

文章编号: 1004-5589 (2011) 01-0080-05

BP模型在南海神狐海域天然气水合物储量参数预测中的应用

吕琳^{1,2,3}, 王明君², 范继璋¹

1. 吉林大学 综合信息矿产预测研究所, 长春 130026;
2. 中国地质科学院, 北京 100037; 3. 中央司法警官学院, 河北 071000

摘要: 在用测井数据预测储量参数方法的基础上, 采用BP神经网络法预测天然气水合物储量参数(孔隙度、饱和度)。选取一口有实测值的井, 将其测井数据作为样本数据, 建立网络模型, 由其他井的测井数据输入此模型得到储量参数预测结果。经过实践检验此模型得出的结果比经验公式法更精确。

关键词: BP神经网络; 饱和度; 孔隙度; 储量参数

中图分类号: P618.13; O212 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2011.01.013

Application of BP network on reservoir parameter forecast of gas hydrates in Shenhu marine area of South China Sea

LU Lin^{1,2,3}, WANG Ming-jun², FAN Ji-zhang¹

1. The Institute of Mineral Resources Prognosis of Synthetic Information, Jilin University, Changchun 130026, China;
2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. The Central Institute for Correctional Police, Hebei 071000, China

Abstract: The BP neural network method has been used to forecast gas hydrates reservoir parameters (porosity and saturation) based on the previous method by using logging data to forecast reservoir. Taken an measured well as an example, a network model is built with the well's logging data. The authors inputted the logging data of other wells and obtain the results of reservoir parameters, which are more accurate than the empirical formula through practice tests.

Key words: BP network; saturation; porosity; reservoir

0 引言

天然气水合物又称为“可燃冰”, 是在低温高压等条件下形成的一种类似于冰的固态化合物, 其主要成分是冰和甲烷气体, 通常分布在大陆永冻土带和海洋沉积物中, 其资源量约为 $2.1 \times 10^{16} \text{ m}^3$ ^[1,2], 是一种重要的潜在能源。随着天然气水合物勘探研究工作的不断深入, 储量参数的计算成为当今研究水合物的一个重要方向。

测井的定量解释成果对储量参数的确定至关重要, 直接影响储量计算结果的置信度。储量参数计算的方法有很多种, 常采用经验公式法、多元统计分析方法。经验公式法在计算过程中很多参数都是经验系数, 计算结果与客观实际结果会存在较大的差异; 多元统计分析法以线性为主, 在刻画地层随机变化特征研究中存在局限性。笔者采用BP神经网络的方法来计算储量参数, BP神经网络具有并行处理能力强、高度容错性及自适应等特点^[3-7],

收稿日期: 2010-12-06; 改回日期: 2011-03-07

基金项目: 国家863高技术研究发展计划子项目“天然气水合物勘探开发关键技术”(2006AA09202-03-02)

无需给定具体的数学模型, 减少了人为因素。

1 BP 神经网络原理

BP 网络 (反向传播网络) 属于前馈神经网络, 可以实现输入到输出的任意非线性映射。BP 神经网络通常具有多层结构, 包含输入层、输出层及一层或多层隐含层 (图 1)^[8]。

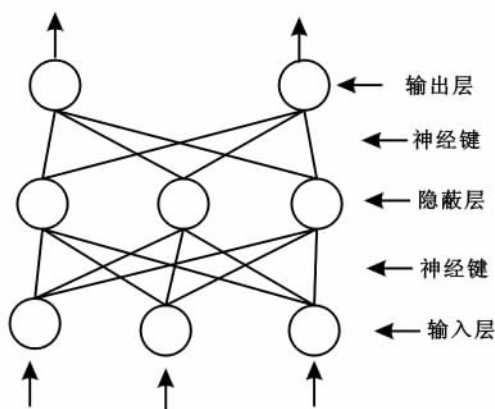


图 1 BP 神经网络结构

Fig. 1 Structure of BP neural network

隐层的节点数目可以高于上一层, 同一层之间的节点不连接, 相邻两层的节点数两两连接, 隐层的节点数可以任意规定, 目前常用的激励函数有阶跃函数、阈值函数和 S 型函数。对于 3 层结构的网络通常采用 S 型函数, 即:

