

水文气象大数据与可视化流域洪涝灾害 预警平台的展望及挑战

Prof. Lin Bingzhang (林炳章教授)

lbz@nuist.edu.cn

应用水文气象研究院(AHMRI) – Bridging Science and Society (BSS, 2009-10)

水文气象学院(COHM) – Education for Future (EFF, 2011-6)

南京信息工程大学 (NUIST)

第五届中国水利信息化技术论坛

河海大学

中国水利学会

March 30-31 , 2017 南京

特别声明

本课件为2017（第五届）中国水利信息化技术论坛专家发言材料，仅供参会人员内部交流使用，禁止外传及作为他用！

本届论坛主办单位：河海大学、中国水利学会

更多信息可关注微信公众号：swltzx

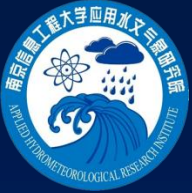
论坛会务组

电话：010-6320 3403/3233/3104

网址：www.sinowbs.org

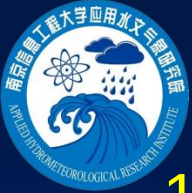
地址：北京市西城区白广路北口水利部综合楼732





内容

1. 题目的由来 (师出有名)
2. 可视化洪涝灾害预警平台 (核心技术)
3. 水文气象大数据初探 (研究方向)



第一部分：题目的由来 (1)

1) 今年春夏我国洪涝灾害暴露的问题：（现状）

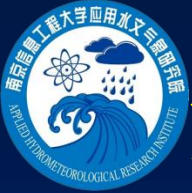
a) 对于滨河的城市（例如武汉、南京等）来说，要考虑“两碰头”，即：天上下暴雨和滨河大水遭遇，排水受阻；

b) 对于滨海大城市（诸如上海、杭州、福州、广州等），要考虑“三碰头”，即：天上下暴雨、三角洲河口(Estuary)上游来大水、海边恰逢天文高潮 (Storm surge)，同样的排涝不畅；

c) 城市水道、湖区、湿地是天然的洪水调蓄区，也是城市最大、最重要的海绵体，司职蓄水、分洪调水、补充地下水、旱时补充供水以及改善城市水体质量等功能，往往是城市最低洼地带；它是维系城市水文平衡的天然载体；

d) 三、四线城市面临山洪和城市内涝的同时威胁（看看城市街道上呼啸奔腾的浑浊浑水就知道了）。

***思考：海绵城市建设应该放在一个流域的框架内全局考虑。**



第一部分：题目的由来（2）

2) 暴雨高风险区划：（核心技术）

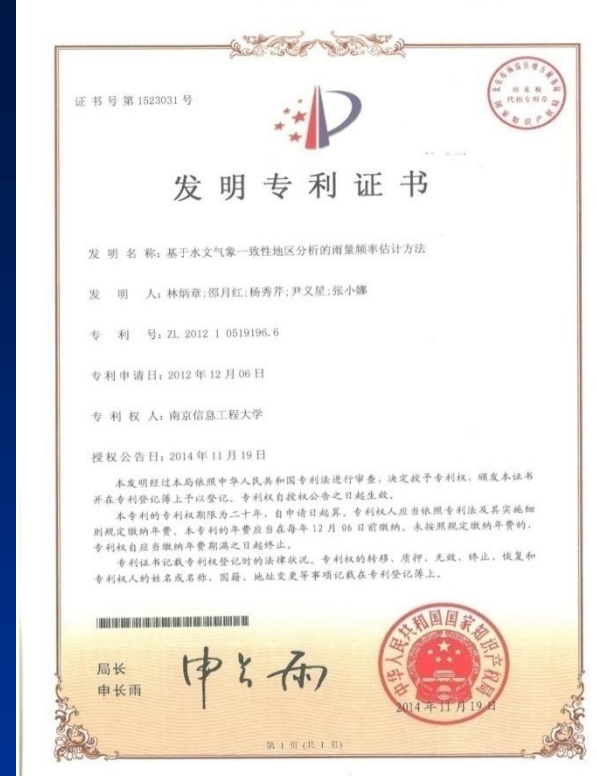
a) 基于最先进理论“地区线性矩”（发明专利 - 水文气象地区频率分析），独立自主开发的技术；

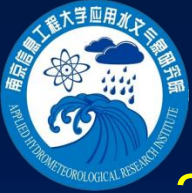
b) **定义**：一个地区内，某一定历时、一定频率（重现期）降雨事件中最大雨强的空间分布（AHMRI, 2013）；

c) **学术价值**：弥补工程水文暴雨空间分布的一项空白；

d) 广泛应用于大江大河防洪减灾规划、工程布局，山洪灾害预防，城市洪涝预防规划，灾害暴雨气象预警平台建设。

***思考：暴雨高风险区划的概念和技术对于整个流域以及连带的城市群的防洪减灾规划、预警平台建设特别有价值。**





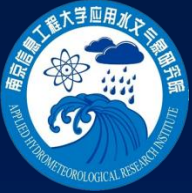
第一部分：题目的由来（3）

3) 与第四次工业革命同步的大数据云：（发展方向）

大数据的应用不仅仅是精准营销

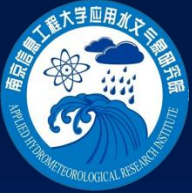
通过用户行为分析实现精准营销是大数据的典型应用，但是大数据在各行各业特别是公共服务领域具有广阔的应用前景





防洪减灾一条龙

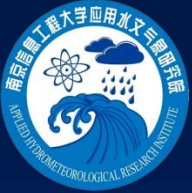
规划设计→预警预报→风险分析→决策支持→灾害评估→灾害恢复



第二部分：可视化洪涝灾害预警平台

以洪涝灾害中最难预报、死亡率又最高的山洪灾害为例。





思路 (1)

洪涝灾害三大原因：

**学者的责任：在降雨上做文章
(防汛预警、气象风险)**

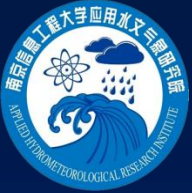
1) 强降雨 (时、空) ；

2) 水土流失 (山区) 或下垫面过度硬化 (城市) ；

**政府的责任：方针、政策
(地方政府的实施、管理)
(奖惩制度)**

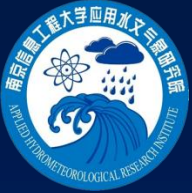
3) 行洪道上违规建设。

**政府的责任：方针、政策；
法律的责任：规范
学者的责任：工程建设规划**



思路 (2)

- 1、山洪的准确预报很难 – 世界难题；
- 2、重在预防 -- “暴雨高风险区”→ 规划；
- 3、气象风险预警（平台）→
 - 1）雨在降下来之前能不能有个预警依据？
 - 2）“平台”就有业务操作的功能→ 发布
- 4、气象、水文一定要合作。

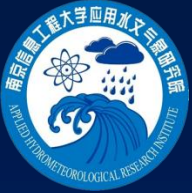


思路 (3)

1、风险 → 不确定性 → 估计值的分布 → 大量历史资料 → 降雨频率分析（暴雨频率估计值及其时-空分布）→ 现有的频率分析方法无法提供暴雨频率估计值的空间分布 → 需要寻找新的频率分析方法

2、技术流程：

- a) 不同频率的暴雨高风险区划；
- b) 当天定时的暴雨预报值；
- c) $D = (a \text{ 与 } b \text{ 的差值})$ ；
- d) D 的空间插值及其分布（颜色）→ 这就是当天的气象（暴雨）风险分布图。



思路（4）-- 可能性、把握？

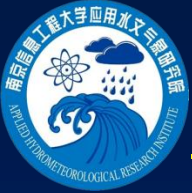
1、理论基础 – “地区线性矩暴雨频率分析法”

- 1) 历时16年完成了全美暴雨频率分布图的更新（97-13）；
- 2) 成果定为美国防洪的“国家标准（NS）”；
- 3) 获得我国知识产权局的发明专利（证书号#1523031）；
- 4) 承担的水利部行业专项结题评审获得最高等级“A”。

2、前期工作：

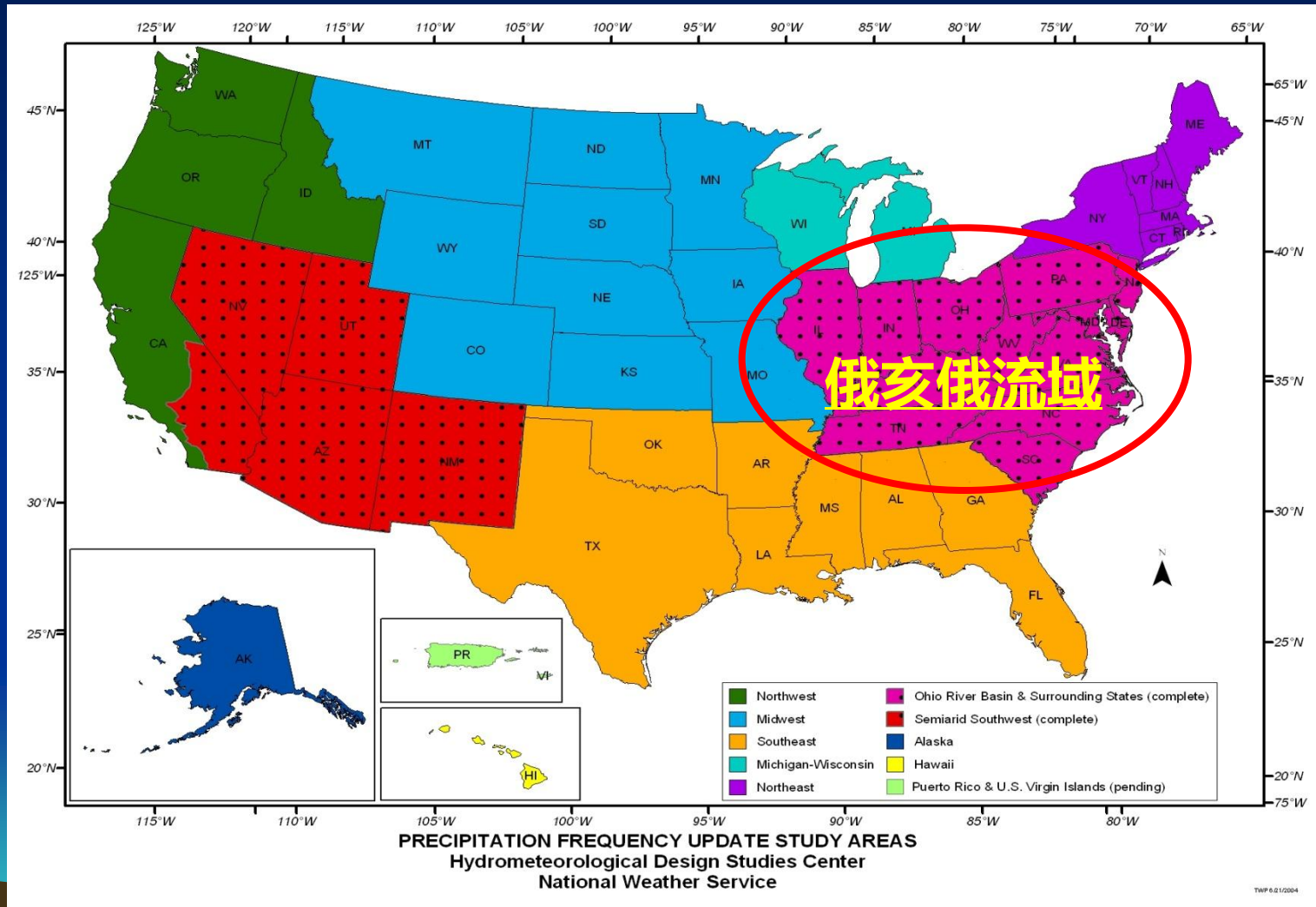
- 1) 水利部行业专项“水文气象分区线性矩法在防洪规划中的应用”（#201001047；太湖流域）→ **暴雨高风险区概念**和技术
- 2) 开发了“三张图山洪预警预报系统”，被国家防办选中，《山洪暴雨高风险区划关键技术研究及应用示范（江西）》、《山洪灾害暴雨高风险区划关键技术及示范应用（10省2市）》
- 3) 《厦门地区降雨频率图集及暴雨高风险区划图集编制》

3、培养、锻炼了一支成熟的年轻队伍



美国分区分片进行暴雨频率图集绘制工作

--全国防洪规划设计的科学基础



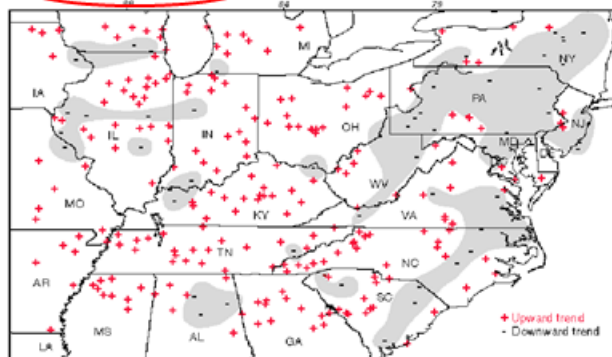
Sketch of regionalization of the U.S.

