DOI: 10.3901/JME.2019.06.194

变频空调实际运行模式识别及数据挖掘^{*}

梁志豪¹ 巫江虹¹ 谢子立²

(1. 华南理工大学机械与汽车工程学院 广州 510641;
2. 多伦多大学文理学院 安大略 M5S 2E8 加拿大)

摘要: 变频空调的长期运行数据是空调在实际环境中运行状态最直接的反映, 空调运行的内在规律潜藏在其长期的运行数据中, 分析其长期运行数据时, 由于数据冗余、存在异常数据等原因, 需要采用数据挖掘的方法进行研究。采用聚类算法进行分析, 空调的运行模式可总结为三种模式, 即上午高负荷模式、下午高负荷模式以及低频平稳模式, 三种模式下空调的送风温度都比较接近, 但室外温度有所区别。上午(下午)高负荷模式中, 室外温度在上午(下午)最高, 功率及制冷性能系数(Energy efficiency ratio, EER)分别处于峰值及谷值, 低频平稳模式下, 室外温度并不高, 开机后空调运行比较稳定, 运行参数变化不大。此后, 采用控制变量法和多项式拟合来分析环境工况参数对空调性能的影响, 室外侧环境温度、空调回风温度的升高均导致空调的功率增加, 而空调的 EER 随着回风温度的升高而增加, 随着室外温度及空调的功率(运行频率)的增加而下降。采用神经网络算法, 研究基于空调送风侧参数预测变频空调性能的方法, 并建立神经网络预测模型, 该方法的预测误差在 15% 以内, 可以通过控制空调运行时的送风侧参数, 达到控制空调性能的目的。最后, 根据以上研究成果, 提出变频空调控制优化方法, 提高空调在线长期运行能效。

关键词: 变频空调; 模式识别; 数据挖掘; 能耗分析; 优化运行

中图分类号: TK121

Variable Frequency Room Air Conditioner Operation Pattern Recognition and Data Mining

LIANG Zhihao¹ WU Jianghong¹ XIE Zili²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641;
2. College of Arts and Sciences, University of Toronto, Ontario, M5S 2E8 Canada)

Abstract: The long running data of the variable frequency room air conditioners is the most direct reflection of their operation state in actual surroundings. Since the inherent law of air conditioners is hidden behind the long term operation data with a great quantity of redundancy and outlier data, data mining method is needed to solve this problem. The clustering algorithm is used for the analysis of air conditioners' operation modes. Three modes are concluded: morning high load mode, afternoon high load mode and stable low frequency mode. The temperature of air supply in the three modes is relatively similar, but the outdoor temperature is different. In the morning high load or afternoon high load mode, the outdoor temperature peaks in the morning and afternoon, meanwhile the energy consumption reaches the maximum and the energy efficiency ratio (EER) reaches the minimum respectively. In the stable low frequency mode, the outdoor temperature is not high, the operation is relatively stable after starting, and the operating parameters are relatively stable. Since then, the controlling variables method and polynomial fitting method are applied to analyze the relationships between the operation parameters and the performance of the air conditioners. It shows that air conditioner energy consumption will increase with the increase of outdoor temperature, and the EER will rise as the indoor temperature increases but will decrease as the energy consumption (frequency) increases. Then the neural network algorithm is used to predict the performance of inverter air conditioner based on the air side parameters. And this model has been proved to be effective in predicting air conditioner energy consumption and EER with the error range within 15%, which means it can be used to control air conditioner performance through air conditioner inlet air parameters. Finally, according to the above research results, the optimization method of variable frequency air conditioner control is put forward to improve air conditioners' long term operation energy efficiency.

