



主要内容

- 背景
- 评价方法
- 应用
- 结论

一、背景

- 观测数据的质量保障是观测试验成败的生命线，是开展科学研究的基础。

观测试验的主要成果体现是观测数据

管理部门决策的支撑

学术成果的基础

- 国内外很多学者致力于观测数据质量的研究。



二、评价方法

- 偏度与峰度检验
- 湍流能量谱
- 湍流的平稳性
- 湍流发展充分性
- 能量平衡闭合
- 通量贡献源区

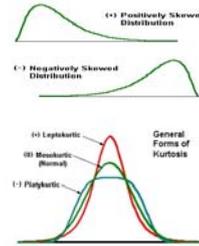
二、评价方法

1、偏度与峰度检验

湍流具有随机性，湍流脉动量的分布一般正态规律。对湍流量正态性的检验，即偏度和峰度检验，是一些作者采用的质量控制方法之一，可检查由仪器或数采仪问题引起的异常记录（Outliers）。

$$\text{偏度 (Skewness)} \quad S_k = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)\sigma^3}$$

$$\text{峰度 (Kurtosis)} \quad K_u = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{(N-1)\sigma^4} - 3$$

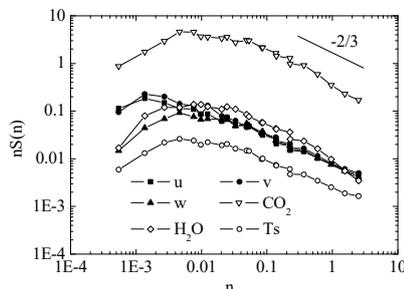


σ 为标准差。 $S_k > 0$ ，峰值左偏； $S_k < 0$ ，右偏。 $K_u > 0$ ，分布陡峭； $K_u < 0$ ，平缓。窗口宽度 N 根据情况选定。二者的阈值可参考： $|S_{kT}| = 3.6$ ， $K_{uT} = 10$ （大的 K_u 值表示可能有大的异常值）。

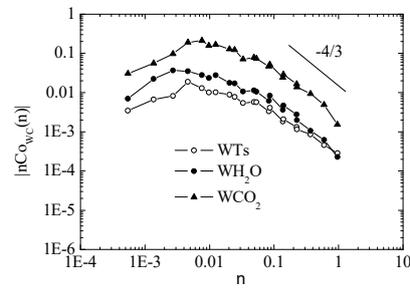
二、评价方法

2、湍流能量谱

在近地边界层小尺度湍流是各向同性的，在惯性子区内能量即不产生也不消耗，对数坐标系下，功率谱应遵循-2/3的规律向更小的尺度传递；协谱在惯性子区应该符合-4/3定律。



功率谱(u, v, w, CO₂, H₂O, Ts)



协谱(wTs, WCO₂, WH₂O)

密云站2009年7月7日10:00-14:00共8个30分钟各变量功率谱/协谱的平均值

二、评价方法

- 低频段斜率不随频率减小明显减小
取平均时间偏短（一般低频端谱值应比谱峰值低一个量级以上）
- 谱中包含可疑的峰值或野点
原始资料被电源和仪器噪音污染
- 高频段斜率大于-2/3
传感器响应劣化，信号被平滑；随机噪音过大
- 高频段斜率小于-2/3
原始资料含有似野点噪音或量化噪音（A/D转换缺位）

二、评价方法

3、湍流的平稳性检验

湍流平稳性（Stationarity）指一个观测时次内主要统计量保持稳定。非平稳情况，在30 min内，有变化趋势，或出现结构性变化。

检验方法：每个分时段协方差（5min）的平均值和全时段协方差（30min）之间差值与全时段协方差之比。

$$\Delta st = \frac{|\overline{(x'y')_5} - \overline{(x'y')_{30}}|}{\overline{(x'y')_{30}}} * 100\%$$

Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Range	0-15	16-30	31-50	51-75	76-100	101-250	251-500	501-1000	>1000%

Foken et al., 2004

Mauder and Foken et al., 2004

Rebmann et al., 2005

Class	0	1	2
Range	0-30	30-100	>100 %

Class	1	2	3	4	5
Range	0-15	16-30	31-75	76-250	>250%

二、评价方法

4、湍流发展的充分性检验

湍流发展的充分性检验（方差相似性规律）可以检验湍流是否能够很好地发展与形成。湍流充分发展情况下，符合莫宁-奥布霍夫相似理论（MO理论）。

$$ITC = \left| \frac{(\sigma_x / X_*)_{model} - (\sigma_x / X_*)_{measurement}}{(\sigma_x / X_*)_{model}} \right| * 100\%$$

Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Range	0-15	16-30	31-50	51-75	76-100	101-250	251-500	501-1000	>1000%

Class	0	1	2
Range	0-30	30-100	>100 %

Foken et al., 2004

Class	1	2	3	4	5
Range	0-15	16-30	31-75	76-250	>250%

Mauder and Foken et al., 2004

Rebmann et al., 2005

二、评价方法

综合两种以上质量划分指标（平稳性和湍流发展充分性）

steady state (deviation in %)	integral turbulence characteristic (deviation in %)	Final flag	steady state (deviation in %)	integral turbulence characteristic (deviation in %)	Final flag
0 - 15	0 - 30	1	0-30	0-30	1
16 - 30	0 - 30	2	0-30	31-75	2
0 - 30	31 - 75	3	31-75	31-75	3
31 - 75	0 - 30	4	31-75	76-250	4
0 - 75	31 - 100	5	>75	>250	5
76 - 100	0 - 100	6			
0 - 250	0 - 250	7			
0 - 1000	0 - 1000	8			
> 1000	> 1000	9			

steady state (deviation in %)	integral turbulence characteristic (deviation in %)	Final flag
< 30	< 30	0
< 100	< 100	1
> 100	> 100	2

Foken et al., 2004

Rebmann et al., 2005

Mauder and Foken et al., 2004

二、评价方法

	Flags after Foken (1999), see also Foken et al. (2004; 2012c)	Flags after Rebmann et al. (2005)	Flags after the Spoleto agreement, see also Mauder et al. (2013)
high quality data, use in fundamental research possible	1-3	1-2	0
moderate quality data, for use in long term observation programs	4-6	3-4	1
low data quality, gap filling necessary	7-9	5	2

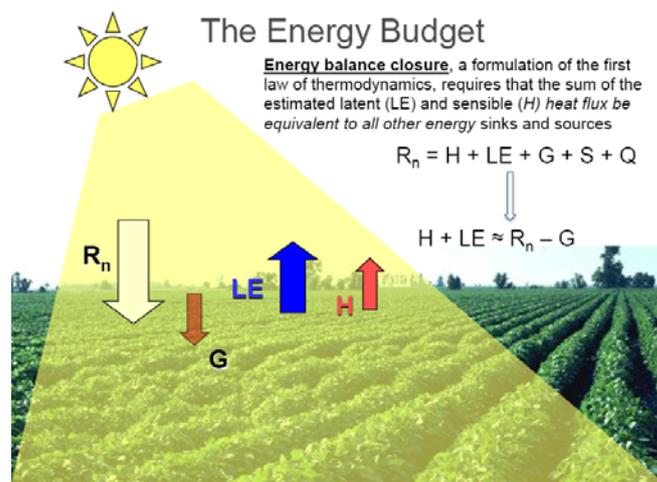
第一类：可用于研究使用，质量较好；

第二类：在连续通量观测实验中可用；

第三类：只能定性的使用。

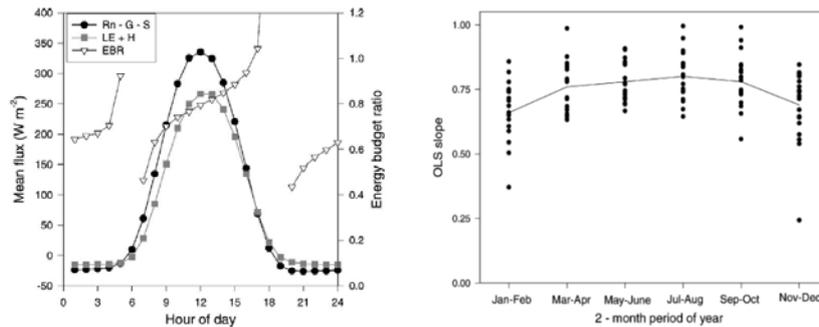
二、评价方法

5、能量平衡闭合状况



二、评价方法

能量平衡闭合被认为是检验涡动相关测量数据的一个重要标准，FLUXNET许多站点都把能量平衡闭合状况分析作为一种标准的程序用于通量数据的质量评价。



能量平衡比率EBR的日变化与季节变化 (Wilson et al., 2002)

