

# 黄土高原半干旱区荒原的湍流能量传输特征

兰州大学大气科学学院 肖霞

# 报告提纲

- 一、引言
- 二、观测仪器和资料介绍
- 三、观测数据资料质量控制和处理方法
- 四、黄土高原半干旱区的湍流通量特征
- 五、结论

# 一、引言

❖ 2006年在973项目“北方干旱化”研究支持下，兰州大学在西北半干旱区黄土高原上甘肃省榆中建立了地面综合观测站。它是CEOP计划在国内建立的继吉林通榆站的又一个由我国自己设计、自己投资并独立承担的地面观测基准站。吉林通榆观测站和黄土高原半干旱环境监测站(SACOL)在东北和西北遥相呼应，为监测和研究我国北部半干旱区的气候和环境变化起着重要的作用。

❖ 黄土高原位于我国北方的中部，属于黄河中游流域。范围东起太行山，西至青海日月山（ $114 - 101^{\circ} \text{ E}$ ），南界秦岭，北抵长城（ $34 - 40^{\circ} \text{ N}$ ），面积约40余万平方公里。包括山西、宁夏、陕西、甘肃省区的大部分和青海、河南的小部分。以前在甘肃西部黑河进行的野外观测试验站，张掖，临泽都处在黄土高原的干旱区。有关在黄土高原的半干旱区的野外观测试验相对较少。基于此，本文欲利用兰州大学黄土高原半干旱区环境监测站观测的资料分析黄土高原半干旱区近地层湍流结构，确定动量、热量和水汽等湍流参数的变化特征，将有助于改进黄土高原半干旱区的边界层参数化方案，进而为理解黄土高原气候形成和变化提供帮助。

## 二、观测仪器和资料

❖ 三维超声风速仪 (CSAT3; Campbell) 和  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  开路气体分析仪 (LI-7500, LI-COR) , 湍流脉动资料的观测频率为 10Hz , 利用 CR5000 数据自动记录器记录 30 分钟的平均值, 每 30 分钟输出一次; 土壤热通量由热流板 (HFP01SC-L, Hukseflux) 观测得到。

# 三、观测数据资料质量控制 和处理方法

❖ 涡旋相关法虽然已被认为是观测湍流通量的最优方法，但是也有其局限性，加之下垫面非均匀的作用，使得实际测量地气能量和物质交换时会产生一些问题，所以在利用涡旋相关技术测定湍流通量的时候就需要对数据进行质量分析与控制 (QC/QA)，这样才能合理有效的评价当地的湍流特征及能量平衡状况。

