风 灾

陆新征
清华大学土木工程系
2006

内容提要

- 风的类型与分类
- 风灾对建筑物的影响
- 工程结构抗风设计
- 防风减灾对策与风振控制

结构风工程

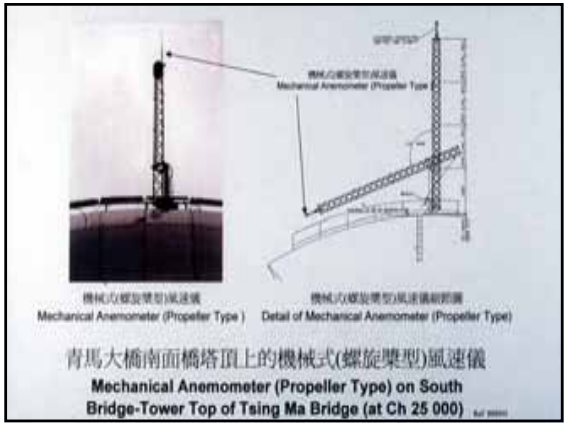
- 1879年Tay桥事故后开始引起重视
- 二十世纪50年代后期开始成为一门独立的学科
- 1963年后开始召开国际风工程会议
- 我国80年代后，随着大量新兴高层建筑和大跨桥梁的修建而得到迅速发展

风速仪

- 机械风速仪
- 价格低廉
- 只能测量水平方向的风速

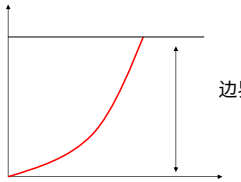
风速仪

- 超声波风速仪
- 价格高
- 能测量各个方向的风速



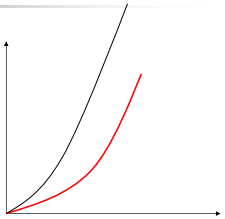
大气边界层

- 地面摩擦对空气产生阻力，使空气流动速度变慢，超过一定高度就可以忽略地面摩擦，该高度称为边界层；



平均风速剖面

- 对数率
- 指数率



	开阔地面	郊区	大城市中心
α	0.16	0.28	0.40

对数率

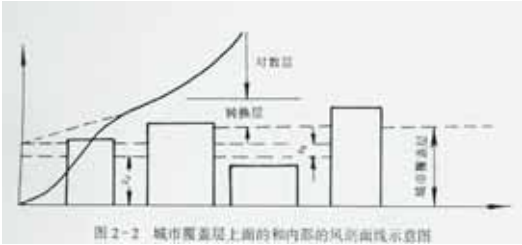
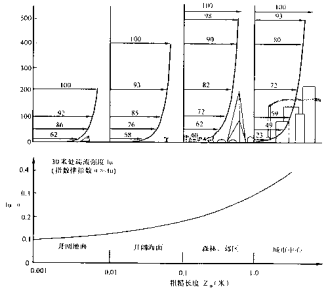


图 2-2 城市覆盖层上面的和内部的风剖面线示意图

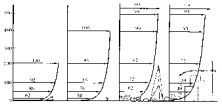
指数率



$$\frac{\bar{v}(z)}{v_b}=\left(\frac{z}{z_b}\right)^{\alpha}$$

指数率的系数

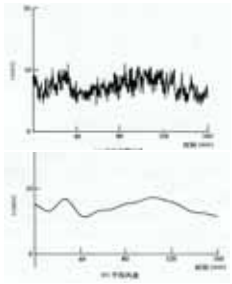
$$\frac{\bar{v}(z)}{v_b}=\left(\frac{z}{z_b}\right)^{\alpha}$$



地面粗糙度	描　　述	α
A	近海海面、海岛、海岸及沙漠地区	0.12
B	田野、乡村、丛林、丘陵及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区	0.16
C	密集建筑群的城市市区	0.22
D	密集建筑群且房屋较高的城市市区	0.30

