

空气源热泵低温适应性研究的现状及进展

柴沁虎¹, 马国远²

(1. 清华大学 建筑技术科学系, 北京 100084; 2. 北京工业大学 能源与环境学院, 北京 100022)

摘要: 随着改革开放的发展、人们生活水平的提高, 许多传统供暖地区的居民开始有夏季制冷的要求, 而且这些地区传统的以燃煤为基础的供暖模式所带来的负面影响越来越不能适应社会可持续发展的要求。空气源热泵因其特殊的优点而在长江中下游以南地区备受重视, 但是传统的空气源热泵要想成功应用于北方寒冷地区还有许多问题有待进一步解决。文章分析了空气源热泵系统在寒冷地区使用时需要解决的一些问题, 以及国内外为解决这些问题所做的一些工作, 对于更好地促进这空气源热泵技术的发展具有积极的意义。

关键词: 空气源热泵; 低温; 适应性

中图分类号: TU831.7

文献标识码: B

文章编号: 1004-3950(2002)05-0025-07

State of knowledge and current challenges in the ASHP developed for the cold areas

CHAI Qin-hu¹, MA Guo-yuan²

(1 Dept. of Building Science Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2 School of Energy and Environment Beijing Poly-technical University, Beijing 100084, China)

Abstract: With the development of national economy and improvement in people's living standard, spacing cooling is gradually populated among people living in the cold areas; what's more, the conventional spacing heating method based on coal-fired boilers can't meet with the policy of sustainable development. Of all the available heating and cooling methods, ASHP (Air Source Heating Pump) is the optimal method for its self-evident virtues, however the conventional ASHP can't run in the cold areas and a spare heating source is needed when the ambient temperature is very low, and thus initial cost is soaring and unbearable considering the low rate of utilization. In this paper the author analyzed several problems that prevent the ASHP to be used in the cold areas, relevant researches round the world are reviewed, which is very beneficent to the perfection of the ASHP.

Key words: air source heating pump(ASHP); low temperature; adaptability

1 绪言

随着人民生活水平不断提高, 热泵空调机组尤其是空气源热泵空调机组在我国长江中下游、西南、华南地区(中国气候分区的 III、IV 区)得到广泛的应用, 这些地区冬季室外温度一般不低于零下 5℃, 室内需热量不大, 夏季气温较高, 一般有制冷的要求, 当采用空气源热泵系统时, 应用效果良好, 机组运行平稳, 由于在这些地区热泵的运行区间(外温由 10 ~ -5℃)相对较窄, 机组的经济性可以得到较好的保证, 无需辅助热源, 能够以较低的初投资、较低的能耗较好地满足该地区的采

暖、空调要求, 高效节能、不污染环境、能实现一机两用^[1,2]。

而对于黄河流域、华北地区这些传统的采暖地区(中国气象分区的 II 区和 I 区南部)长期以来一直依靠燃煤、燃油采暖。随着经济的发展, 城市规模的扩大, 这些传统的采暖方式的缺点越来越突出, 不能适应可持续发展的要求, 据统计燃煤采暖已经成为北方冬季城市空气污染的罪魁祸首。因此对于这些地区探索出一些可持续发展的洁净采暖技术就具有非常现实而且重要的意义, 并逐渐成为工程界、学术界普遍关注的一个热点问题^[3]。空气源热泵使用方便、能量利用效率高、对

收稿日期: 2002-07-31

作者简介: 柴沁虎(1974-), 男, 汉族, 江苏南通人, 博士研究生。

使用地区基本不产生什么污染,如果能够解决在低温环境下工作的一些不足,应该是21世纪替代传统供暖模式的具有节能、环保意义的最有竞争力的一种电力驱动采暖技术。不仅如此,这种技术的推广对于地区能源结构调整、治理大中城市环境污染,解决电力结构性过剩、促进暖通空调的可持续发展也有着十分积极的意义。

