

神经网络在预测高温高压 环境中油管钢腐蚀速率的应用

周计明¹, 刘道新¹, 白真权²

1. 西北工业大学, 西安 710072; 2. 中国石油天然气集团公司石油管材研究所, 西安 710065

摘要: 简要综述了神经网络的发展概况及相关理论, 并利用 Matlab 软件中的神经网络工具箱成功地建立了预测油管钢腐蚀速率的神经网络模型, 实践证明神经网络预测结果与实验值吻合较好. 最后通过现场实验数据检验了神经网络的泛化能力, 表明其预测结果与现场实验结果相近.

关键词: 神经网络; 腐蚀; BP 算法

中图分类号: TG172.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2003)06-0342-03

APPLICATION OF NEURAL NETWORK FOR PREDICTION OF CORROSION RATE OF OIL TUBE STEEL IN HIGH TEMPERATURE AND HIGH PRESSURE WATER

ZHOU Ji-ming¹, LIU Dao-xin¹, BAI Zhen-quan²

1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Tubular Goods Research Center of China National Petroleum Group Corporation, Xi'an 710065, China

ABSTRACT: The development and the relevant theory of Neural Network are reviewed briefly in this paper. The model for predicting the corrosion rate of carbon steel was constructed successfully through the neural network tools of Matlab, and the predicted values accord with the values of laboratory tests very well. At last, the ability of the generalization of the model was identified by use of the data obtained by the field tests. It shows that the predicted results closed to that of the field tests.

KEY WORDS: neural network; corrosion of carbon steel; BP algorithm

影响油管钢腐蚀的因素很多, 包括材料因素、环境因素、力学因素等, 其中环境因素包括腐蚀介质组成、环境温度、腐蚀气体分压等. 准确地预测油管钢腐蚀速率对防止事故的发生以及减少因油管钢腐蚀造成的巨大损失都有很重大的意义. 但因影响腐蚀各因素之间的相互作用十分复杂, 而实验过程又往往不能控制所有因素变化情况, 从而导致实验结果分散性比较大, 因此用精确的数学解析公式来表达它们之间的关系是非常困难的. 所以有必要采用各种科学的方法对实验数据进行分析处理, 以便从分散性较大的实验数据中分清和判断各种因素的影

响, 作出不掺杂主观成份的推论和判断^[1]. 统计分析方法成为我们分析各类实验数据的常用方法, 而神经网络是近年来广泛应用于各个领域的处理非线性映射的强有力工具, 它的非线性映射能力使其用于建立影响油管钢腐蚀各因素之间的关系成为可能. 本文利用神经网络对影响油管钢腐蚀主要环境介质因素进行分析, 建立系统模型, 并用于预测油管钢在不同环境介质因素作用下的腐蚀速率大小. 最后, 用现场实验数据对神经网络模型进行了检验, 结果表明, 其预测结果与现场实验结果相近.

1 人工神经网络

神经网络是由并行操作的简单神经元构成的复杂网络, 这些神经元由生物神经系统来激励. 像自然界一样, 人工神经网络所建立的输入输出之间的非线性映射函数很大程度上决定于神经元之间的联接权. 我们可以训练一个神经网络使其通过调整元素

收稿日期: 2002-10-01 初稿; 2002-12-27 修改稿

基金项目: 中国石油天然气集团公司石油管力学与环境行为重点实验室开放基金(ZYT-04)、石油科技中青年创新基金资助.

作者简介: 周计明(1976-), 男, 博士生.

Tel: 029-8493498-3 E-mail: kivinchoa@hotmail.com

之间的联接权值来拟合某一特定的函数.一般地神经网络通过调整或训练以便特定的输入导出特定的目标输出.在网络实际输出与目标输出比较的基础上,网络不断进行调整直到网络的实际输出与目标输出相匹配为止.在有导师学习下,许多典型输入、输出对被用于训练网络.神经网络已成功地用于模式识别、分类、语音、视觉及控制系统.它可以解决传统计算机或人类很难解决的复杂问题.有导师的训练方法是常用的训练方法,但采用无导师的学习方法或直接的方法建立的神经网络可用于数据的分类等.某些线性网络和 Hopfield 网络可通过硬件来直接实现.总之,有不同的设计和学习技巧可供用户选用,用户可根据具体情况进行选取不同的网络结构及网络算法.

