H型通风系统节能运行局部阻力特性数值模拟 及优化

高居宽1, 刘冬华1, 豆鹏亮2, 段秀松1, 贺 浩1

¹武汉科技大学城市建设学院,湖北 武汉 ²中国建筑科学研究院,广西 南宁

收稿日期: 2024年8月29日; 录用日期: 2024年9月23日; 发布日期: 2024年9月30日

摘要

在工业通风系统中,局部构件阻力占通风系统总阻力40%~60%,因此降低局部构件的阻力损失对提高 通风系统的能效具有重要意义。现阶段,降低局部构件阻力损失的方法主要通过添加导流板和优化局部 构件结构。本文采用ANSYS Fluent 18.2软件对不同导流板形式的通风系统阻力特性进行了研究。结果表 明:在三通处增加导流板可以减少阻力损失,局部构件最大减阻率提高19%,并且保证通风系统的风量 分配均匀。本研究有望对工业通风系统的低碳节能运行进行优化。

关键词

数值模拟,工业通风系统,局部阻力,节能运行

Numerical Simulation and Optimization of Local Resistance Characteristics for Energy-Saving Operation of H-Type Ventilation System

Jukuan Gao¹, Donghua Liu¹, Pengliang Dou², Xiusong Duan¹, Hao He¹

¹College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei ²China Academy of Building Research, Nanning Guangxi

Received: Aug. 29th, 2024; accepted: Sep. 23rd, 2024; published: Sep. 30th, 2024

Abstract

IIn industrial ventilation system, the resistance of local components accounts for 40%~60% of the

文章引用: 高居宽, 刘冬华, 豆鹏亮, 段秀松, 贺浩. H 型通风系统节能运行局部阻力特性数值模拟及优化[J]. 建模与 仿真, 2024, 13(5): 5682-5689. DOI: 10.12677/mos.2024.135516

total resistance of ventilation system, so reducing the resistance loss of local components is of great significance to improve the energy efficiency of ventilation system. At present, the methods to reduce the resistance loss of local members are mainly through adding baffle and optimizing the structure of local members. In this paper, ANSYS Fluent 18.2 software is used to study the resistance characteristics of ventilation systems with different baffle forms. The results show that adding the guide plate at the tee can reduce the drag loss, increase the maximum drag reduction rate of local components by 19%, and ensure the uniform air volume distribution in the ventilation system. This study is expected to optimize the low-carbon and energy-saving operation of industrial ventilation systems.

Keywords

Numerical Simulation, Industrial Ventilation System, Local Resistance, Energy-Saving Operation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. 引言

通风管道阻力引起的风机能耗占建筑总电耗的比例较大,其中局部构件阻力占通风空调管道系统总 阻力的 40%~60% [1] [2]。有研究表明,在风管局部构件处添加导流板可以改善气流的流动特性,减小局 部阻力[3]-[7]。但是以往的学者在研究导流板减阻时,并未考虑导流板对风系统风量分布的影响。随着"双 碳"目标提出,减少建筑运行能耗以控制碳排放成为当前研究的重点。在建筑运行碳排放的控制上,特 别是在减小空调风系统能耗方面,仍存在很大的提升空间[8] [9]。

基于现有的研究及设计手册的综合分析,风系统的优化主要侧重于局部构件和末端均匀送风的探讨, 而对于风管不同布置方式下风管内气流组织模拟的研究相对较为有限。在设计过程中,由于设计人员对 整个风系统阻力损失的增减趋势、末端风量平衡情况的变化以及气流组织的潜在改善效果等往往只有定 性的分析,缺乏系统的理论指导,使风系统在设计时往往依赖于经验。因此,深入研究各种风系统的特 点,建立相应的理论基础,具有重要的现实意义。本文采用实验和数值模拟的方法,以H型风系统为例 进行减阻和风量分配研究,通过在三通内添加导流板,并改变导流板在三通内的相对位置,从减阻和风 量分配两个方面找出导流板的最佳位置,达到减小阻力损失和保持风量平衡的目的。

2. 实验过程与模型选择

2.1. 模型建立

H 型风系统是通风系统设计过程中常用的风系统之一,常用于大型通风系统的末端送风。本文实验研究对象的结构示意图如图1所示。H型风系统的总管长度为2m,尺寸为200mm×160mm;两侧支管长度为1m,尺寸为160mm×160mm;末端风管长度为1m,尺寸为125mm×160mm。

