

文章编号: 1671-6612 (2020) 01-006-04

热回收效率对排风热回收式热泵性能的影响研究

石峰豪 卢 军

(重庆大学 重庆 400045)

【摘 要】 排风热回收式热泵因具有结构紧凑, 节能环保等优点, 在北欧等国家得到一定的推广。排风热回收式热泵主要分为单级和双级热回收式热泵, 而热回收装置作为双级热回收式热泵的重要部件, 其热回收效率会影响到整个热泵系统的性能。通过 TRNSYS 对双级热回收式热泵在重庆冬季的运行情况进行了模拟, 并与常规空气源热泵和单级热回收式热泵进行了对比。结果表明, 双级热回收式热泵机组的性能系数随着热回收的效率升高而降低, 且介于单级热回收式热泵和常规空气源热泵的性能系数之间, 而双级热回收式热泵系统的性能系数则随热回收的效率升高而升高, 在热回收效率为 0.6 的情况下, 系统的性能系数为 5.262, 相较单级热回收式热泵和常规空气源热泵的性能系数, 能效分别提升了 31.29%和 83.22%。

【关键词】 热回收式热泵; 双级热回收; 热回收效率; 性能系数

中图分类号 TU831.7 文献标识码 A

Study on the Effect of Heat Recovery Efficiency on the Performance of Exhaust Heat Recovery Heat Pump

Shi Fenghao Lu Jun

(Chongqing university, Chongqing, 400045)

【Abstract】 Exhaust air heat recovery heat pump is extended to the Nordic countries because it has the advantages of compact structure and energy conservation. Exhaust air heat recovery heat pump is divided into single stage and double stage heat recovery heat pump. Heat recovery plant as an important part of the double stage heat recovery heat pump, its heat recovery efficiency affects the performance of the whole heat pump system. The operational aspect of double heat recovery heat pump in Chong Qing during wintertime was simulated by TRNSYS in this paper, and it was compared with conventional air source heat pump and single stage heat recovery heat pump. The result showed that the COP of the double stage heat recovery heat pump unit decreased with the increase of heat recovery efficiency an it was between the COP of single stage heat recovery heat pump and conventional air source heat pump unit. But the COP of the double stage heat recovery heat pump system increased with the increase of heat recovery efficiency. When the heat recovery efficiency is 0.6, the COP of the double stage heat recovery heat pump system is 5.262, and it respectively increased 31.29% and 83.22% than single stage heat recovery heat pump and conventional air source heat pump unit.

【Keywords】 Heat recovery heat pump; Double stage heat recovery; Heat recovery efficiency; The coefficient of performance

作者简介: 石峰豪 (1995.01-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 1964951277@qq.com

通讯作者: 卢 军 (1966.10-), 男, 博士, 教授, E-mail: 1181367768@qq.com

收稿日期: 2019-06-11

0 引言

近年来, 资源和环境问题已经成为制约中国经

济发展的重要因素, 节能减排对于我国的可持续发展有着重要的意义。调查显示, 我国建筑能耗约占

社会总能耗的 30%; 空调系统能耗约占建筑能耗的 40%~60%, 而新风负荷约占空调总负荷的 30%~50%^[1], 因此, 降低新风引入的能耗对于社会节能减排意义重大。

排风热回收能够对新风预热(预冷), 提高(降低)送风温度, 避免室内人员有冷(热)吹风感, 进而减少了新风冷(热)负荷。根据相关研究, 当热回收装置显热效率达到 70% 时, 建筑供暖能耗将会减少近一半^[2], 因此, 排风热回收是解决保证室内空气质量和减少建筑能耗之间矛盾的有效途径。目前排风热回收多用在公共建筑的一次回风系统中^[3]。随着我国经济的发展, 家用空调的普及率也越来越高, 而这些多半是单元式空调器, 并且大多没有加入新风系统, 这就导致所处理的空气质量下降。为此, 有些学者提出排风热回收式热泵, 该系统不仅具有较好的节能效果, 而且还具有保证室内空气品质的优点, 目前在瑞典、德国等北欧国家已有一定的普及, 并取得了不错的社会效益^[4]。

1 排风热回收式热泵的原理

关于排风热回收式热泵的形式, 主要分为两类单级热回收式热泵和双级热回收式热泵^[5], 分别如图 1 和图 2 所示。双级热回收热泵的原理以冬季为例: 室外的新风与室内的排风通过热回收装置, 进行热交换后, 分别进入热泵机组的冷凝器和蒸发器, 最后经处理后送入室内和室外。而对于单级热回收式热泵, 其工作原理与双级热回收式热泵的区别主要在于新风和排风进入热泵机组之前, 没有热回收装置进行热交换。

