

复合陶粒混凝土砌块自保温墙体的热工性能分析

曾 理¹, 孙林柱²

(1. 温州市建筑设计研究院 绿色建筑中心, 浙江 温州 325000;
2. 温州大学 建筑与土木工程学院, 浙江 温州 325035)

摘 要: 以温州大学E区二期学生公寓为试点工程, 采用复合陶粒混凝土砌块为主要建筑材料, 对自保温外墙的围护结构进行了节能设计。对试点工程热工性能进行了现场测试, 并对测试数据进行了分析评价, 结果表明: 依据DB 33/1015—2003浙江省《居住建筑节能设计标准》的规定, 该试点工程可达到建筑节能50%的设计要求。

关键词: 复合陶粒混凝土砌块; 自保温墙体; 热工性能

中图分类号: TU111.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)06-0061-05

Thermal Performance Analysis on Insulation Wall Made of Composite Ceramic Concrete Block

Zeng Li¹, Sun Linzhu²

(1. Wenzhou Architectural Design & Research Instiyute Green Building Center, Wenzhou Zhejiang 325000, China;
2. School of Architecture and Civil Engineering, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang 325035, China)

Abstract: Taking student apartments (the second period of E area) in Wenzhou University as a pilot project, designed an energy efficient envelope structure for self-insulation wall made of composite ceramic concrete block. Conducted on-site tests on its thermal performance and made an analysis and evaluation on the tested data. The results show that According to DB33/1015—2003 "Design standards for energy efficiency of residential buildings" of Zhejiang province, the project has reached the design requirement of 50% energy saving.

Keywords: composite ceramic concrete block; itself- insulation wall; thermal performance

0 引言

为了推进温州地区墙体材料改革, 节约土地资源, 利用工业废料逐步取代破坏耕地且耗能较高的黏土砖, 建筑行业科研人员对替代墙体材料进行了试验研究^[1-5], 其中陶粒混凝土砌块和复合陶粒混凝土砌块以其质轻、多孔、保温性能好、强度可靠、便于施工、综合造价低等优点逐渐受到建设、设计、施工等单位的青睐。为了推动温州地区墙体材料改

革, 促进陶粒混凝土砌块的大面积推广和应用, 确保建筑施工质量, 需针对本地区实际情况, 制定适合于本地区砌体施工的相关技术规范。为此, 温州市建设局和市墙改办委托温州大学节能减排研究院建筑节能与墙材革新研究所, 进行陶粒混凝土砌块和复合陶粒混凝土砌块推广应用中关键技术的研究。其相关研究内容主要有: 1) 改善陶粒混凝土本身性能, 提高陶粒混凝土的质量; 2) 建立适应当地

收稿日期: 2010-11-29

基金项目: 温州市社会发展基金资助重大项目(S20090001), 浙江省科技计划基金资助项目(2006C33055)

作者简介: 曾 理(1980-), 男, 浙江温州人, 温州市建筑设计研究院建筑师, 主要研究方向为绿色建筑及建筑节能,

E-mail: kg3@163.com

的施工技术规定,规范施工工艺;3)研究配套的砌筑和抹面砂浆,防止墙体裂缝和空鼓;4)推广建筑节能设计,提高墙体隔热保温的效果。本文仅对复合陶粒混凝土砌块建筑外墙的热工性能进行测试和分析。

1 工程概况

本课题组选择温州大学E区二期学生公寓作为试点项目。该项目为6层框架结构建筑,总建筑面积为38 044 m²,建筑工程等级为二级,设计使用年限50 a,建筑高度为21.30 m,防火设计为耐火等级二级,于2008年9月通过课题验收,并于2008年10月竣工投入使用。该项目依据建筑节能50%的标准进行设计,外墙采用240 mm厚复合陶粒混凝土砌块(以下简称复合陶粒砌块),其规格为390 mm×240 mm×190 mm;门窗、屋面等均按标准采用相应的节能措施(在此不作分析)。为了对复合陶粒砌块在实际工程应用中的热工性能进行论证,对该项目外墙的热工性能参数进行了现场测试,同时进行理论计算和分析。

