

# 京津冀地区城市化气候效应 的观测和模拟

Observational study and high-resolution modeling of  
urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei agglomeration

裴琳

北京城市气象研究院

2019年9月6日

# 主要内容



## 一、北京城市气候特征观测研究

城市温度/热岛；湿度精细化时空特征；近地面风场；夏季降水

## 二、城市对降水影响数值模拟研究

分叉降水个例；模拟不确定性讨论；未来气候变化背景与城市化的迭加效应

## 三、城市及气候变化对气溶胶、霾的影响

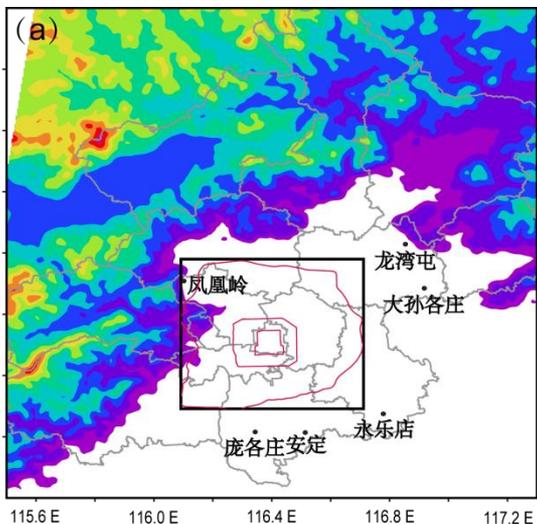
气溶胶与城市热岛间的正反馈效应；气候变化对霾的影响研究

## 四、未来研究设想

## 五、城市院简介

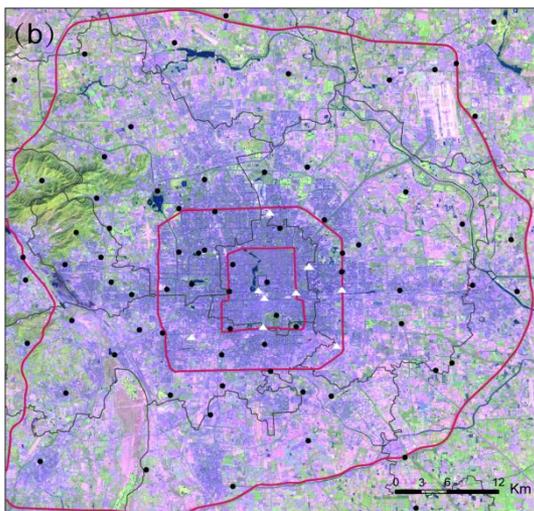
# 一、北京城市气候特征观测研究

## 北京概况



北京地形图

(红色圆环为二、四、六环路)



卫星遥感图像

(紫色：城市下垫面；绿色：绿化  
农田；黑色圆点：自动站分布)

### 地形特征：

三面环山

### 气候背景：

温带大陆性气候

冬季寒冷干燥，

夏季炎热潮湿

### 城市规模与布局：

人口2173万 (2016年)

2环内：老城区

2-4环：为高密度城市区

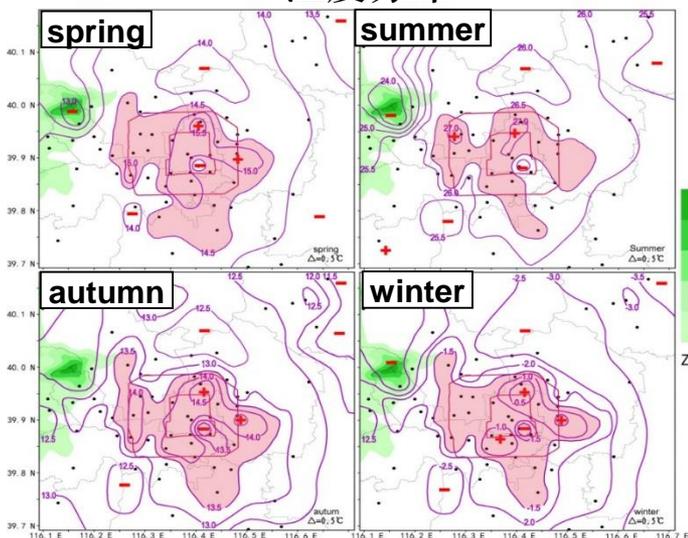
### 站点分布：

平均分辨率 城区3km

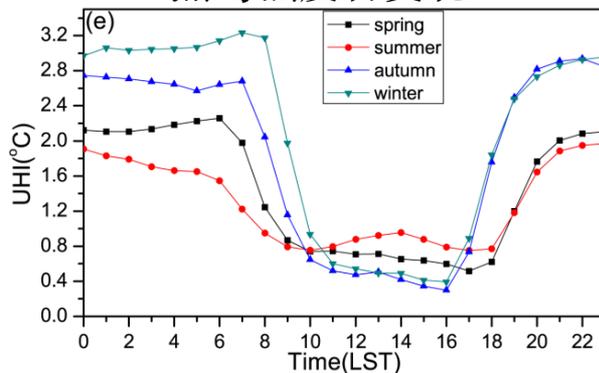
郊区5km

## 1. 温度/热岛

### 温度分布



### 热岛强度日变化



基于北京近十年  
高分辨率自动站  
观测数据

□ 日平均：冬季最强，夏季最弱

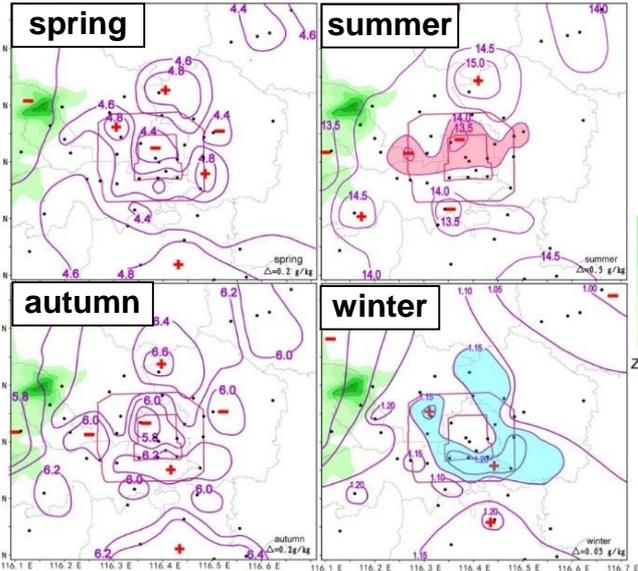
□ 夜间较强，白天较弱

□ 夜间热岛：冬季最强；白天热岛：夏季最强

# 一、北京城市气候特征观测研究

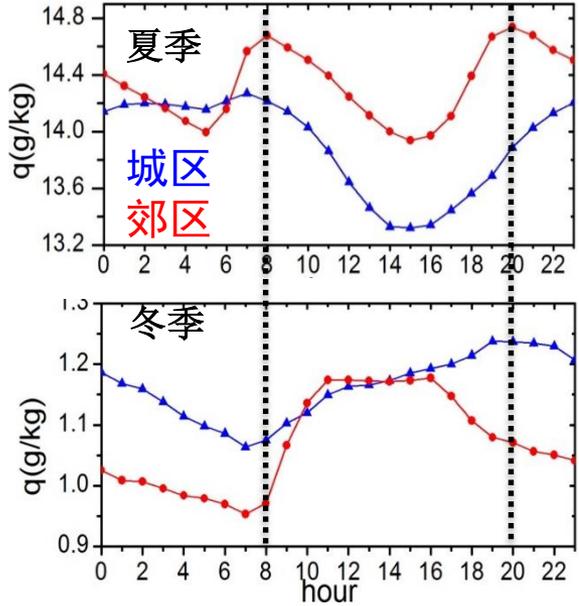
## 2. 比湿

比湿空间分布



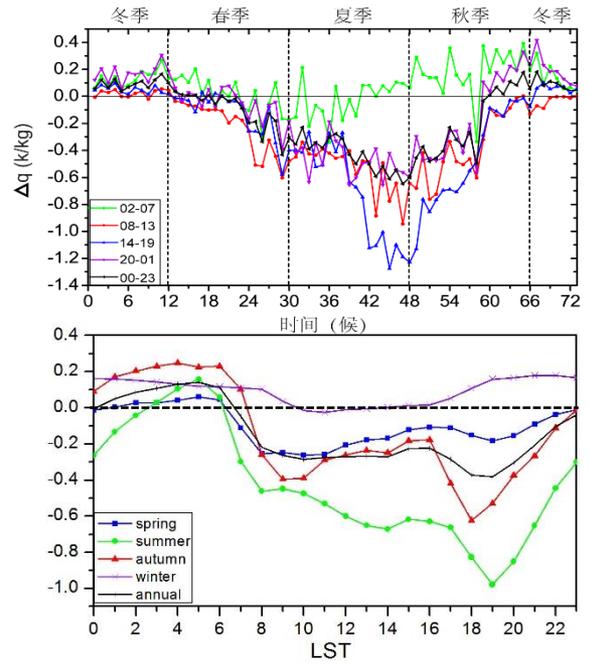
夏季：**城市干岛**→城郊下垫面差异；  
 冬季：**城市湿岛**→人类活动释放  
 分布同样与城市下垫面分布密切相关

