

文章编号:1006-7329(2003)03-0036-05

## 大型体育场屋面风压风洞试验研究

吴太成<sup>1,2</sup>, 强士中<sup>1</sup>, 陈东红<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川成都 610031; 2. 广东省建筑科学研究院, 广州 510500)

**摘要:**大型体育场悬挑屋面的空气动力特征非常复杂,风洞试验研究十分必要。结合广东奥林匹克体育场屋面的风压风洞试验结果,分析了这种屋面的气流流动和风压分布特点,分析表明:①大型体育场屋面上表面在各个风向角下主要分布为负压;大部分区域负压较小且分布均匀,但在迎风和次迎风的边缘部分负压都较大,上倾角度大且直接迎风的端口边缘负压更大;一些下凹区域时有微弱正压出现。②屋面下表面在迎风的钝体边缘有较大区域正压出现,背风部分分布为不大的均匀负压。

**关键词:**大型体育场;悬挑屋面;风压分布;迎风边缘

中图分类号:TU352.2

文献标识码:A

## Wind Tunnel Test Research for Wind Pressure on the Roof of Large Scale Stadium

WU Tai - cheng<sup>1,2</sup>, QIANG Shi - zhong<sup>1</sup>, CHEN Dong - hong<sup>2</sup>

(1. School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P.R.China; 2. Guangdong Provincial Building Research Institute, Guangzhou 510500, P.R.China)

**Abstract:** The flow on the cantilevered roof of large - scale stadium is very complicated when attacked by wind, so the wind tunnel test research on the roof's wind load is necessary. Based on the results of wind tunnel test for pressure on the roof of the Olympic Stadium in Guangdong Province, the characteristics of the roof's flow and wind pressure distribution are analyzed in this paper. The results of analysis show: On the up - surface of the large - scale stadium roof, there is mainly negative wind pressure distributed for each wind direction. On most part of the roof, the negative wind pressure is comparatively small and distributed uniformly, but on the windward edge and sub - windward edge, the negative wind pressure is comparatively large, especially at the cantilevered roof with a big upward inclination. In some concave area, there is sometimes very small positive wind pressure; On the down - surface windward butt edge, there is mainly positive wind pressure distributed and on the down - surface lee area, there is small uniform negative wind pressure distributed.

**Keywords:** large - scale stadium; cantilevered roof; wind pressure distribution; windward edge

广东奥林匹克体育场位于广州市东郊,周围建筑不多,远处有一些小山丘,地势较宽阔平坦,属典型的B类粗糙度地区。体育场最高点离地75.6m,东西立面为玻璃幕墙,长约300m。顶部为两飘带状屋面,南北向长约400m,均沿径向悬挑54m,向场外悬挑18m,模型照片见图1、图2。屋面纵向高低起伏,结构长大、外形独特且质量较轻,尤其周边边缘有较大的楔形角,对风作用十分敏感,风洞试验研究非常必要且行之有效。

