

数码涡旋多联机性能指标评价方法分析

黄 虎, 李奇贺, 张忠斌

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对近年来在市场上推出的以数码涡旋压缩机为主机的多联式空调(热泵)机组的工作原理和能量调节特征, 基于不同能量调节方式下机组制冷量和输入功率随时间变化的实验研究, 提出了以一定采样时间周期内机组总冷量和总输入功以及两者之比评价数码涡旋机组能量及效率指标的方法, 为这类机组的性能测定和相关指标对比提供了有价值的参考。

[关键词] 数码涡旋压缩机, 多联机, 能量, 效率

[中图分类号] TU 831 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)02-0023-04

Analysis on the Performance Evaluation of Multi-connected Air Condition Unit With Digital Scroll Compressor

Huang Hu, Li Qihé, Zhang Zhongbin

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Aiming at the working principles and energy accommodation characters of the multi-connected air condition unit with digital scroll compressor as the master unit in the market, and based on the experimental researches on the fact that in different ways of energy accommodation, refrigerating capacity of the unit and input power change according to the time, the paper suggests a way of evaluating standards on energy and efficiency of digital scroll compressor with the mass refrigerating capacity, input power and the rate of the two in certain sample time periods, which provides valuable reference on tests of performance and comparison of relative standards of units of this kind.

Key words digital scroll compressor, multi-connected air condition unit, energy, efficiency

多联式空调(热泵)机组自 20 世纪 90 年代在中国应用以来, 由于其具有安装方便、使用灵活、占地面积小、易于分户计量, 特别适用于同一建筑内的单元使用而功能差别大的场合, 在中央空调项目中使用比例不断增大。为此, 国家于 2002 年颁布了国家标准《多联式空调(热泵)机组》GB/T 18837—2002^[1], 标准规定了多联机的定义、型式、工况条件、测试方法及性能指标等, 对规范多联机的生产、使用起到了很大的作用。随着国家对建筑节能要求的不断提高, 有关多联机的综合性能系数限定值及能源效率等级的标准已推出了征求意见稿。早期的多联机的能量调节是采用交流变频压缩机, 通过调节压缩机电源工作频率来实现机组的能量调节。近几年, 在交流变频技术的基础上, 多联机的压缩机大多采用磁阻式直流电机, 其运行效率比交流变频方式更高。目前, 国内外的知名空调生产企业又推出了采用数码涡旋压缩机为主机的另一种型式的多联机, 其能量调节方法与交流变频或直流变速不同。文献[2-4]讨论了数码涡旋多联机在空调系统中的应用, 文献[5]对比了数码涡旋系统与变频系统的区别, 文献[6]与文献[7]分析了数码涡旋多联机冬夏运行的特性, 文献[8-10]介绍了数码涡旋压缩机在其他制冷系统中的应用。数码涡旋压缩机制冷系统在进行能量调节时其制冷量, 特别是输入功率随时间而变化, 功率参数难以全面反映机组的能量性能。本文对数码涡旋机组在能量调节方式下的运行特性作了详细的实验研究, 并在实验基础上提出了适合于数码涡旋机组的能量及效率评价方法与指标。

收稿日期: 2007-10-15

基金项目: 南京市建委资助项目。

通讯联系人: 黄 虎, 副教授, 博士后, 研究方向: 制冷、热泵系统性能分析与改进。E-mail: huanghu@njjnu.edu.cn

1 现行的多联机组性能评价方法

现行的有关多联式空调(热泵)机组的国家标准出台于 2002 年,当时以采用交流变频和直流变速压缩机的多联机为产品主体,在《多联式空调(热泵)机组》GB/T 18837—2002 中以制冷综合性能系数 (IPLV(C)) 和制热综合性能系数 (IPLV(H)) 指标作为衡量效率的依据, IPLV(C) 的计算方式如下^[1]:

$$IPLV(C) = (PLF_1 - PLF_2)(EER_1 + EER_2)/2 + (PLF_2 - PLF_3)(EER_2 + EER_3)/2 + (PLF_3 - PLF_4)(EER_3 + EER_4)/2 + (PLF_4)(EER_4), \quad (1)$$

