文章编号:1674-2974(2024)05-0123-09 DOI:10.16339/j.cnki.hdxbzkb.2024054

低空封闭连廊的表面风压和整体体型系数

沈国辉[1,2†],韩康辉[1],刘若斐[3],余杭聪[3],林巍[3]
(1. 浙江大学 建筑工程学院,浙江 杭州 310058;
2. 浙江大学 平衡建筑研究中心,浙江 杭州 310028;
3. 浙江大学 建筑设计研究院有限公司,浙江 杭州 310028)

摘 要:采用刚性模型测压风洞试验研究低空封闭连廊的风压分布和整体体型系数,分析连廊4个表面测点的体型系数和非高斯分布特性,研究连廊整体体型系数随风向角和连廊长度的变化,给出低空封闭连廊的正迎风整体体型系数和角度风分配系数,基于极值分析方法给出连廊的全风向极值风压系数,最后给出连廊抗风设计的建议值.研究表明,低空封闭连廊在正吹情况下背风面的体型系数约为-1.04~-0.86,绝对值均大于规范中方柱的-0.6,导致连廊的整体体型系数大于规范中方柱的1.4,30 m长低空封闭连廊的整体阻力系数为1.61;正吹情况下连廊中间截面的整体体型系数大于其他截面,正吹风向角的整体体型系数大于其他风向角,连廊越长正迎风整体体型系数越大;在正吹情况下,连廊迎风面风压主要为高斯分布,其他表面主要为非高斯分布;给出正迎风整体体型系数和角度风分配系数以用于低空封闭连廊主体结构的抗风设计.

关键词:连廊;风洞试验;体型系数;非高斯分布;极值风压系数
中图分类号:TU312 **文献标志码**:A

Surface Wind Pressure and Overall Shape Coefficients of Low-elevation Enclosed Skybridge

SHEN Guohui[1,2†], HAN Kanghui[1], LIU Ruofei[3], YU Hangcong[3], LIN Wei[3]
(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;
2. Centre for Balance Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China;
3. The Architectural Design and Research Institute of Zhejiang University Co. Ltd., Hangzhou 310028, China)

Abstract: Wind tunnel testing is employed to study the wind pressure distribution and wind load on low-elevation enclosed skybridges. The characteristics of shape coefficients and non-Gaussian distributions on the four surfaces of the skybridges are analyzed. The overall shape coefficients of the skybridges concerning wind azimuths and skybridge length are investigated. Then, the windward overall shape coefficients and skewed wind loading distribution factors of low-elevation enclosed skybridges are provided. The peak wind pressure coefficients under all azimuths based on extreme value analysis are given. Finally, recommended values for the wind-resistant design of

* **收稿日期**:2022-11-16
基金项目:国家自然科学基金资助项目(52178511,51838012),National Natural Science Foundation of China(52178511,51838012);浙江省公益技术研究计划项目(LGG21E080009),Zhejiang Provincial Basic Public Welfare Research Project(LGG21E080009)
作者简介:沈国辉(1977—),男,浙江台州人,浙江大学教授,博士
† 通信联系人,E-mail: ghshen@zju.edu.cn

skybridges are suggested. Results show that the shape coefficients in the leeward side of a low-elevation enclosed skybridge range from −1.04 to −0.86, which are much larger than −0.6 in magnitude specified for the square tall building in the load code. As a result, the overall shape coefficient of the enclosed skybridge is 1.61, which is larger than the 1.4 specified for the square-high building in the load code. In the windward direction, the overall shape coefficient in the middle section is larger than that in the other section. The overall shape coefficient in the windward direction is larger than that in the other azimuths. The longer the skybridge length, the larger the overall shape coefficient. In the windward direction, the pressures on the windward surface present a Gaussian distribution, whereas those on the other three surfaces present a non-Gaussian distribution. The windward overall shape coefficients and skewed wind loading distribution factor are used as references for the main load-resistant design of the enclosed skybridges.

Key words: skybridge; wind tunnel test; shape coefficient; non-Gaussian distribution; peak wind pressure coefficient

近年来,随着建筑形式的多样化发展和对建筑使用功能要求的提高,许多工程在单体建筑间采用连廊作为连接体,形成连体结构.空中连廊既起到交通连接作用,又可作为观景台.连廊结构往往跨度较大,且通常被搁置在空中,四个表面均受到风荷载作用,同时连廊与主楼之间存在显著的气动干扰作用,导致空中连廊的流场非常复杂.与主体建筑相比,连廊的刚度和连接相对较弱,空中连廊风荷载的合理取值是连体结构设计中的关键问题之一.

荷载规范[1]和各国规范[2-6]中均没有给出空中封闭连廊的风荷载,目前针对空中封闭连廊的研究主要集中在结构设计[7-8]、振动控制[9-10]等方面,关于其风荷载的研究并不多.风洞试验方面,郑毅敏等[11]采用风洞试验方法研究杭州市民中心的弧形高空连廊,获得不同风向角下弧形连廊的风压系数和体型系数;陈凯等[12]对某连体双塔进行风振分析时,利用风洞试验获得了连廊的脉动风荷载.数值模拟方面,余佳亮等[13]利用CFD方法对某实际连廊工程进行了风荷载的数值模拟,发现连廊背风面的体型系数大于荷载规范中高层建筑背风面数据;郑建建[14]利用Fluent软件对某市民中心的架空连廊进行模拟计算,发现正迎风风向为最不利工况,同时发现连廊背风面和底面的负风压较大;李丽华等[15]采用CFX软件对某非对称己型连体建筑的风荷载进行模拟,采用非定常RANS模型获得连廊表面的脉动风压.由以上分析可知,空中连廊由于上下表面悬空,因而其风压分布与矩形截面高层建筑的风压分布差异较大;没有针对典型连廊进行风荷载的研究;规范中没有连廊风荷载的规定.因此研究空中封闭连廊的表面风压和风荷载具有重要的工程意义.

