

# 城市与郊区的能量平衡

## Urban and Suburban Energy Balance

地球和空间科学学院 大气科学专业  
崔延宣 (PB13007115)  
指导老师：袁仁民 副教授

June 8, 2017

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# 实验介绍



Figure: 中科大站 (USTC) 与科学岛站 (HFCAS) 的地理位置

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# 晴天阴天判断

- ▶ 计算晴天总辐射通量密度理论值 (PVLIB Python)
- ▶ 定义：

$$\alpha = R/T$$

其中， $R$  是一天里总辐射通量密度的观测值， $T$  是一天里总辐射通量密度的理论值

- ▶  $\alpha > 0.7$  晴天
- ▶  $\alpha < 0.3$  阴天

# 数据清洗

- ▶ 去除 NaN
- ▶ 统一采样存储频率
- ▶ 校正科学岛短波辐射数据
- ▶ 时间同步
- ▶ 去除野点

# 时间同步与数据校正

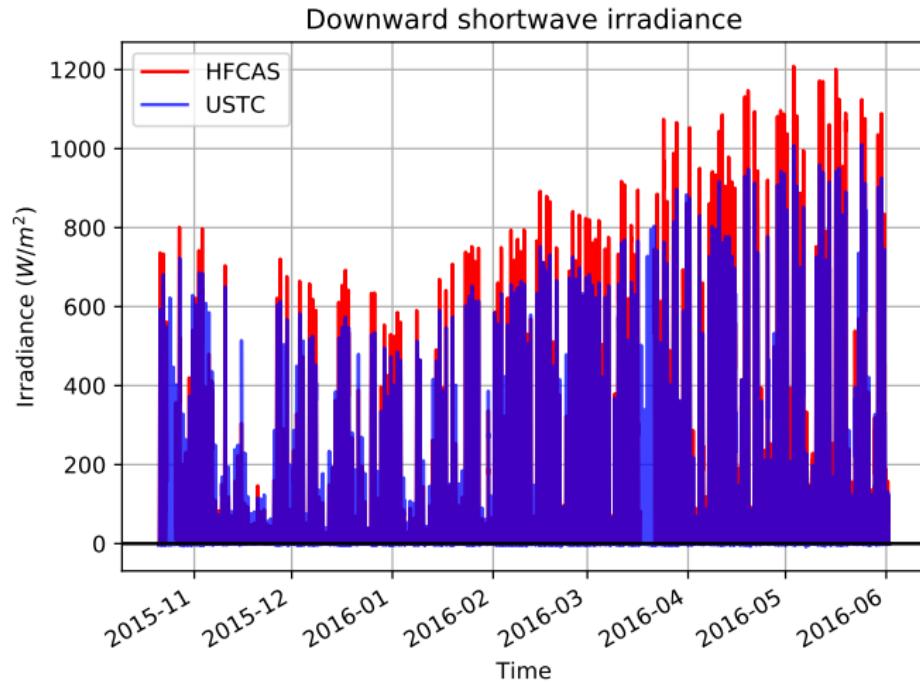


Figure: 向下短波辐射通量密度 (DSR) 原始数据

# 时间同步与数据校正

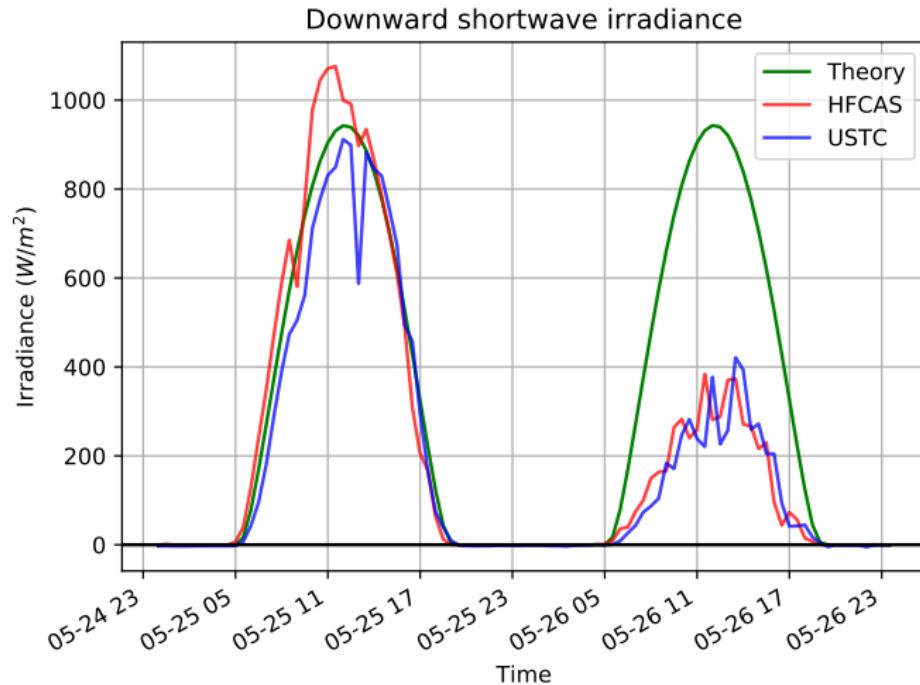


Figure: 2016/05/25 至 2016/05/26 DSR 原始数据

# 时间同步与数据校正

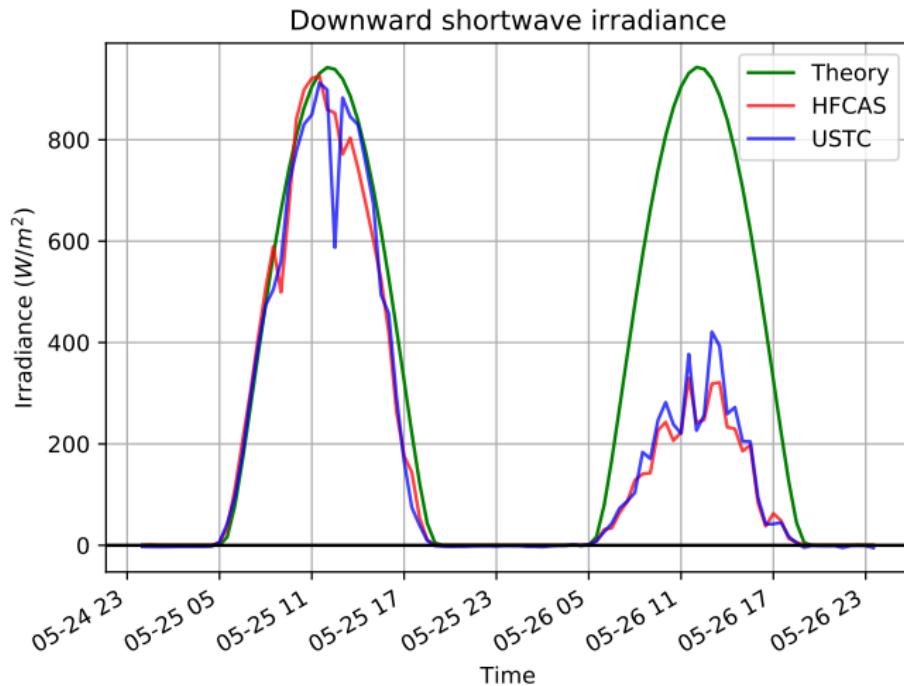


Figure: 2016/05/25 至 2016/05/26 经过修正之后的 DSR

# 时间同步与数据校正

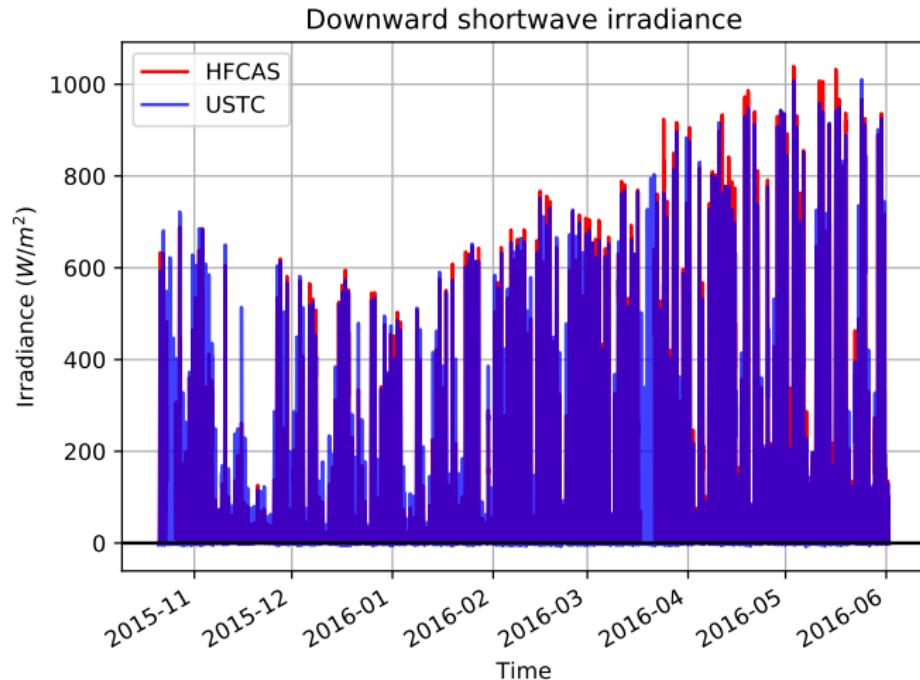


Figure: 修正之后的 DSR

# 野点值去除

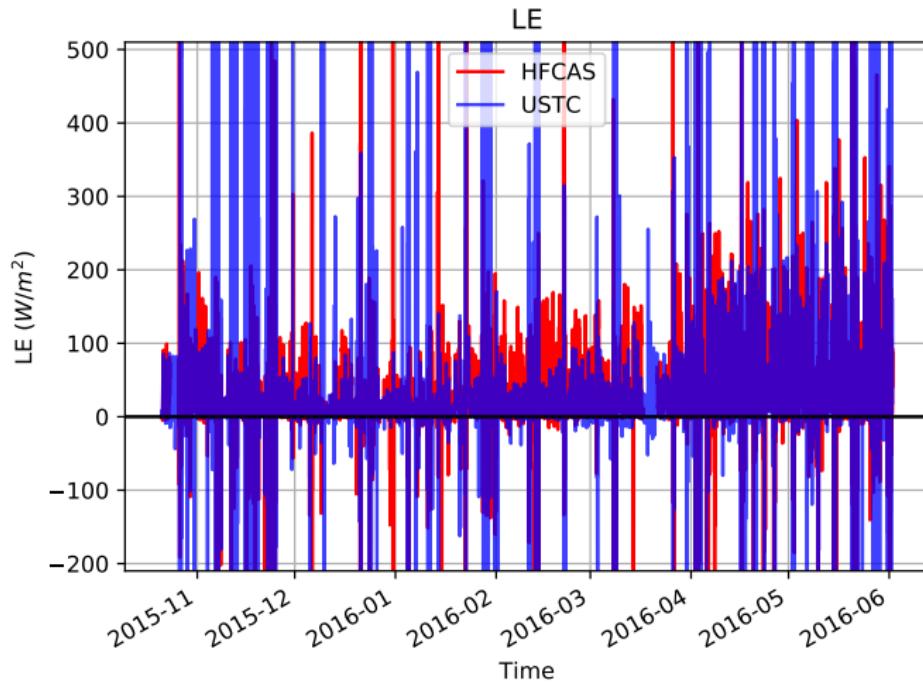


Figure: 潜热通量密度 (LE) 原始数据

# 野点值去除

- ▶ 大气运动过程连续
- ▶ 物理量相邻两个时刻的差值服从正态分布
- ▶  $3\sigma$  原则

```
def clean_LE(df, n):  
    df.loc[(df['LE_irga'] > 500) |  
           (df['LE_irga'] < -200), 'LE_irga'] = np.nan  
    for i in range(n):  
        sigma = df['LE_irga'].diff().std()  
        mask = df['LE_irga'].diff().abs() > 3*sigma  
        df.loc[mask, 'LE_irga'] = np.nan  
    return df
```