\* 收稿日期:2003-03-31

作者简介:吴太成(1968-),男,重庆人,高级工程师,博士,主要从事建筑结构与建筑围护结构风工程研究。

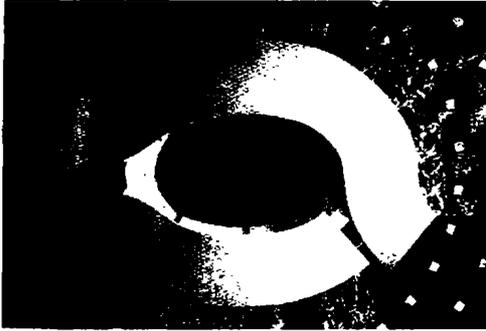


图1 体育场风洞试验模型立面照片

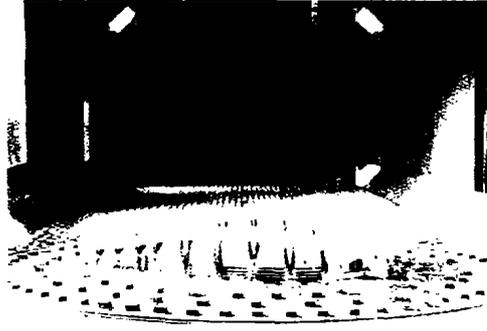


图2 模型在风洞中试验的情形

## 1 试验设备、模型及试验方法

### 1.1 试验设备

试验使用的是广东省建筑科学研究院的串联双试验段回流式建筑风洞的大试验段,长 10 m,宽 3 m,高 2 m。采用《建筑结构荷载规范》<sup>[1]</sup>中规定的 B 类地貌大气边界层气流,边界层厚度 1.6 m,风速沿高度变化指数,近地湍流度  $\epsilon \approx 20\%$ <sup>[2]</sup>。

试验所用测压仪器为 Scanivalve 公司生产的压力扫描阀组件,每次可测量 230 个测点。试验采用的压力管是经过校准的专用阻尼型动态传输管,截止频率为 130 Hz。本试验风机调速采用日本 FUJI 公司生产的 110 kW 变频器,风速可在 0~20 m/s 内任意调整,满足试验要求。

### 1.2 试验模型及试验方法

模型用有机玻璃制成,与建筑的几何外形相似,比例为 1:300,共布置 685 个测压点。其中幕墙上选择 2 个截面布置了 98 个测压点,实际高度分别为 7.4 m、17.45 m;在屋面的上、下表面各布置了 315 个和 272 个测压点,为便于风荷载积分计算按支承柱位置分别划分为 21 个部分。试验风速为 11 m/s。通过试验段底部的转盘来改变风向角,共取 16 个风向,间隔 22.5°。在计算机程序的控制下,测压孔的压力经扫描阀巡回扫描变成电信号后,由 A/D 板转换成数字信号送计算机,然后由计算机对数据进行采集、处理。

### 1.3 数据处理及应用

#### 1.3.1 风压系数平均值

风压系数平均值  $C_{pai}$  是指屋面上某个点  $i$  的风压平均值与参考点(本文试验取屋面顶部,实际高度为 75.6 m。)的风压平均值之比,试验中由下式求得:

$$C_{pai} = \frac{(P_{ai} - P_{\infty})}{(P_0 - P_{\infty})} \quad (1)$$

式中:  $P_{ai}$  为模型上对应测点  $i$  的总压力平均值,  $P_0$  和  $P_{\infty}$  分别为毕托管(即参考点)的总、静压平均值。故  $P_{ai} - P_{\infty}$  为测点  $i$  处平均风压,  $P_0 - P_{\infty}$  为参考点处来流的平均风压。

根据文献[1,2],作用在屋面参考点处的平均风压  $W$  应按下式计算:

$$W = \mu_H \cdot W_0 \quad (2)$$

式中:  $W_0$  为基本风压,  $\mu_H$  为参考点处高度变化系数,试验中分别为 0.45 kN/m<sup>2</sup> 和 1.910 4。

#### 1.3.2 综合风压系数平均值

综合风压系数平均值  $ZC_p$  的计算按下式进行:

$$ZC_{pi} = C_{p1} - C_{p2} \quad (4)$$

式中:  $C_{p1}$  为风洞试验所得到的屋面某局部  $i$  处的上表面风压系数平均值,  $C_{p2}$  为风洞试验所得到的屋面某局部  $i$  处的下表面的风压系数平均值。

## 2 试验结果及分析

试验结果见《广东奥林匹克体育场风洞测压试验数据图表》<sup>[3]</sup>。风向角的规定见图3,图4至图6给出了一些典型风向角下屋面风压系数平均值等压线分布,以下对试验结果进行简要分析。

### 2.1 屋面上表面的风压分布

由于屋面表面高低不平的曲面,气流的分离点随风向角的变化不断改变,风压分布较为复杂。一般地说,各个风向角下上表面大部分区域分布为均匀负压,等压线分布均匀平缓。但一侧飘带边缘部位直接迎风时,气流在边缘附近加速分离,然后向屋面逐渐附着;气流越过体育场,另一侧飘带边缘

