

Urban Morphological Parameters of the Main Cities in China and Their Application in the WRF Model

报告人：孙永

指导老师：张宁 教授

南京大学大气科学学院

2021.11.12

Outline

➤ **Why**

- Background
- Characteristics of urban boundary layer
- UCPs and urban canopy model

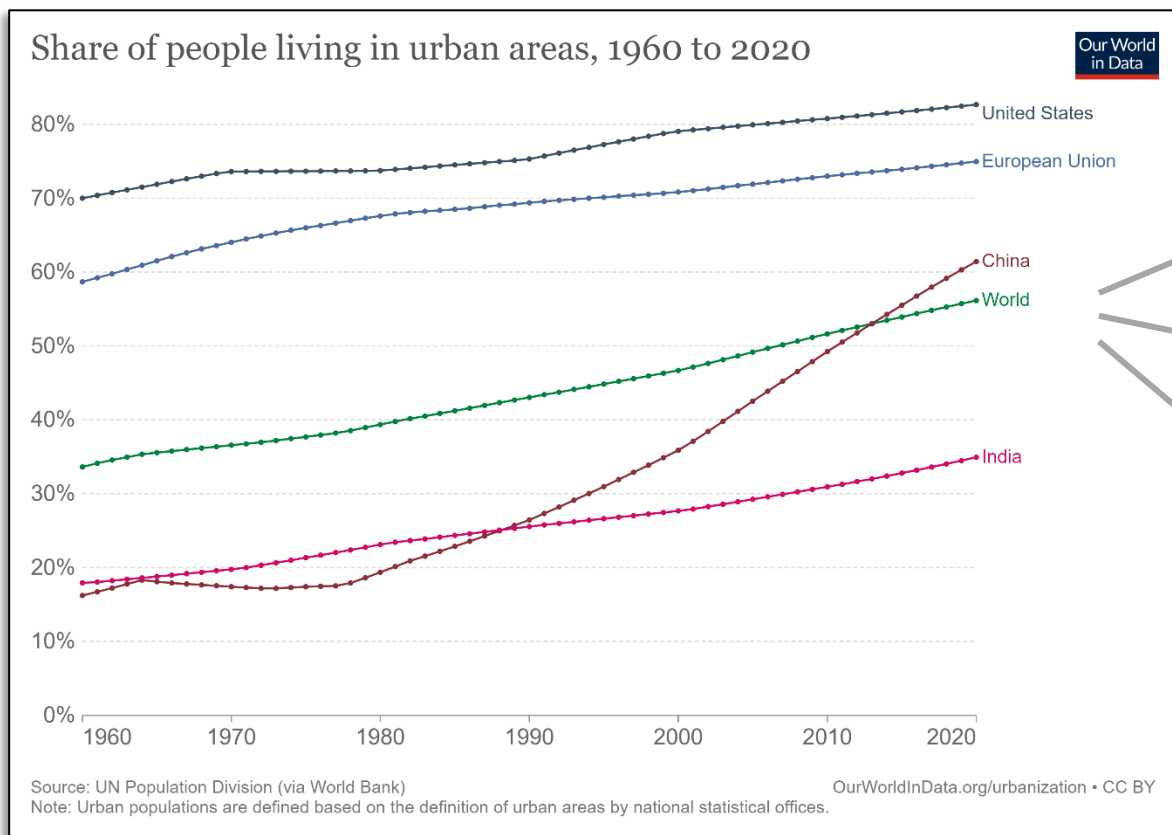
➤ **What we have done**

- The establishment of UCPs dataset
- The characteristics of urban morphological parameters in China
- The sensitivity of WRF to UCPs

