

·应用技术研究·

地源热泵热水系统的可视化动态仿真

王新华^{1, 2*}, 冯喜忠², 谭欣星¹, 焦玉琳²

(1. 长沙理工大学 能源与动力工程学院, 湖南 长沙 410076; 2. 商丘职业技术学院, 河南 商丘 476000)

摘要:通过分析地源热泵系统的组成, 分别建立了地源热泵系统的 3 个组成环路的数学模型: 地下埋管换热器环路模型、热泵机组环路模型、末端水环路模型。通过质量守恒、能量守恒和动量守恒关系, 利用 MATLAB-SMULNK 模块, 搭建整个系统的动态仿真模型, 并采用具有编程简单、数据输入方便、界面交互性强等优点的 GUI 来完成可视化界面的设计。

关键词:地源热泵; 动态仿真; 可视化

中图分类号: TU831.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0972(2008)04-0611-03

Study and Design of the Simulation of the Ground Source Heat Pump Hot Water System

WANG Xin-hua^{1, 2*}, FENG Xi-zhong², TAN Xin-xing¹, JIAO Yu-lin²

(1. College of Energy and Power Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China;

2. Shangqiu Vocational & Technical College, Shangqiu 476000, China)

Abstract: Based on the analysis of the ground source heat pump components, mathematical model of three composition loops of the ground source heat pump system are established, including the underground heat exchanger loop, heat pump units loop and the end of the water loop. According to conversation of mass, energy and momentum, the dynamic simulation model is constructed by using MATLAB-SMULNK module and GUI visualization interface. The advantages of the GUI programming is simple, convenient in data entering and strong in interface interaction. With the advantage of the powerful GUI, it is convenient to achieve the dynamic simulation of the ground source heat pump system.

Key words: ground source heat pump; dynamic simulation; visible

0 引言

合理地建立地源热泵的模型, 是研究地源热泵的运行特性和合理匹配热泵各部件使其达到最佳运行状态的重要环节^[1-3]。建立地源热泵系统的各环路数学模型, 通过质量守恒、能量守恒和动量守恒关系, 可在 MATLAB-SMULNK 环境下建立系统的仿真模型。输入地源热泵系统的初始参数, 计算出对应配置下相应的参数, 输出系统的冷凝温度, 蒸发温度和室内温度的变化曲线, 从而达到动态仿真的目的。

本设计只对冬季工况进行仿真, 其冬季工况系统如图 1 所示。

系统由地下埋管换热器环路、热泵机组环路、末端水环路组成。用地下埋管换热器回收土壤的低位热源, 蒸发器中的制冷剂吸收土壤的热量开始蒸发, 制冷剂经过压缩机变

成高温高压的气体, 再经过冷凝器, 跟冷凝器中的冷凝水换热, 冷凝器中的冷凝水吸收致冷剂的热量后温度上升, 热水即可供给用户。而制冷剂再经过膨胀阀变成低温低压的液体流入蒸发器, 从而完成工作循环。

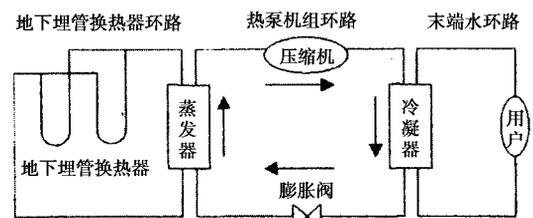


图 1 地源热泵系统示意图

Fig 1 Diagram of ground-source heat pump system

收稿日期: 2008-05-04; 修订日期: 2008-07-12; * 通讯联系人, E-mail: gyxwxh@163.com

基金项目: 长沙理工大学博士基金资助项目

作者简介: 王新华 (1970-), 男, 河南商丘人, 讲师, 硕士, 主要从事高效传热与传质研究。

1 地源热泵系统的数学模型

1.1 地下埋管换热器数学模型

包括地下循环水与土壤之间的传热. 假设土壤的温度是恒定不变的, 地下循环水与土壤恒温层有一定厚度进行传热, 从而可简化为一个简单的温差传热过程, 可用对数平均温差计算. 传热方程为:

$$m_e c_p (t_{eo} - t_{ei}) = k_g f_g \frac{t_{eo} - t_{ei}}{\ln \frac{t_g - t_{ei}}{t_g - t_{eo}}} \quad (1)$$

式(1)中: m_e (kg/s) 为蒸发器水侧循环流量; c_p ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) 为水的比热; t_{eo} () 为蒸发器出口循环水温度; t_{ei} () 为蒸发器进口循环水温度; t_g () 为地下土壤平均换热温度; k_g ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) 为地下传热系数; f_g (m^2) 为地下换热器总面积.