式中, EER_1 、 EER_2 、 EER_3 、 EER_4 为部分负荷额定工况下 100% 负荷、(75 ± 10%) 负荷、(50 ± 10%) 负荷、(25 ± 10%) 负荷时的能效比,即制冷量与输入功率的之比 $l/(kW/kW)$ 。

PLF_1 、 PLF_2 、 PLF_3 、 PLF_4 为由式 (2) 计算的部分负荷额定工况下 100% 负荷、(75 ± 10%) 负荷、(50 ± 10%) 负荷、(25 ± 10%) 负荷的部分负荷系数。

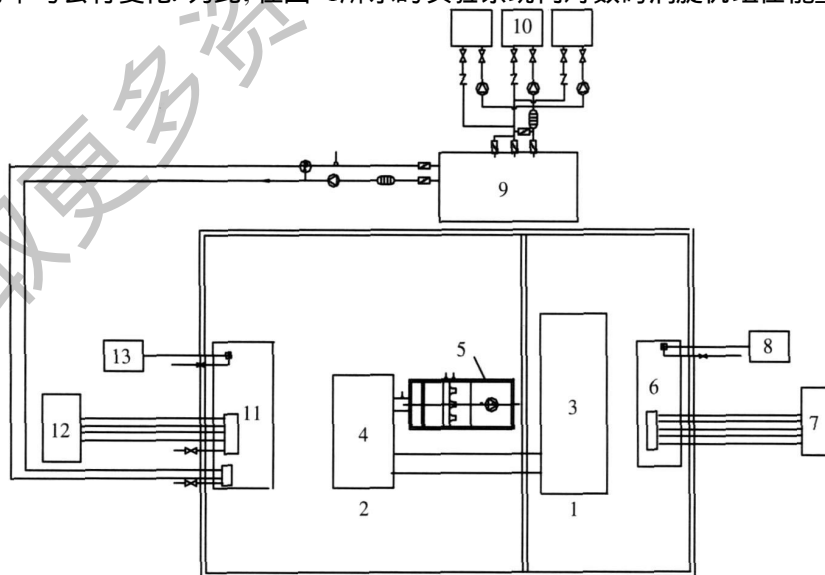
$$PLF = A_0 + (A_1 \times Q) + (A_2 \times Q^2) + (A_3 \times Q^3) + (A_4 \times Q^4) + (A_5 \times Q^5) + (A_6 \times Q^6), \quad (2)$$

Q 为部分负荷额定工况下全负荷容量的百分比, $A_0 = -0.12773917 \times 10^{-6}$; $A_1 = -0.27648713 \times 10^{-3}$; $A_2 = 0.50672449 \times 10^{-3}$; $A_3 = -0.25966636 \times 10^{-4}$; $A_4 = 0.69875354 \times 10^{-6}$; $A_5 = -0.76859712 \times 10^{-8}$; $A_6 = 0.28918272 \times 10^{-10}$ 。

制热综合性能系数 (IPLV(H)) 参照 (1) 计算,在《多联式空调(热泵)机组综合性能系数 (IPLV) 限值及能源效率等级》征求意见稿中,又将 IPLV(C) 按机组额定制冷量的大小分为 5 级,以上的 IPLV(C) 的计算方式对于以交流变频或直流变速方式进行能量调节的机组,对于稳定的制冷量和输入功率的能调模式是完全适用的。

