



Chinese FLUX Observation and Research Network
ChinaFLUX



ChinaFLUX第十八次通量观测理论与技术培训

通量站点位置的选择以及测量设备的选择和安装

李彦磊 (yanlei.li@Campbell.com.cn)
Campbell Scientific Inc.

通量站点位置的选择

为什么涡动通量观测在站址上需要仔细考虑，而不是放在随意的地点或者位置上？

- 减小观测误差，提高观测结果的准确性
- 付出的努力（时间，资金）最小化，观测结果的代表性达到最好
- 在一些环境和地形的条件下，我们想要得到的和观测的结果是不一致的

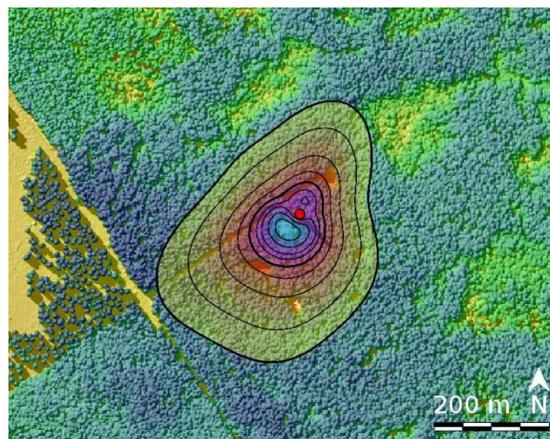
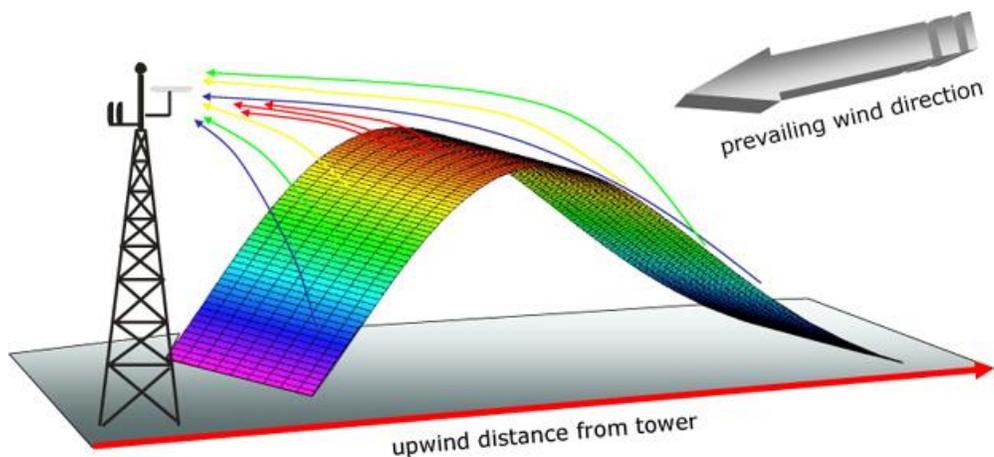
在实际应用时，通常需要考虑Footprint，主风向，Fetch以及安装高度等因素。



Footprint

Footprint: 在一定环境条件下，观测仪器能“看到”的地面上的最大区域；在地面上的一块区域内，其中的源或者汇对仪器观测到的通量都有不同程度的贡献。

通量源区模型通常用来解释通量测量结果，也可根据源区范围与研究区域的重合程度判断观测结果的质量

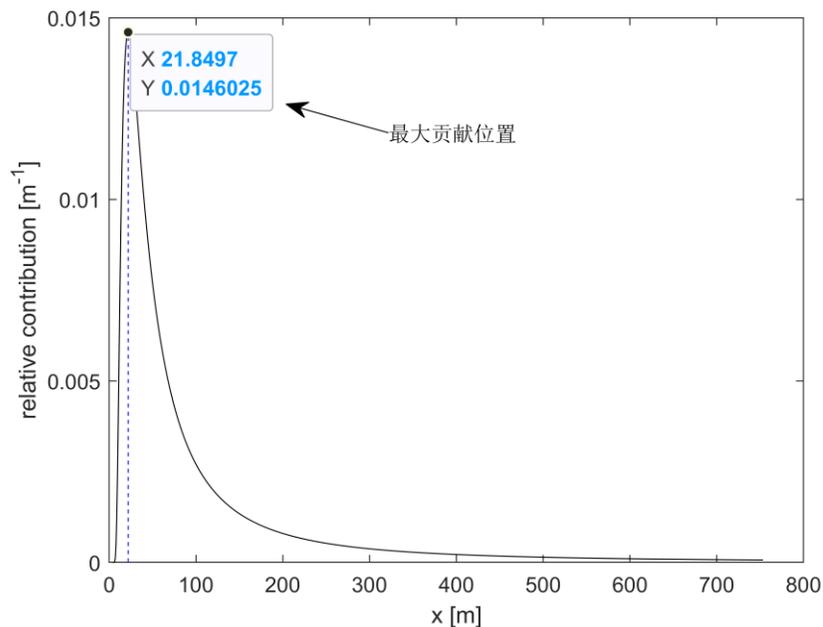


- 均一测量：≥95%的通量来自目标源区
- 代表性测量：80%~95%
- 可接受测量：50%~80%
- 受干扰测量：<50%

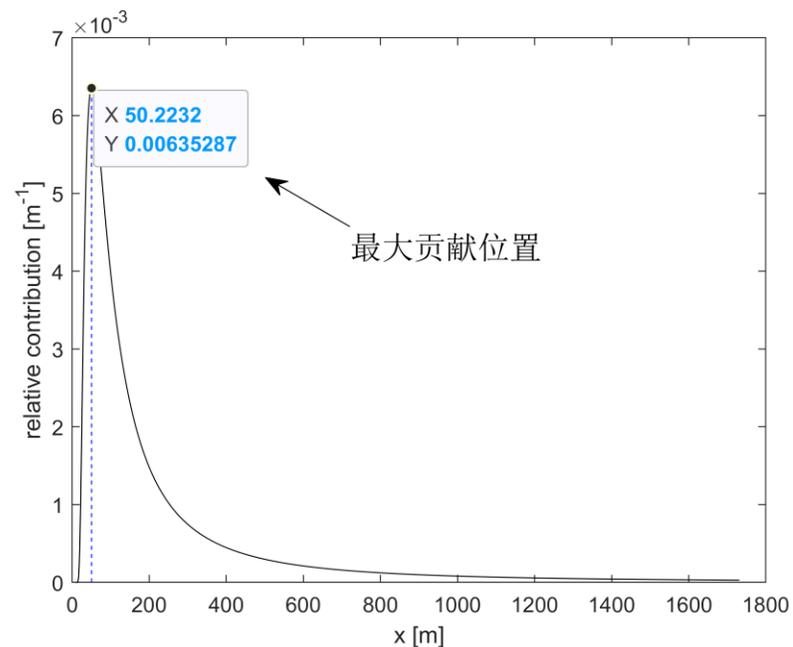


Footprint

使用Footprint工具估算源区贡献范围 (On-line tools: <https://footprint.kljun.net>)。Footprint的影响因子有观测高度，地面粗糙度以及大气层结稳定度



安装高度5m, 粗糙度0.01, $z/L = -1$ (不稳定层结)