城、郊比湿日变化



- ✓ 夏季：白天→边界层日变化特征影响  
 夜间→郊区露水凝结，城区无
- ✓ 冬季：郊区→自然环境影响  
 城区→人类活动影响

城郊比湿差 ( $\Delta q$ ) 年变化和日变化



### $\Delta q$ 年变化

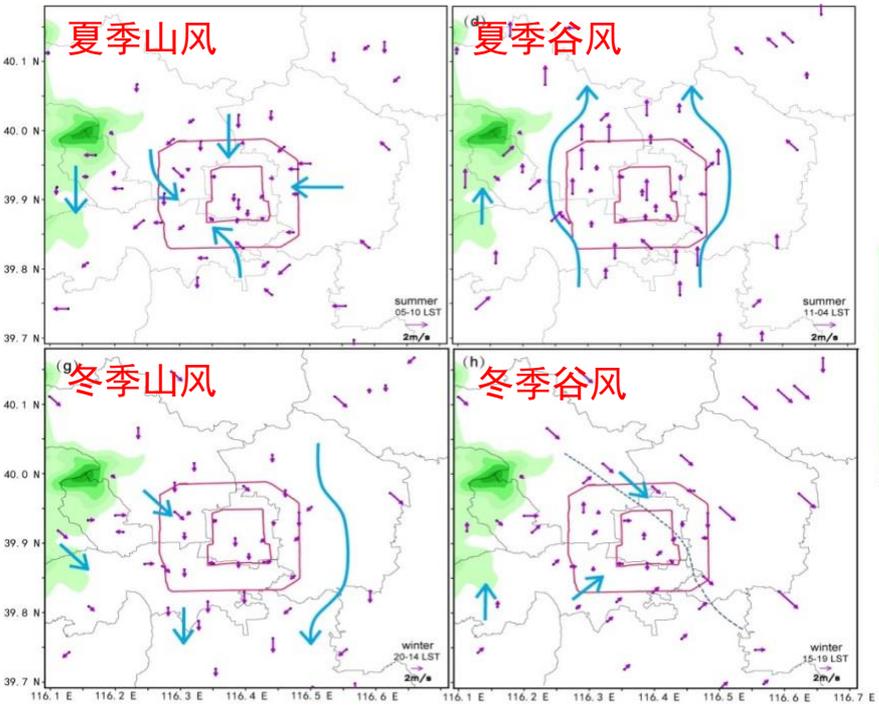
- 4月~10月,  $\Delta q < 0$
- 11月~次年3月,  $\Delta q > 0$

### $\Delta q$ 日变化:

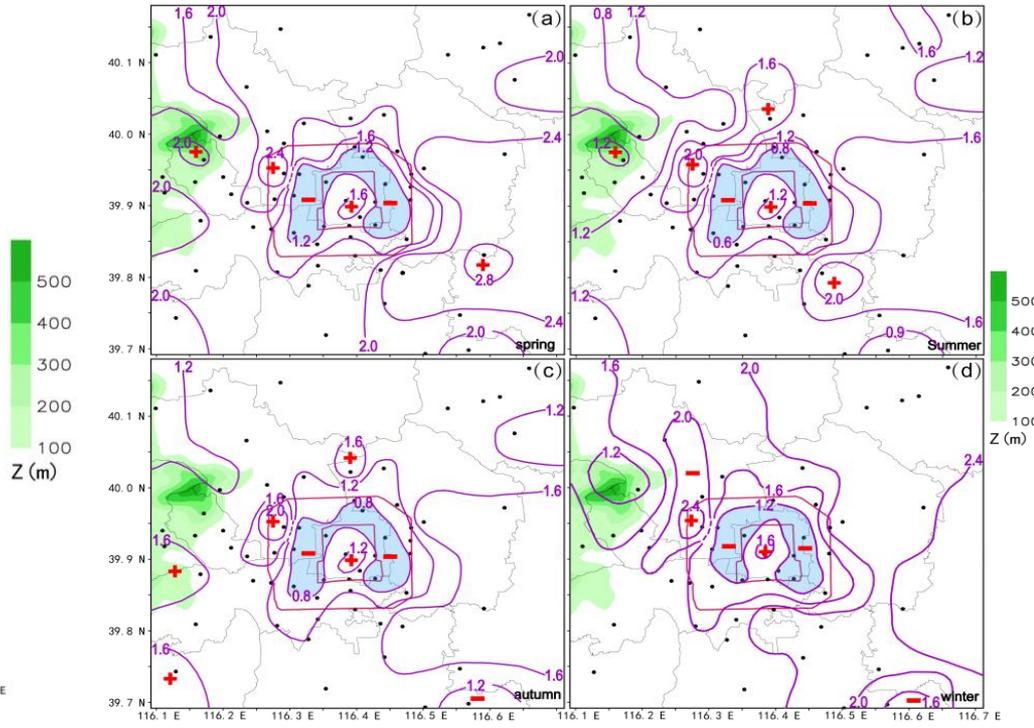
- 冬季  $\Delta q$  变化幅度很小
- 其他季节除凌晨外  $\Delta q < 0$
- 夏季  $\Delta q$  变化幅度最大

# 一、北京城市气候特征观测研究

## 3. 近地面 (10 m) 风向风速



风速空间分布

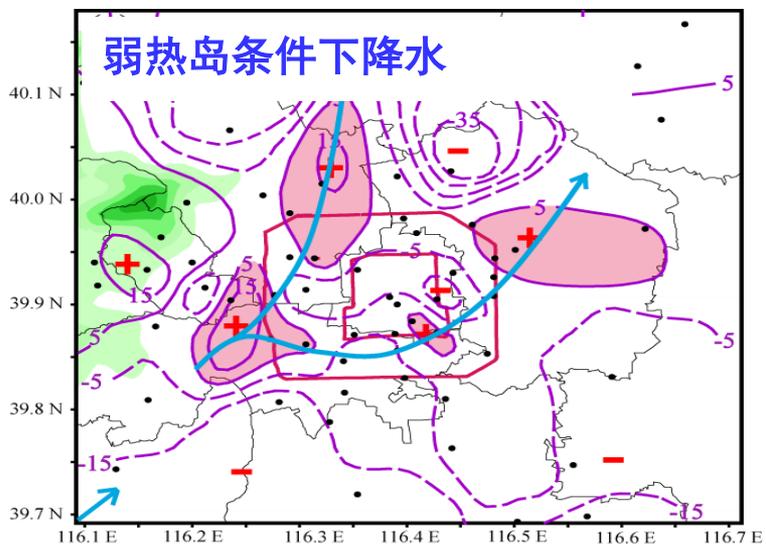
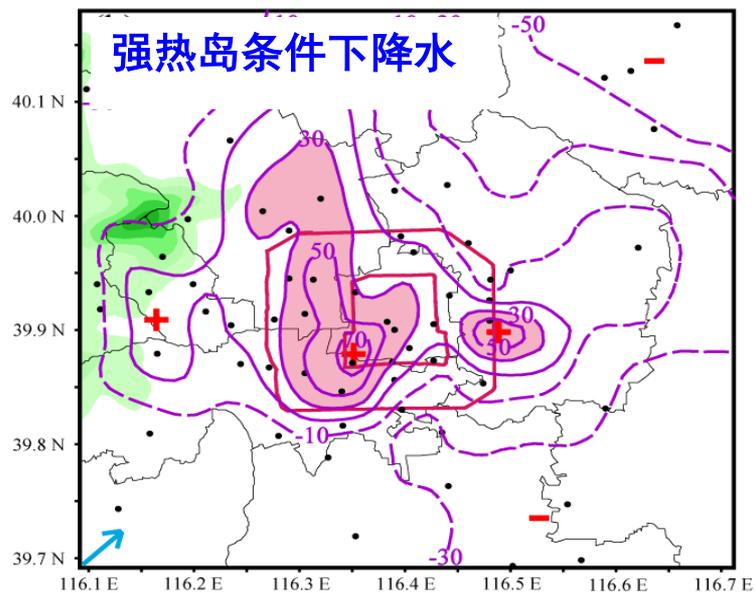


风速小值带

- 夏季山风时段：向城区辐合；  
谷风时段 绕流
- 冬季山风时段：西部吹向城市，东部有绕流；  
谷风时段：西北东南切变线

# 一、北京城市气候特征观测研究

## 4. 夏季降水



- ✓ 城市对降水的影响，不同研究得到不同的结论→没有区分风向、不同热岛环境
- ✓ 按照引导风向西南方向个例最多（34%）
- ✓ 按照降水发生前热岛强度进行分类

