

文章编号: 1671-6612 (2023) 01-088-04

沿海地区高大空间建筑自然通风效果分析

马国川¹ 沈天赐² 余涛²

(1. 中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610041;

2. 西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 沿海地区高大空间建筑有较高的自然通风潜力, 采用自然通风可以提高人员热舒适性, 同时降低能耗。采用 EnergyPlus 软件对连云港地区某铁路站房高大空间建筑的自然通风效果进行了模拟计算, 并对自然通风切换温度以及运行控制策略进行了分析。在非供暖季, 该站房平均总换气量可达到 48m³/s, 平均总换气次数可达到 1.4 次/h。与完全采用机械制冷空调系统相比, 自然通风+空调系统可以减少 467h 的空调运行时间, 可节省 13.1% 的能耗。

【关键词】 高大空间建筑; 自然通风; 热舒适性; 控制策略; 节能分析

中图分类号 TU834 文献标识码 A

Analysis on Natural Ventilation Effect of Large Space Buildings in Coastal Areas

Ma Guochuan¹ Shen Tianci² Yu Tao²

(1.China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610041;

2.School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 Large space buildings in coastal areas have high natural ventilation potential. The use of natural ventilation can improve the thermal comfort of personnel and reduce energy consumption. The natural ventilation effect of a railway station building in Lianyungang was simulated using EnergyPlus software. Both the switching temperature of natural ventilation and the operation control strategy are analyzed. In non-heating seasons, the average total ventilation rate of the station can reach 48 m³/s, with the average total air exchange rate of 1.4 ACH. Compared with the fully mechanical air conditioning system, the natural ventilation and air conditioning system can reduce the air conditioning operation time by 467h and save the energy consumption by 13.1%.

【Keywords】 large space buildings; natural ventilation; thermal comfort; control strategy; energy saving analysis

0 引言

高大空间建筑具有功能复杂、室内人员流动性较大、区域连通等特点, 但大部分能耗被通风空调系统所消耗^[1]。沿海地区一般风能资源丰富, 自然通风条件较好, 节能潜力大^[2]。沿海地区高大空间建筑采用自然通风, 可提高人员热舒适性, 同时可以减小通风空调系统开启时间, 大幅降低系统运行能耗。

目前有较多学者对不同类型建筑的自然通风

效果进行了研究。金双双等^[3]以自然通风小时数为评估指标分析了我国不同地区居住建筑的自然通风潜力, 东南沿海地区通风潜力较大, 自然通风小时在 1937~2701 之间。张建刚^[4]采用 EnergyPlus 软件对 4~10 月期间石家庄站自然通风方式下的通风换气量以及人员活动区的温度分布进行了模拟分析。乔宣铭等^[5]结合不同地区气候特点, 研究了北方铁路客运站自然通风降温效果。Kolokotroni 等^[6]以室外温度和室内温度为控制参数对自然通风系

作者(通讯作者)简介: 马国川(1984.10-), 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: 403520223@qq.com

收稿日期: 2022-12-25

统进行控制。Karava 等^[7]通过检测室外空气温度和相对湿度的值来控制自然通风系统。目前, 针对沿海地区高大空间建筑自然通风的研究较少。

本文采用 EnergyPlus 软件对江苏连云港地区某铁路站房高大空间建筑的自然通风效果进行分析, 提出一种适用于连云港地区高大空间建筑的自然通风控制方案, 并对室内人员热舒适性和空调系统能耗进行了分析。

1 模型建立

1.1 建筑概况

本文以江苏省连云港地区某铁路站房高大空间建筑为研究对象, 该站房仅一层, 为正东朝向, 候车厅总面积为 5135.1m², 顶部为坡屋顶, 顶部最高为 22.2m。候车厅上部可开启窗户面积为 86.9m², 下部外门开启面积为 84m²。

