

冷凝器风机变频对制冷系统制冷剂流量的影响

施 灵, 马益民, 王 顺

(集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了给制冷剂流量优化控制策略的制定提供方向, 以直接膨胀式冷库制冷系统为对象, 研究了4种库温工况下风冷冷凝器风机变频对制冷剂流量的影响。结果表明: 相同库温下, 制冷剂质量流量随冷凝器风机频率的升高而增大, 且库温越高, 流量变化率越大; 对于相同的冷凝器风机频率, 制冷剂质量流量随库温的降低而减小。应用SPSS软件, 建立了质量流量与蒸发压力、蒸发器出口过热度及压缩比的多元线性回归方程。通过比较标准化回归系数发现: 蒸发压力对质量流量影响最大, 蒸发器出口过热度影响次之, 压缩比影响最小。

[关键词] 制冷剂流量; 风冷冷凝器; 变频; 冷库

[中图分类号] TB 657.1

Effect of Condenser Fan Frequency Conversion on Refrigerant Flow Rate of a Refrigerating System

SHI Ling, MA Yimin, WANG Shun

(School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: To provide directional guidance for making optimized refrigerant flow rate control strategies, a direct expansion cold store refrigeration system was taken as the subject investigated to study the effects of air cooled condenser frequency conversion on refrigerant flow rate under four cold store room temperature conditions. Results show that the refrigerant mass flow rate increases with rising fan frequency under the same cold store room temperature, and the higher the room temperature is, the larger the change rate will be. And for the same condenser fan frequency, the refrigerant mass flow rate decreases as well. A multivariate linear regression equation relating refrigerant mass flow rate with evaporating pressure, superheat degree and pressure ratio has been established by SPSS software. Comparison of the standardized regression factors reveals that the evaporating pressure has the greatest impact on refrigerant mass flow rate, followed by the superheat degree, and the pressure ratio ranks the third.

Keywords: refrigerant flow rate; air cooled condenser; frequency conversion; cold store

0 引言

制冷系统运行过程中, 由于工况的变化, 制冷剂流量也随之发生变化, 从而对系统制冷量产生影响。因此, 研究不同工况下的制冷剂流量变化规律, 找寻影响制冷剂流量变化的主要因素, 可以为冷

[收稿日期] 2018-04-03

[修回日期] 2018-06-04

[基金项目] 福建省大学生创新创业训练计划项目(201710390061)

[作者简介] 施灵(1970—), 女, 副教授, 从事制冷系统的节能及优化研究。

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

库节能运行设计提供参考。

中小型冷库制冷系统一般采用直接膨胀供液方式, 选用热力膨胀阀或电子膨胀阀作为流量控制元件。虞中畅等^[1-2]通过变流量制冷系统实验装置, 研究了过热度振荡对制冷系统性能的影响。田坤等^[3]搭建了配有电子膨胀阀和热力膨胀阀的低温冷库试验台, 通过实验, 分析了耦合系统中过热度的控制精度与压缩机吸气压力、蒸发器出口温度的关系。颜吉亮等^[4]在热力膨胀阀容量测试台上得到在热力膨胀阀工作区域内, 其过热度与流量基本呈线性比例关系的结论。欧阳立芝等^[5]对高速列车空调系统进行了热力膨胀阀静态过热度调节实验, 实验表明, 增大静态过热度可以有效改善热力膨胀阀供液不足以及蒸发盘管分液不均的现象。韩磊等^[6]通过实验分析了不同膨胀阀开度和压缩机频率下的制冷系统性能。臧润清等^[7]在焓差实验室对有内热源的房间空调器进行性能测试, 研究了变工况下热力膨胀阀与其他系统部件的匹配关系。Y. J. Shang 等^[8]对变频压缩制冷系统的最小过热度线进行了模拟和实验。C. Q. Tian 等^[9]对变排量压缩机汽车空调制冷系统的稳定性进行了研究, 指出变排量压缩机与热力膨胀阀之间的参数耦合和调节协调问题。

虽然上述文献就影响制冷剂流量的各种因素进行了研究, 但是目前尚未见到关于冷凝器风机变频对制冷剂流量影响的公开报道。为此, 本文依托一冷库制冷系统性能实验台, 研究不同库温下风冷冷凝器风机频率变化对制冷剂流量的影响, 并通过对实验数据的回归分析, 找寻影响制冷剂流量变化的主要因素。