^{*} 国家自然科学基金(51776076)和国家重点研发计划“政府间国际科技合作”重点专项(2016YFE011810)资助项目。20180306 收到初稿, 20181028 收到修改稿

Key words: variable frequency air conditioner; pattern recognition; data mining; performance analysis; operation optimization

0 前言

变频空调具有调节电机运行频率、节能舒适的特点,近年得到广泛应用。变频技术研究从过去的性能分析^[1-2]与定频空调的性能差异^[3-4]逐渐变化到现在的高效控制、运行优化^[5-6]。定频空调与变频空调的节能潜力一致性评价是业内关注的重点,即使变频空调的季节能效比(Season energy efficiency ratio, SEER)值较高,但其在某些时段运行的电量消耗仍会比 SEER 相对较低的定频空调高^[7],如何合理评价变频空调实际节能效率是亟待解决的问题。

变频空调控制方式,一般是基于室内温度与设定温度的相互关系,进而调整电机运行频率,环境工况的变化将导致空调的运行状态变化,同一天内不同时刻空调的运行状态也可能有比较大的区别,需要对空调在实际工作中的性能进行分析。建筑面积、楼层、房间朝向、室内外温湿度等环境参数以及用户使用习惯都对空调的能效造成影响^[8-9],从实际运行数据的角度对变频空调进行能耗分析更能了解变频空调的耗能特性。

空调运行数据是空调在实际环境中运行状态最直接的表现,对运行数据进行分析,可达到识别产品的运行模式、优化控制、判断故障类型等目的,如晋欣桥等^[10]在检测 HVAC(Heating ventilation and air conditioning, HVAC)二级水系统稳定传感器故障的过程中,采用数理统计的方法,结合参数间的能量守恒规律,建立传感器参数的诊断方程组,检测传感器的故障。王萌等^[11]解决某制造企业在制造过程质量改进相关数据“维度灾难”问题,并提出相应的质量改进措施。

尽管运行数据中有用的信息很多,但产品的内在规律潜藏在其长期的运行数据中,不能通过测量某一时刻的数据得到。分析空调长期运行数据时,由于数据冗余、数据量庞大等原因,直接分析比较困难,需要采用数据挖掘的方法对运行数据进行处理,深入探究运行数据中潜藏的变频空调运行规律。

在线监测日常空调的运行数据,结合数据挖掘工具有助于空调系统控制策略的优化。YANG 等^[12]通过在线监测建筑供暖系统一年内的运行数据,采用数据挖掘工具中的分类模型来预测不同环境工况下室内所需的合理供热量,有助于室内温度自动调节控制方案的优化设计。李炎波等^[13]提出“智慧空

调”的概念,记录存储大量的空调运行参数、用户使用习惯、气候参数等数据,对用户需求的明确,再结合当前空调系统的运行状态,采用云计算输出空调的控制策略,使空调系统能够处于最佳的运行状态,保障室内人员的舒适性要求,同时也起到了节能减排的效果。

此外,数据挖掘的方式也有用于故障诊断方面。雷亚国等^[14]基于深度学习理论建立机械装备的大数据健康监测系统,能自适应地提取设备的故障特征,且对故障的识别能力较高,相较于传统的故障诊断方法,有一定的优势。HOU 等^[15]通过监测 HVAC 系统运行过程的压力、温度等参数,采用粗糙集方法与人工神经网络方法分析系统正常运行时的数据特点,建立 HVAC 系统诊断模型,以检测系统压力、温度等传感器的异常。YU 等^[16]分析通风系统中送风温度、湿度、风速等运行参数之间的内在联系,采用关联图谱的方式来对通风系统中异常处进行诊断。杨文献等^[17]分析发动机在不同运行工况正常运行时的振动信号,采用一种统计学的智能数据挖掘方法,诊断发动机的故障位置。

为合理评价变频空调节能潜力,本文以广州某办公楼变频空调器的运行参数为样本,采用聚类算法分析空调器的运行参数在多个运行模式下的变化特点,基于控制变量及多项式拟合研究变频空调的实际节能效率与环境之间的关系,采用神经网络算法建立空调性能预测模型,最终建立变频空调的运行控制优化系统。