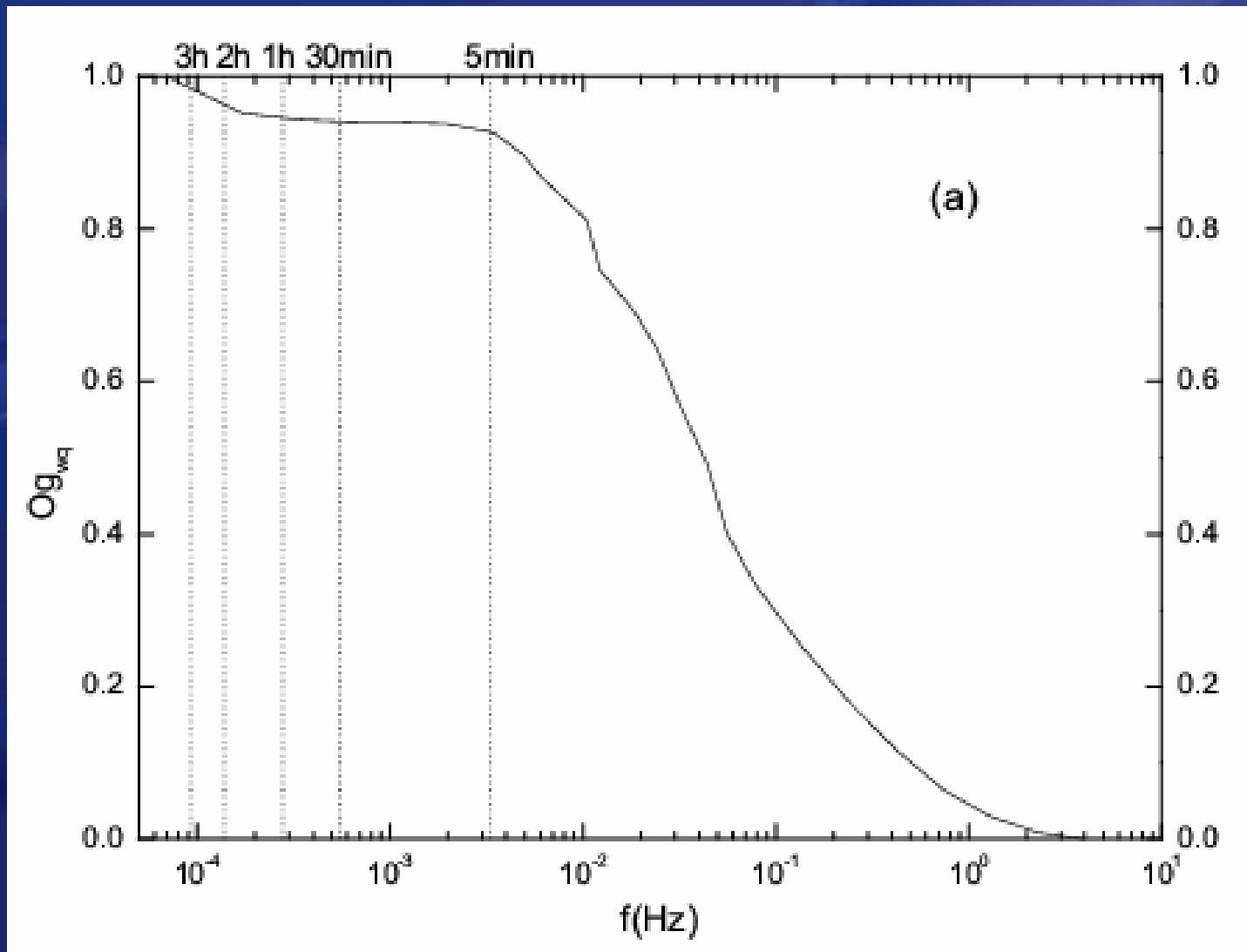
# 1. 湍流通量计算的平均时间

❖ 在湍流通量的计算中，通常30min时间平均是一个普遍运用的平均时间。目前FLUXNET的大部分观测站在白天所采取的采样周期通常为30-60min，但在夜间大气稳定层结条件下，存在间歇性湍流运动时，可能需要更长的采样周期。低频湍流运动对通量输送有显著的影响，而要观测到低频湍流运动，就需要有足够长的采样周期，相反采样周期太长又会造成通量昼夜变化信息的一部分丢失，因此在进行通量计算时需要确定合适的采样周期。由于一个新的时间序列里面包括一些非稳态的条件，因此，应该对每个时间序列进行条件测试，因为这严重影响到数据的质量。John Moncrieff et al [Handbook of Micrometeorology—Averaging, detrending, and filtering of eddy covariance time series]推荐使用Ogive作为确定任一站点平均时间的最理想的方法。

利用Ogive函数来确定湍流通量所需要的平均时间:

