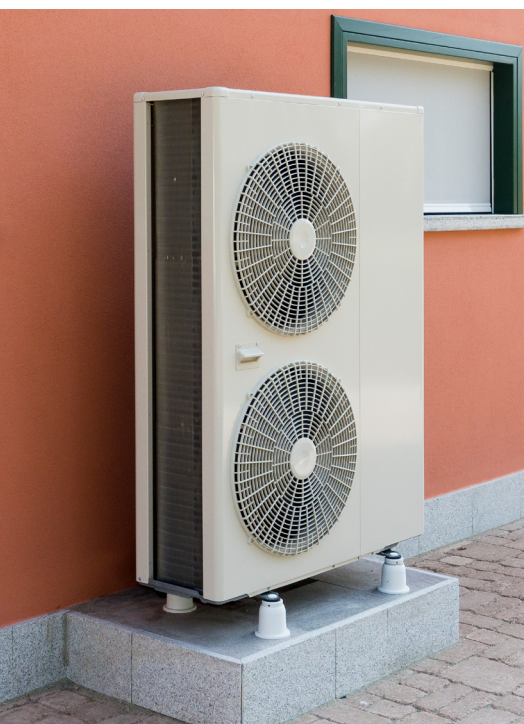




INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID
INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION

建筑空调采暖用空气源热泵



2021年2月

第41期制冷技术信息简报

李先庭
王宝龙



简介

自20世纪70年代能源危机以来，节能受到全球决策者和从业者的广泛关注。近年，建筑能耗约占社会总能耗的30%^[1]。由于人们对改善建筑环境热舒适性的要求越来越高，暖通空调（HVAC）系统的能耗约占据建筑能耗的一半。因此，提高暖通空调系统的能效对于实现节能减排的目标具有重要意义。

传统建筑通常采用冷水机组和锅炉满足制冷和供暖的需求。然而，由于燃煤和燃气锅炉燃烧过程中会排放温室气体和颗粒物，因此并不环保。直接使用电力的电锅炉或电加热供暖方式由于一次能源效率低，故不节能。因此，热泵作为一种高效、冷热同源的设备，在世界范围内被广泛发展和应用。根据热热源/汇的类型不同，热泵一般可以分为空气源热泵（ASHP）、地源热泵（GSHP）和水源热泵（WSHP）等。

相比水源热泵和地源热泵，空气源热泵从环境空气中吸收或向空气中排出热量，具备成本低廉、应用场合广的优势。因此，空气源热泵在同时有冷、热需求的建筑中扮演着越来越重要的角色。近年来，空气源热泵在建筑供冷和供暖中的应用得到了极大的发展。

本信息简报综述了空气源热泵的原理、最新发展及其典型应用。由于近年对空气源热泵制冷技术的研究已经较为成熟，当前的挑战主要来自于供暖，故本文重点关注供暖领域的新发展，其中一些技术也适用于制冷。

国际制冷学会为其成员、政府、公司、公共和私营部门提供支持，以帮助他们全面了解空气源热泵在实现联合国可持续发展目标方面的潜力。

运行原理

空气源热泵与简单蒸汽压缩循环较为相似，也由压缩机、冷凝器、节流阀和蒸发器串联而成，唯一的区别是在压缩机出口设置四通阀用于制冷和热泵模式下的制冷剂流向切换，如图1所示。在制冷模式下，压缩机出口排气经四通阀被引入室外冷凝器，制冷剂向环境空气放热后被冷凝成液体，之后液态制冷剂节流为低压两相状态，在蒸发器中吸收外侧流体中的热量，实现制冷效果；蒸发后的制冷剂返回到压缩机，

被循环压缩。制热模式下，四通阀切换制冷剂流通方向，压缩机排气经四通阀被引入室内冷凝器，制冷剂向室内空气或流体中排热，实现供暖；然后液态制冷剂经节流为低压两相状态，通过室外换热器吸收环境空气中的热量。根据换热流体的不同，通常将空气源热泵分为两类：空气-空气型主要指分体式空调、组合式空调等，用于直接加热/冷却室内空气；空气-水型主要指空气源热泵冷热水机组，用于向空调机组、风机盘管机组、散热器、散热板等不同类型的室内末端装置供应冷热水，以冷却/加热室内空气

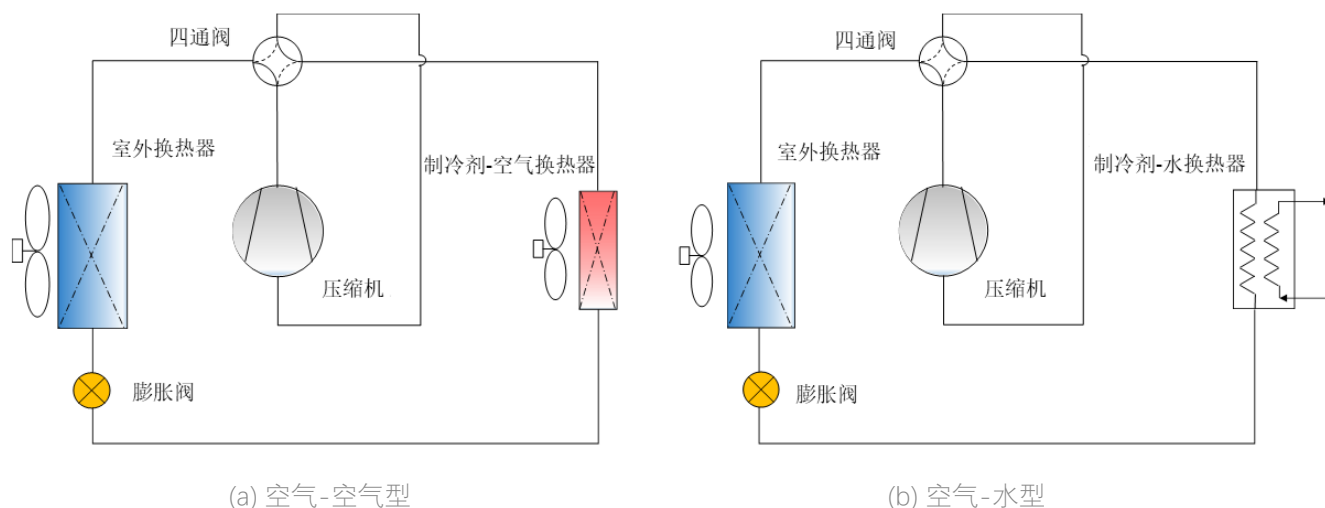


图 1 空气源热泵原理图

空气源热泵制热时在投入少量电能的情况下从环境中吸取大量热量，因此其供热效率通常是直接电加热的3-4倍。然而，有几个因素显著影响空气源热泵的性能：第一，在环境温度较低的工况下，空气源热泵的性能显著降低；第二，制热过程中的结霜问题严重影响能效和可靠性。为解决上述问题，近年许多研究人员和工程技术人员在空气源热泵技术改进方面投入了大量的精力，以下内容综述了这些技术的最新发展。