# 野点值去除

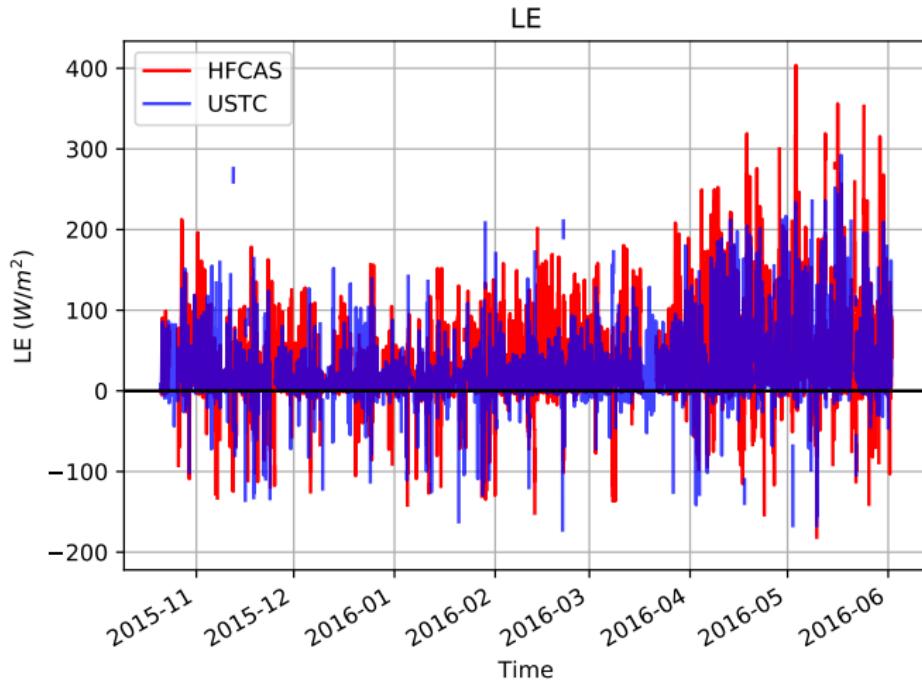


Figure: 去除野点后的 LE

# 野点值去除

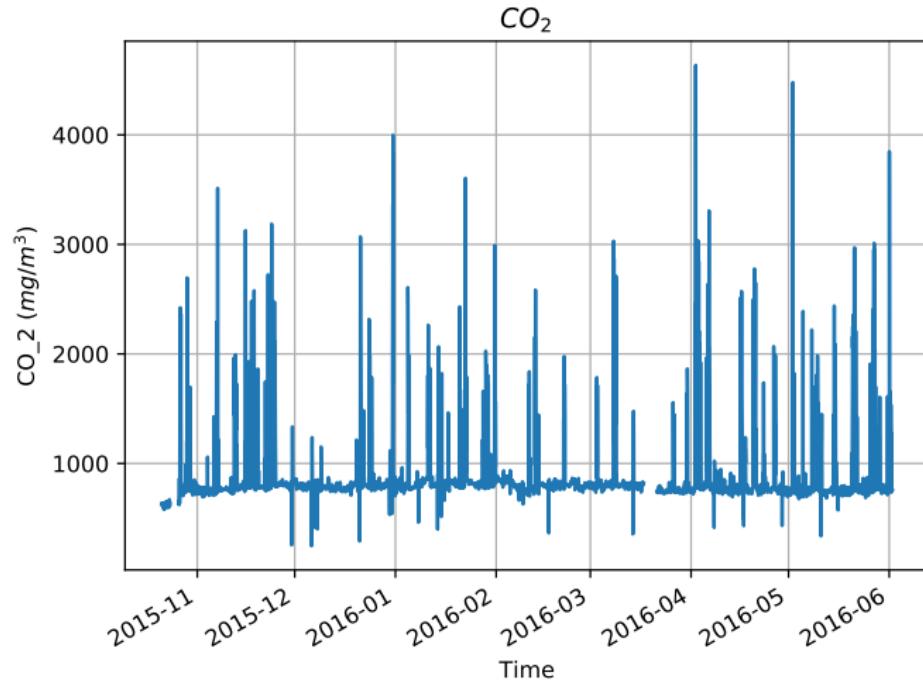


Figure: 科学岛站  $CO_2$  浓度原始数据

# 野点值去除

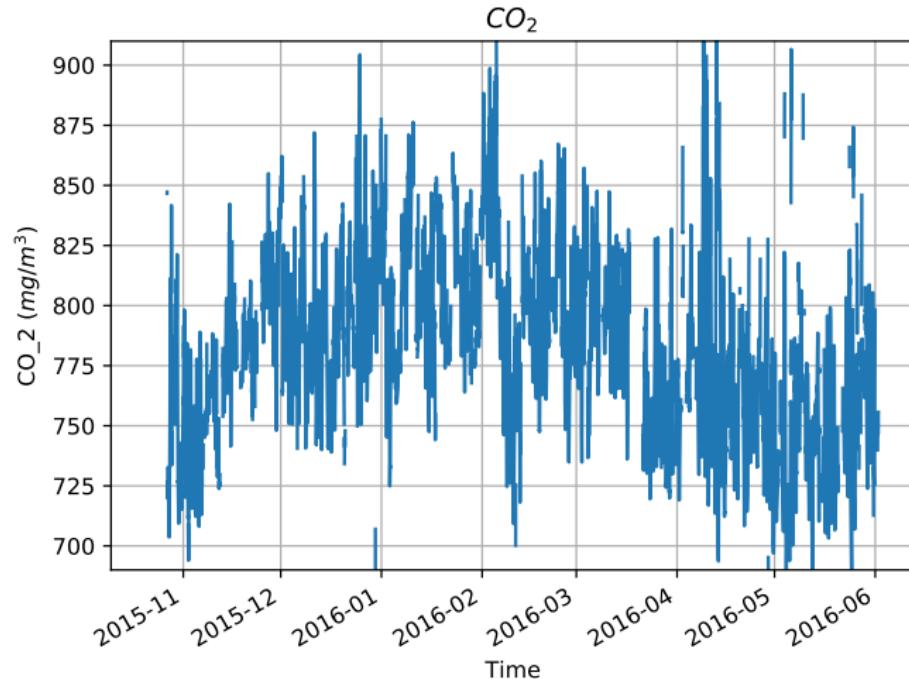


Figure: 科学岛站去除野点后的 CO<sub>2</sub> 浓度

# 向上短波辐射 (USR) 突增现象

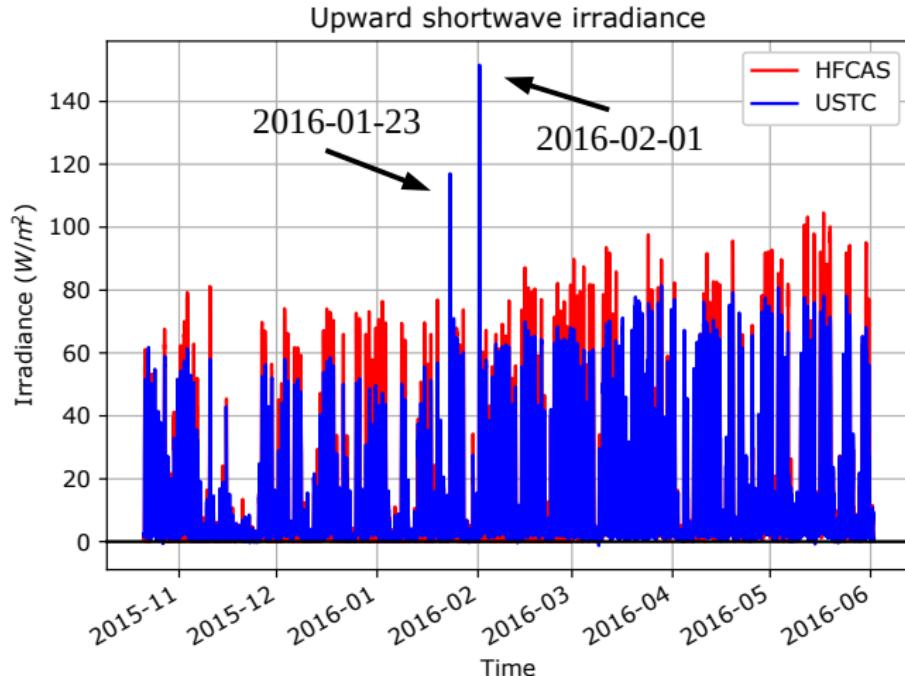


Figure: 两地向上短波辐射通量密度 USR

# 向上短波辐射 (USR) 突增现象

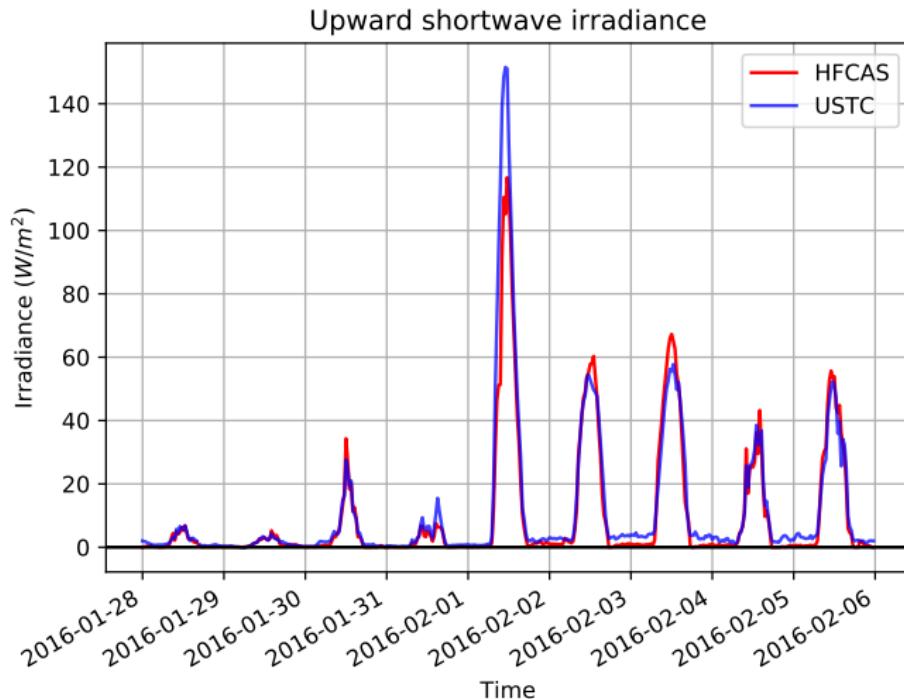


Figure: 2016/01/28 至 2016/02/06 USR

# 向上短波辐射 (USR) 突增现象

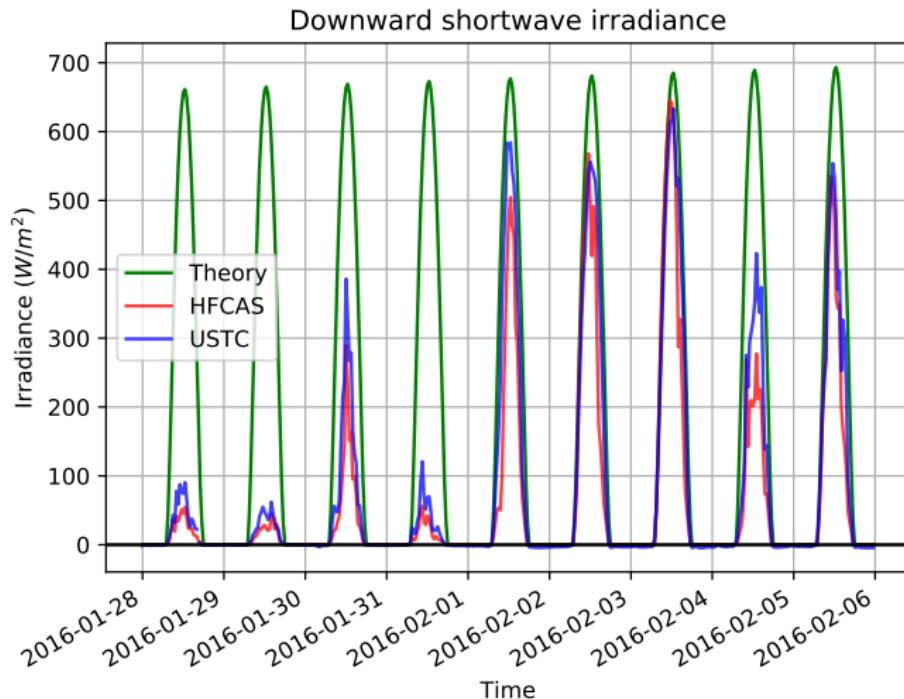


