

夜间通风建筑关键设计参数优化分析

朱新荣, 杨 雯, 杨 柳, 刘加平

(西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 本文运用数值模拟分析方法对夜间通风建筑的关键设计参数进行了灵敏度和匹配关系分析. 首先, 以实验建筑为原型, 利用能耗模拟软件Energyplus建立了一栋实际建筑的分析模型, 通过室内空气环境数值模拟结果与实测结果的比较验证了数值模型的准确性. 随后, 探讨了通风开口面积、通风量和蓄热量对室内环境的影响, 研究结果表明: 1) 对于本论文的模型, 窗口面积和通风量近似呈线性关系; 2) 在特定的蓄热量下, 窗口面积并非越大越好, 存在使室内环境最舒适的最佳窗墙面积比; 3) 蓄热量与室内舒适度之间有良好的相关性, 两者成对数关系; 4) 通过大量的数值模拟, 得到了通风量和蓄热量之间的匹配关系图, 并由此获得了每种蓄热量情况下的最佳通风量.

关键词: 夜间通风; 蓄热体; 通风量; 数值模拟

中图分类号: TU111.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)03-0401-05

Optimization on critical design parameter of night ventilation buildings

ZHU Xinrong, YANG Wen, YANG Liu, LIU Jiaping

(School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The present paper discussed the analysis on sensitivity and matching relations of critical design parameter of night ventilation buildings by means of numerical simulation. Firstly, a building model is set up in energy simulation software Energyplus based on the information of experimental building. The accuracy of model was validated by the comparison of simulation results and experiment data. Then, the effects of ventilation opening, ventilation rate and thermal storage capacity on indoor thermal environment were analyzed. the results show that 1) the ventilation rate is nearly linear with ventilation opening for the model in this paper; 2) it is not true that the bigger opening makes the better indoor thermal environment, and there is an optimum opening size in a certain heat storage capacity; 3) there is a nice logarithmic relationship between heat storage capacity and indoor thermal comfort; 4) the match relations between ventilation and heat storage capacity, and optimum ventilation with different heat storage capacity have been derived through a lot of numerical simulation.

Key words: night ventilation; thermal mass; ventilation rate; numerical simulation

在过去的几十年间, 关于夜间通风及其相关领域已经有了一定程度的研究. 研究方法从简单的、定性的研究像更精确、系统的研究迈进. 夜间通风气候潜力的确定、自然通风换气量的获得、蓄热对建筑的作用以及夜间通风影响参数分析也都已经取得了显著的成果^[1-4]. 这些成果为夜间通风的设计使用提供了指导. 但是, 在一些问题的处理上还存在薄弱的环节, 例如: 缺乏简单有效的研究方法和研究结果, 用于建筑设计阶段的指导; 关于内部附加蓄热体的考虑方法相比外部蓄热体之下仍然是比较粗略的; 目前国内研究范围比较窄, 主要集中在夏热冬冷地区的长江流域, 北方地区的研究很少涉及; 涉及的建筑类型很单一, 主要包括办公和商场类建筑, 其他类型的公共建筑或者是居住建筑并没有定量的研究等.

为了研究夜间通风在实际建筑中的降温效果, 在西安市一栋办公建筑中进行了实验研究. 文献[5]

详细的介绍了实验过程. 通过不同运行工况, 包括全天自然通风、夜间自然通风、夜间混合通风以及夜间混合通风(附加蓄热体)之间的比较分析说明不同控制方法对室内环境的影响程度. 通过对实验结果的统计分析, 获得了一些参数与夜间通风降温效果的相关性, 为数值分析奠定了基础.

然而, 从实验过程中可以看出, 由于受到天气状况、控制调节方法等方面的限制, 通过实验的方法获得这些关键参数与降温效果之间的规律性关系是非常困难的. 一种比较有效的方法就是建立建筑的数值模型, 通过数值模拟的方法来对问题进行分析. 本文将以实验建筑为原型, 运用能耗模拟软件Energyplus建立建筑的数值模型^[6], 通过大量的模拟分析, 探讨房间的开口面积、通风量和蓄热量与降温效果之间的关系, 以期对夜间通风建筑的设计利用提供参考.