□ 提出并验证：热岛强度可作为区分城市下垫面对降水影响类型的重要因子

□ 强热岛条件下：

降水高值中心分布于城区  
并与热岛分布对应良好

□ 弱热岛条件下：

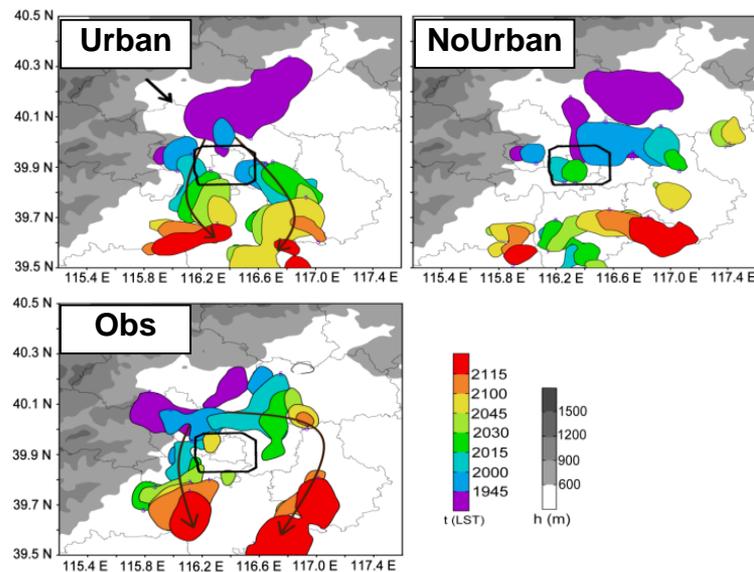
降水高值中心分布于城区周围→分岔

# 二、城市对降水影响数值模拟研究

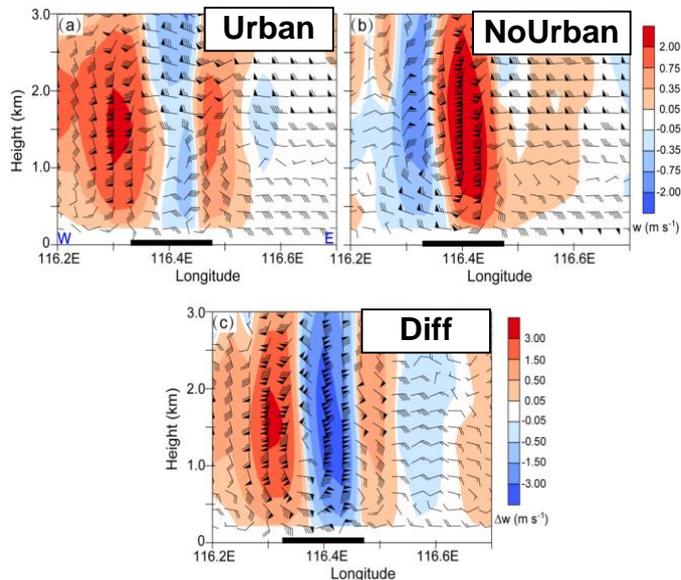
## 1. 以一次弱热岛分叉降水为例

Urban算例 vs. NoUrban算例

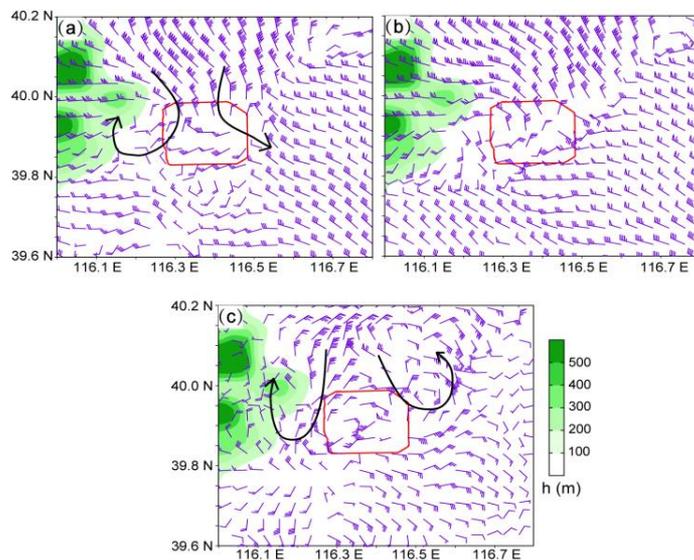
- ▣ 观测和Urban算例中降水系统经过城区发生了分叉现象，NoUrban算例中降水分布零散
- ▣ 弱热岛条件下，城市粗糙下垫面影响风场（风向和风度），影响可达云底高度，在城区的左右两侧形成上升气流，城区为下沉气流；低层风场存分叉、绕流；城市上空形成阻滞高压
- ▣ 观测并模拟清晰的降水分叉信号，并深入研究其机理
- ▣ 与美国大平原splitting storm（天气尺度，强对流，经典气象学）研究结果进行对比，发现城市引起的降水分叉机理过程与其不同，城市分叉更加复杂。



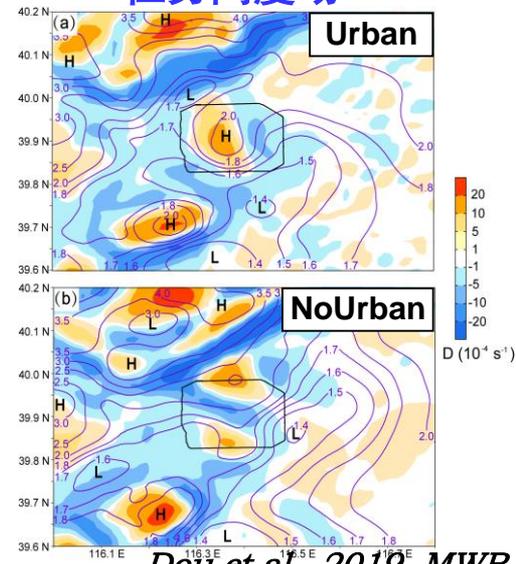
### 气温垂直结构



### 近地面风场



### 位势高度场

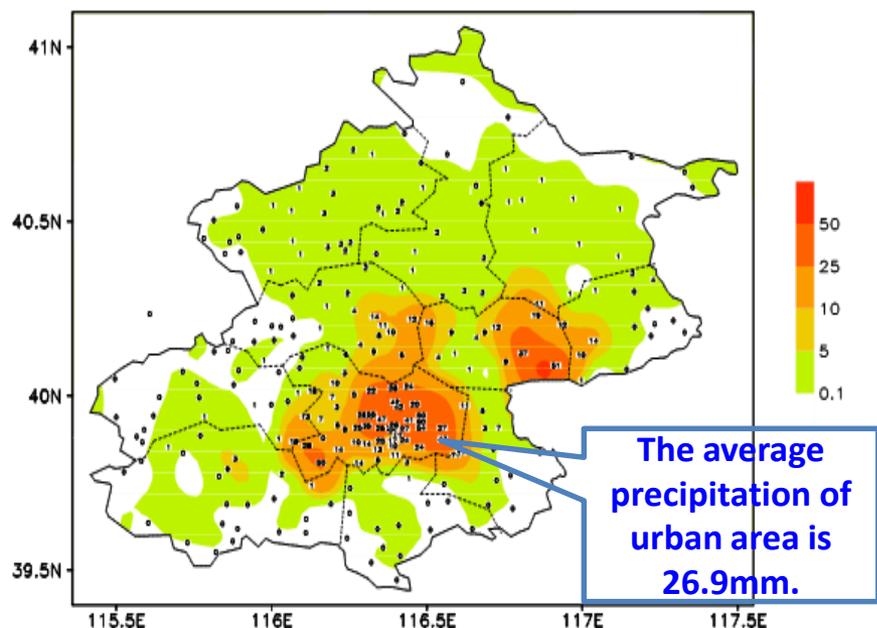


# 二、城市对降水影响数值模拟研究

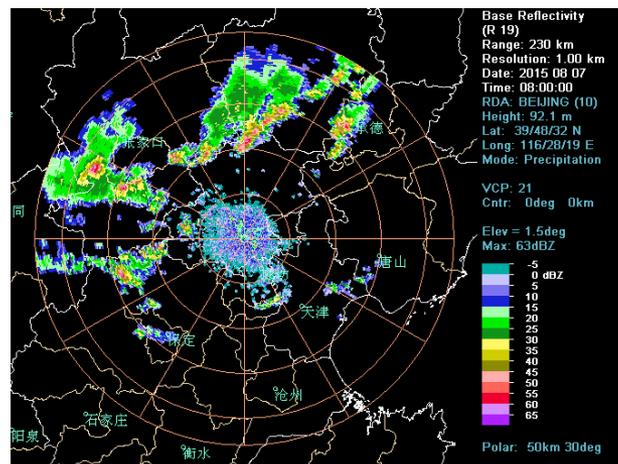
## 2. 城市影响降水的不确定性研究 (2015.Aug 7<sup>th</sup>)

研究思路： 探讨微物理和边界层方案； WRF运行起始时间对城市影响降水个例的数值模拟影响的不确定性研究

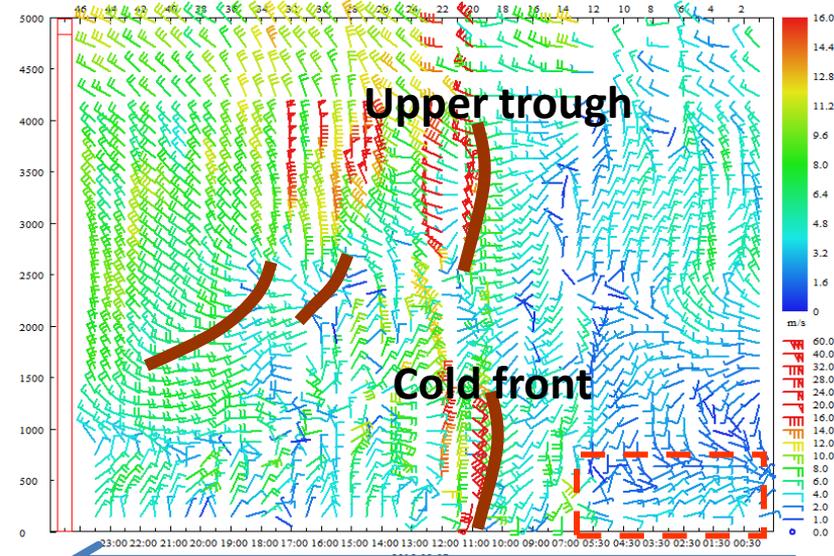
### Case study 7 Aug 2015



Hourly precipitation  
1900-2000LST



Wind profile from 0800LST 7<sup>th</sup> Aug to 0700LST 8<sup>th</sup> Aug in Haidian station