二、评价方法

从20世纪80年代后期开始，地表能量平衡不闭合的现象在大多数试验中逐渐被发现 (Foken and Oncley, 1995), 即可利用能量 (净辐射与土壤热通量之差) 大于感热和潜热通量的和。能量平衡闭合率EBR可以表示为:

$$EBR = \frac{\sum(H + LE)}{\sum(R_n - G)}$$

大多数观测结果表明能量平衡闭合率在80%左右 (Wilson et al., 2002)。为探究导致能量平衡不闭合的原因，2000年在美国加州弗雷斯诺附近专门开展一次有关能量平衡闭合的专题试验 (EBEX-2000)，一些结果也陆续发表 (Oncley et al., 2007; Mauder et al., 2007; Kohsiek et al., 2007)

导致能量平衡不闭合的原因?

二、评价方法

6、通量贡献源区

什么是足迹 footprint?

➤ **Footprint:** 足迹、印痕、印记、印迹、踪迹?

➤ **与实验观测密切相关**

➤ **观测:** 原因 → 结果

➤ **足迹:** 结果 → 原因



足迹可以用来对下垫面的观测区域进行质量评估，以确定观测到的通量值是否来源于我们所关心的研究区域。

二、评价方法

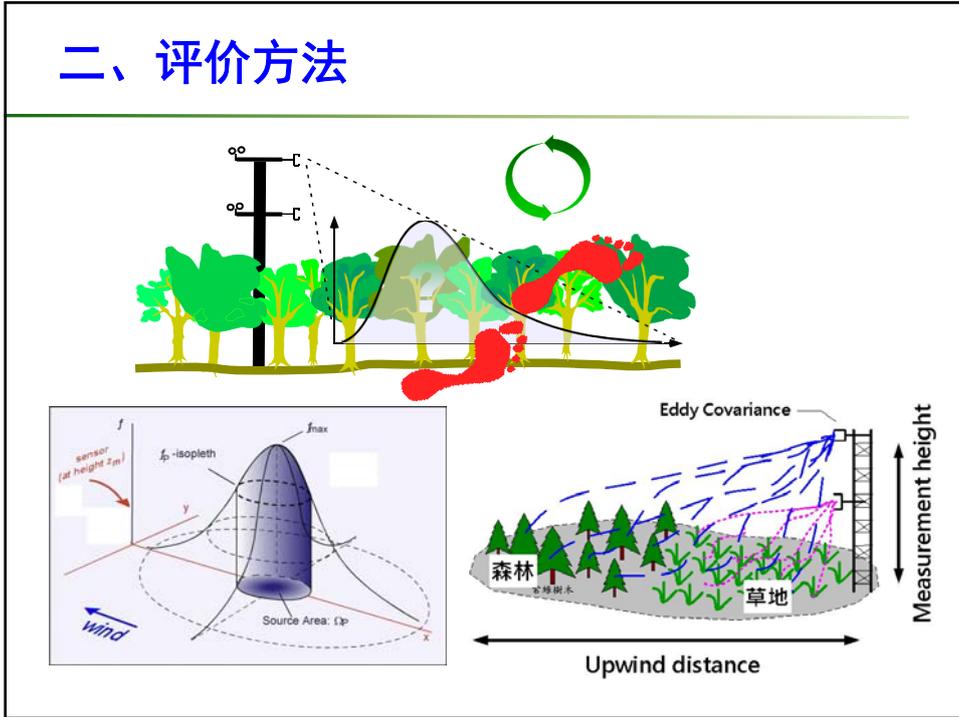
观测通量的空间代表性是指仪器的测量值能在多大程度上反映实际下垫面的平均或累积的状况。足迹又称为源权重函数，是描述近地面层表面源或汇的空间分布和仪器观测值之间关系的函数，与仪器架高、大气状况（稳定度、风速、风向等）以及下垫面粗糙度等因素有关。

✦ 选用Kormann和Meixner的解析函数，建立了单点（涡动相关仪）的足迹模型 (Korman and Meixner, 2001) :

$$f = D_y f^y(x, z_m)$$

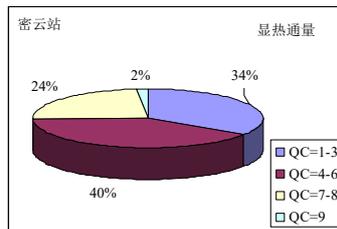
D_y 为侧风向湍流扩散分布函数， $f^y(x, z_m)$ 为通量侧向积分函数， z_m 为观测高度。