Figure: 2016/01/28 至 2016/02/06 DSR

# 向上短波辐射(USR)突增现象



Figure: 2016/02/01 合肥大雪新闻

# 向上短波辐射 (USR) 突增现象

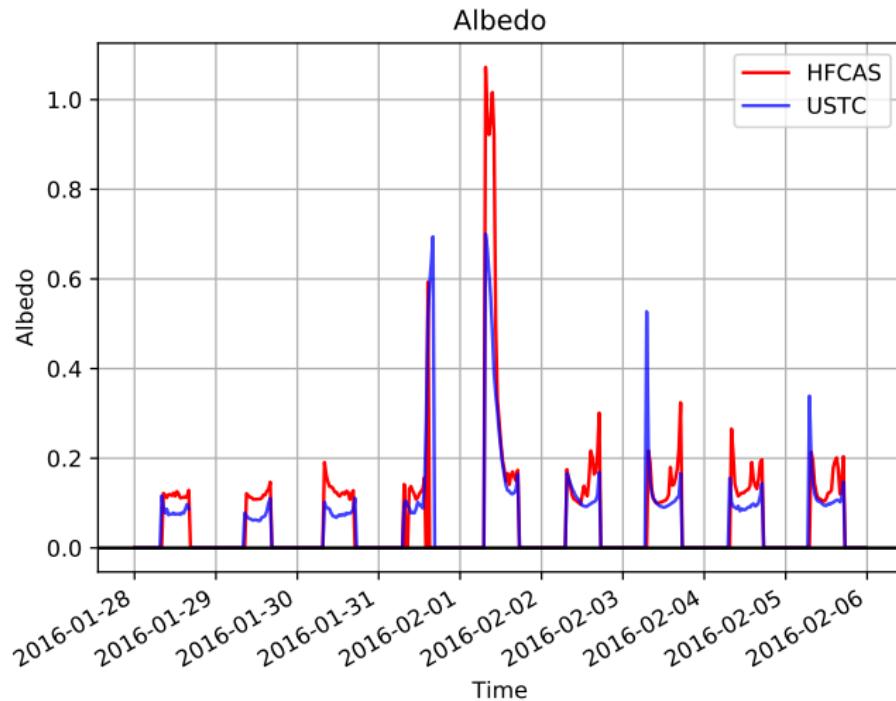


Figure: 2016/01/28 至 2016/02/06 反照率

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# 辐射通量密度与辐射收支

$$R_n = R_s \downarrow - R_s \uparrow + R_l \downarrow - R_l \uparrow$$

其中  $R_n$  为净辐射通量密度， $R_s \downarrow$ ， $R_s \uparrow$  分别为向下、向上短波辐射通量密度， $R_l \downarrow$ ， $R_l \uparrow$  分别为向下、向上长波辐射通量密度。

