

# 高铁站台雨棚风荷载特性的数值模拟研究

白正国<sup>1</sup> 谭超<sup>2</sup> 俞峰<sup>1</sup> 颜阳<sup>3</sup> 全涌<sup>2,\*</sup>

(1. 中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200071; 2. 同济大学土木工程防灾减灾全国重点实验室, 上海 200092;  
3. 中铁上海设计院集团有限公司, 上海 200070)

**摘要** 本文基于 SST  $k-\omega$  湍流模型对最不利风向角下站台雨棚表面风压进行了数值模拟, 系统研究了栏杆设置、列车停靠以及雨棚形状变化对高铁站台雨棚表面风压的影响, 结合时均流场特性解释了影响机理, 并依据雨棚表面风压分布特点, 给出了相应的分区风荷载体型系数。研究表明, 上游迎风雨棚受到的风荷载最大, 下游雨棚因上游雨棚的遮挡效应风荷载较小; 雨棚表面整体所受风压以负压为主, 上游迎风前缘的局部区域会出现“上吸下顶”的受力形式; 栏杆设置或列车停靠均会导致雨棚所受负压增大, 但其作用机理不同; 雨棚坡度增加会导致其上表面风压上升; 雨棚宽度减小会导致其后缘区域负压增大, 但对整体风荷载影响较小。研究结果可为高铁站台雨棚的抗风设计提供参考。

**关键词** 风荷载, 站台雨棚, 数值模拟, 体型系数, 抗风设计

**中图分类号:** TU352.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.15935/j.cnki.jggcs.202601.0011

## Numerical Simulation Study on Wind Load Characteristics of the High-Speed Railway Platform Canopy

BAI Zhengguo<sup>1</sup> TAN Chao<sup>2</sup> YU Feng<sup>1</sup> YAN Yang<sup>3</sup> QUAN Yong<sup>2,\*</sup>

(1. China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China; 2. State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

**Abstract** Numerical simulations were conducted to analyse the wind pressure on the canopy surface under the most unfavourable wind direction angle using the SST  $k-\omega$  turbulence model. The effects of installing barriers, train presence and shape variations on wind pressure of the canopy were systematically examined, and the underlying mechanisms were explained through the time-averaged flow field characteristics. The canopy surface was divided into different regions based on the wind pressure distribution and the corresponding shape coefficients were provided. The results indicate that the upstream canopy experiences the highest wind load, while downstream canopies are subjected to lower loads due to shielding effects. The canopy surface is predominantly subjected to negative wind pressure and a localized ‘suction on top and thrust from below’ pattern is observed at the windward leading edge of the upstream canopy. Both the installation of barriers and presence of the train significantly alter the surrounding flow field distribution, leading to an increase in negative wind pressure on the canopy, but the mechanisms are different. The increase in canopy slope leads to the stronger wind pressure on its upper surface. The reduction in canopy width leads to the increased negative pressure at the trailing edge, but has a little impact on the overall wind load. The findings

收稿日期: 2025-06-24

基金项目: 中国钢结构协会研究开发项目(中钢构协[2023]140号); 中铁建科研计划项目(2023-Q09)

作者简介: 白正国, 男, 工程师, 研究方向为铁路房建设运维技术与管理。E-mail: BZGCRCC@163.com

\* 联系作者: 全涌, 男, 教授, 研究方向为结构抗风。E-mail: quanyong@tongji.edu.cn

of this study provide valuable references for the wind-resistant design of high-speed railway platform canopies.

**Keywords** wind load, platform canopy, numerical simulation, shape coefficient, wind-resistant design

## 0 引言

站台雨棚作为高铁站典型的敞开式附属结构,其按结构形式可分为用于(特)大型车站的由大跨度金属屋面和吊顶组成的无站台柱雨棚,以及多用于中小型车站的由压型钢板或混凝土屋面构成的有站台柱雨棚<sup>[1]</sup>。近年来,因强风导致的高铁站台雨棚金属屋面板掉落事件屡次发生<sup>[2]</sup>,给高铁运营安全造成较大负面影响。图1是我国华东地区某高铁站台雨棚屋面的压型钢板被强风卷出脱落事故实景,其造成供电单元接触网跳闸,导致多辆列车停运晚点。由于站台雨棚结构柔度大且自重轻,其对风荷载的敏感性较强<sup>[3]</sup>,在设计及施工时需要特别关注。

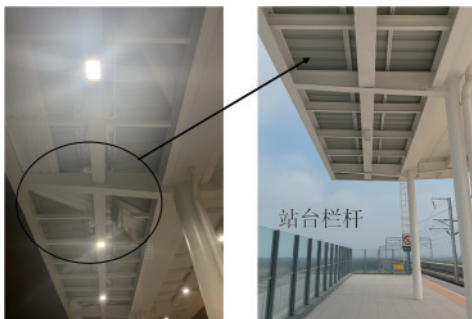


图1 某高铁站台雨棚风致破坏实景

Fig.1 Wind-induced damage of a platform canopy at a high-speed railway station

我国各地高铁站台雨棚结构外形不同且形式复杂<sup>[4]</sup>,基于实际工程的缩尺模型风洞试验是评估雨棚风荷载的主要研究手段。何连华等<sup>[5]</sup>研究了典型风向角下盐城火车站雨棚表面风压的分布特性,指出雨棚表面基本为负压控制,且边缘部分压力系数较大。赵建华<sup>[6]</sup>对北京南站雨棚结构模型进行了风洞试验,研究发现雨棚负风压主要发生在迎风角区,但在下风向会出现正风压。王奇等<sup>[7]</sup>基于某大型火车站的刚性模型风洞试验,对比了采用时域内的直接积分法和频域内的模态叠加法计算得到的站台雨棚风致响应,结果表明此类大跨结构振型耦合项的作用不可忽略。李敬学和石城林<sup>[8-9]</sup>通过对比分析国内14个车站的风洞试验结果,总结了无站台柱雨棚风荷载体型系数