1 房间空调器在线监控研究方法

通过作者前期发表的论文^[18]中的监测设备对房间空调器进行数据采集,测试设备如图 1 所示,测量的参数及测量范围、精度见表 1。监控设备自

图 1 在线房间空调器运行参数监测设备

带 GPRS 模块, 能通过客户端实现运行数据的监控及储存。经过长期的监控, 最终收集到空调约一年的运行数据, 其中空调处于制冷模式的运行时间居多, 研究的重点也将放在空调的制冷模式上。

表 1 各测试参数测试范围及测试精度

测试项目	测试范围	测试精度
工作电压/V	180~250	± 1
工作电流/A	5~16	± 0.5
实际功率/W	500~4 000	± 0.5
功率因素(%)	50~99	± 1
室外环境温度/℃	-20~60	± 0.5
室外环境湿度(%)	20~99	± 5
室内机进出风温度/℃	-20~60	± 0.5
室内机进出风湿度(%)	20~99	± 5
出风口风速/(m/s)	0~10	± 0.5

2 变频空调运行模式识别

在空调的长期运行过程中, 由于室内外热环境的变化及用户使用习惯的不同, 空调的开启频率及运行时间有所不同, 但对于同一个地区的用户而言, 能够将空调运行模式大致归成一些特定的运行形式, 采用聚类算法分析这些特定运行模式下空调器的运行参数, 能改进其控制策略。

聚类分析是数据挖掘的一种算法, 该算法按照一定特定标准(如距离原则)把一个数据集分割成多个不同的子集, 不同子集内的数据区别较大, 同一子集内数据取值接近。因此, 采用聚类算法能够识别空调器的运行模式, 本文采用聚类算法中的 K-Means 聚类算法, 具体流程图如图 2 所示。

图 2 聚类算法的流程图

K-Means 聚类算法分析数据时需要先选择 k 个

对象作为 k 个子集的中心, 而初定的子集个数不同, 聚类得到的结果也不同。为了提高聚类的效果, 采用 DBI(Davies-bouldin index, DBI)指数, 即各子集类内距离与类间距离的比值, 来优化子集数 k 值的选择。DBI 指数较小, 即各个子集的类内距离较小而各子集间的类间距离较大, 这意味着同一子集内数据的相似性较大而不同子集间数据的差异性较大, 此时有较好的聚类效果。

采用搜集到的空调器一年内各天功率变化数据, 通过 K-Means 聚类算法, 对空调器功率一天内的变化进行分析, DBI 随子集数的变化如图 3 所示。

图 3 不同聚类子集数时的 DBI 取值变化

由图 3 可知, DBI 指数随着子集数 k 的增加呈现增减叠加的变化趋势, 当子集数 k 大于 12 时, DBI 值变化较小, 即聚类效果相近; 而子集数 k 等于 10 时, DBI 值最小, 聚类效果最佳。基于子集数为 10 时的聚类结果, 空调器一天内的功率常见变化模式如图 4 所示。

图 4 聚类算法得到的空调器功率常规变化模式

由图 4 可见, 在上午高负荷模式中, 用户开启空调后系统压缩机以较高频率运行来匹配高负荷, 随着空调器的设置温度与室内环境温度逐渐接近, 空调器的运行频率也逐渐降低, 保持两者平衡后空调以较低的频率运行; 在下午高负荷模式中, 早上用户开启空调后, 室内环境温度不稳定, 与空调器设置的温度存在偏差, 系统压缩机以较高频率运行; 在低频平稳模式下, 用户开启空调后, 室内环境温度与空调器设置温度较快趋于稳定, 空调负荷较小, 压缩机以较低频率运行。

空调器功率变化模式在各月的分布情况如图5所示,其中,下午高负荷模式在9~10月份的频率较高,这与广州地区在9~10月份时,室外温度平均气温在35℃以上有关。而低频平稳模式与上午高负荷模式在启用可能给调的各月都有分布。

