

Finite Element Analysis on EPS External Wall Thermal Insulation System under Summer and Winter Alternate Environment

Wenlei Wang, Shaokai Liao, Chunlan Wu, Hongkai Zhang

College of Civil Engineering & Architecture, Jiaxing University, Jiaxing Zhejiang
Email: liaoshaokai@163.com

Received: Nov. 11th, 2015; accepted: Jan. 23rd, 2016; published: Jan. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

EPS external wall thermal insulation system has become the mainstream of today's construction insulation system because of its good thermal insulation performance. EPS external thermal insulation system under the influence of winter low temperature and summer high temperature environment is simulated by finite element analysis software. The simulation results show that high temperature and low temperature alternating effect is one of the main reasons for cracks and falling off of external thermal insulation wall; EPS board has excellent insulation properties; the deformation of the walls around and windows around is the most prominent, and therefore should be taken seriously. Through the numerical simulation of the external wall thermal insulation system, the regular of wall strain development is obtained, which provided scientific analysis and theoretical basis for nodes design and processing of the corresponding engineering disasters of external wall thermal insulation system.

Keywords

EPS Board, External Thermal Insulation System, Numerical Simulation, Thermal Insulation Performance

冬夏交替环境下EPS外保温系统有限元分析

王文磊, 廖绍凯, 吴春兰, 张洪凯

嘉兴学院建筑工程学院, 浙江 嘉兴

Email: liaoshaokai@163.com

收稿日期：2015年11月11日；录用日期：2016年1月23日；发布日期：2016年1月29日

摘要

EPS板因其优良的保温性能，使得EPS墙体外保温系统成为当今建筑保温体系的主流。本文通过有限元分析软件，对EPS外保温系统在冬季低温和夏季高温环境下的影响进行了模拟。模拟结果表明，高温和低温的交替作用，是引起外保温墙体产生裂缝和脱落的主要原因之一；EPS板具有优良的保温性能；墙体四周以及窗户处变形最为突出，故此处应当引起重视。通过对外墙保温系统的数值模拟，得出了墙体应变的发展规律，为外墙外保温系统的局部节点设计以及相应工程灾害的处理，提供了科学分析和理论依据。

关键词

EPS板，外保温系统，数值模拟，保温性能

1. 前言

随着社会的发展，人们对建筑节能的重视度越来越大，当今高耗能建筑比例大，能源危机日益严重，国内建筑节能状况落后，这一状态亟待改善。在70年代能源危机后，发达国家开始致力于研究与推行建筑节能技术，而我国却忽视了这一问题。时至今日，我国建筑节能水平远远落后于发达国家。国内绝大多数采暖地区围护结构的热功能都比气候相近的发达国家差许多。在工程实践中，经常可以看到由于外保温系统的某些局部节点设计不当，使得保温系统和基层墙体出现局部裂缝[1]。

ANSYS 软件是当今国际使用较普通的有限元分析软件，其精确度高且模拟水平接近实际。ANSYS 热分析的基本步骤是建立模型、网格划分、施加荷载、后处理。本文利用 ANSYS 软件模拟墙体在冬夏交替环境下的热结构应力，为工程实际的设计提供有效依据。

2. 计算模型的建立

2.1. 尺寸的选取

墙体尺寸按照规范《外墙外保温技术规程》JGJ144-2008 中附录 A2 进行设计，如图 1 所示，在模型建立时，选取墙体的长度方向作为 X 轴，墙体的宽度方向作为 Y 轴，墙体的厚度方向作为 Z 轴。坐标原点位于墙体的左下角[2]。

外保温墙体的保温层材料选用 EPS 板，该系统构成方式选用聚苯板厚抹灰涂料饰面系统，墙体基层采用混凝土材料，墙体构造如图 2 所示：

2.2. 材料特性

基层混凝土墙体依据《民用建筑热工设计规范》GB50176-93 [3]，确定其性能参数。外保温系统各层材料的参数，参考耐候性试验数据[4]。各材料参数如表 1 所示。

