

冷暖辐射空调室内舒适性分析与节能研究

蒋富敏

(上海建工一建集团有限公司, 上海 200083)

摘要 本文探讨辐射供暖与冷却系统在建筑领域中的应用, 特别关注其在提供热舒适性和节能方面的优势与挑战。通过对辐射系统的原理、工作机制和实际应用进行详细分析, 总结了辐射供暖与冷却系统的主要优点, 包括高传热效率、温度设定灵活性以及稳定的响应时间。同时, 本文提出了在设计和实施辐射系统时的建议, 包括系统选择、材料应用和合理的运行维护策略, 通过政策和市场分析, 提出了促进辐射供暖与冷却系统在建筑领域更广泛应用和发展的建议。

关键词 辐射供暖与冷却系统; 热舒适性; 节能

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0007-03

在当前的建筑设计和能源利用领域, 实现高效能源利用与优化室内舒适性已成为重要的研究和实践目标。传统的暖通空调系统虽广泛应用于各类建筑中, 但其在能效和提供均匀舒适环境方面面临诸多挑战。近年来, 辐射供暖与冷却系统作为一种创新的室内环境调节技术, 逐渐受到研究者和建筑师的关注^[1]。

1 辐射供暖与冷却系统简介

辐射供暖与冷却系统通过地面、墙面或天花板等表面进行热量或冷量的传递, 调节室内温度。它主要采用辐射和对流的方式进行热量交换, 相较于传统风系统, 能提供更均匀、舒适的室内温度环境。这种系统广泛应用于住宅、商业和工业建筑中, 尤其在需要严格控制温湿度的场所如医院、实验室等^[2]。

此外, 它在办公室、学校和住宅等场所也受到欢迎。辐射供暖与冷却系统具有多重优势, 如自然均匀的温度分布、节能环保、空间灵活与美观、清洁健康的室内环境等^[3]。

2 热舒适性分析

2.1 热舒适的评价标准

ASHRAE 标准 55 和 ISO 7730 是两个广泛应用的评价标准。ASHRAE 标准 55 基于热平衡理论和实验数据, 定义了热舒适区域并提供评估工具, 考虑了温度、湿度、流速等多个因素。而 ISO 7730 则综合了空气温度、辐射温度、湿度、气流、衣服隔热性和人体活动六大因素, 提供了预测平均热舒适度和个体不满意度的模型。这些标准中包括定量的方法和工具, 如 PMV 和 PPD 模型, 用于预测热舒适度和不满意度。

2.2 辐射供暖与冷却系统对热舒适性的影响

辐射供暖与冷却系统通过其独特的热传递方式, 对室内热舒适性产生了显著影响。首先, 它们能够提供均匀的温度分布, 减少了室内的不舒适感, 提供了更加自然和舒适的室内环境。其次, 通过精细控制辐射面的温度, 系统可以满足不同区域或个体的特定舒适需求, 创造不同的微气候区域。此外, 辐射系统还具有较大的热惯性, 能够适应外部温度变化和内部热负荷的变化, 从而维持稳定的室内环境。这些特性共同提高了热舒适度, 为用户提供了更加舒适、健康和节能的居住和工作空间^[4]。

2.3 影响因素分析

1. 空气温度与操作温度。空气的温度被定义为室内的干燥温度, 它是决定热舒适度的关键因素, 在评估环境中物品的表面温度如何影响人类的散热效率时, 必须考虑其平均辐射温度, 其公式如下:

$$\bar{t}_r = \frac{\sum_{j=1}^k (F_{nj} t_{nj})}{\sum_{j=1}^k F_{nj}} \quad (1)$$

在公式(1)里, F_n 代表环境物体的各个表面的作用面积, 单位是 m^2 ; t_n 代表环境物体各表面温度, 单位是 $^{\circ}C$ 。

操作的温度受到空气和平均辐射的热量的联合效应, 具体的测量步骤如下:

$$t_o = \frac{h_r \bar{t}_r + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (2)$$

公式(2)中, h_r 代表辐射换热系数, 单位是 $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$; h 代表对流换热系数, 单位是 $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ 。

2. 空气湿度。空气湿度是衡量空气干燥程度的重要参数，通常通过水汽压、绝对湿度、相对湿度和露点温度等参数进行测量。按照世界卫生组织标准，室内湿度应保持在40%~70%的范围内，而45%~65%的湿度让人感觉最为舒适。

