

文章编号: 1000-5013(2008)04-0580-04

开洞位置对低层轻钢结构风荷载的影响

彭兴黔, 贾 勇

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 鉴于高层开洞良好卸载效果与迎风面突然开洞的破坏作用, 提出对低层轻钢结构开洞抵御风荷载的气动措施. 通过湍流 $k-\epsilon$ 方程和结构化非均匀网格, 采用风洞实验验证的数值风洞模型模拟了 4 个开洞位置不同, 但尺寸相同的轻钢建筑, 并基于以上模型风荷载分布提出主动抗风的结构形式. 分析结果表明, 开洞房屋屋面平均风压较低, 此种结构在强风作用下比同类型全封闭的结构抗风性能要好.

关键词: 开洞位置; 主动抗风模型; 轻钢结构; 低层建筑

中图分类号: TU 392.504; TU 312⁺.1

文献标识码: A

开洞是建筑实践活动中常见的现象, 建筑的洞口几何尺寸、位置和开洞目的千差万别, 很多是出于建筑功能或立面效果的考虑, 而考虑洞口设置对建筑风荷载影响的不多. 毫无疑问, 洞口会对建筑周围的绕流流场产生显著影响, 从而在一定程度上改变风荷载^[1]. 各国研究的高层开洞比较多, 如新加坡的 IBM 大厦、日本的 NBC 大厦等, 都是在建筑的迎风不利面开 3%~5% 洞口, 却能减小风荷载 20%~30%, 效果是非常明显的. 低层建筑开洞要考虑到内部流场的扰动, 开洞研究的是内外风压的共同作用, 比较复杂, 很多研究是被动式的, 如迎风面门窗突然开启情况下, 风致内、外压力系数分布问题与振动问题. 文[2]研究了风压极值点处开槽对大跨悬挑平屋盖结构风荷载的影响, 使平均局部体型系数大约降低 50% 左右; 文[3]分析了围护结构风损处能形成导风槽, 可大大减少屋盖风吸力; 文[4]研究了在顶部开洞情况下屋盖表面的风压分布特性, 结果表明开洞后屋盖上的风压有一定程度的降低, 取得了比较理想的试验效果, 但应用于实际比较困难. 本文利用建筑物的原有开洞(门窗和天窗)等主动开启对结构风荷载的影响, 并提出结构抗风方案.

1 体形系数的确定

建筑表面各点的风压系数 $c_{p,i} = p_i / p_0$. 其中, $c_{p,i}$ 为模型上第 i 测压孔所在位置的风压系数, p_i 为建筑表面风压值, p_0 为参考位置的风压值. 对于开洞的模型 $c_{p,i}$, 由内外表面对应测点测出压力系数后相减得到 $c_{p,i} = c_i^w - c_i^b$, 其中, c_i^w 为建筑上表面的风压系数值, c_i^b 为建筑下表面的风压系数值. 规定不管是外表面还是内表面, 风压的正负号分别表示压力作用指向表面或背离表面.

结构的内部风效应对外形的敏感性要小的多. 研究表明, 结构内部风效应取决于结构内部容积、结构物的柔度、开洞的大小位置、洞口处的荷载等, 因此内部风效应更有规律^[5]. 各国的荷载规范笼统地提到了开洞时内部的取值. 其中, 加拿大的相关规范^[6]规定: 对于开口不大或不明显的建筑物, 若为小的均匀分布的开口(不大于总面积的 10%), 取内压系数 $c_p = -0.3$; 若开口在减缓外部荷载的位置, 应该取 $c_p = 0$; 对有明显开口的建筑物, 则根据不同的开口位置, 取 $c_p = -0.7 \sim 0.7$. 可见, 对有明显开口建筑物的内压变化较大. 但该规范仅给出了内压系数从正到负的取值范围. 日本的相关规范^[7]提到, 无显著开

收稿日期: 2008-02-21

作者简介: 彭兴黔(1959-), 男, 教授, 主要从事结构抗风的研究. E-mail: pxq@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省科技重大专项前期研究资助项目(2005 YZ1016); 福建省自然科学基金项目(E0510022); 福建省建设厅科技计划项目(05-22-15); 泉州市科技重点项目(2007 G7); 厦门市发改委科技项目(2008-70); 厦门市科技计划高校创新项目(3502 Z20083039)

口建筑物内部压力系数可取 0~0.4. 美国 ACSE - 1996 规范^[8]对内压的规定,如表 1 所示. 表 1 中, n 为开洞面积与开洞墙面之比. 国内的荷载设计规范对开洞的规定更粗糙了,对设计人员来说有些无所适从.

