

墙体节能效果的影响因素研究

唐响亮¹, 康光宗²

(1. 湖南文理学院 土木建筑工程学院, 湖南 常德 415000; 2. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:在夹芯墙节能检测试验中,分析养护周期对墙体传热系数的影响,发现含水率是最重要的影响因素,通过对夹芯墙体传热系数试验结果和理论计算结果的对比分析后发现,两者之间存在差别的原因是试验操作误差和理论计算的简化,据此提出夹芯墙体传热系数试验中减小影响因素的 3 种改进措施,为夹芯墙体在夏热冬冷地区的研究提供参考。

关键词:建筑节能;夹芯墙;传热系数;夏热冬冷地区

中图分类号:TU362 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-9102(2013)04-0055-05

随着人类社会的快速发展,特别是进入 21 世纪以后,能源对人类发展有着越来越显著的影响,人类对能源的依赖也越来越重,因此,节能已成为人类的共识^[1-2]。

我国是一个能源消耗大国,而在能源消耗中,建筑耗能占了相当大的比例,因此,建筑节能已刻不容缓。根据我国的现有国情,国家颁布了建筑节能的具体标准,但实施效果并不理想^[3]。而且,我国建筑节能的实施存在着较明显的特点:北方寒冷地区比南方湿热地区建筑节能的推广使用更普及;一些采取了节能的建筑现场节能检测的结果(数据)达不到国家节能的标准(理论计算结果满足节能标准和要求)^[4]。针对这一特点,本次研究以夹芯墙体为对象,重点研究墙体热工性能的影响因素,据此分析原因并提出相应的改进措施,为节能墙体在我国夏热冬冷地区的推广和使用提供参考。

1 墙体热工性能计算基本理论

在墙体节能计算中,通常采用热惰性指标 D 值和传热系数 K 值来评价围护结构的热工性能是否符合节能要求^[5]。

传热系数 K 指围护结构两侧空气温差为 1 K

时,在单位时间通过单位面积围护结构的传热量,单位为 $W/m^2 \cdot K$ 。围护结构传热系数 K 值的计算。^[6]

1) 材料层热阻的计算

$$R = \delta/\lambda. \quad (1)$$

式中, R 为材料层的热阻, $(m^2 \cdot K)/W$; δ 为材料层的厚度, m ; λ 为材料的导热系数, $W/(m^2 \cdot K)$,查相关规范确定。

2) 多层材料外墙的总传热系数 K 值的计算

$$K = 1/R_0 = 1/(R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_e). \quad (2)$$

式中, R_1, R_2, \dots, R_n 为各层材料的热阻, R_i 为墙体内部表面换热阻, R_e 为墙体外部表面换热阻, R_0 为墙体的等效热阻, $(m^2 \cdot K)/W$ 。

2 夹芯墙热工性能的试验分析

1) 试验概括

试验所用材料:砌块为烧结多孔砖,尺寸为 240 mm × 115 mm × 90 mm;中间保温层材料是聚苯乙烯保温板,厚度为 40 mm;拉结筋直径为 8 mm,做成 Z 字型^[7];建筑施工常用水泥,砂和石灰;另外还有:鏹-铜电偶,热流计,黄油,导线,电烙铁,透明胶

布等.

试验设备包括:北京世纪建通科技发展有限公司生产的墙体热工性能检测设备,该检测装置由3部分组成:试件架,冷箱和热箱.试件架的开口面积为 1 m^2 ;冷箱的开口面积为 1 m^2 ,冷箱温度控制范围: $-10\text{ }^\circ\text{C} \sim$ 环境温度(环境温度在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 以下),箱内空气温度波动 $\leq \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$;热箱开口面积为 1 m^2 ,热箱温度控制范围:环境温度 $\sim 40\text{ }^\circ\text{C}$,连续可调,箱内空气温度波动 $\leq \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$.另有一架JTRG-II建筑热工温度与热流自动检测仪.

墙体采用对称夹芯,两边对称砌筑烧结多孔砖,中间夹有聚苯乙烯保温板,并按规范配有拉结筋,最后外面两边各粉刷一定厚度石灰砂浆.夹芯墙的施工严格按照《砌体结构设计规范》GB50003-2011中对夹芯保温墙体的施工规范进行,墙体的养护在自然条件下进行.

