

## 数值模拟风荷载下低矮房屋屋架结构应力响应

赵磊磊<sup>1</sup> 陈亮<sup>2</sup>

(1. 中国航天建设集团有限公司 北京 100071; 2. 中国航天空气动力技术研究院 北京 100074)

**摘要:** 为进一步指导建筑物结构防风设计的进行, 将计算机数值模拟、风洞试验和工程算法有效地结合起来, 运用大型有限元分析软件 ANSYS 11.0 对房屋结构进行有限元建模, 将风洞试验各测点得到的风压值施加在有限元模型上, 得到不同风向角下房屋结构对风荷载的应力响应, 并重点对主承力屋架结构进行了工程强度校核。分析结果证明这种研究方法对房屋结构设计具有更直接的指导意义。

**关键词:** 有限元; 数值模拟; 风荷载; 应力分布; 强度校核

**中图分类号:** TU312

**文献标识码:** A

### Numerical simulation of the low - rise building roof truss structure stress response to the wind Load

ZHAO Lei - lei<sup>1</sup>, CHEN Liang<sup>2</sup>

(1. China Aerospace Construction Group Co., Ltd Beijing 100071; 2. China Academy of Aerospace Aerodynamics Beijing, 100074)

**Abstract:** In our country, the wind load is researched through the wind tunnel test or CFD software to analyze the wind pressure distribution on the buildings. In this paper, the computer numerical simulation, wind tunnel test and project analysis are joint used to get further guidance on the wind - resistant design of the building structure. The FEM software ANSYS 11.0 is applied to build the finite element model of the house. The wind pressure value which is got through the test points in the wind tunnel test is loaded on the FEM model. The stress response in different wind direction is calculated through ANSYS. The strength of the main load - bearing structure roof truss is especially analyzed and checked. The result shows that this method has more significance on the guidance of the structure design.

**Key words:** finite element; numerical simulation; wind load; stress distribution; strength check

在我国各种自然灾害中, 风灾是对人民生命财产影响较大的一种, 其影响范围广, 发生次数多, 还会产生较大的次生灾害。随着社会的发展, 全球气候也在发生着变化, 风灾带来的损失也在逐年增大。2010年5月6日, 重庆市受到了11级大风的袭击, 波及垫江、梁平、涪陵、彭水等12个区县, 受灾人数达90余万, 造成直接经济损失大约有4.2亿元。随着风灾的频繁发生, 人们对风灾的关注和研究也越来越多。根据多次调查显示, 在我国沿海地区, 村镇房屋的倒塌破坏是造成灾害损失的重要因素<sup>[1-2]</sup>。因此, 本文主要针对

低矮房屋的防风研究来进行。

### 1 风载响应研究

目前对于风荷载的研究大多是通过风洞试验或者计算流体力学软件进行数值模拟来分析低矮房屋表面的风压分布情况, 但这仅是完成了防风设计的第一步<sup>[3-4]</sup>。

在风荷载作用下, 结构的失效形式有很多种, 主要有: 结构或构件内力超出允许值范围, 导致结构失效破坏; 结构或构件的变形超过允许值, 导致框架、承重墙的开裂或者残余变形较大, 或导致非

承重结构构件的破坏(例如,门、窗的破坏);结构或构件的严重失稳;长期的风振引起的结构损失累积,导致结构疲劳破坏。

因此,防风设计必须首先得到各承力构件在风荷载下的应力及变形响应,如果响应值超出了允许值的范围,就要对结构做出相应的加强。作者在先前的研究中提出了一套分析方法<sup>[5]</sup>:通过 ANSYS 有限元软件建立出真实结构的有限元模型,将风洞试验获得的风荷载施加在模型上,分析得出各构件的应力及变形响应,并对结果进行了分析。在该方法中,应力及变形响应是直接由有限元结果中读出来的,该结果对于分析屋架结构并不充分。

本文在该方法的基础上,进一步提出了适用于主承力屋架结构应力分析的方法。

## 2 房屋模型描述

本文分析的是一个典型的低矮房屋模型,其房屋结构由墙体和屋面组成。墙体除东、西、南、北四个立面外,中部还有一个南北走向的隔墙,隔墙上安装木屋架;南立面开有门窗,东西立面上设置檐口;屋面由檩条、椽子和瓦组成。