技术现状

1 低温空气源热泵

空气源热泵在低温下的性能较差，供热能力不足，性能系数（COP）较低。供热能力降低的原因是吸气口制冷剂密度大大降低，以及压缩机的容积效率较低；其能效较低的原因是压比过高、压缩机等熵效率低、节流损失大。因此，为了提高压缩机的性能，开发了以下新技术。

变频压缩技术是提高空气源热泵供热能力的有效方法之一^[2]。在低温工况下，提高压缩机转速，可以显著增加其排气量，从而提高空气源热泵的供热能力。然而，变频技术并不能提高系统能效。为了同时提高供热能力和低温下的能效，研发了多级压缩技术。根据压缩级数和循环结构的不同，多级压缩空气源热泵可分为复叠循环和双/多级压缩等。特别地，为了提高单级压缩系统在低环境温度下的供热能力，可以在压缩过程中直接向压缩腔喷入制冷剂，这就是所谓的准双级压缩。由于准双级压缩循环具备双级压缩循环的特点，故本文将纳入双级压缩循环的范围一并介绍。

- 复叠式空气源热泵

由于环境温度低，导致系统压比高，压缩功大，节流损失大，最终导致热泵能效低。为了减少损失、提高效率，复叠式空气源热泵系统采用两个蒸气压缩循环相串联来代替单一的循环，以减小单级循环的压缩比。

如图2所示，复叠系统由两个独立的蒸气压缩循环组成，其一为低温级循环，另一个为高温级循环。这两个循环通过一个共用的中间换热器相连接，该换热器同时作为低温循环的冷凝器和高温循环的蒸发器运行。冬季，低温循环通过蒸发器从环境空气中吸收热量，并将热量提升到更高的温度，作为热源提供给高温循环；在高温循环中，热量再次被提升至室内供暖所需的温度。

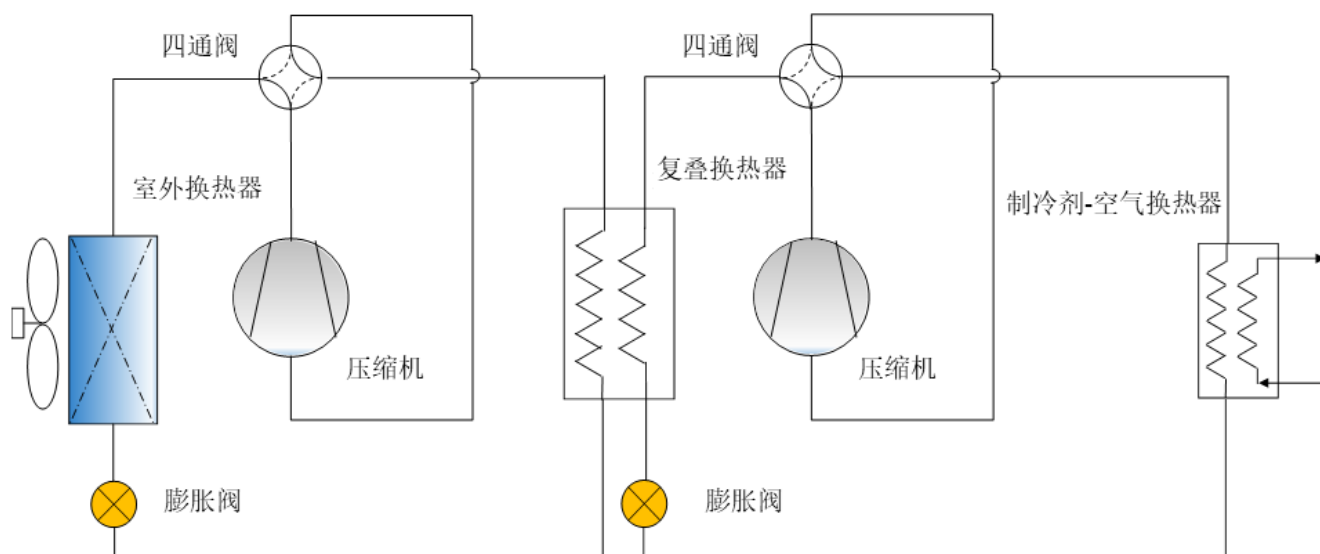


图2 复叠式空气源热泵原理图

采用复叠式空气源热泵，循环的压比大大降低，减少了总压缩损失和节流损失，因而可以提高空气源热泵的能效；并且，根据不同的工况，复叠式循环的高、低温级可采用不同的制冷剂。由于复叠式系统可采用两个简单的单级系统来实现，故已经有多年被用于供暖和供应热水的应用^[3,4]。然而，复叠循环中间换热器的换热温差不可避免地会导致一定的效率损失；并且，复叠循环需要使用两台压缩机和一个额外的换热器，这与单级循环相比成本更高。

- 双级压缩空气源热泵

双级压缩空气源热泵将两个制冷循环连接在一起，可以看作是复叠式系统的简化形式。如图3所示，根据所采用经济器的不同，可以将双级压缩空气源热泵分为两类：闪蒸罐（FT）系统^[5]和中间换热器（IHx）系统^[6]。

