

我国空气源热泵的技术进展

王芳¹, 范晓伟²

(1. 西安建筑科技大学, 西安 710055; 2. 中原工学院, 郑州 450007)

摘要:介绍了近年来我国空气源热泵方面的研究现状, 并就结霜、化霜、系统节能、新工质替代、计算机模拟等方面进行了综述, 分析了空气源热泵仍存在的一些问题并提出了相应的改进方向。

关键词: 热泵; 空气源; 结霜; 节能

中图分类号: TK1

文献标识码: A

文章编号: 1004-3950(2002)04-0001-05

The state of art about air-source heat pump in China

WANG Fang¹, FAN Xiao-wei²

(1. Xi'an University of Architectural and Technology, Xi'an 710055 China;

2. Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou 450007 China)

Abstract: The state of art about air source heat pump in China is presented in this paper, according to the research fields of frosting, defrosting, energy saving, new alternative refrigerant, computer simulating etc. The problems still existed are analyzed and the further improvements are pointed out.

Key words: heat pump; air source; frosting; energy saving

0 引言

空气源热泵是以空气作为高温(低温)热源来进行供热(供冷)的装置。相对于其它热泵类型而言,我国对空气源热泵的研究起步较早,研究内容也较多。以环境空气作为低品位热源,可以取之不尽,用之不竭,处处都有,无偿获取。空气源热泵则安装灵活、使用方便、初投资相对较低,且比较适用于分户安装,目前我国室内空调器大都采用的是这种形式。这也就使得我国空气源热泵冷水机组市场空前繁荣,生产研制已经比较成型,产品规格齐全,品牌繁多。

据有关调查表明,目前我国空气源热泵冷水机组生产厂家已由1995年的十几家发展到现在的四十多家,据不完全统计,国内销售的机组已逾45个品牌,其中国产机组约占25%左右,其余为合资产品,台资产品和进口产品。为了更好地了解我国空气源热泵方面的发展动态,本文将对近年来我国关于空气源热泵的研究进行分析,并在此基础上指出空气源热泵所存在的问题及有待改进的方向,希望以此来进一步促进空气源热泵

在我国的研究和应

1 我国空气源热泵研究状况

随着空气源热泵在我国应用的日趋广泛和研究日趋深入,了解我国空气源热泵的研究状况对于后续研究而言具有重要的意义。下面重点介绍我国近年来关于空气源热泵的技术进展。

1.1 空气源热泵结霜、化霜问题的研究

由于空气源热泵冬季采用空气作为热源,所以,随着室外温度的降低,其蒸发温度也随之降低,蒸发器表面温度随之下降,甚至低于0℃。此时,当室外空气在流经蒸发器被冷却时,其所含的水分就会析出并依附于蒸发器表面形成霜层。结霜对热泵是极其不利的。随着霜层的形成,蒸发器传热热阻增加,蒸发温度下降,机组的性能下降,工况恶化,制热量也将下降,这将严重影响压缩机以及热泵整体的性能,同时,除霜带来的额外费用还将降低空气源热泵的经济性,这也就是为什么空气源热泵在寒冷、潮湿地区的应用受到限制的原因。所以说,结霜机理、化霜方法一直是空气源热泵研究与应用中要解决的重点与难点。

收稿日期: 2002-05-20

作者简介: 王芳(1979-),女,硕士研究生。

目前,有不少关于空气源热泵机组冬季运行状况的研究^[1,2,3],主要分析供热时不同工况下空气盘管表面湿空气结霜、结露及干冷却特性,并结合结霜过程进行试验和模拟,分析了迎面风速、环境温湿度、翅片间距、管排数等参数对结霜性能的影响及其所可能产生的一系列后果。

