

文章编号: 1671-6612 (2025) 05-754-12

基于 Airpak 软件 对高大中庭夏季室内空调系统的验证模拟分析

吕柯聪 高 飞

(四川省建筑设计研究院有限公司 成都 610000)

【摘 要】 以成都某中庭建筑的空调系统为案例, 通过 Airpak 软件数值模拟的方法, 验证了采用空调方案底部送风+上部送风+2 号楼顶部机械排风方式的合理性, 并在四季中庭与周围办公无物理隔断的条件下, 为高大中庭的送回风、机械排风的方案的设计提出了优化措施: (1) 在屋顶设置变频的机械排风措施后, 2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的平均风速降低 21.95%, 2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.38 < PMV < +0.25$, 且交界面上人员活动高度下 (1.73m) 的 PMV 处于 $-0.38 < PMV < +0.25$ 。2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的风速合理的引导了高大中庭的气流循环, 对大楼的风量平衡起到辅助作用; (2) 通过调整二次回风送、回风口尺寸及形式后, 靠近台阶区域集中回风口位置平均风速降低 16.13%, 台阶区域送风口平均风速降低 81.25%。从 PMV 分布云图可知, 在调整后, 1 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.25 < PMV < +0.25$, 且交界面上人员活动高度下 (1.73m) 的 PMV 处于 $-0.38 < PMV < +0.25$, 基本满足控制目标要求。

【关键词】 高大中庭; 热舒适评价; 气流组织; CFD 数值模拟

中图分类号 TU83 文献标志码 A

Verification Simulation Analysis of Indoor Air Conditioning Systems of Indoor Thermal Environment in Large Atriums in Summer Based on Airpak Software

Lv Kecong Gao Fei

(Sichuan Provincial Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610000)

【Abstract】 This paper takes the air conditioning system of a certain atrium building in Chengdu as a case, through the numerical simulation method of Airpak software, verifies the rationality of the air conditioning method of bottom supply air + upper supply air + mechanical exhaust at the top of Building 2. Under the condition that there is no physical partition between the atrium and the surrounding office in all four seasons, it proposes optimization measures for the design of supply and return air and mechanical exhaust schemes for high atriums. 1) After the installation of variable-frequency mechanical exhaust measures on the roof, the average wind speed at the interface near the exhaust outlet in the opening office area on the roof of Building 2 decreased by 21.95%, and the PMV at the interface near the exhaust outlet in the opening office area on the roof of Building 2 was $-0.38 < PMV < +0.25$. Moreover, at the height of personnel activity on the interface (1.73m), the PMV is $-0.38 < PMV < +0.25$. The wind speed near the interface of the exhaust outlet in the opening office area on the top floor of Building 2 reasonably guides the air circulation in the high atrium, playing an auxiliary role in the air volume balance of the building. 2) After adjusting the size and type of the secondary return air supply and return air outlets, the average wind speed at the centralized return air outlets near the step

area decreased by 16.13%, and the average wind speed at the supply air outlets in the step area decreased by 81.25%. From the PMV distribution cloud map, it can be seen that after adjustment, the PMV at the interface of the opening office area on the top floor of Building 1 near the exhaust outlet is $-0.25 < \text{PMV} < +0.25$, and the PMV at the personnel activity height (1.73m) at the interface is $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$, basically meeting the control target requirements.

【Keywords】 Large atrium; Thermal comfort Evaluation; Air distribution; CFD simulation

0 引言

高大中庭是一种大型办公楼特有的空间,其恢宏、高大明亮等特点深受业主的青睐。一方面能够显著的改善建筑的自然采光条件,同时能在过渡季节形成良好的自然通风,有效改善室内热环境^[1]。另一方面,大面积的玻璃幕墙使得自然光直接进入室内,增加了太阳辐射得热,同时阻挡了室内向室外的长波辐射,导致室内温度上升,形成温室效应。当高大中庭空间高度较大时,由于竖向高度及室内温度梯度会形成较强的烟囱效应^[2],会产生自然的通风换气作用。通过“温室效应”与“烟囱效应”来调节室内热环境。烟囱效应对中庭室内热环境影响是双面的,冬季起消极作用,夏季起积极作用,而温室效应则反之。因此,暖通专业选择合适的气流组织形式来控制室内热环境至关重要。

2010年,王颖^[3]将能耗模拟软件和数值模拟软件相结合,提出将对流和辐射解耦的一种适用于工程的中庭类建筑数值模拟方法。利用该方法分别对某中庭夏季几种工况进行了模拟研究,提出了夏季控制中庭上部过热气流组织方法,为工程设计提供参考。于欣^[4]利用应用数值模拟(CFD)的方法,对于高大建筑的中庭空调进行了多方案各种情况的分析和研究,希望能为未来实际项目的设计提供一些帮助。李晨玉等人^[5]针对大型公建建筑高大中庭夏季供冷出现的顶部温度过高、底部温度过低现象,结合中庭自身特点提出三种空调送风方案,并利用计算流体力学法(CFD)综合考虑温度和风速两种控制目标,优化高大中庭及周边区域室内热环境,满足热舒适的同时利于节能。戎传亮^[6]运用 Airpak 软件以济南市研究生工作室为研究对象,通过得到的温度场、速度场、压力场及 PMV-PPD 分析知其满足热舒适性的要求。

本文以成都市中兴通讯西南科创中心四季中庭为研究对象,由于业主为保证四季中庭的通透完整性,及在声学顾问建议取消中庭与周围办公室物理隔断来削弱高层办公楼的高大空间的混响作用,

最终采用室内挑空中庭与周围办公室无物理分割且有顶部采光玻璃顶、朝南及朝北两面玻璃幕墙的建筑方案。因此四季中庭内的气流组织势必会影响周围办公层的气流组织及效果。通过验证现有的空调方案底部送风+上部送风+2号楼顶部机械排风方式的合理性,并在四季中庭与周围办公无物理隔断的条件下,为高大中庭的送回风、机械排风的方案的设计提出了优化措施,故利用 Airpak 数值模拟现有空调系统对室内温度场、速度场的影响,并采用我国现行 GB 50736-2012^[7]规范对舒适性下的 PMV、PPD 场对室内热舒适进行评价,进而得出优化现有的空调系统的解决措施。

