

Analysis of Temperature Stress of Filled Walls in Framed Structures Based on ANSYS

Hejiang Hu

College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai
Email: huhejiang_tj@163.com

Received: Apr. 28th, 2016; accepted: May 17th, 2016; published: May 20th, 2016

Copyright © 2016 by author 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

The filled wall has great influence on the bearing capacity, rigidity and deformation properties of framed structures. In the application, the cracking problem of masonry filled walls in framed structures is quite serious, and one of the main reasons is the temperature stress. This paper conducted the simulation analysis of a simple framed structure with filled walls through ANSYS software, then observed the change rule of the maximum displacement, the maximum first principal stress and the average wall stress by changing the span, window area of the filled wall and setting up structural measures (structural column or ledge beam), in order to search for measures of reducing temperature stress and supply the technical support for engineering.

Keywords

Numerical Simulation, Temperature Stress, Filled Wall, Framed Structure, Temperature Displacement

基于ANSYS的框架砌体填充墙温度应力分析

胡合江

同济大学土木工程学院, 上海
Email: huhejiang_tj@163.com

收稿日期: 2016年4月28日; 录用日期: 2016年5月17日; 发布日期: 2016年5月20日

摘要

填充墙对框架结构的承载力、刚度及其变形性能都有着很大的影响。在工程实践中, 框架结构砌体填充墙开裂问题相当严重, 其中温度应力是主要原因之一。本文对简单框架填充墙进行ANSYS有限元分析, 改变填充墙的跨度、开窗面积以及设置构造措施(构造柱或窗台梁), 观察最大位移、最大第一主应力、墙体平均应力的变化规律, 从而寻找出减小温度应力的措施, 为工程提供实用的技术支持。

关键词

数值模拟, 温度应力, 填充墙, 框架结构, 温度位移

1. 引言

填充墙框架结构是房屋建筑结构中常见的一种结构体系。该结构常采用砖墙、砌块砌体或其他材料进行房间分隔或外部围护, 已有的研究表明, 填充墙对框架结构的承载力、刚度及其变形性能都有着很大的影响[1]。在推广运用中, 框架结构中砌体填充墙开裂问题相当严重。而框架填充墙与梁柱边界裂缝一旦形成就会降低填充墙的整体性、耐久性和抗震性能, 影响着建筑物的使用功能(如外墙和卫生间墙体有较强的抗渗要求), 特别是随着我国墙材改革、住房商品化的进展, 人们对居住环境和建筑质量的要求不断提高, 对建筑物墙体裂缝控制的要求更为严格。墙体裂缝的出现给居住者造成很大的心理压力, 给业主和开发商带来纠纷, 严重影响了新型墙材的发展, 建筑物的裂缝已成为住户评判建筑物安全的一个非常直观、敏感和首要的质量标准[2]。因此加强砌体填充墙的抗裂研究, 已成为工程界、行政主管部门以及房屋开发商共同关注的课题。温度应力是造成墙体开裂的主要原因之一[7], 找到切实有效的方法控制住温度应力, 便可一定程度上控制裂缝的形成。

本文针对武汉地区的温差变化, 利用 ANSYS 对填充墙施加采集得到的武汉温度荷载, 模拟分析框架填充墙的温度应力, 并通过改变墙体相关参数, 得到温度应力随墙体参数的变化规律, 从而找出减小温度应力的措施, 为工程提供实用的技术支持。

2. 温度荷载采集

对于建筑物来说, 由于自然环境条件的变化而产生的温度作用一般可分为以下 3 种: 骤然温差、日照温差、季节温差, 其中季节温差变化最大, 对结构的后期使用影响最大, 应着重考虑此项温差。

结构构件使用期间的季节温差可以定义为:

$$\Delta T_i = \begin{cases} T_{p\max} - T_o \\ T_o - T_{p\min} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T_{p\max}$, $T_{p\min}$ 分别为结构使用期间多年(一般取 30 年[3])最高和最低月平均气温; T_o 为结构室内温度。