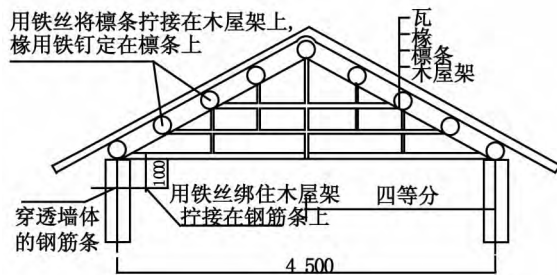


图 1 屋架

Fig.1 Roof truss

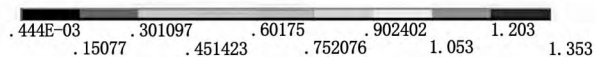
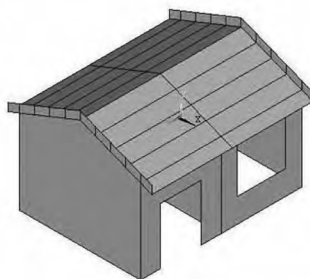


图 3 有限元模型及应力云图

Fig.3 FEM model and stress contour of the structure

## 3 风载处理

根据风洞试验得到模型的风荷载值,风洞试验模型如下图所示。



图 2 风洞试验示意图

Fig.2 Wind tunnel test scheme

南立面为迎风面,北立面为背风面,风洞试验将模型放置在转盘中心,通过旋转转盘模拟不同风向角,房屋整体绕转盘底面中心逆时针旋转。

模型的表面设置测点,可以测出风荷载下模型不同点的压力值,进而可换算出实际风荷载的体型系数,由公式

$$\omega_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (1)$$

可计算出实际房屋结构表面的风压分布。其中  $\beta_{gz}$  为高度  $z$  处的阵风系数;  $\mu_s$  为风荷载体型系数;  $\mu_z$  为风压高度变化系数;  $\omega_0$  为基本风压。本文中采用浙江省宁波市 50 年一遇的风压值<sup>[6]</sup>,  $\omega_0 = 0.5 \text{ kN/m}^2$ 。

## 4 数值分析

本文采用有限元软件 ANSYS11.0 进行数值分析。建立的有限元模型及得到应力云图如下:

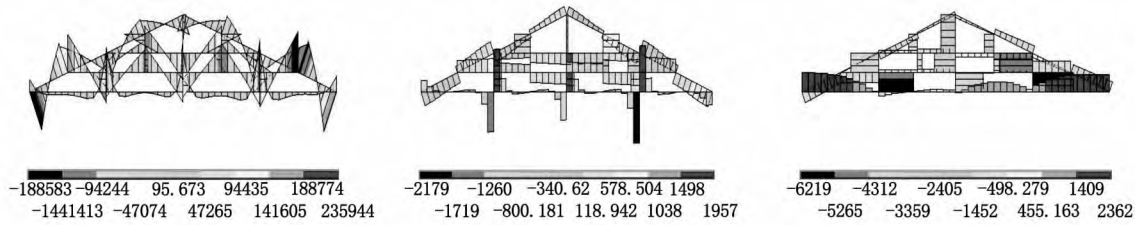


图4 0° 风向角下屋架弯矩、剪力及轴力图

Fig. 4 Moment, shear and axial diagram of the roof truss under 0 wind direction angle

表 1 屋架弯矩、剪力及轴力极值

Tab. 1 The extreme value of the roof truss moment, shear and axial force

风向角	0°	30°	60°	90°	180°	
弯矩 /Nm	最小弯矩	-188 583	-226 602	-188 583	-196 755	-192 932
	单元号	9922	9922	9922	9989	9989
	最大弯矩	235 944	277 273	235 944	223 951	220 196
	单元号	9879	9879	9879	9879	9883
剪力 /N	最小剪力	-2 179	-2 541	-2 179	-2 086	-1 868
	单元号	9879	9879	9879	9879	9879
	最大剪力	1 957	2 225	1 957	1 947	1 938
	单元号	9895	9895	9895	9895	9883
轴力 /N	最小轴力	-6 219	-7 170	-6 219	-6 064	-5 522
	单元号	9928	9928	9928	9928	9928
	最大轴力	2 362	2 583	2 362	2 392	2 202
	单元号	9845	9845	9845	9845	9845

屋架作为主承力结构,需要进行工程细节分析。屋架采用的是梁单元,可先通过有限元结果取出弯矩、剪力和轴力,再用工程算法算出应力。下面给出 0° 风向角下屋架结构的内力图。

各风向角下屋架的弯矩、剪力及轴力极值如上表所示。

最小弯矩发生在单元 9922、9989; 最大弯矩发生在单元 9879、9883; 最小剪力发生在单元 9879; 最大剪力发生在单元 9895、9883; 最小轴力发生在单元 9928; 最大轴力发生在单元 9845。各单元所在位置如下图所示。

