

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2013.06.030

轻质外保温墙体温度与荷载作用的 耦合效应试验研究

李胜才¹,周燕²,呼梦洁¹

(1.扬州大学 建筑科学与工程学院,江苏扬州 225127; 2.江苏筑森建筑设计有限公司,江苏常州 213022)

摘要:由不同物理力学性能材料组成的复合轻质外保温墙体,在多因素的作用下引起整体粉刷墙面的开裂、脱落等破坏现象。试验按照实际工程构造尺寸制作了两组六个试件,通过冷热箱、密封试件真空负压组合试验装置,按1:1相似比模拟温度、重力、风力等作用,对不同因素组合工况测试各构造层在温度与荷载共同作用下的耦合效应,给出了不同工况下保温层及饰面层各测点的温度场分布规律,整理出了耦合效应的应力变化特征相关曲线。试验成果可为研究解决外保温墙面破坏问题提供借鉴。

关键词:外墙外保温系统;温度作用;荷载作用;耦合效应

中图分类号: TU761.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2013)06-0143-04

Experimental Research on Coupling Effect of Temperature and Load Impact for Composite Wall with Outer Thermal Insulating Light-weight Layer

LI Sheng-cai¹, ZHOU Yan², HU Meng-jie¹

(1. College of Architectural Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China;
2. Jiangsu Zhusen Architectural Design Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213022, China)

Abstract: The outer thermal insulating wall with lightweight layer is composed of the material layers with different physical and mechanical properties. Under the impact of multiple external factors, the interplays between different layers would cause the whole plaster skin cracked and fallen off. Six pieces of specimen based on practical project are made with the scale of 1:1 and classified into two groups, the impacts from temperature, gravity and wind are simulated by the experiments with the special device which consists of hot-cold boxes, sealed box and vacuum pump. Then, in different given conditions with multiple external factors, the relationship and distribution of stress and strain are tested, and the distribution of temperature and the characteristic curves of coupling stress in different given conditions are also sorted out. The test results could provide some references to solve the damage problems of the plaster skin of the composite wall with outer thermal insulating light-weight layer.

Keywords: outer thermal insulation system; temperature impact; load impact; coupling effect

1 研究背景

轻质外保温系统可以有效改变建筑外墙的热工性能,是我国过去十多年重点推广使用的一类墙体保温体系。对夏热冬冷地区建成工程项目的调研发现:外保温墙面出现裂缝、脱落问题较为普遍。这不仅影响节能效果,而且带来了安全与建筑美观问题。

关于轻质复合外保温墙面的破坏成因与对策,

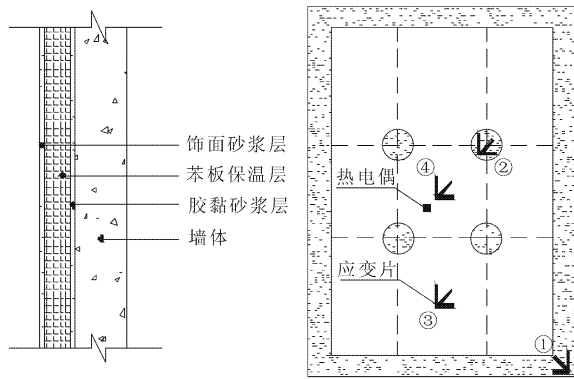
国内外很多学者已经做了大量研究工作。黄振利、刘钢等开展了关于外墙外保温系统温度场温度应力及耐候性能等级的研究,对不同构造和材料的外墙外保温体系进行了大型耐候性试验,提出了外墙外保温体系的构造和材料参数的设计指标^[1-3]。王欣、路永华等结合理论分析与试验数据,提出了外墙外保温系统在温度场作用下的应力、应变分布特征^[4]。S Itou等学者从理论与试验两个层面对复合

轻质结构的热应力问题进行了探讨,提出了理论分析方法,取得了试验数据^[5]。龙激波、李念平分析了热应力下建筑外墙保温结构表面裂纹和裂缝产生的原因^[6]。综合来看,轻质复合外保温墙体系统的制作工艺、构造组成、材料特性与所处工作环境,是造成外保温墙面开裂破坏的重要因素,需要对外保温墙面在多因素共同作用下的耦合效应进一步探索,才能解决墙面破坏问题。