二、评价方法



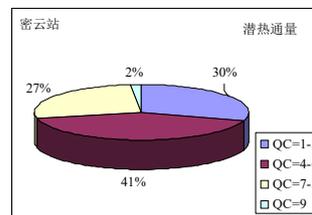
三、应用

1、观测数据质量



感热通量数据质量

潜热通量数据质量



从整体数据质量统计来看：密云站可用于一般通量数据分析约73% (QC=1-6)，质量较差数据（较插补值好）约25% (QC=7-8)，质量差数据 (QC=9) 约2%。（2009年密云站）

三、应用

2、能量平衡闭合

- 1) 仪器偏差
- 2) 能量平衡各项的测量仪器源区不同
- 3) 能量贮存考虑不充分
- 4) 大尺度涡旋与湍流结构影响

三、应用

1) 仪器偏差

一般认为，能量平衡方程中净辐射的精度可以满足测量需求，过去的十几年中，净辐射传感器的测量精度有了明显提高。土壤热通量是地表能量平衡中的小项，一般小于净辐射的20%，在LITFASS观测实验中，对土壤热通量精度作了检验，表明精度可在±15%之内（Mauder et al., 2006）。

表 1-3 辐射传感器的精度 (Foken, 2006)

观测项目	传感器	精度(1990)(W/m ²)	精度(1995)(W/m ²)
总辐射	Diskpyranometer	15	5
散射辐射	Shaded Pyranometer	10	5
长波辐射	Pyrgeometer	30	10

传感器的精度基本可以满足观测实验的要求!

不同类型传感器测量感热、潜热通量差异在40W/m²以内。

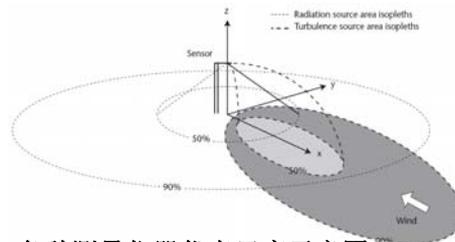
表 1-4 不同类型涡动相关仪测量的精度

传感器	质量	感热通量	潜热通量
Type A	高	5% 或 10W/m ²	10% 或 20W/m ²
e.g. CSAT3	中	10% 或 20W/m ²	15% 或 30W/m ²
Type B	高	10% 或 20W/m ²	15% 或 30W/m ²
e.g. USA-1	中	15% 或 30W/m ²	20% 或 40W/m ²

三、应用

2) 能量平衡各项的测量仪器源区不同

- 能量平衡方程中不同项目及测量仪器的代表性尺度不同:
- 起伏地形和非均匀植被下不同风向的源区差异



各种测量仪器代表尺度示意图

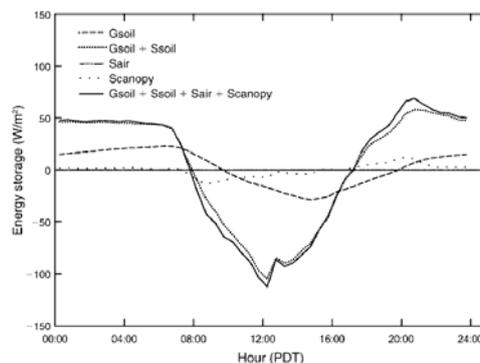
表 1-5 能量平衡各分量测量误差、架设高度与水平观测尺度 (Foken, 2006)

观测项目	测量误差 (%)	测量误差(W/m ²)	水平尺度 (m)	架设高度(m)
潜热通量	5~20	20~50	100	2~10
感热通量	5~20	10~30	100	2~10
净辐射	5~20	20~100	10	1~2
土壤热通量	20~50	20~50	0.1	-0.02~-0.1
储存项	20~50	20~50	0.1~1	-0.02~-0.1

三、应用

3) 能量贮存考虑不充分

能量储存项包括土壤热通量板至地表的土壤热储存, 仪器测量高度至地面的空气和冠层热储存及其它形式的热储存等。



能量储存项 (G_{soil} , 土壤热流板测量通量; S_{soil} , 土壤热储存; S_{air} , 空气中能量储存; S_{canopy} , 观测中能量热储存) (Oncley et al. 2007)