本文通过刚性模型测压风洞试验分别研究低空封闭连廊的风压分布和整体体型系数,分析连廊四个表面局部体型系数的分布,研究连廊的整体体型系数随风向角和连廊长度的变化,给出不同长度低空封闭连廊的正迎风整体体型系数和角度风分配系数,并基于不同极值分析方法给出连廊各位置全风向的极值风压系数,最后总结给出低空封闭连廊主体结构和围护结构风荷载的设计建议值,为低空封闭连廊的抗风设计提供依据.

1 低空封闭连廊的风洞试验工况

1.1 模型制作

建筑物之间的空中连廊形式多样,常见的形式有两类.一类是对两栋建筑实现刚性连接[16],连廊通常为3~4层,宽度与高层建筑相同,连廊与高层建筑是刚性连接.另一类是对两栋建筑实现简支连接,一端采用固定铰支座,另一端采用滑动铰支座,高度通常为一层,宽度约为3 m,某简支连接连廊案例[16]如图1所示.专门针对连廊的设计规范很少,深圳市《人行天桥和连廊设计标准》(SJG 70—2020)[17]提出风雨连廊的净空宜控制在2.5~3.0 m,宽度宜大于2 m.同时根据文献[13]研究发现1/2~2宽高比范围内连廊的表面风压变化不明显.本文针对简支连接连廊进行风压分布的研究,将连廊的高和宽均取3 m作为典型的案例进行分析.



图 1　某简支连接的空中连廊案例

Fig.1　Example of a simple supported skybridge

简支连接连廊原型的截面尺寸为 3 m×3 m(宽×高),相关研究表明[18],连廊长度对其风荷载存在一定的影响,本文针对 3 种长度(20 m、30 m 和 40 m)的连廊进行测压风洞试验研究.已有研究[13]发现连廊两端建筑的尺度如高度和宽度等均不会对连廊表面风压产生较大影响,因此两侧建筑的尺寸取为 60 m×15 m×20 m(长×宽×高),两侧建筑深度与连廊长度之比在 1.5~3 范围内.由于工程中低空连廊的高度变化不大,一般不超过 15 m,本文低空封闭连廊的平均高度取 10 m.试验模型的缩尺比为 1∶100,低空封闭连廊的试验模型如图 2 所示.

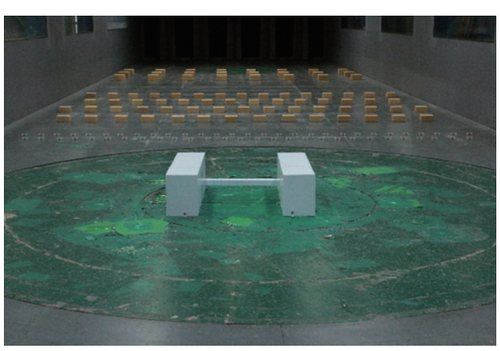


图 2　低空封闭连廊的试验模型

Fig.2　Test model of low-elevation enclosed skybridge

1.2　试验工况

风洞试验在浙江大学 ZD-1 边界层风洞中进行,该风洞为闭口回流式风洞,试验段尺寸为 4 m×3 m(宽×高).测点布置如图 3 所示,根据对称性仅在一半长度的连廊布置测点.图 4 为连廊的俯视图和剖面图,图中还给出了截面上测点的编号.风洞试验在 B 类地貌中进行,风洞模拟的 B 类地貌风场如图 5 所示,图中风速和湍流度理论值均采用荷载规范[1]的数据,可见风洞很好地模拟了 B 类地貌风场.基于来流的脉动风速,计算得 0.1 m 高度的顺风向湍流积分尺度约为 0.33 m,根据桥梁抗风规范[19],10 m 高度处的湍流积分尺度要求为 50 m,可见基本上满足 1∶100 的缩尺比要求.试验风向角在 0°~360°风向角范围内每隔 10°为一个工况,坐标轴和风向角见图 3,坐标原点位于连廊几何中心位置,x 轴指向连廊长度方向,y 轴指向宽度方向,z 轴指向高度方向.

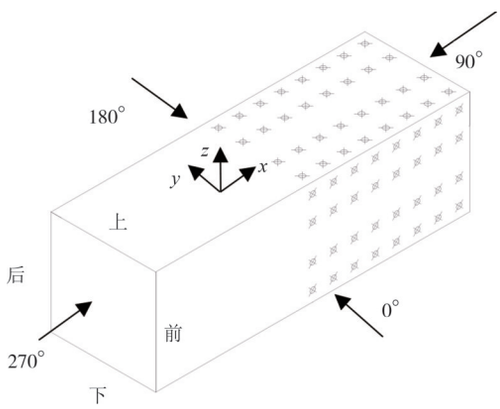
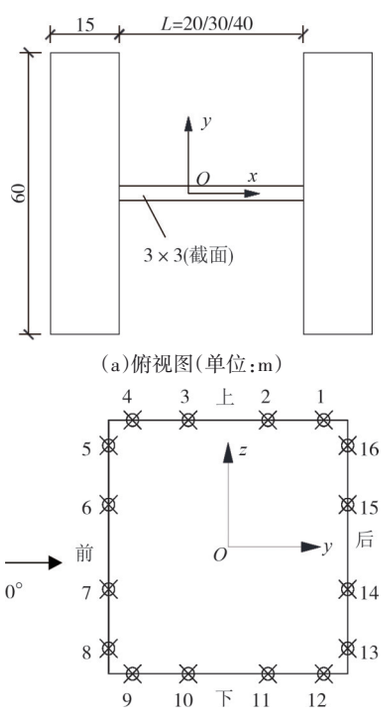