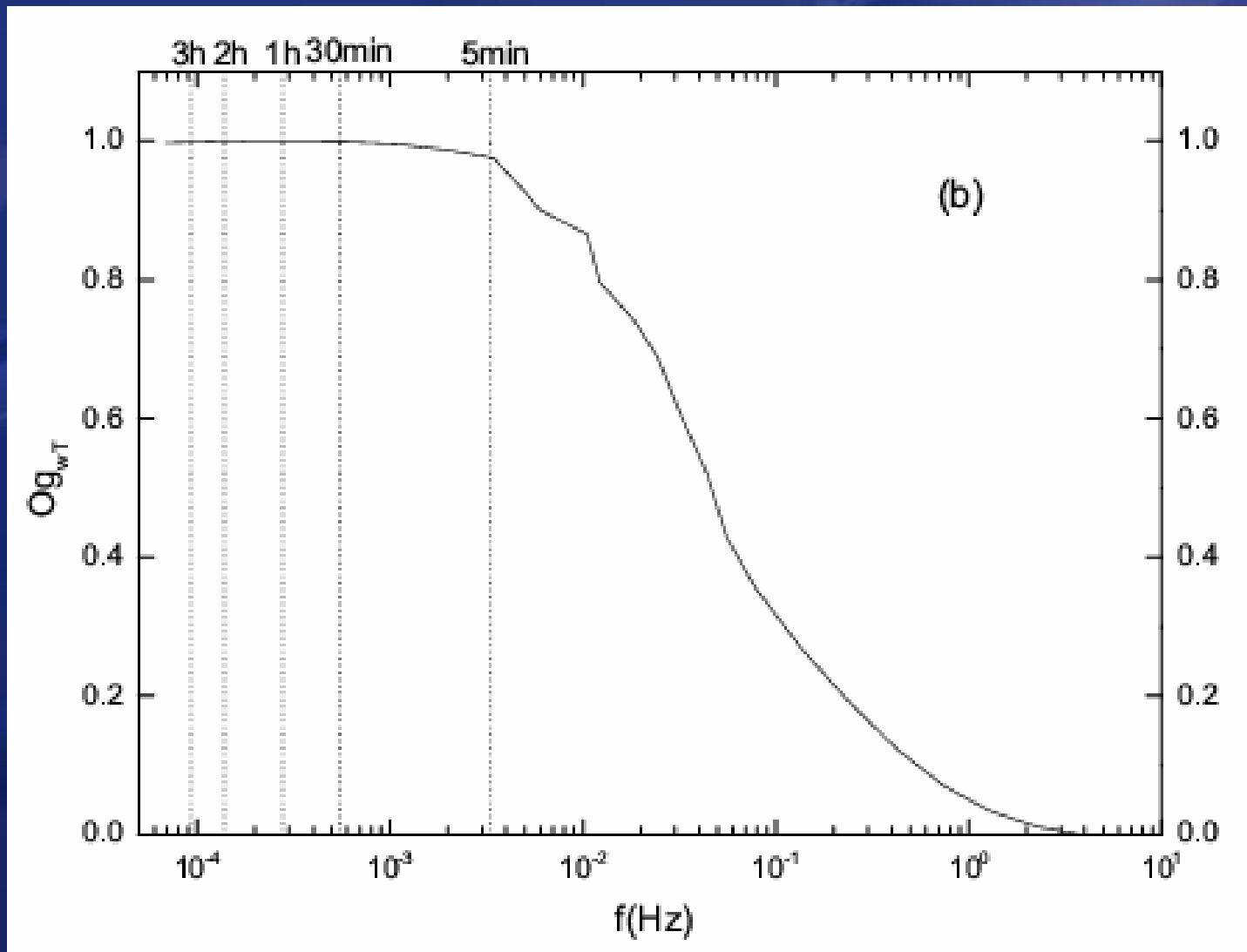
$$Og_{wx}(f) = \int_{f_{high}}^f Co_{wx}(f) df$$