俄亥俄流域研究区日雨量站分布图



显示趋势性的站点分布图 (美国OHIO流域)

16% 表现出线性趋势

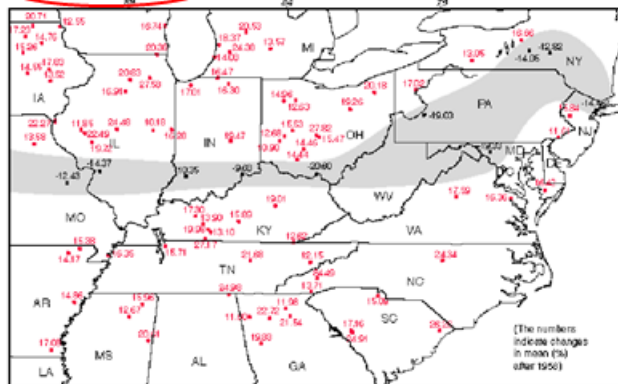


Map of stations that exhibit linear trend in mean for AMP over 20th century



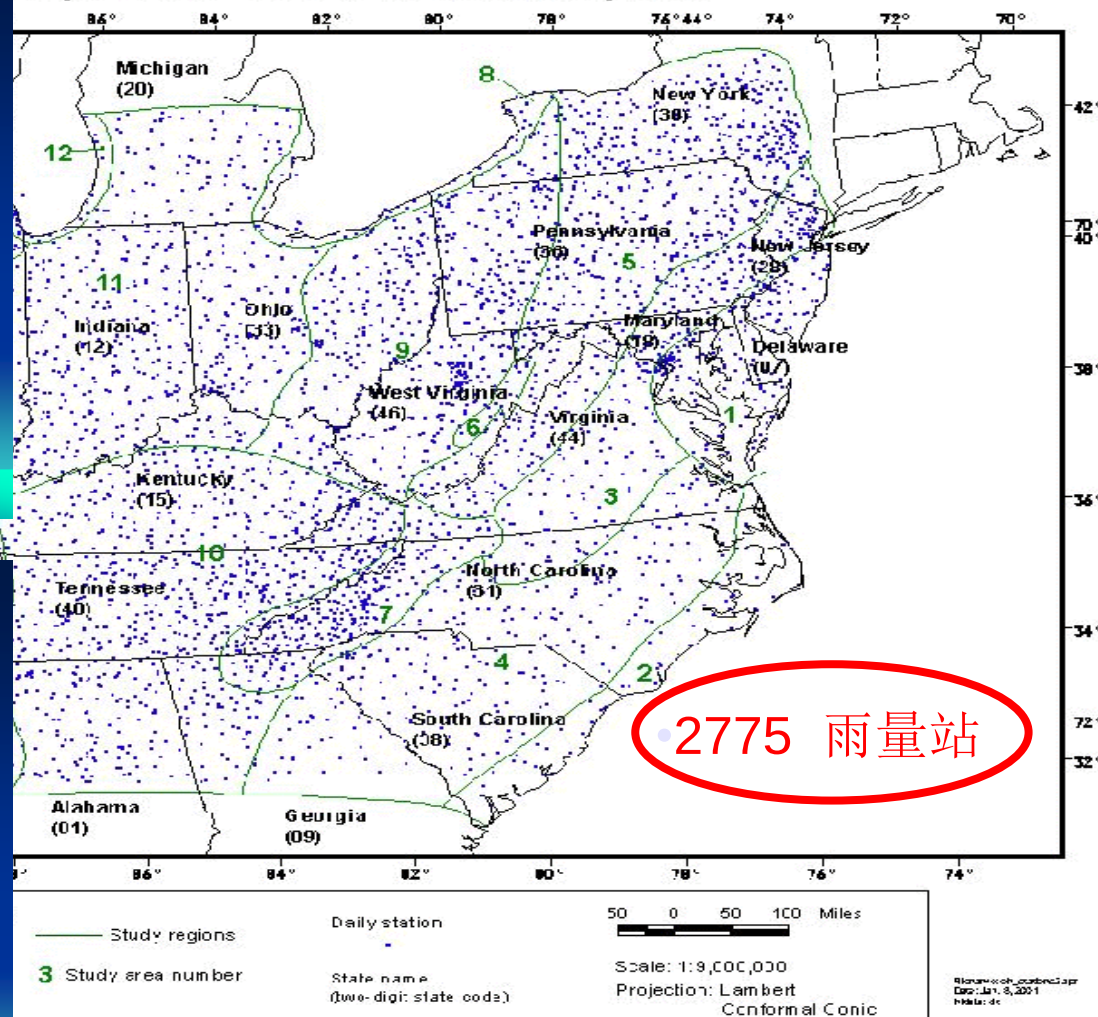
显示跳跃性的站点分布图 (美国OHIO流域)

18% 表现出跳跃性



Map of stations that exhibit shift in mean for AMP over the 20th century

Daily Stations - Ohio River Basin Study Area



Investigation of 1,741 daily AMS in Mainland China

17.5% of 2436 tested daily raingauges exhibits a linear trend in mean of annual maximum series (AMS), China



10.8% of 1649 tested daily raingauges exhibits a shift in mean of 30-year period before and after 1985, China



1. 气候变化是全球性的科学议题
2. 气候变化的影响是地区性的、综合性的议题 - 涉及到科学的、社会的、经济的、生态的以及政治的等等方面的议题。

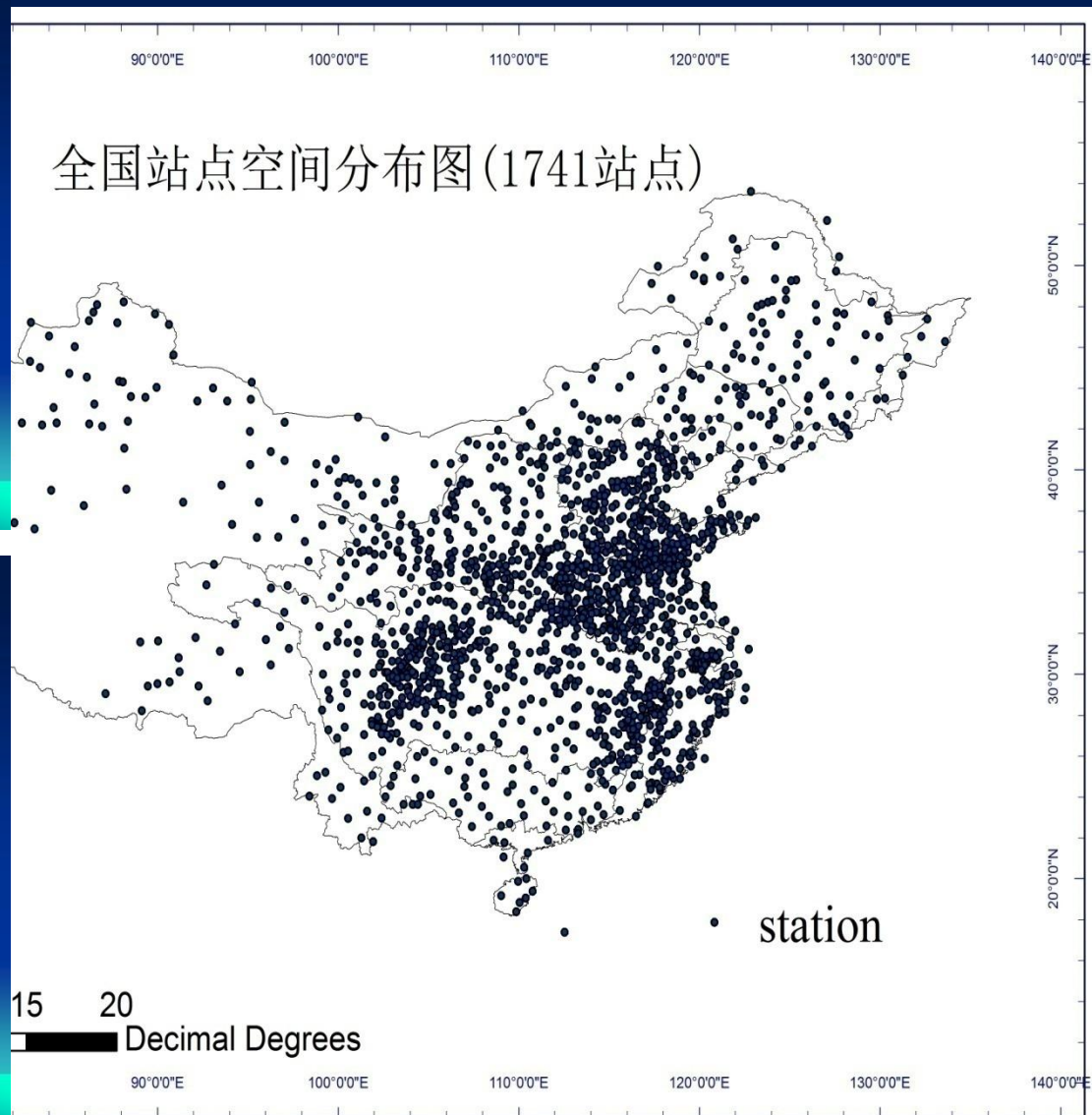
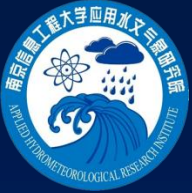


Fig. 6

Location of raingauges in China (partially)

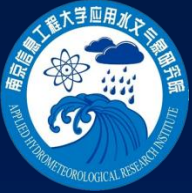


初步结论 (1)

- 总的来说，中美两国地区（流域）年最大日雨量均值在过去的近一百年中没有明显的趋势性和跳跃性；
- 但是，有50%被检验的美国俄亥俄流域的资料中，其方差呈现明显的增长趋势，上世纪后半叶的雨量极值系列的标准差（SD）较之上半叶平均增加了23%。

-- 这意味著什么呢？

- (However , there was more than 50% of tested sites that exhibited a clear increase in variance of daily AMS in OH River Basin , with SD increased by 23% for the latter half- to the former half- century. --- *What does it imply ?*)



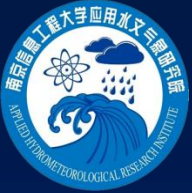
初步结论 (2)

It implies that:

We may observe more and more extreme hydrometeorological events (**droughts or floods**) in the Ohio River Basin area in the near future than before. So the world.