2.2. 模型实验

为了实验的直观性,本实验采用亚克力板作为风管材料进行风系统实验模型的搭建。系统连接处均进 行密封处理。在进口三通的上游 5D 处、出口三通上游 2D 处、四个风口处设置共 7 组风速(V₁~V₇)测量截 面,每个截面设 9 个测点,测量每个测量截面处的风速,取 9 个测点的平均值,记为该截面的平均风速。



Figure 1. Model and experimental model of H-shaped wind system 图 1. H 型风系统模型与实验模型

2.3. 模型选择与验证

在气流组织模拟方面,常用的湍流模型有标准的 k-*e* 模型, RNG k-*e* 模型, realize k-*e* 模型, RSM 雷 诺应力模型。其中 RSM 模型充分考虑了涡旋、旋转张力、流线变形等对模拟的影响,对复杂流动(如弯 曲管道)模拟精度更加可靠。

为验证模型 RSM 的可行性,将搭建的 H 型风系统实验测量结果与模拟结果进行对比,测量数据为风系统各测量截面的平均风速。如表 1 所示:

Table	1. Comparison between experimental and simulated values of cross-sectional w	vind speed measured by air ducts
表 1.	风管测量截面风速实验值与模拟值对比	

	测量截面速度(m/s)							
	1	2	3	4	5	6	7	
实验	6.81	4.24	4.15	2.62	2.65	2.59	2.63	
模拟	6.81	4.26	4.26	2.75	2.75	2.83	2.83	
绝对差值	0.00	0.02	0.11	0.13	0.10	0.24	0.20	
差值百分比	0.00	0.47%	2.65%	4.96%	3.77%	9.27%	7.60%	

由表 1 对风管测点风速的模拟值与实测值可知,采用 RSM 模型的模拟值与实测值较为接近, 拟合度 达到 90%以上, 因此该模型可靠,可以利用本文建立的模型进行通风系统气流组织模拟分析研究。

3. 数值模拟

3.1. 模拟条件

为了使研究对象更贴合实际工程,将实验风系统的尺寸扩大一倍,即风系统的总管长度为4m,尺寸

为400mm×320mm;两侧支管长度为2m,尺寸为320mm×320mm;末端风管长度为2m,尺寸为250mm×320mm。

三通部分采用非结构网格,并对三通部分进行网格加密,直管段采用结构网格。对网格进行网格无 关性分析后,网格数量为 95 万。

采用 RSM 模型,进口采用速度入口,设定进口速度为7 m/s,出口为压力出口,粗糙高度设为0.15 mm。 采用 SIMPLE 算法,对流插值均采用二阶迎风格式。

3.2. 导流板对局部阻力和风量分配的影响

图 2、图 3 分别为 H 型风系统内 z = h/2 截面处气流的速度云图、压力云图。H 型风系统的入口的风速为 7 m/s,风口风速分别为 2.75 m/s; 2.75 m/s; 2.83 m/s; 2.83 m/s。经计算,风口的风量不平衡率为 1.43%,可认为风系统的风量平衡。

针对局部阻力损失问题,本文提出在支管段上游的三通处添加导流板的方法,通过导流板减小三通 阻力损失,同时研究导流板对风口的风量分配是否有影响。

3.2.1. 导流板对局部阻力的影响

为了研究导流板局部阻力的影响,对原有模型进行简化。将 H 型风系统的三通部分进行单独模拟, 研究通过三通后的气流组织特性。

三通的结构示意图如图 4 所示,干管长度为 5 m,尺寸为 400 mm×320 mm;两侧支管长度为 10 m,尺寸为 320 mm×320 mm。根据三点确定一条圆弧的性质,通过导流板两端和中点在三通内的相对位置,进而确定导流板的位置及弧度。其中,起始端的相对位置记为导流板到内侧壁面的距离与风管宽度一半的比值,即:2b₁/B,中末端的相对位置记为导流板到内侧壁面的距离与风管宽度的比值,即:b₂/B 和 b₃/B。







Figure 3. Cloud diagram of pressure at z = h/2 section 图 3. z = h/2 截面压力云图



Figure 4. Schematic diagram of the structure of the three-way internal guide plate 图 4. 三通内导流板结构示意图

Table 2. Relative positions of deflectors 表 2. 导流板相对位置

已济垢相对位罢	导流板编号							
守弧极相对位直	А	В	С	D	Е	F	G	
$2b_1/B_1$	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	
b_2/B_2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	
b ₃ /B ₂	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	