1 工程概况

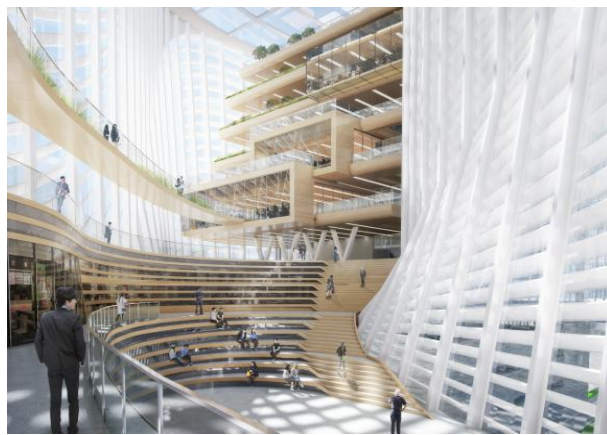


图1 四季中庭及共享空间效果图

Fig.1 Renderings of the four-season atrium and shared spaces

本项目位于成都市四川天府新区兴隆街道保水村四组,跑马埂村七组、八组,东侧紧邻城市快速路梓州大道,北侧紧邻天星街,西侧紧邻湖畔路东段。总用地面积 30784.24m²。1-1#号楼为一栋办公建筑,建筑高度最高为 56 米,分为两个单元,两个单元通过置于 7 层~12 层的四季中庭相连,中庭尺寸为长 27.5m,宽 25.2m,高约 20m~28m,南侧、北侧为全玻璃幕墙,顶部均为采光天窗。中庭

与通过形体扭转，自然过度高低两栋建筑，形成极具空间特色的共享活动空间，便捷高效连接办公、会议、配套等功能区的同时，为园区提供交流、休憩、观景于一体的空中休闲场所，有效激活园区整体活力。四季中庭与周围办公区域共享区域之间无封闭物理隔断，7层通过设置阶梯共享活动空间，8层及9层设置连廊连接1-1#号楼。四季中庭及周边共享空间效果图如图1所示。

1.1 物理模型及空调设计方案的建立

根据建筑平面图、立面图、剖面图进行建模。空调方案采用底部送风+上部送风+2号楼顶部排风来改善夏季四季中庭垂直温度梯度过大的问题^[5]。通过设置送风口、回风口相关参数，采用较为准确的计算方法对计算模型进行长时间的模拟计算并得到计算结果，针对中庭区域展开模型建立及计算。

1.1.1 空调方案

- (1) 6F~7F 台阶共享区域：设置全空气系统（VAV 二次回风），空调机房设置于 5F，风管走 5F 桁架，采用地送风形式，对中庭台阶共享区送风（二次回风），7F 空调回风口设置配套用房回风井的底部。
 - (2) 6F~7F 演讲台：设置风盘+新风系统。
 - (3) 8F 连廊：设置风机盘管（FCU）+新风系统。
 - (4) 7F~12F 挑空部分连廊：设置全空气系统，空调机房设置于 1 号楼屋面，空调喷口设置于 1 号楼屋面层，对中庭送风；8F 设置空调回风口。
 - (5) 四季中庭与周围办公区连通区分界面：设置风机盘管（FCU）。
 - (6) 2 号楼中庭顶部设置工频排风系统。
- 空调系统图如图 2 所示。

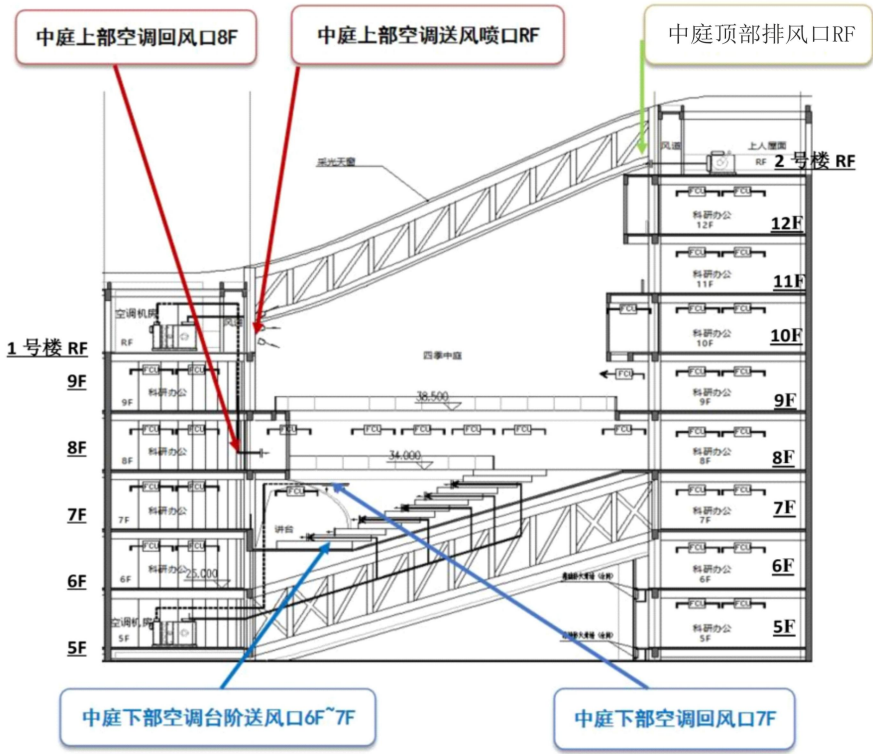


图 2 四季中庭区域空调系统及风口布置

Fig.2 Air distribution and tuyere layout of air conditioner in atrium

1.1.2 边界条件设定

为简化计算模型，进行如下的假设：
(1) 因中庭与共享区相连通，难以分割，故模拟区域定义为中庭及其周边共享区。周边共享区、办公区的空调系统均开启，且均达到室内设计

温度（夏季 25℃、冬季 20℃）。中庭与周边办公区无物理封闭隔断。
(2) 太阳辐射透过天窗和玻璃幕墙到达人员活动区，考虑太阳辐射对中庭热环境的影响：太阳辐射取《中国建筑热环境分析专用气象数据集》夏

季/冬季日平均温度最高/最低那一日太阳辐射量最高那一时刻的太阳辐射量、太阳高度角和方位角^[8]。

室内人员、设备及照明等设计条件如表 1 所示。

表 1 中庭及周围房间内扰工况

Table 1 Air conditioning system scheme and simulation conditions of the atrium

中庭及连廊室内热源参数		共享区室内热源参数	
中庭及回廊 人员密度 (m ² /人)	10	共享区人员 密度/(m ² /人)	8
照明/(W/m ²)	10	照明/(W/m ²)	10
设备/(W/m ²)	5	设备/(W/m ²)	10
天窗综合遮 阳系数/Sw	0.28	天窗综合遮 阳系数/Sw	0.28
幕墙综合遮 阳系数/Sw	0.28	幕墙综合遮 阳系数/Sw	0.28