图 3　坐标轴和风向角

Fig.3　Coordinate system and wind azimuth



(a)俯视图(单位:m)

(b)剖面图

图 4　空中连廊的俯视图与剖面图

Fig.4　Top view and section view of skybridge

1.3　数据处理

连廊表面测点的体型系数定义如下:

$$\mu_{si}=\frac{P_i-P_\infty}{0.5\rho V_\infty^2} \tag{1}$$

式中:μ_{si} 为 i 测点的体型系数;P_i 为 i 测点的风压;P_∞ 和 V_∞ 分别为 i 测点所在高度的来流静压和来流风速;

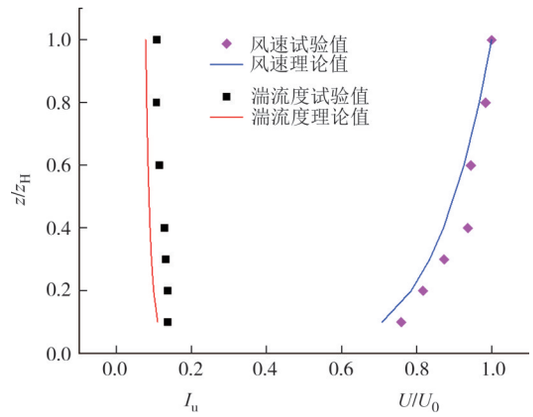


图5 风洞模拟的B类地貌平均风速和湍流度

Fig.5 Simulated mean velocity and turbulent intensity of terrain category B in wind tunnel

ρ为空气密度.

根据图4(b),累加截面各个测点的风压,可以计算获得截面在水平向和竖直向的风荷载合力F_y和F_z:

$$F_y = \sum \mu_{syi}\mu_{zi}w_0 A_i \tag{2}$$

$$F_z = \sum \mu_{szi}\mu_{zi}w_0 A_i \tag{3}$$

式中:A_i为每个测点在单位长度上的控制面积;μ_{syi}和μ_{szi}分别为各测点在y和z方向的体型系数分量;μ_{zi}为连廊测点所在位置的风压高度变化系数;w_0为基本风压.

采用无量纲整体体型系数C_y和C_z表示连廊所受整体风荷载:

$$C_y = F_y/\left(u_z w_0 A_y\right) \tag{4}$$

$$C_z = F_z/\left(u_z w_0 A_z\right) \tag{5}$$

式中:A_y和A_z分别为连廊在y和z方向单位长度上的投影面积;μ_z为连廊中心位置的风压高度变化系数.

2 连廊的表面风压分布和风荷载

2.1 低空封闭连廊四个表面的体型系数分布

以30 m长连廊为例分析连廊各表面的体型系数,其中0°风向角上、前、下、后四个表面的体型系数等值线如图6所示.由图可知:1)前表面为迎风面,表现为正压,中间位置正风压最大,其余三个表面表现为负压;2)上下表面体型系数比较接近,且绝对值均大于背风面;3)背风面的负压比较均匀,测点体型系数平均值为-0.95.

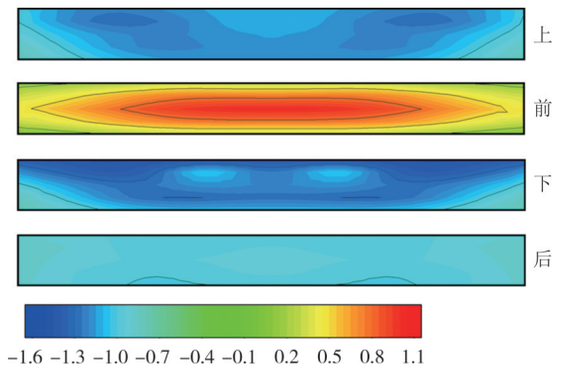


图6 0°风向角30 m长连廊体型系数

Fig.6 Shape coefficient of 30 m long skybridge under 0° wind azimuth

0°风向角30 m长连廊不同横截面测点的体型系数如图7所示.由图可知:1)迎风面承受风压力,且迎风面沿高度方向中间区域压力较大,其他表面承受风吸力.2)x=0 m和x=6 m时迎风面测点体型系数非常接近,x≥8 m时,随x增大迎风面测点体型系数逐渐减小,说明迎风面沿长度方向体型系数分布中间大两端小.3)各个横截面上背风面与上下表面体型系数沿x方向变化不显著.4)荷载规范中给出方柱迎风面体型系数为0.8,背风面体型系数为-0.6.图6中迎风面测点体型系数介于0.27~0.90,平均值略小于规范值;背风面体型系数介于-1.04~-0.86,平均值的绝对值大于规范值的绝对值.5)在图示五个截面中,x=0 m截面(即连廊中间)的风荷载相对较大.

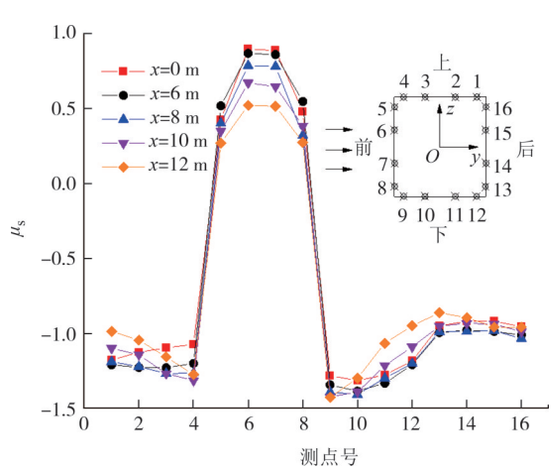


图7 0°风向角各横截面体型系数

Fig.7 Shape coefficient of each cross-section under 0° wind azimuth

以30 m长连廊中间截面(x=0 m)为例,研究体型系数随风向角变化,如图8所示.由图可知:1)随风向角增大,迎风面体型系数逐渐由正转负;2)90°风

向角上下表面和后表面负体型系数绝对值最小，其原因为两侧建筑的遮挡效应比较显著；3）0°和10°风向角整体风荷载最大；4）90°风向角各表面测点体型系数非常接近.