2) 试验原理

试验通过热箱对夹芯墙体加热,另一边冷箱对夹芯墙体制冷,致使夹芯墙体两边产生温差,通过两边墙体上的镍—铜电偶测出冷热面墙体的表面温

度,同时用热流计测出夹芯墙体在该温差下的热流值,最后运用理论公式算出该环境条件下夹芯墙体的传热系数.试验中,冷、热面墙体温度值以及热流值,均取墙体达到稳定状态后的平均值.

传热系数计算公式为

$$K = q / (T_1 - T_2). \quad (3)$$

式中, K 为传热系数; q 为热流平均值; T_1 为热箱面墙体表面各点温度的平均值; T_2 为冷箱面墙体表面各点温度的平均值.

试验中,墙体的养护以及试验过程严格按照相关规范进行.

试验过程中,墙体热面的环境温度为 $35\text{ }^\circ\text{C}$,墙体冷面的环境温度为 $15\text{ }^\circ\text{C}$,箱内空气温度波动 $\leq \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$.分三个阶段进行试验,第一阶段:墙体养护14 d;第二阶段:墙体养护21 d;第三阶段:墙体养护28 d.试验进行以后,当通过监测发现试验数据已经达到稳定状态时(48 h左右),试验即可结束.

试验过程如下图所示:



图1 墙体施工过程

Fig.1 Wall construction process

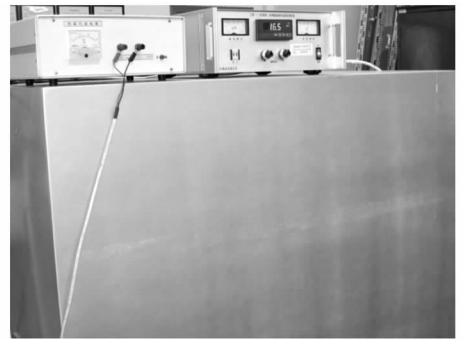


图2 试验过程

Fig.2 Testing process

表1 试验结果计算

Tab.1 The test results

墙体类型	墙体外表面稳定温度平均值/ $^\circ\text{C}$	墙体内表面稳定温度平均值/ $^\circ\text{C}$	墙体热流传递稳定平均值/ (W/m^2)	传热系数计算/ $(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$
养护14 d	42.3	24.3	22.9	1.27
养护21 d	42.3	24.1	19.8	1.09
养护28 d	42.5	24.0	17.8	0.96

由 $R = 1/K, R_i + R_e = 0.15$,可分别算出养护14 d,21 d,28 d墙体结构的传热系数 K 为:1.067,

0.937,0.839 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.当 $K \leq 1.0$,即满足夏热冬冷地区的建筑节能要求.

对比以上试验结果发现墙体随养护天数的不同,测出的传热系数也不一样,其中养护 14 d 时,测出墙体的传热系数为 $1.27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 养护 21 d 后墙体的传热系数减小为 $1.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 传热系数减小了 14.2%; 而养护 28 d 后墙体的传热系数已下降到 $0.96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 在养护 21 d 的基础上, 传热系数减小了 11.9%。一般以 28 d 为养护标准, 达到该养护天数后墙体的传热系数已达到稳定状态(实际还会有较小变化), 养护天数越少, 墙体

的传热系数越大. 这是因为墙体砌筑后, 砂浆中含有大量水分, 一般情况下^[8], 水的导热系数 $\lambda = 0.580 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 比静态空气的导热系数 $\lambda = 0.026 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 大 20 多倍, 这势必会增大墙体的传热系数. 做墙体的传热系数试验时, 墙体的养护天数通常不能少于 28 d, 且实验室中所测得的干试样材料的导热系数不能直接用于维护结构的理论热工计算, 应根据当地气候条件和施工条件选取一定湿度下的导热系数.