2 围护结构节能设计

2.1 材料选择

在本节能设计项目中,外墙采用复合陶粒砌块,其结构如图1所示。



图1 复合陶粒砌块

Fig. 1 Composite ceramic concrete block

复合陶粒砌块与同类型材料的性能比较参数见表1。复合陶粒混凝土小型空心砌块规格尺寸符合现行国家标准GB/T15229—2002《轻集料混凝土小型空心砌块》的要求^[6]。强度等级不小于MU5.0,实心率大于75%,砌块壁厚不小于70 mm,密度等级不大于1 200 kg/m³,砌块壁厚不应小于70 mm,吸水率不应大于20%,砌块施工时的相对含水率不大于40%,干缩率不大于0.045%。

表1 墙体材料的性能比较

Table 1 The performance comparison of wall materials

材料类型	干密度 / (kg·m ⁻³)	强度等级	规格尺寸/mm		
			长	宽(厚)	高
P型(KP1型) 烧结多孔砖	1 400	MU30, MU25	240	115	90
		MU20, MU15	178		
		MU10			
砂加气混凝土 砌块(B07)	≤ 750	≥ A5.0	600	50,75	240
				100,120	250
复合陶粒 混凝土砌块	900	≥ MU5.0	390	200,240	190
				260,280	

复合陶粒砌块属于陶粒混凝土小型空心砌块中较为典型的一种,其密度属于中等,其物理热工性能处于中上水平。因为使用了聚苯乙烯泡沫作为空心部分的填充物,施工时并不会像其他空心砌块那样出现大量浪费砂浆的情况。另外从砌筑流程来看,加气混凝土砌块需要专用砌筑砂浆及专用抹面砂浆进行施工,而复合陶粒砌块可以直接使用普通砂浆或干粉砂浆,也可以采用特种砂浆进行施工。当然,如果使用陶砂配套砂浆,则在热工性能方面会获得更多提升。

2.2 结构设计

本试点项目设计外墙厚度为240 mm,采用复合陶粒砌块,砌块规格为390 mm×240 mm×190 mm,其强度等级采用MU5.0,外墙砌体外表面满铺钢丝网或耐碱玻纤网格布一层,其余部位凡不同墙体材料交接处均铺设500 mm宽钢丝网或耐碱玻纤布一层。围护结构的热工性能设计参数如表2所示(以9~10号楼数据为例)。

表2 外墙主体热工性能参数

Table 2 Thermal performance parameters of the external wall

材料名称	厚度 / mm	导热系数 / (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	蓄热系数 / (W·m ² ·K ⁻¹)	热阻值 / (m ² ·K·W ⁻¹)	热惰性 指标
抗裂砂浆 (网格布)	5	0.93	11.31	0.005	0.06
混合砂浆	20	0.87	10.75	0.023	0.25
复合陶粒 砌块	240	0.24	3.71	1.000	4.45
混合砂浆	20	0.87	10.75	0.023	0.25

据表2可知,墙主体传热阻值为 $R_0=R_i+\sum R+R_e=1.201\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ (其中 R_i 为内表面换热阻,取 $0.11\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$, $\sum R$ 为各层材料热阻之和, R_e 为外表面换热阻,取 $0.04\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)^[7]。墙主体的传热系数为 $K=1/R_0=0.83\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 。

根据围护结构设计给出的参数,计算外墙的平

均传热系数,结果见表3。

表3 外墙平均传热系数计算

Table 3 The calculation of average heat transfer coefficient of the outer walls

构造类型	面积/m ²	百分比/%	传热系数/ (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	热惰性指标
墙主体	1 715.80	66.26	0.83	5.00
柱	227.26	8.78	2.32	4.51
梁	387.07	14.95	2.95	2.93
门窗过梁	259.20	10.01	2.95	2.93

据表3计算可得:外墙平均传热系数 $K=1.49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,外墙平均热惰性指标 $D=4.44$,而根据DB33/1015—2003浙江省《居住建筑节能设计标准》中的规定: $D>2.5$, $K \leq 1.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,可知设计参数符合标准要求^[8]。

据设计计算可知,若按常规工程中使用P型(KP1型)烧结多孔砖作为外墙材料,则外墙平均传热系数将达到 $2.02 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,超出规范允许范围^[8]。若将陶砂砂浆作为外墙外侧的配套抹面砂浆替代混合砂浆使用,则外墙平均传热系数可降至 $1.29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,将优于规范要求^[8]。

