

冷凝器性能实验仿真软件

王文晶 郭航 肖远立 徐榕
(北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘要 对采用变频压缩机和第二工质质量热器的冷凝器性能实验系统进行了计算机仿真, 仿真软件可以在 Windows 98 / 2000 环境下运行. 利用本软件对空气冷却式冷凝器和水冷却式冷凝器进行了实验性能预测, 其结果很好地反映了冷凝器的性能特征. 利用本软件预测冷凝器性能可以大大减少实验量, 缩短冷凝器试制周期.

关键词 冷凝器, 实验, 仿真

分类号 TB 6

冷凝器作为制冷系统中必不可少的部件之一, 其性能的优劣对于整个制冷系统有着重大的影响. 制冷工况的改变, 冷却介质进入冷凝器时温度的变化以及冷却介质质量流量的变化等因素都会对冷凝器性能产生影响. 随着制冷技术的不断发展, 不断有采用新的高效强化传热管的冷凝器出现, 在这些新型冷凝器投入大规模使用之前, 必须对其性能进行系统的实验研究. 确定一个新型号的冷凝器, 从设计完成制造出样机开始, 到反复改进其结构, 最终定型投入批量生产, 这期间要做大量的性能实验. 另外, 由于 CFC 问题的出现, 许多制冷系统需要将制冷剂更换为对地球环境无破坏或破坏较小的新工质, 更换工质后, 冷凝器性能如何也需要通过大量实验确定. 用同一种冷凝器进行几种不同制冷剂的对比实验, 更需消耗资金和时间. 测试冷凝器性能可采用第二工质质量热器法, 但是每次实验均需要较长时间才能达到稳定的工况, 稳定后的工况很容易受到外界干扰而波动. 为了能够缩短试制周期, 可以考虑采用如下方案: 先用计算机仿真来预测不同结构参数、不同工况、不同制冷剂条件下的冷凝器的性能; 选择出几种较好的情况进行实验研究, 最后得到最佳方案.

作者针对空气冷却式冷凝器和水冷却式冷凝器, 编制了其性能实验的计算机仿真软件, 在对软件的仿真结果的正确性进行了验证后, 运用本软件进行了某型号冷凝器的性能实验的计算机仿真.

1 实际实验系统

实际实验采用第二工质质量热器法, 利用量热器底部的电加热器产生的热量, 以量热器内的第 2 制冷剂为传热介质, 将热量传给蒸发盘管内的第 1 制冷剂. 根据能量平衡原理可知, 蒸发器产生的冷量加上系统的漏热损失应与电加热器的加热量相等. 通过测量电加热功率和进出口处的温度、压力, 可以确定制冷剂流量和制冷量, 通过测量冷凝器进出口处的温度、压力, 可以确定冷凝器进出口处的焓值, 从而确定冷凝器的热负荷, 进而可分析各参数变化对冷凝器性能的影响. 实验系统示意图见图 1 (图中脚标 W 代表冷却介质; i 代表入口; o 代表出口; $P_1 \sim P_4$ 为 1~4 点的制冷剂压力; $t_{R1} \sim t_{R4}$ 为 1~4 点的制冷剂的温度). 由图 1 可看出, 实验系统主要由变频压缩机、冷凝器、节流装置和量热器(蒸发器)等部件组成. 实验通过调节电加热量和压缩机转速, 可获得不同的工况条件.

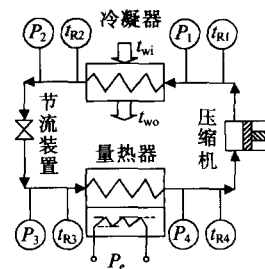


图1 实际实验系统示意图

收稿日期: 2000-12-29

2 计算机仿真

许多学者在制冷系统的仿真方面做了大量工作^[1~3], 本文旨在对整个实验系统进行仿真, 这不但要求压缩机、冷凝器、节流装置和量热器均应有各自的计算模型, 更重要的是, 由于制冷系统的各个部件的运行是相互耦合的, 因此不可能每个部件单独求解, 必需使得各个部件同时联立迭代求解。

