

用神经网络算法分析环烷酸的腐蚀行为

李晓刚 付冬梅 董超芳 金鹰
(北京科技大学表面科学与腐蚀工程系 北京 100083)

摘要 利用神经网络的分析方法,对炼油过程中的环烷酸腐蚀进行分析建模,综合考虑温度、环烷酸浓度和流速、材质和环烷酸腐蚀速度之间的关系,为准确的数学建模、准确的预测设备的使用寿命和相应专家系统的研制开拓了新的思路,也是神经网络分析在腐蚀研究中应用的一个尝试。

关键词 神经网络 环烷酸 腐蚀

中图分类号 TG172.82 **文献标识码** A **文章编号** 1002-6495(2001)01-0056-04

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TECHNOLOGY FOR
DATA PROCESSING OF NAPHTHENIC ACID CORROSION

LI Xiaogang, FU Dongmei, DONG Chaofang, JIN Ying
(University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

ABSTRACT Artificial neural network (ANN) technology for the data processing of naphthenic acid corrosion is proposed after analyzing the general method for naphthenic acid corrosion. A metabolism model for predicting the corrosion life with ANN is presented, which does not need all kind parameters of materials and environments and only need some of data of relevant parameters of them such as temperature, naphthenic acid content and velocity, characteristics and corrosion rate of materials in service. The feasibility of the model was verified by the data from literatures. It is proved that the ANN technology is applicable to the evaluation of the complicated system of naphthenic acid corrosion, and also gives a base to develop the expert system and residual life evaluation system for naphthenic acid corrosion.

KEY WORDS artificial neural network, naphthenic acid, corrosion

环烷酸腐蚀主要发生在炼油工业中的高温重油部位,尤其是流速大、涡流区的塔器和管线腐蚀严重。一般有2种腐蚀形貌:在原油高温高速区域呈顺着流向的流线状沟槽;在低温流速区域则成边缘锐利的凹沟状,其腐蚀形态为均匀腐蚀,可以用腐蚀速率表征其腐蚀过程^[1-3]。发生环烷酸腐蚀最严重的温度范围一般为200~400℃。影响高温环烷酸腐蚀的因素很多,腐蚀速度主要随温度、环烷酸浓度、介质流速、材质的变化而变化,这方面的研究数据已有较多的积累。目前实际工程和科研分析中的做法是对不同的材料在一定条件下测量环烷酸含量、流速或温度与腐蚀速度的关系,根据实验数据绘制腐蚀

曲线,再结合工艺参数预测实际设备的使用寿命。这种方法只是单独考虑以上某一个因素的作用,缺乏从系统的观点考虑以上因素的综合作用。

本文利用神经网络的研究成果和高温环烷酸腐蚀的数据积累,对炼油过程中的高温环烷酸腐蚀进行分析建模,目的是从系统的观点出发,综合考虑温度、环烷酸浓度和流速、材质对高温环烷酸腐蚀速度的影响,更准确的数学建模预测设备的使用寿命和相应专家系统的研制提供一定的基础,也是神经网络分析在腐蚀研究中应用的一个尝试。

1 神经网络模型与训练数据源

1.1 神经网络元的选择

神经网络研究表明^[4],BP神经网络具有从输入到输出的高度非线性映射,任一连续函数都可以用某一个三层BP网络来实现。BP神经网络及其算法

收到初稿:2000-02-20;收到修改稿:2000-06-02

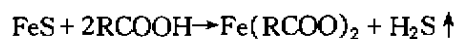
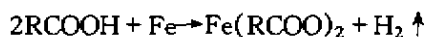
作者简介:李晓刚,男,教授,博导

具有结构简单、易于实现的优点,在许多方面得到了广泛的应用.在BP神经网络的构造中,首先要确定隐层节点数、初始权值、学习率等参数,且这些参数应随着具体问题而变化,一般总要经过多次试探才能确定.本文使用BP神经网络进行分析与预测.

1.2 训练数据源的选择

原油中的石油酸由环烷酸、脂肪酸和烷基酚等有机酸组成.我国石油中的石油酸以环烷酸为主,高达90%,所以一般原油酸值统指环烷酸的酸值.环烷酸是环烷烃(主要是五碳环)的羧基衍生物,其通式为 $C_nH_{2n-1}COOH$,其中五、六环为主的低分子量环烷酸腐蚀性最强.

