

# The Influence of Training Images on the Effect of Multipoint Geostatistical Inversion

Xuesi Zhao<sup>1,2</sup>, Yanshu Yin<sup>2\*</sup>, Lixin Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing

<sup>2</sup>School of Geosciences, Yangtze University, Caidian Hubei

Email: 961477307@qq.com, \*yys6587@126.com

Received: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: Feb. 16<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 26<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

The stochastic modeling is developed from two point geostatistics to multi-point geostatistics, and a seismic inversion method based on multi-point geostatistics is proposed. Since the training image is the key of multi-point geostatistical modeling, it directly determines the quality of the modeling results. An evaluation of training image in inversion is necessary. Three different training image is designed to reveal the influence on inversion result, that is, a training image same to the real reservoir, a training image reflecting the structure of the real reservoir, and a rotation of 90 degree which is different to the real reservoir. The results show that the training image has a great influence on the convergence speed of the multi-point geostatistical inversion, and the more accurate the training image is, the faster convergence speed of the multi-point geostatistical inversion is. The place of the lithofacies has little influence unless they have different structure.

## Keywords

Multipoint Geostatistics, Training Image, Seismic Inversion, Influence

# 训练图像对多点地质统计反演效果的影响

赵学思<sup>1,2</sup>, 尹艳树<sup>2\*</sup>, 王立鑫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室, 北京

<sup>2</sup>长江大学地球科学学院, 湖北 蔡甸

Email: 961477307@qq.com, \*yys6587@126.com

收稿日期: 2018年2月2日; 录用日期: 2018年2月16日; 发布日期: 2018年2月26日

\*通讯作者。

## 摘要

油气储层建模已经由两点统计发展为多点统计建模。相应的，基于多点地质统计学的储层反演方法也得到了开发。由于训练图像对建模有重要影响。本文以多点地质统计反演中关键输入参数训练图像为对象，探讨其对反演结果的影响。通过设计三种不同类型的训练图像，即与实际储层一致的训练图像；与实际储层结构一致但储层分布位置存在差异的训练图像；将实际储层旋转90度的训练图像。开展多点反演并比较其反演效果。结果表明，训练图像越准确，多点地质统计反演结果收敛速度快，反演误差小；而训练图像越不符合实际，则模拟收敛慢，耗时长，模拟误差大。训练图像结构符合实际情况时，其分布位置差异对反演结果影响不大。

## 关键词

多点地质统计学，训练图像，地震反演，影响

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 前言

多点地质统计学是针对两点地质统计学难以表征复杂储层形态的问题发展起来的一种随机地质建模方法[1]。经过 20 多年的发展，多点地质统计学已经得到建模学者认可并在油藏建模广泛应用。在地震储层反演中也开始进行了有益尝试[2]。

作为多点地质建模核心输入，训练图像决定了多点地质建模效果。但训练图像对多点地质统计反演的影响，是多点地质统计学的技术关键，其直接决定了建模结果的好坏。关于多点训练图像获得和评价，已经开始受到重视并研究[3] [4]。而在多点地震反演中，训练图像对反演效果的影响评价，则还未有开展。本文通过合成不同训练图像，评价其对反演效果的影响。为多点地质统计反演应用奠定基础。

## 2. 多点地质统计学反演原理

多点地质统计学反演是将多点地质统计随机理论与地震反演理论结合的反演方法[5] [6]。通过训练图像获得先验概率。即通过扫描训练图像完成目标区的多点模式的预测，随后通过不同相的岩石弹性属性概率分布抽样，与反射系数褶积合成地震道，并与实际地震道最优匹配决定反演弹性属性体，完成反演[7]。反演流程主要包含两个步骤：参数确定和随机反演。

### 2.1. 参数确定

包括两个方面的参数，即

1) 岩石弹性参数统计分析

通过井资料获得不同岩相的弹性参数(速度、密度)等分布概率。

2) 训练图像建立

根据研究区基础地质研究和地质认识，建立训练图像，定义数据模板扫描训练图像，提取岩性模式，建立岩相多点模式库。

## 2.2. 随机反演

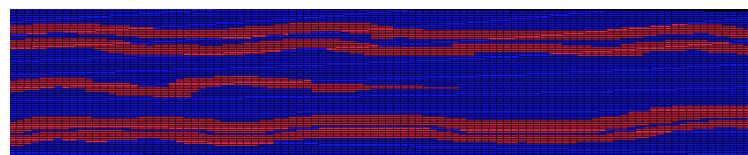
随机反演过程是一种迭代的过程，通过多点建模获得岩相分布，通过岩相弹性参数先验概率分布抽样获得模拟弹性参数场[7]。随后，利用褶积定理合成地震记录，并与实际地震记录进行比较，选择误差最小结果弹性参数场作为反演结果[8]。

