

基于 TRNSYS 的 HVAC 控制系统的仿真

林兴斌¹, 潘毅群², 黄治钟²

(1.同济大学机械工程学院,上海 201804 2.同济大学中德工程学院,上海 201804)

摘要: 介绍了 HVAC 控制系统仿真的发展状况以及面临的挑战,在 TRNSYS 中建立 VAV 系统的空气系统和水系统控制策略仿真模型,并分别建立了基准模型和优化模型两个不同控制策略组合,讨论了仿真过程中遇到的困难和解决方法,最后分析模拟结果并评价用 TRNSYS 仿真控制系统的平台,并为控制系统的仿真平台的建设提供一些思路。结果显示虽然存在一定缺陷,TRNSYS 是一款相对可行和可靠的控制系统仿真平台。

关键词: 控制系统仿真; VAV 控制策略; TRNSYS

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2010)02-0044-07

Emulation of HVAC Control Systems Based on TRNSYS

LIN Xing-bin¹, PAN Yi-qun², HUANG Zhi-zhong²

(1.College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2.Sino-Germany College of Applied Sciences, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The development and challenge of control strategies emulation are expounded. The air loop system and water distribution system in VAV system are modeled in TRNSYS, base case and improved case of control strategies are built. Then the issues on modeling process with solutions are discussed, analyzing the result of emulation and assessing the ability of emulation with TRNSYS to provide some ideas for further development of control strategies test bed. The result shows that TRNSYS is comparatively feasible and reliable tool even there are some disadvantages.

Key words: emulation of control system; VAV control strategies; TRNSYS

0 引言

建筑自控系统 (BACS) 与建筑技术管理系统 (TBM) 通过调节建筑设备 (如暖通空调及照明系统等) 的运行状态,使室内环境参数维持在舒适范围内,对建筑的能耗性能有重要的影响。目前,现代建筑使用了越来越多的复杂控制设备,如复杂的 HVAC 控制系统、灯光控制系统以及遮阳控制系统等,建筑自控领域的不断革新迫切需要一个评价环境来研究各种控制策略的性能,或是用于改善各种控制策略的运行。

但是,目前还没有专门用于建筑控制系统评价的平台。一般控制工程的软件例如 MATLAB/Simulink 包含有控制系统的工具箱,可用于控制器的设计阶段,但这些软件无法把这些控制器安装在 HVAC 系统中测定它的性能,因为这些软件都没有准确的建筑模型以及 HVAC 系统模型。国内外学者也在积极寻求各种解决方法: Bourhan Tashtoush^[1]建立了用于测试空调系统控制系统的动态模型; Timothy I. Salsbury^[2]描述了连续时间传递函数的系统评价方法,并把它用于评价控制系统中; P. Riederer^[3]开发了一个用于控制器测试和设计的房间模型,并讨论了传感器和周围环境的物理热过程及房间的物理热过程。Vittorio Ferraro 和 Dimitrios Kaliakatsos^[4]描述了一个用于测试

空调冷热源控制系统性能试验平台的建设过程; R. Lahrech 和 P. Gruber^[5]讨论了控制系统的测试方法以及对测试方法的评估,但是,其中的测试方法是把实际的控制器和虚拟建筑及设备连接,而测试对象是控制器在不同场合的性能表现,比如误差等,而不是整个控制系统的性能。目前国内有很多学者致力于这方面的研究,大部分局限于局部系统控制策略的研究,而控制系统模拟是建立在建筑空调系统基础上的,因此需要有一个更强大的模拟平台,但目前还没有专门的模拟平台。

TRNSYS^[6]由于采用了模块化结构,多种部件可以灵活连接,并且拥有精确的建筑模型以及诸多控制器模型,这为 HVAC 控制系统的模拟仿真提供了条件。但是 TRNSYS 更多应用于建筑能耗模拟,不具备直接输入各种控制策略的能力,因此,本文将常见的 VAV 系统为例,论述用 TRNSYS 模拟 HVAC 控制系统存在的困难以及解决方法,为 HVAC 控制系统的仿真平台建设提供一些思路。

1 建筑模型简述

建筑模型为 3 层虚拟办公建筑,单层面积为 1 000 m²,单层空调面积为 900 m²,每层包括 8 个空调区(内外区各 4 个)和 1 个非空调区,建筑各朝向的窗墙比均为 0.4,底层层高为 6 m,2、3 层层高为 4 m。空调区的设备、灯光、人员负荷以及围护结构参数参照

《公共建筑节能设计标准》^[7]中办公建筑的规定值选取。

TRNSYS 的建筑参数输入模块拥有专用的 Multi-zone 模块,用户可以在 TRNBuild 子程序中输入围护结构参数、室内负荷、运行时间表等。程序运行时其他模块可以调用建筑模型的分区温度,其他模块的输出参数(如送风温度、送风量)也可输到建筑模块中,即建筑模块和 HVAC 系统其他设备模块在运行时构成闭环反馈。