这里  $f_{high}$  是Nyquist频率  $f$  是比最低分辨率  $f_{low} = (2T)^{-1}$  大的频率, T是时间序列的长度



2006年08月21日11:00-15:00标准化的潜热通量 $Og_{wsp}$ 曲线

兰州大学大气科学学院



2006年08月21日11:00-15:00标准化的感热通量 $Og_{wT}$ 曲线

兰州大学大气科学学院

❖ 该站上资料取30min-1hour作为湍流通量计算的平均周期为最佳；同时也验证了CR5000数据自动记录器记录30分钟的湍流通量平均值是合适的。

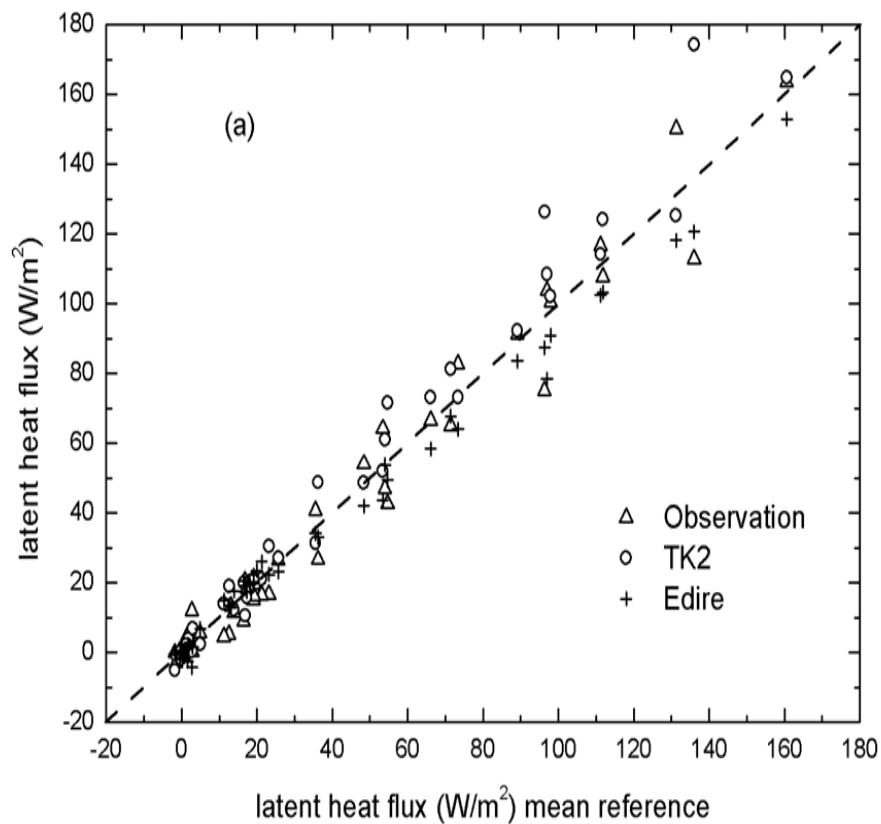
## 2. 三种湍流通量值输出方式的比较

下面介绍三种通量输出方式，对三种通量输出方式的结果进行比较，通过误差分析，利用误差最小的方法进行黄土高原半干旱区的湍流通量特征的分析。这三种方法分别是CR5000数据自动记录器，TK2软件包和Edire软件包对湍流通量的输出。

