

中央空调仿真培训系统的设计与实现

沈宫新, 李云明, 刘其和

(南京化工职业技术学院 流体密封与测控研究所, 南京 210048)

摘要: 当前中央空调已经广泛应用在各大企事业单位中, 对中央空调的运行和维护人才提出了更高的要求; 为适应人才培养需要, 需要开发仿真培训系统; 参照中央空调原型, 对制冷系统核心部件包括压缩机、冷凝器、节流阀、蒸发器的建模、仿真; 开发出相应的中央空调仿真培训系统; 该系统采用C++语言结合COM组件技术开发, 能够仿真空调机组开机检查、启动运行、运行调节、故障处理等功能; 经过测试运行, 系统稳定可靠, 具有一定的实用性和推广价值。

关键词: 中央空调; 启停仿真; 故障仿真; 培训

Design and Implementation of Central Air Conditioning Simulation Training System

Shen Gongxin, Li Yunming, Liu Qihe

(Fluid Sealing Measurement and Control Institute, Nanjing College of Chemical Technology, Nanjing 210048, China)

Abstract: The central air conditioning has been widely used in enterprises in the current, it put forward higher requirement about talent. In order to meet the training needs, we need to develop the simulation and training system. Central air conditioning training system has been completed according to Prototype of central air conditioning. Refrigeration system, including the core components of the compressor, evaporator, condenser, throttling valve are modeled and simulated. The system has been developed in C++ language binding COM components technology, it can simulate air conditioning units to checking, start-stop running, operation and tuning, troubleshooting, and other functions. The system runs with stable and reliable and has a certain practical and promotional value.

Key words: central air-conditioning; start-stop simulation; troubleshooting simulation; training

0 引言

中央空调包含完整的热力过程, 对运行维护人员不仅提出了相关的理论要求, 也对他们的实际操作能力提出了一定的要求, 为了加深运行维护人员对理论的理解和实际运行维护中央空调的能力, 本文采用计算机仿真技术。模拟中央空调机组开机检查、启动运行、运行调节、故障处理等主要功能。目前, 国内研究多集中的空调仿真模型的优化, 用来完善空调系统的设计和定型。用于培训的中央空调仿真软件系统尚不多见。下面首先介绍本系统的仿真原型。

1 机组结构

作为仿真对象的中央空调的数据模型主要分为: 负载、冷源和作为热量交换中介的风机盘管。负载主要包括封闭的房间、房间里的人员及各种能够产生热量的设备。冷源是指冷却液在热力循环中不断蒸发吸热, 从而降低冷冻水温度。风机盘管担负两者热量交换媒介。经过一段时间的暂态过程后, 热交换达到平衡态。房间从风机盘管吸收制冷量和房间的散冷量到达平衡, 制冷剂的吸热量和冷冻水带走的热量达到了平衡。中央空调系统图如图1所示。

螺杆式压缩机由于结构紧凑, 转速较高(通常在3000 r/min以上), 没有往复质量惯性力, 动力平衡性能好, 且有良好的

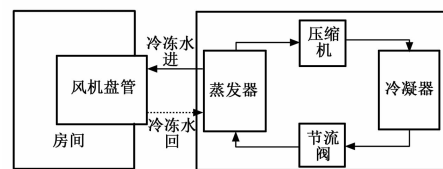


图1 中央空调系统图

输气量调节特性以及维护方便等特点, 在制冷空调中应用越来越广泛。本文中的压缩机原型为YORK螺杆式冷水机组(型号: YSCACAS25CEF), 模型的所有参数基本与实际系统的所有参数保持一致。

2 模型建立

系统模型的建立是系统仿真的核心问题, 系统模型是实际系统或过程在某些方面特性的一种表现形式, 它能反映出系统或过程的行为特征。

2.1 压缩机模型

虽然实际压缩机工作过程涉及复杂的热力过程。为系统仿真的需要, 将它简化成下列三个相关方程^[1]。压缩机的流量公式:

$$V_{\text{com}} = \lambda V_{\text{th}} \quad (1)$$

式中, V_{com} 为压缩机的实际输气量, λ 为输气系数, V_{th} 为压缩机理论输气量。排气温度公式:

$$T_{\text{out}} = T_{\text{in}} \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2)$$

式中, T_{out} 为压缩机排气温度; T_{in} 为压缩机吸气温度; n 为多变过程指数(与压缩机喷油量和喷油温度密切相关, 因此需要

收稿日期: 2014-01-15; 修回日期: 2014-03-01。

基金项目: 江苏省高校科研成果产业化推进项目(JHZD2012-16)。

作者简介: 沈宫新(1975-), 男, 讲师, 高级程序员, 主要从事信息系统软件开发, 仿真软件开发等方向的研究。

针对不同的压缩机作经验修正得到)。压缩机的实际功率公式:

$$P_{com} = \frac{\lambda}{\eta} V_{th} P_{in} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (3)$$