➤ **What we will do**

- How the UCPs affect urban climate and urban environment

科学问题及意义

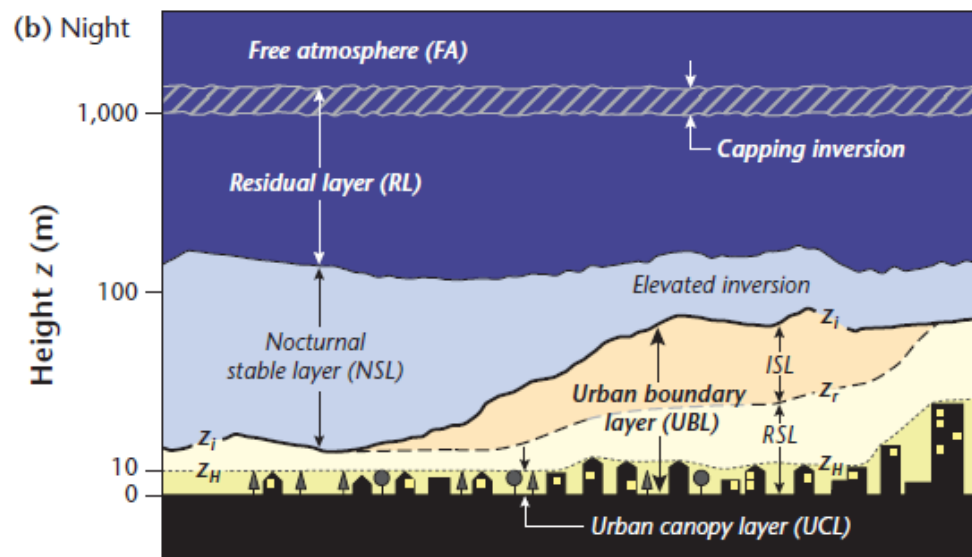
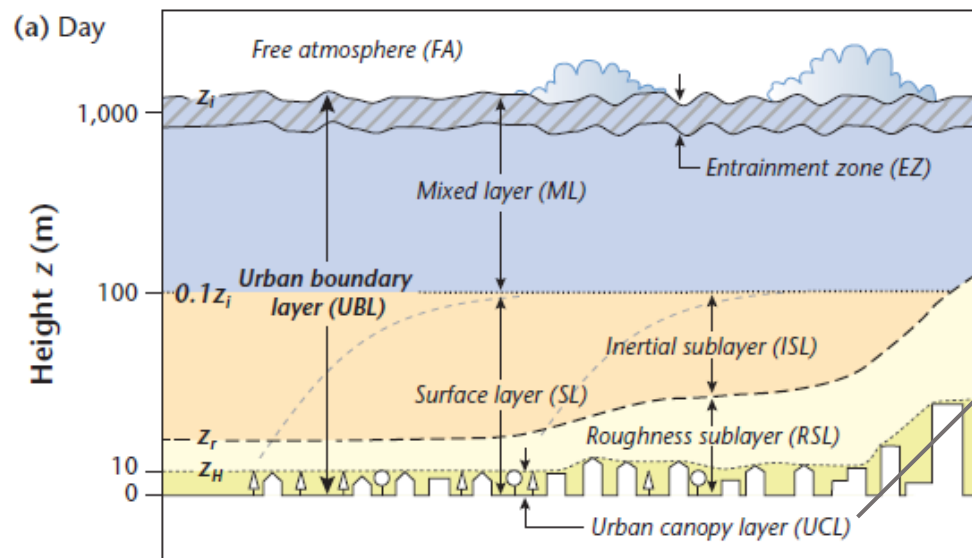


“副作用”



当今世界超过一半的人口生活在城市中，城市化造成的气象与环境问题不容忽视（城市热岛、空气污染、极端天气等）。中国正经历人类历史上规模最大的乡村人口向城市转移的过程，应当吸取发达国家经验教训，尽可能地将城市化的“副作用”降至最低。

