井、钻井以及油藏工程资料来确定。本文为研究问题方便, 主要采用了水平层状地质模型。注水前地质模型参数主要由实际测井与试井资料确定。注水后的模型参数是在一定的假设条件下人为给定的。

地质模型建立后, 利用 Gassmann 方程进行储层参数与地震参数转换^[1]。计算中采用了活塞式注水模型, 同时考虑了地层温度、压力对孔隙流体特性的影响, 孔隙流体参数随温度、压力的变化由经验公式计算获得^[2]。

地震模拟是利用计算的速度、密度参数得到反射系数模型再与子波褶积得到合成地震记录剖面。为对比分析起见, 模拟计算中采用了两种子波, 即 10~ 50 Hz 的低频窄带子波与 10~ 150 Hz 的高频宽带子波。

为了模拟噪声对注水地震监测的影响, 采用高斯随机噪声近似作为注水前后地震剖面的残留噪声。针对不同的合成地震剖面, 分别计算出剖面的视觉信噪比与视觉分辨率^[3]。由于剖面中各道的视觉信噪比与视觉分辨率是不一致的, 因此, 将各道的计算结果进行算术平均, 得到剖面视觉信噪比和剖面视觉分辨率。

2 实例

针对大庆油田葡萄花组砂岩储层的特性, 利用实际测井资料建立薄互层与单一厚层地质模型并假定模型中各层均为水平地层且注水前储层横向均匀(表1)。砂泥岩互层中泥岩的速度、密度与上下围岩相同。互层中砂岩累积厚度为 14.8 m, 扣除 3 个干层后, 真正存在参数变化的砂岩累积厚度仅为 9.8 m。单层厚度最大为 2.4 m, 最小为 0.6 m。储层温度约 53.5℃, 原始地层压力 11.4 MPa。单一厚层模型与互层模型的结构相同, 只是将砂泥岩互层段用一厚度为 100 m 的单层砂岩代替, 其参数与互层段第四小层砂岩的参数相同。

本次模拟采用活塞式注水模型, 同时假定注水后残余油饱和度为 10%, 各小层中注水前缘的横向展布范围不同, 以注水井为中心对称分布, 其他参数均保持不变。

* 中国勘探开发研究院地球物理研究所汇编. 开发地震. 1999
收稿日期: 2001- 08- 25

表 1 薄互层注水前地质模型参数

Table 1 Parameters of thin interbedded model before waterflood

层位	深度 /m	速度 /m·s ⁻¹	密度 /g·cm ⁻³	孔隙度 /%	含油饱和度 /%
浅层	< 1 088.8	2 428.0	2.10	—	—
泥岩	1 138.8	2 770.9	2.25	—	—
互层砂岩	1 139.6	3 424.7	2.36	21.0	20.0
	1 140.8~1 142.0	3 349.0	2.24	25.0	76.0
	1 145.6~1 146.2	3 386.7	2.32	22.0	16.0
	1 148.0~1 150.0	3 313.0	2.25	26.0	70.0
	1 161.2~1 162.0	3 386.7	2.37	20.0	0.0
	1 167.0~1 168.6	3 386.7	2.30	24.0	40.0
	1 172.0~1 174.4	3 349.5	2.40	21.0	18.0
	1 181.4~1 182.6	3 810.0	2.40	17.0	0.0
	1 183.6~1 184.8	3 349.5	2.28	22.0	30.0
泥岩	1 240.2	2 770.9	2.25	—	—
深层	—	3 241.5	2.35	—	—

模拟分析结果表明, 决定时间推移地震测量剖面及相应差异剖面视觉分辨率的关键因素是地震子波的主频与频带宽度, 主频越高、有效频带宽度越大, 相应的地震剖面的分辨率就越高(图 1, 2)。从定性的角度来看, 对于相同的互层模型, 宽带子波合成记录较好地揭示了互层模型的内部结构, 相应的差异剖面甚至可以确定小层内储层流体的变化; 而窄带子波合成记录的储层反射近似为一单波反射, 不足以揭示储层内部反射结构的变化, 相应的差异剖面只能笼统地揭示整个储层内孔隙流体

