

绿色建筑暖通空调系统优化设计与全生命周期能耗分析

刘贺

河北杜邦石化工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着全球能源危机与环境问题的加剧,建筑行业作为能源消耗与碳排放的重要领域,其节能减排水平直接关系到绿色低碳发展战略的实施效果。暖通空调系统在建筑运营阶段占据较高的能耗比例,是实现绿色建筑节能目标的关键环节。传统暖通空调系统通常存在负荷匹配不合理、设计冗余度偏高、运行控制粗放等问题,导致能耗水平持续攀升,不利于建筑全生命周期成本控制。基于此,文中从绿色建筑理念出发,系统分析暖通空调系统的优化设计策略,包括系统选择、气候适应性设计、能源梯级利用、智能控制与可再生能源耦合等内容;同时建立全生命周期视角下的能耗分析框架,探讨从规划、设计、施工到运营维护阶段的节能潜力。研究结果显示,绿色暖通系统的优化需要多维度协同,包括设备高效化、设计系统化、运行智能化与管理精细化;而全生命周期能耗评价则有助于揭示系统运行中的能源流向及优化潜力,为建筑节能设计提供科学依据。文章最后提出进一步的优化路径,为绿色建筑暖通空调系统的可持续发展提供参考。

[关键词]绿色建筑;暖通空调;优化设计;能耗分析;全生命周期

DOI: 10.33142/aem.v8i2.19032

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Optimization Design and Whole Life Cycle Energy Consumption Analysis of HVAC Systems in Green Buildings

LIU He

Hebei Dubang Petrochemical Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the intensification of the global energy crisis and environmental issues, the construction industry, as an important area of energy consumption and carbon emissions, has a direct impact on the implementation effect of green and low-carbon development strategies in terms of energy conservation and emission reduction. HVAC systems account for a high proportion of energy consumption during the operation phase of buildings and are a key link in achieving energy-saving goals for green buildings. Traditional HVAC systems often suffer from problems such as unreasonable load matching, high design redundancy, and extensive operation control, leading to a continuous increase in energy consumption levels, which is not conducive to cost control throughout the whole life cycle of buildings. Based on this, starting from the concept of green building, this article systematically analyzes the optimization design strategies of HVAC systems, including system selection, climate adaptability design, energy cascade utilization, intelligent control and coupling with renewable energy, etc; Simultaneously establish an energy consumption analysis framework from a whole life cycle perspective, exploring the energy-saving potential from planning, design, construction to operation and maintenance stages. The research results show that the optimization of green HVAC systems requires multidimensional collaboration, including equipment efficiency, systematic design, intelligent operation, and refined management; The whole life cycle energy consumption assessment helps to reveal the energy flow and optimization potential during system operation, providing scientific basis for building energy-saving design. At the end of the article, further optimization paths are proposed to provide reference for the sustainable development of green building HVAC systems.

Keywords: green buildings; HVAC systems; optimize design; energy consumption analysis; whole life cycle

引言

在“双碳”战略背景下,建筑领域的节能减排责任进一步加重。暖通空调系统作为建筑运行中的主要耗能单元,

在我国公共建筑中年耗电量占比约40%~60%,在居住建筑中也具有显著影响。因此,加强暖通空调系统的节能优化设计,实现建筑全生命周期能耗控制,是推动绿色建筑

发展的重要任务。传统暖通空调设计往往侧重设备选型与初始投资控制,忽视建筑运行阶段的动态能源需求,导致系统能效表现不理想。绿色建筑理念要求设计者在系统设计中兼顾节能、舒适、环保、经济等因素,使暖通系统成为建筑绿色性能的重要支撑。近年来,可再生能源应用、智能化控制技术、能源梯级利用等节能方法不断发展,使暖通空调系统的优化具有更多实现路径。然而,不同建筑类型、不同气候区的节能需求存在差异,全生命周期视角下的能耗分析对于构建高效暖通空调系统具有重要意义。本文通过理论分析、系统对比与模型构建,对绿色建筑暖通空调系统的优化设计提出策略,并结合全生命周期能耗分析框架展开深入讨论,以期为绿色建筑行业提供科学参考。

