

香港环球贸易中心冷却水系统优化控制研究

徐新华¹, 王盛卫¹, 马贞俊¹, 鲍伟强²

(1.香港理工大学屋宇设备工程学系,香港 2.香港新鸿基地产发展有限公司,香港)

摘要: 提出了常规中央空调冷却水系统的优化控制策略。该控制策略是香港理工大学智能建筑研究所与香港新鸿基地产发展有限公司共同研究开发的中央空调系统系列智能优化控制策略之一。这一优化控制策略将应用在香港环球贸易中心。该方法可以自动设置系统冷却水的供水温度(即冷却塔的出水温度)以保证系统自适应于动态的工作条件并保持高效率。该方法在这一建筑及空调系统的虚拟环境下进行了测试和验证。

关键词: 冷却水系统; 优化控制; 节能; 冷却水供水温度

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2007)07-0001-03

Development of An Optimal Control Strategy for the Centralized Cooling Water System in International Commerce Centre of HONG KONG

XU Xin-hua¹, WANG Sheng-wei¹, MA Zhen-jun¹, BAO Wei-qiang²

(1.Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong;

2.Sun Hung Kai Properties Limited, Hong Kong)

Abstract: An optimal control strategy for conventional cooling water system for improving energy efficiency was put forward. It is one of the intelligent and optimal control strategies of central air-conditioning system developed by the joint effort between Hong Kong Polytechnic University (PolyU) and Sun Hung Kai Properties Limited (SHK). This strategy will be implemented in the central chiller plant of International Commerce Centre. The optimal strategy can automatically and dynamically reset the cooling water supply temperature (leaving cooling towers) to make this system self-adaptive to the dynamic working conditions with high energy efficiency. This strategy was tested and validated in a virtual environment of representing the real building system and the chiller plant system.

Key words: cooling water system; optimal control; energy efficiency; cooling water supply temperature

0 引言

中央制冷系统包括制冷机系统,冷却水系统,冷冻水分配系统,这些系统消耗了很多能量。这些系统也是相互作用,相互影响的。在同一室外条件及同一室内负荷条件下,通常通过控制实现一个系统的能耗减少,另一个系统的能耗就会增加。而且,一个系统的能耗增加量通常不等于另一个系统的能耗的减少量。他们之间的相互作用也随着运行条件的变化而变化。这些系统的控制大多数都是基于工程师的经验或采用简单的控制策略。对这些系统采用优化控制,这些系统之间的相互作用要同时考虑^[4]。

常规中央制冷系统通常采用水冷式冷却塔来将冷凝器的冷凝热排到空气中。对于冷却塔的控制,最为常用的是采用一对一(一台冷却塔对应一台制冷机,冷却塔风机为单级定速或二级定速)的控制方式。有的冷却塔的风机装载变频器实现风机的无级调速以节省风机的能耗。这时变频风机通常用来控制恒定

收稿日期: 2007-05-02

的冷却供水温度或恒定的逼近值(即冷却水供水温度与环境空气湿球温度的差值)^{[1][2]}。一些学者研究了近似优化控制对冷却水系统进行实时监控^{[1][5][6]}。Braun and Diderrich^[4]建立了冷却塔风量与冷却排热量之间的简单关系来控制冷却塔的运行。Yao and Lian et al.^[5]和 Sun and Reddy^[6]用经验的方法确定冷却水供水温度来控制冷却塔的运行。但是这些控制方法都不是最优化的,仍有很多能量被消耗。

本文提出了冷却水系统的优化控制策略。该方法可以自动设置系统冷却水的供水温度(即冷却塔的出水温度)以保证系统自适应于动态的工作条件并保持高效率。冷却塔的运行台数以及风机的运行频率同时也被确定。这一优化控制策略将应用在香港环球贸易中心。在实际应用之前,这一优化控制方法在该建筑及空调系统的虚拟环境下进行了测试和验证。