表 2 理论结果计算

Tab. 2 The theoretical calculation results

构造简图	材料组成	厚度/m	材料导热系数 /($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)	热阻/ (($\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$)
	1. 石灰砂浆	0.010	0.87	0.011
	2. 烧结多孔砖	0.115	0.58	0.198
	3. 聚苯乙烯保温板	0.040	0.05	0.800
	4. 烧结多孔砖	0.115	0.58	0.198
	5. 石灰砂浆	0.010	0.87	0.011

$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 1.218$, 则传热系数 $K = 1/R = 0.821 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 加上 $R_i + R_e = 0.15$, 可得墙体结构的传热系数 $K = 0.731 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $K \leq 1.0$, 满足夏热冬冷地区的建筑节能要求.

对比试验结果和理论计算结果, 发现两者之间存在不一致性, 理论值比试验值要小一些, 即节能效果好些.

3 试验和理论计算差别分析

试验中测得墙体的传热系数为 $K = 0.960 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (28 d), 理论计算出的墙体传热系数 $K = 0.821 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 两者之间存在较大的差别, 通过研究与分析, 发现差别产生的原因主要包括以下几个方面:

1) 理论计算时墙体材料的导热系数值是按《建筑节能标准规范》取的, 规范中材料的导热系数值是综合考虑全国不同地区的差别后取的平均值, 其只是一个代表值, 不能是试验中的代替值, 也就是试验中所使用的砂浆、烧结多孔砖、聚苯乙烯保温板等材料的导热系数和规范值不会相同, 两者之间存在差别.

2) 理论计算时视夹芯墙体为理想状态, 各材料层均看成简单的叠加, 忽略了一些影响因素, 没有考虑墙体砌筑时的实际情况. 如烧结空心砖的砌筑过程中, 没有考虑墙体竖直面砂浆的影响; 视墙体四周均为绝缘状态, 与实际情况有出入.

3) 试验过程中存在着诸多影响墙体传热系数的因素. 夹芯墙体中的拉结筋存在热桥效应, 聚苯乙烯保温板之间存在连接缝隙, 墙体组成材料含有一定水分, 这些影响因素的存在势必会增大墙体的传热系数. 墙体不同养护天数, 其传热系数有很大的差别, 说明墙体含水率对其导热系数的影响, 通常情况下该影响可能起主导作用^[9]. 即使墙体养护时间满足要求, 墙体组成材料的含水量仍然存在, 不能完全消除墙体组成材料的含水量(墙体拆除时称量). 有关材料含水率对其导热性能的影响, 表 3 例出了相关数据和结果^[10].

4) 试验过程中的施工和操作误差的存在. 墙体的砂浆面层不能保证绝对的平整, 热流计和鏹—铜电偶片的粘贴时可能存在着空气等, 这些因素也能导致试验结果和理论计算结果不一致.

以上影响因素中, 有些可以消除, 有些是无法避

免的,这就说明试验结果一般和理论计算结果是不一样的,在保证试验正确性和精度的条件下,通常试

验结果更能反映结果的真实状况.

表3 不同含水率时材料的导热系数值

Tab.3 The thermal conductivity of materials in different moisture content

材料类型	材料含水率/%	导热系数/(W/(m ² ·K))	材料含水率/%	导热系数/(W/(m ² ·K))
砌筑砂浆	0.00	0.632 1	2.96	0.709 2
	5.82	0.773 5	7.97	0.810 4
	10.41	0.846 1	12.82	0.873 0
烧结多孔砖	0.00	0.383 6	1.95	0.423 5
	4.51	0.461 2	6.27	0.487 0
	9.70	0.516 4	12.21	0.532 8

通过分析研究,建议通过以下措施对试验墙体进行改进,使试验检测结果和理论计算结果差别的尽可能的减小:

1)夹芯墙体施工过程中严格按相关规范进行,灰浆要饱满,拉结筋不能通长布置,以占墙厚的2/3为宜,聚苯乙烯保温板的连接缝为斜向45度,与墙体的连接要紧密,不能有空气层,砂浆层要尽可能的平整,按标准进行养护;

2)为减小墙体中水珠对聚苯乙烯保温板的影响,可以在聚苯乙烯保温板和冷面墙体之间设一结构允许的空气层,但空气层不能破坏墙体的整体力学性能.墙体节能效果检测前,对墙体的养护时间一定要充分,尽可能的降低墙体组成材料内部的含水量;

3)试验进行之前,对试验中要用到的材料进行导热系数试验得测量,理论计算时,各材料的导热系数根据试验测得的数据,并结合当地气候条件和施工条件选取一定湿度下(含水率)材料的导热系数.

