文章编号: 1006-4710(2011)01-0046-05

西北地区居住建筑节能外墙构造热稳定性研究

朱轶韵[1,2], 张群[1], 刘加平[1], 赵钦[1,2]

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院,陕西 西安 710055; 2. 西安理工大学 水利水电学院,陕西 西安 710048)

摘要: 利用墙体热工系统分析了节能外墙构造方式对围护结构延迟和衰减作用的影响,以银川地区居住建筑为例,计算了具有相同传热系数和热惰性指标的不同构造方式的墙体对室外温度扰量的延迟时间与衰减倍数,比较分析了三种墙体的保温方式对室外温度扰量平抑能力的差异。分析结果表明,墙体构造方式对热稳定性有明显的影响,其中外保温构造衰减倍数最大,而夹芯保温构造延迟时间最长。

关键词: 节能构造;热稳定性;衰减倍数;延迟时间

中图分类号: F830.5 **文献标志码**: A

Research on Thermal Stability of Configuration of Residential Building Energy-Saving Exterior Wall in Northwestern Areas

ZHU Yiyun[1,2], ZHANG Qun[1], LIU Jiaping[1], ZHAO Qin[1,2]

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China;
2. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, China)

Abstract: With the wall thermal system the paper analyzes the impact of energy-saving exterior wall configuration form on the time lag and decrement factor. Taking the residential buildings in Yinchuan areas for example, the paper calculates the time lag and decrement factor to the disturbance quantity of the outdoor temperature for the walls of different configuration forms with the same heat-transfer coefficient and heat inertia index, the paper also analyzes the difference of stabilizing ability to the disturbance quantity of the outdoor temperature in three kinds of wall thermal insulations. The results show that the wall configuration form has obvious effect on the thermal stability, in which the decrement factor of the outside thermal insulation configuration form is maximum, while the sandwich thermal insulation configuration form has the longest time lag.

Key words: energy-saving configuration; thermal stability; decrement factor; time lag

针对室外气候条件合理进行居住建筑外墙节能构造设计是降低建筑能耗和改善房间热环境的重要措施[1]。由于我国北方采暖地区冬季室外的空气温度较低,因此主要是按稳态传热理论以控制墙体传热系数为基础进行外墙的节能构造设计[2]。然而对于如西北银川太阳能资源丰富的采暖地区,虽然年平均气温相对较低,但是受太阳辐射热作用的影响室外温度的日波动很大,因此建筑围护结构的热流密度并非是恒定的,而是随时间发生周期性变化,并且室内热稳定性也因受室外温度波动的影响而变差。因此,对于宁夏银川地区居住建筑节能外墙的节能构造设计,不仅要确保具有足够的热阻还要尽可能提高外墙对室外温度扰量的延迟和衰减作用,并提高墙体对室内热能的蓄存,平抑室内温度波动,从而提高房间的热稳定性。墙体延迟衰减作用既受其自身热物理参数的影响[3]也受墙体构造方式的影响[4-5]。本文利用墙体热工系统理论,在宁夏银川地区的气候条件下研究建筑节能墙

收稿日期: 2010-07-26

基金项目: 国家自然科学基金委员会创新研究群体基金资助项目(50921005/E0803);国家"十一五"科技支撑计划课题基金资助项目(2006BAJ04A18)。

作者简介: 朱轶韵(1968-),女,宁夏中卫人,博士生,研究方向为绿色建筑、节能建筑。
E-mail:zyyun@xaut.edu.cn。

体构造方式对房间热稳定性的影响,以期对宁夏银川地区居住建筑节能墙体构造设计提供理论参考。

1 典型节能墙体构造

西北采暖地区居住建筑节能外墙一般是由轻质保温材料和重质墙体材料复合而成,根据两种复合方式的差异,节能构造分为外保温构造、夹芯保温构造和内保温构造。针对银川地区的地域特点和乡村建筑的节能要求,参照文献[6]本研究选取烧结非粘土砖(页岩砖)砌体复合膨胀聚苯乙烯(简称 EPS)保温板构成的外保温、外墙夹芯保温和内保温节能墙体构造进行分析。三种节能墙体构造传热系数相同但构造方式不同。节能墙体构造组成及热工参数见图 1 及表 1。