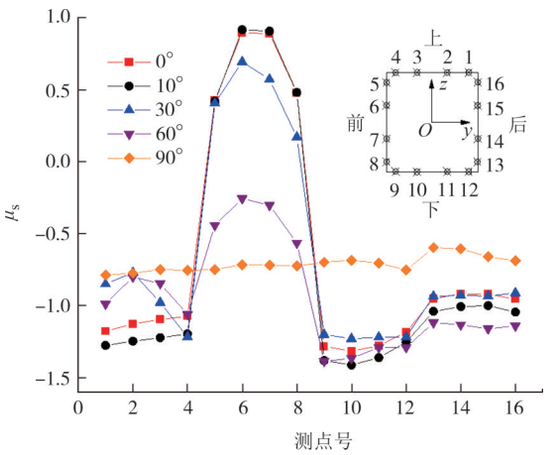


图 8　不同风向角连廊的体型系数（x=0 m）

Fig.8　Shape coefficient of skybridge under different wind azimuths (x=0 m)

以0°风向角结果为例，分析三种长度连廊表面的体型系数，x=0 m截面的体型系数如图9所示.由图可知：1）40 m长连廊表面各测点体型系数绝对值最大，20 m长连廊表面各测点体型系数绝对值最小，说明随连廊长度增大，其表面体型系数呈增大趋势；2）不同长度连廊迎风面体型系数差别较小，其余表面差别略大.

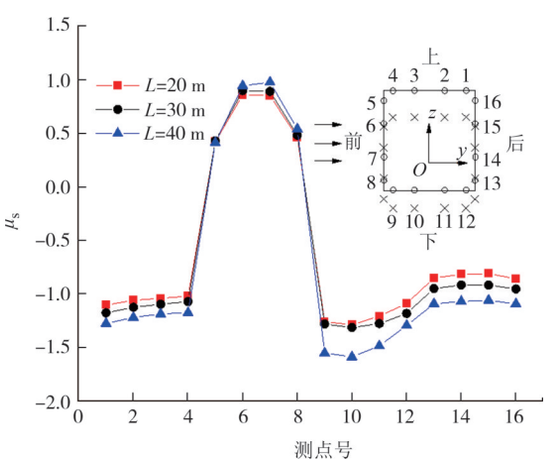


图 9　不同长度连廊的体型系数（x=0 m）

Fig.9　Shape coefficient of skybridge with different lengths (x=0 m)

2.2　低空封闭连廊的整体风荷载与角度风分配系数

三种长度连廊的整体体型系数C_y与C_z如图10所示.由图可知：1）C_y在0°风向角取到最大值，且随着连廊长度的增加C_y最大值略有增大，20 m、30 m、40 m长度连廊C_y最大值分别为1.33、1.61、1.74，连廊长度增大后，中间区域受两侧建筑表面黏滞层干扰较小，导致体型系数C_y增大；2）《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）（简称荷载规范）[1]中方柱的体型系数前后表面叠加值为1.4，试验结果大于规范值，背风面负的体型系数较大，连廊为悬空结构，气流可沿连廊底部和顶端绕流，在背风面形成回旋尾流与旋涡，导致背风面风吸力增大；3）C_z小于0，因此连廊所受竖向荷载向下，在50°和60°风向角下取到极值，20 m、30 m、40 m长度连廊C_z最大负值分别为−0.53、−0.64、−0.64，连廊长度增大后，受两侧建筑表面黏滞层干扰较小.

参照《架空输电线路荷载规范》（DL/T 5551—2018）[20]的做法，采用角度风分配系数描述连廊整体体型系数随风向角的变化，角度风分配系数计算方

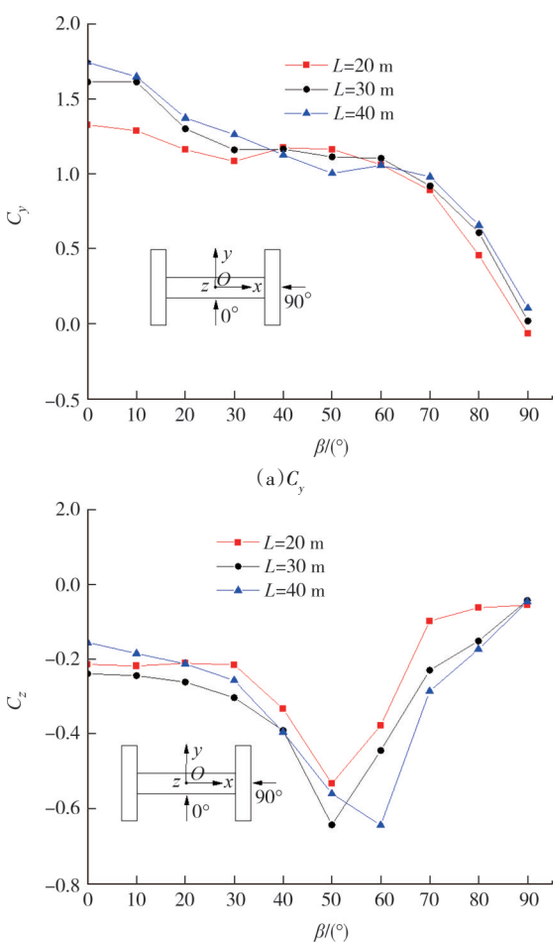


图 10　低空封闭连廊的整体体型系数

Fig.10　Overall shape coefficients of low-elevation enclosed skybridge

法如下：

$$n_y = C_y/C_D \tag{6}$$

$$n_z = C_z/C_L \tag{7}$$

式中：C_D和C_L分别为连廊正迎风的整体阻力系数和升力系数.