考虑到风量在三通内的均匀分配问题,在三通内设置以下位置的导流板进行气流组织模拟,导流板 位置设置如表 2 所示。 图 5 为不同导流板下三通气流组织压力云图,图 6 为添加不同导流板三通局部阻力系数及减阻率变化,减阻率为添加不同导流板的三通相对于未添加导流板的三通局部阻力系数的变化程度。由图 6 可知,添加导流板后,三通的减阻率均为正值,可知添加导流板可以减小三通的局部阻力损失。在模拟的工况中,导流板 C 的局部阻力系数最小,为0.125,减阻率最大,为40.3%;导流板 B 的局部阻力系数最大,为0.18,减阻率最小,为13.8%。

结合图 5 分析结果,导流板 C、G 末端与管壁平行,使得气流通过三通后,气流在水平方向的速度 变化较小,壁面对气流的阻碍作用随之变小,因此局部阻力损失更小。对于导流板 A、B、D,导流板曲 率较大,导流板末端与支管壁面呈一定角度,气流通过三通沿着导流板流向外侧壁面,对外侧壁面造成 冲击,同时,壁面对气流的阻碍作用增大,增大了气流流动不稳定性,造成局部阻力损失增大。









Figure 6. Drag reduction rate of guide plate 图 6. 导流板减阻率

3.2.2. 导流板对风量分配的影响

将模拟的送风速度设定为 3~7 m/s 范围内的整数值。研究在不同风速下、不同位置的导流板对 H 型 风系统末端风口风量分配的影响。

图 7 为模拟数据处理后的汇总图,可以看出,随着送风速度的增大,添加导流板 B、C、F、G 后,风量不平衡率会逐渐减小;添加导流板 A、D、E 后,风量不平衡率会逐渐增大。可见,导流板在三通内的相对位置会影响不同速度下的风量不平衡率,且会影响风量不平衡率随着速度变化的趋势。

导流板位置对风量不平衡率的影响:导流板位置不同,末端风口的风量不平衡率不同。添加导流板 F、G,末端风口的风量不平衡率较大,此时最小为 6.51%;添加导流板 B、C、E 时,末端风口的风量不 平衡率较小,最小为 2.00%。

综上所述,添加导流板后,导流板会影响风系统末端风口的风量分布。经比较,推荐在三通内 E 位置添加导流板。此时,三通处的减阻率为 35.8%,在送风速度为 3~7 m/s 时,末端风口风量不平衡率最小为 2.00%,此方案兼顾风系统的风量平衡和减阻节能。



Figure 7. The influence of air supply speed and guide plate position on air volume imbalance rate 图 7. 送风速度及导流板位置对风量不平衡率的影响

4. 结论

在局部构件中添加导流板是减小局部阻力的有效途径,不仅减小了通风系统的能耗,而且保证了通风系统的风量平衡。本文建立了H型通风系统的三维模型,对通风系统内气流组织、阻力损失及风口的风速分布进行了研究,并通过改变导流板的相对位置对通风系统的局部阻力损失和风速分布进行了比较。 相关结论如下:

(1) H 型风系统上游三通内合适位置添加导流板可以减小阻力损失。结果表明,在适当位置处添加导流板,三通的减阻率可达到 35.8%,有明显的减阻效果。

(2) 在三通内添加导流板会影响风系统末端的分量分配。添加导流板后,风系统末端的风量会发生改变,且风量的分布趋势也会发生改变。

(3) 合适位置处添加导流板不仅可以减小局部阻力损失,同时可以保证风系统末端风口风量的相对 平衡。

参考文献

[1] 江亿. 我国建筑能耗趋势与节能重点[J]. 建设科技, 2006(7): 10-13, 15.

[2] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告 2020 [J]. 建筑节能(中英文), 2021, 49(2): 1-6.

- [3] 徐茜荣. 不同夹角 T 型三通阻力特性分析及降阻优化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2022.
- [4] 范傲. 通风空调管道 Y 型分流三通阻力性能仿真与优化[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
- [5] 卞彩侠. 空冷蒸汽管道三通处加装导流片的数值模[J]. 区域供热, 2017(2): 50-53.
- [6] 何勇. 空调通风管道及部件的阻力特性分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [7] 张卓暐. 长直管道送风系统均匀性及优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
- [8] 赵艳文, 邱振成, 杨宇, 等. 定静压变风量空调系统风平衡调试技术[J]. 安装, 2017(3): 37-40.
- [9] 文诗豪. 基于能量耗散率控制的风阀阻力特性优化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.