螺杆泵井智能集成故障诊断专家系统研究

李 敏[1,2], 何 平[1], 孟 臣[3]

(1. 哈尔滨工业大学 航天学院, 哈尔滨 150080, minli89@163.com; 2. 黑龙江八一农垦大学 信息技术学院, 黑龙江 大庆 163319; 3. 大庆利普科技有限公司, 黑龙江 大庆 163310)

摘 要: 为了及时处理油田开采中应用越来越广泛的螺杆泵井所存在的抽油杆断脱等故障,提高故障诊断的准确性和多故障同时诊断的能力,构造了一种基于模糊神经网络的智能集成故障诊断专家系统,并给出了系统的结构.介绍了模糊神经网络推理机的构成和功能,对综合知识库的结构和性能进行了简要分析,并设计了系统的故障诊断流程.系统经实际现场螺杆泵井的运行应用,取得了预期的诊断效果.

关键词: 螺杆泵;故障诊断;专家系统;模糊神经网络;智能集成

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2010)07-1038-04

Intelligent integrated fault diagnosis expert system of screw pump well

LI Min[1,2], HE Ping[1], MENG Chen[3]

(1. School of Astronautic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China, minli89@163.com; 2. School of Information Technology, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, China; 3. Daqing Li Pu Technology Company, Daqing 163310, China)

Abstract: In order to dispose some faults of screw pump wells widely applied in the oil field exploitation and improve the veracity of fault diagnosis and the capablility of multi-fault diagnosis, an intelligent integrated fault diagnosis expert system based on the fuzzy neural network was established, and the construction of the system was given. The construction and function of fuzzy neural network were introduced, and the structure and performance of the integrated repository were analyzed, then the fault diagnosis processing of the system was designed. The running application of the system on the practical field screw pump achieves the expected diagnosis effect.

Key words: screw pump; fault diagnosis; expert system; fuzzy neural network; intelligent integration

螺杆泵是国内石油生产中应用越来越广泛的一种具有地面驱动装置的井下新型采油设备,是单螺杆式水力机械的一种,是摆线内啮合螺旋齿轮副的一种应用.螺杆泵的转子、定子副是利用摆线的多等效动点效应,在空间形成封闭腔室,并当转子和定子作相对转动时,封闭腔室能作轴向移动,使其中的液体从一端移向另一端,实现机械能和液体能的相互转化,从而实现举升作用.随着技术的进步和完善,螺杆泵采油举升技术日趋成熟,应用规模不断扩大.但由于地下的压力、混沙、结腊、水、颤抖等工况复杂且难以测量,泵有时会发卡,如果不能及时处理,将导致抽油杆断脱严重事故,对石油生产造成严重影响并且带来巨大经济损失[1].

为了准确地识别螺杆泵井的工况,将神经网络技术和模糊技术结合,建立隶属函数和人工神经网络结构.其诊断思想是先将故障征兆向量模糊量化,然后输入到 ANN 中通过网络的数值计算推理出故障性质的隶属度,以表示此故障存在的倾向性,最后将专家系统方法和模糊神经网络方法集成起来,互相取长补短,以提高螺杆泵井故障诊断的准确性和多故障同时诊断的能力,对避免井下作业的盲目性和保证石油产量具有重要的意义.本系统在应用于螺杆泵的故障诊断中取得了很好的预期效果[2].

收稿日期: 2009-06-06.
作者简介: 李 敏(1970—),女,博士研究生;
何 平(1962—),男,教授,博士生导师.

1　螺杆泵故障诊断专家系统的构建

根据相关文献资料[3-4]，由工程技术人员和专家根据自己的实践经验所构造的螺杆泵故障诊断专家系统的基本结构如图 1 所示.

