

双碳目标下超低能耗建筑新风热回收系统性能衰减机理分析

刘家左

北京世纪互联宽带数据中心有限公司 北京

【摘要】在“双碳”目标推动下，超低能耗建筑成为实现节能减排的重要路径。新风热回收系统作为其关键组成部分，其性能稳定性直接影响整体能效。然而，实际运行中系统存在性能衰减现象，制约了节能效果的持续发挥。本文围绕新风热回收系统的性能衰减机理展开研究，重点分析材料老化、积尘堵塞、温湿度波动及控制策略失配等因素对系统换热效率的影响机制。通过理论分析与模拟验证相结合的方法，提出性能衰减的关键影响路径，并为系统优化设计与运维管理提供技术支持。

【关键词】超低能耗建筑；新风热回收；性能衰减；热交换效率；系统老化

【收稿日期】2025 年 2 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500092

Analysis of performance degradation mechanism of fresh air heat recovery system in ultra-low energy buildings under the dual carbon target

Jiazuo Liu

Beijing Century Internet Broadband Data Center Co., Ltd, Beijing

【Abstract】Driven by the "Dual Carbon" target, ultra-low energy buildings have become an important pathway to achieve energy conservation and emission reduction. As a key component of such buildings, the performance stability of the fresh air heat recovery system directly affects the overall energy efficiency. However, the performance degradation phenomenon in actual operation restricts the continuous realization of energy-saving effects. This paper focuses on the research of the performance degradation mechanism of the fresh air heat recovery system, and emphatically analyzes the influence mechanisms of material aging, dust accumulation and blockage, temperature and humidity fluctuations, and control strategy mismatch on the heat transfer efficiency of the system. Through the combination of theoretical analysis and simulation verification, the key influence paths of performance degradation are proposed, providing technical support for the optimal design and operation and maintenance management of the system.

【Keywords】Ultra-low energy buildings; Fresh air heat recovery; Performance degradation; Heat exchange efficiency; System aging

引言

新风热回收系统在超低能耗建筑中扮演着节能降耗的核心角色，但其长期运行中的性能衰减问题日益凸显，成为制约建筑能效稳定提升的关键瓶颈。尽管已有研究关注系统初始效率与优化设计，却较少聚焦其运行过程中的退化规律与内在机理。揭示性能衰减的本质原因，不仅有助于延长系统使用寿命，更能为“双碳”目标下的建筑节能技术提供科学依据。本文从材料特性、运行环境与控制逻辑等多个

维度出发，系统分析影响热回收效率的关键因素，旨在构建一套针对性能衰减的识别与应对机制，提升系统在复杂工况下的稳定性与适应性。

1 新风热回收系统在超低能耗建筑中的作用与挑战

新风热回收系统作为超低能耗建筑中的核心节能装置，其主要功能在于通过高效热交换实现室内空气品质与能耗之间的平衡。在冬季，系统利用排风中的余热对新风进行预热，降低供暖负荷；在夏季，则

通过余冷回收减少空调系统的制冷需求。这种能量回收机制不仅提升了建筑整体的能源利用效率,也有效缓解了因通风换气带来的额外能耗问题,从而满足“双碳”目标下对建筑能效持续优化的要求。然而,随着运行时间的延长,系统在实际应用中逐渐暴露出性能衰减的现象,表现为换热效率下降、能耗补偿能力减弱等问题,严重影响建筑长期运行的节能稳定性。

从系统结构来看,热回收核心部件如显热回收模块或全热回收芯体,通常采用纸质、金属或高分子材料制成,具备较高的导热或透湿性能。但在复杂室内环境和外部气候条件的共同作用下,这些关键组件易受到温湿度波动、污染物沉积以及微生物滋生等因素的影响,导致材料性能退化,进而削弱换热能力^[1]。控制系统逻辑若未能根据使用场景动态调整运行参数,也可能加剧系统非理想运行状态,形成能量回收效率的进一步下滑。这些问题的存在使得原本高效的热回收系统难以维持设计预期的节能效果,成为制约超低能耗建筑可持续运行的重要因素。

