

空气源热泵空调技术应用现状及发展前景

王卓梁琦

(沈阳恒久安泰环保与节能科技有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要 目前我国制冷制热用电量占全社会用电总量的15%以上且年均增长速度接近20%,主要产品节能空间达30%~50%。2019年我国发布了《绿色高效制冷行动方案》,提出了绿色高效制冷产品市场占有率提高40%且能效提升30%以上的目标,对热泵空调设备提出了更高的要求。2020年提出的“碳达峰、碳中和”目标,定调了国家绿色低碳的高质量发展方向,热泵空调行业迎来了新的机遇与挑战。

关键词 双碳 空气源热泵空调 循环构建 除霜 节能减排

中图分类号: TU831

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)05-0052-03

2020年9月22日,国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,争取2060年前实现碳中和”。由此,“碳达峰、碳中和”“双碳”等关键词在学术界、工程界引起了广泛关注。作为建筑能源应用领域的践行者,需要了解建筑行业、暖通空调行业在全国总碳排放中的占比情况,应在所在领域尽可能地践行建筑低碳、节能的目标,为“碳达峰、碳中和”贡献力量。

1 空气源热泵技术的原理

空气源热泵属于先进性较高的新型能源技术,与太阳能技术及地能技术有着较多的相似之处,两种技术均对周围环境中的免费能源进行合理利用,且均具有非常好的节能环保效果。空气源热泵系统的结构主要由压缩装置、蒸发装置、冷凝装置及节流装置等结构组成。空气源热泵根据容量可划分为小型机组、中型机组和大型机组,根据机组的组合方式则可分为整体式及模块化等类型。空气源热泵的工作原理主要是利用了卡诺循环和逆卡诺循环,即由定温过程和绝热过程组合而成的可逆的热力循环,其中,逆卡诺循环主要是利用循环过程中的放热特性实现热泵需求,是通过技术手段使低位热源向高位热源流动的能源利用过程。空气源热泵在运行过程中,主要是利用蒸发器吸取周围环境中的热能对传热工质进行蒸发处理,然后通过压缩装置增加传热工质的温度及压力,并在经过冷凝装置时利用传热工质的热量对热泵水箱内的水进行加热,从而达到空气源热泵的加热目的,而传热工质在完成热量传递任务后经由阀门返回蒸发装置处,

并开始下一循环的加压、升温和传热工作^[1]。

2 空气源热泵空调的研究现状

2.1 循环构建

空气源热泵空调兼具冬季热泵供暖和夏季空调制冷的功能,冬季供暖时环境温度可以从0℃以上变化到-15℃甚至更低,要应对极端恶劣天气,热泵需要有良好的低温运行性能。为提高空气源热泵空调的低温适应性和经济性,学者们对单级压缩热泵循环进行改进,提出了准二级压缩热泵循环、双级压缩热泵循环、复叠式热泵循环、多源耦合热泵循环及空气源热泵空调-蓄热/冷系统等。

2.1.1 准二级压缩热泵循环

准二级压缩循环的核心是中间补气技术,以补气压缩机为基础,通过中间压力吸气口吸入一部分中间压力的制冷剂,与部分已压缩的制冷剂混合再压缩,增加冷凝器中制冷剂的流量,提升制热能力。根据经济器类型可将准二级压缩热泵循环分为过冷器循环和闪发器循环。由于闪发器循环的中间补气状态相较过冷器循环更接近饱和和气态,能够进一步降低压缩机的排气温度,因此可获得更好的循环性能系数(COP)。

某学者认为中间补气技术可使热泵系统制热量增加30%以上,COP提高10%以上。某学者通过试验发现闪蒸器系统在-15~-10℃的低温环境下仍有较高的制热能力和供暖效率,能够满足寒冷地区冬季的制热需求,而且随着室外温度的降低,准二级压缩系统的优势愈发明显。Heo等对一种带有闪蒸罐的准二级压缩空气源热泵空调进行研究,研究结果表明中间补气量越多,热泵的制热能力越好,但闪蒸罐的工作效率会随之降低。某学者们发现中间补气技术能够提高系统

的 COP,但随着蒸发温度的提高,补气效果会减弱,当蒸发温度高于 -10°C 时,中间补气的效果可忽略不计。某学者将带过冷器的准二级压缩热泵与单级热泵性能进行了对比,对比结果表明当蒸发温度从 -5°C 降低至 -20°C 时,准二级热泵的制热量增加 $15\%\sim 30\%$,COP提高 $9\%\sim 19\%$,耗电仅上升约 10% 。某学者通过测试总结出中间补气的准双级压缩热泵是优良的低温热泵,其实测性能良好、运行可靠。因此,准二级热泵适用于低蒸发温度、大压缩比的场合,可在北方严寒地区室外温度低于 -25°C 的环境下运行,但不能根本解决压缩机压比过大、排气温度高等问题,且随着蒸发温度的上升,准二级压缩循环的优势逐渐变小,目前研究范围局限在低温供暖。