显然，训练图像既是获取岩相分布重要参考，也是弹性参数提取的关键约束。训练图像贯穿了多点地质统计反演的整个过程，因此需要开展训练图像对多点地质统计反演影响的研究。

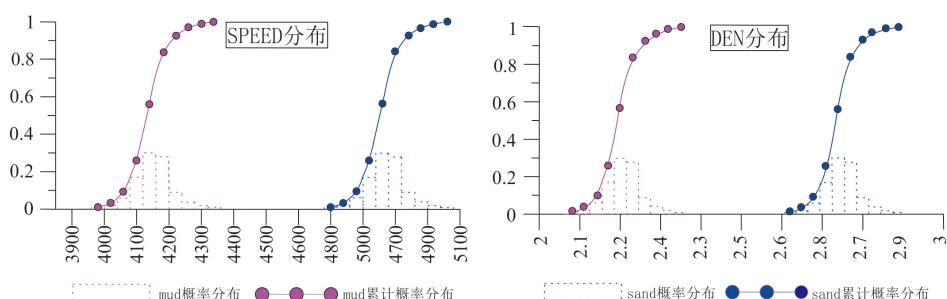
## 3. 模型测试

为了验证训练图像对多点地质统计反演的影响，建立了一个二维的砂泥模型(图 1)，并在反演过程中建立了三种不同的训练图像来测试多点地质统计反演效果。该模型网格总数为 100\*50。模型总厚度为 100 m，横向总长度 1000 m，分为两种岩相，红色为砂岩，蓝色为泥岩，两种岩相的弹性参数分布见图 2。与一个主频为 25 Hz，长度为 100 ms 标准雷克子波褶积获得地震剖面见图 3。建立三种不同的训练图像如图 4。其中训练图像 a 就是理论的二维河道模型，训练图像 b 与真实图像砂泥岩分布较为接近，只是位置存在差异。而训练图像 c 则是对训练图像 a 旋转了 90°，利用四口井提取弹性参数、岩性参数构成数据事件，进行反演，测试中将反演的迭代次数设置为 10 次。并根据不同迭代次数对比其反演效果。反演即在这 3 种训练图像以及四口井的约束下开展。

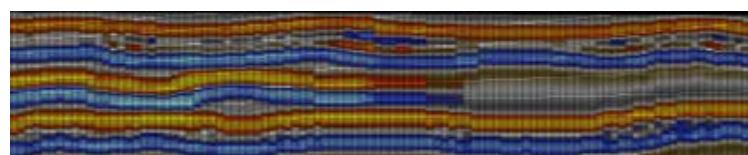
反演结果如图 5、图 6 所示。图 5 为第一次迭代后的反演结果，从图中可以看出，第一次迭代的结果，其合成记录剖面散乱，同相轴错段，不连续，与训练图像相近。但是仍然可以看出旋转 90 度的训练图像的效果最差。



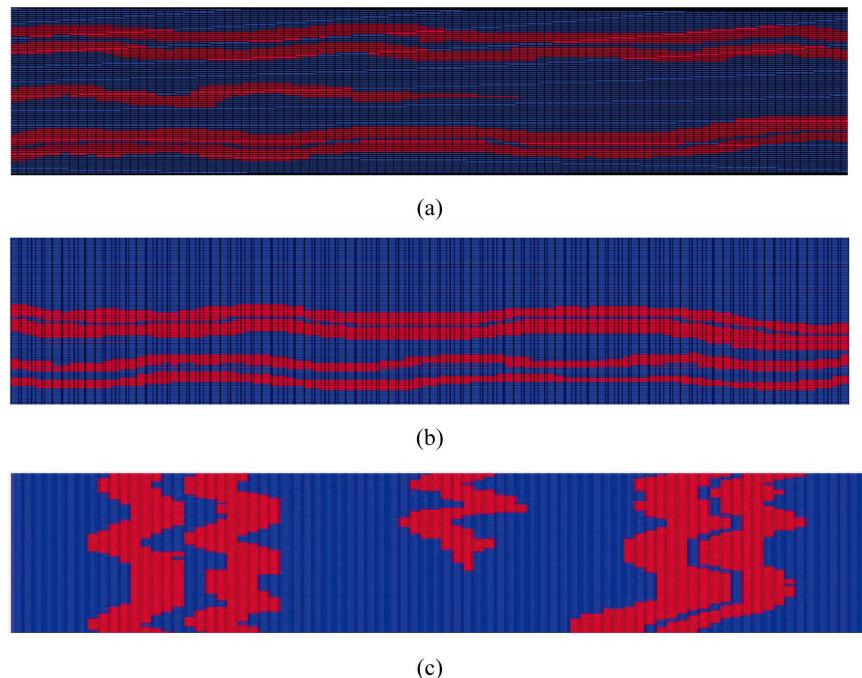
**Figure 1.** A 2-dimentional mudstone and sandstone model  
**图 1.** 二维砂泥岩模型