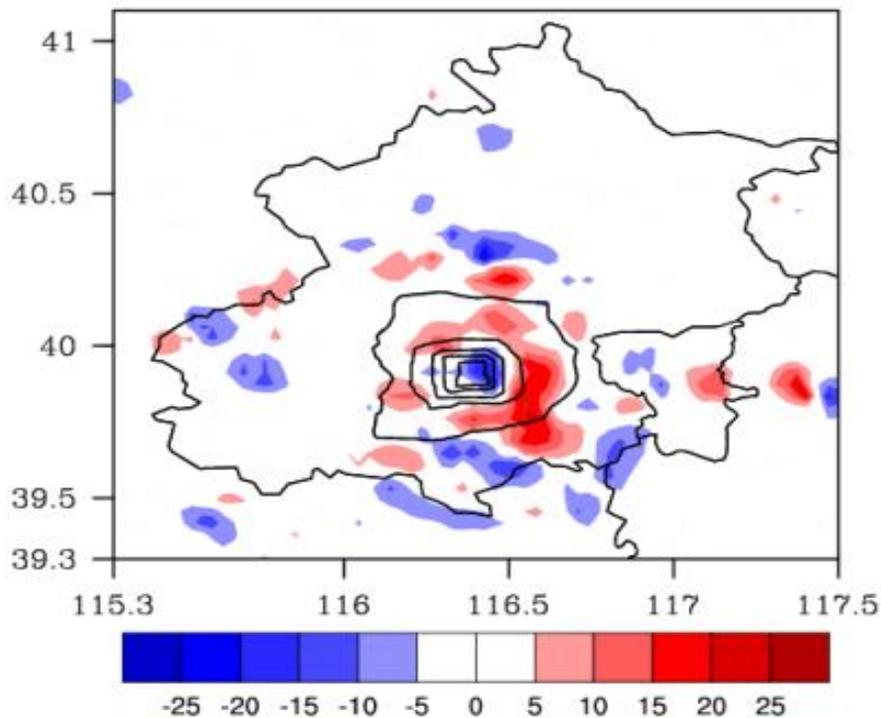
## 二、城市对降水影响数值模拟研究

### 2. 城市影响降水的不确定性研究 (2015.Aug 7<sup>th</sup>)

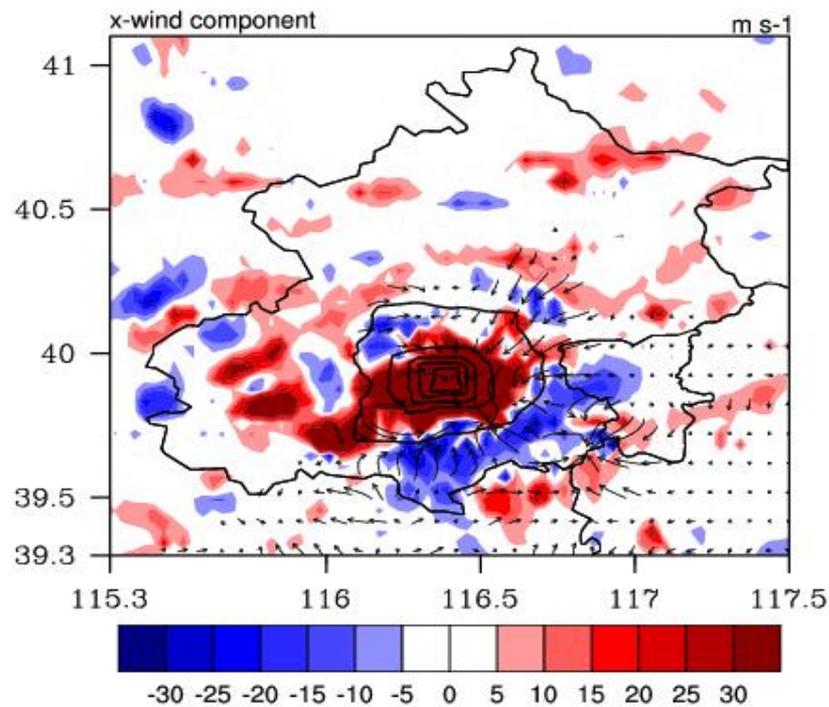
基于RMAPS业务模式, Urban算例 vs. NoUrban算例

城市导致下风方向降水显著增多, 上风方向略增多

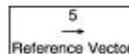
城市导致感热增强, 致使城市地区温度梯度和风场增强。当降水系统到达, 这将导致城市下风方向辐合增强



累计降水量

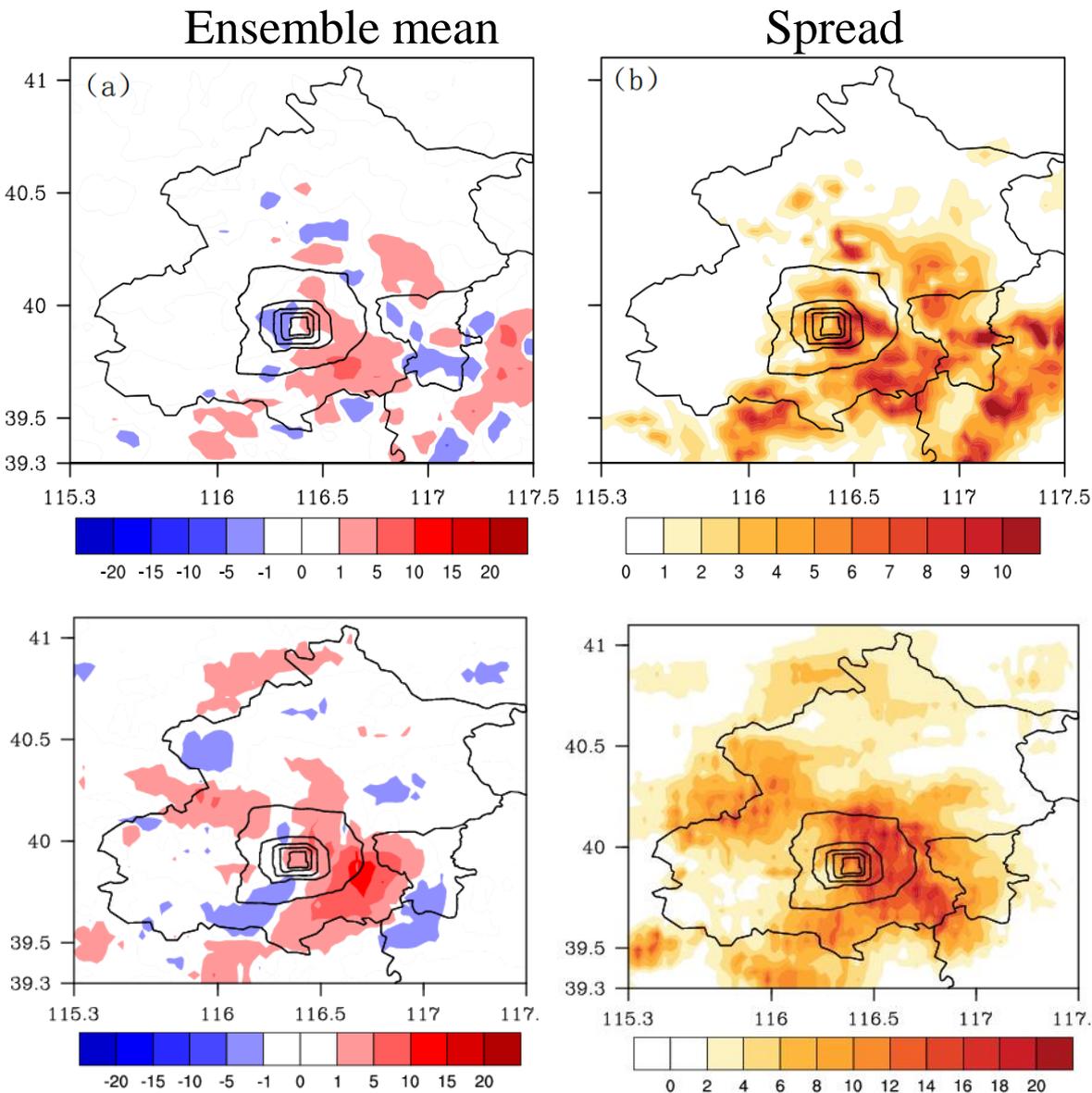


感热和850hPa风场



## 二、城市对降水影响数值模拟研究

### 2. 城市影响降水的不确定性研究 (2015.Aug 7<sup>th</sup>)



不同微物理和边界场方案

不同模式运行起始时间

- 集合平均的结果可以让城市影响降水的区域显著性增强, 累计降水的量级对应偏小

## 二、城市对降水影响数值模拟研究

### 3. 未来气候变化背景下城市扩张对京津冀极端降水事件的模拟研究

使用“虚拟全球变暖” (PGW) 动力降尺度方法，利用耦合城市冠层模块的数值模式 (WRF-UCM)，应用未来土地利用情景数据集，模拟未来气候变暖情景下,城市扩张对京津冀地区极端降水事件(2012.721)的影响.

$$\text{WRFinput\_future} = \text{FNL} + \Delta \text{CMIP5RCP8.5\_anomaly}$$
$$\Delta \text{CMIP5RCP8.5\_anomaly} = \text{CMIP5}_{2070-2099} - \text{CMIP5}_{1976-2005}$$