图5 在不同月份的空调器功率变化模式分布情况

为了方便研究空调在制冷模式运行时的性能,减少由于空调机组长时间运行性能退化及每天用户使用空调习惯地不同对空调性能的影响,适当处理采集的空调运行数据(9~10月份),将这两个月中,空调的开机时间、运行持续时间调整到同一状态,即把每天的空调运行持续时间调整至相同的时间长度内,如图6所示。

(a) 空调运行参数处理前

(b) 空调运行参数处理后

图6 空调运行参数时间归一化处理示意图

采用时间归一化调整后,对制冷模式下一天内空调器各参数的变化进行聚类分析,如图6所示。

在上午高负荷模式时,上午室内环境温度较高,

用户开启空调,室内环境温度与空调设置温度偏差较大,系统压缩机一直以较高频率运行,耗功较大,系统功率及制冷性能系数(Energy efficiency ratio, EER)较低;直至室内温度降至与空调设置温度相近,空调以低频率运行,此时功率为400W;下午时候,随着负荷减小,空调的功率、回风温度也逐渐下降,系统EER和送风温度基本保持不变。

在下午高负荷模式中,空调开启后,功率增加较快,并达到峰值600W,但由于上午室内环境温度不高,空调回风温度和送风温度逐渐下降到设定值,空调功率也降低;到了下午,随着负荷增大,空调的回风温度和功率也逐渐增大,为匹配负荷,压缩机一直以较高频率运行,压缩机耗功增加,系统EER逐渐降低;到了晚上,随着负荷减小,空调的回风温度下降,功耗降低,而系统EER逐渐增加。

在低频平稳模式时,空调运行参数的变化趋势与下午高负荷模式时的情况类似,在空调开启后,空调回风温度及送风温度迅速下降;此后,室外环境温度变化较小,送风温度在25.5℃上下波动,而相对地回风温度维持在约27℃,功率基本稳定在300W,而系统EER则在2.9上下波动,低频平稳模式下,空调的运行状态长时间趋于稳定。

对比分析图7中空调运行参数在三种模式下的变化趋势可知,在同一时间序号下,三种模式空调的送风温度虽然相差无几,但是由于负荷存在差异,空调运行参数的变化模式不一:在开机的一段时间内(时间序号为0~30),上午高负荷模式下的室外温度(热负荷)最高,空调开机后功率、回风温度和送风温度全都是这三种模式中最大的,而系统EER则是这三种模式中最低的,且空调的回风温度、送风温度和功率等运行参数需要运行更多时间使运行参数降低至相对稳定阶段;而时间序号在30~60范围内,上午高负荷模式和低频平稳模式下的回风、送风温度值相对趋于稳定,而在下午高负荷模式下,随着热负荷的增加,空调的功率和回风温度也增加,EER值比其他两种模式下的;时间序号在60~120范围内,上午高负荷模式下的热负荷有较大的下降,空调的功率和回风温度先是降低的趋势,然后再基本保持平稳变化。该时间内,上午高负荷模式下各点的室外温度均高于低频平稳模式,但由于回风、送风温度较高,两种模式下系统EER相差不大,而在下午高负荷模式下室外温度较高,空调功率和回风温度高于其他两种模式,而系统EER则低于其他两种模式,随着室外温度开始下降,各空调运行参数的偏差才逐渐缩小;此后,到了晚上,三种模式下空调的回风、送风温度、功率和EER基本

趋于稳定。

(a) 制冷时功率常规变化模式

(b) 制冷时 EER 常规变化模式

(c) 制冷时送风温度及回风温度常规变化模式

(d) 制冷时室外温度常规变化模式

图7 制冷运行模式下空调器的参数常规变化模式

在整个时间序号范围内, 尽管低频平稳模式下空调的回风、送风温度均较低, 但在某些时间点, 系统 EER 也会低于其他模式, 因此, 在室外温度变

化时, 需要相应地改变空调控制方式, 从而提升空调的能效。另一方面, 即便在下午高负荷模式下, 各空调运行参数的变化也不会太大, 空调运行过程中处于相对稳定的时间较长, 可选取该状态下的空调性能作为优化目标。