# 向下短波辐射通量密度

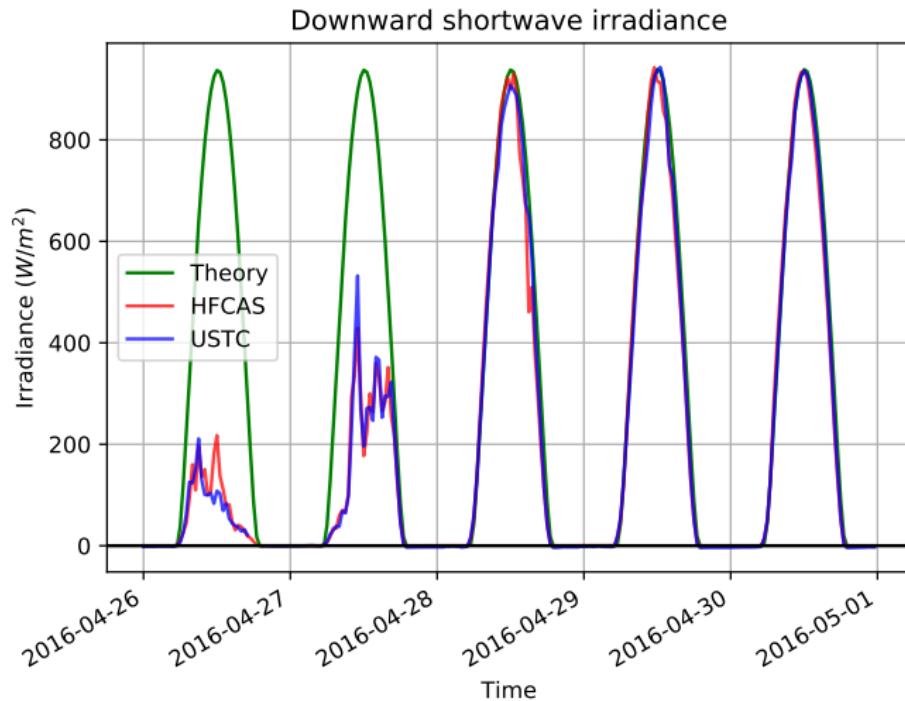


Figure: 2016/04/26 至 2016/04/30 向下短波辐射通量密度

# 向上短波辐射通量密度

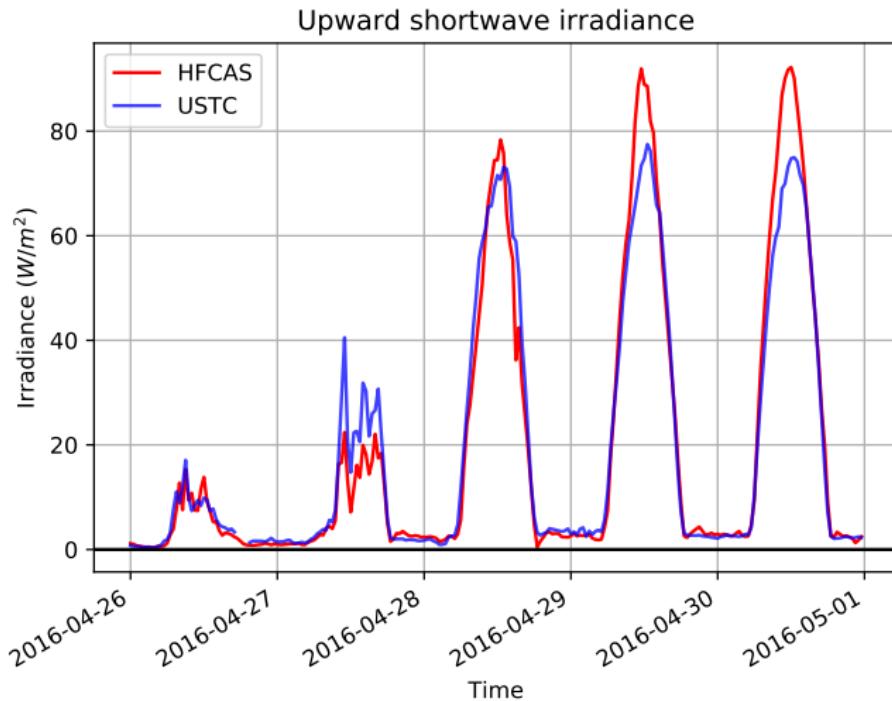


Figure: 2016/04/26 至 2016/04/30 向上短波辐射通量密度

# 反照率

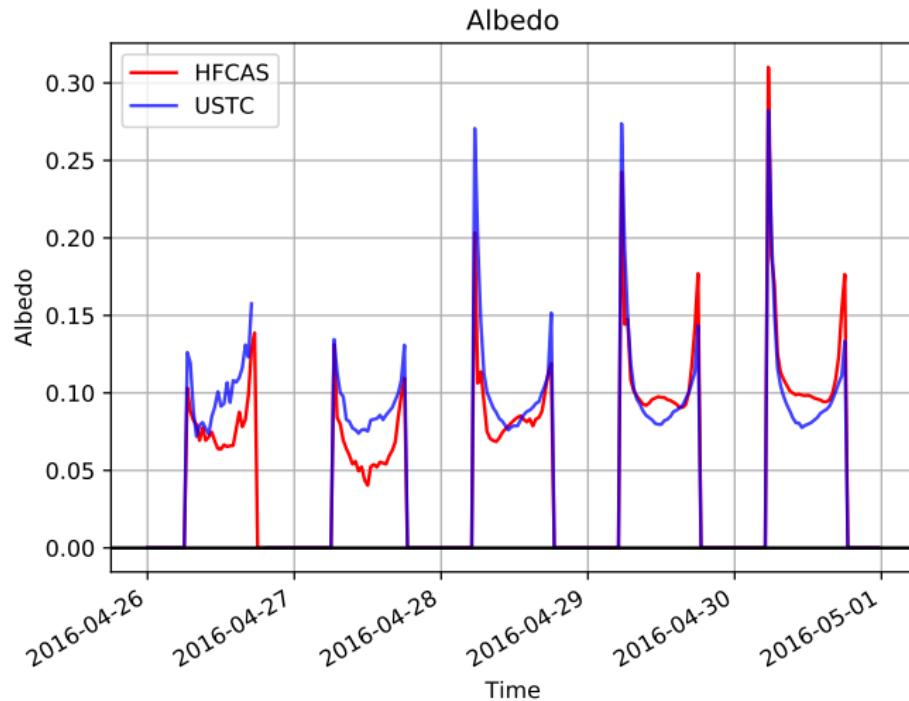


Figure: 2016/04/26 至 2016/04/30 反照率

