

## 多功能家用中央空调的特性分析和实验研究

王 刚, 陈 东, 谢继红  
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 给出了一种新型结构的多功能家用中央空调, 其一套装置可同时兼有供冷、供暖及供热水功能, 且制冷剂管道分布简单, 控制方便. 对其结构和工作原理进行了介绍, 分析了其能耗、经济和环境指标, 并对其运行特性进行了实验研究. 研究表明, 与传统系统相比, 多功能家用中央空调的初投资可降低 30% 以上, 全年能耗费用可减少 25% 以上, 环境负荷可减少 44% 以上.

**关键词:** 多功能; 中央空调; 热泵; 节能

**中图分类号:** TB657.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2011)06-0051-05

### Characteristics Analysis and Experimental Study on Multi-Function Domestic Central Air Conditioners

WANG Gang, CHEN Dong, XIE Ji-hong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** A multi-function domestic central air conditioner with a novel structure was given, the three functions of cooling, heating and hot water supply can all be achieved by the new machine with simple distribution of refrigerant pipe and convenient regulation. Its structure characteristics and principle were introduced, the energy consumption, economic and environmental index were calculated and analyzed, its operating characteristics was also experimentally studied. Results show that compared with traditional system, its initial invest, energy cost and environmental load reduce more than 30%, 25% and 44% respectively.

**Keywords:** multi-function; central air conditioner; heat pump; energy-saving

夏季供冷、冬季供暖、全年供热水已是现代住宅的基本标准, 传统系统要实现上述功能需要三套装置(空调装置、热水器和供暖装置), 初投资大, 运行能耗高, 占用空间多. 针对这种情况, 国内外研究者提出了一套装置同时兼有供冷、供暖、供热水功能的多功能空调. Techarungpaisan 等<sup>[1]</sup>将热水箱置于压缩机和冷凝器之间, 通过吸收过热蒸气的热量来加热热水, 并对其进行了数学模拟; 江辉民等<sup>[2]</sup>提出的多功能空调结构是将热水箱串联在压缩机和四通阀之间, 通过多个制冷剂阀件的联合控制实现夏季供冷、冬季供暖、全年供热水; 朱健文<sup>[3]</sup>提出的多功能空调结构是加热器与热水箱分离, 并通过 2 个四通阀的控制实现 3 个功能. 上述装置的主要特点是通过多个阀门的组合控制调整制冷剂流向, 制冷循环管路较复杂,

对制造、安装与调控要求很高, 使其应用与推广受到一定限制.

本文给出一种新型结构的具有供冷、供暖及供热水功能的多功能家用中央空调, 其制冷剂管道分布简单、控制方便、初投资小; 并对其性能进行了分析计算和实验研究.

### 1 装置结构及工作原理

#### 1.1 装置结构

多功能家用中央空调的结构如图 1 所示. 装置主要由制冷热泵循环、载能液及水循环系统组成. 制冷热泵循环主要给载能液和水提供冷能或热能, 再通过载能液和水把冷能或热能送入室内供用户使用

收稿日期: 2011-07-15; 修回日期: 2011-09-07

作者简介: 王 刚 (1987—), 男, 浙江人, 硕士研究生; 通信作者: 陈 东, 教授, chendong@tust.edu.cn.

用. 制冷热泵循环主要包括压缩机、四通阀、换热器 A(置于水箱 A 中)、换热器 B(置于载能液箱中)和节流阀构成,其中充入制冷剂,只需 1 个四通阀来调整制冷剂流向;载能液循环包括泵 B、室外换热器和载

能液箱,其中充入载能液,用于和室外空气进行热交换;水循环包括泵 A、水箱 A、水箱 B、室内换热器等,用于室内夏季供冷、冬季供暖和全年供热水.