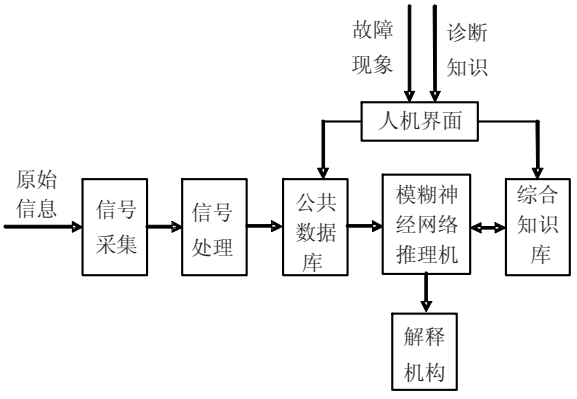


图 1　智能集成故障诊断专家系统的基本结构

模糊神经网络推理机是集成智能诊断专家系统的核心，它不仅能利用状态监测结果进行推理，同时可分析判断来自设备控制器内部的数据，结合各种数据进行推理、综合，做出诊断决策. 综合知识库中包含有关系统的物理知识、经验知识、设备运动过程状态知识、运动过程监测结果所能反映的异常状态知识，以及诊断对象的征兆与故障之间的各种因果联系知识等. 多种知识的综合，便于对故障进行综合诊断，这样可以提高知识本身的有效性，而且可以更准确地定位故障点，将故障定位到最小范围. 公共数据库是一个动态数据库，由监测与诊断共同生成、共同利用. 这三部分是集成智能诊断专家系统的主要组成部分.

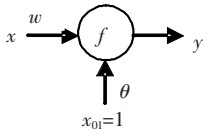
1.1　模糊神经网络推理机模型

经过大量的参数测试，选取 5 种特征参数作为表征每种工作状态的状态变量，即：产量、动液面、工作电流、扭矩和轴向力. 选取这 5 种主要状态变量的原因是，目前所能测试的参数包括生产参数、电参数以及力学参数，而产量代表生产参数，动液面是表征产液量和地层供液结合的参数，电流、扭矩和轴向力则作为抽油设备的参数. 这 5 个参数能简单而又全面地描述油井的各个部分，从而确定其工作状态. 考虑到各参数取值范围的不同，还要做一些归一化处理，将其统一到 1 个范围. 由这 5 个特征参数所确定的螺杆泵井工况判定规则如表 1 所示.

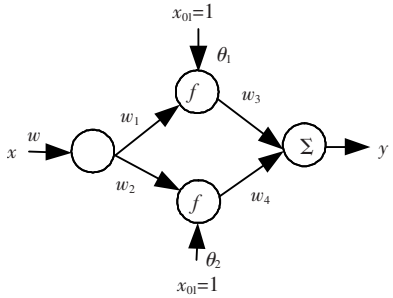
表 1　螺杆泵工况断定准则

工作状态	产量	动液面	工作电流	测试扭矩	测试轴向力
正常工作状态	0.4 ~ 1.1	0.1 ~ 0.8	0.3 ~ 0.7	0.8 ~ 1.1	0.8 ~ 1.1
抽油杆断脱	0 ~ 0.4	0 ~ 0.8	0 ~ 0.3	0.1 ~ 0.5	0.1 ~ 0.5
油管漏失	0 ~ 0.4	0 ~ 0.8	0 ~ 0.3	0.1 ~ 0.8	0.1 ~ 0.8
油管结腊严重	0 ~ 0.8	0 ~ 0.8	0.3 ~ ∞	1.1 ~ ∞	0.1 ~ 0.8
螺杆泵定子溶胀	0.4 ~ 1.1	0.1 ~ 0.8	0.3 ~ ∞	1.1 ~ ∞	0.8 ~ 1.1
螺杆泵漏失	0 ~ 0.4	0 ~ 0.8	0 ~ 0.3	0.1 ~ 0.8	0.1 ~ 0.8
工作参数设置偏低	0.4 ~ ∞	0 ~ 0.8	0 ~ 0.3	0.1 ~ 0.8	0.1 ~ 0.8
工作参数设置偏高	0 ~ 0.4	0.8 ~ 1.0	0.3 ~ ∞	0.8 ~ ∞	0.8 ~ ∞

由表 1 可将 5 个特征参数的输入空间利用哥西分布函数模糊量化为“偏高”、“偏低”和“正常”，分别用“H”、“L”和“M”表示，其中“H”和“L”可由图 2(a)所示神经网络实现.“M”可由图 2(b)所示神经网络实现，在模糊神经网络中应用 BP 学习算法，则推理机模型如图 3 所示[5-6].