# 向下长波辐射通量密度

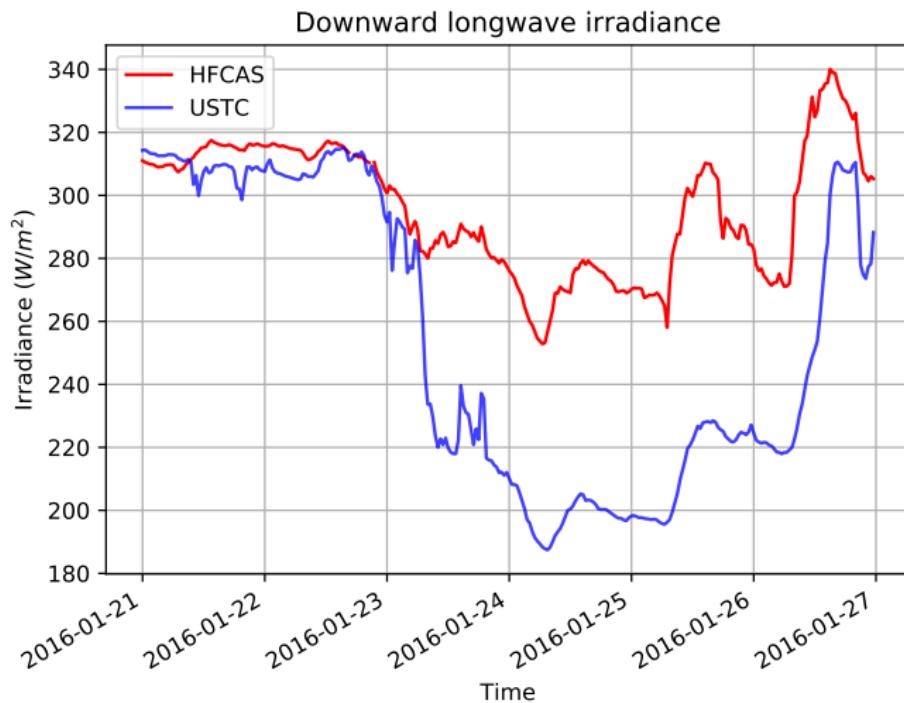


Figure: 2016/01/21 至 2016/01/26 向下长波辐射通量密度

# 相对湿度

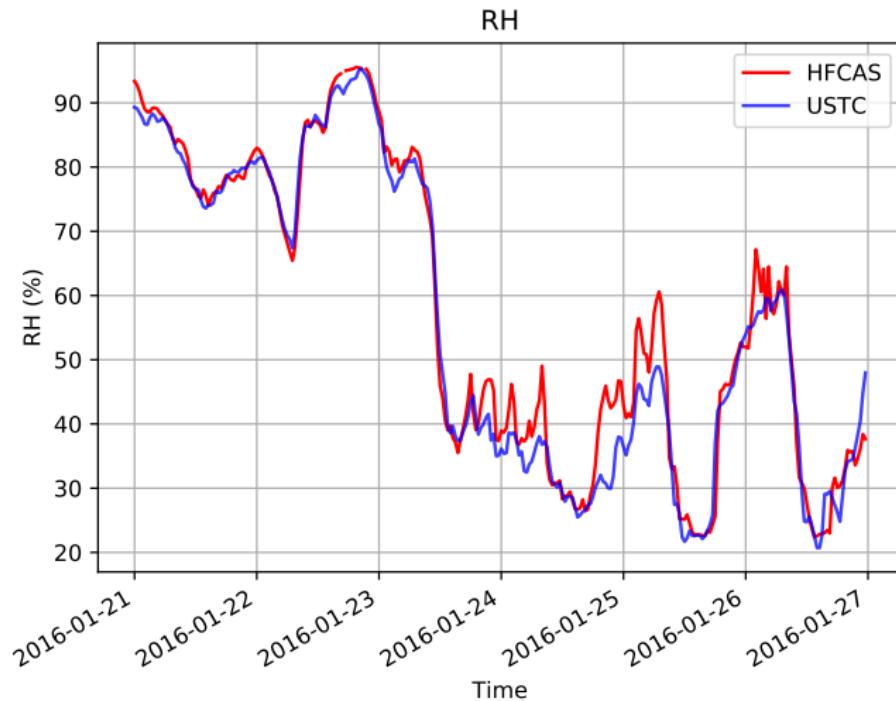


Figure: 2016/01/21 至 2016/01/26 相对湿度

# 向上长波辐射通量密度与温度

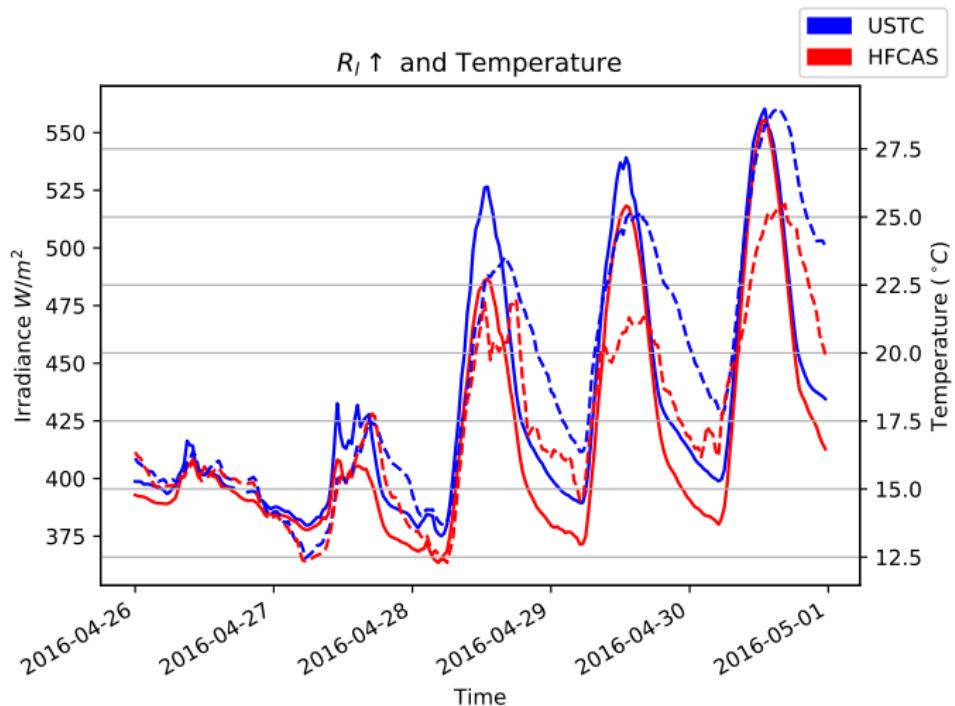


Figure: 2016/04/26 至 2016/04/30 两地向上长波辐射通量密度  
(实线) 与温度 (虚线)

