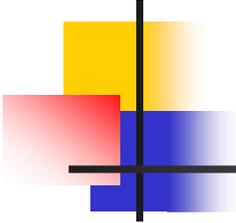


# 大气边界层风速增量的概率密度函数

---

刘磊 胡非

中科院大气物理研究所 LAPC

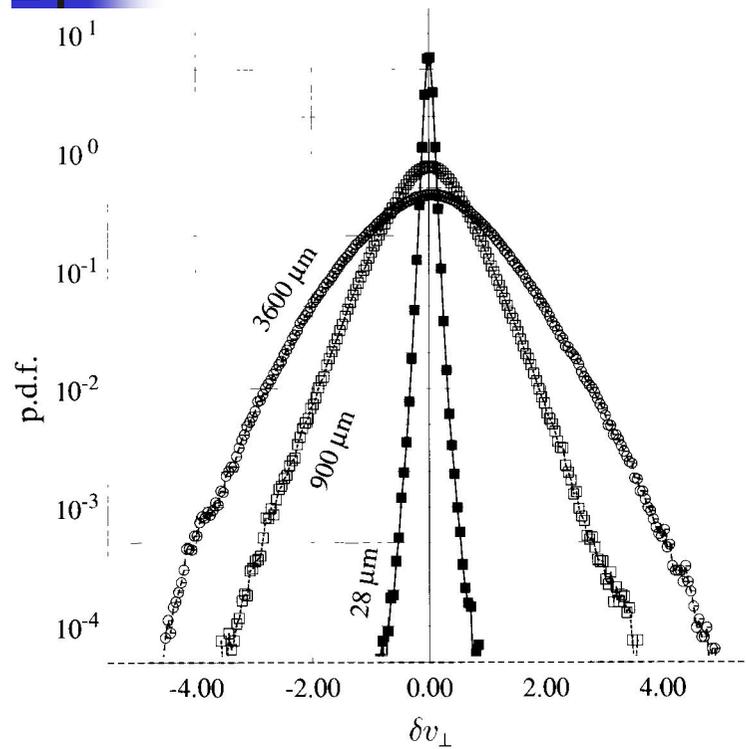


# 工作动机

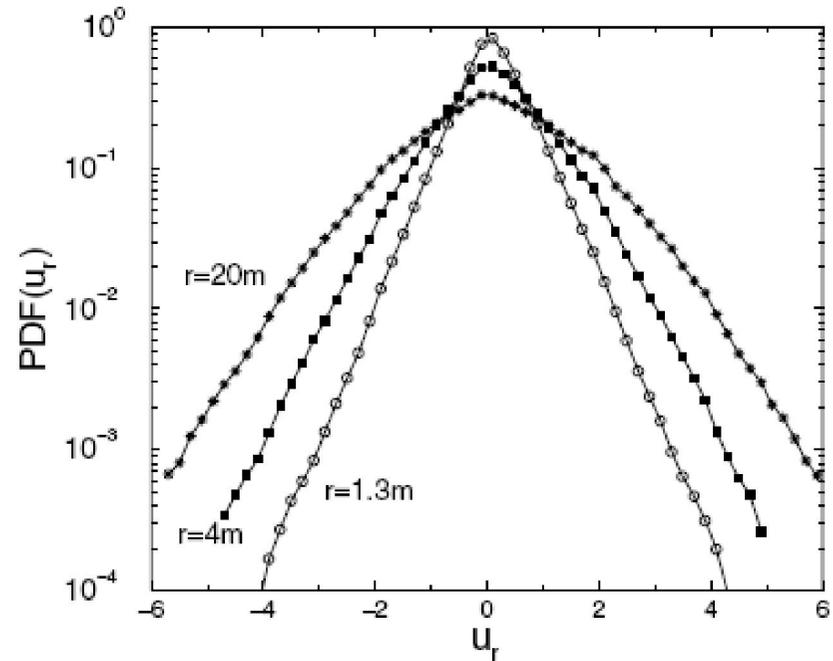
---

- n 在风能研究领域，风速增量与阵风有关，对其统计规律的研究有助于风能开发中风机载荷的设计