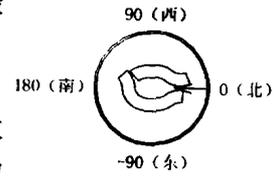


图3 风向角规定

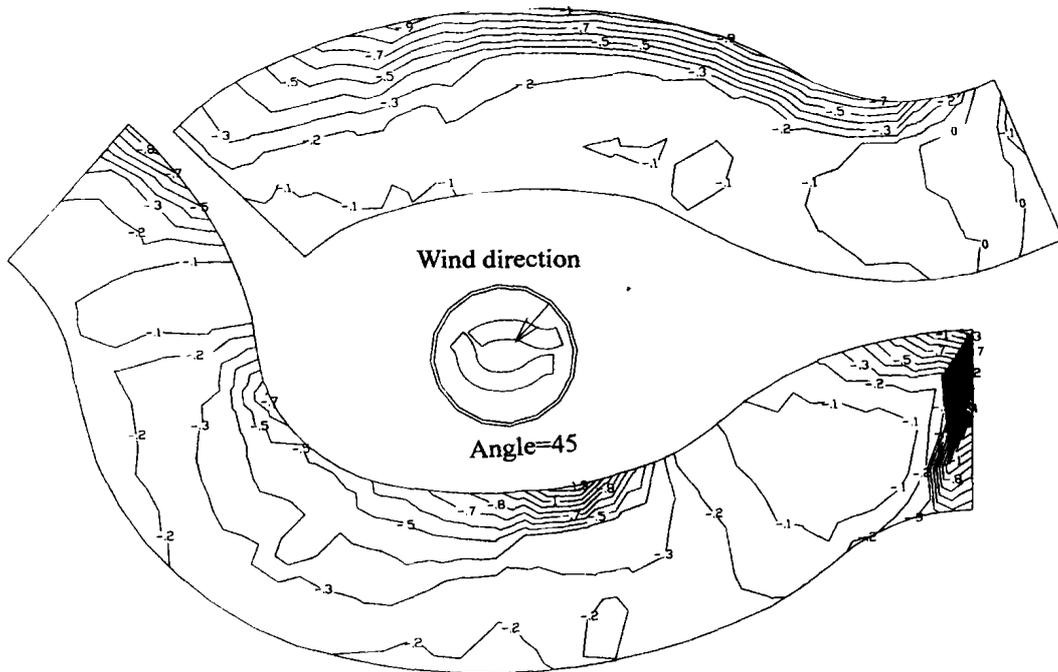


图4 风向角为45°时屋面上表面风压等压线分布图

部位在尾流中迎风(简称次迎风),气流再次发生加速分离;迎风或次迎风边缘部位的风压为较大负压,等压线分布密集。多数风向角下迎风或次迎风边缘最大负压在 $-0.9 \sim -1.4$ 范围内,在斜向风向角 $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ (见图4)、 $-67.5^\circ$ 、 $-45^\circ$ (见图5)、 $-22.5^\circ$ 下,迎风的边缘为屋面北边端口,倾角较大且有一定的狭流效应,气流分离更为急剧,等压线分布密集且变化梯度大,最大负压达 $-2.0$ 左右。另外,在屋面凹下的地方(靠近北边端口)风压都较小,多在 $-0.4 \sim 0.3$ 范围内,常有微弱正压出现,其等压线分布均匀且稀疏。

### 2.2 屋面下表面的风压分布

迎风的楔形角部分由于倾角较大,有较大区域正面迎风,风压分布为正压,风压等压线分布较密,中心最大正压在 $0.5 \sim 0.8$ 范围内。背风的楔形角及下表面其它部分分布为 $-0.4 \sim 0.0$ 范围内的均匀负压,等压线分布稀疏平缓。另外,迎风的支撑柱附近的一定区域内由于支撑柱的存在,其前面的正压略大,等压线分布较密集。风向角为 $0^\circ$ 时的情况见图6。