的横向变化, 不能反映储层内各小层中流体的变化。除子波频率与带宽外, 决定差异地震剖面视觉信噪比与分辨率的关键因素还与储层特性有关。不论是单一厚层还是薄互层, 如果注水前后剖面有近似的视觉信噪比, 那么视觉分辨率变化就不十分明显, 但就差异剖面而言, 单一厚层模型明显地高于薄互层模型, 约为 10 倍(图 3, 4)。此时, 尽管差异剖面视觉分辨率的变化较小, 但注水地震异常在厚层剖面中得到了更清晰地显示。事实上, 在厚层模型注水后的剖面中, 注水地震异常同样可以通过储层底部(1.15 s 附近)和下伏地层反射同相轴(1.18 s)的抬升和反射振幅强弱的变化来反映。但在薄互层模型中, 注水后剖面很难看出注水地震异常的存在, 这从另一个侧面说明了厚储层比薄储层更易于实现注水监测。

为了说明注水前后剖面信噪比对差异地震剖面的影响, 在假定了注水前后剖面的视觉信噪比与视觉分辨相同的条件下, 根据一系列模拟分析结果绘制了差异地震剖面视觉信噪比与视觉分辨率随注水前后剖面视觉信噪比的变化曲线, 由此可见, 差异地震剖面视觉信噪比与视觉分辨率的改善不仅与注水前后剖面的视觉信噪比有关, 而且同样与

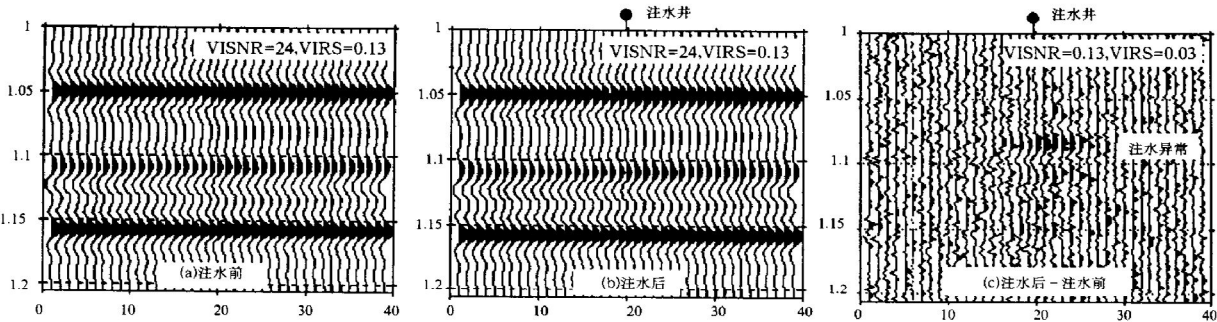


图 1 薄互层模型注水低频地震响应

Fig. 1 Seismic response of narrow band wavelet to thin interbedded model in waterflooding

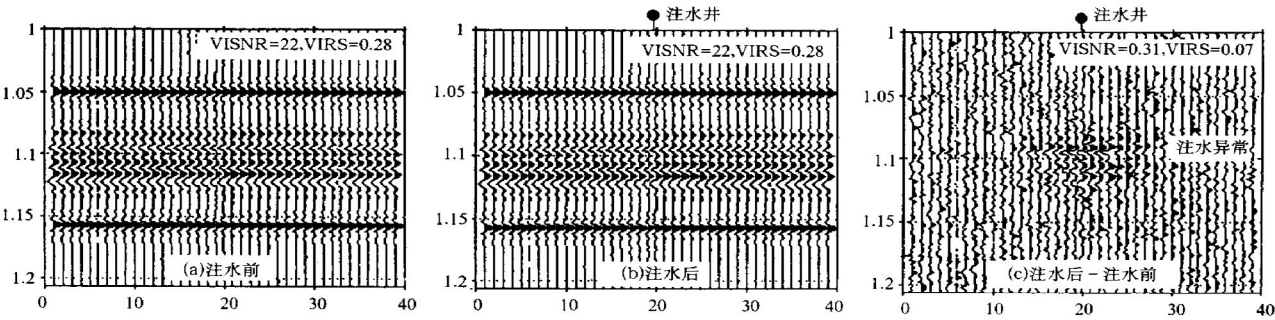


图 2 薄互层模型注水高频地震响应

Fig. 2 Seismic response of wide band wavelet to thin interbedded model in waterflooding

