

Stochastic Simulation of Seismic Inversion Technology in the Design of Horizontal Wells Application

Zhuanling Liu¹, Hongzhou Zhao²

¹Reserch Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Company, Daqing

²6th Oil Production Plant of Daqing Oilfield Company, Daqing

Email: liuzhuanling@petrochina.com.cn, dqzhaohongzhou@petrochina.com.cn

Received: Jun. 7th, 2012; revised: Jun. 26th, 2012; accepted: Jul. 9th, 2012

Abstract: Stochastic modeling of seismic inversion in reservoir prediction technology is a more practical technology, which algorithm is stable, reliable, accurate, description of the reservoir has a strong advantage, especially in complex areas of construction and reservoir prediction was more obvious. Of Daqing area in eastern Z201 poor reservoir properties of Fuyu oil layer, typical laterally interbedded shale, thin, flat lace overlay, complex distribution of water and lithology, seismic prediction is difficult, the use of the technology for this reservoir prediction and fine description, prediction results and drilling material coincide degrees higher, consistent with the regional sedimentary characteristics, the area of the horizontal wells provide a reliable basis for design.

Keywords: Seismic Inversion; Stochastic Simulation; Reservoir Prediction; Design of Horizontal Wells

随机模拟地震反演技术在水平井井位设计中的应用

刘转玲¹, 赵洪洲²

¹大庆油田勘探开发研究院, 大庆

²大庆油田第六采油厂, 大庆

Email: liuzhuanling@petrochina.com.cn, dqzhaohongzhou@petrochina.com.cn

收稿日期: 2012年6月7日; 修回日期: 2012年6月26日; 录用日期: 2012年7月9日

摘要: 随机模拟地震反演技术是储层预测中一项比较实用的技术, 该技术算法稳定、可靠、精确, 在储层描述方面有较强的优势, 尤其对构造及储层复杂地区的预测效果更加明显。大庆长垣东部 Z201 地区扶余油层储层物性差, 横向上属于典型的砂泥岩薄互层, 平面迭加连片, 油水和岩性分布复杂, 地震预测难, 本文运用该项技术进行储层预测和精细描述, 预测效果与钻井数据吻合度较高, 与区域沉积特征吻合, 为该区的水平井井位设计提供了可靠的依据。

关键词: 地震反演; 随机模拟; 储层预测; 水平井井位设计

1. 引言

随着油区开发程度的不断提高, 地震反演方法越来越成为油藏描述尤其是隐蔽油气藏描述中最广泛应用的技术手段, Jason 地震反演技术是目前常用的一种, 其目的是用地震反射数据, 反推地下的波阻抗或速度的分布^[1], 估算储层参数, 并进行储层预测和油藏描述, 为油气勘探提供可靠的基础数据, 尤其是

随机模拟与随机反演技术^[2]结合地震反射数据、地质模型及地质统计数据等, 可实现地震反演与地质统计模拟技术的结合, 使反演结果与已知条件充分吻合, 能更加客观地反映地下真实地质构造, 在反演效果上与其它技术相比, 其横向和纵向分辨率、储层的精细描述方面均有较强的优势, 特别是对构造及储层条件复杂的地区效果明显^[3]。本文通过该技术的应用, 结

合地震属性和地质特征分析，对 Z201 区块的主要目的层扶余油层扶一段进行储层预测，精细描述砂体展布趋势，为水平井井位设计提供可靠依据。

2. 随机模拟地震反演

2.1. 基本原理

随机模拟地震反演技术是利用地震反射特征与储层属性之间的相关性，用地质统计学方法对非均质油藏进行随机模拟，该技术以概率论为理论基础，在多井资料和横向地震约束的条件下，得到一个或多个既满足资料的地质统计学特征又满足地质、测井和地震信息的三维储层参数概率模型，数据的地质统计学特征由数据的概率分布图和变异函数描述，在地震反演中运用模拟退火算法或 Greed 算法^[4]，统计模拟中运用协克里金、高斯等算法^[5]，且随机模拟的次数越多，模拟的数学期望值就越准确，方差越小，因而可以得到可靠的随机模拟结果。