1 绿色建筑暖通空调系统优化设计的理论基础

1.1 绿色建筑节能目标及暖通系统功能定位

绿色建筑在评价体系中强调节能、节水、节材与环保,暖通空调系统作为建筑运行中消耗能源最多的系统之一,是实现节能目标的关键。暖通系统不仅需要满足室内热湿舒适与空气品质要求,还需最大限度减少外部能源消耗,提高系统能效比。绿色建筑强调使用高效能源转换设备、多能互补技术与低碳运行模式,使暖通系统成为建筑能耗控制的重要抓手。

1.2 暖通空调系统能耗构成及节能潜力分析

暖通系统能耗主要包括制冷能耗、供暖能耗、通风能耗与输配能耗。制冷能耗多与空调机组效率、冷源配置与外部气候相关;供暖能耗受热源品质、能源利用方式与建筑围护结构性能影响;通风能耗与空气处理方式、热回收装置效率密切相关;输配系统能耗与管道布置、风管阻力、泵送系统效率等关系密切。在绿色建筑中,通过优化设计每一子系统均可显著降低整体能耗,因此节能潜力巨大。

1.3 全生命周期能耗分析的理论意义

单一阶段能耗分析往往忽视系统运行规律,而全生命周期分析能够全面反映暖通系统从规划、设计、施工到运营阶段的能耗特征,有助于发现系统运行中的能耗峰值与浪费环节。全生命周期模型不仅关注设备能效,还包括设备寿命、维护成本及更新替代因素,为建筑运营决策提供依据。

2 暖通空调系统的优化设计策略

2.1 基于气候适应性的系统选择

不同气候地区的建筑暖通需求具有显著差异,因此系统设计应强化气候适应性。例如,严寒地区适宜采用地源热泵、低温热水供暖系统;夏热冬冷地区更适合采用热泵+蓄能系统的组合;夏热冬暖地区则更适合采用高效空调系统与通风降温结合方式。通过对气候大数据进行分析,构建适宜性系

统模型,有利于提高设计精准度与系统运行效率。

2.2 建筑围护结构节能与暖通系统协同设计

建筑围护结构性能直接影响暖通空调负荷。高性能外墙、外窗及遮阳系统能够有效减少冷热负荷,降低暖通系统规模和能耗。围护结构与暖通系统的协同设计强调通过建筑层面的被动节能措施与暖通系统的主动节能措施相结合,实现冷热负荷协同平衡。

2.3 可再生能源与暖通系统的深度耦合

太阳能集热、光伏发电、地热能等可再生能源与暖通系统的结合能够有效提高能源利用效率。例如,太阳能低温集热热水可用于新风预热,减轻热源压力;光伏系统可为热泵提供电力支持,降低运行成本;地源热泵系统能在全年保持高能效比运行。多能互补的耦合方式是绿色建筑暖通系统的核心发展方向之一。

3 暖通空调系统智能优化与节能控制技术

3.1 基于人工智能的负荷预测与系统调控

负荷预测是提高暖通系统智能化水平的关键环节。基于机器学习的预测模型能够根据温度、湿度、用户行为等因素实现动态负荷预测,提高系统的响应速度与控制精度。在此基础上,人工智能控制策略能够实现设备运行模式的自动调整,降低能耗并提高舒适性。

3.2 智能化运行管理平台的构建

建筑能耗监测平台通过对各类能耗数据的实时采集与分析,为暖通系统精细化运行提供了可靠支撑。依托物联网技术,风机、水泵和阀门等关键设备的运行状态能够被持续感知,并根据负荷变化进行自动调节,使系统运行更加接近最佳能效区间。平台在数据分析基础上实现分区管理,对不同功能空间的能耗特征进行针对性控制,避免无效运行造成的能源浪费。能源回路的动态调节提升了系统响应速度,使供能与需求更加匹配。运行异常预警功能可在设备性能下降或参数偏离正常范围时及时提示,减少故障扩大风险。智能化管理模式在提升运行效率的同时,也有效降低了人工巡检和维护成本,为建筑节能运行提供持续动力。