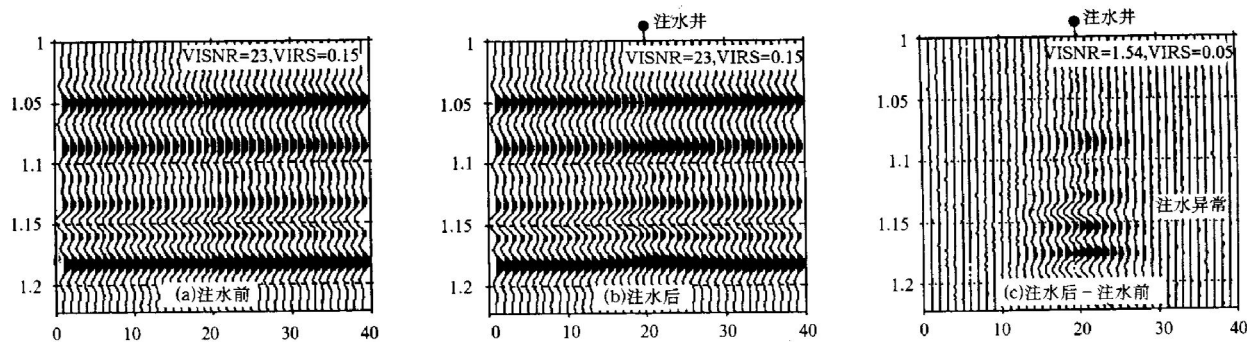


图3 厚层模型注水低频地震响应

Fig. 3 Seismic response of narrow band wavelet to a thick bed model in waterflooding

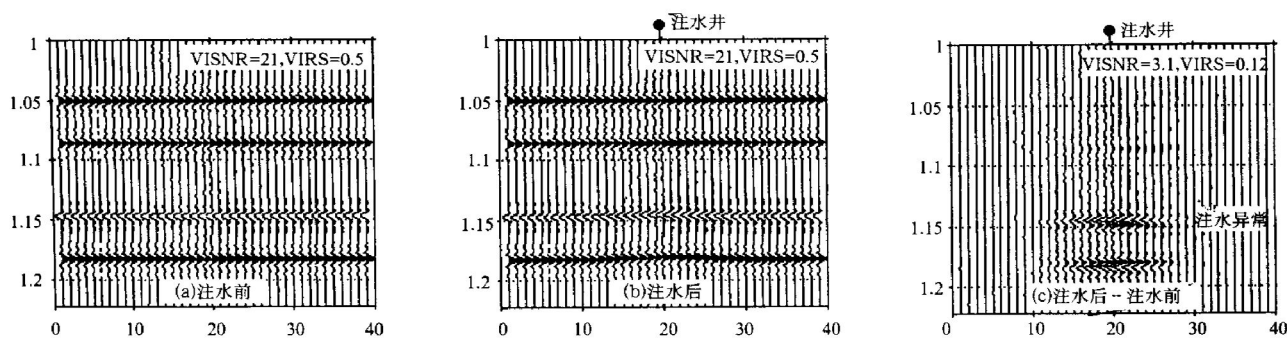


图4 厚层模型注水高频地震响应

Fig. 4 Seismic response of wide band wavelet to a thick bed model in waterflooding

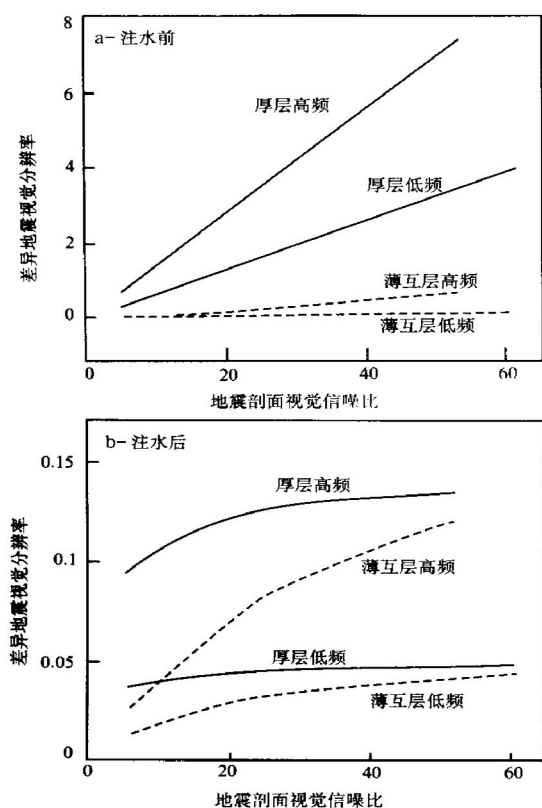


图5 差异地震剖面视觉信噪比和视觉分辨率与注水前后地震剖面视觉信噪比的关系

Fig. 5 Relationship between visual resolution, visual S/N ratios of differential seismic profiles and visual S/N ratios of pre-flood and post-flood seismic profiles

