

# The Method of Sand Body Thickness Prediction Based on Attribute Optimization and Network Function Approximation and Its Application

Xueguo Chen

West Branch of the Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong  
Email: chenxueguo580@sinopec.com

Received: Nov. 16<sup>th</sup>, 2016; accepted: Feb. 15<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The sand body thickness (or content) was an important parameter in oil and gas exploration. Based on seismic data and well-logging interpretation, a method for predicting sand body thickness in reservoirs was proposed in this paper. A sensitive seismic attribute set was established by using attribute optimization and dimension reduction. A neural network was established with the input including sensitive attributes of borehole seismic trace and sand body thickness interpretation of well log data. The training of the network would minimize the error, and on this basis, the sensitive attribute was input for each trace and the corresponding sand body thickness was output through network. In Block H4 of Shengli Oilfield the above method is applied to predict sandstone thickness, and the relative error is less than 20%, and it basically meets the need of oil exploration and production.

## Keywords

Sand Body Thickness, Seismic Attribute Optimization, Network Function Approximation, Reservoir Prediction

---

# 地震属性优化与网络函数逼近储层砂体厚度预测方法及应用

陈学国

中石化胜利油田分公司勘探开发研究院西部分院, 山东 东营

作者简介: 陈学国(1972-), 男, 博士, 高级工程师, 现从事勘探地质综合研究工作。

Email: chenxueguo580@sinopec.com

收稿日期: 2016年11月16日; 录用日期: 2017年2月15日; 发布日期: 2017年4月15日

## 摘要

砂体厚度(或含量)是油气勘探中的重要参数。以地震资料与测井解释成果为基础, 研究储层砂体厚度预测方法, 提出利用地震属性优化技术实现降维, 建立敏感地震属性集; 并将井旁地震道对应的敏感属性集与测井解释砂体厚度输入神经网络, 通过网络训练使误差最小化; 在该基础上, 逐道输入敏感属性集, 由网络输出对应的砂体厚度。在胜利油田H4区块应用上述方法预测砂岩厚度, 相对误差基本小于20%, 满足了勘探生产的需要。

## 关键词

砂体厚度, 地震属性优化, 网络函数逼近, 储层预测

Copyright © 2017 by author, Yangtze University 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. 引言

地震资料解释与反演的目标就是从三维地震数据中提取更多的信息参数, 该信息被称为地震波特征参数或地震属性, 是将地震数据作不同的数学运算得到的一种新参数[1]-[6], 利用该参数可以解决地质构造、预测地层岩性和油气等油气勘探的关键问题。地震属性是指叠前或叠后地震数据经过数学变换而导出的有关地震波几何学、运动学、动力学和统计学的特征, 是地震资料中可描述的、可量化的特征。地震属性的种类较多, 早期主要以振幅属性、时间属性、频率属性和地层吸收属性等为主。近年来, 随着数学、图像与信号处理等相关领域技术的发展, 计算地震属性的方法越来越多, 提取的地震属性也越来越多。地震属性从不同角度反映了地层砂体厚度、孔隙及孔隙流体、渗透率、地层异常压力等地层信息。关于砂体厚度预测的方法较多, 可归结为两大类: 一是以波阻抗反演为基础, 二是地震属性(叠前和叠后)综合应用。该次研究属于地震属性的综合应用, 笔者在前人研究的基础上, 将属性优化降维与网络函数逼近相结合, 优选出对砂体敏感的地震属性集, 进而研究储层砂体厚度分布。

## 2. 属性优化与神经网络函数逼近方法

### 2.1. 地震属性优化

储层参数预测是要将地震属性通过某种数学算法(如模式识别、神经网络)赋予地质含义。地震属性种类繁多,目前国内外用于储层预测的地震属性有 300 余种,这些地震属性有独立的,也有相互关联的;有些具有直接的地球物理意义,有些则没有。地震属性优化就是要在储层预测中消去不敏感地震属性的影响,减少有关联的地震属性影响,提升敏感的、独立的地震属性影响。