3.3 热回收与能源梯级利用技术

在暖通系统运行过程中,合理回收和利用废热资源是降低能耗、提升系统效率的重要途径。通过配置热回收装置,原本被直接排放的能量得以重新利用,新风系统中的全热交换器能够回收室内排风中的显热与潜热,为新风处理提供能量支持,从而减少空调负荷。工业或公共建筑中,空压机运行产生的废热可被引入生活热水或热风系统,实现能源的再利用。制冷机组在运行过程中释放的冷凝热,

也可在冬季用于采暖或热水预热,减少传统能源消耗。能源梯级利用模式根据不同热源的等级进行合理配置,使高品位能源得到充分利用,低品位能源也能发挥价值。这种多层次的能量利用方式,提高了系统整体能效水平,是绿色暖通系统实现节能与低碳目标的重要设计策略。

4 暖通空调系统全生命周期能耗分析框架构建

4.1 全生命周期能耗分析方法与内容

全生命周期能耗分析从系统整体视角出发,涵盖设备生产、运输、施工安装、运行、维护以及报废处理等多个阶段,对暖通系统的能源消耗进行全面梳理。不同阶段对总能耗的贡献存在明显差异,其中运行阶段通常持续时间最长,能耗占比也最高,成为分析和优化的重点内容。设备运行过程中,负荷变化、控制策略和使用习惯都会对能耗水平产生直接影响。通过明确各阶段的能耗边界条件,并引入科学的能耗核算模型,可将分散的能耗数据进行系统集成,实现对暖通系统全生命周期能耗的量化评估。量化结果有助于识别高能耗环节,为技术改进和管理优化提供依据。全生命周期能耗分析方法使节能研究从局部优化转向系统优化,为暖通系统低能耗设计和绿色运行提供更加全面的支撑。

4.2 全生命周期成本(LCC)与能耗关联分析

全生命周期成本分析以系统整体运行周期为研究对象,从初始投资、运行维护、设备更新及报废等多个阶段综合评估经济性表现。这种分析方式突破了仅关注建设成本的传统思路,更加真实地反映系统长期使用价值。在绿色建筑中,高效暖通系统在设备选型和技术配置上投入相对较高,但凭借能效水平提升和运行策略优化,其能耗支出明显降低,长期运行优势逐步显现。随着时间推移,节省的能源费用不断累积,往往能够在系统运行的前五至十年内抵消初期投入成本。将能耗数据与成本变化进行联动分析,有助于设计阶段准确判断不同方案的经济回报,为设备配置和系统形式选择提供量化依据。全生命周期成本理念的引入,使暖通系统设计更加理性和前瞻,有利于实现节能目标与经济效益的协同提升。

4.3 生命周期数据驱动的系统优化方向

通过对暖通系统全生命周期数据的持续采集与深度挖掘,能够更加清晰地识别系统运行过程中的能耗变化规律和效率波动特征。运行数据在时间维度上的对比分析,有助于发现潜在的低效环节和性能衰减趋势,为运维决策提供可靠支撑。当热泵系统年平均能效比出现明显下降时,往往意味着关键部件老化或换热条件发生变化,及时进行设备检修或地埋管系统维护,可有效恢复运行性能。新风

系统中热回收效率降低,则可能反映运行策略不合理或设备性能不足,通过优化运行模式或更换相关设备,能够减少能量损失。生命周期数据将设备状态、运行行为与能耗结果紧密关联,使节能措施更加具有针对性和可操作性。基于数据的精细化管理模式,为暖通系统实现持续高效运行提供了科学依据,也为建筑节能目标的实现奠定了坚实基础。