1.2 计算模型

采用 Designbuilder 软件进行建模, 该铁路站房模型如图 1 所示, 门窗分布如图 2 所示。

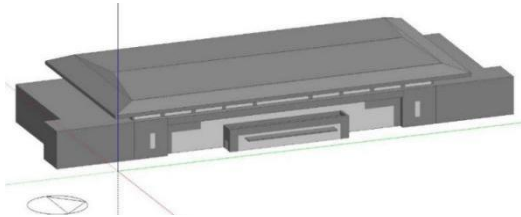


图 1 建筑模型图

Fig.1 Building model

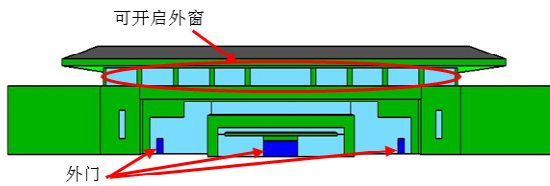


图 2 建筑门窗分布图

Fig.2 Distribution of building doors and windows

1.3 模拟参数设置

本文主要研究该站房建筑的自然通风效果, 模拟时间为非供暖季(夏季和过渡季), 具体时段为 3 月 28 日至 11 月 13 日。模拟所采用的连云港地区气象参数来源于 EnergyPlus 官网。

站房的围护结构参数满足《公共建筑节能设计标准》^[8]中规定的围护结构传热系数要求, 外墙传热系数为 0.5W/(m²·K), 屋顶传热系数为 0.45W/(m²·K), 外窗(含透光幕墙)传热系数为 2.4W/(m²·K)。站房内人员数量为 1000 人, 设备负

荷为 15W/m², 室内灯光负荷取 9W/m²^[9]。

顶部外窗全天开启, 而下部外门只在开站时间即 06:00~23:00 内开启。

1.4 热舒适评价方法

由于自然通风下的热舒适性与稳态空调环境下的情况有较大区别, 稳态空调环境的热舒适标准不一定适用于自然通风环境。本文选择适应性模型来分析自然通风下候车厅热舒适性, 如式(1)所示^[10]。

$$t_c = 0.228t_o + 17.03 \quad (1)$$

式中, t_c 为室内热中性温度, °C; t_o 为室外环境温度, °C。

以热中性温度为中心, 以 7°C 为 80% 的人可接受的舒适区宽度定义室内舒适温度的范围, 即 $t_c \pm 3.5$ °C。

2 结果分析

采用 EnergyPlus 软件对该站房高大空间建筑在非供暖季的自然通风效果及控制策略进行模拟分析研究。

2.1 自然通风换气效果

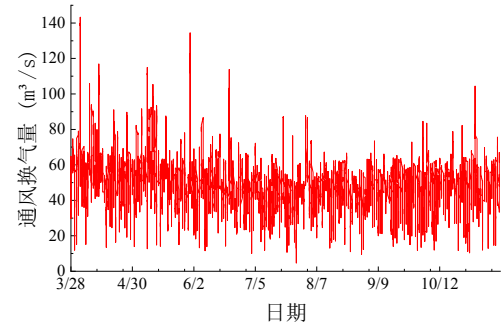


图 3 自然通风换气量

Fig.3 Natural ventilation rate

图 3 为整个候车大厅自然通风总换气量, 该候车厅的总换气量基本在 20~80m³/s 范围内变动, 在非供暖季的平均总换气量为 48m³/s。

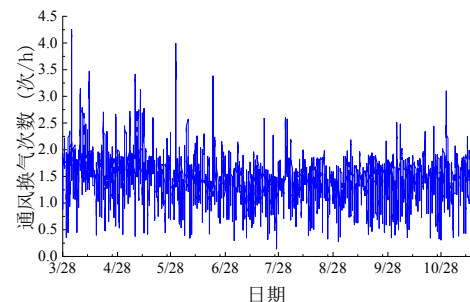


图 4 自然通风换气次数

Fig.4 Air change rate of natural ventilation

图 4 为整个候车大厅自然通风总换气次数,该候车厅的总换气次数基本在 0.5~2.5 次/h 范围内变动,在非供暖季的平均总换气次数为 1.4 次/h。

2.2 自然通风热舒适效果

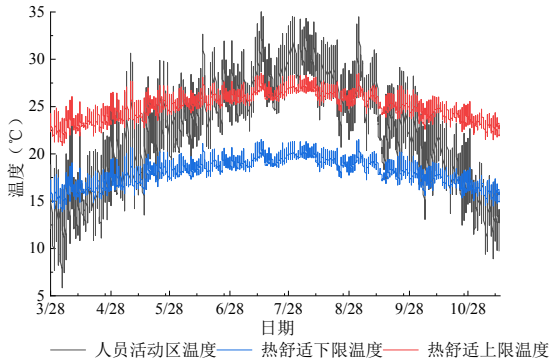


图 5 人员活动区温度

Fig.5 Air temperature in the occupied zone

图 5 为自然通风条件下人员活动区温度变化,同时给出了 80%的人可接受的热舒适上下限温度。当人员活动区温度处于热舒适上下限温度区间时,表明有 80%的人对室内温度感到舒适。

