

doi: 10.3969/j.issn.2095-4468.2015.02.106

多联机空调系统能效实验研究

刘志胜*, 毛守博, 何建奇, 卢大海, 国德防
(海尔空调电子有限公司研发部 VRF, 山东青岛 266510)

[摘要] 直流变频多联机的高效率运行不仅和运行设定参数有关, 而且受安装方式的影响。本文研究了直流变频多联机在一定条件下的负载和能效的关系, 分析和验证了并联多联机均负荷运行效率更高的原因。

[关键词] 多联机; 部分负荷; 运转效率; 并联运行

Experimental Study on Energy Efficiency of Multi-split Air Conditioning System

LIU Zhi-sheng*, MAO Shou-bo, HE Jian-qi, LU Da-hai, GUO De-fang
(Haier A/C Electronic Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266510, China)

[Abstract] The energy efficiency of DC invert multi-split air conditioning system is affected not only by system parameters but also by installation. In the paper, the relationship between the energy efficiency and part cooling load of DC invert multi-split air conditioning system was investigated. The reason for the high operation efficiency of the multi-split system in parallel operation under average load was analyzed and verified.

[Keywords] Multi-split air conditioners; Part load; Operation efficiency; Parallel operation

0 引言

多联机是指一台或数台风冷室外机可连接数台不同或相同形式、容量的直接蒸发式室内机构成的制冷循环系统, 也称变制冷剂流量 (Variable refrigerant flow, VRF) 空调系统。因其在部分负荷工况下较高的能效比以及便于管理的特点, 逐步成为应用于中小型公共建筑系统中主流的空气调节产品。

近些年, 国内能源的供需矛盾越来越突出, 特别是制冷季节, 部分地区甚至出现“拉闸”限电的现象^[1]。为了实现国家节约能源和保护环境的战略, 高效空气调节产品的研发和推广, 不仅是市场的需求, 也是民族企业不可推卸的责任。

海尔空调电子有限公司一直致力于高效多联机的研究和应用。多联机由于系统变量较多, 控制比较复杂, 高效的运行不仅和系统的控制参数有很大关系, 而且和安装也有很大关联。本文通过简化条件和参数, 在特定运行工况下, 对两外机并

联的多联机系统制进行研究, 重点验证并联多联机均负荷运行系统能效的改善情况。为实际运行工况的研究, 提供基础数据。

1 分析方法

本文依照海尔 R410A 全直流变频 (压缩机、外风机全部为直流变频) 多联系统, 对制冷系统进行简化。忽略系统的压力损失, 假设室外环境温度恒定, 制冷系统回气状态确定, 冷凝器出口冷媒的过冷度确定, 建立多联系统制冷运行的理论模型, 研究最优化控制策略。

涡旋压缩机制冷剂的实际质量流量 M_R 为^[2-3]:

$$M_R = \lambda f_0 V_s / v_1 \quad (1)$$

式中:

λ ——输气效率;

f_0 ——频率;

V_s ——吸气容积;

v_1 ——回气比容。

*刘志胜 (1980-), 男, 学士, 工程师。研究方向: 多联机系统设计。联系地址: 青岛经济技术开发区海尔工业园, 邮编: 266510。联系电话: 0532-86761516。E-mail: liuzhisheng001@126.com。

单位质量冷媒压缩机理论做功 $W_i^{[4]}$:

$$W_i = p_1 v_1 \frac{k}{k-1} (\varepsilon^{\frac{k}{k-1}} - 1) \quad (2)$$

式中:

p_1 ——制冷系统回气压力;

v_1 ——制冷系统比容;

k ——制冷剂的等熵指数;

ε ——压缩比。

单位质量压缩机输入功率 $W_i^{[3]}$:

$$W_i = W_i / \eta_i \eta_m \eta_e \quad (3)$$

式中:

η_i ——压缩机的指示效率;

η_m ——压缩机的机械效率;

