

夏季工况室内风冷热泵性能研究*

王 勇, 龙恩深, 陈金华, 韦 强

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:在对比实验的基础上,对风冷热泵机组置于室内运行的各种条件作了详尽的分析,得到了相对应的热泵机组的运行性能,找到了室内风冷热泵稳定运行的通风条件。同时,利用实际工程的运行效果对实验结论作了验证。

关键词:室内; 风冷热泵; 通风

中图分类号:TU834.5+7 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2004)06-0067-04

Research on the Performance of Indoor Air-cooled Heat Pump at Summer Situation

WANG Yong, LONG En-shen, CHEN Jin-hua, WEI Qiang

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P.R. China)

Abstract: Based on the contrast experiment, the condition of air-cooled heat pump operating indoors is analyzed in this paper. The operating performance corresponding to such conditions is gained. The ventilation condition of stable operation for air-cooled heat pump is found. At the same time, the experimental results based on actual work are proved.

Keywords: indoors; air-cooled heat pump; ventilation

风冷热泵作为集成化空调主机,在空调领域的使用较广泛。具有系统简单,管理方便等优点。作为直接与空气换热的设备,相关标准、手册都要求风冷热泵机组应直接放置在开敞的室外环境,使其有较好的换热效果,保证正常运行。这直接导致风冷热泵机组运用的局限性。在高层建筑中,当某些楼层采用独立的中央空调时,风冷热泵机组本是一个较好的选择方案。但由于设备只能置于空调楼层内,风冷热泵方案被否定。风冷热泵在楼层内是否能稳定运行,成为工程设计人员亟待解决的问题,已是建设单位关心的问题。其实,风冷热泵机组置于室内既有稳定运行的实例,也有运行工况恶化的实际工程。什么条件下才能保证风冷热泵在室内稳定运行,这就是本课题研究的目的。

1 实验条件

通常情况下,风冷热泵置于室内是放在某一个靠窗的房间内,该实验就模拟此种情况进行,如图1所示,机房搭建在靠窗的一角落处,风冷热泵机组置于机房内,实验用风冷热泵的额定冷/热量为16.5/19.5 kW,机组风机风量为7000 m³/h。机房尺寸为3600×2400×2400 mm。

如图1所示,为实验方便,不直接从室外接管到进风机。由于实验室窗户开启,在进风机运行时,大量空气经窗户进入实验室,实验室内室温和外界空气温度相差不大。风冷热泵机组的进风量来自实验室室内,但与室外相近。风冷热泵机组排风路线如图2所示。

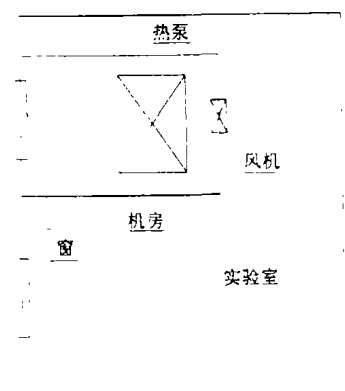


图1 机房及风冷热泵设备布置

* 收稿日期:2004-09-08

基金项目:重庆大学基础研究科研基金资助(717411007)及国家十五科技攻关计划项目资助(2003BA808A19-6)

作者简介:王 勇(1971-),男,重庆人,讲师,博士生,主要从事暖通空调的研究。

2 工况设计

风冷热泵在室外能稳定运行的原因是冷凝器(夏季)的进风和排风畅通,若进风或排风的气流受阻,即使在室外运行,风冷热泵的运行工况同样要受到影响,这在工程实例中已得到证实。研究热泵在室内的运行状况,夏季实验我们同样采取进风和排风的不同组合方式进行。为简化实验,机房漏风情况不考虑,机房内风量和热量平衡满足公式:

$$\textcircled{1} \text{风量平衡} \quad \sum G_{\text{进}} = \sum G_{\text{排}}$$

$$\textcircled{2} \text{热平衡} \quad \sum Q_{\text{得}} = \sum Q_{\text{失}}$$

热泵机组在有排风管情况下,机房在实验室内,热泵进风温度等于实验室内室温,机房的围护结构传热不考虑,其进风量分别为通过机房窗户的进风以及风机的机械进风,排风量考虑热泵机组的机械排风量;热量分别对应相应的热量。