3 墙体热工性能测试

3.1 测试方法和原理

目前测试围护结构传热系数的方法主要有热流计法、热箱法、红外热像仪法^[9],本工程中采用的是较成熟的热流计法。热流计是建筑节能测定中的常用仪表,本工程中采用热流计测量构件的热流值,温度传感器测量构件的表面温度,通过计算得出其热阻值和传热系数。

检测基本原理为:在被测部位布置热流计,在热流计周围的内外表面布置热电偶,建筑物围护结构内外侧的温度用布置在被测墙体内部的热电偶进行测量,热流量可通过在该围护结构表面安装平板状热流计测量,由于热流计热阻一般比被测围护结构的热阻小很多,当被测围护结构背面贴上热流计后,传热工况影响较小,可忽略不计。因而在稳定状态下,流过热流计的热流量亦为被测围护结构的热流量。将热流计、热电偶检测的围护结构热流量和其内、外表面温度,通过导线把测试信号直接输入温度热流检测仪,并通过计算机进行数据采集;当传热过程稳定后,开始测量。为使测试结果准确,测试时应在连续采暖稳定的房间中进行。

一般来说,室内外温差愈大,其测量误差相对愈

小,所得结果亦较为精确,其缺点是受季节限制。该方法是目前国内外常用的现场测试方法。

3.2 测试设备和布置

主要测试设备为北京东方奥达仪器设备有限公司生产的JW-II型建筑热工温度与热流自动测试系统,其中包括WRC铜-康铜热电偶式温度传感器、规格为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 的热流计以及计算机。当表面材料凝固和干燥后,用乳胶与水泥拌合物或者其他黏结剂将铜-康铜热电偶温度传感元件粘贴在试件的冷热表面上,同时用黄油把热流计粘贴在试件的热表面上,粘贴热电偶和热流计时一定要贴紧,防止出现空隙,否则会严重影响检测结果。在外墙的内表面上,布置7块热流计,在每个热流计周围布置2个热电偶,对应的冷表面上也相应的布置2个热电偶,热电偶的表面覆盖,避免阳光直接照射,同时在内外空气中布置2个热电偶,用来观察墙体内外表面及空气中的温度状况。测试设备布置如图2所示。

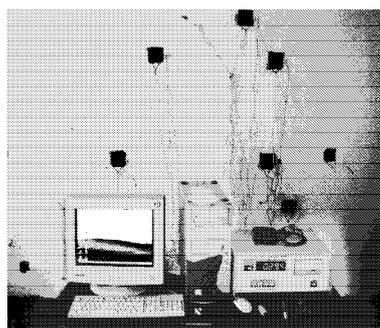


图2 现场测试设备布置图

Fig. 2 The layout of the field test equipment

3.3 测试数据的采集

数据的采集要持续到墙体进入热稳定状态,不同的材料构件进入稳定状态的时间不同,重质的建筑构件需要较长时间才能达到稳定状态。监测仪器每隔30 min进行数据的采集,记录每一点的温度和热流量,数据采集过程如图3所示。



