

神经网络预测算法在抽油机节能电机 系统中的应用*

王亚洲¹, 曹旺国², 向明^{3*}, 曹利钢³, 朱永红³

(1. 中石化胜利油田分公司纯梁采油厂, 山东 东营 256504;

2. 景德镇市景德电机有限公司, 江西 景德镇 333000;

3. 景德镇陶瓷大学机械电子与工程学院, 江西 景德镇 333001)

摘要: 抽油机在工作时, 每台电机的实际负载都是不相同的, 如何根据工作过程中抽油机的实际负载来调整电机的实际输入电压对提高抽油机的效率有着明显的提升。本文采用了神经网络预测算法对电机实际输入电压进行预测, 讨论了神经网络预测算法参数对预测结果的影响, 并对神经网络预测算法获得的预测值与实测值进行了对比。结果表明本文提出的神经网络预测算法能够对电机最佳工作电压进行预测。

关键词: 节能电机; 神经网络预测算法; 算法参数; 输入电压

中图分类号: TM301 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2022)06-0098-05

doi: 10.12177/emca.2022.033

Application of Neural Network Prediction Algorithm in Energy-Saving Motor System of Pumping Unit*

WANG Yazhou¹, CAO Wangguo², XIANG Ming^{3*}, CAO Ligang³, ZHU Yonghong³

(1. Chunliang Oil Production Plant, SINOPEC Shengli Oilfield Branch, Dongying 256504, China;

2. Jingdezhen City Jingde Motor Co., Ltd., Jingdezhen 333000, China;

3. School of Mechanical and Electronic Engineering, Jingdezhen Ceramic University, Jingdezhen 333001, China)

Abstract: When the pumping unit is working, the actual load of each motor is different. How to adjust the actual input voltage of the motor according to the actual load of the pumping unit during the working process can significantly improve the efficiency of the pumping unit. This paper uses the neural network prediction algorithm to predict the actual input voltage of the motor, discusses the influence of the parameters of the neural network prediction algorithm on the prediction results, and compares the predicted value obtained by the neural network prediction algorithm with the measured value. The results show that the neural network prediction algorithm proposed in this paper can predict the optimal working voltage of the motor.

Key words: energy-saving motor; neural network prediction algorithm; algorithm parameter; input voltage

0 引言

电机作为抽油机的动力来源, 机采系统的耗

电量会体现在电机的耗电量上, 因此提高电机的节能效果非常重要。节能指标是电机工作效率的重要指标, 一直以来都受到广泛关注。抽油机在

收稿日期: 2022-04-24; 收到修改稿日期: 2022-05-19

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(62063010)

作者简介: 王亚洲(1980—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电机结构与控制系统设计。

向明(1977—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为机电一体化。(通信作者)

工作时,每台电机的实际负载都是不相同的,如何根据工作过程中抽油机的实际负载来调整电机的实际输入电压对提高抽油机的效率有着明显的提升^[1]。通过搭建抽油机节能电机系统,可以较好地减少电能的消耗和提高电机的工作效率,同时可以大大提高整个工业生产的经济效益^[2-3]。在电机节能方面,有许多学者提出了不同的方案。Gaukhar 等^[4]提出了游梁式抽油机电机的最优控制策略,采用星角自动转换方法以保证系统自动切换最佳工作状态。冯德传等^[5]通过研究变频调速转子异步电机效能的提升,发现相比传统变频电机,变频调速转子异步电机的电能损耗更低。窦满锋等^[6]通过研究高效节能稀土永磁同步电机设计技术,结合抽油机实际工作状态,提出了一种抽油机电机专用的新颖、实用的磁路结构形式,通过该结构使电机效率提高了 6.5%,且节能效果明显。王爱元^[7]研究了变频器供电的感应电机节能控制的若干技术,提出了基于损耗模型的矢量控制方案,该控制方案兼顾了系统的优良动态性能、宽调速范围和节能运行。上述这些方法对电机节能都有着明显的效果,但这些方法的实现需要一定的技术要求。文献[8-10]研究了电机节能控制器、节能控制系统对电机实施节能的控制。

神经网络通过大量的样本数据训练,其网络的权重会不断变化使得误差函数沿负梯度方向下降,最后让输出的结果逼近于期望值。随着神经网络算法的不断发展,神经网络算法以其高度的非线性和较强的泛化能力被广泛地应用于各个领域,如函数逼近、分类识别、时间序列预测等^[11]。反向传播(BP)神经网络具有良好的泛化能力^[12],故本文利用 BP 神经网络作为预测模型。