2 空调系统简述

空气系统采用 VAV 系统,每层含有 2 个 AHU,分别位于核心区的东北角和西南角,东北角的 AHU 服务北向和东向的内外区,西南角的 AHU 服务南向和西向的内外区,AHU 的启停时间为 8:00-18:00。新风量采用固定新风比,取值为 0.3,新风与回风混合后送入 AHU。内区全年供冷,冷风由 AHU 直接送入内区,外区末端含有再热盘管,当满足再热条件时,再热 AHU 的出风后送入外区。

水系统的热水系统采用一次泵变流量系统,包含 3 台容量相等的锅炉,水泵启停与锅炉一一对应;冷冻水系统采用二次泵系统,一次泵与二次泵直接连接,并采用旁通管平衡流量。冷冻水系统包括 3 台定频一次泵、3 台变频二次泵和 3 台冷机;冷却水系统为 3 台冷却塔,冷却泵为定频泵,启停与相应冷机联动。冷冻水系统的布置如图 1 所示。

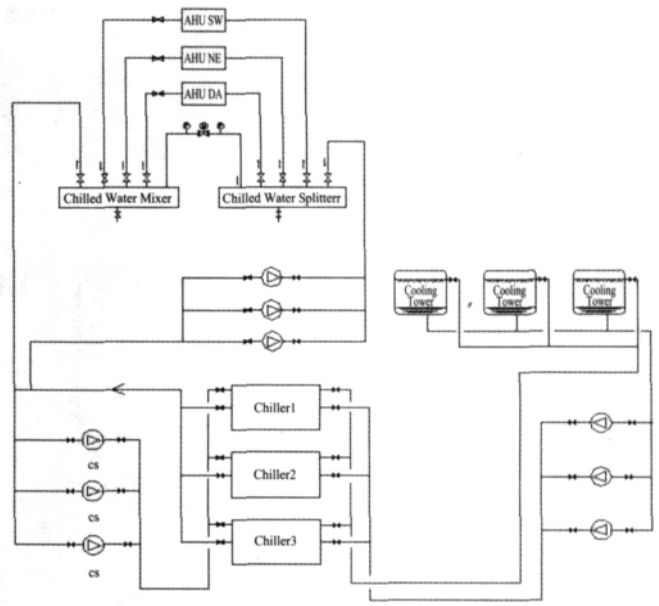


图 1 冷水系统的设备布置示意图

3 VAV 控制系统建模

空调系统在 TRNSYS 的 Simulation Studio 中布局如图 2。

3.1 两种 VAV 系统控制策略概述

VAV 系统控制系统的控制策略的选取参考欧洲标准 EN15232^[8]。

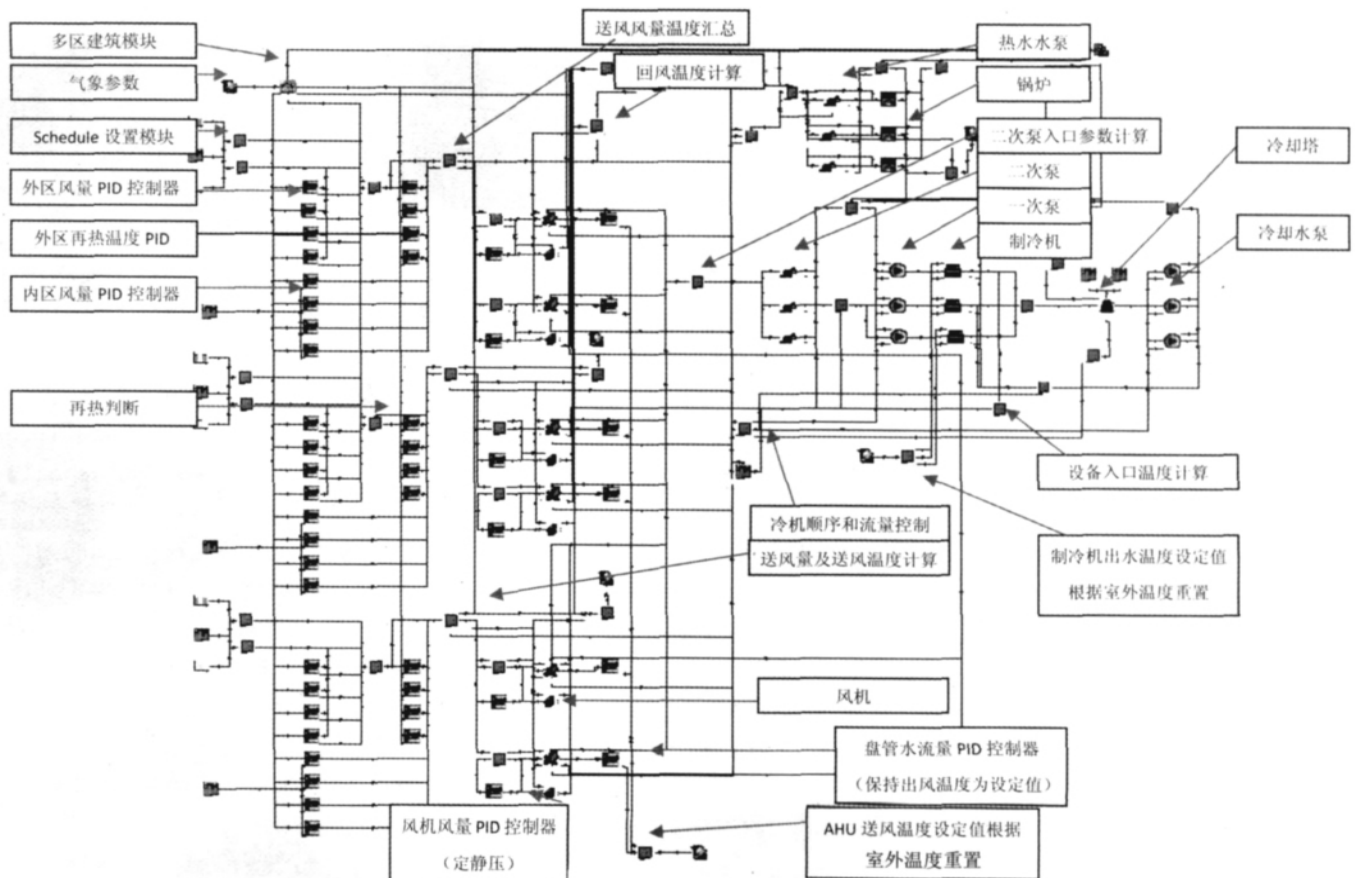


图 2 Simulation Studio 中空调系统结构图

表 1 2 个控制策略的组合模型

| 控制系统控制功能 | 基准模型 | 优化模型 |
|--------------|-----------|----------------|
| 房间送风控制 | 无控制 | 需求控制(温度控制) |
| 空调箱送风控制 | 时间启停控制 | 定静压变流量控制 |
| 送风温度控制 | 设定温度恒定 | 设定温度根据室外温度重置 |
| 输送水泵的控制 | 冷冻水一次泵 | 启停控制 |
| | 冷冻水二次泵 | 启停控制 |
| | 冷却水泵 | 启停控制 |
| | 热水泵 | 启停控制 |
| 制冷、制热设备控制 | 制冷机出水温度控制 | 恒温控制 |
| | 锅炉出水温度控制 | 恒温控制 |
| 制冷、制热设备的顺序控制 | 制冷机顺序控制 | 优先次序只取决于负荷 |
| | 锅炉顺序控制 | 优先次序取决于负荷和设备容量 |
| 供热供冷的互锁控制 | 部分互锁 | 部分互锁 |
| 冷却塔控制 | 启停控制 | 启停控制 |

3.2 空气环路控制策略

3.2.1 基准模型

