

数值仿真技术在高层建筑热环境的研究与应用

曾宪坤, 李宗蔚, 卢柯

(中建三局第一建设安装有限公司)

【摘要】文章依托实际工程项目, 基于FEM(有限元方法)技术对高层建筑通风场景进行CFD(计算流体力学)数值仿真, 在风向、室外温度、楼层高度等约束变量下, 通过风速调整计算仿真进出风口温度, 并将进出风温度调控至设定范围, 在满足健康舒适的办公环境条件下, 保障暖通空调设施正常运行。

【关键词】高层建筑; 通风场景; 数值仿真; 有限元; 计算流体力学

中图分类号: TU17

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.11.022

Research and Application of Numerical Simulation Technology in Thermal Environment of High-rise Buildings

ZENG Xian-kun, LI Zong-wei, LU Ke

(China Construction Third Bureau First Engineering & Mep Co., Ltd.)

【Abstract】Based on the actual engineering project, this paper conducts CFD (computational fluid dynamics) numerical simulation on the ventilation scene of high-rise buildings based on FEM (finite element method) technology. Under the constraint variables of wind direction, outdoor temperature, floor height, etc., the air inlet temperature and outlet temperature are simulated by wind speed adjustment, and the air inlet temperature and outlet temperature are adjusted to the set range to ensure the normal operation of HVAC facilities under the condition of healthy and comfortable office environment.

【Keywords】high-rise buildings; ventilation scene; numerical simulation; finite element; CFD

1 引言

近年来,为了增加城市的土地利用效率,加快城市现代化进程,一座座的百米高楼拔地而起,而这些高层建筑的通风问题、热环境、健康问题、能耗问题等也越来越受到人们的关注^[1]。尤其在武汉、上海、深圳等南方大城市,夏季温度高、湿度大,热岛效应使城中心高层室外温度快速升高,空调能源消耗大幅增加,相关研究^[2]显示热岛效应每升高1℃会使得办公和住宅建筑夏季空调能耗分别提高17.5%和10.2%。加之由于多联机室外机进出风气流短路等原因,可能导致高层建筑通风系统进风温度过高(按行业标准一般设置为42℃),引起多联机制冷效率下降从而引发高温报警、宕机等问题,更有甚者可能会直接引起火灾,带来无法挽回的后果,这是高层建筑建造设计和运营过程中不可忽视的重要问题^[3]。

2 项目背景

本案例大楼位于湖北武汉,用地面积约1.8万m²,总建筑面积约7万m²,地上面积5万m²,建筑高度为92.1m,地上21层,地下2层,以建设“近零碳、近零能耗、健康、智慧、绿建三星”建筑为目标,致力提供

绿色低碳行业发展样板。该地区属北亚热带季风性气候,冬冷夏热,四季分明,日照强度大,夏季空调制冷时长约150天,冬季供暖时长约95天,所以空调系统的能耗巨大,合理的通风设计对节能减排有重大意义。

本文以此项目为研究基础,利用FEM技术对大楼通风进行CFD数值仿真与分析,为大楼的设计、建造和运营提供决策支持。

3 仿真建模与条件设定

3.1 仿真建模

按大楼设计文件数据,采用CFD数字仿真技术对总部大楼室外机布置方案进行热环境模拟分析,重点确定进风口、出风口位置、朝向、规格等参数,参照“形体生成(form generation)—性能评估(performance evaluation)—优化设计(optimization)”框架^[4],按FEM技术原理进行建模、空间网格划分,在设计早期进行环境性能优化,效果图如图1所示。

