

广州市自然通风类建筑围护结构内表面温度的计算与分析

广州大学 龚明启[☆] 冀兆良 白贵平

摘要 在完全靠自然通风调节而没有空调的建筑中,围护结构内表面温度对人体的热舒适性影响很大。分析了自然通风类建筑各种围护结构的内表面温度,并针对广州地区的气候特征,提出了围护结构的合理隔热保温措施。研究表明在该地区完全靠自然通风的建筑中使用重质材料加外保温层的围护结构对于改善室内热环境是非常有利的。

关键词 保温 自然通风 围护结构

Calculation and analysis on inner surface temperature of envelope of natural ventilated buildings in Guangzhou

By Gong Mingqi[★], Ji Zhaoliang and Bai Gui ping

Abstract The inner surface temperature of building envelope plays an important role in thermal comfort of human body in the buildings regulated merely by natural ventilation. Analyses the inner surface temperature of several envelopes and puts forward the reasonable heat insulation measures for building envelope in Guangzhou. Concludes that the envelope of heavy quality material plus external heat insulation layer is very beneficial to improving the indoor thermal environment in natural ventilated buildings.

Keywords heat insulation, natural ventilation, building envelope

★ Guangzhou University, Guangzhou, China

自然通风是当今建筑普遍采用的一项改善建筑热环境、减少空调能耗的技术,采用自然通风方式的根本目的是取代(或部分取代)空调制冷系统^[1]。夏季,太阳辐射强,室外温度较高,建筑物在这种以 24 h 为周期波动的太阳辐射和室外空气(简称室外综合温度波)的作用下,室内热环境和空调降温能耗必然会受到影响。在夏季自然通风类建筑中,如果围护结构的隔热性能较差,则在室外综合温度波和室内空气温度波的共同作用下,其内表面温度必然较高。这时,虽然室内空气温度并不很高,但室内热环境仍然较差,人们仍然会感到很热。对人体热反应的研究认为,围护结构内表面的温度不应超过人体皮肤的平均温度(33~35℃),高于此值时,人体将感到明显的热辐射,尤其在

36℃以上时,人体的热感极其明显。

1 广州地区热环境特点

1.1 气候特征^[2]

广州地区位于东经 112°57′~114°03′,北纬 22°35′~23°35′,属亚热带季风气候区;地表接受太阳辐射量较多,同时受季风的影响,夏季高温、高湿、多雨;年平均气温 21.4~21.9℃,最热月平均

☆ 龚明启,男,1978年10月生,在读硕士研究生
510006 广州市番禺区大学城外环西路230号广州大学土木工程学院 B18 楼401室
(0) 13580392018
E-mail: eric1997@126.com
收稿日期: 2004-11-02
一次修回: 2004-11-25
二次修回: 2005-01-05
三次修回: 2005-11-03

温度 28.4 °C, 相对湿度 83%, 气温日较差 7.6 °C, 极端最高气温 38.7 °C, 城市居民普遍使用空调。

1.2 建筑热工

广州地区高温高湿的气候特征决定了围护结构需要有良好的隔热性能, 尤其对于较大的屋顶和东、西墙, 受太阳辐射影响较大。以西墙为例, 通过计算可知, 西向室外综合温度最高可达 55.5 °C, 如果围护结构隔热性能不好, 内壁温度势必会很高。广州地区夏季空调室外计算干球温度逐时值 t_{sh} 和西向综合温度逐时值 t_z 如图 1 所示。

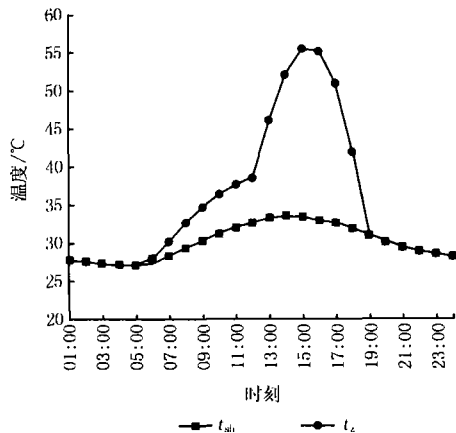


图1 广州市夏季空调室外计算干球温度逐时值和西向综合温度逐时值

对于广州地区, 建筑热工的主要要求是夏季对房间隔热降温。目前大量的建筑物夏季使用空调来降温, 但是, 空调系统的投资高, 能耗和运行费用高, 所以一些建筑只能靠自然通风来调节室内温度, 如学校的教室、体育场馆等。对于完全靠自然通风调节的房间, 围护结构的隔热性能对室内热环境起着决定性作用, 它与围护结构的传热热阻和热惰性及墙体的结构有关。我国对建筑物围护结构夏季的隔热标准^[3-4]是: “在房间自然通风的情况下, 建筑物的屋顶和外墙, 特别是东、西向外墙, 其内表面最高温度 $\theta_{i, \max}$ 不得大于室外空气计算温度最高值 $t_{e, \max}$ ”, 即 $\theta_{i, \max} \leq t_{e, \max}$ 。因此, 对于采用自然通风调节的房间, 围护结构的隔热性能能否满足内表面温度的要求对室内热环境是至关重要的。

