

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.S2.021

夜间通风在不同气候条件下的适用性

陈海旒, 刘猛

(重庆大学 国家级低碳绿色建筑联合研究中心, 重庆 400045)

摘要:近年来,夜间通风作为一种被动式降温手段受到越来越多的关注。为了研究夜间通风在中国不同气候条件下的节能效果,选取北京、上海、广州分别作为寒冷地区、夏热冬冷地区以及夏热冬暖地区的代表城市,使用建筑能耗模拟软件 Energyplus 建立一个办公建筑模型,分别在使用和未使用夜间通风的情况下计算出3个城市建筑在供冷季各月的供冷能耗和总能耗,通过对比,分析夜间通风的节能效果。研究表明,在相同的月份,夜间通风的效果会随着城市纬度的增加而增大,但对于整个供冷季,即便是在低纬度的夏热冬暖地区,夜间通风也具有显著的节能效果。

关键词:夜间通风;气候条件;节能

中图分类号:TU831.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)S2-0109-05

Applicability of night ventilation under different climatic conditions

Chen Haini, Liu Meng

(National Centre for International Research of Low-carbon and Green Buildings,
Ministry of Science & Technology, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: In the recent years, as a passive cooling method, night ventilation is getting more and more attention. To investigate the effectiveness of night ventilation under different climatic conditions in China, Beijing, Shanghai and Guangzhou were selected as the representatives of cold region, hot-summer and cold-winter region and hot-summer and warm-winter region respectively. The building energy simulation tool Energyplus was used to model an office building and calculate the cooling energy and total energy consumption of the building with and without night ventilation in the three cities. The energy-saving effect of night ventilation was analyzed by comparison. The results show that in the same month, the effectiveness of night ventilation is improved as the latitude is increased. For the whole cooling period, even if in hot-summer and warm-winter region, night ventilation can achieve distinct energy-saving effect.

Key words: night ventilation; climatic condition; energy saving

近年来,由供冷产生的建筑能耗迅速增长。为了实现建筑节能,夜间通风降温技术作为一种新的被动式降温手段受到越来越多的关注。夜间通风降温是指利用夜间室外温度较低的空气带走建筑内部蓄热体在白天蓄存的热量,降低蓄热体的表面温度以及室内空气温度,从而减少冷负荷并可以推迟次

日空调的开启时间^[1-4]。目前,很多欧洲国家已经将夜间通风降温技术应用于建筑上并且对夜间通风降温的效果进行了大量研究。已有研究表明,在夜间使用机械通风降温可以很大程度上降低最大室内温度。该技术在北欧的应用取得显著的节能效果,也比较适用于南欧的东部和中部地区^[5-7]。由于夜间

通风降温技术的使用效果受天气情况影响很大, Boris Vidrih 等^[8]提出了一种基于天气预测模型的控制策略来控制夜间通风,从而显著提高了夜间通风降温的效率。对于轻型建筑来说,使用相变材料结合夜间通风降温技术可以取得显著的节能效果^[9-11]。近年来,中国对于夜间通风降温技术也有大量的研究。已有研究表明,在寒冷地区,夏季主动式制冷结合夜间通风的供冷模式可以有效降低建筑的尖峰负荷并且减少空调系统的工作时间,降低供冷能耗^[12]。杨柳等^[13]使用中国北方严寒和寒冷地区的气象数据,以“气候降温潜力”指标定量地分析了夜间通风技术的气候适用性。在夏热冬冷地区,研究结果表明夜间通风换气次数在 $5\sim 10\text{ h}^{-1}$ 且室外昼夜温差达到 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可以有效降低空调开机负荷^[14-17]。

文章的目的是研究夜间通风技术在中国不同气候条件下的适用性,根据中国的建筑热工分区,中国可以分为严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区以及温和地区,以上文献多集中于研究夜间通风在寒冷地区和夏热冬冷地区的效果,而对该技术在夏热冬暖地区使用效果的研究很少。由于严寒地区和温和地区夏季凉爽,对供冷需求低,因此文章主要选取北京、上海、广州分别作为寒冷地区、夏热冬冷地区以及夏热冬暖地区的代表城市。使用 Energyplus 软件对夜间通风技术在中国不同气候条件下的使用效果进行模拟研究。

