

中国工程建设标准化协会团体标准

T/CECS ×××—201X

建筑外围护结构风洞测试方法

Wind tunnel test method of building envelope structure

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

201X-XX-XX 发布

201X-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会 发布

目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 测试设备.....	2
5 风洞试验.....	3
6 数值模拟.....	7
7 抗风性能测试.....	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020和GB/T 20001.10-2014给出的规则起草。

本文件按中国工程建设标准化协会《关于印发〈中国工程建设标准化协会2021年第一批协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字〔2021〕011号）的要求制定。

本文件的某些内容可能直接或间接涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理。

本文件负责起草单位：广东省建筑科学研究院集团股份有限公司。

本文件参加起草单位：湖南大学、浙江大学、哈尔滨工业大学（深圳）、东南大学、湖南科技大学、深圳尊鹏幕墙设计顾问有限公司、澳门金属结构协会、深圳前海新概念建筑外墙设计咨询有限公司、广东融都建设有限公司、创羿（上海）建筑工程咨询有限公司、深圳市华创建设有限公司。

本文件主要起草人：

本文件审查人：

建筑外围护结构风洞测试方法

1 范围

本标准规定了用于建筑外围护结构风洞测试的术语和定义、测试设备、风洞试验、数值模拟、抗风性能测试。

本标准适用于建筑外围护结构的风洞试验和测试，附着于建筑外围护结构的构件、受风情况与建筑外围护结构相似的构筑物，如光伏板、天线、桅杆、户外门等可参考本标准开展风洞测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50009-2012 建筑结构荷载规范
JGJ/T 338-2014 建筑工程风洞试验方法标准
JGJ/T 481-2019 屋盖结构风荷载标准
T/CECS 1048-2022 建筑外围护结构抗风设计标准

3 术语和定义

《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑工程风洞试验方法标准》JGJ/T 338、《屋盖结构风荷载标准》JGJ/T 481、《建筑外围护结构抗风设计标准》T/CECS 1048 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大气边界层 Atmospheric boundary layer

接近地面、风场特性随高度明显变化的大气层部分。

3.2

边界层风洞 Boundary layer wind tunnel

由人为产生并可控制气流、模拟大气边界层流场特性的洞体状试验设施。

3.3

风洞试验 Wind tunnel test

在风洞中进行，研究空气流经物体所产生的的流动现象和气动效应的试验。

3.4

抗风性能测试 Wind resistance test

在风洞中进行，检验指定风速、风向条件下结构或构件是否满足相关抗风指标要求的测试。

3.5

建筑外围护结构 Building exterior envelope structure

遮挡在建筑外表面，用以抵御风雨、温度变化、太阳辐射等环境作用，并将其传递至主体结构构件组成的结构。

3.6

刚性模型 Rigid model

在试验风速下，变形和位移及其对流场的影响可以忽略不计的建筑物模型。

3.7

整体模型 Overall model

风洞试验中模拟完整的建筑物外形的试验模型。

3.8

典型构件 Typical components

建筑外围护构件中分布范围较广、具有代表性的构件。

3.9

特殊构件 Special components

建筑外围护构件中受风情况较为复杂的构件。

3.10

局部放大整体模型 Locally amplified model

局部构件进行放大的整体模型。

3.11

局部模型 Sectional model

风洞试验中模拟局部建筑物外形的试验模型。

3.12

原型板块 Prototype plate

风洞测试中材料、尺寸、构造及边界条件与实际建筑外围护结构一致的板块。

4 测试设备

4.1 风洞

4.1.1 用于建筑工程试验的风洞应按边界层风洞进行设计，其气动布局可采用直流式或回流式。

4.1.2 风洞投入正式使用前应进行流场校测和验收。

4.1.3 流场校测应在不高于 20m/s 的常用风速下进行，测试范围应以模型区的试验段截面中心为基准，取宽度与高度的 75%。空风洞时模型中心区的流场性能应满足下列规定：

- 1 动压稳定系数不应大于 2.0%；
- 2 湍流度不应大于 2.0%；
- 3 轴向静压梯度不应大于 0.01/m；
- 4 流场不均匀度不应大于 2.0%；
- 5 点流向偏角不应大于 1.5°。