- n 有助于了解大气湍流的相干结构和间歇性特征及其物理机制

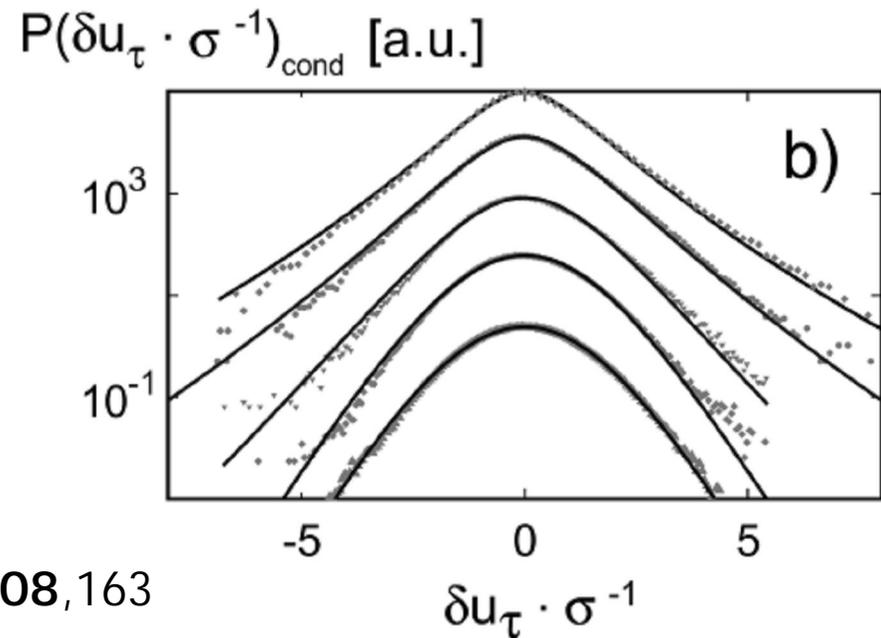
# 研究现状



左图：Frisch, *Turbulence*, Cambridge

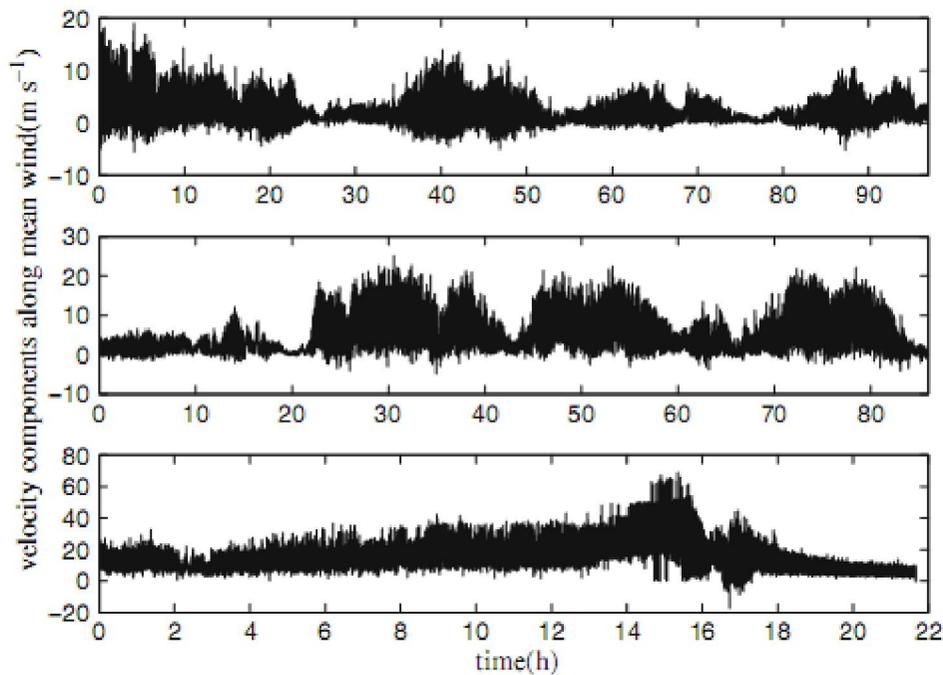


右上图：PRL, **87**, 254501



右下图：Boundary-Layer Meteorol., **108**, 163