1 模型设置

图 1 是使用 3D 建模软件 Sketchup 建立的一栋三层办公楼。该办公楼的朝向为南向,长 30.5 m 、宽 15.2 m 、层高三层,南北立面上的窗户宽为 15 m 、高为 1.2 m ,东西立面上的窗户宽为 9 m 、高为 1.2 m 。该建筑围护结构的传热系数如表 1 所示。

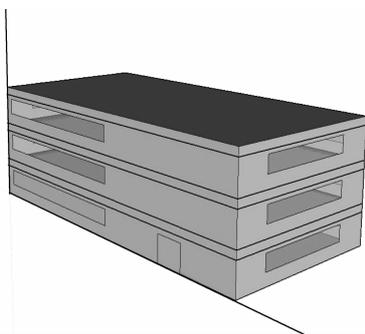


图 1 建筑几何模型

表 1 建筑围护结构的传热系数 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

门窗	墙	屋顶
0.5	1.66	2.72

该建筑模型采用主动式制冷与夜间通风降温相结合的供冷方式,主动式制冷采用 COP 值为 3.2 的变风量系统,供冷设置温度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,该系统在工作日的运行时间为 $7:00$ 到 $18:00$,周末及假日不运行。夜间通风采用机械通风,通风系统运行时间为工作日的 $22:00$ 至次日早上 $7:00$ 。夜间通风系统的换气次数设置为 6 ach/h 。当室内温度低于 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或室内外温差低于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,夜间通风系统停止运行。假设该办公楼人均占地面积为 9.3 m^2 ,照明和设备产生的热量分别为 16 W/m^2 和 10.8 W/m^2 。

2 模拟结果分析

将北京、上海、广州 7 月份的气象数据分别导入模型进行运算,可以输出逐时环境温度、室内空气温度、供冷能耗、风机能耗等相关参数。图 2、3、4 分别为 7 月 5 日 3 个城市的逐时环境温度、不加夜间通风系统时的室内逐时空气温度以及有夜间通风系统的室内逐时空气温度。如图 2 所示,北京市 7 月 5 日从 $0:00$ 到 $7:00$,室外空气干球温度在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右波动,此时无夜间通风的建筑室内空气温度维持在 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内外温差为 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,由于建筑室内外温差较大,所以温度较低的室外空气可以有效带走室内余热,降低室内温度,因此使用了夜间通风系统的建筑在此时间段内室内空气温度维持在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,相比于未使用夜间通风系统的室内来说降低了约 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。 $7:00$ 到 $18:00$,由于空调的开启,室内空气温度开始降低并维持在设定温度 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, $18:00$ 之后,空调停止运行,储存在建筑内部蓄热体中的热量逐渐释放出来,室内空气温度上升。由此可以看出,夜间通风可以降低空调开启时的室内空气温度,从而减少空调运行能耗。模拟结果显示,该建筑在没有夜间通风的条件下,7 月份的总能耗为 60.99 GJ ,其中制冷能耗为 24.48 GJ ,在使用夜间通风的条件下,7 月份的总能耗为 60.04 GJ ,其中制冷能耗为 23.32 GJ ,夜间通风系统中风机能耗为 0.95 GJ ,相比于没有使用夜间通风的建筑,夜间通风技术的应用可以使该建筑 7 月份的制冷能耗减少 4.74% ,总建筑能耗减少 1.56% 。

