

暖通工程中辐射供暖系统与新风系统的协同控制对室内热舒适度的影响

王泽选

142727*****2539

摘要: 室内热舒适度本质上是人体对温度、湿度、气流状态的综合感知平衡,单一暖通系统难以同时满足多维度调控需求。辐射供暖系统借助辐射换热的均匀性,可构建稳定的温度环境,然而存在湿度调节能力不足的局限;新风系统虽能通过空气置换改善空气质量与湿度,但易因送风状态变化干扰室内温度稳定。二者独立运行时,形成“温度-湿度-气流”调控的矛盾闭环,制约热舒适度提升。本文从系统功能互补视角出发,重新梳理辐射供暖与新风系统的核心调控边界,分析独立运行时的热环境失衡机制,进而提出基于“需求优先级”的协同控制框架,重点阐述协同控制如何通过功能补位、时序适配、状态预判,优化室内热舒适度的关键感知维度,为暖通系统集成调控提供新的理论逻辑与实践路径。

关键词: 协同控制; 热舒适度; 功能互补

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 079

引言

现代建筑室内热舒适度诉求已从“单一温度达标”转向“温湿气协同适宜”。人体对热环境的感知是温度、湿度、气流速度共同作用的结果,单一暖通系统难以实现全面调控。

辐射供暖系统通过辐射换热消除“头热脚凉”问题,营造优质温度环境,但仅能传递热量,无法调节空气水汽含量,易出现“温度达标但湿度失衡”的情况。新风系统可通过空气置换与热湿处理改善空气质量和湿度,却会因送风状态变化打破室内热平衡,若辐射系统未及时响应,易导致“湿度改善但温度失稳”。

二者存在天然的功能互补性,独立运行时互补性转化为调控矛盾,形成“各管一域却相互干扰”的困境。因此,基于热舒适度感知需求的“功能补位与干扰抵消”协同控制,是提升现代建筑室内热环境品质的关键。

1 独立运行的调控矛盾: 热舒适度失衡的核心机制

辐射供暖与新风系统独立运行时,由于缺乏统一的调控目标与信息交互,各自的功能优势会转化为相互干扰的劣势,导致室内热舒适度陷入“顾此失彼”的困境,其核心矛盾可归纳为三个维度:

1.1 温度稳定与湿度调节的冲突

辐射供暖系统的运行逻辑以维持室内温度稳定为核心,其热惯性较大,对温度变化的响应存在滞后性;

新风系统的运行逻辑则以改善空气质量与湿度为核心,其送风状态调整具有即时性,易直接影响室内温度。二者的调控目标差异,导致温度与湿度调节难以同步:

冬季工况下,新风系统为避免送入低温空气导致室内温度下降,需对新风进行加热处理,但加热过程会降低新风的相对湿度(相同含湿量下,温度升高则相对湿度下降)。若新风系统仅关注温度补偿,过度加热会导致送入室内的新风过于干燥,进而降低室内整体湿度;此时辐射供暖系统持续维持室内温度,无法补充湿度,最终形成“温度达标但湿度过低”的局面,引发人体皮肤干燥、呼吸道不适等问题。

夏季工况下(部分建筑采用辐射冷暖两用系统),新风系统为降低室内湿度,需对新风进行除湿处理,除湿过程会伴随温度下降(相变除湿或冷却除湿均会导致空气温度降低)。若新风系统仅关注湿度控制,送入低温新风会直接带走室内热量,导致辐射制冷系统需额外增加供冷量以维持温度稳定;若辐射系统响应滞后,室内温度会短暂下降,形成“湿度达标但温度偏低”的情况,引发人体寒冷感。

1.2 空气质量与温度稳定的冲突

新风系统的风量调节是改善空气质量的关键手段——当室内人员增加或污染物浓度升高时,需增大风量以加快空气置换;当室内人员减少或污染物浓度降低时,可减小风量以节约能源。但风量变化会直接改变新风系

统的总热交换量,对室内温度稳定造成干扰,而辐射供暖系统的滞后性难以应对这种即时干扰:

人员密集时段(如办公建筑的工作日上午),室内CO₂浓度升高,新风系统需增大风量。若为冬季,增大的新风量意味着更多低温空气进入室内,需更多热量补偿;辐射供暖系统因热惯性大,无法及时增加供热量,导致室内温度缓慢下降,人体逐渐产生寒冷感;若为夏季,增大的新风量意味着更多高温高湿空气进入室内,需更多冷量抵消,辐射制冷系统响应滞后则会导致室内温度短暂升高,加剧闷热感。