# 我们的研究工作

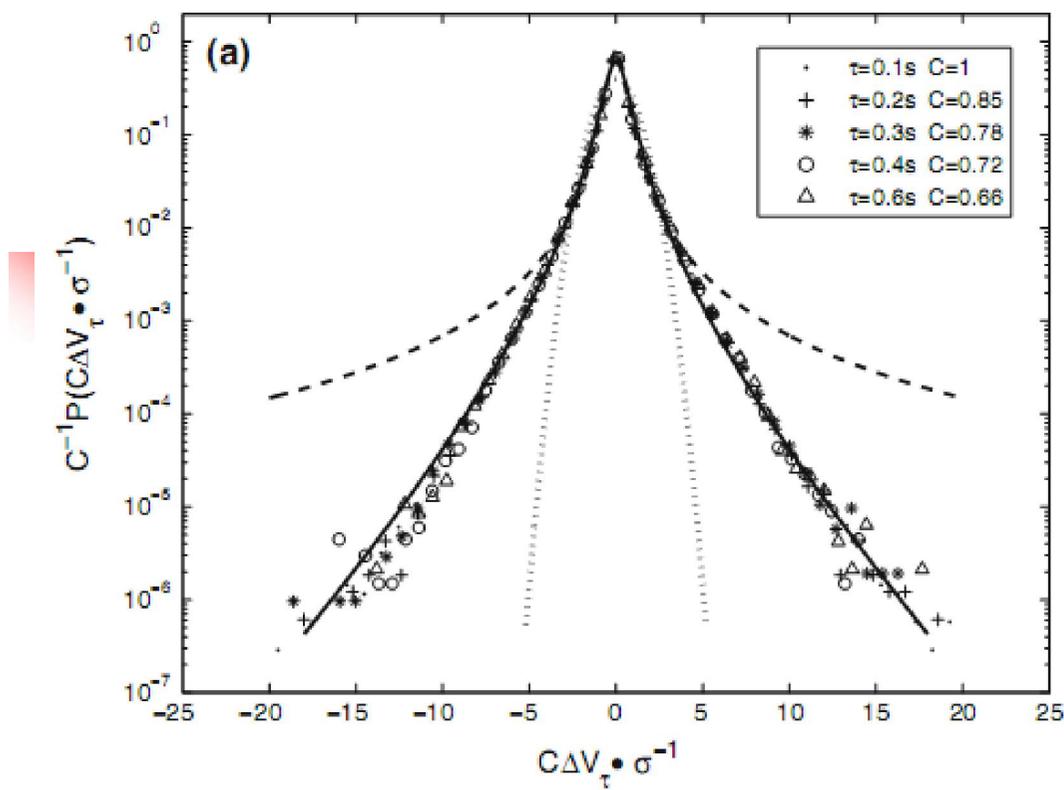


(a) 北京325m气象塔 一般天气

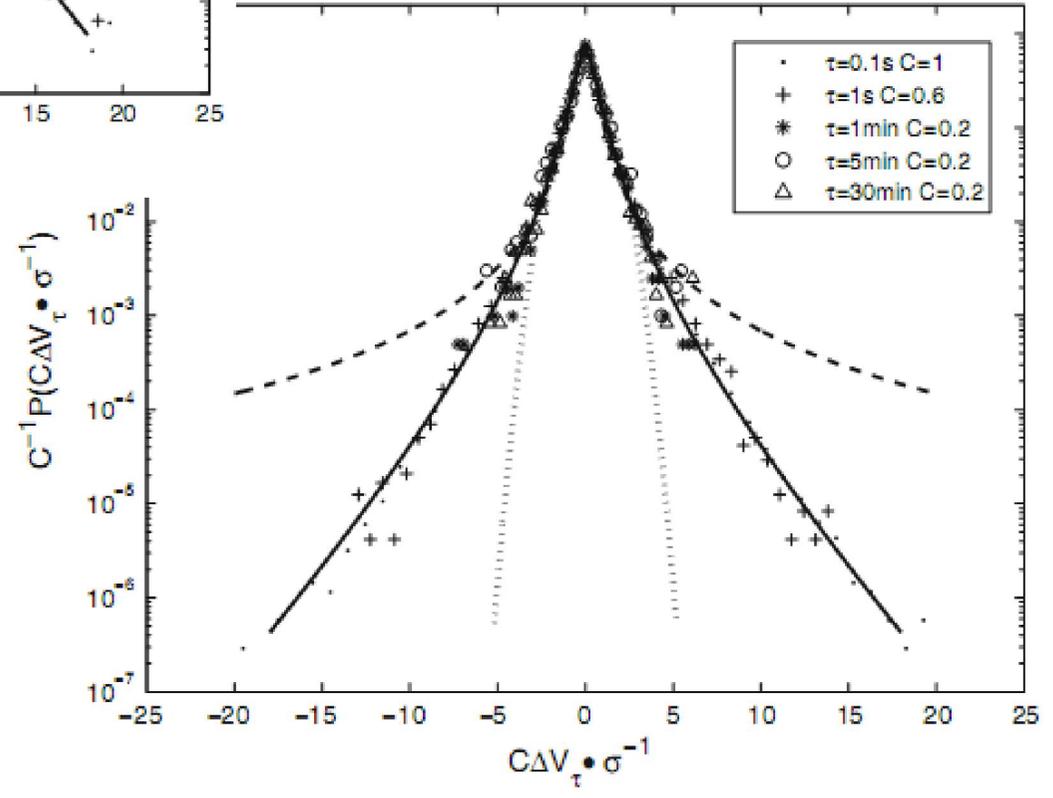
(b) 北京325m气象塔 沙尘暴

(c) 广东沿海 台风

$$V(t) = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}, \quad \Delta V_\tau = V(t + \tau) - V(t)$$

