

新建建筑围护结构热质传递对建筑能耗的影响

哈尔滨工业大学 孔凡红[☆] 郑茂余 韩宗伟 杨 涛

摘要 研究了严寒地区新建建筑围护结构的热质传递。建立了热平衡模型,模拟分析了围护结构内的含湿量以及水分向室内扩散对供暖能耗和空调湿负荷的影响。得到了一些有用的结论。

关键词 新建建筑 热质传递 散湿量 建筑能耗 传热系数

Effect of heat and moisture transfer of new built building envelop on building energy consumption

By Kong Fanhong[★], Zheng Maoyu, Han Zongwei and Yang Tao

Abstract Presents the heat and moisture transfer of new built building envelop in severe cold zone. Develops the heat balance model and simulates the effect of moisture ratio and moisture gain on heating energy consumption and air-conditioning moisture load. Gains some useful conclusions.

Keywords new built building, heat and moisture transfer, moisture gain, building energy consumption, heat transfer coefficient

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

自 20 世纪 70 年代以来,由于世界性的经济危机,一些国家采取了严厉的政策以提高设备和建筑的能效,并提出了一些国际、国内节能标准以达到节能效果,然而所有这些节能措施并没有考虑建筑围护结构的湿传递^[1]。围护结构或室内家具中所含的水分由于相变而吸收或释放潜热,影响建筑的热工性能甚至产生霉菌。目前我国建筑围护结构保温隔热水平比发达国家差很多,推广节能建筑势在必行,然而在以往的研究中,往往忽略墙体湿传递对能耗的影响,导致对能耗的估计有较大的误差或达不到预计的室内环境,围护结构的热湿传递不仅影响围护结构的耐久性、室内空气质量以及居住者的健康和安全,而且也影响建筑能效。

保温材料内产生凝结水使其保温性能随含水量的增加或内部水分结冰而急剧下降,导致建筑能耗增大,这也是一些节能建筑不节能的重要原因^[2]。新建建筑围护结构的初始含湿量及内表面

散湿量较大,与准稳态负荷相比冬季增加的供热能耗和夏季增加的空调负荷在干燥初期最明显,干燥初期墙表面水分蒸发,温度下降,增加了供热能耗。另外随着空调负荷计算进一步的精确化,人们开始考虑以前从未考虑过的一些因素对空调负荷的影响,其中围护结构的吸放湿过程是重要的因素,墙体的吸放湿过程直接影响着室内的湿度和潜热负荷,吸放湿过程引起了含湿量的变化和相变以及温度分布的变化,从而直接或间接地影响着显热负荷^[3]。且空调热湿负荷是确定空调设备容量的基本依据,如果没有对空调负荷进行准确地计算,就会使空调系统不能满足负荷的需要或造成初投资浪费。因此,针对外保温墙体的热湿工况进行研究,为外保温墙体的应用与工程实践提供理论依据

①☆ 孔凡红,女,1980 年 12 月生,在读博士研究生
150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院
(0) 13936441434
E-mail: tian12388@sohu.com
收稿日期:2007-10-10

成为建筑节能的一项重要课题。

笔者运用 Whitaker 体积平均法对哈尔滨地区新建建筑围护结构热质耦合传递和室内温湿度环境进行模拟,并考虑了冬季围护结构内水分的结冰,来分析新建建筑多层多孔围护结构内的含湿量以及水分向室内的扩散对建筑能耗的影响。

$$\frac{\partial(\rho_1 \theta_1 + \rho_v(\theta_1, T)(\eta - \theta_1))}{\partial \tau} + (-\rho_1 \theta_1 k_1(\theta_1) p_1(\theta_1) - D_v(\theta_1, T) \theta_v - \rho_v(\theta_1, T)) = 0 \quad (1)$$

$$\rho c_p(\theta_1, \theta_i) \frac{\partial T}{\partial \tau} + h_{\text{vap}}(T) \left(-(-\rho_1 \theta_1 k_1(\theta_1) p_1(\theta_1)) - \frac{\partial(\rho_1 \theta_1)}{\partial \tau} \right) = (\lambda_{\text{eff}}(\theta_1, \theta_i) T \quad (2)$$

对于室内空气,能量变化为与墙表面换热量、窗换热量和室内热源或冷源所需能量之和;湿量变化为墙表面散湿量和室内空调加湿或去湿量之和。质量和能量守恒方程分别为

$$\rho c V \frac{\partial T_i}{\partial \tau} = \sum_j A_j \alpha (T_j - T_i) + K_w A_w (T_o - T_i) + \dot{Q}_{\text{il}} \quad (3)$$

$$V \frac{d\theta_i}{d\tau} = \sum_j A_j \dot{g}_{w,j} + \theta_{\text{HVAC}} \quad (4)$$