η_e ——压缩机的电机效率。

压缩机的排气焓值 $h_2^{[5]}$:

$$h_2 = h_1 + f W_i \quad (4)$$

式中:

h_1 ——吸气焓值;

h_2 ——排气焓值;

f ——压缩机的散热系数。

冷凝器换热量 $Q^{[6-7]}$:

$$Q = C_p (T_{a2} - 35) M_a = M_R (h_2 - h_3) = F K \theta_m \quad (5)$$

式中:

C_p ——空气的定压比热容;

M_a ——外机送风的质量流量;

T_{a2} ——换热器的出风温度;

M_R ——冷媒流量;

h_3 ——冷凝器出口焓值;

F ——翅片管冷凝器的换热面积;

K ——翅片管冷凝器的换热系数;

θ_m ——翅片管冷凝器的等效换热温差。

空气的质量流量 $M_a^{[3]}$:

$$M_a = M_0 \frac{n}{n_0} \quad (6)$$

式中:

M_0 ——风机在转速 n_0 的质量流量;

n ——风机转速。

系统风机的功率 P_f :

$$P_f = P_0 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 / \eta_f \quad (7)$$

式中:

P_0 ——风机的基准功率;

n_0 ——风机的转速;

η_f ——直流风机系统(包括驱动)的效率。

多联机系统外机的效率 EER :

$$EER = \frac{M_R (h_3 - h_1)}{P_f + M_R W_i / \eta_d} \quad (8)$$

式中:

η_d ——直流变频压缩机的驱动效率。

本文根据上述公式,采用成熟的冷凝换热模型^[8],Clelend的R410a热力性质公式^[9],初始化风机系统和压缩机系统的参数,确定系统的回气参数以及冷凝器出口冷媒的过冷度为常数,建立计算模型,对多联系统进行能效模拟。在确定的压缩机频率和风机转速下,假设系统的排气压力和风机的出风温度的初始值,根据换热公式进行迭代计算,选取偏差最小的结果作为本组合下的计算结果。通过压缩机频率和风机转速的不同组合,计算出单外机系统的能效数据^[10]。

2 实验方法

海尔型号 KMR-280W/D532B 的多联机外机,是一款采用全直流变频设计的 10 HP 多联机,选用三菱电机的直流变频压缩机和松下直流变频风机。压缩机和风机都通过正弦波驱动,不仅驱动效率较高,且频率变化范围广。外机频率最高可以达到 120 Hz,风机分为 14 个风速档级。

本实验采用 2 台 KMR-280W/D532B 外机并联成 1 套 20 HP 的多联机系统,连接 5 台 4 HP 的室内机。按照图 1 方式,安装在焓差实验室。

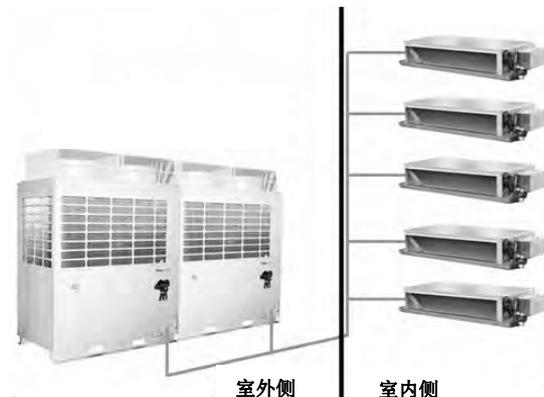


图 1 多联机系统安装方式

3 实验数据

系统安装完成, 关闭一台室外机, 进行单台 10 HP 外机在不同负载下的运转验证, 在实验过程中, 采取不同的优化控制逻辑, 改善系统的整体效率。对比计算数据, 初始实验数据和优化数据如图 2 所示。

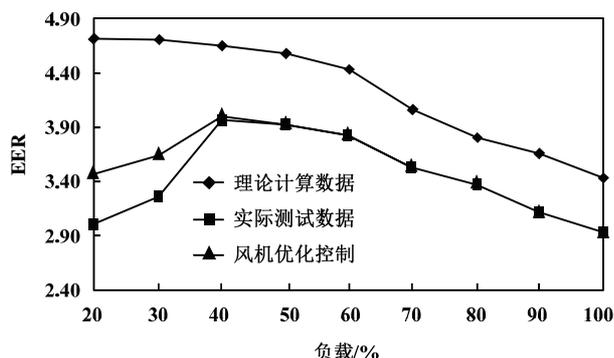


图 2 10 HP 外机不同负载测试对比数据

从图中可以看出, 10 HP 外机负载 40% 负载以下时, 计算数据和理论数据偏差较大。这可能与压缩机在低频下效率较低有关。其他负载下, 基本和计算数据一致。优化风机控制, 对低负载的影响较大。