(a) $y = f(wx + \theta)$



(b) $y = w_3 f(w_1 x + \theta_1) + w_4 f(w_2 x + \theta_2)$

图 2　隶属度函数的神经网络

理论上已经证明，在不限制隐层节点数的情况下，2 层(只有 1 个隐层)的 BP 网络可以实现任意非线性映射. 对应于 5 个样本模式，输入层节点数 m 取为 5. 对应于 8 种工况状态，输出层节点数

n 取为 8. 对于用于模式识别的 BP 神经网络,根据经验 $u = \sqrt{m+n} + a$, a 为 1 ~ 10 之间的常数. 计算得 $u \approx 4 \sim 13$,此处取隐层 u 为 10[7-8].

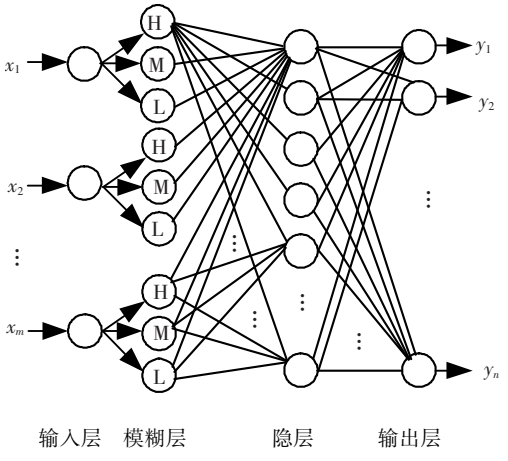


图 3 模糊神经网络推理机模型

1.2 综合知识库模型

用于模糊神经网络学习和测试用的样本知识存储于系统的案例库中,将案例库中的案例转化成样本完成神经网络的训练,同时案例库中的案例还可以用于案例的检索,这样就减少了知识的冗余. 神经网络存储知识主要是指神经网络经过学习所得到的网络结构知识(网络的权值和阈值),本系统通过数据库技术的结构化方法实现了这类知识的有效存储,并且采用 ADO 技术和神经网络进行数据交换,有效地解决了神经网络的数据交互和知识维护问题. 表 2 为其中的案例表示例[9].

表 2 故障案例表

描述	字段	类型	说明
故障编号	Alarm _ ID	Numeric	主键
故障部位	local _ ID	Numeric	外键
故障特征	attribute _ ID	Numeric	外键
故障类型	alarmtype _ ID	Numeric	外键
故障现象	performance _ ID	Numeric	
故障原因	reason _ ID	Numeric	
反馈结果	feedback _ ID	Numeric	

2 系统诊断流程

采用 VB 编写软件主界面,利用 Active X 技术调用 Matlab 模糊和神经网络工具箱函数. 将网络结构参数、训练参数、输入向量及目标向量在 VB 界面中输入,作为参数传递给已编写好的 M 函数文件,进行诊断网络的建立与训练,训练结果以图形显示出来,将训练达到要求的网络以权值和阈值的形式保存起来,用于进一步诊断. 诊断流程如图 4 所示[10].

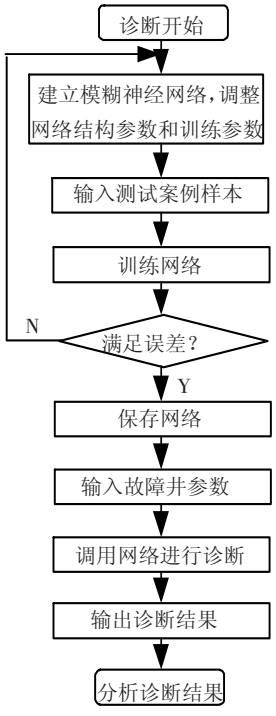


图 4 系统诊断流程图

3 验证与结论

运用小偏差分析方法构造系统的故障训练样本,将样本和相关数据存入数据库,部分样本数据如表 3 所示. 建立好的模糊神经网络利用样本数据不断地进行学习,调整网络之间的权值关系,使得实际的输出结果和样本的目标输出值接近.