风速与风谱

- 实际风速时程曲线
- 平均风速



基本风速

- 标准地面粗糙度
- 标准高度
  - 10m
- 标准重现期
  - 50年
- 平均风的时距
  - 10min

标准高度的规定

- 确定风速标准高度时需要考虑多方面原因
- 我国气象站的风速仪高度大多在8～12m之间
- 美国、加拿大等也采用10m标准风速高度
- 日本采用15m风速高度
- 挪威、巴西为20m
- 我国1970年前采用20m高度

平均风速的平均时距

- 塘沽1966年8月28日瞬时风速达到48.7m/s，10分钟平均风速15m/s，未成灾
- 1967年7月15日瞬时最大风速37.8m/s，10分钟平均风速21m/s，成灾
- 10分钟到1小时平均风速基本稳定，能保持当时风速的基本特点，又不至于受到过大瞬时风速的影响。

不同国家平均风速的规定

- 日本采用瞬时最大风速
- 美国采用t=3000/v，在半分钟到一个小时之间
- 英国、澳大利亚为3秒钟
- 加拿大为1个小时
- 丹麦为10分钟

最大风速的统计分布规律

- 采用年最大风速样本
- 50年重现期
- 不同重现期之间的换算

D.3.3 平均重现期为 R 的最大雪压和最大风速 x_R 可按下式确定：

$$x_R = u - \frac{1}{a}\ln\left[\ln\left(\frac{R}{R-1}\right)\right] \qquad (D.3.3)$$

D.3.4 全国各站台重现期为 10 年、50 年和 100 年的雪压和风压值见附表 D.4，其他重现期 R 的相应值可按下式确定：

$$x_R = x_{10} + (x_{100} - x_{10})(\ln R / \ln 10 - 1) \qquad (D.3.4)$$

风速重现期的统计规律

- 服从极值I型分布(广义Frechet分布)

