

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S1.041

泡沫混凝土外墙的热工性能测试与分析

周静^a, 孟曦^a, 梁伟杰^b, 龙恩深^{a,b}

(四川大学 a. 建筑与环境学院; b. 灾后重建与管理学院, 成都 610065)

摘要:随着建筑能耗的不断增加以及能源危机的日益加剧,建筑节能变得尤为迫切。外墙是围护结构节能的重点。泡沫混凝土因良好的保温隔热性能被广泛应用于建筑工程中,但其在建筑外墙的应用还处于探索阶段。本文介绍了新型泡沫混凝土外墙的构造及性能特点,并通过实验对比分析了外保温墙体、实心砖墙体和泡沫混凝土墙体的保温隔热性能。实验结果显示,泡沫混凝土外墙的保温隔热性能远优于其他两种墙体,在空调状态下,其内表面的热流值仅为外保温墙体的30.4%,具有显著的节能效果。不仅如此,泡沫混凝土外墙更为轻质,其质量仅为外保温墙体的49.1%。

关键词:泡沫混凝土;建筑节能;实验测试;传热系数;保温隔热

中图分类号:TU375 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S1-0219-04

Test and analysis on thermal performance of foam concrete external wall

Zhou Jing^a, Meng Xi^a, Liang Weijie^b, Long Enshen^{a,b}

(a. College of Architecture and Environment; b. Institute for Disaster Management and Reconstruction, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China)

Abstract: With the increasing of building energy consumption and the growing of energy crisis, building energy conservation has become particularly urgent. Exterior wall is the most important part of the enclosure structure in energy saving. Foam concrete is widely used in construction engineering practice because of its good thermal insulation properties. But its use in building facades is still in the exploratory stage. This paper introduces the structure and performance of new foam concrete external wall. Experiments on heat preservation and heat insulation of outside wall insulation, solid brick walls and insulation properties are analyzed. Through the analysis, it is found that thermal insulation performance of foam concrete external wall is far better than the other two walls. In the condition of open air conditioning, the inner surface of the heat value is only 30.4% of external wall insulation with significant energy savings. And foam concrete external wall is more lightweight, its mass is only 57.1% of external wall insulation.

Key words: foam concrete; energy efficiency in buildings; testing in experiment; heat transfer coefficient; thermal insulation

中国是世界上仅次于美国、排名第二的能源消耗大国,同时也是世界上最大的发展中国家。随着中国工业化的不断推进,能源消耗随之增加。建筑能耗占社会总能耗的30%以上,是引起水质污染、雾霾加剧、全球气候变暖等环境问题的重要原因之

一^[1]。中国2013年能源消费总量达37.6亿吨标准煤,建筑能耗为10.5亿吨~11.28亿吨,占总能耗的17%~18%^[2]。在国家提倡低碳建筑、低碳城镇、绿色建筑的大方针下,建筑节能既能保障修得广厦千万间,又关注人类健康和持续发展;既能降低污

收稿日期:2015-11-10

作者简介:周静(1992-),女,主要从事建筑节能研究,(E-mail)405889961@qq.com。

龙恩深(通信作者),男,博士,教授,(E-mail)longes@163.com。

染排放,又有助于创造健康、舒适的建筑环境。

建筑节能最重要的措施之一就是墙体保温隔热。具有良好保温隔热性能的围护结构,可以减少室内外温差传热损失并提高房间的热稳定性,在墙材研发和发展历程中,保温隔热性能一直受到专家及学者的高度重视^[3]。研究表明,在建筑设计时充分合理利用围护结构的保温隔热性能可有效降低建筑能耗^[4]。市场上琳琅满目的节能墙体材料多数难以满足国家建筑节能的新要求,特别是对建筑材料防火性能的要求。央视北配楼特大火灾之后,泡沫混凝土作为墙体无机节能材料的应用更受关注。泡沫混凝土高保温、隔声消音、耐火及绿色环保的特性,使其成为建筑节能的良好无机材料^[5]。

中国泡沫混凝土技术起步较晚,1950 年通过引入前苏联的技术,泡沫混凝土技术才开始得以发展,此后发展迅速,但仍缺乏对其性能的系统研究,制约了其在工程实际中的进一步利用^[6]。国内已有将泡沫混凝土应用于工程项目内墙的实践,经过 5~6 年的观察,墙体几乎保持原样,无开裂、粉化、变形等现象,但将泡沫混凝土用于外墙的实践却鲜有报道。