科学问题及意义



城市化

- 改变下垫面
- 影响地表能量平衡
- 增加地表粗糙度
- 人为热排放
- 污染物排放

剧烈影响

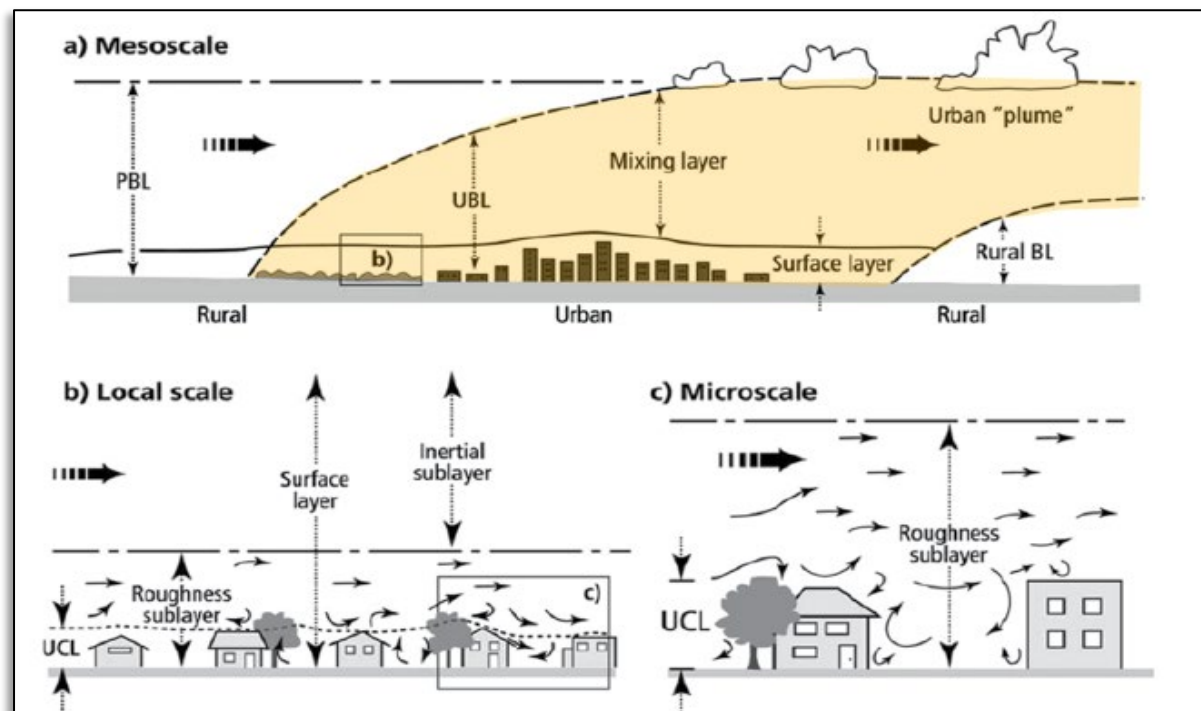
地气交换

边界层特征

人类活动

触发机制——城市大气边界层

科学问题及意义



- 城市边界层多尺度性
- 城市内部非均匀性
- 城市之间形态差异

~~通用城市下垫面描述~~

不同尺度上城市大气边界层示意图 (T. Oke, 1987)

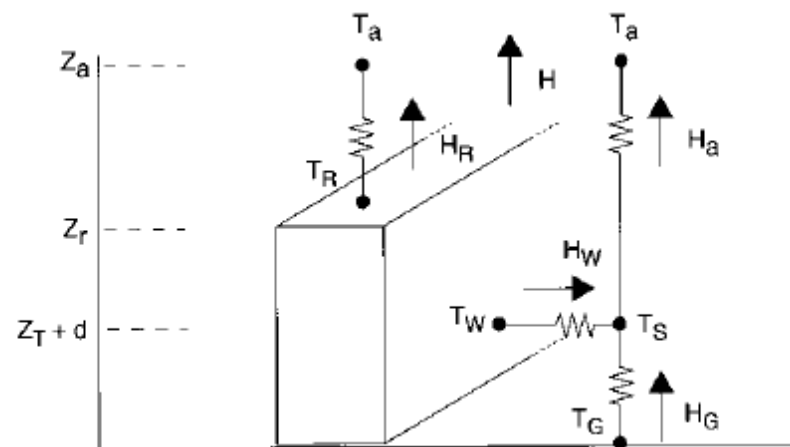
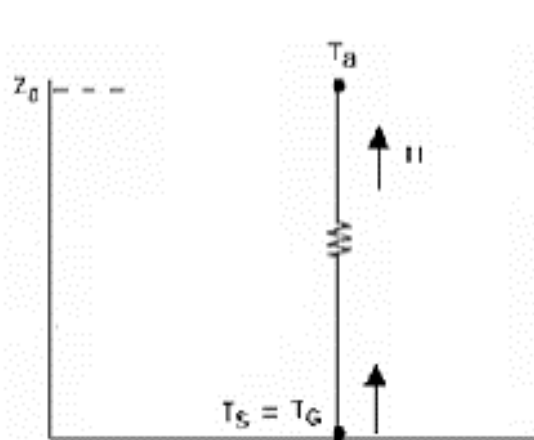
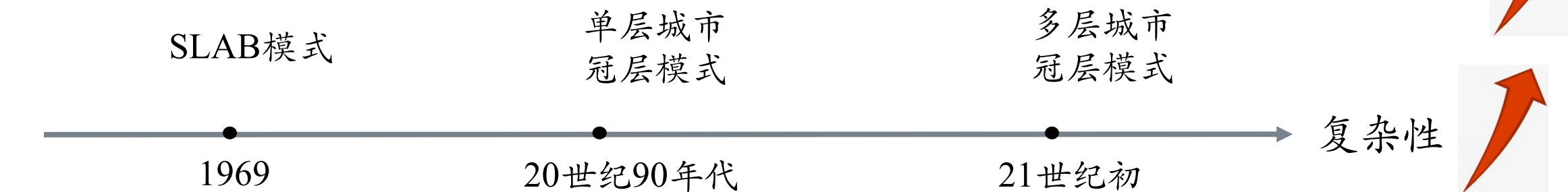
城市形态对城市大气边界层有何影响？影响机制如何？

