

多联机 VRV 系统研究

王洪利 马一太 姜云涛 李敏霞

(天津大学热能研究所, 天津 300072)

摘要: 针对多联机 VRV 系统原理和特点, 对其系统性能进行了分析。结果表明: 采用高效涡旋压缩机、冷(热)量直接由制冷剂输送和冷(热)量随负荷灵活调节, 使得多联机 VRV 系统具有较高的 COP 和运行稳定性; 同时也指出, 回油问题、配管长度的影响和大量制冷剂的使用, 成为 VRV 系统推广应用首要解决的关键难点。通过多联机 VRV 系统与传统风机盘管热泵空调系统初投资和运行费用对比分析, 当建筑规模较大时, 传统风机盘管热泵空调系统的经济性要优越于多联机 VRV 系统。本文为多联机 VRV 系统的研究提供依据。

关键词: 多联机 VRV 涡旋压缩机 负荷 COP 制冷剂 经济性

RESEARCH ON SYSTEM OF MULTI-VRV AIR CONDITIONING

Wang Hongli Ma Yitai Jiang Yuntao Li Minxia

(Thermal Energy Research Institute of Tianjin University)

Abstract: Due to the principles and characteristics, the performances of multi-VRV air conditioning system was analyzed. The results show that the using of high efficient scroll compressor, energy transportation by refrigerants directness and energy flexible adjustment with load, are contributed to high COP and operation stability. On the other hand, the questions of oil return, influences of tubing length and employing lots of refrigerants, are made of the key difficulties of generalizing application of multi-VRV air conditioning system. Through the comparison analysis of investment and annual operating cost between multi-VRV air conditioning system and conventional fan coil heat pump and air conditioning system. As the building scale is bigger, the economical efficiency of the conventional fan coil heat pump and air conditioning system is better than the multi-VRV air conditioning system. This paper provides a thorough theoretical basis for researching on the multi-VRV air conditioning system.

Keywords: multi-VRV air conditioning scroll compressor load COP refrigerant economical efficiency

0 引言

多联机 VRV^[1] (variable refrigerant volume) 空调系统即可变制冷剂流量空调系统, 由日本大金(DAIKIN)公司于 1982 年开发推出, 打破了传统的中央空调(水冷冷水机组+热水锅炉+空调末端)设计理念, 在传统的房间分体空调器由一台室外机连接一台室内机的一对一方式的基础上, 研制出了一台室外机连接多台室内机的供暖制冷系统, 使设计、安装、运行及维护管理更为简单、方便, 节能^[2]。

基金项目: 国家自然科学基金(50676064)

作者简介: 王洪利, (1976-), 男, 在读博士研究生, E-mail: laotingwhl@163.com

多联机 VRV 技术于 90 年代初引入我国。VRV 系统因其设备少、布置灵活、节能、维护简单等特点，成为目前办公楼、宾馆、医院及高级别墅等建筑中最为活跃的户式中央空调系统形式之一。本文对多联机 VRV 系统的优缺点进行了深入分析，并对其经济性给予了评价，为多联机系统的完善提供资料。

1 多联机 VRV 系统原理及分类

多联机 VRV 空调系统是为适应空调机组集中化使用需求在分体式和多联式空调系统基础上发展起来的一种新型制冷剂空调系统。其主导思想是“变频、一拖多和多拖多”，体现变频空调的节能理念^[3,4]。在多联机 VRV 空调系统中，一台室外机与一台室内机相连的系统称为单元 VRV 空调系统或变频空调器；一台或多台室外机与多台室内机相连的系统称为多元 VRV 空调系统。图 1 给出了多联机 VRV 空调系统示意图。