0°~90°范围内角度风分配系数随风向角的变化如图11所示，分别采用式(8)(9)拟合n_y和n_z：

$$n_y = a_1 + b_1\cos(c_1\beta) + d_1\sin(e_1\beta) \tag{8}$$

$$n_z = a_2 + \frac{b_2\left(1+\dfrac{\beta - c_2}{d_2}\right)^2}{1+\left(\dfrac{\beta - c_2}{e_2}\right)^2} \tag{9}$$

式中：a、b、c、d、e为待确定的参数；β为风向角，采用弧度制，通过最小二乘法拟合获得如下的公式：

$$n_y = -0.466 + 1.466\cos(0.811\,8\beta) - 0.12\sin(3.9\beta) \tag{10}$$

$$n_z = 0.481 + \frac{2.578\left(1-\dfrac{\beta - 0.102}{0.845}\right)^2}{1+\left(\dfrac{\beta - 0.102}{0.210}\right)^2} \tag{11}$$

拟合公式与试验结果的对比见图11，可以发现拟合公式与试验结果比较接近.

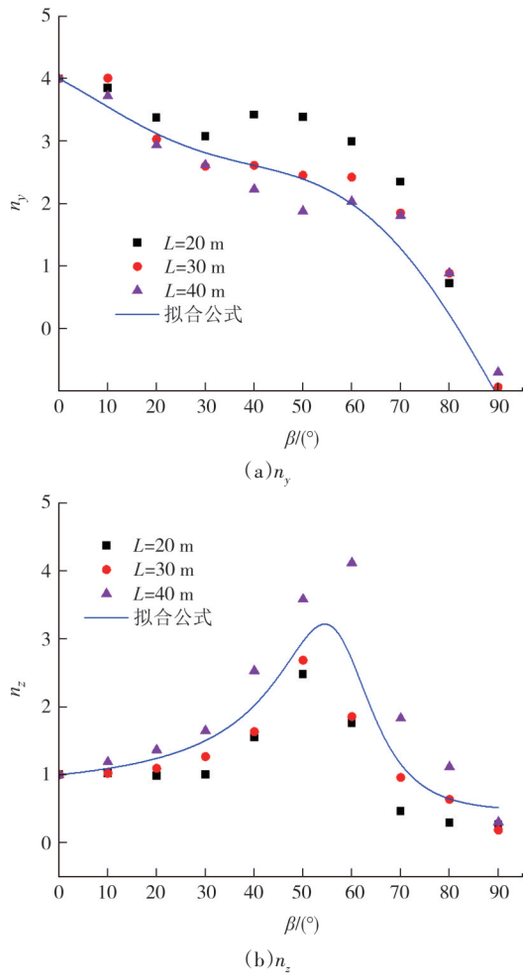


图11 不同长度低空封闭连廊的角度风分配系数

Fig.11 Skewed wind distribution factor of low-elevation enclosed skybridge with different lengths

3 低空封闭连廊的全风向极值风压系数

采用式(12)计算围护结构设计风荷载[21]：

$$w_k = (C_{pe} - C_{pi})\mu_H w_0 \tag{12}$$

式中：w_0为基本风压；μ_H为屋盖平均高度处风压高度变化系数；C_{pe}为全风向极值风压系数；C_{pi}为内压系数.

利用C_{pe}描述连廊围护结构设计风荷载，参考点高度取连廊中心位置高度.目前比较常用的风压极值估算方法[22]有峰值因子法、Hermite矩模型方法、最优线性无偏估计方法(BLUE算法)和峰值分段法等.峰值因子法基于风压密度函数符合高斯分布的假设；Hermite矩模型方法通过非高斯修正将峰值因子法扩展到非高斯分布[23]；BLUE算法是一种基于风压服从Gumbel分布的估算方法；峰值分段法将风压时程平均分为若干子段，极值风压取各子段风压最值的平均值，当实际时长大于250 min时，屋盖结构风荷载标准推荐使用峰值分段法.

极值风压统计与风压分布的高斯和非高斯特性有关.采用时程的偏度值和峰度值判断非高斯特性，偏度值SK和峰度值KU的计算方法如下：

$$\mathrm{SK} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3 \Big/ \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^{\frac{3}{2}} \tag{13}$$

$$\mathrm{KU} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4 \Big/ \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^{2} \tag{14}$$

式中：n为测点时程长度；x_i为时程值；$\bar{x}$为平均值.

对于高斯分布SK=0，KU=3，当|SK|>0.2且|KU|>3.5时，认为测点为非高斯点[24].0°风向角下30 m长连廊各表面峰度值与偏度值如图12所示，非高斯性判断结果如图13所示.由图可知：1)随测点风压的偏度增大，峰度有减小趋势；2)迎风面测点风压偏度较大，其余三个表面测点风压偏度较小且基本为负偏态分布；3)0°风向角前表面作为迎风面，测点风压主要为高斯分布；4)其余三个表面风压由涡脱产生，因此测点风压主要表现为非高斯分布.本文后续采用Hermite矩模型方法进行极值风压的计算.