3 变频房间空调器能耗分析

3.1 变频空调的性能参数与环境参数、运行频率的关系

空调稳定运行过程中, 空调的运行参数基本趋于稳定, 在某个固定值上下波动, 若用统计学的方法判断当前空调是否处于稳定运行状态, 需要花费大量计算资源, 因此, 本文将通过计算当前时刻与前 1 min、前 10 min、前 15 min 时刻的室内送风、回风温湿度, 送风速度、功率等数据的偏差均值是否小于测量精度, 判断当前时刻空调系统是否处于稳定运行的状态, 最终得到了 9~10 月中共 471 个时间点的数据。

由于采集的空调运行参数较多, 为明确各参数对系统性能的影响, 通过控制变量法, 逐次选择单个参数, 保持其他参数不变的情况下, 拟合该参数与空调性能的关系曲线, 用于分析各参数的变化对空调功率、制冷量(空气侧)及 EER 的影响。

由图 8 见, 在送风温湿度、速度、室外温湿度变化不大时, 空调功率、制冷量、EER 与回风温度呈正相关关系。空调的蒸发温度受其回风温度影响, 当回风温度增加时, 空调蒸发温度增加, 从而 EER 得到提升。此外, 为了控制送风温度不变, 系统需要的制冷量增加, 而当前空调设备下, 回风温度增加后, 制冷量的增加幅度比系统 EER 的小, 因此, 空调的功率也增加。

图8 变频空调 EER 及制冷量与回风温度关系曲线

图 9 为空调送风温湿度、速度保持稳定时, 变频空调功率、制冷量及 EER 随室外温度的变化曲线。由图可见, 随着室外温度的增大, 空调功

率、制冷量也随之增大,而其 EER 则在下降。当室外温度升高时,空调的制冷量增加,同时冷凝温度增加,空调的 EER 下降,随着两者的变化,功率增加。

图9 变频空调 EER 及制冷量与室外温度关系曲线

由图 10 可见,回风温湿度、送风速度及室外温湿度变化不大时,随着功率的增加,空调的制冷量增加,其 EER 则降低。变频空调功率的变化体现在其频率的变化上,当空调频率(功率)增加时,内部制冷剂流量增加,空调的制冷能力得到提升,对于当前空调,其功率增加的幅度没有制冷量的大,因此 EER 会下降。

图 10 变频空调 EER 及制冷量与功率关系曲线

综上,在采集参数的范围内,空调的功率与回风温度、室外温度正相关,EER 与回风温度呈正相关,而与室外温度、功率(频率)呈负相关。由此可见,空调的节能能力与自身运行状态、室内外热环境的有关,在运行环境发生变化后,改变空调的运行参数,方能实现空调的节能运行。

3.2 稳定运行状态下空调的能效预测

为了进一步分析室内送、回风温湿度,室内送风速度及室外温湿度与空调功率的关系,将引入神经网络算法进行研究(图 11),建立数学模型,并在此基础上,通过计算得到 EER。

把上述 9~10 月的 471 个时间点作为分析样本,随机抽出其中 391 个(83%)作为训练数据,剩下的 80 个则作为验证样本,得到功率的神经网络预测结果及在此基础上 EER 的计算结果如图 12 所示。

图 11 神经网络预测模型框图

(a) 功率的神经网络预测值与实际测量值对比

(b) EER 的预测值与实际测量值对比

图 12 空调稳定运行时神经网络预测值与实际测量值对比

由图 12 可见,建立的神经网络模型,通过空调的送风温湿度、回风温湿度以及室外温湿度,能预测出空调功率及 EER,其预测误差基本在 15% 以内。由此可知,在空调稳定运行时,热环境参数与功率、EER 存在明确的关系。另一方面,由于空调运行环境的限制,采集的运行数据范围有限,预测模型有一定的参数范围限制,见表 2。