$$f(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$$

BP 网络前一层节点的输出作为后一层节点的输入。同一层节点的输出值, 由于连接权值不同 (被放大或缩小), 每一节点的激励输出值由节点输入、传递函数和阈值确定。

BP 神经网络训练分为信号正向传播与误差反向传播两个过程。正向传播是将输入样本从输入层传入, 经隐层处理传入输出层。当实际输出与期望的输出不符时, 网络训练则进入误差反向传播过程, 将输出误差从输出层经隐含层传向输入层, 算出隐层各个单元的误差, 并修正各单元权值, 再经过输入层正向传播。两种传播过程反复运行, 直到网络误差小于目标误差时, 网络训练结束^[9]。

2 测井数据处理

(1) 选择合适的测井数据

样品选择要遵循数据具有代表性和有效性的原则。本次研究数据选自南海神狐海域 (包括神狐隆起、番禺低隆起及珠二坳陷) 水合物勘探区, 沉积层厚、烃类源供给充足, 具备高温低压的地质条件, 是天气水合物矿藏分布的最佳区域^[10,11]。在 8 个钻探井位中共有 3 个站位获得了天然气水合物样品。从实际钻探的 8 口井中选取 C1、C2、C3 井进行分析, 其中 C1、C3 井有水合物样品, C2 井无水合物样品^[12]。所选取的井有实际钻探所取得的采集样品数据, 根据这些采集的样品数据, 可以得到每个样品点对应 C1、C3 井的某一深度的储量参数 (孔隙度、饱和度等), 对研究水合物储层的各种物性参数提供了极有价值的资料。选取的地球物理测井数据包括中子测井 (NPHI)、补偿声波测井 (AC)、自然伽马测井 (GR)、井径测井 (CAL)、深侧向测井 (LLD)、浅侧向测井 (LLS)、密度测井 (RHOB) 及自然电位测井 (SP) 共 8 种测量值。对于神经网络方法, 输入的有效数据越多, 预测的结果越精确。

(2) 测井数据预处理

原始的测井数据存在极值数据, 这些极值数据的存在会直接影响数据处理结果。此外各测井数据的取值单位不统一, 直接引用将无法进行数据处理, 因此在数据处理前, 要对测井曲线进行标准化处理, 包括测井数据归一化、直方图校正和标志层校正 3 个步骤。

测井数据归一化:

$$Y_i = Y_{\min} + \frac{(y_i - y_{\min})}{(y_{\max} - y_{\min})} * (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (1)$$

式中: Y_{\min} 、 Y_{\max} 为多井平均最小值、最大值; y_{\min} 、 y_{\max} 为某单井最小值、最大值; y_i 为某单井归一化前曲线观测值; Y_i 为某单井归一化后曲线观测值。

测井直方图校正: 包括均值校正和均方差校正, 本次只作均值校正。

$$Y_i = y_i + (Y_{\text{men}} - y_{\text{Men}}) \quad (2)$$

式中: Y_{men} 为多井平均值的均值; y_{Men} 为某单井的均值; y_i 为某单井归一化后, 直方图校正前曲线观测值; Y_i 为某单井直方图校正后曲线观测值。

3 BP神经网络预测天然气水合物储量参数

BP神经网络结构 本次研究的BP网络结构有3层:输入层、隐含层及输出层。由于地球测井数据有8组测量曲线,因此确定输入层为8个节点,根据隐含层节点个数大约为输入节点2倍的关系,隐含层设置为16个节点,输出层选取1个节点,这1个节点为十进制数,代表输出的储层参数(饱和度或孔隙度)。

