

文章编号:1671-6833(2010)04-0015-04

夏季极端环境下住宅墙体 EPS 保温体系热结构耦合分析

任玲玲, 童丽萍

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:以居住建筑保温工程中一个典型开间的外墙为研究对象,采用有限元数值模拟方法,分析了 EPS 板薄抹灰外墙外保温复合墙体在夏季极端高温、骤降暴雨环境下的热结构耦合反应,结果表明:外界不利环境是引起裂缝或脱落的主要因素之一;聚苯板具有良好的隔热效果;窗洞四角变形较大,是容易出现问题的地方,应当引起重视;由于砂浆与 EPS 板的交界处变形不协调,裂缝会首先出现在砂浆层或者与 EPS 板的交界处。

关键词:EPS 外保温复合墙体;极端高温;热结构耦合;数值分析

中图分类号: TU111.4⁹

文献标识码: A

0 引言

我国建筑能耗约占社会总能耗的 $1/3^{[1]}$, 建筑能耗高已经成为我国经济发展的软肋, 建筑节能已成为制约我国现阶段经济发展亟待解决的社会问题。EPS 板薄抹灰外墙外保温体系凭借其保温性能良好、避免产生“热桥”、施工方便等优势, 在建筑节能改造中应用广泛。

然而, EPS 板薄抹灰外墙外保温体系自身的材料性能及与主体结构材料性能差异较大, 在外界不利环境因素及气候条件不断变化下很容易出现裂缝、甚至脱落等问题, 特别是在夏季高温时经历暴雨, 温度骤降, 门窗等洞口附近发生裂缝几率较大。雨水进入裂缝后会危害保温系统, 进而影响墙体保温隔热效果。目前有关裂缝脱落问题在材料质量、施工控制及黏结强度等方面已有研究, 但从热结构耦合反应角度上的机理分析还不多见。笔者将针对中原地区住宅建筑中普遍采用的 EPS 板薄抹灰外墙外保温复合墙体进行研究, 选取实际工程中某多层砌体结构住宅外墙中的一个带窗户洞口的典型开间为研究对象, 采用有限元数值模拟方法探讨在夏季极端高温、骤降暴雨环境下的热结构耦合反应, 进一步研究窗洞附近裂缝成因, 为解决裂缝问题提供理论依据。

1 模型建立

1.1 尺寸选取

选取郑州市某多层砌体结构住宅建筑保温工程中的 EPS 板薄抹灰外墙外保温复合墙体, 其构成方式如图 1 所示。

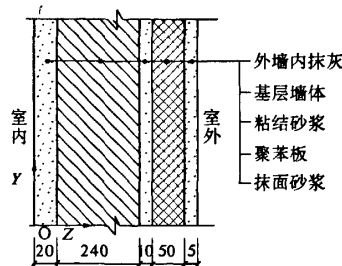


图 1 EPS 板外保温复合墙体基本构造

Fig.1 Basic structure of the wall composed with external thermal insulation system with EPS board

基质墙体采用黏土多孔砖, 各材料层厚度、方向、尺寸见图 1 标注, 3.3 m 开间外墙立面尺寸如图 2 所示。

计算中选取沿外墙水平方向为 x 轴, 沿外墙垂直方向为 y 轴, 沿墙体厚度方向为 z 轴, 坐标原点位于所选模型立面下方楼板中点墙体的内表面。

收稿日期:2010-01-11;修订日期:2010-03-08

基金项目:河南省重大公益科研计划项目(081100910400);郑州市重大技术与开发项目(082SGZS32079);郑州大学研究生科学研究基金(重点类 A181)。

作者简介:任玲玲(1983-),女,河南郑州人,郑州大学硕士研究生,主要从事建筑节能方面的研究,E-mail:rlh200202405@163.com。

1.2 材料特性

本工程基层为砌体结构,黏土多孔砖性能参数依据设计规范^[2]中砌体计算指标计算得到.当选取砖强度等级 MU15、砂浆强度等级 M7.5 时,砌体弹性模量为 3 312 MPa,线膨胀系数为 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,泊松比 0.25,见表 1 中所示.

目前保温工程中所用的聚苯板和砂浆的弹性模量、泊松比及线膨胀系数在结构上还没有明确的规定,故采用文献[3]中耐候性试验的数据.