人员稀少时段(如办公建筑的午休时间),室内污染物浓度降低,新风系统减小风量。此时新风系统的热交换量减少,若为冬季,室内热量流失减少,辐射供暖系统若未及时减少供热量,会导致室内温度缓慢升高,人体产生燥热感;若为夏季,室内热量摄入减少,辐射制冷系统若未及时减少供冷量,会导致室内温度过低,引发寒冷感。

1.3 系统运行效率与热舒适度的冲突

独立运行时,两个系统为避免自身调控目标失效,可能采取“过度调节”的方式,既造成能源浪费,又间接影响热舒适度:

辐射供暖系统为应对新风系统带来的温度波动,可能长期维持较高的供热量(冬季)或供冷量(夏季),即使新风系统的干扰已减弱,仍因响应滞后持续高负荷运行,导致室内温度偏离舒适区间,形成“过度加热或过度制冷”的问题。

新风系统为避免自身送风对室内温度的干扰,可能过度处理新风(如冬季过度加热、夏季过度冷却),虽能减少对辐射系统的干扰,但会大幅增加自身能耗。与此同时,经过过度处理后的新风状态(如过度干燥的热风、过度冷却的冷风)会直接对人体的热感觉产生影响,进而降低热舒适度。

2 协同控制的逻辑重构:基于功能互补的调控框架

协同控制的核心并非单纯的参数联动,而是结合热舒适度感知需求,重新界定辐射供暖与新风系统的功能分工,借助“需求优先级排序-功能补位-干扰抵消”的逻辑实现调控协同。关键策略分为以下三个层面:

2.1 需求优先级:以热舒适度感知为核心的目标排序

人体对热舒适度的感知存在优先级差异,对温度波动的敏感度高于湿度变化,对湿度变化的敏感度高于气流速度调整。基于此,协同控制构建了“温度优先、湿度适配、气流辅助”的框架:辐射供暖系统承担“维持温度基准”的核心职责,以保障室内温度稳定为首要目标,优先应对新风系统送风温度、风量变化等干扰,确保温度处于冬季18-22℃、夏季24-26℃的舒适区间;新风系统承担“调节湿度与保障空气质量”的辅助职责,在不干扰温度基准的前提下调整送风状态与风量,例如冬季依据辐射系统维持的温度调节新风湿度,避免温度波动。此排序并非否定湿度与气流的重要性,而是通过明确职责避免系统间的干扰,保障热舒适度核心维度的稳定性。

2.2 功能补位:消除单一系统的调控盲区

针对辐射系统在湿度调节方面的盲区以及新风系统对温度的干扰,构建“辐射补充温度、新风补充湿度”的机制:在湿度补位方面,辐射系统实时向新风系统传输室内温度,新风系统据此确定适宜的送风湿度,同时新风系统反馈送风参数,辐射系统提前调整供热量以抵消温度干扰;在温度补位方面,当室内温度因太阳辐射、人员增加等非新风因素出现波动时,辐射系统优先调整供热量以稳定温度,若伴有湿度变化,则同步指令新风系统调节除湿量或送风湿度,避免出现“温度稳定但湿度失衡”的情况。

2.3 时序适配:应对系统特性的滞后与即时性

为解决辐射系统的热惯性与新风系统的即时性所引发的干扰,优化系统的启停与调整顺序:在启动阶段,冬季先开启辐射系统将温度提升至接近舒适区间后再开启新风系统,夏季先开启辐射制冷系统降低温度后再开启新风系统;在运行阶段,新风系统在调整前提前15-30分钟向辐射系统发送“预调整信号”,紧急调整时同步发送“即时调整信号”;在停止阶段,冬季先停止新风系统,辐射系统待温度降至舒适区间下限后再停止,夏季先停止辐射制冷系统,新风系统待湿度稳定后再停止。

3 协同控制对热舒适度的提升:从“参数达标”到“感知优化”

协同控制通过化解系统独立运行时的调控矛盾,推动室内热舒适度从“单一参数达标”向“综合感知优化”

升级,核心提升效果体现在以下三个方面:

3.1 温度感知的稳定性:消除波动不适

人体对温度的感知核心在于稳定性,而非仅仅满足于固定数值——即便温度处于舒适区间,频繁的小幅波动也会引发不适。协同控制依托“预调整+即时补偿”机制,大幅减小温度波动:在独立运行时,新风系统送风状态或风量的变化会导致明显的温度波动(如冬季风量增大导致温度下降 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$),人体容易察觉冷热变化;在协同控制下,辐射系统提前响应新风调整,将温度波动控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内(人体难以感知的范围),保障温度环境的稳定。同时,在系统启停阶段,协同控制通过时序适配,使冬夏季的温度变化速率符合人体适应规律(冬季升温 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 、夏季降温 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}/\text{小时}$),避免“骤升骤降”带来的燥热或寒冷感。

3.2 湿度感知的适宜性:规避温湿失衡

湿度对热舒适度的影响虽较为隐性但至关重要,过高或过低的湿度会放大温度不适感(如 25°C 时高湿会使人感觉闷热、 20°C 时低湿会使人感觉寒冷)。协同控制借助“湿度补位”机制实现温湿适配:冬季独立运行时容易出现“温度达标但湿度过低”的情况(如 20°C 伴有湿度 $<30\%$),引发皮肤干燥、呼吸道不适等问题;在协同控制下,新风系统以辐射系统维持的温度为基准,将室内湿度稳定在 $40\%\sim 60\%$,实现“温湿协同适宜”。夏季独立运行时容易出现“温度达标但湿度过高”的情况(如 25°C 伴有湿度 $>70\%$),导致人体感觉闷热黏腻;在协同控制下,新风系统配合辐射制冷进行除湿,将湿度降至 $40\%\sim 55\%$,达成“凉爽不潮湿”的体感。

3.3 气流感知的舒适性:避免吹风与停滞

气流速度是热舒适度的重要补充因素,过高的气流速度容易使人产生吹风感,过低则会导致空气停滞、闷热。协同控制通过“风量与温度协同调整”优化气流感知:冬季独立运行时,新风系统为防止温度下降可能会减小风量,引发空气停滞;在协同控制下,辐射系统提前补偿热负荷,新风系统可维持适宜的风量(保障空气置换),同时将送风速度控制在 $0.2\sim 0.25\text{m/s}$,实现“空气清新无冷风”的效果。夏季独立运行时,新风系统为

除湿可能会增大风量,产生吹风感;在协同控制下,辐射系统稳定温度并配合除湿,新风系统将风量与送风速度($0.25\sim 0.3\text{m/s}$)控制在合理范围,既不会产生吹风感,又能借助气流带走热量增强凉爽感,实现“有风但不凉”的效果。

4 结论与展望

辐射供暖与新风系统的协同控制,本质上是基于热舒适度感知需求的“功能重构与逻辑协同”,其核心价值并非在于技术参数的优化,而是解决了独立运行时“各管一域却相互干扰”的调控矛盾,实现了从“单一系统达标”到“综合感知优化”的突破:通过需求优先级排序,明确了辐射系统在温度调节方面的核心职责以及新风系统在湿度调节方面的辅助职责;通过功能补位,消除了单一系统的调控空白区域;借助时序适配,解决了系统特性的滞后性与即时性差异问题。最终,协同控制促使室内热舒适度在温度稳定性、湿度适宜度、气流舒适度三个维度实现同步提升,为现代建筑暖通系统的集成调控提供了全新思路。

未来研究可进一步融合人体热舒适度的个性化需求(例如不同人群对温湿度敏感度的差异),引入智能感知技术(如人体热感觉反馈传感器),达成“千人千面”的协同控制;同时,可探究协同控制与建筑能源管理的结合方式,在提升热舒适度的同时,进一步优化系统运行效率,实现“舒适与节能”的双重目标。

参考文献

- [1] 人机与环境工程. 毛细管辐射末端的建筑负荷及新风系统能耗特性分析[D]. 2014.
- [2] 程瑞,严继光. 辐射和新风(RCF)空调技术在工程中的应用及防结露控制研究[J]. 中国设备工程, 2024(10): 234-236.
- [3] 许帅星. 冬季侧墙辐射供暖结合多孔天花板送新风系统的性能优化研究[D]. 西安建筑科技大学, 2022.
- [4] 刘家兴. 辐射供暖加新风系统在邮轮住舱的应用研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2021.
- [5] 宋健. 顶板辐射供冷与贴附射流的室内热环境研究[D]. 山东建筑大学, 2020.