在利用地震属性进行储层预测(包括储层砂体厚度、孔隙度、饱和度等)中,通常提取一组属性集,并结合模式识别、多元统计、灰色系统或神经网络法等进行储层预测。但是,不同地区、不同层位、不同的储层参数(孔隙度、饱和度、砂体厚度等),相应的地震属性敏感度不同,其中 K-L 变换(Karhunen-Loeve transform)能有效地压制相关属性,提高独立属性的作用。该次研究采用 K-L 变换法实现降维运算,提高独立属性在砂体厚度预测中的影响。

### 2.2. 神经网络函数逼近方法

对于神经网络函数逼近法作储层参数预测,关键是网络的选择,神经网络有 40 种左右,结构、性能各不相同,但它们都是由大量的基本处理单元广泛连接而成,基本单元称为神经元,也称为节点,节点是所有输入的加权,并通过一个非线性函数输出结果。网络性质的决定要素有 3 个,即神经元特性、网络结构、训练方法。该次研究使用的神经元的激活函数是 S 型函数。神经网络结构是多层感知器,如图 1 所示,多层感知器是一种层状结构的前馈神经网络,它由输入层、输出层和一个或多个中间层构成;网络中的每个节点只与邻层(上、下层)的各个节点相连接,与同一层间的各节点不相连,各节点之间连接的权系数大小不同。

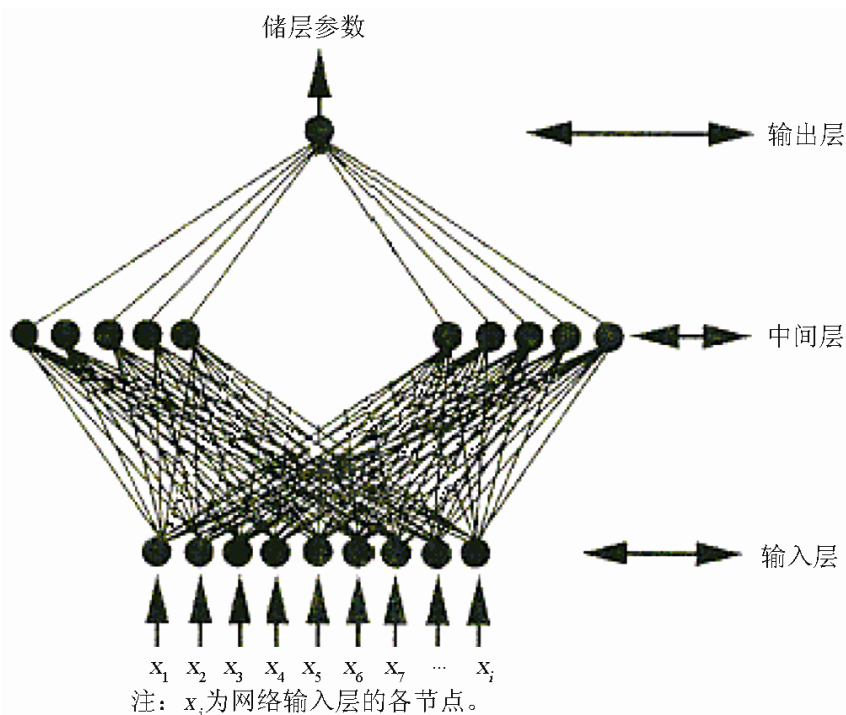


Figure 1. The network structure of sand body thickness prediction  
图 1. 储层砂体厚度预测的网络结构

在网络训练过程中, 首先由计算机自动生成一组小的随机数, 并将其作为网络内部各个节点之间连接的权系数和各个节点上的阈值的初始值; 然后, 输入所有训练样本集, 即 K-L 变换优化后得到的敏感地震属性集, 计算网络输出结果, 进而计算实际输出与期望输出的差值(实际输出是网络计算得到的输出结果, 期望输出为测井解释的砂体厚度); 最后比较差值是否满足误差要求, 若不满足误差要求, 按照误差反传播算法(BP 算法)的规则, 修改节点间连接的权系数大小和节点上阈值的大小, 不断反复上述过程, 直至满足误差要求, 此时估价函数降至可接收值, 将节点间连接的权系数大小和节点上阈值的大小固定下来, 作为下一步预测使用。