三、应用

4) 大尺度涡旋与湍流结构影响

单点涡动相关方法不能测到的大尺度涡旋的通量贡献可能是造成能量闭合问题的主因。陆面景观非均匀性常会诱发此类涡旋。

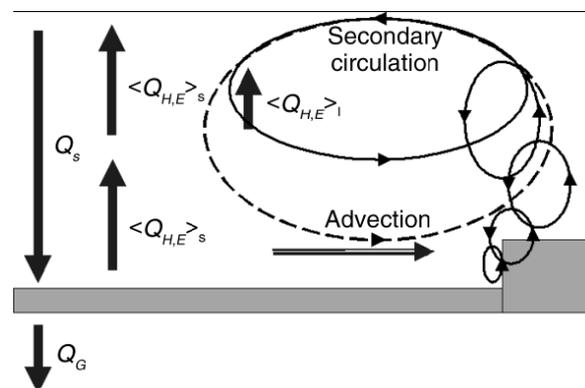
利用累积频率分析，即Ogive函数 $Og_{w,x}(f_0) = \int_{-\infty}^{f_0} Co_{w,x}(f) df$

可以检查涡动相关通量是否已包含主要尺度的涡旋。

一般平均周期取30min即可。但有时需要有大于2小时甚至4小时的涡旋才能得到统计上有意义的结果。而过长的取平均时间会带来大气非平稳性的负面影响，而且有些涡旋本身就是静止的，无论多长时间的平均，单点的涡动相关仪均不能测量到该类涡旋。

三、应用

地面的非均匀性会诱发二次环流（平流）。这种结构常常是较为稳定的。



Foken et al., 2008

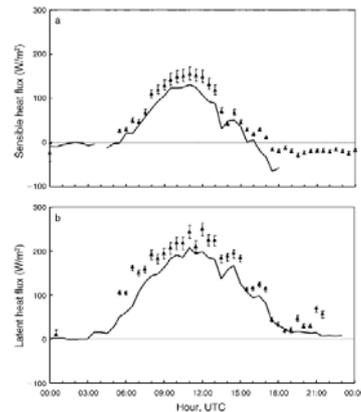
三、应用

与长的取平均时间可以增加能量闭合率类似，采用飞机，多个塔站或LAS观测（注意Footprint分析）较大面积的合成通量也可提高闭合率。如下图实验，LAS观测得到的热通量比EC高20—50 W/m²。

实线：涡动相关仪

a: 感热通量

b: 潜热通量

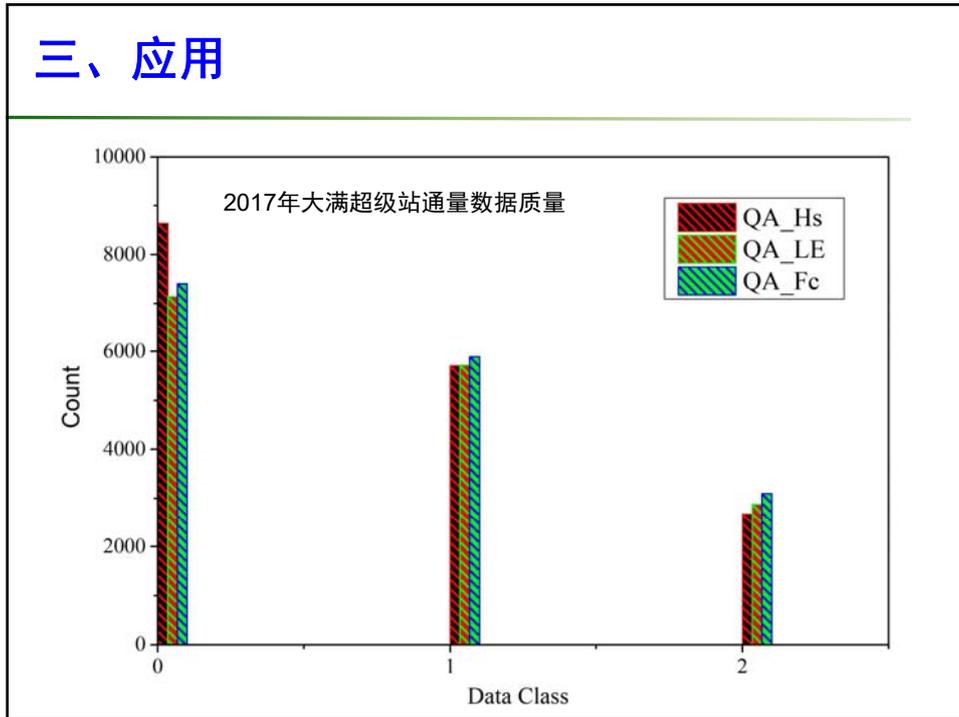


大孔径闪烁仪与涡动相关仪测量通量比较 (Beyrich et al. 2006)