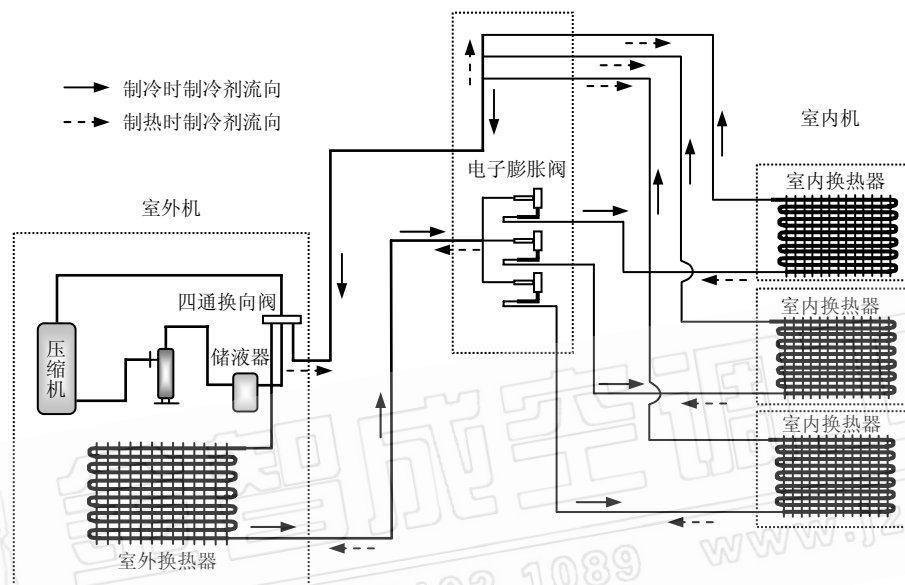


图 1 多联机 VRV 空调系统示意图

多联机 VRV 空调系统的工作原理与普通蒸汽压缩式制冷系统相同，由压缩机、冷凝器、节流机构和蒸发器组成。与普通蒸汽压缩式制冷装置不同的是，热泵型(包括热回收型)VRV 空调系统室内、室外侧换热器都具有冷凝器和蒸发器的双重功能。

由多联机 VRV 空调系统室内、室外机的组成和工作特点，多联机 VRV 空调系统可分为单冷型、热泵型和热回收型三种形式。由多联机 VRV 空调控制系统角度，可分为集中控制、独立式控制和集散式控制三种形式。

2 多联机 VRV 空调系统优点

多联机 VRV 空调系统是由多台高效压缩机组成，并且有较高的 EER；冷（热）量直接由制冷剂输送，减少换热环节；控制非常灵活，适合各种变负荷的场所。

2.1 采用高效涡旋压缩机

多联机 VRV 空调系统是由多台高效压缩机组成，并且有较高的 EER。数码涡旋空调系统采用的是涡旋式制冷压缩机。涡旋式制冷压缩机结构简单，不需要设置吸、排气阀片，具有较高的容积效率，易损部件较少，运行平稳，噪声低，而且允许吸入少量湿蒸汽，故特别适用于热泵式空调。相对于其他几种压缩机而言，涡旋式制冷压缩机的能效比(EER)较高^[5]。表 1 给出了几种类型压缩机性能比较。从表中可以看出，涡旋式压缩机的能效比较转子式和活塞式高，相对较节能。

表 1 几种类型封闭压缩机性能比较

参数	涡旋式	转子式	活塞式
能效比 (EER)	2.9	2.4~2.6	2.2~2.6
容积效率比 (压比 4.6)	0.99	0.94	0.7

绝热效率比(同上)	0.98	0.93	0.88
压缩室的部件数量比	1	3	7
重量比	0.8	0.8	1.0
加工精度	1~3	3	10~30
适用范围(输出功率kW)	1~10	0.4~1	1~10

2.2 冷(热)量直接由制冷剂输送

多联机 VRV 空调系统直接以制冷剂作为传热介质, 传送的热量几乎是水的 10 倍、空气的 20 倍, 而且不需庞大的风管和水管系统, 减少了输送耗能及冷媒输送中能量损失^[6,7]。表 2 给出了三种传热介质性能比较。

表 2 传热介质性能比较

种类	利用热	输送冷量	输送 116kW 冷量耗能
水	显热	20.1kJ/kg ($\Delta t=5^{\circ}\text{C}$)	4.7kW
空气	显热	10.1kJ/kg ($\Delta t=10^{\circ}\text{C}$)	7.4kW
制冷剂	蒸发潜热	206kJ/kg	2.5kW

由表 2 可知, 同样输送 116kW 的热量, 以制冷剂作为输送介质, 所需的输送系统耗能仅为室内机所耗的 2.5kW, 分别是以水和空气作为传热介质所需能耗的 53.27% 和 33.3%。采用制冷剂直接蒸发制冷, 没有按传统中央空调系统先把冷量传给水, 再由冷水传给室内空气这一中间过程, 减少了一个能量传递环节, 从热量传递的网络图上看就是减少了一项传热热阻, 因此也就减少了能量的损耗。

衡量多联机 VRV 空调系统与传统的风冷、水冷热泵空调系统性能, 主要是从节能因素角度考虑^[8,9]。图 2 给出了 VRV 空调系统和风冷热泵冷热水空调系统全年能耗对比。