1 冷却水系统优化控制策略

在冷却水系统中,制冷机和冷却塔的性能在很大程度上是相互关联相互影响的。较低的冷却水供水温

度可以提高制冷机的性能系数,进而消耗较低的电能。然而较低的冷却水供水温度要求较大的风量来增加冷却塔的排热能力,因此风扇会消耗更多的电能。尽管较高的冷却水供水温度能够节省冷却塔风扇的功耗,但它恶化了冷凝器的传热效果,为了获得相同的空调冷负荷而需要制冷机消耗更多的电能。因此冷凝器供水温度($T_{cd, in}$)必须要优化以减小制冷机和冷却塔风扇的总功耗,用方程(1)来表示优化目标函数。基于性能特征图优化控制法(Performance map-based control)^{[7][9]}能够提供近似的优化方法,但不是最优的。本文提出的冷却水系统优化控制方法综合了基于性能特征图优化控制法与穷举法(Exhausted searching)优点从而达到最优的实际控制方法。考虑到实际应用的要求,如计算量的要求,存储要求,控制效果及稳定性的要求,该优化方法用穷举搜寻方法找到全局最小的功耗。冷却水供水温度的搜寻中心 $T_{w, pd, in}^{n, \rho}$ 由基于性能特征图优化控制法产生,按照式(2)确定。搜寻空间由式(3)确定。穷尽搜寻法通过在一个有限的搜寻区间内以一个合适的增量搜寻,例如增量取0.1,从而找到全局最优解。

$$\min_{T_{cd, in}} P_{tot} = P_{chiller, tot} + P_{ct, tot} \quad (1)$$

$$T_{w, pd, in}^{n, \rho} = a_0 T_{wb}^2 + a_1 T_{wb} + a_2 \quad (2)$$

$$T_{w, pd, in}^{n, \rho} - t \quad T_{w, pd, in} \quad T_{w, pd, in}^{n, \rho} + t \quad (3)$$

式中, T, P 分别表示温度和功耗,下标 chiller, ct, tot, web 分别表示制冷机,冷却塔,全部,湿球温度。 a_0, a_1, a_2 表示系数、增量。

该优化控制策略将应用在香港贸易中心的中央空调系统中。该控制策略的性能直接在该建筑及其空调系统的模拟环境中进行测试及验证。

2 建筑和系统描述

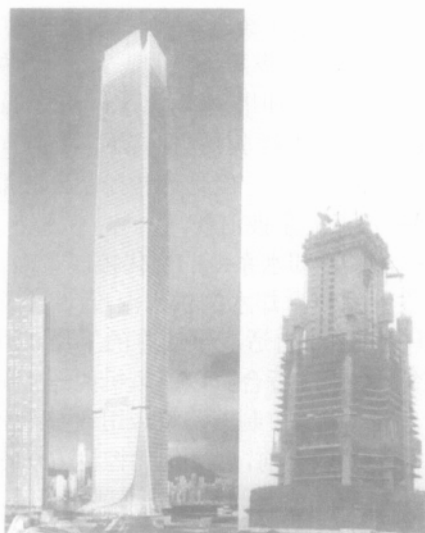


图1 环球贸易中心外观

图1是环球贸易中心的示意图。建筑高度为490m,

大约44万 m^2 ,包括4层的地下室,6层的裙房和112层的塔楼。地下室主要用作停车场。裙房主要用作商业中心包括餐厅,超市和展厅。其他的为塔楼。塔楼第6层作为制冷机,冷却塔,水泵等的设备用房(M1)。42层(M2),78层(M3)和99层(M4)为热交换器及水泵的设备用房。其他的基本上为写字间(9~99层),面积为 $59m \times 59m$ 。100~118层为六星级酒店。

考虑到宾馆的特殊使用性,100层以上采用了独立的风冷式冷水机组提供冷源,位于设备层M4。99层以下由位于M1层水冷式冷水机组提供冷源。除了六星级酒店外,建筑设计总冷负荷为43000kW,负荷指标为 $125W/m^2$ (不包括地下室)。