通过利用试验获取的电机负载及输入电压的关系数据作为神经网络的训练集,提出一种利用神经网络预测算法来实现电机在不同负载时电机输入电压的智能调节方法。目的是进行电机最优电压值预测以提升电机的节能效率。

1 抽油机电机控制系统

抽油机的工作结构图如图 1 所示,其运动过程可以简述为抽油机由电机供给动力,经减速箱将电机的高速旋转变为抽油机曲柄的低速运动,

然后通过一个四连杆机构带动抽油杆实现上下往复运动。在抽油机的整个工作过程中,电机的实际负载往往是变化的,当电机的额定功率远大于负载所需的功率时,会出现大马拉小车的情况,使电机效率下降,造成能源的浪费;当负载所需的功率远大于额定功率时,不但会增加能源的消耗,也会损害电机的性能。

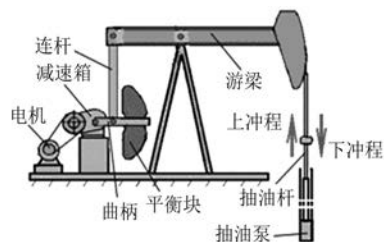


图 1 抽油机工作结构图

改变电机电压能够实现电机输出功率控制,从而实现电机输出功率与负载功率匹配,从而提升电机效率。为实现电机能跟踪负载大小设置高效率电机电压参数,在电机控制变频器之前设置节能电机控制系统,该控制系统可与变频器信息交互读取电机实时电流,如图 2 所示。

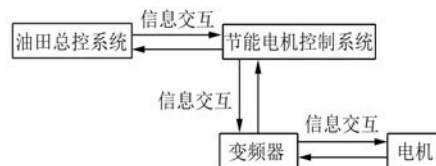


图 2 神经网络结构图

由图 2 可见,在电机与变频之前设置 STM32 控制的节能电机控制系统,通过系统算法预测出变频器应该具有的电压值,再由 485 通信设置变频器输出预测的电压值,使得电机运行在最佳效率区间,并根据抽油机调参(调冲次)需要,实现电机功率的自动调控。

2 神经网络预测算法对电机最优输入电压的预测

当电机输出功率与负载功率匹配时,电机工作效率会提升。电机启动时节能系统需要根据电机工作的电流、电压值判断后,给出最佳电机电压,以保证电机输出功率与负载功率匹配。故将神经网络预测算法引入用来预测电机的电压值。

2.1 神经网络预测算法模型

首先搭建一个三层的神经网络结构,如图3所示。其中 $x_1, x_2, \dots, x_i$ 为神经网络的输入。该神经网络包含了两层隐藏层,第一层隐藏层有40个神经元,第二层有20个神经元,其中 w_1, w_2 分别为权重, y 为神经网络的输出。

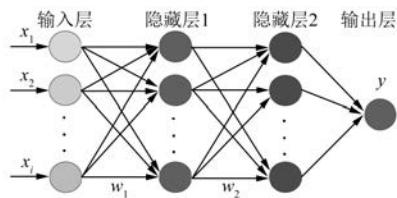


图3 神经网络结构图

2.2 抽油机电机试验平台与数据采集

试验电机型号为景德电机 YEJ-2 型,功率为30 kW 的三相异步电机,电机试验平台工作现场如图4所示。电机输出轴通过扭矩传感器与磁粉加载器连接,电机受变频器控制,调节磁粉加载器的负载功率即调整了电机负载功率,使得电机在负载情况下运行。



(a) 电机效率试验台



(b) 电机控制柜

图4 电机试验工作现场图

在试验中获取给定载荷下电机最佳效率工作电压是神经网络训练的输入值。其试验过程是电机空载380 V启动,此时由于电机处于空载情况,电机工作效率较低,其效率值可在电机效率测试系统中电机效率一栏中读出。STM32控制模块采用变步长搜索算法降低电机工作电压使得电机效率值最佳,并保存最佳工作效率电压值。调整磁

粉加载器功率试验依次完成载荷情况下电机输入电压和负载变化关系,其试验过程为依次设置负载功率为2、4、6、3、9 kW,通过节能电机控制系统读出效率最佳电压和电流值,其试验过程采集电压、电流如图5和图6所示。此时电机工作频率为50 Hz,记录试验中磁粉加载器的功率以及电机效率最佳的电压与电流值,见表1。