图3 数据采集过程

Fig. 3 The process of the data collection

4 测试结果分析及评价

对墙体进行了6 d连续测试,某一观测点的测试结果见图4~6。

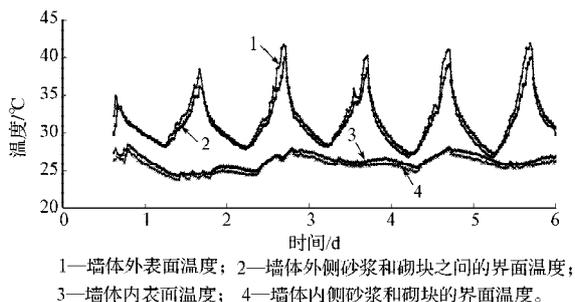


图4 墙体各层界面实测温度

Fig. 4 The measured temperature of the interface of the different wall layers

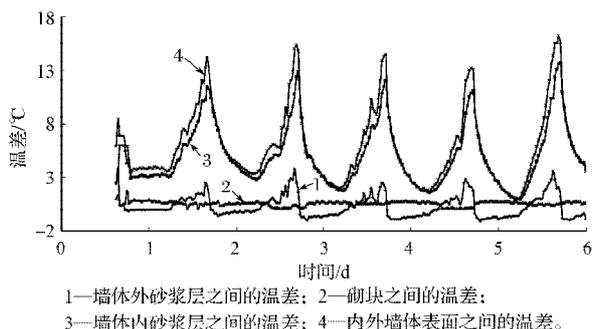


图5 墙体各层间温差曲线

Fig. 5 The curve of temperature difference among the different wall layers

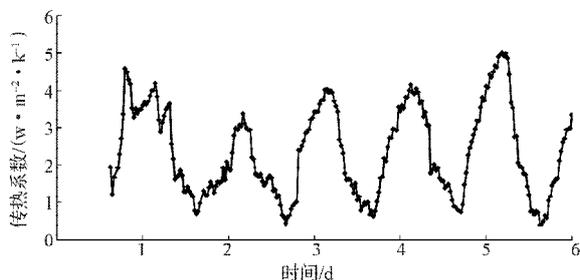


图6 墙体传热系数随时间的变化

Fig. 6 The change of Wall heat transfer coefficient with time

对图4中墙体各层界面实测温度数据进行分析计算, 可得出图5墙体各层间温差曲线, 据墙体内外表面最大温差的平均值及热流量计在对应时刻的流量值 Q , 可得墙体传热阻值 R_0 , 墙体传热系数 $K=1/R_0$, 计算结果见表4。

表4 实测墙体热工参数

Table 4 The measured thermal parameters of the wall

项目	测量值
墙体外表面温度 $T_1/^\circ\text{C}$	40.43
墙体内表面温度 $T_2/^\circ\text{C}$	25.98
墙体内外表面温差 $/^\circ\text{C}$	14.44
墙体热流量值 $Q/(\text{W}\cdot\text{m}^{-2})$	11.862 6
墙体传热阻值 $R_0/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1})$	1.367 34
外墙传热系数 $K/(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1})$	0.731 4

据表4可知, 实测复合陶粒砌块自保温墙体的

传热系数为 $0.731 4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, 能够满足节能50%的目标要求^[8]。

从表2和表4可知, 外墙主体传热阻 R_0 的理论值为 $1.201 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$, 实测值为 $1.367 34 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$, 则其误差为13.9%。理论设计值与实际测量值均能满足DB33/1015—2003浙江省《居住建筑节能设计标准》的要求^[8]。理论设计值与实际测量值存在一定误差, 且实际测量值优于理论计算值, 主要原因是修正系数1.2^[10]取值偏大, 若将修正系数取值设为1.1, 则可将误差控制在5%左右; 其次是测试时间较短, 且仅选择了夏季测试, 没有在冬季进行测试, 对测试结果有一定影响。

5 结论

1) 通过理论设计值与实际测量值的比较, 两者误差在可接受范围内, 检测论证结果基本正确。

2) 通过示范工程项目的试点, 及时总结新型墙体材料的生产、施工实践经验, 确保建筑工程质量, 为复合陶粒砌块的推广应用提供可靠的技术参考。

3) 复合陶粒砌块自保温墙体可替代常规的黏土多孔砖聚苯颗粒保温浆料外保温墙体, 对“禁实”工作的深入开展及墙体材料的节能减排和推广应用具有重大的现实意义。

参考文献:

- [1] 范晓鸣, 黄兴田, 方国标, 等. Z型自保温混凝土空心砌块热工性能分析[J]. 墙材革新与建筑节能, 2009(1): 31-33.
Fan Xiaoming, Huang Xingtian, Fang Guobiao, et al. The Thermal Insulation Performance Analysis of Z-Concrete Hollow Block[J]. Wall Materials Innovation & Energy Saving in Buildings, 2009(1): 31-33.
- [2] 陈旭能, 彭红圃. 混凝土小型空心砌块热工性能试验研究[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2007(1): 21-27.
Chen Xuneng, Peng Hongpu. The Experimental Study of Thermal Performance of the Small Concrete Hollow Block[J]. Building Block & Block Construction, 2007(1): 21-27.
- [3] 赵立群, 陈宁, 刘国亮, 等. 四排孔陶粒混凝土小型空心砌块墙体热工性能研究[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2009(5): 16-17.
Zhao Liqun, Chen Ning, Liu Guoliang, et al. The Experimental Study of Thermal Performance of Four Rows of Holes Ceramic Concrete Hollow Block Wall[J]. Building Block & Block Construction, 2009(5): 16-17.
- [4] 何水清. 蒸压加气混凝土砌块的热工性能与分析[J]. 住宅科技, 2009(12): 36-39.

