

结构设计中的风荷载考量

作者：赖玟璇博士 | 2023 年 11 月 23 日

简介

风荷载是指风对结构施加的压力。一般而言，风荷载需要考虑安全性和人类舒适度。高而细长的结构对风荷载特别敏感。如果这些力未得到妥善考量，可能导致结构失效，危及人类生命。2013 年发生在槟城的灾难，即中路巫统大厦（Menara Umno）事件，提醒我们这一点：由于强风暴，一根大型避雷针从 21 层高的建筑物顶部坠落，不幸压死了正在经过的一名男子。另一方面，风荷载引起的过度振动或摇晃会使建筑物的居住者感到不适，尤其是在高层建筑中。适当考虑风荷载可以确保建筑物对风的响应在可接受的舒适度范围内。

风荷载的变化

风荷载随着结构高度的增加而变化。在地面上，风速最小，但随着高度的增加，风速呈指数增长。因此，结构越高，在设计和分析过程中考虑风荷载就越重要。对于高度在 50 米以下的结构，通常使用的是准稳态假设。这种方法假设建筑物坚固且不易弯曲，风会施加恒定的侧向力。

在马来西亚，对于高度达 200 米的建筑物和类似长度的桥梁，有特定的指南（MS1553:2002）。该指南帮助专业人士计算风的影响，考虑了诸如位置、风速、建筑材料和设计规范等本地因素。然而，需要注意的是，这一指南不适用于海洋结构、大型桥梁或输电塔等^[1]。

