

围护结构蓄热性能对建筑负荷的影响分析

杨 柳^{1,2}, 侯立强^{1,2}, 刘 江^{1,2}, 乔宇豪^{1,2}, 刘 衍^{1,2}

(1. 西部绿色建筑国家重点实验室, 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学建筑学院, 西安 710055)

摘 要: 提高建筑围护结构的热工性能并充分利用自然气候资源可有效降低建筑能耗, 该文探究建筑围护结构蓄热性能对建筑负荷的影响。选取2组外墙保温性能相同但蓄热性能不同的建筑, 对比验证建筑室内温度的实测与模拟结果, 采用EnergyPlus软件模拟分析3种不同蓄热级别建筑外墙的内表面温度、热流密度和建筑冷热负荷, 并结合夏季夜间通风探究通风量对建筑冷负荷的影响。结果表明: 实测结果与模拟结果吻合较好; 对于西安地区, 在围护结构保温性能相同的情况下, 重质结构外墙的内表面温度冬季较高, 夏季较低, 冬季热负荷较大, 夏季冷负荷较小; 建筑夜间通风适宜换气次数为15 ach, 且对重质建筑的冷负荷影响较为显著。

关键词: 蓄热; 计算机模拟; 热负荷; 通风; 换气次数

中图分类号: TU111.4

文献标识码: A

0 引 言

近年来, 中国建筑消耗呈稳步增长趋势, 通过被动式建筑设计, 即增强建筑围护结构的热工性能、利用可再生能源可有效减少建筑能耗^[1,2]。建筑蓄热作为一种被动式技术在中国北方地区具有巨大的应用前景, 目前关于建筑蓄热方面的研究主要集中在以下方面:

1) 蓄热物质性能的影响要素。Balcomb等^[3]揭示合适的密度和较大的比热容、导热系数更利于材料蓄热。Lechner^[4]通过实验得出蓄热物质需依据墙体朝向和期望的延迟时间进行布置。Baer^[5]得出夏季结合夜间通风, 蓄热物质能取得较大的节能效果, 夜间通风的最佳通风量为 $90 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 。

2) 蓄热物质对室内热环境及建筑负荷的影响。Khatri等^[6]研究发现在封闭和通风建筑, 楼板的蓄热物质由 21 kg/m^2 增至 201 kg/m^2 时, 室内最高温度降低 $1 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。Burch等^[7]得出蓄热物质放置在墙体保温层内侧效果较好, 且重质建筑的空调能耗较少。文献[8,9]分析了建筑蓄热体对能耗的影响, 并得出建筑内外表面对流换热系数的优化匹配

值, 分析蓄热体的作用效果。

3) 建筑蓄热的热工设计工具。文献[10]开发的CLTD(cooling load temperature differences)和CLF(cooling load factors)算法可用于计算蓄热物质对建筑冷负荷的影响。欧盟的PASCOOL^[11]、国际能源组织的Annex 28^[12]和以色列的Capeluto tool^[13]分别建立了建筑蓄热通风的热工设计方法及简易分析工具。目前关于建筑蓄热及蓄热通风本课题组已开展一些研究: 朱新荣等^[14,15]采用模拟方法探究通风口面积、蓄热体、蓄热体与通风量匹配关系对室内热环境及负荷的影响。刘 衍等^[16,17]采用模拟方法分析相变蓄热结合夜间通风对室内热环境及负荷的影响。朱新荣等^[18]提出可在建筑设计初期指导夜间通风降温技术设计的简化计算方法, 并给出详细的设计步骤与验证实例。

综上, 目前关于建筑蓄热的研究大多集中在夏季建筑蓄热结合夜间通风的作用效果及热工设计方面。然而, 蓄热性能对建筑的影响十分复杂, 建筑室内热环境及负荷是建筑蓄热性能和保温性能综合作用的结果。朱新荣等^[19]采用模拟方法分析不同蓄热体对建筑室内热环境的影响, 但在改变建

收稿日期: 2017-10-08

基金项目: 国家杰出青年科学基金(51325803); 国际(地区)合作与交流项目(51561135004); 陕西省重点研发计划重点项目-社会发展领域(2017ZDXM-SF-076)

通信作者: 刘 衍(1988—), 男, 博士、副教授, 主要从事建筑热工方面的研究。liuyan@xauat.edu.cn

筑蓄热性能时,其保温性能也发生了改变,为了探究建筑蓄热性能的影响,本文选取西安地区2组外墙保温性能相同、蓄热性能不同的围护结构,研究分析其对建筑负荷的影响,以期对该地区建筑蓄热设计起到一定的指导意义。

