

暖通空调系统运行能效提升策略探讨

徐玉幢

中国市政工程华北设计研究总院有限公司 天津 300000

摘要: 在世界能源消耗中, 建筑物的能量占有相当大的比重, 而暖通空调在整个能源消耗中所占的比重非常大。在我国“双碳”战略不断深化的背景下, 如何提高暖通系统的工作效率是当前我国建筑节能研究的重要课题。针对目前我国节能减排面临的能源效率低下和调控能力不足的现状, 迫切需要通过科学和智能化的管理方法来实现整体能源效率的提高, 这对于推进我国建筑业的“绿色”发展有着重大的现实意义。

关键词: 暖通空调系统; 运行能效; 提升策略

暖通系统节能效果的提高是一项非常重要的系统工程, 涉及多学科和多学科的交叉与融合。在设计过程中, 既要考虑主机、水泵和冷却塔等主要装置的整体特性, 又要考虑机组间的协调工作。当代建筑节能设计思想注重从总体上考虑, 通过优化操作策略, 完善控制逻辑, 强化能量监控, 以达到最大的能源效率。近年来, 以物联网和大数据为代表的新型暖通空调节能优化研究, 为实现以数据为基础的精细管理提供了新思路。

一、暖通空调系统运行能效现存问题分析

(一) 系统设计配置与运行需求不匹配

目前暖通工程中经常出现的过分依靠静载荷的方法, 造成了设备选择与建筑物的真实负载特征发生了较大的偏差。按照GB 50736-2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》的规定, 冷风机的出力需按照建筑物的逐时冷负载曲线来决定, 而在工程实践中, 很多工程仍然沿用了最大值叠加的方法, 导致了设备的冗余容量在20%~30%之间。根据一家大型商用楼宇的实际测量, 其离心制冷机组在40%~60%的负载范围内有70%以上的工作时长, 而这一区域的COP却相对于设计工况降低15%~20%。但因缺乏完善的水力计算和调节阀设定, 使得远离冷热源机房的终端设备的实际流量只有原设定的60%~80%, 为适应最不利回路要求, 需要加大泵的扬程, 造成管网能源消耗增大25%~40%。在空调系统中, 通风管路中存在部分部件对管路阻力的影响, 导致其工作点在工作过程中出现了明显的偏差, 在一栋写字楼中实测发现, 其实际工作效率比原设计降低18%^[1]。

(二) 运行调控策略与负荷变化不协同

当前暖通系统的运营调节主要是以定时启动和停止

为基础的, 对建筑物的动态负载反应不够灵敏。传统的空调机组控制方法多采用常规的定时启动和关闭方式, 无法适应外部环境条件的改变对系统进行动态调整。实际运行结果表明, 在相同的运行条件下, 使用该方法可以节省12%~18%的电能。目前, 变频调速方式多为恒压运行方式, 难以自适应管网流量的动态变化, 造成泵站小负载运行工况下运行能耗持续偏高。通过对一家宾馆的空调系统进行了比较研究, 结果显示: 由原来的压差调节变为用压差调节, 可使泵的能量利用率高达26%。现有的空调系统控制理论上有很大的不足, 即: 新风口开启程度不能与房间内CO₂浓度进行有效耦合, 且在过渡期仍然按最低新鲜风流量运转, 错失了天然冷源的最佳使用时机。目前, 暖通空调系统中普遍存在水力失调现象, 系统供回水温差普遍低于设计标准值, 部分项目运行中出现了“大流量、小温差”现象, 造成了冷水机组与水泵等关键设备的能耗显著增加^[2]。

(三) 运维管理机制与能效目标不协调

目前暖通系统运行和运行管理缺少系统的能源效率引导机制, 其日常运维以维修为主, 而忽略了对系统能量效率的实时监测和优化。现有的过滤设备未采用压差监控技术对其进行早期检测, 造成了设备运行时的能量消耗随设备运行压力的增大而增大, 实验结果显示, 在过滤终端阻力为初始阻力的2倍时, 风扇的能量消耗将提高9%左右。目前我国大型低温空调机组在运行过程中, 除灰系数大于0.086 m²·℃/kW时, 制冷效率降低至12%, 而大部分运行人员并没有制定常规的换热管道清洁方案。由于缺少对机组COP、水系统传热系数、风机单位风量等核心能源效率指标的连续追踪, 导致系统能

