

Research on energy saving technology of terminal terminal

Jian Wu

Beijing Capital Airport Power Energy Co., Ltd., Beijing, 101300, China

Abstract

As a large public building with dense personnel and long operation time, the energy consumption of the air conditioning system accounts for a large proportion of the overall building energy consumption. With the increasing energy shortage and carbon emission constraints, the energy saving optimization of air conditioning terminal device has become the core issue of HVAC design and operation management of the terminal building. In this paper, the study, analyze the present situation and the existing problems, and focus on efficient heat transfer technology, waste heat recovery, load adaptive adjustment and intelligent control strategy of high efficiency and energy saving scheme, to improve the overall operation efficiency of the terminal air conditioning system, reduce energy consumption.

Keywords

terminal building; air conditioning terminal unit; energy saving; technology

航站楼空调末端装置节能技术研究

吴剑

北京首都机场动力能源有限公司, 中国·北京 101300

摘要

航站楼作为人员密集、运行时间长的大型公共建筑,其空调系统能耗占整体建筑能耗的比重较大。随着能源紧缺与碳排放约束日益强化,空调末端装置的节能优化已成为航站楼暖通设计与运行管理的核心议题。本文针对航站楼空调末端装置的节能技术展开研究,分析现有技术应用的现状与存在的问题,并聚焦于高效换热技术、余热回收、负荷自适应调节以及智能控制策略高效节能方案的制定,以提升航站楼空调系统的整体运行效率,降低能源的消耗。

关键词

航站楼; 空调末端装置; 节能; 技术

1 引言

随着航空运输业的快速发展,航站楼建筑规模不断扩大,其空调系统的能耗问题日益凸显。传统空调末端装置普遍存在能耗高、调节能力不足、运行效率低等问题,因此,研究并推广节能技术对于降低航站楼的运营成本及环境影响具有重要意义。

2 航站楼空调末端装置现状及问题

2.1 航站楼空调末端装置的主要类型

航站楼空调末端装置依据其功能特性、送风方式及适用场景的不同,可划分为多种类型,包括风机盘管、诱导器、空气分布器、辐射冷暖面板等。第一,风机盘管广泛适用于航站楼各类区域,依靠盘管换热实现空气调节。送风形式可分为明装、暗装及卡式等类型,具体选型受空间布局及装修要求影响。送回风方式可采用顶送顶回、侧送下回或底送上

回等模式,以适应不同建筑结构。第二,诱导器系统基于射流诱导原理,通过高速气流驱动室内空气流动,实现冷热量传递。通常其包括了定风量及变风量两种类型,较为适合应用在吊顶空间偏小或是部分具有巨大差异负荷的区域。为了确保风流组织合理,在布设风口时要求能够流场模拟优化^[1]。第三,空气分布器主要包括承担气流引导和扩散作用的旋流风口、条缝口和散流器三种形式。其中旋流封口动量比极强,所以适合应用在空间较大的侧送风区域。条缝口水平送风距离较远,有利于气流的均匀性;散流器则使用在具有稳定送风需求的区域,保证舒适程度。第四,辐射冷暖面板主要是利用辐射换热的原理来对室内温度与湿度进行调整,减少能量消耗。在设置过程中往往是采取天花板、墙面或地面等形式,同时与建筑围护结构相结合来优化与匹配其热性能,可以将其应用在低气流扰动需求场景,提高冷热的均匀程度。

2.2 航站楼空调末端装置存在的问题

2.2.1 能耗较高

航站楼内部人员流动性强,不同时段旅客密度波动显著,导致冷负荷与热负荷变化复杂。传统空调末端装置在响

【作者简介】吴剑(1973-),男,中国北京人,本科,高级技师,从事暖通空调研究。

应负荷变化方面存在局限性，多采用恒风量或固定运行参数模式，调节能力不足，易出现部分区域供冷或供热过度的情况。部分风机盘管和诱导器长期维持高功率运行，即使在人流稀疏或热湿负荷降低的情况下，仍维持高风量输出，增加能源消耗。此外，变风量末端装置的调节策略若未与室内负荷动态特性匹配，可能导致风量调节滞后，使得冷热量供应与实际需求偏差较大，降低系统整体运行效率。辐射冷暖面板在低温冷辐射工况下易受凝露影响，部分场景下需额外配置辅助除湿系统，增加额外能耗。