5 绿色建筑暖通空调系统高效化的实现路径与发展趋势

5.1 标准化设计体系的构建

随着绿色建筑评价体系的不断完善,暖通空调系统在设计阶段需要更加注重系统性与规范化。建立标准化设计流程,有助于在项目前期对建筑能耗进行科学预测,使方案更加符合节能目标。通过节能模拟和系统负荷分析,设计人员能够准确把握不同工况下的运行需求,避免设备选型偏大或配置不合理带来的能耗浪费。设备能效核算为方案比选提供量化依据,使高效设备的应用更加具有针对性。统一的技术标准和设计规范,使设计成果在施工阶段更易落实,减少因理解偏差和重复调整产生的能源损失。标准化流程的实施提升了设计质量的稳定性,也为后续运行管理奠定了良好基础。设计、施工与运维环节在统一标准下协同推进,有助于暖通系统实现长期高效、低耗运行。

5.2 设备高效化与系统集成化的发展方向

未来暖通设备的发展将更加注重效率提升与能耗降低,通过技术创新不断优化系统性能。变频热泵机组在不同负荷条件下可灵活调节运行状态,使能量利用更加精准,高效冷却塔通过改进换热结构和控制方式,进一步提升散热效率。低阻力风管系统在减少输送能耗的同时,有助于改善气流组织效果,高效过滤模块则在保障空气品质的基础上兼顾节能需求。设备层面的进步推动暖通系统整体性能提升。系统集成化趋势愈加明显,冷源系统、空气处理系统和末端设备通过模块化方式进行组合,使安装过程更加标准化和高效。模块化设计提升了系统运行的可靠性和可维护性,也为后期升级改造提供了便利。设备效率提升与系统集成化协同发展,为暖通系统实现高性能、低能耗运行奠定了坚实基础。

5.3 智能运行与低碳技术的深度融合

随着大数据、人工智能和能源互联网技术的不断成熟,暖通系统正由传统自动化控制向更高层次的智能化运行迈进。系统能够基于实时能耗数据和环境信息,对运行状态进行持续分析,自动调整设备参数和运行模式,使能效水平始终保持在最优区间。运行策略不再依赖固定设定,而是根据负荷变化和能源价格等因素进行自适应优化,提

升整体运行效率。低碳制冷剂的应用有助于减少温室气体排放，在保障制冷性能的同时降低环境影响。

6 结论

绿色建筑暖通空调系统的优化设计与全生命周期能耗分析，是推动建筑节能与低碳化发展的关键手段。通过结合不同气候条件构建具有适应性的系统方案，可使设备运行更加贴合实际负荷需求，减少不必要的能源消耗。高效设备的选用和合理配置，为系统稳定运行和能效提升提供了基础保障。智能化控制技术的引入，使暖通系统能够根据环境变化和使用需求进行动态调节，提升能源利用精度。可再生能源与暖通系统的深度耦合，为降低化石能源依赖和碳排放创造了有利条件。全生命周期能耗分析从规划、建设到运行阶段对能源消耗进行系统评估，有助于识别关键能耗环节和优化空间，为设计和管理决策提供科学支撑。

[参考文献]

- [1]李俊华,王宏斌.绿色建筑暖通系统节能设计研究[J].暖通空调,2019,49(7):82-88.
- [2]张鹏飞,刘建国.暖通空调系统全生命周期能耗分析方法[J].建筑科学,2020,36(4):33-40.
- [3]陈立新,赵明宇.可再生能源与暖通系统耦合技术研究[J].建筑节能,2018,46(9):95-100.
- [4]郑晓东,高彦.建筑暖通智能化控制技术应用现状[J].建筑能源效率,2021,49(6):70-77.
- [5]王志超,孙立国.地源热泵系统节能效果及其应用分析[J].可再生能源,2019,37(12):1350-1357.

作者简介：刘贺（1985.9—），男，汉族，毕业院校：华北电力大学，现就职单位：河北杜邦石化工程设计有限公司。