# 辐射通量密度与辐射收支

Stefan-Boltzmann 定律：

$$F = \sigma T^4$$

其中， $F$  为辐射通量密度， $\sigma$  为 Stefan-Boltzmann 常数  
 $5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ ， $T$  为温度。

# 辐射通量密度与辐射收支

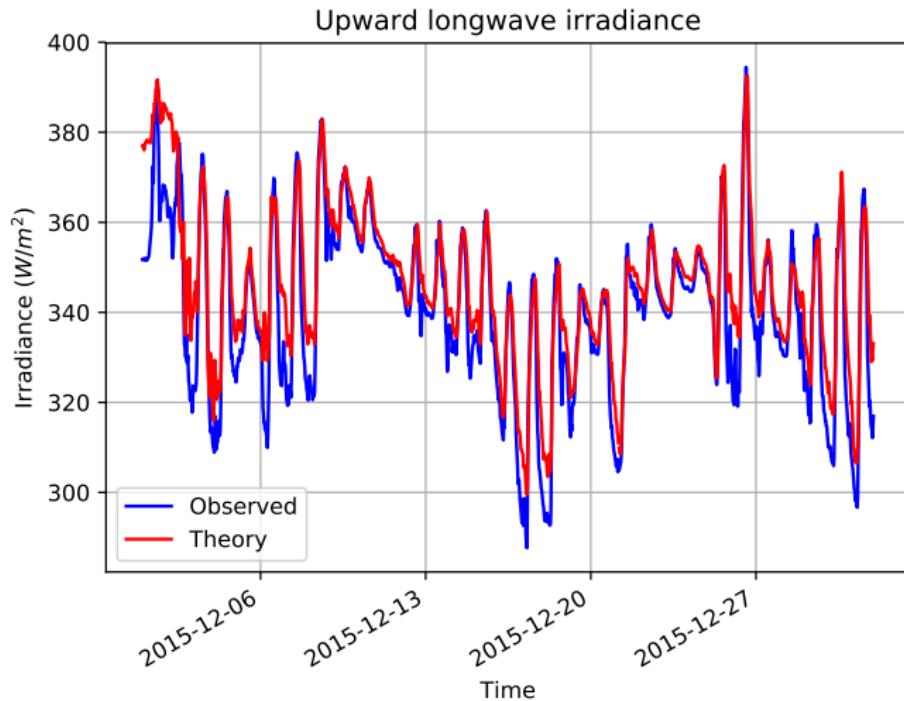


Figure: 2015 年 12 月科学岛站 ULR 观测值与理论值

# 辐射通量密度与辐射收支

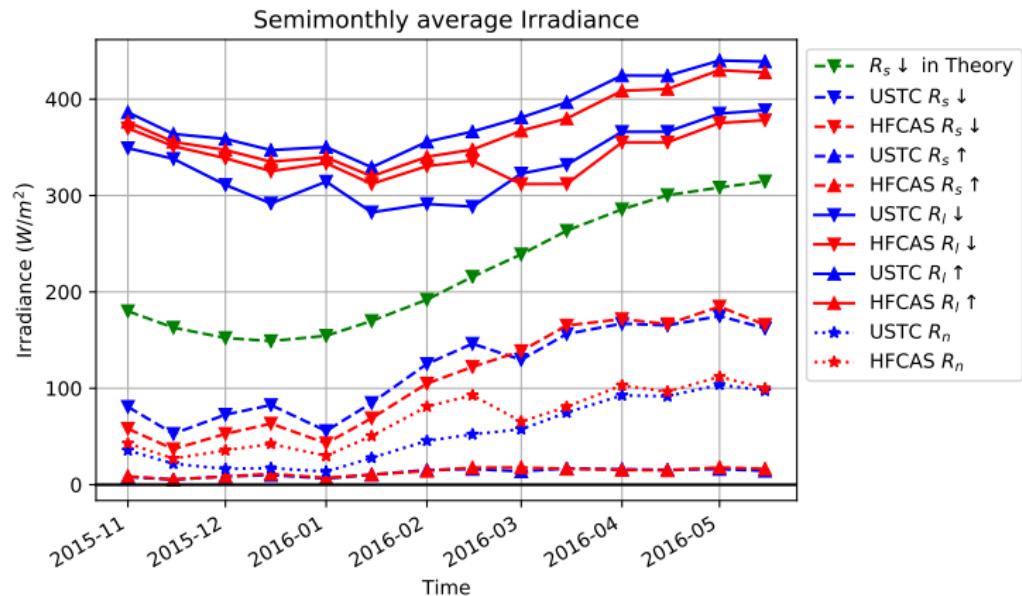


Figure: 2015 年 11 月至 2016 年 5 月半月平均辐射通量密度

# 感热通量密度

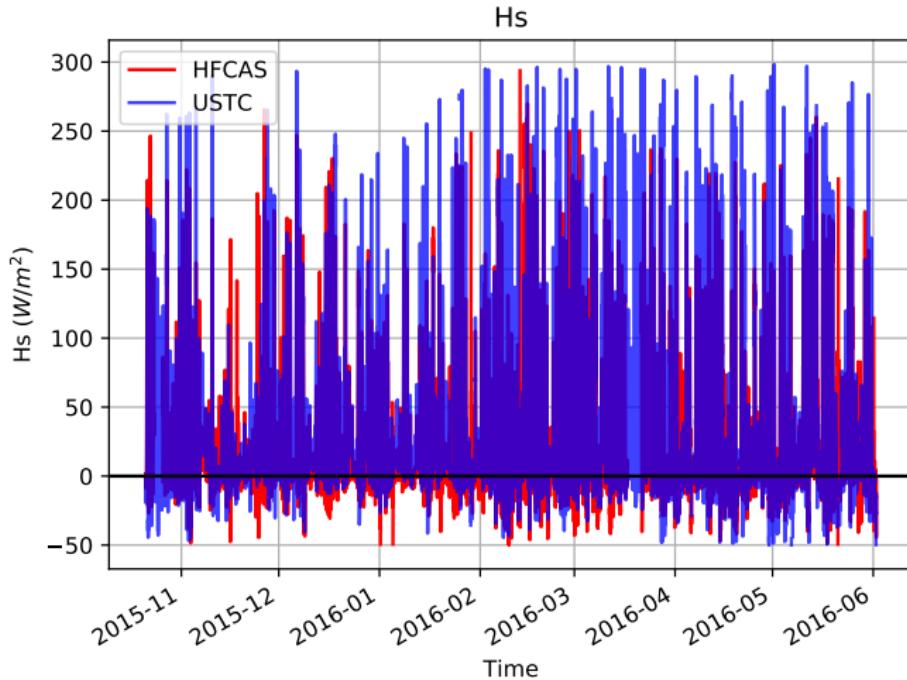


Figure: 2015 年 11 月至 2016 年 6 月感热通量密度

# 感热通量密度

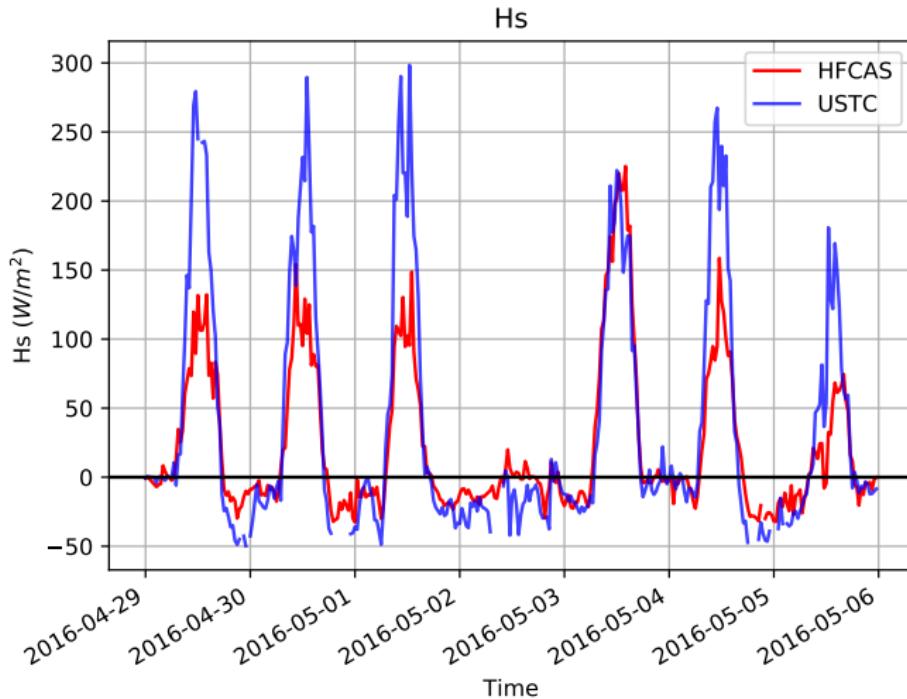


Figure: 2016/04/29 至 2016/05/05 感热通量密度

# 感热通量密度

Table: 中科大站与科学岛站感热通量密度比较 (单位: W/m<sup>2</sup>)

	中科大站		科学岛站	
	均值	标准差	均值	标准差
全部	30.4	60.8	19.7	48.5