的分布规律,并发现檐口、洞口处的风荷载具有明显的放大效应。高涛<sup>[10]</sup>结合某车站风洞试验和有限元风致振动分析,给出了雨棚在不利风向角下的风振系数和等效静力风荷载。谭杰元等<sup>[11]</sup>基于风洞试验研究了某有站台柱高铁站台雨棚在不同风向角下的风压分布规律以及相邻雨棚间的干扰效应,试验发现最不利负体型系数出现在迎风雨棚边缘,下游雨棚背风区域受干扰效应明显但整体风荷载较小。Zhao等<sup>[12]</sup>对济南西站刚性模型开展了测压风洞试验,并进一步研究了风向角、雨棚纵向间距和车站互通走廊阻塞率对站台雨棚风荷载的影响规律。在利用缩尺模型的测压风洞试验评估站台雨棚风荷载时,测压管道对试验结果的影响始终是一个绕不开的问题。虽然试验时可以采用各种方法来减小这种影响,但始终不能完全消除。

随着计算机性能和湍流模型的发展,采用基于计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)的数值模拟方法可以更便捷模拟站台雨棚的风荷载及其影响因素。Hur等<sup>[13]</sup>对4座大型高铁车站的风荷载进行了CFD模拟,结果表明数值计算得到的风压分布与风洞试验结果吻合较好。何连华等<sup>[14]</sup>对武汉火车站雨棚的平均风荷载开展了数值模拟,并采用多孔介质阶跃模型模拟了雨棚下表面的穿孔管吊顶,模拟结果与风洞试验具有很好的一致性。Lu等<sup>[15]</sup>采用大涡模拟方法研究了深圳新火车站屋盖及雨棚结构的风效应,并结合流场特征解释了风压分布的变化规律。杨娜等<sup>[16]</sup>基于 $k-\varepsilon$ 湍流模型,采用滑移网格技术分析高速列车经过站台时雨棚表面风压的分布规律,同时研究了开口宽度和外形因素对雨棚表面风压的影响。冯海龙等<sup>[17]</sup>模拟了两列车交会通过时站台雨棚表面的气动力,并进一步计算了雨棚的风振响应。郭明霞等<sup>[18]</sup>模拟了斜板型、Y型和折板型这三种新型大跨预应力拉索雨棚的风压系数,并给出了相应雨棚设计时体型系数的建议参考值。彭仪普等<sup>[19]</sup>模拟了不同风向角下沿海地区站台柱Y型雨棚表面风压及风载体型系数,结果表明侧向垂直来流方向为最不利风向,且相邻雨

棚对目标雨棚的风荷载基本无影响。

尽管既有文献针对高铁站台雨棚风压分布规律和风振响应开展了大量研究,但其研究对象多聚焦于大型铁路枢纽的无站台柱雨棚屋盖,而对规模较小但数量庞大的中小型车站雨棚的关注不足。值得注意的是,我国部分中小型高铁站台因紧邻轨道线且列车停靠频繁,普遍通过图 1 中所示设置站台栏杆的方式来保障旅客安全,这导致雨棚所处的风场环境发生明显变化,即栏杆或列车停靠时形成的“半封闭空间”会显著改变站台周围的流场分布,影响雨棚表面的风荷载特性。然而,现有研究并未对此类工程背景进行充分探讨,这可能会导致高铁站台雨棚存在安全隐患,有必要进行深入探究。

本文以扬州东车站台雨棚为工程背景,基于 CFD 模拟研究了站台雨棚在最不利风向角下的风荷载特性,通过与风洞试验结果对比,验证了模拟方法的有效性,进而系统地分析了设置栏杆、列

车停靠及雨棚形状对雨棚表面风压分布的影响规律,并结合时均流场特性讨论了其影响机理,最后给出相应的体型系数,供结构抗风设计参考。

### 1 CFD 模拟概况

#### 1.1 雨棚模型与工况设计

以扬州东站为参照,建立了用于数值计算的“4台6线”站台模型,几何缩尺比为 1:125。该车站雨棚的实际宽度  $L=12\text{ m}$ ,上檐口距地面的标高为  $H_c=22.17\text{ m}$ ,下檐口到站台的高度  $H=5.5\text{ m}$ ,如图 2 所示。已有大量研究结果<sup>[11,18-19]</sup>表明,当来流从侧面垂直作用于站台时,雨棚表面承受的风荷载最大,且表面风压沿其纵向变化较小。因此,本文对该站台在最不利风向角下的风荷载特性开展二维 CFD 模拟,同时设定多组工况来研究站台栏杆、列车停靠及雨棚形状对雨棚表面风荷载的影响,各工况具体参数见表 1。

