

# 基于CFD模拟的室内暖通环境优化研究

蒋楠

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 随着现代建筑设计的复杂性和人们对室内环境质量要求的提高,室内暖通环境的优化变得越来越重要。计算流体动力学(CFD)作为一种强大的数值模拟工具,在室内暖通环境的设计和优化中发挥着越来越重要的作用。本文旨在探讨基于CFD模拟的室内暖通环境优化方法,并分析其在实际应用中的潜力和限制。

**关键词:** CFD模拟;室内暖通环境;优化研究

## 引言

室内暖通环境是现代建筑设计中不可忽视的一环,它直接关系到居住者的舒适度和建筑的能耗。传统的暖通设计方法往往基于经验公式和简化的物理模型,难以准确预测复杂建筑内部的空气流动和温度分布。而CFD技术的发展为室内暖通环境的精细化设计提供了新的可能。

## 1 CFD技术在室内暖通环境中的应用

### 1.1 在暖通设计评估中的应用

CFD,即计算流体动力学技术,为暖通工程师提供了一种强大的工具,使他们能够准确预测和深入评估各种暖通设计方案对室内环境的影响。这种技术的重要性在于其能够模拟和可视化复杂的气流动态,为设计决策提供科学依据。例如,在设计新型空调系统或调整现有系统布局时,CFD模拟能够精细地展示室内的空气流动情况。这包括气流的速度、方向以及温度分布等关键细节。通过这些模拟结果,工程师可以清晰地看到是否存在冷风下沉、热风积聚或气流短路等问题,从而在设计阶段就进行必要的调整,以确保室内环境的舒适度。此外,CFD技术还可以模拟不同季节、不同天气条件下的室内环境状况,帮助工程师预测系统在不同工况下的性能表现。这种全面的评估方法不仅提高了设计的可靠性,也有助于降低后期改造和维护的成本。因此,CFD技术在暖通设计中具有不可替代的价值,是确保室内环境质量和系统能效的关键工具。

### 1.2 在预测污染物扩散及优化通风设计中的应用

CFD模拟技术不仅关注室内环境的温度和气流分布,还能精确预测污染物(如CO<sub>2</sub>、颗粒物等)在建筑内部的扩散情况。这一功能对于设计高效且有针对性的通风策略和空气净化系统来说至关重要。通过CFD模拟,设计师能够直观地看到污染物从源头释放后在建筑空间内的传播路径和浓度分布。这种可视化的模拟结果有助于设计师识别出潜在的污染积聚区域,这些区域通常是

由于建筑结构、气流死角或通风不佳导致的。了解到这些关键信息后,设计师可以精确地调整通风口的位置、大小和数量,以确保新鲜空气的有效流通,同时及时排出室内的污染物。这种优化不仅有助于改善室内空气质量,还能提高居住者的舒适度和健康水平<sup>[1]</sup>。此外,通过模拟不同通风策略下的污染物扩散情况,设计师可以选出最佳方案,从而在满足舒适度要求的同时,实现能效和环保的双重目标。因此,CFD模拟在预测污染物扩散及优化通风设计中扮演着不可或缺的角色。

### 1.3 在节能设计中的应用

CFD技术在建筑节能设计中扮演着举足轻重的角色。通过该技术,设计师能够模拟不同季节和天气条件下的室内环境,进而全面评估建筑的热性能和能耗情况。这为设计师提供了有力的数据支持,使他们能够做出更加明智的决策,以降低建筑的能耗并提高能源效率。具体来说,CFD技术可以帮助设计师:(1)评估保温材料的效果:通过模拟不同保温材料在建筑中的应用效果,设计师可以选择具有最佳保温性能的材料,从而提高建筑的隔热性能,减少能源消耗。(2)选择合适的窗户类型:窗户是建筑能耗的重要影响因素。CFD模拟可以帮助设计师了解不同窗户类型(如单层、双层或三层玻璃等)在建筑中的隔热和保温效果,从而选择最合适的窗户类型。(4)制定遮阳策略:遮阳设备对于减少建筑能耗同样重要。通过CFD模拟,设计师可以评估不同遮阳策略对建筑能耗的影响,从而选择最有效的遮阳方式。利用CFD技术进行模拟和分析,设计师可以更加精确地了解建筑在各种条件下的能耗情况,进而制定出更为合理的节能设计方案。这不仅有助于降低建筑能耗,提高能源利用效率,还能为居住者提供更加舒适、环保的室内环境。