式中, η 为压缩机效率, 其它参数定义见式 (1) ~ (2)。

2.2 冷凝器和蒸发器模型

冷凝器和蒸发器都属于制冷系统中换热器, 换热器的建模比较复杂, 为了减少的仿真计算量, 本课题将其简化处理。考虑到机组的保护条件, 把制冷剂 R22 的运行压力限定在 500 kPa 到 1 800 kPa 之间。根据这一压力范围和 R22 的热力特性表格, 拟合了下列 3 组关系。

(1) 工质 R22 在 500 kPa 到 1 800 kPa 的范围内, 压力与冷凝温度的函数变化关系^[2-3]:

$$Y_{(temperature)} = 6.9179X^3 - 35.9899X^2 + 88.1832X - 35.6276, \quad X \text{ 为压力 (MPa)} \quad (4)$$

(2) 液态 R22 从 0℃ 到 49℃ 时温度与比焓的函数变化关系:

$$Y_{(enthalpy)} = 0.0021X^2 + 1.1583X + 200.0679, X \text{ 为温度 (℃)} \quad (5)$$

(3) 气态 R22 从 0℃ 到 49℃ 时温度与比焓函数变化关系:

$$Y_{(enthalpy)} = -0.0026X^2 + 0.3859X + 405.262, X \text{ 为温度 (℃)} \quad (6)$$

根据式 (5) 和式 (6) 可以不同温度下的汽化潜热值:

$$Y_{(enthalpy)} = -0.0047X^2 - 0.7724X + 205.194 \quad (7)$$

在换热器的单项区, 存在的换热关系为 $\dot{m}_1 C_1 \Delta T_1 = \dot{m}_2 C_2 \Delta T_2$, 工质 R22 的温度增减等于换热器中水的温度的增减。而在两项区, $\dot{m}_1 q_1 = \dot{m}_2 C_2 \Delta T_2$ 工质 R22 没有温度变化, 但是由于相变发出的热量或吸收的热量等于换热器中水的温度的增减。

2.3 节流阀模型

本仿真系统中采用的是孔板节流。孔板节流阀的最大压差 1 800-500=1 300 kPa, 最小压差为 900-500=400 kPa, 可用流体力学^[4]中的孔板节流公式来估算:

$$V = Au = A\alpha \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad Q = V\rho \quad (8)$$

式中, α 是与雷诺值有关的常数, A 、 u 、 Δp 、 ρ 、 V 、 Q 分别为孔径的面积、流速、压差、密度、体积流量、质量流量。根据空调满功率的额定工况, 可以很方便定出系数 $A=1.2286 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 对应的半径 $r=0.6255 \text{ cm}$ 。

2.4 风机盘管和房间换热模型

房间与外界的热交换用下式来估算^[5]

$$Q = (Q_w + 116n) \times 1.5 \quad Q_w = KA\Delta T \quad (9)$$

式中, Q 为空调的总负荷, Q_w 为围护结构 (房间) 的负荷, K 为传热系数, A 为面积, n 为人数, ΔT 为是室内外空气温差 (℃), 1.5 为新风系数。以 20 m² 的房间为例, 令其总表面积 $A=100 \text{ m}^2$, 当环境温度为 38℃ 时, 空调可以使室内温度至少降到 18℃ ($\Delta T=20$), 并维持平衡, 可以定出 $K=0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{℃})$, 这时空调的负荷为 105 W/m² ($Q=2100$), 如果记入人的影响, Q 的值在 3 000 W 左右, 空调的负荷约为 150 W/M², 大致可以定出以下的参数: $K=0.7$, $A=100$, $\Delta T=20$ 。当由风机送来的冷量大于负载时, 围护结构内持续降温, 直至两者相当而处于平衡状态。

风机盘管是受迫对流热交换器, 风机盘管内流动的冷冻水

和房间内的空气进行热交换, 用带修正系数的对数平均温差模型^[6]描述 $Q = KAF\Delta T_m$ 。 F 是修正因子 (对于空调系统约为 1), ΔT_m 是平均温差, K 是传热系统, A 是换热面积。将总传热系数等效为单位长度传热系数, 假设 L 为 5 个单位长度, 则有 $K'=64$ 。风量的控制, 可以等效到 $5 \times K'$ 上, 将 K' 分为 3 挡: 50、57、64, 在房间温度为 18° 时所对应的冷量分别为: 2 344、2 613、2 873。根据房间的热负荷结合对应的风机盘管模型, 盘管内水的流量为 180 g/s, 则当房间温度为 18℃ 时, 7℃ 的进水流经盘管, 出水温度为 10.80℃, 此时空调所提供冷量为 $mc\Delta t = 180 \times 1 \times 3.8 \times 4.2 = 2 873$, 该值接近 3 000 J。