2.3. 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；

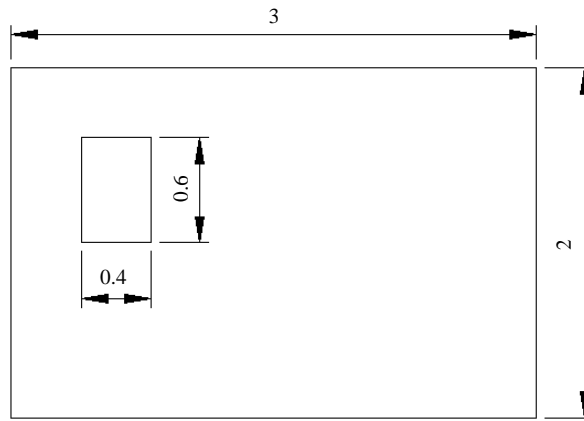


Figure 1. The size of wall (unit: m)

图 1. 墙体尺寸(单位: m)

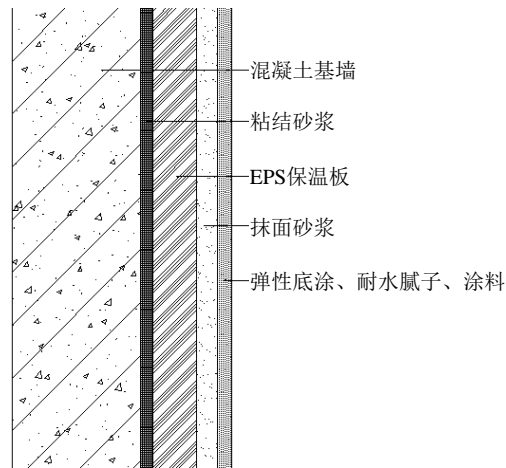


Figure 2. Structure of the wall composed with external thermal insulation system with EPS board

图 2. EPS 板外保温复合墙体构造

Table 1. The property parameters of various materials

表 1. 材料性能参数

	混凝土基层	粘结砂浆	EPS 板	抹面砂浆	窗户
密度 Kg/m ³	2500	1600	20	1600	2400
导热系数 W/(m·K)	1.37	0.93	0.041	0.93	0.77
比热容 J/(kg·K)	882	1050	1.38	1050	840
热膨胀系数 1E-6 /°C	10	12	60	12	0.2
泊松比	0.2	0.28	0.1	0.28	0.2
弹性模量 MPa	25,500	4900	9.1	4900	3100
厚度 mm	200	10	50	5	10

- 2) 每层实体之间定义为全接触，聚苯板采用 100% 粘贴；
- 3) 忽略每块聚苯板之间的缝隙影响，各实体单元都是一个理想整体；

2.4. 网格划分

在单元的选取上，采用 solid5 单元，solid5 具有三维磁场、热场、电场、压电场和结构场分析能力，能实现热与结构的耦合，所以可以使用直接发对模型进行模拟计算。此单元具有 8 个节点，每个节点最多 6 个自由度，solid5 单元如图 3 所示。网格划分时，要注意各层材料直接的节点相耦合，网格划分使用扫掠划分，在窗户及角部的网格相对密集，在墙体中间部位网格相对疏松。这样既保证了计算结果的精确度，又保证了计算过程的简便。网格划分的结果如图 4 所示。