如图 3 所示,上海市 7 月 5 日从 $0:00$ 到 $7:00$,

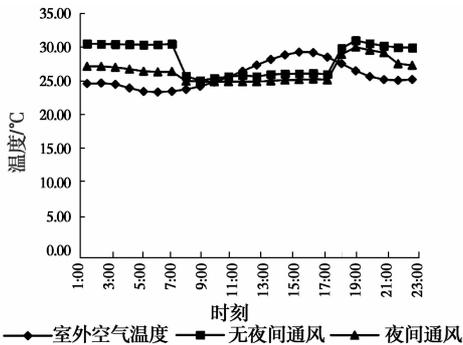


图 2 7月5日北京逐时空气温度

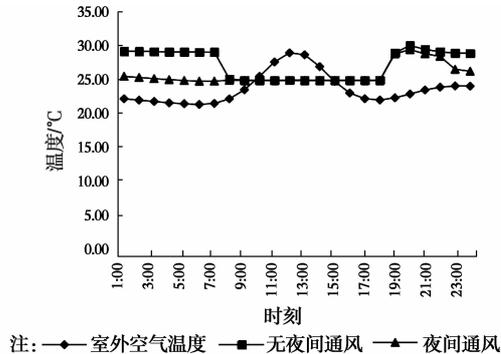


图 4 7月5日广州逐时空气温度

室外空气干球温度在 27 °C 到 29 °C 的范围内变化, 由于室外温度较高, 室内外温差较小, 夜间通风虽然可以降低室内空气温度, 但其效果在该日并不明显。模拟结果显示, 该建筑在没有夜间通风的条件下, 7 月份的总能耗为 65.84 GJ, 其中制冷能耗为 28.64 GJ, 在使用夜间通风的条件下, 7 月份的总能耗为 65.21 GJ, 其中制冷能耗为 27.76 GJ, 夜间通风系统中风机能耗为 0.63 GJ, 相比于没有使用夜间通风的建筑, 夜间通风技术的应用可以使该建筑 7 月份的制冷能耗减少 3.07%, 总建筑能耗减少 0.96%。

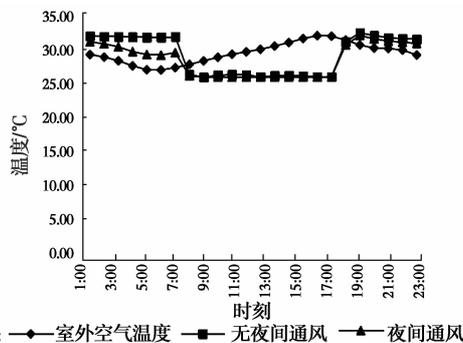


图 3 7月5日上海逐时空气温度

如图 4 所示, 广州市 7 月 5 从 0:00 到 7:00, 室外空气干球温度低于 25 °C, 由于室外空气温度低, 室内外温差大, 使用夜间通风时, 室内空气温度在空调开启时已经接近空调设置温度 26 °C, 因此空调开启时的冷负荷大大减少, 由此可见, 夜间通风在该日可以取得明显效果。模拟结果显示, 该建筑在没有夜间通风的条件下, 7 月份的总能耗为 68.24 GJ, 其中制冷能耗为 30.86 GJ, 在使用夜间通风的条件下, 7 月份的总能耗为 67.99 GJ, 其中制冷能耗为 30.37 GJ, 夜间通风系统中风机能耗为 0.25 GJ, 相比于没有使用夜间通风的建筑, 夜间通风技术的应用可以使该建筑 7 月份的制冷能耗减少 1.59%, 总建筑能耗减少 0.37%。