$$F(x) = \exp\{-\exp[-a(x-u)]\}$$

式中 u—分布的位置参数，即其分布的众值；

a—分布的尺度参数。

分布的参数与均值 μ 和标准差 σ 的关系按下述确定：

$$a = \frac{1.28255}{\sigma}$$

$$u = \mu - \frac{0.57722}{a}$$

基本风压

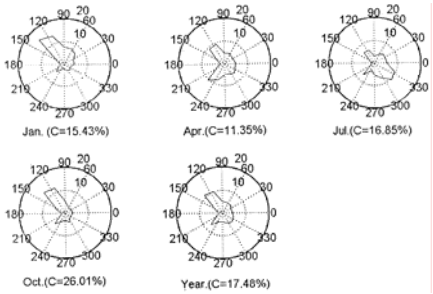
$$w = \frac{1}{2}\rho v^2$$

- 空气密度1.23g/m^3
- 规范规定基本风压计算为

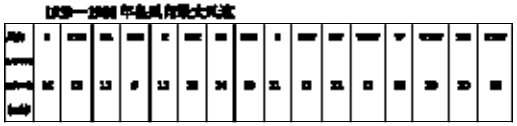
$$w_0 = \frac{v_0^2}{1600}$$

我国基本风压分布图

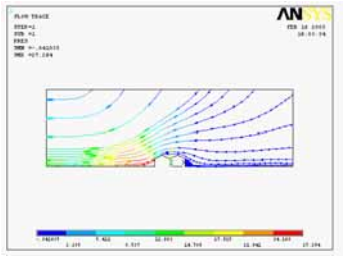
北京市风向分布规律



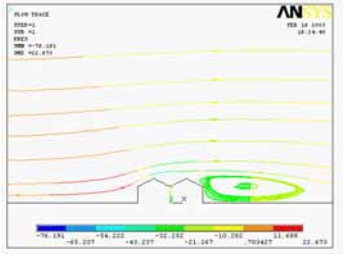
北京市各方向最大风速



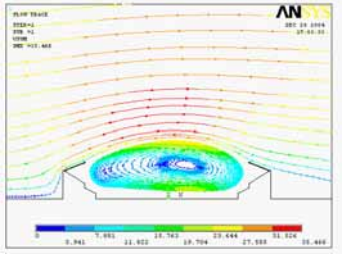
空气在结构物附近的流动



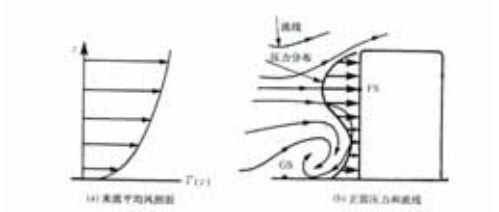
空气在结构物附近的流动



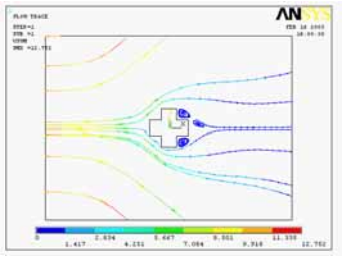
空气在结构物附近的流动



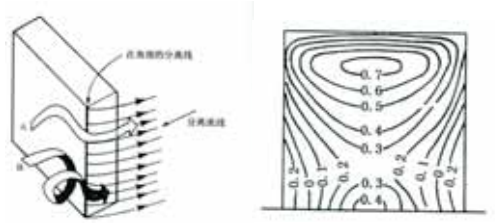
结构物正面流场



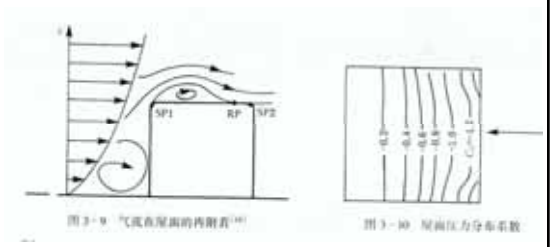
气流绕过建筑物侧面



建筑物正面风压



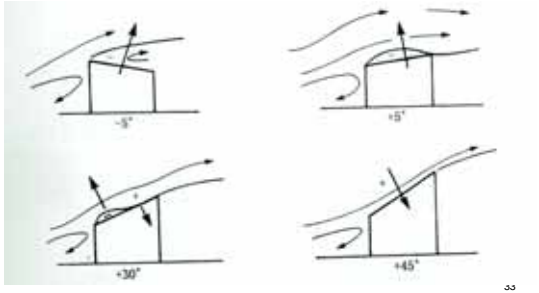
结构物顶面压力分布



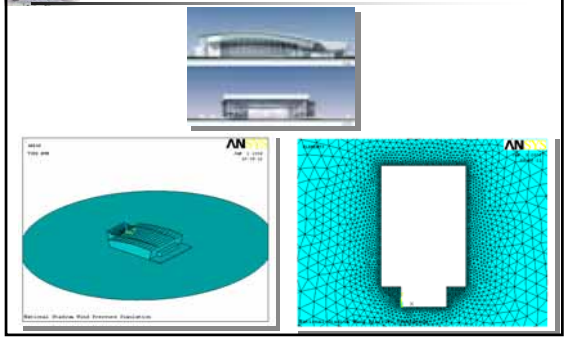
风压分布的基本特点

- 在正面风力作用下，迎风面一般均有正压力，此正压力在迎风面的中间偏上最大，两边及底下最小；
- 背风面承受全部负压力（吸力），一般两边略大，中间较小，分布比较均匀；
- 当风平行于建筑物侧面时，两侧一般也同时受吸力作用。迎风侧较大，背风侧小；