2010年和未来高排放情境下2100年土地利用数据

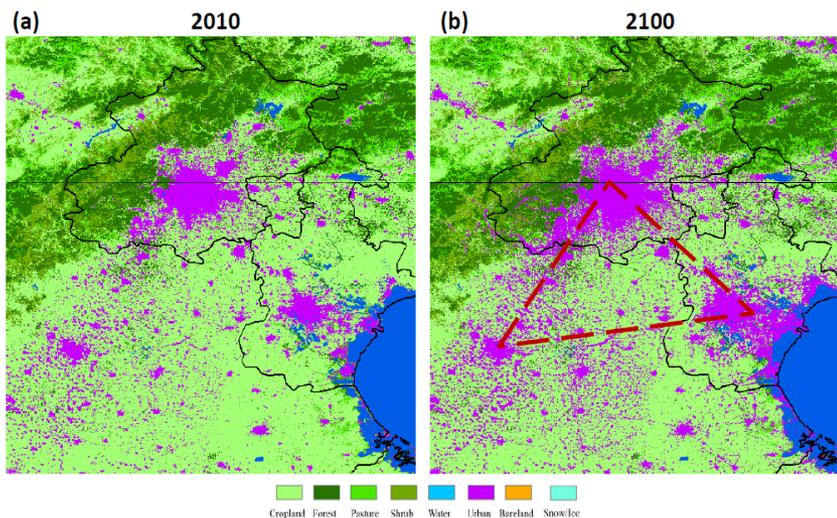


图. 京津冀地区2010年 (a) 与未来高排放情景下2100年 (b) 土地利用类型分布图。

数据来源: 清华大学全球1km未来土地变化情景数据集 (Li et al.,2016)

27-9-3KM三层嵌套模拟

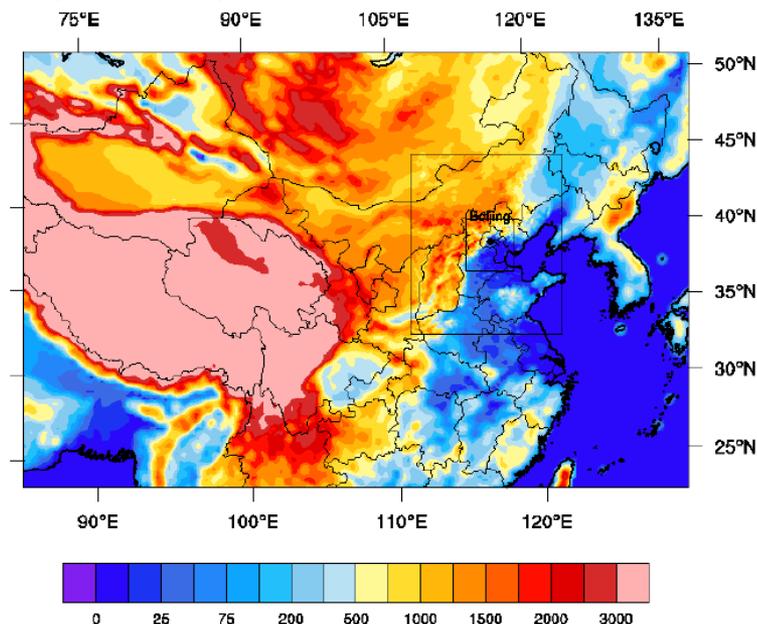


图. WRF数值模拟三层嵌套区域设置

以期定量评估未来气候变化背景下，城市扩张对京津冀地区极端降水事件的影响及其不确定区间

国家自然科学基金(青年): 未来气候变化情景下城市土地利用变化对京津冀地区暖季降水的影响研究

## 二、城市对降水影响数值模拟研究

### 3. 未来气候变化背景下城市扩张对京津冀极端降水事件的模拟研究

已有研究结果：未来气候变暖背景下，城市扩张对2012“7.21”强降水事件影响及机理

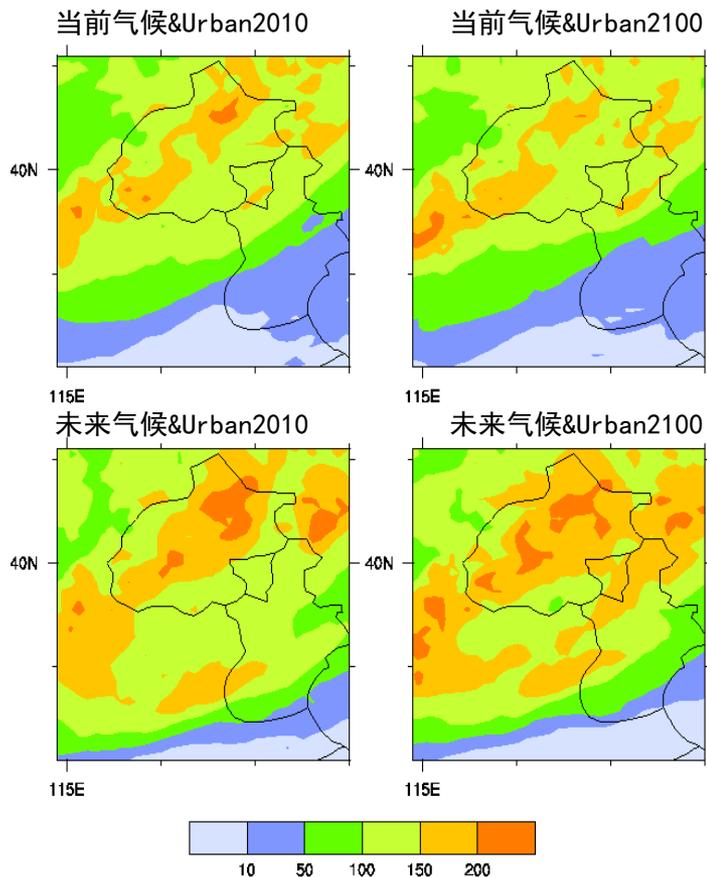


图. 4组“7.21”模拟试验24小时降水累计降水量分布 (mm)

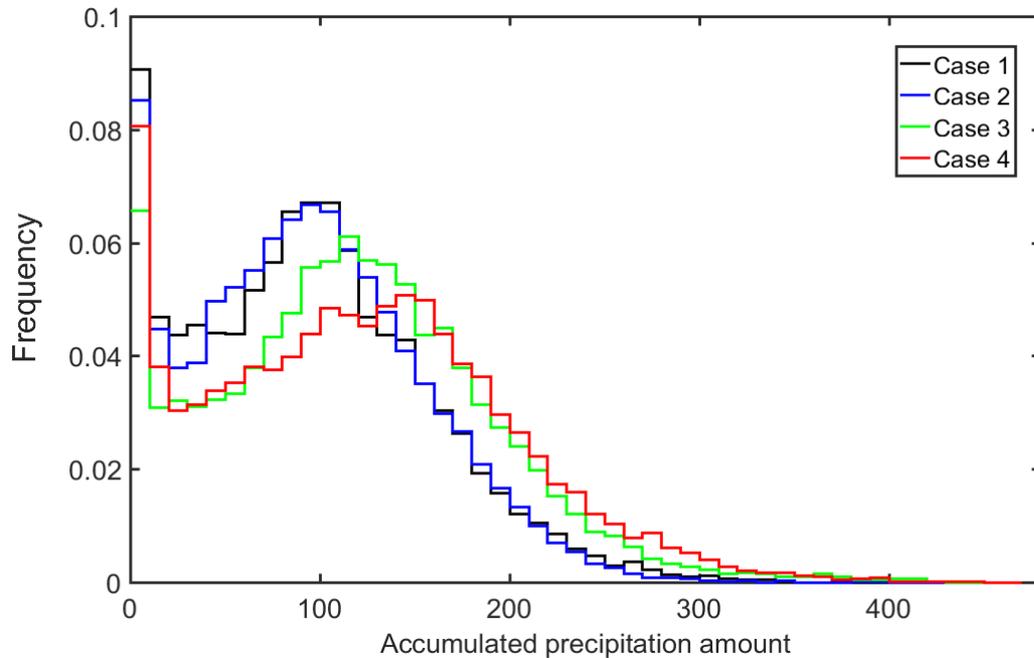


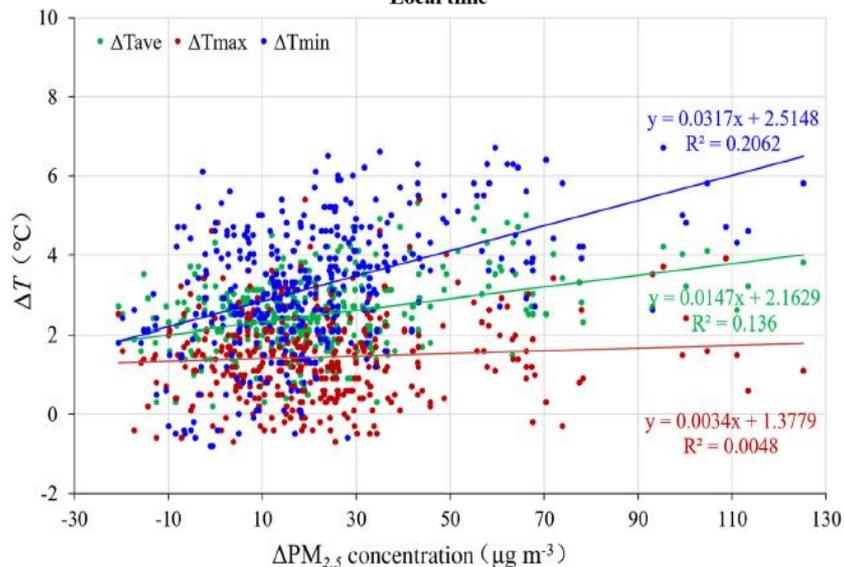
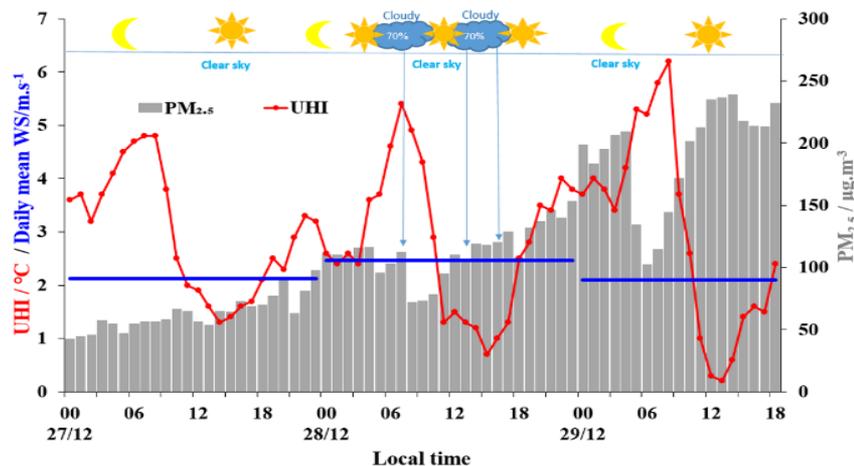
图. 4组模拟试验累计降水量格点频率分布特征