天窗和玻璃幕墙采用三银玻璃, $U \leq 2.08 \text{ W/m}^2\text{℃}$

1.1.3 风口及房间条件设定

按照空调送风口按照送风区域、送风量进行风口位置搭建, 调整风口尺寸, 主要保证射流长度、送风量及送风范围。1#楼顶部空调送风口喷口单个风口送风量为 4500m³/h, 设计送风温度 16℃, 考虑热湿处理中的显热处理部分, 将送风温度在模型设为 19℃, 送风方向为呈一定向下角度送风; 8 层侧墙回风口 (不包括连廊下部) 有效系数后模型中的尺寸为 1500mm×2500mm, 500mm×2500mm, 压力边界条件, 风口有效系数取 0.8, 通风口类型为外部风口, 损失系数计算方式为自动; 8 层连廊处风机盘管送风口参数为单个送风口风量为 1360m³/h, 送风温度 18℃, 考虑热湿处理中的显热处理部分, 将送风温度在模型设为 20℃; 地面送风温度 19.5℃, 风口尺寸为 1000mm×200mm。外墙、外窗按相应冷负荷设置为常热流, 即第二类边界条件, 同时将外墙、外窗总负荷中的 0.5 倍作为地面耗冷量, 具体设置也可以结合表 2。墙体、地面及屋顶等参数设置如表 3 所示; 物理计算模型如图 3 所示。

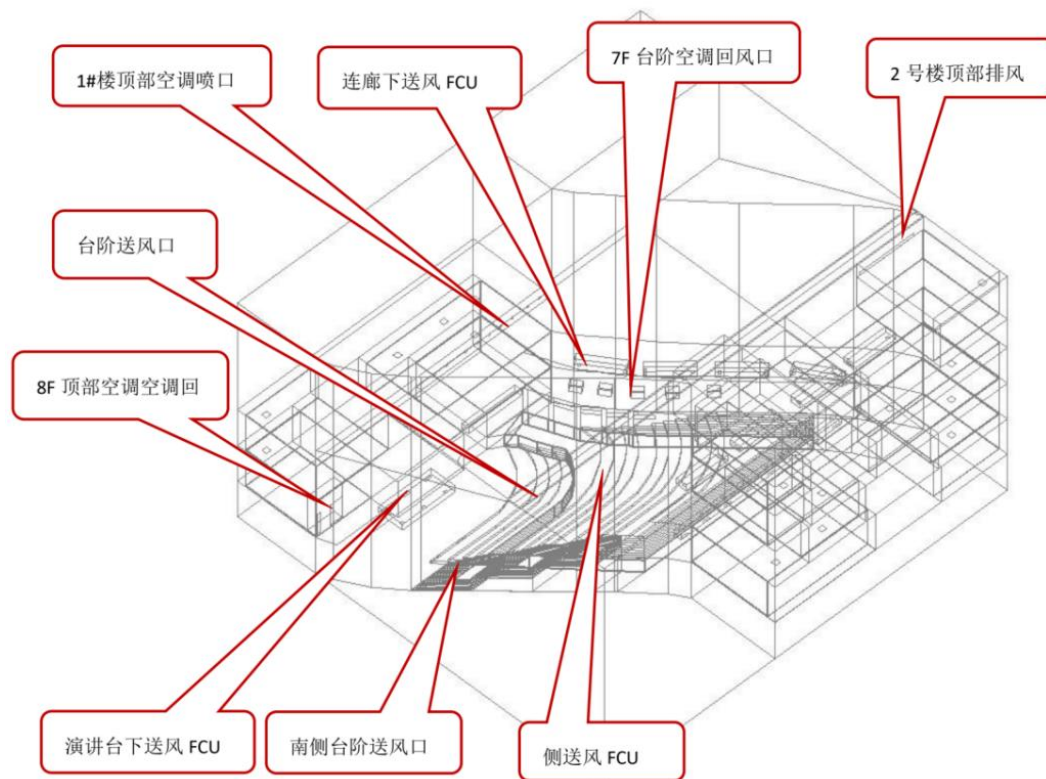


图 3 四季中庭物理计算模型

Fig.3 Floor plans and renderings of the four-season atrium and shared spaces

表 2 风口边界条件设置

Table 2 Boundary conditions air vent boundary conditions

对象名称	边界类型	具体参数	备注
1# 楼顶部喷口	Velocity-Inlet	尺寸: $\phi 270\text{mm}$; 数量: 9 个; 单个送风量: $4500\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 18.52m/s ; 送风温度: 19°C	考虑送风有效射程及潜热处理部分
6F~7F: 台阶送风口	Velocity-Inlet	尺寸: $1\text{m}\times 0.2\text{m}$; 数量: 25 个; 单个送风量: $1200\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 1.5m/s ; 送风温度: 19.5°C	考虑风口有效系数
6F~7F: 南侧台阶送风口	Velocity-Inlet	尺寸: $2.55\text{m}\times 0.2\text{m}$; 数量: 7 个; 单个送风量: $2500\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 1.5m/s ; 送风温度: 19.5°C	考虑风口有效系数
2 号楼顶部排风口	Velocity-outlet	尺寸: $7\text{m}\times 0.4\text{m}$; 数量: 1 个; 单个送风量: $50000\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 1.5m/s ; 送风温度: 19.5°C	考虑风口有效系数; 考虑连通办公区域部分新风
9F: 侧送式 风机盘管送风口	Velocity-Inlet	尺寸: $0.3\text{m}\times 0.2\text{m}/\phi 250\text{mm}$; 数量: 5/11 个; 单个送风量: $1360\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 6.3m/s ; 送风温度: 20°C	考虑送风有效射程及潜热处理部分
8F: 下送式风机盘管 送风口	Velocity-Inlet	尺寸: $0.4\text{m}\times 0.4\text{m}$; 数量: 11 个; 单个送风量: $1360\text{m}^3/\text{h}$; 送风风速: 2.36m/s ; 送风温度: 20°C	考虑送风有效射程及潜热处理部分
8F: 1#楼顶部 空调系统回风口	Pressue-Outlet	尺寸: $1.5\text{m}\times 2.5\text{m}$; 数量: 1 个; 风口有效系数: 0.8; 回风量: $27000\text{m}^3/\text{h}$; 尺寸: $0.5\text{m}\times 2.5\text{m}$; 数量: 1 个; 风口有效系数: 0.8; 回风量: $8000\text{m}^3/\text{h}$	
7F: 中庭下部 台阶空调回风口	Pressue-Outlet	尺寸: $9\text{m}\times 0.4\text{m}$; 回风量: $25000\text{m}^3/\text{h}$; 风口有效系数: 0.8; 风口置于配套用房回风井的底部	
风机盘管回风口	Pressue-Outlet	尺寸: $0.8\text{m}\times 0.2\text{m}$; 数量: 27 个; 风口有效系数: 0.8	

表 3 墙体边界条件设置

Table 3 Wall boundry conditions

围护结构	边界类型	具体参数	备注
南外墙	常热流	$174\text{W}/\text{m}^2$	
北外墙	常热流	$87\text{W}/\text{m}^2$	
地面	常热流	$24\text{W}/\text{m}^2$	
屋顶	常热流	$150\text{W}/\text{m}^2$	遮阳后取 $75\text{W}/\text{m}^2$
塔楼与中庭隔墙	常热流	$30\text{W}/\text{m}^2$	