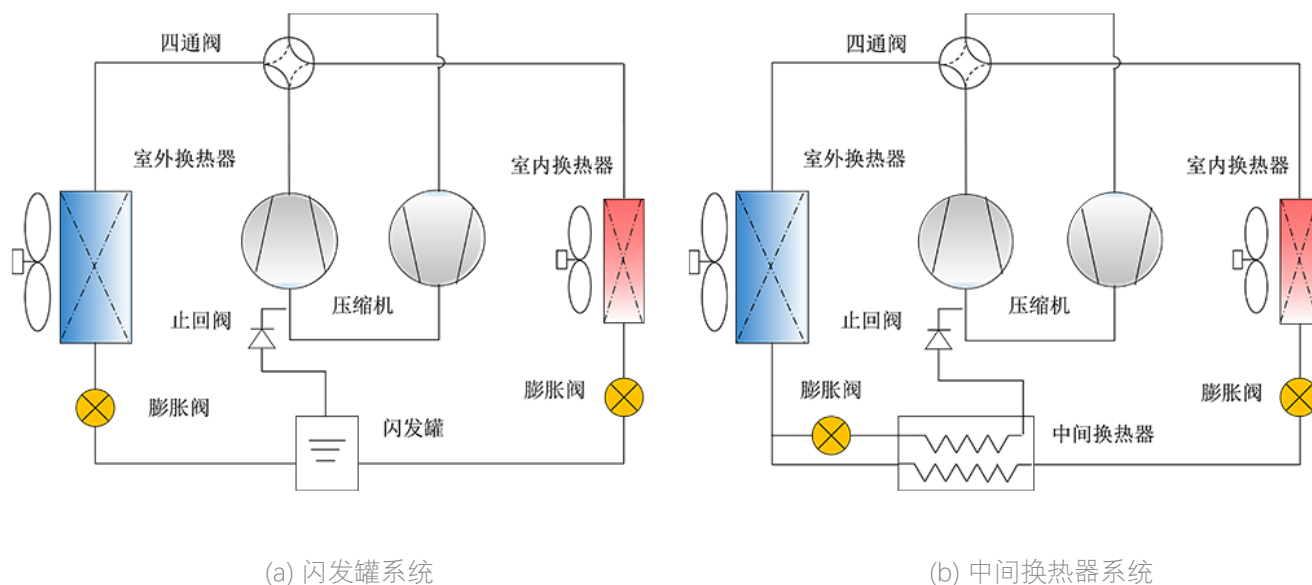


图 3 双级压缩空气源热泵原理图

对于闪蒸罐系统，离开室内冷凝器的液体制冷剂被节流成两相后进入闪发罐，两相制冷剂在闪发罐中被分离为饱和气体和饱和液体；饱和气体制冷剂与低压级压缩机的制冷剂排气混合后，被高压级压缩机再次压缩，饱和液体经第二膨胀阀节流后，进入室外蒸发器蒸发为气体，而后进入低压级压缩机，之后与闪发罐的中压气体混合。

对于中间换热器系统，冷凝器出口的液体制冷剂直接分成主流、支流两路。支流制冷剂被节流到中压后进入中间换热器，低温制冷剂将主流制冷剂冷却到过冷状态，支流制冷剂吸热变为饱和气或过热状态，并与低压级压缩机的排气混合，之后进入高压级压缩机进一步压缩。中间换热器主流出口处的过冷制冷剂被节流后，通过蒸发器，最终回到低压级压缩机，被压缩至中压后与支流制冷剂混合。

- 准双级压缩空气源热泵

如图4所示，准双级压缩空气源热泵（也称为补气系统）与双级压缩系统非常相似。不同点在于，准双级压缩系统中采用一个带有中间补气口的压缩机代替两个串联压缩机。在准双级压缩中，来自闪发罐或中间换热器制冷剂被注入压缩机的压缩腔内，而非两台压缩机中间。

因此，准双级热泵可被看作双级热泵的简化形式，采用专门设计的补气压缩机来代替两台压缩机，从而避免了两台压缩机之间的均油难题，同时降低了系统成本。更重要的是，通过关闭补气支路上的阀门，准两级系统可以灵活转换为单级循环模式，从而在冬、夏季优化准双级热泵的性能。为此，近年来，准双级压缩技术在低温热泵中得到了广泛的应用^[7]。

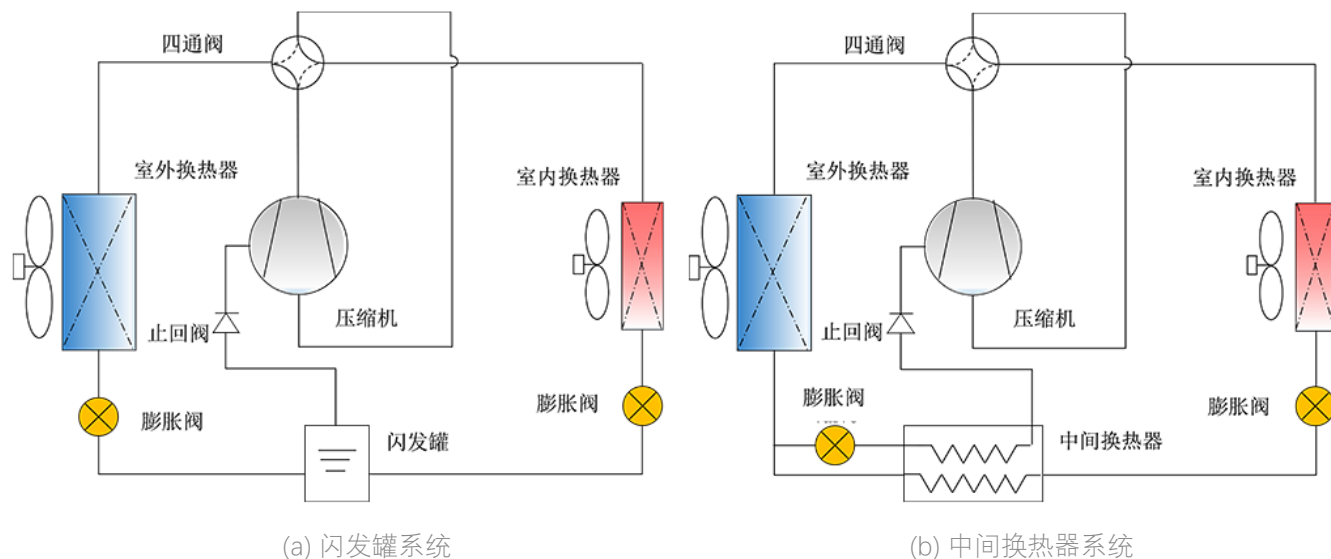


图 4 准双级压缩空气源热泵原理图

2 抑霜和除霜技术

空气源热泵用于供热时，当室外换热器表面温度同时低于 0°C 和湿空气对应露点温度时，翅片表面很有可能结霜。为了防止室外换热器传热恶化，并保证空气能够顺利流过换热器翅片，应当及时清除翅片表面的积霜。因此，研发高效的抑霜除霜技术对于空气源热泵非常重要。