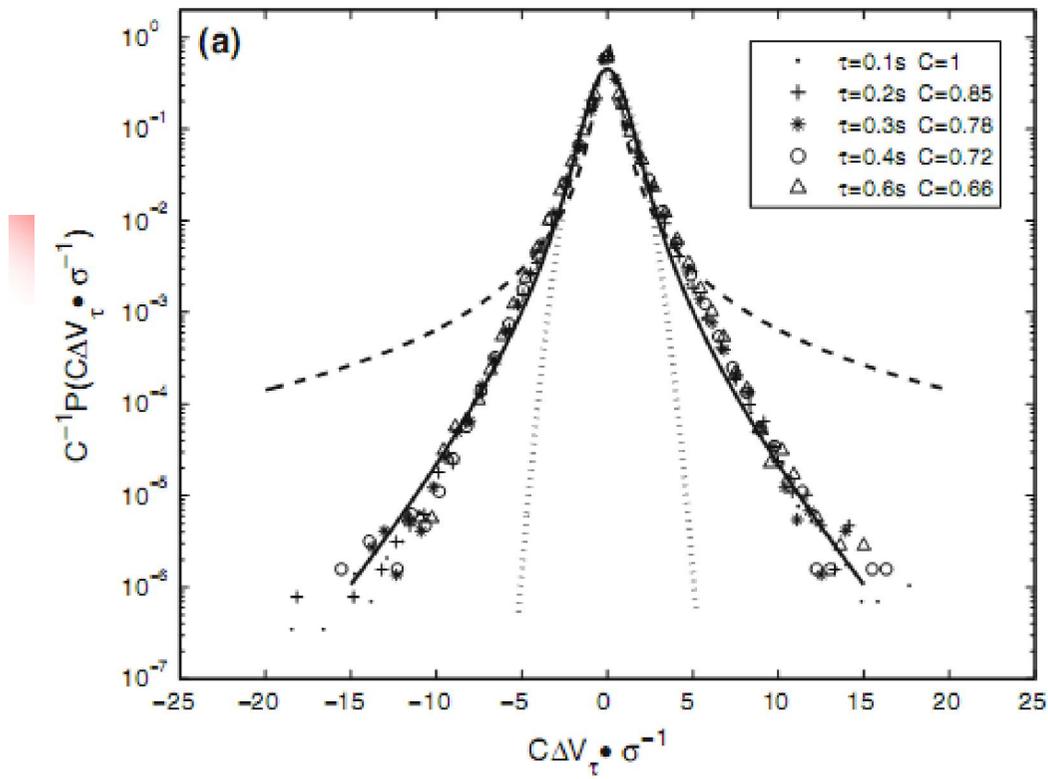


一般天气

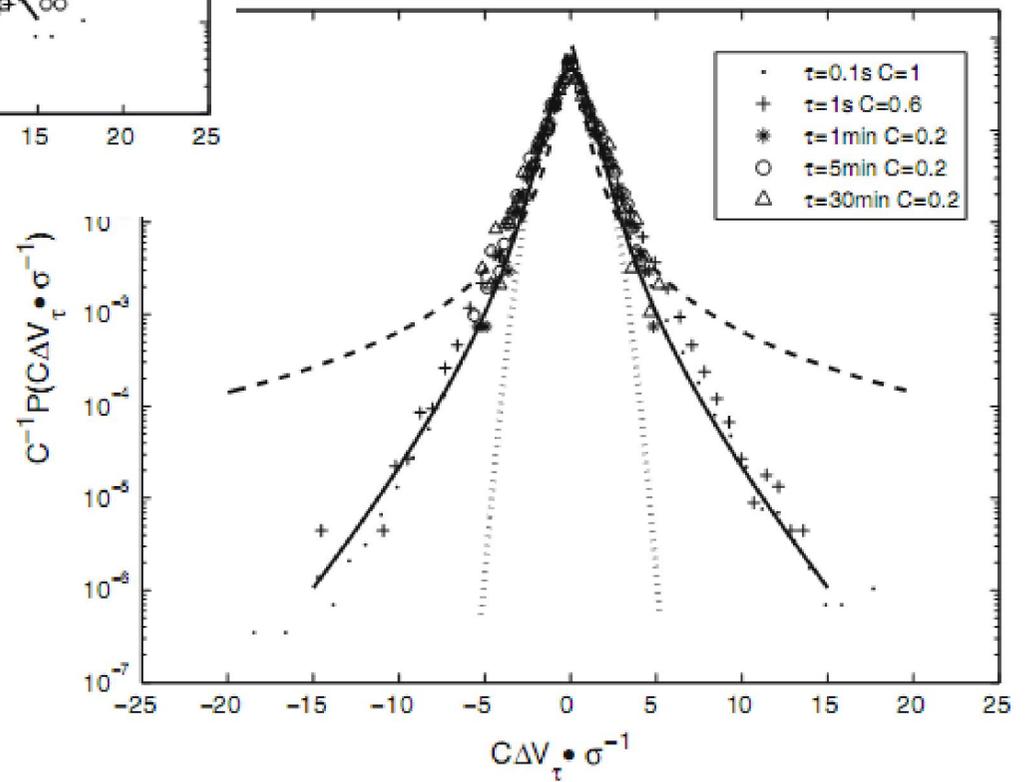


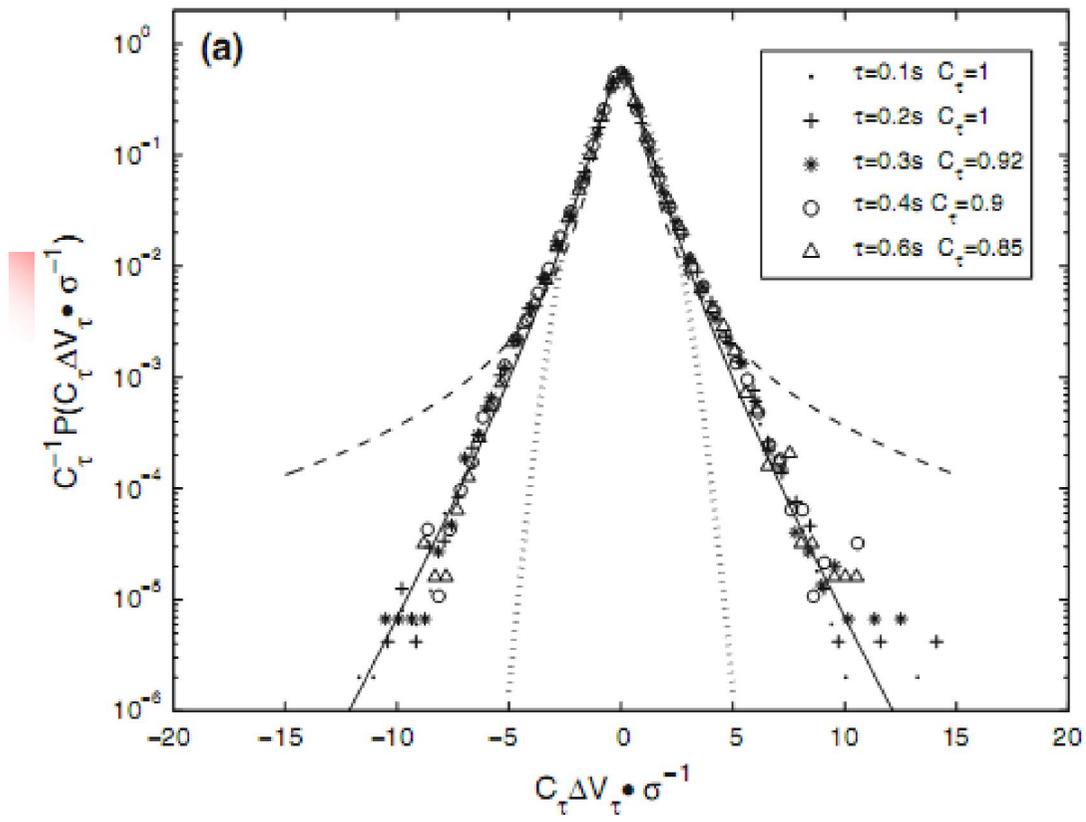
特点：

- 1) 概率密度函数 (PDF) 是对称的；
- 2) 通过一定的缩放变化，不同时间间隔下的PDF彼此可以重合