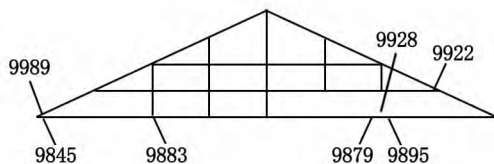


图5 屋架弯矩、剪力及轴力极值位置图

Fig. 5 The location where the extremum of moment, shear and axial force exist

由上表可看出,屋架的弯矩、剪力和轴力最大、最小值均发生在 30° 风向角情况下; 弯矩绝对值最大值为 277 273 Nm, 剪力绝对值最大值为 2 541 N, 轴力绝对值最大值为 7 170 N, 可以用这

些最大值校核屋架的受力。

屋架直径为 150 mm, 截面面积为 17 662.5 mm<sup>2</sup>, 惯性矩为 24 837 890.6 mm<sup>4</sup>。则屋架最大弯矩引起的最大应力为:

$$\sigma_M = \frac{M_y}{I} = \frac{277\ 273 \times 75}{24\ 837\ 890.6} = 0.84\ \text{MPa} \quad (2)$$

屋架最大剪力引起的剪应力为:

$$\tau_Q = \frac{Q}{A} = \frac{2\ 541}{17\ 662.5} = 0.14\ \text{MPa} \quad (3)$$

屋架最大轴力引起的正应力为:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{7\ 170}{17\ 662.5} = 0.40\ \text{MPa} \quad (4)$$

则最大正应力为:

$$\sigma_{\max} = \sigma_M + \sigma_N = 0.84 + 0.40 = 1.24\ \text{MPa} \quad (5)$$

根据《木结构设计规范》表 4.2.1-3 《木材的强度设计值和弹性模量》可查得,当屋架材料选取强度等级为 TC11A 级时,其抗拉强度为 10 MPa,抗压强度为 7.5 MPa,抗剪强度为 1.4 MPa,再由公式(3)和(5)可知屋架强度满足要求。

### 5 结论

本文提出了一种计算房屋主承力结构对风荷载的应力响应的方法。利用该方法分析得到的低矮房屋屋架结构在风荷载下的应(下转第 24 页)

5 mm的路表冰层 随着冰层厚度增加 路面结构的除冰能力逐渐降低 超过 8 mm 后几乎丧失了除冰能力。

#### 参考文献:

- [1]曹高尚. 橡胶颗粒沥青混合料桥面铺装破冰技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [2]YAO LILI, WANG XUANCANG, ZHANG CONG, et al. The application of TPS modified asphalts in granulated crumb rubber asphalt mixture[C]//2011 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE, 2011.
- [3]刘凯, 王选仓, 王芳. 中外高速公路融雪化形技术和方法[J]. 交通企业管理, 2009(8): 73-74.
- [4]马晓宁. 橡胶颗粒弹性路面除冰效果评价[J]. 筑路机械与施工机械化, 2013, 30(1): 35-40.
- [5]姚莉莉. 橡胶颗粒弹性除冰路面关键技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

(上接第7页)

力水平满足材料本身的强度要求,同时也证明了该方法对结构防风设计具有更直接的指导意义。

#### 参考文献:

- [1]国家减灾中心灾害信息部. 全国灾情月报 2009年9月[J]. 中国减灾, 2009(12): 58-62.
- [2]GB50011-2001 建筑抗震设计规范[S].

- [6]JASON FLEMING CHIPPS. The Industrial Manufacture of tire rubber modified asphalts with enhanced rheological performance and improved longevity[D]. Texas: Philosophy for A&M University, 2010.
- [7]陈渊召, 李振霞. 橡胶颗粒沥青路面的除冰机理[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013(5): 2073-2081.
- [8]姚莉莉, 王选仓. 无网格法在沥青路面瞬态温度场分析中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2011(4): 7-11.
- [9]王选仓, 张聪, 林荣安, 等. 绿色太阳能融雪化冰水泥路面关键技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010(12): 28-31.
- [10]EGGENL G, VANGSNES G. Heat pump for district cooling and heating at OSLO airport gardermoen[C]//The IEA8th Heat Pump Conf Las Vegas, USA, 2006.
- [11]JTJ E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

(责任编辑 王利君)

- [3]戴益民, 李秋胜, 李正农. 低矮房屋屋面风压的实测及分析[J]. 建筑结构, 2009, 39(7): 88-90.
- [4]侯爱波. 建筑数值风洞的基础研究及其应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2006.
- [5]赵磊磊. 数值模拟低矮房屋结构对风荷载的响应[J]. 山东科技大学学报, 2011(2): 16-18.
- [6]GB50009-2001 建筑结构荷载规范[S].

(责任编辑 王利君)