论文中室内温度为实验室房间温度,为实验方便起见,热泵机房的机械进风不采用风管接到室外,而直接在室内取。由于围护结构的保温性能,实验开始之前,室内温度要约低于室外温度。当实验进行时,大量室外空气流经实验室到风机进口,使实验室内外温度一般在 $1 \sim 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,因此可以模拟实际工程的进风(取自室外)而不影响实验结果,如图 2 所示。工况分析前提是热泵的运行负荷都相同。

3 不同工况条件下的运行结果及分析

根据风冷热泵的冬季运行结果,已经得到了一些有价值的结论,因此在夏季实验中可以简化实验工况(在有机械送风的条件下,机械进风风量的变化对风冷热泵的运行基本无影响,因此就不进行风量变化工况实验)。主要进行如下对比实验:(1)风冷热泵直接置于室内,不加任何通风系统工况下对风冷热泵性能的影响;(2)在机房内采用进风或排风机或同时使用进风和排风的工况下对风冷热泵性能的影响;(3)在风冷热泵主机上增加排风管后对风冷热泵性能的影响(4)在风冷热泵主机上增加排风管同时增加送风机后对风冷热泵性能的影响。

1) 风冷热泵机组直接置于室内,不加任何通风系统。测定参数:室外温度 $T_w = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$,初始室内温度 $T_o = 34.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 34.4 \sim 54 \text{ }^{\circ}\text{C}$,排风温度为 $T_p = 45 \sim 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于国内风冷热泵设备的正常运行,其最高进风温度一般在 $52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,超过其极限进风温度后,热泵就不能正常运行,因此,开机 10 min 后,热泵的进风温度超过其极限进风温度,热泵停机。

显然,风冷热泵机组置于室内条件下,无通风系统,设备运行条件恶化。分析其主要原因是:风冷热泵的进风来自室内,进风经过冷凝器吸收热量后升温,由于设备置于室内,风冷热泵的风机一般采用轴流风机,轴流风机的排风气流是螺旋状的,经过冷凝器排出的空气不能顺畅地排出机房,排出的大部分空气和室内的空气混合后进行二次热交换,根据风量、热量平衡关系看,混合后的空气要升温,升温后的空气又作为风冷热泵的进风,经过冷凝器后再一次升温,如此循环,直接导致热泵机组进风温度过高,机组保护停机。

2) 风冷热泵机组直接置于室内,在室内增加进风风机,进风风机送风直接送到风冷热泵冷凝器迎面。测定参数:室外温度 $T_w = 36.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 34.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$,排风温度为 $T_p = 53 \text{ }^{\circ}\text{C}$,机房内平均空气温度 $T_{pj} = 46.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。热泵机组运行稳定。

风冷热泵的排风温度较高,而且排风的出流方向机组的排风侧,没有送风机的条件下,在排风不畅的情况下,排除的高温排风部分会回流到热泵的冷凝器,成为热泵机组的进风,导致热泵性能下降,而增加了进风机后,由于进风直接送向冷凝器,而送风温度基本为相对较低的室外温度,在送风速度和送风量一定条件下,在冷凝器侧形成空气幕,阻止热泵的排风短路。因此,热泵运行基本稳定。

3) 风冷热泵机组直接置于室内,在外窗上部增加排风风机,室内无进风风机测定参数:室外温度 $T_w = 36.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$,运行 20 min 后,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 52 \text{ }^{\circ}\text{C}$,排风温

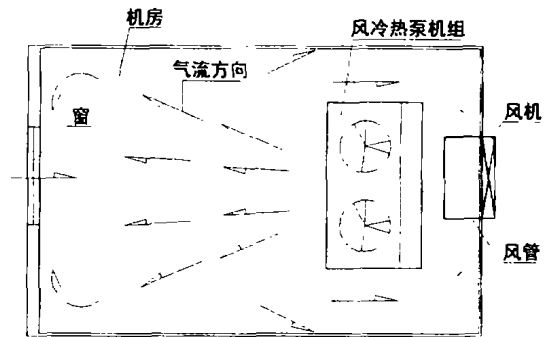


图 2 风冷热泵机组布置及空气路线

度为 $T_p = 62\text{ }^\circ\text{C}$ 。热泵机组运行条件恶化。

从运行结果看,设置排风机后,热泵的运行条件并未改善。导致原因是上部的排风机并未将机组的有效排风引出室内。实验时利用烟气流向判断进出窗户的空气方向,测定结果是,窗户下部为进风到机房,而上部进风短路。如图3所示,由于热泵机组本身的排风机为轴流风机,排风基本堆积在在机房外墙两侧处,窗户上侧排风机的排风温度在 $48\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,此温度低于热泵的进风温度,显然是热泵的排风与窗户上部的短路空气混合后降温所致,混合后的空气被直接排除到室外。