环烷酸在低温时腐蚀不强烈,一旦沸腾,特别是在高温无水环境中,最为激烈的腐蚀反应按下式进行:



由于 $Fe(RCOO)_2$ 是一油溶性腐蚀产物,能为油流所带走,因此不易在金属表面形成保护膜,即使形成硫化亚铁保护膜也会与环烷酸发生反应,而完全暴露出金属表面,使腐蚀继续进行.环烷酸腐蚀的影响因素:

1.2.1 温度 环烷酸腐蚀受温度的影响很大,环烷酸在常温下对金属没有腐蚀性,高温下能和Fe生成环烷酸铁,引起腐蚀的加剧.环烷酸的腐蚀在220℃开始,随温度的升高而加剧,270~280℃时腐蚀最大,当温度高于260℃时,环烷酸可能汽化,汽化的环烷酸对一般的材料没有腐蚀性,但汽化使得环烷酸含量减小,并减轻因升高温度造成的腐蚀增加的倾向.温度高于350℃时,腐蚀急剧增加,但这绝大部分是由于 H_2S 和S的作用.温度大于400℃时,环烷酸会发生分解,因而,未见有明显的环烷酸腐蚀.

1.2.2 流速和流态 当温度在270~280℃和350~400℃,酸值在0.4 mg/g KOH以上的原油,环烷酸腐蚀与液体的流速有关.流体速度愈高,特别是在涡流区,环烷酸的腐蚀愈严重.一般在240℃以上酸值大于0.5 mg/g KOH,介质流速大于37 m/s时腐蚀最为严重.目前,有关流速流态对腐蚀速度的影响数据较少,这是由于实验困难所致.利用本工作训练神经网络,可以利用较少的数据,预测流速流态对腐蚀速度的影响.

1.2.3 原油酸值 原油酸值在0.3 mg/g KOH时,就应引起注意,当原油中的酸值大于或等于0.5 mg/g KOH,在一定温度条件下,就会发生较严重腐

蚀,酸值越高,腐蚀越严重.常减压装置高温环烷酸腐蚀,可以从原油酸值大小来判断.Piehl和Gutzeit曾研究碳钢的腐蚀率和酸值的关系^[3],提出双对数假说.Piehl又提出这种关系虽然可推测操作温度、原油酸值和腐蚀率的关系,却仅适用于低速区,而对于加热炉管和转轴线则不适用.

Gutzeit指出当酸值增高1倍时,碳钢低合金钢和蒙耐尔合金的腐蚀速率增加1倍,而410不锈钢的腐蚀速率则提高4倍.

以上所说的酸值均指原油的总酸值.实际上,还要考虑其腐蚀活性.此外,原油中环烷酸有较宽的沸点范围,原油蒸馏时,环烷酸基本上不进入原油馏分.随着馏分沸点的升高,其中环烷酸的含量逐渐增加,在轻质或中质的润滑油馏分达到最高,然后逐渐减少.用酸在原油中按沸点分布可预计在加工装置中哪些部位出现高的酸浓度.这对估计环烷酸的腐蚀非常的重要.所以仅仅根据原油酸值来预测腐蚀速率是不行的,必须弄清酸在装置中的走向和何处酸的浓度达到临界水平.Piehl也认为馏分油的酸值比原油酸值更可靠,而决定腐蚀的是残油的酸值而不是全部原油的酸值.

1.2.4 环烷酸活性的影响 原油中石油酸含量一定时,石油酸的相对腐蚀性 β 与其分子量的关系显示轻馏分中所含的石油酸腐蚀性较强.

1.2.5 汽化和冷凝的影响 Gutzeit在实验室研究了提高在白油/环烷酸混合液液相和气相中的腐蚀情况,汽相腐蚀确实是金属表明的冷凝液膜(而不是含环烷酸的蒸气)引起的.如能阻止形成冷凝液,则汽相腐蚀是不明显的,而冷凝液的腐蚀与酸值有直接的关系.通常,如果原油的酸值不超过1,那么腐蚀只局限于因环烷酸蒸气凝结而使液体油中酸值增加的区域,例如常减压塔若干塔盘等部位,一般指288℃到343℃.如果这些部位有产生冲蚀的条件,腐蚀将格外严重.

多年来,国内外进行了较多的有关环烷酸腐蚀热力学和动力学研究,积累了一定量的资料和数据.典型的数据代表国外有Piehl, Gutzeit, Heller等人 and Nalco, Amoco, Shell, 委内瑞拉 Armuay 等公司及API的数据;国内有锦西、齐鲁和广州等石化炼油厂的数据.本文选取以上部分数据作为网络训练样本,选取另外一部分数据作为测试数据样本.