2 轻钢温室的计算流体力学模拟

2.1 建模条件

利用计算流体动力学软件 CFX 10.0、湍流 - 方程模型和结构化非均匀网格,对华南型单栋轻钢温室的表面风压进行了数值模拟,并与其他研究的风洞试验结果进行比较. 华南型单栋轻钢结构温室^[9]的外形尺寸:长为 42.0 m,跨度为 8.0 m,屋脊高为 4.0 m,侧檐高为 2.5 m,屋檐外伸为 0.3 m;采用型钢构件,覆盖材料为玻璃,结构自重轻,恒荷载所占结构总荷载的比重较小. 这种结构质量轻、柔度大、阻尼小、自振频率低、跨度大、体形复杂,且往往比较低矮,处于大气层中风速变化大、湍流度高的近地区域,对风荷载十分敏感. 风荷载是此类结构的主要控制荷载,在轻钢类房屋中比较有代表性,而且流场尺度小,建模所需网格少,能够比较精确的描述流场的性质.

2.2 控制方程及网格划分

根据大气边界层风的特性,把大气边界层简化为定常、不可压缩的湍流,采用标准 - 方程湍流模型进行数值模拟. 控制方程为三维定常不可压缩 Navier-Stokes 方程. 设模拟的流场可充分发展,即满足阻塞度小于 3%,计算域为 160 m ×672 m ×48 m 的长方体,采用分区域建模. 建筑周围流场影响比较大的地方进行了加密,如图 1(a),(b)所示,加密区域为 38 m ×62 m ×8 m,风洞的建模如图 1(c)所示,网格划分得比较疏,两区域网格以点对点的方式连接. (1) 使网格的数量大大减少,但计算精度不发生大的变化. (2) 保证对各个模型研究都在相同的数值风洞下,有较好的对比性.

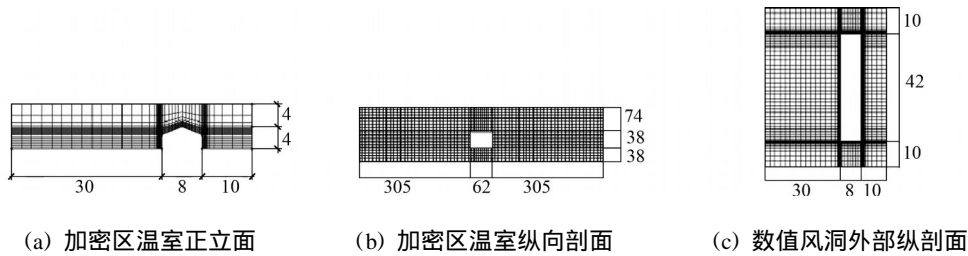


图 1 分区域建模网格图 (单位:m)

Fig. 1 Computational simulation model and grid partition (unit:m)

2.3 封闭模型的计算结果及分析

来流垂直作用于建筑物纵向时,为抗风不利风向,此条件下,建筑物迎风面、山墙的风荷载分布与实验结果对比,如图 2 所示. 由图 2 可知,在 2.5 m 高处迎风面与山墙的表面风压的模拟值与风洞实验总