耗下降的现象很难被及时检测。一幢商用楼能耗审核发现，因缺乏节能标准对比体系，三年时间，其工作效率下降15%，且无人发现。另外，由于运营管理能力欠缺，使得其调控方式较为简单，例如无法随季适时调整开闭控制，在较低温度下仍继续运转，造成能量的浪费和降低了系统的温度^[3]。

二、暖通空调系统运行能效提升策略体系

(一) 系统配置与运行需求的精准适配

暖通空调节能技术的核心问题是如何使设备的布置和使用工况的动态变化达到最佳状态。目前大部分的装置都是在设计时根据极限工作条件来选择装置，造成装置在实际操作过程中长时间处在低效区。按照GB 50189-2015《公共建筑节能设计标准》中规定，对空调主机的选型要以年度动态负载为基础，而不是单纯地用最大功率的累加来确定。实际应用证明，与常规单机大容量单元相比，模块式单元在某些负载上的能量效率可提高28%。在实现过程中，需要通过能耗管理软件获得建筑物的历史用电资料，并根据该地区的实际情况，画出一条8760 h的用电分配图，从而得出最优的单元配置^[4]。

对泵的适应性进行了优选，首先要从可变流量的调

节入手。通过实测资料分析，在某一工况下，水循环泵所消耗的能量约为整个机组的25%~30%。在实际应用中，要用PMSM代替常规的恒速泵，并在每个支路上设置差压检测器，以最恶劣的回路压力差作为变频器的控制基准。在一家大型医疗设备改建工程中，将冷却泵的工作频率从50 Hz降低到35 Hz，使泵的输出功率从45 kW降低到15 kW，每年可节约180000千瓦的电能。另外，要严格执行GB 50243-2016《通风与空调工程施工质量验收规范》的规定，严格控制阀门的安装，保证各个支管的流量误差在15%以内。而冷却塔和主机的协调工作是一个经常被忽略的节能问题。研究结果显示，当循环水温下降1℃时，系统的制冷系统的效率可以提高2%~3%。在调节过程中，需要依据室外湿球的温度进行动态调整，利用变频调速技术实现对冷水回水量的调节，使其达到3~5℃的最优范围。该工程采用湿球降温技术，实现了对空调机组整体能耗的控制，使空调的整体能耗效率由7.2℃降到4.1℃，整体能耗效率提高0.4。对于终端装置的调节，需要打破常规固定流量的方式。在写字楼内，利用变风量空调与CO₂气体检测相结合的方法，可以依据室内人群的密集程度调整新风量，使其每年可达1800小时以上（如表1所示）。

表1 暖通空调节能技术关键措施与效果

系统组成部分	核心节能措施	节能效果与关键参数
冷热源主机	采用模块化机组，基于8760小时负荷分析优化配置	部分负荷下能效提升28%，实现40%~100%负荷高效匹配
输配系统	应用永磁同步电机与变频控制，优化管网平衡	水泵功耗降低可达67%，年节电180,000 kWh
冷却塔及末端	基于湿球温度动态调控，基于VAV变风量与CO ₂ 浓度协同的智能调控	冷却水温每降1℃主机能效提升2%~3%，新风系统年节能1800小时

(二) 调控策略与负荷变化的动态协同

要达到节能减排目标，关键是要构建节能减排的调节策略，并对其进行有效控制。利用在楼宇内外重点部位布设的传感器网络，对室内外温度、光照强度、人员密度、能耗等进行实时监测。以写字楼为研究对象，在夏天的一个典型工作日，需要对其进行差别性调节：早8-9点，CO₂气体探测器探测到人群密度大于0.15人/m²，会在保持空调水温9℃的前提下，将新风阀开启到80%；在中午休息期间，按工作区内人数变化，对无人区送风量进行动态调节，使无人区送风不超过原设计的40%。针对制冷机组的调节，提出了以负荷预报为基础的智能群控方案。根据该地区24 h的天气预报资料 and 过去24

h的用电负荷变化情况，构建了供冷负荷的预报模式。预计第二天的最高温度将超过35度，在用电谷提前对该设备进行蓄冷，以保证该设备能够在中午用电峰值期间承受40%~50%的峰值负载。在负载比小于60%的情况下，实现了系统的独立工作，保证了系统的节能效果。实际测试结果显示，采用这种方法可以使制冷机组的季节能效比达到5.8，提高了18%左右^[5]。