2.1 系统的主要数学模型

由传热方程确定的冷凝器热负荷

$$\Phi_{k1} = K \cdot A \cdot \Delta t_m \quad (1)$$

冷却介质流经冷凝器后带走的热量

$$\Phi_{k2} = C_{p,wo} \cdot t_{wo} - C_{p,wi} \cdot t_{wi} \quad (2)$$

冷凝器热负荷

$$\Phi_k = \Phi_{k1} = \Phi_{k2} \quad (3)$$

以上各式中: K 为传热系数 ($W / (m^2 \cdot K)$); A 为冷凝器传热面积 (m^2); Δt_m 为对数平均温差; $C_{p,wo}$ 为冷却介质出口定压比热; $C_{p,wi}$ 为冷却介质进口定压比热。

制冷剂的质量流量 $q_{m,v}$ 由式 (4) 确定

$$\Phi_k = q_{m,v} \cdot (h_1 - h_2) \quad (4)$$

量热器的加热量 P_c 由式 (5) 确定

$$P_c = q_{m,v} \cdot (h_4 - h_3) \quad (5)$$

压缩机电机转速 n 由式 (6) 确定

$$q_{m,v} = \lambda \cdot \frac{n}{60} \cdot i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot \frac{1}{v} \quad (6)$$

式中: λ 为压缩机的输气系数; i 为压缩机缸数; D 为压缩机气缸直径 (m); S 为压缩机活塞行程 (m); v 为压缩机吸气点比容 (m^3 / kg); h 为系统各状态点焓值 (kJ / kg)。

由式 (1)、(2) 和 (3) 联立求解出冷却介质出口温度 t_{wo} 及冷凝器热负荷 Φ_k ; 进而由式 (4)、(5) 及 (6) 求解出制冷剂质量流量 $q_{m,v}$ 、量热器加热功 P_c 以及压缩机电机转速 n 。

2.2 系统各状态点参数

仿真软件中假定冷凝器出口压力及量热器进口压力不变化, 考虑了冷凝器和量热器中的压力损失后, 根据制冷工况和冷却介质的相关参数的变化, 调用制冷剂热物理性质函数并进行迭代计算求得系统各状态点的参数。本文的仿真工作中还涉及到水、空气、R12、R22、R134a 等工质热物理性质的计算, 其中水和空气的热物理性质采用文献 [4] 中的公式进行计算; R12、R22、R134a 的热物理性质采用文献 [5] 中的公式进行计算。

3 软件的编制

本软件采用 Turbo C 和 Visual Basic 语言编制, 整个程序采用模块化设计。经检验与实际实验规律吻合良好。软件可以在 Windows 98/2000 环境下运行。界面及输入输出模块实现人机对话功能和实验条件输入和实验结果输出的功能。

3.1 冷凝器冷却介质出口温度 t_{wo} 的计算模块 wind() 和 water()

此模块中, wind() 和 water() 分别用于空气冷却式和水冷却式冷凝器的计算。入口参数为冷凝温度 t_k 、冷却介质进口温度 t_{wi} 、风机输入功率 P 或冷却水质量流量 $q_{m,w}$, 运用迭代法求解冷却介质出口温度 t_{wo} 。

3.2 计算系统中各状态点参数的模块 TR ()

在此模块中,入口参数为冷凝温度 t_k 、蒸发温度 t_0 、过冷温度 t_{R2} 、过热温度 t_{R4} ;调用相关制冷剂物性函数运用迭代法可求得 $P_1, P_2, P_3, P_4; t_{R1}, t_{R3}; h_1, h_2, h_3, h_4$.

3.3 工质热物理性质计算模块

本模块用来计算冷凝器冷却介质以及实验系统中的制冷剂和第二工质的热物理性质.