但是,长期以来的理论和实践均表明,如果这种空气源热泵系统不作任何改进就加以推广到黄河流域、华北、西北等地区,那么设备将无法在冬季正常工作:系统的制热量随着外温的下降而迅速下降,而需热量却随着外温的下降而迅速上升,当外界温度很低时,系统的制热量将小到无法满足这些地区的冬季采暖需求;与此同时,随着室外环境温度的降低,机组COP急剧下降、压缩机的压比会越来越来大,导致排气温度不断升高,长期运行必然会严重损坏压机。此外从空气源热泵冷热水机组在这些地区的实际运行的效果看,热泵系统除霜的准确性还不尽人意,有许多有待改进的地方,主要表现为现有的除霜判据不能适应北方的这种大范围运行工况,热泵系统误除霜现象严重,需要除霜与实际除霜不合拍、除霜水不易流尽、除霜时间过长往往会导致室内温度波动过大,用户有明显的吹冷风的感觉;机组在低温工况启动困难,机组在启动阶段或者除霜结束恢复制热时经常容易发生烧机现象。

2 空气源热泵在北方地区应用现状以及优化原则

对于工程设计而言,长期以来,除了增设辅助热源(燃油、燃气锅炉房)外,国内工程设计一直依靠加装辅助电加热器来解决低温环境下制热量不足的问题,辅助电加热器往往加装在室内水路上,或者在室内进风口前。辅助电加热器主要采用电热管或PTC两种加热元件,这两种方式的具体使用效果的比较已有详细叙述,本文不再赘叙^[6]。应指出的是,这种加热方式尽管增加了初投资,但仍然要比整个冬季都直接采用电加热采暖(如电热膜)要经济一些,研究表明:在北京地区使用带辅助电加热空气源热泵供暖的整个冬季耗电量约为全部直接依赖电加热采暖的电耗的一半,因而对于某些特定场合(二环以内)仍是值得优先考虑的方案。但这种方式下房间空调器吹出的热风舒

适性比较差,如果采用其他一些改进出风过于干燥的措施,则初投资又将急剧上升。

要想研究最适合于北方寒冷地区使用的空气源热泵系统,就必须了解北方地区的实际气候特点,黄河流域、华北地区冬季采暖期间的气候特点见表1。由表1可以看出:这些地区冬季采暖期较长,

表1 部分北方城市采暖期气候特点

城市	供暖期 /d	5℃ /h	-4℃ /h	-10℃ /h	-15℃ /h	T_{min} /℃
北京	129	3096	934	106	—	-12
天津	122	2928	700	69	—	-12
石家庄	117	2808	570	—	—	-9
济南	106	2544	393	—	—	-8
郑州	102	2448	168	—	—	-8
太原	144	3456	1429	228	80	-14
西安	101	2424	161	—	—	-7
兰州	135	3240	1383	164	90	-15

* 5℃、-10℃、-15℃是指室外环境温度低于该值所对应的持续时间

而且室外气温较低,空气源热泵要想不依靠辅助热源满足这一地区的冬季采暖需要,一般而言必须能够在-15℃左右的大气环境中长期高效、安全运行。但是这一段气温特别低的室外环境温度持续时间又特别短,系统大部分时间还是运行在一个相对较高的室外温度环境下。综合考虑空气源热泵的冬、夏季的性能,压缩机的最佳压缩比一般均在3.5~4.0的水平,一般不超过7,这样在进行系统优化设计时,出于热泵系统安全性、经济性的考虑,现行的设计方案均存在一个供暖不保证时间,当外界温度低于一定值时,热泵系统停运,启动备用热源^[4]。应该说,相对于目前的热泵技术现状而言,这是一种较为合理的技术方案,问题是由于这一过程持续时间很短,备用热源(辅助电加热或者锅炉房)的存在对于用户而言实在是一块鸡肋,如果能够开发出一种空气源热泵既能保证在其冬季最大运行时段所对应的效率最高,同时当室外温度较低时,仍能安全、经济运行,这样就可以省去后备热源,这样无论从初投资还是实际运行费用来看都是用户最希望看到的。近年来,在华北地区出现了一些使用空气源热泵系统的工程实例,这些实例均宣称能够在低温寒冷地区正常运行^[5],但是由于这些地区冬季室外温度变化范围较大,为保证安全,系统设计一般均选用高压压缩比(> 10)的压缩机,虽然这种系统在低温工况下制热效果良好,经济性也还不错,但是在室