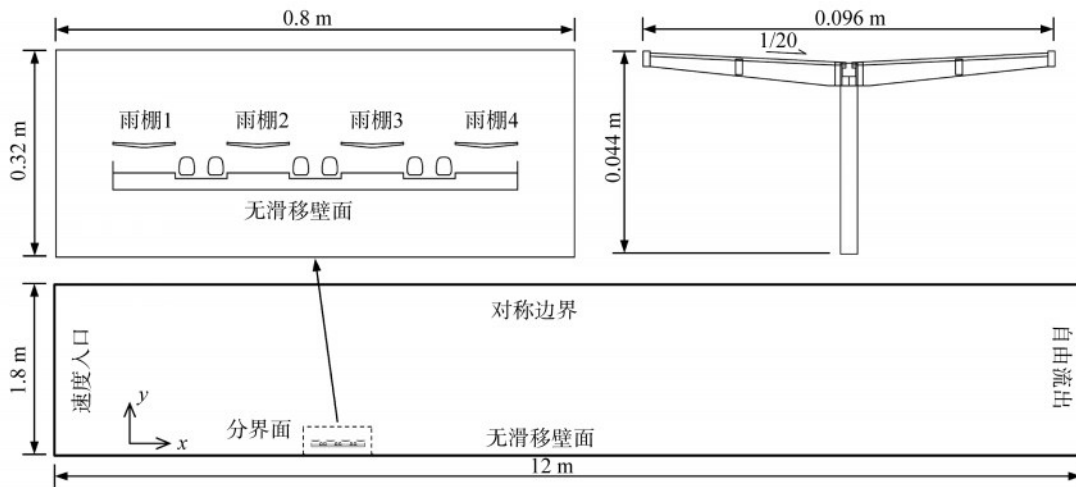


图 2 雨棚模型及计算域

Fig.2 The platform canopy model and computational domain

表 1  
Table 1  
CFD 模拟工况  
CFD simulation cases

工况名称	工况类型
Case 1	基本工况:无栏杆,无列车停靠;雨棚宽度 12 m,坡度 1/20
Case 2	考虑栏杆设置的影响:栏杆高度 2.2 m
Case 3	考虑列车停靠的影响:列车宽度 3.3 m,车顶到站台高度 3.033 m
Case 4	考虑栏杆设置及列车停靠的共同影响:栏杆高度 2.2 m
Case 5	考虑雨棚坡度的影响:雨棚坡度 1/15
Case 6	考虑雨棚坡度的影响:雨棚坡度 1/8
Case 7	考虑雨棚宽度的影响:雨棚宽度 8 m

## 1.2 计算域与参数设定

为确保尾流区域充分发展,本文将计算域大小设为流向 $x$ ×竖向 $y=12\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ ,以保证数值风洞的阻塞比小于3%。边界条件的设定如图2所示,入口边界采用速度入口,为计算雨棚结构的体型系数,设定 $10\text{ m/s}$ 的均匀来流,湍流度为15%;计算域顶部采用对称边界;计算域底部和站台模型(雨棚、列车及栏杆等)表面均采用无滑移固定壁面;出口边界设为自由流出。由于几何模型较为复杂,CFD模拟采用分块混合网格形式,即在远离雨棚一段距离设置分界面,外部区域离散为结构化网格形式,内部区域则采用非结构化网格,并在近壁面局部加密。本文设置了三种数量的网格方案进行无关性检验,分别对应细网格(48万)、中网格(27万)和粗网格(11万)。图3展示了采用三种网格划分方案模拟的迎风雨棚1上表面平均风压系数的结果对比。可以看出,粗网格与细网格之间存在明显差异,而中网格和细网格的模拟

结果基本一致。综合考虑CFD模拟的计算精度和效率,各模拟工况均采用中网格方案进行计算分析。图4为Case 4的网格划分结果,外部区域最小网格尺寸为 $0.008\text{ m}$ ,网格增长率为1.08;内部区域雨棚表面最小网格尺寸为 $0.0002\text{ m}$ ,首层网格尺寸设为 $0.00004\text{ m}$ ,以确保近壁面 $y^+$ 值小于1;栏杆、列车等其他壁面的最大网格尺寸为 $0.0008\text{ m}$ 。