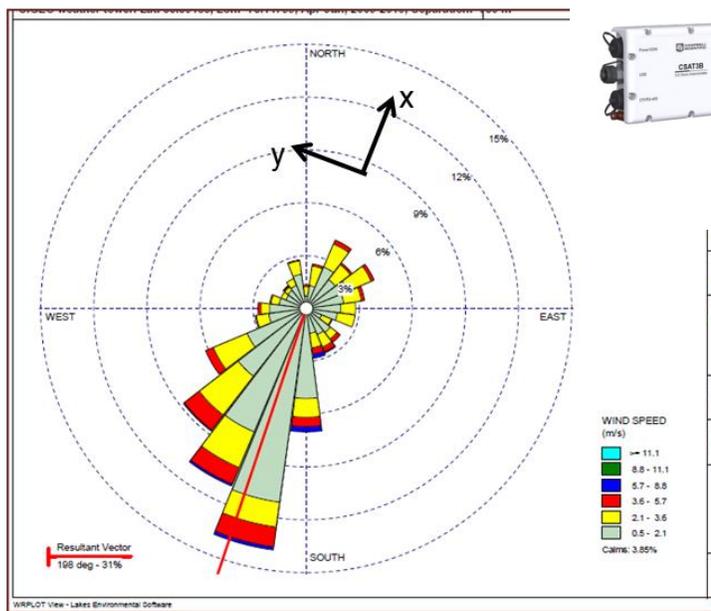


安装高度5m, 粗糙度0.01, $z/L = 1$ (稳定层结)

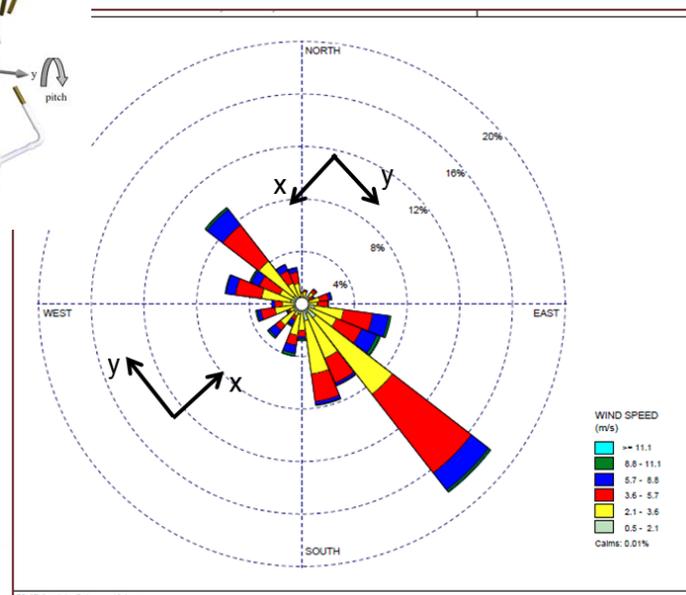
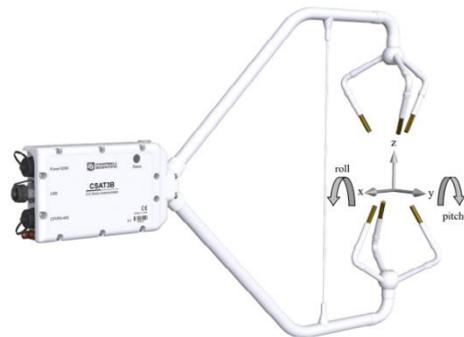


主风向

涡动系统测量得到的通量主要来源于上风向，测量站点应处于目标源区的下风向。在安装设备前，通过查询安装地点历史气象数据或当地气象局的数据确定当地的主风向



单一盛行风向



两个盛行风向



主风向

将观测设备布置在目标区域的主风向的下风向，利于提高观测数据的质量等级

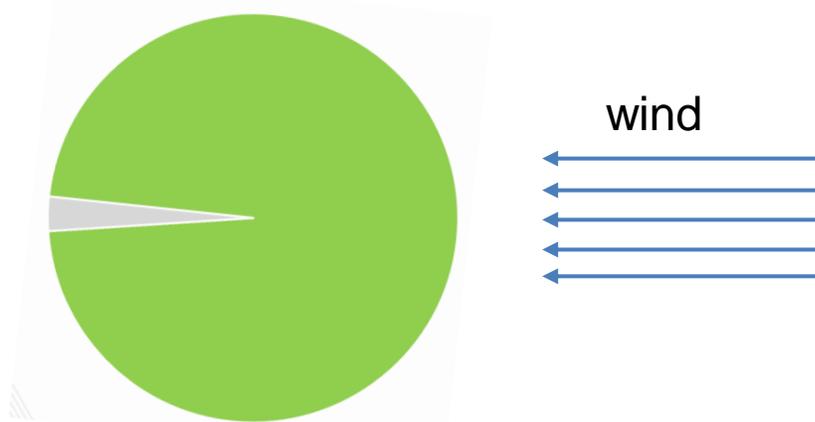
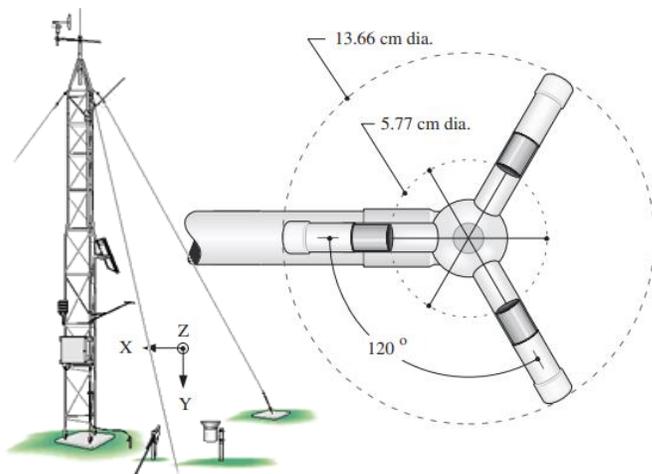


Table 4.5 Proposal for the combination of the single quality flags into a flag of the general data quality (Foken et al. 2004)