4) 风冷热泵机组直接置于室内,在外窗上部增加排风风机,室内增加进风风机。测定参数:室外温度 $T_w = 36.5\text{ }^\circ\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.3\text{ }^\circ\text{C}$,运行 20 min 后,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 36.5\text{ }^\circ\text{C}$,排风温度为 $T_p = 55\text{ }^\circ\text{C}$ 。

从工况3分析看,在窗户上部增加排风机后并不能改善热泵的运行性能,从工况2分析看,增加进风机能提高热泵的运行性能,从实验结果看,工况4的运行条件和工况2基本一致,因此,同时进风、排风的效果和只增加进风的效果相同。

5) 风冷热泵机组直接置于室内,机组排风面设置排风风管将排风引至到室外,室内增加送风机,送风风量与机组排风量相同。测定参数:室外温度 $T_w = 36.1\text{ }^\circ\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.5\text{ }^\circ\text{C}$,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 36.1\text{ }^\circ\text{C}$,排风温度为 $T_p = 49\text{ }^\circ\text{C}$ 。

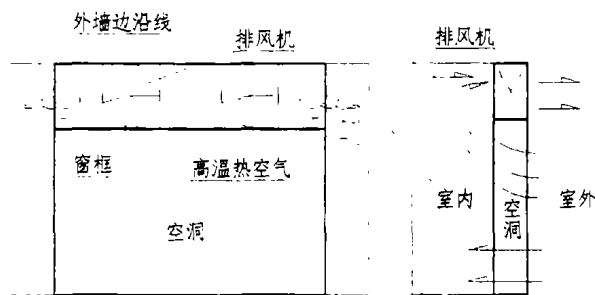


图3 窗户上部设置排风机后空气路线

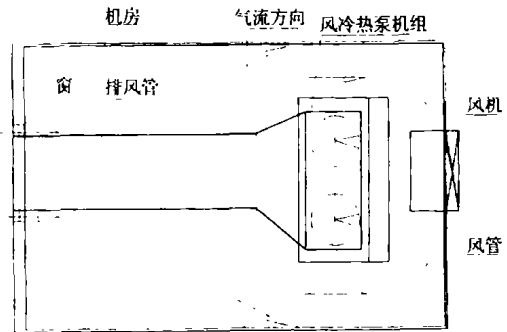


图4 风冷热泵接排风管状态下设备布置

如图4所示。热泵机组的排风被有组织的排除室内,排风出口测定速度为 $2\sim 2.5\text{ m/s}$,在距排风口 500 mm 的距离处,排风速度衰减慢,窗户处两侧的温度和室外温度基本一致,说明进、排风没有短路,热泵在室内的运行环境和室外一致,热泵运行稳定。

6) 风冷热泵机组直接置于室内,机组排风面设置排风风管将排风引至到室外,室内增加送风机,送风风量为机组排风量一半。测定参数:室外温度 $T_w = 36.1\text{ }^\circ\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.7\text{ }^\circ\text{C}$,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 35.1\text{ }^\circ\text{C}$,排风温度为 $T_p = 48\text{ }^\circ\text{C}$ 。

从运行结果看,送风量的变化对热泵机组的运行性能无影响,仅仅影响的是窗户的通风量。

7) 风冷热泵机组直接置于室内,机组排风面设置排风风管将排风引至到室外,室内无送风机。测定参数:室外温度 $T_w = 36.6\text{ }^\circ\text{C}$,实验室内温度 $T_o = 34.6\text{ }^\circ\text{C}$,风冷热泵机组的进风温度 $T_j = 36.6\text{ }^\circ\text{C}$,排风温度为 $T_p = 51\text{ }^\circ\text{C}$ 。