三维随机指示仿真技术原理是依据地质统计分析岩性的空间变化，建立岩性的空间变差函数，用随机指示方法，模拟岩性的空间分布规律^[6]。对于空间任意一点的岩性，可能是砂岩，也可能是泥岩，砂岩定义为 1，泥岩定义为 0，以波阻抗作为岩性变化的指示条件，根据井点的统计与沉积相分析确定砂、泥岩规模的大小决定砂岩横向的变化，例如有 1 km 宽的河道，其砂岩在大于 1 km 时互不相关。由于本区钻井数据较丰富，目的层为砂泥薄互层沉积，故而我们将本区目的层反演重点放在随机模拟地震反演上。

2.2. 技术流程

本次应用 Jason 软件的 StatMod 模块，采用随机模拟反演技术开展储层预测，其核心在于井间预测。利用地质统计原理，以测井数据为主，井间变化用地震约束，通过多井、多曲线的随机模拟，选用多个时间域扫描岩性的纵横向变化，从中选取用来拟合的数据点，参考钻井数据结合地质分析，进行反复调整；然后采用克里金算法输出多个等概率的随机模拟结果，分别选用不同的扫描半径进行运算和对比；用井数据和波阻抗体协同进行随机模拟^[7]，并与井匹配，最后选用经过优化的参数进行随机反演，输出数据(图 1)。

2.3. 参数优选

2.3.1. 数据质量分析

为进一步对扶余油层构造进行精细解释以及储层预测研究，采用迭前分频去噪技术、高频速度分析技术、分频非地表一致性静校正技术对数据进行了重新处理^[8]，进一步提高了地震数据分辨率和振幅保真度，本次储层预测工作是在其处理和精细解释的基础上开展的。

2.3.2. 曲线标准化处理

为了消除井与井之间、不同测井仪器之间、不同施测时间等非地质因素的影响，采用趋势面分析法对测井资料进行标准化处理，使各井的值域能统一到同一量纲上，实现对岩性的相同异常表征，确保反演质量。

2.3.3. 建立准确的地质模型

地震层位是建立地质模型的基础，也是地震反演处理过程中加入地质认识和地质约束条件的重要依据，在建立地质模型之前，要精细进行输入层位的对比和修正，尽可能缩小给模型带来的缺陷。

2.3.4. 合理选择参数 λ 值

λ 值的大小反映声阻抗值和子波褶积产生的合成地震道与实际地震道匹配程度的好坏^[9]，选择合适的 λ 值，在一定的可信度下提高剖面的分辨率。本次反演经过多次试验 λ 选值为 9，为后续反演的稳定性奠定了基础。

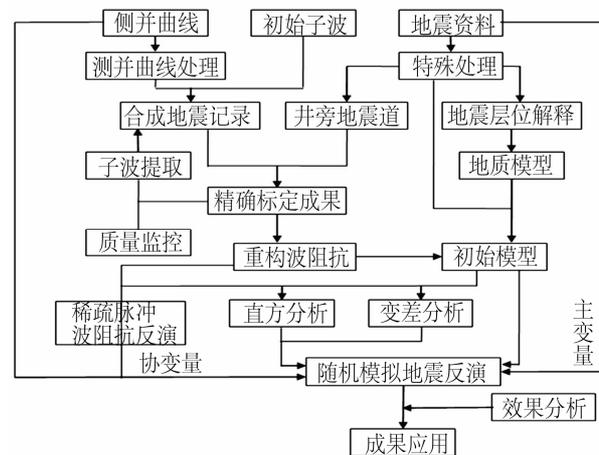


Figure 1. Stochastic simulation of seismic inversion flowchart
图 1. 随机模拟地震反演流程图

3. 反演预测

研究区主要目的层扶余油层属于典型的砂泥岩薄互层，储层物性差，地震预测难，利用研究区钻井资料丰富的特点，在稀疏脉冲反演预测的基础上，对物性参数进行随机模拟反演，对本区内的声波曲线、电阻率曲线和伽玛曲线进行敏感性分析后认为，电阻率曲线能更好地区分储层和非储层，对砂层和水层的敏感度要高于其它曲线，且基本不受储层中流体性质的影响，经分析本次采用电阻率曲线进行反演。

