

# Implement of Reservoir Productivity Prediction Based on BP Neural Network in Huanjiang Chang 6

Siyu Yu<sup>1</sup>, Xiaodong Chen<sup>2</sup>, Li Ding<sup>2</sup>, Handan Zhang<sup>2</sup>, Jiayi Qiao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Research Institute of Petroleum Exploration and Development of Oil Chinese Changqing Oilfield, Xi'an Shaanxi  
Email: 573315294@qq.com

Received: Mar. 29<sup>th</sup>, 2016; accepted: Apr. 19<sup>th</sup>, 2016; published: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2016

Copyright © 2016 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

## Abstract

Back Propagation Neural Network is a multilayer feed-forward network technology based on the error back propagation, which can be a better way to solve the problem of nonlinear mapping and data generalization, and allows some errors of the sample. The prediction of Huanjiang area chang 6 reservoir productivity has many factors. On the basis of considering all the factors, grey connection method is used to choose reservoir parameters that can affect the productivity, and then the BP neural network forecasting model is established to predict productivity. Through analysis on comparing reservoir quality factor based on the RQI with the support vector machine productivity forecasting method, it shows that the forecasting result accuracy rate based on the BP neural network is higher than the other two methods.

## Keywords

Neural Network, Huanjiang Area, Chang 6, Reservoir Productivity Prediction

# 基于BP神经网络产能预测方法在环江地区长6段的应用

喻思羽<sup>1</sup>, 陈小东<sup>2</sup>, 丁黎<sup>2</sup>, 张瀚丹<sup>2</sup>, 谯嘉翼<sup>1</sup>

<sup>1</sup>长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安  
Email: 573315294@qq.com

收稿日期: 2016年3月29日; 录用日期: 2016年4月19日; 发布日期: 2016年4月22日

## 摘 要

BP神经网络是一种基于误差反向传播的多层前馈网络技术, 能很好解决非线性映射和数据泛化等问题, 且能容许个别样本出现错误。环江地区长6储层产能预测影响因素较多, 在综合考虑各影响因素的基础上, 利用灰色关联法选择影响产能的储层参数, 进而建立BP神经网络预测模型对产能进行预测, 通过与基于RQI储层品质因子及支持向量回归机的产能预测方法进行对比分析, 表明基于BP神经网络预测结果正确率高于另外两种方法。

## 关键词

神经网络, 环江地区, 长6, 储层产能预测

## 1. 引言

油气储层产能评价与预测是油气勘探和开发领域的一项基本任务, 对油气产能的评价不仅能检验油气勘探的成果, 而且可作为指导油气田开发的依据[1]。产能预测方法的基本思想是通过研究测井、岩心分析、试油、生产等数据, 建立储层产能与测井数据之间的关系, 利用储层原始静态特征参数评价、预测储层的产能[2] [3]。在油田开发过程中, 油气储层的生产能力受到诸多因素的影响, 产能是各种影响因素的综合反映。归纳起来, 影响产能的因素大致可分为两大类, 一类是储层因素, 包括储层的岩性、物性、含油气性和流体性质; 另一类为工程因素, 包括表皮系数和流体半径。储层产能是由储层的自身条件与外部环境以及油气性能等共同决定的。实际生产中, 由于受特定开采区块内开发井网和作业方式的限制, 外部环境条件和油气性能等是相对固定不变的[4]。此时, 储层的产能高低与油气储层的自身性质具有很强相关性。目前对油气产能的预测提出了较多方法[5], 谭成任提出了储层产能的灰色理论预测模型[6] [7]并应用于辽河油田[8], 多元回归分析也被用于油气产能预测[9], 张锋等提出基于支持向量机方法预测储层产能[10], 张程恩结合 RQI 储层品质因子预测储层产能[11]。针对环江地区长 6 油层组低孔 - 特低渗岩性油藏[12] [13], 本文在储层特征研究的基础上[14], 利用已有的勘探、评价井信息, 探讨了基于 BP 神经网络产能预测方法, 并与基于 RQI 产能预测方法和支持向量机方法进行了比较。