4.1.4 转盘角度定位的允许偏差应为 $\pm 0.2^\circ$ 。

4.2 其它仪器与设备

4.2.1 商业产品化的风洞测试设备应具有合格证书和校测报告，自主研发的风洞测试设备应满足测试精度的要求。

4.2.2 试验设备应按设备使用说明操作，并按要求定期校准。应建立使用维护档案，定期进行保养，确保其处于正常状态。

4.2.3 测试设备的量程、精度和频率响应特性应满足相关试验的测量要求。

5 风洞试验

5.1 试验模型

5.1.1 试验模型应满足与试验原型的几何相似，并应包括周边环境模型和风洞试验模型，试验模型阻塞比宜小于 5% 并不应超过 8%，阻塞比指所有建筑模型在风洞试验段横截面的最大投影面积与风洞试验段横截面面积之比。

5.1.2 周边环境模型应包括可能对试验结果产生显著影响的周边建筑或地形特征，半径范围 r 不应小于 S_{\max} 或者 $2h$ ； S_{\max} 为以项目区域中心为圆心，最外围建筑与圆心的距离； h 为研究建筑区域或邻近区域内最高建筑的高度，当地内较高建筑物数量较多时， h 可界定为这些较高建筑的平均高度。

5.1.3 项目设计基准周期内，邻近周围环境可能发生显著变化时，宜通过不同周边环境模型考虑其对试验结果的影响。

5.1.4 风洞试验模型包含整体模型和局部模型，整体模型几何缩尺比例宜选用 1:100-1:400，局部模型几何缩尺比例不宜小于 1:100。

5.1.5 整体模型典型构件由于尺寸限制无法布置测点时，可将整体模型上部分典型构件单独放大得到局部放大整体模型，放大的构件不应影响模型整体风荷载产生显著影响。

5.1.6 整体模型特殊构件由于尺寸限制无法布置测点且不宜通过局部放大的方式布置测点时，可构建局部模型用于试验，必要时可采取措施减小端部效应。

5.1.7 风洞试验模型应模拟对建筑外围护结构荷载有显著影响的建筑细部构造，某些细部构造尺寸与整体尺寸相差很大导致无法严格几何相似时，如面板穿孔时，应选择合理孔径采取穿孔率等效的方式进行处理，缩尺后孔径尺寸小于 3mm 宜取 3mm，处理后面板风压分布规律、有效透风效应等情况应与处理前一致。

5.1.8 风洞试验模型为刚性模型，应具有足够的整体刚度以避免试验时出现较大振动，对于模型可能刚度不足的情况宜在保证外形不变的情况下采取增加模型壁厚、内部增加支撑、外部拉细钢丝或其他不影响气动特性和模型受力状态的辅助措施增加模型刚度。

5.1.9 风洞试验模型具有分离点不确定的弧形区域时，应在弧形区域采取增加粗糙度的方法降低雷诺效应的影响。

5.1.10 风洞试验模型主要尺寸加工误差应不大于 2%。

5.1.11 风洞试验模型表面测点布置应能够反映风压分布规律，在压力变化较大的区域应加密测点，测点平均密度不少于实体表面积 120 m² 一个测点，对于双面承受风压的区域应在两面的对应位置布置测点。

5.1.12 测压孔应满足以下要求：

- 1 内径一般为 0.4mm~0.8mm，最大不超过 1mm；
- 2 测压孔周围型面光滑，无毛刺、划伤；
- 3 测压孔轴线应垂直模型当地表面。

5.1.13 用于动态风压测量的管路应满足以下要求：

1 管路应尽量缩短，确保通气性及气密性，长度不宜超过 1.4m，管路较长时应采取必要措施减小测压管路对信号的影响；

- 2 测压管路包括测压孔导出管和过渡连接管，过渡连接管不宜采用多段连接；
- 3 测压管应排列有序，管路与测压孔有对应的编号标记。

5.1.14 测量开口建筑的脉动内压值时，模型的内部容积应满足动力相似性要求。

5.2 试验方法与程序

5.2.1 试验准备

5.2.1.1 根据试验任务要求制定试验总体方案，内容包括：

- 1 试验内容及技术要求；
- 2 试验模型比例、风洞试验模型主要尺寸、周边环境模型范围；
- 3 风洞设备及运行条件；
- 4 试验进度和人员安排。

注：具体内容可根据试验需求增减。

5.2.1.2 收集试验所需图纸及资料，包括但不限于：

- 1 项目效果图及总平面图；
- 2 测试建筑平面图、立面图、剖面图，体型复杂建筑还应包括三维模型；
- 3 周边环境总平图，包含建筑轮廓及建筑高度信息；
- 4 典型构件或特殊构件详图。