式(1)~(4)中 θ 为体积含湿量; ρ 为密度, kg/m^3 ; 下标 l, v, i 分别表示水的液相、气相和固相; η 为多孔建筑材料的孔隙率; k_1 为液态水的渗透系数, $\text{m}^2/(\text{s} \cdot \text{Pa})$; D_v 为蒸汽渗透系数, m^2/s ; T 为围护结构内温度, K ; T_i , T_o 和 T_j 分别为室内外温度和围护结构内表面温度, K ; h_{vap} 为液态水的蒸发潜热, J/kg ; τ 为时间, s ; V 为房间体积, m^3 ; A_j 为围护结构内表面面积, m^2 ; θ_{HVAC} 为空调系统加湿量, kg/s ; $\dot{Q}_{\text{il}}$ 为湿内热源散热量, J/s ; $\dot{g}_{w,j}$ 为围护结构内表面散湿量, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; p_1 为多孔介质内液态水的压力, Pa ; α 为表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; λ_{eff} 为多孔介质有效导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; K_w 为外窗传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; A_w 为外窗面积, m^2 。

模拟房间的外墙为北向墙体,房间高 3.5 m。有一外窗,尺寸为 1.8 m × 1.5 m,外墙的面积为 11.3 m²,如图 1 所示。为了更好地体现外围护结构的热质耦合传递对建筑能耗的影响,假设房间的内墙和上下楼板均为隔热隔湿的,只考虑北外墙的传热传湿以及外窗的传热。室内产湿量为 0,无通风换气,只依靠空调加热或冷却、加湿或除湿。夏季室内温度不高于 26 °C,冬季不低于 18 °C,相对湿度保持在 40%~60%。

室外条件选择哈尔滨地区 1991—2000 年的室

响。

1 模拟方程及模拟条件

由于实际建筑物的墙体的高度、宽度远大于厚度,可以认为墙体内的传热传质是一维的。运用 Whitaker 体积平均法来推导围护结构的热质传递方程,分别为

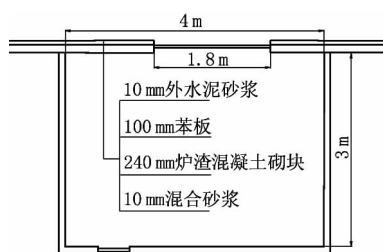


图 1 模拟房间平面图

外月平均温度和月平均相对湿度,如图 2,3 所示,初始室外温度为 295 K,初始体积含湿量取炉渣混凝土砌块的实测值。模拟从 6 月中旬开始,模拟时间为 10 a。

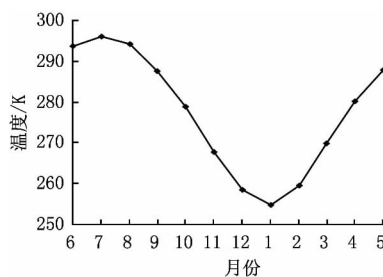


图 2 哈尔滨地区室外月平均温度

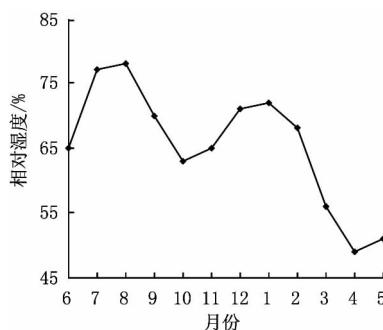


图 3 哈尔滨地区室外月平均相对湿度

2 模拟结果

为和实际情况更加吻合,模拟时墙主体先干燥

1 个月,此时取室内条件与室外条件相同(假设建筑还未安装外窗,且为北向墙体,因此可看作室内外温湿度条件相同),之后安装 100 mm 厚的聚乙烯苯板外保温层,本文的模拟结果均为加外保温层之后的结果。图 4 为围护结构多孔介质内平均体积含湿量随时间的变化,随着围护结构的不断干燥,平均体积含湿量呈螺旋式降低,第 1 年下降最为明显,尤其是前几个月,到第 4 年后,其内部的平均体积含湿量基本处于稳定状态,年变化量很小。之所以呈螺旋式降低,主要是由于在寒冷的冬季,围护结构内一部分液态水会结冰,从而使体积含湿量出现暂时的降低;室外温度升高到冻结温度以上,围护结构多孔介质内的冰便会融化,平均的体积含湿量又会增加。但随着围护结构的不断干燥,平均体积含湿量整体呈下降趋势。

