

绿色建筑中自然通风设计的应用研究

张瑞娇

河北浚源工程勘察设计有限公司邢台分公司, 河北 邢台 054000

[摘要]本研究深入探究绿色建筑里自然通风设计的应用并想要剖析自然通风技术于现代绿色建筑中的施行策略与成效,先梳理自然通风基本理论与原理,包含风压通风、热压通风以及二者组合模式且分析建筑朝向、开口设计与布局、气流组织等影响自然通风效果的关键要素,调研国内外典型绿色建筑案例后归纳当下自通风设计主要技术路径与创新应用如双层外墙通风系统、中庭通风、太阳烟囱以及风塔这类被动式通风策略,研究还用CFD数值模拟技术加现场测试的方法定量评估不同气候区、不同建筑类型下自然通风方案的适用性并建立自然通风性能评价指标体系,结果显示合理自然通风设计能使建筑能耗降低15%-30%并且室内热舒适度 and 空气质量有显著提升,在此基础上提出契合我国不同气候区、不同建筑类型的自然通风优化设计策略和技术路线图并且探自然通风和机械通风系统的智能化协同控制策略以适应复杂多变的气象状况,研究成果给绿色建筑里自然通风技术规范应用提供理论依据和技术支持。

[关键词]绿色建筑;自然通风;被动式设计;能源效率;热舒适

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18565

中图分类号: TU834.1

文献标识码: A

Research on the Application of Natural Ventilation Design in Green Buildings

ZHANG Ruijiao

Xingtai Branch of Hebei Junyuan Engineering Survey and Design Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract: This study explores the application of natural ventilation design in green buildings and aims to analyze the implementation strategies and effectiveness of natural ventilation technology in modern green buildings. Firstly, the basic theories and principles of natural ventilation are sorted out, including wind pressure ventilation, hot pressure ventilation, and their combination models. The key elements that affect the effectiveness of natural ventilation, such as building orientation, opening design and layout, and airflow organization, are analyzed. After researching typical green building cases at home and abroad, the main technical paths and innovative applications of self ventilation design are summarized, such as double-layer exterior wall ventilation systems, atrium ventilation, solar chimneys, and passive ventilation strategies such as wind towers. CFD is also used in the study. The numerical simulation technology combined with on-site testing is used to quantitatively evaluate the applicability of natural ventilation schemes in different climate zones and building types, and establish a natural ventilation performance evaluation index system. The results show that reasonable natural ventilation design can reduce building energy consumption by 15% -30% and significantly improve indoor thermal comfort and air quality. Based on this, natural ventilation optimization design strategies and technical roadmaps that are suitable for different climate zones and building types in China are proposed, and intelligent collaborative control strategies for natural ventilation and mechanical ventilation systems are explored to adapt to complex and changing meteorological conditions. The research results provide theoretical basis and technical support for the standardized application of natural ventilation technology in green buildings.

Keywords: green building; natural draft; passive design; energy efficiency; thermal comfort

引言

全球气候变化日益加剧且能源危机越发明显,建筑行业属于主要能源消耗部门,所以面临的环境压力和转型挑战巨大。国际能源署(IEA)2022年报告显示,终端能源消耗近四成由全球建筑能耗构成且约三分之一的温室气体排放源于此,在中国建筑能耗占比超全国总能耗的两成且该比例不断攀升,在这样的大环境下绿色建筑这种可持续的建筑模式在全球快速发展。中国住房和城乡建设部数据表明到2023年中国绿色建筑面积已突破80亿 m^2 ,约占城镇民用建筑总面积的25%且每年增长率都在15%以上。

在绿色建筑里,自然通风是最基本也最有效的被动节

能技术之一,其能耗削减潜力巨大且对环境十分友好,研究显示适当设计自然通风能将建筑空调能耗降低15%~30%并且让室内空气质量与用户舒适度得到显著提升,2019—2023年这五年间,绿色建筑领域对自然通风技术的应用从一开始简单的窗户设计发展成中庭通风、风塔、太阳烟囱这类多元化技术体系,不过现在自然通风设计仍然面临着不少挑战,例如适应区域气候的能力不够强、和机械系统的协同不好、设计标准不统一等。