对于2012“7.21”强降水事件，城市扩张将导致降水分布变化；在未来气候变暖的背景下，或将扩大城市扩张对区域极端降水事件的影响，导致极端降水事件的强度增强。

### 三、城市及气候变化对气溶胶、霾的影响

#### 1. 气溶胶与城市热岛间的正反馈效应

城区颗粒物增多→减少地表长波辐射损失→城区比郊区冷却慢→热岛增强→热岛环流将颗粒物从郊区带回城区→污染物在城区聚集



图：城、郊温度与PM2.5浓度关系

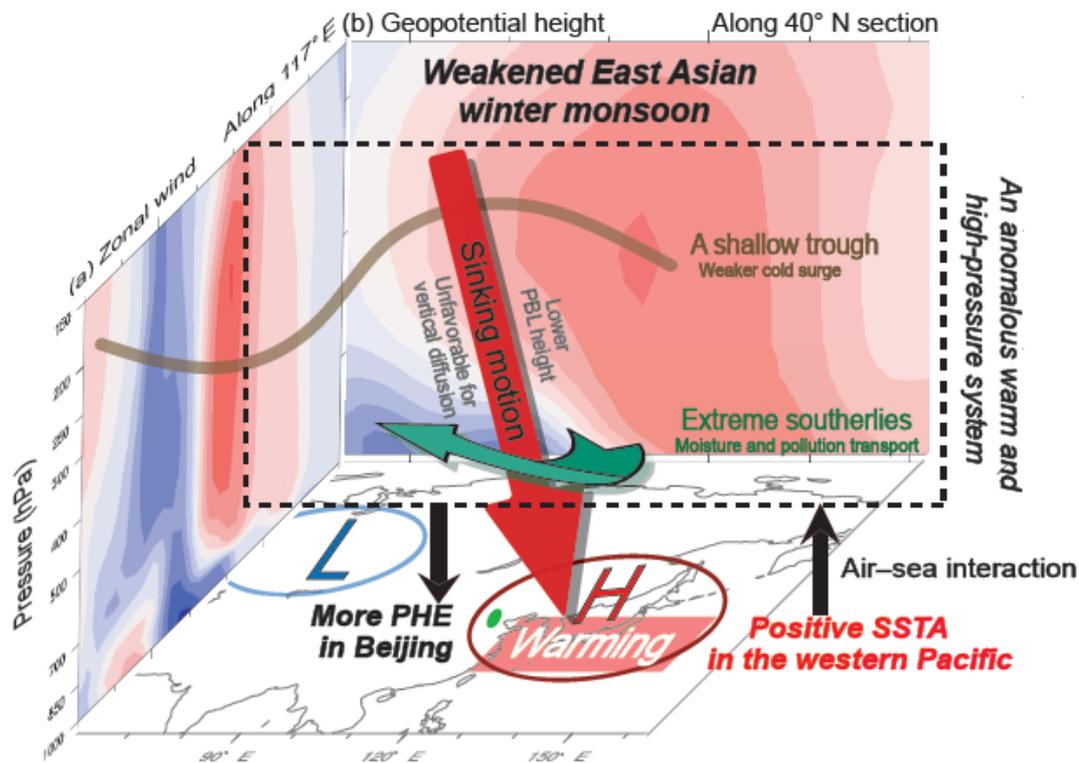
北京城、郊 $\Delta PM_{2.5}$ 与热岛强度间具有较好的对应关系。

归因分析表明， $\Delta PM_{2.5}$ 与 $\Delta T_{min}$ 之间能够互为因果关系。随着PM2.5浓度的增加，白天近地层接收到的向下短波辐射减少，导致大气增温减缓。在夜间，热岛环流的辐合气流会将细颗粒物从郊区带回城区，导致污染物在城区聚集，形成大气污染物与热岛效应相互影响的正反馈效应。

### 三、城市及气候变化对气溶胶、霾的影响

#### 2. 北京冬季霾及气候变化的影响研究

#### 北京持续霾增多：东亚冬季风减弱及西太平洋海温增暖的潜在影响



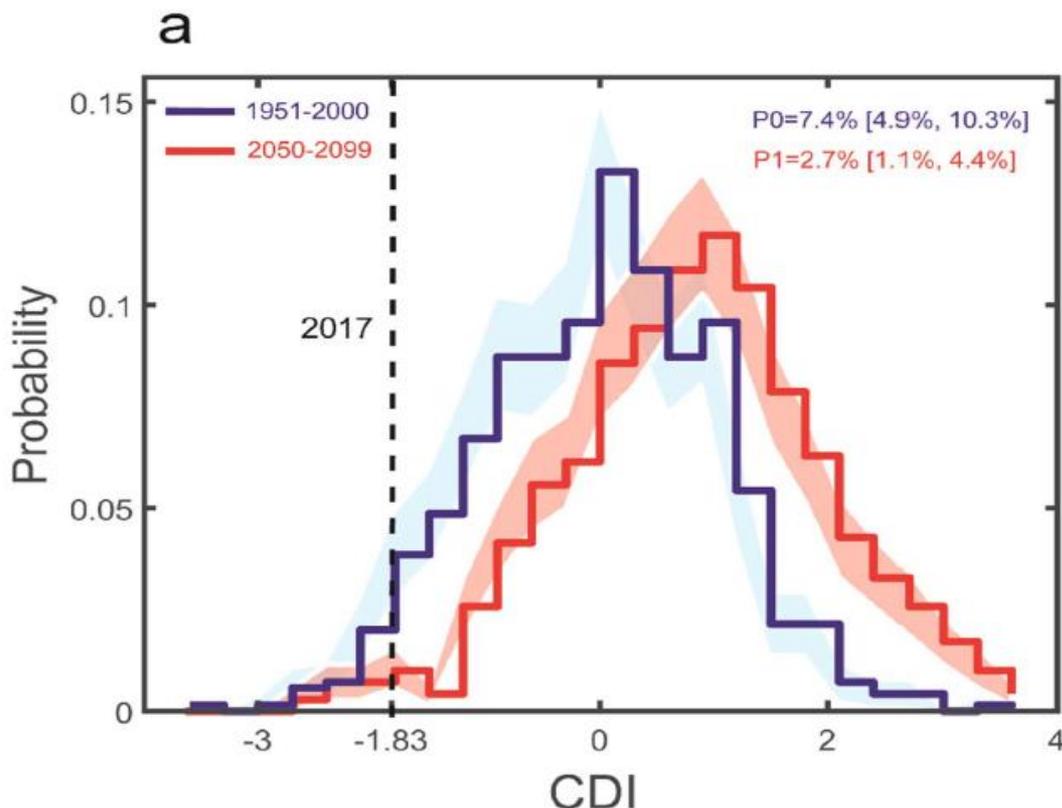
图：西北太平洋K区海温—东亚冬季风—北京持续霾事件之联系机制

近年北京冬季霾趋频。20世纪80年代以来西北太平洋冬季海温显著变暖，激发的大气环流异常有助于东亚冬季风减弱，特别表现在华北一带比以往更频繁地出现异常南风天气，这是近几十年北京冬季持续霾事件趋频的大尺度气候变化背景。

### 三、城市及气候变化对气溶胶、霾的影响

#### 2. 北京冬季霾及气候变化的影响研究

##### 全球变暖或将致北京冬日蓝天情形趋少



图：综合大气扩散指数概率分布未来变化特征

2017年冬季（2017/12-2018/2）北京呈现了近年难得一见的蓝天情景。2017年冬季大气环流特征十分有利于北京一带的污染物扩散。其发生概率从20世纪上半叶到下半叶已减少50%；未来或将进一步减少60%，意味着京区冬日蓝天的美景将日渐趋少。

## 四、未来研究设想

研究目标：

使用GCM-WRF动力降尺度方法，探究城镇化（生物物理过程：地表反照率、粗糙度、蒸散和人为热）对区域及全球气候变化的影响，揭示城镇化对气象要素、地表能量和水分平衡的影响机制。