2 评价标准

我国现行 GB 50736-2012 规范对舒适性空调

室内设计参数提出了如表 4 所示的要求, 以及不同热舒适等级对应的 PMV、PPD 值。

表 4 GB 50736-20124 中热舒适指标

Table 4 Index of thermal comfort in GB 50736-2012

类别	热舒适等级	温度/ $^\circ\text{C}$	相对湿度/%	风速/ (m/s)	PMV	PPD
供热工况	I 级	22~24	≥ 30	≤ 0.2	-0.5~0.5	$\leq 10\%$
	II 级	18~22	-	≤ 0.2	-1~-0.5, 0.5~1	$\leq 27\%$
供冷工况	I 级	24~26	40~60	≤ 0.25	-0.5~0.5	$\leq 10\%$
	II 级	26~28	≤ 70	≤ 0.3	-1~-0.5, 0.5~1	$\leq 27\%$

我国规范借鉴丹麦 Fanger^[9]教授提出的热平衡方程, 提出预测平均投票 PMV, 综合考虑人体活

动程度、着衣情况, 空气温度、平均辐射温度、空气流动速度和空气湿度等因素, 以数字化量化的形

式度量同一环境下绝大多数人对于室内的冷热感觉。因此, 选择 PMV 及 PPD 来评价室内热舒适。

3 模拟计算结果

3.1 四季中庭典型剖面温度、矢量风度分布

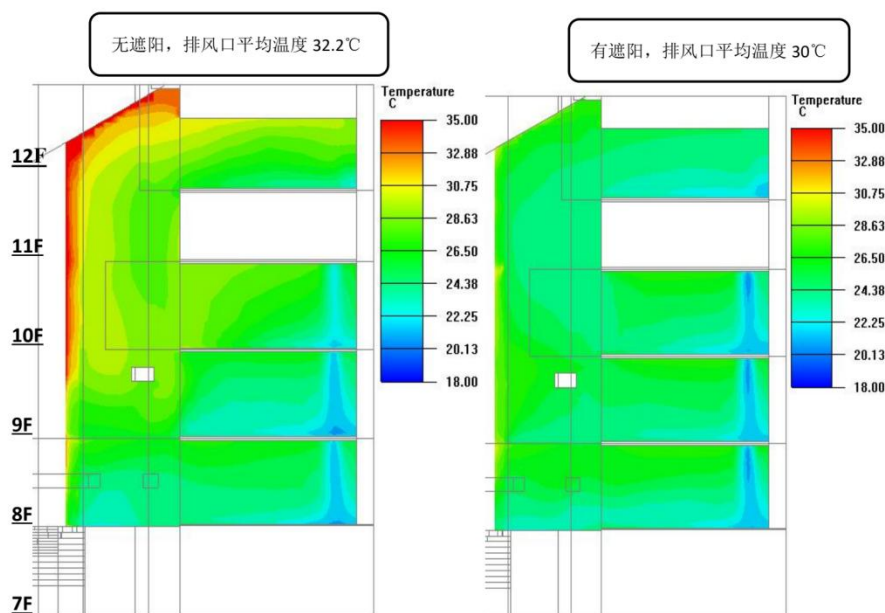


图 4 有无遮阳四季中庭东西向靠 2 号楼集中排风口位置竖向温度分布

Fig.4 The temperature of the atrium in the east-west direction near Building 2 with sunshade or not

由图 4 可知, 当送风参数不变情况下, 透光屋顶在考虑遮阳措施后, 由于透过屋顶的太阳辐射得热负荷降低, 房间整体温度呈降低趋势, 截图位置

平均温度降低 2.2℃, 降低了 8.1%。因此在中庭顶部采用遮阳措施可减少部分太阳辐射得热。

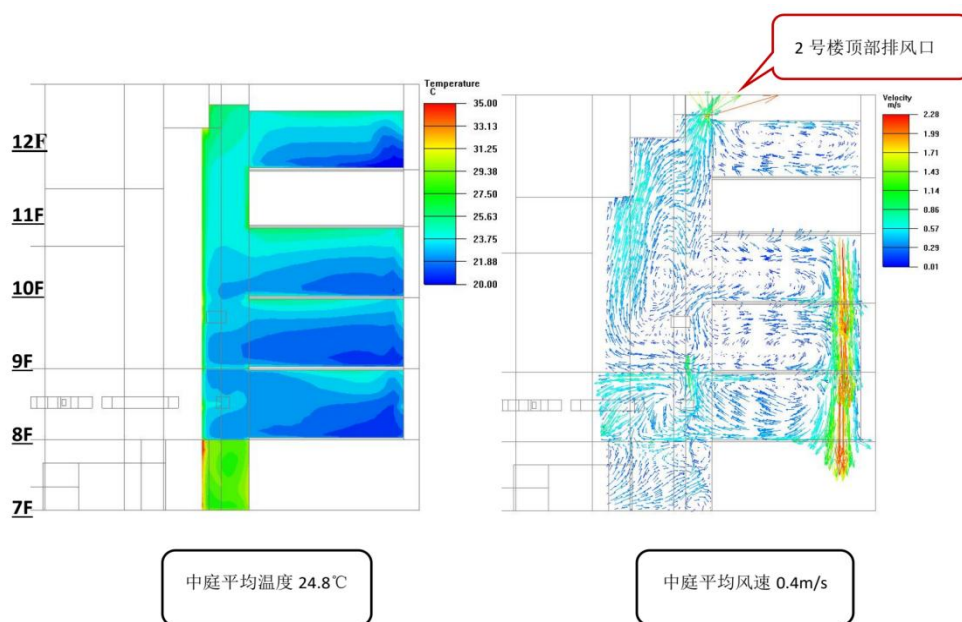


图 5 四季中庭东西向靠 2 号楼集中排风口位置竖向温度、矢量速度分布

Fig.5 The temperature, air vector wind speed of the atrium in the east-west direction near Building 2

但是根据图 5 可知, 与 2 号楼集中排风口贴近的开敞区域, 由于排风形成了负压, 与中庭连通的

开敞区域空气整体由开敞区域流向中庭, 其他距排风口较远的连通区域主要受空气密度差形成的热

压作用,大致在 2.5m 高度下由连通区域流向中庭, 2.5m 以上由中庭流向连通区域,两者在交界面上

的平均风速 0.4m/s 以上, 风速最大超过控制目标 0.3m/s, 因此需要优化排风系统。

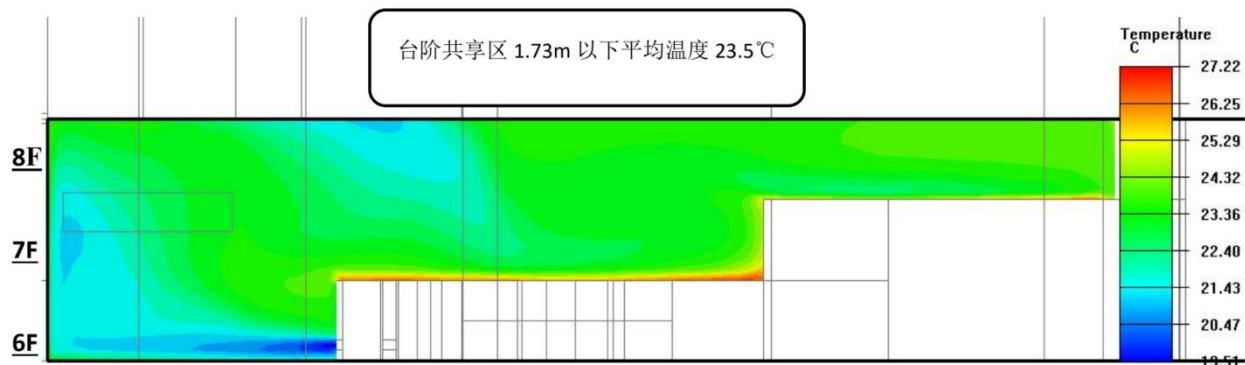


图 6 6F~7F 台阶共享区温度分布

Fig.6 The temperature of the atrium in the middle direction near Building 1 sharing area