- 抑霜技术

湿度是影响霜形成的关键因素，因此，通过固体或液体除湿的抑霜技术得到了充分的发展。就固体除湿剂而言，主要包括硅胶^[8]、硅酸盐和活性炭^[9]；而液体除湿剂主要包括氯化锂、溴化锂、氯化钙和乙二醇，液体除湿剂可以直接喷到空气进口或室外换热器表面上。除湿不仅降低了空气的湿度，由于吸附或吸收过程会释放热量、空气温度还会升高。然而，固体/液体除湿抑霜技术主要缺点是需要再生。固体和液体除湿剂都需要再生才能连续运行，这限制了其在空气源热泵中的应用。其中，相比于固体除湿剂，液体除湿剂的再生温度明显要低^[10]。

另一种重要的抑霜技术是改变室外换热器表面特性的表面处理技术。如图5所示，根据接触角的不同，材料表面可以被分为亲水性、疏水性和超疏水性。亲水性表面通过干扰冰晶形成和水分子固定来抑制结霜过程。相比于光滑表面，疏水性表面冷凝液滴分布更为稀疏，可以延迟液滴的冻结并延缓结霜。而超疏水表面可以通过在霜形成前“弹出”微小的水滴，这样能更为有效的抑制结霜。表面处理技术高效、廉价且环保，但唯一需要解决的问题就是表面涂层的长期有效性。

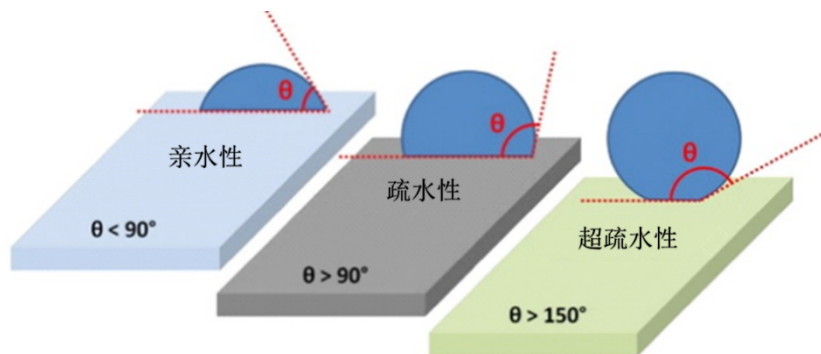


图 5 亲水、疏水和超疏水表面的接触角

此外, 相关研究也提出了超声波振动、空气射流、外加交流或直流电场^[11,12]和外加磁场的方法, 用于防止或延缓结霜。然而, 由于这些技术都需要昂贵的设备和较大的能耗, 因此很大程度上限制了它们在实际工程上的应用。

• 除霜方法

相比于抑霜技术, 除霜技术主要是尝试及时有效的清除换热器表面的霜层。通常来讲, 有图6[13]所示的五种基础的除霜方式, 包括: (1) 压缩机停机除霜; (2) 电热除霜; (3) 热水喷淋除霜; (4) 热气旁通除霜以及 (5) 逆循环除霜。其中, 逆循环除霜和热气旁通除霜是空气源热泵最常见的除霜方式。

在压缩机停机除霜模式中, 压缩机停机、室外机风扇持续运转, 使室外空气持续经过室外换热器以进行除霜。这种方法只有在室外温度高于0℃时才能工作, 并且除霜时间长, 但是其成本低廉。此外, 可以在室外换热器上安装电热器以加速霜的融化。值得注意的是, 由于电是一种高品质能源, 这限制了电热除霜在家用空气源热泵的应用。对于热水喷淋除霜, 需要在室外热交换器上喷淋热水、并同时关闭室外机的风扇。热水除霜方法仅适用于特定场合, 而非所有的空气源热泵。

逆循环除霜法是最传统的空气源热泵除霜方法。在除霜过程中, 四通阀换向, 室外换热器作为冷凝器、室内换热器作为蒸发器, 高温制冷剂流入室外盘管使霜融化。同时, 为了避免除霜过程产生不舒适感, 室内机的风扇也会停止运转。

对于热气旁通除霜, 压缩机排出的制冷剂一部分将进入室外换热器融霜, 另一部分进入室内换热器制热, 这是工业用空气源热泵机组普遍采用的方法。该方法避免了逆循环除霜中出现的反向冲击和“跑油”问题, 并且能够在除霜过程中使室内保持良好的舒适性。