## 2. 研究区概况

研究区位于鄂尔多斯盆地西南部环县以北地区, 区域上横跨天环坳陷和伊陕斜坡两大构造单元, 区域构造背景为一平缓的西倾单斜。工区西起山城, 东至樊学, 北到姬塬, 南至郝家涧。研究区处于鄂尔多斯盆地西北、东北及西部三个物源交汇处, 面积约 2900 平方千米。

研究层段为延长组长 6 段, 从盆地演化史可知长 6 期盆地进入湖盆萎缩期, 碎屑物质逐步充填湖盆, 进入了陆相三角洲建设期, 且逐渐向湖盆中心推进, 目的层主要发育三角洲前缘亚相沉积, 以水下分支河道沉积为主, 局部发育半深湖 - 深湖环境, 且存在一定范围的浊积扇和砂质碎屑流等深水沉积, 储层发育浅灰色长石砂岩、长石质岩屑砂岩、岩屑质长石砂岩, 由于受后期压实作用等的影响, 工区主要发育低孔低渗的致密储层, 平均孔隙度 9.04%, 渗透率 0.31 mD, 局部地区发育高孔高渗带。近年来环江地

区长 6 段勘探不断取得新进展, 自 2009 年以来陆续发现新的含油砂带, 有利区含油面积达到 240 km<sup>2</sup>, 评价储量更突破 6000 × 10<sup>4</sup> t, 逐渐成为盆地内又一重要的油气勘探区。

### 3. 训练 BP 网络的步骤

BP 神经网络是一种监督学习算法, 输入学习样本, 使用反向传播算法对网络的权值和偏差反复调整训练, 使输出向量与期望向量尽可能地接近, 当网络输出层的误差平方和小于指定的误差时训练完成, 记录训练网络的权值和误差。训练 BP 神经网络的步骤如下:

1) 神经网络初始化, 给所有连接权值赋予区间(-1,1)内的随机数, 设定误差  $e$ 、计算精度  $\varepsilon$ 。及最大学习次数  $N$ ;

2) 随机选取第  $k$  个输入样本  $d_0(k) = (d_1(k), d_2(k), \dots, d_q(k))$ 、期望输出  $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$ ;

3) 计算隐藏层各神经元的输入和输出;

4) 利用网络期望输出和实际输出, 计算误差函数对输出层的各神经元的偏导函数  $\delta_o(k)$ ;

5) 使用隐藏层到输出层的连接权值、输出层的  $\delta_o(k)$ 。和隐藏层的输出计算误差函数对隐藏层各神经元的偏导数  $\delta_n(k)$ ;

6) 根据隐藏层各神经元的  $\delta_n(k)$ 。和隐藏层各神经元的输出修正连接权值  $\omega_{no}(k)$ ;

7) 利用隐藏层各神经元的  $\delta_n(k)$  和输入层各神经元的输入修正连接权;

8) 计算全局误差  $E = \frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m \sum_{o=1}^q (d_o(k) - y_o(k))^2$ ;

9) 判断误差  $E$  是否满足要求, 当误差达到预定精度或学习次数大于设定的最大次数则结束计算, 否则选择下一个学习样本进入步骤 3) 继续学习直至满足结束条件。

训练 BP 网络的取样数据要满足几个条件: 1) 遍历性, 即选取出来的样本要有代表性, 能覆盖全体样本空间。本文中每个聚类部分都选取部分样本作为训练输入层数据; 2) 相容性, 即选取出来的样本不能自相矛盾; 3) 致密性, 即选取的样本要有一定的数量, 以保证训练的效果; 4) 相关性, 即训练样本中各输入值与目标值要有一定的相关性, 训练样本集合中输入参数之间线性无关。为保证 BP 网络能够快速收敛, 目标输入层和输出层的数据通常需要归一化到 0 到 1 区间。

理论上含有一个隐藏层的 BP 网络可以满足任意精度近似连续非线性函数。用神经网络预测储层的油气产能, 在一定程度上, 避免了建立产能与储层物性、含油性、有效厚度之间复杂函数关系的过程, 只需要选取已知数据作为训练数据, 就可以很容易建立储层的产能预测模型。