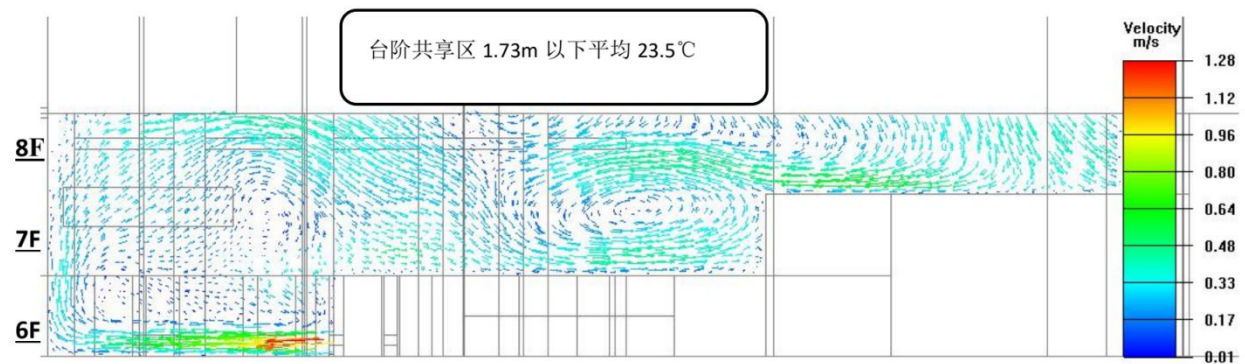


图 7 6F~7F 台阶共享区矢量风速分布

Fig.7 The air vector speed of the atrium in the middle direction near Building 1 sharing area

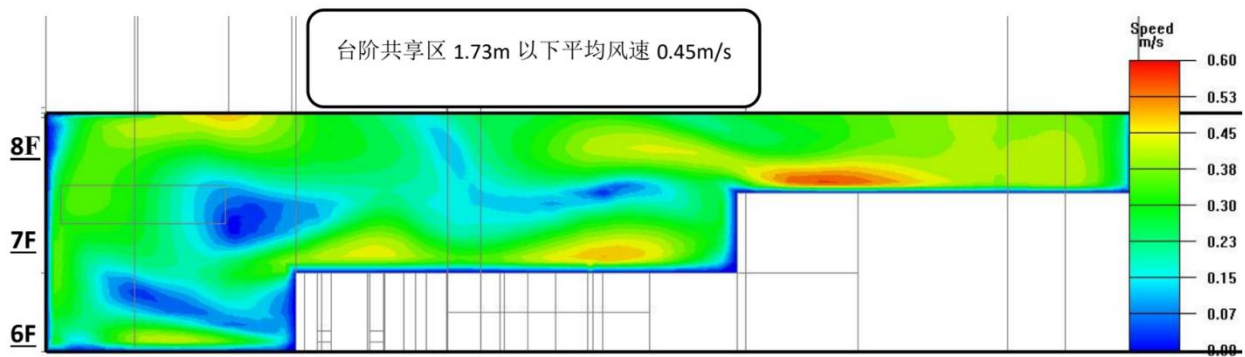


图 8 6F~7F 台阶共享区风速分布

Fig.8 The air speed of the atrium in the middle direction near Building 1 sharing area

图 5~8 分别给出了台阶共享区人员活动区空气温度、风速、矢量风速分布图。从图 6 可以看出,台阶区域在人员活动高度下(1.73m)空气温度分布均匀,基本达到 23.5℃,仅在贴近地面由于太阳透过玻璃辐射得热影响有偏高情况,因此需要采取遮阳措施。由于目前建模将台阶送风口简化为侧送风口,属于受限射流,故衰减较慢,同时台阶送风

口送风温度(19.5℃),会出现局部位空气温度偏低,吹风感较强的不舒适感。从图 7 可看出台阶上人员活动高度基本处于空调回风区域,仅台阶送风口出风口位置有空调送风直吹现象,送风口平均风速为 0.8m/s,即人在该区域会由于空调风直吹而引起的不舒适感。同时结合图 8,台阶空调回风口距离人员活动高度仅 0.3m,在台阶空调回风口各