3.2.1.1 房间送风控制

所有分区采用固定送风量,并通过回风温度判断是否需要再热,具体设置如下:内区换气次数为每小时 6 次,外区换气次数为每小时 10 次;内区不再热,外区在回风温度低于 18℃时再热,再热时的换气次数为每小时 4 次。

3.2.1.2 空调箱送风控制

AHU 的风机为定频风机,2、3 层的 AHU 风机的额定风量 18 000 m³/h,底层的额定风量 22 000 m³/h。

3.2.1.3 送风温度控制

不再热时,送风温度为 AHU 的出风温度,AHU 的出风温度由 PID 控制器通过调节盘管水量维持在设定值 18℃;当回风温度低于 18℃时外区开始再热,通过外区 VAV 末端的再热盘管对 AHU 的出风再热后送入外区,再热温度由 PID 控制器根据回风温度来调节。

3.2.2 优化模型

3.2.2.1 房间送风控制

所有分区的送风量由 PID 控制器根据房间的回风温度来调节。内区全年供冷且不再热,在工作时段(8:00-18:00)开启;外区在换气次数少于每小时 4 次时再热,再热时换气次数为每小时 4 次。

3.2.2.2 空调箱送风控制

AHU 风量控制采用定静压控制,静压设定值不进行重置。运行时实际功率曲线为:

$$P=P_{\text{rated}} \times (0.35+0.31F_f-0.54F_f^2+0.88F_f^3) \quad (1)$$

式中 P_{rated} 为风机额定功率;

F_f 为风机实际风量与额定风量的比值。

3.2.2.3 送风温度控制

内区全年室内温度设定值为 24℃,AHU 的出风

直接送到末端,不再热,AHU 的出风温度由 PID 控制器调节盘管水量以维持在设定值,设定值根据室外温度进行重置,重置的函数关系式如下^[9-11]:

$$\begin{cases} T_{\text{out}}=18\text{ }^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=22-(1/5)T_{\text{outdoor}}, & \text{当 } 0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{outdoor}} < 20\text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=22\text{ }^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

