

文章编号: 1671-6612 (2025) 05-784-05

成都市高大空间公共建筑自然通风节能潜力分析

幸 运 邹秋生 李绪媛

(四川省建筑设计研究院有限公司 成都 610000)

【摘 要】 针对高大空间公共建筑能耗居高不下、自然通风差的问题,以成都市某大型体育场馆为研究对象,通过实地测试调研,确定了成都市高大空间公共建筑室内热舒适温度区间为 21.85℃~24.75℃。基于这一温度区间,采用数值模拟软件分析了不同自然通风策略下的建筑节能潜力。结果表明:成都市过渡季节可利用自然通风降温的时数达 963 小时,占过渡季总时长的 26.23%,节能潜力显著。选取 5 月 1 日为典型日进行深入分析,发现当室外气温处于 21.85℃~24.75℃ 范围内时,实施自然通风可有效改善室内热环境并显著降低空调负荷。研究可为成都市及夏热冬冷气候区高大空间公共建筑的自然通风设计提供参考。

【关键词】 高大空间公共建筑; 热舒适; 自然通风; 节能潜力

中图分类号 TU14 文献标志码 A

Energy-Saving Potential Analysis of Natural Ventilation in Large-Space Public Buildings in Chengdu

Xing Yun Zou Qiusheng Li Xuyuan

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

【Abstract】 Due to high energy consumption and poor natural ventilation performance in large-space public buildings, this study investigated the energy-saving potential of natural ventilation in such buildings in Chengdu. A large sports stadium in Chengdu was selected as the case study. Field measurements were conducted to determine the indoor thermal comfort temperature range, which was found to be 21.85 °C to 24.75 °C. Based on this range, numerical simulation software was used to analyze the building's energy-saving potential under different natural ventilation strategies. The results show that during transitional seasons, natural ventilation cooling can be used for approximately 963 hours, accounting for 26.23% of the total transitional period, indicating significant energy-saving potential. May 1st was selected as a typical day for detailed analysis. It was found that when the outdoor temperature falls within 21.85 °C to 24.75 °C, natural ventilation can effectively improve the indoor thermal environment and significantly reduce air conditioning loads. This study provides a useful reference for the natural ventilation design of large-space public buildings in Chengdu and other regions with hot summer and cold winter climates.

【Keywords】 Large-Space public building; Thermal comfort; Natural ventilation; Energy-Saving potential

0 引言

近年来,随着经济快速发展,成都市公共建筑呈现出规模扩大化、空间封闭化的趋势,一方面城市土地开发强度持续提升导致建筑密度增加,另一

方面人们对室内环境舒适度和空气品质的要求不断提高,这些因素共同推升了公共建筑能源的消耗量。相关研究表明,制冷与采暖能耗已占公共建筑总能耗的 50%~60%^[1],因此,如何有效减少建筑

基金项目: 四川华西集团科技项目 (HXKX2020/014); 四川省建筑设计研究院有限公司科技项目 (KYYN202101)

作者简介: 幸 运 (1989.08-), 男, 硕士研究生, 工程师, E-mail: xingyun.cd@qq.com

通讯作者: 邹秋生 (1973.08-), 男, 本科, 正高级工程师, E-mail: 305853892@qq.com

收稿时间: 2025-07-09

制冷采暖能耗是实现公共建筑整体节能的关键步骤。

合理的自然通风是降低建筑运行能耗、提高建筑空气品质有效方法。成都属夏热冬冷气候区,公共建筑全年空调开启时间较长,空调能耗较大,但过渡季室外气温较低,若合理利用自然通风可达到建筑降温 and 节能的目的。

如何利用自然通风进行建筑降温,近年来相关学者也做了大量研究。罗卉^[2]通过实测,研究了不同运动强度人群的热感受和热偏好,探讨其与体育训练馆自然通风的关系。然后通过模拟实验的方法,研究不同的侧窗形式、天窗形式、屋顶形式对体育训练馆自然通风的影响。吴云涛^[3]以重庆市校园食堂为例,以提高食堂餐饮空间自然通风有效性为目标,提出重庆地区高校食堂餐饮空间的设计策略和管理建议。叶恩恺等人^[4]对粤西湛江市带有中庭结构的某高校图书馆进行研究,采用实测与模拟相结合的方式,验证了该图书馆过渡季节使用自然通风在大部分情况下可满足室内空气品质的需要。宋文馨等人^[5]探讨了珠海金湾机场 T2 航站楼的节能设计,提出了一种采用自然通风的设计策略,并针对指廊提出了低进低出的通风形式。