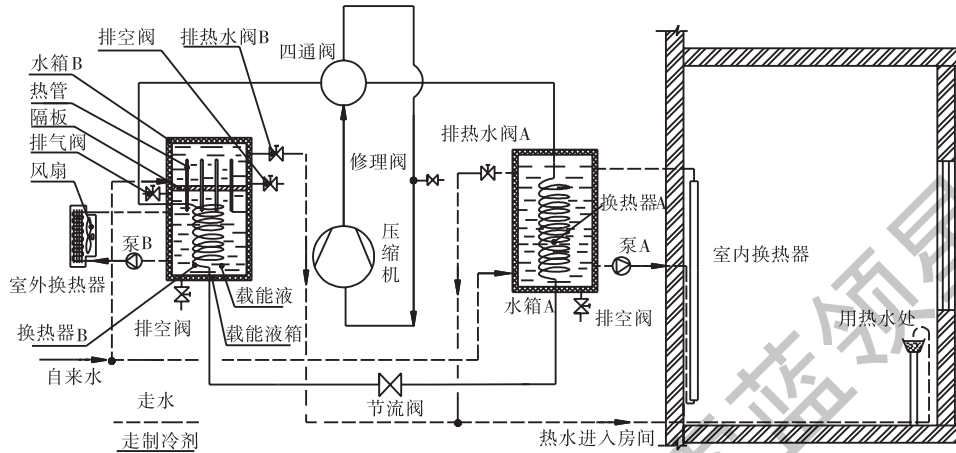


图 1 多功能家用中央空调结构示意图

Fig.1 Structure diagram of multi-functional domestic central air conditioner

1.2 工作原理

根据季节的不同,该多功能家用中央空调有 3 种基本工作模式.

1.2.1 夏季模式

系统为室内供冷和供热水. 此时压缩机排出的高温高压气体经四通阀进入换热器 B,在其中冷凝放热成为高压液体,同时把载能液及水箱 B 中水加热;高压制冷剂液体经节流阀变为低温低压后进入换热器 A,通过蒸发吸热把水箱 A 中的水降温;低压制冷剂蒸气再返回压缩机开始下一循环. 水箱 A 中的冷水通过泵 A 送入室内为房间降温. 自来水通过水箱 B 加热后成为热水,通过排热水阀 B 送入室内(夏季排热水阀 A 关闭).

1.2.2 春秋模式

室内不需供冷和供暖,系统只为室内供热水. 此时制冷热泵循环中四通阀方向改变,制冷剂沿压缩机—四通阀—换热器 A—节流阀—换热器 B—四通阀—压缩机流程工作,高温制冷剂气体把水箱 A 中的水加热为热水,热水通过排热水阀 A 送入室内(春秋排热水阀 B 关闭).

1.2.3 冬季模式

系统为室内供暖和供热水. 此时四通阀方向与春秋模式相同,制冷剂流程也与春秋模式相同. 低温制冷剂在换热器 B 中蒸发,从载能液中吸热;高温制冷剂在换热器 A 中冷凝放热,对水箱 A 中的水进行加

热;泵 A 工作,把水箱 A 中的热水送入室内换热器为室内供暖;自来水在水箱 A 被加热,热水通过排热水阀 A 送入室内(冬季排热水阀 B 关闭);载能液降到一定值时泵 B 启动,低温载能液通过室外换热器从空气中吸热后返回载能液箱,使载能液箱的温度保持在合理值.

2 性能分析

设传统系统夏季采用空调供冷、冬季采用燃煤集中供暖、全年采用电热水器供热水. 以华北地区面积为  $S = 150 \text{ m}^2$  的住宅为例,取<sup>[4]</sup>空调负荷为  $q_R = 0.1 \text{ kW/m}^2$ ,空调季为  $D_R = 92 \text{ d}$ ,每天平均使用空调时间  $t_R = 10 \text{ h}$ ;供暖负荷为  $q_H = 0.05 \text{ kW/m}^2$ ,供暖季为  $D_H = 120 \text{ d}$ ,每天供暖时间  $t_H = 24 \text{ h}$ ;全年平均每天供热水<sup>[5]</sup> $V = 240 \text{ L/d}$ ,过渡季  $D_G = 153 \text{ d}$ .

2.1 能耗分析

2.1.1 供冷能耗

由于载能液输送热量或冷量增加了传热环节,导致机组性能系数(coefficient of performance, COP)有所降低,但是通过载能液箱作为储能容器可以减少机组的启停次数,且机组一般采用双压缩机或三压缩机方案,部分负荷性能好,因此系统的实际能源效率与常规机组相当. 取<sup>[6]</sup>机组的制冷性能系数 $\epsilon_E = 3.0$ . 多功能家用中央空调和传统系统的供冷能耗为

$$E_{DE} = \frac{q_R D_R t_R S}{\varepsilon_E} = 4\ 600\ \text{kW}\cdot\text{h} \quad (1)$$

### 2.1.2 供暖能耗

取<sup>[6]</sup>机组制热性能系数 $\varepsilon_C = 3.5$ . 多功能家用中央空调系统的供暖能耗为

$$E_{DC} = \frac{q_H D_H t_H S}{\varepsilon_C} = 6\ 171\ \text{kW}\cdot\text{h} \quad (2)$$

取<sup>[6]</sup>锅炉热效率 $\eta_M = 0.7$ , 煤的热值 $q_M = 24\ \text{MJ/kg}$ . 传统系统采用燃煤集中供暖, 其供暖耗煤量为

$$M_{ZNM} = \frac{3.6 q_H t_H D_H S}{\eta_M q_M} = 4\ 629\ \text{kg} \quad (3)$$

### 2.1.3 全年供热水能耗

取水的比热容 $c = 4.2\ \text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ , 热水与自来水的温差 $\Delta\theta = 30\ ^\circ\text{C}$ ; 机组制热性能系数与供暖时相同. 多功能家用中央空调的全年供热水能耗为

$$E_{Dw} = \frac{cV(D_H + D_G)\Delta\theta}{3\ 600\varepsilon_C} = 655\ \text{kW}\cdot\text{h} \quad (4)$$

取<sup>[7]</sup>电热水器效率 $\eta_D = 96\%$ . 传统系统中电热水器的全年供热水能耗为

$$E_{Zw} = \frac{cV(D_R + D_G + D_H)\Delta\theta}{3\ 600\eta_D} = 3\ 194\ \text{kW}\cdot\text{h} \quad (5)$$

## 2.2 经济分析

### 2.2.1 初投资分析

通过调研天津市住宅情况, 对于面积为 $150\ \text{m}^2$ 的住宅, 典型传统系统3套装置的初投资分别为: 夏季制冷需要3台空调, 总价约9000元, 使用年限为15年; 需电热水器2台, 总价约2500元, 使用年限7.5年; 集中供暖采用地板辐射式, 费用约10000元(按 $70\ \text{元}/\text{m}^2$ 计算, 使用寿命15年以上), 则传统系统总初投资为24000元.

对于新型结构的多功能家用中央空调, 参照样机的制作费用并考虑企业的实际利润, 其总初投资约为16000元, 其中制冷热泵机组(含载能液箱等)约8000元, 室内换热器约2000元, 水系统及载能液系统约6000元(各部件使用寿命均在15年以上), 较传统系统的初投资可节省8000元.

### 2.2.2 运行费用<sup>[8]</sup>分析

传统系统冬季供暖费用为3750元(按 $25\ \text{元}/\text{m}^2$ 计算), 夏季制冷费用为2254元, 全年供热水费用为1565元(按电费 $0.49\ \text{元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 计算), 则全年总运行费用约7570元.

多功能家用中央空调冬季供暖费用为3024元, 夏季制冷费用为2254元, 全年供热水费用为321元, 全年总运行费用约5600元, 每年比传统系统节约2000元.

## 2.3 环境负荷分析

根据全国发电结构平均累计数值<sup>[9]</sup>, 电能的 $\text{CO}_2$ 的排放量为 $1.123\ 6\ \text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ , 煤燃烧的 $\text{CO}_2$ 排放量为 $3.11\ \text{kg}/\text{kg}$ <sup>[9]</sup>.

传统系统年排放 $\text{CO}_2$ 为

$$P_Z = (E_{DE} + E_{ZW}) \times 1.123\ 6 + M_{ZNM} \times 3.11 = 23\ 154\ \text{kg}$$

多功能家用中央空调年排放 $\text{CO}_2$ 为

$$P_D = (E_{DE} + E_{DC} + E_{Dw}) \times 1.1236 = 12\ 838\ \text{kg}$$

多功能家用中央空调每年可比传统系统少排放 $\text{CO}_2$ 约10 t.

## 3 运行特性实验

### 3.1 实验装置与方法

实验装置采用转子式压缩机, 压缩机型号为2R11B3R225A; 换热器A和换热器B均为盘管式, 材料为紫铜, 分别放在水箱A和载能液箱中; 节流部件采用节流阀; 室内换热器采用壁式换热器; 模拟测试室保温层厚度为 $150\ \text{mm}$ , 内部长宽高尺寸为 $1\ 300\ \text{mm} \times 1\ 200\ \text{mm} \times 1\ 300\ \text{mm}$ , 空载、密闭, 其在降温阶段冷负荷约 $102\ \text{W}$ , 在升温阶段热负荷约 $95\ \text{W}$ ; 壁式换热器与模拟测试室的地板面积比为 $1:3$ .

实验在环境温度为 $25\ ^\circ\text{C}$ 的条件下进行, 要求在制冷时, 冷水温度达到 $2\ ^\circ\text{C}$ , 模拟测试室温度降低到 $20\ ^\circ\text{C}$ ; 在制热时, 热水温度达到 $41\ ^\circ\text{C}$ , 模拟测试室温度升高到 $27\ ^\circ\text{C}$ ; 其湿度在 $40\% \sim 70\%$ 即可, 不再人为调整.

在实验中用电流表(精度 $0.02\ \text{A}$ )测量机组电流; 在压缩机进出口、节流阀进出口布置压力测点(精度 $0.01\ \text{MPa}$ ), 在载能液箱、水箱A、水箱B和模拟测试室内布置温度测点(精度 $0.1\ ^\circ\text{C}$ ), 实验前向载能液箱加载能液 $26\ \text{kg}$ , 向水箱A注水 $30\ \text{kg}$ , 向水箱B注水 $10\ \text{kg}$ .

## 3.2 实验结果与分析

### 3.2.1 制冷性能

在夏季制冷模式下, 冷水温度与蒸发压力随时间的变化如图2所示. 可见, 在机组运行初期, 冷水温度和蒸发压力降低较快, 后期则降速减缓.

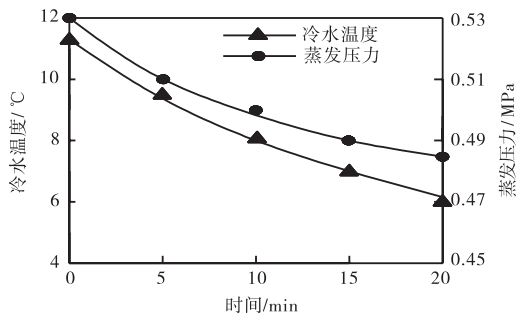


图2 冷水温度及蒸发压力随时间的变化

Fig.2 Variations of cold water temperature , evaporation pressure vs time

图3给出了制冷量、机组功耗和制冷性能系数与冷水温度的关系。可见，随着冷水温度的升高，机组制冷量和制冷性能系数都增高，且其增速也随冷水温度升高而升高，机组功耗略微降低。冷水温度由6℃升高到11℃，其制冷量提高将近50%，制冷性能系数提高将近58%，这是因为冷水温度升高时制冷剂蒸发温度也升高，则单位容积制冷量增大，机组功耗减小，故制冷性能系数提高。因此，在实际应用中应合理设定冷水温度值，保证机组具有较高的制冷量和制冷性能系数。

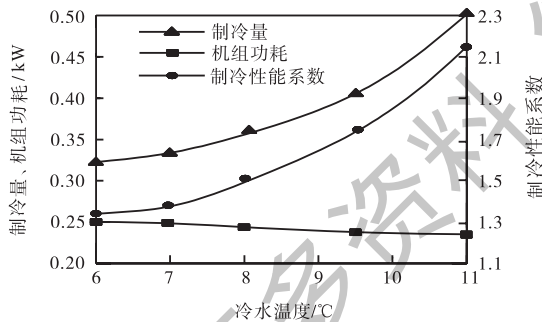


图3 制冷量、机组功耗和制冷性能系数与冷水温度的关系  
Fig.3 Relationship between refrigeration capacity , unit power , COP of refrigeration and cold water temperature