## 2 基于CFD模拟的室内暖通环境优化方法

### 2.1 模型建立与边界条件设置

在进行CFD模拟之前，建立一个精确且详尽的建筑模型是至关重要的第一步。这不仅涉及建筑的几何形状，还包括其内部空间的详细布局，如门窗位置、隔断、楼梯、家具等所有可能影响空气流动和温度分布的因素。此外，模型中还应包含建筑材料的热物性参数，如导热系数、比热容等，这些数据对于准确模拟热量传递过程至关重要。模型的几何形状必须严格按照建筑设计图纸或实际测量数据来构建，以确保模拟结果的准确性。对于复杂的建筑结构，可能需要采用专业的三维建模软件来辅助完成模型的建立。同时，为了捕捉更细微的流动特性，模型的网格划分也需要足够精细，特别是在关键区域如门窗、墙角等流动复杂的地方。除了几何形状，边界条件的设置也是模拟过程中不可或缺的一环。边界条件包括室内外气候条件、壁面温度、入口风速和温度等。这些条件的设定需要基于实际的气象数据和建筑的使用情况<sup>[2]</sup>。例如，室外温度、湿度和风速等气候条件可以通过气象站的数据或历史记录来获取；而室内壁面的温度则可能受到建筑保温性能、室内热源（如人员、设备等）以及空调系统的影响。在设置边界条件时，还需要特别注意热源的模拟。室内的人员、灯光、电器等都会产生热量，这些热量会对室内温度分布产生显著影响。因此，在模型中需要准确反映这些热源的位置、强度和热释放速率。

## 2.2 网格划分与求解策略

网格划分在CFD模拟中占据着举足轻重的地位，它是连接物理模型与数值求解之间的桥梁。合理的网格划分不仅能确保模拟结果的准确性，还能在一定程度上提高计算效率。在进行网格划分时，首要考虑的是网格的密度和分布。对于建筑内部的关键区域，如门窗附近、墙角、拐角等流动复杂或温度梯度较大的地方，应使用更密集的网格以捕捉这些区域的细微流动特征。而对于流动较为平缓的区域，可以适当使用较粗的网格以减少计算量。除了网格密度，网格的类型和质量也直接影响到模拟的精度。结构化网格由于其规则的排列方式，通常能够提供较高的计算精度，但生成起来相对复杂。而非结构化网格则更加灵活，能够适应复杂的几何形状，但在某些情况下可能会导致计算精度稍逊一筹。因此，在选择网格类型时需要根据具体的建筑模型和流动特性进行权衡。在求解策略方面，选择合适的算法和迭代方法至关重要。对于流体动力学方程，常用的求解方法包括有限体积法、有限元法和有限差分法等。这些方法各有优缺点，需要根据模拟的具体需求和计算资源来选择。例如，有限体积法在处理复杂流动和传热问题时表

现出色，而有限元法则更适用于处理具有复杂几何形状的问题。此外，为了提高计算效率和稳定性，还可以采用一些加速技术和算法优化手段。例如，使用并行计算技术可以充分利用多核处理器或多台计算机的计算能力来加速模拟过程。同时，采用合适的迭代方法和收敛准则也能确保模拟结果的准确性和稳定性<sup>[3]</sup>。通过合理的网格划分和选择适当的求解策略，我们可以更准确地模拟建筑内部的流体流动和传热过程，从而为室内暖通环境的优化提供有力的数据支持。

## 2.3 参数优化与目标设定

在进行基于CFD模拟的室内暖通环境优化时，明确的目标函数和约束条件是确保优化过程有效性和结果实用性的关键。这些目标和约束不仅涉及室内环境的舒适性，还包括能效、空气质量等多个方面。首先，室内温度的均匀性是评价暖通系统性能的重要指标之一。为了避免出现局部过热或过冷的情况，需要设定一个目标函数，使得室内温度分布尽可能均匀。这个目标可以通过定义温度标准差或温度偏差的平方和来量化，从而在优化过程中不断减小这些指标，达到温度分布均匀的目的。其次，空气流速的适宜范围也是确保室内环境舒适性的关键因素。过快的空气流速可能会引起人的不适，而过慢则可能导致空气流通不畅，影响室内空气质量。因此，需要设定一个目标函数，控制室内各处的空气流速在适宜的范围内。这个目标可以通过定义流速的最大值和最小值来实现，并在优化过程中不断调整通风口的位置、大小和风速等参数，以满足这一条件。此外，污染物的浓度限制也是室内暖通环境优化中不可忽视的一环。为了确保室内空气质量达到健康标准，需要设定一个约束条件，限制室内污染物的浓度在安全范围内。这个目标可以通过监测和模拟室内污染物的扩散情况来实现，并在必要时调整通风策略和空气净化设备的运行参数，以降低污染物浓度。参数优化与目标设定是基于CFD模拟的室内暖通环境优化的核心环节。通过设定明确的目标函数和约束条件，我们可以有针对性地调整暖通系统的设计和运行参数，从而实现室内环境的舒适性、能效性和空气质量的多重优化。这一过程不仅需要综合运用流体动力学、传热学、环境工程学等多学科的知识，还需要借助先进的CFD模拟技术和优化算法来实现。

