

# 高层建筑中庭空间暖通空调系统设计挑战与解决方案

张梦南

九易庄宸科技(集团)股份有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**文中聚焦高层建筑中庭空间暖通空调系统设计。随着城市建设发展,高层建筑日益增多,中庭作为其重要空间,暖通空调系统设计面临诸多难题。文章深入剖析了诸如气流组织复杂、冷热负荷计算难、能源消耗大等挑战。通过优化气流组织方案、精准负荷计算方法以及采用节能技术等策略,提出切实可行的解决方案,旨在提升中庭空间舒适度,降低能耗,为高层建筑中庭暖通空调系统设计提供有益参考。

**[关键词]**高层建筑;中庭空间;暖通空调系统;气流组织;节能技术

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19237

中图分类号: TU111

文献标识码: A

## Challenges and Solutions in the Design of Heating, Ventilation, and Air Conditioning Systems for Courtyard Spaces in High-rise Buildings

ZHANG Mengnan

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** This article focuses on the design of HVAC systems for atrium spaces in high-rise buildings. With the development of urban construction and the increasing number of high-rise buildings, the atrium, as an important space, faces many challenges in the design of HVAC systems. The article delves into challenges such as complex airflow organization, difficulty in calculating cooling and heating loads, and high energy consumption. By optimizing airflow organization schemes, precise load calculation methods, and adopting energy-saving technologies, practical and feasible solutions are proposed to improve the comfort of atrium spaces, reduce energy consumption, and provide useful references for the design of HVAC systems in high-rise buildings.

**Keywords:** high-rise buildings; courtyard space; HVAC system; airflow organization; energy-saving technology

### 引言

在现代城市景观中,高层建筑拔地而起,中庭作为高层建筑的核心公共空间,其功能与美观兼具。然而,由于中庭空间高大、贯通楼层多,暖通空调系统设计面临严峻考验。如何确保中庭空间温度适宜、空气流通良好,同时实现节能高效,成为建筑领域亟待解决的关键问题。研究高层建筑中庭空间暖通空调系统设计挑战与解决方案,对提升建筑品质、节约能源意义重大。

### 1 气流组织难题与对策

高层建筑中庭空间的独特构造,使得气流组织面临着错综复杂的难题。其空间高大开阔,自然通风时,烟囱效应尤为显著。在寒冷的冬季,室内热空气因密度差快速向上攀升,大量聚集于中庭顶部,致使下部人员频繁活动区域的温度急剧下降。以北方某高层建筑中庭为例,冬季实测数据显示,下部区域温度相较于顶部可低至 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,人员在下部活动时,体感寒冷,舒适度大打折扣。而到了炎热的夏季,热空气在顶部不断积聚,难以通过常规自然通风方式排出,使得中庭内闷热感加剧,进一步恶化室内环境。

机械通风时,送风口与回风口的设计若稍有差池,便极易引发气流短路现象。在一些已建成的高层建筑中,因送回风口位置布局不合理,送风口送出的新鲜空气,未能

充分与室内浑浊空气混合进行热质交换,便被回风口迅速吸走。经实际检测,此类情况下,室内空气的有效换气次数远低于设计标准,室内温度分布不均,部分区域温度过高或过低,空气质量也难以达标,严重影响中庭空间的使用体验。此外,中庭内人员活动频繁,人群走动会干扰气流走向;照明、电梯等设备持续散热,也会对气流分布产生影响,这些因素相互交织,使得原本就复杂的气流组织变得更加难以掌控。

为有效攻克这些难题,一系列针对性优化策略应运而生。对于自然通风,科学合理地设置通风口的位置与大小极为关键。在中庭顶部安装可根据室内外温度及热压变化自动调节开度的通风天窗,冬季将其关闭,能极大程度减少热量通过顶部散失;夏季则自动开启,利用热压作用促使热空气快速排出。同时,在中庭下部靠近人员活动区域设置进风口,精准引导室外冷空气有序进入,从而在中庭内部构建起合理的气流循环路径。在机械通风方面,借助CFD(计算流体力学)模拟技术,对不同送回风口位置、形状及尺寸下的气流分布情况进行精准分析。依据模拟结果,选用旋流风口等特殊风口形式,此类风口能使送出的空气形成旋转气流,极大地增强了与室内空气的混合效果,有效避免气流短路。在某新建的高层建筑中庭项目中,运用CFD模拟优化送回风口位置,并采用旋流风口后,室

内空气有效换气次数提高了 30%~40%，温度均匀性明显改善。此外，针对人员活动与设备散热的重点区域，增设局部通风装置，如岗位送风机、设备排热罩等，对这些区域进行精准的气流调节，进一步提升整体气流组织的合理性。通过这些措施，以某实际高层建筑中庭为例，应用 CFD 模拟优化送回风口位置，并设置可调节通风天窗后，冬季下部区域温度提升了 3~5℃，夏季顶部热空气聚集现象明显减轻，室内气流分布均匀性显著提高，人员舒适度大幅提升。