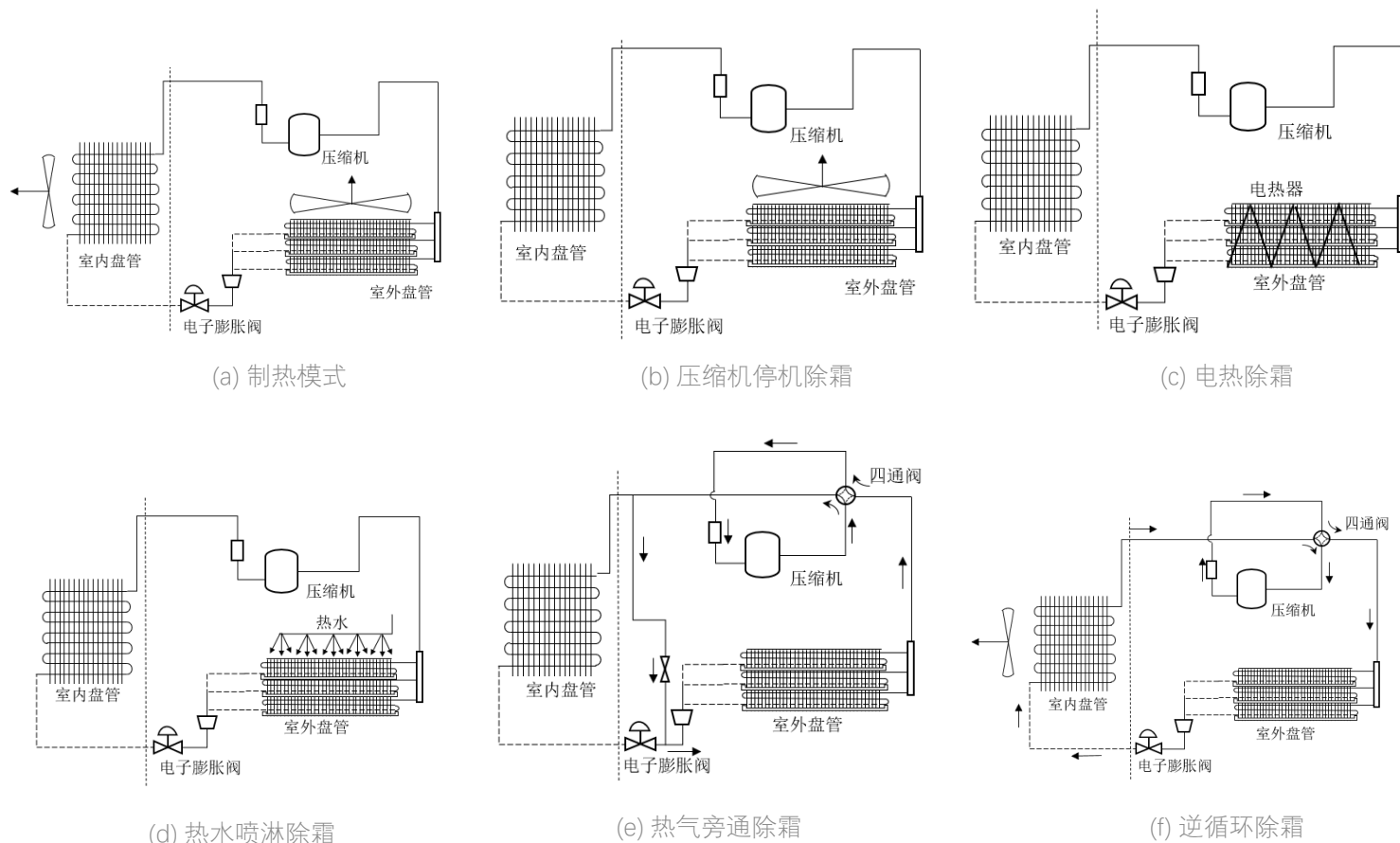


图 6 不同除霜方式的原理图^[13]

如前所述, 逆循环除霜和热气旁通除霜是应用最广泛、最基础的除霜方法。在此基础上, 还有一些发展改进逆循环除霜和热气旁通除霜的技术。

利用蓄热是一种典型的基于逆循环除霜发展的新型除霜方法。在这项技术中，相变材料在热泵制热阶段蓄存压缩机壳体的散热或多余制热，其作为热源用于除霜。这种方式可以有效缩短除霜时间，提升除霜过程中的室内舒适性，并降低压缩机湿压缩风险^[14, 15]。此外，在热气旁通除霜^[16]的基础上，还提出了显热除霜方法，这种方法将压缩机排出部分制冷剂先通过膨胀阀节流、再进入室外换热器除霜，适用于大容量空气源热泵机组。

- 除霜控制策略

除了除霜技术，除霜开始和终止的控制方法是影响空气源热泵除霜性能的另一个关键因素。“无霜除霜、有霜不除”将导致糟糕的除霜效果，这在实际产品中非常常见。

为了获得合适的除霜开始时间，现有研究提出了时间控制法、时间-温度控制法、时间-温差控制法^[17]和过热度控制法^[18]。时间控制法是目前应用最广泛的控制方法，它以固定的时间周期自动除霜。相比之下，时间-温度控制法则还需要测量室外换热器的表面温度，时间-温差控制法则需要得到室外空气与蒸发器表面的温差。然而，时间、温度并不是导致结霜的唯一因素，环境温度、相对湿度和部分负荷率也会影响制热性能和霜的形成。

更智能的除霜方法侧重于“按需除霜”，这些智能除霜启动方法包括：（1）利用全息干涉技术测量霜层的厚度^[19]；（2）使用红外温度计测量霜层表面温度^[20]；（3）测量制冷剂流动的稳定性^[21]；（4）使用光耦、光电系统或光纤传感器测量霜层厚度^[22]；（5）神经网络模拟结霜量^[23]；（6）分析翅片表面温度获得有效质量流量分数^[24]；（7）测量室外机风路压降^[25]或室外机风机电流^[26]。以上提到的这些技术还不成熟，仍需进一步测试和开发。

目前，除霜终止的控制方法主要基于室外换热器管翅表面的温度、制冷剂压降以及除霜时间。翅片管表面温度是最常用来判断的方法。当其表面温度达到设定的终止温度时，空气源热泵将退出除霜进入制热模式。设置的终止温度取决于室外工况和不同的要求^[22, 27]，对于室外机多回路的空气源热泵机组，检测最下面盘管出口表面的温度是最常用的方法。

3 制冷剂替代

全球变暖正促使研究人员、生产商和决策者寻找适用于制冷空调热泵系统的替代制冷剂。许多研究关注到空气源热泵的低GWP制冷剂替代。

目前，R22和R410A是空气源热泵系统最常用的制冷剂，其主要替代物为R290、R32、R744、R161以及一些HFC混合制冷剂^[28]。然而，除R744外，所有的中低GWP制冷剂都具有一定可燃性，考虑到充注量和其它特殊要求，其应用必须符合相关的安全标准或规定。

就纯工质替代物而言，R290的运行压力和容量与R22相近，且能效比高于R22，但由于其易燃性，主要适用于小充注量系统。已有生产商展出了使用R290的分体式空调器。R32的运行压力和容量接近R410A，且能效也与R410A相当，甚至略高于R410A。目前，R32适用于市场上各类空调设备，多个国家和地区将其用于分体机，如日本、中国、韩国和欧洲，也有生产商将R32用于其他类型的系统，如多联机。R744在供暖和供冷领域的应用受到限制，由于其在制冷模式下能效比，尤其是在外温较高时。然而，R744跨临界循环在高温热水方面具有显著优势。

除纯工质外，也有许多空气源热泵专用的混合制冷剂，其主要由两种或多种R32、R125、R134a、R152a、R161、R1234yf、R1234ze、R600a、R1270和R290等纯工质混合构成。某些混合工质已被命名为专有编号，如R444B、R446A和R447A等，而其他大量混合工质仍在持续开发。这些混合工质往往具有与R22或R410A相近的运行压力和容量，GWP在150~1000之间，可燃性多为1级（高GWP工质）或2L级（中GWP工质）。目前，大部分的混合工质还未被量产，相关的技术数据仍未公开。

