

暖通空调系统能效评估与优化策略研究

杨亮亮

新疆北方建设集团有限公司 新疆奎屯 833200

摘要: 暖通空调系统 (HVAC) 在现代建筑中扮演着至关重要的角色, 它不仅关乎室内环境的舒适度, 而且与能源消耗密切相关。随着全球能源危机的加剧以及对环境保护的重视, 提高暖通空调系统的能效成为了建筑行业 and 能源领域的研究热点。在分析关键因素的基础上, 探讨多种能效优化技术方案。先进控制技术如变风量 (VAV) 系统、变制冷剂流量 (VRF) 系统的应用, 能够根据实际需求动态调整空调的风量和制冷剂流量, 提高系统的运行效率。新型材料的使用, 如高效的保温材料可以减少热量的传递, 降低空调的负荷。智能化管理系统能够实时监测和调控暖通空调系统的运行参数, 实现精细化管理。本研究旨在全面评估影响暖通空调系统能效的关键因素, 包括设备性能、运行环境和用户行为等方面。深入挖掘暖通空调系统的节能潜力, 从技术改造方向、管理优化措施以及经济性考量等方面提出建议。

关键词: 暖通空调; 能效评估; 优化措施

引言

近年来, 全球能源危机日益严峻, 能源短缺和环境污染问题成为制约社会可持续发展的重要因素。在这种背景下, 提高暖通空调系统的能效成为节能减排的关键环节。提高能效可以降低能源消耗, 减少对传统能源如煤炭、石油等的依赖, 从而缓解能源供应压力。

一、影响暖通空调系统能效的关键因素

(一) 设备性能影响

暖通空调系统中的设备性能对能效有着至关重要的影响。压缩机作为核心部件, 其效率直接决定了整个系统的能耗水平。例如, 传统的定频压缩机在运行过程中, 无论制冷或制热需求如何, 其转速基本保持不变。这就导致在部分负荷运行时, 能源浪费现象较为严重。

换热器的性能同样不可忽视。高效的换热器能够更有效地实现热量的交换, 减少能量在传递过程中的损失。例如, 一些采用新型翅片结构和高导热材料的换热器, 相比传统换热器, 其传热系数可提高 20%~50%。这意味着在相同的制冷或制热需求下, 采用高效换热器的空调系统能够以更低的能耗完成工作。

风机和水泵也是影响能效的重要设备。风机的风量和风压特性, 以及水泵的流量和扬程特性, 都需要与整个系统相匹配。如果风机或水泵选型过大, 会导致电机长期在低效率区间运行, 增加不必要的能耗。

(二) 运行环境作用

暖通空调系统的运行环境对其能效有着显著的影响。室外环境温度是一个关键因素。在夏季, 当室外温度过高时, 空调系统的冷凝温度会随之升高, 导致压缩机的压缩比增大, 能耗增加。

室内环境的热负荷特性也会影响系统能效。不同功能的房间, 如办公室、商场、住宅等, 其热负荷特性差异较大。空气湿度也是影响运行环境能效的因素之一。在高湿度环境下, 空调系统需要先对空气进行除湿处理, 这会增加额外的能耗。特别是在南方的梅雨季节, 空气湿度较大, 暖通空调系统的除湿能耗可能占总能耗的 20%~30%。

(三) 用户行为分析

用户行为对暖通空调系统的能效有着不可忽视的影响。温度设定习惯是一个重要方面。许多用户为了追求舒适, 往往将空调温度设定得过低或过高。例如, 在夏季将空调温度设定在 18℃, 远远低于人体舒适温度范围 (24℃~26℃)。这样的低温设定会使空调系统长时间处于高负荷运行状态, 大大增加能耗。

空调的使用时长也是影响能效的因素。一些用户在离开房间时忘记关闭空调, 导致空调长时间无效运行。用户对空调系统功能的利用程度也会影响能效。例如, 许多空调系统具备节能模式、定时功能、分区控制功能等, 但很多用户并未充分利用这些功能。如果用户能够合理利用这些功能, 如在夜间使用定时功能, 使空

调在入睡后自动调整温度或关闭，可有效提高空调系统的能效。

二、暖通空调系统能效评估优化策略分析

（一）先进控制技术应用

在暖通空调系统中，先进控制技术对于能效优化具有关键意义。变风量（VAV）系统是一种典型的应用先进控制技术提升能效的实例。传统的定风量系统在运行过程中，无论实际需求如何，都按照固定的风量进行送风。而VAV系统则可以根据室内的实际负荷需求，动态地调整送风量。