热回收装置作为双级热回收式热泵重要的部件, 其热回收的效率首先影响着新风和排风的换热效果, 进而影响到热泵的能效。所以, 研究热回收装置的热回收效率对于热回收式热泵的影响具有重要的意义。排风热回收装置有多种形式, 按照回收排风中能量的不同, 常用的排风热回收装置可分为显热回收装置和全热回收装置^[6]。全热回收装置通常有转轮式换热器以及板翅式换热器等; 显热回收装置有中间热媒式换热器、板式显热换热器和热管式换热器等^[7]。两种类型的热回收装置各有利弊, 其中, 全热回收装置的热回收效率比较高, 但是它的设备尺寸也相对较大, 运行费用也较为昂贵, 并

且设备布置的灵活性较差^[8]; 而显热回收装置的热回收效率虽然比全热回收装置低, 但是由于其占用空间小、无转动部件、运行安全可靠, 在实际工程中应用也较为广泛^[9]。另外, 显热回收装置相较于全热回收装置, 还有一个较大优点在于其新风和排风不混合, 不存在交叉污染的风险。因此, 对于某些空气品质要求较高且场地环境受限的地方比较适宜采用显热回收装置。

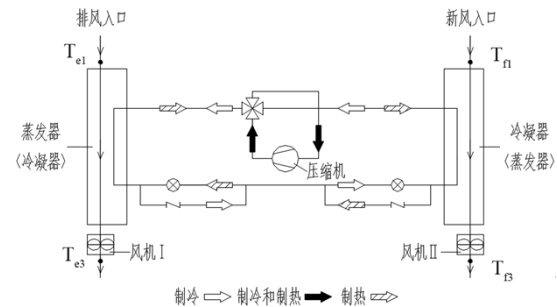


图 1 单级热回收式热泵

Fig.1 Single stage heat recovery heat pump

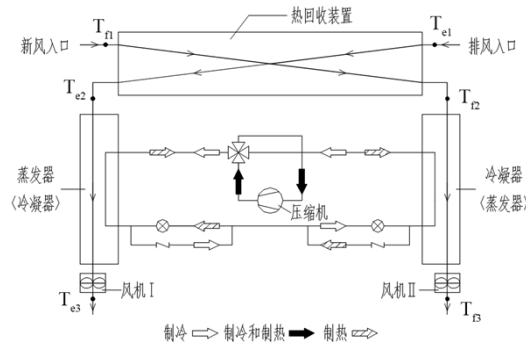


图 2 双级热回收式热泵

Fig.2 Double stage heat recovery heat pump

2 排风热回收式热泵的性能评价指标

基于显热回收装置在双级热回收式热泵的应用较多, 本文讲将主要研究显热回收式热泵。对于单级排风热回收式热泵, 性能评价指标主要为热回收式热泵系统的性能系数 COP_{sim} 。而对于双级排风热回收式热泵, 性能评价指标主要包括热交换器的热回收效率 ε , 热泵系统的性能系数 COP_{hp} 以及整个热回收式热泵系统的性能系数 COP_{sys} ^[10]。

根据热回收效率的定义, 热交换器的热回收效率 ε 等于新风从排风中实际回收的热量与从排风中最大可以回收热量之比, 表达形式如下:

$$\varepsilon = \frac{m_e c_p (T_{e1} - T_{e2})}{m_e c_p (T_{e1} - T_{f1})} = \frac{T_{e1} - T_{e2}}{T_{e1} - T_{f1}} \quad (1)$$

式中, T_{e1} 为排风温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{e2} 为经过热交换器后的排风温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{f1} 为新风温度, $^{\circ}\text{C}$; m_e 排风为质量流量, kg/s ; c_p 为空气的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

热泵机组的性能系数 COP_{hp} 为新风通过热泵系统吸收的热量与热泵系统耗功之比, 是评价热泵系统性能的主要指标, 其定义公式如下:

$$COP_{hp} = \frac{m_f c_p |T_{f3} - T_{f2}|}{P_{com} + P_{fan}} \quad (2)$$

式中, T_{f2} 为经过热交换器后的新风温度, $^{\circ}\text{C}$; T_{f3} 为经过热泵系统后的新风温度, $^{\circ}\text{C}$; m_f 为新风质量流量, kg/s ; c_p 为空气的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; P_{com} 为压缩机功率, W ; P_{fan} 为风机功率, kg/s 。