- He Shuiqing. An Analysis of the Thermal Performance of Autoclaved Aerated Concrete Blocks[J]. Housing Science, 2009(12): 36-39.
- [5] 贾阁森, 严捍东. 石渣粉混凝土空心砌块墙体热工性能研究[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(4): 250-253.
- Jia Gesen, Yan Handong. The Study of Thermal Performance for Hollow Brick Wall Made of Granite Residue Concrete [J]. Sichuan Building Science, 2009, 35(4): 250-253.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 15229—2002《轻集料混凝土小型空心砌块》[S]. 北京: 中国质检出版社, 2002: 9.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China(AQSIQ). GB/T 15229—2002 "Lightweight Aggregate Concrete Small Hollow Block" [S]. Beijing: China Zhijian Publishing Houses, 2002: 9.
- [7] 中国建筑科学研究院. GB50176—1993《民用建筑热工设计规范》[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993: 9.
- China Academy of Building Research. GB50176—1993 "Thermal Design Code for Civil Building" [S]. Beijing: China Planning Press, 1993: 9.
- [8] 浙江大学建筑设计研究院, 浙江省建筑设计研究院, 浙江省气候中心. DB33/1015—2003浙江省《居住建筑节能设计标准》[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003: 12.
- Architectural Design and Reseach Institute of Zhejiang University, Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Reseach, Zhejiang Climate Center. DB33/1015—2003 Zhejiang "Design Standards for Energy Efficiency of Residential Buildings" [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003: 12.
- [9] 李鸿辉, 黄远洋, 庄梓豪. 围护结构热工性能现场测试方法及其影响因素探讨[J]. 建筑节能, 2009, 37(11): 5-7.
- Li Honghui, Huang Yuanyang, Zhuang Zihao. On-Site Test Technology of Thermal Properties of Building Envelope Construction and Its Effecting Factors[J]. Construction Energy Conservation, 2009, 37(11): 5-7.
- [10] 浙江大学建筑设计研究院, 浙江省建筑设计研究院, 浙江省气象科学研究所. DB33/1036—2007浙江省《公共建筑节能设计标准》[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007: 12.
- Architectural Design and Reseach Institute of Zhejiang University, Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Reseach, Zhejiang Institute of Meteorological Sciences. DB33/1036—2007 Zhejiang "Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings" [S]. Beijing: China Planning Press, 2007: 12.

(责任编辑: 李玉珍)

-
- (上接第60页) a Face Gear Drive[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2009, 28(3): 301-305.
- [6] 龙慧, 张广辉, 罗文军. 旋转轮齿瞬时接触应力和温度的分析模拟[J]. 机械工程学报, 2004, 40(8): 24-29.
- Long Hui, Zhang Guanghui, Luo Wenjun. Modelling and Analysis of Transient Contact Stress and Temperature of Involute Gears[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(8): 24-29.
- [7] 龙慧. 高速齿轮传动轮齿的温度模拟及过程参数的敏感性分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2001.
- Long Hui. Modeling of Surface Temperature in High-Speed Gears and Sensitivity Analysis[D]. Chongqing: Chongqing University, 2001.
- [8] 肖望强, 李威, 韩建友. 非对称齿廓渐开线齿轮传动的热分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 164-167.
- Xiao Wangqiang, Li Wei, Han Jianyou. Thermal Analysis of Involute Gear Transmission with Unsymmetric Tooth Profile[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 164-167.
- [9] 孙首群, 朱卫光, 赵玉香. 渐开线轮齿温度场影响因素分析[J]. 机械设计, 2009, 26(2): 59-62.
- Sun Shouqun, Zhu Weiguang, Zhao Yuxiang. Analysis on the Influencing Factors of the Temperature Field of Involute Gears[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(2): 59-62.
- [10] 武彩岗, 秦俊奇, 马吉胜, 等. 齿轮啮合温升模型建立及仿真研究[J]. 军械工程学院学报, 2006, 18(3): 70-74.
- Wu Caigang, Qin Junqi, Ma Jisheng, et al. Modeling and Simulation Study of Temperature Rise of Gear Meshing[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 18(3): 70-74.

(责任编辑: 邓光辉)