外温度稍高的条件下,或者夏季制冷运行时由于过压缩会导致系统效率下降较多,空调机组全年经济指标(SEER)有很大程度的降低,这种做法并不能使用户真正地实惠,这种舍本逐末的做法对于热泵行业的持久发展是非常有害的。

3 低温空气源热泵系统型式的相关研究

空气源热泵应用于寒冷地区冬季制热时,当外界温度下降时对应的制冷剂吸气比容增大,使得机组吸气量随着外温的降低迅速下降,这样机组的制热量也就相应按比例下降,而且随着吸气压力的降低,机组的压力比严重偏离最优值,系统压缩过程严重偏离正常压缩过程,导致机组排气温度急剧上升。因而从直觉出发,研究者均将这几个问题作为研究的关键问题,来解决空气源热泵的低温适应性问题:增加低温工况下系统的工质循环量、控制机组排气温度、优化机组压缩机内部的工作过程,选用适用于大范围工作状况的制冷剂。

为解决低温制冷时机组的性能与投资关系问题,在80年代中期有学者提出了带经济器的准二级压缩系统,并在螺杆机组中得到成功应用^[7,8]。研究指出这种系统在低温工况下的节能效果显著,对于蒸发温度 T_0 在 $-15\sim-40\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内的低温工况,采用这种经济器系统可以使得制冷量增大 $19\%\sim44\%$,制冷系数提高 $7\%\sim30\%$,研究表明在 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 的工况下,该系统完全可以取代双级压缩系统。但是由于螺杆机组容量一般较大,很少有应用于小型户式空气源热泵的情形,同时这种系统相对于二级压缩系统的优点随着蒸发温度的上升将逐渐趋于下降,因而这种准二级压缩的研究长期以来一直局限于低温制冷的情况,其普冷工况的可行性一直未能得到足够的关注。

80年代初 Nobukatsu Arai 提出带闪发器的涡旋压缩机注气系统,并简要分析了其性能,指出采取这一措施,在低温工况下(没有具体数据)可以提高制热性能 15% 左右^[9]。后来日本 Hagimoto K 等人提出采用带喷液旁路的涡旋压缩机系统来解决低温工况制热时的排气温度过高问题,并开发出样机,通过对辅助回路的投停可以实现既能在常温工况下高效正常工作、又能够在低温工况下安全、可靠地工作的热泵系统。日立公司推出的 J

系列热泵空调机组,就是采用的类似方法,现场实际测试表明其可以在 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 以上的条件下正常工作^[10-12]。随着变频技术在空调器行业的应用,又推出了变频低温空气源热泵,在低温环境下工作时,通过采用变频技术提高压机转速来增加机组的循环工质量来提高制热量,考虑到系统在低温环境下运行时,涡旋压机必然会产生高排气温度,为此系统采取了喷液旁路循环的保护措施:在低温工况运行时,投用喷液旁路循环,在涡旋压机的压缩空腔中直接喷入从冷凝器来的液体制冷剂。但该方案只是解决了空气源热泵的低温工况运行可行性问题,而不能保证低温工况下的经济性,总体上讲此时系统的 COP 下降幅度是非常大的,随着转速的增加还会相应带来噪声的增加、对压机制造工艺要求的提高。当然此时由于省去了原来必须的辅助热源,此时系统初投资有所降低。