2.1.2 双级压缩热泵循环

双级压缩热泵循环将压缩过程分为两段:低压压缩机先将制冷剂压缩至中间压力,经过中间冷却后再进入高压压缩机将制冷剂压缩至冷凝压力,最后从压缩机排气口排出。双级压缩热泵循环可以分为一级节流中间完全冷却、一级节流中间不完全冷却、两级节流中间完全冷却和两级节流中间不完全冷却。

某学者对特定工况下四种双级压缩循环分别进行了试验分析,分析结果表明:尽管中间完全冷却能够获得更低的排气温度,但补气量的增加会使低压压缩机的循环量减少,导致整个系统的 COP 降低;同时相较于一级节流,两级节流能够减少制冷剂在节流过程中的不可逆损失。两级节流中间不完全冷却可以作为一种比较理想的循环方式应用在低温环境下的空气源热泵空调系统中,其 COP 相对较好。

虽然双级压缩循环能够降低各级压缩的压比以及压缩机排气温度,具有更优的 COP,但也存在高/低压级压缩机回油不均、最佳中间压力难以确定和温跨范围受到限制等问题。

2.2 除霜

2.2.1 超声波振动抑霜

近年来,超声波由于其具有频率高、波长短、能量集中、传播方向强等众多优点,开始受到学者的关注,制冷行业主要利用其振动效应进行抑霜/除霜研究。李栋等在铝表面施加频率为 20kHz 的超声波,与无超声波作用的冷表面相比,该冷表面上的液滴由于超声波作用受到剧烈扰动产生变形、铺展,当液膜厚度减小到一定值时,液滴瞬间被雾化,从而除去冷表面上的液滴,避免结霜。在前期研究的基础上,文献研究了不同超声功率对冷表面冻结液滴脱落效果的影响,发

现超声功率在 $100\sim 1000\text{W}$ 内时,冷表面去除冻结液滴的概率逐渐增大,而且随着冻结液滴尺寸的增大,超声功率去除冻结液滴的效果更加显著。

2.2.2 改变翅片表面特性

目前,通过改变翅片表面特性以延缓结霜的研究较多,主要分为亲水性涂层与疏水性表面的研究。亲水性表面较早应用于抑霜研究,勾昱君等在翅片表面涂上自行研制的亲水性涂料,进行了不同条件下的抑霜实验研究,与其他涂上抑霜亲水涂料的翅片表面进行比较,结果表明,新型亲水涂料的抑霜效果有明显提升;翟玉玲等研制的新型亲水抑霜涂层在低温高湿的条件下,可以有效延长霜层出现的时间,涂上该涂层的表面与未加涂层相同面积的表面相比,霜量减少达 40% 以上。亲水性涂层能有效抑霜,但其抑霜能力会随着霜层增厚和使用时间增加而明显下降,在恶劣工况下,抑霜效果会大打折扣,因此目前较多学者把重心放在疏水与超疏水翅片的研究上。汪峰等制备了具有微纳复合结构的超疏水翅片,结霜初期,液滴在该翅片表面凝结呈 Cassie 状态,分布稀疏,比较亲水翅片与该种超疏水翅片表面霜层生长情况,超疏水翅片表面比亲水翅片表面的霜层生长速度慢,在超疏水翅片表面,霜层与翅片实际接触面积小,被霜层覆盖后,超疏水翅片仍能抑制结霜层的生长^[2]。

Liu 等制作了一种类似荷叶表面结构的超疏水表面,接触角高达 162° ,该表面比普通表面霜晶出现的时间延迟 55min 以上。Shen 等在四个具有不同微观特征的表面上观察了结霜和除霜过程,与未处理的疏水表面相比,超疏水微观结构表面具有优异的抗结霜性能。赵玲倩等利用控制表面氧化法制备超疏水表面,自然对流条件下,在超疏水性表面和竖直放置的裸铜表面上进行结霜实验,在有液核成霜时,超疏水表面结霜明显减少,而无液核成霜时,超疏水表面失去抑霜功能,且霜晶生长密度更大。鲁祥友等制备的超疏水铝表面,结霜初期,由于超疏水表面接触角较大,生成相同半径液滴的能量势垒较大,因此生成冷凝水滴的速度较慢,而由于冷凝水滴直径较小,使得整个结霜过程延后,在冷面温度为 -5°C ,进行实验 10min 时,超疏水表面的霜层高度只有普通铝表面的 35% ,但当冷壁面温度持续降低,相变驱动能近似呈线性增长,使得水蒸气转化为冷凝水珠的时间减少,导致超疏水表面的抑霜性能有所削弱。