空气源热泵应用

空气源热泵技术作为一种具有发展前景的供冷供暖技术，被广泛应用于世界范围的各种商业和住宅建筑中。在过去的几十年里，散热器一直被用作室内供暖的主要末端，导致供水温度较高。近年来，随着风机盘管和地板采暖的使用越来越多，供水温度下降，成为近年来空气源热泵应用增多的原因之一。此外，对制冷和供暖设备的需求不断增长，是导致空气源热泵应用增多的另一原因。

根据国际能源署的统计数据^[29]，2016年全球空调设备保有量（包括房间空调器、多联式空调系统、窗式空调器等）达到约15亿台（图7）。如图8（a）所示，在各类型的空调设备中，房间空调器和多联式空调系统占大多数。此外，中国 and 美国的保有量占世界一半以上（图8（b））；其他保有量超过2000万台的国家包括日本、韩国、巴西和印度。

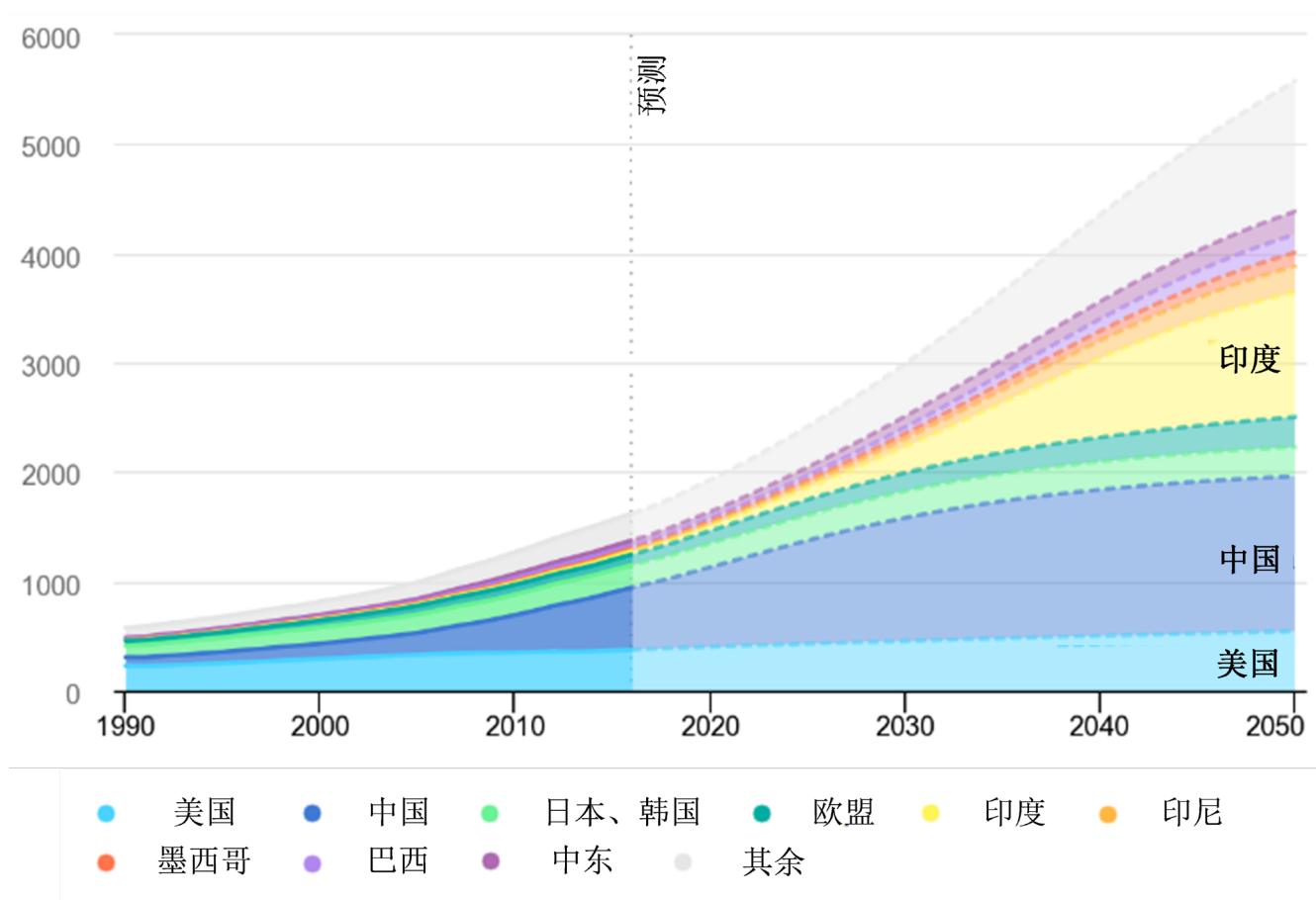
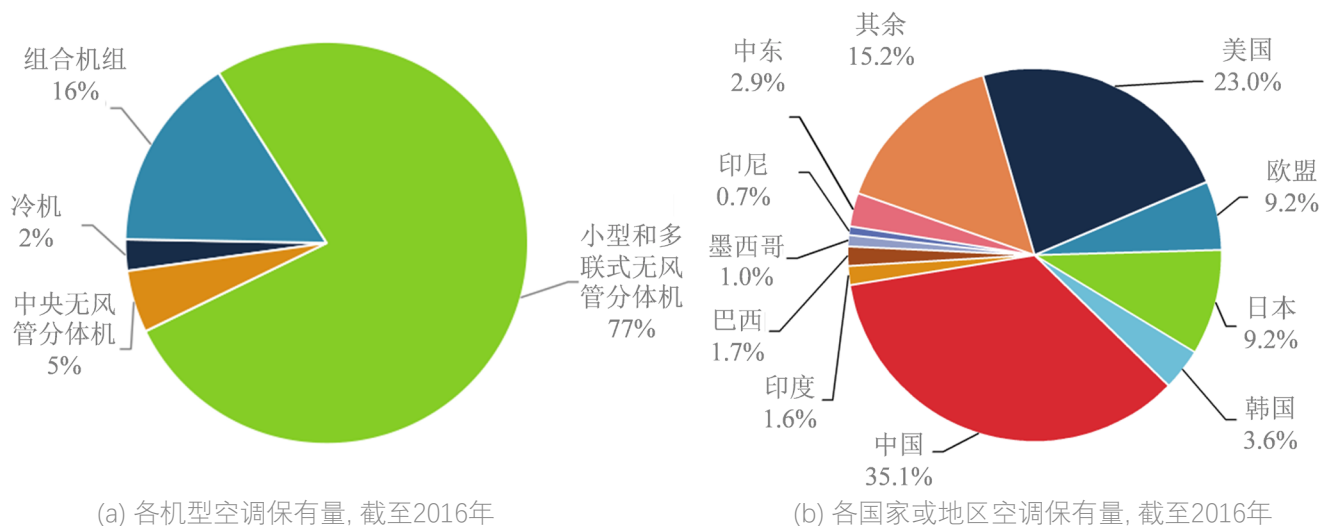
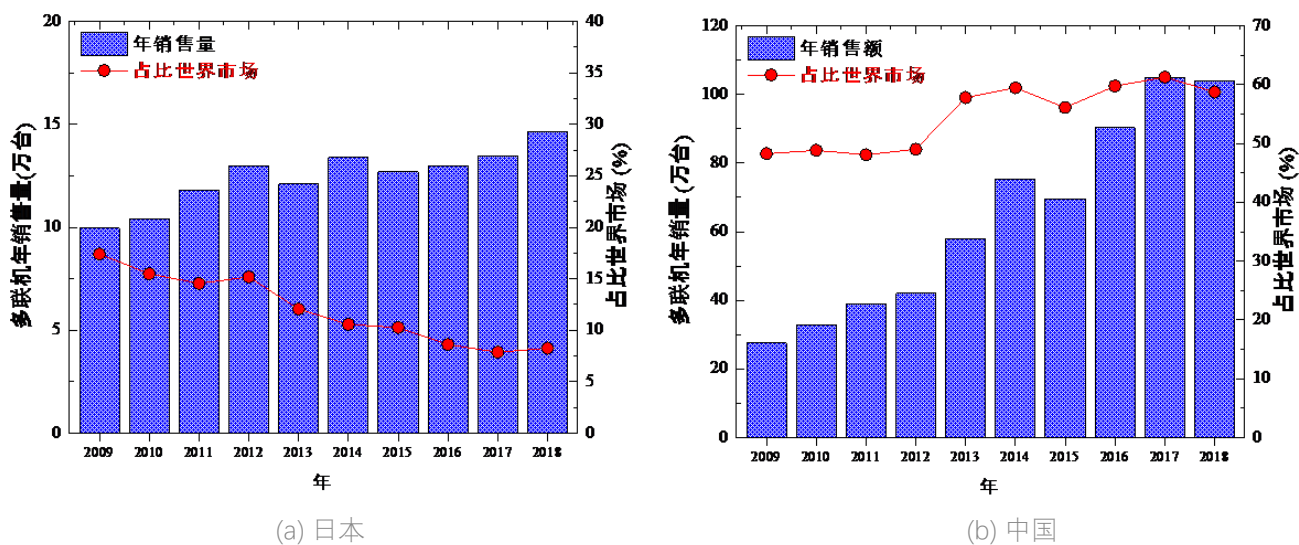