制冷机房(包括制冷机,冷却塔,冷冻水泵及冷却水泵)设于6层。共有6个1万伏工作电压的离心式制冷机。每个制冷机的容量是7230kW,用以提供5.5的冷冻水。每台制冷机的额定功耗为1346kW。共设11个水冷式冷却塔。有6个冷却水泵将集水器中待冷却的冷却水均匀地分配到冷却塔中进行冷却。制冷机的散热主要通过冷却塔进行排热,总排热量为52000kW。

3 测试结果及分析

根据建筑设计,利用ENERGYPLUS对该建筑系统的全年的空调冷负荷进行了模拟计算。根据空调系统及制冷机系统的设计,设备选型及关键设备在满负荷及部分负荷条件下的性能参数,我们建立了制冷机动态模型,冷却塔的动态模型等。在此基础上我们进一步地建立了该中央制冷系统的模拟平台。在该平台上可以测试各种控制策略的能耗性能,控制性能等。

在该模拟平台上对冷却水优化控制策略进行了测试和验证。并同基于性能特征图优化控制法(如式2)的性能在冷却水的供水温度及系统功耗方面进行了比较。以逼近度为5%时系统的能耗性能被作为一个基准尺。基于性能特征图优化控制法称之为近似法。图2显示了应用上述近似法及优化控制法下的冷却水供水温度设定值。以近似法得出的冷却水供水温度为中心值,以5%范围穷举搜寻法的搜寻范围。很明显优化控制法得出的冷却水的最佳供水温度不同于近似方法得到的近似最优。两种方法也在能耗方面的性能进行了比较验证。图3表明了采用优化控制法与采用逼近度为5%时在能耗方面的差异。同时该图也显示了采用近似法与采用逼近度为5%时在能耗方面的差异。很明显当最优的冷却水供水温度设定值用于冷却塔风机控制时会节省更多的功耗。采用近似优化的方法,即基于性能特征图优化控制法,有时可以节省功耗,但有时也增加了功耗。这进一步说明了本文提出的冷却水系统优化控制策略要优于基于性能特征图的近似控制法。

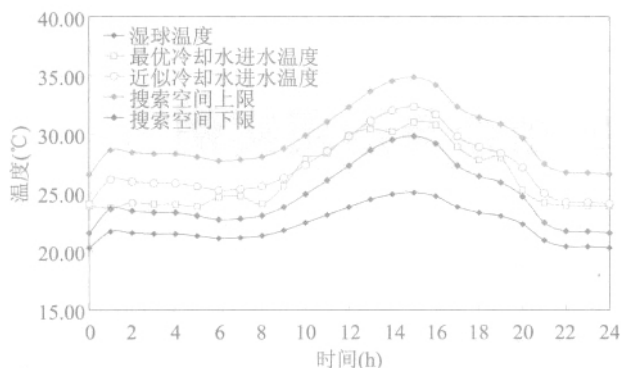


图2 冷却水供水温度

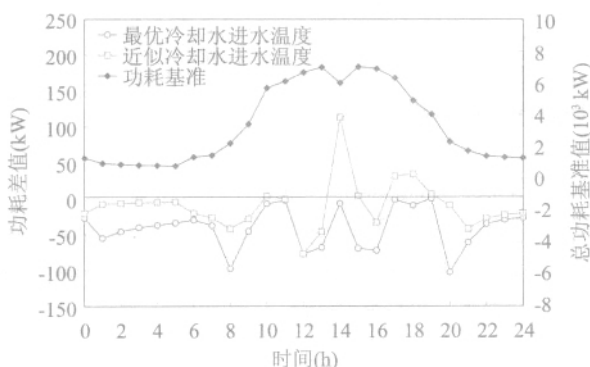


图3 制冷机与冷却塔风机总功耗

4 结论

本文介绍了香港环球贸易中心中央冷却系统优化节能控制策略。该策略充分考虑到了制冷机系统与冷却塔系统在实际运行中的相互作用及相互影响。该策略通过优化冷却水的供水温度而使得制冷机与冷却塔风机的功耗最小。该策略利用近似法得出的冷却水温度作为中心,采用穷举搜寻法对最优的冷却水温度进行搜寻。该优化控制策略的节省功耗的潜力在模拟环境中进行了测试。在此平台的验证结果表明,该优化控制方法具有很好的节能效果。该优化控制策略