1 理论分析

建筑外围护结构的功能在于抵抗或利用热作用,以便在房间产生易于控制的舒适热状况。室外气温和太阳辐射在昼夜之间呈周期性变化,建筑围

护结构承受周期性不稳定热流波的作用。热流波通过建筑围护结构到达房间内表面的过程中,由于受到围护结构热容和热阻的作用而产生波幅的衰减和相位延迟现象。围护结构对室外气候具有一定的调节作用,而不同材料和构造做法的围护结构对室外热流波的作用存在较大差别。为了分析围护结构蓄热性能对建筑负荷的影响,选择轻质、中等和重质3种不同蓄热级别的建筑外墙。用于建筑外墙3种不同蓄热级别材料的热物性如表1所示。

表1 3种蓄热级别建筑材料热物性

Table 1 Thermal properties of three kinds of thermal storage building materials

蓄热级别	材料	导热系数/ $W \cdot (m \cdot ^\circ C)^{-1}$	密度/ $kg \cdot m^{-3}$	比热容/ $kJ \cdot (kg \cdot ^\circ C)^{-1}$	蓄热系数/ $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$
轻质	加气混凝土	0.22	700	1.05	3.56
中等	空心砖	0.58	1400	1.05	7.52
重质	钢筋混凝土	1.74	2500	0.92	17.20

为了比较分析3种不同蓄热级别外墙的蓄热性能,控制3种结构外墙的热阻相同,经过平壁一维稳定传热计算,确定2组不同蓄热级别外墙构造如表2所示。同时利用中国建筑科学研究院研发的二维传热计算热桥软件PSI^[20]进行验证。设定

外墙内侧空气温度为20℃,表面对流换热系数为8.7 W/(m²·℃);外墙外侧空气温度为0℃,表面对流换热系数为23 W/(m²·℃)。经软件PSI计算,2组不同构造外墙在传热热流误差为0.1%时,传热阻分别为4.08、2.29(m²·℃)/W。

表2 3种蓄热级别建筑外墙构造

Table 2 Exterior wall constructions of three kinds of thermal storage buildings

组别	蓄热级别	构造	热阻/ $m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$
(一)	轻质	118 mm 模塑聚苯板+200 mm 加气混凝土	4.08
	中等	140 mm 模塑聚苯板+200 mm 空心砖	
	重质	149 mm 模塑聚苯板+200 mm 钢筋混凝土	
(二)	轻质	48 mm 模塑聚苯板+200 mm 加气混凝土	2.29
	中等	70 mm 模塑聚苯板+200 mm 空心砖	
	重质	79 mm 模塑聚苯板+200 mm 钢筋混凝土	

建筑材料的热物理特性可分成3类,即:1)基本热物理量,包括比热、导热系数和辐射系数;2)导出热物理量,包括蓄热系数和导温系数;3)其他热物理量,包括蒸汽渗透系数、空气渗透系数和传水系数^[21]。

通过建筑围护结构的传热方程可表示为:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (2)$$

建筑外墙可认为是半无限大的平壁,传热控制方程可简化为一维模型,即:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3)$$

当传热为一维不稳定传热时:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \neq 0 \quad (4)$$

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5)$$

可求得围护结构x处的温度和热流密度为:

$$T = e^{\frac{2\pi a}{z}} \left(A \cosh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} + B \sinh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \right) \quad (6)$$

$$q = -e^{\frac{2\pi a}{z}} \lambda \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \left(A \sinh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} + B \cosh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \right) \quad (7)$$

温度和热流密度分别用矢径 Θ_x 和 Q_x 来表示:

$$\Theta_x = A \cosh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} + B \sinh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \quad (8)$$

$$Q_x = \lambda \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \left(A \sinh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} + B \cosh x \sqrt{\frac{2\pi i}{za}} \right) \quad (9)$$

蓄热系数 S 和热阻 R_x 分别为:

$$S = \sqrt{\frac{2\pi \lambda c \rho}{z}} \quad (10)$$

$$R_x = \frac{x}{\lambda} \quad (11)$$

将式(10)、式(11)代入式(8)、式(9),可求得:

$$\Theta_x = A \cosh R_x S \sqrt{i} + B \sinh R_x S \sqrt{i} \quad (12)$$

$$Q_x = S \sqrt{i} (A \sinh R_x S \sqrt{i} + B \cosh R_x S \sqrt{i}) \quad (13)$$