空气流速基本在 0.45m/s 附近, 远超 0.3m/s 的控制目标。因此, 需要采取遮阳措施、调整台阶送风口的形式及台阶回风口尺寸及位置。

3.2 四季中庭与周围办公室交界面的典型剖面温度、矢量风度分布

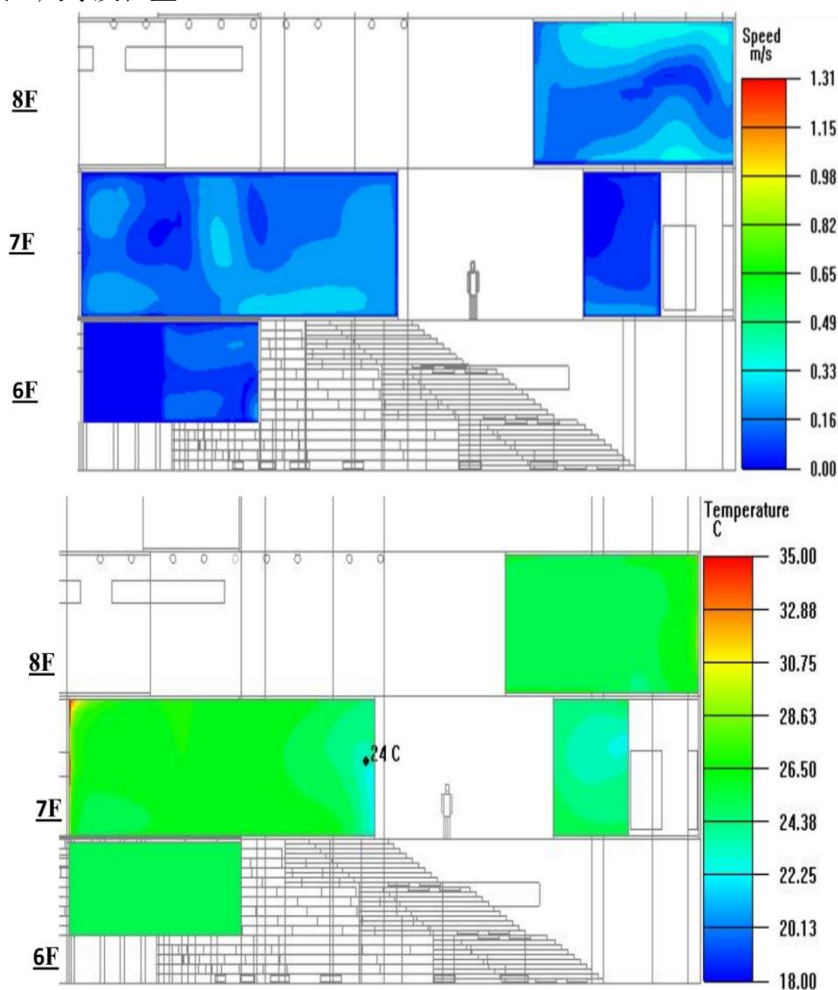


图 9 四季中庭与 1 号楼交界面位置竖向速度、温度分布

Fig.9 The temperature, air speed of the atrium on the interface of Building 1

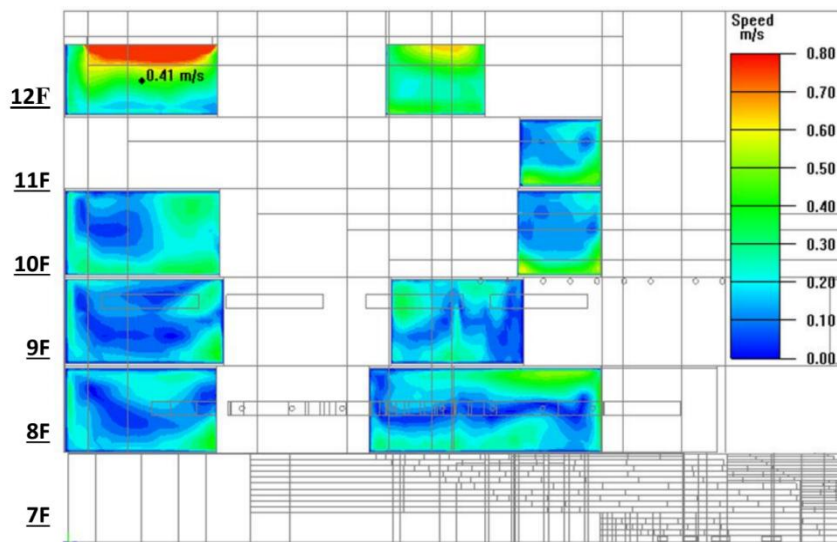




图 10 四季中庭与 2 号楼交界面位置竖向速度、温度分布

Fig.10 The temperature , air speed of the atrium on the interface of Building 2

图 9~10 显示四季中庭与 1、2 号楼交界面的人员活动范围内（即图中参考人高度 1.73m）空气温度基本 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 以内，且温度分布均匀，整体温差较小。空气流速基本处于 0.3m/s 以内，达到了人员长期停留区域的舒适性风速要求。因此，由于交界面采用风机盘管下送风的形式，形成的“风幕”作用在人员活动高度下阻挡的四季中庭的空气向连通区域的流动，四季中庭与周围办公室在无物理隔断的情况下，中庭空气温度、速度分布对于周围连通区域在人员活动区（参考人高度 1.73m）的热舒适度影响较小。

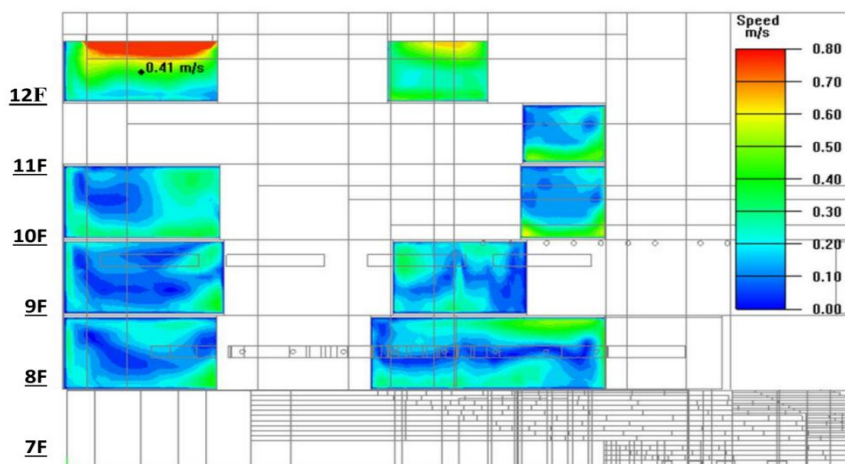
4 优化分析

通过对整个四季中庭及其连通区域的开敞办公室在人员活动区高度范围内的温度场和速度场分析可知，由于 2 号楼上部设有集中排风口，1 号

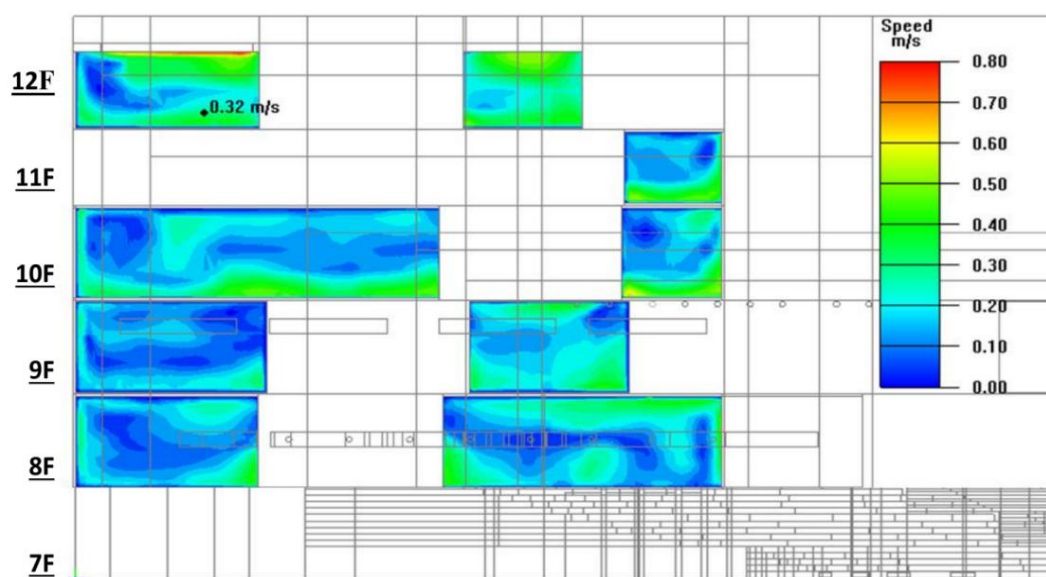
楼 7 层位置设有集中回风口，1 号楼紧贴 8 层上部设有喷口送风等情况，现在采取以下优化措施：