4 仿真实例

运用本软件对一台空气冷却式冷凝器进行了实验性能预测.该冷凝器主要参数如下:采用波纹型整套片,三角形叉排,翅片厚度 $\delta_f = 0.15$ mm,铜管内径 10 mm,铜管壁厚 0.5 mm,迎风面上管中心距 $s_1 = 25$ mm,翅片节距 $s_f = 2$ mm,冷凝器的实际有效总管长为 51.2 m,冷凝器的实际传热面积 24.97 m².

部分预测结果见图 2 和图 3.图 2 中风机的输入功率 P 为 41.26 W,蒸发温度 $t_0 = 0$ °C,过冷度 5 °C,过热度 5 °C;图 3 中冷凝温度 $t_k = 45$ °C,蒸发温度 $t_0 = 0$ °C,过冷度 5 °C,过热度 5 °C.通过进一步的考察表明,本软件的结果很好地反映了该空气冷却式冷凝器的性能特征.对于水冷却式冷凝器,本软件的结果同样可以反映其性能特征.

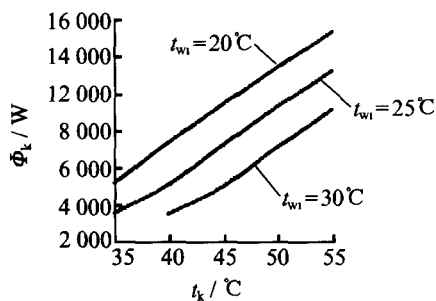


图2 冷凝温度 t_k 、空气进口温度 t_{wi} 对冷凝热负荷 Φ_k 的影响

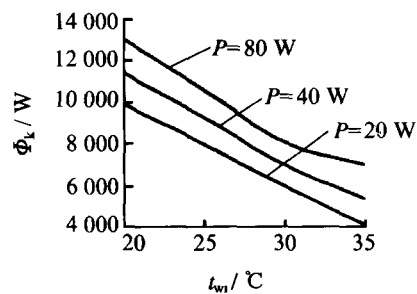


图3 空气进口温度 t_{wi} 、风机输入功率 P 对冷凝器热负荷 Φ_k 的影响

5 结束语

1) 对采用变频压缩机和第二工质质量热器的空气冷却式冷凝器和水冷却式冷凝器性能实验系统进行了计算机仿真,仿真软件可以在 Windows 98 / 2000 环境下运行,利用本软件预测冷凝器性能可以大大减少实验量,缩短试制周期;

2) 在对空气冷却式冷凝器和水冷却式性能实验系统仿真的过程中,建立了合理的数学模型,使得软件的仿真结果更能反映实际实验规律;

3) 利用本软件对一台空气冷却式冷凝器进行了实验性能预测,其结果很好地反映了该空气冷却式冷凝器的性能特征.

参 考 文 献

- 1 周兴禧, 周滋锋, 王懿, 等. 变频空调系统特性的仿真研究. 流体机械, 2000, 28(2): 43~47
- 2 葛云亭, 彦启森. 制冷空调系统仿真数学模型理论与实验研究. 制冷学报, 1995, 14(4): 9~18
- 3 陈芝久. 新学科“制冷系统热力学”初探. 制冷学报, 1984, 3(4): 21~24
- 4 刘志刚, 刘咸定, 赵冠春. 工质热物理性质计算程序的编制及应用. 北京: 科学出版社, 1992. 1~5, 25~30
- 5 吴业正主编. 制冷原理及设备. 第2版. 西安: 西安交通大学出版社, 1997. 80~86

Emulation Software of Condenser Performance Experiment

Wang Wenjing Guo Hang Xiao Yuanli Xu Rong

(College of Environment and Energy Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Abstract The computer emulation of performance experiment system has been done for the condensers which adopt frequency-convertible compressor and a second working-fluid calorimeter. The emulation software can run in Windows 98/2000 environment. This software has been used to do the experimental performance prediction of air-cooling condenser and water-cooling condenser. The results reflect the peculiar performance of the condensers. It can greatly decrease the experiment work and shorten the trial-manufacture period of condenser.

Keywords condenser, experiment, emulation