当传热为一维稳定传热时,围护结构 x 处的温度和热流密度为:

$$T_x = T_e + \frac{(T_i - T_e)(R_e + R_x)}{R_i + R_0 + R_e} \quad (14)$$

$$q = \frac{T_i - T_e}{R_i + R_0 + R_e} \quad (15)$$

式中, T ——温度, $^{\circ}\text{C}$; τ ——时间, h ; a ——导温系数, m^2/s ; λ ——导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; c ——比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ ——密度, kg/m^3 ; q ——热流密度, W/m^2 ; z ——温度波的波动周期, h ; S ——蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; R_x ——热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$; T_i ——室内气温, $^{\circ}\text{C}$; T_e ——室外气温, $^{\circ}\text{C}$; R_e ——外表面换热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$; R_i ——内表面换热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$; R_0 ——导热热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$; A 、 B ——系数。

在一定边界和初始条件下,可求解传热控制方程。当采用不稳定传热进行计算时,围护结构的温度和热流密度均与材料蓄热系数 S 和热阻 R_x 有关,即考虑围护结构的蓄热性能和保温性能。而采用稳定传热进行计算时,围护结构温度和热流密度仅与热阻 R_x 有关,即未考虑围护结构的蓄热性能。围护结构的蓄热作用对建筑的室内热环境和能耗均存在一定影响,而实际建筑受室外周期性不稳定热作用,且构成围护结构的建筑材料存在一定蓄热性

能,因而实际建筑的传热过程为不稳定传热。

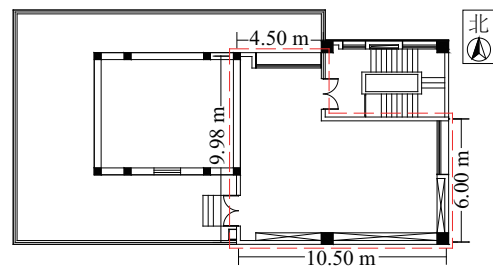
2 能耗模拟

2.1 建筑模型

能耗模拟软件 EnergyPlus 是基于热平衡法计算室内空气温度及室内负荷,围护结构的传热计算采用不稳定传热^[22],考虑建筑的蓄热特性,采用 EnergyPlus 8.6 进行建筑性能模拟,所用的逐时气象数据为 EnergyPlus 自带的典型年气象数据(CSWD 气象文件)。选取西安地区一栋办公建筑作为研究对象,建筑为 2 层建筑,地下 1 层,地上 2 层,北轴夹角为 180° ,分析对象为二层房间。为了准确分析外墙蓄热性能对建筑热性能及能耗性能的影响,忽略室内热扰。建筑模型及 2 层平面图如图 1 所示。建筑围护结构热工性能如表 3 所示。



a. 建筑模型



b. 二层平面图

图1 办公建筑

Fig. 1 Office buildings

在数值模拟中,围护结构传热采用传递函数法,外表面面对流换热采用 DOE-2 算法,内表面对流换热采用 TARP 算法,地下墙采用地下室传热模型,建筑负荷计算采用理想空调模型,室内温度依据《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2015^[23]进行设定,如表 4 所示。

表3 办公建筑围护结构性能
Table 3 Envelope performance of office buildings

围护结构	构造	传热系数/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$
屋面	80 mm 挤塑聚苯板+150 mm 钢筋混凝土	0.250
外墙	组别(一)、组别(二)	0.245、0.437
地下墙	200 mm 实心砖	2.270
内墙	20 mm 膨胀玻化微珠浆料+120 mm 空心砖	1.460
楼板	40 mm 保温岩棉+10 mm 地砖	0.980
外窗	68 mm 铝包木多腔密封窗框和26~40 mm 无色透明中空玻璃	1.500

表4 室内温度设定时间表
Table 4 Indoor temperature setting schedule

类型	日期	时间表
空调	工作日	00:00~07:00, 37 ℃; 07:00~08:00, 28 ℃; 08:00~19:00, 26 ℃; 19:00~24:00, 37 ℃
	节假日	00:00~24:00, 37 ℃
供暖	工作日	00:00~06:00, 5 ℃; 06:00~07:00, 12 ℃; 07:00~08:00, 18 ℃; 08:00~19:00, 20 ℃; 19:00~20:00, 18 ℃; 20:00~21:00, 12 ℃; 21:00~24:00, 5 ℃
	节假日	00:00~24:00, 5 ℃

