

DOI: 10.7672/sgjs2024210123

基于风洞试验的双曲面超高层建筑风压特性分析*

蒋家园

(中铁十八局集团有限公司,天津 300222)

[摘要] 依托迪拜蓝天酒店工程,采用风洞试验方法,研究双曲面超高层建筑外立面极值风压分布特性。根据建筑外立面支撑面积,给出支撑面积折减系数。根据不同的荷载组合,给出角部风荷载组合系数,通过叠加外立面风压块,可确定对应的风荷载。研究表明,超高层建筑造型复杂的外立面及立面交界拐角位置极值风压较大,这是由建筑外形突变和来流风绕流效应引起的,在设计过程中应重点考虑相应区域建筑外立面抗风性能。

[关键词] 高层建筑;风压;风洞试验;折减系数

[中图分类号] TU974

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)21-0123-05

Wind Pressure Characteristics Analysis on Hyperbolic Super Tall Building Based on Wind Tunnel Test

JIANG Jiayuan

(China Railway 18th Bureau Group Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: Taking the Ciel Tower in Dubai project as the background, wind tunnel tests are used to analyze the extreme wind pressure on the exterior surfaces of a hyperbolic super tall building. The reduction coefficient for the supporting area of the building's facade is obtained based on the supporting area. Combination coefficients of wind load at corners are given based different load combinations, and the corresponding wind loads can be determined by superimposing wind pressure blocks on the exterior surfaces. The research results show that the extreme wind pressures are large in the areas with complex shapes and the intersections of facades at corners of super tall buildings, which is caused by the abrupt changes of the building shape and the flow effect of the incoming wind. In the design process, attention should be paid to the surface wind resistance performance of the corresponding area.

Keywords: tall buildings; wind pressure; wind tunnel tests; reduction coefficient

0 引言

超高层建筑具有长细比大、结构柔性、阻尼小、造型独特等特点,对风的作用敏感,因风引起的外立面风荷载、保障结构抗风安全至关重要。

黄立敏^[1]开展了高层框架核心筒结构表面风压数值模拟,并获得了平均风压系数随风向角的变化规律。周建民等^[2]采用数值模拟方法,研究了不同高宽比、宽厚比对高层建筑结构立面风压分布的影响。艾辉林等^[3]研究了不同风向角下超高层建筑外立面复杂装饰条风荷载特性,可按照建筑外形划分为拐角区域、平顺区域及过渡区域分别考虑风

荷载,给出了各区域风荷载系数控制值。田伟等^[4-5]针对沙漠地区高层建筑,明确了幕墙表面风压确定方法及遮阳面板变形控制限值,开展了同步安装技术研发,以减少风荷载作用下的幕墙晃动。郑德乾等^[6]以标准方柱高层建筑为研究对象,分析了顶部不同开洞形式下方柱风压分布特征,并通过流线图分析了开洞形式对气流的影响。秦长金等^[7]通过风洞试验,研究了非对称斜交连体建筑风压分布和风致响应规律。

1 工程概况

迪拜蓝天酒店(Ciel Tower)位于阿联酋迪拜玛瑞纳繁华商业区,占地面积为3662m²,建筑面积为101945m²,建筑高度为366.5m。该工程共设计83层,包括地下室、地面层、地上停车场、酒店客房、酒店餐厅、观景平台、屋面层。该酒店采用双曲面建

* 中铁十八局集团有限公司科技创新项目(G21-09)

[作者简介] 蒋家园,工程师,E-mail: 304411529@qq.com

[收稿日期] 2024-05-15

筑外形,柱身尺寸向上逐渐减小,且整体逐渐向内倾斜,累计倾斜 6.8m,阴角夹角逐渐由 50° 增至 109° ,外立面设计为玻璃幕墙,总玻璃幕墙面积为 $50\,740\text{m}^2$,如图 1 所示。根据当地规范,按重现期 50 年进行计算,10m 高度处阵风风速为 45m/s 。

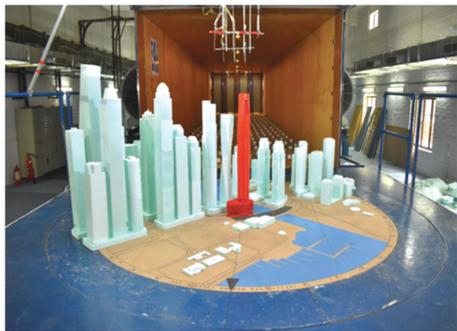


图 1 迪拜蓝天酒店项目效果

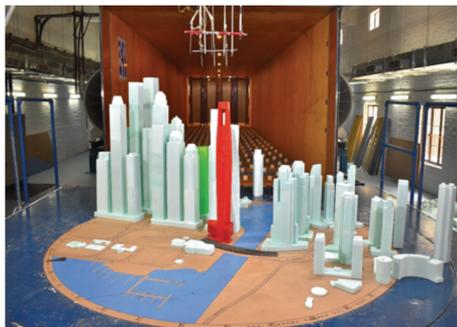
Fig. 1 Ciel Tower in Dubai

2 风洞试验模型

风荷载是建筑结构外立面设计的控制荷载,本研究采用 1:400 缩尺风洞试验模型(见图 2),考虑周边直径 920m 范围内的建筑环境,分别研究本工程与现有、在建周边建筑的相互作用(工况 1)及与现有、在建、未来拟建周边建筑的相互作用(工况 2)。



a 工况 1



b 工况 2

图 2 风洞试验模型

Fig. 2 Wind tunnel test models

将模型安装在转盘上,通过旋转模型模拟不同的来流风向。每种工况共进行 36 个风向测试,每个风向角间隔 10° 。根据工程所处环境类型,使用粗糙元和尖劈等湍流被动发生器进行风荷载模拟,试验模拟的地表基本与当地规范规定的 B、C 类地表相当。

本研究通过测压试验,确定双曲面超高层建筑外立面极值风压,通过在风洞模型上安装足够数量的压力传感器,以覆盖外部区域。

3 双曲面超高层建筑外立面风压分析

3.1 风压确定方法

根据最不利工况得到建筑外立面风荷载分布情况,其中,建筑外立面负风压为负外部压力与正内部压力组合结果,在建筑物立面产生吸力;正风压为正外部压力与负内部压力组合结果,在建筑物立面产生压力。

3.2 风压分布特性

迪拜蓝天酒店立面编号如图 3 所示,极值风压分布如图 4~7 所示,风压以 0.5kPa 的增量区间进行划分,以风压块形式展示,以确保每个区域压力为该区域可能遭受的最大风压。

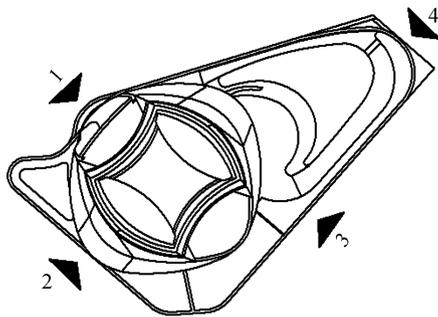


图 3 迪拜蓝天酒店立面编号

Fig. 3 Facade numbers of Ciel Tower in Dubai

由图 4 可知,对于 12 层以下区域,建筑外立面极值负压基本为 $2\sim 3\text{kPa}$,最大极值负压所在区域为上下部结构交界的拐角处,这可能是由于强风作用下,该处因强风绕流引起了较大的负压。对于 12~47 层区域,建筑外立面极值负压基本为 $2.5\sim 4\text{kPa}$,随着建筑高度的增加,极值负压逐渐增大,这是由于较高的区域所受地面干扰较小、风速较大,导致极值负压增大。相同高度处立面 1 极值负压基本最大,且具有最复杂的极值负压分布梯度,这主要是由于该立面对应建筑直角梯形的斜边,且 12 层以下该立面具有复杂的弧线设计。立面 2~4 极值负压分布较规律,随着建筑高度的增加,极值负压由 2.5kPa 增至 3.5kPa 。相同高

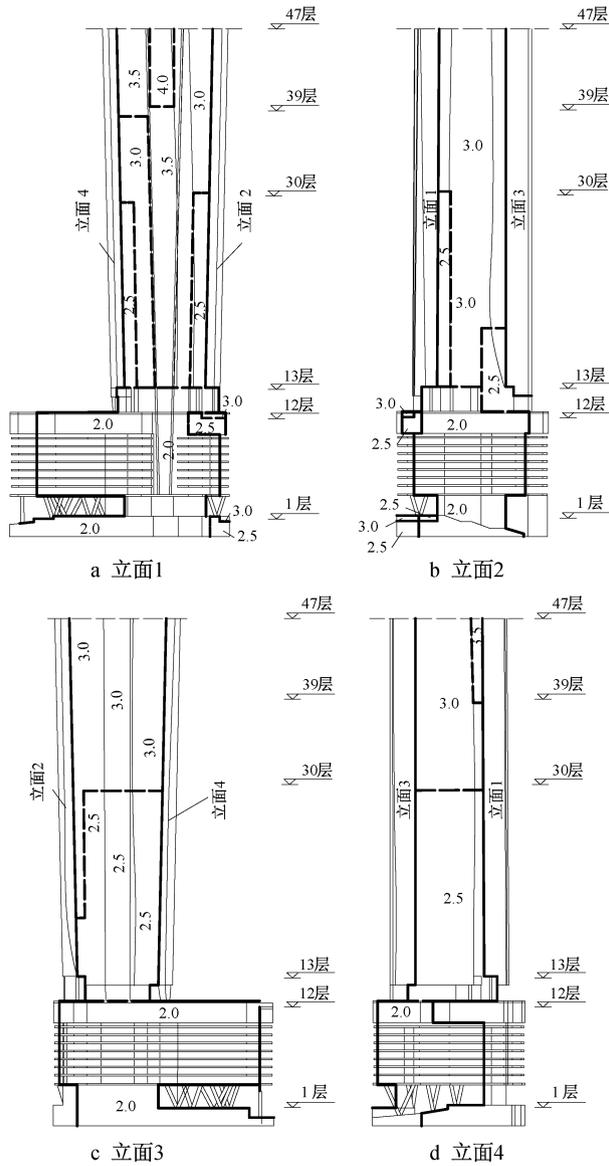


图4 1~47层外立面极值负压(单位:kPa)

Fig. 4 Extreme negative wind pressure on exterior surfaces of the 1st~47th floor(unit: kPa)

度处立面1极值负风压呈中间较大、两侧较小的分布规律,39~47层区域极值负风压最大达4.0kPa。

由图5可知,整体而言,47层以上区域建筑外立面极值负风压分布规律较复杂。极值负风压最大值为5.5kPa,出现在76层立面1左侧拐角处,这是由于该处建筑外形发生突变,强风绕流时导致的负风压较大。立面2,3交界位置出现极值负风压较大的矩形区域。对于76层以上区域,极值负风压逐渐降低,这是由于该区域建筑物具有较大的透风率。

由图6可知,对于12层以下区域,建筑外立面极值正风压为2~3.5kPa,拐角位置同样出现明显的压力升高趋势,其中1层拐角处立面1极值正风压最大值达3.5kPa。立面1极值正风压分布规律

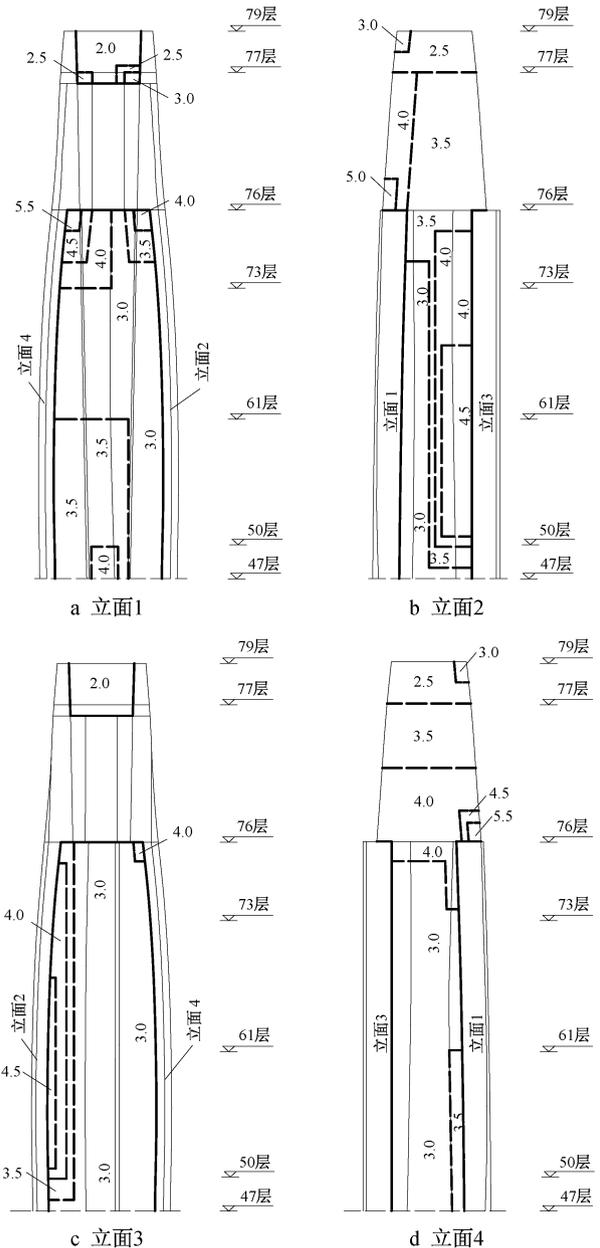


图5 47层至屋面层外立面极值负压(单位:kPa)

Fig. 5 Extreme negative wind pressure on exterior surfaces of the 47th floor to roof floor(unit: kPa)

较立面2~4复杂。对于12~47层区域,立面1,2交界处出现约3kPa的最大极值正风压。相对而言,立面3极值正风压分布最均匀,均为2kPa。

由图7可知,对于47~76层区域,建筑外立面极值正风压为2~3.5kPa,立面1,2交界处出现极值正风压最大值3.5kPa。除该区域外,各立面极值正风压分布较均匀,其中立面1极值正风压基本为2.5~3kPa,立面2~4极值正风压基本为2~2.5kPa。76层拐角处立面1,2交界位置出现3.5kPa的极值正风压最大值。对于76层以上区域,除立面1,2交界处出现3.5kPa的极值正风压区

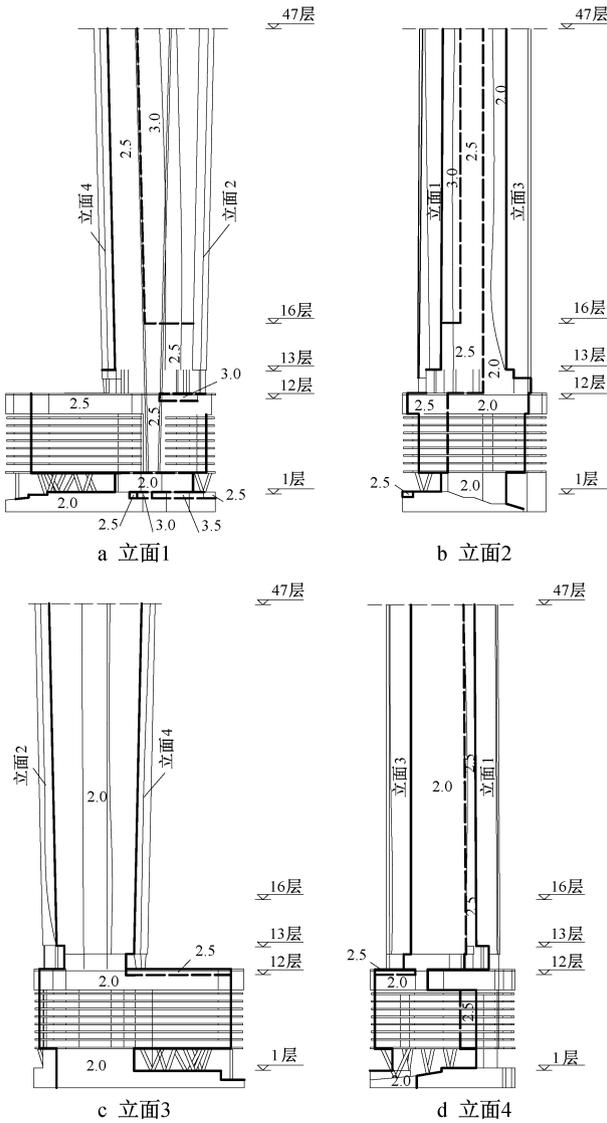


图6 1~47层外立面极值正风压(单位:kPa)

Fig.6 Extreme positive wind pressure on exterior surfaces of the 1st~47th floor(unit: kPa)

域外,其余区域极值正风压均为2~3kPa,且立面正风压分布更均匀。

3.3 支撑面积折减系数

考虑到作用在建筑外立面的风压非完全相关,不同位置的风压难以同时达到极值,因而建筑外立面支撑面积越大,结构所受风荷载有所减小。因此,对于支撑面积较大的建筑外立面,需对相应风荷载进行折减,折减系数计算如下:

$$\gamma = \begin{cases} 1 & A \leq 1m^2 \\ 1 - 0.088 3\log_{10}A & 1m^2 < A \leq 50m^2 \\ 0.85 & A > 50m^2 \end{cases}$$

式中: γ 为支撑面积折减系数; A 为建筑外立面支撑面积。

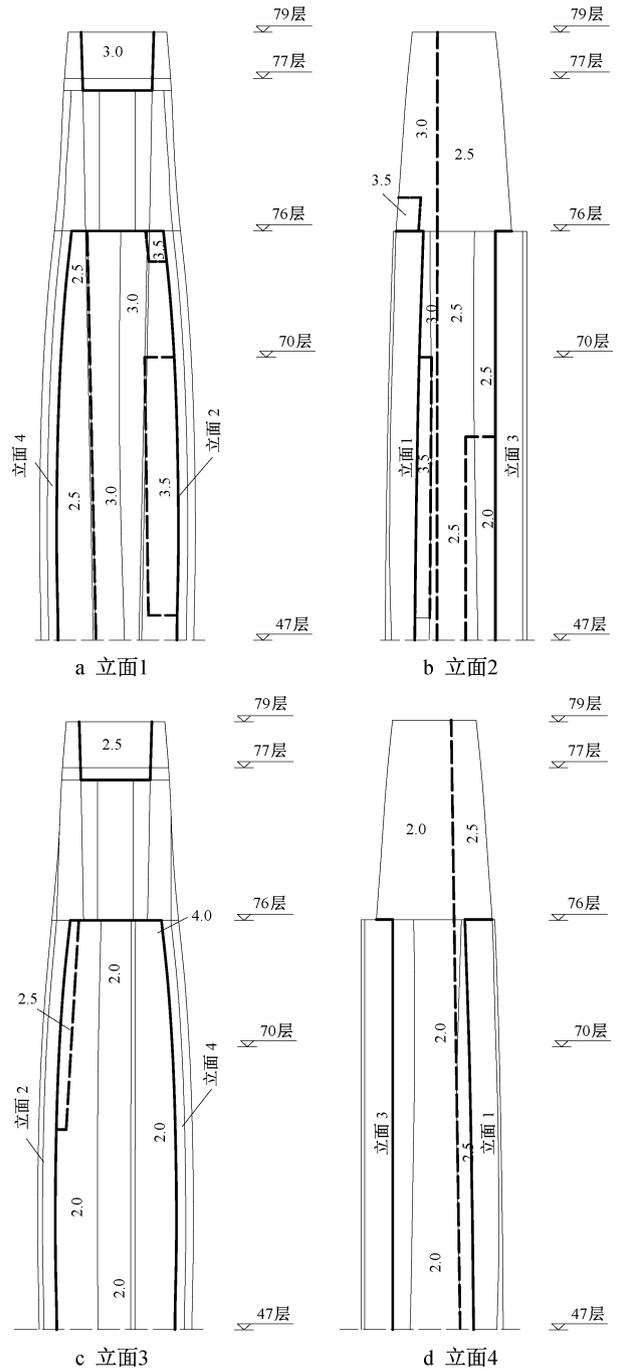


图7 47层至屋面层外立面极值正风压(单位:kPa)

Fig.7 Extreme positive wind pressure on exterior surfaces of the 47th floor to roof floor(unit: kPa)

3.4 角部风荷载组合系数

设计角部支撑结构局部框架时,需准确掌握角部各面同时发生的极值风荷载。为此,研究不同荷载的组合,包括2个面同时承受正风压、2个面同时承受负风压、1个面承受正风压+相邻面承受负风压(见图8),并采用同步测量的风压数据进行确定。

由于角部两面风压相关性有限,角部各面极值风压通常不同步,本研究采用角部风荷载组合系数

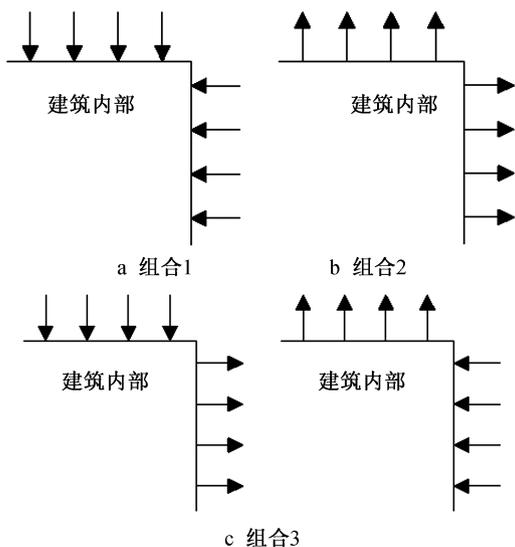


图8 角部风荷载组合形式

Fig. 8 Wind load combinations at corners

进行考虑,2个面同时承受正风压角部风荷载组合系数取0.95,2个面同时承受负风压角部风荷载组合系数取0.85,1个面承受正风压+相邻面承受负风压角部风荷载组合系数取0.75,以确定合理的极值风压。根据不同立面风压情况,可将风荷载乘以角部风荷载组合系数,以确定各立面角部风荷载。