分析上述文献发现,相关研究大多集中于公共建筑的自然通风优化设计上,而对高大空间公共建筑过渡季自然通风节能潜力研究较少,因此本文通过分析测试调研数据,确定了成都市高大空间公共建筑过渡季室内热舒适温度指标,并以成都市某大型体育场馆为研究对象,利用 DesignBuilder 软件,模拟分析了其过渡季自然通风的节能潜力。

1 热舒适温度

1.1 测试与调研

研究团队于 2024 年 5 月对成都某大型体育场馆进行了测试调研,使用自计式温湿度计和风速仪连续监测室内外热环境参数,包括温度、相对湿度和风速等。同时在休息区开展了热舒适问卷调查,内容涵盖个人基本信息、热感觉评价(采用 ASHRAE 7 级量表)和舒适度感受等。

本次调研共回收有效问卷 120 份,其中男性 73 人次(60.83%),女性 57 人次(39.17%)。调查过程中详细记录了被调查者当时的衣着情况,参照《中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适

条件的规定》(GB/T 18049-2000)估算出被调查者所穿单件服装的热阻值,从而估算出整套服装的热阻,以单位 clo 表示。同时参考杨柳^[6]等学者的研究成果,对热阻值进行了附加修正,修正值为 0.15clo。被调查者背景资料如表 1 所示。研究团队还对测试所得的室内外热环境数据进行统计分析,得出室内外热环境数据如表 2 所示。

表 1 被调查者背景资料调查统计表
Table 1 Statistical summary of respondents' background information

	平均值	最大值	最小值	标准差
年龄/岁	31.75	62	6	12.35
身高/cm	165.91	190	126	15.71
体重/kg	57.14	75	26	13.06
服装热阻/clo	0.24	0.41	0.06	0.1

表 2 室内外热环境数据统计表
Table 2 Statistical data of indoor and outdoor thermal environments

		平均值	最大值	最小值	标准差
温度/℃	室内	26.9	29.2	24.7	1.07
	室外	26.5	32.6	20.6	3.12
相对湿度/%	室内	61	78	47	9.9
	室外	73.35	98.9	45.9	17.66
气流速度/(m/s)	室内	0.09	0.687	0.012	0.1
	室外	0.018	0.763	0.003	0.435

对室内外实测客观热物理参数进行频率分布分析后发现:室内温度主要分布在 26.5℃~28.5℃ 之间,占总样本的 83%;而室外温度分布范围较广,介于 21.5℃~24.5℃ 和 26.5℃~31.5℃ 之间,其中分布在 28℃~31℃ 之间的样本占总样本的 61%。室内相对湿度较高,相对湿度在 50% 以上的样本占到 97%;而室外相对湿度则相对较小,相对湿度在 60% 以下的样本占到 80%。室内风速较小,小于 0.2m/s 的样本占 93.47%;室外风速大于 0.4m/s 则占 88%,其中风速介于 1m/s~3m/s 的样本占 49%。由此可以看出,相对室外气候条件而言,调查对象室内温度高,相对湿度较高,风速较小,室内热环境较差,不利于人体健康。

1.2 热舒适评价指标

在大多数情况下,人体热量是通过皮肤经服装

散发到环境中的,反之亦然。人体皮肤与人体最外层着装之间有着复杂热传递过程,它包括了介于纺织品本身的热传递阻力和纺织品层次之间的空气层的内部对流和辐射过程,也包括了通过衣服本身的热传递和衣服的剪裁方式等对传递阻力的影响。因此,在评价热环境对人体热舒适的影响时,考虑服装在热交换方面的作用是有必要的。将服装热阻与测点温度和平均热感觉分别进行回归分析,得到图1和图2。室内人员平均服装热阻为0.24clo,着装情况与测点温度及实测平均热感觉不存在显著的线性相关关系,因此服装热阻的差异不是影响该类建筑室内人员热感觉的主要因素。