2.2 模型及方法验证

本文对组别(一)中的中等蓄热级别建筑进行热环境测试,并依据实际建筑建立数值模拟模型,数值模拟结果与实测结果进行对比验证。为了模拟验证的准确性,排除人活动等因素造成的误差,该建筑测试在无人员、照明和设备等内热源条件下进行,模拟同样不考虑室内热扰的影响。测试建筑位于西安建筑科技大学雁塔校区内,建筑东、西、南三面被建筑学院教学楼包围,建筑外立面如图2所示。测试分为室外和室内部分,测试仪器的布置依据《建筑热环境测试方法标准》JGJ/T 347—2014^[24]。



图2 测试建筑外立面
Fig. 2 Outside of testing building

室外测试参数为室外空气干球温度、相对湿

度、太阳辐射、风速,测试仪器为小型气象站。室内测试参数为室内空气干球温度、相对湿度,测试仪器为自记式温度块。测试时间为2016年10月28日~11月10日,测试每隔30分钟记录1次。测试仪器如图3所示,测试仪器性能如表5所示。

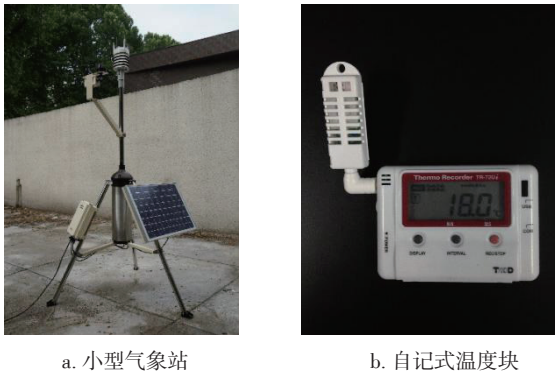


图3 测试仪器
Fig. 3 Testing instruments

表5 测试仪器性能参数
Table 5 Performance parameters of testing instruments

测试地点	测试仪器	量程/℃	测试精度/%
室外	小型气象站	-40~60	±3.0
室内	T&D 72 温度块	-20~70	±3.0

模拟时将测试期间的室外气象数据干球温度

和太阳辐射等替代原有气象文件中的相应数据。建筑围护结构对室外气候的作用有一定时间,即当天的室内温度同时受前几日的综合影响,为了保证比较分析的准确性,选取 11 月 7~8 日作为研究对象。室内空气温度模拟与实测对比如图 4 所示。

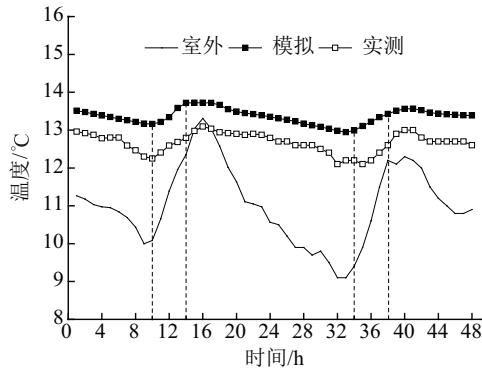


图4 二层室内空气温度模拟与实测对比

Fig. 4 Contrast of indoor air temperature of the second floor between simulated and measured

未考虑室内热扰的情况下,房间室内空气温度模拟值与实测值变化趋势基本一致,两者相差不大,平均误差为 $0.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。模拟值高于实测值,其中 10:00~14:00 时段相对误差较大,说明部分误差是由模拟未充分考虑实际受周边外部环境遮挡等影响造成的。无太阳辐射的夜间时段,模拟值高于实测值是由实际测试与模拟方法差异引起的。模拟值与实测值相差 $3.88\%\sim 8.37\%$,平均相对误差 5.47% ,两者吻合较好,证明了模拟方法及模型的准确性。

3 围护结构蓄热性能的影响分析

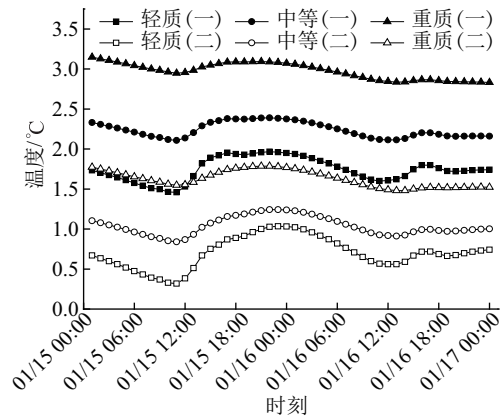
采用 EnergyPlus 模拟比较分析 2 组轻质、中等和重质 3 种不同蓄热级别外墙的蓄热性能对围护结构热性能及建筑能耗性能的影响。

