

暖通空调系统优化控制与能量管理的现状及发展趋势^{*}

沈阳工业大学 李树江[☆] 秦 军 刘 畅 张晓青
南洋理工大学(新加坡) Wenjian Cai

摘要 分析了暖通空调优化能量消耗的特点,介绍了暖通空调控制系统基础控制器参数整定、工作点优化和能量管理的现状。根据暖通空调系统的未来需求和相关技术的发展,提出了其控制技术的发展方向。

关键词 暖通空调 优化 控制器参数整定 能量管理

Status and trends of optimizing control and energy management in HVAC systems

By Li Shujiang[★], Qin Jun, Liu Chang, Zhang Xiaoqing and Wenjian Cai

Abstract Analyses the characteristics of energy consumption of HVAC systems, and presents the status of the controller auto-tuning, set-point optimization and energy management for HVAC systems. According to the future requirement of HVAC systems along with the development of related technologies, previews the trends of energy control technologies.

Keywords HVAC, optimization, controller auto-tuning, energy management

[★] Shenyang University of Technology, Shenyang, China

^①

0 引言

暖通空调系统的能耗一般占建筑总能耗的60%以上,通常暖通空调设备在额定条件下运行效率最高。但由成百上千台设备通过管道及风、水、制冷剂多个换热环节连接构成的暖通空调系统,并不能同时满足各设备的最佳运行条件。另一方面,系统集成商只在有限的几个负荷点和有限的气候条件下将基础单元控制器参数调整为最佳。因此,在全负荷范围内及对象动态特性发生变化时,实时调节各回路使控制器参数和系统工作点最佳,是节能的重要途径。节能的另一个重要途径是能量管理、末端参数计量、设备启停优化、水电气用量的计量与考核等,增加管理功能是系统节能的一个重要

手段。因此,暖通空调的优化、控制和管理是实现暖通空调运行节能的三个最主要因素。本文对目前暖通空调系统优化、控制和管理国内外研究应用现状及未来发展趋势进行阐述和分析。

1 国外暖通空调系统优化、控制和能量管理技术的发展状况

1.1 优化控制

优化控制是暖通空调节能运行的一个关键环节,在暖通空调系统的性能优化控制方面,研究者主要采用了以下几种研究方法。

①[☆] 李树江,男,1966年12月生,博士研究生,工学博士,副教授
110023 沈阳工业大学信息学院
(024) 25691359
E-mail: lisj@sut.edu.cn

收稿日期:2006-02-23

一次修回:2006-05-08

二次修回:2007-03-06

^{*} 沈阳市科技攻关重点项目(编号:1053084-2-05),辽宁省教育厅基金资助项目(编号:2004D039)

N. Nassif 等人应用多目标遗传算法进行温度的优化设定,可以获得最佳能量利用效率和令人舒适的温度^[1]。W. Kirsner 针对整个系统的优化控制,用实际系统做了实验并给出了一些综合性结论,但其缺点是不能实现扩展到其他系统的准确优化控制^[2]。L. Lu 等人给出了一种对暖通空调系统进行全局最优控制的方法。全局最优和约束的目标函数是根据空调主要设备的数学模型建立起来的。但他们假设各设备是一致的并且也没有考虑水温是分布参数^[3-4]。W. J. Cai 等人给出了一种建立简单精确的空气处理单元工程模型的方法,该方法基于能量平衡和换热原理,通过非线性规划和最小二乘法来估测模型的三个参数。该方法具有鲁棒性,与现有方法相比,是一种在整个工作范围内和实际性能更加匹配的方案^[5]。Chimin Chu 等人给出了一种最小熵值估计方法,他们把热舒适度水平的定义和熵热值理论综合运用到一个负载预测软件中,以寻求一个合适的温度和与之相匹配的湿度,以使空调控制系统在最小熵值估计的辅助下进行控制^[6]。N. Nassif 等人采用双对象进化算法,对现有的暖通空调预测控制策略的设定点进行了优化,达到了节能 19.5% 的效果^[7]。Q. Song 等人讨论了鲁棒神经网络算法的建立和应用,并且给出了定位比例控制算法的优势,该算法既能提供期望函数又能适应空调系统中负荷扰动范围大和参数不断变化的特点,具有较强的鲁棒性^[8]。C. I. Huang 等人结合离散系统和连续动态变量系统理论,提出了混合系统控制器的设计方法。通过计算机仿真,验证了所提出的控制方法的效果^[9]。X. D. He 等人提出了一种线性反馈方法,以应用于 HVAC 系统的多单元高级控制中。这种方法的核心就是使用一个基于模型设计出来的线性反馈环节,对系统的强非线性进行补偿^[10]。E. Semsar 等人介绍了一个关于非线性、多输入、多输出暖通空调系统的控制器,引入状态反馈和扰动线性反馈方法到扰动解耦和非线性系统的线性化之中。采用这种方法能使可测量的扰动(温度和湿度)负载都可以被补偿,还可以自适应负荷的快速变化并且没有偏差。仿真结果显示根据这种方法设计的控制器具有高扰动解耦能力和很好的跟踪特性^[11]。Y. Shin 等人提出了一个实时的暖通空调系统的设备应该对有效的实体进行实时热环境控制的观