在图中可以看出,从 5 月份初至 6 月中旬以及 9 月中旬至 10 月末,不进行控制的条件下(外窗全天开启,外门工作时间开启)可以达到热舒适需求而不开启空调系统。而在 6 月中旬至 9 月中旬期间,人员活动区域温度基本高于热舒适上限温度,需要关闭外窗减少自然通风,通过空调设备进行降温。

2.3 自然通风切换温度

在过渡季,当仅采用自然通风无法将室内控制在热舒适区域内时需要开启制冷机对室内空气进行降温处理,当仅靠通风措施就可将室内空气状态控制在热舒适范围时可关闭制冷机。对通风系统和空调系统进行切换时,相应的室外空气温度为自然通风上切换温度 T_{ws} 。当需要采取供暖设施或关闭供暖设施时所对应的室外空气温度为自然通风下切换温度 T_{wx} 。

本文中,人员活动区域温度与热舒适上下限温度的交点所对应时间的室外空气温度,即为自然通风切换温度。从室内人员活动区温度图与室外温度图可以得到,自然通风的上切换温度的取值范围在 21~26℃,下切换温度的取值范围在 11~17℃。对非供暖期内自然通风系统的不同通风切换温度下的室内人员活动区热舒适时间进行分析,结果如图

6 所示。

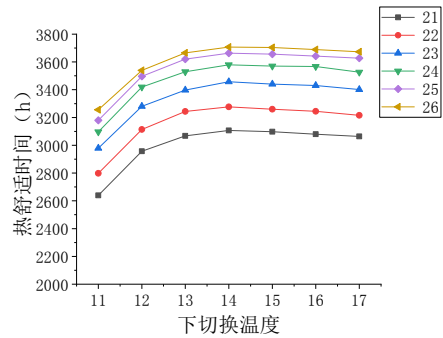


图 6 不同通风切换温度下室内热舒适时间

Fig.6 Indoor thermal comfort time under different ventilation switching temperatures

从图 6 可以看出,自然通风上切换温度不变,随着自然通风下切换温度的增加,非供暖期间的热舒适时间呈现先升高后降低的趋势,在 14~15℃时,室内人员活动区的热舒适小时数最高。自然通风下切换温度不变,随着自然通风上切换温度的增加,热舒适时间一直增加,在 25℃以上时,热舒适时间的变化幅度较低,在 26℃时,室内人员活动区的热舒适小时数最多。

综合考虑不同自然通风切换温度下的热舒适时间,选择自然通风下切换温度为 14℃和自然通风上切换温度为 26℃。

2.4 自然通风+空调控制策略分析

自然通风建筑室内的热舒适以及空气环境主要是通过自然通风和空调系统协调配合来保证。通过对影响人体热舒适及室内空气质量的因素进行分析,目前通风控制研究中常用的控制参数包括室内外空气温度、湿度、室内空气流速、空气换气次数以及室内 CO_2 浓度等^[7,11,12]。

考虑实际运行的简便性,本文的站房自然通风控制系统调控的参量是室外空气温度及室内 CO_2 浓度。具体控制策略为:当室外空气温度 T_w 大于 T_{wx} (自然通风下切换温度)且小于 T_{ws} (自然通风上切换温度),开启自然通风窗;当室外空气温度 T_w 大于 T_{ws} 或者室内二氧化碳浓度 P_{CO_2} 大于 1000ppm 时,关闭自然通风窗,开启空调系统。

根据 2.3 节确定的自然通风切换温度以及上述控制策略,采用 EnergyPlus 软件对在非供暖季采用自然通风+空调的控制方案进行模拟计算。其室内人员活动区的温度变化如图 7 所示。