1.2 热泵机组环路数学模型

1.2.1 蒸发器和冷凝器数学模型

与压缩机和膨胀阀相比, 冷凝器和蒸发器的模型和模拟方法更为复杂, 涉及的输入输出参数也更多. 根据模拟方法的不同, 换热器的模型一般分为稳态模型和动态模型. 在蒸发器和冷凝器中, 工质的焓降应等于工质与循环水间的传热, 也等于循环水进出口的内能增量. 其传热方程分别为:

$$m_e c_p (t_{eo} - t_{ei}) = k_e f_e \frac{t_{eo} - t_{ei}}{\ln \frac{t_{ei} - t_e}{t_{eo} - t_e}} = m (h_2 - h_1), \quad (2)$$

$$m_c c_p (t_{co} - t_{ci}) = k_c f_c \frac{t_{co} - t_{ci}}{\ln \frac{t_c - t_{ci}}{t_c - t_{co}}} = m (h_3 - h_4). \quad (3)$$

式(2)、(3)中: m (kg/s) 为工质流量; m_e (kg/s) 为冷凝器水侧循环水流量; t_{ei} () 为冷凝器进口循环水温度; t_{eo} () 为冷凝器出口循环水温度; k_e ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) 为蒸发器总传热系数; f_e (m^2) 为蒸发器的换热面积; k_c ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) 为冷凝器的总传热系数; f_c (m^2) 为冷凝器的换热面积.

1.2.2 压缩机数学模型

目前常用的压缩机建模方法有效率法、图形法等. 效率法是一种相对简单的方法, 即将压缩机中复杂的流动与传热过程简化为一些经验公式来计算压缩机的效率, 如容积效率、指示效率、摩擦效率等. 图形法是根据厂家提供的压缩机性能曲线进行回归的建模方法, 适用于某一型号的压缩机在特定工况下的性能. 本文采用图形法建模, 通过具体压缩机样本提供的工况数据拟合出输气系数的关联式. 选用单螺杆压缩机, 忽略气缸壁与外部空间的热交换, 可得:

$$V_R = V_H, \quad (4)$$

$$m = \frac{V_R}{3600 v_s} \quad (5)$$

式(3)、(4)中: V_R (m^3/h) 为实际输气量; V_H (m^3/h) 为理论输气量; v_s (m^3/kg) 为压缩机进口工质的比容; η 为输气效

率.

1.3 末端环路数学模型

假设房间温度变化引起的对室外的传热在瞬间达到稳定, 忽略管路的沿程损失, 其传热方程为:

$$m_c c_p (t_{co} - t_{ci}) = k_h f_h (t_i - t_o), \quad (6)$$

$$m_c c_p (t_{co} - t_{ci}) = k_p f_p \frac{t_{co} - t_{ci}}{\ln \frac{t_{co} - t_j}{t_{ci} - t_j}} \quad (7)$$

式(6)、(7)中: t_i () 为室内温度; t_o () 为室外温度; k_h ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) 为房间的总传热系数; f_h (m^2) 为房间的总换热面积; k_p ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) 为风机盘管与室内空气的总传热系数; f_p (m^2) 为风机盘管与室内空气的总换热面积.

子系统的仿真模型建立后, 再把各子系统进行封装. 由于实现动态可视化仿真还需要输入信号, 因此用室外温度来作为仿真的输入信号. 因为室外温度是随时变化的, 所以用变正弦波信号来模拟它的变化.

在进行仿真时, 各子系统调用过程如下:

(1)对房间进行试算. 在仿真程序内设置房间初始参数(房间空调面积, 传热系数等). 自热泵机组开启时刻起, 输入室外温度变化扰量, 调用冷凝器子程序, 计算得到室内温度和冷凝器进口循环水温度.

(2)对冷凝器进行试算. 设置冷凝器结构参数, 冷凝器水侧流量, 调用房间和压缩机子程序, 获得工质流量, 冷凝器进口循环水温度. 计算得到冷凝器的冷凝温度, 冷凝器出口循环水温度.

(3)对蒸发器进行试算. 设置蒸发器结构参数, 蒸发器水侧流量, 调用地下和压缩机子程序, 获得工质流量, 蒸发器出口循环水温度. 计算得到蒸发器的蒸发温度以及蒸发器进口循环水温度.

(4)对压缩机进行试算. 设置压缩机结构参数, 调用房间子程序, 获得工质流量.

(5)对地下埋管换热器进行试算. 设置埋管换热器结构参数, 调用蒸发器子程序, 获得蒸发器出口循环水温度.

(6)最后再调用冷凝器, 蒸发器及压缩机子程序, 最终获得冷凝温度, 蒸发温度的变化情况以及工质流量.

2 GUI 可视化界面设计

MATLAB 提供了功能强大的图形用户设计界面 GUI (Graph User Interface), 可设计出方便直观的智能型交互界面^[4-5]. 用户可根据界面提示完成各种操作. GUI 具有编程简单, 数据输入方便, 界面交互性强的特点^[6]. 可以充分利用 SIMULINK 和 GUI 各自强大的功能, 将二者结合起来实现地源热泵系统的动态仿真.