外区夏季室内设定温度为 24℃,没有再热时,AHU 的出风直接送到室内,当换气次数 < 4 次/h 时再热,再热温度根据房间温度用 PID 控制器来调整,此时房间温度设定值为 18℃。

3.3 空气环路 TRNSYS 建模的若干问题讨论

对于空气环路两种不同的控制策略建模中,再热的判断条件是不同的。在优化模型的末端变流量系统中,可以在末端所需送风量小于最小送风量时开启再热盘管,而由于末端风量恒定,对于基准模型此方法失效,则必须通过房间的温度来判断此时是否需要再热。

盘管的设备模型采用 Bypass Fraction Method 模型,回风温度由 70%的分区回风温度与 30%的室外新风根据干球温度加权平均取得。送风风量为 AHU 所服务的分区送风量之和,盘管的出风温度通过 PID 控制器控制盘管的送水量来稳定。进水温度则根据管网的状态(主要由旁通管水流方向)计算得出。

控制器采用 PID 控制器模块,风量控制器的控制变量为分区的温度,输出信号为所需的风量,通过改变风量来控制分区的温度。PID 控制器的启停控制根据空调季节和日常工作时间表来确定。再热控制器的输出温度也是由一个 PID 控制器得到的,控制参数同样为分区的温度,输出参数为所需的再热温度。

使用 PID 控制器来调节送风温度时,在风机启动的前期,由于控制器的性能限制,输出信号可能出现较大的振荡,因此增加了一个选择器,使得再热温度不高于 45℃且不低于 18℃;分区的送风量取值必须

在 0~15 ACH,这与实际系统的物理模型的性能限制是一致的。

由于在模拟过程中,模拟步长(即采样周期)与实际系统不一致,所以模拟环境中的 PID 参数与实际控制器的参数也是不一致的,模拟环境中的参数是根据模拟结果调整后得出的,不能推广到实际系统中。

3.4 水环路控制策略

水环路控制系统包括制冷机等设备的启停顺序控制、制冷机和锅炉的供水温度控制、水泵的启停与流量控制、冷却塔的控制等。下面将详细叙述各水环路控制系统 2 种不同策略。

3.4.1 基准模型的控制策略

3.4.1.1 制冷机、一次泵、冷却泵和冷却塔的启停控制

根据盘管进回水温度和流量计算冷负荷,根据负荷区间确定制冷机及一次泵、二次泵、冷却塔和冷却泵的启停。

3.4.1.2 冷冻水泵的控制

二次泵采用 3 台相同参数的定频泵,启停由负荷区间确定;一次泵为定频泵。

3.4.1.3 制冷机和锅炉的出水温度控制

制冷机的供水温度恒定为 7℃,不进行重置;锅炉的供水温度恒定为 66℃,也不进行重置。

3.4.1.4 冷却塔控制

冷却塔的风机为定频风机,冷却水泵采用定频泵,冷却水泵与冷却塔的启停和对应的冷机联动。

3.4.1.5 锅炉顺序和热水泵控制

3 台锅炉的启停由热负荷区间来确定,热负荷由盘管换热量计算得出。热水泵为定流量泵,额定流量为 10 m³/h,热水泵的启停与锅炉联动。锅炉的总效率设为 0.8。

3.4.2 优化模型的控制策略

3.4.2.1 制冷机、一次泵、冷却泵和冷却塔的启停控制

由盘管进出水温度和流量计算冷负荷,根据负荷区间来确定冷机、一次泵、冷却塔和冷却水泵的启停。

3.4.2.2 冷冻水泵的控制

二次泵的总水流量为所有冷盘管水流量之和,根据水流量所在的区间决定泵的启停和流量,变频泵的控制方式为:若所需的水量现有水泵满足不了要求,则多开 1 台,此时的水量由各台水泵平均分配;而一次泵是采用定频泵,启停与对应冷机联动,额定流量分别为 18、18、9 m³/h。

3.4.2.3 制冷机和锅炉的出水温度控制

制冷机供水温度根据室外干球温度重置,重置公式^[12]如下:

$$\begin{cases} T_{\text{out}}=7^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \geq 27^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=(6/11)(16-T_{\text{outdoor}})+13, & \text{当 } 16^{\circ}\text{C} < T_{\text{outdoor}} < 27^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=13^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \leq 16^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (3)$$

锅炉供水温度根据室外干球温度重置,重置公式^[12]

如下:

$$\begin{cases} T_{\text{out}}=66^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \geq 10^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=82-(16/17)(T_{\text{outdoor}}+7), & \text{当 } -7^{\circ}\text{C} < T_{\text{outdoor}} < 10^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{out}}=82^{\circ}\text{C}, & \text{当 } T_{\text{outdoor}} \leq -7^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (4)$$

3.4.2.4 冷却塔控制

冷却塔的风机为定频风机,冷却水泵采用定频泵,冷却水泵与冷却塔的启停和对应的冷机联动。

3.4.2.5 锅炉顺序和热水泵控制

3 台锅炉的启停由热负荷区间确定,热负荷由盘管换热量计算得出。水泵为变频水泵,额定流量为 10 m³/h,变频泵的控制方式二次泵变频水泵控制方式相同,水泵的启停与锅炉联动。锅炉的总效率设为 0.8。