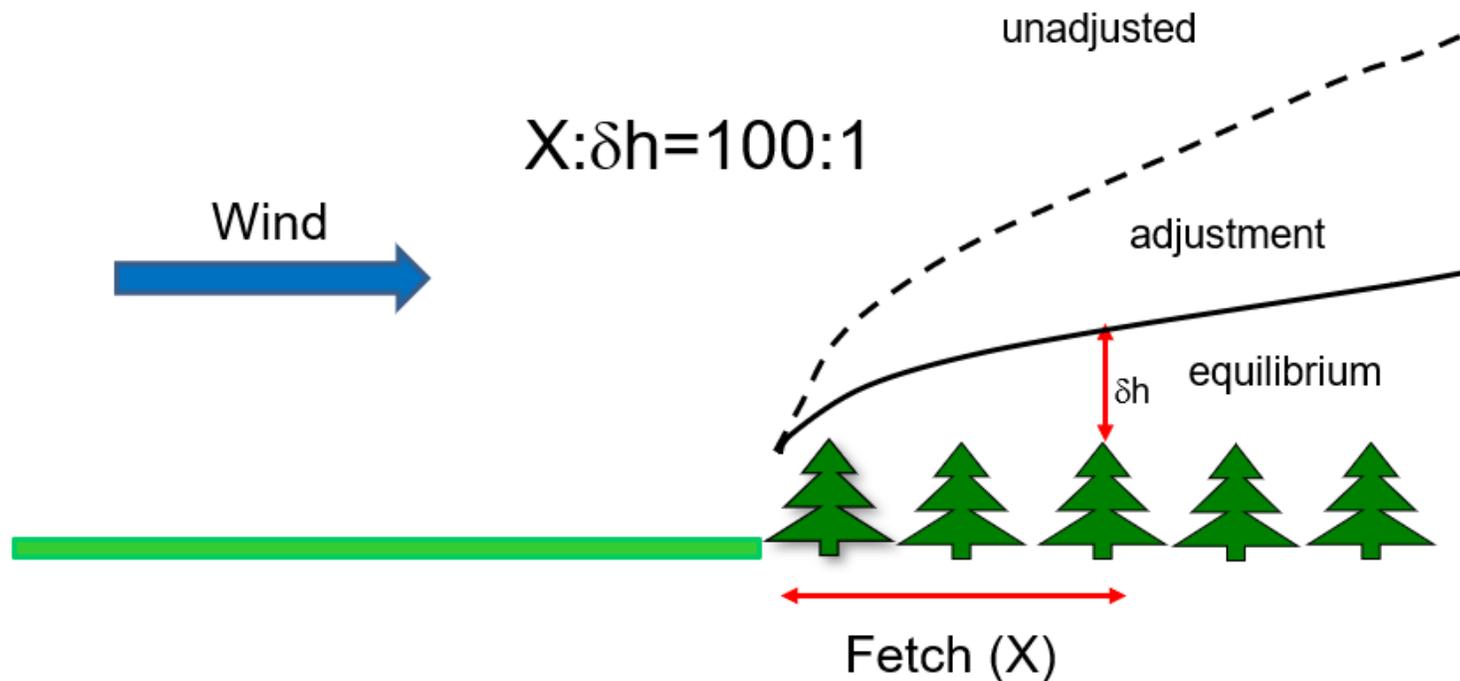
Flag of the general data quality	Steady state test according to Eq. 4.38	Integral turbulence characteristics according to Eq. 4.41	Horizontal orientation of the sonic anemometer
1	1	1-2	1-5
2	2	1-2	1-5
3	1-2	3-4	1-5
4	3-4	1-2	1-5
5	1-4	3-5	1-5
6	5	≤5	1-5
7	≤6	≤6	≤8
8	≤8	≤8	≤8
9	≤8	6-8	≤8
	one flag equal to 9		

Table 4.1 Classification of sonic anemometers (Based on a classification by Foken and Oncley 1995; Mauder et al. 2006)

Anemometer class	Sensor type
A Basic research for flux measurements	Kaijo-Denki A-Probe Campbell CSAT3, Solent HS
B General use for flux measurements	Kaijo-Denki B-Probe Solent Wind Master, R2, R3 METEK USA-1, Young 81000
C General use for wind measurements	sensors of class B 2D-anemometer of different producers

Fetch

Fetch: 指一个观测点的上风向的水平距离，在这个距离范围内植被比较均一，没有明显的特征变化。



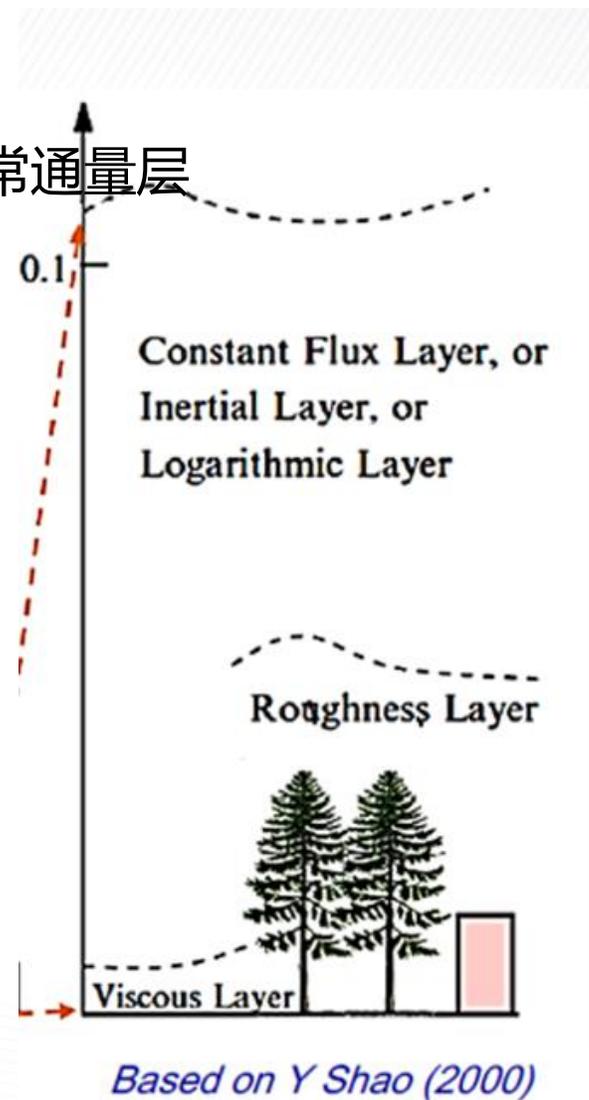
观测高度

满足Fetch和Footprint的要求，观测设备的高度通常需要位于常通量层

- 常通量层底部：1.5~2倍的植被高度
- 常通量层顶部：几十米到100m左右

不同的植被类型的安装高度通常建议：

- 森林： $z_m > d + 4(z - d)$
- 矮小灌木： z_m 为 5~6m
- 农田：生长初期 $z_m = 1.5 \sim 2$ m, 生长季后期6~8 m



