



大跨度船库结构风荷载分布规律研究

赵令玉¹, 王 斌¹, 林志兴², 马文勇³

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海200032; 2. 同济大学土木工程防灾国家重点实验室, 上海200092; 3. 石家庄铁道大学风工程研究中心, 河北 石家庄 050043)

摘要: 采用刚性模型测压试验研究全天候大跨度船库的风荷载分布规律, 讨论了高水位、低水位、有船舶停靠、无船舶停靠4种工况下风压分布特点。结果表明: 船库结构内压随风向角变化明显, 对结构风荷载影响很大; 结构开口造成部分风向角下结构内表面正压从而增强了结构表面的风吸力; 不同干扰状况下结构的风荷载不同, 其中低水位无船舶停靠时的风荷载最大。

关键词: 船库; 风洞试验; 风荷载分布; 内压

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0173-04

On wind load distribution on large-span dock

ZHAO Ling-yu¹, WANG Bin¹, LIN Zhi-xing², MA Wen-yong³

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. State Key Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering, Shanghai 200092, China;

3. Wind Engineering Research Center, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The wind load distribution on all-weather working large-span dock is studied by rigidity model man metric experiment in the wind tunnel. The effects of high water level, low water level, occupied and unoccupied on characteristics of wind pressure distribution are discussed. The results show that the effects of internal pressure on wind load, which is the significant change to the wind direction, is unnegligible; The wind suction is enforced because of positive internal pressure induced by local openings in some wind directions; The wind loads are different in interference cases, and the strongest wind load appears in case of unoccupied in the low water level.

Key words: dock; wind tunnel test; wind load distribution; internal pressure

船库是可以全天候停靠船舶装卸货物的空间结构(图1), 具有跨度大、刚度较小、气动外形差等空气动力学特征, 对风荷载较为敏感, 由于船库大多位于海边, 常常经受各类强风作用, 抗风设计是该类结构设计最主要方面之一, 本文采用刚性模型测压风洞试验研究了某船库结构的风荷载分布规律。

与其他建筑结构不同, 船库结构由于船舶的进出往往需要较大的开口, 内部风压变化明显^[1-2]; 船舶停靠与否对内部腔体的空间影响也会造成风



图1 典型船库示意图

荷载的变化; 每天不同的时间段海平面的变化不仅会改变结构风荷载作用的基准面, 同时也会影

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 赵令玉(1974—), 女, 工程硕士, 高级工程师, 从事土木工程结构设计工作。

响整个结构的风荷载分布规律。鉴于以上复杂的影响因素,本文主要讨论包括内部风压的影响、开口影响^[3-4]等在内的船库风荷载分布特点、船舶停靠对风荷载的影响以及水平面的变化对风荷载的影响,为该类结构的抗风设计提供建议。

1 研究概况

1.1 试验模型

本工程位于上海市宝山区北部长江口宝山水道南岸,处于宝山作业区、宝钢综合码头和大件码头的上游侧。工程点距吴淞口约6 km,距上海市中心约25 km。船库长111.0 m,宽49.6 m,高37.6 m。其屋面有3%坡度,船舶入口门尺寸为29 m宽,26 m高,入口对应结构内部为水面;入口对面开有高度为10 m的门2个,宽度分别为26 m和14 m,侧面货物和人员入口共有高度为6 m的门7个,宽度从7~15 m不等。

将建筑物简化成如图2所示的长方体结构。试验模型采用有机玻璃制作,模型缩尺比为1:80。

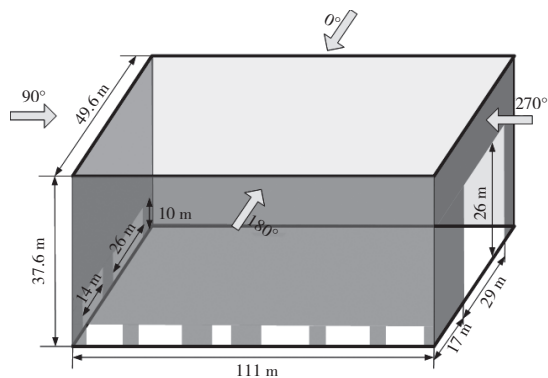


图2 试验模型

1.2 试验风场

项目场地位于上海长江口岸,按照《建筑结构荷载规范》定为A类地表粗糙度,图3~5为试验模拟的平均风剖面、紊流度剖面及 Z_g 高度处顺风向脉动风功率谱。其中 U 为顺风向平均风速; Z 为高度, Z_g 取风洞中对应实际80 m高度处。 U_g 代表 Z_g 高度处顺风向平均风速。 n 为风频率; S_u 为顺风向脉动风功率谱, σ_u 为脉动风速均方根值, $n^x L_u$ 为顺风向湍流积分尺度。