单、双级热回收式热泵系统的性能系数 COP_{sin} 、 COP_{sys} 等于新风通过整个系统得到的热量与系统耗功之比, 系统耗功主要有压缩机耗功和风机耗功, 所以系统的性能系数的定义公式如下:

$$COP_{sin} = COP_{sys} = \frac{m_f c_p |T_{f3} - T_{f1}|}{P_{com} + P_{fan}} \quad (3)$$

3 排风热回收式热泵的性能评价指标

为探究热回收装置的热回收效率 ε 对双级排风热回收式热泵的 COP_{hp} 以及 COP_{sys} 的影响, 本文采用 TRNSYS 进行模拟分析。

3.1 排风热回收式热泵模型的建立

TRNSYS 软件是模块化的动态仿真软件, 软件认定所有系统均由若干个小的模块组成, 不同的模块可实现不同的功能, 因此, 在对系统进行模拟分析时, 只要调用实现这些特定功能的模块, 给定输入条件, 就可以对系统进行模拟分析。TRNSYS 软件中的 TESS 部件有专门针对暖通空调系统的各种模块, 其中有空气—空气热交换器模块和空气—空气热泵机组模块, 通过对这两种模块的组合可以得到排风热回收式热泵的模型。

为更好的探究热回收装置对双级热回收热泵的影响, 本文还选取了常规空气源热泵和单级热回

收式热泵作为对比, 对这三种类型的热泵在冬季运行情况进行了模拟, 模型如图 3 所示。选择重庆地区作为研究对象, 参数设置依照《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 中对于室内外设计参数的规定: 空气调节室外计算干球温度 2.2°C , 相对湿度为 83%, 室内设计干球温度为 20°C , 室内空气的相对湿度按照 50%。三种热泵的机组均按照 TRNSYS 中给定的额定风量进行设置。对于双级热回收式热泵, 按照热回收效率从 0.1 至 0.9 分别对双级热回收式热泵的性能进行了模拟, 由于 TRNSYS 没有针对双级热回收式热泵系统的输出部件, 因此还添加了系统性能的计算器。

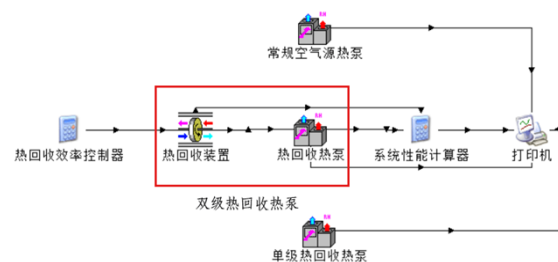


图 3 三种热泵的 Trnsys 模型

Fig.3 The TRNSYS model of three kinds of heat pumps

3.2 模拟结果分析

通过图 4 可以看出, 在冬季, 双级热回收式热泵机组的性能系数 COP_{hp} 随着热回收效率 ε 的升高而降低。图 5 和图 6 分别为双级热回收热泵在不同热回收效率下的新风和排风温度, 可以看出: 热回收装置的存在导致进入热泵机组的新风温度 T_{f2} 随着热回收效率的升高而升高, 排风温度 T_{e2} 随热回收效率的升高而降低。因此, 这就造成热泵蒸发温度降低, 冷凝温度升高的现象, 从而热泵的压缩比增大, 致使热泵机组的性能系数 COP_{hp} 降低。由于常规空气源可以看做为热回收效率为 1 的双级热回收热泵, 因此常规空气源热泵的性能系数 COP_{tra} 为双级热回收热泵机组性能系数 COP_{hp} 的最低值, 而单级热回收热泵可以看做热回收效率为 0 的双级热回收热泵, 因此其性能系数 COP_{sin} 是双级热回收热泵机组的性能系数 COP_{hp} 的最高值。

与此同时, 根据图 4, 双级热回收式热泵系统的性能系数 COP_{sys} 随着热回收效率 ε 的升高而升高, 另外, 单级热回收式热泵的性能系数 COP_{sin} 介于热回收效率在 0.1 和 0.2 下的双级热回收热泵

系统的性能系数 COP_{sys} , 这是由于热回收的装置的使用, 增加了风机的能耗, 而热回收装置的效率 COP_{sys} 此时又处于较低的情况下, 致使整个系统的性能系数 COP_{sys} 并没有得到很大的提升。但是, 随着热回收效率 ε 的不断提高, 系统的性能系数 COP_{sys} 开始有了明显的增长。