2.2.2 舒适性不足

空调末端装置的送风模式、气流组织方式及局部温湿度控制直接影响室内热舒适环境。部分区域风机盘管回风短路问题突出，导致冷气流未充分扩散即被回收，造成局部温度梯度异常，旅客可能在短时间内经历冷热骤变。旋流风口与条缝风口若未根据空间高度与布局优化送风角度，可能形成高速气流直吹人体的问题，引发热不适。部分航站楼区域采用定风量诱导器，诱导效应无法根据实际负荷变化灵活调节，可能导致局部冷热不均，边界区域冷热量传递受限。此外，辐射冷暖系统对建筑围护结构热工性能依赖较高，若热惯性设计不合理，可能导致响应滞后，在人员密集区域难以及时适应负荷突变^[2]。

2.2.3 运行维护成本高

航站楼空调末端装置长期高频运行，设备零部件磨损加剧，尤其是风机盘管风机、风阀驱动装置及诱导器喷射部件，易出现风量衰减、噪声增加等问题。风机盘管冷凝水系统维护难度较大，若排水管路未定期清理，易产生堵塞或微生物滋生，影响换热效率并增加清洗频次。变风量末端装置的流量传感器与风阀执行机构需长期保持精准调节功能，但由于粉尘积聚、电机疲劳等因素，可能造成风量反馈偏差，影响控制效果。部分航站楼采用集中控制策略，但终端设备参数漂移后，若无有效的自校准机制，整体系统调节性能下降，导致运行稳定性降低。此外，大型航站楼采用的辐射冷暖系统涉及管路维护，运行周期内可能出现结垢、气塞等问题，需定期检修，增加维护成本。

3 航站楼空调末端装置节能技术

3.1 变风量（VAV）系统优化

变风量（VAV）系统依托风量调节策略适应航站楼动态负荷变化，通过风阀开度调整实现送风量精准匹配。系统优化主要涵盖负荷预测算法改进、控制策略优化、末端设备性能提升及风道阻力调节等方面。第一，负荷预测优化可基于旅客流量、外界气象参数及区域热湿负荷变化特征，构建时间序列模型或基于机器学习算法的预测框架，提高风量调节前瞻性。实时监控区域温湿度、CO₂浓度及人员密度，结合变风量箱（VAV Box）传感器反馈数据，动态修正风量设定值，减少调节滞后问题。第二，控制策略优化方面，应用

静压重设（SPR）技术，通过检测最不利端风阀开度动态调整主风管静压设定值，降低风机能耗。采用需求导向通风（DCV）策略，依据区域人员活动水平调整最小送风量限值，确保不同负荷条件下风量供给合理。风量设定值可结合气流组织优化，以减少过量送风对舒适性及能效的影响^[3]。第三，末端设备性能优化涉及风阀调节精度提升、噪声控制及动态响应速度增强。采用高精度流量传感器，提高风量反馈数据的准确性，减少风量偏差。优化风阀执行机构控制逻辑，缩短响应时间，提高低风量运行稳定性，降低小负荷工况下的能耗波动。第四，风道阻力调节通过优化风管设计及末端风口布置，减少局部压力损失，提高送风效率。基于计算流体力学（CFD）模拟分析风道内流场分布，优化风口布置与送风模式，降低非均匀送风导致的局部高风速或回风短路问题。在高天花区域，采用可变射流风口，提升变风量系统对送风路径的适应性，提高气流组织效果。

3.2 辐射冷暖系统应用

辐射冷暖系统依托低温辐射换热原理，以建筑围护结构或室内表面为换热介质，通过远红外热传递调节空间热环境。航站楼应用该系统需综合考虑换热效率、结露控制、冷热源配置及动态响应特性，确保运行稳定性与节能效果。

首先，优化系统换热效率通常包括辐射面材料、表面处理技术和温度梯度控制等方面。提高换热能力需要采用导热系数较高的材料，并与涂层相结合，使辐射率得到优化，能量利用效率得到提高。布置天花板辐射时，应当将建筑热负荷的分布特点考虑在内，对供水温度梯度和面板间的距离进行调整，提高局部热均匀程度。其次，在结露控制上，需要系统操作匹配精准除湿策略，避免表面凝露在冷辐射工况下对使用效果造成影响。优化冷水供应和回水温度设置，结合航站楼内湿度的动态变化，使潮湿的空气露点温度与辐射面的温差有所降低。与独立的湿度控制系统相配合，通过变风量除湿模式或显热交换技术，对室内的相对湿度等级进行精确的调节。再者，要求能够根据航站楼昼夜负荷波动特性来合理配置冷热源，使能源供给的效率得到提高。通过地源热泵或冰蓄冷系统等低品位冷源来提高制冷量的效率。采用变流调节方式的冷热水循环系统，实时根据区域热负荷进行流量调节，降低水泵能耗。在冷水输送过程中，为保证末端换热的稳定性，可通过优化管道保温措施来减少输送损失。此外，在动态响应优化方面，可结合智能控制技术，根据负荷复测模型以及室内湿度与温度传感器数据情况来自适应调节供水的流量以及温度。构建分区控制策略，优化不同功能区域辐射供冷、采暖参数，结合航站楼不同时段人流分布特点，提高系统负荷适应性，减少非必需能耗。