为进一步提升新风热回收系统的稳定性和适应性,必须从材料耐久性、系统清洁维护及控制策略优化等多方面着手。一方面,应选择抗老化、抗腐蚀能力强的功能型材料,增强热交换芯体在长期运行中的结构完整性;另一方面,需建立定期检测与清洁机制,防止颗粒物积聚造成的通道堵塞与换热效率下降。在控制层面引入智能调节算法,使系统能够根据室内外环境变化自动匹配最优运行模式,从而延缓性能衰减进程,保障其在整个生命周期内的高效运行。这些措施为解决当前系统性能退化问题提供了可行的技术路径,也为推动超低能耗建筑高质量发展奠定了基础。

2 系统性能衰减的主要表现与成因分析

新风热回收系统在长期运行过程中,其性能衰减现象主要体现在换热效率下降、空气流动阻力增加以及系统能耗上升等方面。这种性能退化不仅影响建筑整体的节能效果,还可能引发室内空气质量恶化与设备运行负荷不均衡的问题。在实际工程应用中,许多超低能耗建筑在投入使用几年后便出现热回收效率明显降低的情况,导致建筑能耗偏离设计预期,进而影响“双碳”目标下的能效达标率。此类问题具有一定的普遍性,尤其是在高湿、多尘或温差剧烈的气候区域更为显著。造成系统性能衰减的因素较为复杂,涉及材料老化、污染物沉积、结构变形及控制逻辑滞后等多个方面。其中,热交换芯体作

为核心部件,其材质在长期接触高湿度空气或受温度频繁变化影响时易发生物理性能劣化,如纸质芯体吸湿变形、金属表面氧化腐蚀等,都会削弱其导热能力^[2]。空气中携带的细颗粒物、微生物和挥发性有机物会在换热通道内逐渐沉积,形成积垢层,阻碍热量传递并增加气流阻力。系统运行过程中若缺乏动态调节机制,无法根据室内外环境变化及时调整送排风比或运行模式,也会加剧非稳态工况下的能量损失,从而加速系统性能衰退。针对上述成因,必须从材料选型、系统清洁维护及智能调控策略等方面入手,构建一套系统的性能衰减防控机制。应优先选用耐腐蚀、抗老化的高性能换热材料,提升芯体在复杂环境中的稳定性;在系统设计阶段就应考虑便于拆卸与清洗的结构形式,确保后期运维的可行性。在运行管理层面,应引入基于传感器反馈的智能控制系统,实现对温湿度、压差及污染物浓度的实时监测与自适应调节,减少非理想工况带来的额外损耗。通过这些措施,可有效延缓系统性能衰减进程,保障其在超低能耗建筑中持续发挥应有的节能作用。

3 典型影响因素对热回收效率的作用机制

热回收效率作为衡量新风热回收系统性能的核心指标,其变化受到多种因素的共同作用。在实际运行环境中,温湿度波动、空气污染物沉积以及材料老化等因素通过不同机制影响系统的换热能力。其中,温湿度变化对全热回收系统的影响尤为显著,当室内或室外空气的相对湿度发生剧烈变化时,热交换芯体的吸湿与放湿能力可能失衡,导致潜热回收效率下降,进而降低整体热回收率。在高湿环境下运行的纸质或复合材质芯体易出现吸湿膨胀、结构变形等问题,进一步削弱其透湿性能和导热稳定性。

空气中的颗粒物和挥发性有机物也是影响热回收效率的重要外部因素。随着系统长时间运行,PM_{2.5}、粉尘及微生物孢子等污染物会在换热通道表面沉积,形成热阻层,阻碍热量传递。尤其是在厨房、卫生间等通风负荷较大的区域,油烟微粒和水蒸气更容易在芯体内壁凝结,造成局部堵塞,不仅降低了换热效率,还可能引发异味回流与二次污染问题^[3-7]。部分高分子材料在长期接触有机气体或紫外线照射下会发生化学降解,材料本身的导热系数和机械强度随之下降,使系统在复杂工况下的适应能力减弱。

从系统控制逻辑来看,运行策略的合理性在很大程度上决定了热回收效率的稳定性与持续性。如

果系统缺乏对室内外温湿度、空气质量及负荷变化的实时感知能力,就难以实现送风与排风之间的动态平衡,进而影响能量回收的整体效果。特别是在过渡季节或极端气候条件下,室外气温波动频繁,若控制系统未能依据实际温差及时切换热回收模式或调节风机转速,极易导致换热过程不充分,甚至出现“反向回收”现象。这种状态下,新风带入室内的冷热量超过排风可回收的部分,反而增加了空调系统的补偿负担,降低整体节能效益。优化控制算法,引入基于传感器反馈的智能调控机制,使系统具备自适应调节能力,是提升其在复杂工况下运行效率和节能性能的关键所在。