当冷水温度降低到一定值时，通过泵把冷水送入模拟测试室内的壁式换热器中，得到冷水温度与模拟测试室内空气温度随时间的变化如图4所示。可见，随着冷水不断把室内空气热量带出，模拟测试室内的空气温度不断降低，而冷水温度则不断升高，且温度变化速度随时间不断降低。因此，在实际应用中应通过调控机组，使冷水温度稳定在合理值，保证室内空气的降温速率较适宜。

### 3.2.2 供暖与供热水性能

在供暖模式下热水温度及冷凝压力随时间变化

规律如图5所示。可见，在机组运行初期，热水温度和冷凝压力增加较快，后期则增速减缓。

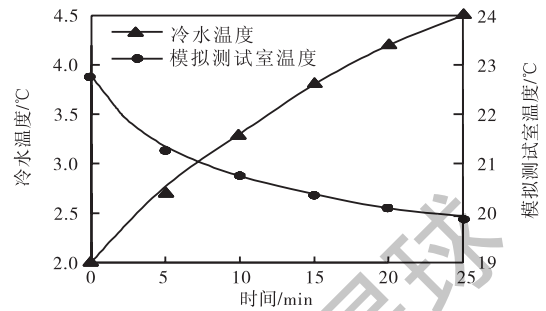


图4 冷水温度和模拟测试室温度随时间的变化

Fig.4 Variations of cold water temperature , simulation test chamber temperature vs time

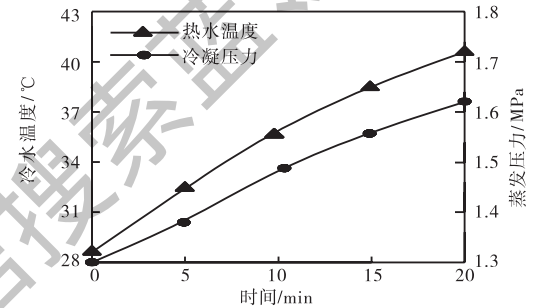


图5 热水温度和冷凝压力随时间的变化

Fig.5 Variations of hot water temperature , condensation pressure vs time

图6给出了制热量、机组功耗及制热性能系数与热水温度的关系。可见，随着热水温度的升高，机组制热量和制热性能系数降低，机组功耗略微增加。热水温度由29℃升高至42℃时，其制热量和制热性能系数分别降低了45%和46%。这是因为热水温度升高时制冷剂冷凝温度也升高，则单位容积制热量减小，机组功耗增大，制热性能系数降低。因此在实际应用中应合理设置热水温度值，保证机组具有较高的制热量和制热性能系数。

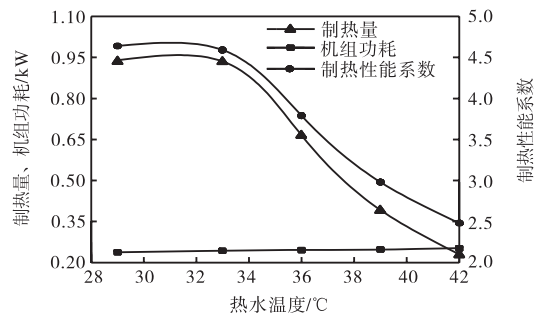


图6 制热量、机组功耗和制热性能系数与热水温度的关系  
Fig.6 Relationship between heating capacity , unit power , COP of heating and hot water temperature

当热水温度升高到一定温度时,通过泵把热水送到模拟测试室内的壁式换热器中,得到模拟测试室内空气温度随时间的变化如图7所示.可见,随着热水不断往室内空气送入热量,模拟测试室内的空气温度不断上升,且热水温度越高,其模拟测试室内空气的升温速率越快.故在实际运用中为保证室内空气有较高温度和较快的升温速度,就要选择较高的热水温度.

