

基于 ANN 的空气处理单元换热器的动态性能预测

胡钦华¹, 李奎山¹, 苏廷弼²

HU Qin-hua¹, LI Kui-shan¹, Albert T.P.So²

1. 东莞理工学院, 广东 东莞 523808

2. 香港城市大学 建筑系, 香港

1. Dongguan University of Technology, Dongguan, Guangdong 523808, China

2. Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, Hong Kong, China

E-mail: qinhuahu@sina.com.cn

HU Qin-hua, LI Kui-shan, Albert T.P.So. Prediction of dynamic performance for heat exchanger mounted in AHU-based on ANN. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(3): 240-241.

Abstract: This study uses the neural network technique to obtain the dynamic models of the heat exchanger mounted in the Air Handler Unit (AHU). Almost all of the predicted values are within 95%~105% of the actual measured values. And the consistence between measured and ANNs predicted results is achieved by a Mean Relative Error (MRE) < 2.5%. The results show that neural networks, especially the BP network, can be an easily modeling tool for obtaining the models of heat exchangers and similar thermal system.

Key words: heat exchanger; heat transfer rate; artificial neural network

摘要:应用人工神经网络技术对安装在空气处理单元(Air Handler Unit, AHU)中的换热器建立了动态神经网络模型。该模型的所有预测值基本都在实际测量值的95%~105%之间。实际测量值和神经网络模型预测值之间的平均相对误差(Mean Relative Error, MRE)小于2.5%,充分说明模型逼近实际对象的精确性。实验结果显示,神经网络,尤其是BP神经网络,可以作为一个容易的建模工具来获得空气处理单元中换热器的神经网络模型,同时也很容易应用在类似的热系统中。

关键词:换热器; 换热率; 人工神经网络

文章编号: 1002-8331(2008)03-0240-02 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP301.6

1 引言

换热器是广泛应用于制冷系统和空气处理系统的一种重要设备。它的机理复杂以至于很难用热力学第一原理来预测它的静态和动态性能。在过去的几年里, Yasar Islamogly 采用神经网络技术建立了换热器的差分模型^[1]。Yasar Islamogly 采用神经网络技术建立了换热器的稳态模型来预测换热器的换热率, Arturo Pacheco-Vega 等人^[2]研究了利用换热器的神经网络模型来估计换热率的精确性问题, Bechtler 等人^[3]运用神经网络建立了蒸汽压缩液态热泵的稳态性能模型, Gerardo 等人^[4]提出了使用神经网络对换热器进行动态预测和控制的方案。许多公开刊物上也列出了神经网络在 HVAC 系统中应用的大量实例, 并且神经网络模型的精确性也得到证实^[5]。从上面提到的参考文献中可以得出结论, 神经网络在工程应用中更有利于热力学分析。几乎所有的神经网络在换热器中的应用都与制冷有关。本文重点研究人工神经网络方法在空气处理单元(AHU)中换热器建模上的应用。神经网络在制冷系统和空气调节中的应用以多层神经网络应用最多, 这些方法在冷机的建模中也同样适用^[5-6]。

2 神经网络

神经网络是由权值向量和学习算法组成的系统, 其学习算法采用由一组线性模式输入来产生一组数字模式输出表示实际的输出。在各种不同用途的人工神经网络的多种结构中, 多层前馈神经网络是目前最流行的。在 1980 年~1990 年, 许多作者给出了结论性的证明, 即神经网络可以在任意精度逼近任一非线性函数。因此神经网络在许多领域得到广泛应用, 包括函数逼近和模式识别。神经网络模型代表了系统辨识和预测中的一种新的方法。神经网络类似“黑箱”运行但不需要系统的详细信息。相反, 他们通过学习先前记录的数据来学习输入参数和可控或者不可控变量之间的关系, 同非线性回归方法类似。神经网络的另外一个优点是它们具有通过相关参数来处理大而复杂的系统的能力。

3 系统和实验数据的描述

本实验是在香港城市大学江森自控实验室的 HVAC 系统上完成的。所研究的换热器(表面积 0.306 8 m²(0.82 m*0.44 m))

基金项目:广东省科技计划项目(The Science & Technology Program of Guangdong Province of China under Grant No.2005B33302011, No. 2006B13301005)。

作者简介:胡钦华(1977-), 博士生, 讲师, 主要研究方向: 智能建筑、人体热舒适研究; 李奎山(1959-), 教授, 主要研究方向: 机电一体化、智能建筑; 苏廷弼(1959-), 教授, 主要研究方向: 智能建筑、人体热舒适研究。

是安装在该系统 AHU 中的。该实验系统由两部分组成。一部分是空气处理单元 AHU, 带有送风管道和回风管道; 另一部分是制冷系统, 由蒸发器、压缩机、冷凝器和热力膨胀阀组成。风道、换热器、变频器和风机是 AHU 的主要组成部分。通过改变由变频器控制的送风风机的转速来改变通过换热器的空气流量。同时改变冷冻水管上的三通水阀的控制电压来改变通过换热器的冷冻水流量。在实验期间, 可以通过两种方式来改变: 一种是通过控制面板来手动调节; 另外一种是通过计算机由程序直接控制。