注：具体内容可根据试验需求增减。

5.2.1.3 根据 5.2.1.1 条试验总体方案绘制周边环境图、试验风向示意图、测点分布图，测点布置符合 5.1.11、5.1.12 条要求。

5.2.1.4 根据 5.2.1.1 条试验总体方案、5.2.1.2 条试验图纸及资料、5.2.1.3 条试验周围环境图及测点分布图进行模型制作。

5.2.2 模型检查与调整

5.2.2.1 试验模型应进行交接验收，除交接验收模型实物外，还应交接风洞试验模型和周边环境模型图纸。

5.2.2.2 试验模型应符合 5.1 节要求。

5.2.2.3 模型安装前风洞试验模型应进行测压点的检查：

- 1 测压点位置、数量及编号应与 5.2.1.3 条测点分布图一致；
- 2 检查测压孔质量、测压管路的通气性与气密性，测点合格率不小于 98%，不允许两个或两个以上相邻测压点同时不合格，并且应尽量避免在压力变化敏感区出现不合格点。

5.2.2.4 模型检查不符合 5.2.2.2 和 5.2.2.3 条要求时，应按下列要求进行：

- 1 对试验模型进行必要的调整；
- 2 修整或重新加工试验模型。

5.2.3 风场模拟与调试

5.2.3.1 除特殊情况外，建筑工程风洞试验应在模拟的大气边界层风场中进行。

5.2.3.2 在模拟大气边界层种进行的风洞试验，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的地面粗糙度类别模拟平面风速剖面和湍流度剖面。

5.2.3.3 模拟大气边界层时，风剖面与模型的几何缩尺比宜保持一致。风剖面的测点数量不应少于 10 个，且应覆盖测试模型的高度范围，测点间距不宜大于 0.1m 或风洞试验段高度的 5%，最低测点与风

洞底壁距离不应大于 0.1m。对应剖面起始高度以上测点的平均风速测量值与目标曲线的允许相对偏差应为 $\pm 5\%$ ；建筑物代表高度的湍流强度测量值与目标曲线的允许绝对偏差应为 ± 0.02 。

5.2.3.4 大气边界层模拟完成后，尚应对模型区流场的横向均匀性进行校测。校测应在不高于风洞试验段 1/4 高度处选取至少 5 个测试点，且应覆盖测试模型的宽度范围。测点间距不应小于 0.2m，测量所得平均风速的允许相对偏差应为 $\pm 2.5\%$ ，湍流强度的允许绝对偏差应为 ± 0.015 。

5.2.3.5 特殊地形条件下的建筑工程风洞试验，其风场特性宜按实际情况进行模拟。

5.2.4 测压系统检查

5.2.4.1 测压系统包括风压测点、测压管路、压力传感器和数据采集装置。

5.2.4.2 检查应在试验前完成。

5.2.4.3 检查可分阶段进行，在测压系统组装前宜逐项进行单个装置的检查，系统组装后，正式试验实施前应进行系统整体检查，检查项目和要求应符合 4.2 节的规定。