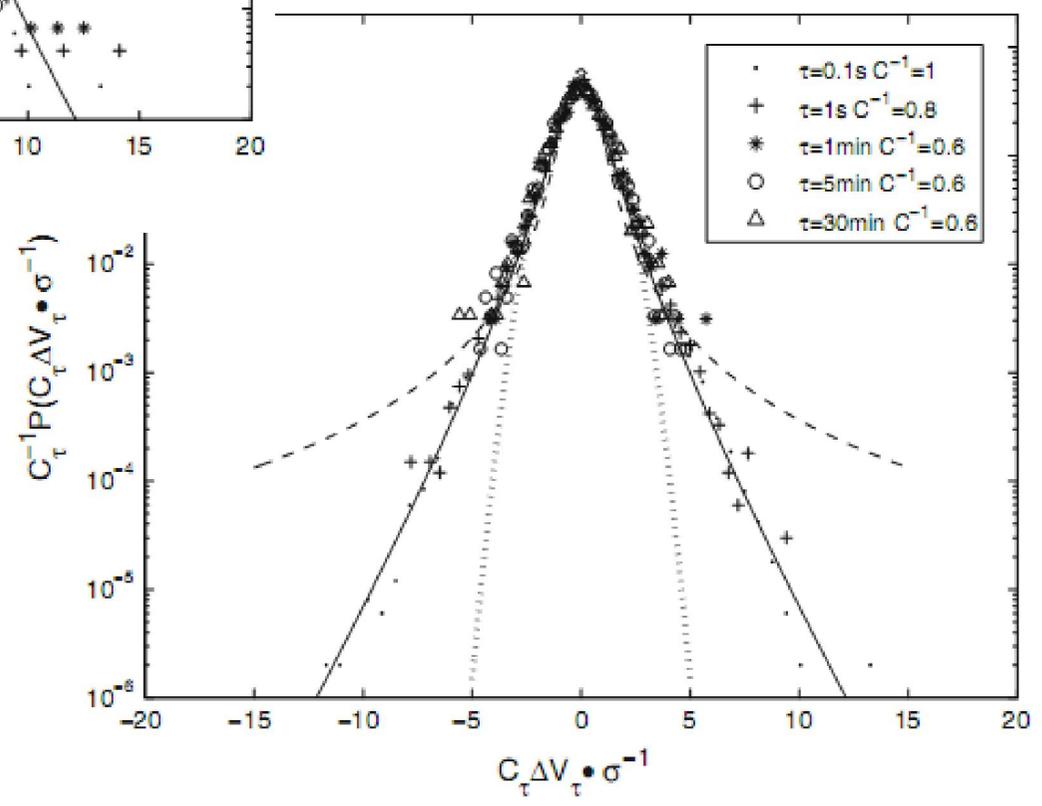


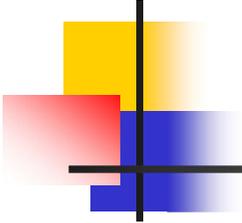
沙尘暴





台风



- 
- n 如果一个随机变量 $X$ 具有以下性质，我们称其为稳定分布：

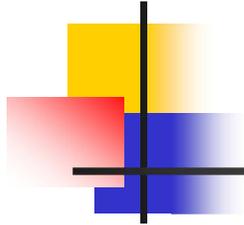
$$\sum_{i=1}^n X_i \stackrel{d}{=} a_n + b_n X,$$

其中  $X_1, X_2, \dots$  是独立同分布的随机变量，且于 $X$ 具有相同的分布。

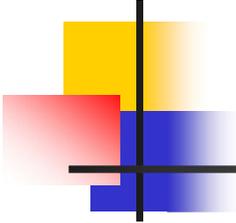
- n 此外，不同时间间隔下的风速增量满足：

$$\Delta V_\tau = \sum_{i=1}^N \Delta V_{\delta\tau, i} \quad N = \frac{\tau}{\delta\tau}$$