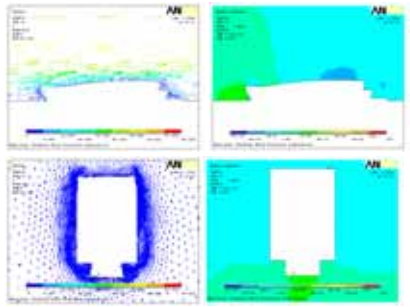
不同屋顶坡度的影响



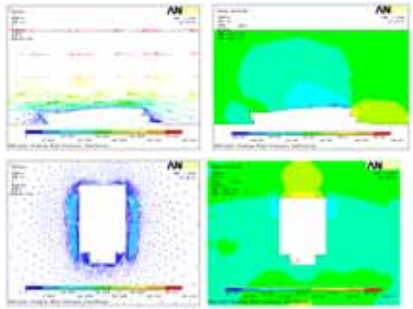
复杂结构附近风场



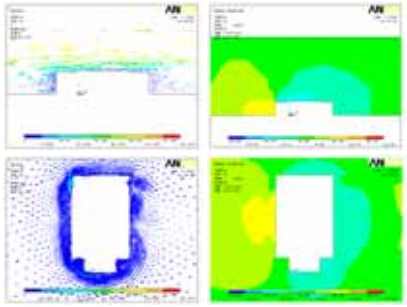
北风



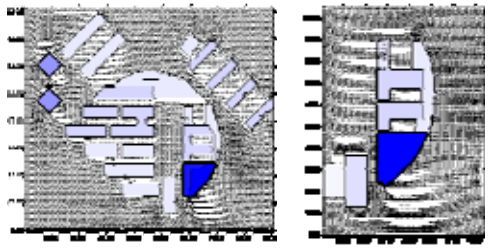
南风



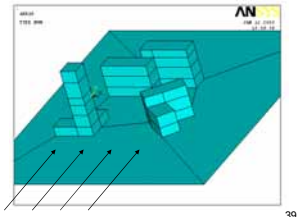
东风



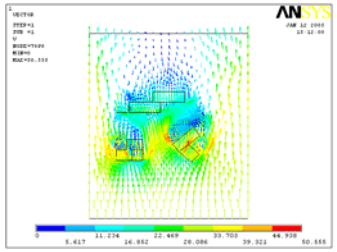
复杂楼群的风压分布



数值模拟

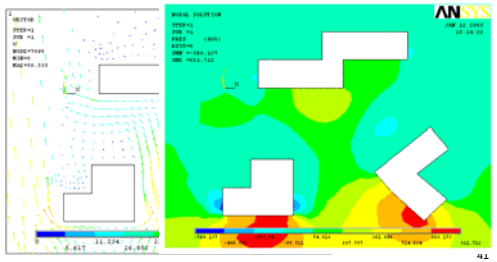


楼群流场分布



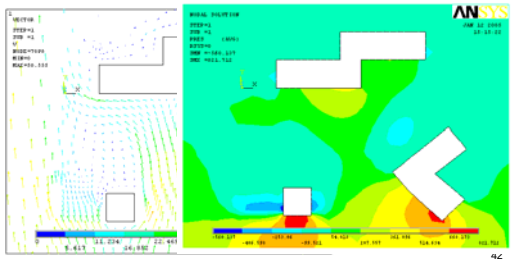
Wind speed and pressure

- H=1.5m



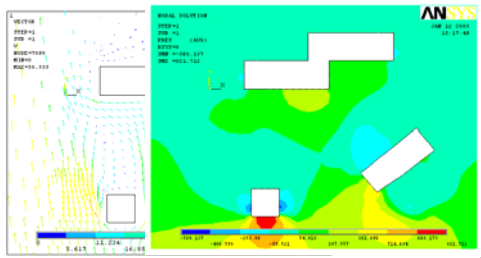
Wind speed and pressure

- H=15m



Wind speed and pressure

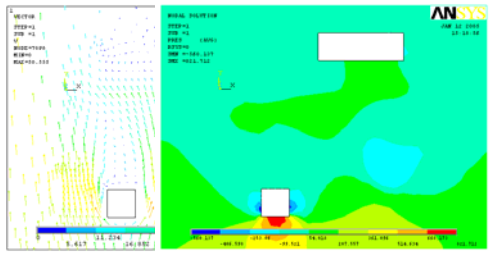
- H=35m



43

Wind speed and pressure

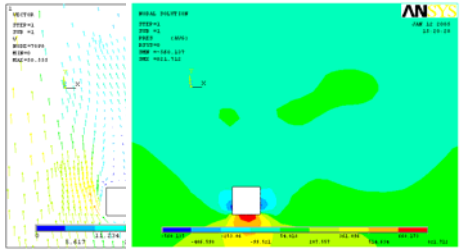
- H=55m



44

Wind speed and pressure

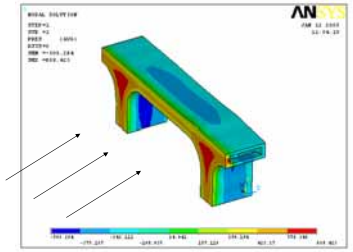