这意味著在不久的将来，人们在俄亥俄流域将会碰到越来越多的极端水文气象事件（干旱、洪涝）。世界的其他地方也可能如此。

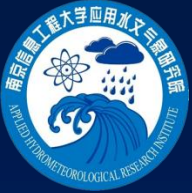




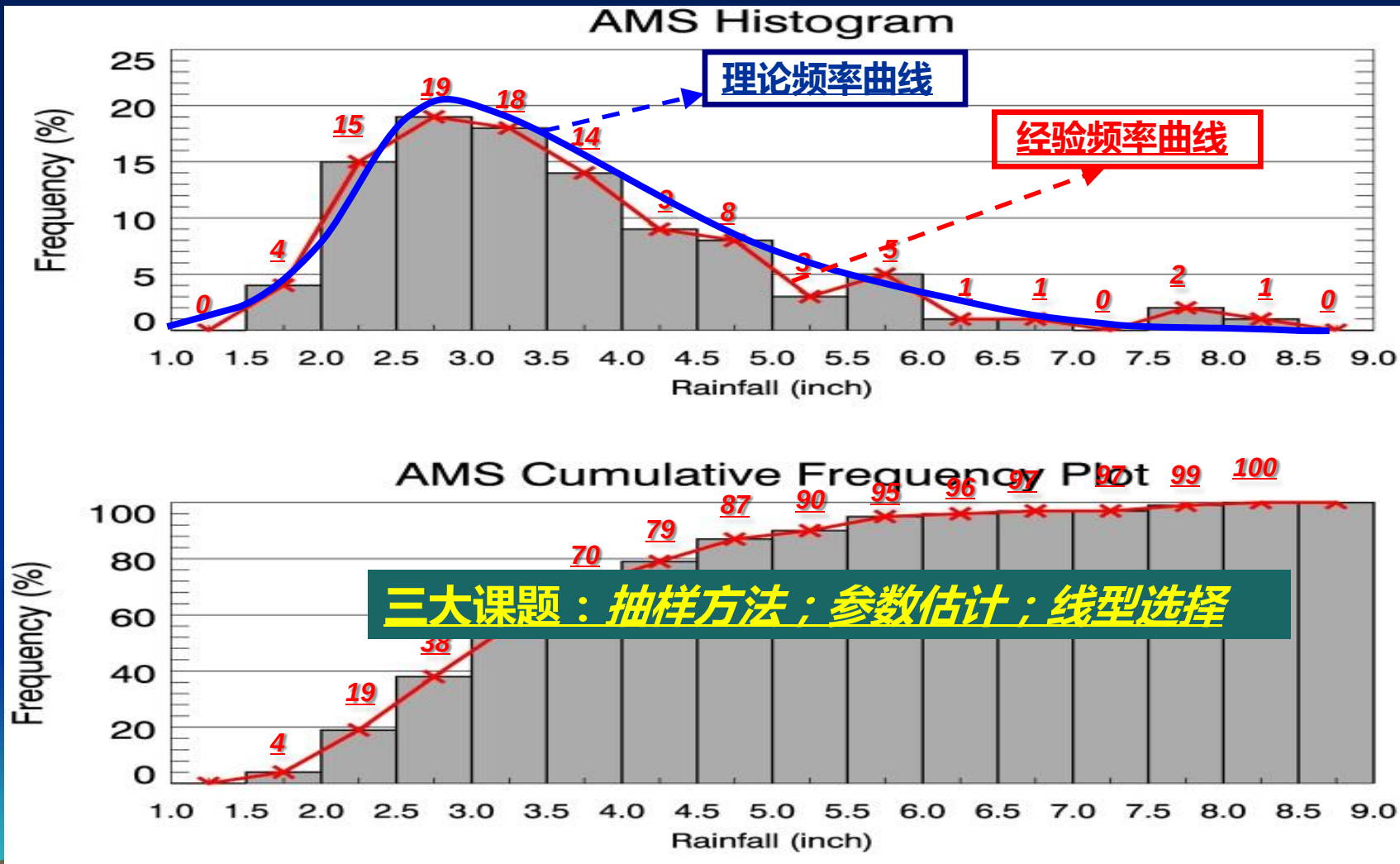
我们的使命之一

Exploration of a **Robust (稳健) and Reliable (可靠)** Approach to Precipitation Frequency Analysis of Extreme Events – foundation for risk analysis.

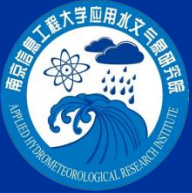
探索一种稳健、可靠的频率估算法 – 风险分析的基础。



这张图浓缩了水文频率计算的要领



(直方图间隔: 0.5 英寸)

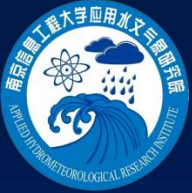


我们该做（能做）什么？

1. L-Moments Method – focusing on the issue of precision in terms of parameter estimation 线性矩解决 **精度**

2. Regional Analysis – focusing on the issue of accuracy in terms of uncertainties of quantiles 地区分析解决

准确度



频率分布曲线的参数估算方法

1. Conventional Moments Method (CMM)

$$M_{p,0,0} = E[X^p] = \int_0^1 x^p dF(x)$$

Power shift

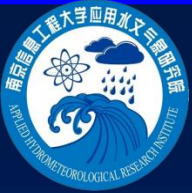
常规矩

2. L-Moments Method (LMM)

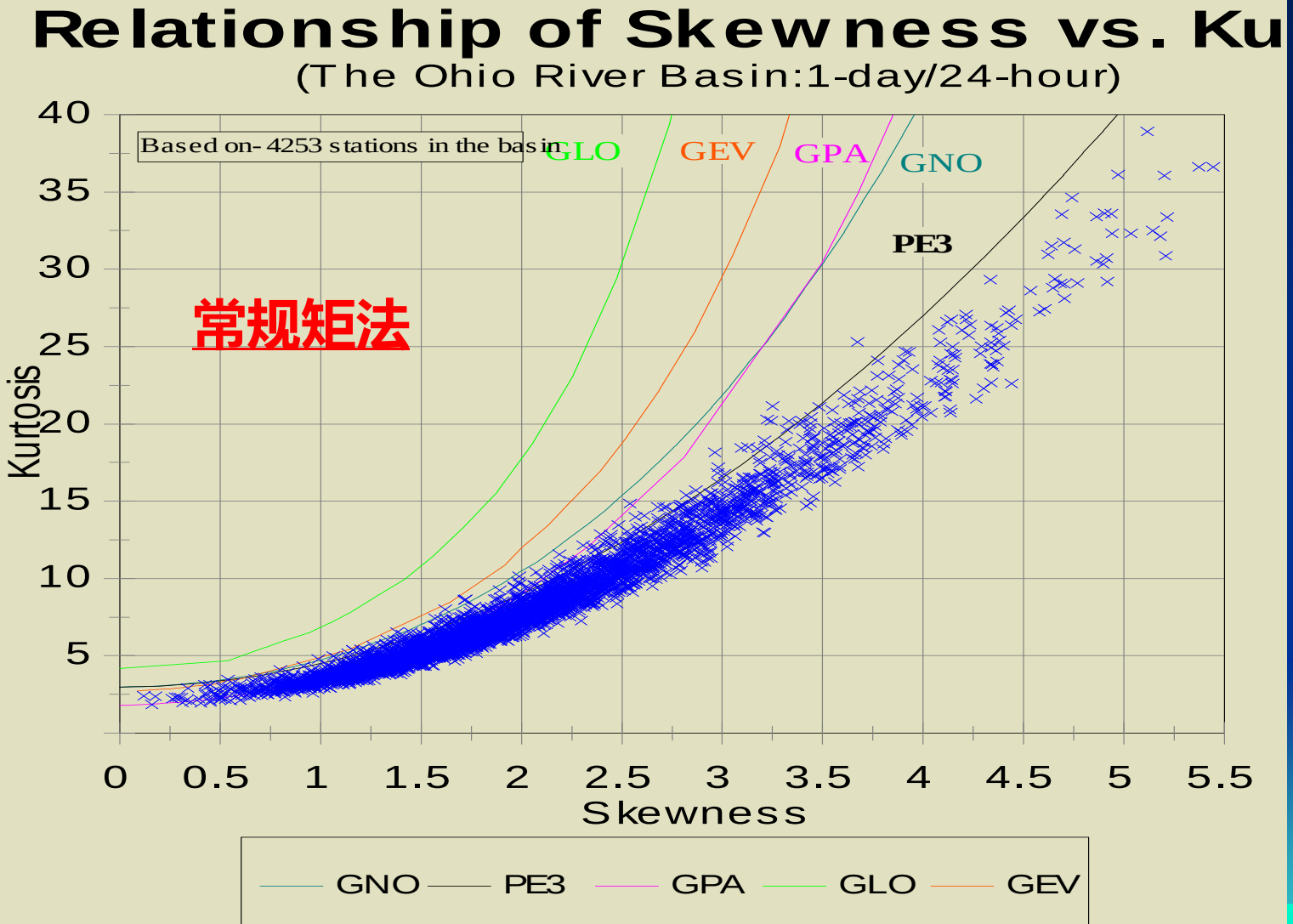
$$M_{1,r,0} = E[X\{F(X)^r\}] = \int_0^1 x\{F(x)\}^r dF(x)$$

**Advantage –
Linearity**

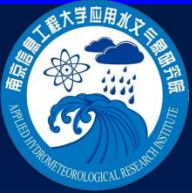
线性矩



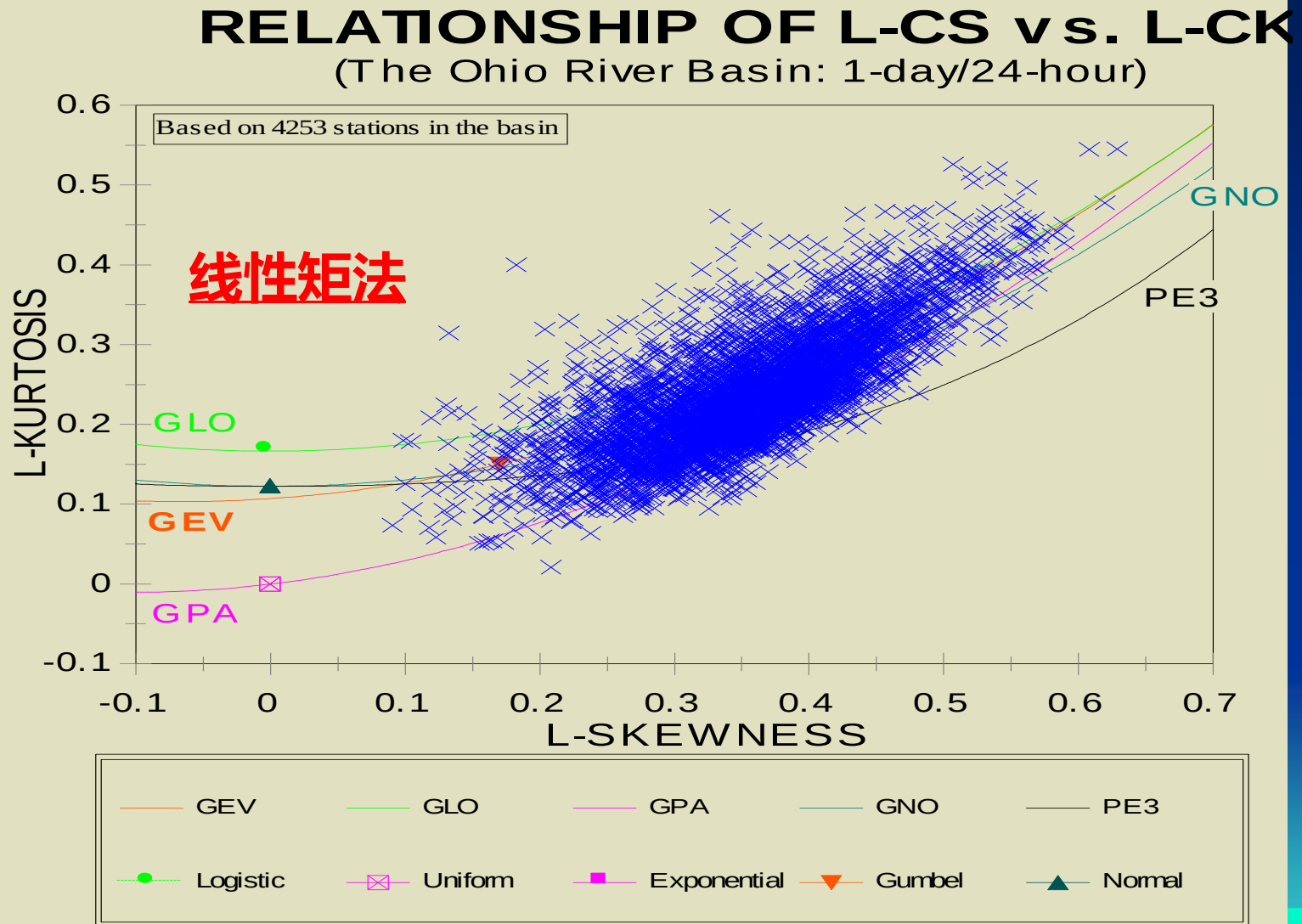
PE3 is the best-fit when CMM used (1-1)



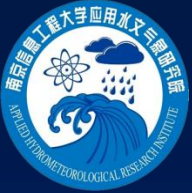
•Fig. 11 Diagram of C_s vs. C_k for daily stations in the OH area (all points)



GEV is the best-fit when LMM used (2-1)



•Fig. 13 Diagram of L-Cs vs. L-Ck for daily stations in the OH area (all points)

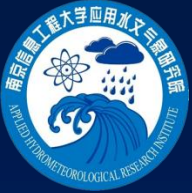


地区分析法 – 构造水文气象一致区

Assume: A rainfall could be decomposed into the **regional component** reflecting the common properties in the region and the **local component** reflecting the individual local properties.