### 2.3 屋面的综合风压分布

在计算屋面整体结构和围护结构(如屋面板等)的风荷载时应将上、下表面的风压系数叠加,叠加后的值可能比单个表面的值大很多。风向角为 $22.5^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $-67.5^\circ$ 、 $-45^\circ$ 、 $-22.5^\circ$ 下(附表1),屋

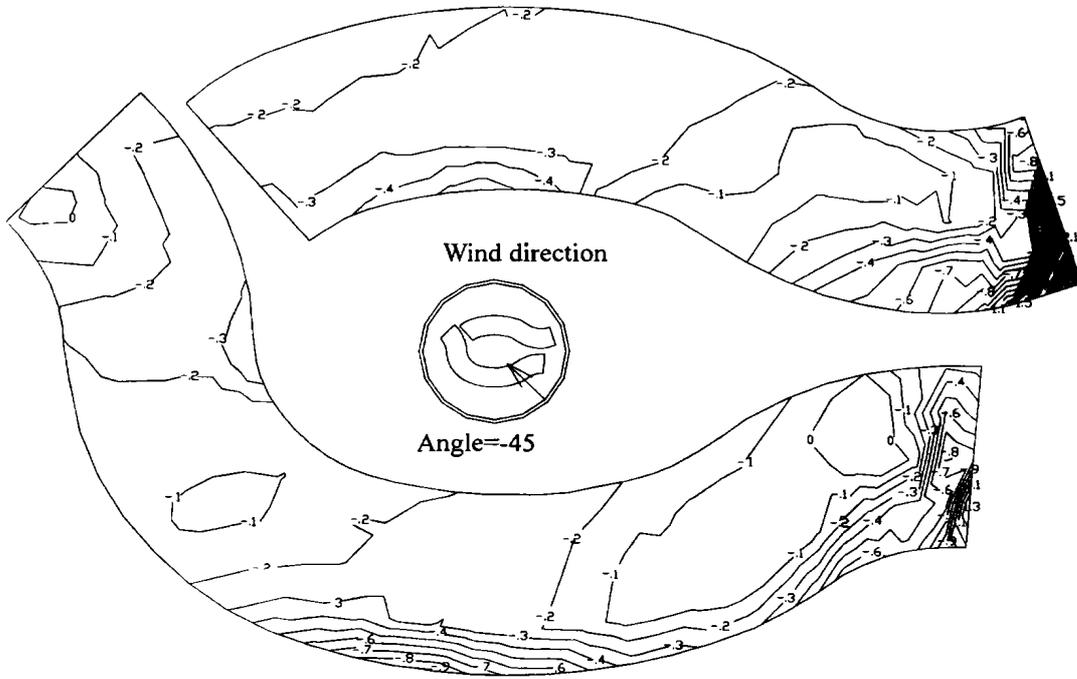


图5 风向角为-45°时屋面上表面风压等压线分布图

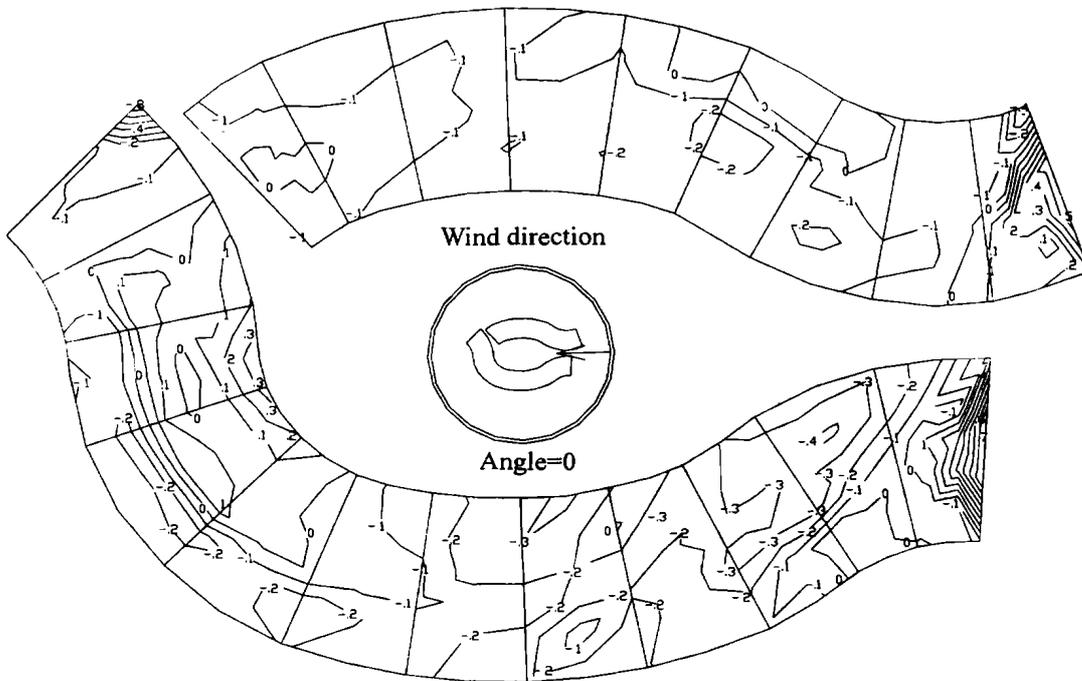


图6 风向角为0°时屋面下表面风压等压线分布图

面北边端口边缘迎风,上表面分布有大负压,下表面则有较大正压,两者的综合值就更大,应引起工程设计、施工人员的高度重视。

表1 屋面  $C_p$  与  $ZC_p$  相差较大点示例表

风向角	点号	上表面风压系数平均值	上、下表面综合风压系数平均值
22.5°	UU5	-1.48	-2.10
22.5°	UU4	-1.22	-2.01
45°	UU5	-1.19	-1.74

续表 1

风向角	点号	上表面风压系数平均值	上、下表面综合风压系数平均值
45°	GA13	-2.25	-2.64
-67.5°	AU11	-1.29	-2.07
-45°	AU6	-1.91	-2.64

### 3 结论

1) 体育场屋面上表面在各个风向角下基本上分布为均匀负压。在迎风和次迎风的边缘部分气流加速分离,有大负压产生;上倾角度较大的端口边缘直接迎风时,气流分离更为急剧,负压更大。在屋面下凹区域风压一般较小,常有微弱正压出现。

2) 屋面下表面在迎风的钝体边缘有较大区域正压出现,背风部分分布为不大的均匀负压。下部支承柱附近因兜风会使迎风区域正压略大。

3) 对于体育场悬挑屋面在计算整体结构和围护结构的风荷载时应注意上、下表面叠加。

### 参考文献:

- [1] GB 50009-2001, 建筑结构荷载规范[S].
- [2] 薛慧莲. 建筑风洞大气边界层模拟[Z]. 建筑风洞鉴定资料. 广东省建筑科研设计所, 1986.
- [3] 广东奥林匹克体育场风洞测压试验数据图表[Z]. 广东省建筑科学研究院, 1999.

(上接第5页)

### 参考文献:

- [1] 林簪. 世界建筑大师优秀作品集锦: 诺曼·福斯特[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [2] 刘先觉. 现代建筑理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] 刘先觉. 密斯·凡·德·罗[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [4] Academy Editions. Foster Associates Recent Works[M]. London, 1992.
- [5] Colin Davies. High Tech Architecture[M]. New York, 1988.
- [6] Thames and Hudson. Eco Tech: Sustainable Architecture and High Technology[M]. London, 1997.
- [7] Prestel. Munich. Contemporary British Architects[M]. New York, 1994.