- H=85m



45

Wind pressure on structures

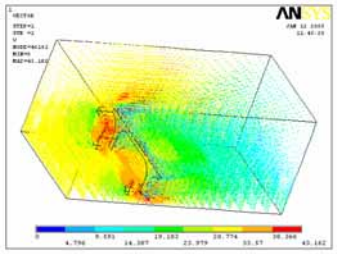
- Bridge



46

Wind pressure on bridge

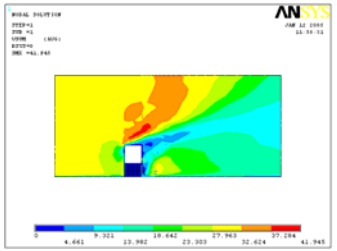
- Total speed field



47

Wind pressure on bridge

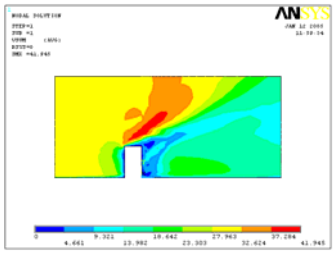
- Near to Pipe



48

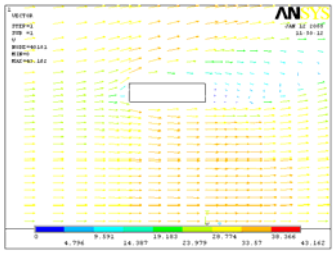
Wind pressure on bridge

- Pipe

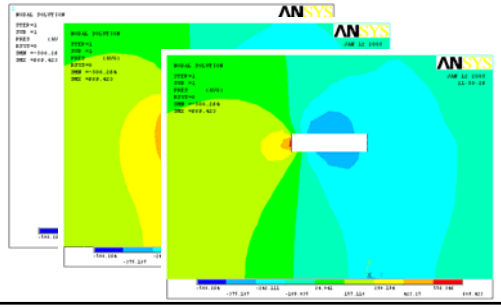


Wind pressure on bridge

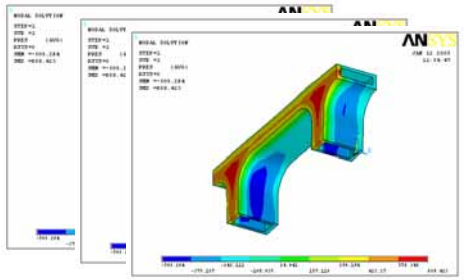
- Deck



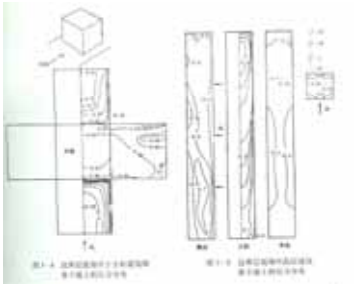
Wind pressure on bridge



Wind pressure on bridge



结构上的风荷载



结构上的平均风荷载

$$P_{cz} = \mu_s \mu_z w_0 A$$

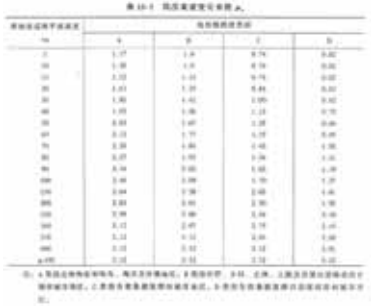
- μ_s：风压体形系数
- μ_z ：风压高度系数
- w_0：基本风压
- A：迎风面积
- 风荷载的组合值、频遇值和准永久值分别为0.6，0.4，0