2 神经网络训练与结果

环烷酸腐蚀主要与介质中的环烷酸含量、介质

温度、材质以及介质流速等有关(其中介质流速与环烷酸腐蚀的关系相对较强且数据积累较少)。而所关心的是介质的年腐蚀速率。经过反复多次的实验与分析,最终我们所设计的神经网络是一个三层神经网络,其中有4个输入节点,即温度、材料、环烷酸含量和流速;1个输出节点,即腐蚀速度;5个隐层节点;初始权值设定为一组0.5~1的随机数值;训练数据是从已有的实验数据中采集到的三百余组数据;算法采用改进的BP反向误差传播算法;网络的训练是用MATLAB语言编程实现的。

仿真结果如图1所示,网络给出的理论计算值与实际测定值符合的很好,表明效果很好。

将每个训练好的BP神经网络用VB语言编程实现其功能,然后将其组合形成组合式神经网络并嵌入到VB应用程序中,从而实现BP神经网络的在线应用。

3 讨论

有关神经网络在腐蚀研究中的应用,已经有所报道^[5-10]。近年来,人们对计算机辅助腐蚀速率预测和腐蚀研究中处理信息的作用进行了研究。1986年J.G. HINE注意到在计算机处理腐蚀问题时,知识与信息之间的关系^[5]。腐蚀预测中的主要问题是基于数学模型的理论预测。目前,在腐蚀研究上,已经将神经网络、专家系统和决策树方面的最新研究成果应用于腐蚀预测的研究中,并在此基础上建立了完善的系统软件,应用于实际工程中。如葡萄牙焊接研究所利用神经网络计算,建立了电厂中高温S腐蚀的网络模型,并通过大量的数据训练该模型,成功地发展出了神经网络专家系统。又如中国和欧共体的“尤里卡”首次合作项目就是利用大量腐蚀失效案例训练神经网络,力图建立腐蚀失效分析的神经网络,

进而在此基础上建立腐蚀失效分析的神经网络专家系统。国内北京科技大学腐蚀系在建立的我国大气腐蚀数据库的基础上,利用模糊数学分析,建立了有关大气腐蚀的计算机预测系统;中科院腐蚀所也有类似的土壤分析系统;天津大学利用神经网络分析,建立了海洋腐蚀的神经网络分析系统。但有关石油化工腐蚀的神经网络专家系统的研究,国内外未见报道。作者是利用已经建立的石油化工腐蚀数据库和已经积累的有关石油化工环烷酸腐蚀基础数据,建立石油化工环烷酸腐蚀的神经网络模型,并在此基础上为建立石油化工腐蚀的专家系统、开发寿命定量评估技术和进一步了解环烷酸腐蚀规律打下基础。

针对环烷酸腐蚀研究已经积累了较多的数据,在此数据基础上,通过合理的选材基本上能解决工程中的高温环烷酸腐蚀问题,在一定程度上已经可以预测设备的寿命,形成了一些较为成熟的选材指导原则,但是与定量化寿命评估的要求还相差甚远,其根本原因一是由于工程因素的复杂性,二是没有建立温度、材料、环烷酸含量、流速和腐蚀速度之间的对应关系。目前工程中的处理方法为采用探测器对各种介质成分和操作条件进行实验室模拟测量和实际测量,对所得到的数据进行回归和拟合,求出函数关系式,再用原位监测的数据计算,求得实际体系的腐蚀速度。但由于实验条件参数和评价参数之间的关系是复杂的非线性关系,很难用一个函数来表示,因此这种方法有一定的误差;另外一种办法是绘制统计曲线,根据大量的实验数据绘制腐蚀速度曲线,对某一材料及相应的操作条件,查出对应图中的腐蚀速度,从而预测实际设备的使用寿命,这种方法比回归法的误差大。

在环烷酸腐蚀分析中,由于实验条件与评价指标之间的关系十分复杂,寻找温度、材料、环烷酸含量和腐蚀速度之间的对应关系的实验将十分困难和繁琐,特别是研究流速对腐蚀速度的影响,所需要的装置复杂,需要大量的实验来寻找这种关系,这样既花费了大量时间,也将浪费不少材料。如果能通过少量的试探性实验的分析,能找到它们之间的最佳关系是非常有意义的。

图2是环烷酸浓度为1时,不同温度和钢中Cr含量与腐蚀速度关系的神经网络训练结果,该图给出了以前二维平面图所不能表达的信息,可以同时研究3个变量之间的关系。该图表明,在Cr含量为