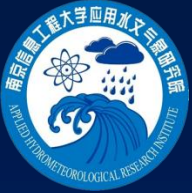
$$Q_{T,i,j} = q_{T,i} * \bar{x}_{i,j}$$

$$q_{T,i} = \frac{Q_{T,i,j}}{\bar{x}_{i,j}}$$



水文气象一致区

1. 每个雨量都可以分解成共性分量和个性分量;
2. 一致区内所有站点的共性分量是同分布的、并按资料长度加权配合一条最优的无量纲概率分布曲线; (**Identical**)
3. 此地区无量纲分布曲线与各个站点的本地分量“叠加”，组成该站的概率分布曲线;
4. 推求各个站点的频率估计值。



地区分析的优点：大大降低估计值的不确定性

Reduced uncertainties in terms of confidence interval (Regional analysis provides more stable estimates)

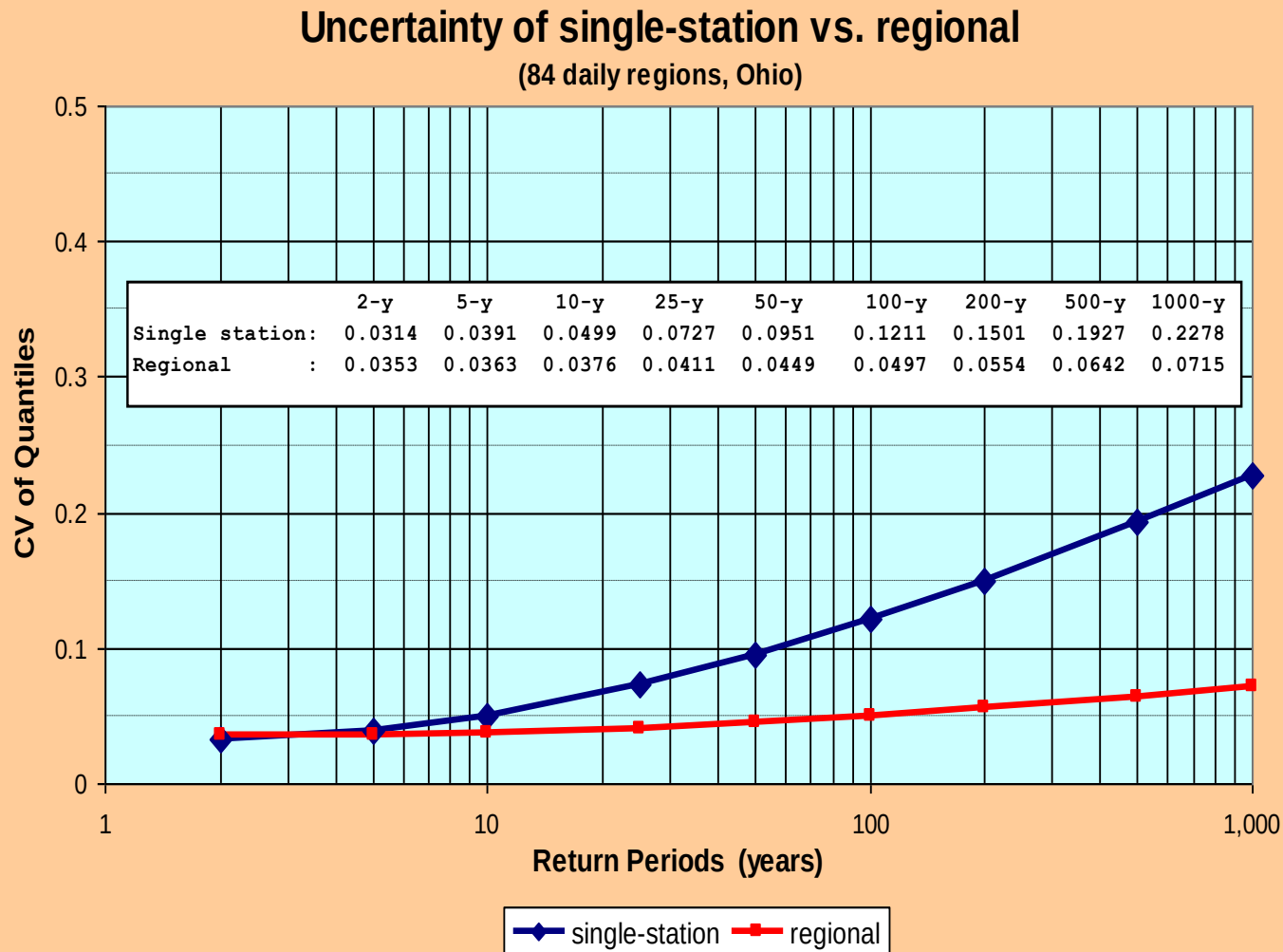
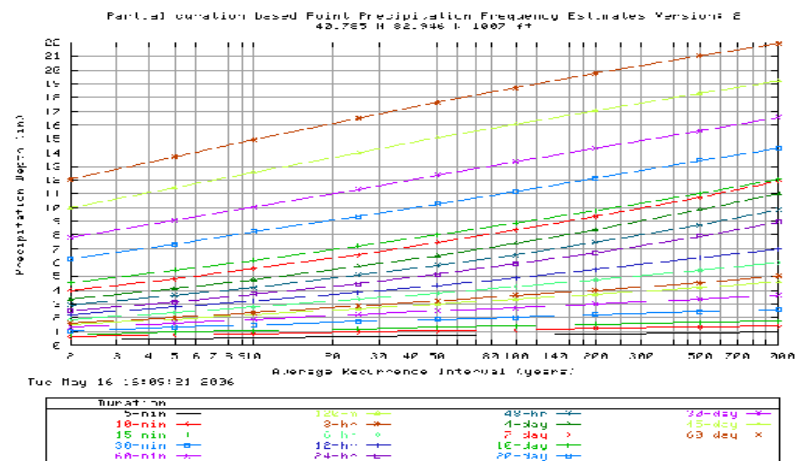
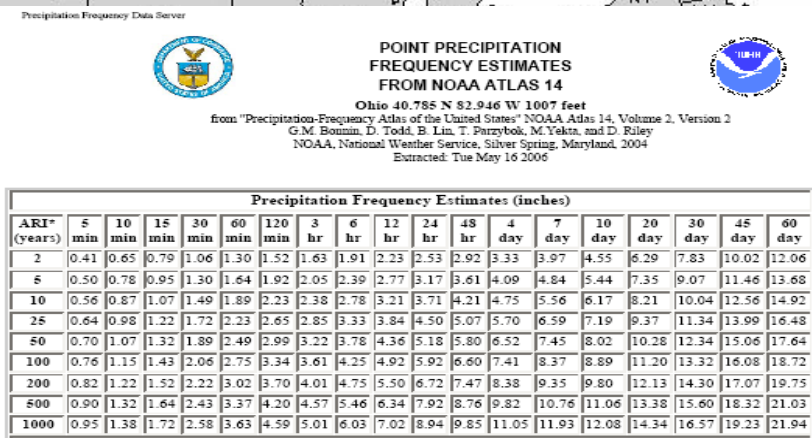
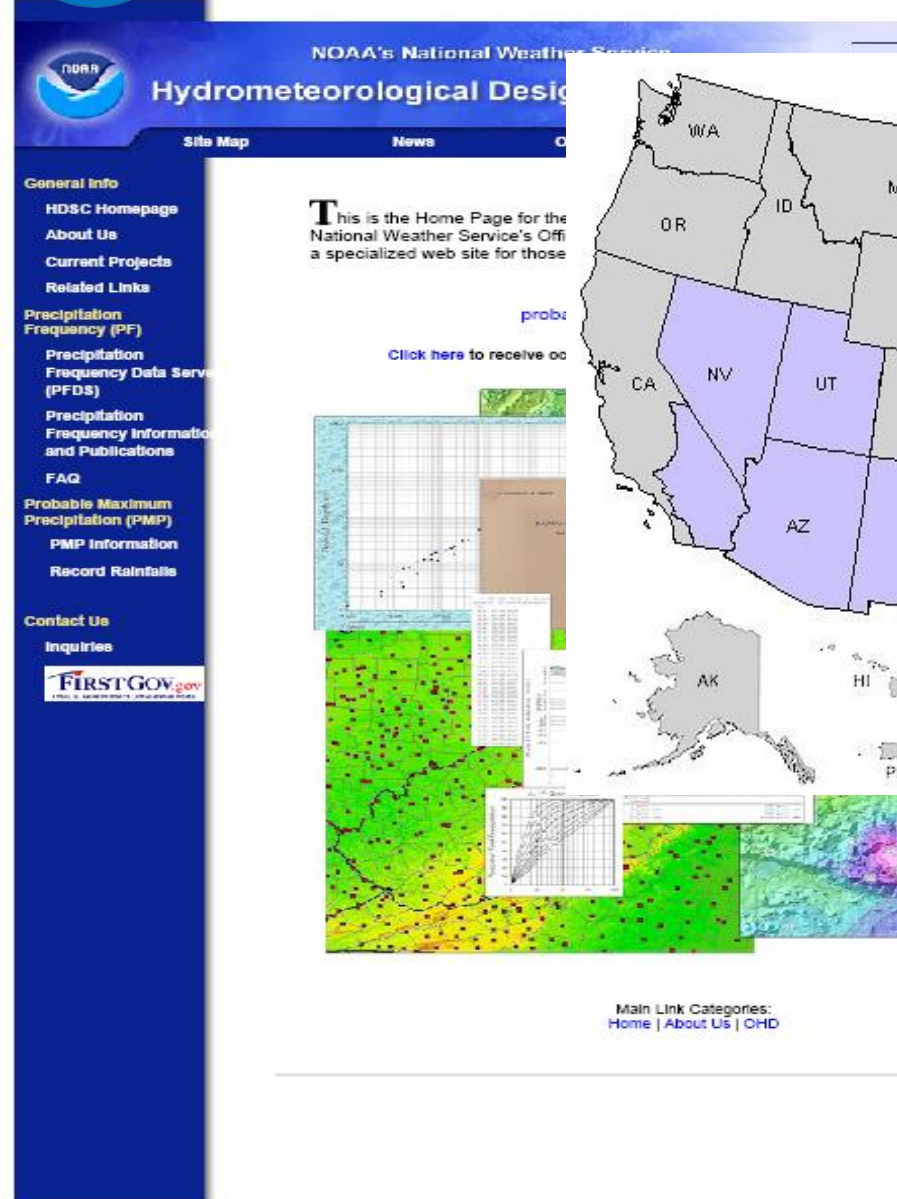
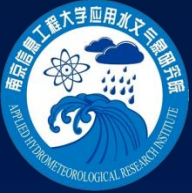


Fig. 5 Regional analysis substantially reduce the uncertainties of frequency estimates



美国NOAA降雨频率估算图集成果界面



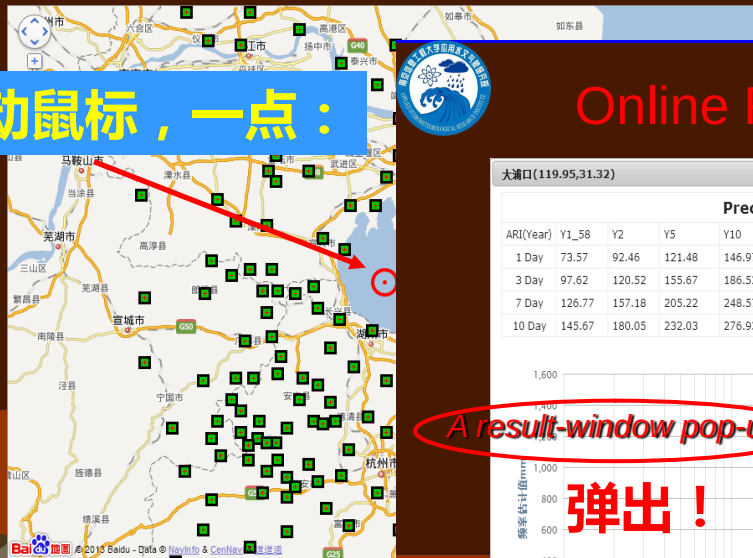


我国地区线性矩分析计算的可视化模块



Online FA Deliverables (2)

移动鼠标，一点：

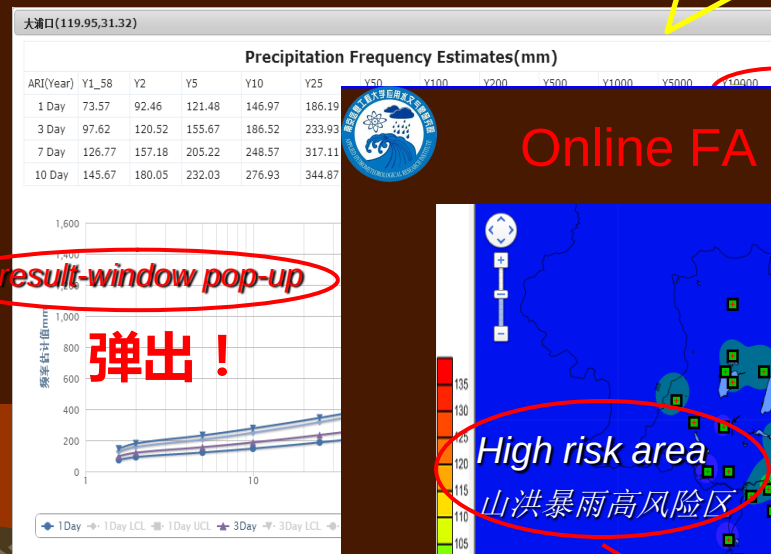


Page 50

Fig. 23 Online FA products for



Online FA Deliverables (3)