神经网络领域大约经历了 50 多年的历史,但是它的广泛使用则是最近 20 年的事,而且还在不断地发展着.所以它明显不同于控制系统领域和优化领域,这些领域的术语、基础数学和设计程序均已扎实地建立起来并已使用多年.从目前的有关文献来看,神经网络的应用最广的是 BP 神经网络,因其算法简单,适应性强,已成功地应用于教学、科研、生产的各个领域,它的应用占了人工神经网络应用的 80% 到 90% 左右.

1.1 BP 网络模型

BP 网络的拓扑结构如图 1 所示,通常由输入、输出和若干隐层组成,每层包含有多个神经元,各层之间以权值相联.每个神经元的初值定义为阈值,它的基本原理是通过神经元之间的“相互牵制”和“相互协作”使网络输入能够匹配期望输出.理论已证明多层 BP 网络可以逼近任意非线性函数,对带有噪声及不完全的信息也具有良好的适应性.

训练好的神经网络对非样本集中的输入也能够给出合理的输出,即具有一定的泛化能力.这种泛化能力使其不必训练所有可能的输入输出,而只需训练有代表性的输入输出对即可使网络记忆输入输出

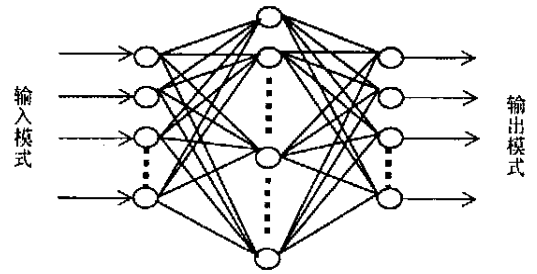


Fig. 1 Neural network architecture

对,并给出好的结果.

1.2 BP 网络的算法

BP 网络实现了 N 维空间到 M 维空间的非线性映射,这种非线性映射是通过神经元之间的联接权值及神经元的初始阈值来实现的^[2,3].

BP 算法的实现过程包括信息的前向传播和误差的反向传播两个过程.为使网络的实际输出与期望输出之间的误差达到最小,先构造网络的性能函数,然后不断调整网络权值和神经元的阈值,使性能函数达到最小.一般取输出神经元误差平方和作为网络训练的性能函数.使性能函数取极小值的方法可根据多元函数求极值的方法来设计 BP 网络的训练算法,具体包括梯度下降法(标准 BP 算法),共轭梯度法、牛顿法及改进牛顿法等多种.

2 油管钢腐蚀速率神经网络预测模型的建立

2.1 实验样本来源及网络参数的选取

通过高温高压模拟实验,作者积累了温度、 CO_2 分压、 H_2S 分压、腐蚀介质组成等对常用油管钢 N80S 腐蚀速率的影响的实验数据.我们采用的是固定其它三个因素不变而改变另一因素来检验该因素的影响作用,表 1、表 2 分别列出了作为实验样本和测试样本的实验条件及实验结果^[4].

实验样本与测试样本的划分根据小、中、大的原则,即将某因素的最小值、中间值、最大值作为实验样本,其余的作为测试样本.

Table 1 Experiment samples used to train network

	H_2S			CO_2			Cl^-			Ca^{2+} 、 Mg^{2+}	
$\times 100 \text{ H}_2\text{S mg/m}^3$	0.7	5	60	7	7	7	7	7	7	7	7
$\text{CO}_2 \%$	4	4	4	1	5	7	4	4	4	4	4
$\times 10000 \text{ Cl}^- \text{ mg/L}$	5	5	5	5	5	5	0.5	5	1	5	5
$\times 10000 \text{ Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+} \text{ mg/L}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.5	1
corrosion rate, mm/a	8.00	5.51	5.13	3.81	5.05	9.70	6.55	7.11	9.92	6.60	6.14

Table 2 Test samples used to examine network

	H ₂ S		CO ₂		Cl ⁻	Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	
×100 H ₂ S mg/ m ³	10	30	7	7	7	7	7
CO ₂ %	4	4	2	3	4	4	4
×10000 Cl ⁻ mg/L	5	5	5	5	10	5	5
×10000 Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ mg/L	2	2	2	2	2	3	5
corrosion rate, mm/ a	5.71	5.26	4.64	5.51	5.82	7.39	11.94

Table 3 Actual value, predicted value and error percent of test samples

目标值	5.71	5.26	4.64	5.51	5.82	7.39	11.94
输出值	5.61	5.29	4.94	5.38	5.80	4.65	5.22
预测误差, %	1.62	0.61	6.64	2.34	0.17	36.97	56.22