4 结论

1)夹芯墙体在夏热冬冷地区可以达到建筑节能要求,具有可行性.但在该地区进行墙体节能热工试验时,不能简单照搬北方寒冷地区夹芯墙研究模式,必须考虑夏热冬冷地区夏季高温潮湿、冬季寒冷干燥的气候特点,在材料选用和墙体结构上采取改进措施.

2)夹芯墙体传热系数试验结果和理论计算结果存在着差别.这种差别产生的原因为有多种影响因素存在,可以通过对墙体结构方式的改进、养护时

间的延长、试验操作的精细等手段来缩小,但无法消除.节能建筑进行墙体构造设计时,应考虑理论计算结果偏小的影响,建议采用用理论计算结果乘以增大系数的方法来评价墙体节能的标准,以使建筑投入使用后,墙体现场的热工性能检测结果满足我国的建筑节能标准.

3)夹芯墙在夏热冬冷地区的研究还处在起步阶段,同时又有广阔的前景.该地区独特的气候特点,使得人们取暖降温的时间长达8个月左右,这为夹芯节能墙体的研究提供了巨大空间,但该节能建筑的初期成本投入要高于一般墙体建筑(长期成本远低于普通墙体),这就要求人们转变观念,用发展的眼光去看建筑节能,如此才能促进我国建筑节能的普及和发展.

参考文献:

[1] Mousas M, Bilal A A. Some prospects of energy saving in buildings [J]. Energy Conversion and Management, 2001, 3(16): 93-95.

[2] Lukic N. The transient house heating condition - the building envelope response factor (BER) [J]. Renewable Energy, 2003, 7(19): 47-49.

[3] 温华. 多层建筑围护结构外墙角热桥传热分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.

Wen H. The analysis of heat transfer in thermal bridge of external wall corner in the enclosure of multi-story building [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007.

[4] 付祥钊. 夏热冬冷地区建筑节能技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

Fu X Z. The technology of building energy conservation in the hot summer and cold winter zone [M]. Beijing: China Building Industry

Press,2005.

[5] 柳孝图. 建筑物理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

Liu X T. Architectural physics [M]. Beijing: China Building Industry Press,2008.

[6] Pitts J. Heat transfer [M]. People's Education Press,1992.

[7] 刘莉,李宏男,张景玮. 保温夹芯节能墙体抗震分析[J]. 地震工程与工程振动,2002(1):79-84.

Liu L,Li H N,Zhang J W. Aseismic analysis of energy conservation cavity wall[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2002(1):79-84.

[8] 田斌守. 建筑节能检测技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

Tian B S. The test technology of building energy conservation[M]. Beijing:China Building Industry Press,2008.

[9] 徐婷婷. 墙材含水率对墙体热工性能的影响[D]. 杭州:浙江大学,2010.

Xu T T. Researchs on the effects of moisture content on thermal performance of walls[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2010.

[10] 唐响亮. 夏热冬冷地区夹心墙的热湿性研究[D]. 湘潭:湖南科技大学,2011.

Tang X L. Research on the thermal and moisture performance of cavity wall in hot summer and cold winter zone[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology,2011.

Research on the influencing factors of wall energy – saving effect

TANG Xiang – liang¹, KANG Guang – zong²

(1. College of Architecture and Civil Engineering ,Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China;

2. Schools of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Through the cavity wall energy – saving test in the experiment, The influence of the maintenance period to the wall of heat transfer coefficient was analyzed, it is found that moisture content was the most important influencing factor. Through contrast to the result of the cavity wall of heat transfer coefficient test and the theoretical calculation, the reason of the different was analyzed, what was the test operation error and the simplified theoretical calculation, and proposed three corrective measures to reduce the influencing factors of the cavity wall heat transfer coefficient experiment, provided a reference for the cavity wall research in the hot summer and cold winter zone.

Key words: building energy conservation; cavity wall; heat transfer coefficient; the hot summer and cold winter zone