2 试验概况

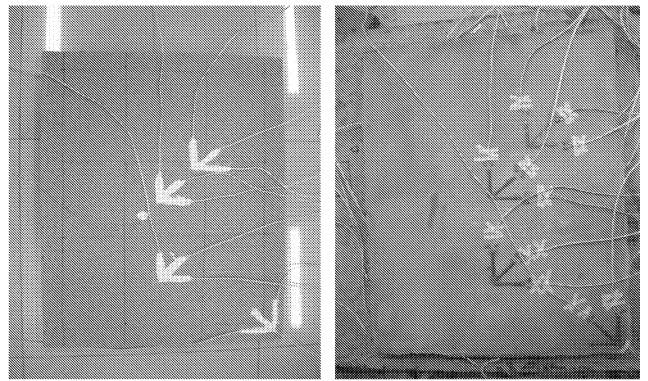
2.1 试件制作

常见建筑墙体有混凝土砌块、粉煤灰砌块、粘土砖、现浇混凝土墙等,为便于测试、降低试验结果离散性,试验拟选用钢筋混凝土板作为基层,与常见聚苯板保温层复合制作试件。试件尺寸长 950 mm,宽 950 mm,试件组合构造如图 1(a)所示。采用的具体



(a) 试件构造组成

(b) 测点布置示意图



(c) 苯板表面测点布置

(d) 砂浆表面测点布置

图 1 外保温系统各功能层应变片和热电偶布置

2.2 试件材料

通过材性试验取得制作试件所用相关材料的性能参数如表 1 所示。

表 1 材料性能参数

参数	普通砂浆 P	聚合物砂浆 N	保温板
立方体抗压强度/MPa	36.1	11.4	—
压折比	5.5	2.5	—
抗拉强度/MPa	1.4	1.1	—
导热系数/(W·m ⁻¹ ·k ⁻¹)	0.8917	0.6839	0.0362
热膨胀系数/℃ ⁻¹	1.55 × 10 ⁻⁵	1.27 × 10 ⁻⁵	5.77 × 10 ⁻⁵
泊松比	0.29	0.26	0.1
密度/(kg·m ⁻³)	2140	1753	30

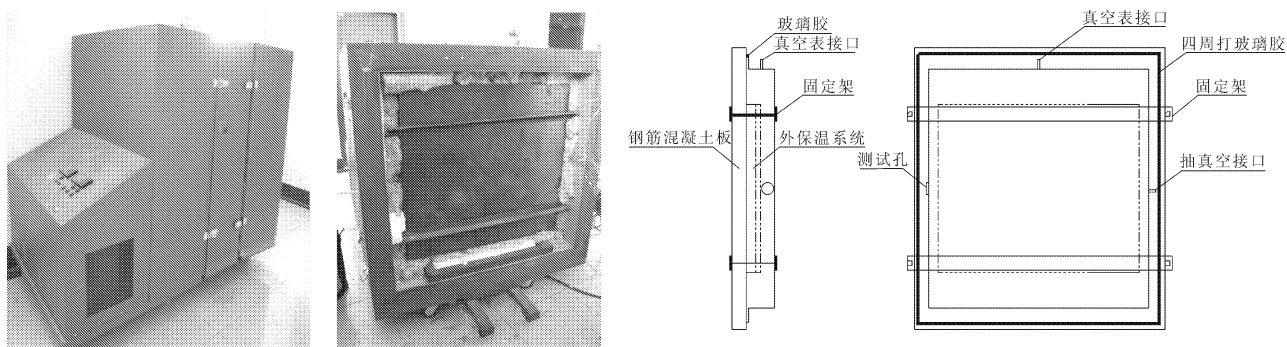
材料分别为 60 mm 厚钢筋混凝土板、3 mm 厚聚合物砂浆、塑料锚栓和 30 mm 厚聚苯板、耐碱玻纤网格布 + 8 mm 厚抹面砂浆作为试件墙体的主要材料。试件共做两组,一组砂浆防护层材料为普通砂浆,一组砂浆防护层材料为聚合物砂浆,每组做三个试件。

考虑到聚合物砂浆的变形能力比普通砂浆大,本试验选取聚合物砂浆为砂浆防护层,从而减少砂浆的早期收缩裂缝,更好的研究温度与荷载作用耦合效应对外保温体系的影响。试件制作时采用点粘法粘贴聚苯板再加钉塑料锚栓,用来保证系统的稳定性。在饰面砂浆层表面及保温层表面分别选取四个测点,每个测点上贴三个应变片,分别布置在与水平方向夹角为 0°、45°、90°处,用以测量外保温体系温度应力情况,此外在外保温系统各界面层边上与中间位置各布置一个热电偶,用以反映温度场情况(热电偶及应变片布置如图 1 所示)。