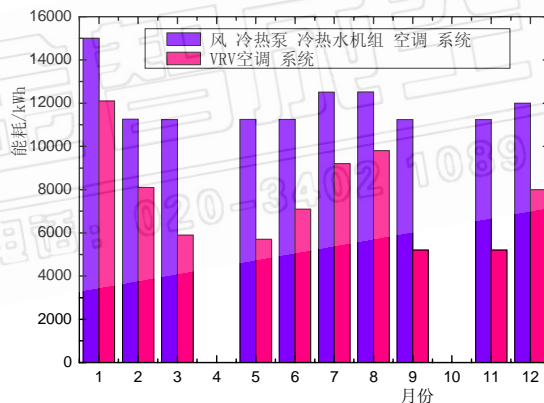


图 2 VRV 空调系统和风冷热泵冷热水空调系统全年能耗对比

由图 2 知, VRV 空调系统与传统的风冷热泵冷热水空调系统类似, 各月能耗随时间的变化规律基本相同。但 VRV 空调系统各月能耗均低于风冷热泵冷热水空调系统。夏季, VRV 空调系统的能耗约比风冷热泵空调系统低 39%; 冬季, 约低 36%; 全年平均约低 38%。

2.3 冷(热)量随负荷调节

在设计建筑物空调系统时, 主要是从冬、夏季空调室外设计参数出发进行负荷计算、方案设计和设备选型, 即以全年中气候条件最不利的情况为设计依据。但美国供热、制冷、空调工程师学会(ASHRAE)^[10]的最新统计数据表明, 这种情况只占全年时间的 1%, 见表 3。

表 3 全年空调负荷比例表, %

空调负荷 (%)	工作时间 (%)	空调负荷 (%)	工作时间 (%)
100	1	50	45
75	42	25	12

空调系统在实际运行过程中, 满负荷运行的时间很短, 一般只占全年运行时间的 1%~3%, 其余时间都是在部分负荷下运行的, 而其中又有 70% 的运行时间是在 30%~70% 这个部分负荷段之间。因此衡量

一个空调产品节能性的好坏，其部分负荷的 COP 值是一个至关重要的因素，COP 值是以一年的空调系统制冷制热容量总和与一年的总耗电量之比。

多联机 VRV 变频空调系统在部分负荷时的节能效果比较显著，能效比相对较高。当部分负荷率在 40%~60%之间时，制热工况的能效比(COP)最高可达到 4 左右。图 3 给出了当室内温度为 20℃，室外温度为 4℃时，日本大金公司多联机 VRV 空调机组的性能系数(COP)与负荷率的关系曲线^[1]。多联机 VRV 的部分负荷 COP 值较高，最高可达 4.1，而一般风冷热泵冷热水机组的 COP 值满负荷时只有 3.0 以下，部分负荷时会降低到 2.0 以下。

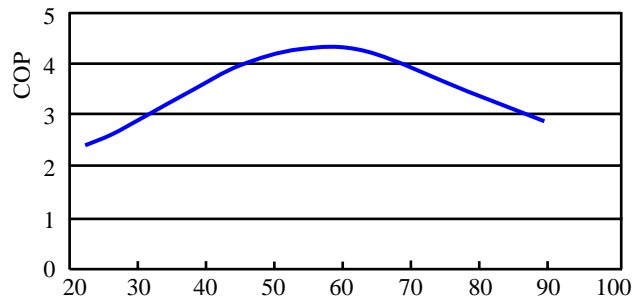


图 3 大金多联机 VRV 部分负荷运行特性 (%)

由图 3 可以看出，当部分负荷率在 55%左右时，多联机 VRV 机组的性能系数 COP 最高。随着部分负荷率的升高，COP 逐渐下降。一般说来，不论是在冬季还是在夏季多联机 VRV 空调系统在部分负荷时的性能都很好。

多联机 VRV 空调系统根据室内负荷的大小，在不同转速下连续运行，减少压缩机因频繁启停造成的不可逆损失；无论在制冷还是在制热工况下，能效比 COP 随频率的降低而升高，一般情况下，当机组的负荷率为 40%~80%时，其效率较高，制冷效率 COP 最高可达 4.27，制热效率 COP 高达 4.36，故系统的季节能效比 SEER 相对于传统空调系统有很大的提高。采用压缩机低频启动，降低了启动电流，电器设备将大大节能，同时避免了对其他用电设备和电网的冲击。