1 数值模拟模型的建立

1.1 数值模型建立

以一栋实验房间为原型,在数值模拟软件中建立的建筑模型如图1所示.关于模型的一些主要设置包括:

(1) 模型的构造做法按照实际建筑构造的做法设置.

(2) 室外气象数据按照实验期间的测试结果为准.实验过程中的测试参数包括太阳辐射、风速、风向、室外干球温度、相对湿度以及大气压力等项目,按照内嵌数据的格式进行了处理,取代了原有数据用于模拟分析.

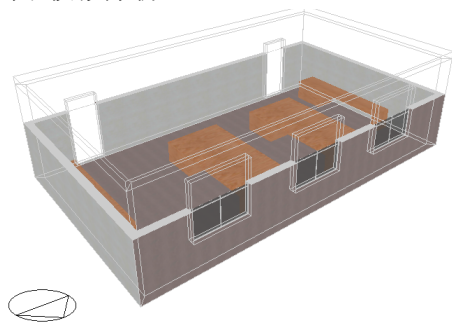


图1 实验房建筑模型

Fig.1 Experimental room building model

(3) 模型的东西墙、南墙以及楼板在实际建筑中是内围护结构,将这几个围护结构的外表面设置为“绝热”状态.也即,通过这个表面没有与外界之间的热量传递.但是构件的内表面与室内空气之间是有热作用的,墙体的蓄热作用仍然可以发挥^[7].

(4) 实验房处于模拟软件中的“自由通风”模式,以考虑由风压和热压作用形成的通风换气效果.在实验房中加入了排风扇,用于模拟实验过程中的排风机.根据实际测得的通风量,换气次数设置为10次/h.

1.2 数值模型准确性验证

图2为实验房室内空气温度实测结果与数值模拟结果的对比分析图.从图中可以看出:首先,实测与数值模拟结果变化规律基本一致,温度最高值、最低值及其出现的时间十分吻合.其次,在低温阴雨天气状况下,实测结果与模拟结果有一些出入,这主要是因为,在数值模拟过程中,加入了夜间的机械通风辅助,引入了更多的室外低温空气,而实测建筑在阴雨低温天气状况下没有开启机械通风,所以房间温度模拟结果比实测值低一些.

为了进一步比较实测结果与数值模拟结果之间的差异,将室内空气干球温度划分成7个区间,

统计每个区间内温度值的小时数,并将每个区间的小时数与总时数相比,获得相应温度区间的时间百分比.其中定义温度低于28℃的时间百分比为舒适时间百分比,统计结果如表1所示.

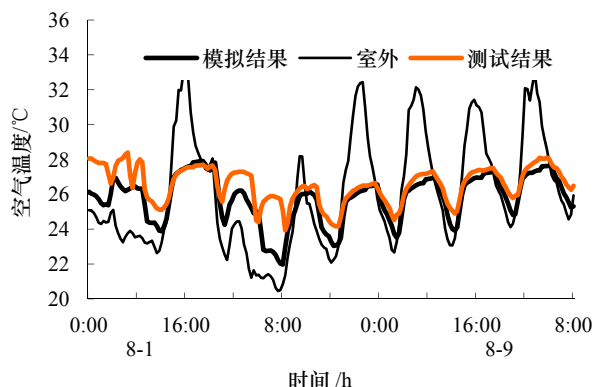


图2 实验房干球温度实测与模拟结果对比图

Fig.2 The comparison chart of measured and simulated dry bulb temperature in experimental room

表1 实测结果与模拟结果温度区间统计分析

Tab.1 Experimental and simulative results of the temperature range of statistical analysis

温度范围/℃	测试结果/%	模拟结果/%
<20	0	0
20~22	0	0
22~24	0	8
24~26	31	31
26~28	64	59
28~30	5	2
>30	0	0

可以看出,实验房数值模拟结果中温度低于28℃的时间百分比为98%,实测情况下为95%,相差仅为3%.总体来说,实测和模拟结果是非常接近的,这说明了数值模型基本能够反映房间的热力与通风状况,模拟结果可信,可用于进一步的分析.