1 自然通风设计的理论基础

1.1 自然通风原理与物理机制

自然通风主要靠风压差和热压差这两种物理机制驱

动,风压通风是建筑物迎风面和背风面压力不一样致使空气流动,这一流动强度与风速、建筑形态、开口位置等因素联系紧密,外部风速翻倍时风压差大概会增加四倍且通风量也会大幅提高。热压通风依据空气密度随温度升高而降低的原理,室内外或者建筑不同高度有温差就会出现“烟囱效应”,热空气上升带动空气流通,温差越大热压效应就越明显,空间高度差为 10m 时温差每增加 1℃大概能产生 2.5Pa 的压力差^[1]。

在实际建筑环境里,风压与热压常常共同发挥作用并产生复合通风效应,二者之间的关系能这么表述:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{wind}} + \Delta P_{\text{thermal}} = \frac{1}{2} \rho C_p v^2 + \rho g h \left(\frac{T_i - T_o}{T_i} \right) \quad (1)$$

总压差用 ΔP_{total} 表示,空气密度为 ρ ,风压系数是 C_p ,风速为 v ,重力加速度为 g ,高度差为 h ,室内外温度分别记作 T_i 和 T_o ,不同季节和气候下风压与热压谁占主导会变且这一变化规律是自然通风设计得重点考虑的,也是达成全年有效自然通风的理论依据。

1.2 建筑微气候与风环境分析方法

自然通风设计以建筑微气候分析为前提,涵盖宏观气候特征、场地微气候以及建筑群体风环境评估内容,其中宏观气候分析主要依据气象数据探究当地全年风向、风速、温度、湿度等参数的分布规律,并且中国气象局 2020—2023 年数据显示我国不同气候区可利用自然通风的时间占比差别很大,像严寒地区约为 20%,而夏热冬暖地区能超 60%,这对通风策略的选择与优化有直接影响。场地微气候分析聚焦地形、植被、周边建筑等因素给局部风环境带来的影响,用风玫瑰图、通风适宜性图等工具进行评估。

建筑风环境分析主要有现场测试、风洞实验以及计算流体动力学(CFD)模拟这三种方法,其中现场测试虽能给出最直接的实测数据但受限于时间和环境较多,风洞实验能够很好地模拟复杂气流状况且对新型通风构件性能评估尤为适用,CFD 模拟因高效、成本低、可视化效果佳而被广泛运用,并且机器学习和人工智能技术在最近五年被引入后风环境预测精度大大提高,使得预测误差从早期的 20%~30%降到现在 10%以内,此外参数化设计工具与 CFD 的集成也让设计过程中风环境优化流程变得极为简便从而让自然通风方案设计更精确更高效。

2 自然通风策略在绿色建筑中的应用

2.1 单侧通风与穿堂风设计策略

最基本的自然通风形式是单侧通风,靠同一立面上的开口来通风,其通风效果主要被开口面积、位置高差和外部风速影响着,研究显示开口高度差增大时热压效应会增强且能大幅提高通风效率,2022 年发表的研究数据表明在开口面积相同的情况下把开口高度差从 0.5m 增加到 1.5m 可使通风量大概增加 40%,单侧通风的有效深度一

般是开口高度的两倍半左右所以更适宜于小型空间或者当作辅助通风手段,优化设计策略有增设像挡板、翼墙这样的导流构件、用活动百叶调节气流以及利用智能控制系统根据室外风向动态调整开口状态。

建筑不同立面有开口时,穿堂风会借助这些开口形成贯穿气流且其通风效率远超单侧通风,要使穿堂风设计有效就得考量开口朝向和主导风向的关系、开口面积占比以及室内气流组织。中国建筑设计研究院 2021 年的研究显示,进风口与主导风向夹角在 45°之内时通风效率能达到 70%之上,夹角超 60°效率就大幅下滑,进风口面积比气流速度影响明显且理想的比例是 1:1.25 即出风口稍微大些,室内隔断和家具摆放也会影响气流走向所以最好用低矮隔断并且确保主要气流走向顺畅^[2]。北京有个绿色办公建筑项目,经过优化的穿堂风设计让夏季自然通风适用的时间从原来的 52%提高到 78%,还让空调能耗减少了大概 22%。

