

人工神经网络自学习方法在大港滩海油田的应用

檀朝东¹ Bangert, Patrick^{2,3,4} 刘柏良⁵ 张杰⁶

(1.中国石油大学, 北京昌平, 102249; 2.algorithmica technologies GmbH, Bremen, Germany; 3.Advanced International Research Institute on Industrial Optimization gGmbH, Bremen, Germany; 4.Department of Mathematics, University College London, London, United Kingdom; 5.中国石油大港油田公司, 天津大港, 300280; 6.北京雅丹石油技术开发有限公司, 北京昌平, 102200)

摘要: 本文以人工神经网络自学习方法在大港滩海油田的应用为例, 探讨能否利用人工神经网络自学习方法预测泵的工作状态并提高电潜泵油井产量。试验结果表明, 该方法可以解决电潜泵油井生产过程中的两大问题: 预测泵的工作状况、实时计算并优化泵的最大合理产量。操作人员根据预测结果可及时合理地采取防范措施, 尽量避免故障的发生或将故障损失降到最低, 及时调整油井的合理产量, 使油井处于最佳生产状态, 提高电潜泵油井生产运行的稳定性, 并提高了试验油井产量的5%。

关键词: 电潜泵 人工神经网络 自学习 历史数据拟合

1 概述

大港滩海油田位于天津市大港区, 属于黄骅凹陷。滩海油田通过建立人工岛屿, 在人工岛屿上钻生产井, 下入电潜泵进行生产。由于生产的特殊性加上井下工况恶劣, 如何及时、准确地了解电潜泵采油系统尤其是潜油离心泵(以下简称泵)的工作状况, 对提高油井系统效率及油井产量都具有非常重要的意义, 也是目前大港滩海油田海上油井生产过程中面临的难题。一个油藏区块中的油井不是独立的, 一口油井产量大幅上升有可能导致周围几口油井产量的下降, 所以追求油井的最大产量不是一个简单的单井问题, 而需要从这口井所处的整个区块进行考虑, 另外, 其它一些因素也将影响油井产量如潮汐。因此提高油井产量是一个很复杂的问题, 给操作人员提出了挑战, 面对挑战, 操作人员往往不能找到最好的解决方法。

本文探讨的方法可以解决这些问题, 通过人工神经网络自学习方法可以预测泵的工作状况和泵损坏的时间, 根据预测结果及时采取防范措施, 减少作业的盲目性; 本文所研究的方法还可获得油井最理想的实时产量, 这种方法考虑并研究了所有影响油井产量的因素及油井相互之间的复杂关系, 根据计算结果通过合理配产, 能提高油井5%左右的产量, 而且这种方法增加的产量是平均的、长期的。

2 研究方法

回顾一下控制理论，我们现在面对的是一个只有信号输入和信号输出的黑箱，黑箱中发生了什么我们不清楚，通过实验，控制理论力图找到输入信号和输出信号之间的关系。通过反复实验和分析，控制理论建立了一系列的数学模型，这些数学模型就是我们控制黑箱行为的工具。控制过程中一个关键的因素是时间，所以必须考虑时间这个因素的影响。虽然我们不知道黑箱里面发生了什么，但我们可以得到黑箱的输出数据，应用最优化理论，我们可以逆推黑箱过程，求得所需要的输入信号。

应用控制理论意味着需要人工计算，对于像发电厂这样复杂程度很高的对象来说，工作量太大，人工计算是不现实的，这类问题可通过人工神经网络自学习方法联立方程组进行求解^[1, 2]。本文选择的是回归神经网络技术^[3]，首先需要区分两种神经网络，第一种是分类神经网络，用来找出不同对象之间的区别；第二个是回归神经网络，用来描述对象随时间的变化关系。直到 2005 年，随着神经网络数学模型的发展，回归神经网络技术才开始在大型工厂数据库中应用。

人工神经网络自学习方法与人工设计模型相比，具有如下优点：（1）建模速度快，通常仅需要几天；（2）适用性强，根据新的录入数据自动调整模型；（3）归纳总结，可归纳总结出相似问题的解决方法，而不是仅提供单一问题的解决方案；（4）经济性。