另外，变频调速技术也是先进控制在暖通空调系统中的重要应用。空调系统中的水泵和风机是主要的能耗设备。以离心式水泵为例，其流量与转速成正比，扬程与转速的平方成正比，功率与转速的立方成正比。通过变频调速技术，根据实际的水流量需求来调节水泵的转速，可以大幅降低水泵的能耗。在一些大型商业建筑中，应用变频调速技术的空调水泵，能耗可降低40%左右。这一技术通过精确控制设备的运行参数，使得设备在满足需求的同时以最低的能耗运行。

还有模型预测控制（MPC）技术也逐渐应用于暖通空调系统。MPC通过建立系统的动态模型，预测未来一段时间内系统的运行状态和负荷需求，从而提前制定最优的控制策略。例如在数据中心的空调系统中，由于服务器的运行状态和发热量有一定的规律性，MPC可以根据服务器的历史数据和当前运行情况，预测未来几个小时内的发热量，然后调整空调的制冷量，确保服务器运行在合适的温度范围内，同时最大限度地减少能源消耗。

（二）新型材料使用

新型材料在暖通空调系统中的使用为能效优化提供了新的途径。高效的保温材料对于减少热量传递有着重要作用。例如，气凝胶是一种新型的超轻、高效保温材料，其导热系数极低，仅为传统保温材料的几分之一。在暖通空调的管道系统中使用气凝胶保温材料，可以大大减少管道与外界环境之间的热量交换。在寒冷地区的供热管道上使用气凝胶保温后，管道的热损失可降低80%以上，这意味着供热系统不需要输出过多的热量来弥补管道损失，从而提高了整个系统的能效。

在空调换热器方面，新型的高性能换热材料也能提升能效。比如微通道换热器，它具有较大的换热面积和高效的换热性能。与传统的翅片管式换热器相比，微通道换热器的体积更小，但换热效率更高。在汽车空调系

统中应用微通道换热器，由于其高效的换热性能，可以使空调系统的制冷效率提高20%~30%，并且减少了压缩机的工作时间和能耗。

新型的制冷工质也是提升能效的一个方面。传统的氟利昂类制冷工质对臭氧层有破坏作用，并且其制冷效率也有待提高。一些新型的环保制冷工质，如二氧化碳（R744）在特定的应用场景下具有较高的能效。

（三）智能化管理系统

智能化管理系统是暖通空调系统能效优化的组成部分。通过安装各类传感器，可以实时采集系统运行的各种数据，如温度、湿度、流量、压力等。例如在大型商场的暖通空调系统中，在各个区域安装温湿度传感器，在管道上安装流量和压力传感器。这些传感器将数据传输到中央控制系统。

中央控制系统利用大数据分析和人工智能算法对采集到的数据进行分析处理。根据数据分析结果，系统可以自动调整空调设备的运行参数。如当某个区域的人员流动减少，温度传感器检测到温度升高不明显时，系统可以降低该区域空调的送风量和制冷量。通过这种智能化的动态调整，能够避免整个商场的空调系统过度制冷或制热，从而提高能效。

智能化管理系统还可以实现远程监控和故障诊断。运维人员可以通过手机或电脑远程查看系统的运行状态，当系统出现故障时，系统能够及时发出警报并提供故障可能的原因。这有助于快速解决问题，减少因故障导致的能源浪费和设备损坏。在一些连锁酒店的暖通空调系统中，采用智能化管理系统后，不仅降低了能耗，还提高了设备的使用寿命和运维效率。

（四）管理优化措施

管理优化措施对于挖掘暖通空调系统的节能潜力具有重要意义。合理的运行时间表设定是其中一项重要措施。例如在办公建筑中，根据工作人员的上下班时间，精确设定空调系统的开启和关闭时间。在非工作时间段，如夜间和节假日，关闭空调系统或者将其设置为节能模式。这样可以避免不必要的能源消耗。以一个普通的写字楼为例，如果在夜间和周末没有关闭空调系统，按照其装机容量计算，每小时可能会浪费数千元的电费。

定期的设备维护保养也是管理优化的关键。暖通空调系统中的过滤器、换热器等设备在长期运行后会积累灰尘和污垢，这会降低设备的传热效率和运行性能。定期对这些设备进行清洗和维护，可以保证设备处于良好的运行状态。