2.2 热压通风设计策略

室内外温差或者建筑内部不同高度间的温差被利用起来形成空气流动这就是热压通风,对于多层空间以及风速低下的环境它尤其适用,并且温差大小与高度差是决定热压通风效果的关键因素,其理论上的压力差可按下面这个公式来计算。

$$\Delta P = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_i} \quad (2)$$

热压差 ΔP 在公式里边,室外空气密度用 ρ_o 表示单位是 kg/m^3 ,重力加速度 g 为 9.8m/s^2 ,开口高度差 h 的单位是 m,室内外绝对温度分别记作 T_i 和 T_o 且单位是开尔文,按照这个公式计算的话,在 25m 高的地方室内外温差达到 5℃的时候就能产生大概 30 帕的压力差从而驱动有效的通风。

实际应用时,热压通风主要从温度梯度优化和流道设计这两个方面进行设计,前者靠增强热源效应(如让日照给特定区域加热)或者加大冷源效果(如采用蒸发冷却)来加强温差,以上海某个生态建筑为例,其西向双层玻璃幕墙设计利用幕墙间空气受热产生很强的上升气流,使得在过渡季节夏季的时候每小时能有 4~5 次的空气置换率。而流道设计着眼于垂直通道的几何特性,例如断面形状、高度以及进风口的设计等方面,研究显示,锥形收缩的垂直通道和等截面通道相比通风效率能提高 15%~20%,而且热压通风系统的控制策略对其全年的性能有着很大影响,所以现代绿色建筑大多使用智能监测系统,该系统会依据室内外温差、二氧化碳浓度等参数自动调节开口状态以达到优化通风效果的目的。

2.3 风塔与太阳烟囱设计方法

风塔和太阳烟囱这两种把风压与热压原理相结合的创新通风构件近年来在绿色建筑里广泛被应用,风塔靠顶

部的多向捕风装置把高处的气流引入建筑当中并且其设计重点是风帽形态的优化以及内部导流系统的打造,现代风塔大多采用能够依据风向自行调整开口方向以提升捕风效率的动态风帽设计,研究表明风塔经优化设计后,在外部风速为 2m/s 时,室内换气率能达到 5~6 次/h,阿布扎比马斯达尔城(MasdarCity)的绿色建筑群里有个 42m 高的现代风塔,它不但提供自然通风,还可凭借蒸发冷却装置把引入的空气温度降低大概 10°C。

太阳烟囱将玻璃温室效应与烟囱效应相结合,靠太阳辐射给烟囱内的空气加热从而产生很强的热压通风,其设计主要在于集热面材料的选择、几何尺寸的优化以及气流组织的设计,一般高效的太阳烟囱多用吸热率高的深色材料并配上低发射率玻璃或者聚碳酸酯做外罩,烟囱的高度和断面尺寸比例对通风效率有巨大影响且研究显示最佳高宽比大概为 10:1,2022 年发表的模拟研究称在我国华南地区,一个高 15m、断面积为 2m² 的太阳烟囱在阳光充足的状况下能给 100m² 的空间带来每小时 3~4 次的换气率,这比传统通风窗的效率要高出大约 60%,最近的创新设计把相变材料(PCM)加到太阳烟囱系统里依靠储存热能来延长有效通风的时间使得夜间通风效率提高了约 35%。

2.4 中庭与风井在高层建筑中的应用

对于高层建筑而言,中庭与风井是实现自然通风的重要策略且能创设垂直通风路径以较好解决外部风压分布不均这一问题,其中中庭通风借助大型中空空间产生“烟囱效应”并依靠顶部开口和底部进风口构建稳定的气流路径。广州有个 29 层的办公建筑实测数据显示,带有智能控制系统的中庭通风方案让该建筑在过渡期的自然通风率达约 65%,跟传统设计相比可节省大概 28% 的空调能耗^[3]。中庭通风设计的关键参数包含中庭高宽比、顶部开口面积比以及内表面材料特性,研究显示,在热压主导型中庭里,理想高宽比为 3:1 到 5:1 且顶部开口面积要是底部进风口的 1.2~1.5 倍。

3 自然通风设计的优化与集成

3.1 计算流体动力学(CFD)在通风设计中的应用

自然通风设计优化中,计算流体动力学(CFD)技术成为关键工具,能高精度地模拟与预测建筑内外复杂气流分布情况,并且 2020 年之后,随着计算能力提高、算法优化,CFD 在绿色建筑设计阶段的应用大幅增多,中国建筑科学研究院数据表明,近三年的绿色建筑项目有 75% 运用 CFD 技术优化通风方案,其通过求解包含连续性方程、动量方程和能量方程的控制方程组来预测空气流动、温度分布以及污染物扩散状况,使设计师能够在建筑方案阶段就定量评估自然通风效果并优化开窗的位置、尺寸和形式。