2 自然通风条件下围护结构的传热过程及特点

在太阳辐射的影响下, 室外空气温度是以 24 h 为周期进行变化的, 所以作用在围护结构表面的室外综合温度波同样也是周期性变化的。围护结构在室外综合温度波的作用下, 一方面其内部各点

温度按一定振幅随时间作周期性变化, 另一方面, 任一时刻围护结构内部各点温度分布也是周期性的。热量从室外传到室内, 其温度波有一定的延迟和衰减。

夏季白天在太阳辐射作用下, 围护结构被加热升温, 向室内传递热量, 夜间围护结构散热, 即存在内、外表面日夜交替变换方向的传热, 以及在自然通风条件下对围护结构的双向温度波作用。围护结构的传热大致可以分为如下三个过程^[5]: a) 白天, 当 $t_w > t_q > t_n$ (t_w 为墙体外表面温度; t_q 为墙体内热流的平均温度; t_n 为墙体内表面温度) 时, 热流从室外传向室内; b) 夜间, 当 $t_q > t_w$ 且 $t_q > t_n$ 时, 围护结构在双向温度波的作用下, 同时向室内和室外散热; c) 当室外温度降得比较低, 即 $t_w < t_q < t_n$ 时, 热流从室内传向室外。

3 广州地区自然通风条件下物理模型的建立及计算分析

3.1 模型的建立

以广州地区气象参数为依据, 选用六种不同典型材料和结构的墙体, 建立物理模型 (见图 2) 并对其热工性能计算, 计算中用到的各种墙体材料的热工性能和墙体结构见表 1 和表 2。在太阳辐射过程中, 对于同样的围护结构, 西晒得热是最大的, 很多情况下最关心的也是西侧墙体的内表面温度是否高于可以接受的舒适性温度, 所以在计算中也以西墙为例。

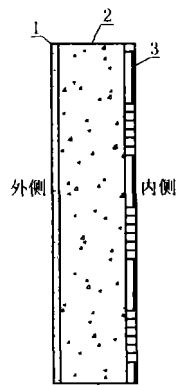


图2 墙体结构物理模型

广州地区夏季室外平均风速为 1.8 m/s, 计算中取内外表面的表面传热系数 α_n 与 α_w 分别为 8.7 W/(m²·°C) 和 18.6 W/(m²·°C)^[6]。

3.2 计算方法^[6-7]

3.2.1 室外综合温度波传到室内的衰减倍数 ν 和时间延迟 ξ 的计算

a) 衰减倍数

$$\nu = 0.9 \frac{S_1 + \alpha_n}{S_1 + Y_1} \frac{S_2 + Y_1}{S_2 + Y_2} \frac{S_3 + Y_2}{S_3 + Y_3} \frac{Y_3 + \alpha_w}{\alpha_w} e^{\frac{\sum D}{\sqrt{2}}} \quad (1)$$

b) 时间延迟

表 1 各种墙体材料及其热工性能^[9]

材料	厚度 δ/mm	蓄热系数 $S/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}))$	材料热阻 $R/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$	导热系数 $\lambda/(\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}))$	热惰性指标 D	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	比热容 $c/(\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}))$
聚苯乙烯	30	0.34	1.11	0.027	0.38	30	2.00
泡沫混凝土	200	1.07	2.60	0.077	2.78	232	0.88
钢筋混凝土	200	14.95	0.13	1.54	1.94	2 400	0.84
石灰砂浆	20	8.9	0.02	0.93	0.19	1 600	0.84

表 2 墙体材料及其隔热层设置

	结构 1	结构 2	结构 3	结构 4	结构 5	结构 6
类型	轻质结构内保温	轻质结构外保温	重质结构外保温	重质结构内保温	轻质结构无保温	重质结构无保温
结构	1 水泥砂浆 2 泡沫混凝土 3 聚苯乙烯	1 聚苯乙烯 2 泡沫混凝土 3 水泥砂浆	1 聚苯乙烯 2 钢筋混凝土 3 水泥砂浆	1 水泥砂浆 2 钢筋混凝土 3 聚苯乙烯	1 水泥砂浆 2 泡沫混凝土 3 水泥砂浆	1 水泥砂浆 2 钢筋混凝土 3 水泥砂浆

$$\xi = \frac{1}{15} \left[40.5 \sum D - \arctan \frac{\alpha_n}{\alpha_n + \sqrt{2} Y_{1,\xi}} + \arctan \frac{Y_3}{Y_3 + \sqrt{2} \alpha_n} \right] \quad (2)$$

