

# 热管在多联机卡式天花室内机中的应用

张景玲 余鹏

(广东省建筑科学研究院)

**摘要** 以某品牌多联机3个型号卡式天花室内机为例,将热管技术应用于多联机卡式天花室内机,计算不同室内设计温度条件下的换热量。研究表明,与传统多联机室内机相比,其节能率可达28.46%~68.53%,同时,在无需电加热或蒸汽动力设备的条件下提高室内送风温度,在节约能源消耗的同时满足室内人体热舒适的要求。

**关键词** 多联机;热管;环形热管式换热器;卡式天花室内机

## Application of heat pipe into cassette indoor unit of multi-connected unit

Zhang Jingling Yu Peng

(Guangdong Provincial Academy of Building Research)

**ABSTRACT** The study is conducted based on three mode cassette indoor units of some brand's multi-connected unit. The heat pipe technology is applied to these cassette indoor units and the heat transfer capacity under different indoor temperatures is calculated. The research results show that the energy saves 28.46%~68.53%, compared with the conventional indoor unit. In the meanwhile, it can increase the indoor supply-air temperature without extra electric heating or steam power equipment, which achieves the objective of saving energy and meets the requirement of indoor human thermal comfort.

**KEY WORDS** multi-connected unit; heat pipe; loop heat pipe exchanger; cassette indoor unit

随着市场发展及建筑空调系统节能要求的提高,多联机在办公楼、公寓、商场、酒店、医院及学校建筑中的应用将远远超过冷水机组。《2010年度中国中央空调市场总结报告》<sup>[1]</sup>显示,多联机近几年发展较快,2008年市场占有率为30.2%,2009年上升到31.7%,2010年这一数值为33.1%,几乎占全国市场容量的1/3,已经连续2年超过冷水机组在市场上的占有率(2009年冷水机组市场占有率为25.4%;2010年仅为24.3%)。因此研究多联机的节能措施或方案,对建筑空调系统节能十分重要。

笔者对多联机通常配置的卡式天花室内机采用热管技术的节能效果进行讨论。

### 1 环形热管式换热器

环形热管是分离式热管的一种,热管的蒸发

段与冷凝段分开,二者之间用连接管连接。环形热管对冷、热源之间的距离要求比较低,可以实现热量的远距离输送。

早在1972年,科学家Gerasimov和Maydanik首次成功地制造并测试了环形热管,继而在1987年,Akaji首次在室温下使用环形热管<sup>[2-3]</sup>。

Meena P.等<sup>[4]</sup>研究了干燥系统中用于降低空气相对湿度的装有止回阀的封闭振荡环形热管空气预热器的性能,研究结果表明,此环形热管可以在很大程度上降低空气的相对湿度,并且可以降低系统的能耗。

图1所示为环形热管式换热器的工作原理。图中空调系统的室内回风经过环形热管的蒸发段预冷,然后通过表冷器冷却除湿到机器露点,经过热管的冷凝段进行再热,然后送入空调房间。环

收稿日期:2013-04-27

作者简介:张景玲,硕士,工程师,技术员,主要从事暖通空调节能研究。

形热管的蒸发段与冷凝段分开,液相工质在热管蒸发段从热源中吸热蒸发后由蒸气管线传输到冷凝段,然后在冷凝段向冷源放热凝结,凝结液体通过液体管线再次回到蒸发段,从而完成一次循环。工质在不断的循环过程中将热量源源不断地从蒸发段传输至冷凝段,从而完成热量的输送<sup>[5]</sup>。