两个外机都打开, 保持室外环境温度不变, 系统回气状态不变进行并联运行, 测试出系统在不同负载下的能效, 并和相关数据进行比较, 如图 3。

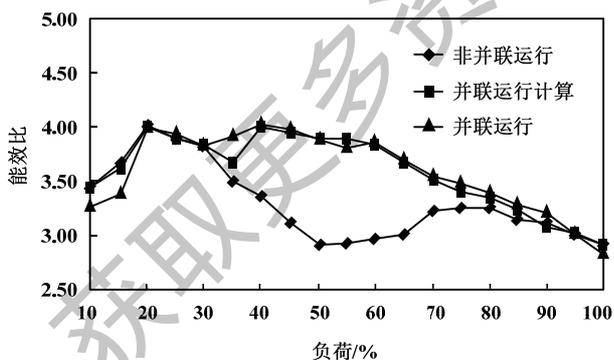


图 3 20 HP 多联机并联运行特性

从图中可以看出, 20 HP 系统并联运行, 和按照单机数据推算数据基本符合。在 30%~80% 负载时, 能效比两台外机单独运行时明显较高。

4 结论

1) 直流变频压缩机的特性对整机性能有影响。由于涡旋压缩机在低频段指示效率、压缩机驱动模块效率等因素的影响, 涡旋压缩机系统在低频运行时能效相对较低。

2) 单台多联机运行时, 小负荷时风机功率对能效影响较大, 采用直流变频风机, 通过适当的控制策略, 可以改善低负荷运行时的能效。

3) 多联机高频运行时, 由于换热面积和热负载比值降低, 压缩机容积效率降低等因素, 能效明显下降。

4) 单台多联机在中间负载段能效最高。并联运行可以增大中间负载运行的区域, 达到节能的目的。

参考文献:

- [1] 李树云, 代彦军. 大型风冷热泵机组性能实验台节能设计与分析[J]. 制冷技术, 2013, 33(2): 1-5.
- [2] 刘志胜, 杜京昌, 魏爱国, 等. 冷媒流量与四通阀可靠换向关系的分析[J]. 制冷与空调(四川), 2012, 25(5): 493-496.
- [3] 马最良, 姚杨, 姜益强, 等. 热泵技术应用理论基础与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [4] 彭斌, 刘振全, 李海生. 变频涡旋压缩机测试系统的研究[J]. 化工自动化及仪表, 2005, 32(3): 58-61.
- [5] 邓斌, 廖清高, 林澜, 等. 流程布置对 R410A 冷凝器性能的影响研究[J]. 制冷技术, 2006, 26(2): 8-12.
- [6] 姚奕, 徐柏兴, 邵翌旻, 等. R1234yf 微通道平行流冷凝器仿真模型[J]. 制冷技术, 2013, 33(3): 34-38.
- [7] ECKELS S J. Evaporation and condensation of HFC-134a and CFC-12 in a smooth tube and a mic tube[J]. ASHRAE Trans, 1991, 197(2): 71-81.
- [8] 张兴娟, 张皓, 袁修干. 中国替代制冷剂技术现状与展望[J]. 制冷学报, 2001, 22(3): 58-63.
- [9] 胡海涛, 丁国良, 黄翔超, 等. 小管径铜管内含油制冷剂流动冷凝换热与压降特性的实验研究[J]. 制冷技术, 2012, 32(2): 10-14.
- [10] 郁夏夏, 路阳, 张维加, 等. 空气焓差法测量制冷量不确定度的理论与实验分析[J]. 制冷技术, 2013, 33(4): 15-18.