可视化界面的设计需要在 GUI 环境下完成, 完成之后有 2 个文件生成, 一个是 M 文件, 一个是 fig 文件. M 文件是由代码形成, 它的作用是调用函数. 一打开界面用户能看见 5 个按钮, 他们都连接了一些函数, 点击按钮能自动调用跟它连接的函数, 连接的函数都能实现如下功能:

(1)点击地源热泵视图按钮,可以看到地源热泵的工作原理;

(2)点击打开仿真按钮,会出现仿真窗口;

(3)点击仿真开始按钮,则仿真开始,仿真窗口可显示室外温度、室内温度、冷凝温度、蒸发温度 4 个参数,它们随着仿真时间改变而改变.

(4)点击关闭视图和关闭仿真按钮,则界面关闭.

3 仿真结果与分析

当室外温度在 $-3 \sim 3$ 波动变化时,它的室内温度、冷凝温度和蒸发温度都在相应的范围内变化.

(1)室内温度的初始值为 9 ,在运行过程中很快达到设定温度 20 ,并在其附近小幅度波动,变化曲线如图 2

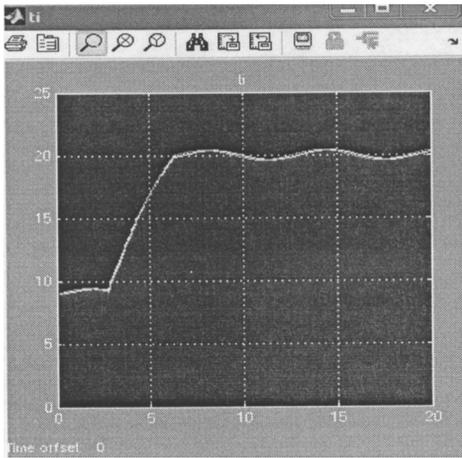


图 2 室内温度变化曲线

Fig 2 Curve of indoor temperature

(2)蒸发温度在 $5 \sim 15$ 之间变化,它的曲线表明了随着室外温度的升高蒸发温度也相应的有所增加.它受室外温度的影响比较大,所以上升曲线比较陡,比冷凝温度上升得快,变化曲线如图 3

(3)冷凝温度在 $40 \sim 55$ 之间变化,它的曲线上升有规律,类似于一条直线,但上升的过程中又有不规则的波动.曲线表明了室外温度在小范围内波动的时候,冷凝温度受它的影响比较缓慢,上升曲线比较平缓,变化曲线如图 4

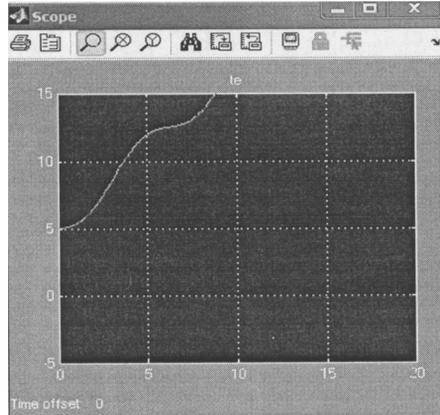


图 3 蒸发温度变化曲线

Fig 3 Curve of evaporation temperature

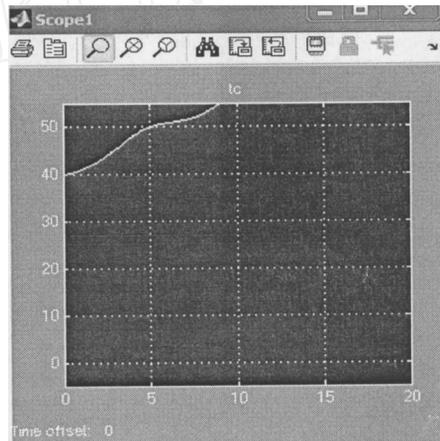


图 4 冷凝温度变化曲线

Fig 4 Curve of condensing temperature

从仿真结果来看,跟实际情况基本相符.仿真的结果验证了仿真能够很好地调节室内换热量,从而保证了正常的室内设定温度.

4 结论

从仿真结果可以得出以下结论:

- (1)地源热泵系统数学模型的建立理论充分,符合实际情况,具有一定的推广作用.
- (2)地源热泵的仿真模型采用智能控制,失真度较小.
- (3)由于数学模型的相对简化以及一些较为理想的假设,对仿真结果会略有影响.

参考文献:

- [1] 丁国良,张春路. 制冷空调装置仿真与优化 [M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 徐 伟,郎四维. 地源热泵技术指南 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [3] 曲云霞. 地源热泵系统模型与仿真 [D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.
- [4] 王胜贤,秦 萍. 地源热泵系统的动态仿真模型研究 [D]. 成都:西南交通大学机械工程学院,2006.
- [5] 丁国良,张春路. 基于模型的制冷空调装置智能仿真 [J]. 制冷技术,2001 (4): 18-21.
- [6] 丁国良. 小型制冷装置动态仿真与匹配研究 [D]. 上海:上海交通大学,1990.

责任编辑:任长江