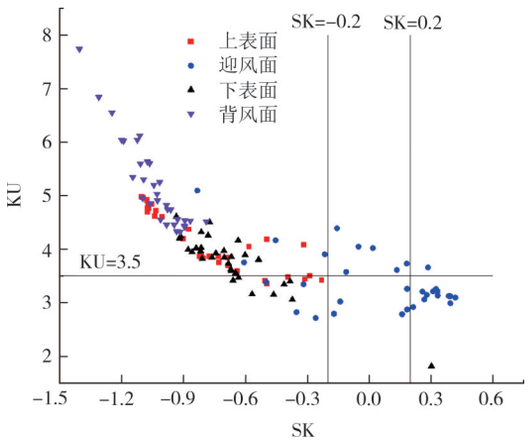
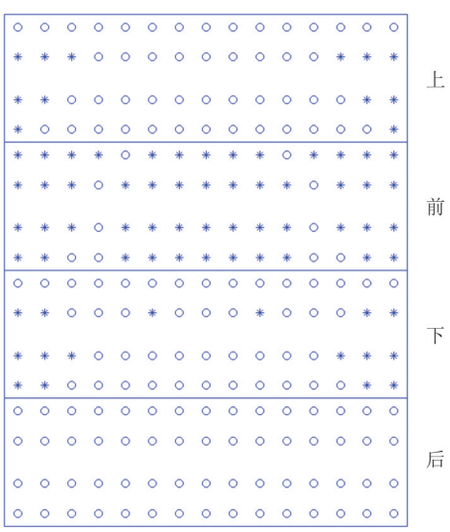


图 12　0°风向角 30 m 长连廊表面风压偏度与峰度

Fig.12　Skewness and kurtosis distribution on surface of 30 m long skybridge under 0° wind azimuth



（* 代表高斯点，°代表非高斯点）

图 13　0°风向角 30 m 长连廊表面高斯与非高斯分布

Fig.13　Gaussian and non-Gaussian distribution on surface of 30 m long skybridge under 0° wind azimuth

以 30 m 长连廊为例，研究连廊各表面全风向极值风压系数，如图 14 所示．由图可知：1）四个表面极值负风压大于极值正风压；2）前、后表面的全风向极值正风压比较接近，并且大于上、下表面；3）上、下两个表面的全风向极值负风压大于前、后表面．

由图 14 可知，连廊同一表面内测点全风向极值风压系数差别不大，因此在进行围护结构风荷载设计时同一表面可采用相同的设计值．低空封闭连廊四个表面的全风向极值风压系数如表 1 所示．可以发现：1）对于风压力，下表面最小，其余三个表面数据比较接近；2）对于风吸力，上、下表面大于前、后表面，其原因为上、下表面存在显著的涡脱区域．

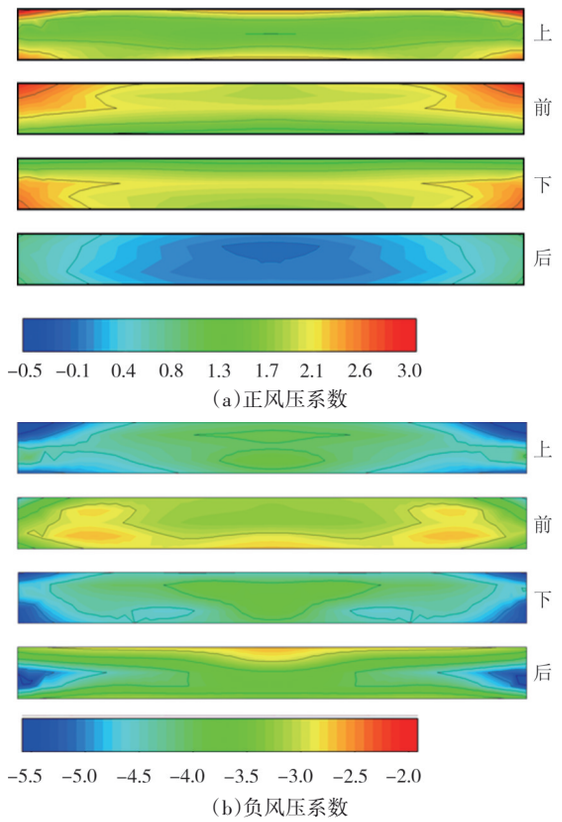


图 14　30 m 长连廊全风向极值风压系数

Fig.14　Extreme wind pressure coefficient in all wind directions of 30 m long skybridge

表 1　低空封闭连廊极值风压系数 C_{pe}

Tab. 1　Extreme wind pressure coefficient C_{pe} of low-elevation enclosed skybridge

风力	连廊表面	C_{pe}		
		L=20 m	L=30 m	L=40 m
风压力	上	1.3	1.5	1.6
	下	0.0	0.1	0.2
	前	1.9	2.0	2.0
	后	1.9	2.0	2.0
风吸力	上	−3.4	−3.6	−3.6
	下	−3.4	−3.7	−4.2
	前	−2.8	−3.3	−3.3
	后	−2.8	−3.3	−3.3

4　连廊阻力系数与各国规范对比

与荷载规范[1]中关于方柱体型系数的规定值 1.4 相比，连廊的阻力系数 C_D 较大，其主要原因是空中连廊具有悬空特性．目前各国规范中都没有直接关于悬空连廊阻力系数的规定，但可以找到类似悬空结构阻力系数的规定．ASCE、AS/NZS、EN、BS、DIN 等规范给出了悬空广告牌、悬空独立板等结构的阻力系

数,且考虑了板的悬空高度等参数对阻力系数的影响.《火力发电厂土建结构设计技术规程》(DL 5022—2012)[25]规定了封闭式运煤栈桥的阻力系数,尽管运煤栈桥长度方向一般与水平面存在夹角,但封闭式栈桥本身外形与连廊相似.考虑了本文中低空连廊中心位置悬空高度 H 为 10 m,长度以 40 m 计,计算获得阻力系数,如表 2 所示.