3.1 蓄热性能对围护结构的影响分析

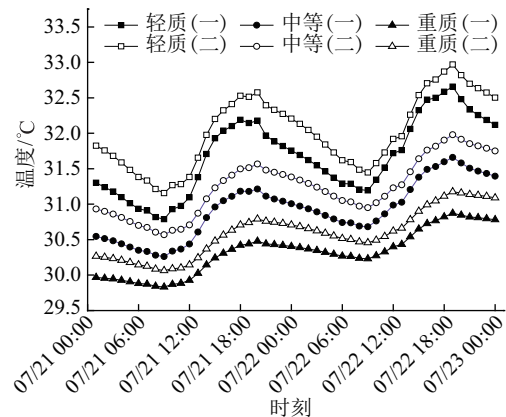
蓄热性能对围护结构影响主要表现在围护结构内表面温度及热流密度。3 种不同蓄热级别外墙 1 月 15~16 日,7 月 21~22 日的内表面温度分别如图 5 所示,外墙热流密度分别如图 6 所示。

围护结构蓄热性能对内表面温度具有一定影响。外墙热阻相同时,蓄热性能强的外墙冬季内表面温度较高,且对热阻较大外墙的影响较为显著;

蓄热性能强的外墙夏季内表面温度较低,且对热阻较小外墙的影响较为显著。1 月 15~16 日,外墙热阻为 $4.08\text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ 时,重质外墙内表面温度平均比中等高 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,比轻质高 $1.23\text{ }^{\circ}\text{C}$;外墙热阻为 $2.29\text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ 时,重质外墙内表面温度平均比中等高 $0.59\text{ }^{\circ}\text{C}$,比轻质高 $0.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。7 月 21~22 日,外



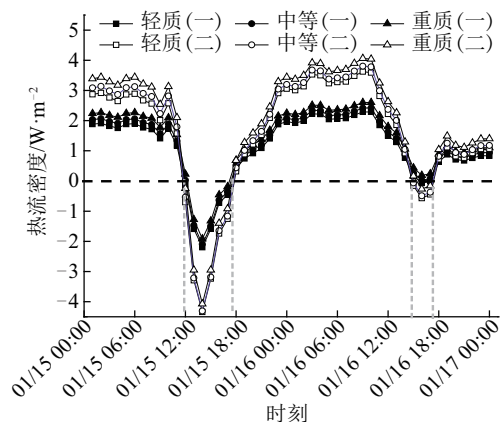
a. 1 月 15~16 日外墙内表面温度



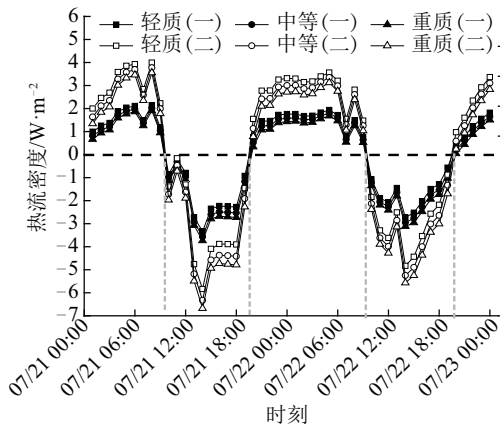
b. 7 月 21~22 日外墙内表面温度

图5 1 月 15~16 日,7 月 21~22 日外墙内表面温度

Fig. 5 Internal surface temperature of external wall on 15-16, January & 21-22, July



a. 1 月 15~16 日外墙热流密度



b. 7月21~22日外墙热流密度

图6 1月15~16日,7月21~22日外墙热流密度

Fig. 6 Heat flux of external wall on 15-16, January & 21-22, July

墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙内表面温度平均比中等低 0.60 °C ,比轻质低 1.35 °C ;外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙内表面温度平均比中等低 0.65 °C ,比轻质低 1.43 °C 。

建筑外墙内表面温度均存在一定波动,轻质、中等和重质外墙内表面温度波动幅度依次减小,且冬季对热阻较小外墙的影响较为显著。1月15~16日,外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,轻质、中等和重质3种不同蓄热级别围护结构内表面温度振幅依次为 0.22 、 0.15 、 0.14 °C ;外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,轻质、中等和重质3种不同蓄热级别围护结构内表面温度振幅依次为 0.33 、 0.20 、 0.16 °C 。7月21~22日,外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,轻质、中等和重质3种不同蓄热级别围护结构内表面温度振幅依次为 0.98 、 0.74 、 0.55 °C ;外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,轻质、中等和重质3种不同蓄热级别围护结构内表面温度振幅依次为 0.95 、 0.74 、 0.58 °C 。