2 工况设计

在Energyplus软件中,内部附加蓄热体是通过建立一个虚拟平板的方法实现的.当平板的厚度和材料确定的情况下,可以通过变化蓄热平板的面积来调整房间内部附加蓄热体的量.本文选择的蓄热材料为重质混凝土,厚度100 mm,密度2 400 kg·m⁻³,导热系数2.0 W/(m·K).在模拟分析过程中,内部附加蓄热体的面积以地板面积为基础增加,变化级别从没有内部蓄热体到1倍地板面积,并逐步增加到2倍地板面积、3倍地板面积、4倍地板面积和6倍地板面积.

在自然通风状况下,通风所需要的压力由风压

和热压控制,在一定的压差下,通过门窗洞口进入到室内的空气量与门窗洞口的面积大小有密切的关系.这里首先设定门窗洞口的面积大小,探讨开口大小与通风量的关系,进而探讨通风量与蓄热体之间的关系.采用窗墙面积比(Ratio of window to wall,简称WWR)表示表针门窗洞口的大小,设定窗墙面积以10%的间隔从10%变化到80%.

为了使结果更有参考价值,这里进行了整个夏季6月、7月和8月三个月共2 208 h的模拟分析.

3 结果与讨论

3.1 通风开口面积的影响

将蓄热量一定,变化窗墙面积比的值,不同窗墙面积比情况下房间的逐时通风换气次数以及室内热环境变化规律,模拟得出:窗口大小对通风换气量有显著影响,窗口越大,通风换气量也越大.窗墙面积比为10%时,通风换气次数一般低于5次/h,但是当窗墙面积比为80%时,通风换气次数可达30次/h以上;窗口大小对通风的时间也有影响.窗墙面积比越大,通风开始的时间越早,结束的时间越晚,即通风的时间越长.通风量近似与窗墙面积比成正比.也就是说,当窗墙面积比按一定步长等量增加时,通风换气次数也接近等量增加,如图3所示.这说明,对于本研究的建筑模型,窗口面积和通风量可以按线性关系处理.

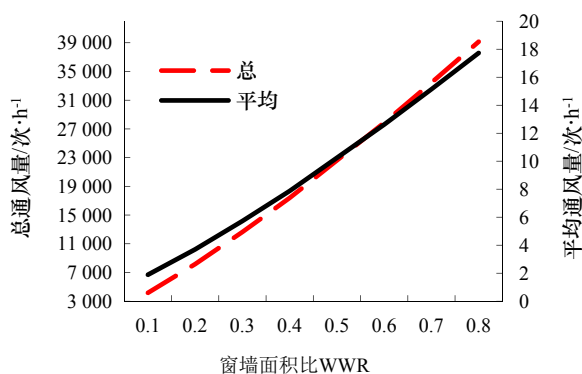


图3 不同窗墙面积比下室内总通风量和平均通风量统计图

Fig.3 Indoor total and average ventilation with different WWR

模拟分析窗口大小对室内空气温度的影响为:在不通风时段(一般为白天高温时段),窗墙面积比不同对室温的影响明显.窗墙面积比越大,室温波动越大,室内最高温度值也越大;在自然通风时段,窗墙面积比越大,室温温度值越低,窗墙面积比越小,室内温度值越高.也就是说,增大窗墙面积比对房间的作用有利有弊,有利的一方面在于窗

口面积越大,通风量越大,室内可以得到更有效的冷却.不利的一面在于,窗墙面积比增大意味着外围护结构上大面积的玻璃窗,而玻璃窗的蓄热性能很差,抵抗室外高温的能力要比实体墙壁弱很多.将房间操作温度的“舒适时间百分比”进行统计,结果如图4所示.从图中可以发现,操作温度的舒适时间百分比与窗口面积大小有密切关系.当窗口面积从一个很小的值,如10%开始增加时,舒适百分比开始迅速增加,在20%增加开始变慢,到30%时,达到最大值.当继续增大窗墙面积比时,舒适百分比开始逐步下降.因为操作温度一定程度上反映了房间的总体热舒适状况,所以这个图说明,为了使室内环境达到最佳的舒适状况,需要合理控制窗墙面积比.而对于本文的建筑模型,由于窗墙面积比和通风量之间接近线性关系,所以可以这样说,在蓄热量一定的情况下,存在一个最佳的通风量,这时的室内热环境是最舒适的.