2.3 试验装置

为模拟温差、重力、风力等因素的共同作用对外保温体系墙体的影响,对建筑围护结构保温性能检测装置进行了真空模拟风力的密封改造。该装置主要由试件架、冷箱和热箱三部分组成(如图 2(a)所示)。将带有钢制密封盖的试件置于试件架内,用岩棉把四周空隙填实,基层墙体一侧与装置的冷箱相连接,保温饰面层一侧与热箱相接。通过热箱升温、冷箱降温实现温度加载条件;通过真空泵对试件的封闭空间抽真空模拟风吸力,来实现风力加载。试件安装如图 2 所示。

将连接应变片的导线接到 TS3860 恒流式静态电阻应变仪上,记录各测点的应变数据。连接热电偶的导线接到热工温度与热流自动测试系统上,用于观测记录测点温度值和热流值。



(a) 试验装置 (b) 试件安装完成后内景 (c) 带钢制密封盖试件侧面示意 (d) 带钢制密封盖试件正面示意

图 2 试验装置与试件安装示意图

2.4 试验加载系统和测量内容

试验采用控制冷箱温度始终保持在 -1°C , 将热箱温度逐级升高来测量各测点的应变和温度的数值。只考虑温度作用影响, 加载时将热箱分别升温至 25°C , 35°C , 45°C , 55°C , 65°C , 70°C , 75°C , 每一次升温必须在温度稳定后读取数据; 考虑温度与风力、重力共同作用影响时, 将热箱分别升温至 25°C , 35°C , 45°C , 55°C , 65°C , 70°C , 75°C , 且在每一次升温

后, 待温度稳定抽取真空值 $-1\ 500\ \text{Pa}$, 通过微调真空阀来控制真空度, 等应变数值稳定后读取数据。

3 试验结果和分析

3.1 温度场分布特征

试验获得了试件各构造层表面温度数据如表 2 所示。整理数据后可以发现: 保温层内外两侧温差大, 砂浆层及基层的各自内外温差小。

表 2 各构造层表面温度

单位: $^{\circ}\text{C}$

序号	T 加载级别		砂浆表面 ①	保温板左侧 ②	保温板右侧 ③	基层左侧 ④	基层右侧 ⑤	备注
	热箱	冷箱						
1	18	-1	17.5	17.3	5.4	5.4	3.3	
2	25	-1	22.7	22.6	5.6	5.7	3.5	
3	35	-1	32.0	31.5	7.9	8.1	4.6	
4	45	-1	39.0	38.4	10.3	10.4	5.9	
5	55	-1	47.3	45.4	12.4	12.5	6.7	
6	65	-1	56.6	54.6	12.9	13.2	7.0	
7	70	-1	60.2	59.3	15.3	15.5	7.2	
8	75	-1	65.4	64.0	16.3	16.7	7.3	

3.2 各构造层应力变化特征

对试验所得应变数据进行处理, 得到外保温系统各构造层的应力变化。

表 3 所示为热箱环境温度 65°C 、冷箱环境温度 -1°C 工况下, 聚合物砂浆饰面保温系统各构造层在温度、重力、风压共同作用下测点的应力。数据表明, 砂浆层表面的应力最大, 保温层外侧应力比内侧应力高。

通过进一步分析, 得到各工况、各测点应力随时间变化特征如图 3 ~ 图 5 所示。其中, ①、②、③、④分别对应图 1(b) 中的各测点位置。部分测点在温度至第 7、第 8 级别时, 出现不稳定, 数据不具比较性, 故未列入分析图中。

表 3 热箱 65°C 、冷箱 -1°C 时各结构功能

层上的测点应力 单位: $10^{-2}\ \text{MPa}$

位置	测点①	测点②	测点③	测点④
砂浆层表面	37.0	90.9	67.9	12.4
保温层左侧	17.5	27.5	35.7	6.3
保温层右侧	5.4	4.6	1.1	0.2

图 3 为温度与重力、风力共同作用下, 砂浆层表面各测点耦合应力随温度升高时的变化特征。不论是普通砂浆还是聚合物砂浆, 各点应力都随着温度的升高呈上升趋势, 且测点 ②、③ 应力普遍较测点 ①、④ 大; 聚合物砂浆表面应力变化幅度比普通砂浆饰面的略小。

