

基于人工神经网络的制冷系统工况模拟

周观民, 王东霞

(济源职业技术学院 信息工程系, 河南 济源 459000)

摘要: 针对人工神经网络技术在制冷空调系统中的仿真应用, 文章建立了单回路制冷系统的性能仿真系统; 通过实验模拟制冷系统在夏季的负荷变动情况, 得到了用于神经网络模型训练的样本数据; 对制冷系统进行多种神经网络结构的建模, 并进行了神经网络中各种结构参数对模型精度影响的分析; 利用训练好的双隐层神经网络模型, 研究了空调机组性能的影响因素, 包括压缩机频率、室内外温度等; 模拟结果表明, 机组 EER 随着压缩机频率增加先增加后减少, 随着室内温度升高而增加, 随着室外温度升高而减少; 结果表明, 人工神经网络方法是分析制冷机组性能的一种有效途径。

关键词: 人工神经网络; 制冷系统; 系统仿真; 双隐层神经网络; EER

Simulation of Operating Conditions for Refrigeration System Based on Artificial Neural Network

Zhou Guanmin, Wang Dongxia

(Department of Information Engineering, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 459000, China;)

Abstract: According to the simulation application of artificial neural network technology in refrigeration and air conditioning system, This paper builds the performance simulation system of single loop refrigeration system. Through the experimental simulation of refrigeration system in changing in load in summer, sample data used for training the neural network model are obtained. Build a variety of neural network structure on the refrigeration system, and analysis of the influence of different structure parameters on the accuracy of the neural network model. Using the trained neural network model with two hidden layers, the refrigeration system was simulated in this paper. The factors affecting performance of air conditioning units, which include the frequency of the compressor, outdoor temperature and indoor temperature, were studied in this paper. Simulation results show that EER of the system first increases and then decreases with the increasing frequency of compressor, increases with the increasing indoor temperature, and decreases with the increasing outdoor temperature. The results show that using artificial neural network method to analyze the performance of refrigeration units is an effective way.

Keywords: artificial neural network; refrigeration system; system simulation; two hidden layer neural network; EER

0 引言

仿真技术可以减少大量的实验过程, 节省大量的人力物力, 提高研究效率, 在制冷空调系统的运行特性研究、产品技术创新以及系统控制中起到了非常重要的作用^[1]。经过多年的发展, 仿真技术在制冷空调系统的运行特性研究、产品技术创新以及系统控制中起到了非常重要的作用。

人工神经网络可以以任意精度逼近任一连续函数, 因此可以将人工神经网络技术应用到制冷空调系统的仿真研究领域^[2]。从 20 世纪 90 年代末以来, 制冷装置的仿真中引入了人工智能技术以及图论技术, 进一步丰富了制冷空调装置的仿真方法^[3]。然而制冷系统是一种复杂的多输入多输出非线性系统, 对于不同的系统都要重新建模, 通用性不高, 一些理想化处理也造成了很多误差来源, 所以急需一种新的方法来为制冷系统进行建模。利用人工智能技术, 可以避开传统方法中的诸

多不便, 并且具有很强的自适应、学习能力、鲁棒性及容错能力, 使用方便, 通用性强。

1 制冷系统仿真研究

1.1 实验方法

本文所建模型训练及检测采用的实验数据来自如图 1 所示的实验台。实验台主要用于研究空调机组的运行特性, 包括制冷量、机组功率及其影响因素。一般, 室外机直接置于室外, 室外环境由实际气候决定, 室外环境的温度随室外气候的变化而变化; 室内机置于室内, 室内负荷随室内热源或人员的变动而随之产生无规律性波动。室外气候环境和室内负荷特点波动无规律性和无周期性, 且室外环境的变化缓慢, 室内负荷的变化随机性较强, 因此很难模拟一个完整的负荷变动周期, 并记录制冷系统在此负荷变动周期内的动态运行特性^[4]。而本实验台则是建立了图 1 中的风路系统, 通过调节阀门可以模拟蒸发器、冷凝器出入口温度湿度, 即模拟微观气候环境。

利用该实验台, 通过调节风系统各个阀门的开来制造微观气候环境, 从而模拟空调系统在夏季的负荷变动情况, 记录空调系统完整的运行特性。具体的模拟实验中, 压缩机的频率分为 5 个频率段, 分别是 20 Hz、30 Hz、40 Hz、50 Hz、60 Hz, 在每一个频率段中, 分 7 个调节过程对其相关的风道阀门进行调节, 以实现室内环境温度升高、降低 (温度变动范

收稿日期: 2014-10-23; 修回日期: 2014-12-04。

基金项目: 河南省教育厅青年骨干教师资助计划项目 (2010GGJS-260); 河南省科技攻关项目 (1321022102293); 河南省科技攻关项目 (2012SJGLX342)。

作者简介: 周观民 (1964-), 男, 河南济源人, 副教授, 主要从事计算机应用、网络技术方向的研究。

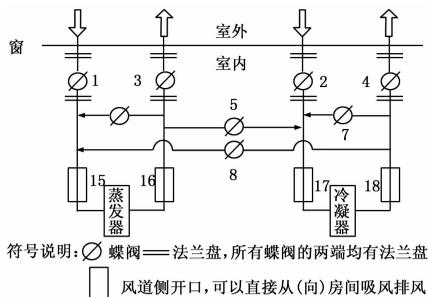


图 1 多回路制冷控制系统风道流程图

围大致为 15~35℃), 室外环境温度升高、降低(温度变动范围大致为 20~40℃), 以及室内外温度同时升高、降低等各种情况。记录数据包括压缩机频率机组总功率、蒸发器入口温度、蒸发器出口温度、冷凝器入口温度、冷凝器出口温度、蒸发器入口湿度、蒸发器出口湿度。

1.2 神经网络仿真模型的建立

本文首先对制冷系统进行单隐层结构增量方式权值修正的建模, 输入层参数包括压缩机频率, 蒸发器入口温度, 冷凝器入口温度, 蒸发器入口湿度; 输出层参数包括制冷量, 机组总功率, 蒸发器出口温度, 冷凝器出口温度, 蒸发器出口湿度; 中间隐层节点数可以先根据 Kolmogorov 定理估计^[5], 然后用试凑法确定。通过进行大量的试算发现, 隐层节点数在 9 以上便可以达到较高的精度, 根据经验显示, 隐层节点数增大更容易得到更高的拟合精度, 但是增加到一定程度后不仅增加训练时间, 还会产生过拟合, 影响预测精度。

BP 算法容易陷于局部极小值点、收敛速度慢, 加入动量项可以使学习过程略过局部最小值进入全局最大值^[6]。在进行附加动量法的训练程序设计时, 必须设定条件判断来正确使用其权值修正公式。本文做网络的性能评价时, 利用测试集数据进行评价, 测试集内的数据皆未出现在训练集中。测试集里的输入向量输入训练后的网络, 得到 ANN 预测的输出参数, 与实验数据比较进行性能评估。

双隐层建模结构如图 2 所示。具体算法与单隐层一致, 并且因为批量方式的优势正向反向传播运算时的运算与单隐层所述相似, 公式中增加一个类似的式子即可。为了获得比神经网络模型更优的预测模型, 本文参考文献^[7]建立网络模型, 采用批量方式学习, 对所建立的模糊神经网络模型算法进行推导, 也分为正向传播及反向传播, 并得到了相应的算法。

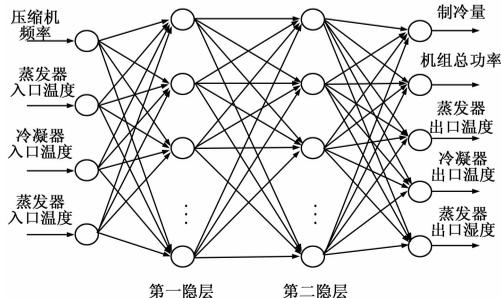


图 2 双隐层神经网络结构

2 模型预测结果的比较

首先, 对单隐层神经网络模型误差修正为增量方式时与批量方式时进行对比。采用固定学习率, 选取学习率为 0.03、0.02、0.01、0.005, 动量因子选取为 0.9, 且两个模型选取相同的模型结构, 即相同的隐层节点数, 最大迭代次数为 30 000。另外由于初始权值的不同, 网络的训练结果是不一样的, 为了有可比性, 本文对两种模型采用同样的初始权值阈值, 即首先多次运行程序, 此时每次的初始权值阈值不同, 观察训练结果, 选取训练结果较好的那一次, 保存初始权值阈值作为比较时的初始权值阈值。