油藏本身的特性有关(图5)。提高注水前后剖面的视觉信噪比可大大改善相应厚层模型差异地震剖面的视觉信噪比,但对于薄互层模型差异剖面的视觉信噪比的改善却不明显。此外,当子波一定时,提高注水前后剖面的视觉信噪比,薄互层模型差异地震剖面视觉分辨率的改善要比厚层模型明显,但当注水前后剖面视觉信噪比一定时,相应于厚层模型的差异地震剖面的视觉分辨率要比同等条件下薄互层模型差异地震剖面的视觉分辨率高得多。

3 可行性评价

为了对注水时移地震监测的可行性作出评价,通过对一系列合成地震剖面及其差异剖面的分析发现,采用差异地震剖面的分辨率与信噪比的乘积作为判别标志,可同时反映储层特性、子波特性以及剖面信噪比与分辨率等多种因素的影响,因而可以对地震监测的可行性作出较为合理的判定(图6)。若以差异地震剖面中注水异常作为监测标志,那么图1中注水前后剖面视觉信噪比与视觉分辨率分别为0.03和0.13的注水地震异常是可识别的,相应的视觉分辨率与视觉信噪比之积约为0.004。若以此为地震监测的门限值,厚储层几乎在任何情形下实施监测都是可行的,而薄互层则要求

注水前、后地震剖面必须具有足够高的视觉信噪比与视觉分辨率。对于低频子波,注水前后剖面的视觉信噪比不得低于 0.03,相应的视觉分辨率不得低于 0.13。对于高频子波,则要求注水前后剖面的视觉信噪比与视觉分辨率应分别在 10 和 0.27 以上。

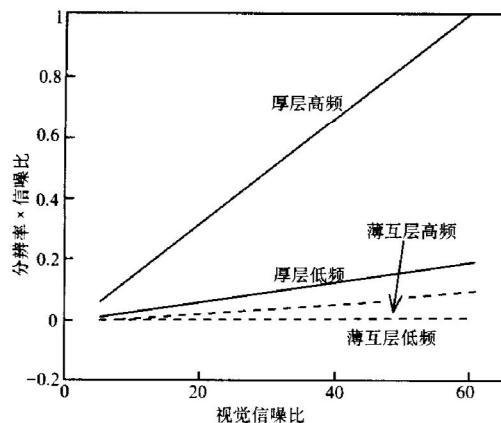


图6 地震监测评价曲线

Fig. 6 Assessment curves of seismic monitoring

由于不同时间地震测量与处理过程中很难保持地震资料采集与处理的完全一致,因此,在实际资料中必然存在由于采集与处理的不一致所引起的剖面时移与子波相位变化等,这些必然会对差异地震剖面的视觉信噪比与视觉分辨率造成影响,有时甚至是非常显著的影响,而且这种潜在的影响是不可避免的。当存在这些影响因素时,监测门限可能会比上面给出的高得多,这就使得薄互层的监测更加困难。

参 考 文 献

- 1 云美厚. 油田注水开采地震监测理论研究[J]. 石油物探, 1997, 36(3): 46~ 55
- 2 云美厚, 易维启. 孔隙流体地震特性的计算[J]. 石油物探, 2001, 40(3): 25~ 30
- 3 李庆忠. 高分辨率地震勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 12~ 30

RESERVOIR CHARACTERISTICS AND TIME- LAPSE SEISMIC MONITORING

Yun Meihou¹ Guan Zhining² Cao Guanghua¹

(1. Department of Exploration, Daqing Petroleum Institute, Andaq,
Heilongjiang; 2. China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: The forward modeling result of waterflood seismic monitoring of Pur 1 group sandstone reservoir in Daqing Oilfields shows that different reservoirs have different demands for visual resolution and visual signal to noise ratio of seismic data used in reservoir monitoring. Comparing with thick reservoirs of the same lithological property, thin reservoirs and thin interbedded reservoirs demand higher visual resolution and visual signal to noise ratio. Monitoring fluid performance variation of each bed in thin interbedded reservoirs must improve the resolution and the visual S/N ratio of different seismic profile. The product of the visual resolution and visual S/N ratio can be used in the feasible quantitative analysis of time-lapse seismic monitoring.

Key Words: reservoir characteristics; time-lapse seismic; forward modeling; visual resolution; visual signal to noise ratio; Daqing Oilfield