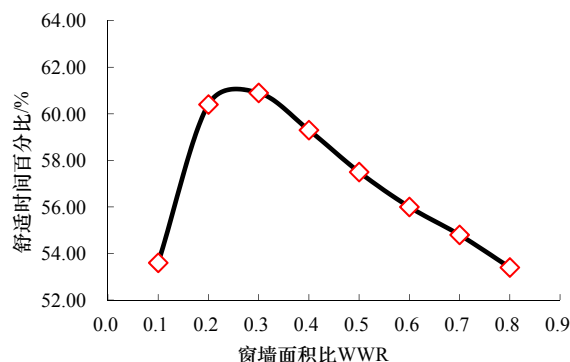


图4 不同窗墙面积比情况下舒适时间百分比

Fig.4 Percentage of comfort hours with different WWR

3.2 内部附加蓄热体的影响

在窗墙面积比一定时,变化内部附加蓄热体的量可以得出内部蓄热体对室内环境的影响情况,模拟得出,随着附加蓄热体面积的增加,室内空气温度波动越来越小,并且温度越来越低.当室内没有内部蓄热体时,室内温度波动较大,最大值可以超过30℃,而对于最后一种工况,即6倍地板面积的情况下,室内温度基本在25℃左右,温度波动平均不超过3℃.这种温度在夏季是非常舒适的,能达到类似于空调控制的效果.虽然6倍地板面积的量不容易实现,但是这说明了内部蓄热体的降温潜力.不同附加蓄热体面积下,室内最高温度的差值可达4℃左右,平均值差值可达3.38℃,日波动差值可达3.54℃.这些数据都表明,内部蓄热体的量对室内环境影响非常显著.

将这个表绘制成图并进行回归分析发现,附加

蓄热面积与舒适百分比之间有良好的相关性,两者成对数关系,如图5所示.两者的相关性达到了99.1%.回归关系式式1所示.

将不同蓄热体面积下,夏季三个月室内空气操作温度的舒适时间百分比进行统计,其结果如表2所示.

$$y = 0.0938 \ln x + 0.6097 \quad (1)$$

表2 不同蓄热体面积下室内空气操作温度的舒适时间百分比

Tab.2 Percentage of comfort hours of indoor air operating temperature with different thermal mass area

地板面积	0倍	1倍	2倍	3倍	4倍	6倍
温度低于28℃的时间比/%	61	67	72	74	76	78

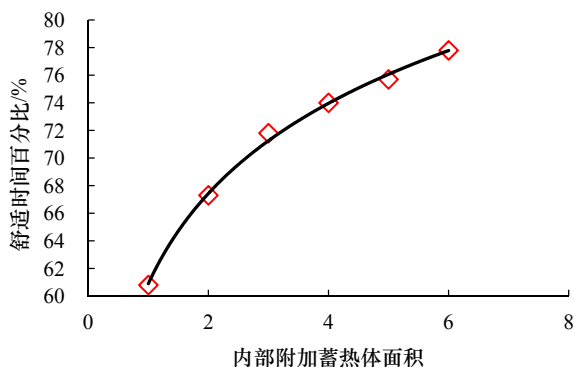


图5 内部附加蓄热体面积与舒适时间百分比的关系
Fig.5 The relations between internal additional thermal mass area and percentage of comfort hours

3.3 蓄热量与通风量的匹配关系

本文将内部附加蓄热体作为研究对象,可以发现,在一定的蓄热量情况下,存在一个最佳的通风开口面积,如果模拟不同蓄热量时不同通风开口面积情况下的室内热环境状况,有可能可以获得通风量和开口面积之间的匹配关系.本文利用进行了大量的数值模拟分析,得到的结果如图6和图7所示.