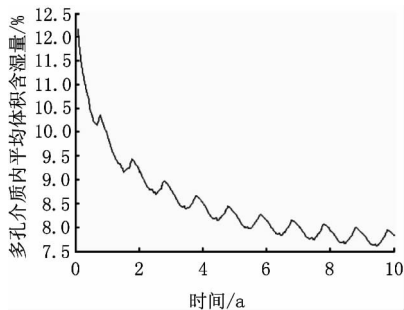


图4 围护结构内平均体积含湿量

由于模拟时室外参数选择的是月平均值,夏季室外的最高月平均温度也不高于 26°C ,因此夏季无空调冷负荷;冬季室内保持 18°C ,图 5 为室内温度的模拟结果,由于新建建筑第 1 年围护结构内表面向室内的散湿量较大,蒸发潜热量也较大,因此第 1 年的夏季在相同的室外气候条件下室内最高温度较低。

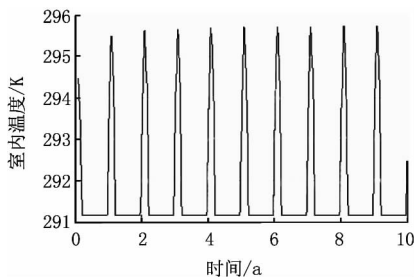


图5 室内温度模拟结果

图 6 为新建建筑模拟房间供暖负荷变化图,包括围护结构墙体负荷、外窗的负荷和围护结构内表

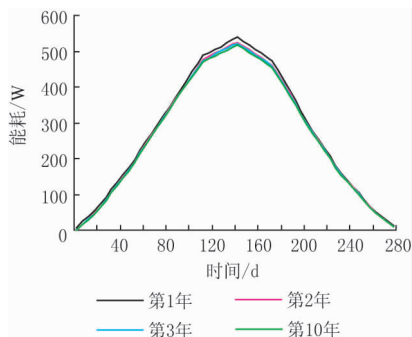


图6 模拟房间冬季供暖能耗

面水分蒸发的潜热负荷。从图中可以看出,第 1 年的供暖负荷最大,到第 2 年以后就变化不大。若以第 10 年为对比标准,第 1 年将增加供暖负荷 4%,第 2 年增加 1.5%。由于冬季外窗的热负荷相对较大,不能从图中明显看出每年的供暖负荷因围护结构热质耦合传递而导致的增加量。因此为了单独分析围护结构热负荷的变化情况,需要对围护结构传热系数的变化进行分析。由于冰的导热系数是水的 4 倍,在寒冷地区,当多孔介质内某点温度降到该点含湿量冻结温度后便会结冰,增加了围护结构的传热系数,因此也就增加了建筑的冬季供暖能耗。图 7 为新建建筑围护结构冬季供暖期传热系数的变化对比图,从图中可以看出,第 1 年由于含湿量较大,结冰量也就相对较大,其传热系数也

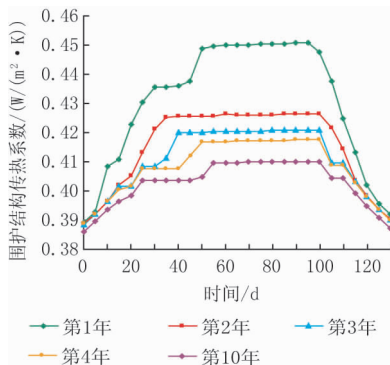


图7 围护结构冬季供暖期传热系数对比

最大。经过 1 年的干燥,第 2 年冬季结冰量明显减少,传热系数下降幅度也较大,到第 4 年以后,围护结构基本达到准稳态,传热系数变化不大。若以第 10 年冬季的最大传热系数 $0.41235 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 为对比标准,则围护结构第 1 年要增加供暖能耗约 9.9%,第 2 年约增加 4%,才能达到预定的室内温度;若以第 10 年夏季的传热系数 $0.3862 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 为设计标准,则围护结构第 1 年要增加供

暖能耗 16.7%, 第 2 年要增加 10.4%, 才能达到室内的设计温度。若供暖能耗仍要按照设计供给, 则室内温度达不到标准, 严重影响居住者的舒适性。

图 8 为围护结构的传热系数逐年变化图, 冬季的传热系数由于围护结构的干燥和结冰量的减少而不断降低, 夏季在第 2 到第 5 年间虽然含湿量不断下降但传热系数却没有多大变化, 主要是由于围护结构保温层受潮引起的。炉渣混凝土砌块的初始含湿量大, 即使墙主体先干燥了一个月, 然而由于保温层的蒸汽渗透阻很大, 因此随着炉渣混凝土砌块内水分不断向外迁移却无法有效扩散而导致保温层受潮, 降低了其保温性能。