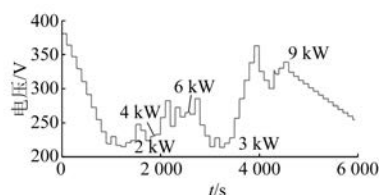


图5 不同负载下电机电压变化图

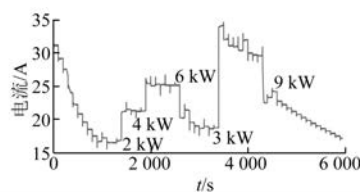


图6 不同负载下电机电流变化图

表1 不同负载下对应的最优电压与电流

负载	2 kW	3 kW	4 kW	6 kW	9 kW
最优电压/V	224	228	233	263	339
最优电流/A	16.9	18.7	21.3	25.1	24.2

表1表明在负载变化时,电机的最佳效率电压值会发生相应的变化,为了使节能电机控制系统能够获得载荷情况下的电机最优电压值,本文采用神经网络预测算法对最优电压值进行了预测。

3 神经网络预测算法设置不同参数的预测值对比

3.1 神经网络预测算法可调参数与计算结果

该网络结构隐藏层激活函数均采用双曲正切函数 $\tansig$, 训练方法分别选择 $L-M$ 优化算法 trainlm , 带动量的梯度下降方法 traingdm , 共轭梯度法 traincgf 和 traingdx 这4种。其中 trainlm 算法对中等规模的网络来说是速度最快的训练方法,因为其不需要计算黑塞矩阵,大大减少了计算量; traingdm 是一种批处理的训练方法,因为引入

了一个动量,有效避免了局部最小问题的出现;traincgf 是共轭梯度法中存储量要求最小的算法;而 traingdx 是具有自适应学习率的训练方法。同时设置训练的最大迭代次数为 300 次,学习率设置为 0.01,设置当均方根误差小于 1×10^{-4} 时停止训练。

在神经网络搭建完成后,将已经采集好的负载数据和最优电压数据按 8:2 的比例划分为训练集和测试集,将训练集中的负载与输入电压作为神经网络的输入和输出喂入神经网络进行训练。

分别进行 4 次训练,训练方法分别采用了 trainlm、traingdm、traincgf 和 traingdx。在模型训练完成后,随机选取测试集的前 10 组数据输入训练好的模型进行预测,对应的预测结果如图 7~图 10 所示。

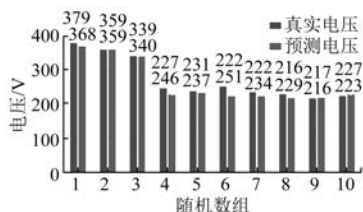


图 7 trainlm 训练方法预测结果

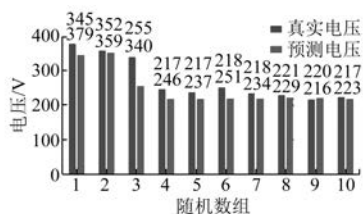


图 8 traingdm 训练方法预测结果

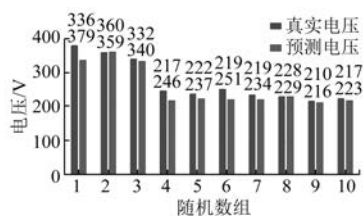


图 9 traincgf 训练方法预测结果

为比较这 4 种模型各自的优劣性,分别计算出这 4 种模型的准确率。由于试验的预测结果不是多分类问题,为了计算准确率,可以在实际工况允许的范围内规定预测值与真实值的差值在某个范围内即可认定为预测正确。这里规定两者差值

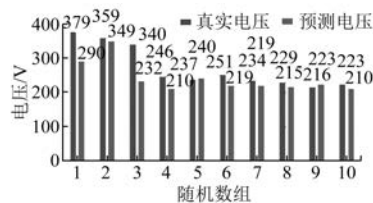


图 10 traingdx 训练方法预测结果

为 20 V 以内即可认为预测正确。通过计算,trainlm 训练方法训练的模型准确率可达到 91.886%,traingdm 训练方法训练的模型准确率为 87.508%,traincgf 训练方法训练的模型准确率可达到 88.248%,而 traingdx 训练方法的准确率只有 85.859%。通过对比,选择 trainlm 方法所训练的模型用于电机的最优电压预测。

3.2 神经网络预测算法对载荷及电压值的预测

通过改变神经网络预测算法参数筛选得到一个最优的神经网络模型,将其传入上位机。对电机施加变化的载荷,同时上位机利用神经网络模型进行电机最优电压值预测,得到最优的电压与相应的载荷预测结果。

获取神经网络预测值后,仍采用 2.2 节中变步长搜索算法获取电机最优电压实测值。将最优电压实测值、实际载荷值与神经网络电压预测值、载荷预测值进行对比,如图 11 和图 12 所示。