（1）优化措施 1：2 号楼上部集中排风风机采用风机变频运行（空调季节按工频 30%），集中排风口处降低排风口风速。

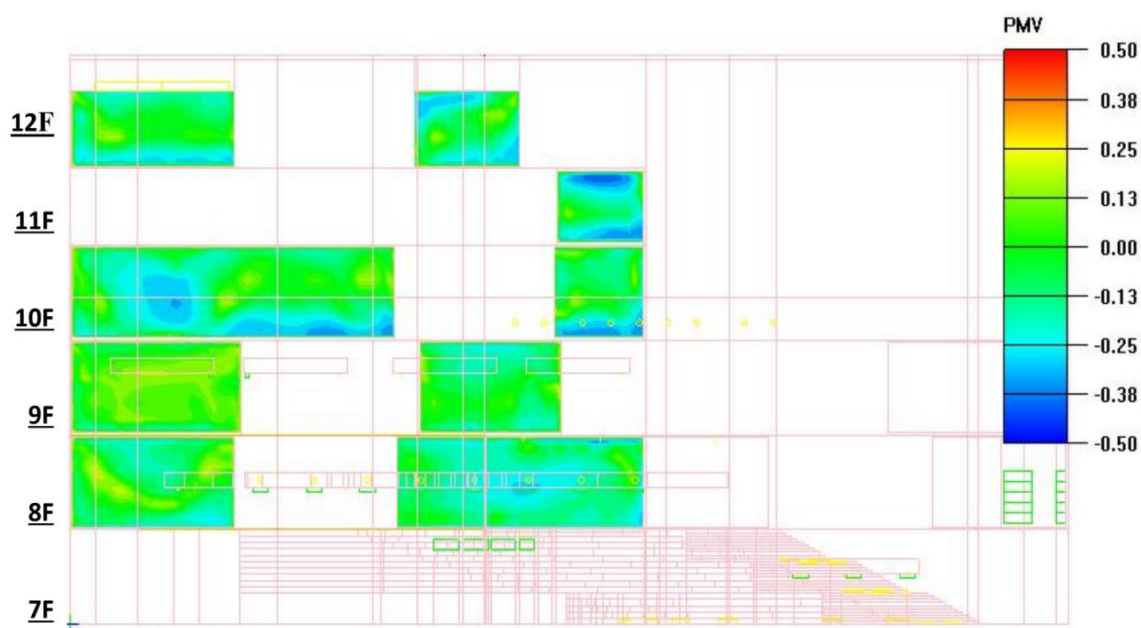
（2）优化措施 2：调整 1 号楼的集中回风口尺寸（由原尺寸：9m×0.4m，回风量：25000m³/h，风口有效系数：0.8，调整为尺寸：9m×0.6m，回风量：25000m³/h，风口有效系数：0.8），位置由 7F 回风井（配套用房）底部调整为侧面，通过降低回风口速度及调整回风口位置以避免人员通行区，来减少对 1 号楼台阶区域形成的吹风感作用。调整台阶送风口形式，由原来条缝型侧送风口调整为旋流风口诱导送风，诱导比增大，送风速度衰减快，吹风感低。



(a) 优化前四季中庭与 2 号楼交界面位置竖向速度分布



(b) 优化后四季中庭与 2 号楼交界面位置竖向速度分布



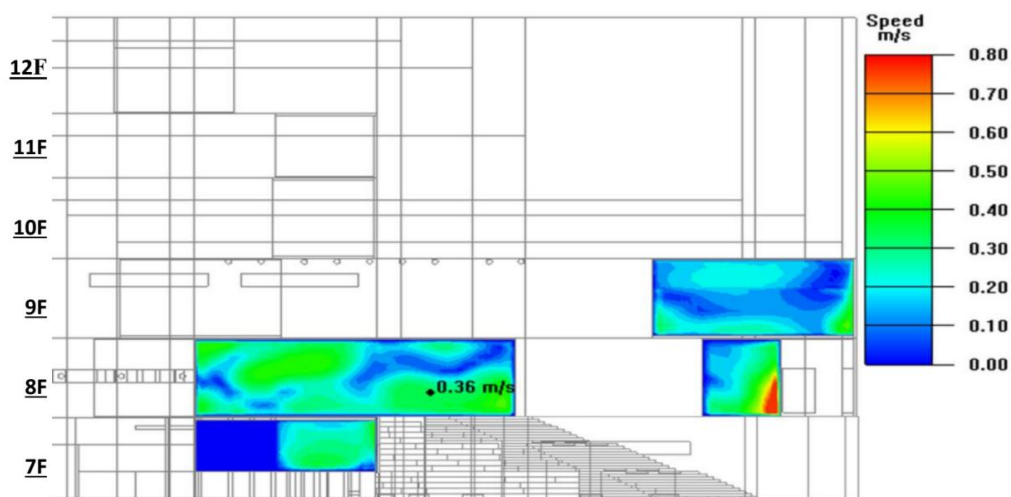
(c) 优化后四季中庭与 2 号楼交界面位置竖向 PMV 分布

图 11 优化风机变频前后四季中庭与 2 号楼交界面位置竖向速度、PMV 分布

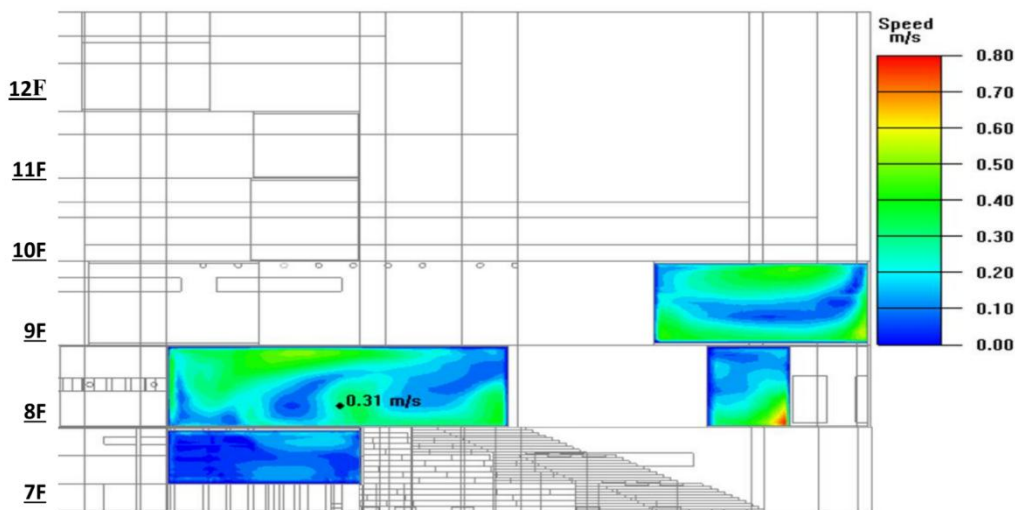
Fig.11 Optimization of frequency control technique of the air speed and PMV of the atrium on the interface of Building 2