## 2 热管多联机卡式天花室内机换热器设计

### 2.1 多联机卡式天花室内机型号选择

以某品牌多联机卡式天花室内机为例,因卡式天花室内机型号较多,故依据冷量属于系列型号中较小、靠中和偏大的原则,选择以 12#、25#

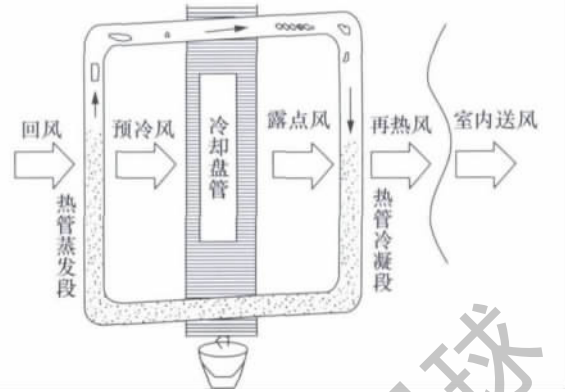


图 1 环形热管式换热器工作原理示意图

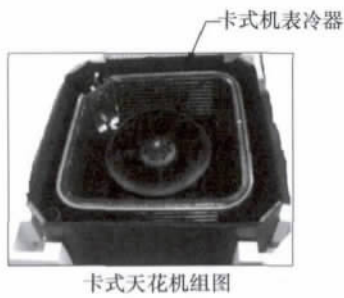


图 2 卡式天花室内机结构

表 1 卡式天花室内机性能参数及表冷器尺寸

| 机组型号 | 制冷量/<br>kW | 制热量/<br>kW | 输入功率/<br>W | 风量/<br>(m <sup>3</sup> /h) | 表冷器长边<br>A=D/mm | 表冷器短边<br>B=C/mm | 表冷器距水盘<br>壁宽 E/mm | 表冷器高<br>F/mm | 表冷器内<br>半径 R/mm |
|------|------------|------------|------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 12#  | 3.5        | 4.0        | 70         | 750                        | 458             | 308             | 35                | 200          | 87              |
| 25#  | 7.2        | 8.2        | 115        | 1 360                      | 580             | 430             | 55                | 250          | 87              |
| 40#  | 11.0       | 13.5       | 230        | 2 040                      | 780             | 630             | 55                | 250          | 87              |

和 40# 共 3 个型号为例设计热管式室内机,结构如图 2 所示,其性能及结构相关参数见表 1。

### 2.2 热管式换热器设计<sup>[6]</sup>

环形热管式换热器的蒸发段与冷凝段分开,且水平放置、两端无高差。蒸发段与冷凝段的管段为竖直铝翅片铜管,目前市场上家用机使用  $\phi 7$  mm 铜管较为普遍,故笔者也选用  $\phi 7$  mm 铜管,壁厚为 0.32 mm,暂设单排。热管式换热器蒸发段与冷凝段的竖直翅片管顶部与底部用水平横向连接管连接(顶部为集气管,底部为集液管),然后用蒸气管线将蒸发段与冷凝段顶部连接,液体管线将蒸发段与冷凝段底部连接。翅片选用亲水铝箔,翅片厚度为 0.110 mm。

12#、25# 和 40# 机组热管式换热器结构尺寸及相关参数见表 2,以 12# 机组为例,其整体结构如图 3 所示。25# 与 40# 机组热管式换热器与 12# 结构相同,仅尺寸与铜管数量不同。

表 2 热管式换热器结构尺寸

| 机组型号 | 迎风面<br>长度/mm | 竖直管<br>数量/根 | 蒸气管<br>线/根 | 液体管<br>线/根 | 总体积/<br>( $\times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> ) |
|------|--------------|-------------|------------|------------|---|
| 12#  | 970          | 44          | 30         | 30         | 1.32  |
| 25#  | 1 502        | 60          | 42         | 42         | 2.03  |
| 40#  | 2 379        | 90          | 58         | 58         | 3.04  |

注:集气管(1根)直径为 12.7 mm,集液管(1根)直径为 9.52 mm,蒸气管线直径为 12.7 mm,液体管线直径为 9.52 mm。

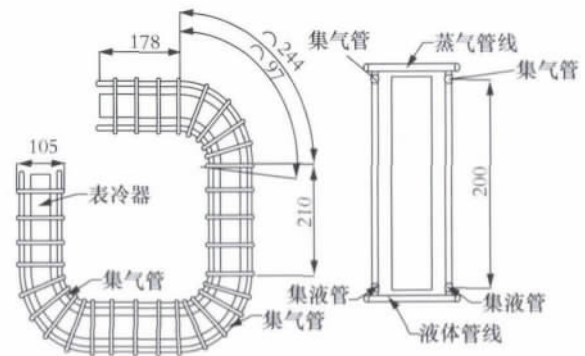


图 3 热管式换热器整体结构图

### 3 热管多联机卡式天花室内机节能效果分析

为分析不同室内设计温度条件下热管多联机卡式天花室内机换热器与传统多联机卡式天花室内机表冷器换热效果,选择室内设计温度由 21℃ 升至 29℃,温度间隔为 1℃,为简化计算,室内相对湿度定为 50%。所选取的 12#、25# 及 40# 机组额定冷量与送风量确定(见表 1),以机组为研究对象,除设定空调房间的室内温、湿度外,房间内的负荷、人员等无需考虑。根据环形热管式换热器及传统表冷器换热过程,使用空气状态参数计算软件和风冷式换热器计算软件,得出机组热管多联机卡式天花室内