1.3 试验工况

表1给出了试验中不同的干扰工况,其中高低水位反映了码头涨潮和落潮时的水位变化,有船无船反映了船库的工作状况。

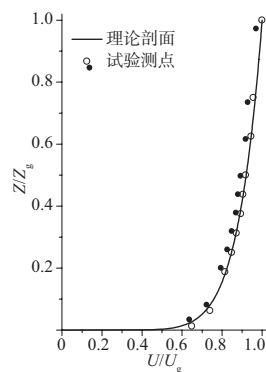


图3 平均风剖面

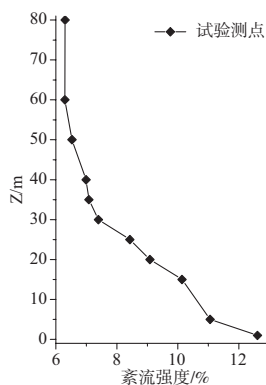


图4 紊流度剖面

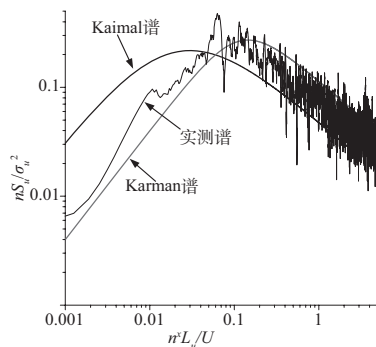


图5 脉动风功率谱

表1 试验干扰工况

工况	水位	停船
1	高水位	有船
2	高水位	无船
3	低水位	有船
4	低水位	无船

1.4 参数定义

对于外表面测点, 压力正向表示沿外表面法线方向指向结构内部; 内表面压力正向表示沿内表面法线方向指向结构外部。对于作用在结构表面上的整体风压, 风压正向为结构表面承受压力, 风压负向表示结构表面承受吸力。

分别定义局部风压系数、局部体型系数和分块风压系数为:

$$C_{pi} = \frac{P_i}{0.5\rho\bar{U}_{10}^2} \quad (1)$$

$$U_{si} = \frac{\bar{P}_i}{0.5\rho\bar{U}_i^2} \quad (2)$$

$$u_s = \sum_{i=1}^n u_{si} A_i / \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

式中: P_i 为作用在测点 i 的风压; C_{pi} 为对应 i 点的局部风压系数; ρ 为空气密度; $\bar{U}_{10}$ 为对应实际 10 m 高度处的来流风速平均值; u_{si} 为 i 点局部体型系数; $\bar{P}_i$ 为作用在 i 点的风压平均值; $\bar{U}_i$ 为 i 点高度处来流平均风速; u_s 为分块风压系数; A_i 为 i 点对应的面积。下文中用 C_{Prms} 代表 C_{pi} 均方根值, 作为脉动风压系数的量化参数。由于本文研究的结构外表面、内表面均有风致压力, 因此采用外表面风压 (系数)、内表面风压 (系数)、净风压 (系数) 进行描述。

2 风荷载分布规律

2.1 内风压对结构风荷载的影响

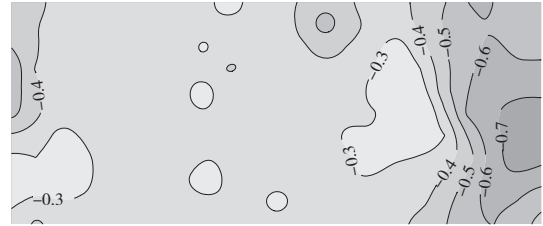
图6为高水位有船时屋顶外压体型系数和净压体型系数, 可以看出, 内压对结构风荷载的影响很大, 0° 风向角时, 结构的内压体型系数可以达到 -0.6 , 且沿上表面分布比较均匀, 抵消了结构的部分外压; 270° 风向角时内压体型系数分布有一定变化, 因此对结构表面的总风压, 部分区域为抵消效应, 部分区域增强了结构表面的负向吸力。



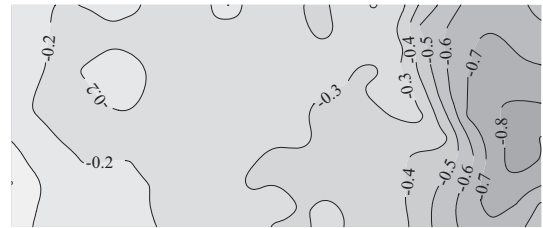
a) 屋顶外压体型系数 (0°)



b) 屋顶净压体型系数 (0°)



c) 屋顶外压体型系数 (270°)

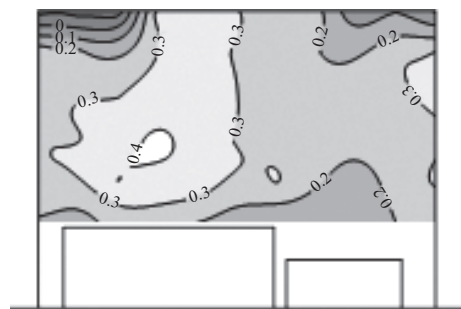


d) 屋顶净压体型系数 (270°)