2.2.3 改变空气参数

空气温度、湿度是影响结霜的主要参数。升高湿

空气的温度能抑制结霜, Kwak 等在室外蒸发器进风口处前增加电加热器对空气进行加热, 与常规热泵相比, 其供热能力提高了 38.0%, COP 提高了 57.0%, 但使用电加热器进行预热空气存在耗能过大的问题, 难以推广使用。然而, Huang 等设计了一种集热器, 该集热器将压缩机壳体散发的热量进行回收, 用于加热蒸发器入口的空气, 实验表明, 此方法能显著地抑霜和改善空气源热泵系统的整体性能, 该方法不用增加额外的预热空气能耗, 具有较好的节能效果。减小室外蒸发器进口处空气的湿度可以抑霜, 主要思想是使用固体或液体干燥剂、膜式除湿机、电化学法等手段对空气中的水蒸气进行吸收或吸附。Zhang 等提出一种集成固体干燥剂的无霜空气源热泵热水器系统, 该系统在空气进入蒸发器前, 通过对空气进行除湿来延缓结霜。Wang 等在蒸发器空气入口处放置固体干燥剂, 空气经过固体干燥剂后, 既降低了含湿量又提高了温度, 使环境参数低于结霜条件来实现热泵机组的无霜运行。但当室外空气温度长时间较低、相对湿度过大时, 干燥剂再生所需能耗将增大, 这将导致系统能耗升高、性能降低。因此, 郝鹏飞等在传统固体除湿系统的基础上, 增加蓄热装置回收冷凝余热, 干燥剂吸收蓄热材料释放的热量进行再生, 保证系统的持续运行, 系统在温度为 0℃、相对湿度为 85% 的工况下, 可以无霜运行 34min, 有效地解决了干燥剂再生能耗过高问题。但该系统较复杂、设备体积大、不易与固体干燥剂除湿系统相比, 液体除湿系统具有溶液再生温度要求更低, 再生能源可由低品位热源提供等特点。Kinsara 等提出了一种使用 CaCl₂ 溶液作为液体干燥剂的系统对换热器入口空气进行除湿, 该系统能较好地抑霜, 结霜过程显著延缓。Suwei 等采用液-气膜除湿器对进入蒸发器的空气进行除湿, 防止蒸发器表面结霜, 然后通过液-气膜再生器对稀释溶液进行再生, 从而达到持续抑霜的效果^[3]。

3 空调冷热源方案优化

根据学校建筑空调系统的使用特点, 结合校方的意见, 本项目地上部分(均为各教学功能用房)建筑空调系统均采用变制冷剂流量多联式空调(热泵)机组, 室外机均设置于屋顶。地下功能区域不适宜采用多联式空调(热泵)机组, 原因如下:

1. 为尽可能减小制冷剂管长度, 需要多处分散设置室外机, 且占用屋顶面积过大, 导致屋顶绿化面积减少。

2. 制冷剂管长度较长会导致多联式空调(热泵)机组性能衰减。

3. 屋顶多处安装室外机与其他设施如太阳能系统等存在冲突。

地下建筑面积 5.6 万 m², 需要设置空调的功能区建筑面积近 3 万 m²。另外, 根据学校近两年已建好并投入使用的综合教学楼和第一教学楼使用情况, 地下室区域在过渡季出现了一定的霉味, 每年黄梅季尤其明显。因此, 本次设计地下室空调系统需要具备过渡季除湿功能, 特别是满足黄梅季除湿和再热需求, 故整个地下室范围空调水系统采用四管制。

4 空气源热泵空调的未来发展趋势

为提高空气源热泵空调的性能, 可通过优化系统部件、优化系统、改进除霜方法、采用新工质等实现。通过采用高效的压缩机和换热技术, 拓宽系统运行范围, 在大温差工况下保持系统的稳定性和可靠性; 通过深入研究热泵系统理论机理, 优化设计空气源热泵空调系统, 开发新型空气源热泵空调系统等, 使制热量、COP 等得到提升; 通过深入研究结霜机理、提出新的除霜方法、优化除霜控制等措施来改善低温运行性能; 通过研究制冷剂的热物性、研发绿色高效的新型制冷剂来促进空气源热泵空调技术的发展。

5 结语

通过对空调水系统的改进, 实现了空气源热泵低温制热, 在保证使用的情况下, 确保了系统的高效运行, 这是一种有效实现节能减排的方法, 对于类似工程具有很好的参考价值。

参考文献:

- [1] 张朝晖, 王若楠, 刘慧成, 等. 新冠疫情下制冷空调行业应对挑战的思考 [J]. 制冷与空调, 2021, 21(01): 1-6, 19.
- [2] 张伟涛, 冯蛟杰. 关于新能源概念界定的探讨 [J]. 商品与质量, 2012(S5): 308.
- [3] 刘旭. 多联机与空气源热泵空调系统舒适性及经济性 [J]. 煤气与热力, 2020, 40(06): 12-14, 42.