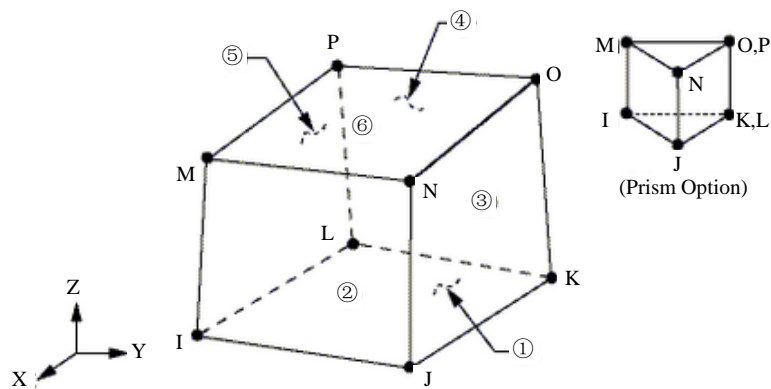


Figure 3. Element of solid5
图 3. Solid5 单元

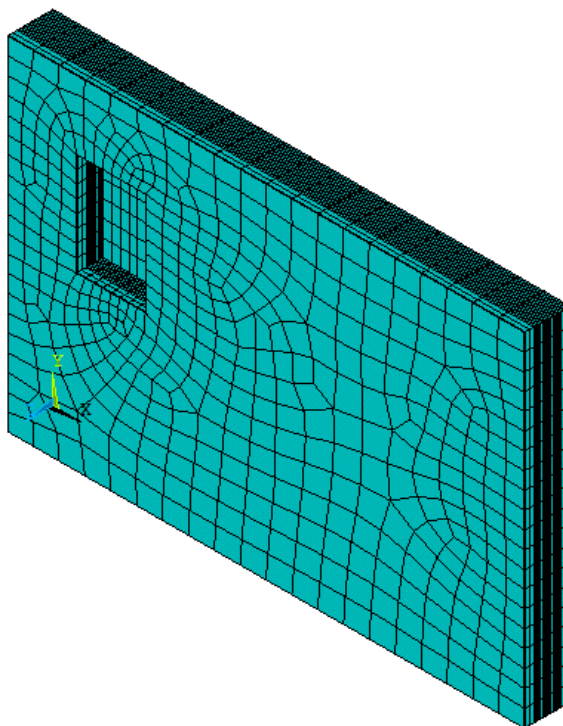


Figure 4. The diagram of meshing
图 4. 网格划分示意图

2.5. 边界条件

为了尽可能与实际工程接近，在模拟中要考虑到外保温墙体外表面与外界空气的热交换作用，因此在热分析中使用第三类边界条件[5]。满足

$$Q = \alpha F \Delta t = \alpha F (t_w - t_f)$$

式中 t_w 为物体的表面温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

t_f 为流体介质的温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

F 表示物体参与换热的表面积，单位为 m^2 ；

Δt 为物体表面温度与流体介质的温度差，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

α 为换热系数。

在《民用建筑设计规范》中，规定了换热系数的取值，本文对墙体内表面的取值为 $8.7 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。同样，对于墙体外表面，假设室外温度为 T_{out} ，墙体外表面第 n 个节点温度为 T_n ，室外空气与墙体的对流换热系数为 α_1 ，那么墙体外表面与室外空气的对流交换量可以表达为：

$$Q = \alpha_1 (T_{out} - T_n)$$

实际上， α_1 与建筑物外表面的风速有关，在本文中，我们取值为 $19 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。同时，考虑到混凝土基墙四周的边界条件，对模型四周边界按固定端考虑(注意只约束混凝土基层，保温系统四周仍按自由处理)，即对其上的节点施加 X、Y、Z 方向的约束，其他位置均自由。

2.6. 荷载施加

荷载的取值参照规范《外墙外保温系统技术规程》附录 A.2 加热 - 冷冻循环中的温度值。具体施加方法如下：

1) 升温 8 h

使试验墙板表面升温至 50°C 并恒温在 $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，恒温时间应不小于 5 h。

2) 降温 16 h

使试验墙板表面降温至 -20°C 并恒温在 $-20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，恒温时间应不小于 12 h。

加热 - 冷冻循环是为了模拟墙体在冬夏交替的环境温度下的影响，用以检测外保温墙体的耐候性能。

2.7. 热传导和热对流方程

外墙外保温复合墙体的内外表面温度不同，因此必然发生热传导。即当物体存在温差时，热量从物体的高温部分传递到低温部分。热量的传递满足以下关系式：

$$\frac{Q}{T} = \frac{KA(T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

式中： Q 为时间 t 内的传热量或热流量；

K 为热传导率或热传导系数；

T 为温度；

A 为平面面积；

d 为两平面之间的距离。

由于墙体是置于空气当中的，墙体温度和环境温度不同时，墙体就会和它周围的空气进行热交换，这种交换过程称为热对流。热对流是指固体表面与它周围接触的流体之间由于温差的存在而引起的热量