$$H_s = \rho C_p \overline{w'T'}$$

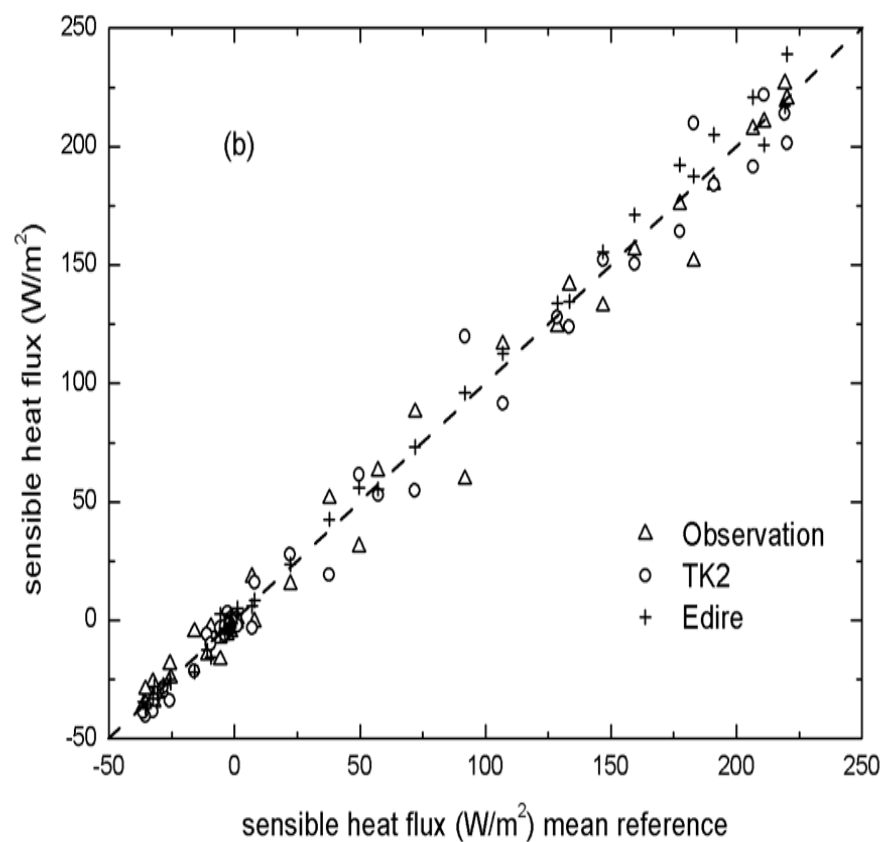
$$LE = \rho \lambda \overline{w'q'}$$

Software	TK2	Edire
<b>*Data sampling</b>	CSAT3,USA-1,HS,R2,R3,ATIK, NUW, Young; 6262,7000,7500,KH2O,ADC OP-2	Any
<b>*Data preparation</b>	Test plausibility, Spikes; Block average; Time lag const/auto	Test plausibility, spikes; Optional detrending (linear/filter); Block average; Time lag const/auto
<b>*Coordinate rotation</b>	Planar fit/2-D rotation; Head-correction	Planar fit/2-D/3-D rotation
<b>*Buoyancy flux into sensible heat flux</b>	Schotanus et al. (1983)/ Liu et al. (2001)	Schotanus et al. (1983)/ Liu et al. (2001)
<b>*Oxygen correction hygrometer</b>	Tanner et al. (1993)	–
<b>*High frequency loss</b>	Moore (1986)	Moore (1986)/ Eugster and Senn (1995)
<b>*WPL correction</b>	Webb et al. (1980)	Webb et al. (1980)
<b>*Iteration of all corrections</b>	yes	yes
<b>*Calculation</b>	$\lambda(T); C_p(c_{p,dry}, q); \rho(T, p)$	$\lambda(T); C_p(c_{p,dry}, q); \rho(T, p)$
<b>*Quality control</b>	Test steady state, integral turbulence characteristics: Foken and Wichura (1996)	Test steady state, integral turbulence characteristics: Foken and Wichura (1996), Vickers and <small>德州大学</small> 德州大学大气科学学院 Footprint



三种不同输出方式  
得到的潜热通量值  
与他们的平均值的  
比较

三种不同输出方式  
得到的感热通量值  
与他们的平均值的  
比较



不同输出方式计算得出的潜热和感热通量的回归分析结果：

<b>Turbulent flux</b>	<b>Output manners</b>	<b>Slope</b>	<b>Intercept</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Latent heat flux</b>	<b>Observation</b>	0.999	-0.87	0.974
	<b>TK2</b>	1.095	-0.08	0.979
	<b>EdiRe</b>	0.905	0.99	0.993
<b>Sensible heat flux</b>	<b>Observation</b>	0.976	0.17	0.987
	<b>TK2</b>	0.988	-0.74	0.987
	<b>EdiRe</b>	1.037	0.56	0.997

❖综合三种输出方式得出的潜热通量和感热通量值的比较分析,可知,在SACOL观测站上EdiRe对于湍流通量的计算更为精确。

## **四、黄土高原半干旱区的湍流通量特征及其闭合状况**

# 1. 土壤热通量的计算

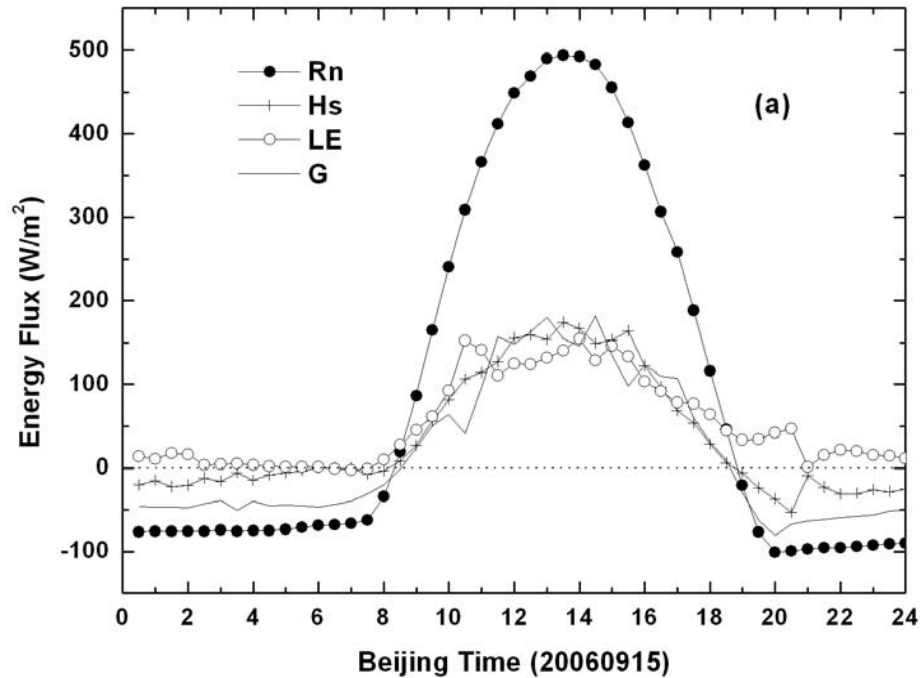
$$G_0 = G_z + \int_0^z C_v(z) \frac{\partial T_s(z)}{\partial t} dz$$

$$T_0 = \left[ \left( R_{lw}^{\uparrow} - (1 - \varepsilon_g) R_{lw}^{\downarrow} \right) / (\varepsilon_g \sigma) \right]^{1/4}$$