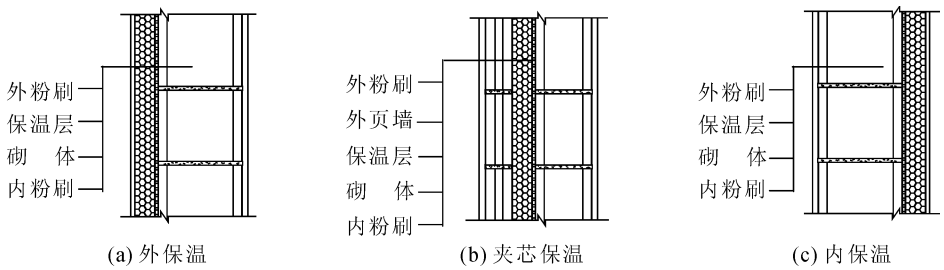

图 1 节能墙体构造

Fig. 1 The configuration of energy-saving wall

表 1 节能墙体构造及其热工参数

Tab. 1 The configuration of energy saving-wall and its thermal parameters

构造类型		材料层	厚度 /mm	导热系数 /(W/(m²·K))	密度 /(kg/m³)	传热系数 /(W/(m²·K))	热惰性指标
外保温	构造 1	EPS 保温板	40	0.041	20	0.60	7.09
		非粘土砖砌体	370	0.58	1 400		
	构造 2	EPS 保温板	50	0.041	20	0.53	7.17
		非粘土砖砌体	370	0.58	1 400		
夹芯保温	构造 1	非粘土砖砌体(外页墙)	120	0.58	1 400	0.60	7.09
		EPS 保温板	40	0.041	20		
		非粘土砖砌体(内页墙)	240	0.58	1 400		
	构造 2	非粘土砖砌体(外页墙)	120	0.58	1 400	0.53	7.17
		EPS 保温板	50	0.041	20		
		非粘土砖砌体(内页墙)	240	0.58	1 400		
内保温	构造 1	非粘土砖砌体	370	0.58	20		
		EPS 保温板	40	0.041	1 400		
	构造 2	非粘土砖砌体	370	0.58	20	0.53	7.17
		EPS 保温板	50	0.041	1 400		

注:①根据文献[1],墙体内表面换热阻取 0.11 m²·K/W,外表面换热阻取 0.04 m²·K/W。
②墙体材料的热工参数根据文献[2]、[7]确定。
③EPS 保温板的导热系数的修正系数为 1.1[2]

2 节能墙体延迟衰减作用分析

宁夏银川地处西北地区,自然条件恶劣,气温的年变化和日变化较大,降水量少蒸发量大,但太阳能资源较丰富,全年日照时数在 2 835 h 以上,年太阳辐射总量在 5 781 ~6 100 MJ/m²[8]。对于宁夏银川地区,建筑围护结构受太阳辐射热作用影响,其热流密度随时间发生周期性变化,房间热稳定性受室外温度的影响较大。因此,在满足足够热阻的情况下,为提高房间的热稳定性,节能外墙的节能构造设计还要尽可能提高外墙对室外温度扰量的延迟和衰减作用。

2.1 板壁热力系统总传递矩阵

以室外为输入端,多层板壁围护结构总传递矩阵为[9]:

$$\begin{bmatrix} A(s), & -B(s) \\ -C(s), & D(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1, & -\dfrac{1}{\alpha_r} \\ 0, & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n(s), & -B_n(s) \\ -C_n(s), & D_n(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_i(s), & -B_i(s) \\ -C_i(s), & D_i(s) \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_1(s), & -B_1(s) \\ -C_1(s), & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1, & -\dfrac{1}{\alpha_a} \\ 0, & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中,α_r 和 α_a 分别为内表面换热系数和外表面换热系数。

$$A_i(s) = D_i(s) = ch\left(\sqrt{\frac{s}{a_i}} l_i\right);$$

$$B_i(s) = sh\left(\sqrt{\frac{s}{a_i}} \cdot l_i\right) \cdot \left(\lambda_i \sqrt{\frac{s}{a_i}}\right)^{-1};$$

$$C_i(s) = \left(\lambda_i \sqrt{\frac{s}{a_i}}\right) sh\left(\sqrt{\frac{s}{a_i}} \cdot l_i\right);$$