其中  $\delta\tau$  是最小的时间间隔，对于10Hz采样频率而言，最小时间间隔为0.1s



数据分析结果表明，大气边界层湍流风速在不同时间间隔下的增量具有对称分布的特征，可尝试用稳定分布来拟合数据

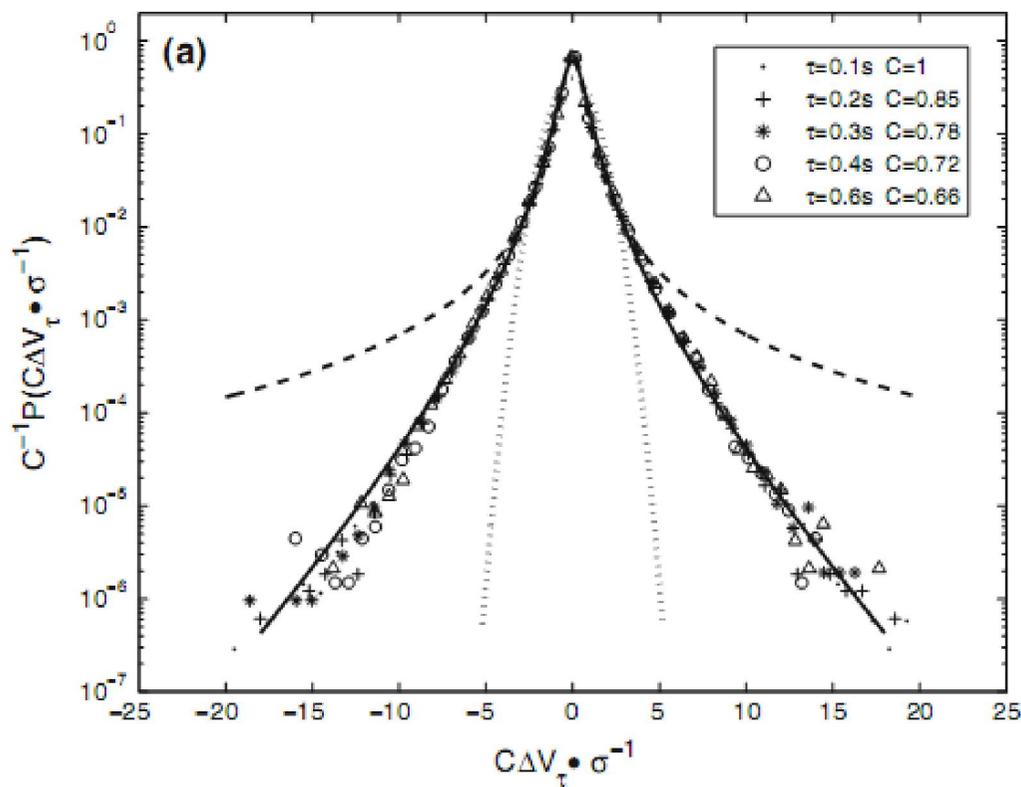


# 参数估计

---

- n 对称稳定分布通常用两个参数：特征指数 $\alpha$ 和缩放指数 $\gamma$ 来描述
- n 利用Fama和Roll提出的分位数技术可以对这两个参数进行估计  
(Journal of American Statistical Association, **66**, 331)

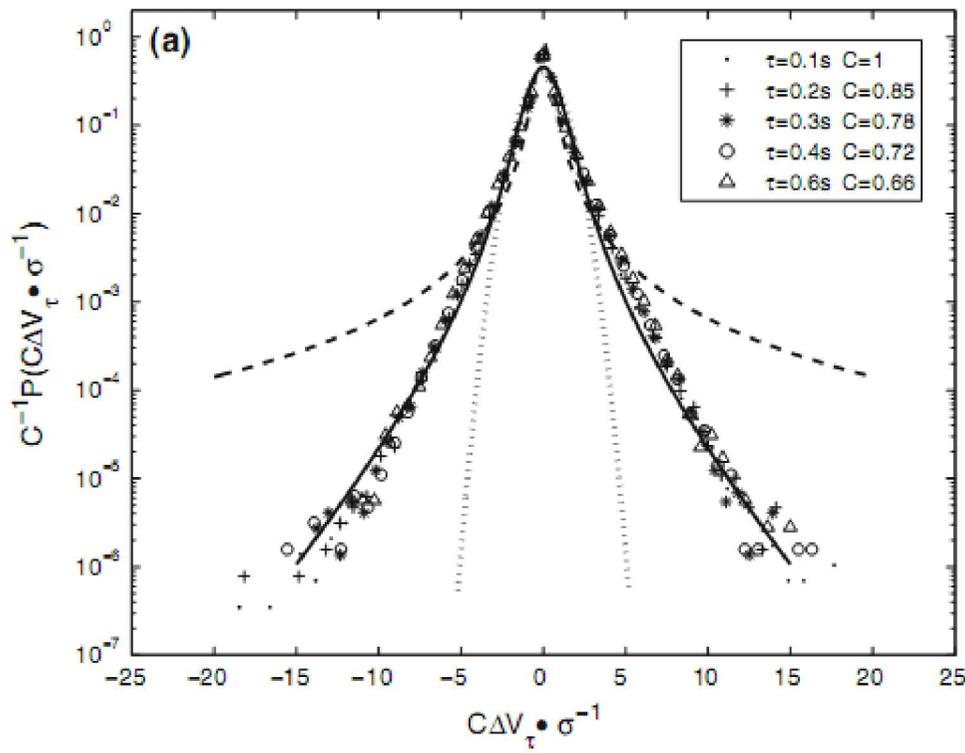
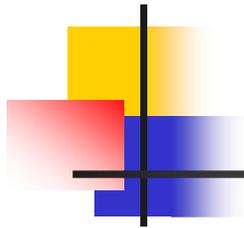
# 拟合结果