Table 4 H₂S/ CO₂ enviroment in - situ corrosion date

井号	H ₂ S bar	CO ₂ bar	Cl ⁻ mg/L	inh. eff, %	actual CR mm/ a	pred. CR mm/ a
1	1.0345	6.8965	30000	85	0.19	0.28
2	4.138	3.45	15000	50	0.38	0.79
3	0	2.07	8000	95	0.0025	0.008
4	0.0069	17.24	15000	85	0.19	0.23

注:表 4 中 Inh. Eff % 为油井中添加缓蚀剂的缓蚀效率;actual CR 为实测的油管钢腐蚀速率;pred. CR 为本文神经网络的预测结果。

通过分析测试,油管钢腐蚀速率神经网络预测模型采用三层 BP 神经网络,网络参数为:输入节点数为 4,隐层点数为 5,输出节点数为 1,神经网络简图如图 2 所示。学习效率选为 0.05,用来控制学习的快慢;动量因子为 0.9,增加网络阻尼,防止训练过程中的过度振荡;网络训练精度设为 1,每经一个 Epochs,所有样本输出的误差平方总和与目标值要低于 1;最大循环 Epochs 为 1000,当达到最大循环数时,即使没有达到预定的精度,也强行停止程序运行。用 Matlab 进行网络训练,训练结束后,利用训练好的网络对测试样本进行测试。反复训练网络,使测试误差达到工程允许的范围为止。

2.2 网络训练结果

网络训练后,最终的权矩阵及阈值矩阵分别如下:

$$\text{net IW}\{1,1\} = \begin{bmatrix} 0.0861 & -0.1750 & -2.0084 & -0.5204 \\ -0.8419 & -0.9121 & -1.7224 & -0.5175 \\ 0.9544 & 2.0546 & -1.8491 & -2.6841 \\ 0.0221 & -0.0969 & 1.0496 & -0.4100 \\ -0.5838 & -0.5591 & 0.5560 & -1.0078 \end{bmatrix}$$

$$\text{net ,b}\{1\} = \begin{bmatrix} -1.6382 \\ 5.4395 \\ 2.7121 \\ -1.2215 \\ 1.8141 \end{bmatrix}$$

$$\text{net IW}\{2,1\} = \begin{bmatrix} -1.1143 & -1.4419 & -1.4601 & -1.3201 & -1.5231 \end{bmatrix}$$

$$\text{net. b}\{2\} = [1.9785]$$

表 3 列出了测试样本的网络实际输出、期望输出及相应的误差百分比,从上表可以看出,除最后两列误差较大外,其余的误差百分比均处在工程误差所允许的范围内,由此可知所建立的网络模型是比较合理的。分析最后两列数的拟合误差较大的原因是,由于它反映的是 Ca²⁺、Mg²⁺ 浓度对油管钢腐蚀速率的影响,而最后两列网络输入的 Ca²⁺、Mg²⁺ 浓度大于溶液的溶解度,所以有大量的钙盐、镁盐结晶析出,故实际溶液中 Ca²⁺、Mg²⁺ 浓度低于网络输入值,故导致误差增大。

另外,从 Vamshi R. Jangama^[5]等人对 H₂S/ CO₂ 环境腐蚀预测模型研究的论文中选用了 4 组现场实验数据作为检验网络泛化能力的样本,检验结果如表 4 所示。

表 4 中 H₂S、CO₂、Cl⁻ 的单位与训练网络时所采用的单位不同,因此在代入神经网络时,先将 H₂S、CO₂、Cl⁻ 的数据进行归一化处理,将其转化为 0~1 之间的数。而且 Vamshi R. Jangama 等人未考虑 Ca²⁺、Mg²⁺ 的影响,所以在代入网络时 Ca²⁺、Mg²⁺ 以 0 处理。另外,实验室的结果是未加缓蚀剂的结果,而在实际操作中,油井中均添加了缓蚀剂,所以神经网络预测的结果要通过表 4 的缓蚀效率转化为添加缓蚀剂后的腐蚀速率。具体按如下公式进行转化。

$$\text{Inh. Eff \%} = \frac{\text{CR0} - \text{CR1}}{\text{CR0}} \times 100 \% \quad \text{CR1} = (1 - \text{Inh. Eff \%}) \times \text{CR0}$$

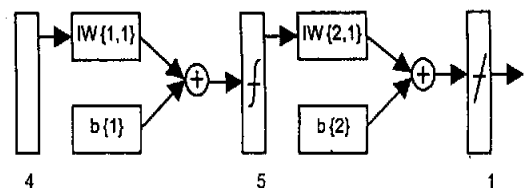


Fig. 2 Brief diagram of neural network

增大增加了未磨表面与摩擦表面的电化学不均一性^[9].而这种材料表面产生的电化学不均一性正是摩擦微电偶电流的推动力,从而增大腐蚀率——磨损加速腐蚀(wear accelerated corrosion^[10]).这种作用和磨擦去除作用(机械磨损)一起促使接触副破坏.可见,摩擦腐蚀损伤并非单独机械磨损和腐蚀量的简单相加,而是由机械的和化学的因素共同决定的.