式(1),(2)中 S_1, S_2, S_3 为材料的蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 下标为所在层的编号, 编号顺序与热流方向相反, 当热流方向为由室外到室内时, 靠近室内表面的材料层为第一层, 而靠近室外表面的材料为第三层; Y_1, Y_2, Y_3 为表面蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 下标含义同 S ; $Y_{1,\xi}$ 为计算时间延迟时采用的第一层表面的蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

3.2.2 室内温度波传至围护结构内表面的衰减倍数 ν_n 与时间延迟 ξ_n 的计算

a) 衰减倍数

$$\nu_n = 0.95 \frac{\alpha_n + Y_n}{\alpha_n} \quad (3)$$

b) 时间延迟

$$\xi_n = \frac{1}{15} \tan^{-1} \frac{Y_n}{Y_n + \sqrt{2} \alpha_n} \quad (4)$$

式(3),(4)中 Y_n 为围护结构内表面的蓄热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

3.2.3 室外参数计算

a) 夏季空调室外计算干球温度逐时值 $t_{sh}^{[4]}$

$$t_{sh} = t_{wp} + \beta \Delta t_r \quad (5)$$

式中 t_{wp} 为夏季空调室外计算日平均温度, 30.1°C ; β 为室外温度逐时变化系数^[7]; Δt_r 为夏季室外计算平均日较差, $^\circ\text{C}$, 按式(6)计算:

$$\Delta t_r = \frac{t_{wg} - t_{wp}}{0.52} \quad (6)$$

式中 t_{wg} 为夏季空调室外计算干球温度, 33.5°C 。

b) 太阳辐射照度当量温度 $t_k^{[5]}$

$$t_k = I \frac{\rho_x}{\alpha_w} \quad (7)$$

式中 I 为太阳辐射照度, $\text{W}/\text{m}^2^{[6]}$; ρ_x 为表面材料吸热系数, 取 0.7。

c) 室外综合温度逐时值 t_z

$$t_z = t_{sh} + t_k \quad (8)$$

3.2.4 围护结构内表面平均温度 $\bar{\theta}_n$ 的计算

$$\bar{\theta}_n = \bar{t}_n + \frac{R_n}{R_w} (\bar{t}_{sa} - \bar{t}_n) \quad (9)$$

式中 $\bar{t}_n$ 为室内计算温度平均值, $^\circ\text{C}$, 对自然通风房间, $\bar{t}_n = \bar{t}_w + 1.5$, 其中 $\bar{t}_w$ 为室外计算温度平均值, $^\circ\text{C}$; 对空调房间, 取 $\bar{t}_n = 26^\circ\text{C}$; R_n, R_w 分别为围护结构内、外表面材料的热阻, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; $\bar{t}_{sa}$ 为室外综合温度平均值, $^\circ\text{C}$ 。

3.2.5 围护结构内表面逐时温度 $t_{n\tau}$ 的计算

$$t_{n\tau} = A_{\tau n} + A_{\tau w} + \bar{\theta}_n \quad (10)$$

式中 $A_{\tau n}, A_{\tau w}$ 分别为室内、室外温度波传至围护结构内表面的各时刻温度的波动幅度, $^\circ\text{C}$ 。

3.3 计算结果及分析

对于自然通风的房间, 围护结构在室内和室外空气双向温度波的作用下处于动态平衡, 围护结构内表面的温度与室内空气的温度有着特定的关系。计算得到的自然通风条件下围护结构内表面各时刻的温度值见图 3。从图中可以看出, 室外温度波经过墙体后, 到达室内时变得平缓了很多, 是一个衰减延迟过程。结构 5 与结构 2 的曲线接近, 波动都比较小, 而结构 1 的曲线波动比较大, 说明对于主体结构为轻质材质的墙体来说, 加外保温层对内表面温度影响不大, 对提高热稳定性的意义不大, 加内保温虽然加大了围护结构的传热热阻, 降低了