机换热器换热状态参数如表 3 所示,机组传统表冷器换热过程状态参数如表 4 所示,热管式换热器换热量与传统表冷器换热量如表 5 所示。

采用热管式换热器后机组的节能率按下式计算:

$$\rho = \frac{Q_{ri}}{Q_b} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\rho$ 为多联机卡式天花室内机采用热管式换热器后在不同室内设计温度条件下的节能率(%); $Q_{ri}$ 为不同室内设计温度条件下热管式换热器的换热量(kW); $Q_b$ 为传统表冷器的换热量(kW)。

表 3 热管式换热器在不同室内设计温度条件下的空气处理参数

| 室内设计温度/℃ | 湿球温度/℃ | 蒸发段出口          |                | 表冷器出口温度(露点温度)/℃ |             | 冷凝段出口       |             | 送风温度/℃ |             |  |
|----------|--------|----------------|----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|--|
|          |        | 干球温度/℃         |                | 湿球温度/℃          |             | 干球温度/℃      |             |        | 湿球温度/℃      |  |
|          |        | 12#/25#/40#    | 12#/25#/40#    | 12#/25#/40#     | 12#/25#/40# | 12#/25#/40# | 12#/25#/40# |        | 12#/25#/40# |  |
| 21       | 14.70  | 15.4/17.0/16.9 | 12.6/13.1/13.1 | 10.5/10.5/9.5   | 15          | 12.06       | 15          |        |             |  |
| 22       | 15.50  | 16.0/17.8/17.7 | 13.1/13.8/13.7 | 10.8/10.8/10.0  | 16          | 12.97       | 16          |        |             |  |
| 23       | 16.37  | 16.7/18.6/18.5 | 13.7/14.4/14.4 | 11.4/11.4/10.5  | 17          | 13.80       | 17          |        |             |  |
| 24       | 17.16  | 17.3/19.4/19.3 | 14.3/15.1/15.0 | 12.2/12.2/10.9  | 18          | 17.66       | 18          |        |             |  |
| 25       | 17.98  | 18.0/20.2/20.1 | 15.0/15.8/15.7 | 12.8/12.8/11.8  | 19          | 15.53       | 19          |        |             |  |
| 26       | 18.81  | 18.6/20.9/20.9 | 15.8/16.5/16.4 | 13.5/13.5/12.8  | 20          | 16.39       | 20          |        |             |  |
| 27       | 19.63  | 19.3/21.8/21.6 | 16.6/17.1/17.1 | 14.2/14.2/13.7  | 21          | 17.27       | 21          |        |             |  |
| 28       | 20.45  | 20.0/22.5/22.3 | 17.4/17.9/17.9 | 14.7/14.7/14.6  | 22          | 18.09       | 22          |        |             |  |
| 29       | 21.28  | 20.7/23.3/23.1 | 18.2/18.7/18.7 | 15.6/15.6/15.5  | 23          | 18.92       | 23          |        |             |  |