交换。热对流用牛顿冷却方程来描述：

$$q'' = h(T_s - T_B)$$

式中： h 为对流换热系数；

T_s 为固体表面的温度；

T_B 为周围流体的温度。

3. 分析过程

使用 ansys 进行 EPS 外保温墙体在冬夏交替环境影响下的模拟步骤如下：1) 建立有限元模型，并录入各材料参数；2) 对所建立的模型选择合适的精度，进行网格划分；3) 施加边界荷载和温度荷载，应用完全牛顿-拉佛森法计算温度场和变形；4) 使用后处理，读取计算结果，并对其进行整理分析。

4. 分析结果

4.1. 温度场分析结果

在该模型中，由于各层材料均匀连续、各向同性，所以各层上的温度均匀分布，温度值一样。因此，本文着重研究沿墙体厚度方向，温度场的变化特征。该模型为外保温 EPS 板墙体，所以 EPS 板的内表面和外表面的温度变化时研究的重点，通过对 EPS 板两侧温度差的分析，可以得出外保温墙体保温性能的优劣。EPS 板两侧温度变化如图 5 所示。

从温度变化的曲线图可知，EPS 板外表面的温度变化幅度较大，其温度值最高可达 47.5℃，最低可至-16.7℃。而 EPS 板内表面的温度变化相对稳定，温度值保持在 20℃左右，是一个较为舒适的温度环境。因为 EPS 的导热系数很低，为 0.041，所以当温度升高或者温度降低时，它便充当了外界与室内的隔膜，使得外界的温度变化对室内的影响很小。由此可见，EPS 板具有优良的保温性能，在冬夏交替的环境温度作用下，能使室内保持相对稳定且舒适的温度。EPS 板是工程实际应用中较为理想的保温材料。

4.2. 墙体变形分析

环境温度的升高或降低，必然导致外墙保温系统的膨胀或收缩。研究墙体的变形对实际工程有十分重要的意义。外墙墙面上产生裂缝甚至脱落，其原因归结于过大的变形。EPS 板保温墙体，在经过冷热交替的作用后，所产生的变形如图 6 所示。

由图可知，保温复合墙体在 X 方向变形的最突出位置是墙体的左右两侧和窗户的右侧，其位移量高达 0.003 m；而在 Y 方向的变形，墙体的上下两侧最为突出，变形量也达到 0.003 m，且从两端向中间其形变量呈增大趋势。无论是 X 方向的变形还是 Y 方向的变形，墙体在中间部位处的变形值都最小。由此可见，墙体的四周和窗户的右侧是保温墙体的薄弱位置，而在墙体中间位置处，变形较小，不易发生裂缝及脱落现象。该墙体在 Z 方向的变形，大体上成均匀变形状态，这一点和理论上相吻合。在实际工程中，墙体的边缘和窗户边侧处常常出现裂缝，这与本文的模拟结果相符合，所以在施工设计中此处位置应引起我们的注意。

在冷热交替温度作用的过程中，墙体的变形发展也应引起重视。实际工程中的建筑物，其外表面的裂缝发展必然是一个由少及多，由疏及密的变化过程。保温层的脱落也必然是一个潜移默化的变形过程。该外保温墙体模型在冷热交替的环境作用下，其阶段性变形如图 7 所示。

从图可以看出，墙体的四个角部从始至终都是变形最为突出的位置。在高温和低温的交替作用下，变形最大时刻是荷载结束时的最后时刻，其变形值最大达到 0.38e-3 m，位置处于窗户的角部。窗户右侧