了解结霜的机理的主要目的是要解决如何除霜的问题。传统的除霜控制方法主要包括:定时除霜法,时间-温度(压力)法,空气压差控制除霜法,霜层传感器控制除霜法,声音震荡器控制除霜法,最大平均供热量控制除霜法,最佳除霜时间控制法等。这些方法各有利弊,有待完善。近年来,由于计算机技术的发展,将模糊控制技术引入空气源热泵除霜问题的研究作为一项先进可行的新技术,逐渐引起了人们的注意。这主要是因为空气源热泵结霜问题的影响是多因素,非线性的,而模糊控制技术的优势就是处理多维、非线性、时变问题。这样一来,将模糊控制技术引入空气源热泵的除霜控制,通过对除霜过程的系统响应分析,可以使除霜控制能够自动适应机组工作环境的变化,达到智能除霜的控制要求。关于这方面的详细研究参见文献^[4,5,6,7]。此外,还有考虑环境工况变化的双温度传感器智能化除霜控制方法等^[8]。

尽管空气源热泵具有很多优点,但受室外环境的限制也比较大,这也是空气源热泵目前仅在我国黄河以南地区得到了广泛应用的主要原因。而在黄河以北地区,应用空气源热泵则根据所处地区不同有其特殊要求。

目前,关于西安、胶东以及寒冷地区空气源热泵的实际应用情况已有研究^[9,10,11,12],并就所遇到的如压缩比过大等具体问题提出了一些相应的改进措施,可在相应地区的实际应用中作为参考。此外,为了对空气源热泵结霜除霜所带来的损失进行量化的分析,有研究提出了不同地区、不同使用情况下的平均结霜除霜损失系数的概念,平均结霜除霜损失系数越大的地区应用空气源热泵越不经济。据此,将我国空气源热泵使用地区根据平均结霜损失系数分成4类:低温结霜区:如济南、北京、郑州、西安、兰州等;轻霜区:如成都、桂林、重庆等;重霜区:如长沙;一般结霜区:如杭州、武汉、上海、南京、南昌、宜昌等^[13,14]。这些都可以作为今后热泵设计选用中重要的参考依据。

1.2 空气源热泵节能问题的研究

焓是对系统能的质与量的综合评价。对系统进行焓分析可以揭示出系统中焓损失的部位、类型和数量,以便设法减少这些损失。通过焓计算分析可知,压缩功只有20%被利用,而有80%被损失,其中,压缩机焓损失占30.7%,冷凝器占20.4%,蒸发器占17.5%,毛细管占10%^[23]。由此我们可以看出,空气源热泵系统节能的主要部件是压缩机,提高压缩机本身的技术指标,是提高整个系统焓效率的关键,而冷凝器和蒸发器焓优化措施主要是设法降低传热温差。

当然,系统的节能改进与经济性是相互制约的,仅从能效进行分析有一定的局限性。从这个角度出发,有关研究人员提出供热最佳经济平衡点的概念,以期在此最佳经济平衡点温度条件下,整个供热系统(热泵+辅助热源)的初投资与运行费最少,从而合理实现热泵节能优化^[15,16]。此外,通过空气源热泵机组与水冷冷水+锅炉机组、溴化锂吸收式机组(+锅炉)这3种方案的经济性比较可以得出,空气源热泵相对于其它两种形式而言,经济性上具有显著的优越性^[17]。

1.3 空气源热泵各部件性能、工质等对整个系统的影响

有限时间热力学方法在空气源热泵的研究中应用较多。用有限时间热力学方法可以从理论上研究热阻对空气源热泵循环性能的影响,并由此得出对应于最大供热系数的最佳压比和供热率、供热系数之间的关系^[18]。而通过有限时间热力学方法对回热式空气源热泵循环性能进行的分析,可以导出变温热源不可逆闭式回热式空气热泵的供热率和供热系数与循环压比间的解析式^[19]。这可以对实验研究起到一定的指导意义。

四通换向阀是热泵机组中用来改变制冷剂流向的一个关键控制阀件,上海交通大学陈芝久等人就四通换向阀的性能对热泵的影响进行了一系列详细研究,根据对四通换向阀的动态模拟和测试,就其容量的测定与换算等方面给出了一些较为合理的建议^[20,22,23,24,25,26]。

关于热泵启停机特性问题,有研究分析了热泵停机时系统压力平衡导致的制冷剂迁移和汽液分离器的机理,并指出启动时制冷剂迁移和汽液分离器将导致系统COP的下降^[27]。