注:12#、25# 和 40# 机组风量分别为 750、1 360 和 2 040 m<sup>3</sup>/h。

表 4 传统表冷器在不同室内设计温度条件下的空气处理参数

| 室内设计温度/℃ | 湿球温度/℃ | 表冷器出口          |                | 空气相对湿度/%    |                   | 露点温度/℃            |             | 含湿量/(g/kg干空气) |  |
|----------|--------|----------------|----------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------|---------------|--|
|          |        | 干球温度/℃         |                | 湿球温度/℃      |                   | ℃                 |             | g/kg干空气       |  |
|          |        | 12#/25#/40#    | 12#/25#/40#    | 12#/25#/40# | 12#/25#/40#       | 12#/25#/40#       | 12#/25#/40# | 12#/25#/40#   |  |
| 21       | 14.70  | 9.4/10.0/9.8   | 8.9/9.4/9.4    | 94/92/95    | 9.31/9.63/9.78    | 6.74/6.94/7.02    |             |               |  |
| 22       | 15.50  | 10.2/10.5/10.3 | 9.8/9.8/9.8    | 95/92/94    | 10.11/9.92/10.07  | 7.22/7.10/7.18    |             |               |  |
| 23       | 16.34  | 11.1/11.1/10.9 | 10.7/10.4/10.4 | 95/92/94    | 11.05/10.47/10.61 | 7.69/7.41/7.49    |             |               |  |
| 24       | 17.16  | 11.9/11.7/11.5 | 11.6/11.1/10.9 | 96/93/93    | 11.81/11.18/11.00 | 8.23/7.83/7.72    |             |               |  |
| 25       | 17.98  | 12.8/12.5/12.2 | 12.5/12.0/11.7 | 96/94/94    | 12.63/12.08/11.80 | 8.76/8.38/8.21    |             |               |  |
| 26       | 18.81  | 13.7/13.3/13.1 | 13.4/12.8/12.6 | 96/95/94    | 13.52/12.82/12.64 | 9.31/8.86/8.73    |             |               |  |
| 27       | 19.63  | 14.6/14.1/13.9 | 14.3/13.6/13.5 | 96/95/95    | 14.36/13.57/13.54 | 9.89/9.36/9.33    |             |               |  |
| 28       | 20.45  | 15.5/15.0/14.9 | 15.2/14.4/14.4 | 96/94/95    | 15.24/14.27/14.33 | 10.51/9.84/9.88   |             |               |  |
| 29       | 21.28  | 16.5/15.9/15.8 | 16.1/15.3/15.3 | 96/94/95    | 16.03/15.13/15.18 | 11.12/10.46/10.50 |             |               |  |

注:12#、25# 和 40# 机组风量分别为 750、1 360 和 2 040 m<sup>3</sup>/h。

表 5 热管式换热器不同室内设计温度条件下的换热量与节能率

| 室内设计温度/℃ | 12# 机组   |             |       | 25# 机组   |             |       | 40# 机组   |             |       |
|----------|----------|-------------|-------|----------|-------------|-------|----------|-------------|-------|
|          | 热管换热量/kW | 传统表冷器换热量/kW | 节能率/% | 热管换热量/kW | 传统表冷器换热量/kW | 节能率/% | 热管换热量/kW | 传统表冷器换热量/kW | 节能率/% |
| 21       | 1.37     | 3.45        | 39.71 | 1.87     | 6.57        | 28.46 | 2.92     | 8.88        | 37.90 |
| 22       | 1.56     | 3.47        | 44.96 | 2.11     | 6.74        | 31.31 | 3.30     | 9.60        | 38.43 |
| 23       | 1.79     | 3.48        | 51.44 | 2.37     | 6.86        | 34.55 | 3.69     | 10.33       | 39.07 |
| 24       | 2.00     | 3.50        | 57.14 | 2.63     | 7.05        | 37.30 | 4.09     | 11.05       | 39.29 |
| 25       | 2.14     | 3.52        | 60.80 | 2.89     | 7.16        | 40.36 | 4.50     | 11.26       | 39.80 |
| 26       | 2.20     | 3.53        | 62.32 | 3.05     | 7.27        | 41.95 | 4.91     | 11.21       | 40.58 |
| 27       | 2.28     | 3.54        | 64.41 | 3.43     | 7.38        | 46.48 | 5.17     | 11.26       | 41.19 |
| 28       | 2.35     | 3.56        | 66.01 | 3.55     | 7.49        | 47.40 | 5.35     | 11.30       | 41.92 |
| 29       | 2.44     | 3.57        | 68.35 | 3.70     | 7.61        | 48.62 | 5.56     | 11.34       | 42.84 |