表 2 各国规范中类似连廊结构的阻力系数

Tab. 2 Drag coefficients of skybridge similar structures regulated in different countries' codes

类别	规范	C_D
独立板和广告牌	ASCE 7-16[2]	1.84
广告牌	BS 6399-2[5]	1.80
广告牌	EN 1991-1-4[4]	1.80
独立板	AS/NZS 1170.2[3]	1.57
广告牌	DIN 1055-4[6]	1.95
封闭式栈桥	DL 5022—2012[25]	1.70

本文连廊的试验结果与各国规范类似结构的阻力系数对比如图 15 所示.由图可知:1)ASCE 7-16 规范中独立板和广告牌的阻力系数随悬空高度的增大而增大;2)20 m 长度连廊阻力系数最小,40 m 长度连廊阻力系数最大,其原因为长度较小时,周边建筑对连廊的干扰更加显著;3)图中大部分数据大于 1.4,说明悬空结构的风压特征与直立方柱存在差异,尤其是背风面的风压分布.

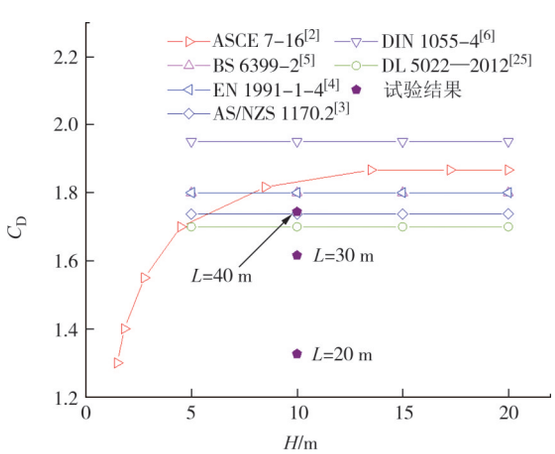


图 15 各国规范中不同悬空高度结构的阻力系数

Fig.15 Drag coefficients of structures with different hanging heights regulated in different countries' codes

5 低空封闭连廊风荷载的设计建议值

根据本文试验结果,各工况连廊的 C_D 和 C_L 如表 3 所示,其中 C_D 为连廊截面的正迎风阻力系数,C_L 为连廊截面的正迎风升力系数,低空封闭连廊的代表性高度为 10 m.

斜风向下 C_y、C_z 分别为 C_D、C_L 与角度风分配系数的乘积:

$$C_y = C_D n_y \tag{15}$$

$$C_z = C_L n_z \tag{16}$$

n_y 和 n_z 的推荐值见式(10)(11).低空封闭连廊围护结构设计风荷载参考表 1.

表 3 低空封闭连廊主体结构风荷载的设计建议值

Tab.3 Recommended values of wind loads for main design of lower-elevation enclosed skybridge

L/m	C_D	C_L
20	1.33	−0.21
30	1.61	−0.24
40	1.74	−0.16

6 结 论

本文针对低空封闭连廊的风压分布和整体体型系数进行了风洞试验研究,平均高度在 15 m 以下的连廊可参考本文研究结果,主要有以下主要结论:

1)低空封闭连廊在正吹情况下,迎风面为正压,其他表面为负压;背风面体型系数约为-1.04~-0.86,绝对值大于荷载规范[1]中方柱体型系数-0.6 的绝对值,且正迎风整体体型系数大于 1.4,说明悬空结构的风压特征与直立方柱存在差异.

2)低空封闭连廊在正吹情况下,中间截面的整体体型系数大于其他截面的数据,原因为中间截面的风荷载受到两侧建筑物的干扰最小;不同风向角情况下正吹风向的整体体型系数最大;连廊越长中间截面的正迎风整体体型系数越大.

3)低空封闭连廊在正吹情况下,迎风面风压主要为高斯分布;背风面和上下表面的风压主要表现为非高斯分布,其原因为这三个面的负风压主要由旋涡脱落产生.

4)给出了低空封闭连廊主体结构设计的风荷载建议值、正迎风整体体型系数和角度风分配系数,见表 3、式(10)和式(11);给出了低空封闭连廊围护结构设计的风荷载建议值,全风向极值风压系数见表 1.

参考文献

[1] 建筑结构荷载规范：GB 50009—2012 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
Load code for the design of building structures：GB 50009—2012 [S]. Beijing：China Architecture and Building Press，2012.(in Chinese)

[2] Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures：ASCE/SEI 7-16[S]. Virginia：American Society of Civil Engineers，2017.

[3] Structural design actions-Part 2：wind actions：AS/NZS 1170.2：2011[S]. Sydney：Joint Technical Committee，2011.

[4] Eurocode 1：Actions on structures-Part 1-4：general actions-wind actions：EN 1991-1-4：2005 [S]. Brussels：European Committee for Standardization，2005.

[5] Loading for buildings-Part 2：code of practice for wind loads：BS 6399-2：1997[S]. London：British Standard，1997.

[6] Action on structures-Part 4：wind loads：DIN 1055-4：2005[S]. Berlin：German Industrial Standards Association，2005.