围护结构蓄热性能对热流密度具有一定影响,外墙热阻相同时,冬季和夏季热流密度呈相反规律。规定热流由室内流向室外为正,冬季重质外墙内表面温度较高,当热流密度为正(内表面温度高于外表面温度)时,内外表面温差较大,热流密度较大;当热流密度为负(外表面温度高于内表面温度)时,内外表面温差较小,热流密度较小,夏季则相反。冬季大部分时段(除中午过后),热流密度为正值;夏季大部分时段,热流密度为负值。

蓄热性能对热阻较小外墙热流密度影响较为

显著。1月15~16日,外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙热流密度与中等相差 0.18 W/m^2 ,与轻质相差 0.30 W/m^2 ;外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙热流密度与中等相差 0.26 W/m^2 ,与轻质相差 0.41 W/m^2 。7月21~22日,外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙热流密度与中等相差 0.15 W/m^2 ,与轻质相差 0.34 W/m^2 ;外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙热流密度与中等相差 0.29 W/m^2 ,与轻质相差 0.63 W/m^2 。

3.2 蓄热性能对建筑负荷的影响分析

蓄热性能影响建筑围护结构的传热,进而影响建筑的负荷。组别(一)中等蓄热级别外墙建筑逐月负荷及两组不同蓄热级别外墙房间年热负荷、冷负荷分别如图7和图8所示。

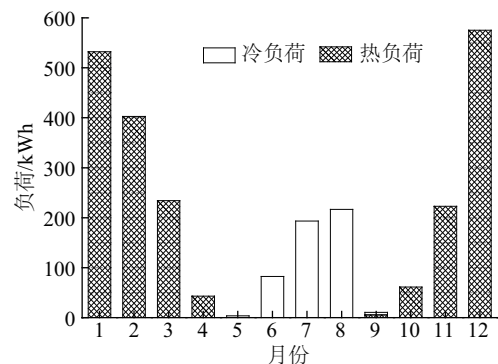


图7 组别(一)中等蓄热级别建筑逐月负荷

Fig. 7 Monthly loads of medium heat storage building

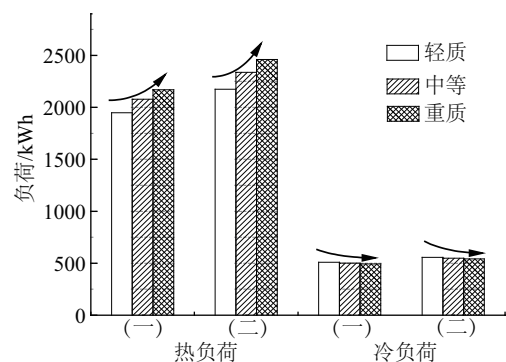


图8 3种不同蓄热级别建筑冷热负荷

Fig. 8 Cooling loads of three different thermal storage buildings

对于寒冷地区西安,冬季的热负荷远大于夏季的冷负荷,其中11~次年3月份热负荷较大,6~8月份冷负荷较大。对于冬季,建筑围护结构的保温性能即热阻对热负荷的影响较为显著;对于夏

季,建筑的保温性能和蓄热性能都对建筑冷负荷具有一定影响。当外墙热阻相同时,重质围护结构热负荷较大,冷负荷较小。这是因为冬季室外温度较低,重质围护结构蓄存较多冷量,持续向室内释放,从而引起室内热负荷增大;而夏季由于蓄热作用,室外热量不易进入室内,冷负荷较小。蓄热性能对热阻较小外墙的热负荷影响较大,对热阻较大外墙的冷负荷影响较大。当外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙建筑热负荷比中等高 92.31 kWh , 比轻质高 222.22 kWh ; 当外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙建筑热负荷比中等高 122.14 kWh , 比轻质高 284.85 kWh 。当外墙热阻为 $4.08 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ 时,重质外墙建筑冷负荷比中等低 7.59 kWh , 比轻质低 16.04 kWh ; 当外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙建筑热负荷比中等低 7.20 kWh , 比轻质低 15.43 kWh 。

4 建筑蓄热结合夜间通风影响分析

夏季夜间室外空气温度较低,若能通过适当通风则可及时带走室内及围护结构蓄存的热量,有效减少夏季室内冷负荷。下面比较分析 2 组轻质、中等和重质 3 种不同蓄热级别外墙,夜间不同通风量对其室内冷负荷的影响。由以上分析知,6~8 月份建筑冷负荷较大,且 19:30~次日 09:00 时段热流由室内流向室外,即室外温度低于室内空气温度,故选取 6 月 1 日~8 月 31 日 21:00~07:00 作为通风时段,通风量依次为 0、2、5、10、15、20、25、30 ach。通风换气次数对室内冷负荷的影响如图 9 所示。