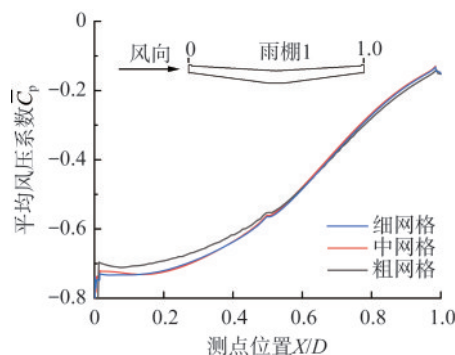


图3 网格无关性检验

Fig.3 Grid independence verification

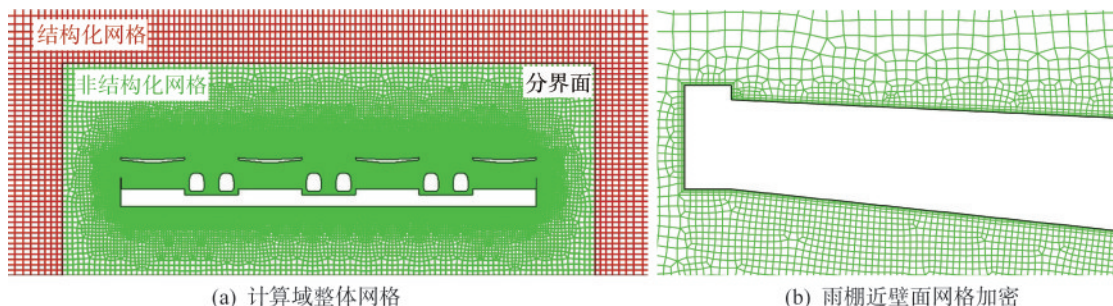


图4 网格划分

Fig.4 Grid configuration

数值计算采用Menter<sup>[21]</sup>提出的考虑剪切压力传输(Shear-Stress Transport, SST)的 $k-\omega$ 湍流模型,该模型结合 $k-\varepsilon$ 模型的远场优势和 $k-\omega$ 模型的近壁面精度,更适用于复杂外形模型的流动分离及尾流区计算,在结构绕流数值模拟中应用非常广泛。CFD模拟的迭代计算中,压力-速度耦合采用SIMPLEC算法求解;空间离散均采用二阶迎风格式;所有变量的尺度残差和连续性方程的收敛准则设定为 $10^{-6}$ 。

## 1.3 CFD模拟可靠性检验

为验证CFD模拟方法的可靠性,本节首先针对扬州站站台雨棚的风洞试验模型进行了数值模拟。测压试验在同济大学TJ-3风洞进行,试验

在B类风场中完成,几何缩尺比取 $1:125$ 。试验中参考高度取为 $1.061\text{ m}$ ,参考点位置处的风速为 $12.32\text{ m/s}$ 。CFD模拟采用与风洞试验相同的条件,边界条件的设定方式同前节,限于篇幅,这里仅给出本文关注的雨棚表面测点风压结果用于对比验证。图5给出了迎风方向上前两个雨棚靠近中间位置截面处测点的净风压系数的CFD模拟结果与风洞试验结果的对比,可以看出CFD模拟得到的平均风压系数与风洞试验结果在数值和变化趋势上基本一致,即在侧向垂直来流作用下,雨棚整体受到负风压作用,且其极值点均出现在雨棚前缘位置处,与文献<sup>[11,19]</sup>中得到的规律相同。部分测点的风压值及其位置存在一定偏差,这可能是由于CFD模拟中雨棚处于较为理想的来流

环境而风洞试验模拟了更详细的周边环境导致的;另外,CFD 几何模型与试验模型存在一定差异,例如试验模型上有雨棚中柱和测压管线等都

可能会导致二者对比结果出现偏差。总体来看,本文数值计算方法是可靠的。

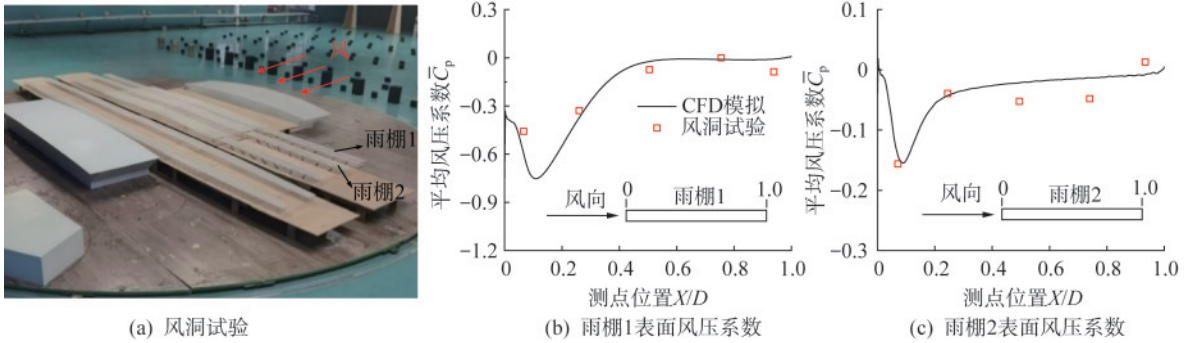


图5 CFD模拟结果准确性验证

Fig.5 Validation of the CFD simulation results

## 2 结果与分析

### 2.1 平均风压分布

本节首先针对基本工况(Case 1)的平均风压分布展开分析,之后进一步讨论设置栏杆、列车停靠及形状改变对雨棚表面风荷载影响,同时结合时均流场特性对相关现象进行解释。

#### 2.1.1 基本工况的平均风压分布

图6展示了基本工况的平均风压系数及时均流场云图。由图可知,四个雨棚表面的平均风压分布形式相似,其上、下表面的风压均为负值,表明风荷载以吸力为主。四个雨棚中,处于上游的雨棚1受到的风荷载最大,下游三个雨棚则因雨棚1的遮挡作用风荷载大大减小,因此后续分析主要聚焦于雨棚1的风荷载参数。

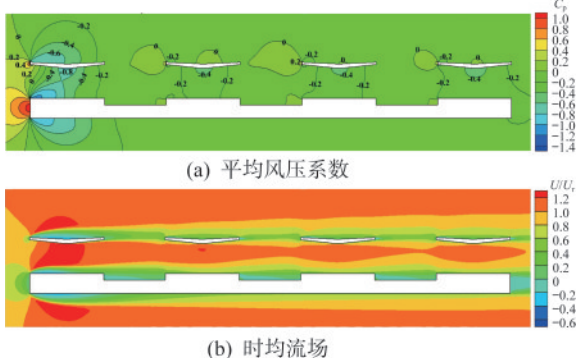


图6 基本工况下雨棚表面的平均风压系数及时均流场云图(Case 1)