日本 Katsuji Yamagami 提出利用燃油、燃气燃烧器辅助加热的热泵空调器来解决低温工况下制热不足的问题^[13]。在这个系统中燃气、燃油加热的工作方式主要有两种:在供暖时停止热泵系统运行,仅启动送风系统,依靠燃料在空调器中的燃烧器中燃烧,加热流过的空气,从而送出暖风,此时,燃烧器一般加装在室内机中;在供暖运行时,热泵系统仍然运行,室外机组内的燃气、燃油加热器加热室外蒸发器,制冷剂将吸收到的热量以及压机所做的功一并带到室内。制冷剂的循环量和燃气、燃油量由微电脑根据室内负荷控制。这一系统型式较为复杂,燃油系统须要配备储油罐等辅助设施,在建筑行业对储油罐的装设及燃油的运输通道有着严格的消防要求,燃气系统对市政输送管网有一定的技术要求,这在建筑密度很高的市区地段很难满足,即使勉强满足也存在着一定程度的隐患,因此这一方案基于安全性的考虑以及一些国家地区的政策法规的限制,其应用前景并不令人看好,同时当燃烧器加装在室外机时,系统冬季运行燃烧器投运时,系统获取的并不是来自空气的免费热源,而是有代价的热源,同时这部分热源也不是百分之百地能够得到利用。

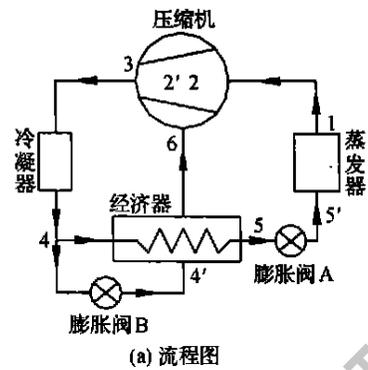
谷轮公司亚太区技术部王贻任先生在2000年5月的涡旋式制冷压缩机应用与发展技术研讨会上提及该公司的一些发展新动向时指出该公司正在致力于研究一种二级可调容量涡旋压缩机,该技术拟在压机的定盘上开两个孔,通过旁通可

以减容 65%，当应用于北方时可有效减少辅助电加热的应用量；还指出利用喷气增焓技术，可以在夏季有效提高制冷量，冬季甚至可以不需要辅助加热装置，但是到目前为止，还没有看到该公司的任何与上述构思相关的产品、报告或论文。

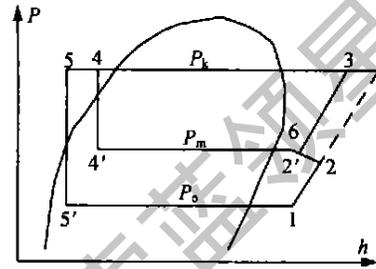
哈尔滨建筑科技大学马最良^[14]提出采用空气源热泵与水-水热泵或者水-空气热泵组成耦合的双级热泵供暖系统来解决在寒冷地区低温制热时热泵性能恶化问题。在冬季，用放置在室外的空气源热泵冷热水机组制备 10~20℃的温水，通过水环路送至室内的水-空气热泵或者水-水热泵系统从水中提取热量，以求达到供暖目的。整个系统通过水回路将空气源热泵和水源热泵组成耦合的双级热泵供暖系统。马还在其它文献中提出利用寒冷地区的建筑物的内区发热量，以及引入太阳能等能量作为辅助热源来进一步提升该系统的经济性的设想。理论上，如果采用多级压缩，整个压缩过程就会越接近于定温压缩过程，节省的功也就越多，出口温度也可以得到有效控制。但从工程实际考虑，压缩的级数越多，制冷系统和设备越复杂，操作调整的工作量也就越大，而且机器设备的投资也就越大，因而在工程应用中，只有当压比超出一定的范围，效率下降较多、能耗上升较多时，才考虑采用二级压缩系统。低温地区用空气源热泵的工作环境温度变化范围非常大，但热泵在低温条件下工作的时间相对较短，大部分时间其运行的压力比并不足够高，因而如果采用双级压缩系统，从总体上看，其节能的效果，相对于添加一套设备所造成的系统复杂、设备浪费、成本增加、可靠性降低是得不偿失的。