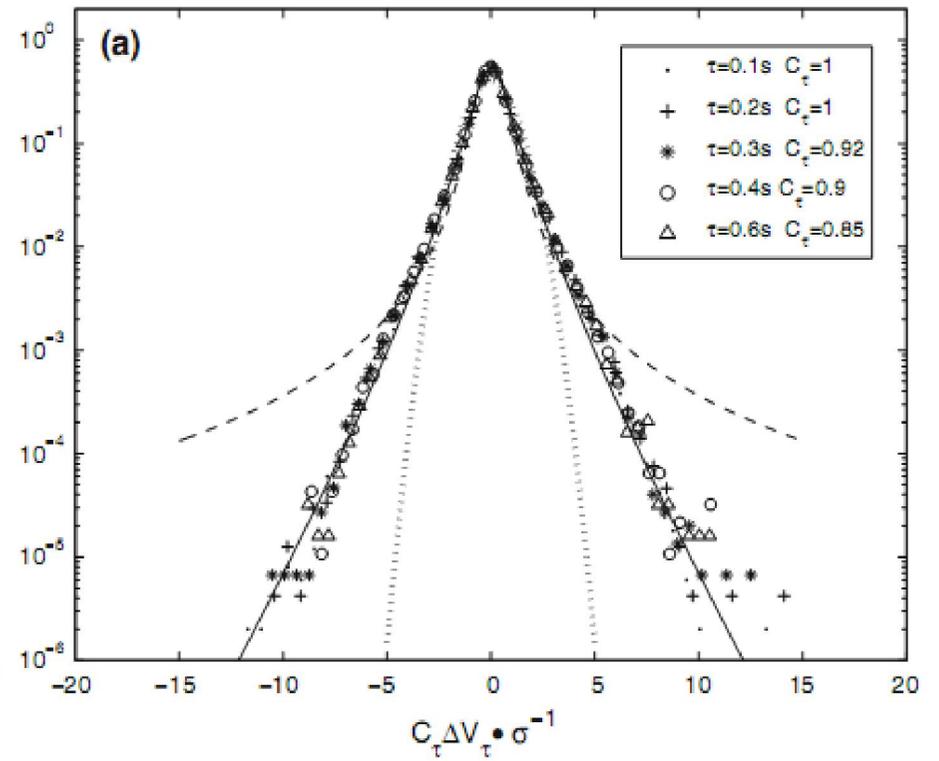
困境：

稳定分布在尾部与数据出现偏差（虚线），出现偏差的物理原因：稳定分布方差发散，而风速增量的方差表示的是湍流的动能，是一个有限量

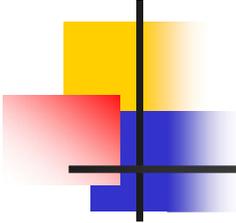
解决方案：Koponen 截断稳定分布（实线）



沙尘暴



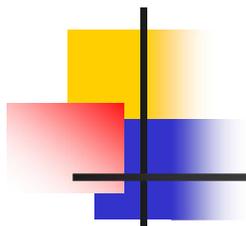
台风



## 结论

---

- n 与实验室湍流不同，大气边界层湍流风速增量在不同的时间间隔下都具有对称分布的特征，其参数可以用分位数技术进行估计；
- n 然而数据与稳定分布在尾部出现偏差，这是由于湍涡的动能有限所造成的，可用Koponen截断稳定分布来拟合
- n 上述规律在不同的天气条件，甚至在沙尘暴和台风这样的极端天气条件下都满足。



谢 谢