随着人们对生存环境的日益重视,近来开展

了不少关于空气源热泵替代工质的研究,如: R410A、R134a、R744、非共沸混合溶液等。例如,有文献通过对 R410A 和 R22 在回热循环中的性能研究表明,在回热式空气源热泵循环中应用 R410A 作为制冷剂对整个系统性能更为有利^[20]。这种研究方法也可在其他替代工质的比较研究中作为借鉴。

空气源热泵机组的噪声来源有很多方面,受各方面的因素影响也比较多,但一般来说,压缩机和风机是主要的噪声源,相应地,我们应该合理设计压缩机和风机的结构,并采取一定的隔音措施以便尽可能减少噪声。此外,合理布置机组间距离也可以有效减小噪声^[28,29]。

1.4 计算机模拟在空气源热泵系统中的应用

随着计算机技术的不断普及,计算机在暖通空调中的应用也日益广泛。前面所述及的一些研究中有很多也都应用了计算机技术,但关于计算机模拟在暖通空调中具有代表性的应用主要有以下几个方面:

① 对压缩机的计算模拟 采用神经网络法对空气源热泵中螺杆式压缩机的冬季运行特性进行模拟,并结合误差反向传播算法(BP 算法)进行调整,结果表明,采用该方法对压缩机进行建模模拟可以达到较高的精度要求。模拟结果与实验结果吻合较好^[30]。

② 对蒸发器的计算模拟 通过对空气源热泵的蒸发器结霜问题进行动态模拟计算,可以详细分析蒸发器结霜和制冷剂充灌量对系统性能所产生的影响^[31,32]。另外,对于采用 ϵ -NTU 法(效率-传热单元数法)对空气源热泵蒸发器肋片管在干工况、湿工况及结霜工况下的传热传质计算方法也有相关探讨^[33]。

③ 系统仿真研究 通过建立房间空调器热泵运行时的瞬态仿真的数学模型,可以得出房间空调器热泵运行时的制冷系统参数及房间温度变化的曲线^[34],这对实现空气源热泵系统的自控有很大的意义。

④ 系统能耗分析软件 关于空气源热泵全年能耗分析应用软件的开发应用在相关文献中有所介绍^[35],该软件在求解热泵供冷全年能耗时,综合考虑了空调冷负荷、室外干球温度、热泵出水温度这 3 个因素,在求热泵供热能耗时,还将室外空气相对湿度这个重要参数考虑进去,这就使得

热泵供热能耗计算更为准确,也为空气源热泵的应用提供了一个很好的分析方法。

1.5 其它

近来针对热泵分户计量的需要,有观点在对传统的计量方法进行比较分析的基础上提出了用比率法测量热泵制热量的新思路,并结合实际测量给出了应用评价^[36]。

变频技术在空气源 VRV 热泵中的应用是一项新技术。根据对大金变频控制热泵式 VRV 空调系统夏季制冷运行时的节能特性所做的一系列实验研究,可以获得夏季部分负荷运行特性。通过在节能方面与普通空气源热泵进行比较,证明应用变频技术以后的空气源热泵机组比普通机组更加节能^[37]。

客车空调也是空气源热泵应用的一个主要方面。关于空气源热泵应用于空调客车的可行性、经济性以及所遇到的诸如融霜等问题,已有相应的探讨和试验研究^[38,39,40,41],具体地,关于压缩机转速对机车热泵空调系统制冷量、输入功率及 COP 等性能的影响等问题,也有相关文献介绍^[42]。

此外,从一些空气源热泵在一些公共场所、大中型商场、毛纺厂等大型建筑中的工程应用实例介绍文献可以看出,空气源热泵不仅理论研究相对已经比较成熟,而且已在我国的实际工程中得到了广泛的应用。