3.5 水环路 TRNSYS 建模若干问题的讨论

在水环路控制系统的 TRNSYS 建模中,制冷机的启停顺序根据冷负荷区间来确定,负荷由盘管的供水温度和流量计算得出。其他与冷机联动的设备的启停控制信号为制冷机的运行信号。

制冷机与锅炉出水温度的设定值根据室外温度重置,只需要加上一个根据室外干球温度输出出水温度设定值的运算器,用来计算二者的函数关系。

对于二次泵的控制方式,如果二次泵为定频泵,而二次泵的启停根据冷负荷区间来确定。如果二次泵为定频泵,在盘管处必须要设置旁通管,此时盘管的总水流量不等于水泵的总水流量,水温也不等于盘管的回水温度,必须由换热量来计算。而对于变频二次泵系统,盘管的总水流量即为二次泵的总水流量,盘管的回水温度加权平均后为二次泵的进水温度。因此二次泵不同的控制方式,其模块的输入信号的来源和计算方式都是不同的。

一次泵和 AHU 冷盘管的进水温度的计算方式与连接一、二次水泵的旁通管的水流方向息息相关,首先需要根据一次水泵和二次水泵的水流量判断此时旁通管的水流方向,然后再根据水流方向调用不同的计算公式得出一次泵和盘管的进水温度。

4 温度、能耗结果分析

以下分析两种不同控制策略下 VAV 系统在冬夏季设计日分区温度、送风温度以及各耗能设备的性能。模拟步长为 0.01 h。气象参数选取上海市气象参数。

4.1 房间温度比较

图 3 和图 4 表示的是 4 个不同朝向的分区和 1 个内区冬季设计日时在两种不同控制策略下房间的温度状态,这里的温度是小时平均温度。在冬季,基准模型的分区送风量为定值,外区由于可以通过再热来保证室内维持在 18℃,PID 控制器在 8:00-18:00 间控制室内温度在 18℃。而内区采用固定送风量,且送风温度也是固定的,所以不能很好地控制房间的温度在设定值 24℃,在冬季设计日时,房间维持在较低的温度。

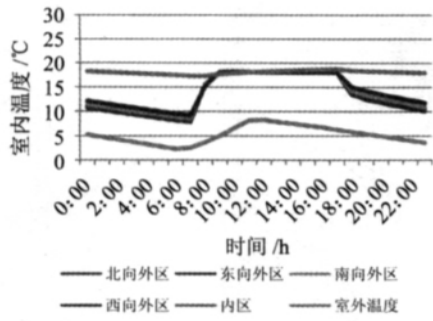


图3 基准模型冬季设计日逐时温度分布

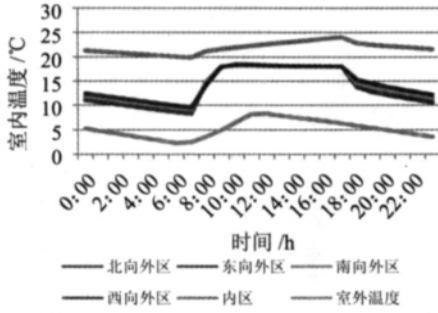


图4 优化模型冬季设计日逐时温度分布

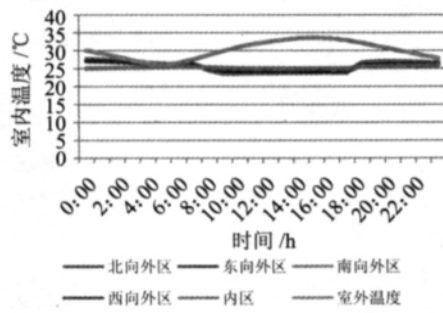


图5 基准模型夏季设计日逐时温度分布

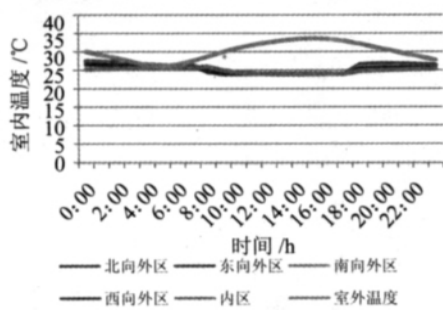


图6 优化模型夏季设计日逐时温度分布

在优化模型中,送风量是变化的,以满足室内维持在一定的温度,在送风量过低时,还将采取再热措施,所以室内很好地维持在设定值。在内区,由于没有再热,且由于有最小风量限制,因此,在一定时候,内区温度有可能低于设定温度 24°C ,但不会低于送风温度 18°C 。