1 泡沫混凝土外墙的构造

泡沫混凝土是用发泡剂通过物理或化学方法制作出泡沫,再向胶凝材料浆体中引入泡沫,二者均匀混合后形成的一种多孔材料。图 1 为泡沫混凝土用于外墙的结构示意图,墙体主要由泡沫混凝土、耐碱玻纤网以及抗裂砂浆构成。与常规外墙结构不同,泡沫混凝土外墙加入了耐碱玻纤网,使其具有良好的力学性能。

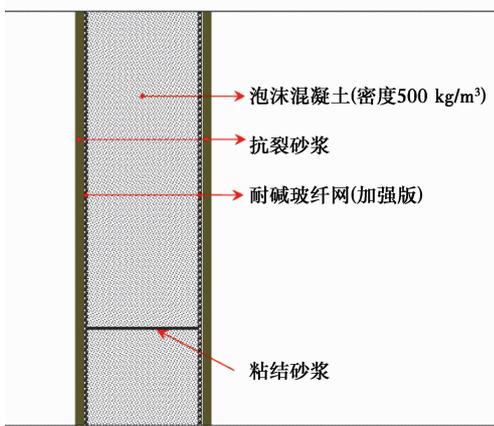


图 1 泡沫混凝土断面构造图

为了保证泡沫混凝土作为外墙结构的力学性能及稳定性能,对密度为 500 kg/m³ 的泡沫混凝土外

墙进行力学性能测试,表 1 为泡沫混凝土外墙系统测试结果。可以看出,泡沫混凝土作为外墙系统,满足相关标准的要求,且拥有良好的防火性能及隔声耐火性,从而保证了其作为外墙的可行性^[7]。

表 1 泡沫混凝土外墙系统性能指标

项目	单位	指标 200 mm
抗冲击性能(30 kg,0.5 m 落差)		经 5 次冲击后, 板面无裂纹
吊挂力(荷载 1 000N 静置 24 h)		
抗折破坏荷载,≥	N	5 000
面密度,≥	kg/m	100
空气声计权隔声量,≥	dB	45
耐火极限,≥	h	3
含水率,≤采暖地区	%	10
非采暖地区	%	15

2 保温隔热性能测试实验概况

2.1 测试对象

为了辨析泡沫混凝土保温隔热性能的优越性,建立外保温墙体与烧结砖墙体作为对比墙体。三种墙体单元大小均为 650 mm×650 mm,在每种材料的交界面,均用聚苯乙烯(EPS)作为垫层,尽可能降低材料之间的传热,使每个墙体单元形成一维传热。图 2 为测试房间及三种墙体单元建造图。图 3 分别为三种墙体的构造示意图。表 2 是实验中各种材料的密度、热容及导热系数。根据表 2 和图 3 可以得出泡沫混凝土质量仅为外保温墙体质量的 42.9%。



图 2 测试房间及墙体单元建造图

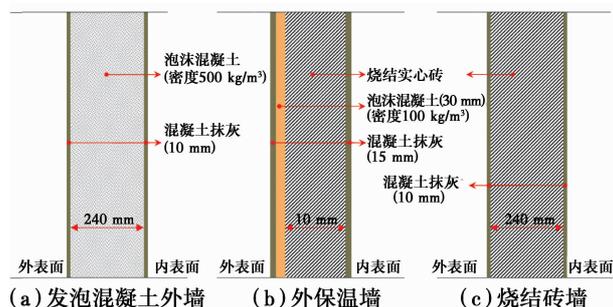


图 3 测试对象

表 2 实验中各层墙体材料的热物理特性

材料名称	密度/ (kg · m ⁻³)	热容/(J · (kg · K) ⁻¹)	导热系数/(W · (m · K) ⁻¹)
混凝土砂浆	140.6	105.0	0.3505
实心烧结砖	153.6	523	0.7507
发泡混凝土 (ρ=100 kg/m ³)	104.5	1050	0.0870
发泡混凝土 (ρ=500 kg/m ³)	513	1050	0.1008

2.2 测试方法

建筑围护结构的保温隔热性能主要由传热系数决定。目前检测围护结构传热系数的方法主要有热流计法、热箱法、常功率平面热源法和红外热像仪法,通过对以上几种检测方法的比较分析,本实验采用“热流计法”测试墙体的传热系数,该方法也是国家检测标准首选方法^[8]。

用热流计、热电偶在现场检测出被测复合墙体结构单元热流密度以及墙体内、外表面温度等,实验数据均由 JTRG-II 型建筑热工测量系统记录,采集频率为 10 min。通过数据处理计算得出建筑物围护结构的传热系数 K,计算公式如下^[9]:

$$K = \left[\frac{1}{h_{out}} + \frac{\sum_{i=1}^N (T_w - T_n)}{\sum_{i=1}^N q_n} + \frac{1}{h_{in}} \right]^{-1} \quad (1)$$