图 7 全球空调保有量, 1990-2050 （单位：百万台）^[29]

图 8 全球空调机型及国家/地区分布, 1990-2050^[29]

多联机系统自1982年在日本诞生以来, 在世界范围得到了迅速发展和广泛应用。多联机系统于1987年进入欧洲市场, 90年代末进入中国市场, 2000年后进入美国市场^[30]。2018年, 多联机产品在日本的年销售数量达14.6万台 (图9 (A))^[31]; 在中国, 多联机产品多年来保持着中央空调市场最高的份额, 大约一半的中大型商业建筑和三分之一的大型商业建筑采用多联机系统^[32]; 据统计, 2018年中国多联机产品销量约100万台, 占世界市场的58.8% (图9 (B))。并且, 中国市场的巨大的销量推动了多联机产品在欧美市场的发展。

为应对传统锅炉造成的空气污染, 低温空气源热泵在以北欧、中国北方和加拿大为例的世界各地寒冷地区得到了广泛的应用。近年来, 中国北方实施了“煤改电”计划^[33], 加速淘汰农村家庭供暖用煤, 推动了低温空气源热泵的蓬勃发展。在主要的替代方案中, 研发用于严寒地区的直膨式热泵近年来快速发展。此外, 新型供暖设备 (如热泵热风机^[34]) 在中国北方得到了广泛应用。2017年, 中国用于建筑供暖的空气源热泵产值达到56亿元人民币^[35]。准双级或双级压缩的低温热泵在中国北方得到了广泛的应用, 甚至被应用于环境温度低至 -35°C 的严寒地区。

图 9 日本、中国多联机系统市场销量^[29]

