

人工神经网络在水泵性能预测中的应用

葛 强 ,徐俩俩 ,段小汇

(扬州大学能源与动力工程学院 ,江苏 扬州 225009)

摘要 :分析了影响水泵机组性能变化的主要因素 ,根据泵性能与各因素之间的关系 ,利用 BP 人工神经网络构建了水泵性能的预测模型 ,以某轴流泵试验数据为样本 ,BP 人工神经网络为工具 ,对轴流泵模型进行了泵扬程及效率性能指标与流量、叶片角度等相关因素间的性能预测研究 .预测结果表明 ,将该模型用于轴流泵性能参数预测 ,不仅可以提高预测精度 ,而且可以缩短试验时间 ,降低试验成本 .

关键词 :人工神经网络 ;水泵机组 ;性能预测

中图分类号 :TH312 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2007)01-0022-04

大型水泵新产品研制一般都要经历理论设计、模型制造、性能测试和原型生产这几个过程 .只有经过泵性能测试 ,才能确认水泵设计是否符合要求 ,产品能否满足工程需要 .模型性能测试结果不能满足要求的则需进一步优化设计 .但是 ,这样的生产周期厂家需投入大量的人力、物力和财力 .因此 ,应寻找一种在设计前就能知道所设计的泵的基本性能的途径 ,为优化设计提供指导 .借助于 BP 网络^[1-6] ,不仅可以通过对已有试验样本的训练来预测水泵获得最佳性能的条件 ,而且可以缩短试验时间 ,降低试验成本 .因此 ,本文首先分析了影响水泵机组性能变化的主要因素 ,然后根据泵性能与各因素之间的关系 ,利用人工神经网络构建了水泵性能的预测模型 ,最后利用大批样本对 BP 网络进行了训练并对某轴流泵性能参数进行了预测 .

1 神经网络模型的建立

1.1 影响泵性能的因素

据研究^[7] ,影响轴流泵性能的因素有流量(Q)、扬程(H)、叶片角度(β)、转速(n)、转轮叶片数(Z_1)、导叶叶片数(Z_2)、转轮直径(D)、轮毂直径(D_h)、轮毂比(D_h/D)、叶片间隙(b)、叶片端部厚度(d_1)、叶片根部厚度(d_2)、叶片表面粗糙度(δ)等 .本文主要建立流量(Q)、扬程(H)、叶片角度(β)、效率(η)等参数间的神经网络训练与预测关系 .

1.2 神经网络模型

神经网络具有自学习、自组织、非线性动态处理等特征以及联想推理和自适应识别能力 .本文采用多层前馈神经网络模型(BP 模型)来预测泵的性能 .BP 网络由输入层、输出层及隐含层组成 ,每层由若干个神经元组成 .最基本的 3 层 BP 神经网络结构如图 1 所示 .

BP 神经网络采用误差反馈学习算法 ,其学习过程由网络正算和误差反馈 2 部分组成^[1] .

假设 BP 网络每层有 N 个处理单元 ,训练集包括 M 个样本模式对(X_k, Y_k) .对于第 p 个训练样本 ,单元 j 的输入总和记为 N_{pj} ,输出记为 O_{pj} ,则

$$N_{pj} = \sum_{i=0}^N W_{ji} O_{pi}$$

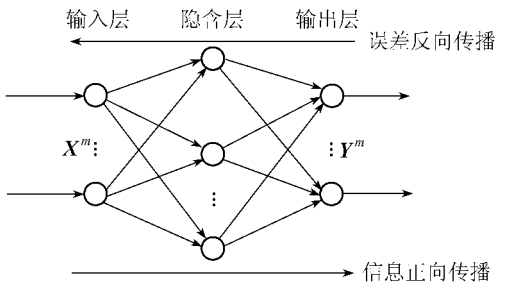


图 1 3 层 BP 神经网络结构
Fig.1 Three-layer BP neural network

$$O_{pj} = f(N_{pj})$$

式中： W_{ji} ——神经元 i 、 j 之间的权值； f ——作用函数，本文采用 sigmoid 函数，即

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

如果任意设置网络初始权值，那么对每个输入模式 p 来说，网络输出与期望输出之间一般总存在误差。定义网络误差

$$E = \sum_p E_p$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (d_{pj} - O_{pj})^2$$

式中 d_{pj} 表示对第 p 个输入模式输出单元 j 的期望输出。学习规则的实质是利用梯度最速下降法，使权值沿误差函数的负梯度方向改变。BP 算法权值修正公式可表示为

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta \delta_{pj} O_{pj}$$

$$\delta_{pj} = f'(N_{pj}) (d_{pj} - O_{pj}) \quad (\text{输出单元})$$

$$\delta_{pj} = f'(N_{pj}) \sum_k \delta_{pk} W_{kj} \quad (\text{隐单元})$$

式中： t ——学习次数； η ——学习因子， η 取值越大，每次权值的变化就越剧烈，可能会使学习过程产生振荡； δ_{pj} ——误差修正值。因此，为了使学习因子的取值足够大，又不至于产生振荡，通常在权值修正公式中加入一势态项，即

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta \delta_{pj} O_{pj} + \alpha (W_{ij}(t) - W_{ij}(t-1))$$

式中 α 为一常数，称为势态因子，它决定了上一次学习的权值变化对本次权值更新的影响程度。

2 神经网络模型的训练与应用

利用文献 [8] 给出的全调节轴流泵模型试验结果训练 BP 网络。该泵具有相同转速条件时 5 个不同叶片安放角度下扬程、效率随流量变化的性能曲线。利用这些已知性能曲线的部分数据训练 BP 网络，再利用剩余数据对训练后的网络预测能力进行验证。由 5 个性能试验数据获取每个叶片角度的 14 个流量点的扬程和效率值（表 1）。由这些数据构成 70 个样本对，每对样本由 1 个角度值和 1 个流量值组成输入模式，1 个扬程或效率值组成输出模式。这些样本用于随后的神经网络训练或检验。

表 1 某全调节轴流泵模型试验性能参数

Table 1 Performance data of an axial flow pump at different blade angles in model test																			
$\beta/$ ($^{\circ}$)	$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	$H/$ m	$\eta/$ %	$\beta/$ ($^{\circ}$)	$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	$H/$ m	$\eta/$ %	$\beta/$ ($^{\circ}$)	$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	$H/$ m	$\eta/$ %	$\beta/$ ($^{\circ}$)	$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	$H/$ m	$\eta/$ %	$\beta/$ ($^{\circ}$)	$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	$H/$ m	$\eta/$ %
-4	375.3	4.949	71.49	-2	401.7	4.784	69.91	0	425.2	4.919	70.48	2	441.6	5.533	73.66	4	465.3	5.689	73.32
-4	371.0	5.329	73.87	-2	396.8	5.221	73.04	0	419.9	5.402	73.84	2	434.2	5.951	75.96	4	457.7	6.138	75.89
-4	365.0	5.816	76.51	-2	390.8	5.708	75.85	0	414.4	5.719	75.87	2	431.1	6.177	77.36	4	452.0	6.533	78.11
-4	355.3	6.522	79.71	-2	386.4	6.038	77.42	0	408.3	6.155	77.88	2	422.3	6.720	80.06	4	439.1	7.187	80.92
-4	348.4	7.012	81.32	-2	378.1	6.632	80.02	0	402.8	6.537	79.40	2	414.3	7.194	81.35	4	433.9	7.499	81.77
-4	339.4	7.588	82.76	-2	365.1	7.433	82.74	0	396.3	6.940	80.85	2	405.7	7.675	82.90	4	425.3	7.945	83.33
-4	331.8	8.067	83.88	-2	357.4	7.863	83.52	0	389.9	7.325	82.40	2	394.5	8.289	84.06	4	411.6	8.669	84.75
-4	326.9	8.361	84.02	-2	343.1	8.627	84.40	0	381.1	7.741	83.35	2	383.4	8.798	85.00	4	400.9	9.153	85.44
-4	316.0	8.826	83.57	-2	332.7	9.162	84.51	0	368.5	8.472	84.71	2	374.4	9.283	85.54	4	391.1	9.620	85.69
-4	310.6	9.087	83.45	-2	322.3	9.594	83.85	0	347.2	9.518	85.19	2	363.4	9.797	85.84	4	380.6	10.050	85.85
-4	299.4	9.597	82.80	-2	308.4	10.100	82.64	0	335.7	10.000	84.72	2	346.5	10.420	84.63	4	373.7	10.260	85.69
-4	284.1	10.100	80.47	-2	299.8	10.340	81.23	0	315.4	10.610	82.48	2	335.9	10.720	83.41	4	361.0	10.720	84.61
-4	259.6	10.620	75.37	-2	274.5	10.770	75.86	0	291.4	10.950	76.86	2	314.7	11.020	78.90	4	335.0	11.250	80.14
-4	243.4	10.930	72.03	-2	253.6	11.120	71.52	0	262.4	11.340	70.73	2	288.1	11.310	73.17	4	314.4	11.440	75.70

2.1 由同一角度的不同泵流量预测泵扬程

建立一个用于预测固定转速下扬程随叶片角度和流量变化特性的具有“2-7-1”结构的 BP 网络。输入层

的 2 个神经元,一个用于输入叶片角度参变量,另一个用于输入流量参变量,输出层的 1 个神经元用于输出对应流量下的扬程参变量.隐层中的神经元个数用“反复试验(Trial-and-error)”方法确定(下同).随机选取 10 个样本,采用前述 BP 算法对所建网络进行训练.网络经 30 000 次训练后,误差 E 值满足了设定值 0.02 的要求.将训练好的神经网络用来预测叶片安放角 $\beta=0^{\circ},-2^{\circ},-4^{\circ}$ 时不同流量所对应的扬程值.网络预测值、试验值及它们的差值结果对比情况见表 2.从表 2 可以看出,预测值与实测值之差小于 0.078 m.这说明本文所建立的人工神经元 3 层 BP 网络模型是正确的.

表 2 不同叶片角度时的扬程预测值 H 和试验值 H' 及其误差 ΔH

Table 2 Predicted value and test data of lift head and their difference at different blade angles

$\beta(^{\circ})$	H/m	H'/m	$\Delta H/\text{m}$	$\beta(^{\circ})$	H/m	H'/m	$\Delta H/\text{m}$	$\beta(^{\circ})$	H/m	H'/m	$\Delta H/\text{m}$
0	5.719	5.726	-0.007	-2	5.708	5.639	0.069	-4	5.329	5.407	-0.078
0	6.155	6.098	0.057	-2	7.433	7.349	0.084	-4	7.588	7.524	0.064
0	8.472	8.537	-0.065	-2	9.162	9.168	-0.006	-4	9.597	9.595	0.002
0	9.518	9.537	-0.019	-2	10.771	10.866	-0.095	-4	8.067	8.007	0.060

注 $\Delta H=H-H'$.

2.2 由不同叶片角度、不同泵流量预测泵效率

根据不同叶片角度、不同流量和不同扬程来预测泵效率.建立具有“3-9-1”结构的 BP 网络(输入层有 3 个神经元,输出层有 1 个神经元),在叶片角度、流量、扬程同时变化的情况下预测泵效率.输入层 3 个神经元分别用于输入叶片角度、流量和扬程 3 个参变量.输出层的 1 个神经元输出值用以表示输入叶片角度、流量和扬程同时变化时的效率参变量.从 5 个不同叶片角度性能曲线所对应的样本中随机选取 3 个曲线的样本(42 个样本对)对所建的网络进行训练.本例以 $\beta=4^{\circ},-2^{\circ},-4^{\circ}$ 作为训练样本, $\beta=2^{\circ},0^{\circ}$ 作为检验值.网络经 30 000 次训练后,误差 E 值满足设定值 0.02 的要求.训练好的样本用剩余 2 个曲线样本进行了检验,图 2 表示了上述预测试验中的一种情形.由图 2 可知,检验样本与预测结果具有较好的一致性.实际上,所建网络经过任何 3 个叶片角度性能曲线样本的训练后,均能相当准确地预测剩余 2 条曲线样本所对应的效率参数.

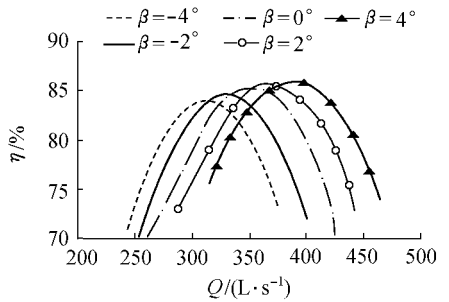


图 2 叶片角度、流量和扬程变化时效率的预测结果

Fig. 2 Predicted result of efficiency at the variation of blade angle, flow rate, and head lift

3 结 语

- a. BP 网络原理简单,算法容易实现,用其来预测泵的性能具有一定的精度和可行性.
- b. 用 BP 人工神经网络预测泵的性能,可以克服传统性能曲线获取方法试验费用昂贵和预测准确性差的缺点,尤其适用于轴流泵运行在线监测和自适应控制一类问题.一个经过良好训练的神经网络不但能准确预测高效点的性能,还能准确预测非高效点的性能.
- c. 由于网络的预测精度可以随着训练样本的增加而增加,网络的训练可以在样本的在线收集中进行,网络的质量可以随着新样本的提供而自适应地提高.利用经过大批样本训练的 BP 网络,可以较准确地预测泵性能,且这种预测可以提高试验效率,降低试验成本.因此,利用 BP 网络进行泵性能预测的方法也特别适用于处理不可能一次性进行试验测量的泵性能预测问题.
- d. 利用 BP 网络和其他的神经网络模型,可以很好地对泵性能进行综合预测.神经网络模型是综合预测水泵性能的一种有效而简单的新工具,神经网络这一新技术亦可应用于流体动力工程领域的各个方面.

参考文献:

[1] MARTIN T H, HOWARD B D, MARK H B. 神经网络设计[M]. 戴葵,译.北京:机械工业出版社,2002.
[2] RUMELHART D E, HINTON G E, WILLIAMS R J. Learning representations by back-propagating errors[J]. Nature, 1986, 323: 533-536.
[3] 董恩国,张蕾.基于遗传神经网络算法的发动机性能预测[J].起重运输机械,2005(9):38-40.

[4] 王丽春 ,樊会元 .离心压缩机性能预测的神经网络方法 [J]. 华东冶金学院学报 , 2000 , 17 (2) : 42-45 .

[5] WHITAKER K W . Specifying exhaust nozzle contours with a neural network [J]. AIAA Journal , 1993 , 31 (2) : 273-277 .

[6] 聂书彬 ,关醒凡 ,刘厚林 .利用神经网络预测离心泵性能的探索 [J]. 水泵技术 , 2002 (5) : 16-20 .

[7] 关醒凡 .现代泵技术手册 [K]. 北京 : 宇航出版社 , 1995 .

[8] 江苏大学 .轴流泵系列模型试验 [R]. 镇江 : 江苏大学 , 2005 .

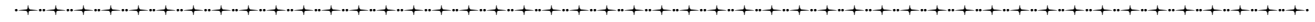
Water pump performance prediction with artificial neural network

GE Qiang ,XU Liang-liang ,DUAN Xiao-hui

(School of Energy and Power Engineering , Yangzhou University , Yangzhou 225009 , China)

Abstract :The main factors influencing the performance of pumping units were analyzed. Based on the relationships between the pump performance and each factor , a prediction model for pump performance was constructed by using artificial neural network , and the model was trained with the test data of an axial-flow pump. Then , the BP neural network was employed for prediction of the relationship of lift head and efficiency-performance index with the flow rate , the angle of blade installation , etc. of an axial-flow pump model. The results show that the BP neural network can improve the accuracy in performance prediction , and it can shorten the time and reduce the cost of experiments.

Key words :artificial neural network ; pumping unit ; performance prediction



《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 ,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 ,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考.

本刊创办于 1957 年 ,是我国中文核心期刊 ,在国内工程技术界和学术界有较大影响.刊载的文章中 ,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果 ,部分达到了国内领先和国际先进水平 ,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 ,发挥了较大的社会效益和经济效益 ,深受工程界和科技界赞许 ,并获得首届中国高校优秀科技期刊奖以及中国期刊方阵“ 双效期刊 ”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号.

本刊每逢单月出版 ,国内外公开发行.邮发代号 28-63 ,每期定价 12.00 元 ,全年 6 期共 72.00 元.欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系.联系地址 :南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部 邮政编码 210098.联系电话 025-83786343.