2 空气源热泵有待解决的问题及改进方向

对于空气源热泵而言,除了具有种种优点之外,仍存在很多不足及有待解决的问题。空气源热泵的性能受室外气候条件变化影响较大,随着室外环境的恶化而恶化。夏季,随着室外空气温度的升高,制冷负荷增大,但热泵系统冷凝温度升高,热泵温差增加,机组整体效率降低;冬季,随着空气温度的降低,供热负荷增大,而蒸发温度随之降低,热泵温差增大,导致机组整体效率降低。同时,随着室外条件的恶劣,热泵的工作性能急剧下降,又反过来加剧了室外环境的恶劣程度。进一步研究应考虑采取相应措施来合理改善机组的性能。

空气源热泵另一个突出的问题就是蒸发器冬季结霜问题。这不但导致系统供热性能的急剧下降,还将对压缩机等重要部件产生不良影响(如冰

堵), 严重时将损坏压缩机, 使系统不能正常运转, 同时, 结霜还将使机组运行费用增加。尽管我国在这方面已经做了很多研究工作, 但关于结霜的控制措施及除霜技术的研究方面, 还需要进一步进行深入研究和实验论证。如: 有研究认为, 空气源热泵工作性能的平均水平是对其结霜过程进行控制、充分发挥热泵系统技术性能的关键, 同时还指出, 关于如何得到最佳的工作特性平均水平, 得到尽可能短的除霜周期和最佳工作效率的问题, 可通过热泵系统设计中对各设备性能和循环参数的最佳耦合得到^[3]。但究竟如何实现最佳耦合却缺少详细的说明和深入研究。另外, 如何对机组本身进行优化设计, 减少结霜, 如何采用更好的除霜方式来提高空气源热泵的运行效率, 节约机组的费用, 这些都仍值得探讨。

目前空气源热泵机组中大都采用的是一些含 CFCs 或 HCFCs 的等具有臭氧破坏潜能 ODP 或地球变暖潜能 GWP 的制冷剂, 对环境的负面影响较大, 而且, 根据蒙特利尔议定书, 各国将限制具有 ODP 和 GWP 的卤代烃 CFCs 或 HCFCs 的使用, 并规定了到 2030 年完全禁止使用的日程表。由此看来, 对新型环保替代工质(如: R410A, R134a, R744 等)的特性的研究很有必要, 相应地, 采用新工质后系统的优化匹配问题也应进行详细实验和研究。

由于室外空气一年四季甚至一天当中的温度波动较大, 这就对实现整个空气源热泵系统的自动控制提出了很大的挑战, 关于这一方面的研究尚不多见, 还有待于逐渐探索和完善。