利用某型螺杆泵井对集成智能故障诊断专家系统进行了验证,主要可以实现模糊神经网络训练、模糊神经网络诊断及添加新知识等工作.

表 3 故障样本

样本	故障特征值				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
样本 1	0.083	0.083	0.195	0.036	0.034
样本 2	0.086	0.083	0.132	0.457	0.002
样本 3	0.077	0.231	0.070	0.433	0.047
样本 4	0.032	0.498	0.214	0.021	0.202
样本 5	0.083	0.083	0.106	0.376	0.204
样本 6	0.045	0.596	0.216	0.558	0.067
样本 7	0.042	0.143	0.236	0.078	0.344
样本 8	0.051	0.435	0.067	0.467	0.089

与常用规则诊断方法进行了对比,比较项目和结果如表 4 所示. 从表中结果可以看出,采用模糊神经网络推理机进行故障诊断推理,尽管开发阶段配置比较繁琐,但应用时对用户技术水平要

求不高，适应范围广，既能提高诊断推理速度，又可以提高诊断推理的准确程度，提高了故障诊断专家系统的诊断能力，能够较好满足螺杆泵井维修诊断的需要.

表 4　模糊神经网络推理机和基于规则推理机性能对比

推理机	推理速度	有效范围	预先配置	用户水平要求	故障定位准确程度
模糊神经网络	快	宽	较复杂	开发人员较高，应用人员较低	高
普通规则	快	较窄	简单	较低	满足规则，高

本系统综合考虑各个特征量对故障的敏感性以及参数提取的可行性，选取了能够表征油井生产状态的状态变量作为故障诊断的输入样本模式，将模糊神经网络应用于螺杆泵井的故障诊断，构造了智能集成故障诊断专家系统，丰富了螺杆泵井的诊断方法，提高了螺杆泵井的生产和科学管理水平.

该方法进行诊断的准确性在很大程度上依赖于样本的质量，需要大量样本数据的支持，因此网络还需要进一步完善.

参考文献：

[1] 吴晓东，王世展. 地面驱动螺杆泵采油系统故障诊断方法[J]. 石油钻采工艺，2003，25(5)：82－84.

[2] 吴明强，李霁红，曹爱东，等. 故障诊断专家系统综合智能推理技术研究[J]. 计算机测量与控制，2004，12(10)：932－934.

[3] 杨昆，欧阳光耀. 模糊神经网络在专家系统中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报，2008，32(3)：510－513.

[4] 赵翔，张世富，周绍骑，等. 一种新型模糊神经网络及其在故障诊断中的应用[J]. 后勤工程学院学报，2007，23(4)：95－98.

[5] TIAN Jingwen, GAO Meijuan, LI Kai, *et al.* Fault detection of oil pump based on classify support vector machine [C]//2007 IEEE International Conference on Control and Automation. Guangzhou: [s. n.], 2007: 549－553.

[6] TIAN Jingwen, GAO Meijuan, ZHOU Hao, *et al.* The fault diagnosis system with self-repair function for screw oil pump based on wavelet neural network [C]//Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition. Beijing: [s. n.], 2007: 699－704.

[7] REN Weijian, ZHANG Zhenghui, DUAN Yubo, *et al.* An adaptive diagonal recurrent wavelet neural network based on compact wavelet frame and its application [C]//2005 International Conference on Control and Automation. Budapest: Hungary, 2005: 599－604.

[8] REN Weijian, YU Zongyan. Research of pump-jack fault diagnosis method based on the negative selection algorithm[C]//Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian: [s. n.], 2006: 5760－5763.

[9] GUO Qinglin, TANG Qi. Data mining based on improved neural network and its application in fault diagnosis of steam turbine[C]//Proceedings of the 7thWorld Congress on Intelligent Control and Automation. Chongqing: [s. n.], 2008: 4051－4056.

[10] YANG Xiaoqing, CAI Tao, CHEN Jie. Process of threshold of fault diagnosis expert system in LAN based on BP neural network[C]//Proceedings of the 27th Chinese Control Conference. Kunming: [s. n.], 2008: 466－468.

（编辑　张　宏）