### ② 区域气候对城镇化的响应机理

在典型地区，探讨城镇扩展对区域降水、辐射及能量平衡的影响机理，研究城市群水平格局和垂直结构对边界层扩散过程及降水的影响，量化城市边界层和地表温度的反馈机理。

### ③ 未来城镇化对区域和全球气候的影响

在典型区域（中国、印度和尼日利亚），基于动力降尺度方案，采用三层嵌套，利用CESM和WRF-CHEM进行数值试验，定量评估不同的城镇扩展方式（水平扩展与垂直延伸）对区域气象要素（温度、湿度、风、降水等）、地表能量和水分平衡的影响。在全球尺度上，用3个SSPs气候情景驱动CESM，每个模拟重复5次，对比扰动实验（SSPs情景）和控制实验（2020年的城镇空间结构）结果，分析不同温室气体、气溶胶和城镇扩展情景对地表气象要素平均值和频率分布的影响。

区域气候模式产品：2020-2024,2066-2070年，空间分辨率1-10km，时间分辨率为日

# 四、未来研究设想

近期研究内容:

## 第2 课题进度安排

### (1) 第一年度 2019.07~2020.06

- 完成城市生物物理参数（地表反照率、蒸散、粗糙度、人为热等）生成和优化；
- 完成动力降尺度技术和次网格参数化方案开发；
- 完成多尺度气候模拟系统开发；
- 发表 SCI 论文 2-3 篇；

1. 已开始查阅文献，开展GCM-WRF动力降尺度方法研发工作
2. 定量评估近四十年评估城市化气候效应对中国东部三大城市群极端高温事件的影响研究

**有关基于观测资料得到的，城市化对中国东部地区主要城市群逐日温度影响的结论尚存在争议：**

Wang et al., 2017; Li et al., 2017等认为城市化对逐日温度 (Tave,Tmin,Tmax) 无显著影响；Yang et al., 2017等认为城市化对逐日温度变化及趋势有显著影响，可达30%。

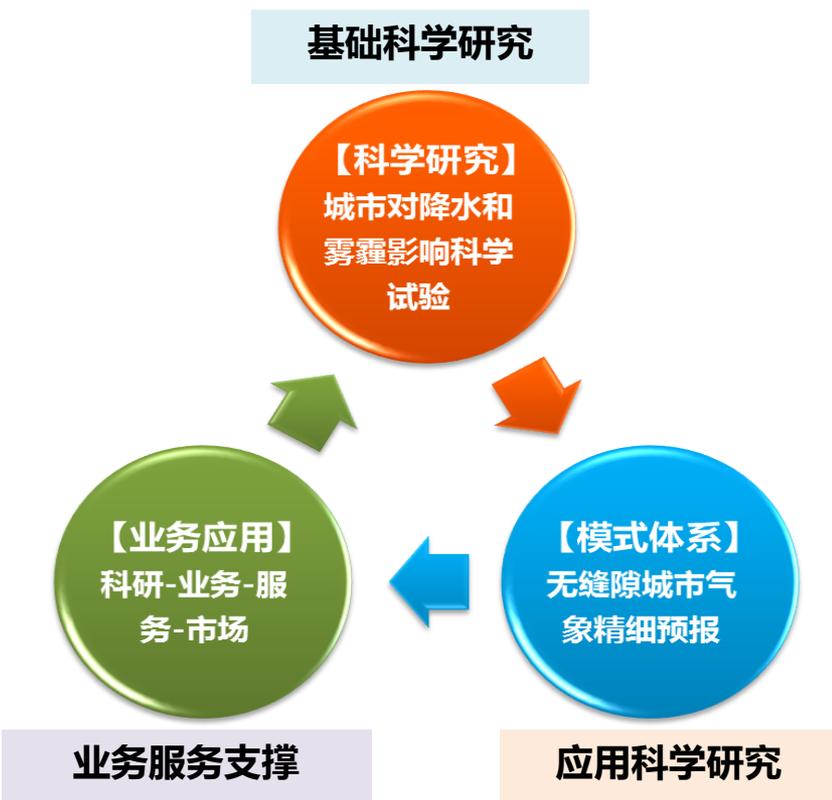
**争议原因：** 站点数量；城、乡站点分类方法；均一化数据集及均一化方法；城市化影响温度的机理尚存争议（城市土地利用、人为热释放、气溶胶排放）

**研究思路：** 基于中国2419个国家级地面气象站均一化气温日值数据，基于1978-2017年动态土地利用（不透水面率）数据对城乡站点进行动态分类，讨论**加入、不加入山地站 ( $H>thd$ )** 对三大城市群极端温度贡献结论的影响。

# 五、城市院简介

2002年，中国气象局北京城市气象研究所成立。

2018年10月26日在中国气象局、北京市政府的支持和见证下，北京城市气象研究院成立。



- 科技研发体系 -

大科技格局：科学研究-模式体系研发-应用

## 学科建设：

城市边界层与大气环境

城市气象精细预报

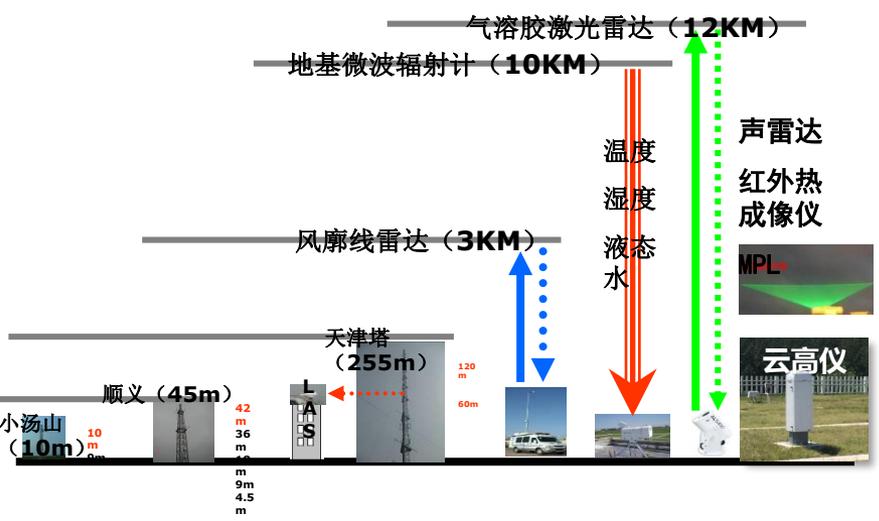
城市气候与生态发展

成果转化中试

# 五、城市院简介

## 1.城市边界层与大气环境

### 城市气象观测系统



### 城市环境气象观测系统

1站	上甸子区域大气本底观测站 (GWA观测站)
观测项目	测量要素
微量反应性气体 Trace reactive gas	臭氧 (O <sub>3</sub> ), 氮氧化物 (NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> ), 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ), 一氧化碳 (CO)
温室气体 GHG Greenhouse gas	Picarro系统: 二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ), 甲烷 (CH <sub>4</sub> ), 一氧化碳 (CO), 水汽 (H <sub>2</sub> O)
	双通道系统: 氧化亚氮 (N <sub>2</sub> O), 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ), 甲烷 (CH <sub>4</sub> ), 一氧化碳 (CO)
	Medusa系统: 氢氟碳化物 (HFCs), 全氟碳化物 (PF <sub>6</sub> s), 含溴化合物 (Halons) 等40余种要素
	卤代温室气体系统: CFCs、HCFCs 及其它卤代烃等20余种要素
大气气溶胶 Aerosol	FLASK瓶采样系统: 二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ), 甲烷 (CH <sub>4</sub> ), 氧化亚氮 (N <sub>2</sub> O), 一氧化碳 (CO), 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ), C13同位素
	气溶胶吸收系数
	气溶胶散射系数
	PM <sub>2.5</sub> 质量浓度
	凝结核数浓度
干湿沉降 Dry and wet deposition	大气光学厚度
	TSP大流量采样
辐射 Radiation	干沉降
	湿沉降 (降水化学)
气象要素 Meteorology	直接辐射, 总辐射, 天空散射, 红外辐射, 向下长波辐射, UV-B辐射, 向上长波辐射, 向上短波辐射
	气温, 气压, 风向, 风速, 相对湿度, 能见度
	降水, 地温, 草温
	能见度, 日照, 云, 天气现象, 蒸发量
	风廓线雷达: 风场和温度场的垂直分布
	地基GPS: 测量大气可降水量 空气负离子

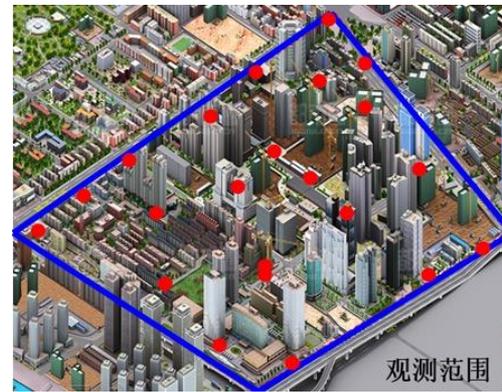
1综合 精细化综合观测	
观测项目	测量要素
反应性气体	NO <sub>y</sub> , PAN, NO <sub>2</sub> 光解, VOCs
大气气溶胶	气溶胶吸收系数
	气溶胶散射系数
	数浓度粒径分布
	光散射吸湿增长因子
	气溶胶垂直廓线
	分级化学组分采集
14点	在线水溶性离子
	分粒径吸湿增长因子
城郊监测点: 顺义、朝阳、昌平、海淀、宝联、延庆、怀柔、大兴、房山、南郊、平谷、通州、苹果园、门头沟	
观测项目	测量要素
微量反应性气体	臭氧 (O <sub>3</sub> ), 氮氧化物 (NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> ), 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ), 一氧化碳 (CO)
大气气溶胶	PM <sub>2.5</sub> 质量浓度
	PM <sub>10</sub> 质量浓度