为了研究夜间通风技术在 3 个城市全年的适用情况, 文章通过模拟计算出了 3 个城市在供冷季各月的供冷能耗和建筑总能耗情况。图 5 为北京市 5 月份至 9 月份建筑在未使用夜间通风和使用夜间通风条件下各月供冷能耗的对比。图 6 为北京市 5 月份至 9 月份各月建筑总能耗的对比。如图 5、6 所示, 图中折线分别代表建筑供冷能耗和总能耗在使用夜间通风条件下相对于未使用夜间通风的建筑减少的百分比, 由此可见, 夜间通风技术对北京市各月供冷能耗及建筑总能耗的减少发挥了显著的作用, 尤其是在 5 月、6 月和 9 月供冷能耗分别减少了 14.34%、12.79% 和 14.44%, 建筑总能耗分别减少了 3.28%、3.98% 和 3.53%。经计算, 该建筑在没有夜间通风的条件下, 5 月至 9 月的总能耗为 281.49 GJ, 其中制冷能耗为 97.35 GJ, 在使用夜间通风的条件下, 5 月至 9 月份的总能耗为 273.2 GJ, 其中制冷能耗为 87.74 GJ, 夜间通风系统中风机能耗为 3.12 GJ, 相比于没有使用夜间通风的建筑, 夜间通风技术的应用可以使该建筑在供冷季的制冷能耗减少 9.87%, 总建筑能耗减少 8.29 GJ, 即 2.95%。

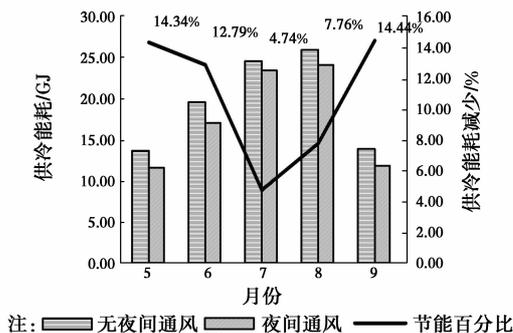


图 5 北京市各月建筑供冷能耗

图 7 为上海市 5 月份至 10 月份建筑在未使用夜间通风和使用夜间通风条件下各月供冷能耗的对比。图 8 为上海市 5 月份至 10 月份各月建筑总能耗

耗的对比。如图 7、8 所示,夜间通风技术可以有效减少该气候条件下供冷季建筑的供冷能耗和总能耗,尤其是在 5 月、6 月、9 月和 10 月供冷能耗分别减少了 13.95%、8.95%、8.97% 和 7.65%,总能耗分别减少了 3.62%、2.88%、2.84% 和 1.53%。经计算,该建筑在没有夜间通风的条件下,5 月至 10 月的总能耗为 365.68 GJ,其中制冷能耗为 140.05 GJ,在使用夜间通风的条件下,5 月至 10 月份的总能耗为 358.18 GJ,其中制冷能耗为 130.36 GJ,夜间通风系统中风机能耗为 3.63 GJ,相比于没有使用夜间通风的建筑,夜间通风技术的应用可以使该建筑在供冷季的制冷能耗减少 6.92%,总建筑能耗减少 7.5 GJ,即 2.05%。

为广州市 3 月份至 11 月份建筑在未使用夜间通风和使用夜间通风条件下各月供冷能耗的对比。图 10 为广州市 3 月份至 11 月份各月建筑总能耗的对比。如图 9、10 所示,夜间通风技术在 6、7、8 月份对建筑供冷能耗及总能耗的影响并不明显,但在 4、5、10、11 月份可以有效减少该气候条件下建筑的供冷能耗和总能耗,在 4、5、10、11 月份供冷能耗分别减少了 10.83%、6.81%、7.85% 和 12.94%,总能耗分别减少了 2.39%、2.24%、2.37% 和 3.23%。经计算,该建筑在没有夜间通风的条件下,3 月至 11 月的总能耗为 551.82 GJ,其中制冷能耗为 215.47 GJ,在使用夜间通风的条件下,3 月至 11 月份的总能耗为 543.35 GJ,其中制冷能耗为 204.01 GJ,夜间通风系统中风机能耗为 4.94 GJ,相比于没有使用夜间通风的建筑,夜间通风技术的应用可以使该建筑在供冷季的制冷能耗减少 5.32%,总建筑能耗减少 8.47 GJ,即 1.53%。