5.2.5 模型安装

5.2.5.1 模型安装应正确可靠。

5.2.5.2 试验模型在风洞中安装就位后，应对模型与风洞坐标轴系的初始姿态进行调整，偏差角度不应大于 $\pm 0.2^\circ$ 。

5.2.5.3 初始姿态调整完毕后，应考核模型试验风向角变化范围的可实现性。

5.2.6 试验实施

5.2.6.1 试验正式开始前应建立试验运转表，记录试验编号、模型状态、试验条件、试验日期等信息。

5.2.6.2 模型安装完成后、试验正式开始前，应进行模型的试吹风，以考核模型安装的稳固性、测压系统工作的稳定性。

5.2.6.3 试验风速应根据试验类别、测量仪器精度和频率相似比等因素确定，测压试验的自由来流风速不宜小于 8m/s。

5.2.6.4 试验时，应保持试验风速稳定；试验风向角改变后，应待流场稳定后再进行测试。

5.2.6.5 参考风速的测量位置应避免受到模型和洞壁的影响。

5.2.6.6 应根据建筑外形及周边干扰情况选择多个风向角进行试验，风向角间隔不应大于 15° ，特殊试验可根据实际情况确定风向角。

5.2.6.7 当模型区静压与洞体外静压差别较大时，应采取必要的密闭措施防止洞壁内外出现空气流动。

5.2.6.8 试验过程中试验数据应自动采集记录并安全保存。

5.2.6.9 双面受风构件两面测点风压试验数据应同步采集。

5.2.6.10 采集数据时，应保证设备屏蔽良好，避免噪声干扰。数据宜进行滤波等预处理。

5.2.6.11 测试信号的采样时间长度应保证统计结果的稳定性，换算到原型的采样时间不应小于 30min。

5.2.7 试验中断

5.2.7.1 试验过程中，出现以下情况之一应中断试验：

- 1 试验模型出现结构破损或出现结构破损的征兆，不能保证试验设备安全运行或试验结果可靠；
- 2 试验设备出现故障或者出现故障征兆，不能保证安全运行或试验结果可靠；
- 3 试验环境异常，不能保证试验模型或试验设备安全运行或试验结果可靠；

5.2.7.2 试验过程中，出现以下情况之一时应暂时中断试验：

- 1 试验结果与预期值存在明显差异；

- 2 试验模型外形或表面特性等出现明显变化，不能保证试验结果可靠时；
- 3 测压点损坏过多（大于 7%），造成试验结果应用困难；
- 4 出现其他影响试验数据质量的情况。

5.2.7.3 试验中断后，应根据不同情况尽快查明原因、及时处理，恢复试验状态后可继续进行试验或重新试验，也可结束试验。

5.2.8 试验结束

- 5.2.8.1 全部试验内容完成或者试验中断且恢复试验状态需较长时间，试验结束。
- 5.2.8.2 试验结束后，应关闭所有试验设备，拆卸试验模型和试验装置。

5.3 数据处理与报告

5.3.1 测得风压时程后，宜按式（1）将其转换为无量纲的风压系数：

$$C_p(t) = \frac{p(t) - p_0}{0.5\rho U_r^2} \quad (1)$$

- 式中：
 $C_p(t)$ ——风压系数时程；
 $p(t)$ ——测量得到的风压时程，单位为帕（Pa）；
 p_0 ——来流静压，单位为帕（Pa）；
 ρ ——空气密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
 U_r ——参考高度风速，单位为米每秒（m/s）。

5.3.2 风压系数极值计算可采用峰值因子法或极值统计方法。采用峰值因子法时，峰值因子的取值不应小于 2.5。当风压分布具有明显的非高斯分布特性时，宜采用极值统计方法。

5.3.3 可按式（2）~（6）采用峰值因子法进行全风向风压系数极大值 $C_{pe,max}$ 和极小值 $C_{pe,min}$ 计算：

$$C_{pe,max} = \max(C_{pe,1}^{max}, C_{pe,2}^{max}, \dots, C_{pe,K}^{max}) \quad (2)$$

$$C_{pe,min} = \min(C_{pe,1}^{min}, C_{pe,2}^{min}, \dots, C_{pe,K}^{min}) \quad (3)$$

$$\begin{cases} C_{pe,i}^{max} = C_{p,m} + g \cdot \sigma_p \\ C_{pe,i}^{min} = C_{p,m} - g \cdot \sigma_p \end{cases} \quad (4)$$

$$C_{p,m} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_p(t_j) \quad (5)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n [C_p(t_j) - C_{p,m}]^2} \quad (6)$$

- 式中：
 $C_{pe,i}^{max}$ ——第 i 个风向的风压系数最大值；
 $C_{pe,i}^{min}$ ——第 i 个风向的风压系数最小值；
 K ——风向角数量；
 $C_{p,m}$ ——风压时程的平均值，单位为帕（Pa）；
 g ——峰值因子，不应小于 2.5；
 σ_p ——风压时程的标准差，单位为帕（Pa）；
 n ——风压系数时程 $C_p(t)$ 的步数。