清华大学的马国远等人^[15]经过研究，成功利用带辅助进汽口的涡旋压缩机实现带经济器的准二级压缩空气源热泵系统来提高空气源热泵在低温工况下的制热性能。该研究可以有效提高热泵在低温工况下的性能，系统的基本型式如图 1 所示：

带辅助进汽口的涡旋压机排出的高温、高压制冷剂气体，经水侧冷凝器将热量传递给水后变为液体，升温后的水用于采暖或者作为生活热水。冷凝器出来后的高压制冷剂液体在储液器前分为两路：主回路为制冷回路、辅助回路为补汽回路。辅助回路的制冷剂液体经电子膨胀阀降压后变为低压的汽液混合物进入安置于储液器中的经济器



(a) 流程图



(b) 循环图

图 1 带辅助进汽口的低温空气源热泵系统示意

与主回路的制冷剂液体发生热交换。辅助回路的制冷剂液体变为气体后由压缩机的辅助进汽口吸入，主回路的过冷的制冷剂液体经过干燥过滤器、膨胀阀后进入蒸发器。在蒸发器中，主回路的制冷剂吸收低温环境中的热量而变为低压气体被压缩机吸气口，经过压缩以后，主辅回路的气体在压缩机工作腔中混合，再进一步压缩后排出压缩机，至此形成一个完整的封闭循环。与普通的热泵机组相比，该类型的机组有以下几个特点：

(1) 在冷凝器和压缩机之间并联有补汽回路，该系统事实上存在 3 个等级的压力：

冷凝侧压力、蒸发侧压力、以及辅助回路膨胀阀出口压力。

(2) 压机上带有辅助进汽口，主辅回路在经济器中产生热交换，使得主回路的制冷剂得到过冷却，整个系统的经济性得到较大的提高，同时由于压机出口温度的降低，系统的安全性也较以前有所提高。

(3) 如果切断辅助回路上的电磁阀，则该机组按照普通热泵系统工作，和常规的单级压缩热泵系统没有区别，如果辅助回路上的电磁阀打开，该回路投入运行，那么该机组按照带经济器的准二级系统来进行工作，这样既不影响机组在普通工况下的性能(按照常规的系统工作)，又可以实

现机组在低温工况下的安全经济运行,经济有效地扩大了机组的低温工作范围。

实际测试表明这个系统能够成功解决当室外温度过低时制热量急剧衰减过快,以及因压比过高所导致的压缩过程恶化,排气温度过高的问题;通过辅助回路的投停有效解决了单台压机在不同的工况下 COP 变化过大,使得机组在各个工况下面的经济性均能得到较好的照顾。无论从初投资还是从运行费用来看均是最佳的方案。

4 寒冷地区空气源热泵除霜技术研究

目前空气源热泵机组一般均采用逆循环除霜的方法进行除霜,即通过制冷系统四通阀切换将风侧换热器作为冷凝器向其提供热量进行除霜。从经济性来看,这是一种最为合理的运行方案,但从实际运行效果来看,现有的除霜控制方法还有不少有待于改进的地方,尤其是当机组在气温偏低且相对湿度较高的地区制热运行时,热泵系统除霜的准确性差,需要除霜与实际除霜不合拍、误除霜现象严重、除霜水不易流尽、除霜过程效率偏低,延续时间较长,往往会导致室内温度波动过大,用户有明显的吹冷风的感觉;机组除霜结束恢复制热时启动困难甚至会发生机组烧毁的现象。V D Baxter 通过对一台分体式空气源热泵进行了为期 2 年的现场测试,测试结果表明在制热季节除霜损失约占整个机组能耗的 10%,而且有近 30%的除霜动作实际上是不必要的^[16]。