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

冷库制冷系统实验装置流程如图 1 所示。

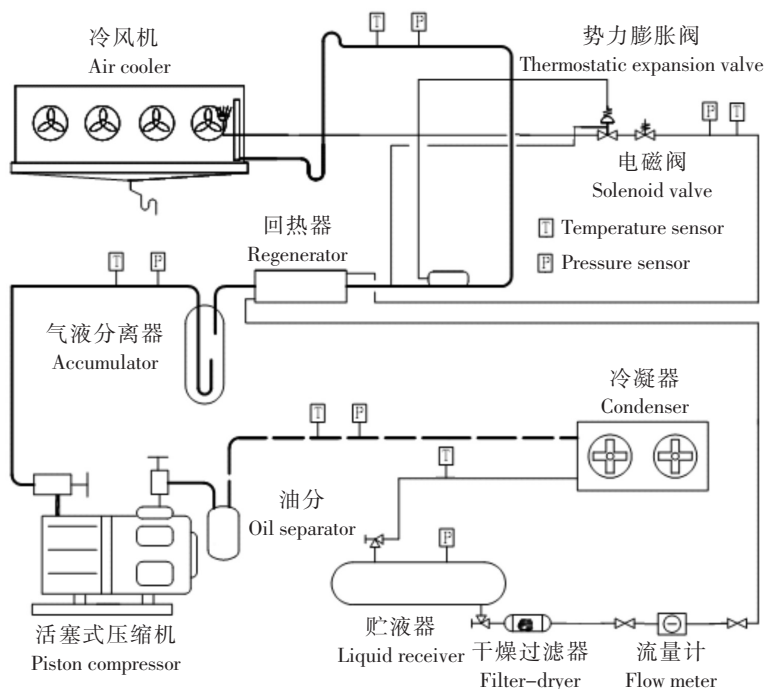


图 1 实验装置流程图

Fig.1 Flow diagram of experimenting device

实验台主要包括: 容积为 $5\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3.3\text{ m}$ 的装配式冷库; S4T-5.2Y-40P 比泽尔半封闭活塞式低温压缩机 1 台, FNH42.7/120 金雪风冷冷凝器 1 台; BLT103-NC 西克冷风机 1 台; TES2-6 丹佛斯热力膨胀阀 1 个。

库房内采用功率为 3.2 kW 的电加热器模拟热负荷。

制冷系统流量通过智能液体涡轮流量计进行测量, 测量精度为 $\pm 0.5\%$; 温度通过 Pt100 铂电阻进行测量, 温度偏差为 $\pm (0.15 + 0.002 |t|) ^\circ\text{C}$; 压力通过压力变送器进行测量, 测量精度为 $\pm 0.5\%$ 。

1.2 实验方法

实验以 R404A 为工质, 温度、压力、流量和功率等测试参数信号通过数据采集模块采集, 测量数据的采样间隔时间为 60 s。

实验分别测试风冷冷凝器风机频率和库温对制冷剂流量的影响, 风机频率分别取 50、40、30、20 Hz; 库温取 -3 、 -8 、 -13 、 $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 。

测试过程中保持压缩机频率为 50 Hz, 库房内电加热器功率为 3.2 kW。测试时的外界气温为 $13\text{ }^\circ\text{C}$, 阴天。

实验初始, 设定冷凝器风机频率为 50 Hz, 在库温升至 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 启动制冷压缩机及其辅助设备, 系统开始降温, 待库温降至 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 时关机。

依次改变冷凝器风机频率, 重复上述实验。

2 实验结果与分析

如图 2 所示, 相同库温下, 冷凝压力随冷凝器风机频率的升高而下降; 对于相同的冷凝器风机频率, 冷凝压力随库温的降低而下降。

这是由于在外界气温不变的情况下, 随着冷凝器风机频率的升高, 风速增大, 冷凝器空气侧的对流换热系数增大, 冷凝器换热能力增强, 故冷凝压力下降。相同冷凝器风机频率下, 随着库温的降低, 蒸发温度和蒸发压力下降, 冷凝压力也随之下降。