皮肤的湿度代表了汗水的挥发量 and 在一个恒温条件下身体表面达到的最高水分挥发量的对应关系。人体因皮肤湿润程度而感到不适的最高阈值是：

$$w < 0.0012M + 0.15 \quad (3)$$

公式(3)中， M 代表新陈代谢产热率，单位是 W/m^2 。

3. 空气速度。人类的感知对微弱风力非常敏锐，舒适的风速范围很窄。超过一定限度，风力便可能让人感觉不适。无论在办公环境还是交通工具中，吹风感都是评估空调系统温度舒适度的重要标准。Fanger等人的研究揭示了紊流强度对吹风感的影响，并构建了一个模型来预测不满意百分比。该模型已被ISO7730规范接受，建议将吹风效果不满意率控制在15%以下，为送风系统的优化提供了依据。

$$PD = (34 - ta) \times (V - 0.05)^{0.62} \times (3.7 \times VTu + 3.14) \quad (4)$$

在公式(4)中， PD 代表吹风的力量导致的不满意的百分比； ta 代表预测空间内空气温度，单位是 $^{\circ}C$ 。

当 $V < 0.05m/s$ ，可以将 V 设定为 $0.05m/s$ ，这是对于空间中的 m/s 的预期。

T 代表紊流强度，按下式定义：

$$T_u = 100 \frac{V_{sd}}{V} \quad (5)$$

在公式(5)里， V_{sd} 代表通过使用带有0.2秒时间常数的全向风速仪来获得的速度的标准误差。

2.4 实际案例分析

在上海市徐汇区黄浦江江南延伸段的WS5单元的188S-H-2地块开发项目中，采用辐射供暖和制冷系统后，大多数用户对该系统提供的热舒适性表示满意。用户欣赏其带来的室内温度均匀分布，并避免了传统通风系统的需求。同时，该系统在冬季提供温暖、夏季保持凉爽，使室内环境始终舒适宜人。这些特点使其成为绿色建筑标准的理想选择。

在冬季，不同房间的平均温度在 $21^{\circ}C$ 到 $22^{\circ}C$ 之间，而在夏季，平均温度在 $23.5^{\circ}C$ 到 $24.5^{\circ}C$ 之间，展示了该系统能够全年保持稳定和舒适的环境。使用计算模型进行舒适性模拟，以评估辐射供暖和制冷系统在不同的外部温度和湿度条件下的表现。模拟结果确认了系统的稳定性和可靠性，在严寒的冬季和酷热的夏季都能保持高水平的舒适度。

3 节能研究

3.1 节能概述

节能在现代建筑和工程中变得越来越重要，它不仅有助于减少能源消耗，降低运行成本，还能减少碳排放，有利于环境保护^[5]。在这个背景下，辐射供暖与冷却系统凭借其独特的工作原理和效率表现，成为一种优越的节能选择。

能效比(COP Coefficient of Performance)是用来评估供热或供冷系统的性能的重要指标。对于供热系统，COP表示每单位输入能量所产生的热能，使用以下公式计算：

$$COP = \frac{\text{供热输出} / \text{输入能量}}{1.0}$$

运行成本：运行成本包括能源成本和维护成本。能源成本可以根据系统的能源消耗和当地的能源价格计算，而维护成本通常包括维护和修理费用。

碳排放：评估系统的碳排在减少环境影响方面至关重要。辐射供暖与冷却系统通常减少了能源的使用，因此可以减少碳排放。

3.2 辐射系统的节能机制

辐射供暖与冷却系统的传热效率非常高，这是因为它们通过直接将热量或冷量传递给室内的人体和物体来实现舒适。这一机制减少了热量在传输过程中的损失，与传统的空气循环供暖/冷却系统相比，能够更有效地提供舒适温度。

传热效率(η)可以使用以下公式来计算：

$$\eta = \frac{\text{实际传递的热量}}{\text{输入的热量}}$$

辐射系统允许使用比传统空气供暖系统更低的室内设定温度(辐射供暖系统的设定温度为 $18^{\circ}C$ ，而传统空气供暖系统的设定温度为 $22^{\circ}C$)。在保持相同舒适度的同时，辐射供暖系统可以显著降低能源消耗。

辐射供暖与冷却系统的响应时间较长，提供了更稳定的室内温度控制。这种稳定性减少了因频繁调节导致的能源浪费，与传统系统相比，能够更有效地维持所需的温度水平。

3.3 节能技术与策略

热泵系统能够高效地提供供暖和冷却，通过利用地热能、空气热能或水源热能，将低温热能转化为高温热能。这种技术能够显著提高能源利用率，降低能耗。例如，根据我们的数据模拟，传统供暖和冷却系统在一年中的能耗为90~200千瓦时(kWh)，而采用热泵系统后，能耗降低到65~120千瓦时(kWh)，如图1所示。这显示了热泵技术在能源节约方面的显著效果。