在利用网络函数逼近法作储层砂体厚度预测时, 使用如图 1 所示的 3 层感知器作函数逼近, 一个输入层、一个输出层和一个中间层, 导出的关系式为:

$$Y_k = f \left\{ \sum_{j=1}^M \left[ W_2(j, k) f \left( \sum_{i=1}^N W_1(i, j) x_i - q_1(j) \right) \right] - q_2(k) \right\} \quad (1)$$

式中:  $Y_k$  为网络的输出层各节点;  $k$  为输出层节点数, 该次研究只做砂体厚度预测,  $k$  取 1;  $M$  为中间层的节点数, 该次研究通过计算比较, 取  $M = 9$  时收敛快、精度高;  $N$  为输入层的节点数, 取敏感属性集的分量个数;  $W_2$  为中间层节点与输出层节点间的连接权;  $W_1$  为输入层节点与中间层节点间的连接权;  $q_1$  为输入层到中间层节点上的阈值;  $q_2$  为中间层到输出节点上的阈值。

### 3. 砂体厚度预测流程

1) 地震资料的构造精细解释。在层位标定的基础上, 对目的层顶、底界面作地震构造精细解释, 并提取目的层顶、底界面之间的地震数据。

2) 地震属性的提取, 建立敏感属性集。对目的层段地震数据, 作傅里叶变换、小波变换、希尔伯特变换、相关运算、谱比法吸收系数提取等不同的数学运算, 得到目的层段的地震属性。

3) 地震属性的优化。对上面提取的地震属性集通过 K-L 变换优化, 确立对砂体厚度敏感的属性集。

4) 神经网络的训练。设计神经网络的结构, 根据井旁敏感的地震属性和测井解释砂体厚度或录井测得砂体厚度, 建立神经网络训练集, 输入设计的网络, 按照 BP 算法原理进行网络训练, 确定神经网络内部各个节点之间连接的权系数和节点上的阈值。

5) 储层砂体厚度分布预测。将敏感地震属性集逐道输入训练后的网络, 输出即为该道对应的砂体厚度。

### 4. 应用效果与认识

在构造精细解释的基础上, 以地震属性提取为基础, 以 K-L 变换地震属性优化和神经网络函数逼近为手段, 对胜利油田 H4 区块的沙河街组二段 10 亚段上( $Es_2^{10(u)}$ )、沙河街组二段 10 亚段下( $Es_2^{10(L)}$ )等层段的砂体厚度分布进行预测。在应用过程中, 重点考虑 K-L 变换优化后的敏感地震属性集, 选取合理的网络结构, 并充分利用测井资料综合解释的砂岩厚度作为约束条件。图 2 和图 3 分别是  $Es_2^{10(u)}$  和  $Es_2^{10(L)}$  砂体厚度平面分布图, 将 2 个层位近 60 口井的砂岩厚度预测结果与井资料进行对比分析可知, 二者符合程度较高, 相对误差基本小于 20%, 砂体平面展布规律与沉积相分析规律基本一致, 满足了勘探生产的需要。

### 5. 结论

1) 不同的储层参数, 通过地震属性优化分析能提取反映敏感的一组地震属性, 优化后的属性集有利于提高储层参数预测精度。

2) 该次研究提出的基于地震属性优化与网络函数逼近储层砂体预测方法是可行的, 在胜利油田 H4 区块的应用中, 预测结果与井资料的符合率较高, 相对误差均在 20%以下。