取地表发射率  $\varepsilon_g = 1$

$$T_0 = \left( \frac{R_{lw}^{\uparrow}}{\sigma} \right)^{1/4}$$

## 2. 半干旱区近地层能量传输的日变化

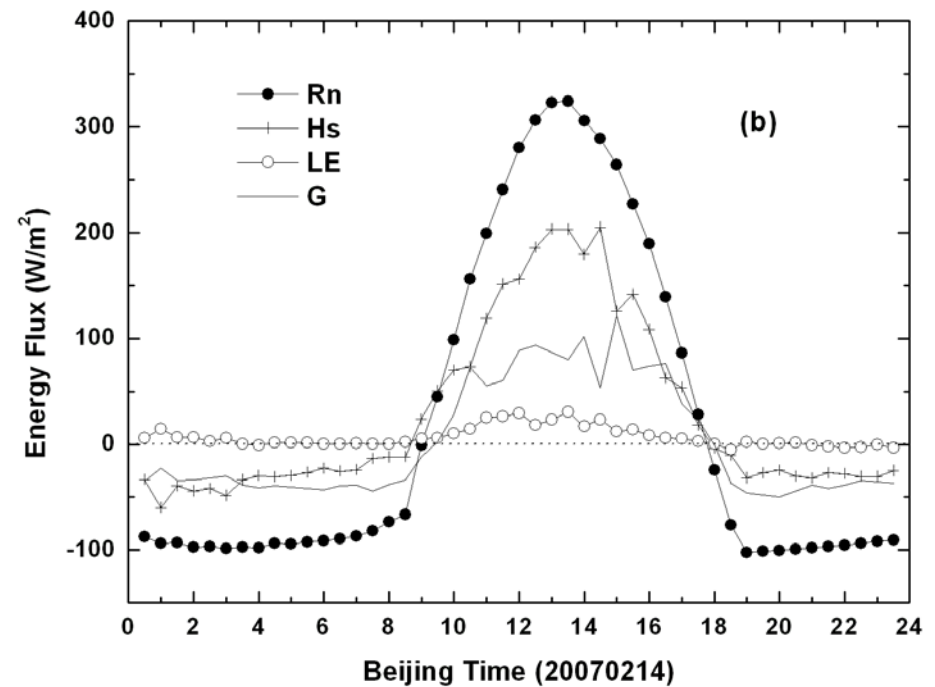


2006年09月15日

湿季晴好天气能量通量的日变化

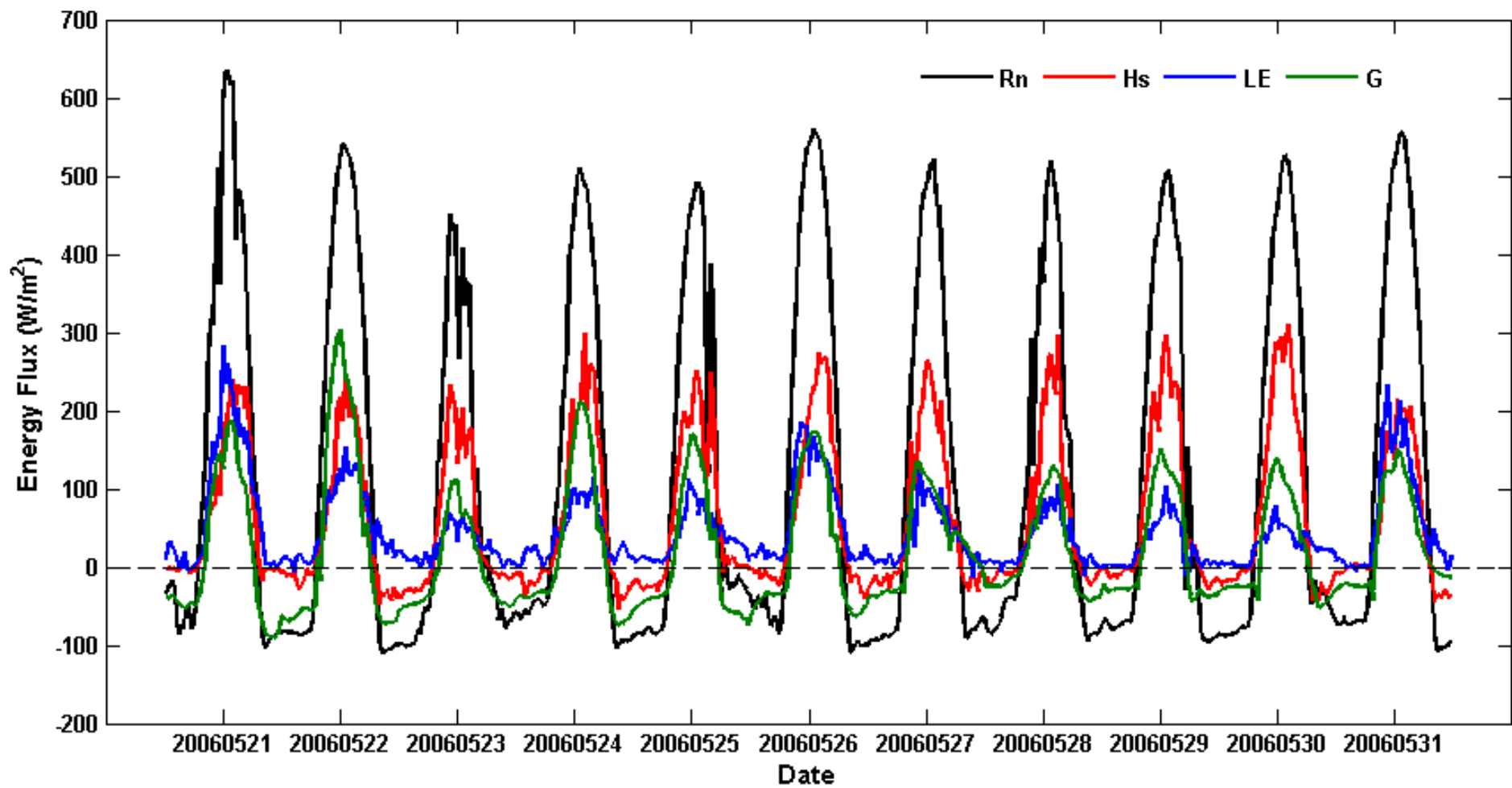
2007年02月14日

干季晴好天气能量通量的日变化



### 3. 半干旱区干燥和湿润过程的交替变化

- ❖ 将2006年05月21日-31日的数据做30分钟平均，共得528个时次，其中18个时次为数据缺测及物理上不合理的时次，占总数据的3.4%。根据Foken和Wichura (1996) 进行平稳性检验 (steady state test) 和总体湍流特征检验 (Integral Turbulence Characteristics test)，得出高质量数据 (high quality data: 用于基础研究用) 有159时次，占30.1%，中等质量数据 (moderate quality data: 用于一般通量的分析) 有231时次，占总数据的43.8%，低质量数据 (low data quality: 补缺和差值) 有120时次，占22.7%，低质量数据基本产生于夜间，即日出前和日落后 (19:00-00:00-07:00)。



2006年05月21-31日地表能量分布图

## 2006年05月下旬逐日各湍流通量占净辐射比例

2006	0521	0522	0523	0524	0525	0526	0527	0528	0529	0530	0531
<b>Hs</b>	33%	39%	51%	45%	44%	42%	46%	50%	50%	56%	36%
<b>LE</b>	40%	24%	15%	19%	20%	28%	19%	17%	15%	11%	32%