晴天	50.3	85.2	32.1	63.4
阴天	11.2	19.5	6.9	22.0
白天	64.6	72.2	47.1	57.1
夜晚	-1.4	14.2	-5.5	13.9
晴天白天	105.9	88.7	73.4	66.7
阴天白天	17.9	22.4	14.3	22.7
晴天夜晚	-6.7	14.9	-9.5	10.8
阴天夜晚	5.3	14.3	0.5	19.2

# 潜热通量密度

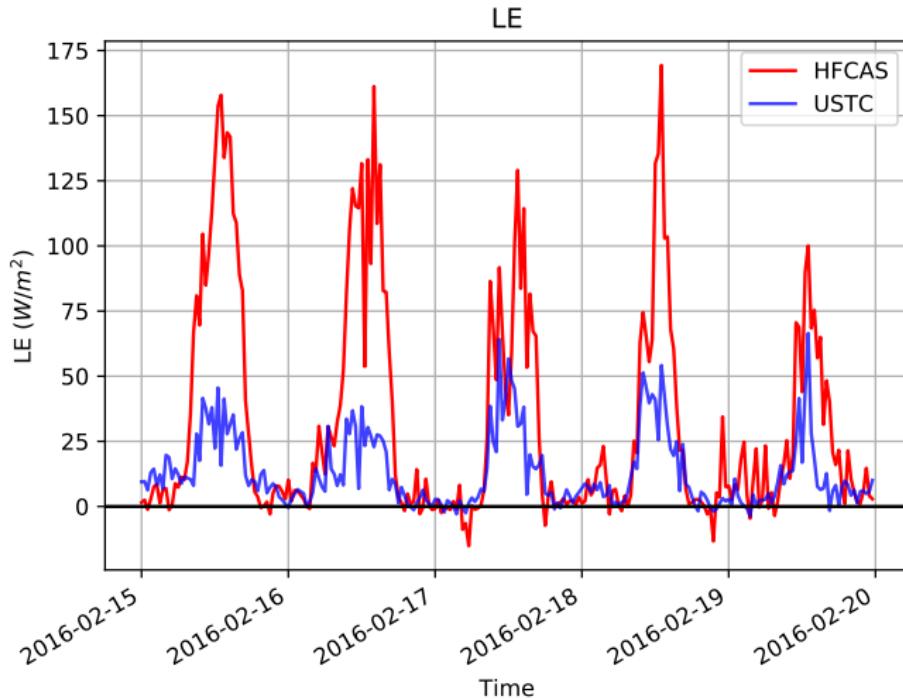


Figure: 2016/02/15 至 2016/02/19 潜热通量密度

# 相对湿度

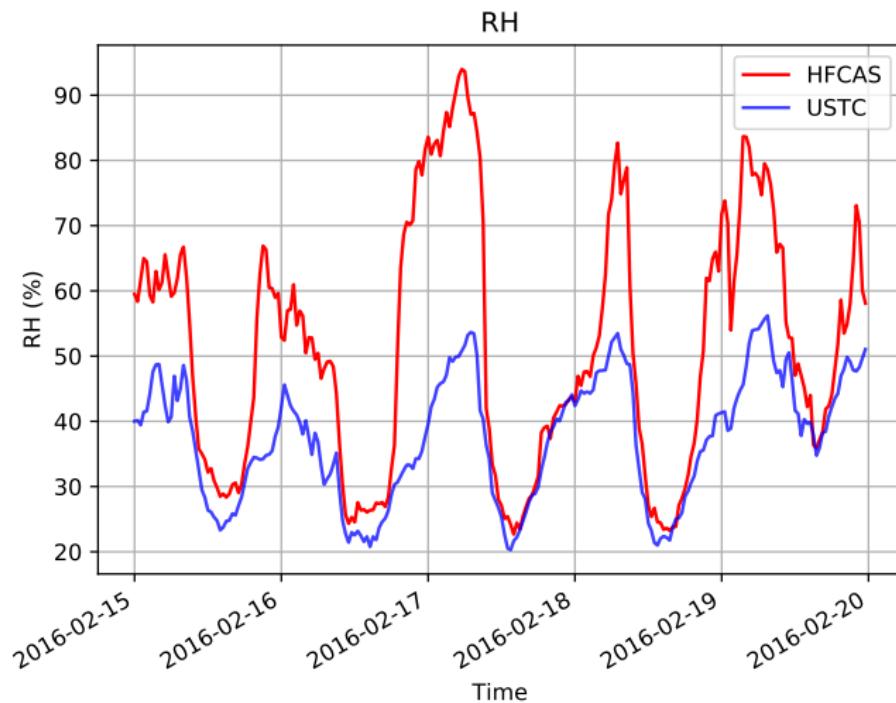


Figure: 2016/02/15 至 2016/02/19 相对湿度

# 潜热通量密度

Table: 中科大站与科学岛站潜热通量密度比较 (单位: W/m<sup>2</sup>)

	中科大站		科学岛站	
	均值	标准差	均值	标准差
全部	20.9	36.8	28.4	47.4
晴天	31.1	44.7	46.2	61.8
阴天	16.1	41.1	14.2	39.4
白天	34.4	42.2	51.6	54.7
夜晚	8.1	25.0	7.3	25.2
晴天白天	54.2	51.5	83.2	67.0
阴天白天	20.9	41.6	22.8	42.4
晴天夜晚	7.0	13.4	8.8	19.0
阴天夜晚	11.9	40.3	6.9	35.1