3.2 工况及边界条件设置

通过查询湖北省气象数据,武汉市夏季室外最多风向为C(静风 $v<0.2\text{m/s}$),出现频率为28%,风向

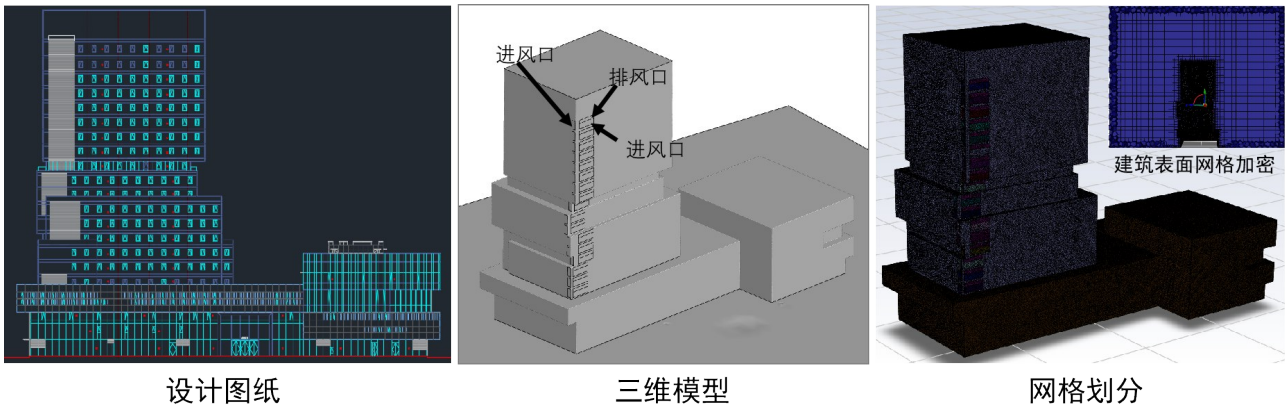


图1 FEM仿真建模效果图

ENE(东北偏东)出现频率为8%,夏季室外最多风向的平均风速为2.3m/s,夏季室外通风计算温度为32℃,极端高温39.3℃,工况设置参数如表1所示。

表1 工况设置

工况	室外风向	室外风速/(m/s)	室外温度/℃
夏季典型工况1	静风	0.2	32
夏季典型工况2	ENE	2.3	32
夏季极端工况1	静风	0.2	39.3
夏季极端工况2	ENE	2.3	39.3

边界条件设置如表2所示。

表2 边界条件设置

风口	百叶有效面积/m ²	室外风向/m ³ /min	室外风速/(m/s)	室外温度/℃
排风口	7.5	1626 (三台40P)	3.61	45/52.3 (温差13)
进风口	22.8	1626 (三台40P)	1.19	--

4 模拟仿真及问题分析

4.1 夏季典型工况(静风)

在夏季静风条件下,通过CFD模拟,结果如图2所示,进、排风气流几乎无干扰,在进风口内部局部气温可达45℃,但各楼层进风平均温度均低于42℃,整体能够保证空调系统健康运行。

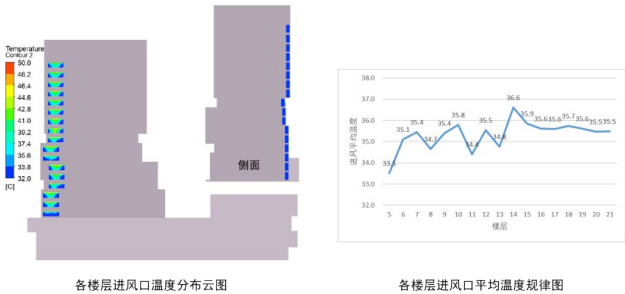


图2 典型静风工况各楼层进风口温度趋势图

4.2 夏季典型工况(主导风向)

在夏季主导风向条件下,通过CFD模拟,结果如图3所示,进、排风气流存在短路,且楼层越高短路现象越严重,14楼以上进风平均温度已经接近42℃,多联机制冷效率可能下降。

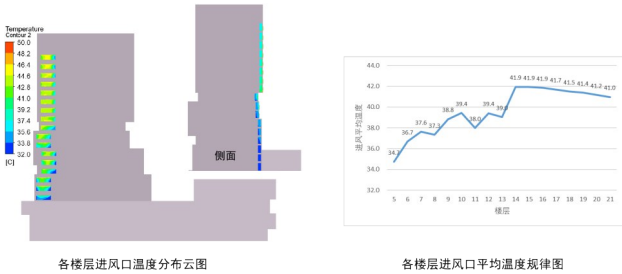


图3 典型主导风工况各楼层进风口温度趋势图

4.3 夏季极端工况(静风)

在夏季极端高温静风条件下,进、排风气流存在部分短路现象,短路现象主要集中在高层,14楼以上进风平均温度已经超过42℃,在进风口内部局部气温可达52.3℃,多联机有高温报警并宕机风险,如图4所示。

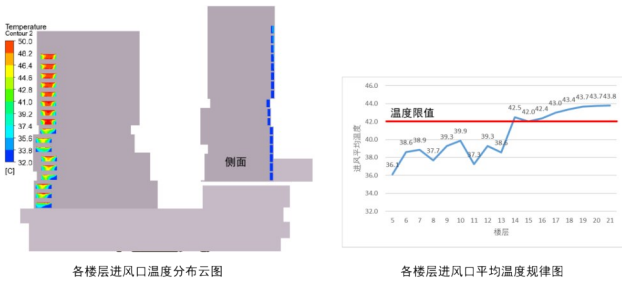


图4 极端静风工况各楼层进风口温度趋势图

4.4 夏季极端工况(主导风)