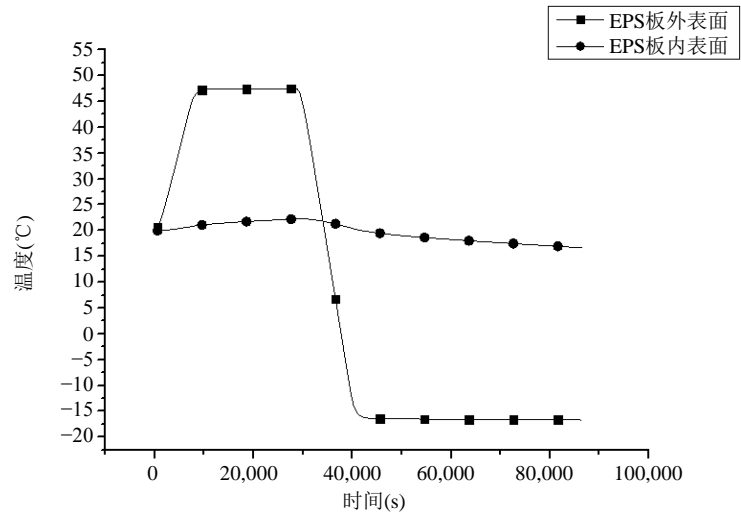
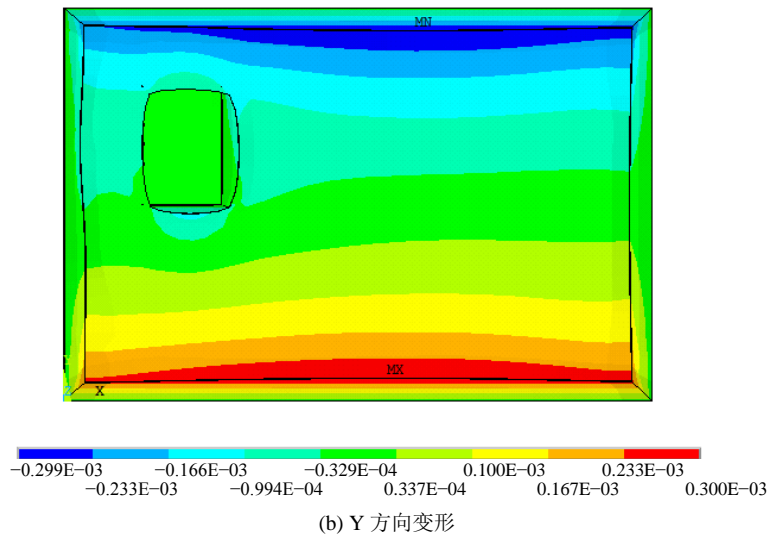
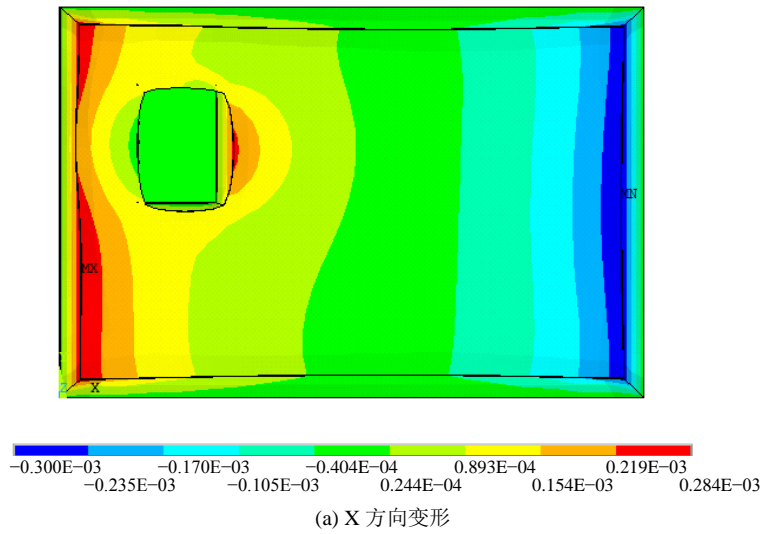