规范规定的风压高度系数计算公式

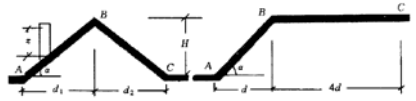
$$\mu_z=\begin{cases}1.17\left(\dfrac{z}{5}\right)^{0.24} & \text{A}\\ 1.00\left(\dfrac{z}{10}\right)^{0.32} & \text{B}\\ 0.74\left(\dfrac{z}{15}\right)^{0.44} & \text{C}\\ 0.62\left(\dfrac{z}{30}\right)^{0.60} & \text{D}\end{cases}$$

风压高度变化系数

$$\frac{\bar{v}(z)}{v_b}=\left(\frac{z}{z_b}\right)^{\alpha}$$



非标准场地的风压修正



$$\eta_B=\left[1+ktg\alpha\left(1-\frac{z}{2.5H}\right)\right]^2$$

式中 $tg\,\alpha$—山峰或山坡在迎风面一侧的坡度：当 $tg\,\alpha>0.3$ 时，取 $tg\,\alpha=0.3$；

k—系数，对山峰取 3.2，对山坡取 1.4；

H—山顶或山坡全高(m)；

z—建筑物计算位置离建筑物地面的高度，m；当 $z>2.5H$ 时，取 $z=2.5H$。

非标准场地的风压修正

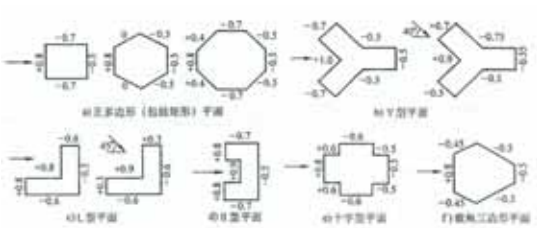
- 山间盆地、谷地等闭塞地形，修正系数取 0.75~0.85
- 对于与风向一致的谷口、山口，修正系数取 1.2~1.5

7.2.3 对于远海海面和海岛的建筑物或构筑物，风压高度变化系数可按 A 类粗糙度类别，由表 7.2.1 确定外，还应考虑表 7.2.3 中给出的修正系数。

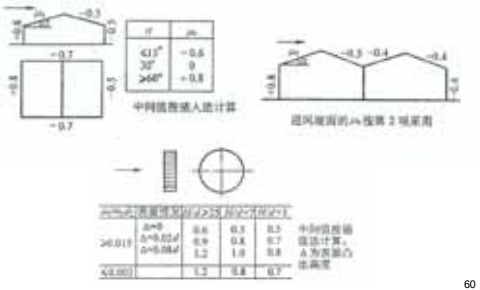
表 7.2.3　远海海面和海岛的修正系数 η

距海岸距离(km)	η
<40	1.0
40~60	1.0~1.1
60~100	1.1~1.2

结构物体形系数

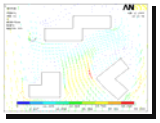
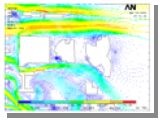


结构物体形系数



多个建筑物

- 在风压体形系数上乘以相应的增大系数以考虑建筑物之间的相互影响；
- 必要情况下应通过风洞试验加以确定


维护构件

- 正压区，按一般体形系数取用
- 负压区
  - 对墙面，取-1.0
  - 对墙角边，取-1.8
  - 对屋面局部部位（周围和屋面坡度大于10度的屋脊部位），取-2.2
  - 对檐口、雨篷、遮阳板等突出构件，取-2.0
- 局部作用宽度为房屋宽度的0.1或者房屋平均高度的0.4，取其小者，但不小于1.5m

建筑物的内表面

- 根据外表面的风压情况取为0.2或者-0.2