参考文献

- [1] International Energy Agency, 2019 Global status report for buildings and construction.
- [2] Wong A.K., James R.W., Capacity control of a refrigeration system using a variable speed" compressor. Building Services Engineering Research and Technology. 1988, vol. 9(2), pages 63-68.
- [3] Kilicarslan A., An experimental investigation of a different type vapor compression cascade refrigeration system. Applied Thermal Engineering. 2004, vol. 24, pages 2611-2626.
- [4] Zhao L., Zheng N., Deng S., A thermodynamic analysis of an auto-cascade heat pump cycle for heating application in cold regions. Energy and Buildings. 2014, vol. 82, pages 621-631.
- [5] Heo J., Jeong M.W., Kim Y. Effects of flash tank vapor injection on the heating performance of an inverter-driven heat pump for cold regions. International Journal of Refrigeration. 2010, vol. 33(4), pages 848-855.
- [6] Ma G., Chai Q., Jiang Y., Experimental investigation of air-source heat pump for cold regions. International Journal of Refrigeration. 2003, vol. 26 (1), pages 12-18.
- [7] Xu X., Hwang Y., Radermacher R., Refrigerant injection for heat pumping/air conditioning systems: Literature review and challenges discussions. International Journal of Refrigeration. 2011, vol. 34 (2), pages 402-415.
- [8] Wang Z., Wang F., Ma Z., et al., Numerical study on the operating performances of a novel frost-free air-source heat pump unit using three different types of refrigerant. Applied Thermal Engineering. 2017, vol. 112, pages 248-258.
- [9] Wang S., Liu Z., A new method for preventing heat pump from frosting. Renewable Energy. 2005, vol. 30, pages 753-761.
- [10] Ge T., Li Y., Wang R., et al., Experimental study on a two-stage rotary desiccant cooling system. International Journal of Refrigeration. 2009, vol. 32, pages 498-508.
- [11] Tudor V., Ohadi M., The effect of stationary and sweeping frequency AC electric fields on frost crystal removal on a cold plate. International Journal of Refrigeration. 2006, vol. 29, pages 669-677.
- [12] Joppolo C.M., Molinaroli L., De Antonellis S., et al., Experimental analysis of frost formation with the presence of an electric field on fin and tube evaporator. International Journal of Refrigeration. 2012, vol. 35, pages 468-474.
- [13] Song M., Deng S., Dang C., et al., Review on improvement for air source heat pump units during frosting and defrosting. Applied Energy. 2018, vol.11, pages 1150-1170.
- [14] Hu W., Jiang Y., Qu M., et al. An experimental study on the operating performance of a novel reverse-cycle hot gas defrosting method for air source heat pumps, Applied Thermal Engineering, 2011, vol. 31, pages 363-369.
- [15] Zhang L., Dong J., Jiang Y., et al., A novel defrosting method using heat energy dissipated by the compressor of an air source heat pump. Applied Energy. 2014, vol. 133, pages 101-111.
- [16] Liang C., Zhang X., Li X., et al., Control strategy and experimental study on a novel defrosting method for air-source heat pump. Applied Thermal Engineering. 2010, vol. 30, pages 892-899.
- [17] Buick T.R., McMullan J.T., Morgan R., et al., Ice detection in heat pumps and coolers. International Journal of Energy Research. 1978, vol. 2 (1), pages 85-98.
- [18] Kim J.H., Braun J.E., Groll E.A., A hybrid method for refrigerant flow balancing in multi-circuit evaporators: Upstream versus downstream flow control. International Journal of Refrigeration. 2009, vol 32, pages 1271-1282.
- [19] Hao Y., Iragorri J., Castro D., et al., Microscopic characterization of frost surface during liquid-ice phase change period. Proceedings of the 2002 ASME international mechanical engineering congress & exposition, New Orleans, LA. No. IMECE2002-32797 (2002).
- [20] Besant R.W., Rezkallah K.S., Mao Y., et al., Measurement of frost thickness using a laser beam and light meter. ASHRAE Transactions. 1990, vol 96 (1), pages 519-522.
- [21] Lawrence J.M.W., Evans J.A., Refrigerant flow instability as a means to predict the need for defrosting the evaporator in a retail display freezer cabinet. International Journal of Refrigeration. 2008, vol. 31, pages 107-112.
- [22] Xiao J., Wang W., Zhao Y., et al., An analysis of the feasibility and characteristics of photoelectric technique applied in defrost-initiating. International Journal of Refrigeration. 2009, vol 32 (6), pages 1350-1357.
- [23] Song M., Mao N., Deng S., et al., An experimental study on defrosting performance for an air source heat pump unit at different frosting evenness values with melted frost local drainage. Applied Thermal Engineering. 2016, vol. 99, pages 730-740.
- [24] Kim M.H., Lee K.S., Determination method of defrosting start-time based on temperature measurements. Applied Energy. 2015, vol. 146, pages 263-269.
- [25] Heinzen RA. How adaptive defrost maintains refrigeration system efficiency. Aust Refrig Air Cond Heat. 1988, vol.42, pages 16-16.
- [26] Muller ED. A new concept for defrosting refrigerationplants. Kalte. 1975, vol.28, pages 52-54.
- [27] Hu W. Study on the dynamic characteristic of a novel PCM based defrosting for air source heat pump. PhD Thesis. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010. (in Chinese)

- [28] Shen B., Shrestha S., Abdelaziz O., Model validations for low-global warming potential refrigerants in mini-split air-conditioning units, *Science and Technology for the Built Environment*. 2016, vol. 22, pages 1254-1262.
- [29] International Energy Agency. *The future of cooling: Opportunities for energy- efficient air conditioning* (2019).
- [30] Shi W., Cheng J., Zhao W., *Guidelines for Implementation of Multi-connected Air Conditioning Technology and Related Standards*. Standards Press of China. 2011. (in Chinese)
- [31] Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News. *VRF Special Issue* (2019).
- [32] Central Air Conditioning Market. *China Central Air Conditioning Market Summary Report*, (2018). (in Chinese)
- [33] Ministry of Environmental Protection. *Technical Guide for Comprehensive Control of Pollution Caused by Civil Coal Combustion (Trial)* (2016). (in Chinese)
- [34] Chinese Standard JB/T13573-2018. *Low ambient temperature air source heat pump air heaters*. MIIT, Beijing, China: Standards Press of China (2018). (in Chinese)
- [35] *Air Source Heat Pump Market Development Report in China* (2017). (in Chinese)

国际制冷学会建议

热泵技术对于降低建筑能耗、实现全球节能和低碳排放目标方面具有重要作用。空气源热泵由于直接从环境空气中吸取或排出热量，故能够成为应用最广泛的热泵产品，并有望成为实现绿色供暖目标的重要支撑。

空气源热泵尽管已历经几十年的发展和应用，其在全球范围的总装机容量仍然远远低于直接燃烧化石燃料和直接电加热供暖的容量。因此，还需要采取许多措施来推动空气源热泵在建筑中的使用。本文主要结论和建议如下：

- 2018年，建筑能源消耗占全球能源消耗的30%，建筑排放量占全球温室气体排放量的28%；其中，建筑物消耗的能源中约有40%用于供暖和制冷，空气源热泵在减少温室气体排放方面可以发挥重要作用。
- 空气源热泵技术是一种节能技术，可以在不同的环境温度下供暖及制冷。通常情况下，空气源热泵的供热效率是直接电加热供暖的3~4倍；通过研发变频压缩机、复叠式热泵、双级压缩和准双级压缩等技术，空气源热泵能够在-25° C到+50° C的不同气候条件下稳定运行。
- 应不断致力于研发适用于当地环境工况和经济状况的高效空气源热泵产品；应鼓励国际交流与合作。
- 关注名义性能背后的现场性能，对降低空气源热泵的实际运行能耗更为重要，研发现场自适应的智能控制技术势在必行。
- 应进一步努力提高决策者和公众对空气源热泵优势的认识。



IIFIR.ORG

in |  |  | 

iif-iir@iifir.org

177, boulevard Malesherbes - 75017 Paris - France
Tel. +33 (0)1 42 27 32 35 / Fax +33 (0)1 47 63 17 98

Copyright © 2021 IIR/IIF All rights reserved/Tous droits réservés