如图 3 所示, 相同库温下, 冷凝器风机频率变化对蒸发压力影响很小, 蒸发压力几乎保持不变; 对于相同冷凝器风机频率, 蒸发压力随库温的降低而下降。

如图 4 所示, 相同库温下, 压缩比随冷凝器风机频率的升高而减小; 对于相同冷凝器风机频率, 压缩比随库温的降低而增大。

如图 5 所示, 相同库温下, 蒸发器出口过热度随冷凝器风机频率的升高而增大; 对于相同冷凝器风机频率, 蒸发器出口过热度随库温的降低而减小。

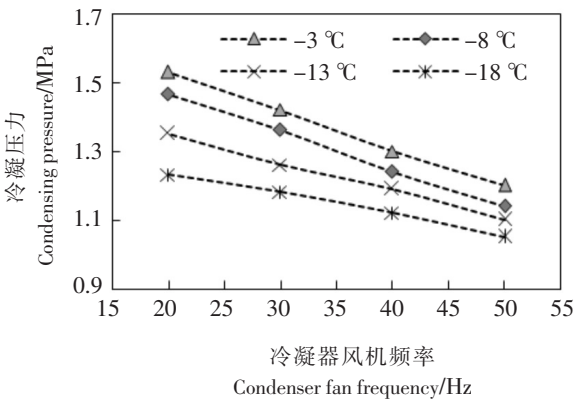


图 2 冷凝压力随冷凝器风机频率的变化
Fig.2 Variation of condensing pressure with condenser fan frequency

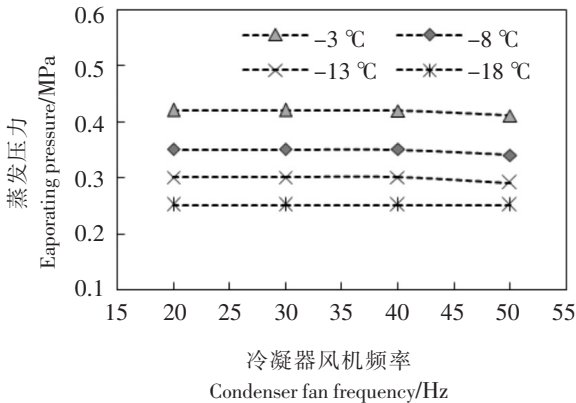


图 3 蒸发压力随冷凝器风机频率的变化
Fig.3 Variation of evaporating pressure with condenser fan frequency

这是由于相同库温下, 随着冷凝器风机频率的升高, 压缩比减小, 压缩机输气量增大, 导致蒸发器出口压力下降, 过热度增大; 相同冷凝器风机频率下, 随着库温的降低, 库内空气与制冷剂的换热

温差减小, 制冷量和过热度减小。

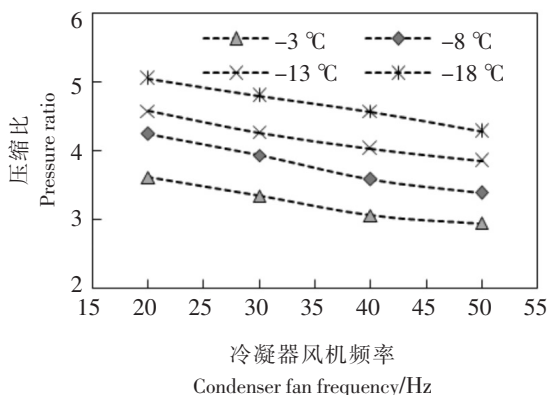


图 4 压缩比随冷凝器风机频率的变化

Fig.4 Variation of pressure ratio with condenser fan frequency

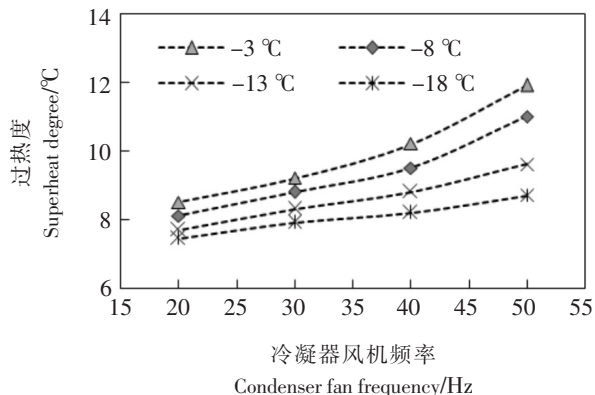


图 5 过热度随冷凝器风机频率的变化

Fig.5 Variation of superheat degree with condenser fan frequency

如图 6 所示, 相同库温下, 制冷剂质量流量随冷凝器风机频率的升高而增大。库温越高, 流量变化率越大; 库温越低, 流量变化率越小。对于相同冷凝器风机频率, 制冷剂质量流量随库温的降低而减小。

3 回归分析

为了进一步研究蒸发压力、蒸发器出口过度和压缩比对质量流量的影响规律, 选取质量流量为因变量, 蒸发压力、蒸发器出口过度和压缩比为自变量, 回归方程定义为:

$$q_m = B_0 + B_1 P_0 + B_2 \Delta t_s + B_3 CR$$

式中: $B_i (i = 0, 1, 2, 3)$ 表示回归系数; q_m 表示质量流量; P_0 表示蒸发压力; Δt_s 表示蒸发器出口过热度; CR 表示压缩比。