3.3 置换通风系统优化

置换通风系统依靠低速送风模式，利用空气密度差异形成分层气流组织，提高通风换热效率。优化该系统需从送风温度设定、气流组织调控、末端设备配置及能耗管理等方

面入手,以提升系统适应性及节能水平。

第一,要求根据航站楼室内人流密度、活动范围以及热负荷特性设置送风温度,保证有充足的气流上升动力。在布置低档送风口时,为了避免过冷气流滞留而造成过冷流,需要对送风温差进行控制。第二,优化气流组织包括了送风气流扩散半径、上升速率和温度梯度的控制。送风口设计要做到室内空间布局的匹配,这样才能保证目标的面积被空气覆盖得均匀。对于空间较大的大厅区域,能够采取送风模式组合,将低速置换通风与上部诱导气流相融合来降低空气短路的发生概率。此外,配合计算流体力学(CFD),对送风角度和流速参数进行优化,减少局部回流和温度分层现象,提高热交换均匀性。第三,末端装置配置需要与不同功能区域的候机区、高密度人群的空气质量和舒适性要求相匹配。对于人流密集程度较高的区域以及候机区,应用高感应比置换送风口,让局部气流得以优化。同时要根据人员活动区域来设置风口,让新风得以大范围覆盖,避免出现气流死角。

3.4 余热回收与智能控制技术

航站楼空调末端装置的能耗优化需结合余热回收与智能控制技术,以提高能源利用率并降低运行成本。余热回收主要涉及冷凝热回收、排风热回收以及冷热联供系统优化,旨在最大限度回收低品位热能并加以再利用。智能控制技术则涵盖基于人工智能的负荷预测、分区动态调节及自适应优化控制,以实现空调末端装置的精准调节和高效运行。

首先,冷凝热回收系统通过板式换热器、热管换热器等高效换热设备,利用冷水机组的冷凝器或热泵系统的冷凝器进行热量排放,将废热回收到低温再热系统或供水系统

中,从而达到整体热效率的提高。排风余热回收装置主要是利用转轮热回收、热管换热及双级热回收系统等回收显热与潜热技术来将新风预处理负荷减小,让空调系统热湿处理能力得到增强。其次,以数据驱动优化算法为基础,智能控制技术能够预测并实时调节系统负荷。以物联网技术为依托的传感网络能够将航站楼中每一区域的湿度、温度、CO₂浓度及负荷变化数据进行动态采集,联合机器学习算法进行非线性回归分析,来对冷热负荷的变化特点与趋势准确预测出来。另外,余热回收和智能控制在航站楼应用场景中相互配合,能够减少能源损失,使空调末端的运行效率得到优化。高效换热技术结合智能调控策略,通过数据反馈机制对空调系统运行参数进行调整,降低换热器的结垢影响,优化循环水温度梯度,保证能耗的最优分配。

4 结论

总之,航站楼空调末端装置的节能技术对降低航站楼整体能耗、提高运行效率具有重要意义。通过优化VAV系统、推广辐射冷暖系统、改进置换通风技术以及应用余热回收与智能控制技术,可以有效降低航站楼的空调能耗,提高舒适度和经济效益。

参考文献

- [1] 许杰,郭勇,谭文兵,等.湿热地区航站楼空调末端设计选型与可视化运行数据的应用实践[J].制冷,2024,43(5):1-5.
- [2] 杨鑫,张世栋,周拓,等.北京大兴国际机场航站楼空调水系统水力平衡调适与节能验证[J].暖通空调,2023,53(8):40-45.
- [3] 王奕程,池文祥.机场航站楼空调输配管网水力平衡及控制集成系统应用研究[J].机电信息,2024(17):42-46.