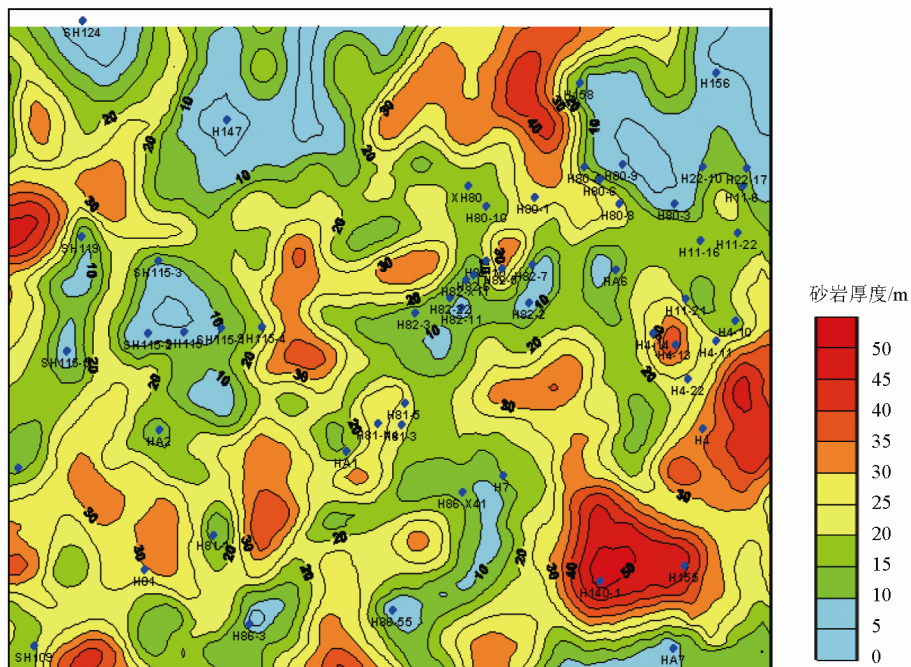
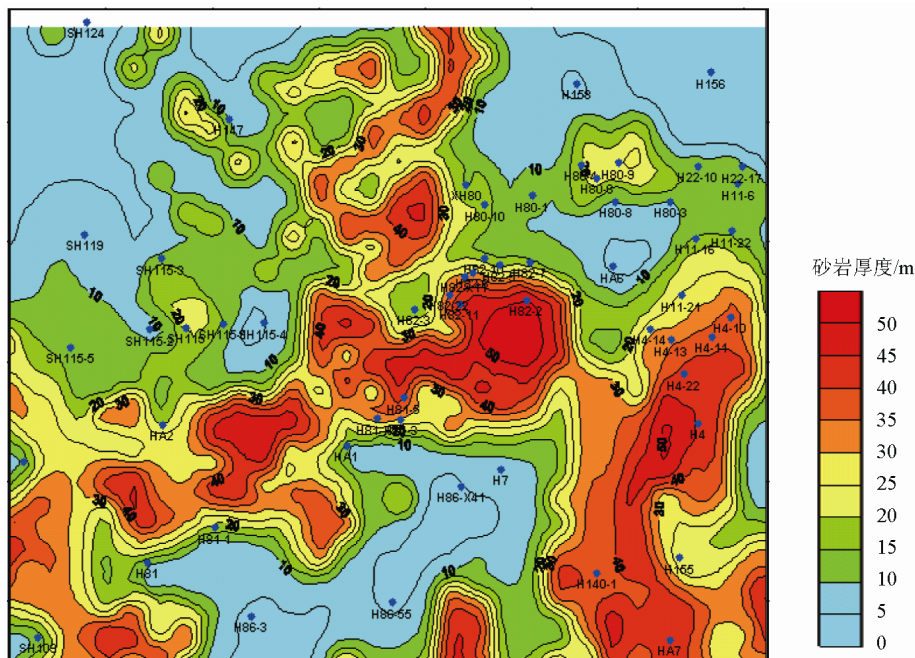


Figure 2. The prediction of sandstone thickness distribution of  $Es_2^{10(u)}$  in the studied area

图 2. 研究区  $Es_2^{10(u)}$  预测砂岩厚度分布图



## 参考文献 (References)

- [1] 贺振华, 黄德济, 胡兴岷, 等. 复杂油气藏地震波场特征方法理论及应用[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999.
- [2] 桂志先, 朱广生, 段天友, 等. 不同类型油气藏地震波特征响应初探[C]//中国地球物理学会年刊. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [3] 刘兰锋, 刘全新, 雍学善, 等. 基于广义 S 变换的低频瞬时能量谱油气检测技术[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 238-241.
- [4] 赵成, 桂志先. 基于神经网络的储层参数预测方法及应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2005, 27(3): 467-468.
- [5] 陈遵德. 储层地震属性优化方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [6] 桂志先, 高刚. 油藏地球物理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.

[编辑] 龚丹

**Hans** 汉斯

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)