应用 SPSS 软件进行多元线性回归分析, 回归方程最终表达为:

$$q_m = 31 + 136 P_0 + 3 \Delta t_s - 4 CR$$

多元线性回归方程的复相关系数 $R = 0.975$, $R^2 = 0.951$, 调整后 $R^2 = 0.938$ 。

通过回归方程求取质量流量的预测值, 与测量值相比, 相对误差均落在 $\pm 1\%$ 范围内, 说明该回归方程可以对测试系统的质量流量进行预测。

为了比较多个自变量对因变量的相对作用大小, 需采用标准化回归系数。通过 SPSS 软件可以求得 3 个自变量的标准化回归系数, 其值分别为: 蒸发压力 0.583 MPa, 蒸发器出口过热度 0.325, 压缩比 -0.16。

通过对标准化回归系数值的比较, 可以发现蒸发压力对质量流量影响最大, 蒸发器出口过热度影响次之, 压缩比影响最小。三个变量中, 蒸发压力和蒸发器出口过热度与质量流量为正相关, 即质量流量随蒸发压力和蒸发器出口过热度的增大而增大; 压缩比与质量流量为负相关, 即质量流量随压缩比的增大而减小。

因此, 在制冷系统运行过程中, 可以通过对蒸发压力、蒸发器出口过度和压缩比的适当调节, 增大制冷剂流量, 提高制冷系统制冷量。

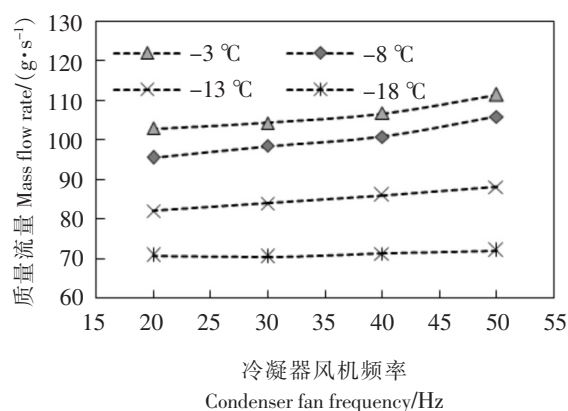


图 6 质量流量随冷凝器风机频率的变化

Fig.6 Variation of mass flow rate with condenser fan frequency

4 结论

1) 相同库温下,制冷剂质量流量随冷凝器风机频率的升高而增大。库温越高,流量变化率越大,库温越低,流量变化率越小;对于相同冷凝器风机频率,制冷剂质量流量随库温的降低而减小。

2) 通过对标准化回归系数值的比较,发现:蒸发压力对质量流量影响最大,蒸发器出口过热度影响次之,压缩比影响最小;三个变量中,蒸发压力和蒸发器出口过热度与质量流量为正相关,压缩比与质量流量为负相关。

[参考文献]

- [1] 虞中畅,陶乐仁,王超,等. 变制冷剂流量制冷系统过热度振荡机理实验研究 [J]. 制冷学报, 2017, 38(1): 100-106.
- [2] 虞中畅,陶乐仁,王超,等. 过热度振荡对变制冷剂流量系统性能的影响 [J]. 流体机械, 2016, 44(10): 80-85.
- [3] 田坤,夏鹏,张鹏,等. 一种基于电子膨胀阀的冷库耦合控制系统的实验研究 [J]. 低温与超导, 2015, 43(7): 77-79.
- [4] 颜吉亮,王玉刚,耿丽萍,等. 汽车空调热力膨胀阀容量测试系统的研制 [J]. 制冷学报, 2015, 36(5): 107-112.
- [5] 欧阳立芝,郭宝东,王立航. 热力膨胀阀对高速列车空调系统性能的影响分析 [J]. 制冷技术, 2012, 32(4): 15-18.
- [6] 韩磊,陶乐仁,郑志皋,等. 变频空调制冷系统流量调节性能分析和实验研究 [J]. 低温与超导, 2010, 38(2): 39-42.
- [7] 臧润清,孙志利,王洪旭. 有内热源房间空调器制冷系统热力膨胀阀的匹配研究 [J]. 制冷学报, 2010, 31(2): 39-42.
- [8] SHANG Y J, WU A G, FANG X. A study on the modeling of the minimal stable superheat for a variable speed refrigeration system [J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 59: 182-189.
- [9] TIAN C Q, DOU C P, LI X T, et al. Experimental investigation into hunting of an automotive air-conditioning system with variable displacement compressor and thermal expansion valve [C] //Proceedings of Experimental Methods and Measuring Techniques in Refrigeration. Liege:[s. n.], 2000: 18-20.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)