表 2 神经网络模型的有效预测范围

参数	有效范围
回风温度/°C	25.9~29.7
回风湿度(%)	40~75
送风温度/°C	23.9~27.4
送风湿度(%)	43~80
送风速度/(m/s)	2.6~4.0
室外温度/°C	26.0~36.0
室外湿度(%)	41~100

基于空调的送风参数能预测出回风参数, 将空调的送风温湿度、速度以及室外温湿度作为输入参数, 建立神经网络预测模型时, 功率和回风温度的预测结果如图 13 所示。

(a) 基于送风参数的回风温度神经网络预测

(b) 基于送风参数的功率神经网络预测

图 13 空调稳定运行时神经网络预测值与实际测量值对比

由图 13 可见, 当空调稳定运行时, 能基于送风侧参数及室外环境参数预测回风参数以及空调功率。而进一步地, 通过计算, 能得出空调空气侧的 EER(图 14)。对比预测值与测量数据可见, 各运行参数的预测结果与实际测量数据偏差大部分小于 15%。

图 14 空调稳定运行时 EER 预测值与实际测量值对比

尽管基于送风参数及室外环境参数建立的空调性能预测模型精度比采用送、回风侧参数及室外环境参数的低, 但在空调稳定运行时, 送风、回风参数在室内热负荷上存在联系, 同时采用送风、回风参数建立预测模型容易因忽略这一点而使结果

不合理。因此, 在空调稳定运行在特定室外热环境时, 只需要调节空调送风侧参数, 即可控制功耗及 EER。

4 空调控制方式在线优化系统

在得出上述的基于送风侧参数及室外环境参数的空调性能预测模型后, 结合优化算法(如遗传算法), 可以在给定室外热环境的情况下, 优化空调的变频控制方案。

通过合理设定空调运行时的节能送风侧参数, 并使空调快速地在该参数范围内稳定运行, 例如当实际测量的送风温度高于其节能设定上限时, 加大其频率, 使送风温度降低, 当实际送风温度低于其节能设定下限时, 降低行频率, 使送风温度升高, 从而优化空调的运行能效。

本文提出了空调控制方式在线优化系统, 在服务器端通过对采集到的空调数据进行分析, 找到节能控制参数, 并反馈给空调控制器, 优化控制。由于采集到的运行参数范围会随着空调的长期使用而不断加大, 空调的性能也会在此过程中发生变化, 在间隔一段时间后需对当前采集到的运行时间进行分析, 更新空调的优化运行策略, 确保空调长期节能。

完整的系统运行流程如下: ① 通过监控设备, 采集空调的运行数据; ② 在采集到够量的数据后, 采用聚类算法对空调运行模式进行归类, 找出模式, 同时找出处于稳定运行状态的工况点; ③ 通过②中搜集到的数据建立性能预测模型; ④ 引入优化算法, 找出在给定室外热环境时, 空调的节能运行参数范围; ⑤ 判断当前空调控制参数点与由算法得出的节能运行参数是否一致, 若不一致, 则更新空调的控制方式, 确保空调节能运行; ⑥ 一段时间后, 重复上述步骤①~⑤。

图 15 空调控制方式在线优化系统流程图

5 结论

为合理评价变频空调节能潜力,本文分析了广州某办公楼的变频房间空调器一年的运行数据,通过聚类算法整理出其常规功率变化模式,同时也对空调在制冷模式下的参数变化进行了聚类分析,从中找出能对空调进行优化控制的部分。然后,基于控制变量及多项式拟合得到拟合曲线,分析空调运行参数与空调性能的关系。此后,建立了空调性能预测模型,从中探索出对空调进行优化控制的方法,得出结论如下。