λ_i、a_i、l_i 分别为墙体构造的第 i 层导热系数、导温系数、厚度;s 为温度扰量的基频。

2.2 板壁热力系统对室外温度波的延迟和衰减[9]

板壁围护结构的传热频率响应是当室温保持为零时,板壁内表面对室外侧不同频率正弦波温度波幅的衰减 v_{yn} 和时间延迟 φ_{yn} 弧度。如果室外侧温度波是频率为 ω_n、振幅为 A_{an}、初相位为 φ_n 的正弦形温度波,则以下指数函数 $i(\tau)$ 的虚部就是所要输入的温度波,即:

$$i(\tau) = A_{an}[\cos(\omega_n\tau + \varphi_n) + \mathrm{i}\sin(\omega_n\tau + \varphi_n)] = A_{an}\mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega_n\tau+\varphi_n)} \tag{2}$$

因此板壁内表面对室外温度扰量的延迟时间和衰减倍数为:

$$\Psi_{yn} = A_{rg}[B(\mathrm{i}\omega_n)] = \arctan\left[\frac{B(\mathrm{i}\omega_n)_{\mathrm{Im}}}{B(\mathrm{i}\omega_n)_{\mathrm{Re}}}\right] \tag{3}$$

$$v_{yn} = \frac{A_{an}}{\Delta t_{in}} = \alpha_r |B(\mathrm{i}\omega_n)| = \alpha_r \sqrt{[B(\mathrm{i}\omega_n)_{\mathrm{Re}}]^2 + [B(\mathrm{i}\omega_n)_{\mathrm{Im}}]^2} \tag{4}$$

式中,α_r为板壁内表面换热系数,取8.7 W/(m^2·℃);Δt_{in} 为板壁内表面温度波动幅度,单位为℃。

2.3 典型节能墙体衰减倍数与延迟时间

在室内外热流的作用下节能墙体在升温和降温过程中,材料的热容作用和热量传递中材料层的热阻作用,造成了温度波经墙体向室内传递过程中的衰减和延迟现象。对于室外空气温度而言,其波动曲线与正弦曲线接近,因此适于采用谐波法进行分析,并且其1阶谐波的振幅最大,对室内温度稳定性的影响也最为显著。根据公式(1)~(4)计算表1中各种构造节能墙体对1阶室外温度波的延迟时间和衰减倍数,可以得出不同墙体构造方式对延迟衰减作用的差别,见图2。

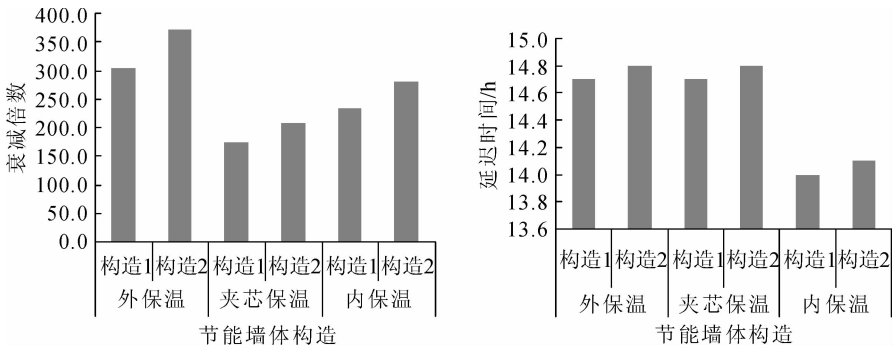

图2 不同墙体构造方式的延迟衰减作用比较

Fig. 2 The comparison on effects of time lag and decrement with different wall configuration forms