5.3.4 采用极值统计方法计算全风向风压系数极大值 $C_{pe,max}$ 和极小值 $C_{pe,min}$ 时,可按行业标准《屋盖结构风荷载标准》JGJ/T 481 附录 E 规定的方法进行。

5.3.5 可按式 (7) 计算外围护结构风荷载标准值:

$$w_k = (C_{pe} - C_{pi})\mu_r w_0 \quad (7)$$

式中: w_k ——风荷载标准值,单位为千牛每平方米 (kN/m^2);

C_{pe} ——全风向风压系数极值,包括全风向风压系数极大值 $C_{pe,max}$ 和极小值 $C_{pe,min}$;

C_{pi} ——内压系数;

μ_r ——试验参考高度对应实际原型高度处风压高度变化系数,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定;

w_0 ——基本风压,单位为千牛每平方米 (kN/m^2);

5.3.6 基本风压应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 或相关地方标准的规定采用。

5.3.7 内压系数可根据其外表面风压的正负情况按下列规定采用:

1 封闭式建筑物取+0.2、-0.2;

2 仅一面墙有主导洞口或大面积开洞的半封闭式建筑物取+0.55、-0.55。

5.3.8 试验报告的基本内容应包括:试验依据、试验设备、试验条件、试验方法、试验内容、试验结果和应用建议。试验方尚应做好实验原始数据的整理工作以备查验。

6 数值模拟

6.1 数值模型

6.1.1 模型域包括研究建筑和周边环境建筑,周边环境建筑应包括可能对模拟结果产生显著影响的周边建筑或地形特征。

6.1.2 模型域范围半径 r 不应小于 S_{max} 或者 $2h$, S_{max} 和 h 的规定同 5.1.2。

6.1.3 项目设计基准周期内,相邻的周边建筑可能发生变化时,宜通过不同周边环境建筑评估其对计算结果的影响。

6.1.4 计算域形状宜采用六面体区域,计算域应具有独立性,不应影响研究建筑的计算和分析结果,计算域尺寸(见图 1)不宜小于表 1 的要求,且计算域内所有建筑物的阻塞比宜小于 3%并不应超过 5%,阻塞比指所有建筑物的最大迎风投影面积与计算域横截面面积之比。

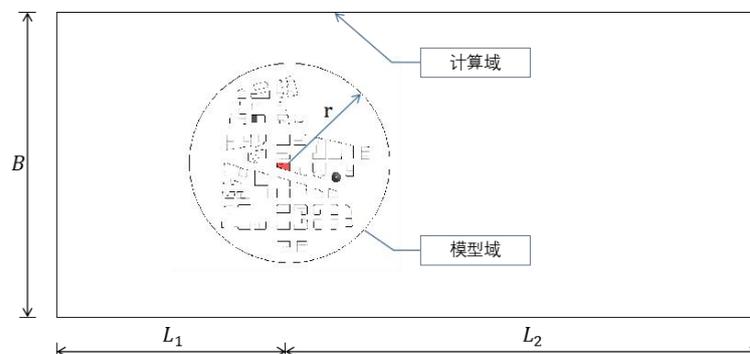


图 1 计算域尺寸示意图

表 1 计算域尺寸最小限值

	上游长度 L_1	下游长度 L_2	计算域宽度 B	计算域高度 H
尺寸最小限值	$2.5r$	$5r$	$3r$	$2h$

6.1.5 研究建筑应模拟对建筑外围护结构荷载有显著影响的建筑细部构造，某些附属细部构造，如穿孔面板、格栅和镂空结构等，可根据实际情况进行几何等效处理。

6.1.6 采用网格离散的数值模拟方法时，应选择不少于 3 种网格密度方案进行收敛性检验，在建筑模型边缘流动出现分离或预期物理量梯度较大的区域，网格应加密。

6.1.7 应按如下要求合理设置数值风洞模型的入口、出口及地面等边界条件：

1 入口边界条件：选择不同的湍流模型时入口边界条件应满足不同要求：

——当采用基于 RANS 的湍流模型时，入流边界条件需要给出平均风速剖面、湍动能、能量耗散率（比）和湍流积分尺度等的统计量；

——当采用大涡模拟（LES）湍流模型、入流边界须给出时变的速度时，宜采用基于随机流动生成（RFG）的相关方法生成时间离散化的速度时程数据，在每个时间步计算进行调用和施加，且应采取措
施保证来流入口湍流参数在计算域中的保持特性；