式中: T_w 和 T_n 分别为复合墙体结构单元外表面和内表面的瞬时测试温度, °C; q_n 为复合墙体结构单元测点的内表面瞬时测试热流, W/(m²); h_{out} 和 h_{in} 分别为内墙体外表面和内表面的对流换热系数, W/(m² · K),根据《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—1993)查得,夏季 h_{out} 和 h_{in} 分别为 19 W/(m² · K)和 8.7 W/(m² · K); N 为单个测试单元内数据总数且测试单元必须为 24 小时的整数倍。

此外,《民用建筑热工设计规范》给出了传热系数的理论算法,计算方法如下:

$$K = \left(\frac{1}{h_{out}} + \sum_{j=1}^J \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_{in}} \right)^{-1} \quad (2)$$

式中: δ_j 为复合墙体结构单元第 j 层的厚度, m; λ_j 为复合墙体结构单元第 j 层的导热系数, W/(m · K)。

3 实验结果及分析

图 4 为室内外空气温度随时间变化的实测曲线。可以看出室内空气温度逐时值波动不超过 2 °C,室内外平均温差超过 10 °C,满足热流计法测

试墙体传热系数的实验要求。图 5 为三种外墙内表面温度随时间变化的实测曲线。在同样的室外综合温度作用下,泡沫混凝土外墙内表面平均温度为 16.38 °C,外保温墙内表面平均温度为 16.89 °C,烧结砖墙内表面平均温度为 17.71 °C,泡沫混凝土内表面平均温度最低。烧结砖墙体内表面温度波动幅度最大,外保温墙体内表面温度波动幅度也较大。泡沫混凝土墙体较其他两种墙体内表面温度波动振幅最小,其保温性能最好,可以为房间提供舒适且稳定的热环境。因此,可以得出在不同建筑内,泡沫混凝土外墙可以保证较舒适的室内温度。

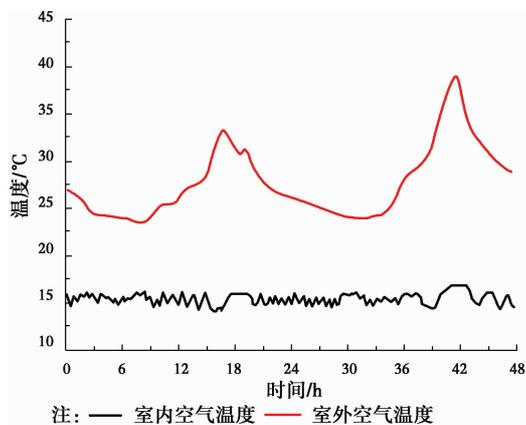


图 4 室内外空气温度随时间变化的实测曲线

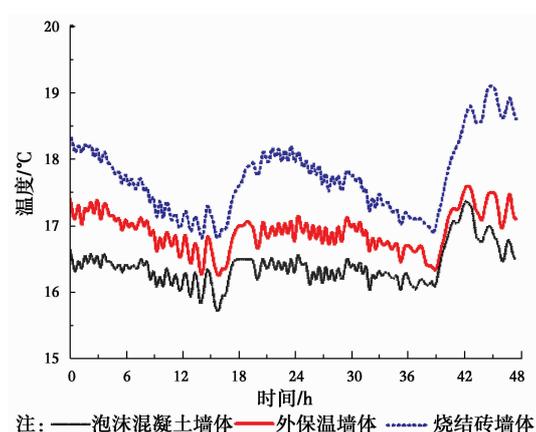
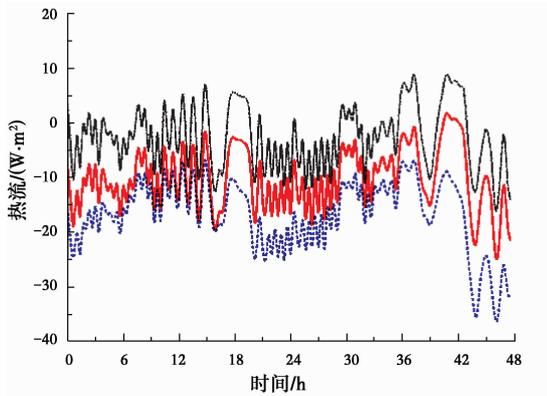