根据风量平衡关系,无机械送风后,自然进风量增加,由于进风温度与室外温度基本一致,因此,不会改变热泵的运行性能。

4 风冷热泵机组运行环境判别参数

在风冷热泵负荷和进风温度一定的情况下,排风温度的越低,表示热泵的运行性能越好,而热泵的进排风温度、室外温度、机房内温度的相对关系,反映了热泵机组在室内运行环境的好坏。定义 $P_{\Delta t}$ 为风冷热泵在不同通风状态下的运行环境参数, $P_{\Delta t}$ 值越小,表示热泵的运行环境越好。理想情况,当 $T_j = T_w$ 时 $P_{\Delta t} = 0$,表明热泵在室内的运行环境条件与开敞的室外一样良好,而当 $T_j = T_p$, $P_{\Delta t} \rightarrow \infty$,表明室内运行环境不允许热泵运行。

$$P_{\Delta t} = \left| \frac{T_j - T_w}{T_j - T_p} \right|$$

其中： T_j 为热泵进风温度； T_w 为室外空气温度； T_p 为热泵排风温度。

在实际工程中，热泵的进风温度直接影响到热泵的运行性能。因此，进风温度与室外空气温度的差值体现了模拟风冷热泵在室外运行的条件；而进风温度与排风温度的差值体现了热泵运行的实际效果。在本实验中，由于热泵的进风温度是实验室的室内温度，各种工况下的进风温度与室外温度的差值不很明显，因此，可以利用进排风温度差与进风温度的无因次温度 K 来表征热泵的运行性能，各种工况下的 K 值见图 5。

从 K 值看，工况 2、4、5、6、7——风冷热泵排风面设置排风风管将排风引至到室外，其运行环境最佳。

工况 1、3——风冷热泵机组直接置于室内，不加任何通风系统的 K 值最大，其运行环境最差。

5 实验结论

1) 风冷热泵夏季运行状况下，风冷热泵机组放置在室内，不加任何措施，这空气热短路现象严重，热泵机组进风温度过高，造成热泵冷凝压力过高，热泵保护停机。

2) 热泵排风不作处理，在机房内增加进风系统，热泵的运行环境要优于不采取任何措施的运行状况，从进风角度看，进风直接送到热泵蒸发器表面为最佳气流组织形式，可以将热泵机组的进风面形成空气幕，使高温排风不能进入到热泵的进风，保证热泵进风温度为室外温度。

若在机房增加排风系统，在外窗处气流短路，排风不能迅速排出机房，效果差，工程中建议不使用。

3) 热泵机房作设立机械通风系统，利用风管将冷凝器的排风引至室外，增加了这套通风系统后，热泵的运行环境大大改善，从实验结果看，接排风机接风管后，其排风口 500 mm 范围内，排风温度与大气环境温度混合后已经和大气温度一致，因此不会出现热短路现象。

6 实际工程运用分析

风冷热泵置于室内的情况可以分为两种情况，一种是机房完全无外窗情况，另一种情况是机房有外

(下转第 85 页)