2 出口边界条件：充分发展的自由流动出口边界条件或压力出口边界条件；

3 侧面和顶面边界条件：宜采用滑移（Slip）或对称（Symmetry）边界条件；

3 地面和建筑物表面：宜采用无滑移（No-Slip）壁面（Wall）边界条件。

6.1.8 建筑物绕流模拟计算前，应建立对应的空数值风洞模型，对所模拟的大气边界层湍流风场特性的准确性及自保持性进行数值验证，以确保整个流域的风速、湍流强度等流动特性与目标风场一致，且沿流向不发生明显改变：

6.2 计算方法

6.2.1 建筑物外围护结构 CFD 数值模拟应根据研究目的、计算精度、计算时间以及湍流模型特点选择经过验证的适用于钝体建筑结构绕流模拟的湍流模型及参数进行计算：

1 计算平均风压系数时，宜采用基于雷诺时均方法（RANS）的湍流模型，如 RNG $k-\varepsilon$ 、Realizabel $k-\varepsilon$ 或 SST $k-\omega$ 湍流模型等；

2 计算脉动风压系数和来流湍流特性影响时，可采用大涡模拟（LES）湍流模型，且计算的时间步长不应大于流动穿过一个最小网格的时间。

6.2.2 求解器宜选择从低速不可压流到高速可压流的大范围流动适用性较好的分离式求解器。

6.2.3 压力速度耦合宜采用鲁棒性较好的 SIMPLE 算法，对于非定常流动可选择 PISO 算法。

6.2.4 控制方程中，对流项离散应采用具有二阶精度以上的格式如二阶迎风格式，对于大涡模拟（LES）应采用有界中心差分格式。

6.2.5 数值求解过程中应保证迭代计算的收敛性并应监测流场中关键位置处的物理量变化情况，收敛残差应小于 1.0×10^{-3} 。

6.2.6 风荷载数值模拟的风向角间隔不应大于 15° ，模型域内的主体建筑和周边环境建筑可通过旋转来实现不同风向角的变化。

6.3 结果后处理与报告

6.3.1 研究建筑表面的风压测点布置应能够反映风压分布规律，在压力梯度较大的区域应加密测点，对于双面承受风压的区域应在两面的对应位置布置测点。

6.3.2 建筑外围护结构测点的风压系数处理方法按照 5.3 节规定。

6.3.3 数值模拟报告的基本内容应包括：

- 1 计算域尺寸、模型域创建、网格生成的展示与建模说明；
- 2 采用的软件或程序；
- 3 边界条件、初始条件、模拟求解参数设置；
- 4 监测物理量与残差设置；
- 5 数值模拟结果及分析；
- 6 其它根据研究目的需要展示和分析的内容；
- 7 报告或数据应用说明或建议。

7 抗风性能测试

7.1 试件准备与安装

7.1.1 试件数量应按代表性和最不利原则根检风荷载分区确定。

注：试件的代表性包括面板厚度及材质、支承结构形式、支承构件的跨度、紧固件等等。

7.1.2 试件宽度方向应包含三个完整的板面宽度。

7.1.3 试件安装应按产品说明书或安装指导书的要求进行。

7.1.4 安装的试件应与工程实际相符，包括使用的实际材料、细节处理、施工和锚固方法，试件中不影响抗风性能的构造层可不安装。

7.1.5 试件的边界条件应尽量模拟或接近实际情况。

7.1.6 试件应采取适当的预防措施，以保护在任何破坏或异常情况下人员及设备的安全。

7.2 测试程序

7.2.1 试件安装、制备以及测试的场所环境条件为 (25 ± 15) ℃。

7.2.2 将试件与风洞设备地面牢固连接。

7.2.3 根据测试目的在试件表面或内部布置采集仪器，仪器的安装应稳固且不应对测试结果产生干扰。

7.2.4 检查洞体内有无杂物，关闭风洞各出入口。

7.2.5 测试风场采用均匀流。

7.2.6 洞体内应具有实时高速摄像设备，以便及时观测试件状态。

7.2.7 开启实时摄像设备，按以下流程施加风速：

- 1 启动风机并达到稳定；
- 2 按图 2 以 5m/s 一级逐级增加风速，每级风速稳定后停留 10min，当指定风速与上一级风速差不足 5m/s 时，增加至指定风速即可；
- 3 风速增加至指定风速停留 10min，或试件发生破坏，试验终止；
- 4 将风速匀速下降至 0m/s，关闭风机。