图6 高水位有船时屋顶体型系数

由图6可知, 内压对结构表面的风荷载影响比较大, 且不同风向角下的内压影响的规律也有差别, 因此, 合理的内压取值是类似结构抗风设计的重要考虑因素。

图7给出了屋顶和出口墙面 270° 风向角下的内压体型系数。



a) 出口内压体型系数 (270°)



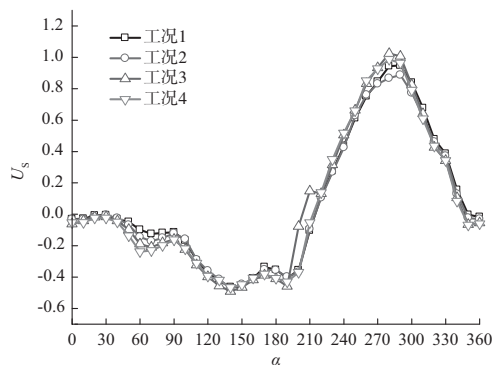
b) 屋顶内压体型系数 (270°)

图7 表面内压体型系数

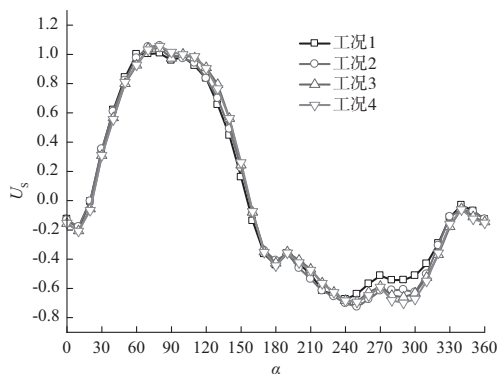
由图7可知,当风向角为 270° 时,来流从船体入口进入船库,出口墙面内部直接承受来流作用,表现为正压,由于出口墙面对来流的阻塞作用屋顶部分靠近出口墙面的位置也表现为正压,内表面的正压与外表面的负压联合作用在墙体上形成较强的风吸力。因此,当结构存在开口时,若来流沿结构开口直接吹入结构内部时,结构内表面往往呈现正压,这种情况需要在设计中特别注意,尤其是内部空旷且开口较大的结构。

2.2 水位与船体的干扰效应

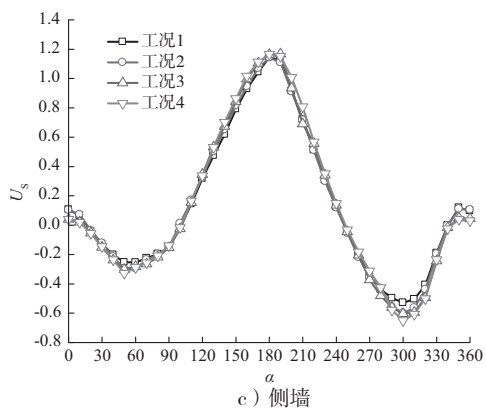
与单个结构本身相比,水位的变化与船体的停靠对来流作用在船库上的风压规律会有一些的影响,本文统一将此类影响称为干扰效应。图8



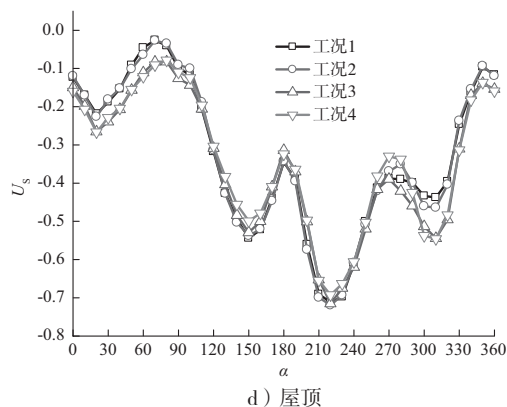
a) 入口



b) 出口



c) 侧墙



d) 屋顶

图8 水位与船体对整体风荷载的影响

为水位与船体对结构不同表面的分块体型系数的影响。

由图8可以看出,4种工况下结构各表面的分块体型系数有一定的差别,其中屋顶的体型系数影响较明显, 310° 风向角下体型系数差别约25%左右,当船库内部无船体,水位较低时结构承受的风荷载最大。

考虑到同等大气来流下,水位较低时作用在结构上的风速更大,因此,应将内部无船体、水位较低状态作为抗风设计的主要考虑工况。

图9给出了不同干扰工况下屋顶的净压体型系数分布,各种干扰工况下风荷载分布规律接近,低水位时净压体型系数更小(即风荷载效应更强)。因此,本文所述的4种干扰对风荷载的分布规律影响不大,但是对局部风压值有一定的影响。



a) 高水位有船



b) 高水位无船

(下转第184页)