## 2 负荷计算困境与破解

高层建筑中庭空间的冷热负荷计算，存在着诸多棘手的困境。中庭空间与多个楼层相互连通，传热过程极为复杂。热量不仅会通过建筑的外墙、屋顶等围护结构进行传导，还会在楼层之间经由楼板、楼梯间等部位相互传递，传统的负荷计算方法，往往仅能考虑单一的传热途径，难以全面、准确地涵盖这些复杂的传热过程，导致计算结果偏差较大。以某超高层建筑中庭为例，传统计算方法得出的负荷值与实际运行所需负荷值偏差可达 20%~30%，严重影响暖通空调系统的设计与运行效果。

中庭空间大面积采用玻璃幕墙，这在提升建筑美观与采光效果的同时，也给负荷计算带来了巨大挑战。在炎炎夏日，强烈的太阳辐射透过玻璃幕墙大量涌入室内，成为室内得热的主要来源。据测算，夏季因玻璃幕墙太阳辐射得热可占中庭总冷负荷的 40%~50%。而到了寒冷的冬季，玻璃幕墙的保温性能相对较差，室内热量极易通过幕墙散失到室外，进一步加大了供暖负荷。此外，中庭内人员密集，不同时段人员数量变化较大，其散热散湿情况不稳定；照明灯光、电梯等设备众多，设备的运行功率与使用时间也各不相同，这些因素综合起来，使得负荷计算的不确定性大幅增加。

为实现精准的负荷计算，需引入一系列先进的计算方法。采用动态负荷计算软件，如 DeST（建筑环境系统模拟分析软件），该软件充分考虑建筑围护结构的蓄热性能，能够实时模拟太阳辐射随时间的动态变化情况，以及不同楼层间复杂的传热影响，从而更为精准地模拟中庭空间的负荷波动。针对玻璃幕墙，精确测定其遮阳系数、传热系数等关键参数，根据幕墙的朝向、当地的气候特点，合理选用遮阳设施。对于朝南的玻璃幕墙，采用外遮阳百叶，可有效阻挡夏季太阳辐射，减少得热；选用 Low-E 玻璃，能降低玻璃的传热系数，减少冬季热量散失。对于人员与设备散热散湿，深入调研实际使用情况，采用科学合理的人员密度与设备功率指标进行计算。在某高层建筑中庭项目中，运用 DeST 软件结合精准的幕墙参数与人员设备散热计算，负荷计算误差控制在 5%以内，为暖通空调系统设备选型提供了可靠依据，避免了设备选型过大或过小带来的能源浪费与运行不稳定问题。

## 3 能源消耗问题与应对

高层建筑中庭空间的暖通空调系统，能源消耗问题极为突出。因其空间高大，为营造并维持适宜的温湿度环境，空调系统需要处理大量的空气。以某大型商业综合体的高层建筑中庭为例，其空调系统的送风量相较于普通楼层空间高出 5~8 倍，这直接导致风机能耗大幅增加。而且，传统的暖通空调系统在部分负荷运行时，其运行效率较低。定风量空调系统在室内负荷降低时，风机仍以恒定风量运行，造成能源的无谓浪费。据统计，传统暖通空调系统在部分负荷工况下，能源利用率相较于满负荷工况可降低 30%~40%。此外，不合理的系统设计与运行管理，如设备长时间处于高负荷运行状态、空调系统的冷热量相互抵消等情况，也使得能源消耗长期居高不下。

为有效应对能源消耗问题，可从多个维度着手。在系统设计层面，积极采用变风量（VAV）系统、变制冷剂流量（VRF）系统等节能型系统。VAV 系统具备智能调节功能，能够依据室内负荷的实时变化自动调整送风量，当室内负荷降低时，风机转速随之降低，从而显著减少风机能耗。据实际项目数据，采用 VAV 系统相较于传统定风量系统，风机能耗可降低 25%~35%。VRF 系统则可根据不同区域的负荷需求，精确控制制冷剂流量，实现按需供冷供热，极大地提高了系统的能效。在设备选择上，优先选用高效节能的冷热源设备，如离心式冷水机组，其在大型制冷需求场景下，能效比相较于普通螺杆式冷水机组可提高 10%~15%；空气源热泵则能在不同季节高效地实现制冷与制热转换。同时，引入智能控制系统，通过传感器实时监测室内温湿度、设备运行状态等关键参数，根据实际需求自动、精准地调节设备运行，避免设备过度运行。当室内温度达到设定值时，智能控制系统自动降低空调机组的运行功率。此外，加强运行管理，制定完善的设备维护保养计划，定期对系统进行全面维护，确保设备始终处于最佳运行状态。通过这些节能措施，某高层建筑中庭采用 VAV 系统与智能控制系统后，与传统定风量系统相比，年耗电量降低了 20%~30%，有效实现了节能目标，降低了建筑运营成本。

## 4 系统稳定性问题与解决

高层建筑中庭暖通空调系统的稳定性，面临着诸多严峻挑战。系统规模庞大，涉及众多设备，从大型的冷水机组、锅炉，到各类风机、水泵等，任何一个设备出现故障，都可能如同“多米诺骨牌”一般，对整个系统的正常运行产生严重影响。冷水机组一旦发生故障，整个空调系统将无法提供冷量，不仅中庭空间温度会迅速升高，与之相连的多个楼层的舒适度也会受到极大影响，严重时可能导致商业活动中断、人员办公生活不便等问题。