以气压独立式终端设备为基础，实现了对VAV空调系统的精密供气控制。通过在各可变风量箱体的送风管上加装高精度的气压传感器，实现了与设计参数的实时对比。若侦测到某个部位的负载急剧上升，造成需要的空气流量增加，则可于3秒钟之内作出反应，并藉由调

整风扇速度,使送风静态压力维持在450~500帕之间。采用机器学习方法对各个分区的负载分布进行统计,并在30 min内对新风的需求量进行预报,从而对新风系统进行前馈控制。该方法可有效地减少空调机组的年总功率消耗,并保证各个分区的空调温度精确达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。利用温度控制的方法,对小负载条件下的系统进行了优化操作。在室外湿球气温低于 18°C 的情况下,可将循环冷却水的给水温度调高到 20°C ,从而减小了制冷机的压缩率,从而提高了COP的12%左右。结合终端负载的变化,实现供水系统供冷温度差($5\sim 7^{\circ}\text{C}$)在负载比(40%~70%)的最优区域,保证泵的能量消耗和热量交换效率的均衡。将该模型应用于一个大型商业综合体,系统全年整体能效系数提升至4.3,较当地同类型建筑能效基准值提升约35%,以满足负载追踪和能耗优化的要求。

(三) 管理机制与能效目标的深度融合

要使暖通空调系统能够长期、有效地运转,就必须构建一套系统化的方法,将其与节能目标紧密结合。项目以能耗指标体系构建和指标体系为起点,以《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)中规定的能效效率指标为起点,并根据建筑物的实际运营情况,确定满足建筑特点的全年能耗优化指标。在实际操作中,需要将总体目标层层细化到各个子系统,针对制冷机组设置的季节性能因子指标不小于5.0、泵送比不小于35、靠近程度 $3+0.5^{\circ}\text{C}$ 。建立了定量的评价标准,为以后的精细经营提供了清晰的指导和评价基础。在以目标为指导的经营过程中,建立规范化的运作过程与反应机制是十分必要的。在实际生产过程中,根据实际生产过程中的实际情况,生产过程中发生偏差,启动预先设定的调整方案。针对制冷机组,构建以负载速率为依据的启动和停止联合控制方法,在建筑物负载小于单机40%的情况下,将其转换成低功率单元,以保证装置一直处于有效状态。将规范的作业程序形成作业指导书,并写入员工的作业指导书中^[6]。

能源效率目标的达成也要求有一个与之相适应的业绩评估系统。将综合能源效率系数和单位面积能源消耗作为评价标准,建立分级激励机制。比如,当月

系统能源效率较参考值提高8%以上,可按节省能耗15%~20%作为业绩奖励。构建装备能源效率文件,掌握装备工作能耗特性及维修历程,为装备预防维修及升级提供依据。将能源效率目标与管理机理紧密结合,可有效地调动各运营小组的工作热情与创造力,保证能源效率提高工作的持续性与高效性。以大数据为基础,构建能源效率评价与决策支撑体系,以保障项目实施的科学与前瞻。通过采集气象参数、室内人员密度、设备运行状态等多维信息,利用机器学习方法建立能源效率预测模型。通过对企业运营过程的统计和统计,辨识企业能源效率的主要影响因子,为企业的经营决策提供定量的参考。

结束语

综上所述,开展暖通空调系统运行能效提升策略研究,可以有效地减少建筑运行能耗和温室气体排放量,为我国建筑“双碳”的实施奠定基础。随着人工智能、数字孪生等新一代信息技术与暖通系统的深入结合,使其在运营过程中呈现出更加智能化和精细化的趋势。该研究将为构建绿色低碳、智慧高效的建成环境奠定基础,促进我国建筑业的可持续发展。

参考文献

- [1] 连洪波.绿色建筑暖通空调冷水温度智能控制方法研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(15):178-180.
- [2] 王御棋,文继卿.现代建筑暖通空调工程的节能设计与施工技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(22):190-192.
- [3] 杨叶.高层办公类建筑暖通空调系统设计要点研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):175-178.
- [4] 郭瑞,中铁军.暖通空调节能技术在建筑工程中的应用分析[J].建材发展导向,2025,23(09):115-117.
- [5] 郭明明.工业厂房暖通空调系统节能设计研究[J].张江科技评论,2025,(04):125-127.
- [6] 刘艺.高层楼宇建筑暖通空调节能降耗技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(12):193-195.