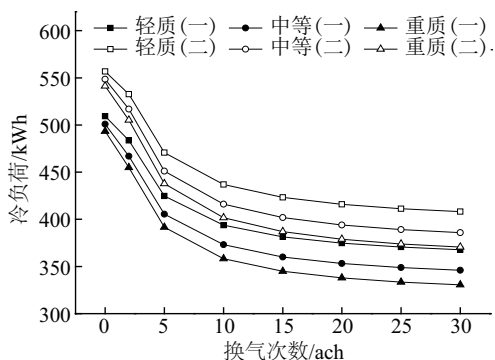


图9 不同蓄热级别建筑通风换气次数对冷负荷的影响

Fig. 9 Influence of ventilation rate on cooling loads of different thermal storage buildings

无室内热扰条件下,夏季夜间通风对重质围护

结构建筑冷负荷的影响较为显著。换气次数由 0 ach 增至 15 ach, 当外墙热阻为 $4.08 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙建筑冷负荷减少 148.41 kWh , 减幅为 30.09%, 轻质外墙建筑冷负荷减少 127.95 kWh , 减幅为 25.12%; 当外墙热阻为 $2.29 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ 时,重质外墙建筑冷负荷减少 154.42 kWh , 减幅为 28.53%, 轻质外墙建筑冷负荷减少 133.55 kWh , 减幅为 23.99%。当白天室内存在一定热扰时,夜间通风换气次数对建筑冷负荷的影响规律与无室内热扰条件下相似,但总体建筑冷负荷增大,增大换气次数,建筑冷负荷的减少更为显著,尤其对重质围护结构。随着换气次数的增大,建筑冷负荷的减少量逐渐减小,当换气次数增至 15 ach 时,室内冷负荷变化不大。建筑适宜通风换气次数为 15 ach。

5 结 论

本文采用 EnergyPlus 软件建立西安地区某办公建筑的数值模型,通过建筑室内热环境实测结果与模拟结果的比较验证数值模型的准确性。采用模拟的方法分析 2 组不同蓄热级别外墙对围护结构热性能及建筑能耗性能的影响,研究结果表明:

- 1) 在围护结构热阻相同时,重质围护结构建筑冬季内表面温度较高,夏季内表面温度较低。
- 2) 对于西安地区,在无通风且围护结构热阻相同的情况下,重质结构建筑的热负荷较大,冷负荷较小。
- 3) 夏季夜间通风量对重质结构建筑的室内冷负荷影响较为显著,夜间通风的适宜换气次数为 15 ach。

[参考文献]

- [1] 郎四维. 我国建筑节能设计标准的现况与进展[J]. 制冷空调与电力机械, 2002, 23(3): 1—6.
- [1] Lang Siwei. Current situation and progress of energy efficiency design standards in buildings in China[J]. Refrigeration Air Conditioning and Electric Power Machinery, 2002, 23(3): 1—6.
- [2] Yao Runming, Li Baizhan, Steemers K. Energy policy and standard for built environment in China[J]. Renewable Energy, 2005, 30: 1973—1988.
- [3] Balcomb J, Jones R. Workbook for workshop on advanced passive solar design [M]. Yugoslavia: Bled, 1988.