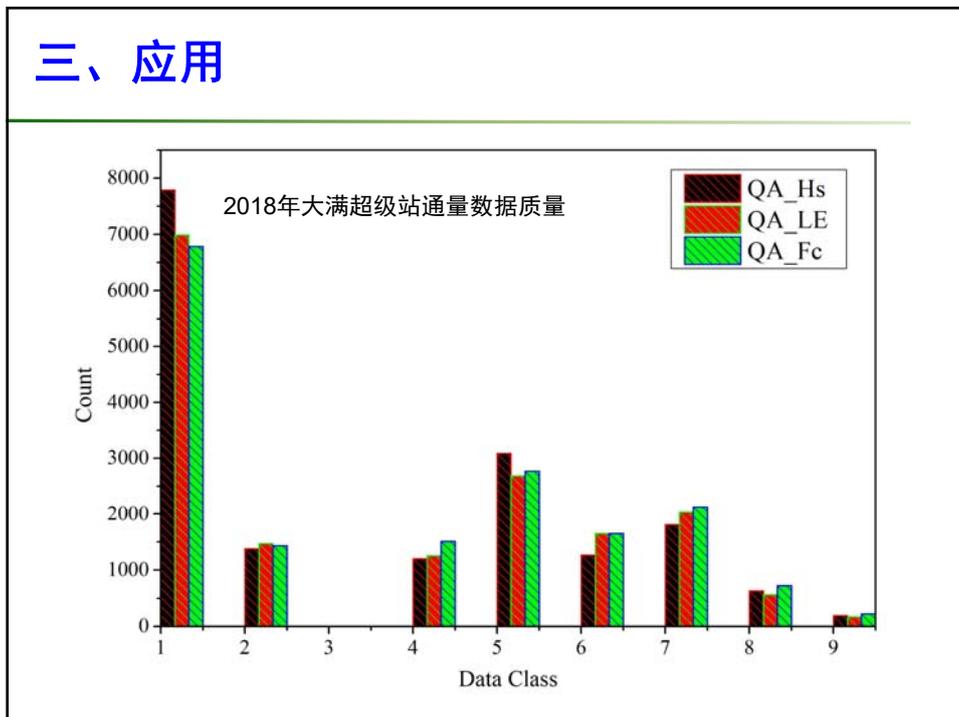
三、应用

- 传统的单点时间平均的涡动相关仪不能测量到的空间存在的大尺度涡旋和二次环流可能是导致能量平衡不闭合的主要原因。
- 解决方法：应用测量尺度更大的通量仪器（如大孔径闪烁仪）、开展多点矩阵式观测、机载涡动相关仪等。