由图2可见,当温度波经墙体传递到室内侧时产生了衰减和延迟现象。其原因是节能墙体均由多层墙体材料复合而成,当热流从温度已经升高的外表面向室内侧传递时进入每一层的热流会使该层的温度有所提高,多余的热量依次转移至相邻较冷的内层。因此每一层只受到少量的热作用,其温度的提高值便比相邻的外层低。反之,当室外侧温度降低时,节能墙体各层依次冷却,内层的温度降低值均比外层的低。正是由于壁体内部的贮热结果,在室外热作用周期变化条件下,墙体内表面温度的波动幅度比外表面的小,内表面温度出现峰值的时间比外表面的晚。

由图2还可见,对于热惰性指标基本相等的不同构造方式的节能墙体,温度波衰减倍数和延迟时

间并不相同。根据银川地区冬至日逐时室外空气温度条件(图3)[10],计算温度波经表1中各节能构造墙体传递到室内侧时引起的内表面温度峰值出现时间和内表面温度波动幅度(Δt_{in}),结果见表2。

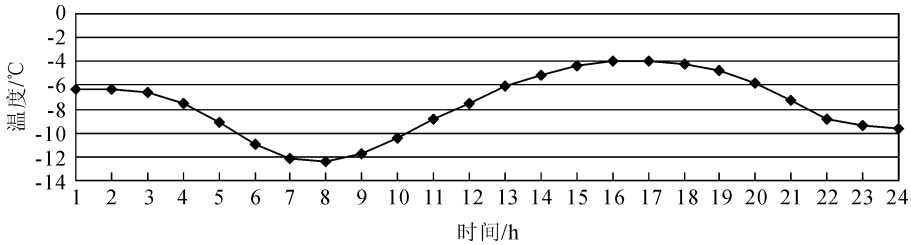

图3 银川地区冬至日逐时室外温度曲线

Fig. 3 The outdoor temperature curve of successive hours on winter solstice in Yinchuan region

表2 延迟后的温度峰值出现时间和衰减后的温度波动幅度

Tab. 2 The occurrence time of temperature peak value after time lag and the fluctuation range of temperature after decrement

	外保温		夹芯保温		内保温	
	构造1	构造2	构造1	构造2	构造1	构造2
延迟后温度峰值出现时间/min	402	408	402	408	360	366
衰减后的温度波动幅度/℃	0.026	0.022	0.046	0.038	0.034	0.028

由图3和表2可见,对于确定的墙体构造方式,其延迟时间和衰减倍数随墙体热惰性指标的增加而增大,并且衰减倍数增大显著。如对于外保温构造,当热阻增加13%时衰减倍数增大22%,延迟时间增大0.6%,温度峰值出现的时间推迟了6分钟,温度波动值降低了18%。而热惰性指标相同构造方式不同的墙体,因其内部各层墙材的排序差别,内部材料层的蓄放热规律不同,延迟时间和衰减倍数变化不同,延迟后的温度峰值出现时间和衰减后的温度波动幅度差别明显。因此,节能墙体对温度波的延迟和衰减作用不仅与壁体的热物性、厚度有关,而且还受材料层的排序方式即构造方式影响。

3 结果分析与讨论

通过对银川地区居住建筑典型节能构造墙体的延迟和衰减作用的分析可见,对于构造方式不同的节能墙体,热惰性指标的大小并不能准确说明墙体平抑室外温度扰动的能力。传热系数同为0.6 W/(m^2·K)的三种构造形式外墙,虽对室外空气温度波都具有较大的衰减倍数和延迟时间,但延迟后的温度峰值出现时间和衰减后的温度波动也不同。外保温墙体的衰减倍数最大,其次是内保温墙体,夹芯保温墙体衰减倍数最小。夹芯保温墙体的延迟时间最长,其次是外保温墙体,内保温墙体的延迟时间最小。对于确定的构造方式,增大墙体热阻能够显著提高墙体对室外温度扰量的衰减能力。