关于各种各样的除霜判据,文献^[17,18]做了较为详细的评价,并且有不少研究者先后提出许多可以改进判定除霜时机的更加准确的准则^[19,20]。实际上如果不考虑成本,要想实现准确的按需除霜并不是一件很困难的事,但关键在于空气源热泵是一个民用产品,这一实际特点决定了只能使用一些价格便宜的传感器感知运行状态,而且传感器数量也有一定的限制,不可能太多,这样就导致能够从这些传感器中提取出的信息量非常有限,而且这些信息之间的剩余度非常小,一般的空气源热泵加装的测点就只有冷排温度、进出水温度、环境温度,考虑到制冷剂的物性计算的复杂性、机组控制器所采用的微处理器的现状,要从这些有限的信息中推断出系统的准确状态几乎没有可能。事实上,对我们而言,准确了解空气源热泵的具体参数既没有太大的实用价值也没有必要,

我们关心的是空气源热泵实际运行的状态相对于刚开机或者除霜结束恢复制热阶段所对应的系统状态的相对变化。空气源热泵设备当前状态和他的前继、后续状态之间的信息均存在一定的联系,这些信息一起构成了一个存在着一定程度的剩余信息的信息体系,如果能够对这个信息体系加以解析,是可以准确推断出系统的运行状态变化程度,以此就可以较简单地实现按需除霜,提高除霜过程的可靠性。

对于除霜技术而言,不仅应该考虑如何准确实现按需除霜,如何实现单位时间内最大平均制热效果、缩短除霜过程、减小除霜过程对系统的冲击也是研究者应该给予较多关注的地方^[21]。研究表明,对于使用热力膨胀阀的定速空气源热泵系统,除霜过程大致可以分为 3 个阶段,当机组刚刚开始除霜时,由于热力膨胀阀的动作滞后,以及刚刚发生系统转换时,高、低压侧制冷剂无法正常流动,因而接下来一段时间,低压侧极度抽空,整个机组的制冷剂循环量、向室外空气侧换热器提供的供热量都很小,系统需要一段时间用来建立一个相对稳定的新工况(持续时间段 t_1)。随着系统高、低压侧压力的重新建立系统进入到一个相对稳定的阶段(时间 t_2),这个阶段里系统向风侧提供的制热量维持在一个相对稳定的水平,随着时间的推移,机组风换上面的霜层逐渐消融,直至冷排温度开始上升。随着冷排温度逐渐升高,系统进入第 3 个阶段,这一过程由冷排温度的上升开始持续到四通阀断电,除霜过程结束,系统重新恢复制热工况运行,至此系统完成一个完整的除霜循环,进入到新的制热过程。一般讲来,除霜过程所经历的 3 个阶段中,第 2 个阶段、第 3 个阶段可以调整的余地很小,但是第 1 个阶段是可以采取适当措施加以调整的。利用这一原则,可以很容易判定一种除霜方法是否合理,该方法是否还有值得改进的余地,和其他方法相比有什么优缺点。对于目前的各种除霜方法而言,在热力膨胀阀上加装一个旁通电磁阀是一个最为经济、合理的方法,可以极大缩短除霜过程所持续的时间,增加系统的平均制热效果。

除霜过程持续时间过长,必然会影响到室内温度,而且由于逆循环除霜实际上是利用室内水管路所蓄存的热量来向室外换热器提供热量的,为解决这一问题日本有学者研究开发了一种蓄热

式变频热泵空调器^[2]：该热泵装有蓄热单元和压缩机制成一体的蓄热式压机，压机的机壳采用双层结构，以形成蓄热容器。沿着压机机体的外周，嵌装着横肋片换热器，其间隙中填有潜热蓄热材料，压机机体散发出来热量通过热交换肋片传到蓄热材料中去，考虑到单位体积的蓄热量以及高温耐久性，该机组采用聚乙二醇为主体的高分子材料作为蓄热材料。该机组可以有效地减少除霜过程中的室内空气的温度下降，而且除霜结束恢复制热时送风温度升高较快，实际测试表明该机组相对于常规机组而言，平均制热量可以提高10%，效率可以提高5%。但这种空调在冬季的优点到了夏季就会成为其缺点。