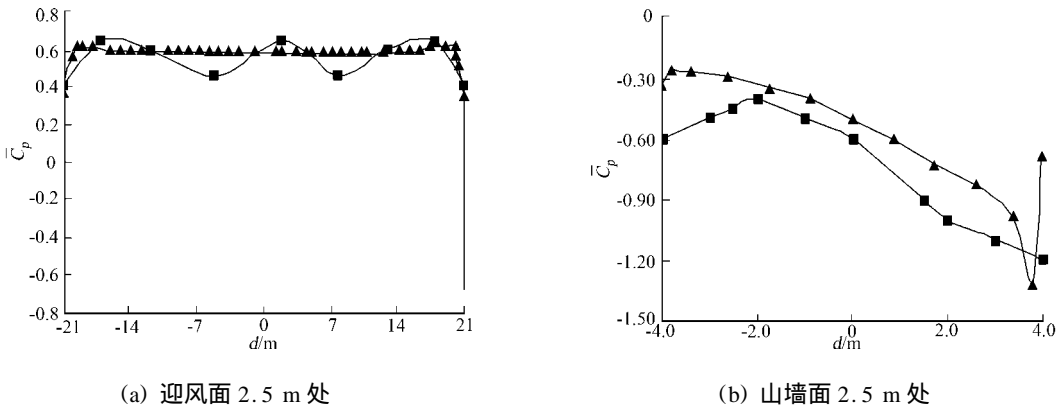


图 2 风压系数分布图

Fig. 2 Distribution of pressure coefficient on wall surface

体上是一致的. 在迎风墙处以正压力存在,山墙区域以负压(吸力)存在. 模拟结果在整个迎风墙范围内

比较稳定,而实验结果存在波动,但两者的均值基本一致.在迎风墙与山墙相交的小部分区域模拟结果有较大幅值的跳跃,出现负压(吸力),而实验结果没有表现出来这种现象.在山墙处模拟结果较实验结果平均小 0.05,相差 10 %左右.结果表明,数值模拟和风洞实验的风压分布趋势相近,风压数值基本吻合.利用本文中采用的数值模型,进行相关开洞模型的风荷载分布趋势的描述是可行的.

2.3 开洞模型方案

基于此,建立迎风面开窗、背风面开窗、四面均匀开窗、屋面开天窗的 4 种模型.开洞模型对于开洞墙壁的开孔率约为 20 %,迎风面主动开窗的模型划分的网格,如图 3(a)所示.迎风面为 10 个 1 m ×2 m 的窗口,在开启的情况下置入数值风洞进行分析.背风面、两面都开窗的网格图与图 3(a)相似,图 3(b)是天窗主动开启的网格图,开洞面积为 2 m ×42 m,开洞率占屋面的 0.25 %,在洞口上部 1 m 处有一面积为 4 m ×42 m 的天窗板.

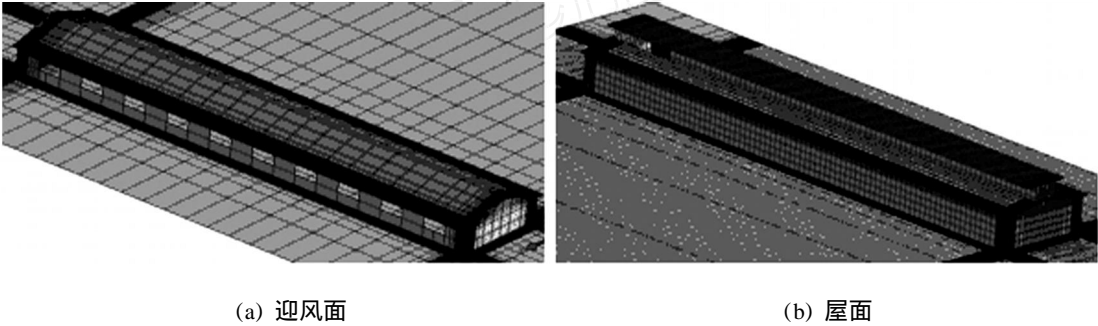


图 3 开洞网格划分图

Fig. 3 Grid areas on building with openings

2.4 封闭模型与开洞模型计算结果的比较

为了工程实际应用需要,将建筑表面划分区域,如图 4 所示.各区域的风压系数 $c_p = \frac{c_{p,i} A_i}{A}$,其中, c_p 为面平均风压系数, A_i 为测点所属的表面面积.对于迎风面开窗的情况,除了迎风面的风压系数有比较大的减小外,其他面的风压系数都有很大的提高,边缘部分甚至提高了一倍以上,如表 2 所示.如果迎风面突然开窗的话,还会有很大的风振影响,其破坏力是惊人的.背风面开窗与迎风面开窗的效果相反,除正立面的风压系数增大约 60 %之外,其他面的风压系数都有明显的降低.利用此种模式抗风是一个好的想法,但在工程中让建筑始终运动且开窗处于背风面显然是不现实的.

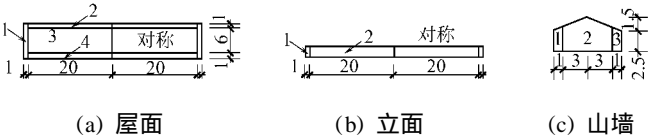


图 4 区域划分图 (单位: m)

Fig. 4 Partition on surface of building (unit: m)

表 2 分区域的平均风压系数

Tab. 2 Average wind pressure coefficient in partitions

开洞形式	屋面				立面		山墙		
	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4	区域 1	区域 2	区域 1	区域 2	区域 3
封闭	- 0.44	- 0.26	- 0.56	- 0.83	- 0.27	0.59	- 0.90	- 0.53	- 0.29
迎风面开洞	- 1.12	- 1.04	- 1.22	- 1.40	- 0.42	- 0.05	- 1.66	- 1.29	- 0.99
背风面开洞	0.12	- 0.05	- 0.26	- 0.31	0.57	0.93	- 0.63	- 0.28	0.01
双面开洞	- 0.37	- 0.47	- 0.69	0.26	0.52	0.72	- 0.22	- 0.28	- 0.50
屋面开洞	- 0.07	0.15	- 0.23	- 0.43	0.77	1.05	- 0.26	- 0.07	0.05