复杂地形的通量观测

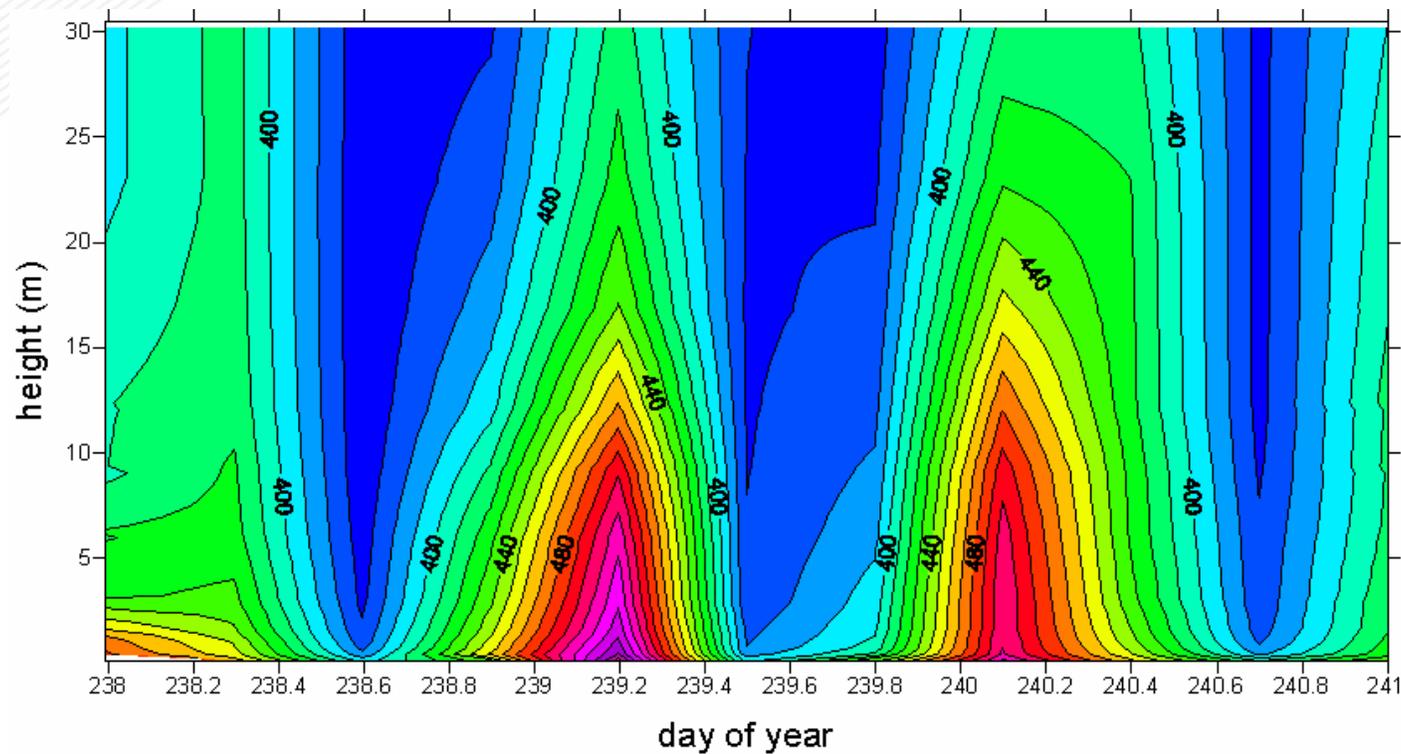
净生态系统碳交换量由储存项，平流通量项和湍流通量项三组分组成

$$NEE = Storage + Transport_{adv} + Transport_{turb}$$

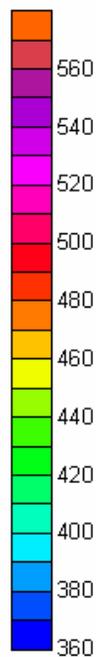
$$\int_{-L}^L \int_{-L}^L \int_0^{h_m} \overline{S_s} dz dy dz = \int_{-L}^L \int_{-L}^L \int_0^{h_m} \left[\underbrace{\frac{\partial \chi_s}{\partial t}}_{\text{Storage Term}} + \underbrace{\overline{u} \frac{\partial \chi_s}{\partial x} + \overline{v} \frac{\partial \chi_s}{\partial y} + \overline{w} \frac{\partial \chi_s}{\partial z}}_{\text{Advection Transport}} + \underbrace{\frac{\partial \overline{u' \chi_s'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v' \chi_s'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w' \chi_s'}}{\partial z}}_{\text{Turbulent Transport}} \right] dz dy dz$$