[7] 张伟威，赵建国，安日新，等.天津国家会展中心交通连廊钢结构设计[J]. 建筑科学，2020，36(9)：51-56.
ZHANG W W，ZHAO J G，AN R X，et al. Steel structure design of traffic corridor of Tianjin National Convention & Exhibition Center[J]. Building Science，2020，36(9)：51-56.(in Chinese)

[8] 陈伟军，刘永添，苏艳桃. 带连廊高层建筑连接方式设计研究[J]. 建筑结构学报，2009，30(S1)：73-76，120.
CEHN W J，LIU Y T，SU Y T. Research on jointing method for high-rise buildings with connecting corridor [J]. Journal of Building Structures，2009，30(S1)：73-76，120.(in Chinese)

[9] 吴国松，张全伍. 钢连廊竖向振动加速度时程分析与控制研究[J]. 建筑结构，2021，51(2)：46-49.
WU G S，ZHANG Q W. Research on time history analysis and control of vertical vibration acceleration of steel corridor [J]. Building Structure，2021，51(2)：46-49.(in Chinese)

[10] 律清，卢文胜，吕西林，等. 采用被动控制的四塔连体结构振动台试验研究[J]. 建筑结构学报，2017，38(3)：46-57.
LÜ Q，LU W S，LÜ X L，et al. Shaking table test of four-tower connected structure with passive control [J]. Journal of Building Structures，2017，38(3)：46-57.(in Chinese)

[11] 郑毅敏，程雄涛，陈伟，等. 大跨度高空弧形连廊模型风洞试验研究[J]. 同济大学学报，2007，35(9)：1197-1203.
ZHENG Y M，CHENG X T，CHEN W，et al. Wind tunnel test study on wind load characteristics for long span steel arc skybridge model[J]. Journal of Tongji University，2007，35(9)：1197-1203.(in Chinese)

[12] 陈凯，符龙彪，何连华，等. 连体高层空中连廊的风致振动分析方法[J]. 建筑结构，2015，45(2)：57-62，94.
CHEN K，FU L B，HE L H，et al. Wind-induced vibration analysis method of the skybrige in connected tall buildings [J]. Building Structure，2015，45(2)：57-62，94.(in Chinese)

[13] 余佳亮，葛玮，罗尧治. 连廊风载体型系数数值模拟与研究[C]//第十一届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 天津：天津大学，2011：879-884.
YU J L，GE W，LUO Y Z. Numerical simulation and research on wind load body shape coefficient of corridor [C]//Proceedings of 11th National Conference on Advances in Modern Structures. Tianjin：Tianjin University，2011：879-884.(in Chinese)

[14] 郑建建. 架空钢结构连廊风荷载体型系数数值模拟研究[J]. 特种结构，2019，36(5)：9-14.
ZHENG J J. Numerical simulation of shape coefficients of wind loads on steel gallery[J]. Special Structures，2019，36(5)：9-14.(in Chinese)

[15] 李丽华，毛毳. 非对称已型连体建筑连廊风载动力特性分析[J]. 天津城建大学学报，2016，22(3)：190-194.
LI L H，MAO C. Dynamic response analysis of unsymmetrical three-tower-connected structure under wind load [J]. Journal of Tianjin Chengjian University，2016，22 (3)：190-194.(in Chinese)

[16] 宋文晶，马臣，袁锐文，等. 连廊结构分析与设计实例[J]. 建筑结构，2011，41(1)：55-58.
SONG W J，MA C，YUAN R W，et al. Analysis and design of linked structure[J]. Building Structure，2011，41(1)：55-58.(in Chinese)

[17] 人行天桥和连廊设计标准：SJG 70—2020 [S]. 深圳：深圳市住房和建设局，2020.
Pedestrian overhead bridge and corridor design standard：SJG 70—2020 [S]. Shenzhen：Shenzhen Housing and Construction Bureau，2020.(in Chinese)

[18] 谢伟群. 基于大涡模拟的对带连廊双塔高层建筑结构风效应的研究[D]. 广州：广州大学，2022.
XIE W Q.Research on wind effect of twin-tower highrise building with corridor based on large eddy simulation [D]. Guangzhou：Guangzhou University，2022.(in Chinese)

[19] 公路桥梁抗风设计规范：JTG/T 3360-01-2018[S]. 北京：人民交通出版社，2018.
Wind-resistant design specifications for highway bridge：JTG/T 3360-01-2018[S]. Beijing：China Communications Press，2018.(in Chinese)

[20] 架空输电线路荷载规范：DL/T 5551—2018[S]. 北京：中国计划出版社，2018.
Load code for the design of overhead transmission line：DL/T 5551—2018[S]. Beijing：China Planning Press，2018.(in Chinese)

[21] 屋盖结构风荷载标准：JGJ/T 481—2019[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.
Standard for wind loads on roof structures：JGJ/T 481—2019[S]. Beijing：China Architecture and Building Press，2019.(in Chinese)

[22] 冯帅，黄浩昌，谢壮宁. 大跨度屋面极值风压估计方法的研究及其应用[J]. 建筑结构学报，2021，42(5)：10-18.
FENG S，HUANG H C，XIE Z N. Estimation method of extreme wind pressure on long-span roof and its application[J]. Journal of Building Structures，2021，42(5)：10-18.(in Chinese)

[23] 陈龙，王丛菲，武岳，等. 基于“风压脉冲”的大跨屋盖结构极值风压估计方法研究[J]. 建筑结构，2018，48(12)：85-91.
CHEN L，WANG C F，WU Y，et al. Method for estimating extreme wind pressure on large span roof structure based on “wind pressure pulse events” [J]. Building Structure，2018，48(12)：85-91.(in Chinese)

[24] 李进晓. 高层建筑幕墙表面风压特性研究[D]. 杭州：浙江大学，2010.
LI J X. Study on wind pressure characteristics on curtain wall surfaces of tall buildings [D]. Hangzhou：Zhejiang University，2010.(in Chinese)

[25] 火力发电厂土建结构设计技术规程：DL 5022—2012[S]. 北京：中国电力出版社，2016.
Technical code for the design of civil structure of fossil-fired power plant：DL 5022—2012[S]. Beijing：China Electric Power Press，2016.(in Chinese)