**Figure 2.** The distribution of elastic parameters  
**图 2.** 弹性参数分布

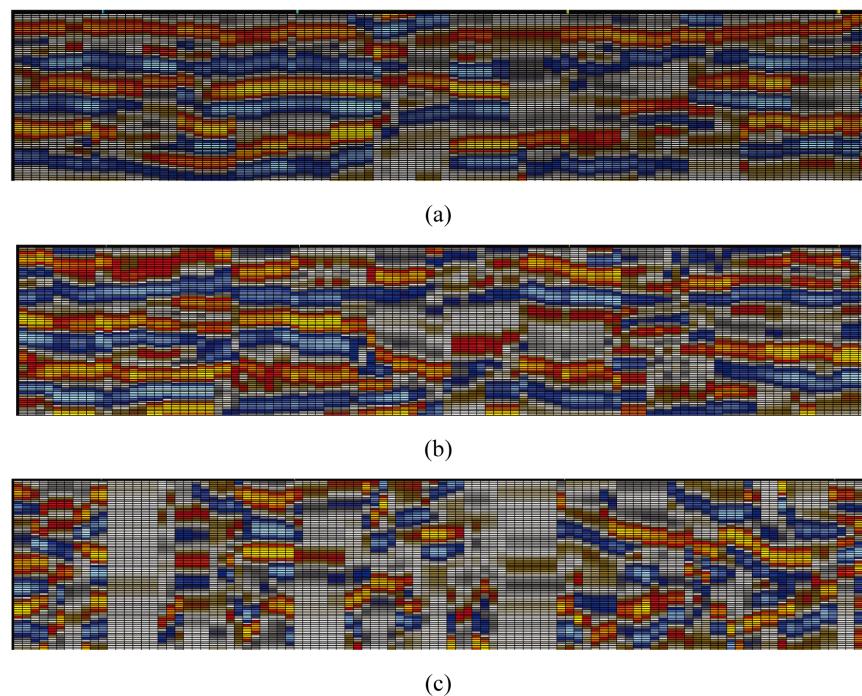


**Figure 3.** The record of seismic data  
**图 3.** 地震剖面



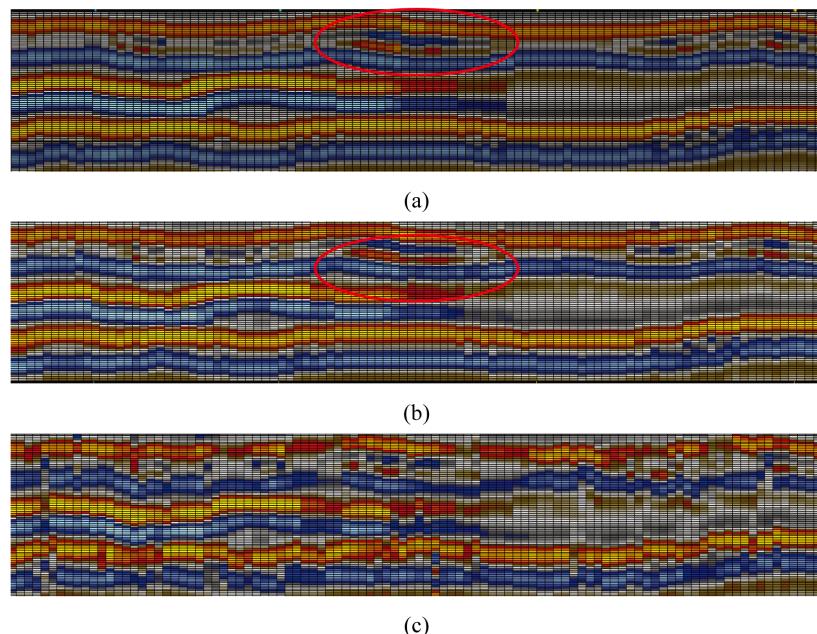
**Figure 4.** Training images (a) original training image, (b) the place variation of original training image, (c) the rotation of original training image