2 数码涡旋压缩机的能量调节特点及相关实验

与交流变频或直流变速压缩机进行能量调节的情况不同,数码涡旋压缩机的能量调节是通过由外部电磁阀控制的涡旋盘的周期性啮合与脱开来实现的,当外部电磁阀关闭时,数码涡旋压缩机同涡旋压缩机一样工作,制冷能力为 100%。当外部电磁阀打开时,动涡旋盘和静涡旋盘稍微脱离,使压缩机不压缩制冷剂也无制冷剂排出压缩机,此时压缩机的制冷能力为 0 因此,通过控制外部电磁阀在一定时间周期内启闭时间分配即可实现对压缩机的能量调节。在以数码涡旋压缩机的能量调节方式工作时,机组的制冷(热)量和输入功率均会有变化。为此,在图 1 所示的实验系统内对数码涡旋机组在能量调节时的工作状



1.室外侧环境模拟间;2.室内侧环境模拟间;3.室外机组;4.室内机组;5.风洞;6.室外侧空气处理机;7、12.压缩冷凝机组;8、13.蒸汽加湿器;9.恒温水箱;10.风冷冷水机组;11.室内侧空气处理机

图 1 实验系统图

Fig.1 Experiment system diagram

况进行了详细的实验研究. 实验机组的基本参数为: 制冷量 14kW, 室内机风量 2 200 m³ /h. 室外侧环境模拟间和室内侧环境模拟间的温度与湿度控制精度和测试精度均达到国家标准 GB/T 18837—2002和 GB/T 17758—1999规定的要求. 测试仪表的精度与量程如表 1 所示. 测试时通过测量室内机组的进出风干湿球温度及风量, 并在此基础上根据 GB/T 18837—2002的规定, 计算出机组的制冷量, 机组的总功率通过数字式功率计进行测量.

在图 2 中, 从上至下依次表示压缩机能量输出状态分别为 100%、80%、60%、40%、20% 时, 机组制冷量随时间的变化. 图 3~图 7 为压缩机能量输出状态分别为 100%、80%、60%、40%、20% 时, 机组输入功率随时间的变化. 从实验情况看, 当压缩机进行能量调节时, 机组的制冷量随着压缩机幅度变化, 但随时间的变化不明显. 这是由于制冷系统配置了高压贮液器, 当压缩机不向系统输出制冷剂时, 系统贮液器中的制冷剂维持了向蒸发器的供液, 但基于数码涡旋压缩机的能量调节原理, 输入功率随时间有很大的变化, 且随着能量调节幅度的增大, 系统的输入功由以高位为主体, 转向以低位为主体. 因此, 以能效比 η (kW /kW) 考核机组的效率并据此计算制冷综合性能系数 (IPLV) 是难以处理的.

表 1 测量仪表量程及精度

Table 1 Instruction of pressure and temperature measuring points

| 序号 | 测点名称 | 量程 | 仪表精度 |
|----|-----------|----------------|-------|
| 1 | 室内侧进口干球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 2 | 室内侧进口湿球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 3 | 室内侧出口干球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 4 | 室内侧出口湿球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 5 | 室内侧的机外静压 | - 500~ 500 Pa | 0.5% |
| 6 | 室内侧喷嘴前静压 | - 500~ 500 Pa | 0.5% |
| 7 | 室内侧喷嘴前后压差 | 0~ 800 Pa | 0.5% |
| 8 | 室外侧进口干球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 9 | 室外侧进口湿球温度 | 0~ 70℃ | ±0.1℃ |
| 10 | 大气压力 | 0.09~ 0.12 MPa | 0.1% |
| 11 | 被试机电压 | 0~ 450 V | 0.5% |
| 12 | 被试机电流 | 0~ 100 A | 0.5% |
| 13 | 被试机消耗总功率 | 0~ 45 kW | 0.5% |
| 14 | 电网频率 | 40~ 60 Hz | 0.5% |
| 15 | 功率因数 | 0~ 1 | 0.5% |