Fig.6 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 1)

对于雨棚1的上表面,来流在雨棚前缘发生流动分离,导致负风压最大值出现在靠近前缘的位置,随着测点位置向后移动,风吸力逐渐减弱,文献[6]指出这是因为当气流绕过雨棚时,先在其边缘产生流动分离形成很大的吸力,随后向下游发展出现再附着,负风压逐渐减小甚至出现正风压。这说明气流在前缘产生的旋涡脱落作用是影响雨棚上表面风荷载特性的主要因素。对于雨棚下表面,负风压最大值则出现在靠近中间位置处,这是由于气流经过时流速增加,进而形成较大的局部负压。值得注意的是,在雨棚迎风端部附近区域,上表面风压为较大的负值,下表面风压为较小的正值,形成“上吸下顶”<sup>[22]</sup>的风压分布形式,这导致雨棚该区域受到的净风吸力显著增强。因此,在结构设计时应当重点关注上游雨棚边缘位置的局部处理。

#### 2.1.2 栏杆设置对雨棚表面风压的影响

设置栏杆会改变站台周围流场,并对雨棚表面风压分布产生显著影响。图7给出了设置栏杆时雨棚1表面的平均风压系数及时均流场云图。与图6比较可以看出,设置栏杆后,雨棚1的上表面负风压明显增大,尤其在中后部区域更为显著,这说明栏杆的设置导致雨棚上方形成了更强的负压区。同时,由于栏杆的阻挡作用,雨棚下方流速明显增大,使得风对迎风前缘的冲击作用增强,导致雨棚近迎风端的下表面正风压变大,相比于Case 1,这进一步增大了雨棚迎风前缘下表面围护结构向上的风荷载,导致该区域更加容易遭受风灾破坏。

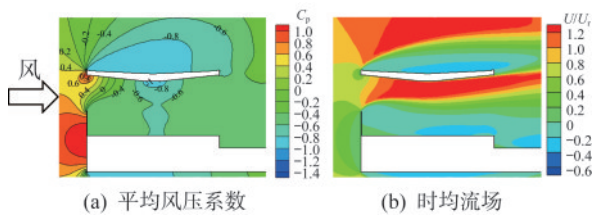


图7 设置栏杆时雨棚表面的平均风压系数及时均流场云图(Case 2)

Fig.7 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 2)

特别要强调的是,雨棚的排水管入口一般设置在雨棚中部,对于设置了栏杆的情况,雨棚中上部表面负风压(吸力)很大。如果施工工艺不过关,导致这里雨棚夹层内部与上空联通,会致使夹层内部出现很高的负压,而栏杆的设置使雨棚迎风端附近下表面承受正风压,二者共同作用可能导致雨棚近迎风端的下表面围护结构承受过大的指向上方的风力作用。华东地区某设置了栏杆的高铁站台,正是因为站台雨棚该区域下表面围护结构的固定螺钉被风力拔出而破坏(图1),致使高铁运行被迫临时中断。

2.1.3 列车的停靠对雨棚表面风压的影响

列车停靠站台也会改变雨棚周围的流场,并对其表面风压产生影响。图8展示了列车停靠站台时雨棚1的表面平均风压系数及时均流场云图。由图可知,列车的阻挡作用对雨棚1上表面风压影响较小,但由于其削弱了下方来流风速,使得雨棚下表面正压明显增大,这导致雨棚整体受到向上的风吸力作用增强,而不仅仅局限于迎风前缘局部区域,从而增大雨棚整体被风掀翻的可能性。

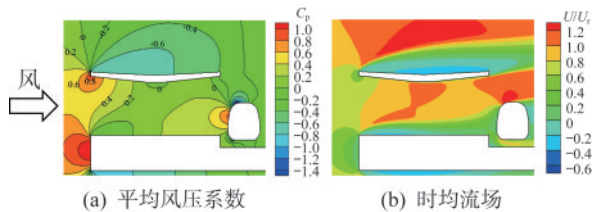


图8 列车停靠站台时雨棚表面的平均风压系数及时均流场云图(Case 3)

Fig.8 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 3)

2.1.4 设置栏杆时列车停靠对雨棚表面风压的影响

结合前节分析可知,设置栏杆或列车停靠作

用均会对站台周围的流场产生影响,使得雨棚表面受到的风吸力增强,但二者的作用机理有所不同:设置栏杆主要导致雨棚上表面的负压显著增大,而列车停靠对上表面风压影响较小,其主要使下表面的正风压加剧。图9则给出同时考虑栏杆和列车停靠站台情况下雨棚表面的平均风压系数及时均流场云图。从图中可以看出,相比于仅设置栏杆工况,对于上游雨棚1,列车停靠使得其上表面的负压更大,并同时增大了下表面迎风前缘的正风压,这说明在栏杆和列车的共同作用下,雨棚受到的风吸力作用更强,使得雨棚被风整体掀翻的可能性进一步增大。