表 1 为武汉市 1983 年~2012 年气象统计资料。资料表明, 30 年一遇月平均最高气温 $T_{p\max} = 32.6^\circ\text{C}$, 月平均最低气温 $T_{p\min} = 0.3^\circ\text{C}$ 。为了控制温差, 一般室内温度 $T_o = 10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$, 则结构的最大负温差为: $0.3^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = -19.7^\circ\text{C}$, 最大正温差: $32.6^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 22.6^\circ\text{C}$ 。本文统一采用升温温差 22.6°C 。

3. 砌块填充墙的温度应力有限元模型

3.1. 模型参数

混凝土构件和砌体构件均采用 SOLID65 单元, 混凝土构件的混凝土和钢筋采用整体式建模, 即通过

定义 SOLID65 实常数来考虑钢筋的作用，混凝土强度等级 C25，钢筋级别为 HRB335 (纵筋、箍筋)，砌体采用 MU10 混凝土砌块，砂浆级别为 Mb5。框架梁、框架柱和底梁的相关参数如下表 2。

简单框架填充墙模型(模型 1)的示意图如图 1 所示，其中墙厚为 200 mm。模型统一采用材料线弹性假设，需考虑的参数包括材料的弹性模量、泊松比、密度以及线膨胀系数，如表 3 所示[5] [6]。采用建立接触对的方法来模拟混凝土框架和填充墙的粘结关系，TARGE170 用于混凝土框架刚性面，CONTA174 用于填充墙柔性面，摩擦系数取 0.7，法向的渗透因子取 0.1 [8]。初始边界条件包括约束底梁下底面的所有自由度，以及约束柱子上顶面的 Z 方向自由度(考虑纵向框架的约束作用)。加载采用静力加载，根据前面的温度荷载采集，采取升温工况，即先设定整体的参考温度为 0℃，然后在正面施加 22.6℃ 的温度荷载，研究温度作用下的结构效应。

3.2. 模型结果分析

升温情况下，简单框架填充墙模型 1 的合位移云图和第一主应力云图如图 2、图 3 所示。

从图 2 可以看出，位移主要集中在填充墙中部，最大为 0.486 mm，并且分布情况为四角小、中部大，呈椭圆散射分布。由于混凝土和砌体都是单轴抗压强度远大于单轴抗拉强度的脆性材料，它在达到非常接近于弹性极限的应力值时开裂，伴随着极小的塑性变形，所以可认为单元的主拉应力大于单轴抗拉强度时即开裂，用第一强度准则(主拉应力)来分析是合理的，故第一主应力云图是很重要的一项分析指标，从图 3 中可以看出，最大主拉应力发生在柱顶外侧和柱底内侧，说明拉应力集中于墙体与四周的接触面，这与约束条件有关，而当应力条件复杂时，墙角的墙体处于多向受力状态，产生斜向剪应力，形成水平裂缝和斜向裂缝。

Table 1. Meteorological statistics of Wuhan city from 1983 to 2012 [4]

表 1. 武汉市 1983~2012 年气象统计[4]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均气温/ °C	3.7	5.8	10.1	16.8	21.9	25.6	28.7	28.2	23.4	17.7	11.4	6.0
平均最高气温/ °C	8.0	10.1	14.3	21.4	26.4	29.6	32.6	32.5	27.9	22.7	16.5	10.8
平均最低气温/ °C	0.3	2.4	6.5	12.8	18.2	22.2	25.4	25.0	19.9	13.9	7.5	2.3
平均相对湿度/%	77	76	78	78	77	80	79	79	78	78	76	74

Table 2. Section dimension and reinforcement information of beam and column

表 2. 梁、柱截面尺寸和配筋情况

模型构件	截面尺寸	纵筋	箍筋
框架梁	400 × 200	4B14	B8@200
框架柱	400 × 400	4B25	B8@200
底梁	500 × 500	无	无