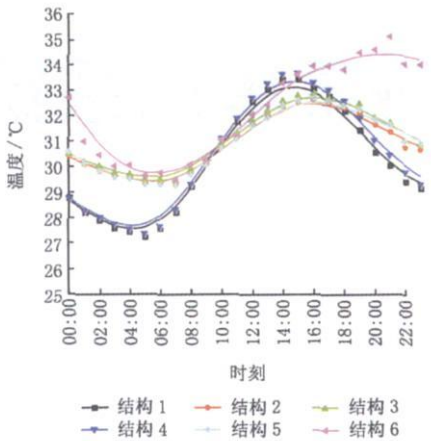


图3 广州地区自然通风条件下
各种围护结构西墙内表面温度逐时值

围护结构内表面的平均温度, 但并没有提高房间的热稳定性。结构 6 的内表面温度平均值比结构 3 大, 而且波动大, 说明对于主体结构为重质材质的墙体来说, 外保温技术不但有利于降低室内平均温度, 而且可以使热稳定性得到明显的提高。结构 4 的内表面温度平均值明显比结构 6 小, 但内表面温度曲线波动幅度并没有减小, 说明对于主体结构为重质材质的墙体来说, 内保温可以降低内表面的平均温度, 但对室内热稳定性并没有提高。

从计算结果得知, 6 种结构的内表面最高温度分别为 33.5 °C, 32.7 °C, 32.9 °C, 33.7 °C, 32.8 °C, 35.2 °C。总的来说, 无论主体结构为重质材质还是轻质材质, 加保温层都可以降低围护结构内表面的最高温度, 且外保温较内保温效果更明显。在所计算的 6 种墙体中, 墙体 4 和墙体 6 不符合热工规范对围护结构的隔热要求(内表面最高温度高于夏季空调室外干球温度), 说明对于主体结构为重质材质的墙体来说, 在完全靠自然通风调节的建筑墙体中加保温层是非常有必要的, 尤其是外保温的增加使室外气候变化引起的墙体内部温度变化发生在外保温层内, 从而使内部主体墙的保温性能提高, 温度变化较平缓。从计算结果看, 增加保温层可以使内表面的最高温度明显降低, 对提高房间的热舒适性起到了很好的作用。

4 结论

在广州地区, 对于完全靠自然通风调节的房间, 总的来说, 无论主体结构为重质材质还是轻质材质, 加保温层都可以降低围护结构内表面的最高温度, 且外保温较内保温效果更明显。当围护结构

主体为重质材质时, 加外保温层不但可以降低内表面的平均温度, 而且有利于提高室内的热稳定性; 加内保温虽然可以降低内表面的平均温度, 但并没有提高室内的热稳定性。对于主体结构为轻质材质的墙体来说, 加外保温对提高室内空气热稳定性的意义不大, 加内保温更不利于室内的热稳定性。但对于夏季利用空调降温的建筑来说, 由于室内温度波动幅度控制在 ± 2 °C 以内, 在这种情况下采用高热阻值的轻质材质墙体, 以及采用高热阻值的内保温墙体对于减少空调降温能耗是有利的。所以在该地区完全靠自然通风的建筑使用重质材质加外保温层的围护结构对于提高室内热环境是非常有利的, 在设计中应加以推广。

参考文献

- [1] Lukic N. The transient house heating condition—the building envelope response factor (BER) [J]. Renewable Energy, 2003, 28: 523–532
- [2] 中国建筑科学研究院, 广东省建筑科学研究院. JGJ 75—2003 夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [3] 中华人民共和国建设部. 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
- [4] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—95 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- [5] 章熙民, 任泽霁, 梅飞鸣, 等. 传热学 [M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001
- [6] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- [7] 路延魁. 空气调节设计手册 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995

· 会讯 ·

世界可持续建筑大会(SB05Tokyo)召开

2005 世界可持续建筑大会(SB05Tokyo) 2005 年 9 月 27~29 日在日本东京举行。会议由日本国土交通省主办, 国际建筑和建设研究与创新委员会(CIB)、国际可持续发展建筑环境组织(iisBE)和联合国环境署(UNEP)协办。大会的主题是“Action for Sustainability”。这是世界可持续建筑大会首次在亚洲举办。日本皇太子妃小和田雅子出席开幕式并致辞。会议共安排了 5 个主题报告, 与会代表就能源利用与气候变化、室内环境、建筑环境评估工具、健康建筑、既有建筑的可持续性管理等 20 个专题进行了交流。会议共收录论文 675 篇, 其中中国学者(包括港澳台地区)的论文 76 篇。共有 80 多个国家和地区的 1 700 多名代表参加了会议。会议通过了 SB05Tokyo 宣言, 还举行了颁奖仪式。本次会议的成功举办对于可持续建筑的发展具有十分重要的意义, 对于加强世界各国在可持续建筑领域的合作和技术交流将会起到积极的推动作用。

(本刊特约通讯员 吴延鹏)