Figure 5. The curve of changing temperature with time
图 5. 温度随时间变化曲线



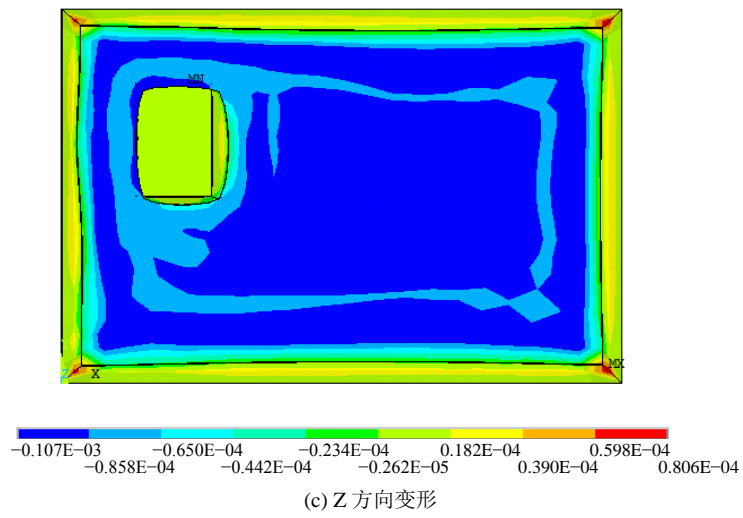
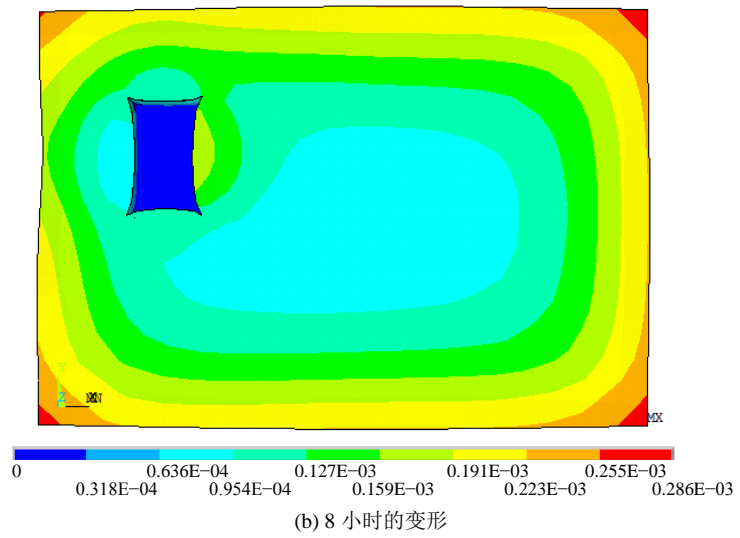
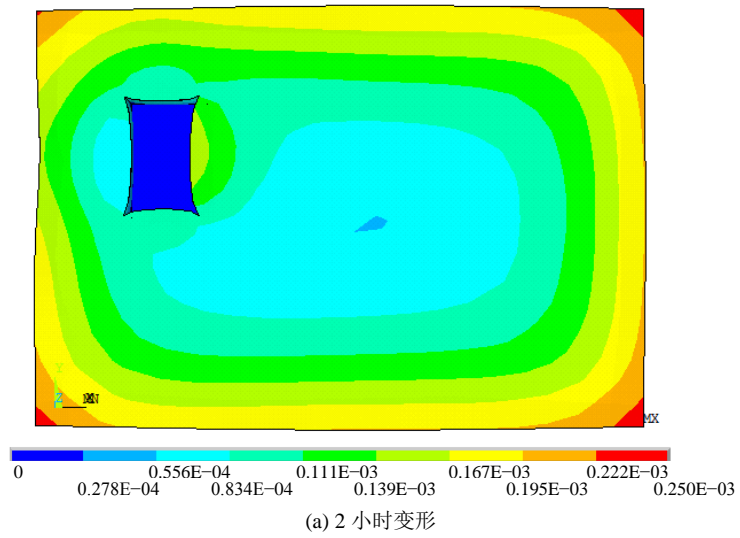


Figure 6. Displacement contour of external thermal insulation wall
图 6. 外保温墙体的变形图