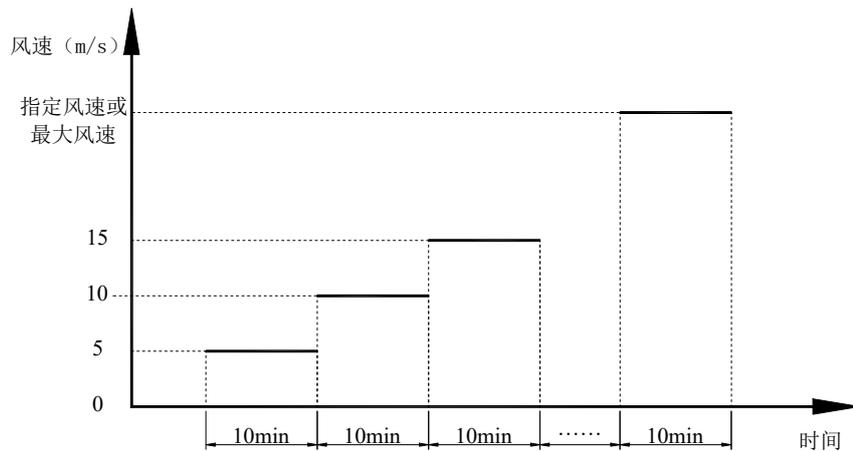


图 2 风速施加顺序示意图

7.2.8 指定风速可按式 (8) 计算:

$$V_T = \sqrt{1600\mu_{hT}w_0} \quad (8)$$

式中: V_T ——指定风速, 单位 m/s;

μ_{hT} ——试件对应实际高度处风压高度变化系数, 按现行国家标准《建筑结构荷载规定》GB 50009 确定;

w_0 ——基本风压, 单位 kN/m²;

7.2.9 测试过程中自动采集测点压力、位移、加速度等需要的数据并安全保存。

7.2.10 测试完成后, 检查并记录任何不符合 7.3.3 条规定的现象。

7.3 结果判定与测试报告

7.3.1 测试结果以指定风速或发生破坏的最大风速上一级风速表示。

7.3.2 根据测试结果按表 2 确定最高抗风性能风洞测试等级, 最高抗风性能风洞测试等级应满足 7.3.3 条要求。

7.3.3 试件在该风速等级保持 10min 不发生破坏, 并应满足下列要求:

- 1 所有面板在测试过程中维持其结构的完整, 任何固定部位无脱落、分离和松动, 无破损;
- 2 面板与支承结构之间保持可靠连接, 紧固件无松动、断裂、拔出、穿透等异常现象。

表 2 抗风性能风洞测试等级与测试风速对应关系

测试风速/ (m/s)	风洞测试等级	测试风速/ (m/s)	风洞测试等级
5	3	32.7~36.9	12
10	5	37.0~41.4	13
13.9~17.1	7	41.5~46.1	14
17.2~20.7	8	46.2~50.9	15
20.8~24.4	9	51.0~56.0	16
24.5~28.4	10	≥56.1	17
28.5~32.6	11	——	——

7.3.4 测试结果应包括达到的最高抗风性能风洞测试等级、试件结构描述、安装信息及说明, 当委托要求中包含压力、位移或加速度测量要求时, 测试结果还应包含相应数值。

7.3.5 测试报告应至少包括以下内容:

- 1 试件的描述, 包括制造商和组成构造说明;
- 2 施工方法的详细报告, 包括试件的示意图, 确保试件是按照图纸规格构造的;

- 3 执行的标准；
 - 4 测试过程中风速施加时程曲线；
 - 5 测试过程中试件出现任何情况的描述、照片和视频记录，测试过程中发生破坏（如果有的话）导致测试终止的时刻、风速、损坏的描述和照片记录；
 - 6 对测试方法所作的任何修改；
 - 7 测试日期和人员；
 - 8 测试结果。
-