此外, 关于在我国北方地区应用空气源热泵的可行性问题, 还需要根据各地区具体气象条件进行更为详细的实际论证和分析。

3 结 语

本文对近年来我国在空气源热泵方面的研究进展从各个方面进行了比较全面的分析。总的看来, 我国空气源热泵的研究和应用工作已经取得了一定的成就, 但仍存在一些不足之处, 如: 节能除霜方法、新工质新循环的替代、系统的智能控制等方面仍有待改进。在今后的研究中应努力解决好这些问题, 以此促进空气源热泵在我国更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 王剑锋, 陈光明. 空气热源热泵冬季结霜特性研究 [J] . 太阳能学报, 1997, 01.
- [2] 王剑锋, 张绍治, 等. 空气热源热泵动态结霜过程研究 [J] . 低温工程, 1999, 05.
- [3] 田树波, 孙 涛. 风冷热泵机组的结霜特性研究 [J] . 上海交通大学学报, 2001, 01.
- [4] 黄 虎, 李志浩, 束鹏程. 风冷热泵除霜控制方法分析 [J] . 建筑热能通风空调, 1999, 03.
- [5] 夏 订, 周兴禧, 周振宇. 不同参数对翅片管式蒸发器性能影响及热泵化霜周期的优化 [J] . 上海交通大学学报, 1998, 07.
- [6] 黄 虎, 李志浩, 等. 风冷热泵冷热水机组自调整模糊除霜控制的研究 [A] . 全国暖通空调制冷 2000 年学术年会, 2000.
- [7] 黄 虎, 虞维平. 风冷热泵冷热水机组自调整模糊除霜控制研究 [J] . 暖通空调, 2001, 03.
- [8] 雷江杭, 丁小江. 热泵空调器除霜分析 [J] . 制冷, 1999, 04.
- [9] 连之伟. 西安地区应用风冷热泵机组问题讨论 [J] . 西安建筑科技大学学报, 1997, S3.
- [10] 张积太. 空气源热泵型冷热水机组在胶东地区的设计尝试及技术经济分析 [J] . 暖通空调, 1997, 06.
- [11] 低温环境下热泵技术问题探讨 [J] . 暖通空调, 1998, 06.
- [12] 周启瑾. 适合于寒冷地区使用的热泵型柜式空调机 [J] . 制冷, 1999, 02.
- [13] 宗立华. 小型空气源热泵的结霜除霜损失分析及计算 [J] . 青岛建筑工程学院学报, 1999, 02.
- [14] 姜益强, 姚杨, 马最良. 空气源热泵结霜除霜损失系数的计算 [J] . 暖通空调, 2000, 05.
- [15] 姜益强, 姚杨, 马最良. 空气源热泵冷热水机组供热最佳能源利用率平衡点温度的研究 [J] . 建筑热能通风空调, 2000, 02.
- [16] 姜益强, 姚杨, 马最良. 空气源热泵供热最佳经济平衡点探讨 [J] . 暖通空调, 2001, 03.
- [17] 黄 虎, 束鹏程, 李志浩. 中央空调中热泵的应用与节能 [J] . 北京节能, 1999, 01.
- [18] 陈林根, 等. 热阻和内不可逆性对空气热泵循环性能的影响 [J] . 太阳能学报, 1997, 01.
- [19] 陈林根, 等. 考虑传热效应的回热式空气热泵循环性能分析 [J] . 应用科学学报, 1998, 04.
- [20] 房间空调器中 R410A 和 R22 回热循环分析 [J] . 制冷学报, 1998, 03.
- [21] 葛宏明, 等. 热泵系统四通换向阀特性研究(三)四通换向阀传热、压降及制冷剂泄漏损失对家用热泵

- 性能的影响[J]. 流体机械, 1998, 03.
- [22] 陈芝久, 等. 热泵系统四通换向阀特性研究(一)热泵系统四通换向阀特性研究的意义及现状分析[J]. 流体机械, 1998, 01.
- [23] 宋徐辉, 等. 热泵系统四通换向阀间特性研究(四)——热泵四通换向阀动态换向过程的仿真及测试[J]. 流体机械, 1998, 04.
- [24] 宋徐辉, 等. 四通换向阀对家用热泵空调系统性能的影响[J]. 上海交通大学学报, 1998, 04.
- [25] 薛振明, 等. 热泵型空调器四通换向阀容量的测定及换算[J]. 建筑热能通风空调, 2000, 01.
- [26] 薛振明, 等. 热泵型空调器四通换向阀容量的测定及换算[J]. 上海交通大学学报, 2000, 09.
- [27] 袁秀玲, 等. 制冷剂迁移和汽液分离器对热泵性能的影响[J]. 流体机械, 2000, 05.
- [28] 计育根, 等. 常用风冷式热泵机组和冷水机组的噪声测量和分析[J]. 暖通空调, 1999, 03.
- [29] 王庭佛. 多台热泵机组的噪声治理[J]. 暖通空调, 2000, 06.
- [30] 姚 杨, 杨自强, 马最良. 空气源热泵冷热水机组中压缩机性能的模拟[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 06.
- [31] 韩 蔚, 等. 空气——水热泵空调系统性能研究[J]. 制冷, 2000, 01.
- [32] 李学迅, 等. 家用热泵空调的系统模拟和实验研究[J]. 制冷, 2000, 02.
- [33] 朱 刚, 等. 热泵蒸发器肋片管传热质计算法探讨[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1998, 02.
- [34] 周子成. 房间空调器热泵运行时的瞬态仿真[J]. 制冷学报, 1998, 04.
- [35] 陈丽萍, 等. 空气源热泵全年能耗分析应用软件的开发[J]. 暖通空调, 2001, 03.
- [36] 张小松, 等. 热泵空气侧制热量测量方法的探讨[J]. 流体机械, 2000, 10.
- [37] 滕英武, 等. 大金变频控制热泵式 VRV 空调机组制冷运行特性的实验研究[J]. 制冷技术, 2000, 04.
- [38] 欧阳仲志, 王文质. 客车热泵型空调机组的研制[J]. 制冷, 1998, 02.
- [39] 靳谊勇. 热泵式空调机组在铁路客车上应用的可行性探讨[J]. 铁道车辆, 2000, 02.
- [40] 宋立新, 等. 铁路客车热泵式空调机组的试验研究[J]. 铁道车辆, 2000, 01.
- [41] 铁海燕. 热泵式空调机组在空调客车上应用的可行性分析[J]. 铁道车辆, 2000, 06.
- [42] 马国远, 等. 电动汽车热泵空调系统的试验研究[J]. 低温工程, 2000, 04.