### 4. 利用 BP 神经网络预测产能

根据灰色系统理论选择储层产能相关评价参数, 利用灰色关联法对产能评价参数“去白化”, 确定储层产能评价指标与实际数据之间的灰关联度, 即各自变量在回归模型中的重要性排序, 最终优选出产能评价的影响参数(图 1), 进而计算各指标的影响权重, 对影响产能指标的权重排序

有效厚度 > 孔隙度 > 含油饱和度 > 渗透率

对于低孔、超(特)低渗储层, 产能受油层厚度的影响相对大, 同时孔隙度、含油饱和度越大, 产能越大, 与前期储层综合评价的认识是一致的。

结合探井目的层试油资料, 对长 6 层生产井前 3 个月产量做劈分计算, 得到了环江产油井长 6 层位的产能数据, 使用给定 BP 网络模型训练得到针对研究区产能预测参数所有神经元的权重后, 就可进行产能预测。具体操作流程: ①首先设计人工神经网络结构, 采用三层网络结构(图 2), 选择孔隙度、渗透率、含油饱和度和有效厚度 4 个预测参数作为 BP 网络的输入层神经元, 产能值为输出层神经元, 根据

经验设定 5 个隐层神经元, 构成储层产能预测的 BP 网络模型; ②选取 R317、W191、H241、H258、H151、M2、H23 等井作为训练样本数据训练(表 1) BP 神经网络, 给定 BP 神经网络的收敛误差为 0.0001; ③通过网络训练得到适合于全地区的连接权重和阈值后, 使用该模型对未知产能生产井预测。

基于图 2 的神经网络预测模型预测环江长 6 单井产能。储集层品质因子能够有效反映岩石微观空隙结构变化的岩石物理分类特征参数, 支持向量机是基于结构风险最小化原理的非线性拟合方法, 本文比较了 BP 神经网络和支持向量机及基于 RQI 储层品质因子方法的预测产能(表 2)。

表 3 是三种方法的预测产能与实际产能的回归系数, 其中 BP 神经网络方法的预测值与实际值的回

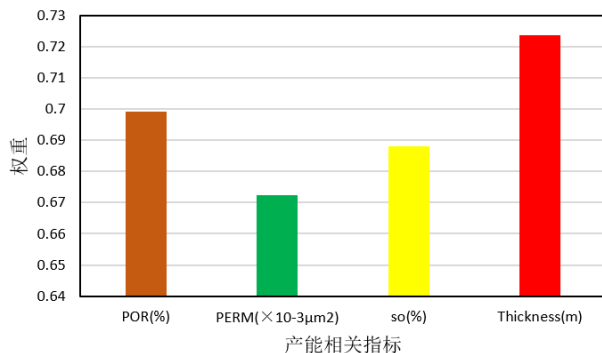


Figure 1. Comparison of productivity evaluation correlation weight based on grey correlation method  
图 1. 基于灰色关联法评价产能相关指标权重系数

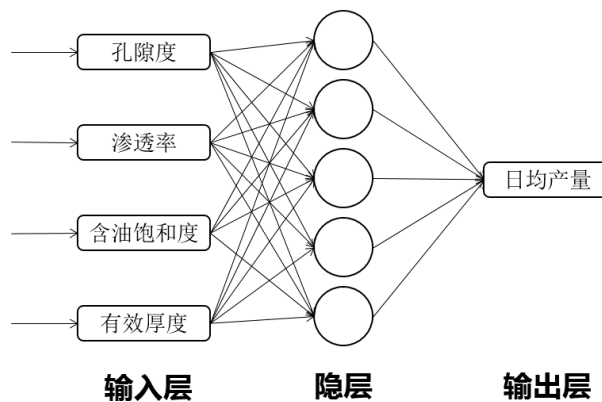


Figure 2. BP neural network prediction model of Chang 6 in Huanjiang area  
图 2. 环江长 6 的 BP 神经网络产能预测模型

Table 1. Training data table of well productivity in Huanjiang Chang 6  
表 1. 环江长 6 单井产能的训练数据表