1.3 基本假定

(1)各层材料为均匀连续、各向同性材料,且材料层间紧密,层间热阻忽略不计.因为笔者探讨

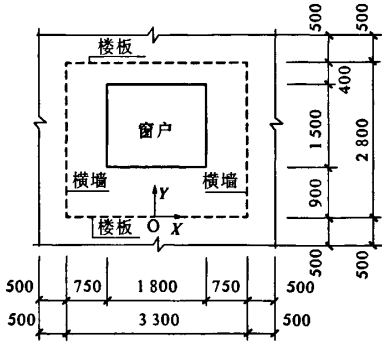


图 2 模型立面尺寸

Fig. 2 The vertical size of the model

表 1 材料性能参数

Tab. 1 The properties of Various materials

	内抹灰	黏土多孔砖	黏结砂浆	聚苯板	抹面砂浆	玻璃
厚度/mm	20	240	10	50	5	10
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 800	1 400	1 800	30	1 800	2 500
弹性模量 E/Pa	4.9×10^9	3.312×10^9	4.9×10^9	9.1×10^6	4.9×10^9	3.1×10^9
泊松比	0.28	0.25	0.28	0.1	0.28	0.2
线膨胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}^{-1}$	1.2×10^{-5}	5.0×10^{-5}	1.2×10^{-5}	6×10^{-5}	1.2×10^{-5}	2×10^{-7}
导热系数 $\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	0.93	0.58	0.93	0.042	0.93	0.76
比热容 $C/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	1 050	1 050	1 050	1 380	1 050	840

注:各种材料的密度、导热系数及比热容指标引自文献[4]中附录四建筑材料热物理性能计算参数.

的是外保温体系在开裂之前的温度及变形分布规律,故仅考虑体系在弹性阶段的工作情况.

(2)每层实体都是全接触,聚苯板采用满粘法,不考虑空气间层的作用.

(3)各实体单元都是一个理想的整体,忽略每块聚苯板与周围聚苯板之间板缝的影响.

(4)抹面砂浆和粘结砂浆是在水泥砂浆中掺入一定量的改性聚合物,忽略改性聚合物的影响.

(5)笔者仅考虑采用涂料饰面^[5],因为其在外墙表面涂抹厚度很薄,故没有计算涂料自重.

(6)砌体结构中砌筑砂浆对外保温体系的作用较小,故忽略灰缝的影响.

1.4 网格划分

外墙外保温体系模型采用三维耦合场体单元,单元为六面体 8 个节点,每个节点最多有 6 个自由度,可用于直接法计算热结构耦合分析,如图 3 所示.

模型采用映射网格划分,映射网格划分具有规则的形状,单元明显地成行排列,计算结果往往比自由网格划分精确,如图 4 所示.

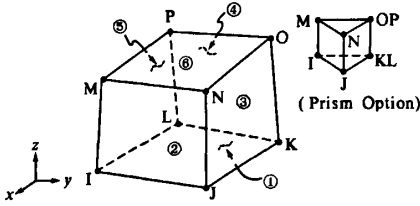


图 3 三维耦合场体单元

Fig. 3 3 D coupled field element

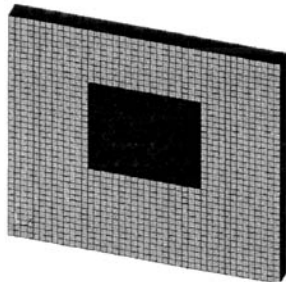


图 4 网格划分示意图

Fig. 4 The diagram of meshing

1.5 边界条件及施加荷载

考虑到外保温复合墙体内外表面与周围空气的接触作用,采用热结构分析中的第三类边界条件^[6],按照文献[4]附录二选取:夏季外墙内表面换热系数为 $8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,外表面换热系数取 $19.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

为了与实际结构更接近,考虑周边外墙、横墙、楼板对所选区域的影响,将模型四周边界的基层墙体(黏土多孔砖层四周边界)按固定端考虑,其他位置自由。根据圣维南原理经过计算比较,模型四周分别向外延伸 0.5 m ,见图 2 所示。

温度荷载参考文献[5]附录 A.2 系统耐候性试验方法中夏季的取值方法如下:①高温环境:在外保温复合墙体的内表面施加室内正常温度 26°C ,外表面(即室外)施加最不利温度荷载 70°C ;②骤降暴雨后:室内温度不变,室外温度降为 15°C 。

笔者针对上述最不利荷载工况进行模拟分析,由于材料自重的作用对外保温体系裂缝的影响很小,由自重引起的剪切应力很小,忽略不计。

2 分析过程和分析结果

2.1 方法和步骤

有限元数值模拟热结构耦合分析常用的方法有直接法和间接法两种^[6]。直接法是选取耦合场单元进行计算,一次求解直接得到热分析和结构分析的结果,在解决耦合场非线性问题时具有优势。本研究所讨论的问题是热与结构反应同时进行,必须考虑耦合效应,故选取直接法进行分析计算。

计算步骤如下:①建立有限元模型,输入计算参数,选取耦合场单元进行网格划分;②施加边界条件及高温环境温度荷载应用完全牛顿—拉佛森法计算温度和变形;③施加骤降暴雨后的温度荷载,把高温环境下黏土多孔砖层的平均温度作为初始温度计算温度及变形。