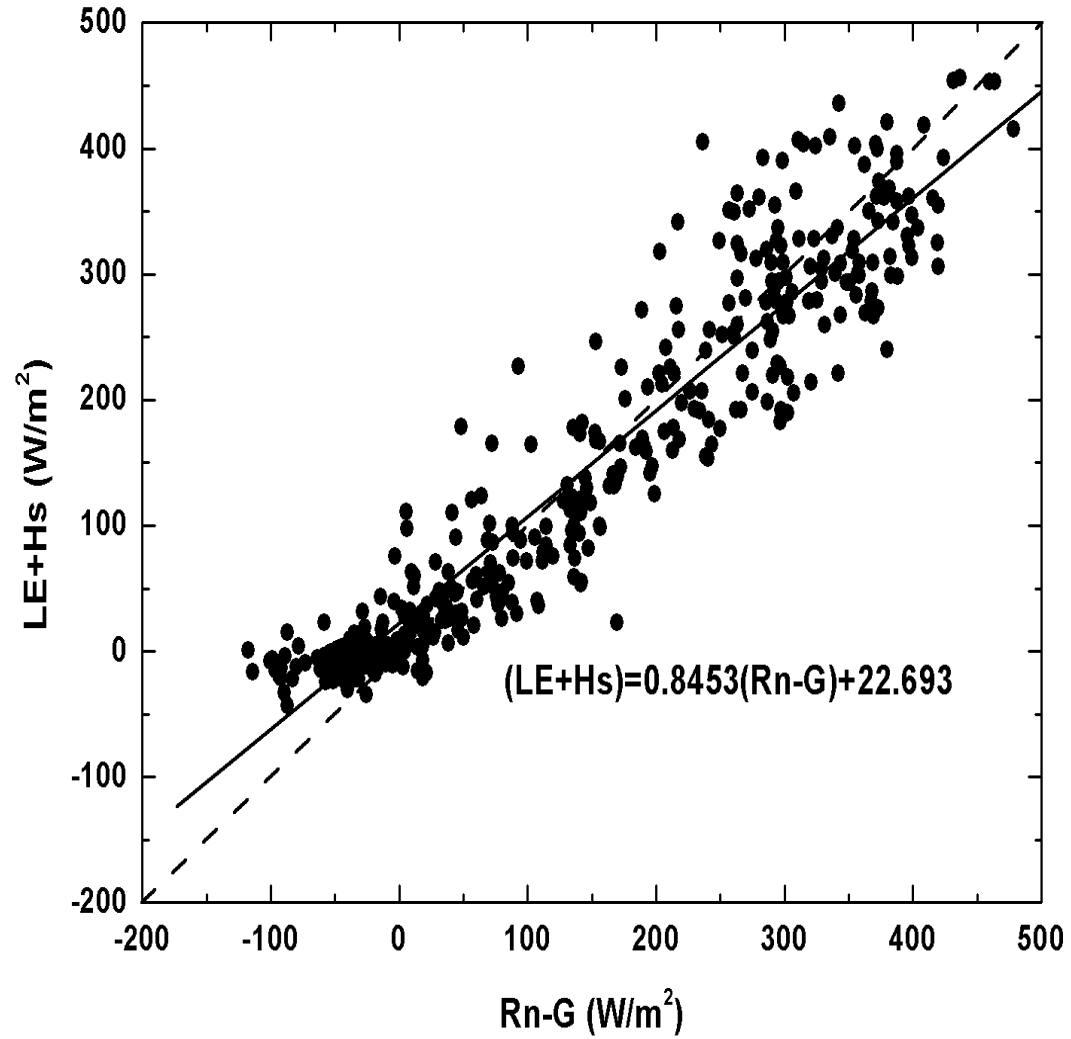
## 4. 黄土高原半干旱区能量闭合状况

$$LE + Hs = Rn - G_0 - S - Q$$

Q项为附加能量源汇的总和，很小，一般被忽略

研究表明只有当冠层高度超过8m时，冠层热储能S对能量闭合程度的影响才很大

$$Rn - G_0 = Hs + LE$$



## 地表能量平衡的闭合率

## 五、结论

- ❖ (1) 兰州大学半干旱气候与环境监测站 (SACOL) 观测得到的湍流通量原始数据通过Ogive分析得出该站上资料取30min-1hour作为湍流通量计算的平均周期为最佳; 同时也验证了CR5000数据自动记录器记录30分钟的湍流通量平均值是合适的。
- ❖ (2) 利用TK2和Edire两个软件包对原始资料进行30min平均周期的湍流通量输出, 与CR5000数据自动记录器输出的湍流通量值进行比较, 得出Edire输出的结果相对较好。

❖ (3) 黄土高原半干旱区荒原地表干燥时主要以感热的方式输送能量，潜热通量占很小的一部分，蒸发很小，而湿季感热和潜热所占比例相当；当发生降水过程后，感热通量变小，潜热通量变大甚至超过感热通量。由于半干旱地区有较强的蒸发力，加之一般降水强度较低，这种特征一般只能维持1-2天，其后潜热通量迅速减小，感热通量迅速增加。黄土高原半干旱地区干季湍流通量占净辐射的比例分别为感热通量为56%，潜热通量为11.3%，土壤热通量为24%，不平衡部分仅有8%左右。

❖ (4) 黄土高原半干旱区的地表能量平衡闭合比率为0.85左右，与已有的观测相比，兰州大学黄土高原半干旱环境监测站观测的近地层能量平衡属于较好的水平。

谢谢！