井号	层位	输入层				输出层
		孔隙度	渗透率	含油饱和度	有效厚度	日均产量(t/d)
H200	长 6 <sub>3</sub>	7.55	0.04	46.34	2.75	0.20
R317	长 6 <sub>3</sub>	8.97	0.06	49.17	7.53	0.42
W191	长 6 <sub>1</sub>	8.79	0.05	43.51	12.13	0.81
H23	长 6 <sub>3</sub>	9.79	0.14	45.05	19.13	2.14

**Table 2.** Productivity prediction effect of Chang 6 in Huanjiang  
**表 2.** 环江长 6 段产能预测效果

井号	深度段	实际产能	SVR 预测产能	ANN 预测	RQI 预测
R97	2548-2559	0.18	0.28	0.20	0.44
H200	2474-2482	0.20	0.40	0.20	0.20
B39	2511-2517	0.31	0.66	0.26	0.32
H51	2593-2604	0.34	0.72	0.23	0.33
H258	2550-2555	0.36	0.98	0.23	0.56
R317	2364-2373	0.42	0.70	0.41	0.36
H249	2579-2584	0.46	0.42	0.20	0.25
H241	2576-2593	0.48	1.40	0.56	0.34
W230	2203-2220	0.54	1.05	0.21	0.48
R316	2326-2337	0.71	1.21	0.91	0.69
W191	2496-2509	0.81	1.67	0.87	1.07
W245	2517-2530	0.93	0.87	0.98	0.83
M2	2440-2410	2.07	1.55	2.14	1.61
H151	2476-2492	1.45	1.32	1.86	0.81
T115	2316-2331	1.85	1.75	1.87	1.67
R307	2192-2201	2.00	1.89	2.08	1.96
H23	2618-2638	2.14	2.02	2.14	2.28
H238	2505-2520	2.34	1.84	2.00	2.17

**Table 3.** Correlation coefficient between prediction and actual productivity  
**表 3.** 产能预测与实际产能相关系数表

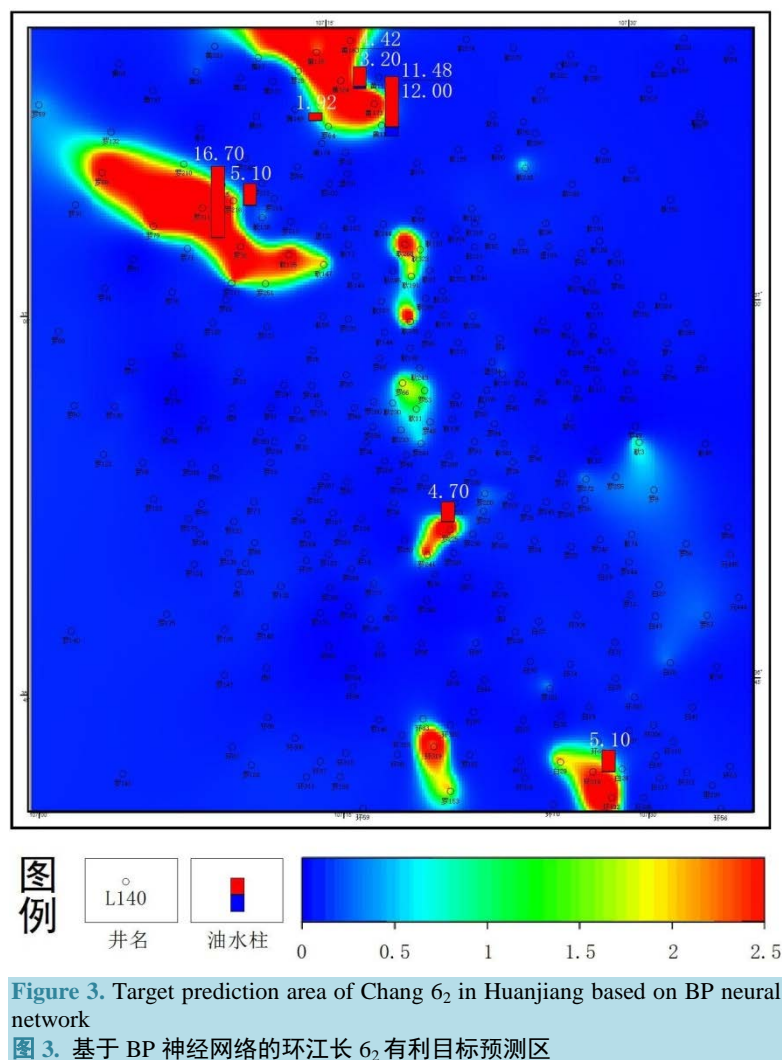
方法	预测产能与实际产能回归相关系数
RQI	0.89
SVR	0.73
BP 神经网络	0.95