网络训练建立储层参数(饱和度和孔隙度模型) BP神经网络包含了多种算法,有梯度下降算法、弹性BP算法及贝叶斯正则化算法等。经过反复实验,梯度下降算法实验结果最理想。网络训练阶段,训练样本为实际采集样品点所在井上相应位置的8种测井数据,目标向量为该点相对应的饱和度/孔隙度值。此次训练的最大次数为5000次,训练精度设为0.01,最大失败次数为5,权值变化减少量为0.5,权值变化增加量为1.2,最小梯度要求 1×10^{-6} ,权值变化最大量为50,初始权值变化量为0.07。当网络误差达到最小0.01时,停止训练(图2、图3)。

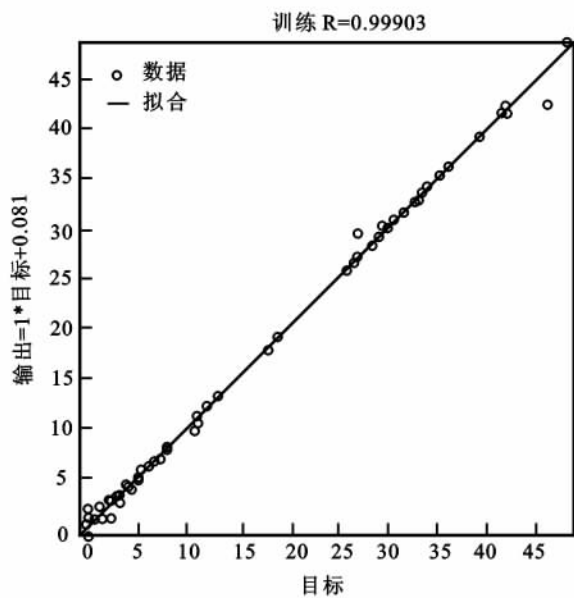


图2 拟合回归分析

Fig. 2 Multiple regression analysis

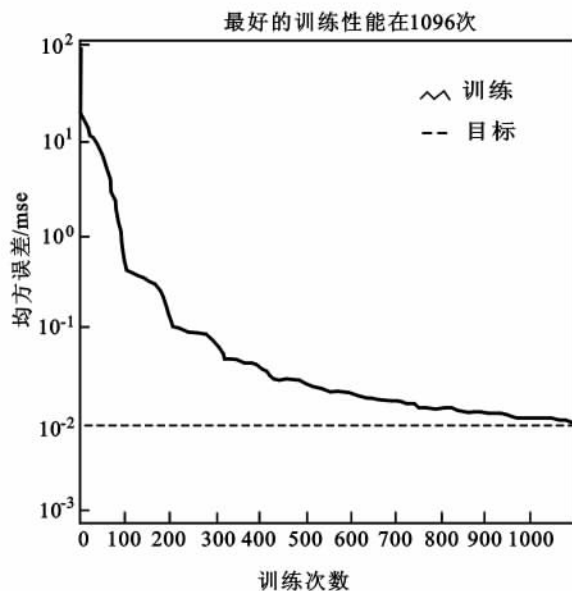


图3 训练误差

Fig. 3 Training error

网络识别 C1井网络训练后形成了网络模型,分别输入C1井8种测井数据,求得其相应的饱和度和孔隙度估算值。C2和C3井的测井数据输入到C1井建好的模型中,得到结果如图4所示。利用本文建立的方法,建立好网络后使用sim函数识别储层参数,即饱和度。

实点代表实际取心数据算出的饱和度值,而曲线则代表神经网络处理得到的输出值。C1井饱和度曲线是全井饱和度值估算值,与取心算出的实测值拟合度高。C2和C3井饱和度曲线则是各自测井曲线输入到C1井建好的模型,输出得到饱和度预测值。从预测结果来看,C2井实测没有水合物,其饱和值低。C3井有水合物,预测结果与实测结果拟合好,含水合物地层的饱和度值较高。