在通风方案比较时,CFD 分析的优势在于其具有可视化能力且能进行定量评估,构建好数字模型后就能模拟

不同季节、不同风向条件下的室内气流组织并分析风压系数分布、局部气流死区和通风效率等关键参数。最近研究显示,把参数化设计和 CFD 模拟相结合的通风优化方法能使通风效率提高 15%~25%,2022 年发表的研究成果表明,采用改进的湍流模型和网格划分技术后,CFD 模拟精度提升了,与实测数据偏差不到 10%,这既给设计决策提供了可靠依据,也降低了物理实验的成本和时间。

3.2 自然通风与建筑形态的协同优化

建筑形态与自然通风性能联系紧密且二者协同优化是绿色建筑设计的核心策略,中国绿色建筑委员会 2021 年发布的报告显示建筑形态优化能将自然通风效率提升 20%~35%,操控好建筑体量、朝向、平面形状和剖面设计可明显改善气流组织与通风潜力,风环境模拟研究显示在高密度城市环境中适当提高建筑底层架空率、设导风墙和风道能有效把气流引入建筑内部,建筑形态优化不但要着眼于单体建筑还要考虑建筑群体布局对微气候的影响从而创造出对自然通风有利的外部环境。

提升自然通风效果的重要形态策略包括建筑体块切分与中庭设计,2023 年统计数据显示采用中庭通风设计的绿色建筑较传统建筑节能达 18%~27%,优化中庭尺寸比例和顶部开口设计可增强热压通风效应且建筑表皮整合穿孔设计、双层外墙和遮阳系统能调控进入室内气流的速率与方向,参数化设计方法与性能模拟在形态优化过程中已得到广泛应用,例如国内某个研究团队开发出受自然通风性能驱动的形态生成算法,该算法依据通风效率、能耗和舒适度等多目标约束条件就能自动生成最优建筑形态方案^[4]。

3.3 气候适应性自然通风控制策略

提高自然通风实用性和可靠性的关键技术是气候适应性自然通风控制,其核心在于依据气象条件变化、室内需求以及使用模式动态地调整通风策略。现代自然通风控制系统一般包含环境感知层、决策控制层和执行层,能够实时监测室内外温湿度、CO₂ 浓度、PM_{2.5} 含量、风速风向等参数并凭借预测性控制算法自动调节开窗角度、内遮阳位置和辅助风机运行状态。2021—2023 年在不同气候区实施的自然通风智能控制项目的数据显示,跟传统固定模式比起来,智能控制策略能把有效自然通风时间延长 25%到 40%,并且对于我国夏热冬冷地区来说,基于气象预报数据的预测性控制策略能够有效利用日夜温差和过渡季节以扩大自然通风适用范围^[5]。近期研究还对机器学习方法在通风控制中的应用进行了探索,在学习建筑使用模式和环境响应特性的过程中不断优化控制策略从而提升系统的适应性和智能化水平。

4 结论

本研究系统地对绿色建筑里自然通风设计的优化以及集成应用进行了探讨,结果证明 CFD 技术在通风方案

评估方面是有效的,同时也明晰了建筑形态和自然通风协同优化的路径、给出了自然通风和机械系统的集成设计策略并且还发展出了气候适应性通风控制方法,研究结果显示,多维度优化后的自然通风设计能够大幅提升建筑的能效和舒适度,从而为我国绿色建筑的发展提供了实用的技术支撑。

[参考文献]

- [1]陈湛.绿色建筑中协同作用的自然通风设计[J].工业建筑,2016(12):31-35.
[2]叶艳.绿色建筑地下车库自然通风设计研究[J].重庆建

筑,2018(2):16-19.

- [3]张晓敏.CFD技术在绿色建筑自然通风设计中的应用[J].低碳世界,2016(7):166-167.
[4]俞天琦,岳梦迪.绿色建筑自然通风的外围护结构设计[J].北京建筑大学学报,2018(1):11-16.
[5]朱梦祺,车学娅.数值模拟技术在建筑自然通风设计与优化中的应用[J].绿色建筑,2013(1):17-20.

作者简介:张瑞娇(1992.6—),当前就职单位:河北浚源工程勘察设计院有限公司邢台分公司,职务:建筑设计,职称级别:工程师。