当机组除霜结束恢复制热时，现有的除霜模式均不可避免会对制冷系统产生冲击，如果不采取措施，系统将不可避免地连续发生低压保护动作。除霜结束前，空气侧换热器内积存大量的制冷剂液体，切换到除霜模式时，随着压力的降低，液态制冷剂急剧汽化，而且压力降低的速度越快，气化的速度越快，这样被压缩机吸入的气体携带的制冷剂液滴也就越多，这些液滴最终都积存在汽液分离器中。由机组恢复制热工况转换阶段对应的吸气过热度（其数值为膨胀阀温包所处位置的温度与该位置处吸气压力所对应的饱和温度的差值）的变化情况可以看出：当吸气压力急剧降低时，对应的吸气过热度也急剧降低，甚至会出现零过热度或负过热度的情况，这就说明在工况转换过程中由于过热度太小，使得膨胀阀无法正常开启，甚至无法打开，因而造成压缩机恢复制热的最初几分钟内低压侧压力急剧降低而出现连续低压保护的状况。研究表明：使用旁通电磁阀能大大减少在进入除霜的初期制冷剂在汽液分离器中的积存；在除霜的后半段，旁通电磁阀的开启可以使得风侧换热器内积存的制冷剂液体尽可能多地流到水侧换热器，这样机组恢复到制热工作模式时，由于风侧换热器液态制冷剂较少，其蒸发时被压缩机吸入的气体所含的液滴也较少，因而旁通电磁阀的存在使得系统在恢复到制热模式初期时，压缩机吸气带液量急剧降低，制冷剂在系统中的分布得到明显的改进，使得除霜结束系统恢复制热过程中带入汽液分离器中的液体制冷剂大大减少，因而除霜后制热的恢复过程能够得到明显改善。

5 结论

由于目前供暖模式正在进行重大改革，客观上要求给广大用户提供尽可能多的选择，同时建筑业发展异常迅速，许多新建的建筑难以依赖传统的集中供暖，就目前的实际情况而言很多用户在冬季往往有提前供暖或者延后供暖的客观需求，应该讲空气源热泵供暖模式具有一些传统供暖模式所不具有的优点，使得其市场前景非常乐观。

总体上看，寒冷地区气候的特点是冬季供暖时间较长，但是温度特别低的持续时间相对较短。基于这一出发点，热泵系统的设计应该优先保证系统在最常运行时间段下所对应的经济性，同时仍然能够在温度特别低的情况下正常工作，因而基于准二级压缩过程的带经济器的涡旋压缩机系统应该是最佳的方案。

空气源热泵的这类产品的特点决定了只能使用一些价格便宜的传感器感知运行状态，而且传感器数量也有一定的限制，不可能太多，这样就直接导致获取信息量非常有限，而且信息量之间的剩余度非常小。但由于设备当前状态和它的前续、后继状态之间的信息均存在一定的联系，这些信息一起构成了一个存在着一定程度的剩余信息的信息体系，如果能够对这些信息加以解析，是可以准确推断出系统的运行状态，提高除霜过程的可靠性的。

除霜过程可靠性的提高不仅表现在准确判断除霜开始、结束，对于缩短除霜过程、缓解除霜对制冷系统的冲击也要有足够的注意，研究表明：使用旁通电磁阀可以大大缩短除霜过程持续的时间，缓解除霜结束恢复制热时对系统的冲击。

参考文献：

- [1] 范存养. 空气热源热泵的应用与展望[J]. 暖通空调, 1994(6).
- [2] 龙惟定. 试论中国的能源结构与空调冷热源的选择取向[J]. 暖通空调, 2000(5).
- [3] 江亿. 华北地区大中型城市供暖方式分析[J]. 暖通空调, 2000, 4.
- [4] 姜益强. 空气源热泵冷热水机组供热最佳平衡点温度的研究[J]. 热能动力工程, 2002(3).
- [5] 黄翔. 北方地区冬季采暖采用空气源热泵供暖应用情况分析[J]. 流体机械, 2002, 30.