三、案例分析

(一) 项目背景介绍

本案例选取的是位于某大型商业综合体内部的暖通空调系统改造项目。该商业综合体总建筑面积达20万平方米，涵盖了购物中心、写字楼、酒店等多种功能区域。原有的暖通空调系统建于十年前，当时的设计标准是按照传统的商业建筑能耗水平进行的。随着城市的发展以及能源成本的不断上升，原系统逐渐暴露出能效低下的问题。

在项目背景方面，该商业综合体的人流量大且分布不均匀。例如，购物中心在周末和节假日人流量可达日均5万人次，而写字楼则在工作日的白天人流量集中，酒店则呈现出全天相对稳定但夜间入住率较高的特点。这种人流量的差异导致了不同区域对空调需求的多样性。原暖通空调系统采用的是传统的定风量系统，无法根据实际需求灵活调节送风量和温度。

从能源消耗数据来看，该商业综合体暖通空调系统的能耗占总能耗的比例高达40%。其中，购物中心部分由于公共区域面积大、照明设备多等因素，空调能耗占比相对更高。而且，原系统设备老化现象严重，部分空调机组的制冷效率较新设备下降了约20%，这也进一步加剧了能源的浪费。

当地的气候条件也对暖通空调系统提出了挑战。该地区夏季炎热潮湿，最高气温可达38℃以上，相对湿度经常在70%左右；冬季寒冷，最低气温可降至-5℃。原系统在应对极端气候时，要么制冷除湿效果不佳，要么制热能力不足，影响了室内环境的舒适度。

(二) 实施过程与效果

在实施过程中，首先对整个暖通空调系统进行了全面的评估。专业团队采用了先进的能耗监测设备，对各个区域的空调使用情况进行了详细的数据采集，包括不同时间段的送风量、温度、湿度以及能耗等数据。例如，在购物中心的中庭区域，监测发现原系统在非高峰时段送风量过大，造成了能源的浪费。

基于评估结果，项目团队决定采用变风量系统(VAV)来替代原有的定风量系统。在安装过程中，根据不同功能区域的需求，精心设计了风道布局。例如，在写字楼区域，为了满足各个办公室的独立调节需求，设置了多个小型的VAV末端装置。对空调机组进行了升级，选用了新型的高效制冷压缩机，其能效比(EER)较原设备提高了30%。

在控制系统方面，引入了智能化的楼宇管理系统

(BMS)。BMS系统可以根据室内外温度、湿度以及人流量等因素，自动调节空调的运行参数。以酒店区域为例，当客房无人入住时，BMS系统会将该房间的空调设置为节能模式，降低送风量和温度设定值。

从实施效果来看，改造后的暖通空调系统取得了显著的成效。能源消耗方面，经过一年的运行数据统计，暖通空调系统的能耗占总能耗的比例下降至30%，较改造前降低了10个百分点。其中，购物中心部分的空调能耗下降最为明显，达到了15%。

室内环境舒适度也得到了极大的提升。在夏季，商场、写字楼和酒店等区域的室内温度波动范围控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，湿度保持在40%-60%的舒适区间。在冬季，室内温度能够稳定维持在20-22℃之间。

从设备运行的稳定性来看，新系统的故障率较原系统降低了约50%。这是因为新设备本身质量可靠，并且智能化的控制系统能够及时发现并预警潜在的故障风险，便于及时维护。例如，在一次极端高温天气下，原系统曾出现过多次制冷设备故障停机的情况，而改造后的系统在同样的天气条件下运行稳定，没有出现故障停机现象，保障了商业综合体内部的正常运营。

结束语

暖通空调系统在现代建筑中扮演着至关重要的角色，其能效状况不仅关系到能源的有效利用，也与环境保护和运营成本紧密相连。通过对暖通空调系统能效的多方面研究，包括影响能效的关键因素、优化技术方案、案例研究以及节能潜力挖掘途径等方面的探讨，可以得出一些具有普遍意义的结论。

参考文献

- [1] 辛亚娟, 杨帆, 张子正. 城市更新背景下既有商业建筑暖通空调系统改造设计策略分析[J]. 暖通空调, 2024, 54(S01): 421-424.
- [2] 王烨. 探讨BIM技术在商业建筑暖通空调系统节能设计中的应用[J]. 新材料·新装饰, 2024, 6(5): 68-71.
- [3] 虞海进. 暖通空调系统能效提升的设备和技术管理研究[C]//2024新技术与新方法学术研讨会论文集. 2024.
- [4] 张超. 超低能耗住宅暖通空调系统设计与运行探讨[J]. 居舍, 2024(24): 95-98.
- [5] 刘若然. 暖通空调系统水处理技术的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003): 000.