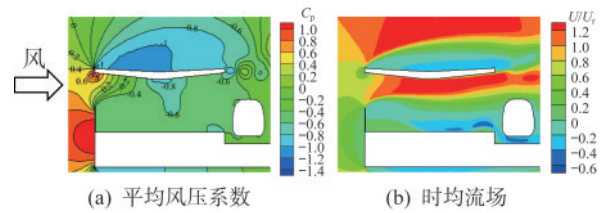


图9 考虑栏杆和列车停靠站台情况下雨棚表面的平均风压系数及时均流场云图(Case 4)

Fig.9 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 4)

2.1.5 雨棚形状变化对其表面风压的影响

图10给出了坡度改变时雨棚表面平均风压系数及时均流场的分布情况。从图中可以看出,坡度变化基本不影响雨棚上表面的风压分布,这可能是因为坡度变化还不够大,尚未影响到气流经过上表面分离后的旋涡脱落特性;而下表面风压变化较为显著,其影响范围主要集中在中间区域:当坡度增大时,雨棚下方更多的气流受到挤压,导致流速放大效果更强,进而使得下表面近中部区域的负压显著增大。因此,雨棚坡度增大会使得其受到向下的风力增强。

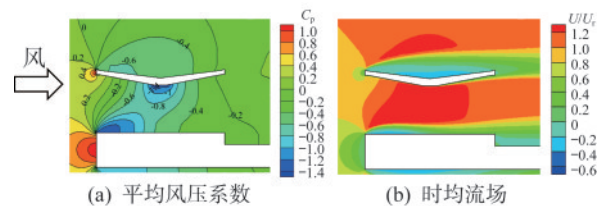


图10 坡度改变时雨棚表面平均风压系数及时均流场分布云图(Case 6)

Fig.10 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 6)

图 11 展示了宽度改变时雨棚表面平均风压和时均流场的分布情况,由图可知,当宽度减小时,雨棚 1 上表面的负压整体变大,且在尾缘区域更为明显,这说明此时宽度改变扩大了旋涡脱落的作用范围;由于此时来流风更容易穿过雨棚,并在其后缘区域稳定至更高的风速,导致雨棚下表面后缘区域的负压显著增强。因此,宽度减小会增强雨棚后缘区域的负压,但对整体受力影响较小。

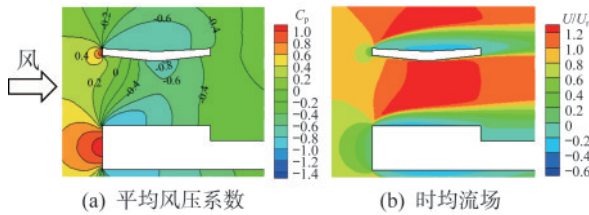


图 11 宽度改变时雨棚表面平均风压和时均流场分布云图(Case 7)

Fig.11 Mean wind pressure coefficients on the canopy surface and time-averaged flow field contour (Case 7)

### 2.2 分区体型系数

根据前节对雨棚表面风压分布特征的分析结果可知:上表面风压梯度较小,而下表面风压变化剧烈且最大负压集中于中间区域。鉴于模型的对称性,本文将雨棚表面划分为 5 个区域(即迎风边

缘区、迎风过渡区、中间平缓区、背风过渡区及背风边缘区),并依次计算出各区域的分区体型系数,以便于工程参考。雨棚表面测点的风荷载体型系数定义为 $\mu = F/0.5\rho_a U_r^2 A$ ,其中 $F$ 为该点法向上的压力值(N), $A$ 为测点的附属面积( $m^2$ ),分区体型系数由测点体型系数按附属面积加权计算得到。图 12 给出了上游雨棚 1 的上、下表面以及净体型系数在不同工况下的计算结果,从图中可以看出,由于来流的冲击作用,雨棚的最不利体型系数极值出现在迎风边缘处,而在较大雨棚坡度工况(Case 5 和 Case 6)中最不利体型系数出现在中间区域。各工况中雨棚上表面均为负体型系数,说明上表面风荷载主要受吸力控制,而不同工况下雨棚下表面的体型系数可能为正也可能为负,在仅考虑列车停靠工况(Case 3)中,最不利正体型系数(0.62)出现在迎风边缘区域。对于净体型系数,通过与《建筑结构荷载规范》<sup>[23]</sup>规定的与雨棚结构类似的单坡顶盖结构体型系数( $\mu_{s1}=-1.0$ ,  $\mu_{s2}=-0.7$ )对比后发现:①无栏杆无列车工况(Case 1),雨棚的最不利净体型系数为-0.79,与规范值接近;②设置栏杆和列车停靠均会导致雨棚的最不利净体型系数增加,最大增幅为 84%,且均高于 $\mu_{s1}$ (绝对值),此时采用规范值设计偏危险;③雨棚坡度较大时,其最不利净体型系数为 0.71,此时雨棚风荷载受风压力控制。