3 多联机 VRV 空调系统缺点

多联机 VRV 空调系统除具有良好的特性，同时由于室外机采用多个压缩机,使其回油系统比较复杂；多联机 VRV 系统冷媒管道安装要求高,管路较长,防漏及保温显得十分必要；系统内容积比较大，因此需要充灌 R22 或 R410A 制冷剂量大，环境污染大；多数机型依赖进口，价格较贵。

3.1 多联机 VRV 系统回油问题

压缩机在运行时，一部分润滑油连续地从气缸中与排气一起被压出。因此，必须有同等数量的润滑油返回压缩机，才能保证系统的正常运行。如果吸气管径选择不当，造成润滑油回油不良，将使系统的性能充分发挥受到影响。因此确定吸气管管径时，必须保证最低的气流速度。由于目前大多数均为变负荷工作的系统，为了保证最低负荷时，润滑油也能返回压缩机，就应缩小吸气管的管径，以使在最低负荷时管内气流速度也能高于最低带油流速。

回油是否成功主要是看气流速度是否能把油带回来。变频的机器在部分负荷时压缩机转速较低，系统处于低流速状态，回油比较困难，所以需要增加回油循环；数码压缩机的回油性能要分别考察加载和卸载时的状态，加载状态相当于变频机的满负荷状态，如果此时也存在回油问题，那么系统的回油循环也无法解决这个问题，因为回油循环本身就是 100%的运行循环，而卸载状态压缩机不排气也不排油，油只在压缩机内部利用离心力从油槽到轴承，再流回油槽，显然此时不需要回油。

对于一拖一的长连管系统，长时间部分负荷运行也是需要回油循环。对于压缩机并联或多外机模块并联的系统，其管路的尺寸较大，造成回流气体速度降低，从而在部分负荷状态下造成回油问题。因此，大型多联机 VRV 系统必须在运行一段时间后，增加强制回油循环。

一定程度而言，数码相对于变频的回油存在优势。一方面，油液仅在负载状态下才离开压缩机，在卸载状态下，因制冷剂没有质量速度，油液不离开压缩机。因此在低负荷过程中，当卸载时间较长时，只有

很少的油液离开压缩机。另外，当油液在负载状态下离开压缩机时，气体速度足以使油液返回到压缩机中。当然，并不是变频系统在 100% 满负荷运行都解决不了回油问题，只是在相同容量的数码系统中不存在相应问题而已。

3.2 配管长度与室外气温对制冷量的影响

制冷剂管路的长度、室内机和室外机之间的高差，都会影响多联机空调系统的性能。蒸发温度每升高 1℃，制冷量约降低 3%^[12,13]。日本大金公司 RHXY20M 制冷机组，当室内机处于室外机下方时，高差小于 10m，等效管长小于 10m 时，容量修正系数为 1.0，当高差达到 50m，等效管长为 60m 时，容量修正系数为 0.87，即冷量衰减达 13%。大金 VRV-III 的 10HP 多联机 VRV 系统，当管长为 50m 时，冷量衰减为 8%。室内机和室外机之间的高差越大，等效管长越长，其冷量衰减越大。所以，虽然多联机组允许最大制冷剂管长为 150m，但是，从保证有效供冷(热)及节能角度出发，建议实际应用时其管长最好不超过 100m。资料表明，最大配管等效长度超过 90m 时，主制冷剂管的直径必须增加。和其他的空气源热泵空调系统一样，多联机空调机组样本中标注的制热量是额定条件下测得的。当室外温度较低时，制热量有较大的衰减，还必须乘以相应的修正系数。

3.3 大量制冷剂充灌负面效应

由于多联机 VRV 空调系统内容积过大，增大了制冷剂充灌量；系统的管道接头较多，增加了制冷剂泄漏的可能性。大量制冷剂泄漏，导致臭氧层破坏。随着引起臭氧层破坏和温室效应的 HCFC 类制冷剂的限用，开展以 CO₂ 为代表的自然工质的替代工作显得十分必要和紧迫。

4 多联机 VRV 初投资和运行费用评价

VRV 和风冷热泵空调方案初投资和年运行费用^[14,15]对比见表 4、5。选用设备的品牌可信度大致相当，基础数据：①设计方案为长江中下游地区；②年制冷天数 120 天，供暖 120 天；③电价为 0.68 元/kWh；④ 制冷、供热时间 12 h/天，平均负荷率 0.7。