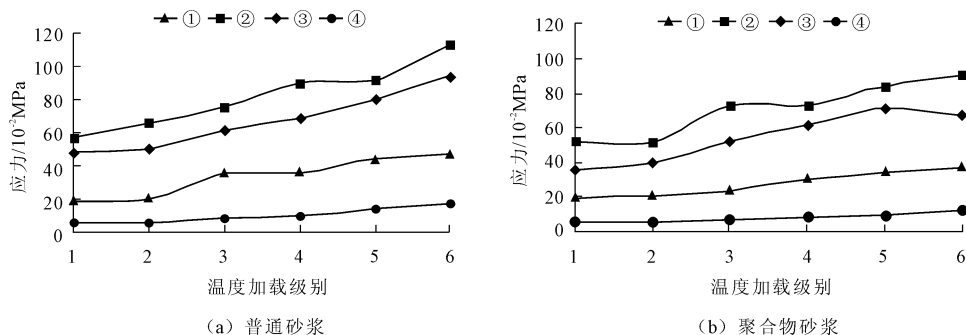


图 3 砂浆层表面各测点耦合应力的变化特征

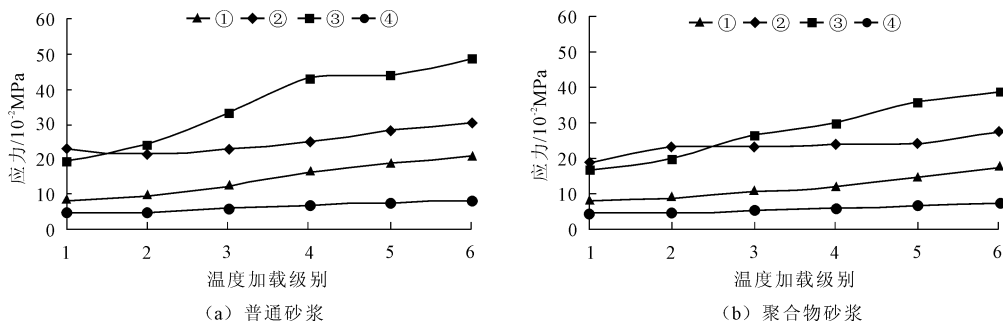


图 4 靠近砂浆饰面层一侧的苯板面各测点耦合应力的变化特征

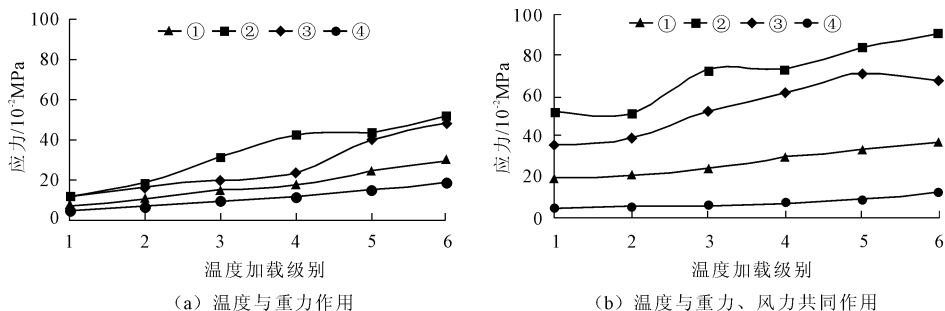


图 5 不同作用组合工况下聚合物砂浆饰面层表面各测点耦合应力的变化特征

图 4 为温度与重力、风力共同作用下,靠砂浆饰面层一侧的苯板面各测点随温度升高时的变化特征。与砂浆饰面层外表面相似,各点应力都随着温度的升高而增加,且测点②、③应力普遍较测点①、④大。

图 5 为不同作用组合工况下,聚合物砂浆层表面各测点耦合应力随温度升高时的变化特征。除了测点④,风力使其余测点呈明显的增大趋势,测点①、②、③分别增大了 25%、75%、40%,可见风力对外墙外保温系统的应力状态影响很大。

3.3 试件破坏形态与分析

各试件普遍出现如图 6 所示的砂浆饰面层开裂现象。试件砂浆层在早期成型阶段、升温工况与多因素共同作用工况下,分别出现以下现象:

(1) 早期制作成型阶段,聚合物砂浆试件表面无明显裂缝出现,普通砂浆试件在板面角部出现纵横交错的裂缝^[7]。

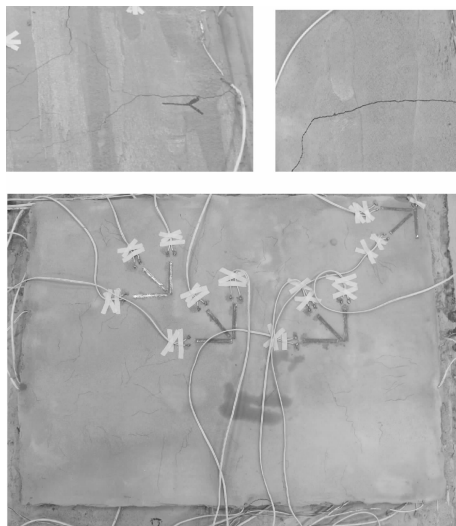


图 6 各阶段饰面砂浆层