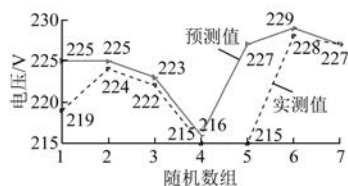


图 11 电压值预测

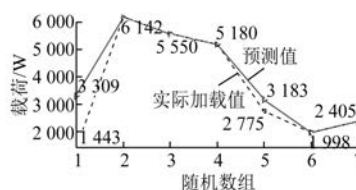


图 12 载荷预测

图 11 中,实线为神经网络模型预测电压值,虚线为试验实际测量值。通过 7 组试验对比验证可知,神经网络模型预测值与试验实际测量值最小差值为 1 V,最大差值为 12 V。

图 12 中,实线为神经网络模型预测载荷值,虚线为试验实际加载值。通过 7 组试验对比验证可知,神经网络模型预测值与实际加载值最大差值为 1 866 W(试验频率为 50 Hz),最小差值为 0。

通过对电机施加变化载荷的试验数据分析发现,电机可以实现根据不同负载对输入电压的智能调节,神经网络预测算法能够预测出最佳电压值,并且神经网络预测值与实测值基本一致。

4 结 语

利用神经网络预测算法训练获得一个泛化能力强的模型之后,可以有效地减少对电机工作中不同负载下最优输入电压的搜寻时间,进而实现对最优电压值的预测。通过与试验数值相对比,表明神经网络算法能够对电机最佳工作电压进行预测,证明了该神经网络预测算法的可行性。

【参考文献】

- [1] 李东波,李嘉伟,巩建卫,等. 油田抽油机电机节能方式探讨[J]. 山东工业技术,2017(8): 1.
- [2] 刘刚,逯玉亮,田敏. 油田开发生产运行中的抽油机电机节能降耗措施浅谈[J]. 市场周刊(理论版),2020(24): 212.
- [3] 汪洋,马述俭,何小龙,等. 塔河油田抽油机节能电机选型研究[J]. 科技视界,2020(13): 62.
- [4] GAUKHAR T. 游梁式抽油机电动机优化控制策略及节能方法分析[D]. 北京:华北电力大学,2019.
- [5] 冯德传,方丽. 变频调速转子异步电机效能提升研究[J]. 水利建设与管理,2021,41(12): 10.
- [6] 窦满锋,刘卫国. 高效节能稀土永磁同步电机设计技术研究[J]. 西北工业大学学报,2004(3): 355.
- [7] 王爱元. 变频器供电的感应电机节能控制若干技术的研究[D]. 上海:华东理工大学,2010.
- [8] 张震. 异步电机节能控制器研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [9] 王步来. 高效节能永磁同步电机的设计研究[J]. 电机技术,2006(2): 3.
- [10] 林友杰. 异步电机变频调速节能控制运行研究[D]. 福州:福州大学,2006.
- [11] 周克良,刘亚亚. 改进的 PSO-BP 神经网络算法在心音分类中的应用[J]. 制造业自动化,2020,42(10): 6.
- [12] 庞维. 基于模型预测控制的 PHEV 能量管理策略研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2020.

(上接第 39 页)

- [2] Anon. Plastics-Thermogravimetry (TG) of polymers Part 2: Determination of activation energy: ISO 11358-2—2014[S]. [S. l.]: [s. n.], 2014.
- [3] International Electrotechnical Commission. Electrical insulation materials-Thermal endurance properties-Part 7-1: Accelerated determination of relative thermal endurance using analytical test method (RTEA)-Instruction for calculations based on activation energy: IEC TS 60216-7-1—2015[S]. [S. l.]: [s. n.], 2015.
- [4] 机械工业联合会. 电气绝缘浸渍漆和漆布快速热老化试验方法-热重点斜法:JB/T 1544-2015[S]. 北京:机械工业出版社,2015.
- [5] 中国电器工业协会. 绕组线试验方法 第 8 部分: 测定漆包绕组线温度指数的试验方法 快速法: GB/T 4074.8-2009[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [6] DOBKOWSKI Z. Lifetime prediction for polymer materials using OIT measurements by the DSC method [J]. Polimery, 2005, 50(3): 213.
- [7] 中国石油和化学工业协会. 塑料差示扫描量热法 (DSC) 第 6 部分: 氧化诱导时间(等温 OIT)和氧化诱导温度(动态 OIT)的测定: GB/T 19466.6-2009 [S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [8] 中国电器工业协会. 电气绝缘 耐热性 第 1 部分: 老化程序和试验结果的评定: GB/T 11026.1-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2016.