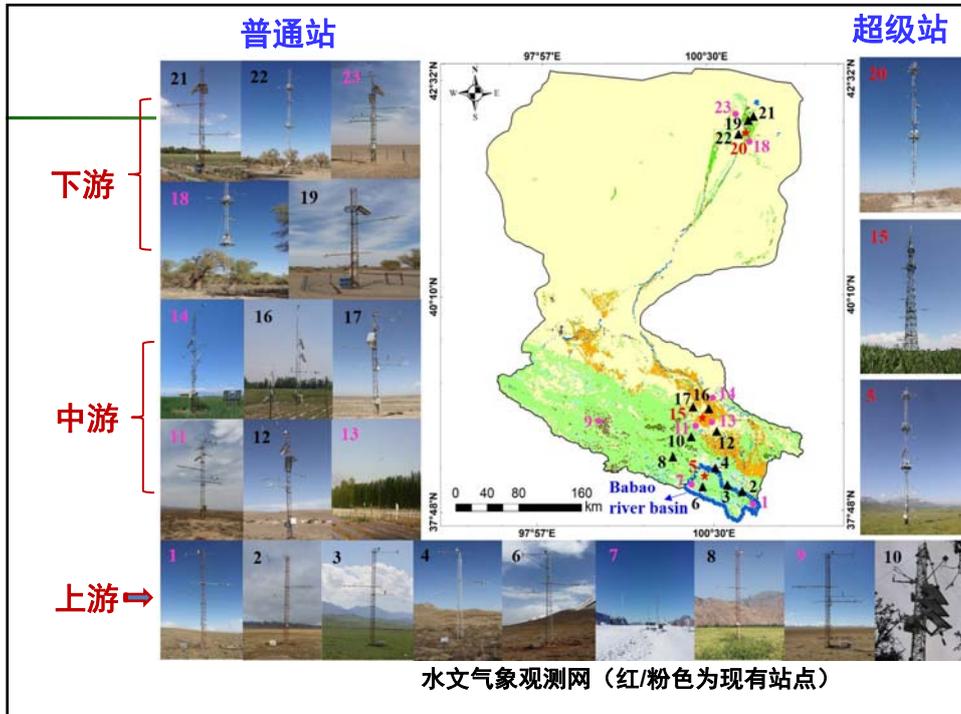
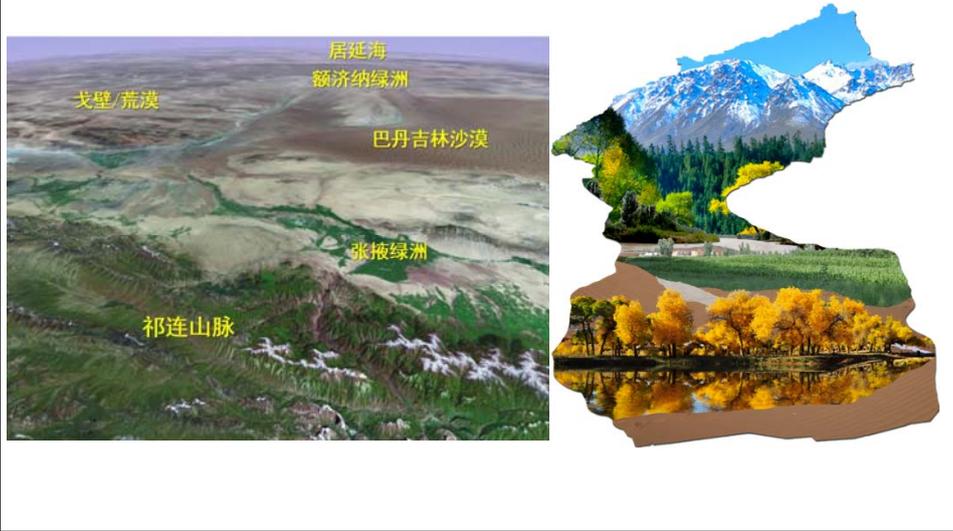
三、应用



三、应用



黑河流域的景观地带性十分明显，从上游到中、下游，以水为纽带，形成了“冰雪 / 冻土—森林—草原—河流—湖泊—绿洲—沙漠—戈壁”的多元自然景观。



数据共享和产出

- 在“黑河计划数据管理中心”、“寒区旱区科学数据中心”、“数字黑河”上发布中文数据集**817**个（HiWATER: 390; WATER: 427）、英文数据集**514**个（HiWATER: 214; WATER: 300）；其中中游试验数据已在Nature开源期刊Scientific Data发表。为**28800**多人次提供**164.8TB**的数据服务，支持各类科研项目**470**多个。开创了国内科学数据共享的新模式，被认为“改变了数据共享的文化”。

黑河计划数据管理中心
(<http://www.heihedata.org>)

数字黑河
(<http://heihe.tpd.ac.cn>)

泛第三极大数据系统
(<http://data.tpd.ac.cn/>)

寒区旱区科学数据中心
(<http://westdc.westgis.ac.cn>)

英文数据网址
(<http://card.westgis.ac.cn/hiwater>)



四、结论

- 野外试验前，需做充分的准备工作和调研。
- 野外试验时，通过无线传输数据和定期作图查看观测数据质量，现场采集数据查看数据质量，并保留原始数据，这是保证观测数据质量的前提。
- 采集后的观测数据需及时查看和处理，后处理时需要对观测数据进行细致处理和严格的质量控制。

谢谢!