(1) 通过聚类算法对空调一年内各天的运行数据进行分析,空调在一天内的功率变化基本遵循三种模式,分别为上午高负荷模式、下午高负荷模式和低频平稳模式,在上午高负荷模式下,早上的空调功率大于其他时候的功率,下午高负荷模式下空调全天运行功率都较大,且在下午达到功率峰值,该模式主要集中在夏季出现,而低频平稳模式下空调整天的功率都较低。

(2) 与空调一天内功率变化模式类似,制冷工况下的空调参数同样有三种变化模式。三种模式下空调送风温度相差不大,但上午高负荷模式、下午高负荷模式下室外温度更高,且分别在上午、下午其室外温度、空调回风温度、功率达到最大值,这两种模式下的 EER 分别在上午、下午有最小值,而在低频平稳模式下,各参数都没有较大波动,空调的运行较为稳定。尽管低频平稳模式下空调的送风、回风温度都是最小的,但在某些时刻其 EER 也会比其它模式的低,在室外温度变化后需要选择合适的空调送风、回风参数。

(3) 通过控制变量并建立多项式拟合曲线,得出空调运行参数与空调性能的关系曲线,分析空调回风温度、室外温度及功率(运行频率)与空调能效的关系,得出空调的制冷功率与回风温度、室外温度呈正相关关系,而空调的 EER 随着回风温度的增加而增加,随着室外温度或空调的功率(运行频率)增加而下降。

(4) 在室内外热环境稳定及空调运行频率控制方式固定时,把空调送风温湿度、速度及室外温湿度作为输入变量,空调回风温湿度、功率作为输出变量,建立了神经网络预测模型,经过验证,该方法预测结果与验证用数据偏差都在 15% 以内,可以通过控制空调稳定运行时的送风侧参数,达到控制空调性能的目的。

(5) 变频空调有着基于热环境变化而调节自身

运行频率改变运行状态的特性,不同的控制方式决定了变频空调在运行时能效的高低。本文提出了空调运行在线控制优化方法,结合空调自身的运行数据,找出空调在不同室外工况下较优的运行模式,不断对空调的实际运行性能进行优化,实现空调长久节能。

参考文献

- [1] 王起霄,刘淑静,汝长海.变频空调的性能研究[J].哈尔滨商业大学学报,2001,17(3):69-71.
WANG Qixiao, LIU Shujing, RU Changhai. Discussion on capability of frequency conversion air conditioner[J]. Journal of Harbin University of Commerce, 2001, 17(3): 69-71.
- [2] 周兴禧,周滋锋,王懿,等.变频空调系统特性的仿真研究[J].流体机械,2000,28(2):43-47.
ZHOU Xingxi, ZHOU Zifeng, WANG Yi, et al. Simulation research on characters of air-conditioner with inverter[J]. Fluid Machinery, 2000, 28(2): 43-47.
- [3] 张宏亮,刘金平.家用变频空调冷负荷分析与节能探讨[J].暖通空调,2003,33(6):119-122.
ZHANG Hongliang, LIU Jinping. Cooling load analysis and energy saving study for domestic variable-frequency air conditioners[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2003, 33(6): 119-122.
- [4] 姚兵.定频空调和交流变频空调能效对比分析[J].家电科技,2004(8):70-73.
YAO Bing. Energy efficiency comparison of constant speed and variable frequency air conditioners[J]. Science and Technology of Household Electric Appliance, 2004(8): 70-73.
- [5] 黄辉,马颖江,张有林,等.减小变频空调单转子压缩机低频转速波动的方法[J].电机与控制学报,2011,15(3):98-102.
HUANG Hui, MA Yingjiang, ZHANG Youlin. Method to reduce the speed ripples of single rotator compressor of air conditioner in low frequency[J]. Electric Machines and Control, 2011, 15(3): 98-102.
- [6] 陈宁,张跃,桂卫华,等.变频空调驱动电机的弱磁控制[J].电机与控制学报,2014,18(7):65-71.
CHEN Ning, ZHANG Yue, GUI Weihua. Flux weakening control for drive motor of inverter air conditioner[J]. Electric Machines and Control, 2014, 18(7): 65-71.
- [7] 殷光文.定速及变频空调器节能技术的探讨[J].暖通空调,2009,39(1):88-91.
YIN Guangwen. Energy saving discussion for constant speed and variable frequency air conditioners[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2009, 39(1): 88-91.
- [8] 刘永彬.运行环境对变频空调器转速及能耗影响的理