点。该设备由一组为热存储服务的冷热空气循环回路和由回路供给的冷热气流构成。可以通过控制流量来获得定点温度和流速。该系统应用了串级控制算法和增益表。结果表明,控制器可以在 2~3 s 内使温度和流速逼近设定点^[12]。

一些研究者针对暖通空调系统中单个或多个局部子系统控制的设定点优化问题进行了研究。B. C. Ahn 等人采用二次函数来表示室内空气循环和冷水循环的能量和质量平衡,但若终端使用者的冷负荷变化不同,这种表示方式是不正确的^[13]。L. Lu 针对集中式暖通空调系统的冷却水循环提出了基于模型的优化方法,它采用一种改进遗传算法来获得优化设定点^[14]。

1.2 基础控制器参数整定

在回路控制器参数整定方面,把神经网络、模糊控制等用于控制器设计的日益增多。Z. H. Zhou 等人将人工神经网络应用到舒适度计算中,以解决传统舒适度计算复杂、预测热效应不准确的问题,取得了良好的效果^[15]。H. G. Zhang 等人提出了一种在变热负荷情况下的离散、非线性暖通空调系统的控制器设计方法,它基于频域自适应补偿器,实现对舒适度的控制目标^[16]。K. K. Tan 等人对空气处理单元和被调房间进行了多回路的 PID 控制,能很好抑制空调系统的诸多强干扰,但各种部件和被控房间的准确建模相当困难,所以不能准确、合理地确定控制器的参数^[17]。A. Rahmati 等人提出了一种新方法设计暖通空调系统的模糊/PID 控制器。对比仿真实验结果表明此方法比单独使用 PID 控制器的控制效果更好^[18]。

此外,采用传统控制策略对暖通空调系统回路控制器参数进行整定的学者也很多。Y. G. Wang 等人通过可变模型,用增益和相角裕度方法设计了 PID 自整定控制器。在温度控制方面,该控制器表现出很好的跟踪和适应性能,取得了节能的效果^[19]。Q. Bi 等人把基于最小二乘辨识、极点配置的自适应 PID 控制器应用到空气处理单元的控制中,但其应用的前提是假设系统是干空气换热线性系统,直接影响了实际控制效果^[20]。Y. Shin 等人提出将多输入、多输出的系统解耦为几个单输入、单输出的子系统,每个子系统采用串级 PI 控制器控制,即用两个速度较快的流量控制回路作为内

环控制回路,用速度较慢的温度控制回路作为外环控制回路。实验结果表明在 2 s 或 3 s 内就可达到设定的温度和流速^[21]。

1.3 能量管理

能量管理是暖通空调系统节能运行的又一个关键环节。实行能量管理可以避免系统跑、漏、疏等现象,完善末端设备的能量计量与管理,便于分析暖通空调水、电、气等能耗结构以及核算成本,便于冷热源与负荷的预测和最佳合理分配。