4 提升系统抗衰减能力的设计与运维策略

为提升新风热回收系统在超低能耗建筑中的长期运行稳定性,必须从设计与运维两个层面出发,构建系统化的抗衰减策略。设计阶段应重点优化热交换芯体的材料选择与结构形式,采用耐湿、耐腐蚀且导热性能优良的复合材料,如改性纸质芯体、高分子透湿膜或不锈钢波纹板等,以增强其在复杂温湿度环境下的适应能力。换热通道的设计应兼顾流通效率与自清洁能力,避免死角积尘影响气流分布和传热均匀性。在空气过滤环节应配置多级过滤装置,包括初效、中效乃至高效过滤器,有效拦截PM2.5、细菌及挥发性有机物,降低污染物对热交换芯体的侵蚀作用,从而延缓性能退化进程。在系统控制逻辑方面,需引入智能化调控技术,实现运行参数的动态匹配与节能优化。通过集成温湿度传感器、压差监测模块与空气质量检测单元,系统可实时感知室内外环境变化,并据此自动调节送排风比、启停频率及运行模式,避免因控制滞后导致的能量浪费与设备过载。在过渡季节或温差较小工况下,系统可切换至旁通模式以减少无效热回收带来的能耗负担;而在高湿环境下,则可通过调节排风侧湿度平衡机制,防止芯体内部结露或霉变。控制系统还应具备故障预警与健康状态评估功能,及时提示滤网更换、芯体清洁等维护操作,确保系统始终处于最佳运行状态。

运维管理是保障系统长期高效运行不可或缺的重要环节,应建立完善的定期检查与预防性维护机制。针对实际运行中普遍存在的积尘堵塞、微生物滋生等问题,运维人员需按照使用强度与环境特征制定科学的清洗周期,采用高压气吹、水洗或紫外线杀菌等方式清除芯体表面沉积物与生物污染源^[8]。对

于难以拆卸的核心部件,可考虑配置在线清洗模块或自清洁涂层,提升系统维护的便捷性与安全性。应加强对风机、控制器等辅助设备的巡检与保养,防止因局部故障引发整体性能下降。通过设计优化与智能运维的协同配合,不仅能够显著提升系统的抗衰减能力,也为“双碳”目标下超低能耗建筑的可持续运行提供了坚实的技术支撑。

5 结语

在“双碳”目标背景下,提升新风热回收系统抗衰减能力对于保障超低能耗建筑长期稳定运行具有重要意义。本文围绕系统性能衰减的表现、影响因素及作用机制展开分析,提出了从材料优化、智能控制到运维管理的综合应对策略。通过科学设计与精细化运维,可有效延缓系统老化进程,提升其在复杂环境下的适应性与可靠性。未来应进一步探索新型换热材料与智能监测技术的应用,推动热回收系统向高效、耐久、自适应方向发展,为实现建筑领域节能减排目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 周丽,章姝,王美涵,等.“双碳”目标下中国碳排放控制目标分解思路研究[J/OL].气候变化研究进展,1-15[2025-06-23].
- [2] 汤飞,唐克静,周文瑞,等.“双碳”目标下超低能耗老旧小区改造项目造价控制研究[J].建材发展导向,2024, 22(12): 55-57.
- [3] 负建强,王建强,张兆波.双碳目标下寒冷地区超低能耗装配式轻钢农房技术研究与应用[J].建设科技,2023,(21): 52-56.
- [4] 王丽.“双碳”目标下超低能耗建筑造价控制研究[J].建设监理,2023,(07):49-51.D
- [5] 常人龙,滕佳颖.“双碳”目标下超低能耗建筑市场发展建模及仿真研究[J].新型建筑材料,2022,49(08):19-24.
- [6] 彭翔,刘娣,徐毅敏.超低能耗建筑助力“双碳”目标实现的路径研究[J].建筑经济,2022,43(S1):550-556.
- [7] 谢空,谢伊宁.双碳目标下超低能耗建筑发展问题及对策研究[J].建筑经济,2022,43(07):25-31.
- [8] 甄敬怡.超低能耗建筑如何助力“双碳”目标[N].中国经济导报,2022-06-28(002).

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS