

# 珠海附近海岛建筑群的抗风等级分析\*

王静, 孙弦, 夏冬, 吴志棚, 孙丽烨, 李智丽

珠海市公共气象服务中心, 广东 珠海 519000

**摘要:** 随着全球变暖, 极端大风事件越发频繁, 特别是短时极大风对建筑物带来很大损失。本文利用极值模型和 CFD 数值模拟来研究珠海附近海岛上的建筑群 16 方位抗风等级, 为建筑设计和防灾减灾提供科学依据。由于研究区附近的自动气象站年限较短, 因此先利用模拟结果更具安全性的 Gumbel 分布拟合珠海站 16 方位重现期最大风速, 再利用阵风系数及自动气象站资料, 订正到研究区, 得出 50 a 和 100 a 一遇的极大风速分别为 76.1 和 83.5 m/s, 最大的 3 个风向分别是东南偏东 (ESE)、东 (E) 和东北偏东 (ENE)。最后将 16 个方向的大风作为初始场进行 CFD 数值模拟, 发现建筑排列、建筑形状、高低等都会对风速产生影响, 并得出具体的建筑表面抗风等级, D4 区的抗风等级最高, 基本都要超过 17 级; D2 区所需抗风等级最低, 多为 14~15 级。

**关键词:** 海岛建筑群; 16 方位极大风; 重现期; 抗风等级

**中图分类号:** P49 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2023)03-0025-10

## The wind resistance grade of constructions on an island near Zhuhai

WANG Jing, SUN Xian, XIA Dong, WU Zhipeng, SUN Liye, LI Zhili

Zhuhai Public Meteorological Service Center, Zhuhai 519000, China

**Abstract:** With global warming, extreme winds, particularly short-term extreme winds are becoming more frequent and cause great damage to constructions. In this paper, an extremum model and a CFD method are used to study the wind resistance grades in different directions of constructions on the island near Zhuhai, to provide fundamental information for architectural design and reduce disasters. Because of the limitation of automatic observations, the Gumbel distribution is used to fit the extreme winds in 16 directions of the Zhuhai Station; then the gust coefficients and relevant data from nearby automatic stations are used to calibrate the data in the study area. It is resolved that the annual extreme wind speed of once in 50 years and once in 100 years is 76.1 m/s and 83.5 m/s, respectively; the directions with the maximum winds are East-Southeast (ESE), East (E), and East-Northeast (ENE). Furthermore, we simulated the effects of extreme winds from 16 different directions using CFD, it is found that the layout, shape, and height of constructions all affect the wind speed. The required wind resistance grades of constructions on the island are determined: the D4 area needs the highest wind resistance grade which is over the Beaufort wind force scale of 17; the D2 area requires the lowest wind resistance grade, which is about the Beaufort scale of 14 to 15.

**Key words:** constructions on island; extreme wind in 16 directions; recurrence period; wind resistance grade

\* 收稿日期: 2022-06-09

录用日期: 2022-09-15

网络首发日期: 2023-02-27

基金项目: 广东省气象局科技项目 (GRMC2020M26)

作者简介: 王静 (1989 年生), 女; 研究方向: 海陆气相互作用和数值模拟; E-mail: sxwangjing@163.com

通信作者: 孙弦 (1982 年生), 女; 研究方向: 气象预报服务和大气环境; E-mail: sunxian425@sina.com

风是建筑物设计中需要慎重考虑的气象因子,而随着全球变暖,极端大风事件也越发频繁(杨秋珍等, 2015; Xia et al., 2022),风灾事故时有发生。如上世纪末宁夏某宾馆在偶发阵风下,一片幕墙玻璃飞落,当场砸死宾馆门口的行人;还有浙江大学逸夫楼在一夜大风的劲吹下,所有幕墙玻璃几乎都被吹毁(江清源, 2007)。至于台风季节,建筑物、结构带、幕墙玻璃等被风吹毁的事例,在沿海城市更是屡见不鲜。因此,如何根据建筑所在地的极端大风对建筑规划和布局进行指导,并精确计算建筑表面抗风等级,在防范不测风灾的同时也能节约建筑成本,已是摆在建筑设计部门、施工单位面前迫在眉睫的任务。

国外对于建筑风环境的研究始于20世纪60年代中期,Baines et al.(1963)提出了其通过风洞实验和实地考察所得出的高层建筑的风环境影响特征,自此,风洞实验在城市建筑风环境的模拟中逐步得到应用。Stathopoulos & Wu(1995)通过风洞实验法从街道空间密度、周边建筑高度、相对位置、风向角讨论了对风速的影响情况。但是,在风洞实验中,无法同时满足所有的物理量,并且准备时间长,实验花费高,模型制造耗时费力,无法被广泛应用,随着计算机技术和模拟软件的不断发展,CFD(computational fluid dynamics)数值模拟是现阶段应用较广泛的研究方法(王福军, 2004; 王彬和杨庆山, 2008; 夏冬等, 2019)。相较于风洞实验,数值模拟更加方便与高效,其可行性和准确性也已经被很多学者证实,例如Blocken & Persoon(2009)采用风洞实验和CFD数值模拟对某体育场周围风环境进行研究,并对比实验结果和模拟结果,发现二者结果吻合度极高。

我国目前的建筑风荷载及抗风设计中,主要根据各地国家气象站重现期50 a的最大风速来计算,但时常发生的风灾事故证明,目前建筑行业的抗风设计还存在以下问题:①随着全球变暖,极端大风灾害将变得更加频繁,重现期可以是100 a甚至更长,因此应具体到各个建筑;②具有长时间观测资料的国家气象站分布还较为稀疏,有些距离目标建筑较远,需要利用距离建筑最近的自动气象站资料进行订正;③很多建筑单位使用的风洞试验,忽略了周围地形和建筑对目标建筑的影响;④对重现期大风仅考虑绝对的风速值,通常忽略考虑风向,若能进行16方位大风的模拟,将对具体建筑的经济性、安全性都有很大的意义。

因此,基于气候分析和数值模拟,更加精细化的计算建筑表面抗风等级,具有很大的必要性。珠海素有“百岛”之市之称,随着陆地资源不断削减以及海岛经济发展“十四五”规划的提出,海岛建筑加速发展,但海岛所受的自然灾害也较陆地更为严重(高山红和吴增茂, 1999; 余日清等, 1996),因此本文将珠海东澳岛上的建筑群(以下简称研究区)为例,利用极值模型和CFD数值模拟研究地形影响下的海岛建筑群16方位抗风等级。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所使用的资料包括:研究区与地形相结合的三维立体模型、珠海国家气象站(以下简称珠海站)近40 a的年最大风速、年极大风速,以及可以代表研究区附近气象背景的自动气象站有观测资料以来的最大风速和极大风速,最大风速指10 min平均风速,极大风速指3 s最大阵风风速。

东澳岛上地形复杂,建筑群较密集,本文选取东澳岛西侧的建筑群作为研究区。图1a为研究区、珠海站(海拔51.4 m)、相近海岛站(桂山岛站,海拔172.0 m)所在位置及附近的海拔高度。由于东澳岛的自动气象站建站时间较晚,资料起始时间为2017年12月,不能用于基本的气象要素分析,为此选取了同样在海岛上的、距离东澳岛较近(约15 km)、且资料完整度和可靠性都较高的桂山岛站(观测始于2004年)作分析,通过对比东澳岛站和桂山岛站自建站以来相同时间段内的气温、风速和降水日值,发现其相关系数分别为0.96、0.73和0.84,都通过了95%的显著性检验,具有很好的相关性,因此桂山岛站可作为研究区相近海岛站,来代表研究区附近的气象观测。图1b为研究区建筑群三维模型的俯瞰图(向上为北),研究区位于东澳岛西侧,很容易受地形影响,从北到南为D1~D4共4个区域,其中D1区和D4区的酒店造型独特,风向复杂,且正在设计阶段,模拟结果可作为设计修改的参考,因此对D1~D4区进行CFD数值模拟,更有代表性和实际意义。

### 1.2 方法

为得出研究区建筑表面的16方位抗风等级,需分别进行不同重现期的极端大风模拟及CFD数值模拟,图2为设计流程图。

重现期计算需要基于长期的气候统计资料,资料时间越长,计算结果越精确。本文采用年最

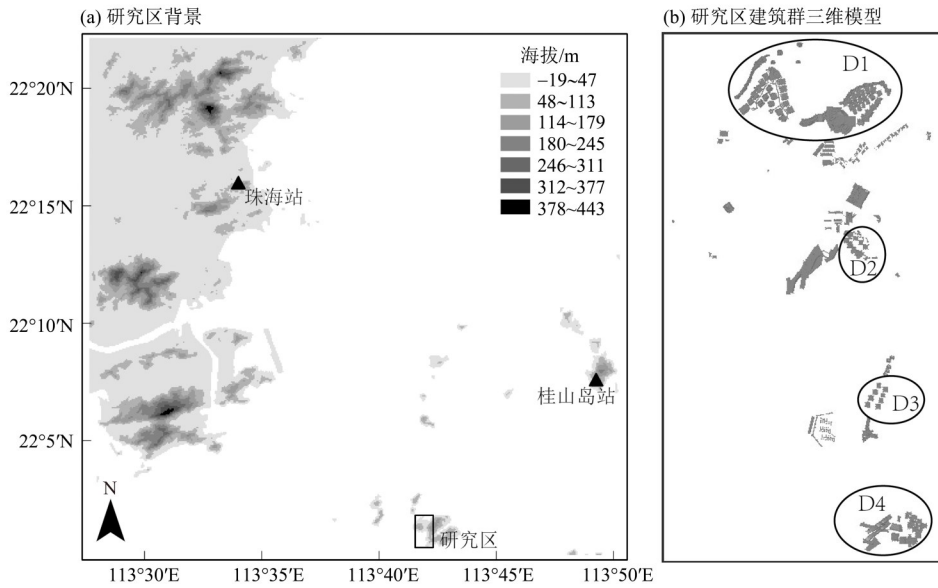


图1 珠海附近海岛建筑群背景(a)和建筑群三维模型俯瞰图(b)

Fig. 1 The surroundings of the constructions on the island near Zhuhai (a), and its 3D model with an aerial view (b)

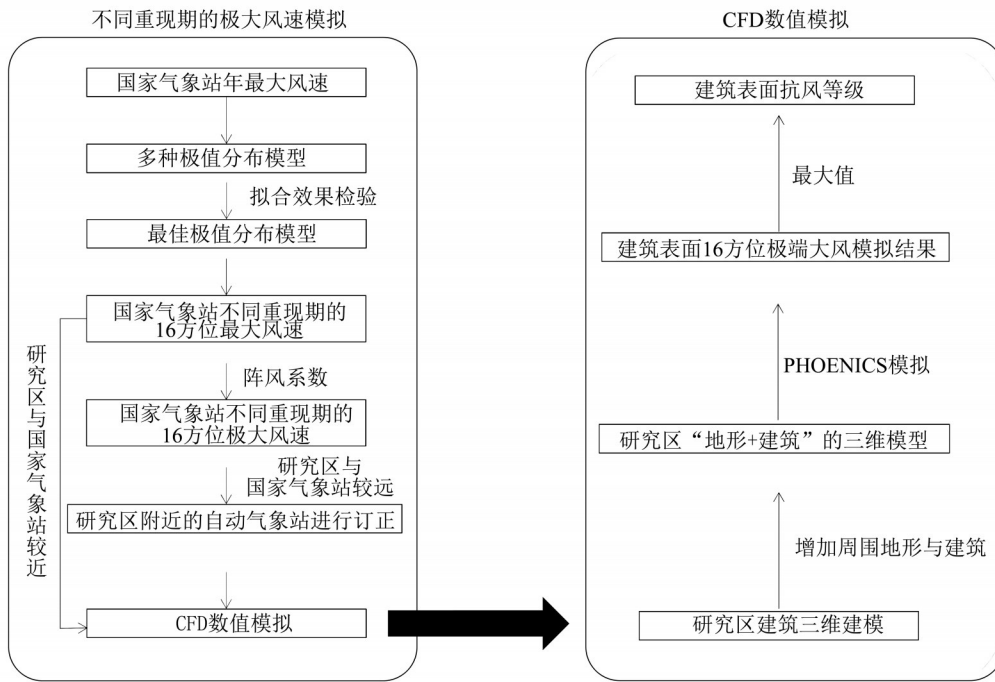


图2 研究区建筑表面16方位抗风等级的设计流程图

Fig. 2 Design flow chart of wind resistance grade at 16 directions of building surface in the study area

大值采样方法, 仅有珠海站的年最大风速资料超过 30 a, 因此先用多种概率分布模型进行拟合, 选出最适合的模型后, 再用阵风系数和研究区的资料进行订正。本文采用的4种常见的极值模型分别为: Gumbel分布, P-III型分布, Weibull分布和广义极值分布 (Fisher & Tippett, 1928; Jenkinson, 1955; Dargahi, 1989; 马淑萍等, 2019)。各分布

模型具有相应的参数, 需要经过一系列的算法, 一般可以选择: 常规模矩法、概率权重矩法、线性矩法、极大似然法、最小二乘法、权函数法等 (Greenwood et al., 1979; 段忠东和周道成, 2004; 马开玉, 2004; 屠其璞, 1984)。模型和参数的选择直接决定重现期结果的准确性, 结合拟合优度检验及实际需求, 以确定最佳的模型和参数。本

文采用的检验方法为柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验(K-S 检验), 检验指标

$$D_n = \max |F(x) - F_n(x)|,$$

式中  $F(x)$  为理论分布函数,  $F_n(x)$  为观测样本的累计分布函数,  $D_n$  为最大的绝对差。

基于 CFD 技术的模拟软件有很多种, 主要包括 Fluent、CFX、STAR-CD、NUMECA、PHOENICS 等(苑蕾, 2013), 本文利用英国帝国理工学院 CHAM 研究所开发的 PHOENICS 软件模拟研究, 该软件不仅应用最为广泛, 而且操作简便、功能强大、模拟结果直观形象, 原理和结果科学可靠。

PHOENICS 内置了多种湍流模型, 建筑的风流动一般属于不可压缩、低速湍流, 符合 Boussinesq 假设, 因此选择标准  $k-\varepsilon$  模型进行模拟(陶文铨, 2001), 模型的控制方程组包括连续性方程、动量方程、 $k$  方程和  $\varepsilon$  方程, 具体计算公式为:

$$\text{连续性方程} \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

动量方程

$$\rho \frac{D\bar{u}_j}{Dt} = \bar{\rho} F_j - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \mu \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right),$$

$k$  方程

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \rho p_k - \rho \varepsilon,$$

$\varepsilon$  方程

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \varepsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 \frac{\varepsilon}{k} p_k - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k},$$

式中  $\mu$  为涡黏性系数,  $k$  为湍流动能,  $\varepsilon$  为湍流动能的耗散项,  $p_k$  为湍流动能生成项。 $u, v, w$  分别是流体速度在  $x, y, z$  上的分量,  $\rho$  是流体密度,  $p$  是压力,  $F$  是质量力,  $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3$  分别表示  $x, y, z$  三个空间坐标, 变量上方有“-”为时均值, 变量上标有“'”为脉动量,  $C_1=1.44, C_2=1.92$ 。

CFD 模拟区域为整个东澳岛, 根据经验, 计算区域高度设置到 0.6 km, 为建筑高度的 3 倍(王菲和肖勇全, 2005), 长为 4.2 km, 宽为 3.0 km。由于该研究区建筑较为密集, 因此将研究区域设置为较高的精度, 水平方向和垂直方向上的分辨率均设为 10 m,  $x, y$  方向分别有 423 和 297 个格点,  $y$  指向正北,  $z$  轴方向有 60 个格点, 整体计算

区域内约有 7 537 860 个格点。

## 2 不同重现期的极端大风模拟

由于年最大风速的样本量较大, 采用 4 种不同的概率分布函数, 利用多种参数估计方式拟合年最大风速, 拟合曲线见图 3; 根据 K-S 检验确定的最佳参数估计方法及检验指标  $D_n$  见表 1。总体来说, 各种方法的拟合效果均良好, 都通过了 95% 的显著性检验。在 4 种概率分布模型中, Weibull 分布的  $D_n$  最小, 拟合效果最好, 但是拟合曲线较平缓, 高重现期下, 数值偏小, 对极端值的反映较差; 而 Gumbel 分布则相反, 曲线上翘更为明显, 在较高的重现期下, 倾向于给出更大的数值; 其他 2 种分布模型则处于两者中间。从工程的角度来说, Gumbel 分布倾向于给出更安全的数值, 《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012) 也推荐使用本方法。根据 K-S 检验统计量  $D_n$  可以确定最佳参数估计方法为最小二乘法。

表 1 4 种分布模型的最佳参数估计方法及检验指标  $D_n$

Table 1 Best parameter estimation method and inspection index  $D_n$  for various models

分布模型	最佳参数估计方法	$D_n$
Gumbel	最小二乘法	0.105
P-III 型	线性矩	0.104
Weibull	概率权重矩	0.090
广义极值	线性矩	0.111

利用 Gumbel 分布模型和最小二乘法参数估计, 分别对珠海站 16 个风向的年最大风速进行拟合计算, 算得 16 方位不同重现期的最大风速(如表 2)。东南偏东风的重现期风速最大, 其次为东风和东北偏东风, 南风的重现期风速最小。

由于很多风灾是由短时但风力更大的极大风引起的, 考虑到极大风资料数量较少, 无法用极值模型确定重现期值, 因此根据《气候可行性论证规范抗风参数计算》(QX/T436—2018) 引入阵风系数, 即由平均风速推算阵风风速的比例系数, 得出不同重现期的 16 方位年极大风速。根据规范中提出的方法, 选取珠海站 1980—2018 年共 39 a 的日最大风速  $>15$  m/s 的样本和对应的日极大风速资料, 极大风除以最大风, 算得阵风系数为 1.49。阵风系数乘以相应重现期年最大风速, 即可得出不同重现期的 16 方位年极大风速; 再由珠海站日极

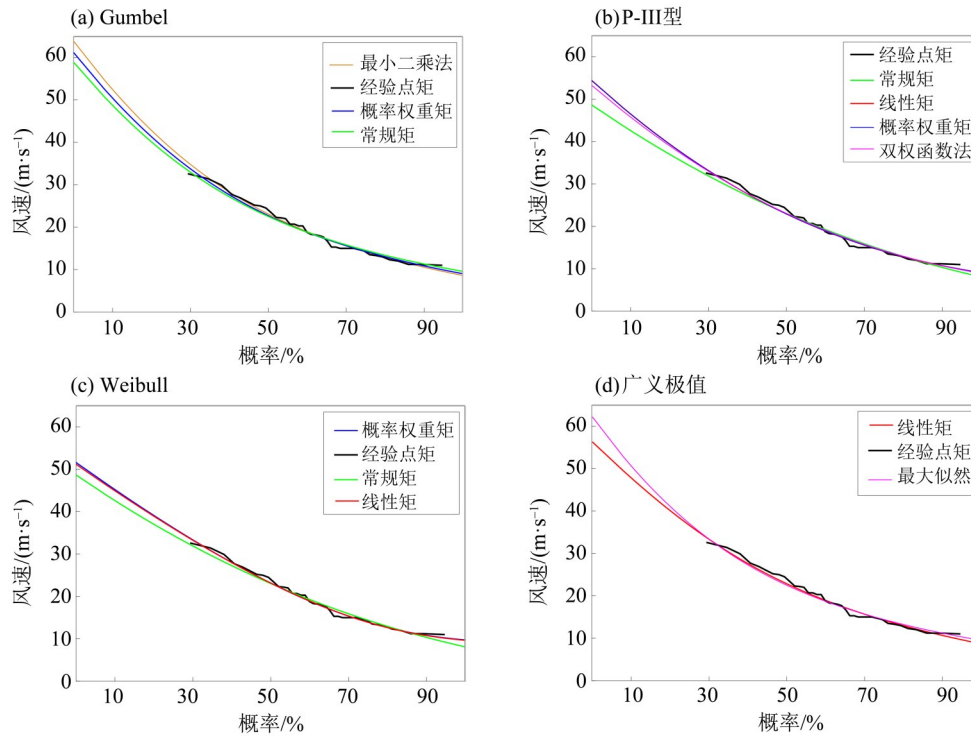


图3 珠海站年最大风速的4种概率分布模型拟合曲线

Fig. 3 The fitting curves of annual maximum wind speed at Zhuhai station

表2 珠海站16方位不同重现期的最大风速

Table 2 Maximum wind speed in different return periods in 16 directions at Zhuhai station

m/s

方位	重现期/a					
	3	5	10	20	50	100
N	7.9	8.9	11.5	13.3	14.8	16.4
NNE	7.1	9.1	11.7	14.1	17.2	19.5
NE	11.7	13.8	16.6	19.3	22.8	25.4
ENE	13.9	16.2	19.1	21.9	25.6	28.3
E	18.4	21.1	24.4	27.5	31.4	34.2
ESE	16.7	19.9	23.9	27.6	32.3	35.7
SE	11.7	13.3	15.3	17.2	19.7	21.6
SSE	6.5	9.0	12.4	16.0	20.9	24.7
S	7.0	7.9	9.0	10.0	11.3	12.2
SSW	7.3	8.6	10.3	11.9	13.9	15.5
SW	7.9	9.3	12.2	15.9	21.6	26.3
WSW	10.6	12.3	14.5	16.5	19.2	21.1
W	9.1	10.3	12.8	14.2	15.2	16.1
WNW	7.0	8.4	10.0	11.5	13.2	14.4
NW	8.0	9.2	10.6	11.9	13.5	14.6
NNW	9.3	10.6	11.9	13.0	14.3	15.2
年最大风速	20.5	23.4	27.1	30.6	35.1	38.5

大风速与研究区对应的极大风速进行相关, 二者的相关系数为 0.73, 通过了 99% 的显著性检验, 研究区和珠海站极大风速比值为 1.46, 该系数乘以

珠海站不同重现期的极大风速, 即可得出研究区不同重现期的 16 方位极大风速, 见表 3。

表 3 研究区 16 方位不同重现期的极大风速  
Table 3 Extreme wind speed in different return periods in 16 directions at the study area m/s

方位	重现期/a						方位	重现期/a					
	3	5	10	20	50	100		3	5	10	20	50	100
N	17.2	19.3	25.0	28.9	32.1	35.5	S	15.2	17.1	19.5	21.7	24.4	26.3
NNE	15.5	19.7	25.3	30.6	37.3	42.3	SSW	15.7	18.6	22.2	25.7	30.2	33.6
NE	25.4	29.9	35.9	41.8	49.4	55.1	SW	17.2	20.1	26.4	34.4	46.8	57.0
ENE	30.1	35.1	41.5	47.6	55.5	61.4	WSW	23.1	26.8	31.4	35.8	41.6	45.9
E	39.9	45.8	53.0	59.7	68.1	74.3	W	19.8	22.3	27.8	30.9	33.0	35.0
ESE	36.3	43.2	51.8	59.8	70.0	77.4	WNW	15.1	18.1	21.7	24.9	28.6	31.1
SE	25.4	28.8	33.2	37.4	42.8	46.9	NW	17.4	19.9	23.0	25.8	29.2	31.6
SSE	14.2	19.4	26.9	34.7	45.3	53.5	NNW	20.2	22.9	25.8	28.3	31.0	32.8
年极大风速	44.5	50.8	58.7	66.3	76.1	83.5							

### 3 研究区的建筑抗风等级模拟

研究区建在东澳岛上, 很容易受地形影响, 且 D1 区和 D4 区的酒店造型独特, 风向复杂, 建筑物对风的流动具有阻碍作用, 使得风的流向发生显著变化(陈燕等, 2005; 王咏薇等, 2008), 从而产生局部较高的风速或者旋涡, 存在一定的安全隐患, 因此接下来需要对研究区建筑进行 16 方位极端大风模拟。根据表 3 中的 16 方位重现期极大风速, 选择重现期 50 a 的数据, 对研究区域进行风环境模拟。风环境模拟的结果包括风压和风速, 当风以一定的速度向前运动遇到阻塞时, 对阻塞物体产生的压力即为风压, 《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)给出了根据贝努利公式的风压和风速的转换。考虑到实际气象观测及预报中, 提及风速更多, 因此将建筑表面风速作为抗风等级划分的依据。下面以风速最大的东南偏东(ESE)方向大风的模拟结果为例, 图 4a-d 分别为重现期 50 a 的 ESE 大风环境下 D1~D4 区的建筑表面风速情况。

D1 区域东面为 D1-A 国际五星酒店及其配套客房建筑, D1-A 的南面为酒店, 北面为独栋式客房。当吹东南偏东方向的大风时, D1-A 区域风速最大的地方位于 D1-A 国际五星酒店的西侧圆弧形顶层, 风速约 68 m/s, 酒店偏北处立面风速也较大, 约 62 m/s, 而接近酒店中心位置的立面风速则较

小, 约 43 m/s。D1-A 的独栋式客房从西北到东南分别为第 1~4 排, 从图 4a 可以看出, 东南侧的第 3~4 排顶层风速大值区较多, 最高风速达 60 m/s, 西北侧的第 1 排独栋式客房的最北端和最南端建筑顶层风速也可达到此级别, 第 2 排独栋式客房的风速则最小。

D1 区域西面为 D1-B 客房区, 最北端的客房顶层风速可达 65 m/s 以上, 剩下的独栋式客房建筑从西到东同样称为第 1~4 排。从图 4a 可以看出, 第一排最南端的客房顶层东北角风速有超过 65 m/s 的地方, 靠南的两栋独栋式客房风速也较大; 第 2 排的独栋式客房是风速最大的, 最北端建筑顶层风速基本为 67 m/s; 风速最小的部分位于第 4 排独栋式客房的东南角, 以及超顶级独栋式客房的东南和西北部分, 风速最小在 40 m/s 以下。

D2 区有两排独栋式客房, 呈西北-东南走向排列, 东侧的 4 栋客房表面风速为 48~52 m/s, 最大风速位于最南侧的建筑顶层东北角, 约 54 m/s。由于东侧的客房需要抬升高度来获得无遮挡海景, 因此整体要比西侧客房的表面风速大。

D3 区也是两排独栋式客房, 与 D2 区相比, 呈东北-西南走向排列, 分别是西面靠海的 4 栋 A 客房及其东侧的 4 栋 B 客房。从图 4c 可以看出, 当吹东南偏东方向的大风时, 风速最大的地方在客房 B 最南侧建筑的顶层, 风速可达 61 m/s 以上。客房 A

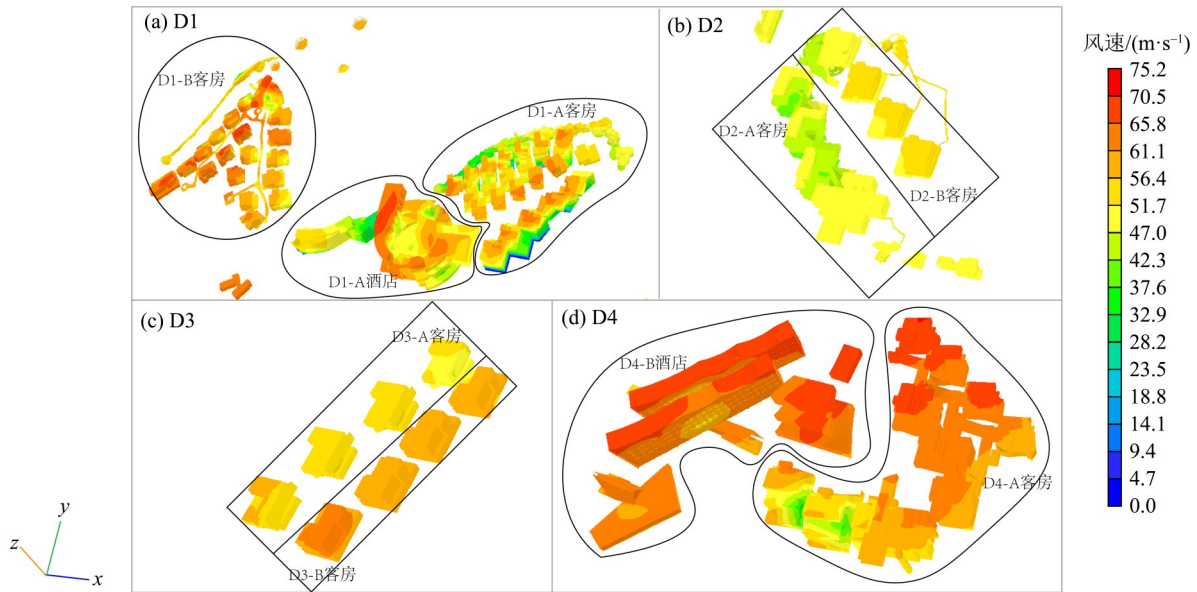


图4 重现期50 a的ESE大风环境下D1-D4区建筑表面风速情况

Fig. 4 Wind speed on D1-D4 building surface under ESE gale environment with return period of 50 years

的风速整体来看小于客房B, 同样也是最南侧建筑的风速较大, 最北侧建筑风速较小, 其西北角和东南角是D3区风速最小的部分, 风速约46 m/s。

D4区位于东澳岛最南端, 当吹东南偏东方向的大风时, 没有明显的山脉阻挡, 因此D4是4个区域中风速大值区最明显的区域。D4区西侧为B区酒店, 东侧为A区独栋式客房。从图4d可以看出, D4-B酒店顶层的风速为65~70 m/s, 其中西北侧酒店的风速大值区要比另一侧的酒店大。位于酒店与客房中间的建筑顶层和立面风速也较大, 为60~70 m/s, 位于D4-B最南侧的礼堂风速略小一些, 为56~65 m/s。在D4-A区域, 位于最北端

的独栋式客房风速最大, 顶层和立面风速约68 m/s, 北侧立面风速有达70 m/s以上的地方。其南边的3栋独栋式客房风速也较大, 部分顶层风速也达到了68 m/s。位于D4-A区域西南侧的两栋客房则由于东侧较高客房的阻挡, 建筑立面风速较小, 最小约38 m/s。

此外, 本文也做了东、东北偏东、西南等其他方向大风的建筑表面风速模拟, 取这16个风向模拟的建筑表面风速最大值, 按照风速所对应的风力等级(表4), 综合得出建筑表面的抗风等级。由于研究区东南偏东方向风速最大, 因此建筑表面抗风等级大值区与该风向的模拟结果相似。

表4 风速对应的风力等级表

Table 4 wind levels corresponding to wind speeds

风速/(m·s <sup>-1</sup> )	0~41.4	41.5~46.1	46.2~50.9	51.0~56.0	56.1~61.2	>61.2
风力等级	<14	14	15	16	17	>17

D1~D4区建筑正面和背面的50 a一遇的抗风等级如图5和图6所示。在D1-A区域, 抗风等级超过17级的区域有D1-A酒店的顶层和偏北处立面, 以及酒店东南侧的餐厅顶层东侧; 抗风等级需达到16~17级的地方有酒店的餐厅部分、圆形酒店东侧部分顶层和立面; 抗风等级在14~15级的地方有D1-A酒店中心和客房西半边顶层和立面。在D1-B区域, 从西到东记为第1排到第4排, 抗风等

级超过17级的区域有第1排的最南和最北客房顶层、第2排的北侧3栋客房顶层以及第4排的顶层部分角落; 除了超顶级独栋式客房的东南和西北部分、第1排最北侧独栋式客房的东北角、第3排中间独栋式客房的东南角以及第4排最南端独栋式客房的东南角抗风等级在16级以下, 其他区域抗风等级都在16~17级。位于海岛最北端的建筑抗风等级也在16~17级。

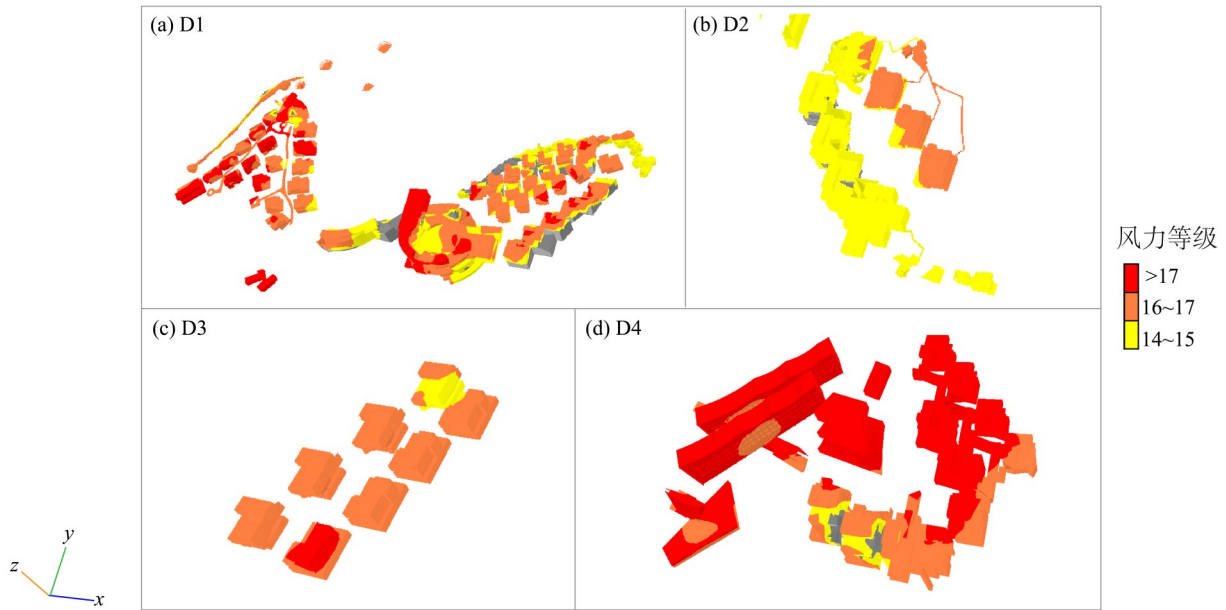


图5 D1-D4区建筑表面正面(向上为北)50 a一遇抗风等级划分情况

Fig. 5 Classification of wind resistance grade of 50 year return period on the front of D1-D4 building surface (North upward)

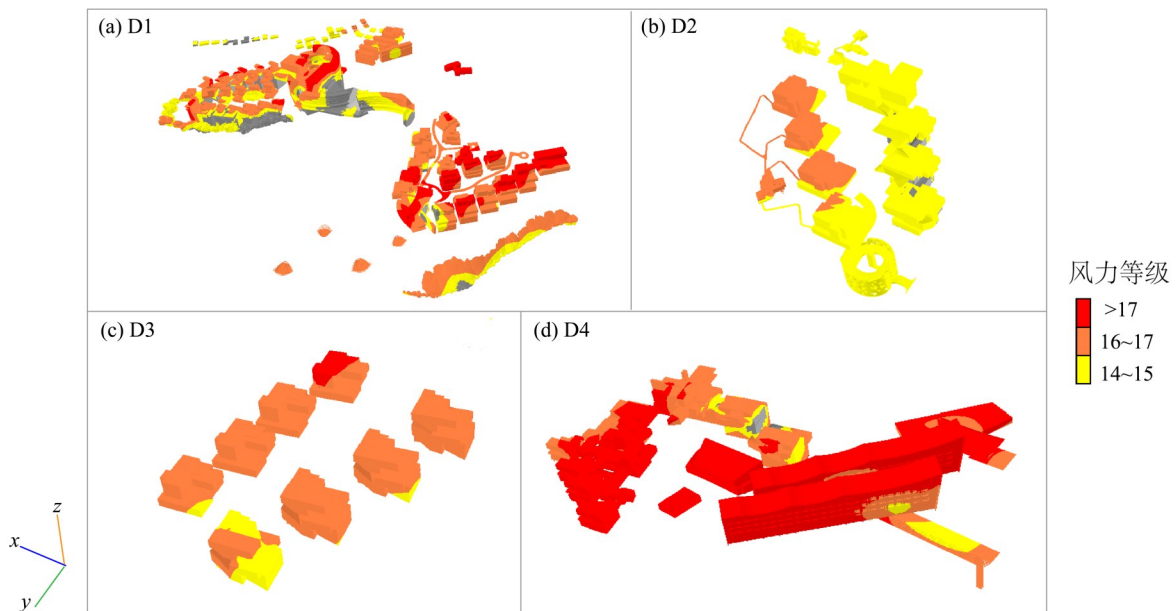


图6 D1-D4区建筑表面背面(向下为北)50 a一遇抗风等级划分情况

Fig. 6 Classification of wind resistance grade of 50 year return period on the back of D1-D4 building surface (North downward)

D2区与D1区相比抗风等级明显较小, 东北侧那一排独栋式客房的顶层和东南立面抗风等级在16~17级, 其他区域抗风等级基本在14~15级。D3区抗风等级最大的地方在东南侧那一排独栋式客房的最南端建筑顶层和东部立面, 抗风等级较小的地方在西北侧那一排独栋式客房的最北端建筑顶层和立面, 以及东南一排独栋式客房最北侧建筑的西北角, 抗风等级在14~15级, 其他区域的抗

风等级基本在16~17级。

由于D4区在东澳岛最南端, 没有山脉阻挡, 因此抗风等级是4个区域中最大的。D4-B酒店顶层和大部分立面, 抗风等级基本都要超过17级, D4-A区域的独栋式客房部分除了最南端的四栋客房外, 顶层和立面风速基本也达到了17级以上, 抗风等级较小的地方只有建筑连廊的东半部分和D4-A区域最西南侧两栋独栋式客房的东南角立面。

## 4 结 论

随着全球变暖,极端大风事件越发频繁,给海岛建筑造成的灾害损失非常之大。本文基于气候分析和数值模拟,首先利用极值模型得出了16方位极端大风,然后利用CFD数值模拟来研究地形影响下的海岛建筑群16方位抗风等级,对建筑设计和防灾减灾具有重要意义。结论如下:

1) 重现期计算需要基于长期的气候统计资料,而海岛观测资料相对匮乏,因此先用资料年限较长的珠海站进行极值模拟,再订正到海岛上。本文采用年最大值采样方法,利用多种概率分布模型对珠海站年最大风速资料进行拟合,选出最适合的模型后,再用阵风系数和研究区的资料进行订正。从安全的角度出发,基于最小二乘法参数估计的Gumbel分布曲线上翘更为明显,在较高的重现期下,倾向于给出更大的数值,予以采用。珠海站50 a和100 a一遇的年最大风速分别为35.1和38.5 m/s,订正到研究区50 a和100 a一遇的年极大风速分别为76.1和83.5 m/s。

2) 东南偏东(ESE)、东(E)和东北偏东(ENE)是影响研究区的极端大风中最大的前3个风向,50 a一遇的极大风速分别为70.0、68.1和55.5 m/s;将16个方向的极大风作为初始场进行CFD数值模拟,以风速最大的ESE为例,发现建筑排列、建筑形状、高低等都会对风速产生影响,例如D2和D3区都是独栋建筑,但因排列方向不同,建筑表

面风速也不同;较高建筑对迎面大风有一定的阻挡,使得背后的较低建筑风速明显减小,如D1-A区的酒店中心圆弧部分;另外,所有的建筑底层风速明显小于高层,建筑物迎风面的拐角处通常有一个风速大值区。

3) 选取16个方向极大风模拟结果的最大值,可得出具体的建筑表面抗风等级,由于研究区东南偏东方向风速最大,因此建筑表面抗风等级大值区与该风向的模拟结果相似。建设方可根据建筑表面抗风等级调整设计方案,如D4区的抗风等级最高,基本都要超过17级,因此该区所选建筑材料应最坚固;D1区酒店顶层和西部客房顶层大多超过17级,其他多为16~17级,D3区建筑表面抗风等级基本为16~17级,所选建筑材料可对应具体建筑表面抗风等级进行适当调整;D2区所需抗风等级最低,多为14~15级,所选建材抗风等级也可稍弱一些。此外,在台风、大风等灾害天气来临前,建设方或施工方可根据建筑表面抗风等级建议提前做好防御措施,最大限度地减轻事故灾害,保障人身及财产安全。

本文通过CFD数值模拟得出了海岛建筑群的16方位抗风等级,模拟结果较为理想化,后续仍需有实地观测资料继续验证;另外,本文所给出的建筑表面抗风等级更多的是从气象方面考虑,在建筑施工上仍需综合考虑其抗震设计、延展性、气密性、水密性以及建设成本等因素。

### 参考文献:

- 陈燕,蒋维楣,徐敏,等,2005.城市规划中绿化布局对区域气象环境影响的数值试验研究[J].地球物理学报,48(2):265-274.
- 段忠东,周道成,2004.极值概率分布参数估计方法的比较研究[J].哈尔滨工业大学学报,36(12):1605-1609.
- 高山红,吴增茂,1999.海岛测站大风资料代表性的数值模型分析[J].应用气象学报,10(3):333-338.
- 江清源,2007.高层建筑风环境及其影响研究[J].厦门科技,(5):48-52.
- 马淑萍,王秀明,俞小鼎,2019.极端雷暴大风的环境参量特征[J].应用气象学报,30(3):292-301.
- 马开玉,2004.现代应用统计学[M].北京:气象出版社.
- 陶文铨,2001.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社.
- 屠其璞,1984.气象应用概率统计学[M].北京:气象出版社.
- 王彬,杨庆山,2008.CFD软件及其在建筑风工程中的应用[J].工业建筑,38(z1):328-332.
- 王菲,肖勇全,2005.应用PHOENICS软件对建筑群风环境的模拟和评价[J].山东建筑工程学院学报,20(5):39-42.
- 王福军,2004.计算流体力学分析:CFD软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社.
- 王咏薇,蒋维楣,郭文利,等,2008.城市布局规模与大气环境影响的数值研究[J].地球物理学报,51(1):88-100.
- 夏冬,王静,孙丽焯,等,2019.珠海市某标志性超高层建筑群的室外风环境及舒适性模拟[J].中山大学学报(自然科学版),58(4):42-52.
- 杨秋珍,徐明,田展,2015.台风影响极端事件风险分析[J].大气科学研究与应用,(1):1-17.
- 余日清,陈新庚,汪晋三,等,1996.湛江东海岛工业区海洋生态规划与生态影响研究[J].中山大学学报(自然科学

- 版), 35(S1): 279–284.
- 苑蕾, 2013. 概念设计阶段基于风环境模拟的建筑优化设计研究[D]. 青岛: 青岛理工大学.
- BAINES W D, 1963. Effects of velocity distribution on wind loads and flow patterns on buildings [J]. National Physical Laboratory of UK, (1): 197–225.
- BLOCKEN B, PERSONOON J, 2009. Pedestrian wind comfort around a large football stadium in an urban environment: CFD simulation, validation and application of the new Dutch wind nuisance standard [J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 97(5): 255–270.
- DARGAHI-NOUBARY G R, 1989. New Method for Prediction of Extreme Wind Speeds [J]. Journal of Engineering Mechanics, 115(4): 859–866.
- FISHER R A, TIPPETT L H C, 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample [J]. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, (24): 180–190.
- GREENWOOD J A, LANDWEHR J M, MATALAS N C, et al, 1979. Probability weighted moments: definition and relation to parameters of distributions expressible in inverse form [J]. Water Resources Research, 15(5): 1049–1054.
- JENKINSON A F, 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements [J]. The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 81(348): 158–197.
- STATHOPOULOS T, WU H, 1995. Generic models for pedestrian-level winds in built-up regions [J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 54(2): 515–525.
- XIA D, NIE H W, SUN L, et al, 2022. Urbanization Effects on surface wind in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area using a fan-sector method [J]. Int J Environ Res Public Health, 19(6): 3194.

(责任编辑 秦社彩)