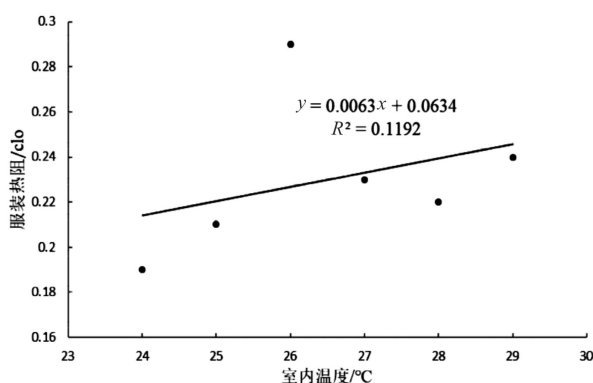


图1 服装热阻和室内温度的线性拟合图

Fig.1 Linear regression between clothing thermal resistance and indoor temperature

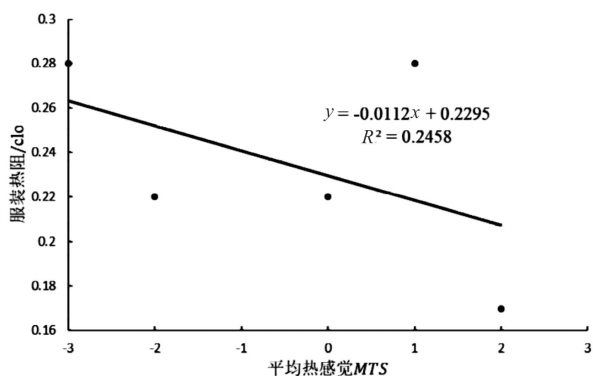


图2 服装热阻和平均热感觉的线性拟合图

Fig.2 Fitted curves for monitoring point temperatures and mean thermal sensation

房间内部的空气温度是由房间内的得热和失热、围护结构内表面的温度及通风等因素共同决定的,它会直接直接影响人体的主观热感觉。因此,利用通用的温度频率法,通过线性回归分析得到平均热感觉与室内温度的线性拟合曲线如图3所示。

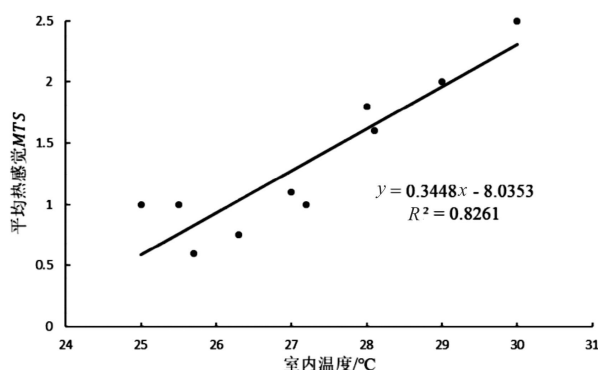


图3 平均热感觉与室内温度拟合图

Fig.3 Correlation between mean thermal sensation and indoor temperature

对调研结果进行分析后,得出了当地实测平均热感觉随室内温度 t_a 变化的曲线及拟合方程: $MTS=0.3448t_a-8.0353$ ($R^2=0.8261$), 计算得出该建筑实测热中性温度为 23.30°C , 本文实测的热中性温度与周范卓等人^[7]统计的夏热冬冷气候区建筑热中性温度相当。参照 Nicol 和 Humphrey^[8]的方法,得成都市高大空间公共建筑室内热舒适温度为 $21.85^\circ\text{C}\sim 24.75^\circ\text{C}$,可作为成都市高大空间公共建筑室内热舒适的评价指标。

2 自然通风节能潜力分析

采用 DesignBuilder 建立该大型体育场馆的建筑物理模型进行自然通风节能潜力分析,该建筑周边无其他高层建筑,场地自然通风情况良好,室内平面呈圆形布置,运动场地部分共1层,层高19.8m,外围附属空间(休息厅、观众席等)共4层,层高5m,可开启扇在建筑玻璃幕墙上均匀布置,建筑物理模型如图4所示。本次以运动场部分为模拟分析对象,模拟时采用典型气象年数据作为气候数据输入边界。