2.2 温度场分析结果

由于各层材料均匀、连续、各向同性,故温度场在外保温复合墙体的立面方向每层都均匀分布,温度值相同。

高温环境与骤降暴雨环境沿墙体厚度方向温度场分布结果比较如图 5 所示,从复合墙体的内表面到外表面温降差值越来越大,最大地方在抹面砂浆层,其次是聚苯板层。温降最大的地方应该是产生热应力最大的部位,从而也应该是裂缝最容易出现的地方。

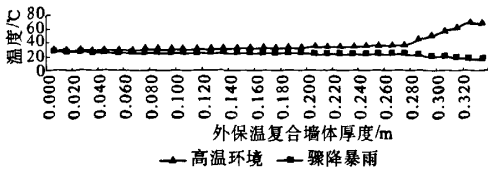


图 5 夏季极端高温、骤降暴雨环境下温度比较
Fig.5 The temperature comparison in high temperature and rain environment

高温环境复合墙体厚度方向温度值由室内到室外逐渐升高,骤降暴雨后温度从室内到室外逐渐降低。以高温环境为例,沿复合墙体厚度方向的温度值变化范围及各种材料温差变化值如表 2 所示。从表 2 中可见, 50 mm 厚聚苯板层温差变化最大,这充分说明 EPS 板具有良好的隔热效果,但同时巨大的温差下聚苯板的强度、尺寸稳定性、耐候性等指标能否满足规范^[5]的要求值得论证。

表 2 高温环境每种材料温差变化比较

Tab.2 The temperature changes of each material in high temperature

材料	温度范围/ $^\circ\text{C}$	温差变化/ $^\circ\text{C}$
内抹灰层	27.351 ~ 27.621	0.27
黏土多孔砖	27.621 ~ 34.86	7.239
粘结砂浆层	34.86 ~ 35.131	0.271
聚苯板层	35.131 ~ 68.371	33.24
抹面砂浆层	68.371 ~ 68.521	0.15

2.3 变形分析

外保温复合墙体在极端高温、骤降暴雨环境下变形矢量图如图 6 所示。比较发现,高温下复合墙体发生膨胀变形,骤降暴雨后由于温度降低复合墙体发生收缩变形。复合墙体外表面变形大于内表面,窗洞四周附近变形较大,是容易出现裂缝或脱落问题的地方,应当引起重视。

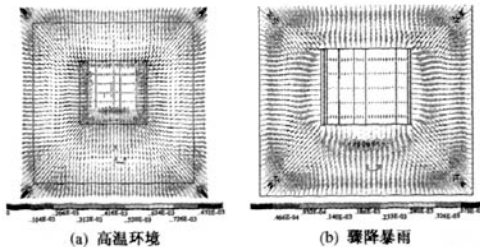


图 6 外保温复合墙体变形矢量图
Fig.6 The vector displacement of the composed wall

骤降暴雨后复合墙体外表面 x, y 方向变形云图如图 7 所示,变形关于窗洞的中轴线对称。

夏季骤降暴雨后变形最大值与高温环境最大

值比较如表 3. 两种环境最大值位置相同, 由于高温环境温差比暴雨后温差大, 故变形值大于骤降暴雨环境. 高温环境朝窗洞中心方向变形, 骤降暴雨远离窗洞中心变形, 整个过程材料先膨胀后收缩, 如果材料适应不了这种变形将会在窗洞附近首先出现裂缝. 因为聚苯板的塑性优于砂浆, 聚苯板可以很好地变形, 砂浆的变形却往往受到约束, 故往往是砂浆层首先开裂. 这与实际工程中外保温系统面层砂浆容易开裂和脱落的现象相吻合.

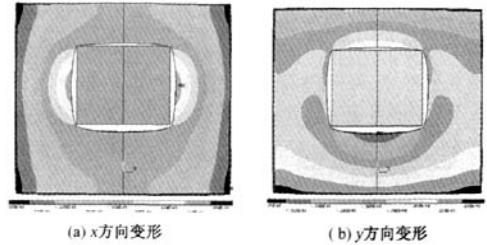


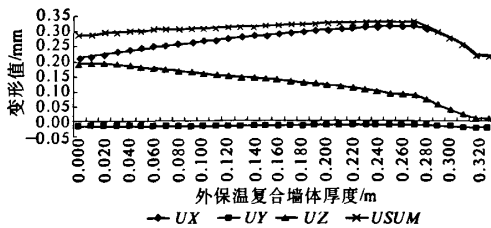
图 7 骤降暴雨后复合墙体变形云图
Fig. 7 The displacement of the composed wall after rain