Table 3. Material parameter table of finite element model

表 3. 有限元模型材料参数表

材料编号	材料种类	弹性模量(Pa)	泊松比	密度(kg/m ³)	线膨胀系数(/°C)
1	C25 混凝土	2.8×10^{10}	0.2	2500	10×10^{-6}
2	砌块砌体	3.552×10^9	0.15	1350	5×10^{-6}
3	HRB335 钢筋	2.0×10^{11}	0.25	7850	12×10^{-6}

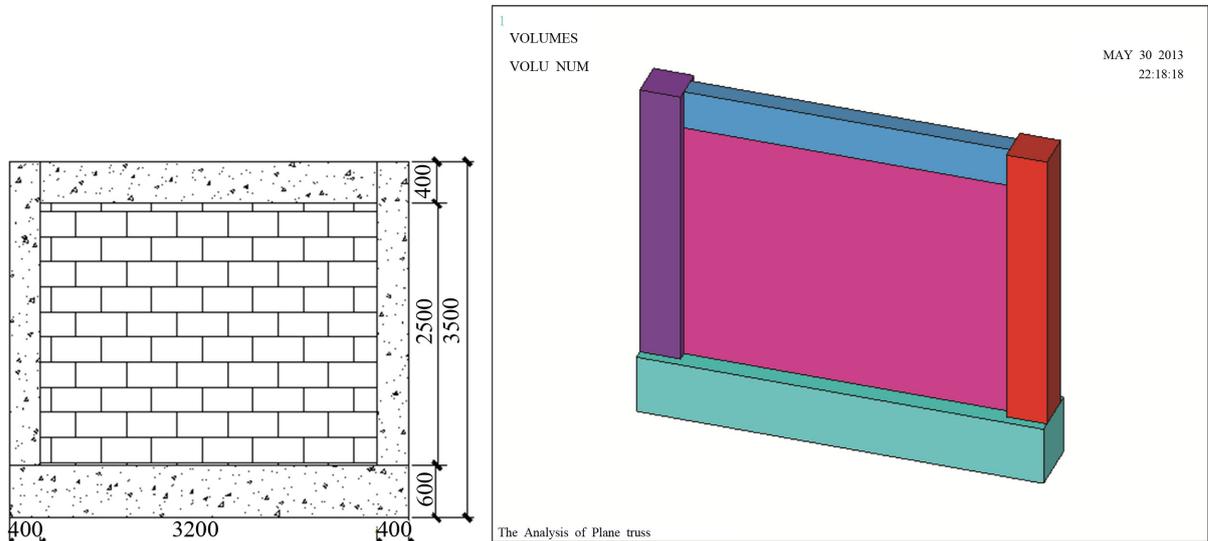


Figure 1. Sketch map of model 1
图 1. 模型 1 示意图

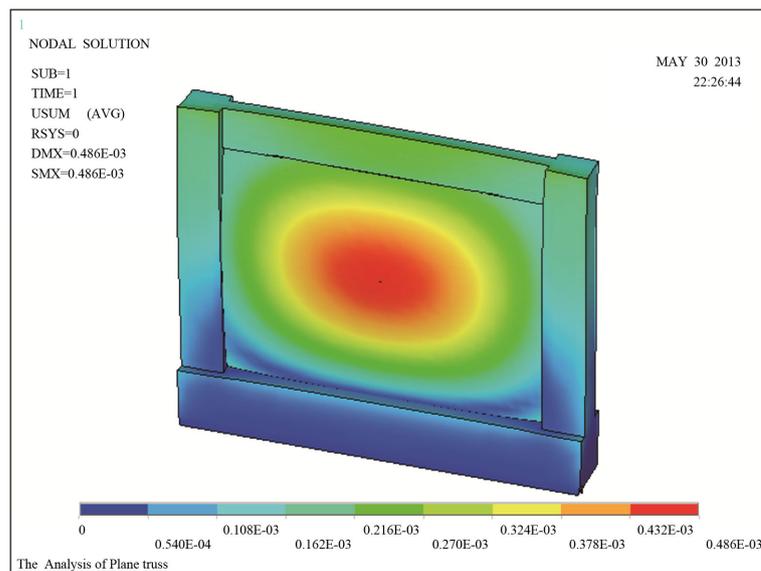


Figure 2. Cloud atlas of displacement of model 1
图 2. 模型 1 合位移云图

4. 填充墙参数对温度应力的影响

4.1. 高跨比

在模型 1 (墙体高度 $H = 2.5 \text{ m}$, 宽度 $L = 3.2 \text{ m}$) 的基础上, 保持高度 H 不变, 改变宽度 L , 分析最大合位移和最大等效主应力的变化, 并重点分析填充墙的位移和应力变化。取 $L = 2.5 \text{ m}, 2.8 \text{ m}, 3 \text{ m}, 3.2 \text{ m}, 3.4 \text{ m}, 3.6 \text{ m}, 3.8 \text{ m}, 4.0 \text{ m}$ 共八种情况。不同跨度下的最大合位移(mm)、最大第一主应力(MPa)和墙体平均应力(MPa)如表 4 所示。

最大合位移、最大第一主应力和墙体平均应力均随填充墙跨度的增加而增加, 跨度过大会增加温度应力和温度位移, 因此实际工程中应控制填充墙的跨度。

4.2. 开窗洞口大小

采用模型 1 (墙体高度 $H = 2.5 \text{ m}$, 宽度 $L = 3.2 \text{ m}$) 作为基本模型, 分别开洞为 $(1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 1.4 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 1.6 