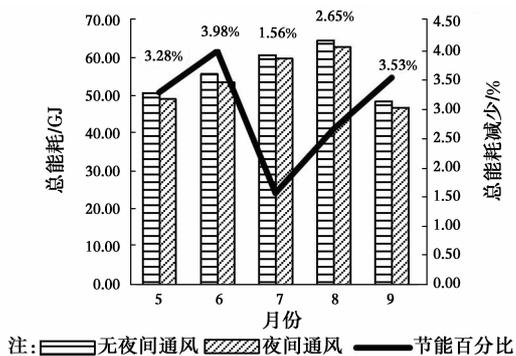


图 6 北京市各月建筑总能耗

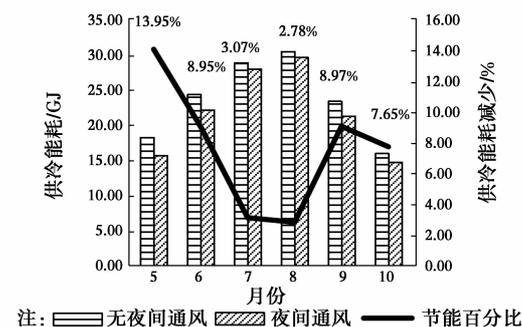


图 7 上海市各月建筑供冷能耗

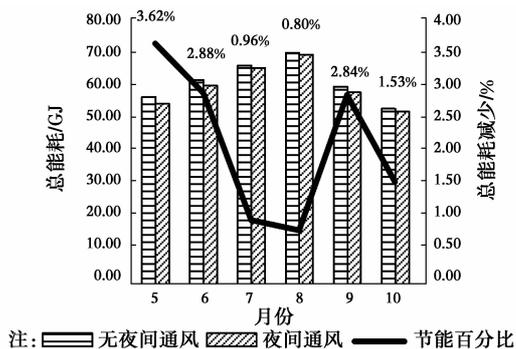


图 8 上海市各月建筑总能耗

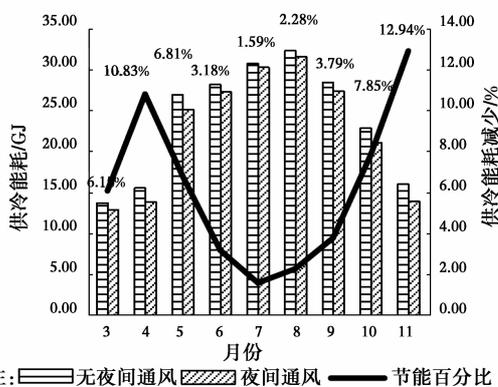


图 9 广州市各月建筑供冷能耗

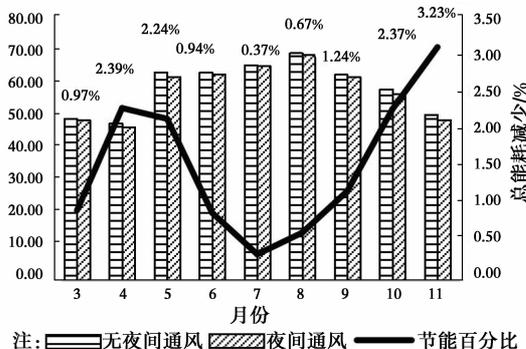


图 10 广州市各月建筑总能耗

通过对 3 个城市夜间通风降温效果的对比可以看出,对于相同的月份来说,夜间通风降温的效果是随着纬度的增大而增加的,对于处于寒冷地区的北京市来说,夜间通风技术在各个供冷月份都可以取得良好的效果,但是对于处于夏热冬暖地区的广州

广州市处于夏热冬暖地区,供冷季比较长,图 9

市来说,在6、7、8月份夜间通风对于建筑供冷能耗以及总能耗并没有显著的影响。然而由于广州市供冷季时间长,尽管夜间通风降温效果较北京市差,但整个供冷季由夜间通风节省的建筑总能耗达8.47 GJ,甚至高于北京市在其供冷季节省的能耗值,因此,夜间通风降温技术在夏热冬暖地区的应用也是值得推广的。

