

# 工程结构荷载

作者:玩原神导致的

封面日期: 2025 年 6 月 17 日

# 前言标题

这是一个基于 $\text{\LaTeX}$ 的模板，用于撰写学习笔记。

模板旨在提供一个简单、易用的框架，以便你能够专注于内容，而不是排版细节，如不是专业者，不建议使用者在模板细节上花费太多时间，而是直接使用模板进行笔记撰写。遇到问题，再进行调整解决。

前言页显示日期：2025 年 6 月 17 日

# 目录

第零章 风荷载
---------

1
---

# 第零章 风荷载

## Theorem 0.0.1.

$$w = w_m - w_b = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} v^2$$

风速与风压的关系公式，其中  $w_m$  为最大风压力(速度降为0)， $w_b$  为原先风压力， $\gamma$  为空气单位体积的重力， $g$  为重力加速度。

基本风压的相关因素：

1. 地貌(影响摩擦)
2. 标高(一般取10m)
3. 最大风速的样本时间:样本时间显然越长越大
4. 公称风速的时距:公称风速实际是一定时间间隔的平均风速，不可过长也不可过短。
5. 基本风速重现期的长短:该时间范围内的最大风速定义为基本风速

**Definition 0.0.1.** 根据实测结果分析，平均风速沿高度变化的规律可用指数函数来描述，即

$$\frac{\bar{v}}{v_s} = \left( \frac{z}{z_s} \right)^\alpha$$

式中  $\bar{v}$ 、 $z$ ——任一点的平均风速和高度；

$v_s$ 、 $z_s$ ——标准高度处的平均风速和高度(一般取10m)。

$\alpha$ ——与地貌或地面粗糙度有关的指数。

由于远离地面的高度的风速相同，

$$v_{0s} \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{\alpha_s} = v_{0a} \left( \frac{H_{Ta}}{z_a} \right)^{\alpha_a}$$

于是有

$$v_{0a} = v_{0s} \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{\alpha_s} \left( \frac{H_{Ta}}{z_a} \right)^{-\alpha_a}$$

可得任意地貌的基本风压  $w_{0a}$  与标准地貌的基本风压  $w_0$  的关系为:

$$w_{0a} = w_{0s} \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{2\alpha_s} \left( \frac{H_{Ta}}{z_a} \right)^{-2\alpha_a}$$

不同地表粗糙度有不同的梯度风高度, 地面粗糙度小, 风速变化快, 梯度风高度比地面粗糙度大的地区低; 反之, 地面粗糙度越大, 梯度风高度将越高。

**Remark.** 任一水平风作用在任意截面的细长物体表面上, 会在其表面产生风压, 将物体表面上的风压沿表面积分, 将得到三种力的成分, 即顺风向力  $P_D$ 、横风向力  $P_L$  及扭矩  $P_M$ 。

顺风向的风效应分解为平均风 (即稳定风) 和脉动风 (也称阵风脉动)。

横风向力较顺风向力小得多, 对于对称结构, 横风向力更是可以忽略。然而, 对于一些细长的柔性结构, 横风向力可能会产生很大的动力效应横风向。

**Definition 0.0.2.** 风载体型系数(和风速的变化相关, 而风速变化由风流动的截面相关, 所以和房屋几何形态相关):

$$w = \mu_s w_s$$

$$\mu_s = 1 - \frac{v^2}{v_0^2}$$

其中  $v$  为变化后的风速,  $v_0$  为原先风压力

所以一个显然的结论是, 迎风面风被阻挡, 风速变小, 表现为正压力。

背风面横截面变宽, 风速变大, 表现为负压力, 或者说吸力。

**Definition 0.0.3.** 风压高度变化系数

$$\mu_z(z) = \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{2\alpha_s} \left( \frac{H_{Ta}}{z_a} \right)^{-2\alpha_a} \left( \frac{z}{z_s} \right)^{2\alpha_a}$$

A类为海面、沙漠等表面光滑的地貌; B类为田野、乡村、房屋稀疏地等; C类为密集建筑群城市市区; D类为密集建筑群且房屋较高市区

**Theorem 0.0.2.** 风荷载标准值的计算公式:

$$w_k = \beta_r \mu_s \mu_z w_0$$

$\beta$  是风振系数, 若不考虑风压脉动对结构顺风向风振的影响, 计算取1

这也解释了一句话, 顺风荷载是平均风和脉动风的线性叠加

## 横风向风振验算

(1) 当  $Re < 3 \times 10^5$  且结构顶部风速  $v_H$  大于共振风速  $v_{cr}$  时, 可发生亚临界的微风共振。此时可在构造上采取防振措施, 或控制结构的临界风速  $v_{cr}$  不小于 15m/s。

(2) 当  $Re \geq 3.5 \times 10^6$  且结构顶部风速  $v_H$  的 1.2 倍大于共振风速  $v_{cr}$  时, 可发生跨临界的强风共振。此时应考虑横风向风振的等效风荷载。

(3) 当  $3 \times 10^5 \leq Re < 3.5 \times 10^6$  时, 则发生超临界范围的风振, 可不作处理。同时此时的斯特罗哈数离散性比较强。

**Definition 0.0.4.** 斯特罗哈数

$$S_t = \frac{f_s D}{v}$$

$f_s$  描述脱落气流的频率, 当其与物体的固有频率相等时, 发生共振现象。

**Remark.** 根据PPT, 只有亚临界状态和跨临界状态我们认为是共振的。此时斯特罗哈数分别等于0.2和0.3。

斯特罗哈数与建筑截面形状以及雷诺数相关。横向共振时, 脱落频率一定。

**Example 0.0.1.** 在横风向共振所处区域内: (D)

- A. 斯托哈数接近于常数0.2;
- B. 斯托哈数离散性很大;
- C. 风漩涡脱落频率与风速成正比;
- D. 风漩涡脱落频率保持常数.