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 1.8 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 2.0 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 2.4 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 2.6 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 2.8 \text{ m})$ 、 $(1.2 \text{ m} \times 3.0 \text{ m})$ 共十种情况, 不同开窗洞口下的最大合位移(mm)、最大第一主应力和墙体平均应力(MPa)如表 5。

从表 5 可以看出, 开洞在一定程度上能减小整体模型的温度应力, 不开洞时的三项指标与开洞相比, 均相对较低。因此, 适当的开洞对减小温度裂缝有利, 同时也能满足开窗的需求。同时, 最大合位移、最大第一主应力和填充墙平均应力随填充墙开洞宽度增加近似呈递减变化。因此, 墙体开洞对温度应力的降低是有利的, 能有效减少温度裂缝, 但是墙体开洞处是位移集中区域, 会形成较大变形, 对使用要求不利, 同时开洞过大也会减小填充墙的整体性和刚度, 降低其抗侧能力, 因此建议开洞后采用额外的

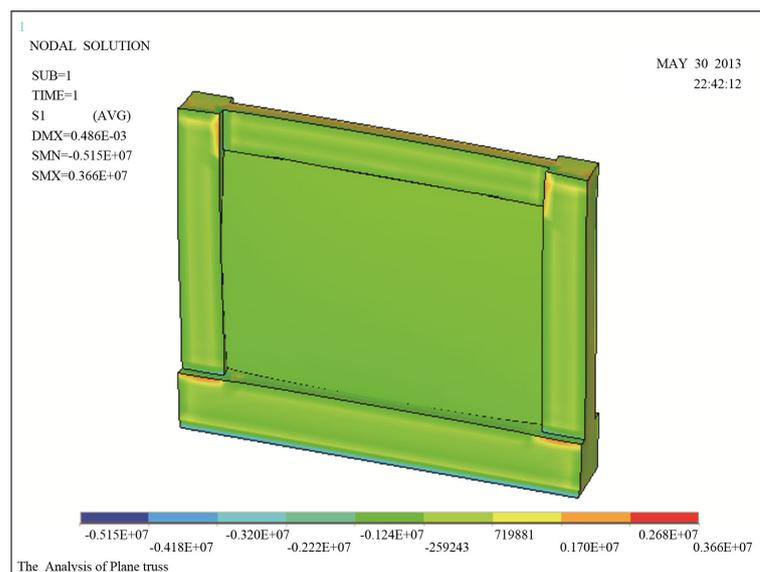


Figure 3. Cloud atlas of the first principal stress of model 1
图 3. 第一主应力示意图

Table 4. Indicators under different spans of filled walls
表 4. 不同填充墙跨度下的各项指标

指标	跨度 L/m	2.5	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
最大合位移		0.415	0.449	0.466	0.486	0.502	0.516	0.530	0.542
最大第一主应力		3.58	3.61	3.64	3.66	3.68	3.70	3.72	3.74
墙体平均应力		0.661	0.688	0.706	0.720	0.736	0.750	0.766	0.781