在夏季,基准模型的内区由于采用的是固定送风量,但是由于送风量大,房间保持在 24°C 左右,内区由于送风量较小,温度稍高。优化模型中,通过PID控制器控制风量来控制房间温度保持在 24°C 设定值,因此,房间温度始终在 24°C 左右波动,十分理想。

4.2 送风温度比较

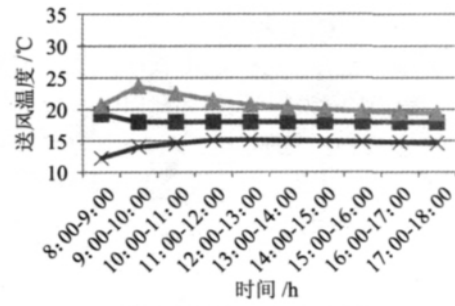


图7 基准模型送风温度

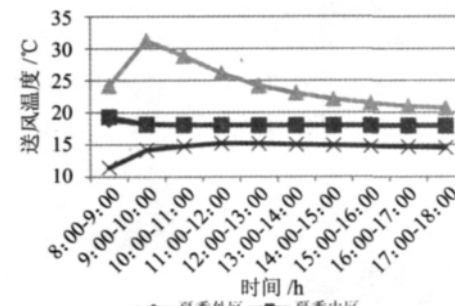


图8 优化模型送风温度

由于没有再热,两个模型在夏季以及冬季的内区的送风温度均为AHU出风温度,两个模型在冬季的内区送风温度都很低,主要是由于当时室外温度很低,30%的新风与回风混合低于AHU出风设定温度值 18°C ,此时即使盘管的水量已经为0;在冬季的外区,送风温度存在差异,基准模型由于送风量不变,因此所需要的再热温度较低,而优化模型再热时送风量设为最小送风量4 ACH,则需要较高的再热温度。

4.3 风量及风机的能耗分析

图9所示的是冬夏季总送风量的比较,在基准模型中,为了使室内温度在大部分时间内维持在可接受的温度内,需要取较大的送风量,优化模型的夏季工况是根据负荷变化实时调节的,冬季由于再热,送风量为固定最小送风量。因此,基准模型部分的风机能耗要比优化模型大。