图 5 墙体内部表面温度随时间变化的实测曲线

图 6 为三种外墙内壁热流随时间的变化,负值表示热量从内表面传向室内,进而转化为空调的能耗。烧结砖墙体内壁平均热流量值为 -17.47 (W/m²),外保温墙体内壁平均热流值为 -11.05 (W/m²),泡沫混凝土墙体内壁平均热流值为 -3.36 (W/m²),烧结砖墙体内壁平均热流量值是泡沫混凝土墙体内壁平均热流量值的 5 倍,外保温墙体内壁平均热流量值是泡沫混凝土墙体内壁平均热流量值的 3 倍,烧结砖墙体保温隔热性能最差。某些时

刻泡沫混凝土墙体的内壁热流受到室内温度的扰动出现正值,室内还向壁面传递热量,可以看出泡沫混凝土保温隔热性能较好。



注: —— 泡沫混凝土墙体 ———— 外保温墙体 ····· 烧结砖墙体

图 6 外墙内壁热流随时间变化的实测曲线

表 3 不同墙体传热系数计算表

墙体名称	墙内壁平均温度/℃	墙外壁平均温度/℃	平均热流密度/(W·m ⁻²)	实测传热系数/(W·(m ² ·K) ⁻¹)	设计传热系数/(W·(m ² ·K) ⁻¹)	传热系数差异/%
泡沫混凝土墙体(ρ=500 kg/m ³)	16.38	23.60	-3.36	0.43	0.41	5.66
外保温墙体	16.89	24.36	-11.05	1.20	1.43	-16.14
烧结砖墙体	17.71	21.94	-17.47	2.50	2.65	-5.67

4 结论与展望

泡沫混凝土外墙实测传热系数为 0.43 W/(m²·K),与设计传热系数相比差异为 5.66%。泡沫混凝土外墙传热系数低于外保温墙体传热系数 3 倍,低于烧结砖墙体传热系数约 6 倍,泡沫混凝土外墙传热系数最小,室内温度受到室外温度影响最小,全年单位总耗能也最小,所以,泡沫混凝土外墙节能效果显著。在夏季或者过渡季节,即使未开空调,室内舒适度也远优于其它两种墙体。

总的来说,泡沫混凝土具有保温隔热性、防火性及轻质性等显著优点,但存在吸水率大、制品易产生裂缝、强度偏低等缺点,提高泡沫混凝土的强度、降低其吸水率是今后研究的重点。中国泡沫混凝土技术在以后的建筑工程中将得到更好的应用和发展。

参考文献:

[1] Allouhi A, El Fouih Y, Kousksou T, et al. Energy consumption and efficiency in buildings; current status and future trends [J]. Journal of Cleaner Production, 2015.

[2] 马文军,程瑜,管宗甫. 泡沫混凝土用于建筑保温体系

根据式(1)、式(2)、实测数据及表 2 物性参数,可以分别获得实测传热系数、设计传热系数。表 3 给出了三种墙体的实测传热系数、设计传热系数及两者的差异。从表 3 可以看出泡沫混凝土外墙传热系数为 0.43 W/(m²·K),外保温墙体传热系数为 1.20 W/(m²·K),烧结砖墙体传热系数为 2.50 W/(m²·K)。据调查,成都地区产出的墙材 95%是烧结砖类,烧结砖类墙材节能指标不能满足现行节能标准要求,并且烧结砖在生产环节需要消耗大量能源,对生态平衡造成破坏。而泡沫混凝土墙体传热系数符合夏热冬冷地区建筑节能标准,且泡沫混凝土外墙传热系数低于外保温墙体传热系数 3 倍,泡沫混凝土外墙保温隔热性能优越,既可以降低能源消耗,又可以减少建筑污染。

的研究进展[J]. 混凝土世界,2014(11):95-98.

[3] She W, Chen Y Q, Zhang Y S, et al. Characterization and simulation of microstructure and thermal properties of foamed concrete [J]. Construction and Building Materials, 2013, 47: 1278-1291.

[4] Niccolò A, Adriana A, Michela B. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings[J]. Energy and Buildings, 2009, 41(11): 1181-1187.

[5] 闫振甲. 泡沫混凝土有望成为保温材料首选[J]. 混凝土世界, 2010(1): 22-26.

[6] 郑健. 泡沫混凝土的研究及常见问题分析与对策[J]. 山西建筑, 2008, 34(32): 166-167.

[7] 沈媛媛. 新型自保温混凝土砌块砌体受压性能试验研究[J]. 安徽建筑, 2014(5): 227-228.

[8] 王泮浩,姚建波,王东洋,等. 既有建筑围护结构传热系数现场检测方法研究[J]. 建筑热能通风空调, 2008, 27(5): 60-63.

[9] 高阳洋. 高层建筑外墙的保温与节能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.

(编辑 彭建国)