通过在重要部件上安装传感器来监视部件的工作状态，传感器再将部件的工作状态反映给操作人员。传感器测得的数值以矢量的形式表示出来。假设我们想观测的数据有 N 个，我们把 t 时刻的油井的工作状态表示为 N 维矢量 $\mathbf{x}^{(t)}$ 。通过生产历史数据，我们会得到若干这样的矢量。如果我们把这些矢量按时间排序，这组数据可以表示成时间序列 $\mathbf{H} = (\mathbf{x}^{(-h)}, \mathbf{x}^{(1-h)}, \mathbf{x}^{(2-h)}, \dots, \mathbf{x}^{(0)})$ ， $t=0$ 表示的是现在时刻， $t=-h$ 表示开始时刻。这样的 \mathbf{H} 就是一个 N 行、 $h+1$ 列的矩阵。矩阵中包含油井的生产参数、所有操作人员的操作和油井对操作的反映及操作人员的知识和经验等。

描述油井工作状态的状态矢量可以分为三种类型：（1）可控因素，记为 $\mathbf{x}_c^{(t)}$ ；（2）不可控因素，如油井外部环境的变化，记为 $\mathbf{x}_u^{(t)}$ ；（3）半可控因素，即通过可控因素间接控制不可控因素，例如叶轮的振动，记为 $\mathbf{x}_s^{(t)}$ 。将所有的状态矢量分门别类，可控因素作为自变量，不可控因素作给定的参数，充当模型的边界条件，半可控因素作为函数的因变量，得到如下函数，如公式（1）所示。通过公式（1）可计算出任一自变量 $\mathbf{x}_c^{(t)}$ 所对应的因变量值 $\mathbf{x}_s^{(t)}$ 。

$$f(\mathbf{x}_c^{(t)}, \mathbf{x}_u^{(t)}) = \mathbf{x}_s^{(t)} \quad (1)$$

公式（1）的反函数通常是没有意义的，但当一些特殊情况下，需要考虑反函数，如最优化问题。给定边界条件下，我们想知道输入什么参数能使油井处于最佳生产状态。我们关注的是函数的数值解而非闭型解，通常反函数 $f^{-1}(\mathbf{x}_s^{(t)}; \mathbf{x}_u^{(t)}) = \mathbf{x}_c^{(t)}$ 只能通过数值方法求解^[4]。若想求得最优化结果，操作人员应该输入的参数 $\mathbf{x}_c^{(t)}$ 是多少呢？通过建立新的函数 $g(\mathbf{x}_s^{(t)}; \mathbf{x}_u^{(t)})$ ，将最优化问题的解变成新函数的最值问题。变换过程中需保证新函数求出的最值与欲求参变量 $\mathbf{x}_c^{(t)}$ 及模型 $f^{-1}(\mathbf{x}_s^{(t)}; \mathbf{x}_u^{(t)}) = \mathbf{x}_c^{(t)}$ 之间的等价性。

该方法实施过程中还通过建立了一口与真实情况相同的虚拟油井，将优化设计后的多种方案对油井进行虚拟模拟，从模拟结果中选出最佳方案应用于真实油井。这种方法相对于石油软件建立的模型，更精确、包含的数据量更多、实用性更强。

3 实例应用

在大港滩海油田选取 5 口电潜泵油井，进行利用人工神经网络自学习方法预测油井泵工作状况和计算油井最大产液量的试验，计算结果与实际结果拟合效果较好，误差极小。

该方法通过对影响和反映泵工作状况的多个参变量进行分析，并对历史数据进行拟合，拟合效果较好，下面以某口油井的泵排出口压力为例，其拟合曲线图如图 1 所示。图中蓝线表示实测的泵排出口压力曲线，红线表示通过本文研究的方法绘制的泵排出口压力曲线。通过两条曲线的对比，发现模型可以准确地描述泵排出口压力的变化趋势。综合考虑所有参变量的变化趋势，通过分析泵过去的工作状况，成功预测了泵未来 4 周内的工作状态，并得到现场试验井的验证。现场操作人员可根据预测结果及时合理地调整泵的工作参数及相关操作，尽量避免故障的发生或将故障损失降到最低，提高电潜泵油井生产运行的稳定性。