# 城市与郊区的储热

能量平衡方程：

$$R_n + Q = H_s + LE + G_s + \Delta S$$

$$R_n = H_s + LE + \Delta S'$$

其中  $\Delta S$  与  $\Delta S'$  的关系：

$$\Delta S = \Delta S' - G_s + Q$$

# 城市与郊区的储热

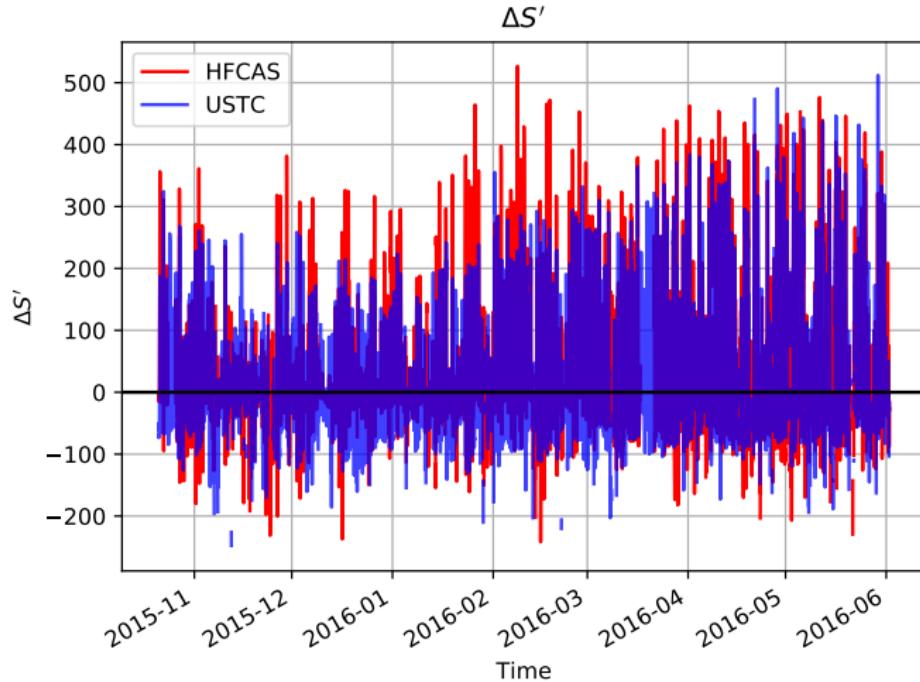


Figure: 城市与郊区的储热

# 城市与郊区的储热

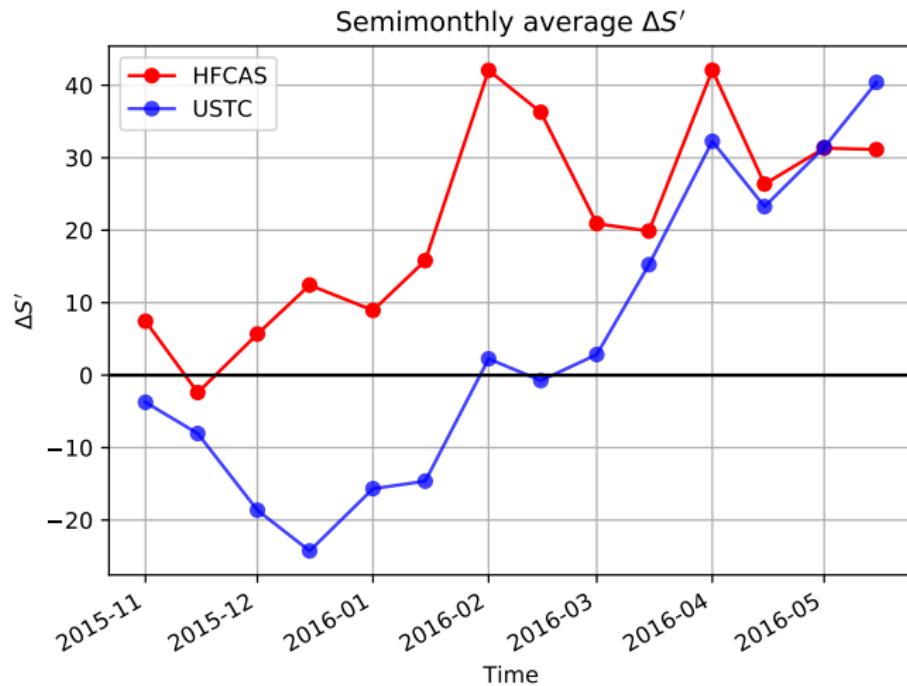


Figure: 城市与郊区储热的半月平均值

# 城市与郊区的储热

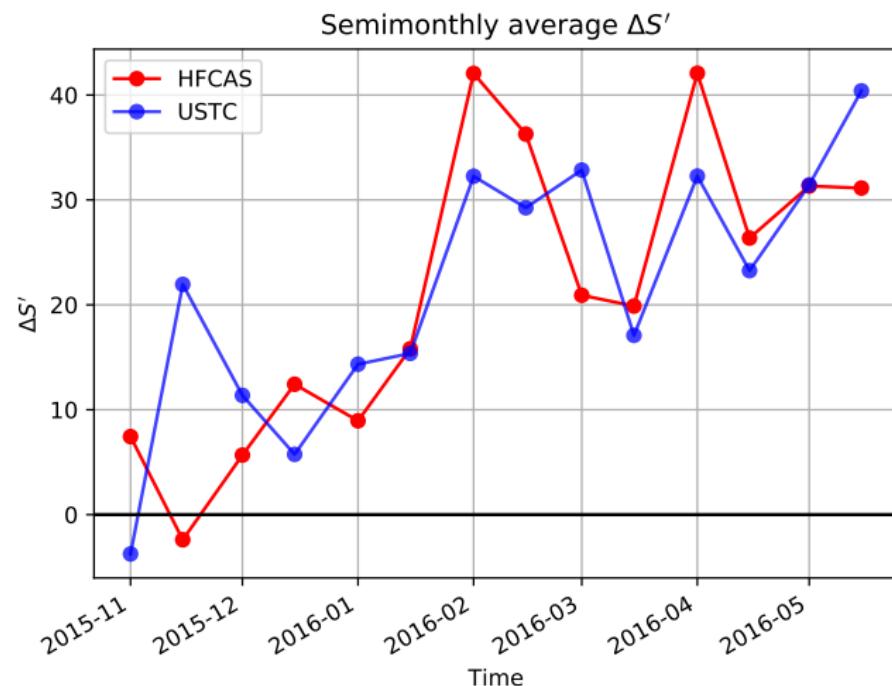


Figure: 城市与郊区储热的半月平均值 (考虑冬季供暖)

# 能量不平衡现象

- ▶ 下垫面不均匀性，水平方向能量输送
- ▶ 现有方法测量感热、潜热可能偏低
- ▶ 忽略向土壤中输送的热

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# 结论

- ▶ 城市热岛效应
- ▶ 感热、潜热（城市/郊区、晴天/阴天、白天/夜晚）
- ▶ 城市、郊区储热，人为热
- ▶ 能量平衡/能量不平衡

# Outline

实验介绍

数据处理

数据分析

结论

参考文献

# 参考文献

- ▶ Liou K N. An Introduction to Atmospheric Radiation[M]. Second edition. [S.I.]: Academic Press, 2002.
- ▶ Wallace J M, Hobbs P V. Atmospheric Science (Second Edition)[M/OL]. Second edition. San Diego: Academic Press, 2006. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127329512500016>. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-732951-2.50001-6>.
- ▶ 佟华, 刘辉志, 桑建国, 等. 城市人为热对北京热环境的影响 [J]. 气候与环境研究. 2004, 9 (3): 409–421.

## 参考文献（续）

- ▶ Holmgren W F, Mueller B, Andrews R W, et al. pvlib/pvlib-python[EB/OL]. 2017. <https://github.com/pvlib/pvlib-python>.
- ▶ Ineichen P, Perez R. A new airmass independent formulation for the linke turbidity coefficient[J/OL]. Solar Energy. 2002, 73 (3): 151-157. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:17184>.
- ▶ Ineichen P. A broadband simplified version of the solis clear sky model[J/OL]. Solar Energy. 2008, 82 (8): 758 - 762. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X08000406>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.009>.