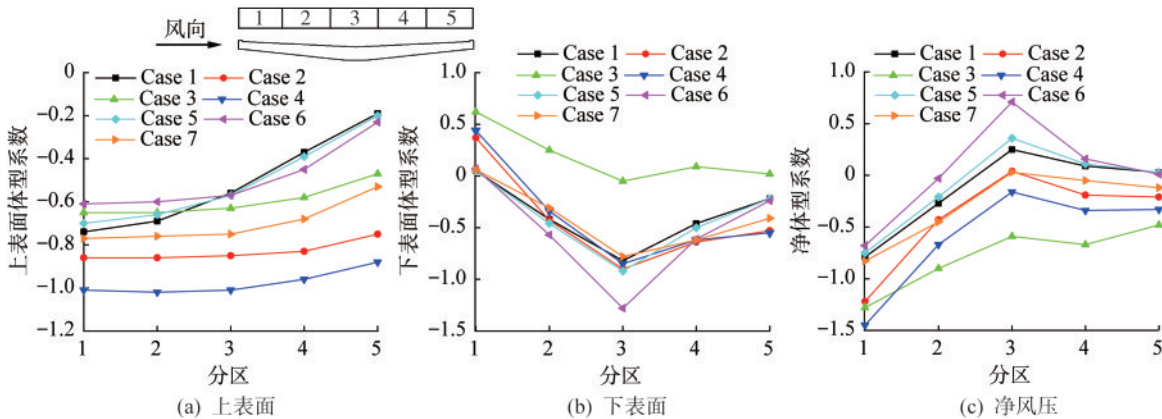


图 12 各工况下雨棚 1 的风荷载体型系数模拟结果

Fig.12 Shape coefficient results of the canopy under all the cases

## 3 结论

本文基于 SST  $k-\omega$  湍流模型对扬州站站台雨棚结构的表面风荷载进行了 CFD 模拟,系统分析了设置栏杆、列车停靠及雨棚形状变化对雨棚

表面风荷载的影响规律,并结合时均流场特性解释了影响机理,最后依据雨棚表面风压分布特点对其进行了分区,并给出相应的体型系数供设计参考,得到如下结论:

(1) 数值模拟结果和风洞试验结果的对比表

明,本文方法较准确地模拟了高铁站台雨棚表面平均风荷载及其周围流场,可为工程应用提供借鉴。

(2) 当来流从侧面垂直作用于站台时,雨棚表面整体以负风压为主,最上游迎风雨棚的风荷载最大,下游雨棚因上游雨棚的遮挡效应风荷载较小;上游雨棚总体上受到向上的风吸力作用,平均压力系数范围在 $-0.8\sim 0.2$ 之间,其迎风前缘会形成“上吸下顶”风压分布形式,在结构设计中应特别注意加强该位置的局部处理。

(3) 设置栏杆或列车停靠均会影响雨棚周围的流场,并使雨棚表面受到的最大风吸力增大62%,但二者的影响机理不同。当栏杆设置和列车停靠共同作用时,风吸力增强效果会更加显著,最大增幅为84%,这很可能是导致某高铁站台雨棚钢板脱落事故的原因,在工程中应当重点关注。

(4) 无栏杆且无列车时,雨棚的最不利净体型系数为 $-0.79$ ,且通常出现在迎风边缘处,这与《建筑结构荷载规范》值较为接近。设置栏杆及列车停靠时,雨棚的最不利净体型系数会达到 $-1.45$ ,此时采用规范值进行结构设计可能会偏危险。当雨棚坡度增加至 $1/8$ 时,最不利净体型系数会由负转正,其值为 $0.71$ 且出现在雨棚中间位置处。宽度变化对雨棚净体型系数的影响较小。

由于篇幅所限,本研究仅讨论了高铁站台雨棚远离车站站房的典型区段的风荷载及其影响因素。事实上,雨棚外端部的风荷载受端部效应的影响也是巨大的,雨棚靠近车站站房部分的风荷载受站房的影响很大,与站房的外形有很大的关系,难以给出简洁实用的代表性数据和结论,这些问题将在作者后续研究中展开深入讨论。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王博,左强新,刘伯奇,等.高速铁路客站雨棚围护结构现状及列车风致振动检测[J].铁道建筑,2023,63(4):99-103.  
WANG Bo, ZUO Qiangxin, LIU Boqi, et al. Current situation of canopy enclosure structure in high speed railway stations and detection of wind-induced vibration of trains [J]. Railway Engineering, 2023, 63 (4): 99-103. (in Chinese)
- [ 2 ] 马福宪,闫海.驻马店西高铁站台雨篷金属屋面抗风揭试验研究[J].施工技术,2013,42(22):81-83.  
MA Fuxian, YAN Hai. Wind uplift research on metal roof in Zhumadian high speed rail station [J]. Construction Technology, 2013, 42 (22) : 81-83. (in Chinese)
- [ 3 ] 沈银龙,童乐为,周锋.火车站雨棚轻钢屋面抗风承载力试验研究[J].结构工程师,2015,31(2):168-174.  
SHEN Yinlong, TONG Lewei, ZHOU Feng. Wind-resistant test of lightweight steel roof for a railway station canopy [J]. Structural Engineers, 2015, 31 (2) : 168-174. (in Chinese)
- [ 4 ] 蒋凡.车站无站台柱雨棚风荷载设计探讨[J].铁道标准设计,2011(5):94-96.  
JIANG Fan. Design on wind loading of canopy without platform columns at station [J]. Railway Standard Design, 2011(5):94-96. (in Chinese)
- [ 5 ] 何连华,符龙彪,郑冰心,等.盐城火车站无站台柱雨棚风荷载的风洞试验研究[J].铁道建筑,2007(7):103-105.  
HE Lianhua, FU Longbiao, ZHENG Bingxin, et al. Experimental study in wind tunnel to determine wind load imposed on rainproof shed without column on platform in Yancheng railway station [J]. Railway Engineering, 2007(7):103-105. (in Chinese)
- [ 6 ] 赵建华.北京南站雨棚结构平均风荷载特性试验研究[J].铁道标准设计,2011(5):97-100.  
ZHAO Jianhua. Tests on wind loading property of canopy structures on average at Beijing south railway station [J]. Railway Standard Design, 2011(5):97-100. (in Chinese)
- [ 7 ] 王奇,张杰,校曙东.大型站台雨棚风振响应时域和频域法对比分析[J].建筑结构,2013,43(15):88-90,121.  
WANG Qi, ZHANG Jie, XIAO Shudong. Contrast analysis of wind-induced response of large platform canopy by time and frequency domain method [J]. Building Structure, 2013, 43 (15) : 88-90, 121. (in Chinese)
- [ 8 ] 李敬学,石城林.铁路站台雨棚风洞试验取值规律的探讨[J].铁道工程学报,2012(8):84-88.  
LI Jingxue, SHI Chenglin. Exploration on the regulation of the wind tunnel test on the no-platform-column canopy [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(8):84-88. (in Chinese)
- [ 9 ] 李敬学,石城林.锯齿形雨棚屋面风荷载体型系数取值探讨[J].铁道工程学报,2012(4):81-85.  
LI Jingxue, SHI Chenglin. Discussion on the wind load figuration coefficients put on the sawtooth exoteric surface [J]. Journal of Railway Engineering Society,