从图6可以看出,对应每个蓄热量,均存在一个最佳的窗口面积.然而,实际建筑的开口形式差异较大,获得窗口面积和室内环境参数之间的匹配关系用处不大,获得通风量与蓄热量之间的关系才具有更实际的意义.其次,从模拟不同工况下通风量的变化情况来看,在不同蓄热量情况下,通风量与窗口面积基本成正比关系,即窗口面积越大,通风量也越大.随着窗墙面积比的增加,不同面积蓄热体之间的差别增大.当窗墙面积比为10%时,无论多大的蓄热体,通风量都是一样的.当窗墙面积比增大时,不同蓄热面积下通风量会有一定的差

别.但是总体看,不同蓄热量情况下,通风量变化不大,可以考虑用其中的一条曲线代替其他蓄热量情况下的通风量曲线,如果取中间一条线,即蓄热面积为3倍地板面积的值进行线性回归,可以得到通风量 y_{ave} (这里换算为通风换气次数,单位为次/h)与窗墙面积比WWR之间的关系,如下式所示:

$$y_{ave} = 19.93x - 0.68 \quad (R^2 = 0.9969) \quad (2)$$

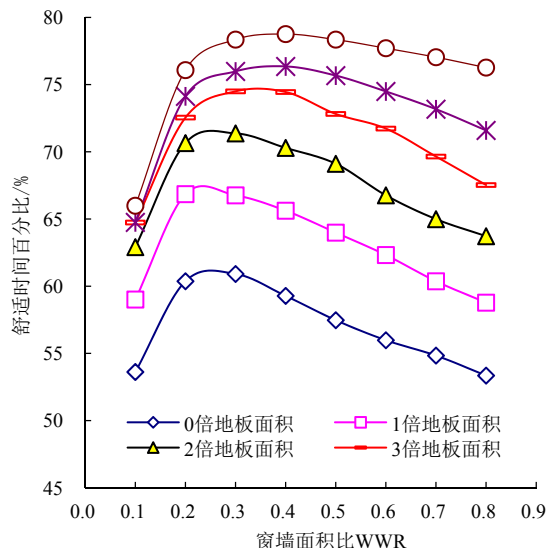


图6 蓄热面积和窗墙面积比下的舒适时间百分比
Fig.6 Percentage of comfort hours of thermal mass area and WWR

这里以蓄热面积为3倍地板面积时的回归式进行作图就可以得到通风量和蓄热量之间的关系图,如图7所示.

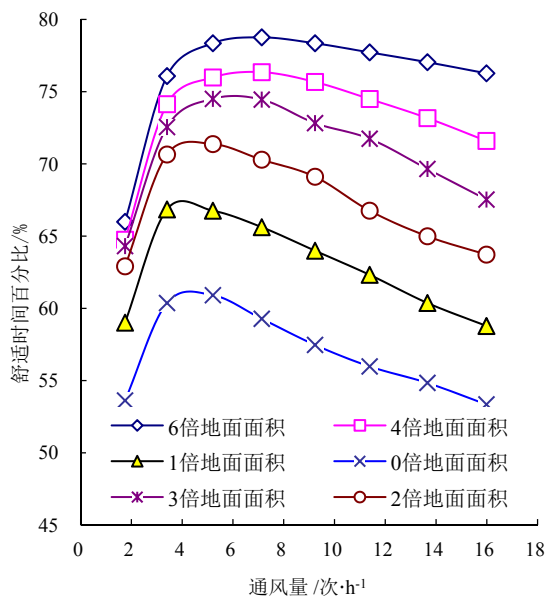


图7 通风换气与蓄热面积下的舒适时间百分比
Fig.7 Percentage of comfort hours of ventilation and thermal mass area

从图7可以看出:

(1) 不同内部附加蓄热级别下,室内的舒适度

有较大的差异.蓄热量越大,室内舒适温度的时间比越高,蓄热体对室内环境的调节具有明显的作用;随着蓄热体面积的等量增加,带来的降温效果逐步减弱,这应证了图6所示的对数关系.