此外，设计中主要系统所需抵抗的最小风力应等于至少 0.65 kN/m^2 乘以建筑物或结构在垂直于风向的平面上所看到的面积。

当忽略考量风荷载时会发生什么？

为了直观地展示在结构设计实践中不考量风荷载的危险性，下面提供了两个示例：

1. 广告牌

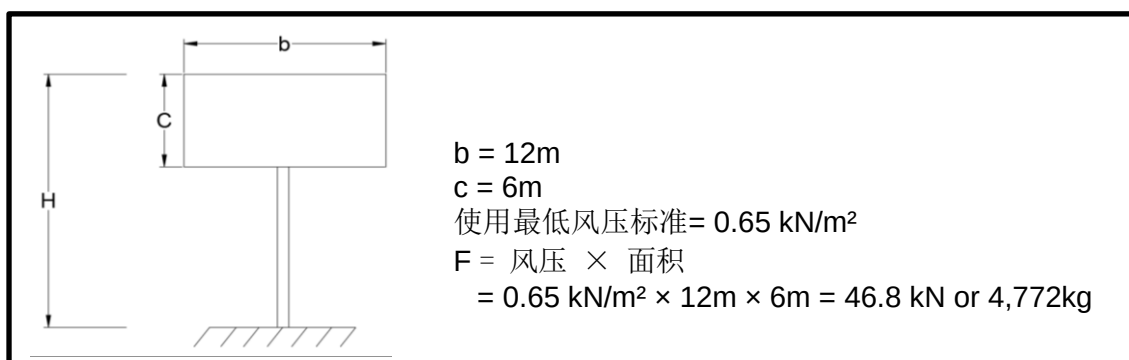


图 1：广告牌示例

这个简化的计算表明，即使施加最低风压，风荷载 4,772 公斤几乎相当于约 4.5 辆轿车的重量（假设每辆轿车为 1000 公斤）。

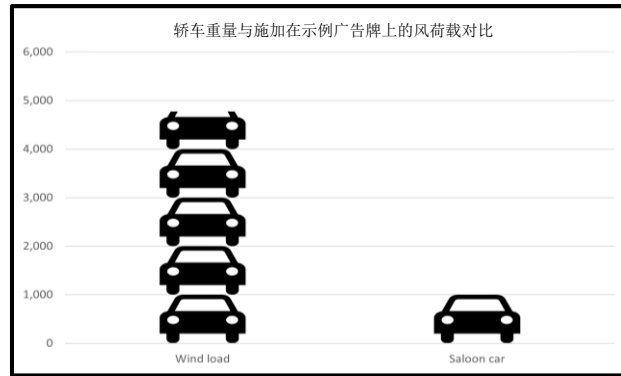


图 2：风荷载的可视化图

2. 高层建筑

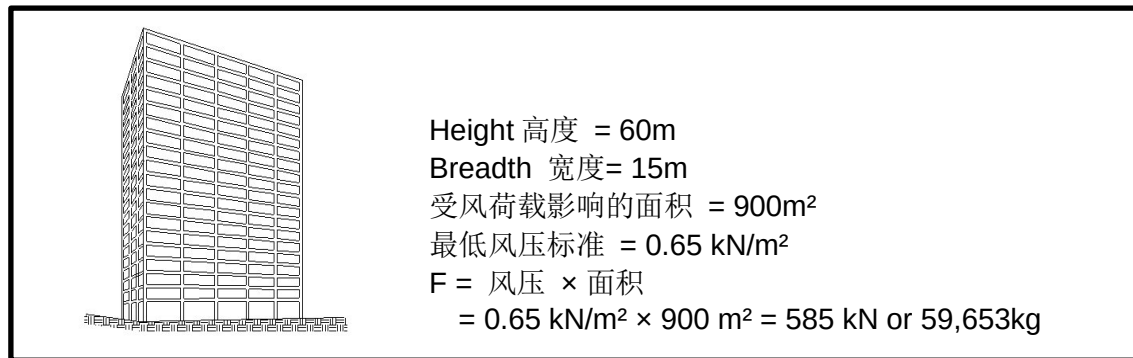


图 3：高层建筑示例 ^[2]

上述计算虽为简化版，未完全反映实际情况，但它清晰地表明，即使是中等风压也能对建筑物施加显著的荷载，尤其是在高层建筑上。**59,653 公斤**的总风荷载接近 **60 辆**轿车的重量（假设每辆轿车重 **1000 公斤**）。如果在未充分考虑风荷载的情况下设置广告牌或建造高层建筑，可能会导致结构设计不足，从而在强风和暴风雨后出现结构倾覆的风险。

影响风荷载的因素

风荷载施加在结构上的影响因素包括但不限于以下几点：

1. 风的速度与速率

风速是风荷载的主要驱动因素。风速越快，施加的力就越大。除了不同的风速分区，风速还会随高度成指数增长。因此，较高的结构通常会经历更高的风荷载

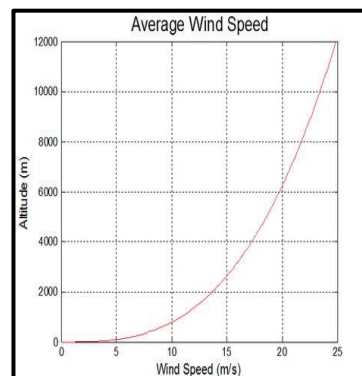


图 4：平均风速与高度的关系 ^[3]

2. 结构的形状和朝向

空气动力学形状（Aerodynamic Shape）：具有光滑、圆形轮廓的结构往往能将风绕其表面偏转，从而产生较小的风压，而与之相比，具有锐利边缘或平坦表面的结构则承受较大的风压。迎风面（Frontal Area）：结构正面（迎风面）（windward side）承受正压，而相对的背风面（leeward）则承受负压。

3. 地形和周围环境

像树木、山丘或其他建筑物等障碍物的存在会扰乱风流。在密集的城市中，建筑物可能会经历较小的风荷载，而在空旷的野外则会受到更大的风力影响。

风洞试验对于高层建筑的重要性

对于独特或标志性的结构，尤其是高层建筑，设计师通常会依赖风洞试验。这是因为在此类情况下，标准的分析方法往往缺乏必要的精确性。在这些试验中，建筑的缩尺模型会在受控环境中经受风流的测试，以测量风力引起的压力和结构变形。通过这些结果，设计师可以进一步优化设计，以确保建筑的安全性和舒适性^[4]。



图 5: RWDI 的 24 英尺风洞测试 © RWDI

总结

对于高层或独特的建筑结构而言，风荷载的考虑在结构设计中至关重要。尽管根据马来西亚气象局（Malaysian Meteorological Department）的资料^[5]，马来西亚普遍经历的是轻风环境，但在进行结构设计时，仍然必须保持警惕，并严格遵守 MS1553:2002 标准，以确保建筑设计中充分考量风荷载。

赖玟璇博士

首席执行官/创始人

IPM 环球集团

参考文献:

- [1] Malaysian Standard 1553:2002. Code of Practice on Wind Loading for Building Structure, Department of Standards Malaysia
- [2] ESDEP (European Steel Design Education Programme). (n.d.). Lecture 14.15: Tall building design. ESDEP LECTURE NOTE [WG14]. Retrieved on 23rd November 2023 from <https://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~pmoze/esdep/master/wg14/1500.htm>
- [3] Chandrasekaran, Karthik. (2019). An Alternative Design Approach for a Lighter than Air Airborne Wind Turbine Generator System. 1-6. 10.1109/ICSCM46742.2019.9081819.
- [4] Irwin, P., Denoon, R. & Scott, D. (2013). Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings: An Output of the CTBUH Wind Engineering Working Group. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago.
- [5] Ministry of Natural Resources, Environment & Climate Change. Official Website of Malaysian Meteorological Department. Retrieved on 23rd November 2023 from <https://www.met.gov.my/en/pendidikan/iklim-malaysia/#Wind%20Flow>

**本中文译本仅供参考之用。如中文译本之文义与英文原文有歧义，概以英文原文为准。