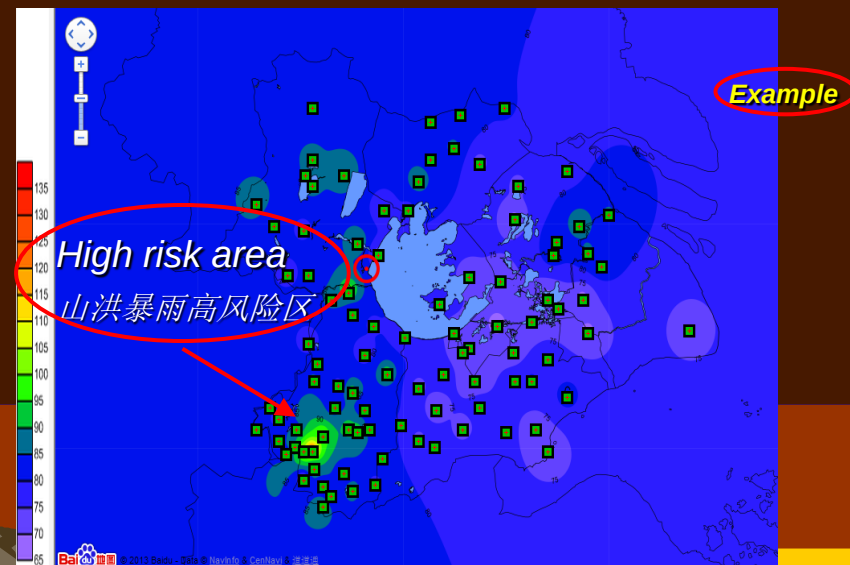
Page 51

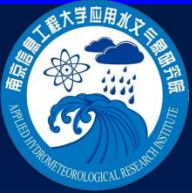
Fig. 24 Online FA prod

应用广泛、使用价值极高
(譬如：稍加处理，可用于气象台
汛期气象灾害的业务预报)



Online FA Deliverables (4)





我国现有技术与新技术的差距

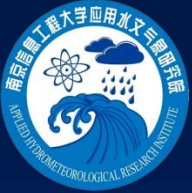
过时!

1. 现阶段 – **主观性强、资料信息有限**
常规矩法 + (单点、单时段、指定单一线型)
+ 目估适线

【一点一线加双眼】

2. 新技术 – **客观性强、充分利用资料信息**
线性矩 + (地区分析、多时段、多线型比较)
+ 准则判断

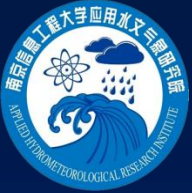
【地区线性矩】



暴雨高风险区

定义：一个地区内，某一定历时、一定频率（重现期）降雨事件中最大雨强的空间分布。

（AHMRI, 2013）



江西省暴雨高风险区划 – 实例

➤ 地形地貌

- 南高北低：由东、南、西三面向中部，由南向北逐渐倾斜于鄱阳湖
- 以山地和丘陵为主
- 山地多呈东北-西南走势

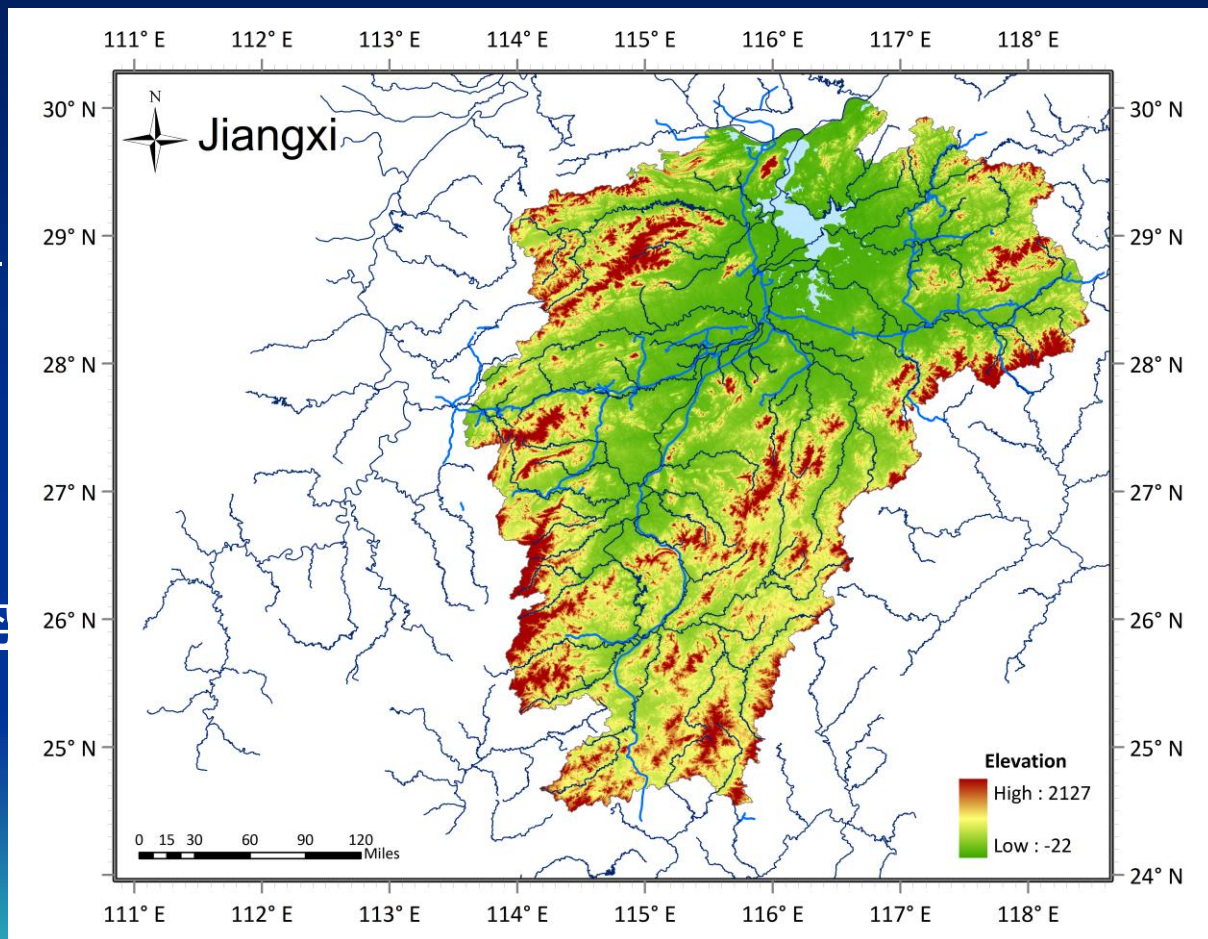
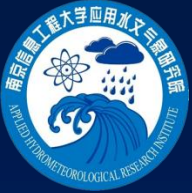


图2 江西省地形图



江西省水文系统雨量站点分布图

历时	有效站点数	有效观测长度	站点数
1h	1482	≥30year	374
		≥20year	544
		≥15year	688
3h	1491	≥30year	401
		≥20year	553
		≥15year	722
6h	1653	≥30year	515
		≥20year	742
		≥15year	959

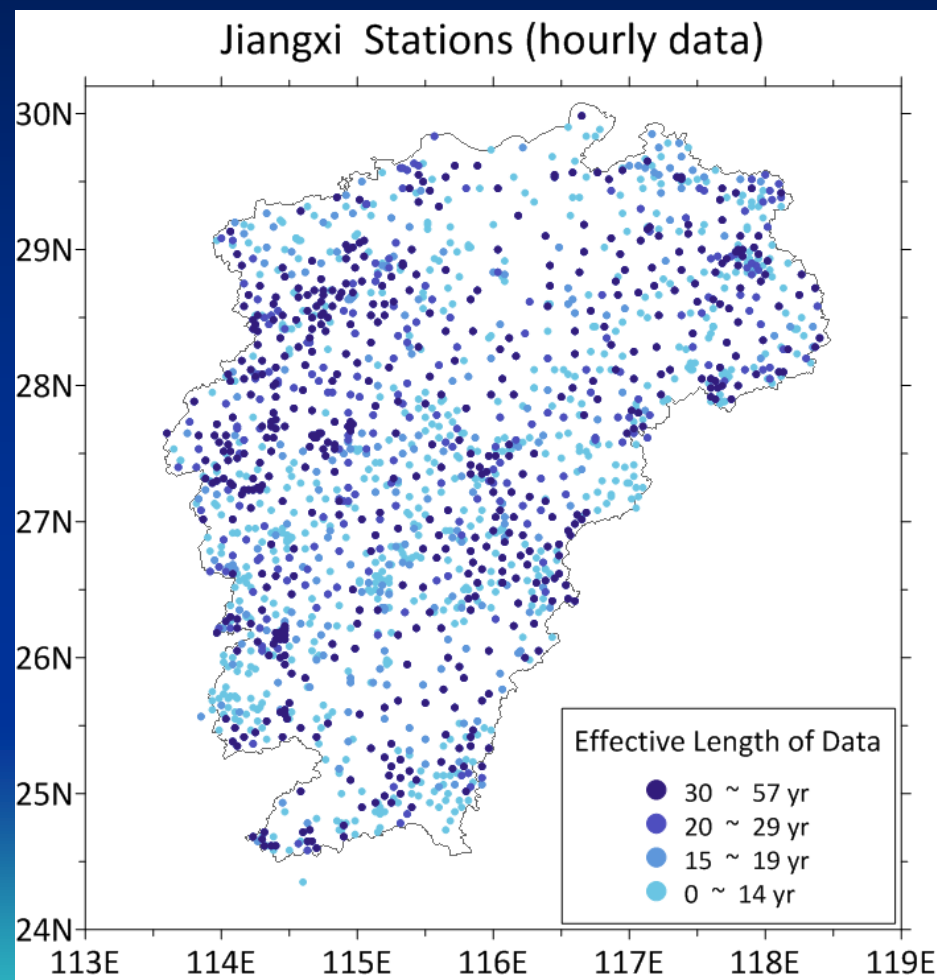


图1 江西省小时年最大值降雨资料有效站点 (1653站) 分布图



江西省年最大日雨量水文气象一致区划

Distribution of L-Cv (6hr)