**图 4.** 训练图像。(a) 原始训练图像, (b) 位置变换训练图像, (c) 旋转 90 度训练图像



**Figure 5.** A comparison of the first iteration of seismic inversion (a) the result using the original training image, (b) the result using the variable place of training image, (c) the result using the rotation training image

**图 5.** 第一次迭代结果对比。(a) 原始训练图像结果, (b) 位置变换训练图像结果, (c) 旋转 90 度训练图像结果



**Figure 6.** A comparison of after 10th iteration of seismic inversion (a) the result using the original training image, (b) the result using the variable place of training image, (c) the result using the rotation training image

**图 6. 第十次迭代结果对比。**(a) 原始训练图像反演结果, (b) 位置变换训练图像结果, (c) 旋转 90 度训练图像反演结果

图 6 为第十次迭代结果, 从图中看出, 经过十次迭代, 以原始模型为训练图像和以及位置略有变化但结构一致的训练图像的反演结果都接近实际地震记录剖面, 两种反演结果区别很小, 只在细节上有些区别。但是旋转 90 度训练图像的反演虽然合成记录剖面在尽量体现原始地震剖面, 但其误差较大, 反演效果较差。

由此可见, 训练图像对反演效果是有较大影响的。虽然反演以逼近真实地震记录为一个方向, 但是不合适的训练图像反演在同等条件下地震记录较为零散, 与原始记录反差较大, 而与实际符合的训练图像则非常好逼近了真实地震记录。即使训练图像内砂泥岩位置分布有差异, 只要其能够反映储层结构特征。反演效果也较好。

从运行时间上, 相同条件下与实际一致训练图像迭代 10 次运行机时为 35 分 27 秒, 位置有差异的训练图像 35 分 45 秒, 而不一致的训练图像则耗时 37 分 01 秒。也反映在训练图像结构不一致时候, 其搜寻匹配的数据事件并完成反演比较耗时, 计算效率低。

#### 4. 结论

- 1) 训练图像对多点地质统计反演效果有很大的影响, 建立准确的训练图像能够减少反演过程中的迭代次数和反演的计算量。在多点地质统计反演中, 地质工作者应该尽量建立准确的训练图像。
- 2) 训练图像结构类似情况下, 砂泥岩位置分布差异对反演结构影响不大。因此在建立训练图像时候, 其核心在于揭示地下储层结构信息。

#### 基金项目

本文受到中国石化石油勘探开发研究院项目(G5800-16ZS-KFZD003)、国家自然科学基金(No. 41572081)和国家科技重大专项(NO: 2016ZX05031002-001)、以及湖北省创新群体项目(2016CFA024)联

合资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴胜和, 李文克. 多点地质统计学——理论/应用与展望. 古地理学报[J]. 2005, 7(1).
- [2] González, F., Mukerji, T. and Mavko, G. (2008) Seismic Inversion Combining Rockphysics and Multiple-Point Geostatistics. *Geophysics*, **73**, 11-21. <https://doi.org/10.1190/1.2803748>
- [3] Zhou, H. and Gomez-Hernandez, J. (2012) A Pattern-Search-Based Inverse Method. *Water Resources Research*, **48**.
- [4] Zhang, T.f., Switzer, P., Journel, A., et al. (2006) Filter-Based Classification of Training Image Patterns for Spatial Simulation. *Mathematical Geology*, **38**. <https://doi.org/10.1007/s11004-005-9004-x>
- [5] Larsen, A., Ulvmoen, M., Omre, H., et al. (2006) Bayesian Lithology/Fluid Prediction and Simulation on the Basis of a Markov-chain Prior Model. *Geophysics*, **71**, 69-78. <https://doi.org/10.1190/1.2245469>
- [6] Tarantola, A. (2005) Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation. *Society for Industrial and Applied Mathematics*. <https://doi.org/10.1137/1.9780898717921>
- [7] Nunes, R., Soares, A., Azevedo, L., et al. (2017) Geostatistical Seismic Inversion with Direct Sequential Simulation and Co-simulation with Multi-local Distribution Functions. *Mathematical Geosciences*, **49**, 583-601. <https://doi.org/10.1007/s11004-016-9651-0>
- [8] 杨培杰. 地质统计学反演——从两点到多点[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2293-2300.



知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)