(2) 在每种蓄热体量下,室内环境状况与通风量有密切的关系,当通风量从2次/h变化到16次/h时,室内环境舒适度先是提高,当窗墙面积比增加到一定程度以后,舒适度呈下降趋势.都存在一个室内环境最为舒适的点,这时的通风量即为最佳通风量.随着蓄热体数量的增加,这个最佳值从小到大逐步变化.在附加蓄热体面积为1倍地板面积时,最佳通风量约为5次/h,当蓄热体面积为2倍地板面积时,这个值约为7次/h,当蓄热体面积达到4~6倍地板面积时,这个值增加到8次/h以上.将这个规律绘制出来如图8所示.同时也可以看出,随蓄热体量的增加,曲线变得越来越平缓.也就是说,当蓄热体的量足够大的时候,通风量不会对室内环境产生很大的影响,这是一个值得进一步探讨的问题,这里不做深入分析.

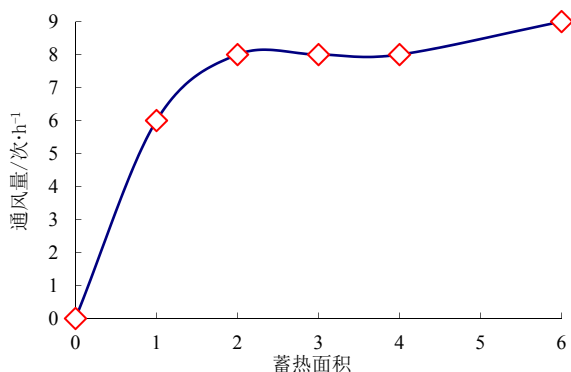


图8 蓄热面积与通风量关系图

Fig.8 The relations between thermal mass area and the ventilation

4 结论

本文运用数值模拟的方法对通风量与蓄热量之间的关系进行了探讨.以实验建筑为原型,利用能耗模拟软件Energyplus建立了建筑的数值模型,通过室内空气环境实测结果与数值模拟结果的比较验证了数值模型的准确性.随后,运用该模型模拟分析了通风开口面积、通风量和蓄热量对室内环境的影响,本文得到的主要结论包括:

(1) 对于本论文模型,窗口面积和通风量近似呈线性关系.

(2) 在一定的蓄热量情况下,窗口面积并非越大越好,存在一个最佳的窗墙面积比,这时室内操

作温度最低,室内环境最舒适.

(3) 内部蓄热量对室内环境有非常明显的影响.随着蓄热量的增加,室内空气温度波动越来越小,并且温度越来越低.蓄热量与室内舒适百分比之间有良好的相关性,两者成对数关系.

(4) 如果认为通风量与窗口面积成线性关系,可以得到通风量和蓄热量匹配关系图以及蓄热量与最佳蓄热量关系图,本文的图线和回归关系式可为夜间通风的设计利用提供一定的帮助和参考.

参考文献 References

- [1] YAM Jimmy, LI Yuguo, ZHENG Zuohuan. Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2003, 46(7): 1251-1264.
- [2] BOONYAPUTTHIPONG Chumnan. A Parametric study of the interlocking stack effect ventilation with building thermal mass in commercial buildings[D]. Chicago: Illinois Institute of Technology, 2002.
- [3] STEFANO P C, ANDREA K. Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads[J]. Building and Environment, 2007, 42(9): 3285-3297.
- [4] BARNARD N, MAUNSELL F. Thermal mass and night Ventilation utilizing hidden thermal mass[J]. International Journal of Ventilation, 2002, 1(2): 71-77.
- [5] 朱新荣, 办公建筑蓄热和夜间通风的实验研究[J]. 太阳能学报, 2015, 36(6): 1337-1343.
- [6] ZHU Xinrong. An experimental study of thermal mass and night ventilation in an office building[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2015, 36(6): 1337-1343.
- [7] Energyplus. Energyplus Manual(Documentation version3.0)[M]. Berkeley: The Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- [8] YANG L, LI Y. Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(11): 2052-2058.

(编辑 桂智刚)