3 结论

文章通过模拟方法研究夜间通风技术在中国不同气候条件下的适用性,选取北京、上海、广州分别作为寒冷地区、夏热冬冷地区以及夏热冬暖地区的代表城市进行模拟分析,得到如下结论。

对于以北京市为代表的寒冷地区,夜间通风降温技术在其供冷季的各个月份都可以取得显著的节能效果;对于以上海市为代表的夏热冬冷地区,夜间通风的有效性体现在5、6、9、10月份;而对于以广州市为代表的夏热冬暖地区,夜间通风在6、7、8月份几乎是无效的,但在4、5、10、11月份可以取得良好的节能效果。总的来说,在相同的月份,夜间通风降温的效果是随着纬度的增大而越来越显著的,尽管夏热冬暖地区夜间通风效果相对较弱,但是由于其供冷季时间长,整个供冷季中通过夜间通风节省的能量也是很可观的。

参考文献:

- [1] ENGELMANN P, KALZ D, SALVALAI G. Cooling concepts for non-residential buildings: A comparison of cooling concepts in different climate zones [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 82: 447-456.
- [2] 乐小龙,梁彩华,张小松. 基于 Energyplus 对南京地区应用夜间通风预测[J]. *建筑热能通风空调*, 2014, 33(2): 6-9.
- [3] RAMPONI R, GAETANI I, ANGRLOTTI A. Influence of the urban environment on the effectiveness of natural night-ventilation of an office building [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 78: 25-34.
- [4] ALIZADEH M, SADRAMELI S M. Development of free cooling based ventilation technology for buildings: Thermal energy storage (TES) unit, performance enhancement techniques and design considerations-A review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58: 619-645.
- [5] ASCIONE F, BIANCO N, STASIO C D, et al. Dynamic insulation of the building envelope: Numerical modelling under transient conditions and coupling with nocturnal free cooling [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2015, 84: 1-14.
- [6] ARTMANN N, MANZ H, HEISELBERG P. Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe [J]. *Applied Energy*, 2007, 84(2): 187-201.
- [7] RAMPONI R, ANGRLOTTI A, BLOCKEN B. Energy saving potential of night ventilation: Sensitivity to pressure coefficients for different European climates [J]. *Applied Energy*, 2014, 123: 185-195.
- [8] VIDRIH B, ARKAR C, MEDVED S. Generalized model-based predictive weather control for the control of free cooling by enhanced night-time ventilation [J]. *Applied Energy*, 2016, 168: 482-492.
- [9] BARZIN R, CHEN J J, YOUNG B R, et al. Application of PCM energy storage in combination with night ventilation for space cooling [J]. *Applied Energy*, 2015, 158: 412-421.
- [10] KAMALI S. Review of free cooling system using phase change material for building [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 80: 131-136.
- [11] SOLGI E, FAYAZ R, KARI B M. Cooling load reduction in office buildings of hot-arid climate, combining phase change materials and night purge ventilation [J]. *Renewable Energy*, 2016, 85: 725-731.
- [12] WU L X, ZHAO J N, WANG Z J. Night ventilation and active cooling coupled operation for large supermarkets in cold climates [J]. *Energy and Buildings*, 2006, 38(12): 1409-1416.
- [13] 亓晓琳,杨柳,刘佳平. 北方地区办公建筑夜间通风适用性分析[J]. *太阳能学报*, 2011, 32(5): 669-673.
- [14] 朱新荣,白鲁建,杨柳,等. 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.
- [15] 张东凯,郑洁,宋庆龙. 重庆某高校学生公寓夜间通风实验研究[J]. *暖通空调*, 2015, 45(11): 91-95.
- [16] 李楠,杨柳. 西安地区办公建筑夜间通风降温实验研究[J]. *暖通空调*, 2015, 45(4): 106-110.
- [17] 李峥嵘,曹斌. 上海地区间歇式空调建筑夜间通风降温策略[J]. *暖通空调*, 2013, 43(7): 73-77.