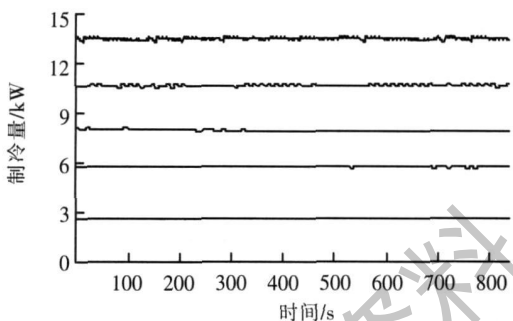


图 2 制冷量随时间的变化

Fig.2 Refrigerating capacity changes with time

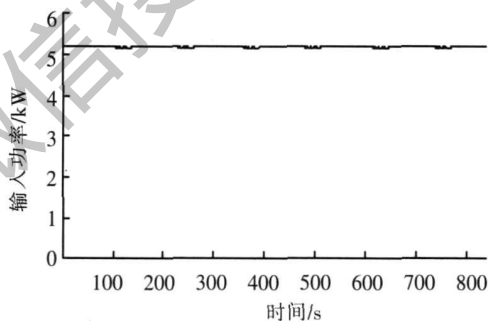


图 3 100% 能量输出状态下输入功率随时间的变化

Fig.3 Input power changes in 100% energy output

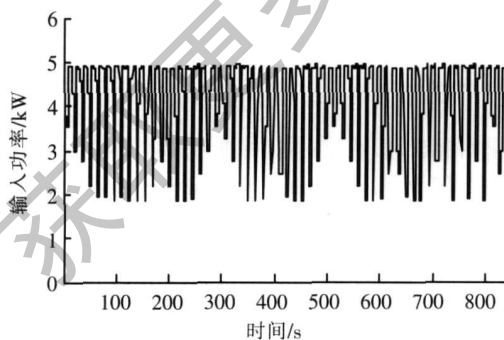


图 4 80% 能量输出状态下输入功率随时间的变化

Fig.4 Input power changes in 80% energy output

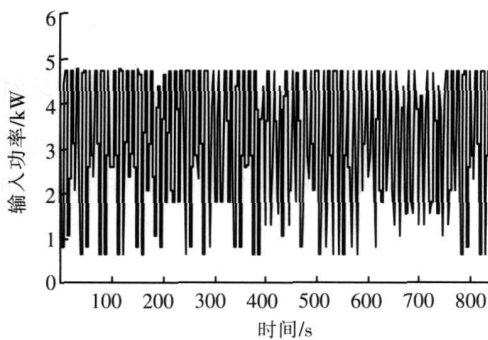


图 5 60% 能量输出状态下输入功率随时间的变化

Fig.5 Input power changes in 60% energy output

3 数码涡旋多联机能量输出及效率指标的评价

对于以数码涡旋压缩机为主机的多联机或其他制冷机组, 针对其能量调节时相应参数随时间变化, 是时间的函数这一特征, 当机组进入整体稳定工作状态后, 取一段采样时间周期内总冷量 /kJ 和总输入功量 /kJ 以及总冷量与总输入功量之比来描述机组效率较为合理.

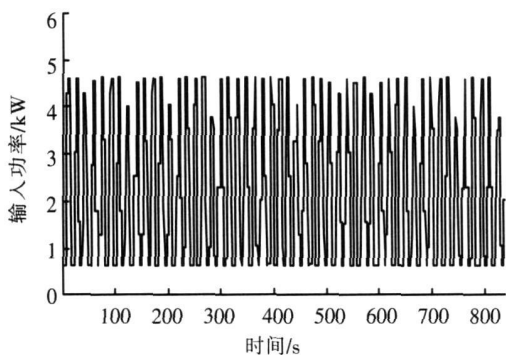


图 6 40% 能量输出状态下输入功率随时间的变化

Fig.6 Input power changes in 40% energy output

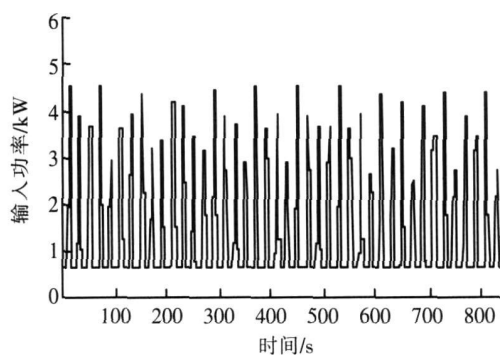


图 7 20% 能量输出状态下输入功率随时间的变化

Fig.7 Input power changes in 20% energy output

总冷量 N 的计算式为:

$$N = \int_n^e Q dt / kJ \tag{3}$$

总输入功量 W 的算式为:

$$W = \int_n^e P dt / kJ \tag{4}$$

机组效率 ε 为:

$$\varepsilon = N / W \text{ (kJ/kJ)}. \tag{5}$$

图 8 为用以上方式处理的机组效率与能量调节幅度的关系, 上述方法在实际应用时, 应进一步对采样时间和采样频率加以研究, 统一确定合理的采样时间周期和采样频率.

4 结论

针对以数码涡旋压缩机为主机的制冷机组的工作与能量调节原理, 通过实验研究了机组制冷量和输入功率随能量调节幅度和时间的变化特征, 提出了以一定采样时间周期内机组总冷量和总输入功及二者之比评价机组的能量和效率指标的方法, 这样使得数码涡旋机组的相关性能指标与交流变频和直流变速机组以及同类数码涡旋机组之间具有可比性.

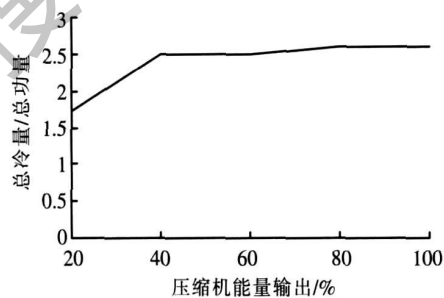


图 8 机组效率与压缩机能量输出的关系

Fig.8 Relation between the efficiency and compressor output

[参考文献] (References)

[1] 中华人民共和国国家标准. GB/T 18837—2002 多联式空调(热泵)机组[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002
National Standard of the People's Republic of China GB/T 18837—2002 Multi-connected air-conditioning unit[S]. Beijing the Standard Press of China 2002 (in Chinese)

[2] 杨俊. 浅谈数码涡旋技术在多联式中央空调的应用[J]. 钢铁技术, 2007(1): 43-46
Yang Jun Elementary introduction on application of the digital scroll technology in multi-connected center air-conditioning units[J]. Steel Technology, 2007(1): 43-46 (in Chinese)

[3] 饶荣水, 周德信, 蔡咏虹, 等. 数码多联中央空调节能技术分析[J]. 制冷与空调, 2003, 3(3): 27-30
Rao Rongshui Zhou Dexin Cai Yonghong et al Investigation on the energy conservation technology of digital multi-connected center air-conditioning units[J]. Refrigeration and Air Conditioning 2003 3(3): 27-30 (in Chinese)

[4] 江燕涛, 赖学江, 杨昌智. 数码涡旋技术在 VRV 空调系统的应用及探讨[J]. 制冷, 2006, 25(1): 49-53
Jiang Yantao Lai Xuejiang Yang Changzhi Application and discussion of the digital scroll technology in VRV air-conditioning system[J]. Refrigeration, 2006, 25(1): 49-53 (in Chinese)

(下转第 31 页)