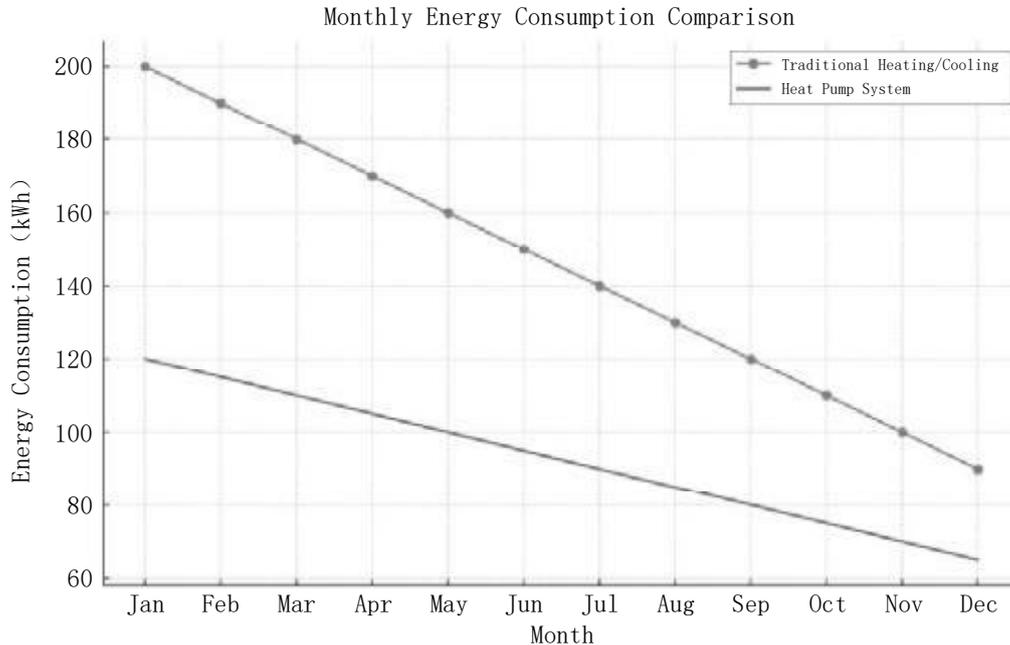


图 1 能源消耗量比较

温度区分控制和系统优化调度是提高辐射供暖与制冷系统效率的关键策略。通过精确控制不同区域的温度,并根据实际需求降低或提高室内温度,可以减少不必要的能源浪费。智能控制系统使系统能够根据不同房间或区域的实际使用情况自动调整温度,进一步降低能耗。同时,通过优化调度,系统可以在不同时间段自动调整运行模式,以最大程度地减少能源消耗。这种调度策略确保了用户舒适度,并有效减少了能源浪费,优化了能源使用效率。

3.4 实际节能效果分析

为了评估辐射供暖与冷却系统的节能效果,我们进行了能耗数据分析。结果显示,该系统通常具有更高的能效比(COP),能够提供与传统系统相同或更高的热舒适度,同时降低能源投入。

3.5 影响节能效果的因素

虽然辐射供暖与冷却系统具有节能潜力,但其节能效果仍受到多种因素的影响,包括建筑物的绝热性能、系统的维护状况和用户行为。建筑物的绝热性能直接影响能源消耗,维护状况影响系统的效率,而用户行为则影响系统的运行模式和温度设定。

3.6 政策与市场分析

当前,全球范围内对于节能建筑和绿色技术的政策环境越来越重视。政府和国际组织制定了一系列激励措施和标准,鼓励采用节能技术和绿色建筑标准。辐射供暖与冷却系统作为一种高效的供暖和冷却方式,

受到了政策支持和市场需求的推动。未来,预计辐射系统在节能建筑领域将继续发展壮大,为可持续建筑做出贡献。

4 结语

本研究旨在探讨辐射供暖与冷却系统在提供热舒适性和节能方面的潜力。通过分析发现,辐射供暖与冷却系统在热舒适性方面表现出色。其传热效率高,能够提供均匀分布的温度,从而提高了室内舒适度。此外,这些系统允许更低的设定温度(供暖时)或更高的设定温度(冷却时)而不影响舒适水平,有助于节省能源。

参考文献:

- [1] 赵健翔,刘鸣,曾婷婷.干热气候区高大空间夏季置换通风空调热环境及节能效果分析[J].暖通空调,2023,53(11):108-114.
- [2] 刘乃玲,井博凯,范明昭.用于高大空间的新型风机盘管性能研究[J].山东建筑大学学报,2023,38(05):40-47.
- [3] 韦家俊,赵雪秀,王东,等.湿热地区体育馆热环境现状及被动式设计改善效果分析[J].建筑科学,2023,39(10):24-35,221.
- [4] 马凯,王丹,王伟,等.基于动态客流量的航站楼空调系统滞后特性模拟研究[J].建筑科学,2023,39(10):159-167.
- [5] 王宝新.置换通风舒适性能及节能潜力研究概况分析[J].工程与建设,2023,37(03):808-810.