在反演过程中，依据在三维面元中提取的地震特征信息及地质模型来迭代修改反演道的波阻抗模型，充分考虑了地震特征信息及地质模型、地震波场在各方向上的分布与变化因素，反复迭代出最终的反演道的波阻抗模型，因此使得反演后各井间的波阻抗特征过渡自然、分辨率明显高于地震剖面、地层间的接触关系清晰、地层岩性信息更加丰富，并反映出岩性、岩相的横向变化。

4. 效果分析

该区的反演结果基本能满足薄互储层预测的需求，反演精度较高，表现在以下方面：

1) 与井吻合较好：目的层段的岩性阻抗特征、厚度与井符合较好，对 3 m 以上的砂体可有效分辨。水平井三维地震工区面积 30 km²，区内有探井 18 口，加深的开发井 23 口，用 18 口探井做反演，从预测厚于 3 米时，预测厚度与实钻厚度呈正比关系，说明用度和钻井厚度交会图上可以看出(图 2)，当砂体厚度大该法反演结果可以对砂体厚度进行预测。

2) 从反演波阻抗剖面来看，所反映的砂体薄厚变化、尖灭、延伸等特点符合沉积规律。不同层系、不同岩性之间阻抗关系清楚；不同井区、断层上下盘之间过渡自然。在反演波阻抗剖面和三维数据体中，可很好地进行砂体的识别和追踪解释。

通过对多条过井反演剖面的分析认为，Jason 反演结果纵向分辨率较高，对比反演结果剖面与井上的岩性剖面一致，说明反演结果对井上的信息比较忠实，一般测井曲线上的 2.5 m 砂层在反演剖面上能有较明显的反映，砂体横向的展布方向与沉积的方向比较一致，且反演剖面上，主力小层 F16 层水平井段部分(A 到 B)砂岩分布稳定，砂岩在全区大部均有发育(图 3)，为水平井的部署和顺利实施提供了重要参考依据。

为了提高该区砂体预测的精度，尽可能保留三维地震反演对井间储层的精细刻画，在反演数据上过滤

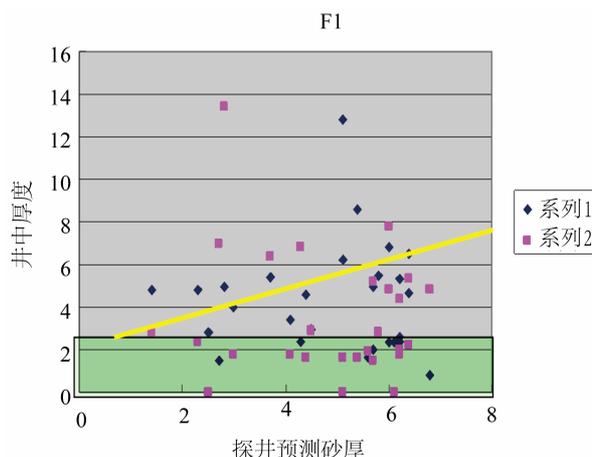


Figure 2. Predict thickness and solid drilling thickness n plot
图 2. 预测厚度和实钻厚度交会图

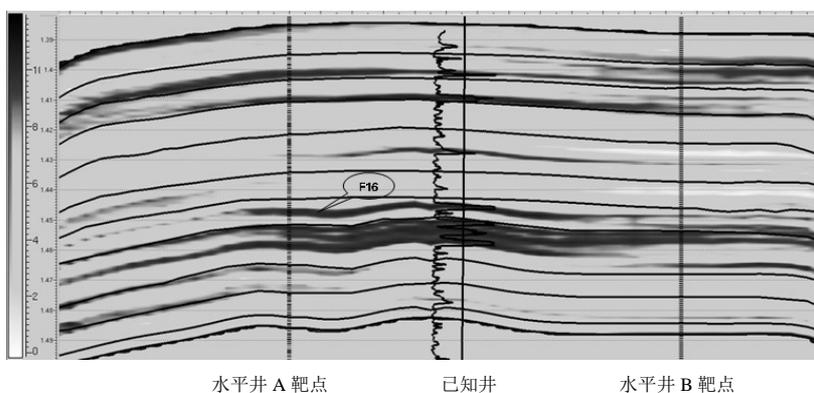


Figure 3. Z201 block in Fuyu reservoir resistivity inversion profile
图 3. Z201 区块扶余油层电阻率反演剖面图

砂体时,是在地震解释层位的控制下进行样点计算的,由于该区砂体较薄,反演数据的采样率会直接影响通过过滤所得砂体数据的精度,因此要求地震反演的数据体最好是 1MS 采样,或者在计算砂体厚度时对数据加密采样点,以保证砂岩厚度计算结果的准确性。该区储层主要为分支河道砂体,单期河道宽度小,井间厚度变化大,为了达到对主河道识别的目的,对砂岩厚度值网格化成图时,尽可能选用较多的网格点数,以刻画河道砂体平面分布形态在细节上的变化。总之在该区进行平面砂体厚度成图时,在合理选取网格化方法、网格化点数、平滑点数的基础上,综合利用其它已知信息,提高砂厚成图的精度。研究中重点提取了水平井井位设计的主力小层 FI6 层的砂岩厚度等值图(图 4),从图上看,砂岩在工区西南部和东部较发育,在西南部呈明显的条带状分布,与沉积特征分析结果相吻合,砂岩在水平段部分厚度在 7 m~9 m,反演结果表明,水平井段的储层由 A 点到 B 点变化不大,连通性比较好。

5. 结论

随机模拟地震反演方法利用地震反射特征与储层

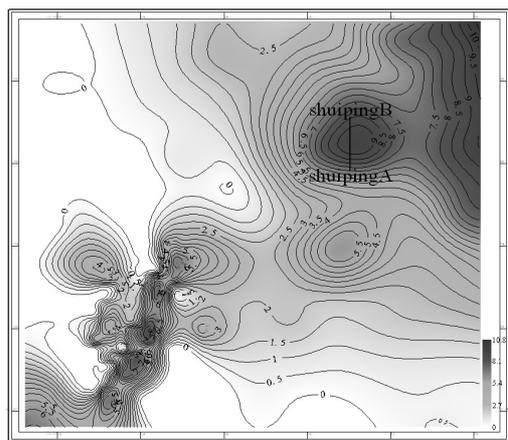


Figure 4. Z201 block in Fuyu reservoir FI6 small sandstone thickness prediction map

图 4. Z201 区块扶余油层 FI6 小层砂岩厚度预测图

属性之间的相关性,用地质统计学方法对非均质油藏进行随机模拟。由于把稀疏脉冲反演的结果作为外部约束软数据,能够使稀疏脉冲反演方法得到的反演结果较好地体现地震资料具有的振幅、频率、相位等特征所包含的地下信息,同时也兼顾了地质构造框架模型和测井资料的空间约束,因而其反演结果的唯一性较好,不易出现假象,而且把这种反演结果作为随机地震反演的外部软数据参与约束,又能使随机反演的结果较好地忠实于地震资料。同时,随机地震反演又充分考虑了地质统计信息,两者相辅相成的,使储层属性描述结果与地质统计(随机模拟)及地震反演双重吻合,很好地反映储层属性空间分布的非均质性和不确定性。

但该方法算法复杂,计算机计算的工作量大,时间长,且当已知井数太少,统计效应较差。因此,该方法适合于钻井数较多的勘探评价和开发阶段的非均质油藏描述。

参考文献 (References)

- [1] 刘雯林. 油气开发地震技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 1-115.
- [2] 李延辉, 岳跃龙, 胡永军等. Jason 反演技术在张东地区储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(增刊): 108-113.
- [3] 张宏, 杨春峰, 常炳章等. 迭后地震反演方法联合应用研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5): 246-249.
- [4] 李勤, 张利峰, 孙丽. 遗传模拟退火算法在储层属性建模中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 31-32.
- [5] 孙思敏, 彭仕宓. 基于模拟退火算法的地质统计学反演方法[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 38-43.
- [6] 李军, 熊利平, 方石等. 基于多尺度数据融合 Markov 链模型的岩性随机模拟[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 73-77.
- [7] 牛小芳, 张春林, 汪立蓉等. 地震反演技术在前 8 块储层预测中的应用[J]. 断块油气田, 2003, 10(2): 8-11.
- [8] 刘云武, 吴海波, 刘金平. 大庆长垣南部扶杨油层河道砂体预测方法与应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(5): 106-108.
- [9] 穆星. 稀疏脉冲波阻抗反演参数对反演效果的影响研究[J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(2): 104-108. <http://www.cajcd.edu.cn/pub/wml.html>