- Ministry of Construction. JGJ57—2000 Design code of theatre[S]. Beijing China Building Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 范存养. 大空间建筑空调设计及工程实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
Fan Cunyang. Design of Air Conditioning in Large Space and Project Record[M]. Beijing China Building Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [3] 孙敏生, 王威, 万水娥. 国家大剧院观众厅空调系统和气流组织方式的设计和分析[J]. 暖通空调, 2003, 33(3): 1-8
Sun Minsheng Wang Wei Wan Shuie. Design and analysis of the air conditioning system and air distribution of the auditorium of the china national grand Theatre [J]. Journal of HV&AC, 2003, 33(3): 1-8 (in Chinese)
- [4] 李惠风, 王鸿章. 影剧院空调设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
Li Huifeng Wang Hongzhang. Design of Air Conditioning for Theatre[M]. Beijing China Building Industry Press, 1991. (in Chinese)
- [5] 范存养. 办公室下送风空调方式的应用[J]. 暖通空调, 1997, 27(4): 30-39
Fan Cunyang. Under floor air supply in office buildings[J]. Journal of HV&AC, 1997, 27(4): 30-39. (in Chinese)
- [6] 赵荣义, 范存养. 空气调节[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994
Zhao Rongyi Fan Cunyang. Air Conditioning[M]. 3th ed. Beijing China Building Industry Press, 1994. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国建设部. GB50019—2003采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003
Ministry of Construction. GB50019—2003 Code for design of heating ventilation and air conditioning[S]. Beijing China Planning Press, 2003. (in Chinese)
- [8] 刘芳. 座椅下圆柱型多孔送风器的噪声测试和分析[J]. 暖通空调, 2006, 36(2): 79-82
Liu Fang. Noise measurements and analyses of under-seat cylindrical perforated outlets[J]. Journal of HV&AC, 2006, 36(2): 79-82. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国建设部. GB50016—2006建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006
Ministry of Construction. GB50016—2006 Code of design on building fire protection and prevention[S]. Beijing China Planning Press, 2006. (in Chinese)
- [10] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
Lu Yaoqing. Practical Heating and Air Conditioning Design Manual[M]. Beijing China Building Industry Press, 1995. (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]

(上接第 26页)

- [5] 石磊. 数码涡旋与变频技术的对比分析[J]. 制冷技术, 2006(2): 25-31.
Shi Lei. Analysis and comparison between digital scroll and inverter technology [J]. Refrigeration Technology, 2006(2): 25-31. (in Chinese)
- [6] 朱乐琪, 张旭, 杨洁. 数码涡旋多联式空调系统冬季运行特性实测[J]. 暖通空调, 2006, 36(12): 100-103
Zhu Leqi Zhang Xu Yang Jie. Field test of operating characteristics of DVM systems in winter[J]. Journal of HV&AC, 2006, 36(12): 100-103. (in Chinese)
- [7] 杨刚, 张旭, 杨洁. 数码涡旋与变频多联式空调系统夏季运行特性的比较[J]. 制冷空调与电力机械, 2005, 26(6): 19-22
Yang Gang Zhang Xu Yang Jie. Comparison between the operating characteristics of digital scroll and inverter multi-unit air conditioning in summer[J]. Refrigeration Air Conditioning and Electric Power Machinery, 2005, 26(6): 19-22. (in Chinese)
- [8] 阚安康, 韩厚德, 陈威. 数码涡旋技术在冷藏集装箱上的应用[J]. 压缩机技术, 2005(6): 30-33
Kan Ankang Han Houde Chen Wei. Application of the digital scroll technology in refrigeration container[J]. Compressor Technology, 2005(6): 30-33. (in Chinese)
- [9] 邱育群, 邱肇光, 高精度恒温恒湿空调的研发及试验验证[J]. 制冷与空调, 2006, 6(3): 82-83
Qiu Yuqun Qiu Zhao Guang. Research and development and the experiment confirmation of high accuracy constant temperature and humidity air conditioning [J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2006, 6(3): 82-83. (in Chinese)
- [10] 黄虎, 张建忠, 李奇贺. 数码涡旋管道机制冷变风量运行的实验研究[J]. 低温与特气, 2007, 25(3): 13-15
Huang Hu Zhang Jianzhong Li Qihé. Experimental research on ducted air-conditioning with digital scroll compressor at refrigeration operation[J]. Low Temperature and Specialty Gases, 2007, 25(3): 13-15. (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]