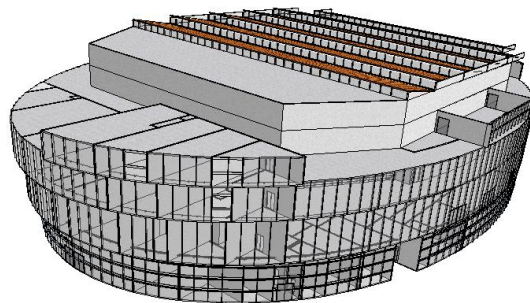


图4 建筑物理模型图

Fig.4 Physical Model of the Building

2.1 模型围护结构参数

项目围护结构热工性能参数、建筑运行时间和室内人员、灯光、设备作息时间均参照《建筑节能

与可再生能源利用通用规范》(GB 55015-2021)的要求设置,如表 3 和图 5 所示。建筑室内得热平均强度取 4.3W/m²。

表 3 项目围护结构热工参数

Table 3 Thermal performance parameters of building envelope			
围护结构构件	构造	传热系数 W/(m ² ·K)	太阳得热系数
透光围护结构	隔热金属型材 Kf=5.0W/(m ² ·K)窗框面积 20% (6 高透光双银 Low-E+12Ar+6 透明+12A+6 透明)	1.90	0.33
屋面	岩棉板 (100mm)	0.40	—
外墙	岩棉板 (60mm)	0.76	—

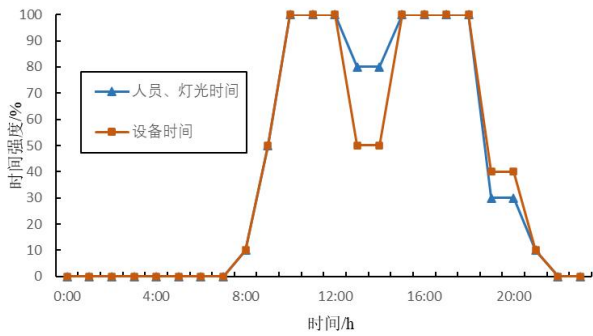


图 5 项目室内热扰、作息时间表
Fig.5 Internal heat gain and occupancy schedule of the project

2.2 自然通风工况设定

设置无自然通风、全自然通风、半自然通风三个工况,进行模拟计算,工况参数设置如表 4 所示。

表 4 自然通风工况设定

Table 4 Natural Ventilation Scenario Settings		
工况	通风状态	窗户开启扇状态
工况 1	无自然通风	窗户开启扇全天关闭
工况 2	全自然通风	窗户开启扇全天开启
工况 3	半自然通风	窗户开启扇仅在室外空气温度为舒适温度范围时开启

2.3 过渡季自然通风潜力分析

分别对设定的 3 种工况进行模拟计算,在空调系统不介入的情况下,项目过渡季室内外温度分布情况如表 5 所示,建筑室外气温介于 21.85℃~24.75℃的时数为 963h,占过渡季时长的 26.23%,高于 24.75℃的时数为 2709h,占比 73.77%。工况 1:建筑可开启扇全天关闭时,室内大部分时间处于高温状态,室内人员热舒适性较差;工况 2:建

筑可开启扇全天开启时,建筑室内舒适温度(21.85℃~24.75℃)持续时间提升至 1569h,占过渡季时长的 42.73%,较室外气温热舒适时长增加 606 小时;工况 3:建筑窗户开启扇仅在室外空气温度为舒适温度范围内开启时,建筑室内舒适温度(21.85℃~24.75℃)的时数进一步提升至 1846h,占过渡季时长的 50.27%,较室外气温热舒适时长增加 883 小时、相较工况 2 增加 277h。因此对于成都市高大空间公共建筑而言,过渡季自然通风是一种有效调节室内温度的措施,其中工况 3 具有较大的通风潜力,可显著提升室内热舒适时长。

表 5 建筑室内外空气温度区间小时数统计与分析

Table 5 Hourly distribution of indoor and outdoor air temperature ranges				
温度区间	时数			
	室外	工况 1	工况 2	工况 3
>24.75℃	2709	3265	2103	1812
<21.85℃	0	0	0	14
21.85℃~24.75℃	963	407	1569	1846

2.4 典型日自然通风潜力

为进一步量化成都市高大空间公共建筑自然通风潜力,本研究选取 5 月 1 日作为典型日进行模拟计算,该日作为过渡季的一天,最高温度为 31.2℃,最低温度为 18.5℃,夜间室外气温较适宜自然通风。结合当日建筑室外温度特征,将工况三调整为:当室外温度介于 21.85℃~24.75℃(21:00~11:00)时打开开启扇,其余时间关闭,随后对工况 1、工况 2 和修正后的工况 3A 进行建筑室内温度与冷负荷模拟分析。