- 论与试验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2012.
- LIU Yongbin. Theoretical and experimental research of the operating environment on the rotational speed and energy consumption of the inverter air-conditioner[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012.
- [9] 张微. 外界参数与使用习惯对空调器运行效率和能耗影响的仿真研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- ZHANG Wei. Simulation researches on influences of external parameters and user's habits on operation efficiency and energy consumption of air conditioners[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2013.
- [10] 晋欣桥, 杜志敏, 惠广海, 等. 楼宇空调水系统温度传感器固定偏差故障的诊断方法[J]. 机械工程学报, 2004, 40(9): 42-47.
- JIN Xinqiao, DU Zhimin, HUI Guanghai, et al. Fault detection and diagnosis method for the temperature sensors with fixed bias in water systems of HVAC[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(9): 42-47.
- [11] 王萌, 孙树栋. 基于优化核空间的制造过程质量分析算法[J]. 机械工程学报, 2012, 48(22): 182-188.
- WANG Meng, SUN Shudong. Optimized kernel space based algorithm for quality data analysis [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(22): 182-188.
- [12] YANG G, TUMWESIGYE E, CAHILL B, et al. Using data mining in optimisation of building energy consumption and thermal comfort management[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering and Data Mining. Chengdu: IEEE, 2010: 434-439.
- [13] 李炎波, 吴凌燕. 数据时代的室内舒适环境控制方法[J]. 建筑热能通风空调, 2017, 36(11): 41-43.
- LI Yanbo, WU Lingyan. Control method of comfort able indoor environment in DT age[J]. Building Energy & Environment, 2017, 36(11): 41-43.
- [14] 雷亚国, 贾峰, 周昕, 等. 基于深度学习理论的机械备大数据健康监测方法[J]. 机械工程学报, 2015, 51(21): 49-56.
- LEI Yaguo, JIA Feng, ZHOU Xin, et al. A deep learning-based method for machinery health monitoring with big data[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(21): 49-56.
- [15] HOU Z, LIAN Z, YAO Y, et al. Data mining based sensor fault diagnosis and validation for building air conditioning system[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(15-16): 2479-2490.
- [16] YU Z, HAGHIGHAT F, FUNG B C M, et al. A novel methodology for knowledge discovery through mining associations between building operational data[J]. Energy and Buildings, 2012, 47: 430-440.
- [17] 杨文献, 姜节胜. 基于数据挖掘的柴油机气门故障诊断技术研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(10): 25-29.
- YANG Wenxian, JIANG Jiesheng. Data mining based technique for diagnosing the faults presenting on engine valves[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(10): 25-29.
- [18] 巫江虹, 刘超鹏, 梁志豪, 等. 房间空调器长效运行性能预测及优化方案的研究[J]. 机械工程学报, 2015, 51(18): 158-166.
- WU Jianghong, LIU Chaopeng, LIANG Zhihao, et al. Research on the room air conditioner long-term performance prediction and optimization strategy[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(18): 158-166.
-
- 作者简介: 梁志豪, 男, 1990 年出生。主要研究方向为基于数据挖掘的房间空调器长效性能。
E-mail: 13480204681@139.com
- 巫江虹(通信作者), 女, 1967 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为相变蓄热热泵技术、室温磁制冷、移动空调。
E-mail: pmjhwu@scut.edu.cn
- 谢子立, 男, 1995 年出生。主要研究方向为大数据挖掘。
Email: zili.xie@mail.utoronto.ca