对于增量和批量两种学习方式的模型, 随着学习率的增加, 即由 0.005 增加到 0.02 时, 此时批量学习方式的模型训练过程中没有波动, 而增量学习方式过程在中前部位置有波动, 模型训练到最后的均方误差都随着学习率增加而减少, 即收敛的效果越来越好, 并且批量方式的学习效果较好。而当学习率增加到 0.03 时, 两者皆出现很多的波动一直持续到训练过程结束, 而且此时两者的最后的均方误差都没有比 0.02 时小。

分析两者的学习过程可知, 在增量学习方式中, 每输入一个样本, 都要回传误差并调整权值, 这种训练过程中只针对每个样本产生的误差进行调整^[8], 难免顾此失彼, 导致更容易有波动, 而且导致不容易进入全局最小点, 不过两者在训练结果上相差并不是很大。另外批量方式不存在输入模式的次序问题, 算法稳定性好, 是有平均效应的梯度下降法; 增量处理更适用于在线学习问题, 要求训练模式输入有足够的随机性, 而且对于输入模式的噪声比较敏感, 对于剧烈变化的输入模式效果比较差。综上所述, 本文在进行其他结构建模与分析时选择了批量方式。

本文在此仅对批量形式的 3 种模型进行对比。在对比这些模型时, 皆首先通过多次的初始化权值阈值后, 寻找训练效果较好的作为最后对比的模型。对比发现, 双隐层结构的模型与模糊神经网络模型学习都比单隐层结构学习要快, 并且最后更容易达到更小的均方误差; 模糊神经网络学习速度最快, 仅仅 3 000 次迭代后便达到能达到的最小均方误差, 是另外两者迭代次数的 1/10, 但是最终达到的最小均方误差不如双隐层结构时的。双隐层结构模型与模糊神经网络结构的效果总体上比单隐层结构效果要好些, 而前两者效果差不多。

对比各种模型的优缺点, 双隐层结构的模型及模糊神经网络模型的最终效果要好, 对比两者, 双隐层结构模型最终训练误差容易达到更小的值, 模糊神经网络训练速度最快; 对比两者的网络结构, 双隐层结构最终隐层节点数只选用了 22, 而模糊神经网络隶属函数选为 3 个时, 规则层节点数达到 81 个, 因为时间问题, 没有考虑模糊神经网络的结构优化, 即对规则层进行修剪等等, 结构上双隐层结构更简单些, 并且模糊神经网络节点数过多容易造成网络的过拟合, 不利于数据的预测; 然而模糊神经网络结合了神经网络的学习能力和模糊逻辑的推理能力, 且网络结构和权值具有一定的物理含义, 所以模糊神经网络在理论上效果应该更好些, 但是本文因为时间问题没能进一步对模糊神经网络进行优化; 综上所述, 主要考虑各种模型的建立的完善度及精确度, 本文在后文的制冷系统性能分析