4 结语

风荷载是超高层建筑外立面设计的核心参数,由于超高层建筑造型独特,其所受风荷载通常无法准确预测。本文基于风洞试验,测试分析了迪拜蓝天酒店外立面风压分布情况,主要得出以下结论。

1)对于负风压,12层以下区域外立面极值负风压最大值出现在结构交界拐角处,尤其是1,12层位置,这主要是由风引起的绕流效应所致;12~47层区域极值负风压随建筑高度的增加而增大,其中立面1因结构复杂,极值负风压分布梯度更显著;47层以上区域建筑外立面极值负风压分布规律较复杂,76层拐角处立面1极值负风压最大值达5.5kPa,这与建筑外形突变和强风绕流有较大关系,同时立面2,3交界位置出现极值负风压较大的矩形区域;76层以上区域极值负风压因透风率提高而降低。

2)对于正风压,12层以下区域外立面极值正风压最大值达3.5kPa,出现在1层立面1拐角处,这主要是由于该位置结构较复杂;对于12~47层区域,立面1,2交界处出现约3kPa的最大极值正风压;对于47~76层区域,建筑外立面极值正风压为2~3.5kPa,立面1,2交界处出现极值正风压最大值3.5kPa;76层拐角处立面1,2交界位置出现3.5kPa

的极值正风压最大值;对于76层以上区域,除立面1,2交界处出现3.5kPa的极值正风压区域外,其余区域极值正风压均为2~3kPa,且立面正风压分布更均匀。

3)对于较大支撑面积和角部局部的风荷载,分别提出支撑面积折减系数和角部风荷载组合系数,通过叠加外立面风压块,可确定对应的风荷载。

参考文献:

- [1] 黄立敏. 迪拜罗塔纳超高层框架核心筒结构风荷载反演分析[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(3): 94-98, 128.
HUANG L M. Wind load inversion analysis of Dubai Rotana super high-rise frame core tube structure [J]. Construction technology, 2024, 53(3): 94-98, 128.
- [2] 周建民, 石海波, 程政. 风荷载作用下围护结构表面风压分布及局部体型系数数值模拟研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2020, 39(1): 164-172.
ZHOU J M, SHI H B, CHENG Z. Numerical simulation study of wind pressure distribution and local shape coefficient on the surface of enclosure structure under wind load [J]. Journal of Henan Polytechnic University (natural science), 2020, 39(1): 164-172.
- [3] 艾辉林, 周志勇. 超高层建筑外表面复杂装饰条的风荷载特性研究[J]. 工程力学, 2016, 33(8): 141-149.
AI H L, ZHOU Z Y. Research on wind load characteristics of complex decorative strips on the outer surface of high-rise building [J]. Engineering mechanics, 2016, 33(8): 141-149.
- [4] 田伟, 刘祖龙, 刘尚达, 等. 沙漠地区超高层建筑幕墙施工特点与措施[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(6): 116-120.
TIAN W, LIU Z L, LIU S D, et al. Construction characteristics and measures of curtain wall of super tall buildings in desert area [J]. Construction technology, 2023, 52(6): 116-120.
- [5] 田伟, 刘祖龙. 超高层建筑单元式幕墙多段同步施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(12): 125-130.
TIAN W, LIU Z L. Multi-level synchronous installation method for unitized curtain wall of super tall buildings [J]. Construction technology, 2022, 51(12): 125-130.
- [6] 郑德乾, 吴俊昊, 马文勇, 等. 顶部方形开洞对超高层建筑风荷载影响的大涡模拟研究[J]. 振动与冲击, 2023, 42(17): 52-60.
ZHENG D Q, WU J H, MA W Y, et al. Large eddy simulation for effects of square opening at top on wind load of super tall building [J]. Journal of vibration and shock, 2023, 42(17): 52-60.
- [7] 秦长金, 伍刚, 吴慧林, 等. 基于风洞试验的高位大跨度非对称斜交四塔连体建筑抗风性能分析[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(21): 144-149.
QIN C J, WU G, WU H L, et al. Wind resistance performance analysis of tall and large-span asymmetric oblique four-tower connected buildings based on wind tunnel tests [J]. Construction technology, 2023, 52(21): 144-149.