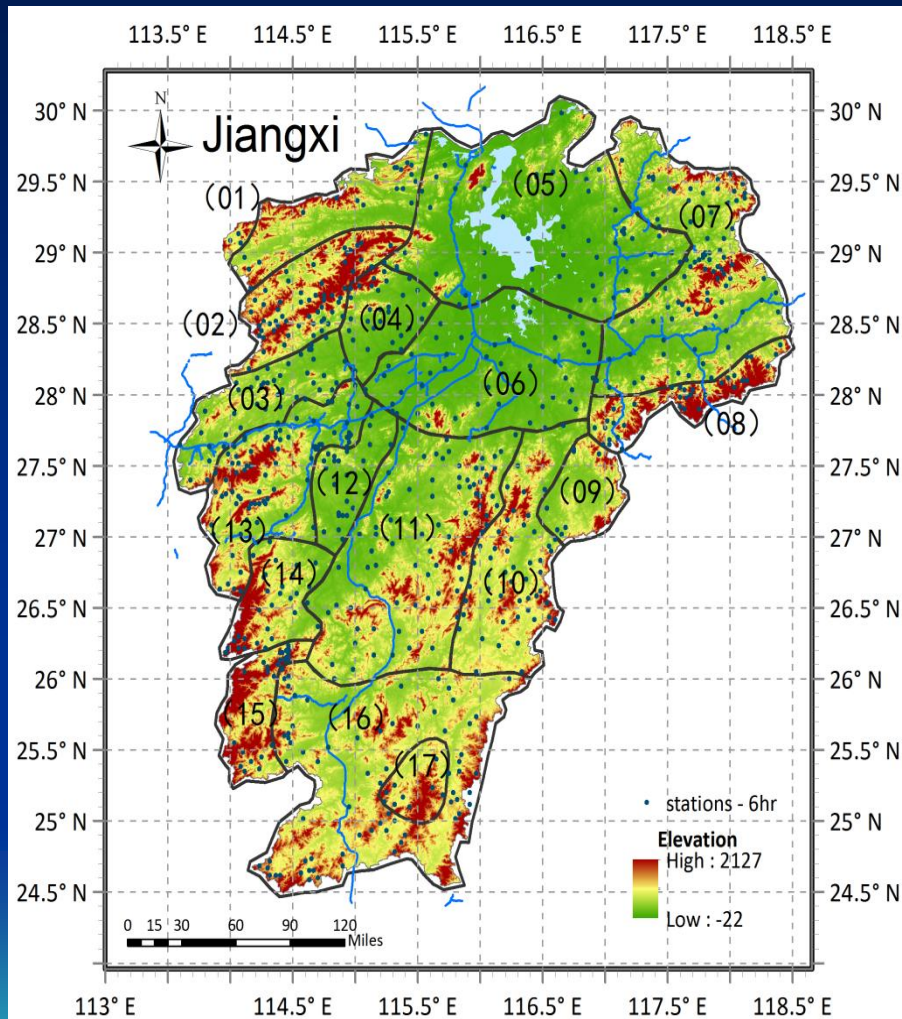
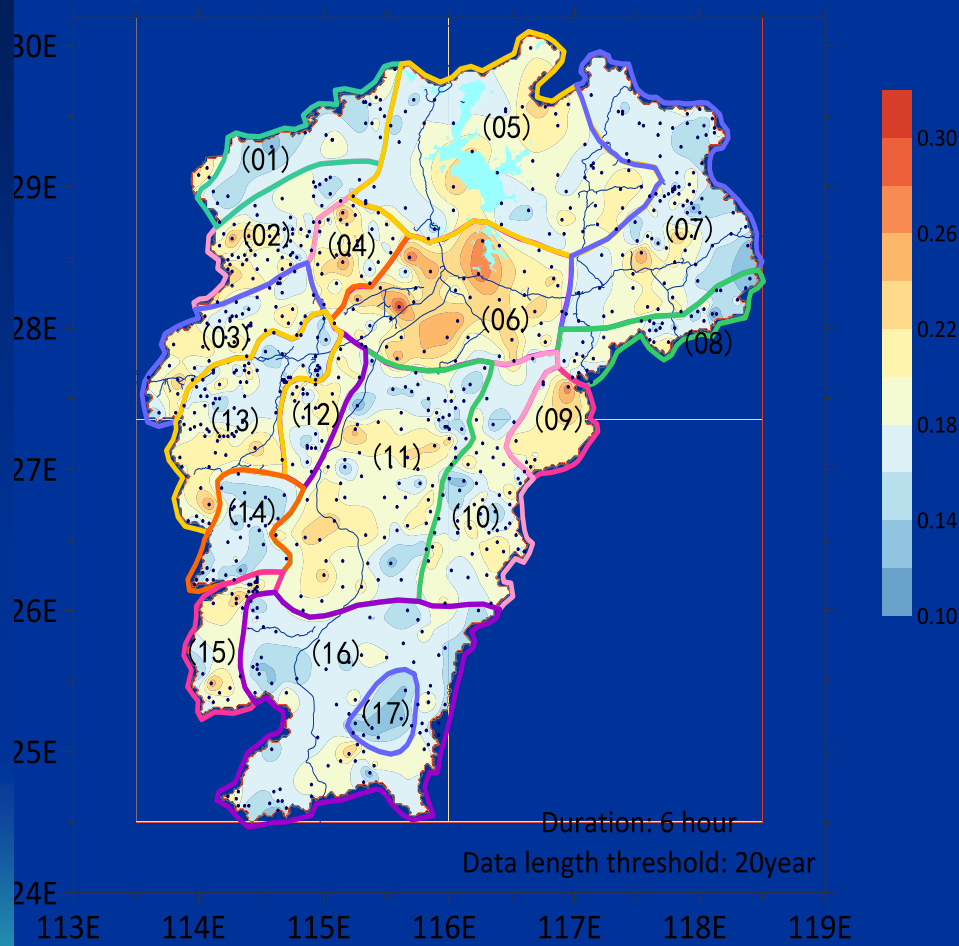
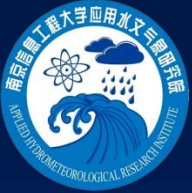


图4 江西省水文气象一致区划分示意图 (6hr)



山洪暴雨高风险区划图

Example

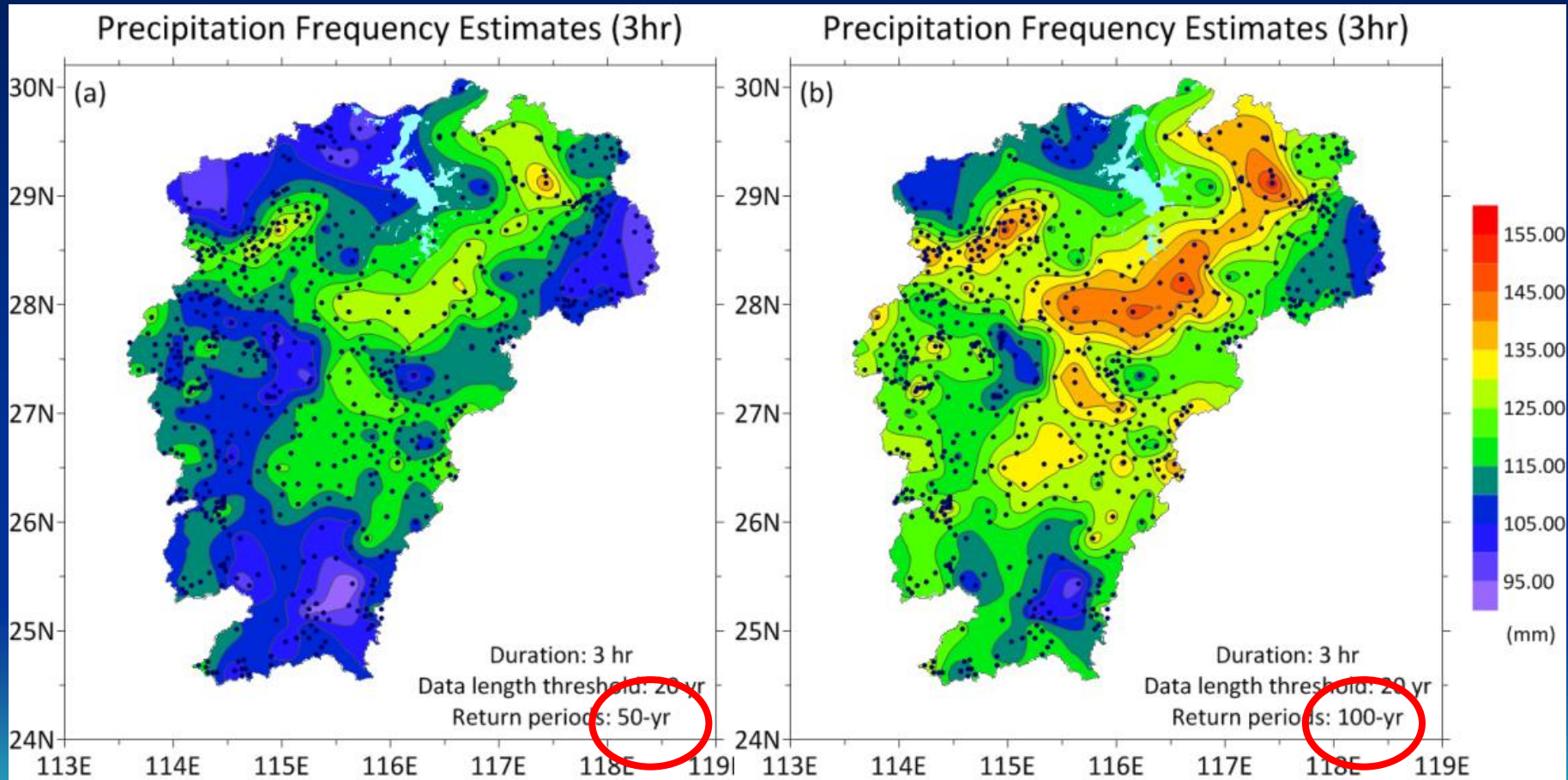
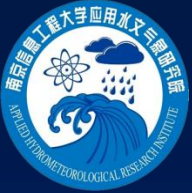
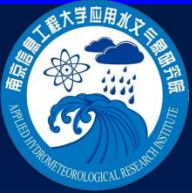


图14 江西省3hr 50年一遇(a)和100年一遇(b)暴雨高风险区划图



<http://jiangxi.ahmri.jasperxu.com>

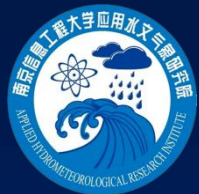




水文气象学院研发“三张图”

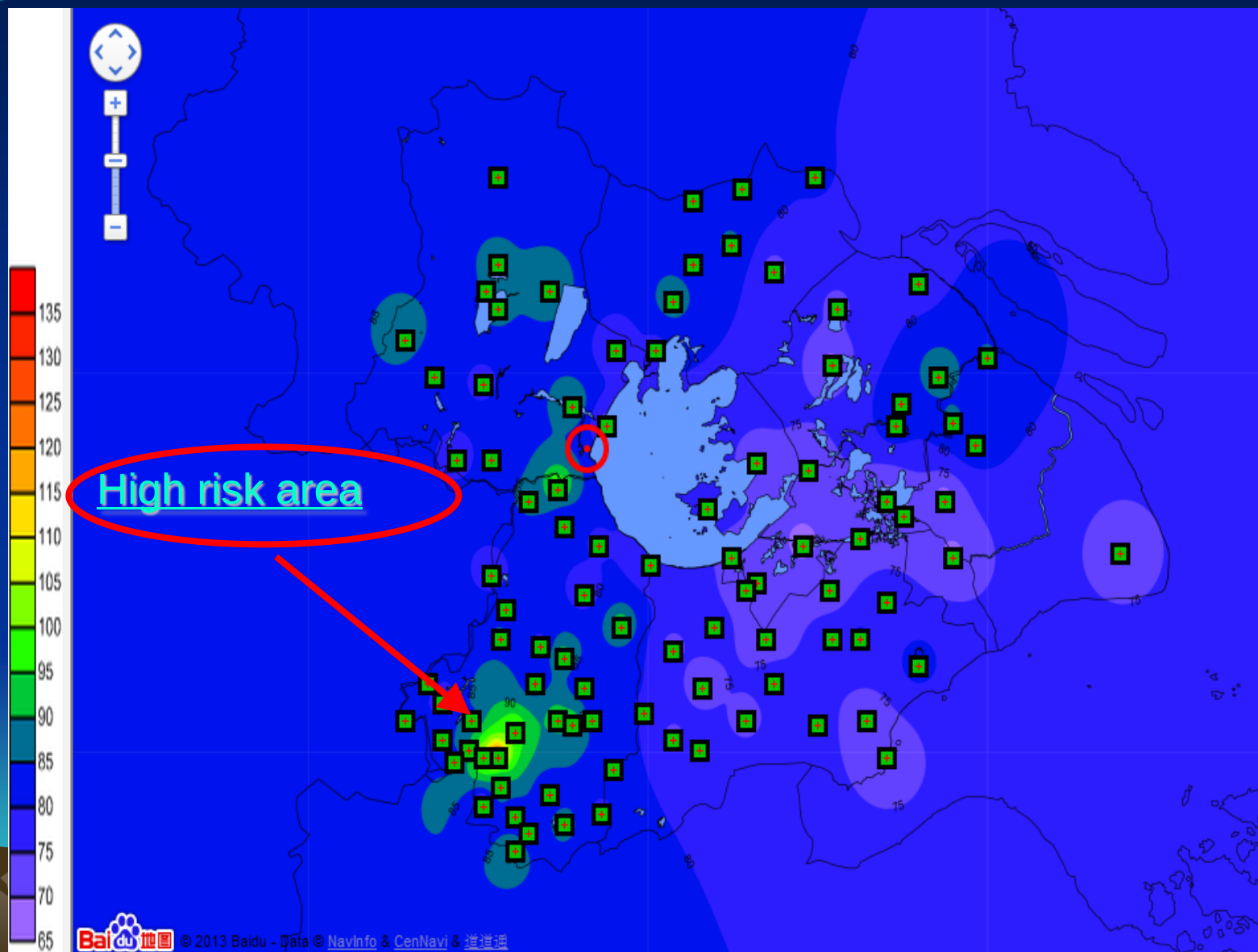
“三张图”山洪预警预报系统：

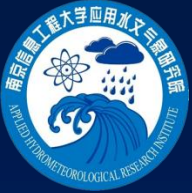
- 1) 静态的山洪暴雨高风险区划图（自然、科学**基础图**）
- 2) 动态的临界河漫滩径流值图（**缺水图**）
- 3) 动态的（卫星-雷达）临界雨量值图（**来水图**）