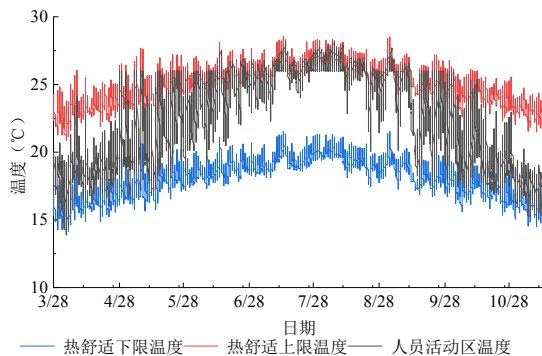


图 7 自然通风+空调方案下的人员活动区空气温度

Fig.7 Air temperature of the occupied zone under the scheme of natural ventilation with air conditioning

从图 7 可以看出, 通过控制外窗和空调的开启, 在非供暖季, 自然通风系统控制下的室内人员活动区温度基本都处于舒适范围内。

2.5 自然通风+空调系统能耗

机械制冷空调系统主要考虑在制冷季开启冷水机组, 过渡季利用组合式空气处理机组直接通风降温。站房分别采用自然通风+空调系统与机械制冷空调系统, 需要运行空调的时间如表 1 所示。其中, 方案 1 为机械制冷空调系统, 方案 2 为自然通风+空调系统。

表 1 两种降温方案对比

Table 1 Comparison of two cooling schemes

方案	空调运行时间	系统能耗
方案 1	1919h	39.4 万 kWh
方案 2	1452h	34.2 万 kWh

与完全采用机械制冷空调系统相比, 站厅采用自然通风+空调系统, 制冷工况下所需开启空调的时间明显减少, 可以减少 467h; 同时自然通风+空调系统的空调能耗为 34.2 万 kWh, 相比于全机械制冷空调系统的 39.4 万 kWh 能耗, 可以节约 5.2 万 kWh 的能耗, 节能率为 13.1%。

3 结论

本文针对沿海地区某铁路站房高大空间建筑的自然通风效果进行了分析, 得到如下结论:

(1) 连云港地区铁路站房的自然通风效果较好, 在非供暖季, 站房候车厅平均总换气量可以达到 $48\text{m}^3/\text{s}$, 平均总换气次数可以达到 1.4 次/h。

(2) 在 5 月初至 6 月中旬以及 9 月中旬至 10

月末的期间, 自然通风就可以达到热舒适需求而不开启空调系统。

(3) 根据站房内人员活动区热舒适时间确定了该站房的自然通风切换温度, 并提出了自然通风+空调的控制策略。

(4) 与完全采用机械制冷空调系统相比, 自然通风+空调系统的空调运行时间可减少 467h, 节能 13.1%。

参考文献:

- [1] 许琳,王胜男,巩云,等.西昌西站复合通风节能研究[J].暖通空调,2021,51(4):38-43.
- [2] 王进,钮彬.江苏沿海典型气候区大空间建筑自然通风技术研究[J].江苏建筑职业技术学院学报,2016,16(1):15-17,59.
- [3] 金双双.建筑自然通风气候潜力分区研究[D].西安:西安建筑科技大学,2021.
- [4] 张建刚.石家庄火车站大空间自然通风设计浅析[J].制冷与空调,2012,26(2):156-159.
- [5] 乔宣铭.北方铁路客站夏季通风降温与节能研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [6] Kolokotroni M, Aronis A. Cooling-energy reduction in air-conditioned offices by using night ventilation[J]. Applied energy, 1999,63(4):241-253.
- [7] Karava P, Athienitis A K, Stathopoulos T, et al. Experimental study of the thermal performance of a large institutional building with mixed-mode cooling and hybrid ventilation[J]. Building and Environment, 2012, 57:313-326.
- [8] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [9] TB 10100-2018,铁路旅客车站设计规范[J].北京:中国铁道出版社,2018.
- [10] 杨静竹.火车站候车厅自然通风热舒适性与节能研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [11] Schulze T, Eicker U. Controlled natural ventilation for energy efficient buildings[J]. Energy and Buildings, 2013,56:221-232.
- [12] Hu J, Karava P. Model predictive control strategies for buildings with mixed-mode cooling[J]. Building and Environment, 2014,71:233-244.