- 2012(4):81-85.(in Chinese)
- [10] 高涛.某铁路客站站房及雨棚风洞试验研究及分析[J].铁道标准设计,2018,62(6):125-129.  
GAO Tao. Wind load analysis of railway passenger station building and canopy [J]. Railway Standard Design, 2018, 62(6): 125-129.(in Chinese)
- [11] 谭杰元,李寿科,肖飞鹏.高铁站台雨棚表面风荷载及干扰效应研究[J].建筑结构,2020,50(16):119-124,33.  
TAN Jieyuan, LI Shouke, XIAO Feipeng. Research on wind loads and interference factor on platform canopy of high-speed railway [J]. Building Structure, 2020, 50(16): 119-124, 33.(in Chinese)
- [12] ZHAO L, YU Z X, QI X, et al. Wind tunnel test of wind load on a typical cross line high-speed railway station [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2021, 25(10): 3779-3787.
- [13] HUR N, KIM S R, WON C S, et al. Wind load simulation for high-speed train stations [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96: 2042-2053.
- [14] 何连华,陈凯,符龙彪,等.武汉火车站屋盖与雨棚平均风荷载的数值模拟[J].建筑结构,2009,39(1):20-22,15.  
HE Lianhua, CHEN Kai, FU Longbiao, et al. Numerical simulation of mean wind pressure on roof and canopy of Wuhan railway station [J]. Building Structure, 2009, 39(1): 20-22, 15.(in Chinese)
- [15] LU C L, LI Q S, HUANG S H, et al. Large eddy simulation of wind effects on a long-span complex roof structure [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, 100: 1-18.
- [16] 杨娜,郑修凯,张建,等.高速列车经过雨棚时的列车风致效应研究[J].铁道学报,2017,39(4):126-134.  
YANG Na, ZHENG Xiukai, ZHANG Jian, et al. Study on surface wind pressure of canopy structure during high-speed train passage [J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(4): 126-134.(in Chinese)
- [17] 冯海龙,王博,李红梅,等.高速列车交会激励下雨棚振动响应[J].中国铁道科学,2022,43(3):121-131.  
FENG Hailong, WANG Bo, LI Hongmei, et al. Vibration response of canopy excited by high-speed train meeting [J]. China Railway Science, 2022, 43(3): 121-131.(in Chinese)
- [18] 郭明霞,曹平周,汪磊,等.大跨预应力高铁站台雨棚风荷载特性研究[J].河南大学学报(自然科学版),2018,48(1):63-72.  
GUO Mingxia, CAO Pingzhou, WANG Lei, et al. Study on wind load characteristics platform canopy using prestress in large span on high speed railway [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2018, 48(1): 63-72.(in Chinese)
- [19] 彭仪普,于风晓,谢稳江,等.沿海地区站台柱Y型雨棚风压分布特征研究[J].工业建筑,2025,55(3):196-203.  
PENG Yipu, YU Fengxiao, XIE Wenjiang, et al. Research on wind pressure distribution characteristics of Y-shaped canopies with platform columns in coastal areas [J]. Industrial Construction, 2025, 55(3): 196-203.(in Chinese)
- [20] 王笑红.中小型铁路车站雨棚风荷载、风效应和等效静风荷载研究[D].北京:北京交通大学,2020.  
WANG Xiaohong. Wind loads, wind-induced response and equivalent static wind load on canopy of small or medium-sized railway station [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.(in Chinese)
- [21] MENTER F R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications [J]. AIAA Journal, 1994, 32(8), 1598-1605.
- [22] 孙建龙.大型火车站雨棚风荷载特性试验研究[J].建筑结构,2013,43(4):88-93.  
SUN Jianlong. Experimental research on wind load characteristics of large railway station canopies [J]. Building Structure, 2013, 43(4): 88-93.(in Chinese)
- [23] 建筑结构荷载规范:GB50009—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 & Building Press, 2012.(in Chinese)