K. F. Fong 等人提出了一种基于 EP 的进化算法,能有效解决离散的、非线性的、受高度约束的变负荷、变季节条件下的优化问题^[22]。J. B. Rishel 提出先进的数字控制和变频泵可以减少冷水和热水分配系统对设备的需求。这种方法可以广泛应用于变热量和变冷量负荷的冷热水系统中^[23]。F. Engdahl 等人给出了建筑墙体的散热性能指标与进出风口室外环境的暖通空调能量消耗计算公式,分析了最优的供风温度。与恒定供风温度运行方式对比可知,该方式可以大大减少暖通空调系统的能量消耗^[24]。S. C. Sekhar 等人给出了一种新的空调空气质量和能量消耗的控制方法——对室内空气质量和湿度在舒适度条件下进行期望设定。但该方法没有考虑同种空调系统在不同条件下的整体能量优化效果^[25]。J. Xu 等人提出了暖通空调系统的日常能量管理公式和相应的对策。他们采用拉格朗日松弛法、神经网络、动态规划等方法,通过控制暖通空调各个单元的能量消耗,使整个需求消耗最小^[26]。M. Zaheeruddin 等人研究了暖通空调系统时间调度操作的优化控制策略。主要是在给定的空气状况下考虑建筑物的运行调度,包括夜间启停、应用模式和能量核算,给出了区域质量流量的最优值、供风温度和供水温度值,从而达到节能的目的^[27-28]。

2 国内暖通空调系统优化、控制和能量管理技术的发展现状

2.1 工作点优化控制

暖通空调变工况点优化控制问题的研究近年来才在我国被重视。S. W. Wang 提出了一种基于整个系统环境的预测响应及能量运行来改变暖通空调系统控制设定点的系统方法,并用遗传算法对系统进行优化控制,同时优化多个设定点来改善系统响应和降低系统能耗^[29]。后来他又采用自适应

控制理论对某海水冷却空调系统进行了优化控制研究,采用“带指数遗忘的最小二乘法”参数辨识方法和基因遗传优化算法,对空调系统的空气处理单元进行了优化控制研究^[30]。罗启军等人提出了一项动态的优化技术。在一个指定期间内,能得到使目标函数(运行成本或者峰值能耗)最小的房间温度曲线。该算法还给出了暖通空调设备的最佳开/关时间^[31]。K. T. Chan 等人提出用遗传算法对风冷制冷机的冷凝温度设定点进行优化控制以提高制冷机的效率^[32]。

此外,有许多研究者用人工神经网络来模拟暖通空调系统中各个设备的非线性特性,用于实现对整个空调系统的优化控制。

目前,研究者们将更多先进的建模方法和智能优化方法引入到了暖通空调的优化控制中,更加注重变工况点的在线优化控制。何厚建等人对已建的暖通空调各关键设备的静态模型采用用实数编码的遗传算法建立了水系统工作点优化控制策略^[33]。杨晓平等人采用模糊聚类和 RBF 方法建立了空气处理单元的动态数学模型,以最终舒适性为目标优化空气处理单元的温湿度和送风压力^[34]。孙一坚根据空调负荷变化对一级泵水系统进行变流量控制,取得了显著效果^[35]。

总之国内的学者更多探讨的是把智能方法引入控制系统的优化中,仿真研究多,实践成果少。

2.2 基础控制器参数整定

在回路控制方面,江大勇等人论证了应用人工神经网络(ANN)对暖通空调负荷、能耗进行建模的可行性,并指出可以利用 ANN 模型识别输入输出从而实现空调系统的优化控制^[36]。孙英等人采用基于 BP 神经网络的预测控制算法,实现蓄冰空调的蓄冷量控制,解决了 PID 控制中超调和波动时间长、抗干扰能力弱及解耦控制效果差的问题,从而降低了空调系统的能耗^[37]。曹国庆等人将参数自整定的 PID 控制引入空调系统的控制过程中,实现了 PID 参数自整定,可以把温度的变化范围控制在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[38]。吴柳波等人研究了变风量空调系统送风段静压控制的实现,并分别用带积分分离的增量型 PID 控制算法和模糊控制算法编制了应用程序。根据空调实验室实际控制效果指出了这两种控制方法的优缺点^[39]。

由于暖通空调系统的控制回路非常多,并且各

对象的特性各不相同,因此,所采用的回路控制器参数整定和控制方法也不相同,控制器的研究成果也较多。

2.3 能量管理

随着计算机的普及应用,计算机系统逐步取代常规仪表而成为暖通空调系统的智能化监测、控制和管理设备。在暖通空调系统的控制管理中,应用计算机技术可以有效地改善系统运行质量,减少运行能耗,并降低运行管理劳动强度,取得了良好的经济效益和社会效益。

江亿研究了各种空调系统的计算机监测控制,通过启/停中央控制管理机器来修改参数的设定值^[40]。翁史俊探讨了空调冷热源和输送部分的空调自控节能方法。该方法通过接受现场智能操作台的指令对制冷热泵机组、水泵和风机实现联锁、逻辑、顺序启停和节能控制,根据冷水机组的冷水供回水温度和温差等信息控制冷水机组冷却塔风机等设备台数和组合最佳以达到节能的目的^[41]。曹秋声基于变频技术,结合最优控制和模糊控制,研制了具有负荷随动跟踪特性的专用管理系统软件,实现了暖通空调节能控制^[42]。钟玮采用根据冷热负荷计算选择 COP 值适合的冷热源机组和末端设备,以节约冷热源;采用变频技术等手段使水泵变流量运行,以减少水、风系统的输送能耗^[43]。晋欣桥在对多区域变风量空调及其控制系统分析研究的基础上,根据 ASHRAE 通风标准对新风量的要求,针对混合送风系统仿真分析了 4 种新风分配方案的控制方案,综合考察了各方案的新风分配以及系统能耗情况。结果表明,通过 VAV 末端再热控制并结合 AHU 送风温度优化的控制方案,可以较好地解决多区域 VAV 空调系统的新风分配问题,同时能有效地降低系统的能耗^[44]。

总之,能量管理系统体现在设备组合优化、工作时序优化以及各种能量指标的统计、计量、考核方面。

3 暖通空调优化控制技术的发展趋势

3.1 现有的暖通空调控制系统以提高自动化水平为主要内容,采用的是以传统 PID 为控制策略的回路控制 and 设备顺序、逻辑控制开关量构成的基础控制单元器,CPU 核心处理以 8 位单片机为主。随着嵌入式系统和智能控制理论的发展,以及嵌入式微处理器价格越来越便宜,基于 16 位及以上的

嵌入式微处理器系统,采用高级控制策略,具有自适应、自学习功能的单元控制器必将成为单元控制器的主流。它可以实现使控制对象在变负荷、多工况、任何初始条件下逐步学习、达到回路最优控制,实现各环节最佳控制的目的。

3.2 目前暖通空调系统都是以定工作点的方式实现各设备的温度、压力、流量等参数的控制。每个设备(或环节)各自在某一条件下有最佳设定点。但这样处理的结果对于整个暖通空调系统不一定是最佳的,在各工况条件下不能保证以最节能方式运行。如何在各个负荷下,以整个系统的能耗为最优性能指标,寻找每个设备(或环节)的最佳设定值是优化控制研究的一个重要方面,也是节能的关键。

3.3 现有暖通空调系统管理功能更多体现在监控,即对基础控制单元的信息进行集中管理、报告、报警、状态监测的设备的调度等。如何在现有基础上增加能量管理功能,监测暖通空调各个环节的末端用户能量使用情况是必须研究的。

3.4 网络技术的应用。目前的暖通空调控制系统存在不同的控制协议,不同的控制系统具有不同的开发环境和技术标准。但随着企业信息化程度的提高,不仅需要暖通空调各控制系统集成,而且,系统的能量管理和设备的运行信息也要纳入到以 Internet 和 Intranet 构成的企业信息管理系统中。实现异构计算机系统的数据共享和信息交换,是暖通空调能量管理与优化控制的又一个发展方向。

参考文献

- [1] Nassif N, Cai Wenjian, Kaji S, et al. Optimization of HVAC control system strategy using two-objective genetic algorithm[J]. HVAC&R Research Journal, 2005, 11(3): 459-486
- [2] Kirsner W. Designing for 42 °F chilled water supply temperature—does it save energy? [J]. ASHRAE J, 1998, 40 (1): 37-42
- [3] Lu Lu, Cai Wenjian. Global optimization for overall HVAC systems—part I problem formulation and analysis[J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(7/8): 999-1014
- [4] Lu Lu, Cai Wenjian. Global optimization for overall HVAC systems—part II problem solution and simulations [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(7/8): 1015-1028

- [5] Cai Wenjian, Wang Yaowen, Li Shuijiang, et al. A simplified modeling of cooling coils for control and optimization of HVAC systems [J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45 (18/19): 2915-2930
- [6] Chu Chimin, Jong Tailang, Huang Yuewei. A study of thermal comfort control using least enthalpy estimator on HVAC system[C]// American Control Conference, 2005
- [7] Nassif N, Kaji S, Sabourin R. Evolutionary algorithms for multi-objective optimization in HVAC system control strategy[C]// IEEE Annual Meeting, 2004
- [8] Song Q, Hu W J, Zhao T N. Robust neural network controller for variable airflow volume system[C]// Control Theory and Applications, IEEE Proceedings, 2003, 150(2): 112-118
- [9] Huang C I, Chan Y M, Fu L C. Supervised nonlinear control of hybrid system with application to HVAC system[C]// Proceedings of the 2004 IEEE International Conference, 2004
- [10] He Xiangdong, Asada H H. A new feedback linearization approach to advanced control of multi-unit HVAC systems [C] // American Control Conference, 2003
- [11] Semsar E, Yazdanpanah M J, Lucas C. Nonlinear control and disturbance decoupling of an HVAC system via feedback linearization and back-stepping [C]//Proceedings of 2003 IEEE Conference, 2003
- [12] Shin Younggy, Chang Youngsoo. Controller design for a real-time air handling unit [J]. Control Engineering Practice, 2002, 10(5): 511-518
- [13] Ahn B C, Mitchell J W. Optimal control development for chilled water plants using a quadratic representation[J]. Energy and Buildings, 2001, 33 (4): 371-378
- [14] Lu Lu. HVAC system optimization—condenser water loop[J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45: 613-630
- [15] Zhou Zhihua, Xia Ying. The application of artificial neural network in HVAC system[C]// Proceedings of 2005 International Conference, 2005
- [16] Zhang Huaguang, Cai Lilong. Decentralized nonlinear adaptive control of an HVAC system[G]// IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, Part C—Applications & Reviews, 2002, 32(4): 493-498
- [17] Tan K K, Lee T H, Ferdous R. Simultaneous online automatic tuning of cascade control for open loop stable process[G]// ISA Transaction, 2000, 39: 233-243
- [18] Rahmati A, Rashidi F, Rashidi M. A hybrid fuzzy logic and PID controller for control of nonlinear HVAC systems [C] // IEEE International Conference, 2003
- [19] Wang Yagang, Shi Zhigang, Cai Wenjian. PID autotuner and its application in HVAC systems[C]// Arlington: Proceedings of 2001 American Control Conference, 2001
- [20] Bi Q, Cai W, Wang Q G, et al. Advanced controller auto-tuning and its application to HVAC systems[J]. IFAC Journal of Control Engineering Practice, 2000, 8 (6): 633-644
- [21] Shin Younggy, Chang Youngsoo, Kim Youngil. Controller design for a real-time air handling unit[J]. Control Engineering Practice, 2002, 10: 511-518
- [22] Fong K F, Hanby V I. HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(3): 220-231
- [23] Rishel J B. Simplifying contemporary HVAC piping [J]. ASHRAE J, 2005, 47(2): 16-25
- [24] Engdahl F, Johansson D. Optimal supply air temperature with respect to use in a variable air volume system[J]. Energy and Buildings, 2004, 36 (3): 205-218
- [25] Sekhar S C, Tham K W. Development of energy-efficient single-coil twin-fan air-conditioning system with zonal ventilation control [G] // ASHRAE Trans, 2004, 110(2): 204-217
- [26] Xu Jun, Peter L. An optimization-based approach for facility energy management with uncertainties[J]. HVAC&R Research, 2005, 11(2): 215-237
- [27] Zaheeruddin M, Zheng G R. Optimal control of time-scheduled heating, ventilating and air conditioning processes in buildings [J]. Energy Conversion and Management, 2000, 41: 49-60
- [28] Zaheeruddin M. Multistage optimal operating strategies for HVAC systems[C]// Annual Meeting, 2001
- [29] Wang Shengwei. Model-based optimal control of VAV air-conditioning system using genetic algorithm [J]. Building and Environment, 2000, 35: 471-487

(下转第 18 页)

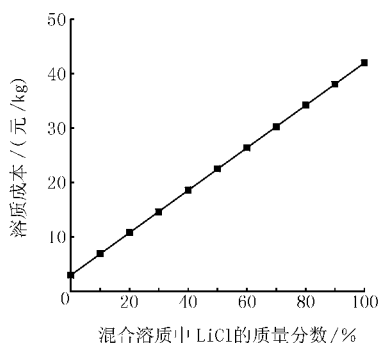


图 6 不同配比的混合溶液溶质的成本

湿溶液的性价比有所下降。

从图 4 可以看出, 30 °C 时, 混合溶质中 LiCl 质量分数由 0 增加到 50%, 溶液表面蒸汽压下降了 666.5 Pa(5 mmHg); 而混合溶质中 LiCl 质量分数由 50% 增加到 100% 时, 溶液表面蒸汽压只下降了 333.3 Pa(2.5 mmHg), 但 100% LiCl 溶液的成本却是 50% CaCl₂ + 50% LiCl 溶液的 1.9 倍, 后者的性价比是前者的 3.8 倍。考虑到除湿溶液既要求具有有利于除湿的较低表面蒸汽压, 又要求溶液成本不能太高, 所以本文认为 50% CaCl₂ + 50% LiCl 是一种性能优良、价格合理的混合除湿溶液。

4 结论

4.1 质量分数为 40 % 的不同配比的 LiCl 与

CaCl₂ 混合溶液表面蒸汽压的实验结果显示, 随着 LiCl 在混合溶质中质量分数的增加, 除湿溶液的表面蒸汽压呈下降趋势, 但下降的程度逐渐减小。

4.2 混合溶液温度为 30 °C 时, 当混合溶质中 LiCl 的质量分数大于 50% 时, 溶液表面蒸汽压等温线的切线斜率基本保持不变, 意味着混合溶质中 LiCl 的质量分数大于 50% 时, 再增加 LiCl 所引起的溶液表面蒸汽压的变化量较小。

4.3 50% CaCl₂ + 50% LiCl 混合溶液是一种性能优良、价格合理的液体除湿剂。

4.4 液体除湿是一个循环过程, 但本文未考虑再生回热过程, 这将是笔者以后进一步研究的内容。

参考文献

- [1] 广西师范大学. 基础物理化学实验[M]. 广西: 广西师范大学出版社, 1991
- [2] 赵云, 施明恒. 太阳能液体除湿空调系统中除湿剂的选择[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(增刊): 165-168
- [3] 朱瑞琪, 李怀富. 液体除湿型空调系统中吸收器的工作模拟与实验[J]. 流体工程, 1992, 20(2): 56-59
- [4] 费秀峰. 蓄能型溶液除湿蒸发冷却空调系统的初步研究[D]. 南京: 东南大学, 2001
- [5] Weissberger A. Physical methods of organic chemistry [M]. 3rd ed. New York: Interscience Publishers, 1945
- [6] 王圣威. 基于遗传算法的间接冷却式冷水机组变流量控制[J]. 暖通空调, 2000, 30(6): 39-41
- [7] 孙英, 刘作军, 董砚. 智能楼宇空调系统的预测控制[C]// 2000 年中国控制与决策学术年会论文集, 2000
- [8] 曹国庆, 姜承芝, 安大伟. 模糊 PID 自整定控制在空调系统中的应用研究[J]. 暖通空调, 2004, 34(10): 106-110
- [9] 吴柳波, 张振国. VAV 空调系统中的静压控制[J]. 制冷空调与电力机械, 2005(3): 40-43
- [10] 江亿. 暖通空调系统的计算机控制管理[J]. 暖通空调, 1997, 27(3): 45-58
- [11] 翁史俊. 中央空调系统的自动控制设计和节能思路探讨[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 2001(6): 18-22
- [12] 曹秋声. 新型中央空调节能控制系统研究[J]. 节能, 2005(6): 31-34
- [13] 钟玮. 我国建筑中央空调能耗现状及全面节能措施[D]. 重庆: 重庆大学, 2004
- [14] 晋欣桥. 多区域变风量空调系统及其分配控制研究[J]. 暖通空调, 2001, 31(6): 1-4
- [15] Wang Shengwei. Online adaptive control for optimizing variable-speed pumps of indirect water-cooled chilling systems [J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21(11): 1083-1103
- [16] 罗启军, 戴汝平. 空调系统控制的一种动态优化技术[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(3): 39-42
- [17] Chan K T, Yu F W. Optimum setpoint of condensing temperature for air-cooled chillers [J]. HVAC&R Research, 2004, 10(2): 113-127
- [18] 何厚建, 李树江. 混合遗传算法在中央空调优化控制中的应用[C]// 2005 中国控制与决策学术年会, 2005
- [19] 杨晓平, 李树江. 基于 RBF 模糊神经网络暖通空调模型辨识[C]// 2005 中国控制与决策学术年会, 2005
- [20] 孙一坚. 空调水系统变流量节能控制[J]. 暖通空调, 2001, 31(6): 5-7
- [21] 江大勇, 黄道. 人工神经网络在暖通空调系统中