- [4] Lechner N. Heating, cooling, lighting[M]. New York: Wiley, 1991.
- [5] Baer S. Raising the open U value by passive means[A]. 8th NaturalPassive Solar Conference[C], Glorieta, USA, 1983.
- [6] Khatri N, Brown M, Gerner F. A solar energy collection system using optical fibers and a two-stage concentrator [A]. Proceedings of the 25 th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference[C], Reno, Nevada, USA, 1990, 5: 173—178.
- [7] Burch D, Malcolm S, Davis K. The role of thermal mass on the cooling load of buildings [J]. ASHRAE Translation, 1990, 96(2): 820—835.
- [8] Yang Lina, Li Yuguo. Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(11): 2052—2058.
- [9] Zhou Junli, Zhang Guoqiang, Lin Yaolin, et al. Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(6): 979—986.
- [10] ASHRAE. ASHRAE handbook-fundamentals[M]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, 2005.
- [11] Birtles A B, Kolokotroni M, Perera M. Night cooling and ventilation design for office-type buildings [J]. Renewable Energy, 1996, 8(1): 259—263.
- [12] Kolokotroni M, Webb B C, Hayes S D. Summer cooling with night ventilation for office buildings in moderate climates[J]. Energy and Buildings, 1998, 27(3): 231—237.
- [13] Shaviv E, Yezioro A, Capeluto I G. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy [J]. Renewable Energy, 2001, 24(3): 445—452.
- [14] 朱新荣, 杨 雯, 杨 柳, 等. 夜间通风建筑关键设计参数优化分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2015, 36(6): 1337—1343.
- [14] Zhu Xinrong, Yang Wen, Yang Liu, et al. Optimization on critical design parameter of night ventilation buildings [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2015, 36(6): 1337—1343.
- [15] 朱新荣, 杨 柳, 刘加平, 等. 夜间通风空调办公建筑降温参数分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2009, 41(6): 846—851.
- [15] Zhu Xinrong, Yang Liu, Liu Jiaping, et al. Parameter analysis of night ventilation in air-conditioned office building[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2009, 41(6): 846—851.
- [16] Liu Yan, Liu Jiang, Yang Liu, et al. Cooling effect for integrated application of phase change envelopes and night natural ventilation in Western China[A]. 12th International Green Energy Conference [C], Xi'an, China, 2017.
- [17] Liu Jiang, Liu Yan, Yang Liu, et al. Annual energy saving potential for integrated application of phase change envelopes and HVAC in Western China[A]. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning[C], Ji'nan, China, 2017.
- [18] 刘加平, 朱新荣, 杨 柳. 建筑物夜间通风降温设计的简化计算方法[P]. 中国: CN102024080B, 2012.
- [18] Liu Jiaping, Zhu Xinrong, Yang Liu. Parameter analysis of night ventilation in air-conditioned office building[P]. China: CN102024080B, 2010-12-01.
- [19] 朱新荣, 王润山, 杨 柳, 等. 蓄热体对多层建筑室内热环境的作用分析[J]. 太阳能学报, 2013, 34(8): 1410—1414.
- [19] Zhu Xinrong, Wang Runshan, Yang Liu, et al. Sensitivity analysis of thermal mass on indoor thermal environment in multistory buildings[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2013, 34(8): 1410—1414.
- [20] 赵志安. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计软件中的热桥传热计算[A]. 第十七届全国工程建设计算机应用大会论文集[C], 北京, 中国, 2014.
- [20] Zhao Zhi'an. Heat transfer calculation of thermal bridge in energy-saving design software for residential buildings in severe cold and cold zones[A]. 17th National Engineering Construction Computer Application Conference[C], Beijing, China, 2014.
- [21] 陈启高. 建筑热物理基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- [21] Chen Qigao. Building thermal physical basis[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1991.
- [22] US Department of Energy. EnergyPlus engineering reference: the reference to EnergyPlus calculations[EB/OL]. https://www.energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.9.0/EngineeringReference.pdf, 2017-04-20.
- [23] GB 50189—2015, 公共建筑节能设计标准[S].
- [23] GB 50189—2015, Design standard for energy efficiency of public buildings[S].
- [24] JGJ/T 347—2014, 建筑热环境测试方法标准[S].
- [24] JGJ/T 347—2014, Standard of test methods for thermal environment of building[S].

IMPACT OF THERMAL STORAGE CAPACITY OF ENVELOPE ON BUILDING LOAD

Yang Liu^{1,2}, Hou Liqiang^{1,2}, Liu Jiang^{1,2}, Qiao Yuhao^{1,2}, Liu Yan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: It can reduce building energy consumption effectively by improving the thermal performance of building envelope and making full use of renewable energy. In this paper, the influences of thermal mass on building loads are analyzed. Two groups of building envelopes with the same thermal insulation performance and different thermal storage performance are selected. The results of measured and simulated of indoor temperature are compared. The internal surface temperature and heat flow rate of exterior wall, and heating and cooling loads of different thermal storage buildings are simulated and analyzed with EnergyPlus. And the impact of thermal mass with night ventilation on the building loads is analyzed in summer. The results indicate that the measured results agree well with the simulation results. The inner surface temperature of exterior wall of heavyweight building is higher in winter, and it is lower in summer. The heating loads of heavyweight building is higher and the cooling loads is lower in Xi'an, with the same insulation performance of the envelope. The optimized nighttime ventilation is 15 ach, which has a greater impact on heavyweight buildings.

Keywords: heat storage; computer simulation; thermal load; ventilation; air change rate