中利用双隐层结构模型。

图 3 示意了选用的双隐层神经网络的预测组每个输出的预测精度，如图可见，此神经网络可以很好的进行本制冷系统的模拟。

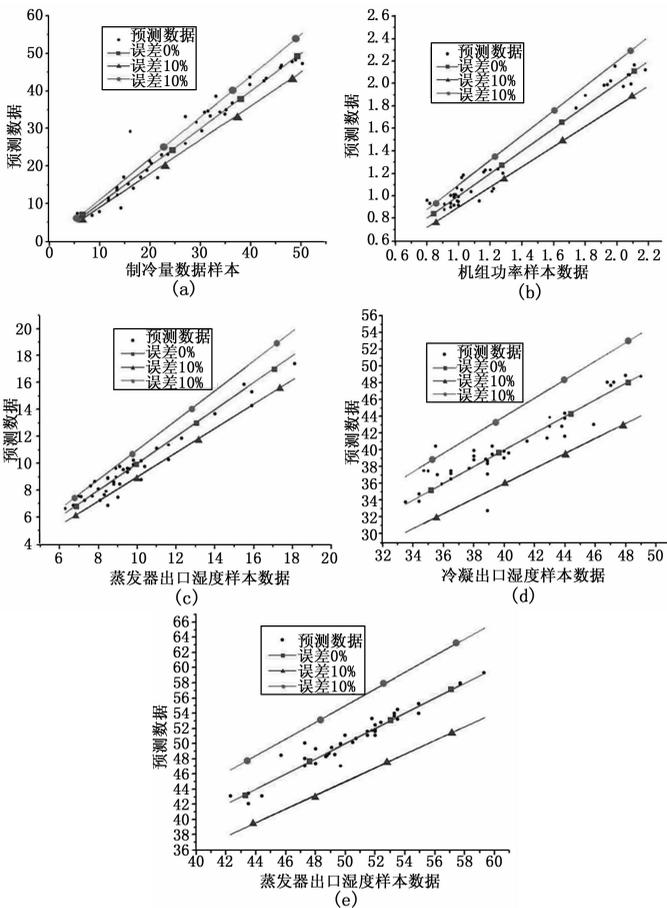


图 3 网络预测精度

3 制冷系统的性能实验结果与分析

利用文中建立的模型进行制冷系统系统性能分析。选用性能较好的双隐层模型进行制冷系统模拟。

3.1 压缩机频率对机组性能的影响

当室内温湿度、室外温度不变，即蒸发器冷凝器入口空气参数不变时，逐渐增加压缩机频率 20~50 Hz，研究室内温度 16℃、室外温度 30℃、相对湿度 30% 时制冷系统性能变化。机组 EER 变化如图 4 所示。

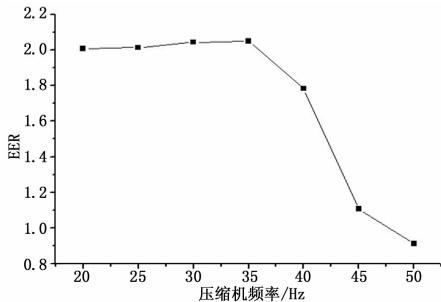


图 4 机组能效比与压缩机频率关系

本文分析认为，当压缩机的频率上升时，制冷循环的冷凝温度和蒸发温度分别上升下降，其压缩比增大，容积效率有一定程度的降低；蒸发温度下降，导致吸气比容增大；在压缩机频率较小时，随着压缩机频率的增大，制冷剂的循环量增大，制冷量增加，频率增加造成的能耗增加相对来说要小，所以 EER 增加^[9]；但是随着频率的继续增加，蒸发器的换热能力不够，或者因为冷凝温度与蒸发温度的上升与下降导致的单位制冷量下降相对制冷循环量的增加幅度较大，导致制冷量增加相对于压缩机能耗增加要小，所以 EER 减小。

从机组能效比与压缩机频率关系来看，在压缩机频率较低时，机组的能效比较大，也更加节能省电，所以在机组运行时，在保证制冷量符合要求时，应该控制压缩机频率向更加接近 EER 最大值的方向改变。已知室内外温度湿度，在对制冷机组进行控制时，可以利用本文建立的模型计算不同压缩机频率时机组的制冷量以及机组 EER，选取其中制冷量符合制冷负荷且机组 EER 最大时的压缩机频率作为控制的输出，从而对制冷机组进行优化控制。

3.2 室内温度对机组性能的影响

利用模型研究室内温度对机组性能的影响。设定参数：频率 50 Hz、冷凝器入口温度 32℃、蒸发器入口温度 15~28℃ 时，机组性能与室内温度的关系如图 5 所示。