在夏季极端高温主导风向条件下,进、排风气流短路,7楼以上进风平均温度已经超过42℃,多联机

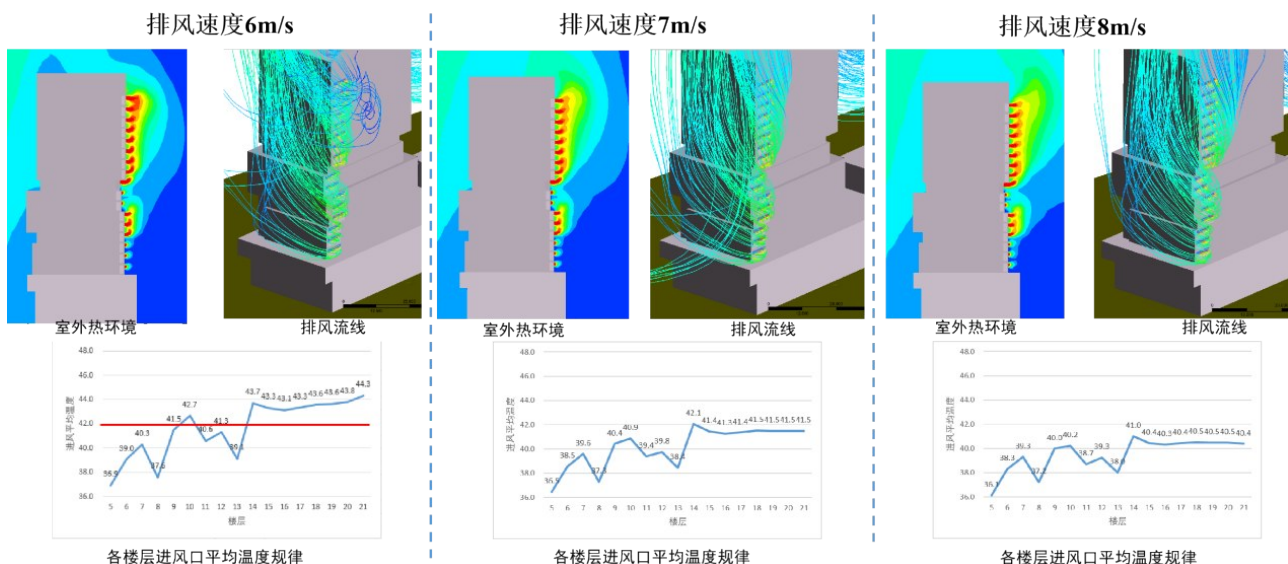


图6 极端工况下排风速度和进风口平均温度的关系

有宕机风险,在进风口内部局部气温可达52℃左右,19楼进风平均温度已高达46.7℃,如图5所示。

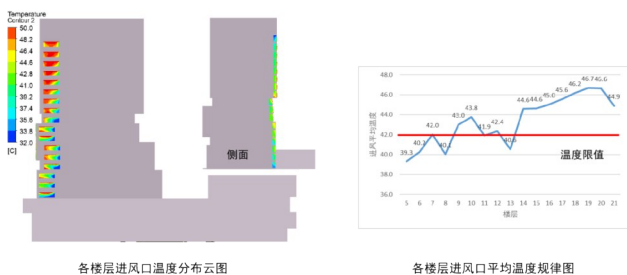


图5 极端主导风工况各楼层进风口温度趋势图

5 解决方案

在夏季极端高温条件下,通过加大排风速度减少进风口平均温度,在室外温度、进风口平均温度、排风速度之间通过仿真计算,将进风口平均温度保持在安全范围之内。通过图6的仿真可见,增大排风速度可以有效的降低进风温度,当排风速度为7m/s时,在最不利工况下各楼层入口温度也均已低于42℃,可有效规避室外机高温报警风险。

基于此仿真数据,可以在进出风口安置物联网传感器,实时感知排风速度、温度等环境参数,并通过连接大楼的智能空调冷暖系统进行远程调控,及时做出控制策略调整,在保证舒适度的同时,让空调系统正常安全运行。

6 结语

针对大城市高层建筑,在夏季极高温情况下,进风温度过高一直是空调系统面临的重大挑战之一^[5]。

我们从实际项目出发,结合本地气象数据,分析在静风、主导风风向下空调系统面临热环境问题,并根据设定的进风温度范围模拟计算出风速,通过风速调节排除因进风温度过高导致空调系统宕机风险,在满足健康舒适的办公环境条件下保障空调系统正常运行,也极大程度减少了不必要的能源消耗和碳排放,为实现绿色低碳节能建筑目标打下基础,通过数值模拟的形式为智慧建筑实现提供参考方案。

参考文献

- [1] 徐俊, 穆正勇, 殷子文, 等. 基于CFD的某高层建筑室内自然通风的数值模拟[J]. 黑龙江科技学院学报, 2022, 32 (4): 459-463.
- [2] 张进. 湿热地区街区式商业建筑室外热舒适度和空调节能优化设计研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2020.
- [3] 侯恩哲. 战“疫”胜利时与大家共议建筑节能新思路[J]. 建筑节能, 2020, 48 (2): 1-4.
- [4] Marsh A. Generative and performative design: a challenging new role for modern architects[C]//. The Oxford conference 2008. WIT Press Oxford, 2008.
- [5] 张晓杰. 夏热冬冷地区办公建筑混合通风冷却运行策略研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.