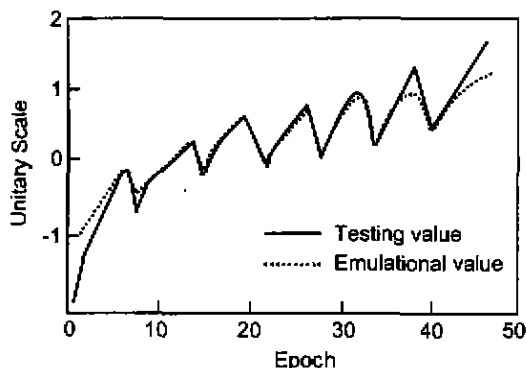


Fig. 1 ANN emulational and testing values

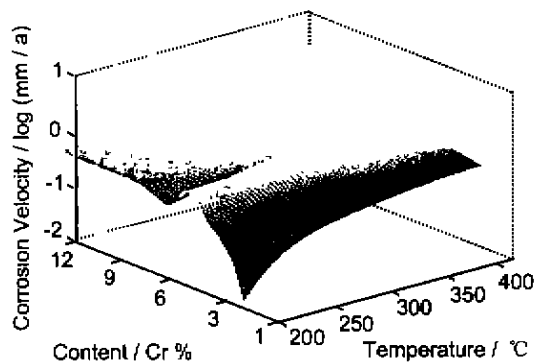


Fig. 2 ANN results for different temperature and Cr content

6%左右的区域对应了较低的腐蚀速度,该区的意义还有待进一步研究。

利用本文提出的神经网络分析方法,能实现环烷酸腐蚀输入参数和输出参数的非线性映射,这种方法的优点是不需要知道建模所需要的函数形式,通过构造适当的网络结构,对样本进行学习,训练权重系数,建立从输入到输出的映射关系,在高温环烷酸腐蚀的实验中,温度、材料、环烷酸含量、流速和腐蚀速度之间的关系是复杂的非线性关系,很难用一个函数来表示,利用神经网络分析可以建立它们之间的映射关系,然后通过变量之间的轮流搜索,达到优化实验条件,即进行定量的寿命分析与腐蚀分析以及防护措施的选择,因此,该方法是一种新的系统分析高温环烷酸腐蚀实验条件与结果的方法。

图3给出了环烷酸腐蚀的误差分析曲线。由图可知,训练的收敛性很好。两者给定的目标方差是0.2%,由于环烷酸腐蚀数据多但较为简单,训练到第30多步时,就接近目标方差。结果表明,训练误差很小,因此,这种新方法优于以上所述的2种传统的处理方法。

由上述分析可知,利用神经网络分析能很好的给出环烷酸腐蚀实验条件与评价指标的映射关系,给出的结果误差率优于传统的正交实验回归方法或图示的方法。另外,这种方法的最大的一个优点是可以利用目前所有有关环烷酸腐蚀的数据积累,利用现有的数据训练神经网络,并以少量所关心状态的实验数据作为校正数据,能更加精确地表征高温环烷酸腐蚀中条件参数与评价参数之间的关系,是一种

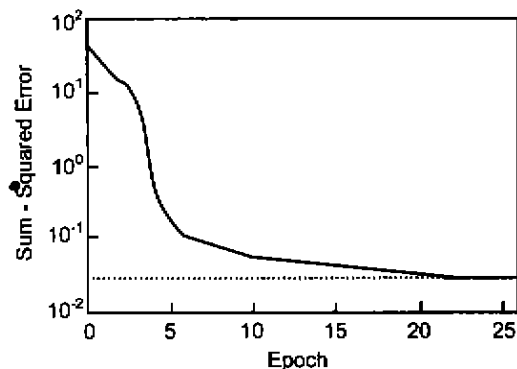


Fig. 3 Sum-squared network error for 26 epochs

全新的腐蚀数据系统分析方法。

4 结论

利用神经网络的研究成果和环烷酸腐蚀的数据积累,对炼油过程中的环烷酸腐蚀进行分析建模,训练了环烷酸腐蚀条件参数与评价指标的神经网络。从系统的观点出发,建立温度、环烷酸浓度和流速、材质和高温环烷酸腐蚀速度之间的映射关系,为更准确的数学建模、预测设备的使用寿命和相应专家系统的研制开拓了新的思路,并为建立石油化工腐蚀的专家系统、开发寿命定量评估技术和进一步探索环烷酸腐蚀规律打下基础。

致谢:本工作得到了国家973项目(No19990650)和中国石油化工集团公司技术开发中心设备处的支持,谨致谢意!

参考文献:

- (1) 中国石油化工设备管理协会. 石油化工装置设备腐蚀与防护手册. 北京:中国石化出版社, 1994.
- (2) 柯伟, 陈进伟. 石油化工腐蚀与防护, 1997, 2: 1
- (3) Gutziet J, Merrik R D, Scharftein Z R, et al. Hand Book(9th), Corrosion, 1987, 13: 1230
- (4) 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计 - MATLAB 语言及应用. 北京:清华大学出版社, 1996.
- (5) 蔡建平, 柯伟. 中国腐蚀与防护学报, 1994, 3: 31
- (6) Hines J G. Br. Corro. J., 1986, 21(2): 82
- (7) 董玉兰. 镀锌层大气腐蚀评价咨询系统. 北京:北京科技大学硕士论文, 1995.
- (8) 宋诗哲. 中国腐蚀与防护学报, 1997, 3: 45
- (9) Silverman D C. Corrosion, 1994, 50(6): 411
- (10) Rosen E M, Silverman D C. Corrosion, 1992, 48(9): 73