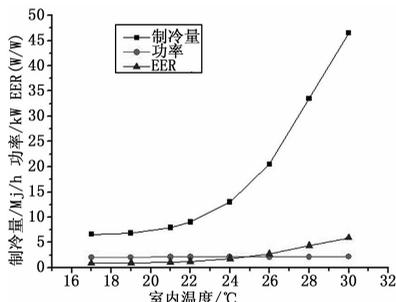


图 5 机组性能与室内温度关系

依据理论循环，本文分析这种变化趋势的原因：室内温度的升高，蒸发温度升高，蒸发压力上升，吸气比体积减小，制冷剂流量增大且单位制冷量增加，所以制冷量增加。单位压缩功减小，但是制冷剂流量增加，且此时制冷剂流量增加较单位压缩功减小的幅度大，所以功率增加。此处结果是制冷量与功率的综合作用下，机组 EER 增加。从本文模拟的室内温度与机组性能关系看，随着室内温度增加，机组制冷量及 EER 增大，所以在满足人体舒适度的情况下，室内温度设置越高越节能。

3.3 室外温度对机组性能的影响

蒸发器入口温度设定为 23℃，蒸发器入口相对湿度为 30%，冷凝器入口温度 23~39℃，频率 50 Hz。结果如图 6 所示。

依据理论循环，当室外温度升高时，制冷机组的冷凝温度升高，压缩比增加，单位压缩功增加，吸气比体积基本不变，制冷剂流量基本不变，所以功率增加。单位制冷量减少，制冷剂流量不变，所以制冷量降低。两者综合作用，机组 EER 降低。由机组性能与室外温度的关系可知，室外温度越高，则机组耗能越大，但是室外温度由自然条件决定，一般不能人为调节，但是可以考虑将室外机组放置在背阴处、使用水冷等从而

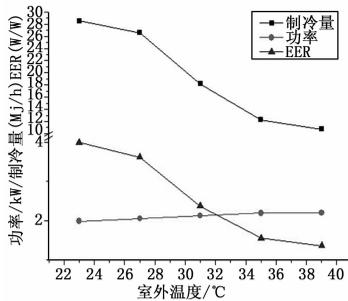


图 6 机组性能与室外温度关系

降低冷却介质温度, 也即冷凝温度, 达到节能的目的。

4 结论

本文将神经网络技术应用到制冷系统的模拟仿真中, 对制冷系统进行了多种神经网络结构的建模, 并进行了各种结构参数对模型精度影响的分析, 选取了性能最好的模型进行了制冷系统性能分析, 对于本制冷系统, 双隐层模型比单隐层模型学习速率更快, 模糊神经网络比双隐层模型学习速率更快, 因而本文最终选取双隐层神经网络模型进行制冷系统性能分析。进一步的本文研究了压缩机频率及室内外温度对制冷机组性能的影响, 并提出了几种节能控制方法, 包括最优压缩机频率、温度设定优化等。本文所建立的模型学习规则皆采用常规 BP 学

(上接第 2349 页)

性及有效性。本文系统能够方便、有效的完成空气质量指数监测数据的采集, 可扩展性高, 不但适用于农村、市内、郊区等日常场合, 也适用于突发情况。

针对随机抽取的 10 个监测点, 分别对本文系统和传统系统运算时间、检测误差进行实验, 实验结果分别如图 8 所示。

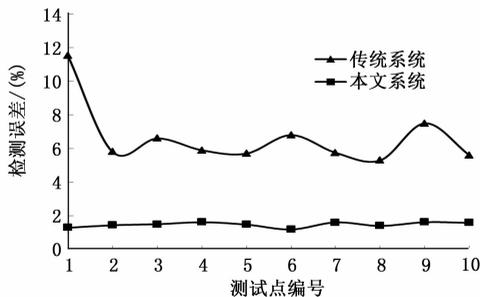


图 8 检测误差对比

从图 8 实验结果可得中, 本文系统的运算效率优于传统系统, 检测误差在 2% 以内。实验数据说明本文系统采用人工嗅觉进行停车检测时能够确保检测系统工作的高效性, 准确性, 具有重要的应用价值。