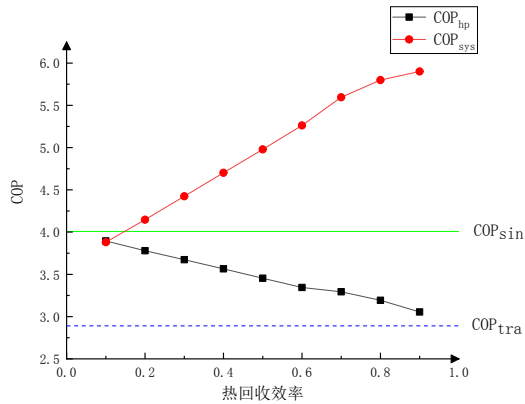


图 4 不同热回收效率下的双级热回收热泵的性能系数

Fig.4 The COP of two stage heat recovery heat pump under different heat recovery efficiencies

另外, 在通常情况下, 排风热回收装置的额定热回收效率 ε 一般不应低于 60%, 因此, 在热回收效率 ε 为 0.6 的情况下, 系统的性能系数 COP_{sys} 为 5.262, 而单级热回收式热泵的性能系数 COP_{sin} 为 4.008, 常规空气源热泵的性能系数 COP_{tra} 为 2.872, 相较之下, 其能效分别提升了 31.29% 和 83.22%。在热回收效率 ε 趋近于 1 的情况下, 系统的性能系数 COP_{sys} 最大为 5.986, 相较之下, 其能效分别提升了 49.35% 和 108.43%, 因此可以看出, 热回收效率 ε 对于双级热回收热泵系统的能效提升具有显著的影响。

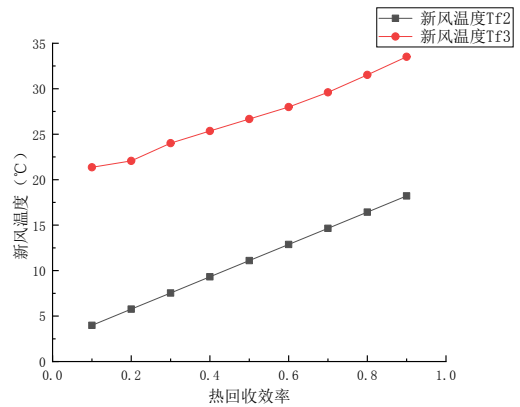


图 5 不同热回收效率下的新风温度

Fig.5 The fresh air temperature at different heat recovery efficiencies

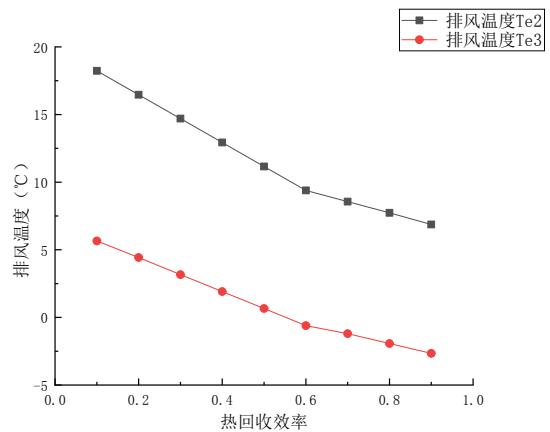


图 6 不同热回收效率下的排风温度

Fig.6 The exhaust air temperature at different heat recovery efficiencies

4 结论

(1) 排风热回收装置的使用, 对于双级热回收式热泵的性能具有较大的影响, 热回收的效率 ε 越高, 热泵机组的性能系数 COP_{hp} 就越低, 而系统的性能系数 COP_{sys} 越高。

(2) 在设计工况下, 双级热回收式热泵机组的性能系数 COP_{hp} 始终介于单级热回收式热泵的性能系数 COP_{sin} 和常规空气源热泵的性能系数 COP_{tra} 之间。

(3) 双级热回收式热泵系统的性能系数 COP_{sys} 在热回收装置的效率 ε 为 0.1 的情况下, 比单级热回收式热泵的性能系数 COP_{sin} 还要低, 因

此,应定期对热回收装置进行检修,使热回收装置维持在较高的效率下,保证整个系统的节能运行。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2017[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
[2] 袁旭东,柯莹,王鑫.空调系统排风热回收的节能性分析

[J].制冷与空调,2007,7(1):76-81.

[3] 丁云飞,赵运超,周孝清.夏热冬暖地区公共建筑空调排风热回收模式探讨[J].建筑科学,2007,23(12):30-34.
[4] Fehrm M, Reiners W, Ungemach M. Exhaust air heat recovery in buildings[J]. International Journal of Refrigeration, 2002,25(4):439-449.

(下转第 14 页)