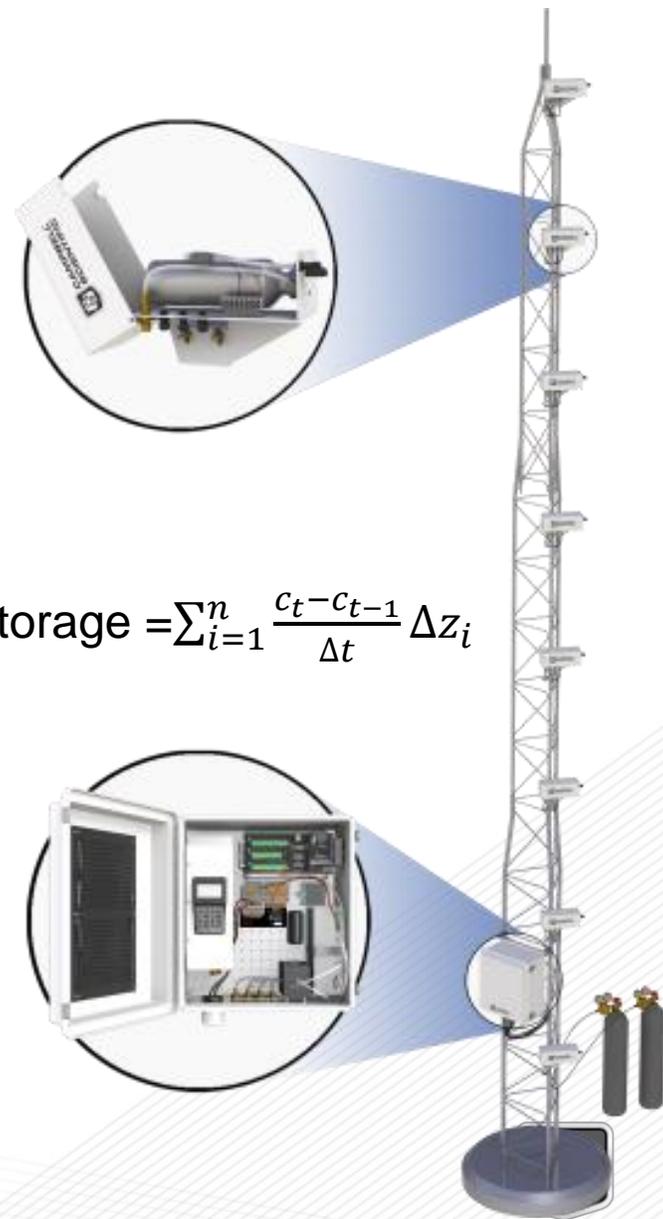
复杂地形的通量观测



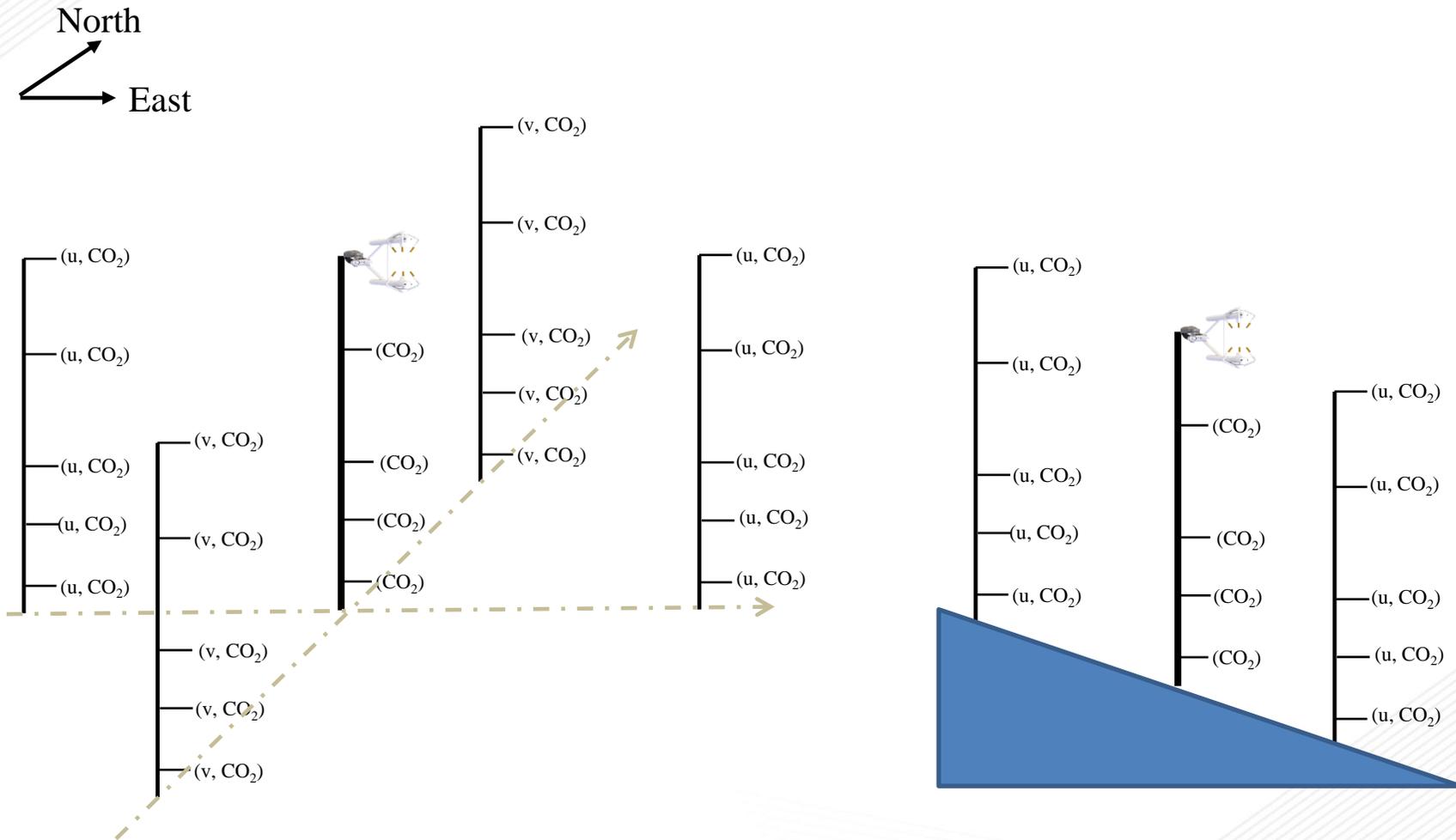
Buildup of CO₂ below temperature inversion level at night



$$\text{Storage} = \sum_{i=1}^n \frac{c_t - c_{t-1}}{\Delta t} \Delta Z_i$$



复杂地形的通量观测



How to measure advection terms?

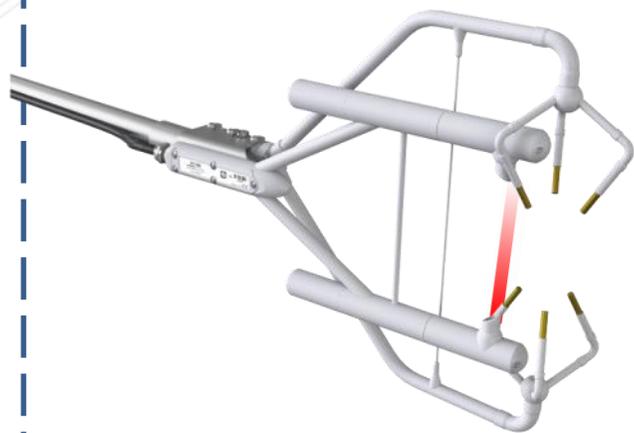


观测仪器的选择和安装



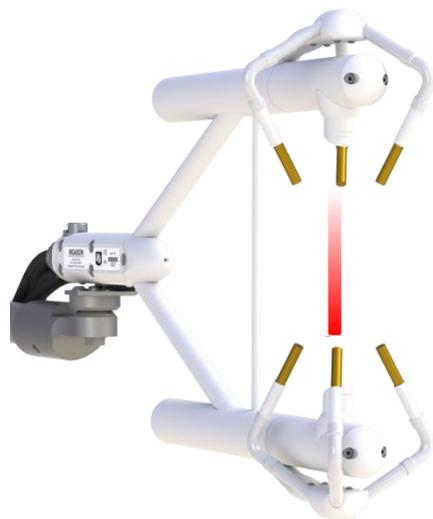
涡动相关测量系统

分离式



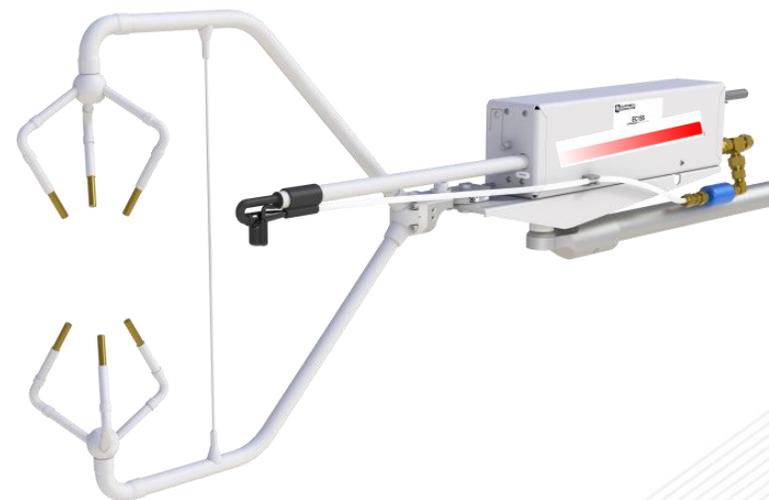
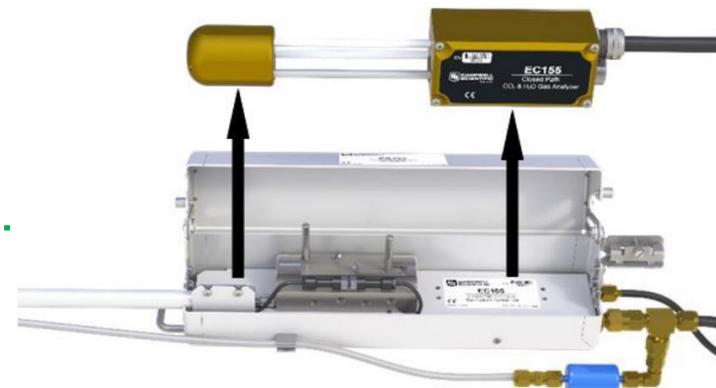
EC150 + CSAT3A