- [6] 刘忠民. 热泵与空调低温制热的探讨[J]. 制冷与空调, 2001, (1).
- [7] Zhang Jian-yi. Super-sub cooling with R12&R22 Refrigeration Plants Using Reciprocating compressors[J]. Applied Energy, 1993, (2).
- [8] Sven Jonsson. Performance simulations of twin-screw compressors with economizer[J]. International Journal of Refrigeration, 1991, (14).
- [9] Nobukatsu Arai. Scroll Compressor and its Application to Packaged Air conditioner[J]. 日立评论, 1983, 65(6).
- [10] Afjei Th, Suter P, Favrat D. Experimental analysis of an invert-driven scroll compressor with liquid injection[A]. Proceedings of International Compressor Engineering Conference at Purdue[C]. 1992, 2: 541-550.
- [11] Yanagisawa T, Fleming John S, Dutta AK, Fukuta M. A study of a refrigerant cycle driven by a liquid refrigerant injected compression[A]. Proceedings of the ASME Advance Energy System Division[C]. 1997, 337: 295-302.
- [12] Asit K. Dutta, Tadashi Yanagisawa, Mitsuhiro Fukuta. An investigation of the performance of a scroll compressor under liquid refrigerant injection[J]. Inter J of refrigeration, 2001, 24: 577-587.
- [13] 山神胜治. 冷媒加热式ルームエアコン用バーナの开发[J]. 三菱重工技报, 1998, 35(2).
- [14] 马最良. 空气源热泵冷热水机组在寒冷地区应用的分析[J]. 暖通空调, 2001, (3).
- [15] 马国远. 空气源热泵低温适应性的研究[R]. 北京: 清华大学图书馆, 2001, 3.
- [16] V. D. Baxter. Field Measure cycling, frost and defrosting losses for a high efficiency air-source heat pump[J]. ASHRAE Transactions 1977.
- [17] 黄 虎. 风冷热泵除霜控制方法分析[J]. 建筑热能通风空调, 1999, (3).
- [18] Eckman R. L. Heat pump defrost controls: a review of past, present and future technology[J]. ASHRAE Transactions 1987, 93(1).
- [19] 陈 颖. 热泵型空调器结霜除霜的判定[J]. 暖通空调, 2001, (6).
- [20] D. D. Llewelyn. A significant advance in defrost control [J]. International journal of refrigeration, 1984, 7(9).
- [21] O' Neal Dennis L. Effect of short-tube orifice size on the performance of an air source heat pump during the reverse-cycle defrost[J]. International Journal of Refrigeration, 1991, 14(1): 52-57.
- [22] 蒋能照. 空调用热泵技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997, 9.



报 道

第五期浙江省绿色饭店节能环保技术高级研讨班在杭成功举办

为了进一步搞好“绿色饭店”认定,提高饭店(宾馆)节能降耗的水平,促进饭店(宾馆)整体效益的提高,由浙江省旅游局主管、浙江省旅游局行业管理处和浙江省饭店节能专业委员会共同举办的第五期浙江省绿色饭店节能环保技术高级研讨班,于2002年9月9日至9月13日在杭州洪桥度假村成功举办。

浙江省旅游局副局长姚升厚、中国科技开发院分院院长吕金铭、浙江省旅游局规划发展处处长肖歌、浙江省能源研究会秘书长唐济周、浙江省能源研究会副秘书长潘毅、浙江省饭店节能专业委员会秘书长谭志宣出席了此次研讨班。

为期4天半的研讨班上,对饭店设备管理、中央空调机组的选型及节能降耗的途径、蒸汽系统节能方法、饭店油烟净化设备的现状分析、洗衣设备的维护与保养等10多个主题进行了研讨;同时,还组织参观了杭州之江度假村和浙江金马饭店。来自全国各地90余家宾馆、饭店的副总经理、工程部经理参加了此次研讨班。他们对研讨班以教授讲课、学员提问、晚上答疑的灵活研讨方式给予了认可;同时,对教授的讲课水平给予了很大的肯定。经过几天的学习,学员们都认为相当实用,受益匪浅,对本次的高级研讨班给予了很高的评价。

■ 张芸洁



欢迎新老读者撰写内容新、有实用价值的稿件