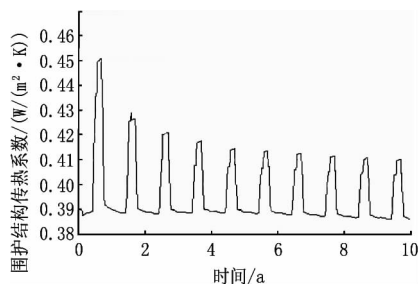


图 8 围护结构传热系数的变化

增加保温层后, 保温层较大的蒸汽渗透阻降低了外表面的散失量, 增加了内表面的散失量, 不但减缓了围护结构承重层的干燥进程, 而且也增加了室内的湿负荷。随着围护结构多孔介质内液态体积含湿量的减小, 围护结构内表面的散湿量下降。图 9 为夏季围护结构内表面散湿量对比图, 图 10 为围护结构的热质传递引起的建筑湿负荷的逐年变化图。由于内外表面强大的对流扩散, 散湿量也很大, 内外表面首先得到干燥, 因此围护结构内表面第 1 年尤其是前几个月的散湿量最大, 第 1 年的湿负荷也是最大的, 这就是居住者在入住第 1 年

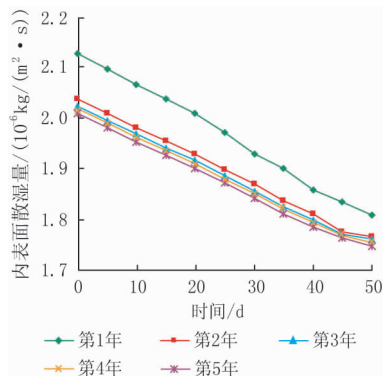


图 9 围护结构内表面散湿量对比

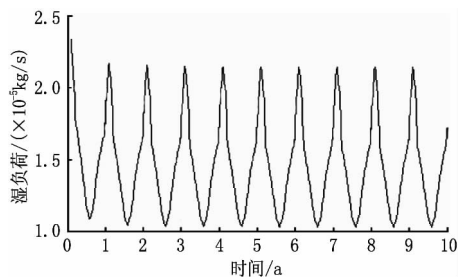


图 10 建筑湿负荷逐年变化图

会感觉室内阴冷潮湿的原因。之后, 内部含湿量传递减慢, 内表面散湿量下降得也很快, 到第 3 年以后, 围护结构内表面的散湿量已经平稳且变化不大, 湿负荷也基本呈年周期性变化。

3 结论

3.1 新建围护结构在干燥过程中体积含湿量随着围护结构的不断干燥呈螺旋式降低, 第 1 年下降最明显, 尤其是前几个月; 到第 4 年后, 其内部的平均液态体积分数基本处于稳定状态, 年变化量很小。

3.2 若以模拟建筑第 10 年的供暖负荷为对比标准, 新建建筑第 1 年将增加供暖负荷 4%; 若只对比围护结构冬季热负荷, 随着冬季围护结构内水分的凝结导致传热系数的升高, 增加了冬季建筑的供热能耗; 若以第 10 年夏季围护结构的传热系数为标准, 新建建筑第 1 年增加的围护结构热负荷高达 16.7%。若以第 10 年冬季围护结构最大传热系数为标准, 第 1 年将增加 9.9%。

3.3 新建建筑围护结构在干燥第 1 年, 尤其是前几个月, 对室内湿负荷的影响最为明显; 到第 3 年以后, 围护结构内表面的散湿量已经平稳且变化不大, 湿负荷也基本呈年周期性变化。

参考文献:

- [1] Liesen R J, Pedersen C O. Modelling the energy effects of combined heat and mass transfer in building elements: part 1—theory [G] // ASHRAE Trans, 1999, 105(2): 941–953
- [2] Liesen R J, Pedersen C O. Modelling the energy effects of combined heat and mass transfer in building elements: part 2—application to a building energy analysis program and examples [G] // ASHRAE Trans, 1999, 105(2): 954–961
- [3] Gawin D J, Aldona Wieckowska. Effect of moisture on hygrothermal and energy performance of a building with cellular concrete walls in climatic conditions of Poland [G] // ASHRAE Trans, 2004, 110(2): 795–803