一体式



IRGASON

开路式涡动相关系统



CPEC300 Series

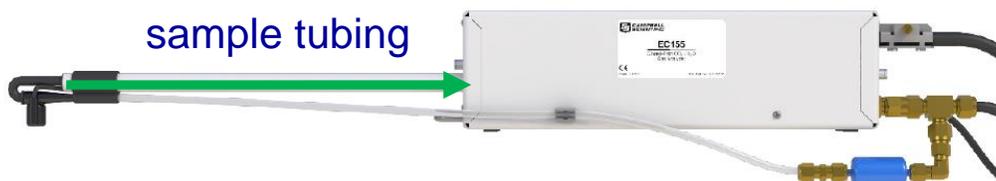
闭路式涡动相关系统



涡动相关测量系统

新型闭路涡动相关系统

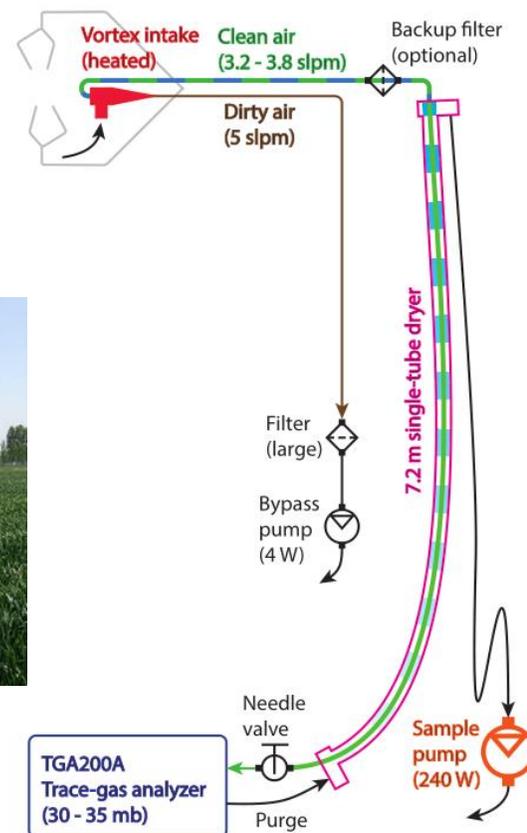
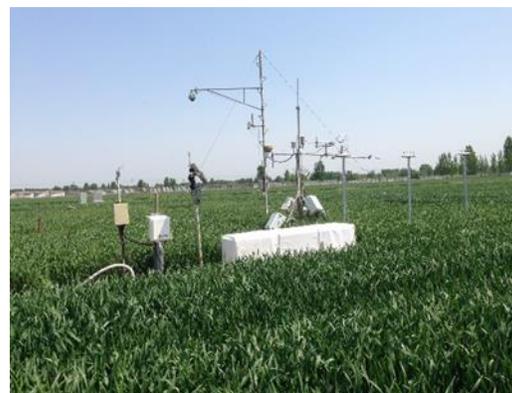
- 进样管长度: 0.65m
- 采样腔室体积: 5.9mL



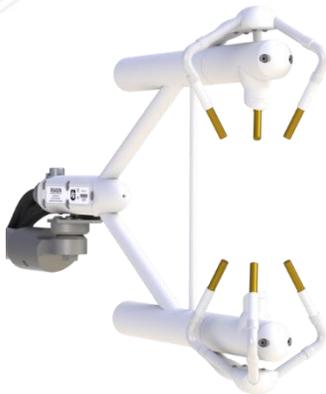
Item	Dimension
Length of sample tubing	64.5 cm
Inside diameter of sample tubing	2.16 mm
Length of sample cell	12.0 cm
Diameter of sample cell	7.94 mm
Volume of sample cell	5.9 cm ³

传统闭路涡动相关系统

- 进样管长度: 几米到几十米
- 采样腔室体积: 200mL



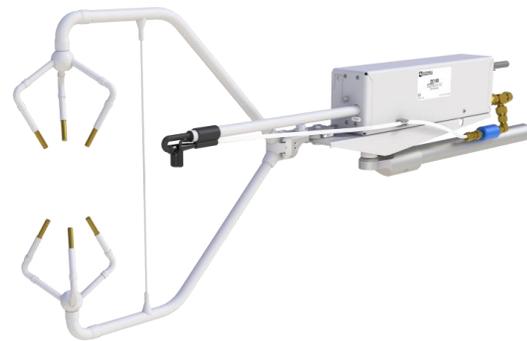
涡动相关系统的特点和选择



频率响应较高
较低或无时滞
低功耗

环境因素影响较大
WPL校正影响大
无法自动标定

开路涡动相关系统



环境因素影响较小
WPL校正影响小
可自动标定

频率响应相对较低
有一定时滞
功耗相对较高

闭路涡动相关系统



涡动相关系统的特点和选择

大多数环境条件及场景，开路 and 闭路涡动系统都可以获得准确的通量结果。实际应用时，根据应用环境特点和维护的难易程度选择选择合适的测量设备。一般情况下，恶劣天气条件（高湿或风沙），闭路涡动系统的数据连续性和可靠性优于开路

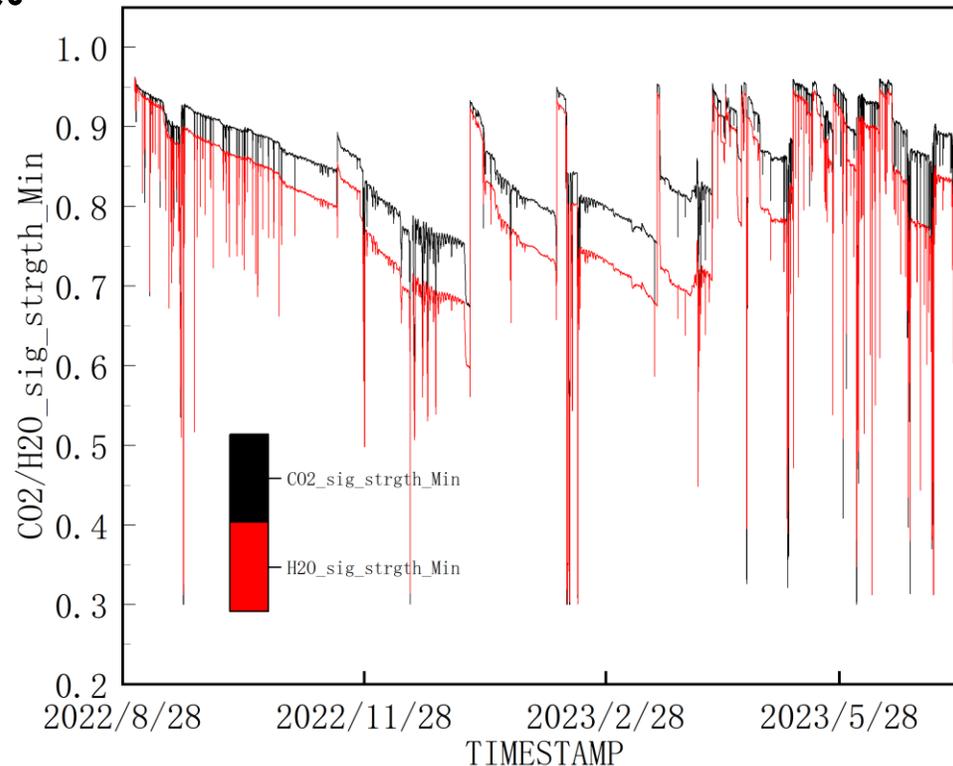


2.1 信号强度的维护

在持续的阴雨天气，多雾天气以及风沙较多的环境，开路涡动系统的气体分析仪的窗口易被灰尘等覆盖，信号强度变低（阈值0.7）。当维护不及时，有效数据连续性和可靠性相对较差。需要工作人员去安装现场擦拭气体分析仪的镜头。