**Example 0.0.2.** 杭州某高层建筑所在场地为C类地貌, 已知杭州基本风压  $w_0 = 0.45 \text{ kN/m}^2$ ,  $\frac{\gamma}{2g} = \frac{1}{1740}$ , 试分别计算该场地 50 m 处的风压及对应的风速值。

地貌	A类	B类	C类	D类
$\alpha$	0.12	0.15	0.22	0.30
$H_z(\text{m})$	300	350	450	550

图 1: 地貌参数

死记硬背下公式, 当然可以现场推导下:

$$w_{0c} = w_{0s} \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{2\alpha_s} \left( \frac{H_{Tc}}{z_c} \right)^{-2\alpha_c} = 0.45 \left( \frac{350}{10} \right)^{2 \times 0.15} \left( \frac{450}{10} \right)^{-2 \times 0.22} = 0.245 \text{ kN/m}^2$$

于是,求得未知地区的标准风压后,计算其50m高度的风压:

$$w_c = w_{0c} \left( \frac{50}{10} \right)^{2 \times 0.22} = 0.497 \text{ kN/m}^2$$

计算风速:

$$w_c = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} v^2$$

$$v = \sqrt{2w_c g / \gamma} = \sqrt{0.497 / (1/1740)} = 29.4 \text{ m/s}$$

**Example 0.0.3.** 已知: 某矩形高层建筑, 结构高度  $H = 40 \text{ m}$ , 平面长度  $D = 30 \text{ m}$ , 宽度  $B = 25 \text{ m}$ , 建造于城市市郊, 地面粗糙度  $\alpha_a = 0.22$ , 标准地貌的地面粗糙指数  $\alpha_s = 0.15$ , 基本风压  $w_0 = 0.5 \text{ kN/m}^2$ 。假设不考虑脉动风影响, 沿高度均匀分成四段进行近似计算。求: 顺风向风产生的建筑底部弯矩?

解:

1. 计算每段高度:

$$\Delta h = \frac{H}{4} = \frac{40}{4} = 10 \text{ m}$$

各段中心高度分别为  $z_1 = 5 \text{ m}$ ,  $z_2 = 15 \text{ m}$ ,  $z_3 = 25 \text{ m}$ ,  $z_4 = 35 \text{ m}$ 。

2. 计算各段风压 (采用风压高度变化系数):

$$w(z) = \mu_s \mu_z(z) w_0$$

其中  $\mu_s = 1.3$ , 是体型系数,  $\mu_z(z) = \left( \frac{H_{Ts}}{z_s} \right)^{2\alpha_s} \left( \frac{H_{Ta}}{z_a} \right)^{-2\alpha_a} \left( \frac{z}{z_s} \right)^{2\alpha_a} = 0.54 \times \left( \frac{z}{z_s} \right)^{2 \times 0.22}$

$$w_1 = 1.3 \times 0.54 \times (5/10)^{0.44} \times 0.5 = 0.26 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2 = 1.3 \times 0.54 \times (15/10)^{0.44} \times 0.5 = 0.42 \text{ kN/m}^2$$

$$w_3 = 1.3 \times 0.54 \times (25/10)^{0.44} \times 0.5 = 0.52 \text{ kN/m}^2$$

$$w_4 = 1.3 \times 0.54 \times (35/10)^{0.44} \times 0.5 = 0.61 \text{ kN/m}^2$$

3. 计算各段风荷载 (作用面积  $A = B \times \Delta h = 25 \times 10 = 250 \text{ m}^2$ ):

$$F_i = w_i \cdot B \cdot \Delta h$$

$$F_1 = 0.26 \times 250 = 65 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0.42 \times 250 = 105 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0.52 \times 250 = 130 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0.61 \times 250 = 152.5 \text{ kN}$$

4. 计算各段力臂（至底部距离）：

$$l_1 = 35 \text{ m}$$

$$l_2 = 25 \text{ m}$$

$$l_3 = 15 \text{ m}$$

$$l_4 = 5 \text{ m}$$

5. 计算底部弯矩：

$$\begin{aligned} M &= \sum_{i=1}^4 F_i \cdot l_i = 91.8 \times 35 + 148.5 \times 25 + 176.3 \times 15 + 197.5 \times 5 \\ &= 3213 + 3712.5 + 2644.5 + 987.5 = 10557 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

答：顺风向风产生的建筑底部弯矩约为  $10557 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

**Example 0.0.4.** 什么情况下要考虑结构横风向风振效应？如何进行横风向风振验算？  
什么情况下要考虑结构横风向风振效应？如何进行横风向风振验算？

当横向风作用引起结构共振时，结构横风向风振效应不可忽略。通过雷诺数验算（书本P68 4.5.2）