本研究是将室外空气温度作为唯一的外扰考虑的,但银川地区的太阳辐射作用较强,室外综合温度的波动值会远大于空气温度,所以实际建筑中不同构造形式的外墙对室外热作用的抵御能力差别更大。因此,墙体构造设计时需要同时考虑墙体构造方式和热惰性指标。基于上述分析可知,外保温节能构造墙体因室外温度变化引起内表面温度的波动最小,房间的热稳定性最好。另一方面,宁夏银川地区太阳能资源丰富,乡村建筑在设计中普遍注重被动式太阳能热利用[1],建筑自身蓄热的能力对采暖能耗和室内温度稳定性影响较大。由于太阳辐射热作用是周期性变化的,白天中午最强而夜间没有。因此依靠建筑自身构造蓄存白天所获得的太阳能是降低建筑夜间用能和减小室内温度波动的重要措施。对于复合节能构造墙体而言,重质墙材蓄热能力强、导热系数大,轻质保温材料蓄热能力弱、导热系数小。因此为了更好的蓄存白天室内所获得的太阳热能,节能构造墙体的重质墙材适于布置在室内侧。这样复合节能墙体内侧的重质墙材能够蓄存热量,而外侧的保温层又能很好的防止热量向室外侧流失,能够提高建筑的集热、蓄热的功能,提高夜间室内温度,减少采暖能耗。外保温和夹芯保温节能构造墙体,室内侧均是重质墙材,因此相比内保温构造而言均有利于蓄热和平抑室内温度波动。

综上分析,宁夏银川地区太阳能资源丰富,乡村建筑应合理进行节能墙体构造设计。外保温和夹芯保温节能构造墙体,有利于提高墙体对室外热

作用的延迟和衰减,蓄存白天的建筑所集取的热能,降低夜间采暖能耗提高室内热舒适水平。

4 结 论

1)传热系数相同的节能墙体采用不同的构造方式时其对室外温度扰量的延迟衰减作用不同,因而对房间热稳定性的影响不同。

2)外保温节能墙体对室外热作用的延迟和衰减作用最强,并且与外保温和夹芯保温节能构造墙体相比,内保温构造墙体更有利于蓄热,被动式太阳能建筑适于采用外保温和夹芯保温节能构造墙体,避免采用内保温构造墙体。

3)从提高房间热稳定性考虑,节能墙体构造设计时应针对当地的气候特点合理确定墙体材料和墙体构造方式。

参考文献:

[1] 张群,朱轶韵,刘加平, 等. 西北乡村民居被动式太阳能设计实践与实测分析[J]. 西安理工大学学报, 2010,26(4): 477-481.
Zhang Qun, Zhu Yiyun, Liu Jiaping, et al. Practice and real testing analysis of rural house passive solar design in northwest China[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2010,26(4): 477-481.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50176-93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.

[3] 杨艺,邓启红,时冰冰. 建筑墙体的延时与衰减作用[J]. 建筑热能通风空调,2005,24(4):66-70.
Yang Yi, Deng Qihong, Shi Binbin. The time lag and decrement effects of building wall[J]. Building Energy & Environment, 2005,24(4):66-70.

[4] 杨昭,郁文红,张甫仁. 节能建筑复合墙体的非稳态热工性能[J],天津大学学报,2004,37(11):975-979.
Yang Zhao, Yu Wenhong, Zhang Puren. Unsteady thermal characteristics of wall insulation in low energy consumption building[J]. Journal of Tianjin University, 2004 ,37(11):975-979.

[5] 王振,汪秋菊,薛景宏. 节能建筑外墙构造对室内热稳定性的影响[J]. 大庆石油学院学报,2001,25(1):98-100.
Wang Zhen, Wang Qiuju, Xue Jinghong. Effect of outside wall conformation in energy conserving construction on the inside heat stability[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2001,25(1):98-100.

[6]《建筑节点构造图集》编委会. 建筑节点构造图集—节能保温墙体[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[7] 刘加平. 建筑物理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.

[8] 桑建人,刘玉兰,林莉,等. 宁夏太阳辐射特征及太阳能利用潜力综合评价[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 122-125.
Sang Jianren, Liu Yulan, Lin Li, et al. Characteristic of solar radiation in Ningxia and integrated evaluation on utilization potential of solar energy[J]. Journal of Desert Research, 2006,26(1):122-125.

[9] 彦启森,赵庆珠. 建筑热过程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986.

[10] 张晴原,Huang J. 中国建筑用标准气象数据库[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

(责任编辑 李虹燕)