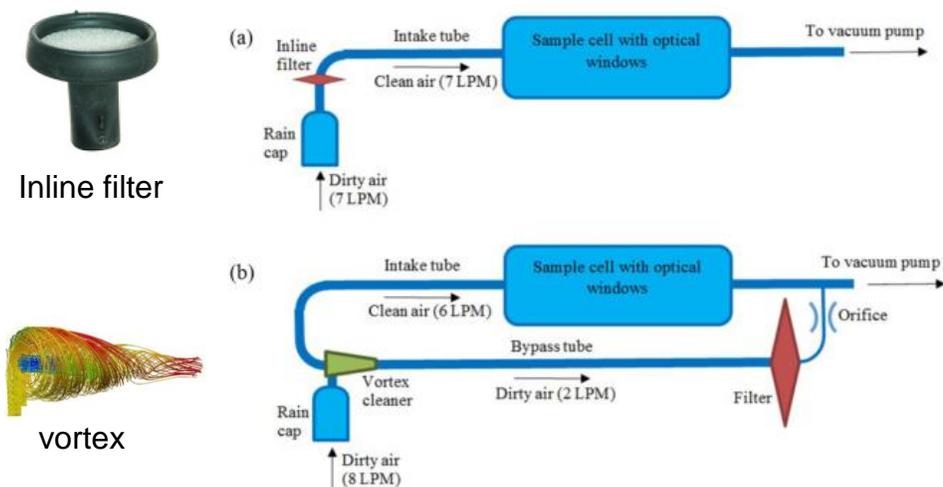


风沙灰尘



2.1 信号强度的维护

闭路涡动系统是为了解决开路涡动系统易受环境条件影响以及偏远地区不便维护的问题。



串联式过滤器和并联式过滤器



北京奥林匹克公园



八达岭

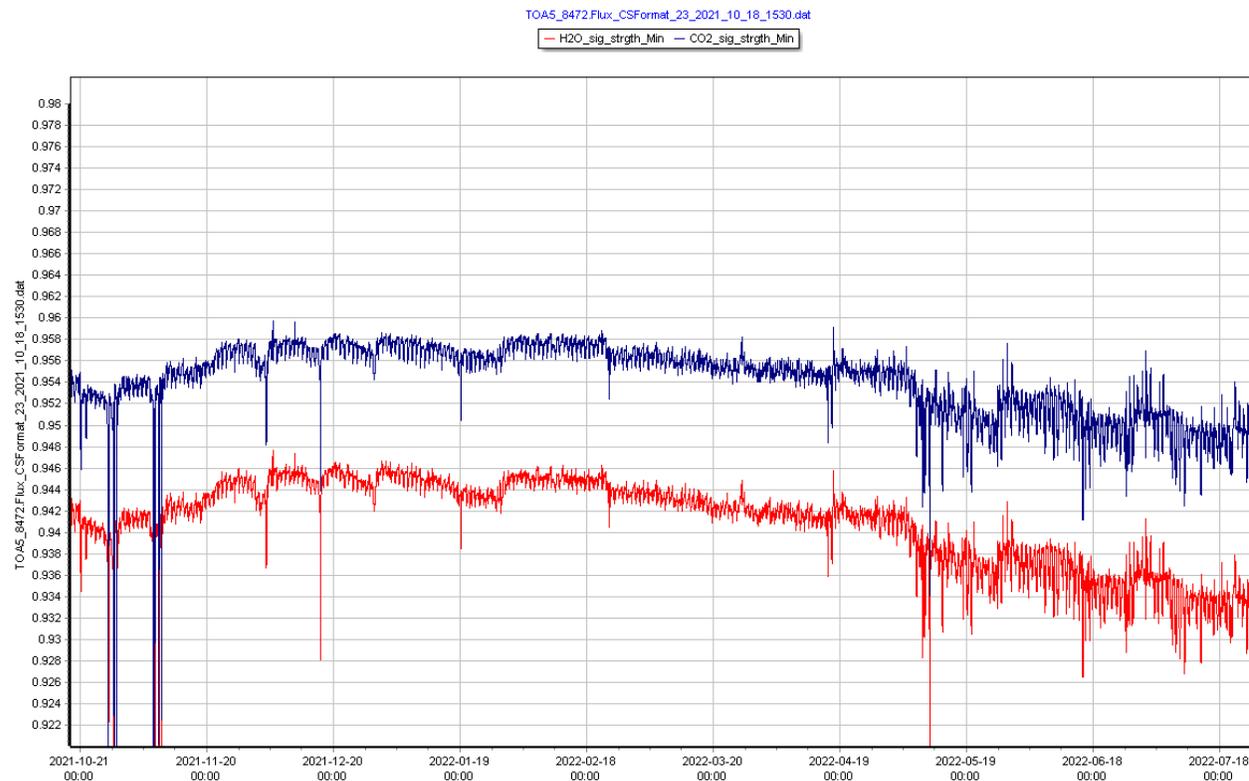
Field Maintenance Summary for plugged filters or dirty windows at Badaling

Begin Date	End Date	Intake	Time Range (days)	Number of Maintenance Services	Down-time due to plugged intake (days)	Downtime Fraction	Minimum Required (days)	Average Required (days)
12/23/2011	1/12/2012	Inline filter	20	2	13	65%	3	4
12/26/2014	6/5/2015	Vortex	161	0	0	0%	> 161	> 161