4 结论

BP神经网络方法与实际结果紧密结合,用实测数据建模,得出的结果储量参数(饱和度/孔隙度)更精确。BP神经网络通过测井数据对储量参数进行预测,其结果在此海域中有效、可靠,具有实际的应用价值,此方法也可用于其他海域天然气水合物矿体识别及储量参数预测。

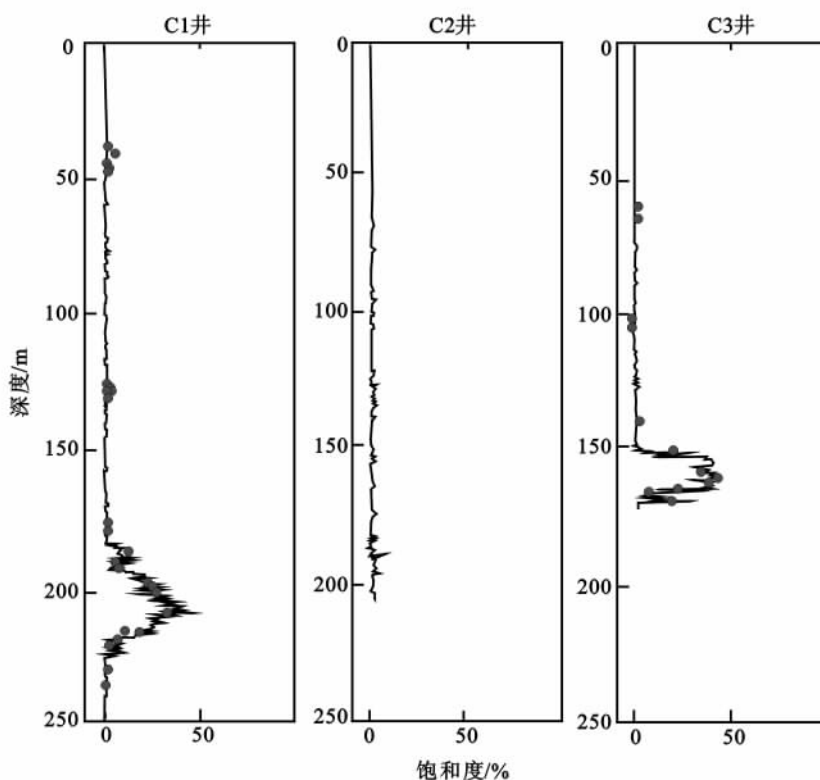


图4 C1井建模对C2、C3井饱和度的预测

Fig. 4 Forecast of C2 and C3 saturation by C1 model

致谢: 感谢广州地质调查局梁金强同志给予的帮助。

参考文献:

- [1] 王祝文, 李舟波, 刘菁华. 天然气水合物的测井识别和评价 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 2: 97-101.
WANG Zhu-wen, LI Zhou-bo, LIU Jing-hua. Logging identification and evaluation for gas [J]. Hydrate Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 2: 97-101.
- [2] 吴必豪, 张光学, 祝有海, 等. 中国近海天然气水合物的研究进展 [J]. 地质前缘, 2003, 10 (1): 177-188.
WU Bi-hao, ZHANG Guang-xue, ZHU You-hai, et al. Progress of gas hydrate investigation in China offshore [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10 (1): 177-188.
- [3] 王彪, 陈剑平, 李钟旭, 等. 人工神经网络在岩体质量分级中的应用 [J]. 世界地质, 2004, 23 (1): 64-68.
WANG Biao, CHEN Jian-ping, LI Zhong-xu, et al. Application of artificial neural network in rock mass quality classification [J]. Global Geology, 2004, 23 (1): 64-68.
- [4] 龚晶晶, 蔡忠贤, 谭述. BP神经网络在自喷井井底流压预测中的应用 [J]. 世界地质, 2006, 25 (2): 191-195.
GONG Jing-jing, CAI Zhong-xian, TAN Shu. Application of BP neural network for prediction of flowing bottom-hole pressure in flowing well [J]. Global Geology, 2006, 25 (2): 191-195.
- [5] 任培罡, 夏存银, 李媛, 等. 自组织神经网络在测井储层评价中的应用 [J]. 地质科技情报, 2010, 5: 114-118.
REN Pei-gang, XIA Cun-yin, LI Yuan, et al. Application of self-organizing neural network to logging reservoir evaluation [J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 55: 114-118.
- [6] 戴胜群, 洪秀娥, 张尚峰, 等. 应用神经网络方法求解储层参数 [J]. 石油天然气学报, 2005, 10: 583, 584.
DIA Sheng-qun, HONG Xiu-e, ZHANG Shang-feng, et al. Application the neural network method to solve the