图 6 展示了 3 种通风工况下,典型日的室内外温度变化。结果标明:结合 1.2 节热舒适评价指标,除工况 1 室内温度偏高外,工况 2 和工况 3A 均能基本满足使用者的舒适性需求。其中,工况 3A 的温度过渡更为平缓,未出现温度剧烈波动的现象。对室内温度区间进行统计发现(见表 6),工况 3A 处于室内热舒适温度区间的时数要优于其他工况。

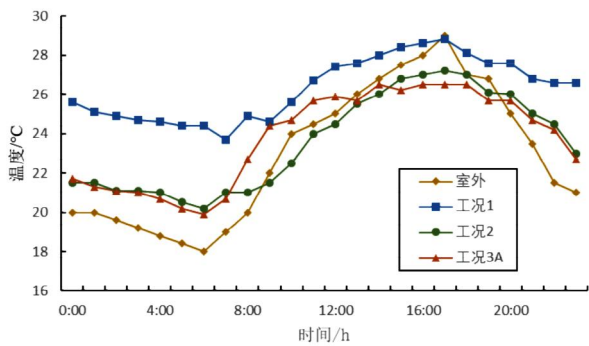


图 6 典型日室内外温度变化

Fig.6 Indoor and outdoor temperature variations on the typical day

表 6 典型日温度分布情况

温度区间	时数			
	室外	工况 1	工况 2	工况 3A
>24.75℃	9	18	9	10
<21.85℃	10	0	9	7
21.85℃~24.75℃	5	6	6	7

图 7 展示了 3 种工况下建筑室内空调冷负荷的变化情况。分析可知,受建筑围护结构蓄热性能的影响,三种工况建筑日间运行初期冷负荷较高,在中午 11 时左右达到最高后逐渐降低。工况 1 虽然单位面积冷负荷最低,但其建筑室内温度已超过舒适温度区间,且窗户长时间关闭,室内空气品质较差,不利于室内热环境组织,因此排除此工况。工况 3A 的单位面积最大冷负荷(60W/m²)较工况 2 的单位面积最大冷负荷(70W/m²)低约 14%,更加节约能源。

因此,综合考虑室内热舒适性和单位面积最大冷负荷,在建筑室外气温适宜(室外温度介于 21.85℃~24.75℃)时,打开开启扇进行自然通风的策略较优。

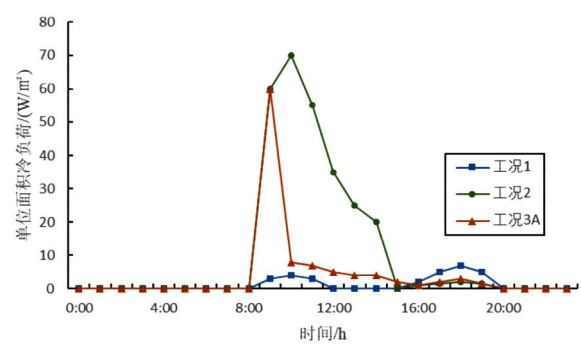


图 7 典型日空调冷负荷变化

Fig.7 Cooling Load Variations on the Typical Day

3 结论

本文以成都市某大型体育场馆为研究对象,系统研究了成都市高大空间公共建筑的自然通风潜力,主要研究结论如下:

(1) 基于测试和调研数据,确定了成都市高大空间公共建筑的室内热舒适温度区间为 21.85℃~24.75℃,该温度区间可作为此类建筑室内热舒适的评价指标。

(2) 通过对成都市典型气象数据分析发现,在过渡季节,成都市可利用室外空气进行自然通风降温的有效时数达 963h,占过渡季总时长的 26.23%,表明成都市高大空间公共建筑具有显著的自然通风降温潜力。

(3) 选取 5 月 1 日作为过渡季典型日进行对比研究,结果显示:当采用室外温度介于 21.85℃~24.75℃(21:00~11:00)时打开开启扇,其余时间关闭的通风模式,室内温度过渡更为平稳,处于室内热舒适温度区间的时长明显优于其他工况。该工况下项目最大冷负荷较全天自然通风工况降低约 14%,即能有效改善室内热环境,又可显著降低空调能耗。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能中心.中国建筑节能年度发展研究报告 2009 [M].北京:中国建筑工业出版社,2023.

[2] 罗卉.湿热地区过渡季体育训练馆自然通风设计策略研究[D].广州:华南理工大学,2020.

[3] 吴云涛.自然通风工况下重庆地区高校食堂餐饮空间设计策略研究[D].重庆:重庆大学,2021.