5 结束语

本文设计了一种于 SnO₂ 人工嗅觉探测的空气质量指数监测系统, 系统通过空气质量指数现场网络监测节点采集、处理以及传递空气质量指数数据, 采用 ARM S3CA510B 进行 DTU 数据传递, 实现空气质量指数数据的高效率、大规模的传递; 使用汇聚节点模块通过 GPRS 网络将数据传递到监管终端, 监管终端将管理命令通过 GPRS 网络反馈到汇聚监测节点, 实现

习方法, 虽然采用了各种优化方法, 但是仍存在陷于局部最小值及收敛慢的情况, 下一步应该考虑采用二阶导数信息进行权值调整, 以及其他学习方法。

参考文献:

- [1] 杨亮. 基于仿真的制冷系统稳健设计方法研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [2] 陈文鼎, 赵哲身. 基于 BP 神经网络的空调负荷预测 [J]. 节能技术, 2010, 28 (1): 15-24.
- [3] 刘燕飞. 单元式空调机组制冷系统仿真研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [4] 房长征, 史慧, 韩立明, 等. 基于粒子群优化神经网络的卫星故障预测方法 [J]. 计算机测量与控制, 2013 (7): 1792-1796.
- [5] 祝用华, 晋欣桥, 傅思劼, 等. 变流量多蒸发器制冷系统仿真通用快速算法研究 [J]. 制冷学报, 2013 (6): 76-83.
- [6] 王玲. 基于 BP 算法的人工神经网络建模研究 [J]. 装备制造技术, 2014 (1): 164-169.
- [7] 吴艳辉, 陈雄. 多输入模糊神经网络结构优化的快速算法 [J]. 复旦学报, 2005, 44 (1): 56-64.
- [8] 王晓军. 神经网络建模方法及数据挖掘在煤造气过程中的应用 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [9] 韩广, 乔俊飞, 薄迎春. 溶解氧浓度的前馈神经网络建模控制方法 [J]. 控制理论与应用, 2013 (5): 585-591.

空气质量指数数据的远程监测; 采用监测管理终端为管理人员提供不同的监测处理、控制处理以及空气质量指数监测相关数据检索和汇总分析等人机界面。对系统空气质量指数信息流的传递流程图进行了详细分析, 给出了系统数据通过串口进行通信的代码以及系统监管终端使用套接字实现网络通信的核心源码。实验结果说明, 与传统系统相比, 所提系统可实时监测出空气中 CO、SO₂ 等污染气体的浓度, 具有很高的实用性及有效性。

参考文献:

- [1] 崔九思, 王钦源, 王汉平编著. 大气污染监测方法 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [2] 崔小准, 李懿, 刘庆军. 导航卫星导航信号频谱自动监测和判读软件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (1): 4-6.
- [3] 贾靖, 胡以怀, 常勇, 等. 基于 GPRS 技术的船舶主机远程监测系统 [J]. 中国水运, 2007, 5 (12): 101-102.
- [4] 王朋, 刘毅敏, 徐望明. 一种基于 GPRS 技术的远程水质检测系统 [J]. 微计算机信息, 2010, 7 (1): 78-80.
- [5] 李秀红, 黄天戌, 孙忠富, 等. 基于 GPRS/SMS 的嵌入式环境监测系统 [J]. 吉林大学学报, 工学版, 2007, (6): 1409-1413.
- [6] 陶永. 网络中心监测系统的设计与实现 [D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2011.
- [7] 周斌, 刘文清, 齐峰, 等. 差分吸收光谱法测量大气污染的浓度反演方法研究 [J]. 物理学报, 2001 (9): 1818-1822.
- [8] 候培国, 雷巧玲. 基于无线传感器网络的空气质量监测系统 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2009, (3): 109-112.
- [9] 万国峰, 骆岩红. 基于无线传感网络的空气质量指数监测系统的设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2012 (1): 44-46.
- [10] 程传明, 王平, 施文灶, 等. 有害气体监测中无线传感网络节点的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2009 (1): 0154-0157.