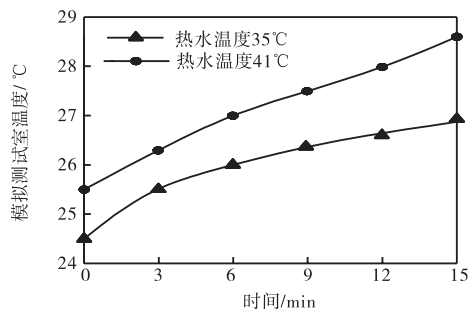


图7 模拟测试室温度随时间的变化

Fig.7 Variations of simulation test chamber temperature vs time

通过阀门切换,把达到设定温度(通常大于40°C)的水箱A或水箱B中的热水引出,即可用于为用户供热水,机组制热量、制热性能系数和热水温度之间的关系与供暖模式相同.

#### 4 结 语

新型结构的多功能家用中央空调具有夏季供冷、冬季供暖和全年供热水3种功能,且结构简单、控制方便;以150m<sup>2</sup>住宅为例,其初投资可降低约33%,

年运行费用可降低约26%,每年CO<sub>2</sub>排放量可减少10t以上,节能减排效果显著,具有较好的应用和推广前景.

进一步应就装置的部件优化、动态特性等进行深入研究和分析,以提高其综合性能.

#### 参考文献:

- [1] Techarungpaisan P, Theerakulpisut S, Priprem S. Modeling of a split type air conditioner with integrated water heater[J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(4): 1222-1237.
- [2] 江辉民,王洋,马最良,等.带热水供应的节能型空调器动态特性的实验研究[J].暖通空调, 2005, 35(9): 125-130.
- [3] 朱健文.多功能热泵空调热水机理论分析与实验研究[D].广州:华南理工大学电力学院, 2009.
- [4] 滕达.单元式空调机的运行操作及管理[M].北京:中国电力出版社, 2005: 30-36.
- [5] 江辉民,王洋,马最良,等.蓄热水箱的设计与实验分析[J].建筑热能通风空调, 2006, 25(2): 74-78.
- [6] 王丽焕,陈东,陈晓宇,等.基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置分析[J].天津科技大学学报, 2010, 25(3): 54-57.
- [7] 颜松.空气源热泵热水器简介及其经济性分析[J].大众科技, 2009(11): 104-106.
- [8] 天津市物价局.实用价格查询[EB/OL]. [2011-06-06]. [http://www.tjprice.gov.cn/templet/tjprice/bmfw\\_jgcx.jsp](http://www.tjprice.gov.cn/templet/tjprice/bmfw_jgcx.jsp)
- [9] 谢继红,陈东,朱恩龙,等.热泵干燥装置的技术经济及环境分析[J].节能, 2006(1): 31-34.

(上接第50页)

- [4] 李敬芬,王旭,周淑晶.桦树皮化学成分研究[J].中药材, 1998, 21(2): 83-85.
- [5] Draeger B, Galgon T, Neubert R, et al. Method of producing betulonic acid: US, 6175035[P]. 2001-01-16.
- [6] Kim D S H L, Chen Z, Van Tuyen N, et al. A concise semi-synthetic approach to betulonic acid from betulin [J]. Synthetic Communications, 1997, 27(9): 1607-1612.
- [7] 易金娥,文立新,袁莉芸,等.白桦树中桦木醇的提取与桦木酸合成研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版, 2010, 36(5): 574-580.
- [8] 丁为民,周丹,于涛,等.均匀设计法优化桦木醇超声波辅助提取工艺[J].林产化学与工业, 2010, 30(3): 78-82.
- [9] 刘婧,章海锋,何国庆,等.白桦酯醇、白桦酯酸的研究进展及其前景[J].食品工业科技, 2009, 30(10): 360-362.
- [10] 韩世岩,方桂珍,李珊珊,等.四氢呋喃-苯混合溶剂法分离纯化桦木醇[J].林产化学与工业, 2005, 25(增刊): 129-132.