3 仿真系统实现

在本仿真培训系统中, 启停仿真和故障仿真是系统的核心功能。

3.1 启停仿真过程。

作为仿真培训系统, 仿真过程如图 2 所示。

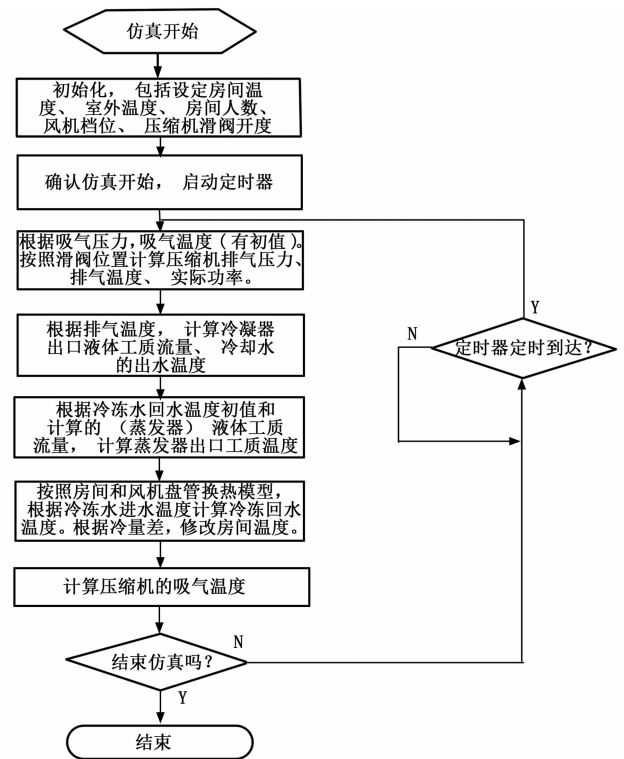


图 2 系统启停仿真流程图

系统的仿真从压缩机开始, 系统给定初始吸气温度 (25℃)、吸气压力初值 (1 044 kPa) 和滑阀位置, 根据公式 (8) 计算压缩机进出口的压差, 根据压差和吸气压力计算出排气压力, 根据公式 (2) 和多变系数 $n=1.19$ 计算出排气温度。下面在根据公式 (3) 计算出压缩机实际功率, 在冷凝器仿真模块, 把冷凝器划分为多个微元, 同时冷凝器采用三区模型^[7], 过热气体区, 两项冷凝区, 过冷液体区。根据排气压力结合公式 (4) 计算对应压力的冷凝温度, 根据 (7) 计算对应温度的汽化潜热, 冷却水的进水温度和流量, 最后计算出冷凝器的出口工质流量和冷却水的出水温度。节流过程简化为压力改变, 没有发生相变, 蒸发的过程全部是在蒸发器中进行。在蒸发器中, 入口全部为液体饱和工质, 把蒸发器划分为多个微元, 同时蒸发器采用简化为两区模型, 即两项沸腾区和过热气

体区。整个蒸发器看成等温过程, 根据蒸发器出口压力计算出蒸发温度, 按照微元迭代整个换热过程。计算过热后的新的蒸发器出口温度。把新的蒸发器出口温度作为压缩机吸气温度, 进行新一轮迭代。在房间温度模块中, 根据冷冻水带来的冷量和房间散发的冷量是否平衡来推断温度的改变。

3.2 故障仿真过程。

在故障仿真处理模块, 老师设定特定的故障, 让学员来进行处理, 学员通过观察相应的异常参数和告警信息, 要迅速准确的查明原因, 排除故障。学员故障处置见图 3, 在教师端设定故障后, 学员端系统进入故障仿真处理流程, 首先学员端系统直接设置参数为正常运行的参数, 根据故障的编号, 获取故障引起变化的多个参数名和它们的变化趋势, 根据变化趋势来计算参数的实时值, 实际过程的参数变化千差万别, 本项目中采用提前设置所有参数的最大值和最小值的方法, 如果故障影响参数变化趋势是变大, 参数就根据故障累计时间向最大值变动, 如果参数变化趋势是变小, 参数就根据故障累计时间向最小值变动的方法来模拟故障参数变化。学员根据参数变化, 来判断故障, 执行对应的操作方能解除故障。