报 道

杭州市“西气东输”六大焦点问题

天然气作为当前世界上公认的最清洁的能源, 将于 2003 年年底“嫁”来杭州。2002 年 8 月, 长达 300 多页的《杭州市天然气利用工程初步设计》通过了初审, 杭州市天然气利用工程的轮廓“浮出水面”。这项环保工程将调整杭州的能源结构, 还城市一片洁净蓝天。

一、绿色能源市场大: 据杭州市《天然气利用工程初步设计》预测, 这项总投资 16.1 亿元的项目实施后可减少 SO_2 排放量 5.02 万 t/a, 烟尘 6.62 万 t/a, NO_x 3.7 万 t/a。预测到 2010 年杭州市天然气市场年需求量将达 63394m^3 , 其中居民用气将占比重最大, 达 33%。

二、城市“气”网如何通: 杭州市天然气利用工程的管网建设, 将采取利用原有管网和新建一部分管网相结合的办法。截止 2000 年 6 月, 杭州市天然气管网全长 642km, 主要分布在主城区。设计新建的中压管网全长 868km, 除少数路段要敷设新管外, 其余的主要利用燃气管道, 形成环网。

三、汽车也“生”天然气: 公交车尾部不再冒黑烟, 是天然气对公共交通工具的全新贡献。据了解, 天然气汽车的基本结构同汽油、柴油车相同, 在行驶性能方面明显高于电动汽车, 一点也不比汽车逊色, 发展天然气汽车不存在任何技术上的障碍。《设计》预测, 到 2010 年全市公交车的拥有量将达 5000 台左右, 其中 1810 台公交车将以天然气为原

料。

四、稳定供气有保证:《设计》计划在主城区设计 2 座应急气源, 在下沙、滨江和余杭各设立一座应急气源。据了解, 塔里木盆地按现在的储量, 稳产 11 至 13a 完全没有问题, 而且在不断地勘探新气源, 气源供应十分充足。再加上东海天然气和其他进口天然气, 气源完全有保证。

五、自动收费好方便: 目前已用的煤气表可以继续使用。天然气燃气收费系统将采用自动计量收费系统, 人工逐户验表的烦琐方式将简化为集中计算机自动验表, 完成自动管理城市的抄表、制票和收费。

六、西气东输谁便宜: 据世界人士预测, 中石油的西气东输项目与中国石化联手中海油的东海天然气项目在杭州将难免进行一番龙争虎斗。有观点认为, “东气”离浙江只有 300 海里, 供气成本低于千里迢迢而来的“西气”, 所以“东气”开出优惠价格的可能性较大。就目前“西气”暂定单价 2.14 元/ m^3 来说, 杭州市居民使用天然气比使用煤气更得实惠。据了解, 目前杭州市的管道煤气单价为 1.2 元, 热值为 $3500\text{kcal}/\text{m}^3$; 而天然气单价为 2.14 元, 不足管煤的 2 倍, 而热值却达 $8000\text{kcal}/\text{m}^3$, 是管煤的 2.3 倍。与瓶装的液化石油气相比, 天然气的单价比其 2.3 元/ m^3 的单价为低。

■ 本刊