- reservoir parameters [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 10: 583, 584.
- [7] 杨立强, 宋海斌, 郝天璁. 基于BP神经网络的波阻抗反演及应用 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20 (1): 34-37.
- YANG Li-qiang, SONG Hai-bin, HAO Tian-yao. Application of impedance inversion based on BP neural network [J]. Process in Geophysics, 2005, 20 (1): 34-37.
- [8] 侯媛彬, 杜京义, 汪梅. 神经网络 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007: 1-86.
- HOU Yuan-bin, DU Jing-yi, WANG Mei. Network [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2007: 1-86.
- [9] 韩力群. 人工神经网络教程 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006: 58-80.
- HAH Li-qun. Artificial neural network tutorial [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2006: 58-80.
- [10] 何家雄, 祝有海, 陈胜红, 等. 天然气水合物成因类型及成矿特征与南海北部资源前景 [J]. 天然气地球科学, 2009, 4: 237-243.
- HE Jia-xiong, ZHU You-hai, CHEN Shen-hong, et al. Genetic types mineralization characteristics gas hydrate and resources potential of northern South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 4: 237-243.
- [11] 陆敬安, 杨胜雄, 吴能友, 等. 南海神狐海域天然气水合物地球物理测井评价 [J]. 现代地质, 2008, 6: 447-451.
- LU Jing-an, YANG Sheng-xiong, WU Neng-you, et al. Well logging evaluation of gas hydrates in Shenhu area South China Sea [J]. Geoscience, 2008, 6: 447-451.
- [12] 梁劲, 王明君, 陆敬安, 等. 南海神狐海域含水合物地层测井响应特征 [J]. 现代地质, 2010, 24 (3): 506-514.
- LIANG Jin, WANG Ming-jun, LU Jing-an, et al. Logging response characteristics of gas hydrate form action in Shenhu area of the South China Sea [J]. Geoscience, 2010, 24 (3): 506-514.

(上接50页)

- [8] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 69-317.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province. Regional geology of Hebei Province, Beijing municipality and Tianjing municipality [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 69-317.
- [9] 辽宁省区域地层表编写组. 东北地区区域地层表辽宁省分册 [M]. 北京: 地质出版社, 1978: 6-164.
- Compiling Group for the Regional Stratigraphical Chart of Liaoning Province. Regional stratigraphical chart of Northeast China, division of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 6-164.
- [10] 辽宁省地质矿产局. 中华人民共和国地质矿产部地质专报辽宁省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989: 5-303.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources Geological Memoirs. Regional geology of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 5-303.
- [11] 鄯明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 45-155.
- YAN Ming-cai, CHI Qing-hua. The chemical compositions of crust and rocks in the eastern part of China [M]. Beijing: Science Press, 1997: 45-155.
- [12] 张长波, 骆永明, 吴龙华. 土壤污染物源解析方法及其应用研究进展 [J]. 土壤, 2007, 39 (2): 190-195.
- ZHANG Chang-bo, LUO Yong-ming, WU Long-hua. Methods for source apportionment of soil pollutants and their advances in application to soil environmental research [J]. Soil, 2007, 39 (2): 190-195.