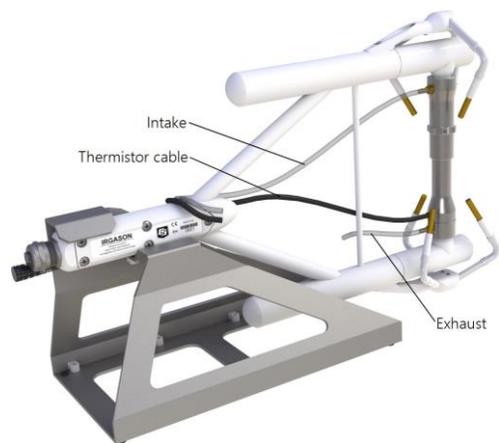
2.1 信号强度的维护

CPEC310闭路系统在青藏高原运行了25个月左右，在没有维护的情况下信号强度一直保持在0.9以上



2.2 零点和跨度校准

红外气体分析仪长期在野外工作中，元器件的老化以及气体分析仪腔室内部进入干扰气体等因素，会导致测量结果发生漂移。需要定期进行校准，以保证测量的可靠性



室内标定



野外原位标定

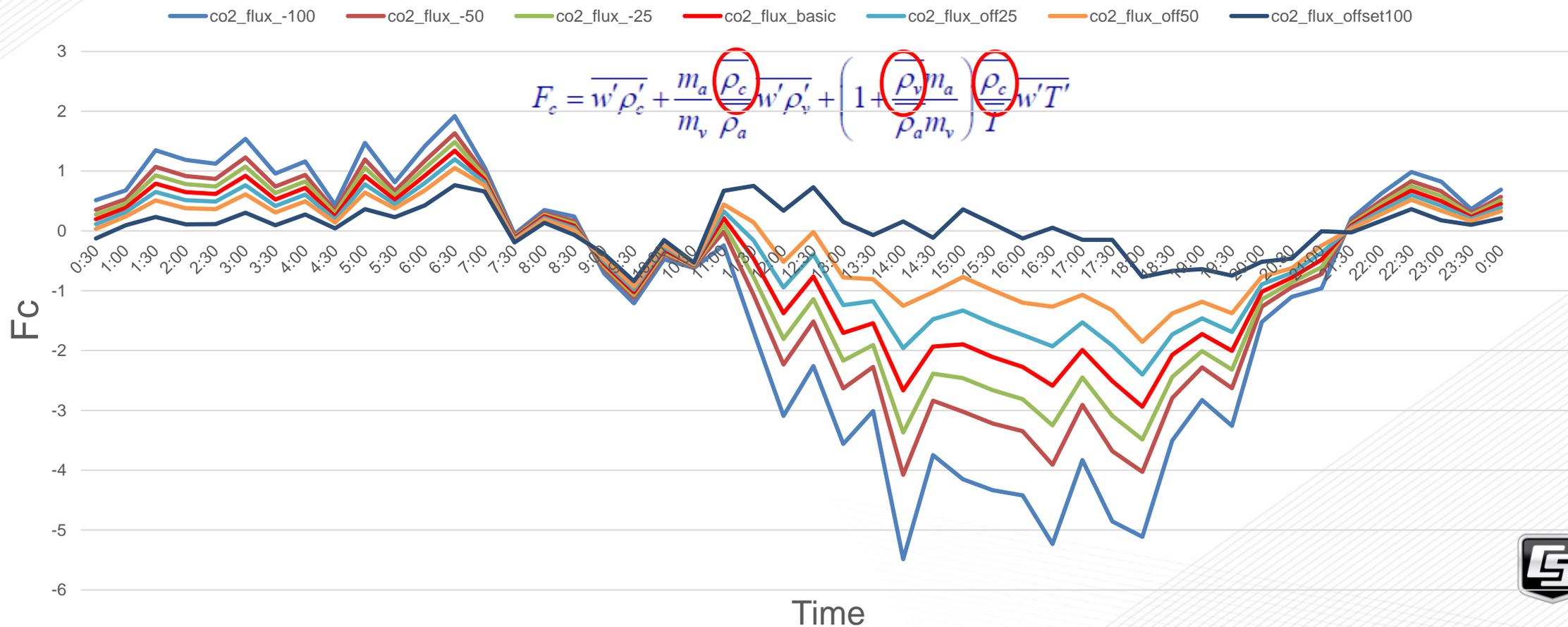


野外原位自动标定



2.2 零点和跨度校准

被测气体浓度参与了通量结果的修正，因此当气体浓度测量有偏差时，就会传递到最终的通量结果



2.3 供电与功耗

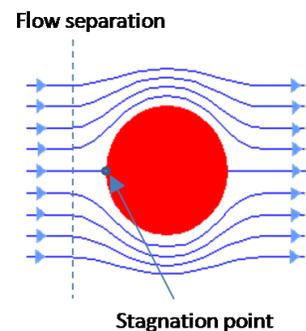
涡动相关系统在野外长期稳定的工作中，需要一个稳定可靠的供电来源。野外环境中交流供电通常难以获取，一般采用太阳能供电的方式使系统运转。闭路涡动系统需要动力系统保证气流不断进入气体分析腔室，因此其功耗相对开路较高。大部分情况下，都可以使用太阳能供电来保障系统的正常运行

在一些极端环境，比如极夜，在无交流电可以使用，只能依靠蓄电池供电的情况下，建议选择开路涡动系统

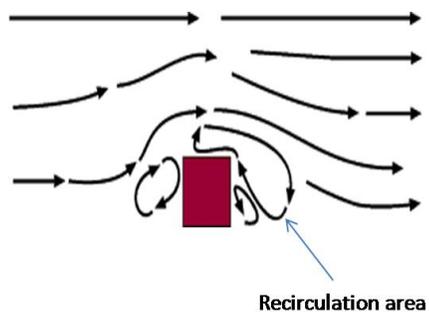


安装注意事项

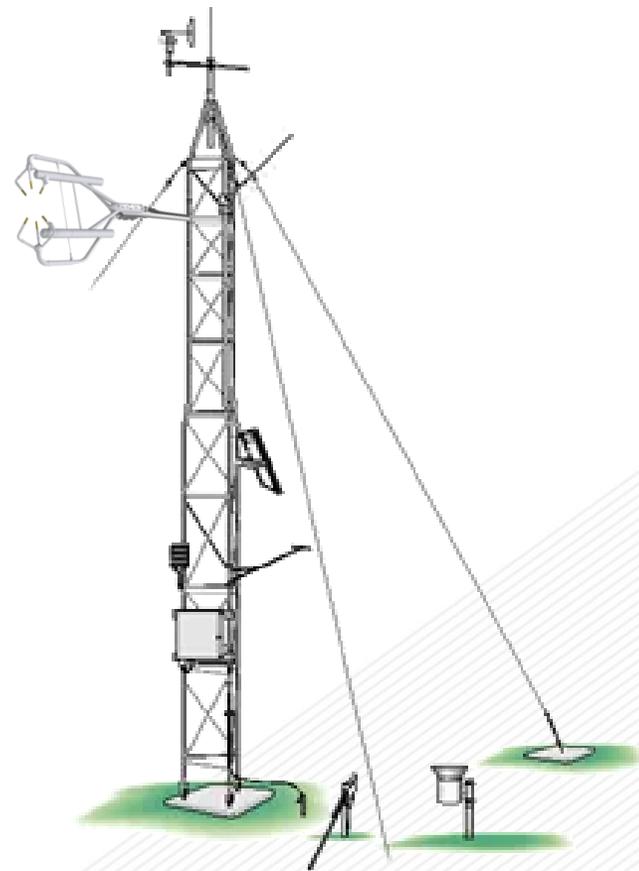
铁塔对流场的影响



Stream separation



Flow recirculation



迎风面: 塔身直径1倍处观测到风速下降,设备应安装在横臂距离塔体直径2~3倍以外的位置

背风面: 风速在塔的背风面被减弱, 也称尾迹区 (下风向 $\pm 30^\circ$) 尾迹效应和范围随风速的增大而减小

侧面: 通量塔侧面的风速增加

塔顶: 通量塔顶部风速增加.不建议安装在塔顶, 如果安装塔顶, 需要安装在塔顶以上至少5倍塔体直径的高度



安装注意事项

建塔时尽量减小对下面及周围植被和土壤层的破坏

塔的底座（水泥等建筑材料）面积尽量小，减少它的加热作用对垂直方向风分量的影响

塔应该具有足够的强度和稳定性

- -50到50°C，0~100%相对空气湿度，40m/s的风速，含盐空气，结冰，积雪等。塔不发生变形或弯曲
- 当风速小于20m/s时，塔的摆动应该小于1mm/m

多层横臂间的最小距离应大于9倍的支架截面直径

主机箱等与通量观测设备尽可能的远

应保证工程技术人员在全年都能安全接近仪器设备