表 4 不同方案初投资及运行费用对比(建筑规模 3000m²)

空调方式	制冷(制热)容量及数量	室内机类型及数量	管道及其它设备	初投资(元/m ²)	全年运行费(元/m ²)
VRV 空调系统+新风	74.8 (81.5) kW ×5 台	各规格室内机 70 台	铜管、保温、电气线缆和新风系统	410	55
风冷热泵+风机盘管+新风	174 (191.5) kW ×2 台	风机盘管 120 台	水泵、水管、保温、电气线缆和新风系统	360	65

表 5 不同方案初投资及运行费用对比(建筑规模 10000m²)

空调方式	制冷(制热)容量及数量	室内机类型及数量	管道及其它设备	初投资(元/m ²)	全年运行费(元/m ²)
VRV 空调系统+新风	74.8 (81.5) kW×11 台 80.6 (88.0) kW×6 台	各规格室内机 220 台	铜管、保温、电气线缆、新风系统	420	58
风冷热泵+风机盘管+新风	591.6 (651) kW×2 台	风机盘管 380 台	水泵、水管、保温、电气线缆、新风系统	270	45

可见，当建筑规模较大时，VRV 空调方案的经济性优势逐步丧失，而风冷热泵方案等大型制冷设备的经济性显著提高，采用传统的集中空调系统更具经济优势。

6 结论

本文详细分析了多联机 VRV 系统的特点。高效压缩机、冷(热)量直接由制冷剂输送和负荷灵活调节，显著地提高了多联机 VRV 系统的 COP。回油系统的复杂性、配管长度的影响和大量制冷剂的使用，成为 VRV 系统推广应用首要解决的问题。通过初投资和运行费用对比分析，当建筑规模较大时，传统风

机盘管热泵空调系统的经济性要优越于多联机 VRV 系统。

参 考 文 献

- [1] 邵双全, 石文星, 李先庭, 彦启森. 多元变频 VRV 空调技术综述[J]. 制冷与空调, 2003, 3(2):6-10.
- [2] Y.P. Zhou, J.Y. Wu, R.Z. Wang, S. Shiochi. Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions [J]. Energy and Buildings, 2007, 39(2): 212-220.
- [3] 张思柱, 龙惟定. VRV 集中式空调系统的发展现状[J]. 制冷与空调, 2006, 6(6):9-12.
- [4] 张蕾. 一拖多空调系统(多联机)开发疑难及其对策[M]. 第八届全国空调器、电冰箱(柜)及压缩机学术交流会, 珠海, 2006, 5-9.
- [5] 刘圣春, 马一太, 成建宏. 变频型房间空调器区域性季节能效比的研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(2): 47-51.
- [6] 张智力, 吴喜平. VRV 空调系统的节能因素分析[J]. 能源技术, 2002, 23(2):59-61.
- [7] S.C. Hu, R.H. Yang. Development and testing of a multi-type air conditioner without using AC inverters [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46 (3): 373-383.
- [8] S.Q. Shao, W.X. Shi, X.T. Li, H.J. Chen, Performance representation of variable-speed compressor for inverter air conditioners based on experimental data, International Journal of Refrigeration 27 (8) (2004)805-815.
- [9] 叶盛, 陈汝东. 数码涡旋 VRV 空调系统的节能因素分析[J], 应用节能技术, 2006 (9):17-20.
- [10] ASHRAE Handbook. HVAC System and equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning engineers, Atlanta, USA, 1996.
- [11] 上海大金空调有限公司. 大金 VRV II、III SYSTEM 智能化中央空调系统空调样本. 2006.
- [12] 大金工业株式会社. VRV 系统变频控制、热回收“K”系列技术资料, 1999.
- [13] C.P. Youn, C.K. Young, M.K. Min, Performance analysis on a multi-type inverter air conditioner, Energy Conversion and Management 42 (13) (2001) 1607-1621.
- [14] 薛卫华, 沈建芳, 苏志军等. VRV 空调系统与螺杆式风冷热泵空调系统全年能耗比较[J]. 制冷技术, 2003(4): 6-9.
- [15] M.M. Ardehali, T.F. Smith, Evaluation of variable volume and temperature HVAC system for commercial and residential buildings, Energy Conversion and Management 37 (9) (1996) 1469-1479.

电话: 020-3402 1089

www.jrskt.com