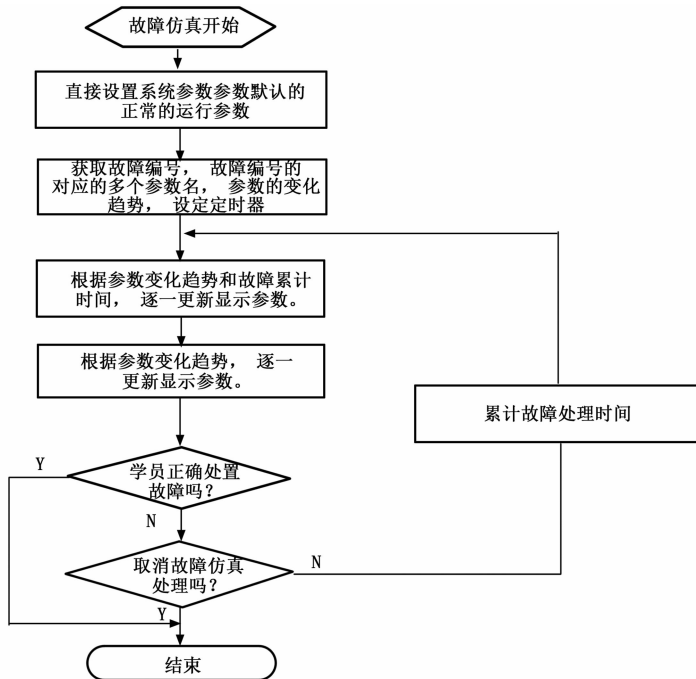


图 3 系统故障仿真流程图

4 软件界面和运行参数分析

软件的主界面如图 4 所示, 系统可以设置为启动仿真运行和故障仿真运行状态, 在启动仿真运行中, 滑阀的开度是一个关键性的因素, 它的开度直接决定了压缩机的进出口压差, 进而决定了出口的温度和迭代后的下一次的进口温度, 空负荷启动。压缩机出口仿真压力和实际压力的变化趋势如图 5, 在 0~50 s 是启动过程, 实际的压缩机有对应暂态变化, 而仿真压力在计算中参照流量来进行计算, 存在滑阀位置 80%~100% 的盲区, 后面随着流量的增加, 仿真系统和实际系统趋于一致, 系统的其他参数在稳态运行中也和实际系统保持一致, 误差不超过 1.5%。同时, 在故障仿真运行状态, 教师端设置一定的故障, 比如排气压力升高, 学员必须检查系统导致

排气压力升高的可能原因, 比如冷凝水系统的水温, 流量的问题, 或者制冷剂过量的原因, 当排气压力压力升高到一定值, 系统也会出现告警提示, 学员只有发现故障, 执行对应的操作后, 系统才能解除故障。通过设置不同的故障, 导致相关参数的变化, 让学员来分析, 判断, 处置故障, 提高学员的操作能力和熟练程度。通过分析可见, 系统的优势在于稳态仿真和故障仿真。

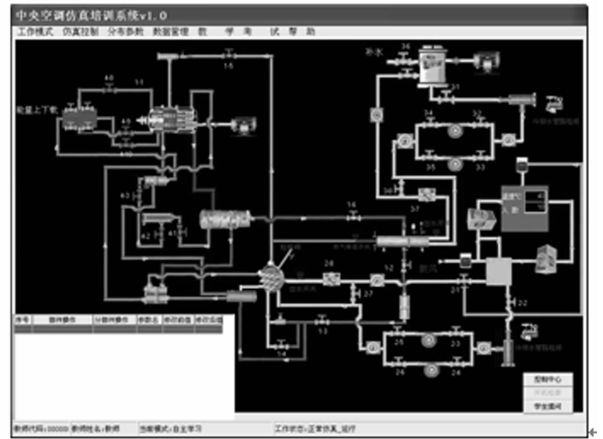


图 4 仿真培训系统主界面

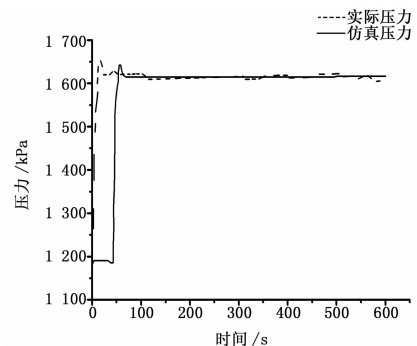


图 5 压缩机出口仿真压力和实际压力变化图

5 总结

针对中央空调广泛使用的背景, 本文通过对螺杆式制冷机组部件的仿真, 实现了机组启停仿真和故障仿真。学员通过仿真操作, 加深对系统热力特性的理解, 提高机组故障处理的能力。在实际的教学和培训中起得很好的效果。

参考文献:

- [1] 郑贤德. 制冷原理与装置 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 李庆扬 王能超. 数值分析 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004.
- [3] 李晓东. 制冷原理与设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 黄卫星, 陈文梅. 工程流体力学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [5] 朱 勇. 中央空调 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [6] 谷 波, 卞荷洁, 黎远光. 风机盘管变结构性能模型分析 [J]. 机械工程学报, 2004, (10): 109-114.
- [7] 张春路. 制冷空调系统仿真原理与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [8] 张国东. 制冷设备维修工 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.