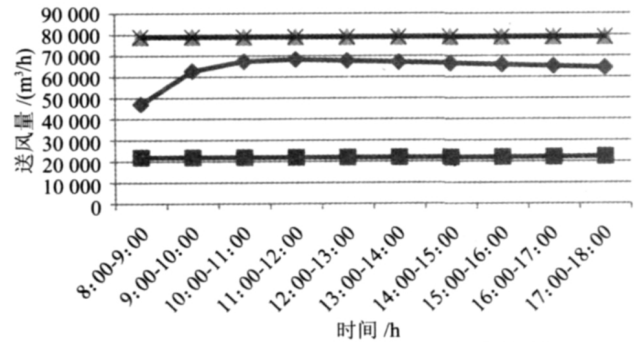


图9 不同控制策略冬夏季设计日总风量比较

4.4 冷机与锅炉的能耗分析

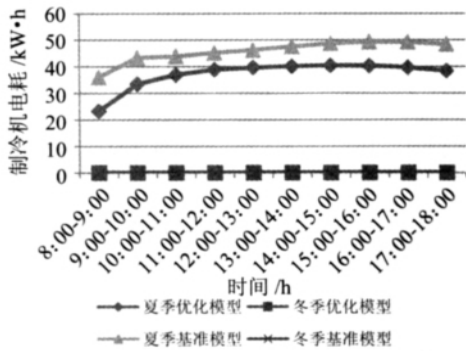


图10 制冷机电耗比较

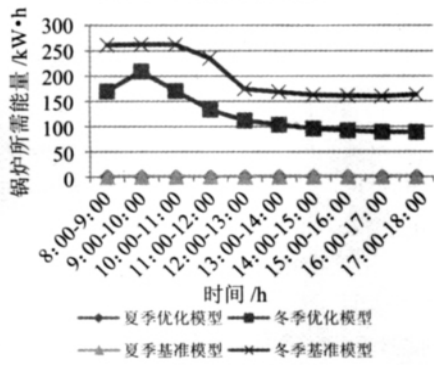


图11 锅炉所需能量比较

制冷机能耗在两种策略的表现差异较大,由于基准模型采用固定风量,浪费的能量较多。

4.5 水泵的能耗分析

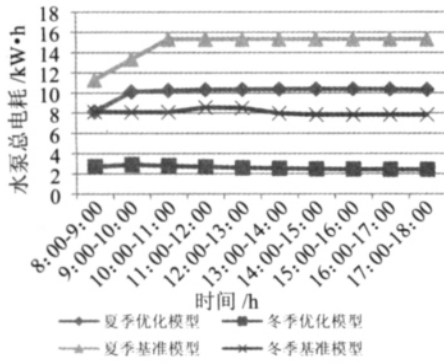


图12 水泵总电耗比较

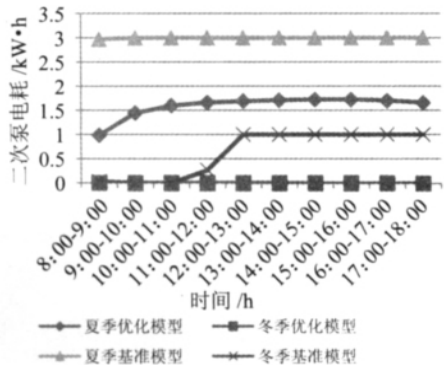


图13 二次泵电耗比较

水泵的总电耗包括冷冻水一次泵、二次泵、冷却泵和热水泵的能耗,水泵的功耗主要的差别是在二次泵和热水泵中,基准模型采用的是定频泵,优化模型采用的是变频泵,优化的模型比基准模型能耗要小。

4.6 设计日逐时分项能耗比较

以下为夏季设计日与冬季设计日各分项逐时能耗分布图,包括风机、水泵、制冷机以及冷却塔电耗。

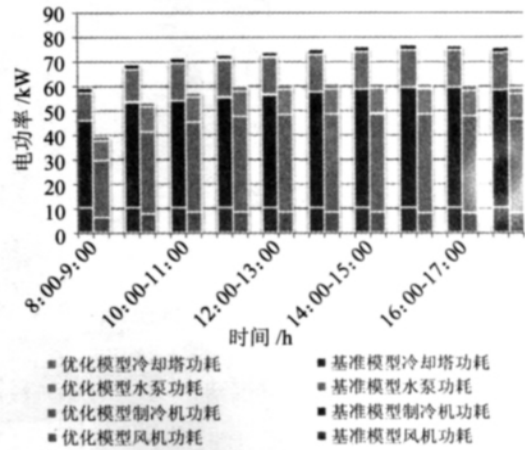


图14 基准模型与优化模型夏季典型日分项能耗分布图

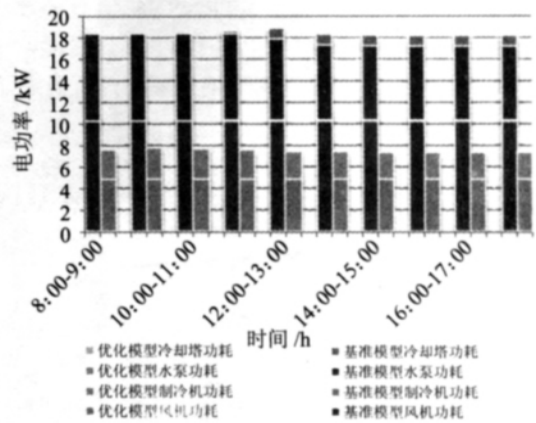


图15 基准模型与优化模型夏季典型日分项能耗分布

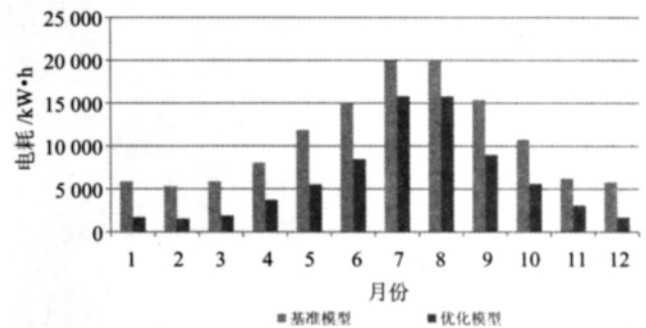


图16 基准模型与优化模型全年分项能耗分布

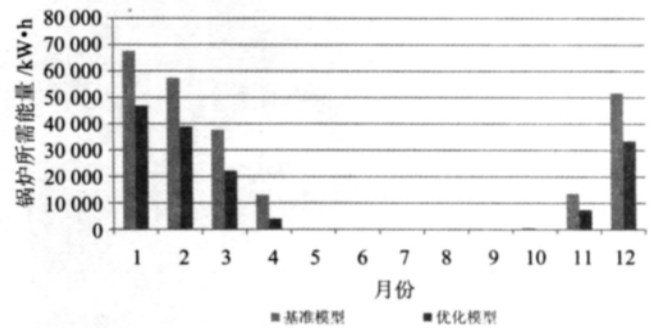


图17 基准模型与优化模型全年分项能耗分布

表2 两种控制策略下全年分项能耗和总电耗分布表

(kW·h)

| | 风机电耗 | 制冷机电耗 | 水泵总电耗 | 冷却塔电耗 | 电耗总和 | 锅炉所需能量 |
|------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|
| 基准模型 | 37 512 | 54 315 | 33 251 | 5 010 | 130 087 | 241 817 |
| 优化模型 | 21 051 | 31 779 | 18 657 | 2 473 | 73 959 | 153 536 |

从以上图表可以看出,优化模型的全年各分项能耗有了明显降低,风机电耗下降了43.8%,制冷机电耗下降了41.5%,水泵总电耗下降了43.9%,冷却塔电耗下降了50.7%,电耗总和下降了43.1%,锅炉所需能量下降了36.5%。