# 五、城市院简介

## 1.城市边界层与大气环境

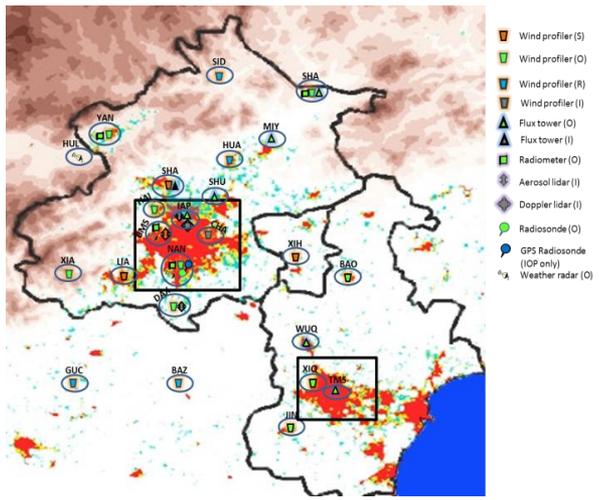
### 城市气象观测试验

- ◆牵头组织NCAR、普度大学、圣何塞州立大学、雷丁大学、以及国内、局内多家单位，联合开展夏季降水、冬季雾霾科学试验及系列研讨会
- ◆开展城市湍流、边界层结构及城郊差异、城市对降水/雾霾影响机理、城市精细模式研发等
- ◆与国际智力资源开展合作研究，培养人才



### CBD地区温度流动观测

2011-08-22 (21:05-22:22)



仪器	数量
风廓线雷达 (IOP)	14
微波辐射计	3
气溶胶激光雷达	2
多普勒激光雷达	1
铁塔 (通量)	6
云高仪	10
天气雷达	4
X波段雷达	6
GPS探空 (IOP)	4

京津冀城市群强降水及雾霾观测试验(SURF)  
——2015~2017年夏季观测试验



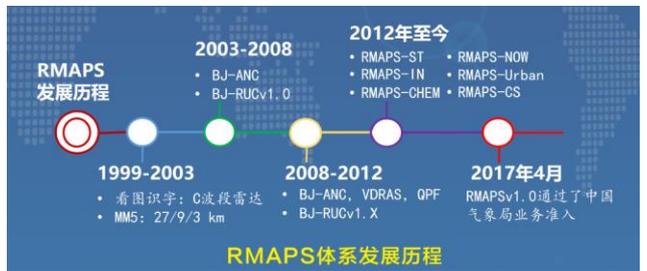
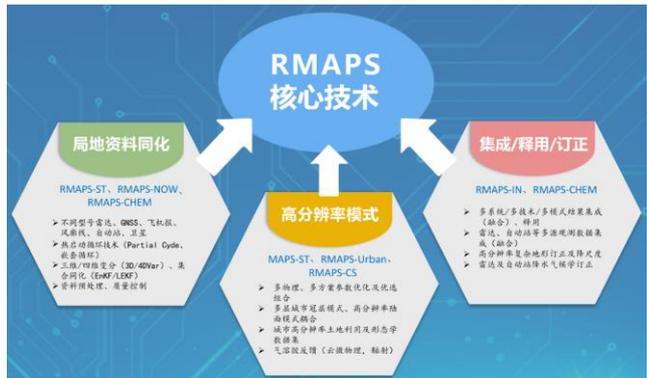
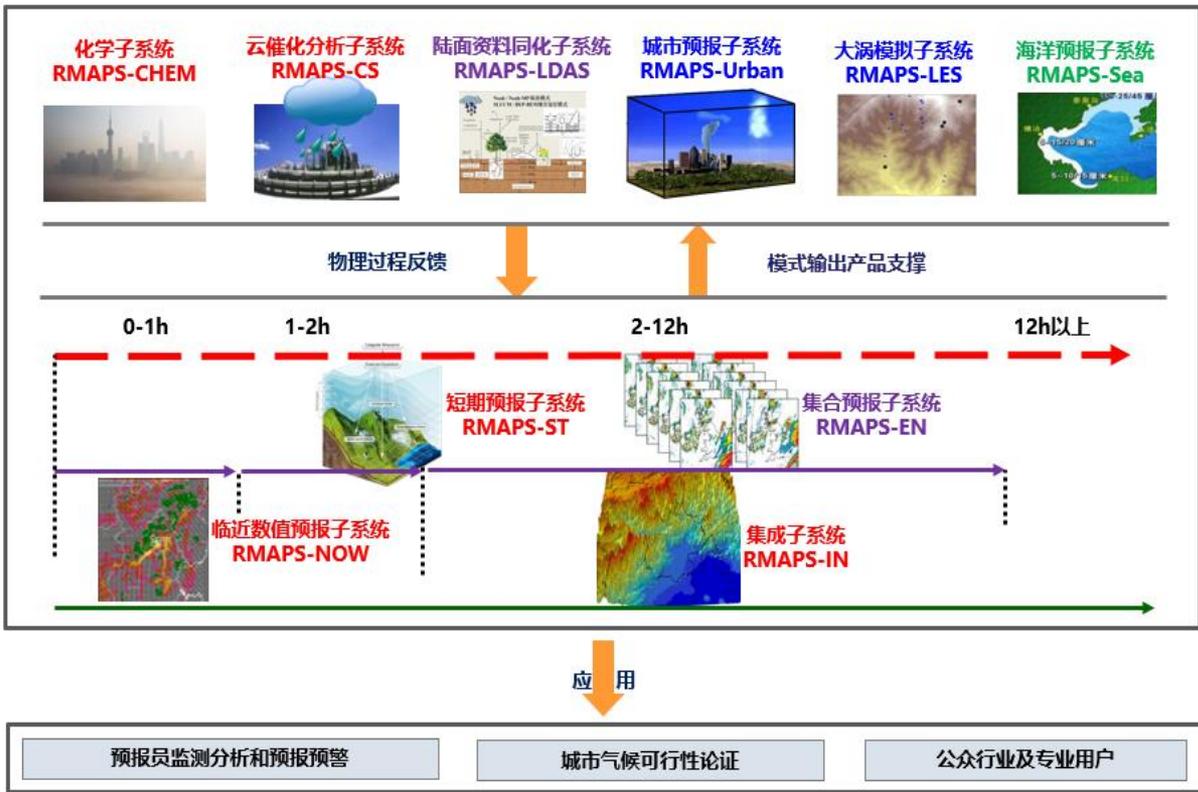
# 五、城市院简介

## 2. 城市气象精细预报

### 睿图模式体系

聚焦大城市0-12小时短时临近预报准确率提升工程，  
构建新一代无缝隙多尺度数值预报模式体系(睿图-RMAPS)

- 构建0-12小时无缝隙、中β到中γ尺度、考虑陆面和气溶胶等影响的多物理过程模式体系
- 实现了10分钟更新、1公里分辨率的客观分析和预报



RMAPS体系发展历程

# 五、城市院简介

## 3. 城市气候与生态发展

### 城市气象与城市规划的融合发展

气候适应型  
城市规划策略

时空尺度、分辨率

适应气候变化  
气候变化敏感性区划&  
城市规划

城市群

- 几年—几十年、百年尺度
- 1~3 km

应对气象灾害  
气象灾害风险区划&城  
市规划

城市  
尺度

- 季节、年尺度
- 城市形态可分辨
- 500 m ~ 1 km

适应城市气候  
城市环境气候图系统  
& “一张图”

中观  
尺度

- 月、季节尺度
- 湍流可分辨
- 200 m ~ 300 m

微观  
尺度

- 典型天气情况
- 建筑形态可分辨
- 2 m ~ 10 m

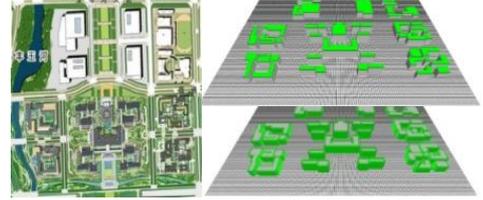
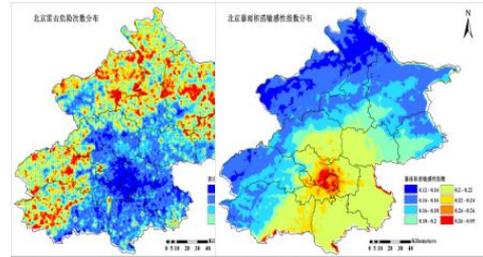
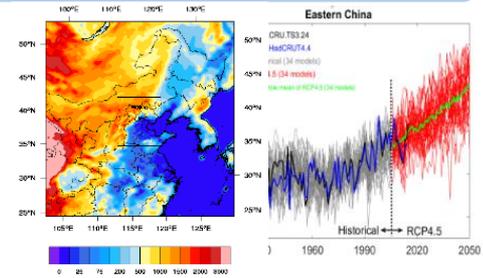
## 研究内容

- ✓ 近百年气候变化时空分布特征
- ✓ 未来气候变化预估（PGW动力降尺度）：气温、降水
- ✓ 不同发展情景气候效应评估

- ✓ 模拟城市空间规划可以利用的城市气候资源
- ✓ 模拟城市化对高温热浪的影响
- ✓ 主要气象灾害风险评估与区划
- ✓ 从规划预警的角度分区提出应对**极端天气事件**的规划策略

- ✓ 发展适用于模式灰区的边界层参数化方案
- ✓ 与多层城市冠层模式耦合
- ✓ 开展城市副中心（907km<sup>2</sup>）**最优绿地系统规划方案模拟评估**

- ✓ 开展副中心行政办公区（6km<sup>2</sup>）**立体绿化（屋顶绿化和墙壁绿化）微气候效益评价**



谢谢各位专家！  
恳请批评指正！