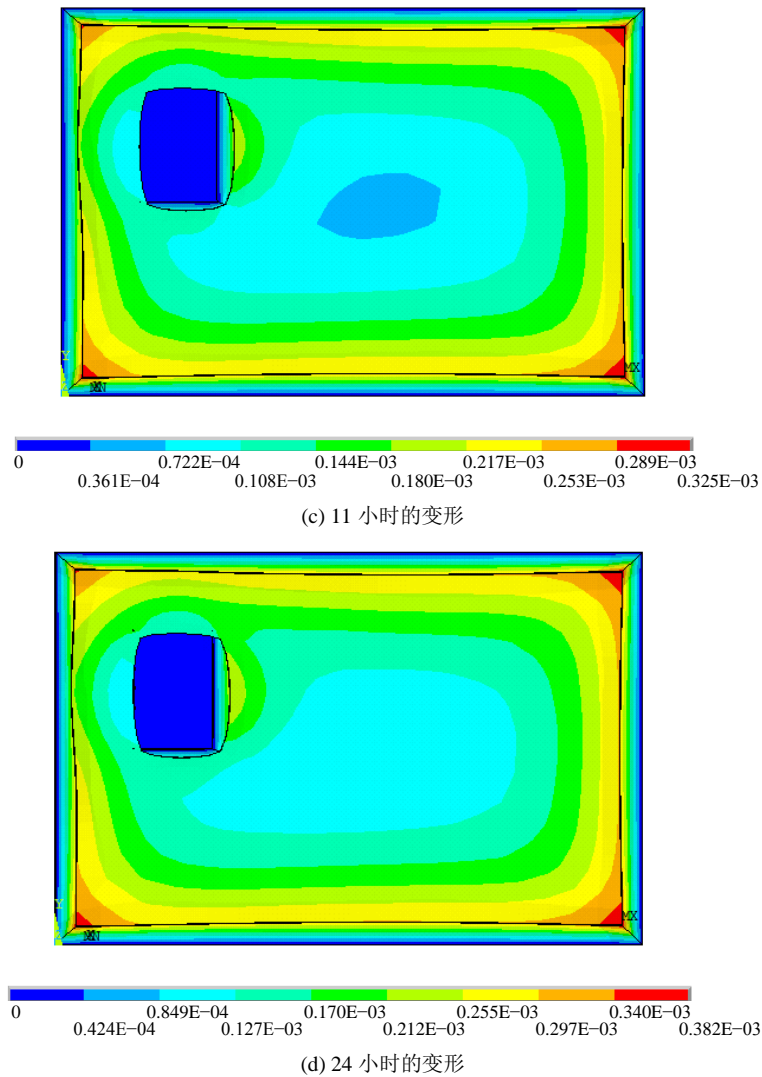


Figure 7. The wall deformation contour at each stage
图 7. 墙体各阶段的变形云图

部位也是一个变形较大的地方，在冷热交替的环境作用下，其变形值最大可达到 $0.2e-3$ m。可见，温度对墙体的影响很大，在实际工程中，一定要时刻注意特殊位置的变形，墙体角部和窗户边界处应当引起重视，环境温度的作用不容小视。

5. 结论

- 1) 外墙保温系统开裂的重要因素之一就是冬夏交替的温度变化。尤其在北方地区，夏季的阳光日照，使得外保温系统外表面高达 50°C ，而冬季的寒冷使得外保温系统外表面低至 -20°C 。巨大的冬夏交替温差，使得外保温系统产生裂缝，甚至脱落。
- 2) 由聚苯板构成的保温层，其内表面温度变化较小，外表面温度变化较大，这充分证明了聚苯板优良的保温性能，也证实了聚苯板在实际工程中大量应用的合理性。
- 3) 外保温系统的变形，在墙体四周和窗户部位最为突出，是容易出现裂缝甚至脱落的位置。因此，在实际工程中要十分重视对墙体角部和窗户处的处理。

基金项目

国家级创新创业训练计划项目，项目编号 20141035020。

参考文献 (References)

- [1] 任玲玲, 童丽萍. 夏季极端环境下住宅墙体 EPS 保温体系热结构耦合分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2010, 31(4): 15-18, 72.
- [2] 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.
- [3] GB50176-93, 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [4] 薄海涛. 建筑外墙外保温系统耐久性评价研究[J]. 华中科技大学, 2009(11).
- [5] 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.