表 3 夏季极端高温、骤降暴雨环境下变形最大值比较
Tab. 3 The maximum displacement comparison in high temperature and rain environment

		x 方向变形		y 方向变形		z 方向变形		总变形
		最大值/mm		最大值/mm		最大值/mm		
高温环境	最大值位置	0.494	窗洞左右两侧墙体中部	0.612	窗台上中部	0.690	窗台上中部	0.937
	方向							
			朝窗洞中心		朝窗洞中心		朝墙体内表面	朝窗洞中心
骤降暴雨	最大值/mm	0.319	窗洞左右两侧墙体中部	0.385	窗台上中部	0.251	窗台上中部	0.419
	最大值位置							
	方向		远离窗洞中心		远离窗洞中心		朝墙体外表面	远离窗洞中心

暴雨后窗洞左右两侧墙体中部(x 方向变形最大处)沿厚度方向变形如图 8 所示, 其它方向变形趋势与此类似. 在砂浆层与聚苯板的交界处出现沿复合墙体厚度方向变形曲线的突变点. 这说明由于聚苯板和砂浆的材料性能差异较大, 在二者的交界处变形不协调, 有相互错动的趋势, 当二者的变形不协调达到一定程度时, 很容易出现微裂缝或者脱落现象.

外保温复合墙体内外表面 z 方向变形由室内到室外逐渐减小, 高温环境朝室内方向起鼓, 暴雨环境朝室外起鼓, z 方向变形过大是墙体内外表面出现轻微起包现象的原因.



UX、UY、UZ 分别表示 x, y, z 方向变形;
USUM 表示总变形.

图 8 骤降暴雨后窗洞左右两侧复合墙体中部
沿厚度方向变形

Fig. 8 The displacement distribution in the thickness
direction at the middle of the left and right
of the window after rain

3 结论及建议

(1) 外界环境不利因素尤其是夏季极端环境是引起开裂或脱落的主要因素之一, 特别是高温后淋雨温度下降是裂缝最容易出现的时候.

(2) 聚苯板层温差变化最大, 说明聚苯板这种材料能达到良好的隔热效果. 但聚苯板在巨大温差变化下的耐久性问题及使用寿命问题应引起重视, 更值得以后研究.

(3) 外保温复合墙体中 x 方向变形最大值位于窗洞左右两侧的墙面, y 方向变形最大值位于窗台上. 窗洞附近变形较大, 是容易出现问题的部位, 在砂浆和聚苯板的交界面上变形不协调, 裂缝应该出现在砂浆层或者砂浆与聚苯板的交界处.

(4) 外保温复合墙体的构造形式: 内抹灰—基层墙体—粘结砂浆—聚苯板—抹面砂浆, 由于各种材料的性能差异较大, 导致在每两种材料的交界处变形发生突变, 这是很不合理的, 因此探讨研究材料的更合理更成熟的柔性渐变技术是外保温复合墙体中亟待解决的问题.

参考文献:

[1] 童丽萍. 从能源危机看建筑节能的必然趋势[J]. 郑州大学学报: 理学版, 2008, 40(4): 104-109.
[2] GB 50003-2001, 砌体结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

(下转第 72 页)

Face Recognition Based on Improved Singular Values and GA Algorithm

DUAN Xiang-jun¹, WAND Min²

(1. Mechanical and Electrical Institute, Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210046; 2. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Abstract: The paper proposed a new face recognition method based on Singular values and GA algorithm. After the pre-human face images to improve the singular value feature extraction. GA algorithm is applied to search the minimum Euclidean distance between class categories. Finally neural network with error back-propagation is training using the classification. Experimental results show that this method of recognition rate and the average detection time is superior to ordinary methods.

Key words: face recognition; singular value decomposition; GA algorithm

(上接第 18 页)

[3] 项道阳. 薄抹灰外墙外保温系统耐候性试验研究 [D]. 北京: 北京工业大学建筑工程学院, 2008.

[4] GB 50176-93, 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.

[5] JGJ 144-2004, 外墙外保温工程技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

[6] 张朝晖. ANSYS 热分析教程与实例解析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.

Thermal-structure Analysis of External Insulation Systems in Extreme Environment in Summer

REN Ling-ling, TONG Li-ping

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper simulates thermal-structural response of the outer wall of a typical residential building in the summer high-temperature and rain environments using finite element analysis methods. The results show that external bad environment is one of the main factors; that polystyrene board has a good thermal insulation effect; that the displacement of the four corners of the windows is larger which must pay attention; that the deformation between mortar and EPS board is not coordinated, so the cracks is appeared firstly in mortar.

Key words: Composite wall with external thermal insulation with EPS board; extreme high temperature; heat structural coupling; numerical analysis