## 2.4 模拟结果分析与优化建议

在基于CFD模拟的室内暖通环境优化过程中，模拟结果的分析是一个至关重要的环节。通过对模拟数据的深入挖掘和解读，我们不仅能够识别出现有暖通环境中存在的问题，还能为进一步的改进提供有力的数据支撑

和优化方向。(1)对于温度分布不均的问题,模拟结果可以清晰地显示出室内温度的具体分布情况。如果发现某些区域温度明显高于或低于其他区域,那么就需要对这些区域进行重点关注。可能的优化建议包括调整空调出风口的位置和角度,以确保冷热空气能够更均匀地分布到各个角落。同时,也可以考虑增加或减少某些区域的保温材料,以提高或降低其热阻,从而达到更均匀的温度分布。(2)对于空气流速过快或过慢的问题,模拟结果同样能够给出直观的展示。如果某些区域的空气流速过快,可能会导致人的不适感增加,甚至引发健康问题。此时,可以考虑调整通风口的大小或风速,以降低这些区域的空气流速。相反,如果某些区域的空气流速过慢,可能会导致空气质量下降,容易滋生细菌或病毒。针对这种情况,可以尝试增加通风口的数量或改进通风系统的布局,以提高这些区域的空气流通性。除了上述两个方面,模拟结果还可以帮助我们识别出潜在的污染源和污染物扩散路径。例如,如果在模拟中发现某些区域的污染物浓度明显高于其他区域,那么就需要对这些区域进行重点排查和治理。可能的优化建议包括增加空气净化设备的数量或改进其布局,以提高空气净化效率;同时,也可以考虑加强通风换气,以降低污染物的浓度。通过对模拟结果的深入分析,我们可以为室内暖通环境的优化提供有针对性的建议。这些建议不仅能够帮助我们解决现有问题,还能为未来的改进提供明确的方向和思路。

### 3 实际应用与未来展望

在当前的工程实践中,CFD模拟已经成为暖通设计不可或缺的工具。许多知名的建筑设计公司和暖通专业团队都在广泛应用这项技术,以确保其设计的室内暖通环境既舒适又高效。实际应用中,CFD模拟不仅用于预测新建筑的暖通性能,还常被用于对现有建筑进行改造和优化。举例来说,在一些大型商业综合体或公共建筑中,通过CFD模拟可以精确地了解到空调系统在不同时间、不同人流密度下的运行状态,从而进行更为精细化的控制策略设计,以实现节能和提高环境质量双重目

标。在医疗设施中,CFD模拟也被用来确保手术室的空气净化达到特定标准,减少感染风险。展望未来,随着计算能力的持续增强和CFD软件算法的不断优化,我们可以预见该技术在室内暖通环境优化中的潜力将得到进一步释放。高效的计算能力和更先进的物理模型将使CFD模拟更加精确和快速<sup>[4]</sup>。与此同时,与其他优化算法的结合,如遗传算法、粒子群优化等,将使得暖通设计方案能够在更大范围内自动寻优,实现真正意义上的智能化设计。这种结合不仅可以减少人为干预,还能在更短的时间内找到更为经济、高效且舒适的设计方案。值得一提的是,物联网和大数据技术的融入将为CFD模拟带来新的可能。通过将建筑中布置的传感器数据与CFD模型实时对接,我们可以对建筑内部的暖通环境进行实时监控和动态模拟。这意味着,当外部环境或内部负荷发生变化时,系统能够迅速调整暖通策略,以保持室内环境的稳定性和舒适性。

### 结语

基于CFD模拟的室内暖通环境优化研究为现代建筑设计提供了新的思路和方法。随着计算技术的不断进步和CFD软件的日益成熟,我们有理由相信这一技术将在未来发挥更大的作用。未来研究可以进一步探索CFD模拟与其他优化算法的结合,以实现更高效、更精准的室内暖通环境设计。

### 参考文献

- [1]丁俊伟.基于CFD仿真的传感器部署方法研究:面向室内环境智能化控制[D].广州大学,2022.12(5):78-80.
- [2]黄华.浅谈CFD技术在暖通空调制冷工程中的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021.25(08):101-105.
- [3]马福多.CFD在暖通空调系统中的应用现状[J].冶金与材料,2021,41(04):61-62.
- [4]龚光彩.CFD技术在暖通空调制冷(HV&AC)工程中的应用[C]//1998年湖南省暖通空调制冷学术年会.2023,3(02):11-18.