暴雨高风险区划图实例（太湖流域1年一遇日雨量）

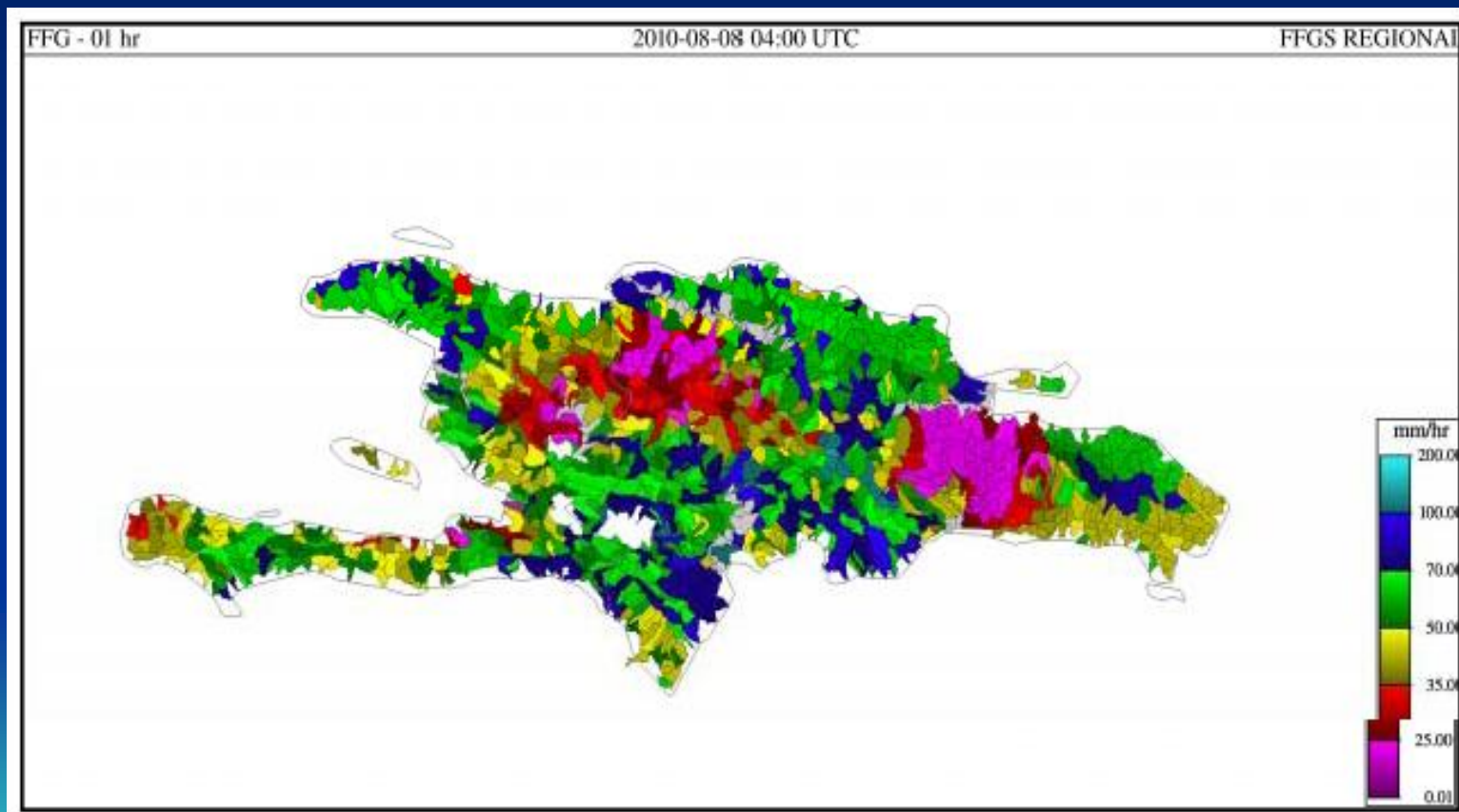
【南京信息工程大学水文气象学院】



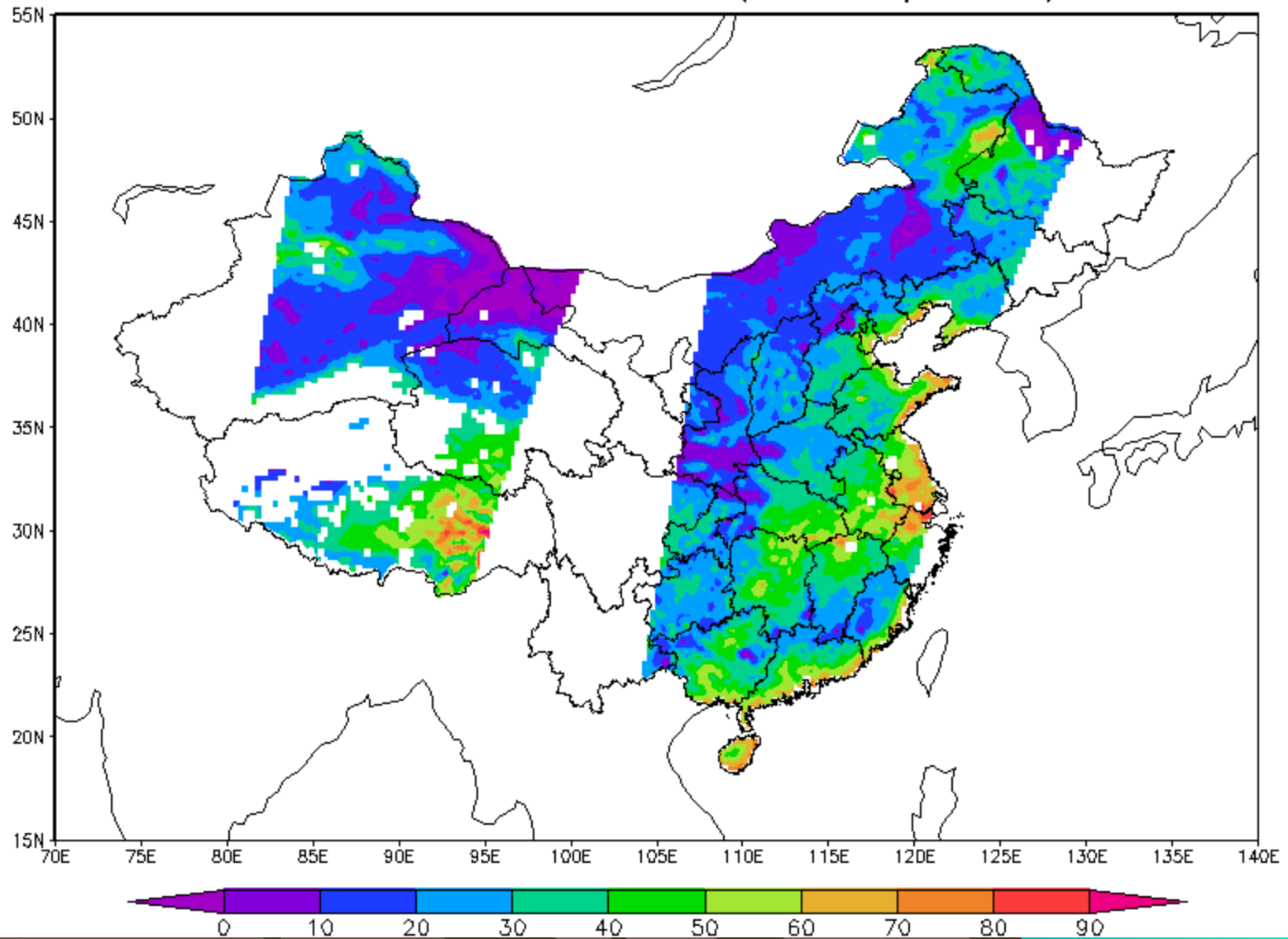


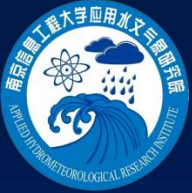
动态临界径流值分布图（缺水图）

海地/多米尼加共和国

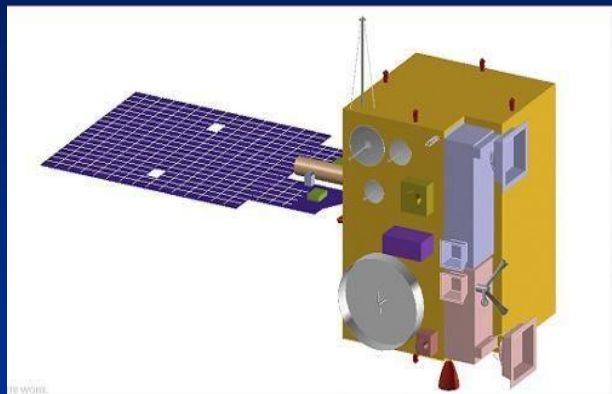


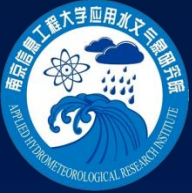
Soil Moisture 20140705 (volume percent)