归相关系数为 0.95，比 SVR 和基于 RQI 储层品质因子方法的预测准确性更高，证明了基于 BP 神经网络的产能预测模型的有效性和实用性。

结合环江地区沉积特征、储层特征、砂体分布等资料，在已建立的 BP 神经网络预测模型基础上进行了有利区预测(图 3)。研究区长 6<sub>2</sub> 的有利区分布较分散，从北到南均有分布，共预测出有利区 11 个，预测总面积 148.52 km<sup>2</sup>，发育在三角洲前缘水下分支河道，物源主要受北东向三角洲沉积影响。

## 5. 结论

1) 根据灰色系统理论选择储层产能相关评价参数，利用灰色关联法对产能评价参数“去白化”，确定储层产能评价指标与实际数据之间的灰关联度并进行排序，影响产能的重要指标为有效厚度、孔隙度、含油饱和度和渗透率。



2) 基于 BP 神经网络模型预测环江地区长 6 单井的产能, 对比支持向量机和基于 RQI 储层品质因子方法, BP 神经网络产能预测模型具有很强的适应能力与灵活性, 避免了产能方程中经验系数确定的复杂工作, 预测精度相对较高。

3) 以环江长 6<sub>2</sub> 为例在 BP 神经网络预测模型基础上进行了建产有利区预测, 为油田进一步生产开发提供依据。

### 基金项目

国家自然科学基金(41572121)资助。

### 参考文献 (References)

- [1] 胡友洲. 安塞油田王窑南区长 6 油藏建产潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2012.
- [2] 龙慧. 环江地区延长组超低渗油藏有效储层测井识别方法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2012.
- [3] 高建华. 测井储层产能预测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2002.
- [4] 李超. 白豹油田长 8 储层评价及建产有利区筛选[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [5] 许立全, 李秀生. 不同产能评价方法的对比分析[J]. 油气井测试, 2005(6): 15-17, 72-73.

- 
- [6] 谭成仟, 马娜蕊, 苏超. 储层油气产能的预测模型和方法[J]. 地球科学与环境学报, 2004(2): 42-46.
- [7] 谭成仟, 宋子齐, 吴向红. 储层油气产能的灰色理论预测方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(10): 101-106.
- [8] 谭成仟, 宋子齐, 吴少波. 灰色关联分析在辽河小洼油田储层油气产能评价中的应用[J]. 测井技术, 2001(2): 119-122, 161.
- [9] 严丽, 王燕, 范树平. 多元回归分析方法预测川东北礁滩相储层产能[J]. 新疆石油天然气, 2011(4): 37-39, 107.
- [10] 张锋, 张星, 张乐, 郝永卯, 单蔚. 利用支持向量机方法预测储层产能[J]. 西南石油大学学报, 2007(3): 16, 24-27.
- [11] 张程恩, 潘保芝, 刘倩茹. 储层品质因子 RQI 结合聚类算法进行储层分类评价研究[J]. 国外测井技术, 2012(4): 3, 11-13.
- [12] 吴俊晨. 低孔低渗储层产能预测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 长江大学, 2013.
- [13] 庞玉东, 宋子齐, 何羽飞, 田新, 张景皓, 付春苗. 基于超低渗透砂岩储层试油产能预测分析方法[J]. 石油钻采工艺, 2013(5): 74-78.
- [14] 胡海涛, 吴晓明, 龙慧, 宁定华, 王西强. 环江油田长 6 储层特征与测井产能评价[J]. 测井技术, 2012(6): 647-651.