双面开洞的结果与全封闭的情况相差不多,虽然开洞有一定的卸载作用,但建筑内部的气体产生了扰动,平均风压系数略有增大.屋面开洞的情况与背风面开洞的情况相似,都是迎风面风压系数比较大,平均风压系数提高 40 %左右.虽然屋面的平均风压减小了很多,但是如果用在设计中,风荷载的增大必然导致结构截面增大.建筑物的体形系数是全风向角风洞试验得出的结果,也就是说建筑的 4 个面都要加强.在台风区考虑罕遇风荷载效应时,究竟是全封闭的轻钢建筑在相同的安全度情况下比较经济,还

是屋面开孔比较经济还需要进一步研究.

3 气动措施模型提出

气动措施模型的提出,是基于建筑在罕遇风压下能够保证主体结构不发生倒塌,屋面板与墙板不会吹走伤人的一种极限状态.当风压达到一定程度的时候,门窗、天窗等自动开启以卸载,使损害减小.根据各种开洞情况下流场的特性及风荷载分布的情况,提出了主动开洞气动抗风措施的实用模型:将4面墙壁均匀开洞,门窗开启的位置靠近屋檐,开洞率为20%,屋面开与屋面开洞模型相似的天窗,屋面天窗的开洞率也维持25%不变;其形式类似于双面开洞模型和屋面开洞模型的组合.但由于流场的复杂性,此模型的风荷载分布并不是这两种模型的简单迭加.将此模型置入原来的数值风洞进行分析,单风向角的分析结果,屋面1~4个区域的平均风压系数为-0.14,-0.08,-0.19,-0.36,与全封闭模型比较,风压平均系数降低最小的区域4也降低了56.7%,效果非常明显.迎风面为1,2区域的风压系数分别为0.68,0.52,有比较小的程度的降低.

在设计中常以全封闭结构为计算模型,所设计出来得轻钢结构如钢结构厂房,在台风中的山墙经常倒塌.本模型中山墙的3个区域平均风压系数为-0.11,-0.03,-0.20,相对封闭模型有大幅度降低.天窗板平均风压系数为-0.05,设计几乎可以不考虑风荷载作用.本模型抗风的极限状态比原来提高很多,经济上却相差无几,为工程设计提供了一个比较可行的方案.

参考文献:

- [1] 秦云.结构静力风荷载数值模拟研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2004.
- [2] 傅继阳,甘泉.开槽对大跨悬挑平屋盖结构风荷载的影响[J].实验力学,2003,18(4):459-465.
- [3] 贾勇,彭兴黔,许清杭.轻钢建筑围护结构抗风设计的几个问题[J].华侨大学学报:自然科学版,2006,27(3):270-272.
- [4] 黄鹏,顾明.一大跨度悬挑雨篷的风荷载及开洞比较[J].结构工程师,2004,20(4):51-55.
- [5] STATHOPOULOS T, KOZUTSKY R. Wind induced internal pressures in buildings[J]. Journal of Structural Engineering, 1986, 9:2012-2026.
- [6] National Research Council Canada. National building code of Canada[S]. NRCC:[s. n.], 1995.
- [7] Architectural Institute of Japan. Recommendations for loads on buildings[S]. AI:[s. n.], 2004.
- [8] ANSI/ASCE. ASCE 7-93 Minimum design loads for buildings and other structures[S]. ANSI/ASCE:[s. n.], 1996.
- [9] 谢小妍,陈凯.华南型单栋塑料温室风荷载模拟实验研究[J].农业工程学报,2000,15(5):90-94.

Influence of the Openings Location on Wind Load for Low-Rise Light-Weight Steel Structures

PENG Xing-qian, JIA Yong

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Considering good unloading effect of openings on high buildings and damage from unexpected openings on windward surface, the aerodynamic measures are put forward to resist wind load through openings. Through - turbulent equation and unequal net of structure, four light-weight steel construction models with same dimension but with different locations of openings are simulated by numerical models validated by wind-tunnel. Based on the distribution of wind load in these models, active wind-resisting structure system is presented. It is suggested that active wind-resisting structure system owns better wind-resisting capability than completely enveloped structure, due to the lower average wind pressure on roof.

Keywords: opening location; model of active wind-resisting; light-weight steel structure; low-rise building

(责任编辑:鲁斌 英文审校:方德平)