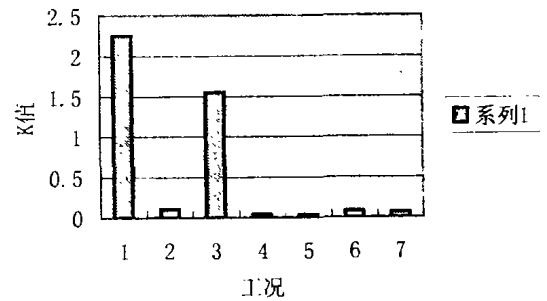


图 5 不同工况下热泵无因次温度 K 值

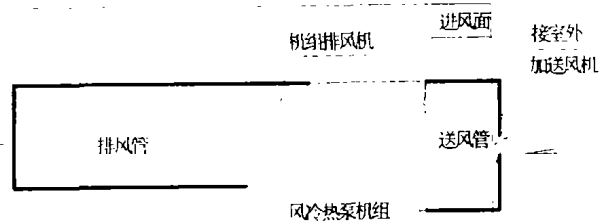


图 6 风冷热泵机组处于完全封闭状况下进排风设置

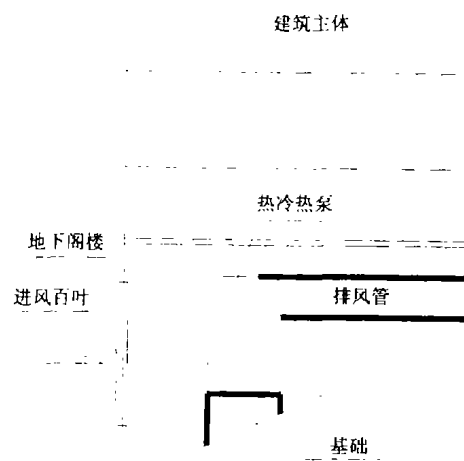


图 7 风冷热泵机房自然进风、机械排风设置

较为准确地描述雨水口入流流量及浓度过程。

表 18 雨水口 I 入流 BOD₅ 浓度验证

| 降雨日期 | 计算入流流量 $Q/L \cdot s^{-1}$ | 计算 BOD ₅ 浓度 / $mg \cdot L^{-1}$ | 实测 BOD ₅ 浓度 / $mg \cdot L^{-1}$ | 相对误差 /% |
|-----------|---------------------------|--|--|---------|
| 2000-8-11 | 0.236 | 18.0 | 19.6 | 8.17 |
| | 0.240 | 18.2 | 16.7 | -8.98 |
| | 0.244 | 18.4 | 13.2 | -39.38 |
| 2000-9-6 | 1.129 | 50.4 | 34.0 | -48.11 |
| | 1.024 | 47.2 | 46.0 | -2.67 |
| | 0.938 | 44.6 | 72.0 | 38.08 |

表 19 雨水口 II 入流 BOD₅ 浓度验证

| 降雨日期 | 计算入流流量 $Q/L \cdot s^{-1}$ | 计算 BOD ₅ 浓度 / $mg \cdot L^{-1}$ | 实测 BOD ₅ 浓度 / $mg \cdot L^{-1}$ | 相对误差 /% |
|-----------|---------------------------|--|--|---------|
| 2000-8-11 | 0.369 | 9.7 | 12.3 | 21.12 |
| | 0.375 | 9.9 | 9.3 | -6.15 |
| | 0.381 | 10.0 | 8.7 | -15.42 |
| 2000-9-6 | 0.754 | 20.9 | 18.5 | -12.94 |
| | 0.709 | 19.6 | 22.4 | 12.69 |
| | 0.789 | 21.9 | 25.0 | 12.26 |

参考文献:

- [1] Yanbo Li, Steven G. Buchberger and John J Sansalone, Variably Saturated Flow in Storm - Water Partial Exfiltration Trench[J]. Journal of Environmental Engineering, 1999, (6):556 - 564.
- [2] 陈西平. 计算降雨及农田径流污染负荷的三峡库区模型[J]. 中国环境科学, 1992, 12(1):48 - 52.
- [3] Yiping Guo and Barry J. Adams. Analysis of Detention Ponds for Storm Water Quality Control[J]. Water Resources Research, August 1999, 35(8):2 447 - 2 450.
- [4] Ana B. Deletic and C. T. Maksimovic, Evaluation of Water Quality Factors in Storm Runoff from Paved Areas[J]. Journal of Environmental Engineering, September 1998, 869 - 879.
- [5] 邓培德. 城市暴雨公式统计中若干问题[J]. 中国给水排水, 1992, 8(3):45 - 48.
- [6] 张景国. 雨水地面径流的改进推理法[J]. 给水排水, 1993, 5:26 - 28.
- [7] 赵建国. 迭代法推求暴雨强度公式参数[J]. 给水排水, 1997, 23(12):9 - 12.

(上接第 70 页)

窗。为保证热泵机组的正常运行,上述两种情况均要在热泵机组的排风面增加排风管;对于无外窗情况下,应通过相应的技术措施增加进风系统,送至进风面。

如图 6 所示,进风管和排风管均要与室外相接,在实际工程中,安装排风管要注意排风通畅,如果排风阻力较大,根据情况校核热泵机组本身的压头,决定是否增加引风机;在条件允许的情况下,尽量安装送风系统(主要是冬季使用);如果条件有限,可以不安装送风系统;但是密闭房间必须安装送风系统。

如图 7 所示,进风方式可以是自然进风。由于业主和建设单位的需要,热泵机组必须置于地下阁楼层内,地下阁楼必须封闭,则采用进风百叶的形式进行自然进风,运行效果良好。

在选择热泵机组的出风方式时,根据情况选择侧出风或顶出风,如果出风口只能在侧面,为减少排风管的转弯半径,则尽量采用侧出风的热泵机组;如果出风口在上部,则选择上出风的热泵机组。

参考文献:

- [1] 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,1994.
- [2] 孙爱民. 风冷热泵机组在重庆“世界贸易中心”的应用[J]. 重庆建筑大学学报, 1997, 19(5):18 - 20.