热管式换热器相对于传统换热器节能率曲线如图4所示。可以看出,随着室内设计温度的提高,热管式换热器节能率均增大,与提高室内设计温度空调系统节能理念一致。

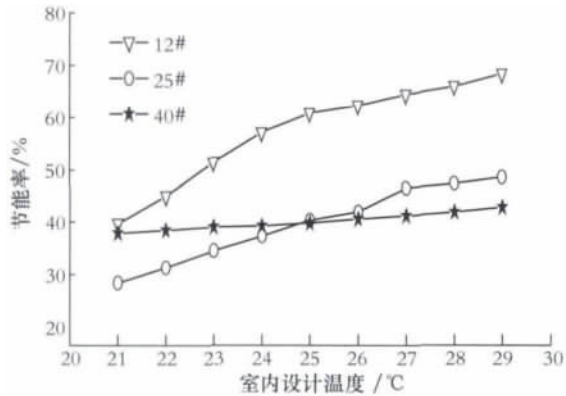


图4 热管式换热器相对于传统换热器节能率对比

由表4可知,空气经传统表冷器处理后,机组均以露点温度送风,空气相对湿度较高,为降低生产成本和节约能源,如果没有特殊要求,基本不会设置电加热设备,因此送入室内的冷风会给室内人员带来湿冷的感觉,从而引起人体不适感,而热管冷凝段可以作为加热器解决上述问题,且不需要额外消耗电能或蒸汽热量。

热管蒸发段吸收室内空气热量,在室内空气进入表冷器前预冷,而这部分热量将在热管冷凝段释放出来,用来加热经表冷器处理的低温送风,在无需增加辅助电加热或蒸汽热量情况下,提高室内送风温度(见表3),进而满足人体热舒适的要求。传统换热器多联机室内机与热管式换热器多联机室内机送风温度如图5所示。从表3和图5可知,不同室内设计温度条件下室内空气经表冷器处理后,再通过热管式换热器冷凝段蒸气冷凝放热进行加热,送风温度明显提高,故无需额外增加辅助电加热或蒸汽设备就能达到减小送风温差、再热室内送风及满足人体热舒适感的需求。

#### 4 结论

通过将热管技术应用于某品牌3个型号多联机卡式天花室内机的分析探讨,得出如下结论:

1) 将热管技术应用于多联机卡式天花室内

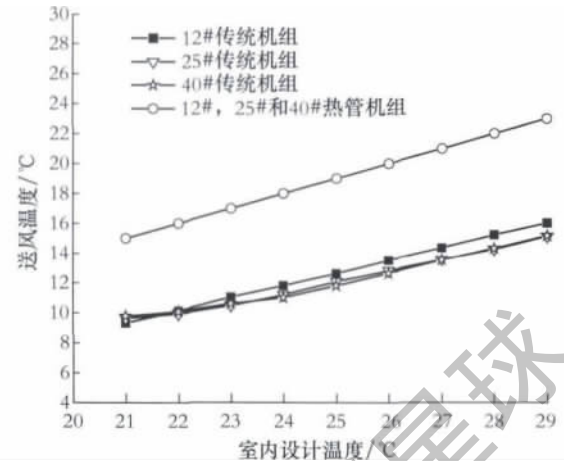


图5 传统换热器与热管式换热器送风温度

机,由计算不同室内设计温度条件下换热量可知,与传统多联机室内机相比,其节能率可达28.46%~68.35%。

2) 热管式多联机卡式天花室内机,无需电加热或蒸汽动力设备可提高室内送风温度,解决传统露点送风给人带来湿冷的感觉困扰,节约能源的同时满足人体热舒适要求。

#### 参考文献

- [1] 2010年度中国中央空调市场总结报告[J]. 机电信息, 2011(4):1-8.
- [2] Yu F Maydanik. Loop heat pipes[J]. Applied Thermal Engineering, 2005, (25): 635-657.
- [3] 李炜征, 邱利民, 栗鹏. 低温热管的最新研究进展[J]. 低温与特气, 2004, 22(1):1-6.
- [4] Meena P, Rittidech S, Poomsa-ad N. Application of closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) air-preheater for reduced relative-humidity in drying systems[J]. Applied Energy, 2007, (84): 553-564.
- [5] Wan J W, Zhang J L, Zhang W M. The effect of heat-pipe air-handling coil on energy consumption in central air-conditioning system[J]. Energy and Buildings, 2007, 39(9): 1035-1040.
- [6] 赵芳. 空调用环形热管换热器传热机理研究[D]. 广州: 广州大学, 2008: 13-68.