由图 11 可知, 采取空调机械风机变频到工频 30%后, 2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的风速降低到 0.32 m/s , 平均风速降低 21.95%, 基本满足 0.3 m/s 的控制目标。从 PMV 分布云图可知, 在调整变频风机后, 2 号楼顶部开敞

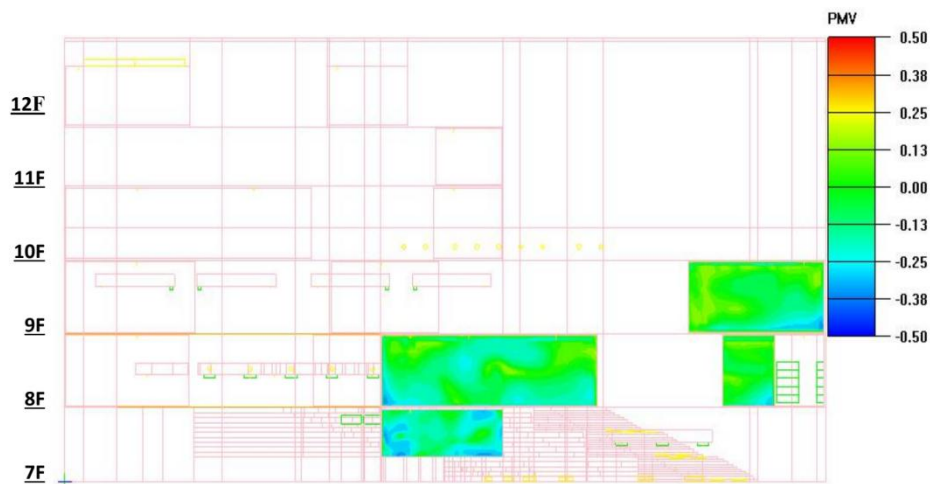
办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$, 且交界面上人员活动高度下 (1.73 m) 的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$ 。总体上来看, 基本达到了《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》供冷工况下的热舒适 I 级等级。



(a) 优化前四季中庭与1号楼交界面位置竖向速度分布



(b) 优化后四季中庭与1号楼交界面位置竖向速度分布



(c) 优化后四季中庭与1号楼交界面位置竖向 PMV 分布

图 12 优化1号楼回风口前后四季中庭与1号楼交界面位置竖向速度分布

Fig.12 Optimization of frequency contrl technique of the air speed of the atrium on the interface of Building 2

由图 12 可知,采取调整送、回风口尺寸及形式后,靠近台阶区域集中回风口位置平均风速降低到 0.31m/s,平均风速降低 16.13%,台阶区域送风口平均风速降低到 0.15m/s,平均风速降低 81.25%,基本满足控制要求。从 PMV 分布云图可知,在调整后,1 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.25 < \text{PMV} < +0.25$,且交界面上人员活动高度下(1.73m)的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$ 。总体上来看,基本达到了《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》供冷工况下的热舒适 I 级等级。

5 结论及建议

本文通过 Airpak 软件数值模拟的方法,验证了采用空调方案底部送风+上部送风+2 号楼顶部机械排风的空调的方式的合理性,并在四季中庭与周围办公无物理隔断的条件下,为高大中庭的送回风、机械排风的方案的设计提出了优化措施,并得到以下结论。

(1) 采用空调方案底部送风+上部送风+2 号楼顶部机械排风的空调方式,可改善夏季四季中庭垂直温度梯度过大的问题。在屋顶设置变频的机械排风措施后,2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的平均风速降低 21.95%,2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$,且交界面上人员活动高度下(1.73m)的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$ 。2 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的风速合理的引导了高大中庭的气流循环,对大楼的风量平衡起到辅助作用。

(2) 四季中庭与周围办公无物理隔断的条件下,由于交界面采用风机盘管下送风的形式,形成的“风幕”作用在人员活动高度下阻挡的四季中庭的空气向连通区域的流动,四季中庭与周围办公室在无物理隔断的情况下,中庭空气温度、速度分布对于周围连通区域在人员活动区(参考人高度 1.73m)的热舒适度影响较小。

(3) 当采用二次回风的空调形式时,虽然能避免冷热量抵消、减少送风温差,但也要避免空调送风直吹引起的吹风感现象。可通过调整送风口的形式,采用高诱导比的旋流风口来取代传统的条缝型送风口以降低送风风速,和降低回风口风速和调

整回风口位置远离人员活动区的方式来减少由于空调送风直吹而引起的不舒适感。本文通过采取调整送、回风口尺寸及形式后,靠近台阶区域集中回风口位置平均风速降低 16.13%,台阶区域送风口平均风速降低 81.25%。从 PMV 分布云图可知,在调整后,1 号楼顶部开敞办公区域靠近排风口交界面上的 PMV 处于 $-0.25 < \text{PMV} < +0.25$,且交界面上人员活动高度下(1.73m)的 PMV 处于 $-0.38 < \text{PMV} < +0.25$,基本满足控制目标要求。

(4) 高大中庭夏季有遮阳较无遮阳平均温度降低 2.2℃,平均降低了 8.1%。因此在中庭顶部采用遮阳措施可减少部分太阳辐射得热,从而减少中庭顶部热空气的堆积。同时,也降低了太阳直射对于人体热舒适的影响。

本项目还未正式投入使用,不具备现场测试的条件,无法根据测试实测数据去验证模拟数据的准确性。但是通过本文的研究策略和阶段性模拟成果能为高大中庭内的气流组织起到一定的预测作用,并为工程设计中的空调、通风系统提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 林川,田先锋,房志.中庭建筑设计及其热舒适度控制[J].工业建筑,2004,34(7):28-30.
- [2] 李传成,季群峰,李浩.建筑节能:教学楼中庭的自然通风与热环境分析[J].建筑节能,2013,41(2):1-4.
- [3] 王颖,武海滨,李玉明.中庭建筑热环境数值模拟研究[J].制冷空调与电力机械,2010,31(135):41-46.
- [4] 于欣.运用 CFD 对大型办公建筑高大中庭空间空调的数值模拟研究[D].北京:北京建筑大学,2017.
- [5] 李晨玉,曾刚.高大中庭室内热环境的优化模拟分析[A].制冷与空调,2020,34(2):146-156.
- [6] 戎传亮.基于 Airpak 软件的工作室室内热环境数值模拟[J].洁净与空调技术,2021,(2):50-53.
- [7] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系.中国建筑热环境分析专用气象数据集[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [9] Fanger P O. Thermal Comfort-Analysis and application in environmental engineering[M]. New York:Mc Graw-Hill, 1972.