数据采集是通过与计算机相连的 ADLINK 的数据采集板来得到的, 采样间隔 1 min。冷冻水进出换热器的温度和空气温度都是采用美国江森自控有限公司提供的电子温度传感器测得的, 精度为 ± 0.2 K。冷冻水的流量采用精度为全刻度 $\pm 1\%$ 的流量表测得, 同时采用精度为量程 $\pm 5\%$ 的风速传感器来测量通过换热器的风速。空气流量则通过下面的公式计算得到:

$$m_a = V_a * S_n * \rho_a \quad (1)$$

换热率采用下面的公式计算得到:

$$Q = m_{chw} * c_{chw} * (T_{chw}^{out} - T_{chw}^{in}) = m_a * c_a * (T_a^{in} - T_a^{out}) \quad (2)$$

其中 c_{chw} 和 c_a 分别是水和空气的比热。由于空气侧和冷冻水侧的换热率有轻微差别, 所以使用二者的平均值。此解决方案由计算机通过 VB 编制而成。

4 换热器动态性能的预测

BP 模型的建立是在基于实验数据的基础上, 在 MATLAB 下实现的, 因为 MATLAB 提供了矩阵运算和易于编程的特点。通过 VB 开发的计算机实时监控程序使得本文的 BP 模型得以应用。三通冷冻水阀的控制电压由四阶的逆 M 序列给出, 驱动送风机的变频器的控制电压由两个不同频率的正弦信号叠加而成。当系统启动并进入稳定状态时, 通过计算机给系统施加控制信号。从而使得冷冻水流量和空气温度有规律的变化, 并且冷冻水和空气温度的变化处于同一工况下。

可以利用冷冻水通过换热器的出水温度 T_{chw}^{out} 来控制压缩机的旁路运行。由于本实验系统中冷机规模小并且负荷相对稳定, 所以这种能量控制方法能够用在本实验系统中。送风风机的速度和冷冻水的温度是由送风温度 T_a^{out} 来决定的。可以通过实验来得到三者之间的最佳匹配关系。目的是为了使得风机和压缩机的输入功率最小。而安装在空气处理单元中的换热器则是将空气调节系统和制冷系统两个部分连接为一个整体的关键部件。所以对换热器的动态行为进行仿真显得尤其重要。本文中对于控制方案未进行讨论。

通过神经网络模型来对该换热器进行动态预测, 该动态神经网络模型在图 1 中给出。网络输入选择为 m_a 、 m_{chw} 、 T_a^{in} 、 T_{chw}^{in} , 输出选择为 T_a^{out} 和 T_{chw}^{out} 。在对一个系统进行动态建模的时候一个很重要的问题是要考虑系统的阶次。神经网络在对一个未知阶次的系统进行仿真时, 阶次越高, 就越是需要更多过去时刻的变量的值来作为神经网络的输入参数。Gerardo 指出, 如果要选择一个整数作为系统的阶次, 一般可以选择 2 阶而不需要选择更高的阶次^[4]。在本文的实验中, 系统有两个回路—空气回路和冷冻水回路, 通过阶跃响应可以选择两个回路的阶次均为 1 阶。所以只需要一个过去时刻的变量值来进行预测。

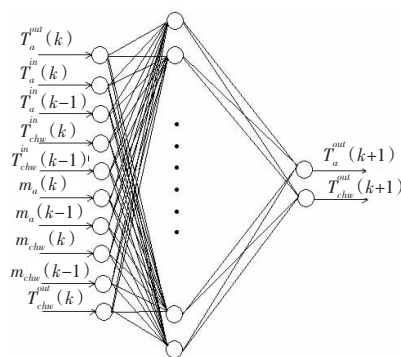


图1 动态预测神经网络结构图

用 502 组实验数据中的 410 组数据对该神经网络进行训练, 经过 484 240 步之后网络训练结束, 网络的性能函数 MSE 收敛到 0.001 (目标值为 0.001)。剩下的实验数据仅用作最后的模型验证。

用余下的 92 组实验数据对该神经网络的模型进行验证。图 2 和图 4 分别比较了冷冻水通过换热器的出水温度、换热器出来的空气温度的实验值和预测值。图 3 和图 5 则给出了二者实验值和预测值之间的相对误差。从图中可以看出几乎所有的 (冷冻水出水温度数据的 90%, 从换热器出来的空气温度数据的 98.9%) 预测值都在实验值的 95%~105% 范围之内。在冷冻

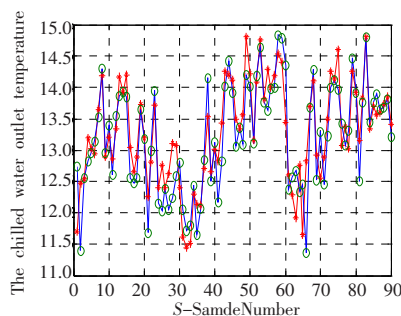


图2 出水温度预测值和测量值比较

(* 表示测量值, o 表示预测值)

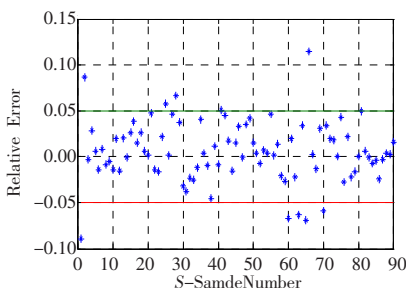


图3 出水温度测量值和预测值之间的相对误差

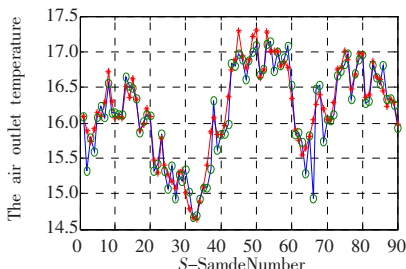


图4 出口空气温度预测值和测量值比较

(* 表示测量值, o 表示预测值)