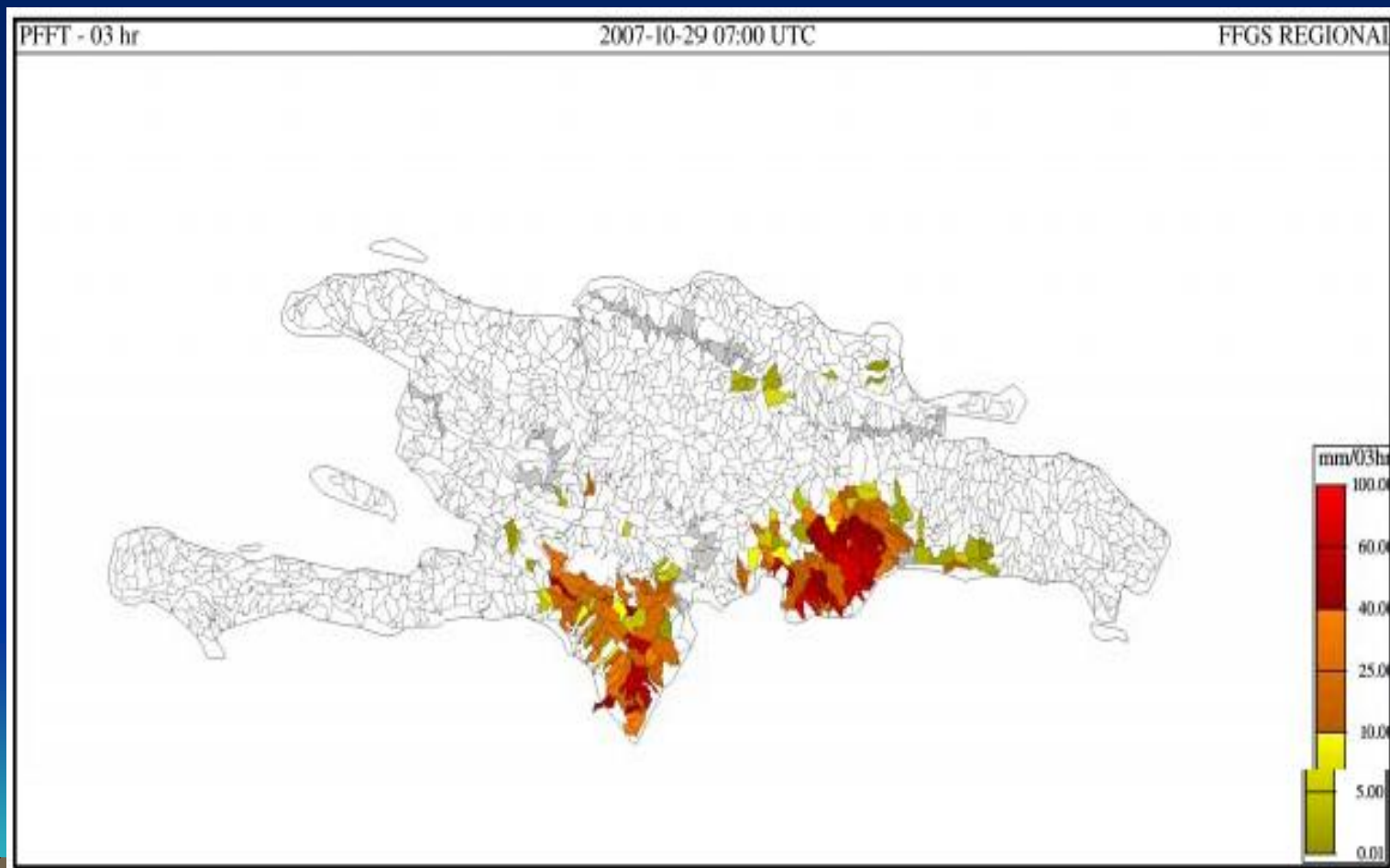


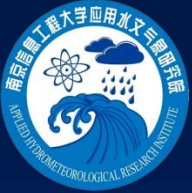
卫星测雨 / 雷达测雨





动态临界雨量分布图（来水图）





第三部分：水文气象大数据应用初探

1、工程水文第一阶段：传统的常规矩法“一点一线加双眼”
频率分析+点面关系；

2、工程水文第二阶段：水文气象途径

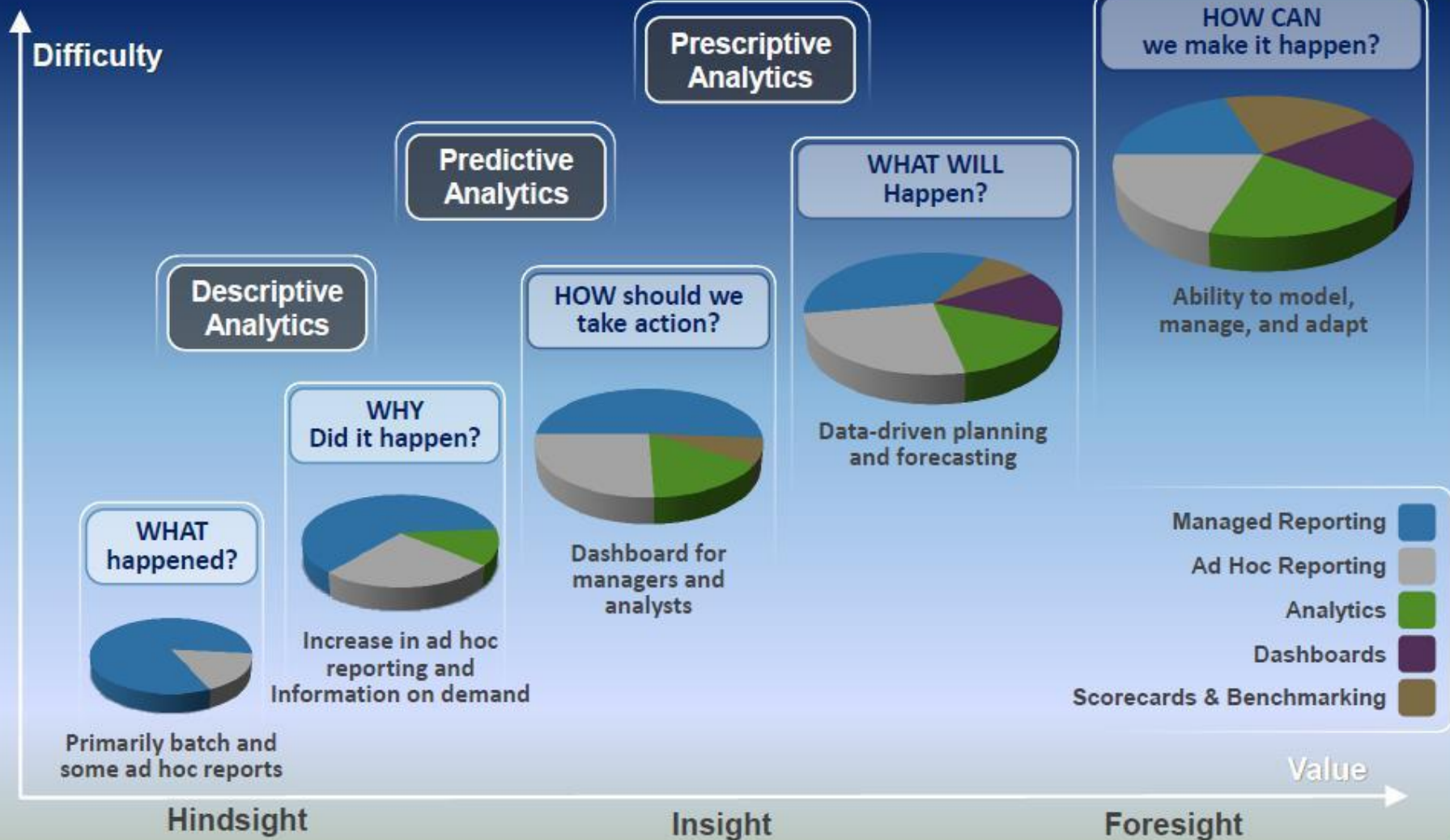
水文气象主要研究高端的工程水文

测（遥感遥测）、报（集合预报）、算（频率计算、PMP）

3、工程水文第三阶段：水文气象大数据（云）

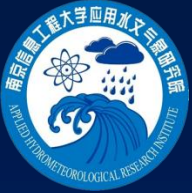
规划设计→预警预报→风险分析→决策支持→灾害评估→灾害恢复（使用了结构化和非结构化的数据）

Big Data Analytics

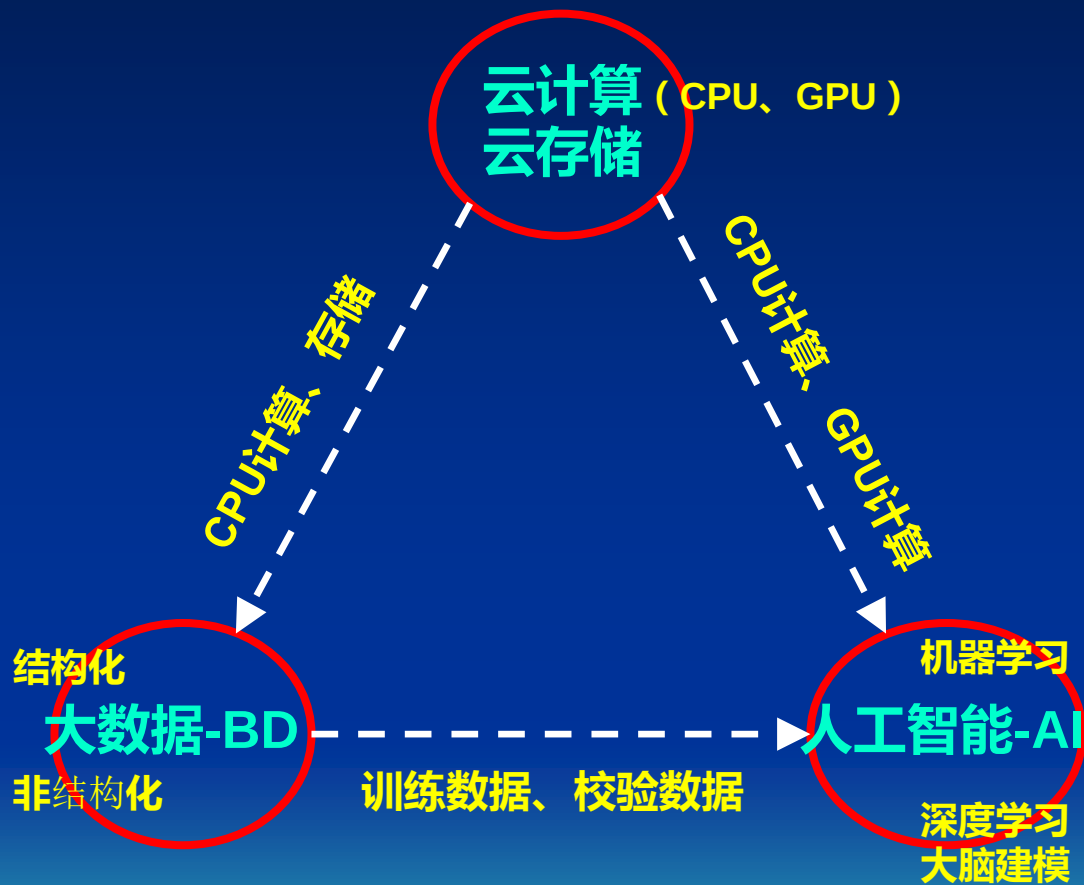


Big Data Analytics - Roadmap





大数据的三角形





水文气象大数据与可视化预警预报平台

-- “三张图山洪预警预报系统”为例

AI (人工智能发展阶段-难度)

我们该做什么？



S -- Structured
US -- Unstructured

版权所有，引用请注明出处。谢谢！ -- LBZ



最大困难 – 观念改变

- 1、目前是资料各霸一方：
 - 水文、气象、地质、海洋各霸一方
- 2、雨量资料保密？
 - 水文和气象两系统的雨量都合不到一起
- 3、水文系统内部、气象系统内部本身资料不流通；
- 4、历史资料整理、归档、管理水平很低，水文系统的历史雨量资料管理水平相对好。

***纳税人付的劳动成果应回归社会（电子档）**

其次，技术水平低

- 5、土壤含水量遥感资料很差；
- 6、卫星-雷达测雨水平低（算法差）

应邀在美国四大联邦政府机构防洪减灾专场学术报告会上做独家报告（全美同步视频，2013-8-15）

Nanjing University of Information Science & Technology

南京信息工程大学 (www.nuist.edu.cn)

“这就是我现在工作的大学”

“The NUIST is the first university in the world to establish both institute and college in hydrometeorology”

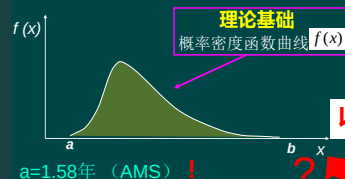
“The AHMRI is the only institution in the world by now to be able to perform both frequency analysis and PMP study at state-of-the-art level, and find out the way to connect the two of them for the first time, second to none in the world so far”

南京信息工程大学
All rights reserved.

Page 1.11

金牌：防洪设计标准

$$F(x) = P(X > x) = \int_x^{\infty} f(x)dx = \int_a^b f(x)dx = \int_0^1 f(x)dx = 1$$

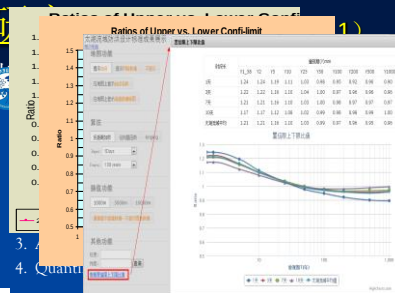


收敛!

现有中外教科书的假定:

◆ Assuming all quantiles are normally distributed (假定所有频率估计值呈正态分布—不确定性)

→ 导致发散! 表明设计暴雨无限大? -可是,一百年来都束手无策。



概率密度函数积分上限b

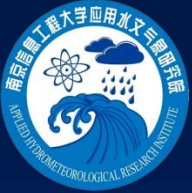
物理意义 – 概率密度函数的上 (右) 端点

理论意义 – 概率密度函数分布上端是收敛的

学术意义 – 使得理论与常识一致 (降雨有上限)

学术价值 – 百年难题 (把频率分析和PMP估算统一起来)

应用价值 – 工程设计安全、不确定性分析、防灾减灾



抛砖引玉 – 工程水文设计暴雨入门的基本功

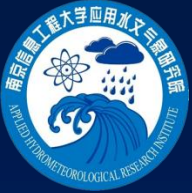
水文统计的五个入门小知识（测验）：

- 1) 如何回答学生的提问：“什么叫水文统计？我们学了数理统计，为什么还要学水文统计？”
- 2) 什么叫频率计算？频率计算包含哪些内容？
- 3) 频率计算的“死结（Impasse）”是什么？
- 4) 作为统计推断的贝叶斯估计（Bayesian Approach）在许多领域应用得很成功，为什么在水文频率分析中无用武之地？
- 5) 作为分析参数不稳定性的“拔靴法（Bootstrap）”在许多领域应用得很好，为什么在水文频率计算中就用不起来？

学者的本分就是做学问、服务社会！

推崇一个字

实



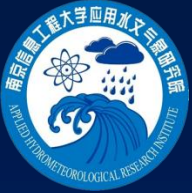
这个世界是讲究实力、这个世界是崇尚创新！

“猴子的祖先不努力变人，至今还留着子孙变把戏给人看”

--鲁迅

努力吧，时间飞驰，年轻的学子们！

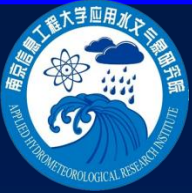




携起手来，共同努力！

为我国水利信息化目标努力奋斗！

为我国防灾减灾的现代化目标奋斗！！



The End

Thank you for your time.

谢谢大家！