5 结论

虽然 TRNSYS 现有模块不能直接搭建 HVAC 控制系统模型,但是可以通过大量使用 Equation 模块来自定义方程,对模块输出数据进行处理,从而获得不能由软件模块直接输出的数据,进而建立 HVAC 控制系统模型,因此, HVAC 控制系统在 TRNSYS 中建模较为复杂。本文作者利用 TRNSYS 建立一个典型 VAV 系统的两种不同控制系统模型,分析两种控制策略下的温度、能耗等模拟结果后得出:优化模型比基准模型更好地控制房间维持一定的温度范围,且优化模型的全年总耗电量比基准模型降低了43.1%,锅炉耗能量降低了36.5%,TRNSYS 能够仿真 VAV 控制策略对能耗的影响。

参考文献:

- [1]Tashtoush B. Dynamic model of an HVAC system for control analysis [J]. Energy, 2005 (30):1729-1745.
 [2]Salisbury T I. Continuous-time model identification for closed loop control performance assessment [J]. Control Engineering Practice, 2007(15): 109-121.
 [3]Riederer P, et al. Room/thermal modeling adapted to the test of HVAC

control systems[J]. Building and Environment, 2002(37):777-790.

- [4]Ferraro V, Kaliakatsos D. Project and experimental testing of the control system of an air-conditioning plant [J]. Energy and Building, 2006(38): 554-561.
 [5]Lahrech R, Gruber P, et al. Development of a testing method for control HVAC systems by emulation [J]. Energy and Building, 2002(34):909-916.
 [6]TRNSYS 2007 TRNSYS 16.1: A Transient Simulation Program. University of Wisconsin, Madison, USA
 [7]GB 50189-2005, 公共建筑节能设计标准[S].
 [8]EN15232, Energy performance of buildings-Impact of building automation, control and building management[S].
 [9]KE Yu-Pei, MUMMA S A. Optimized supply air temperature in VAV system [J]. Energy, 1997(22):601-614.
 [10]Jin Xinqiao, Du Zhimin. Fault tolerant control of outdoor air and AHU supply air temperature in VAV air conditioning systems using PCA method [J]. Applied Thermal Engineering, 2006(26):1226-1237.
 [11]Engdahl F, Johansson D. Optimal supply air temperature with respect to energy use in a variable air volume system [J]. Energy and Building, 2004 (36):205-218.
 [12]ASHRAE STANDARD 90.1-2004 Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings[S].

作者简介: 林兴斌(1984)男,福建尤溪人,硕士在读,供热、供燃气、通风及空调工程专业,研究方向为建筑能耗模拟,建筑自动控制系统仿真(linxiangbin@hotmail.com)。

(上接第37页)

施工工艺流程:基层准备→测量、放线→挂基准线→配胶黏剂→粘贴翻包玻纤网格布→粘贴挤塑板→打磨、修理→安装背栓式锚栓,铺贴钢丝网,固定锚固件和U型卡→抹底层抹面胶浆→抹面层抹面胶浆→粘贴面砖。

施工工艺说明:①钢丝网的铺贴在保证大致平整的前提下,不应过于压紧钢丝网;②底层抹面胶浆应嵌入钢丝网与保温层中间,充分包裹钢丝网,且找平,为面层抹面提供良好的基层;③抹面层总厚度应控制在(8±2)mm比较适宜,面层抹面胶浆应保证3mm以上厚度,为系统抗拉能力提供有效的保护;④饰面砖应选用符合规定的<20 kg/m²的外墙饰面砖。

该套瓷砖饰面方案在苏州部分工程进行了局部试点,经现场瓷砖拉拔试验,完全满足国家技术规程要求的指标。

5 结论

(1)XPS 板界面剂可大幅提高 XPS 板与聚合物砂浆的黏结强度;

(2)使用经过拉毛或开槽处理的 XPS 板可增加其比表面积和表面形态,大幅提升与聚合物砂浆的拉伸黏结强度;

(3)网格布适合用于薄抹灰系统涂料饰面的外墙外保温系统,在面砖饰面中密集的网孔会影响砂浆面层的抗拉强度,导致粘贴面砖存在隐患。合理的铺贴钢丝网,可以使砂浆与钢丝网形成良好的握裹力,分散应力,使砂浆和钢丝网成为一个整体,保护内层的保温材料,提高系统抗拉强度;

(4)选择合理的抹灰厚度对系统抗拉强度有很大影响,保证钢丝网两侧都有足够厚度的砂浆就同时保证了砂浆与 XPS 板和面砖黏结剂的黏结强度。

参考文献:

- [1]JG 149—2003, 膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统[S].
 [2]张碧茹. 外墙外保温体系使用锚栓的问题[J]. 上海节能, 2004(5):30-32.

作者简介: 陈晓龙(1976)男,江苏苏州人,工程师(ryuchen2002@yahoo.com.cn)。