不同季节、不同时段，中庭空间的负荷变化幅度较大。在过渡季节，室外温度变化频繁且剧烈，空调系统需要频

繁调整制冷或制热模式以及运行参数,以适应负荷变化。然而,传统的控制系统往往难以迅速、精准地响应这些变化,导致室内温湿度出现较大波动。以某办公建筑中庭为例,在过渡季节,因控制系统响应滞后,室内温度波动范围可达 5~6℃,湿度波动范围可达 15%~20%,严重影响室内人员的工作体验与身体健康。此外,系统的管道布置错综复杂,在设计与施工过程中,若水力计算不准确或管道安装不规范,极易引发水力失调问题。水力失调会导致系统各支路的水流量分配不均,部分区域供冷供热不足,而部分区域则出现冷热量过剩的情况,严重影响系统的均匀供冷供热效果。

为切实保障系统稳定性,需采取一系列行之有效的措施。在设备选型阶段,优先选用质量可靠、性能稳定的设备,并为关键设备配备冗余设备。配置备用冷水机组、备用风机等,当主设备突发故障时,备用设备能够在极短时间内自动切换投入运行,确保系统不间断运行,维持室内环境稳定。在控制系统方面,引入先进的智能控制算法,如模糊控制、预测控制等。模糊控制算法能够根据系统的输入输出数据,灵活调整控制策略,提高系统对负荷变化的响应速度与控制精度;预测控制则可通过对未来负荷变化的预测,提前调整设备运行参数,有效减少室内温湿度波动。针对水力失调问题,在系统管道上安装水力平衡阀,并进行严格的调试工作。通过调试,精确调整各支路的阀门开度,使系统各支路的水流量达到设计要求,保证系统均匀供冷供热。实施这些措施后,某高层建筑中庭在配备备用冷水机组、采用模糊控制算法并进行水力平衡调试后,系统故障次数明显减少,室内温湿度波动控制在极小范围内,为用户提供了稳定舒适的环境。

### 5 方案实施效果总结

众多高层建筑在全面实施上述针对中庭空间暖通空调系统设计的解决方案后,成效斐然。在气流组织方面,通过科学优化通风口与送回风口的设计,深度结合 CFD 模拟技术,室内气流分布的均匀性得到了大幅提升。以某知名酒店的高层建筑中庭为例,优化后人员活动区域的风速偏差控制在 0.2m/s 以内,温度偏差控制在 2℃以内,极大地提升了人员在中庭活动时的舒适度,顾客满意度显著提高。负荷计算准确性的提升,借助先进的 DeST 软件以及精准的参数计算,为暖通空调系统设备选型提供了坚实可靠的依据。在某办公写字楼中庭项目中,设备选型更加

适配实际负荷需求,避免了因设备过大造成的能源浪费以及设备过小导致的运行不稳定问题,系统运行的可靠性与稳定性得到有力保障。

节能措施的广泛应用,如采用节能型的 VAV 系统、VRF 系统,选用高效节能设备以及引入智能控制系统等,切实有效地降低了能源消耗。据统计,众多实施改造的高层建筑中庭,年耗电量相较于改造前平均降低了 25%左右,大幅降低了建筑的运营成本,实现了经济效益与环境效益的双赢。系统稳定性显著增强,通过设备冗余配置、运用先进的智能控制算法以及进行严格的水力平衡调试,系统故障次数明显减少。以某商业中心的高层建筑中庭为例,改造后系统故障次数较之前减少了 60%~70%,室内温湿度始终稳定在适宜范围内,为商业活动的正常开展以及人员的舒适体验提供了可靠保障。众多项目的成功实践充分表明,这些解决方案切实可行且效果显著,全面提升了高层建筑中庭空间暖通空调系统的综合性能,为高层建筑的高效、舒适运行奠定了坚实基础。

### 6 结语

未来,随着科技不断进步,高层建筑中庭暖通空调系统设计将迎来更多创新。更先进的气流模拟技术、精准负荷计算模型以及高效节能设备将不断涌现。设计师应持续关注技术发展,将新技术融入设计,进一步优化系统性能,降低能耗,提升舒适度。同时,加强跨学科合作,整合建筑、暖通、自控等领域知识,打造更智能、稳定、节能的暖通空调系统,助力高层建筑实现可持续发展。

#### [参考文献]

- [1] 赵荣义.简明空调设计手册[J].中国建筑工业出版社,2018(5):123-130.
- [2] 朱颖心.建筑环境学[J].中国建筑工业出版社,2019(8):56-62.
- [3] 石文星.制冷原理与设备[J].清华大学出版社,2021(8):95-102.
- [4] 李百战.建筑节能技术[J].中国建筑工业出版社,2020(6):78-85.
- [5] 田胜元.智能建筑控制系统[J].机械工业出版社,2022(6):78-85.

作者简介:张梦南(1994.8—),男,汉族,毕业学校:石家庄铁道大学,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司。