在该平台上进一步测试其控制的稳定性,算法的稳定性及计算量要求后将应用到实际的工程中。

参考文献:

- [1]Braun JE and Diderrich GT. Near-optimal Control of Cooling Towers for Chilled-water Systems[J]. ASHRAE Transactions,1990,96(2):806-813.
- [2]Crowther H and Furlong J. Optimizing Chillers & Towers[J]. ASHRAE Journal,2004,46(7):34-44.
- [3]Chan W.Y. Optimizing Chiller Plant Control Logic [J]. ASHRAE Journal,2006,48(7):38-42.
- [4]Wang SW, Xu XH and Ma ZJ. Report on the Energy Performance Evaluation of International Commerce Center (ICC)[R]. Report submitted to Sun Hung Kai Properties Limited (SHK), May,2006.
- [5]Yao Y, Lian ZW and Hou ZJ et al. Optimal Operation of A Large Cooling System Based on Empirical Model [J]. Applied Thermal Engineering, 2004,24(16):2303-2321.
- [6]Sun J and Reddy A. Optimal Control of Building HVAC&R Systems Using Complete Simulation-based Sequential Quadratic Programming (CSB-SQP)[J]. Building and Environment,2005,40 (5):657-669.
- [7]Hackner RJ, Mitchel JW and Bechman WA. HVAC System Dynamics and Energy Use in Buildings-part [J]. ASHRAE Transactions,1985,91(1): 781-795.
- [8]Lau AS. Development of Computerized Control Strategies for A Large Chilled Water Plant. ASHRAE Transactions,1985,91(1):766-780.
- [9]Braun JE. Reducing Energy Costs and Peak Electrical Demand through Optimal Control of Building Thermal Storage [J]. ASHRAE Transactions, 1990,96 (2):876-888.

作者简介: 徐新华(1972-),男,博士,博士后研究员。

单位地址: 香港九龙,香港理工大学,屋宇设备工程学系。

联系方式: E-mail:bexhxu@polyu.edu.hk

行业动态与资讯

太原: 节能减排走合同能源管理路子

不投入或者少投入,也能进行建筑节能改造。记者近日从太原市建管委获悉,太原市大型公共建筑和政府办公建筑将推广合同能源管理,以此加快太原绿色建筑节能减排。“不用投入一分钱就能进行节能改造。比如,建筑改造前的月电费是5000元,能源服务公司免费为其进行节能改造,改造后的月电费如果只需2000元的话,节约下来的3000元就由实施改造的能源服务公司和建筑所有者分成。双方合同期满后,高效能的设备和节能效益全部归建筑所有者。”

太原市建管委相关人士表示,这种零投入、零风险、以节能效益支付节能项目成本的投资方式,被称为合同能源管理。

目前,省城大多建筑没有进行节能改造,存在很大浪费现象,如教学、办公及公共设施水电开口使用;住宅生活小区,抄表的用水、用电总量和实际支出的用水、用电总量差距较大等。由于节能改造需要资金投入,一些资金紧张的单位,虽然有心进行节能改造,但在资金投入上却无能为力。

为了让人们看到合同能源管理带来的好处,今起太原市政府部门将带头与能源服务公司签订能源管理合同,为大型公建和政府办公建筑进行节能改造,以此作为试点建立和培育太原市的建筑节能服务体系。

(摘自《山西新闻网》)