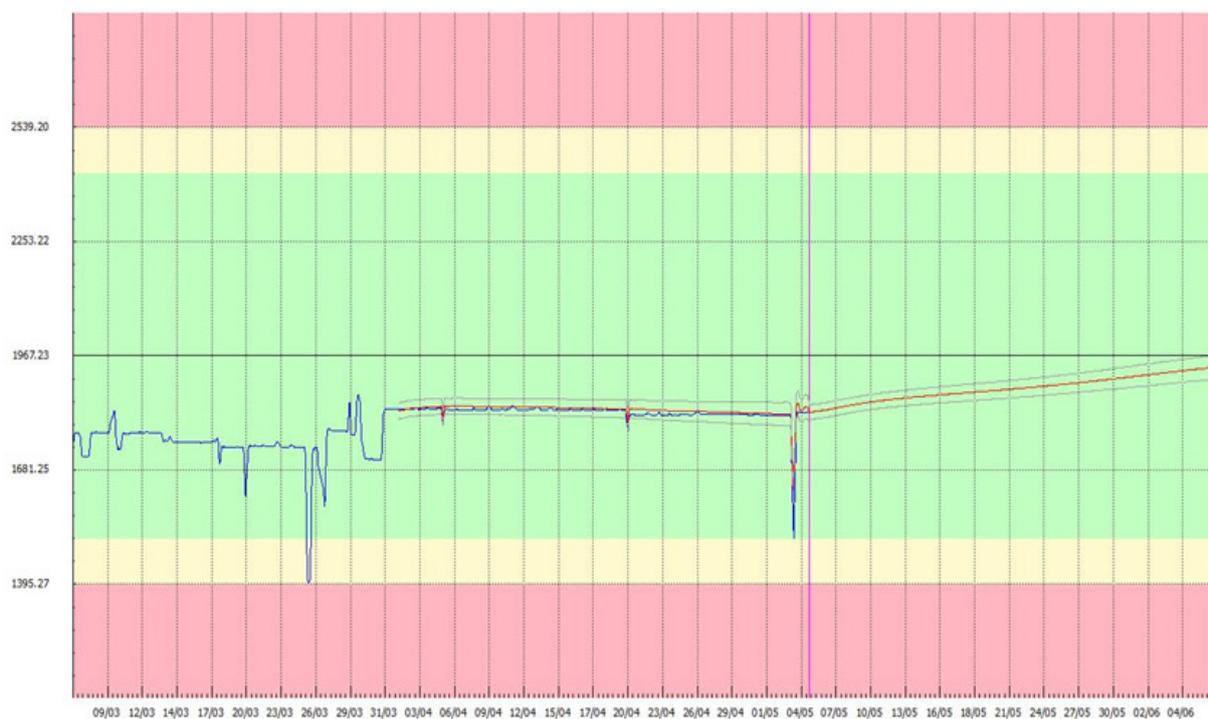


图 1 某井泵排出口压力拟合曲线图

现在用该方法来优化油井产量。该方法通过对过去 2.5 年内的生产数据及参数进行优化设计，经过优化后的产量曲线如图 2 所示，图中绿线表示试验油井的实际产液量曲线，蓝线表示通过该方法优化拟合后的产量曲线，通过两条曲线的对比发现，该方法优化后的产量比实际产液量能提高 5%左右，并得到理论验证。