3 结论

1 腐蚀电位及电偶腐蚀电流—时间曲线测定对研究金属的耐海水腐蚀性能及分析腐蚀过程具有重要的实际指导意义.

2 与钢材相比,铝青铜材料的抗腐蚀性较好.QAl 10 - 4 - 4 的耐自腐蚀性性能最佳,但它与 QAl 9 - 2 配副会对 QAl 9 - 2 产生较大的阳极电偶腐蚀.QAl 9 - 2 或 QAl 10 - 3 - 1.5 与 QAl 9 - 2 相配时的电偶腐蚀均较小,但 QAl 9 - 2/QAl 9 - 2 的摩擦磨损较大、摩擦相溶性最差.

3 QAl 9 - 2 与 QAl 10 - 3 - 1.5 材料副的抗腐蚀性性能较好,且具有最佳的摩擦相溶性.继动器阀芯材料为 QAl 9 - 2 时,壳体材料选择 QAl 10 - 3 - 1.5 最为合适.

(上接第 344 页)

其中,CR0 为不加缓蚀剂时的腐蚀速率;CR1 为添加缓蚀剂后的腐蚀速率.

以上三方面的原因,再加上训练网络所采用实验数据有限,均导致了神经网络对现场实验的预测结果的误差较实验室预测结果的误差大.

3 结论

BP 网络对多输入多输出的非线性映射具有良好的拟合作用,已广泛地应用于许多领域,特别在实验数据处理方面,能够找出隐藏在数据当中错综复杂的关系.利用 BP 神经网络成功地建立了用于高温高压复杂腐蚀环境中油管钢腐蚀速率预测的神经网络模型,找出了影响油管钢腐蚀的主要因素与腐蚀速率之间的复杂关系,结果证明网络结构是合理的,能够用其对油管钢的腐蚀速率进行预测.但基于

参考文献:

- [1] 阎建中,吴荫顺,张琳,等. 316L 不锈钢在 NaCl 溶液微动过程中局部腐蚀作用研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2000, 20(4): 237.
- [2] Yoshiaki Yahagi, Yoshiyuki Mizutani. Corrosive wear of carbon and Austenitic Stainless Steels in NaCl Solution[J]. Wear, 1986, 110: 401.
- [3] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1984. 321.
- [4] 李淑英,陈玮. 碳钢/紫铜在 NaCl 介质中的电偶行为[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2000, 12(5): 300.
- [5] 黄桂桥. 金属在海水中的腐蚀电位研究[J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(1): 8.
- [6] 黄桂桥,金威贤,侯文泰. 不锈钢在海水中的耐蚀性与腐蚀电位的关系[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2000, 20(1): 35.
- [7] ASTM Standards: G3 - 74 - 1981. Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing[S].
- [8] ASTM Standards: G382 - 83 - 1984. Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance [S].
- [9] 孙冬柏,李涛,俞宏英. 铁铝合金摩擦破损微电偶的形成及作用[J]. 电化学, 1998, 4(3): 307.
- [10] S Mischler, S Debaud, D Landolt. Wear - accelerated corrosion of passive metals in Tribocorrosion system[J]. J. Electrochem. Soc., 1998, 145(3): 750.

实验样本及现场实验数据的有限性,其预测效果还待进一步提高.

参考文献:

- [1] 曹楚南. 腐蚀试验数据的统计分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 4.
- [2] 丛爽. 面向 Matlab 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1998. 41.
- [3] 孙增圻,张再兴,邓志东. 智能控制理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 133.
- [4] 周计明. 油管钢在含 CO₂/H₂S 高温、高压水介质中的腐蚀行为及防护技术的作用[D]. 西安: 西北工业大学硕士论文. 2002. 21.
- [5] Vamshi R. Jangama, Sridhar Srinivasan. Calibration of an Integrated Model for Prediction of Corrosivity of CO₂/H₂S Environments [EB/OL]. http://www.corrosionsource.com/events/intercorr/techsess/papers/session_7/abstracts/vamshi.html, 2002 - 09 - 01