Table 5. Indicators under different areas of open windows
表 5. 不同开窗洞口下的各项指标

指标	洞口宽 B/m	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
最大合位移		0.361	0.353	0.349	0.343	0.339	0.340	0.339	0.340	0.329	0.357
最大第一主应力		3.62	3.62	3.61	3.58	3.58	3.58	3.57	3.57	3.55	3.56
墙体平均应力		0.693	0.689	0.683	0.667	0.662	0.661	0.659	0.657	0.645	0.650

Table 6. Comparison of displacement and force index under three structural measures
表 6. 三种构造措施的结构变形以及受力指标的比较

构造措施	指标	最大合位移(mm)	最大等效应力(MPa)	墙体平均应力(MPa)
设构造柱		0.275	3.61	0.595
设窗台梁		0.220	4.02	0.978
设构造柱和窗台梁		0.268	4.12	0.908
最小指标的构造		设窗台梁	设构造柱	设构造柱

构造措施来加强洞口区域。

4.3. 设构造柱或窗台梁

在开洞模型 1 (墙跨度 $L = 3.2 \text{ m}$, 开洞尺寸 $1.2 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$) 的基础上, 在洞口两侧各设一根 200×200 的构造柱, 纵筋为 $4\text{B}12$, 箍筋为 $\text{B } 8@200$; 在洞口下方设一根 200×200 的窗台梁, 纵筋为 $4\text{B}12$, 箍筋为 $\text{B } 8@200$ 。分别考虑只设构造柱、只设窗台梁、同时设构造柱和窗台梁三种情况, 结构变形和受力指标如表 6 所示。

虽然同设构造柱和窗台梁的效果并不比单设构造柱或者窗台梁效果好, 但是相比单设而言, 构造柱和窗台梁与框架梁柱相当于形成了一个简易框架, 将填充墙进行了划分, 使应力分布更加均匀, 减少了应力集中。但如果只能设置一种构造措施, 建议采用构造柱。

5. 结论

本文通过一系列的有限元模拟和分析, 比较了各种条件下的墙体温度应力变化, 掌握了温度应力随填充墙相关参数变化的基本规律。在对简单框架填充墙的模拟分析中, 发现墙体四角温度应力最大、中部温度位移最大, 而墙体与周边框架的约束和接触条件是影响温度应力最主要的一个因素; 在对不同长度、开窗以及不同构造措施的填充墙的模拟分析中, 总结出采用较小的跨度、适当开窗以及设置构造柱是减小填充墙温度应力较好的方式, 为工程中减小填充墙温度应力提供了一定的技术支持。

致 谢

感谢苏原老师在 ANSYS 建模分析的悉心指导, 感谢所有参考文献的作者, 给本文的构思、推进和实现给与了极大的帮助, 感谢评阅本文的各位老师和专家, 感谢你们对于本文的宝贵意见。

参考文献 (References)

- [1] 周海水. 带填充墙框架结构非线性有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2009.
- [2] 苑振芳, 刘斌. 关于砌体结构裂缝控制措施的建议[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2000(8), 12-16.
- [3] 樊小卿. 温度作用与结构设计[J]. 建筑结构, 1999, 20(2): 43-51.
- [4] 中国气象科学数据共享服务网[DB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/>
- [5] 施楚贤. 砌体结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [6] GB50010-2010, 混凝土结构规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [7] 王铁梦. 建筑物的裂缝控制[M]. 上海: 上海科技出版社, 1987.
- [8] Zucchini, A. and Lourenco, P.B. (2002) A Micro-Mechanical Model for the Homogenization of Masonry. *International Journal of Solid Sand Structure*, **39**, 3233-3255.