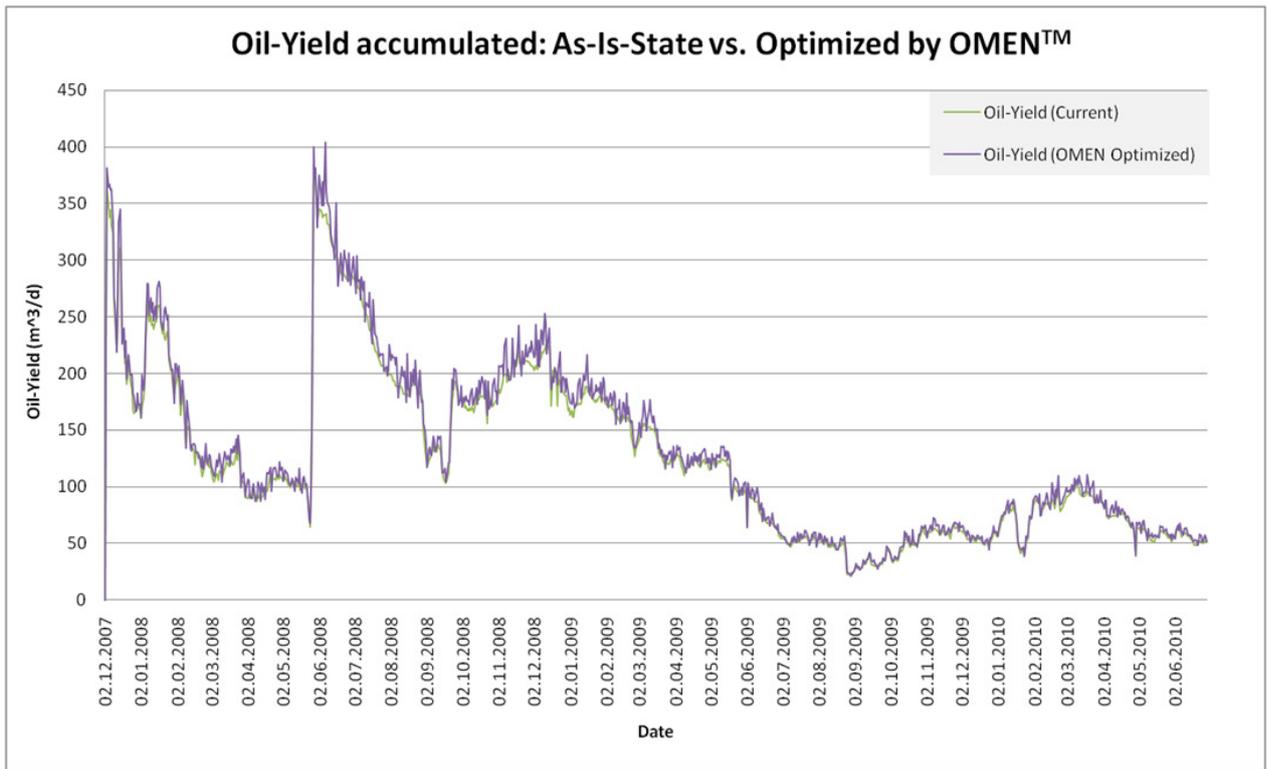


图 2 油井产量预测曲线

4 结论

通过本文的研究发现人工神经网络自学习方法与其他同类方法相比具有如下优点：（1）本方法所采用的所有数据都是实时的、动态的；（2）本方法可以揭示参数之间的相互关系和它们随时间变化的趋势，并筛选出影响目标函数的主要因素；（3）方法的实施不影响油井的正常生产；（4）实现了油井的最优化生产，减少了人为操作的误差；（5）通过模拟真实油井的生产，选出最佳方案应用于油井的实际生产，相对于石油软件建立的模型，包含的数据量更多、结果更加精确、方法更具实用性。

人工神经网络自学习方法的理论虽然很完善，精度很高，但仍存在一定的理论局限性，因为该方法的精确度与以下因素有关。(1)数据测量的精度。(2)历史数据的采集水平。众所周知任何测量都存在误差，这可能由于随机误差、系统误差，测量工具老化、环境因素影响等造成的，是不可能完全避免的。有效的历史数据必须是实时的、动态的。获取的历史数据的间隔越短、数据时间跨度越长、种类越多，该方法模拟数据的变化趋势、数据之间的相互关系和其它数据结构的准确性越强。故该方法的准确性还受数据的测量精度和历史数据的采集水平有关。

通过在大港滩海油田电潜泵油井中的成功试验，人工神经网络自学习方法可以用来分析预测电潜泵油井运行过程中泵的工作状况，并实现油井增产的目的。所以人工神经网络自学习方法在油田上的应用具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] Bishop, C.M.: Pattern Recognition and Machine Learning. Heidelberg: Springer 2006.
- [2] Rosenblatt, F.: The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Reviews 65, 1958, 386-408.
- [3] Mandic, D., Chambers, J.: Recurrent Neural Networks for Prediction: Learning Algorithms, Architectures and Stability. Hoboken: Wiley 2001.
- [4] Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P.: Numerical Recipes. Cambridge: Cambridge University Press 2010.

作者简介:

檀朝东 (1968-), 男, 安徽望江县人, 副研究员, 博士, 从事石油工程教学及科研工作, E-mail: tantcd@126.com。

Dr. Patrick Bangert, CEO
algorithmica technologies GmbH
Außer der Schleifmühle 67, 28203 Bremen, Germany
Tel: +49 (0) 421 337-4646
email: p.bangert@algorithmica-technologies.com
www.algorithmica-technologies.com

Liu Bailiang, Vice Director
PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China
Tel: +86 22 2591 9122
email: liubailiang@petrochina.com.cn

Zhang Jie, Vice CEO
Yadan Petroleum Technology Co Ltd
No. 37 Changqian Road, Hi-Tech Park, Changping, Beijing, P.R. China 102200
Tel: +86 158 0151 1758
email: nyboc@sina.com