国内外研究进展

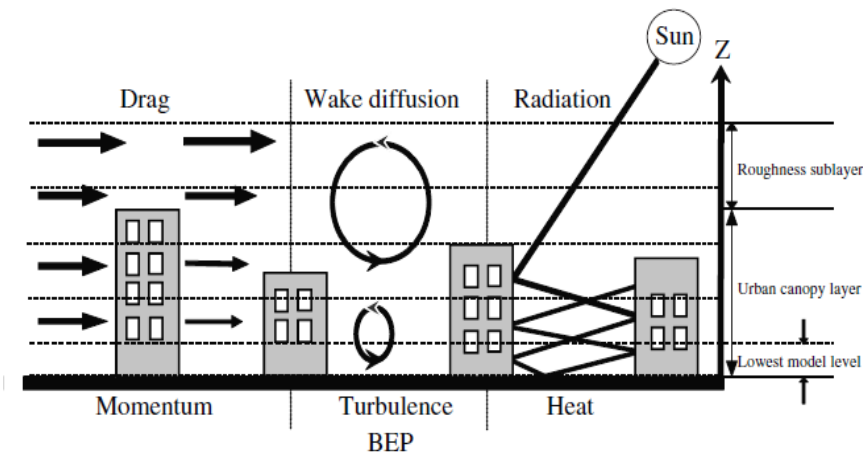
城市冠层模式发展历程

参数依赖

复杂性



(Kusaka et al., 2000)



(Martilli et al, 2002)

均匀下垫面 $\Rightarrow$ 均一建筑物高度 $\Rightarrow$ 城市立体形态

No building $\Rightarrow$ Real building

国内外研究进展

International Urban Energy Balance Models Comparison Project

Grimmond et al., 2009,2010,2011

Slab	Single layer	Multiple layer
MOSES1T	AUSSSM	BEP02
MOSES2T	CAT	BEP05
SUEB	CLMU	ENVImet
SM2U	GCTTC	MUCM
	HIRLAM-U (+ analytical profile in canopy)	MUKLIMO (ground)
	LUMPS	R-AUSSSM
	MOUSES	SUEB
	MUKLIMO (walls, roof, canopy)	SUMM
	NSLUCM	SUNBEEM
	RUM	TEB07
	SLUCM	TUF2D, TUF3D
	SUES	UCLM
	SUNBEEM	
	TEB	
	VUCM	

冠层模式对城市物理过
程的精细化描述依赖于
冠层参数的输入

- What are the main physical processes that need to be resolved to simulate realistically urban energy balance exchanges?
- How complex does a model need to be in order to produce a realistic simulation of urban fluxes and temperatures?
- Which input parameter information is required by an urban model to perform realistically?
- What are the main research priorities for future observational campaigns within urban areas?

国内外研究进展

UHIs

Oke, 1981; Miao et al., 2009; Marciotto et al., 2010;
Yin C, 2018; Li et al., 2020

Boundary layer structures

Salamanca et al., 2011; Barlow and Belcher, 2002;
Barlow et al., 2004

Urban summer storm

Li et al., 2013 ;Li et al., 2016

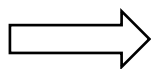
Urban climate

Taha, 1999; Shen et al., 2019; He et al., 2019;
Wong et al., 2019; Yang et al., 2021; Yu et al., 2021;
Chen et al., 2021

城市冠层模式模拟性能对城
市冠层参数 (UCPs) 依赖性
非常强

- 城市形态（建筑高度、建筑密度）影响城市热岛强度
- 城市形态影响城市风场，继而影响与上层大气热交换速率
- 城市形态提升模式在城市地区精细化模拟能力
-

真实、高质量UCPs



模式模拟能力

对科学问题认识



国内外研究进展

WRF默认UCPs代表性分析

WRF默认UCPs

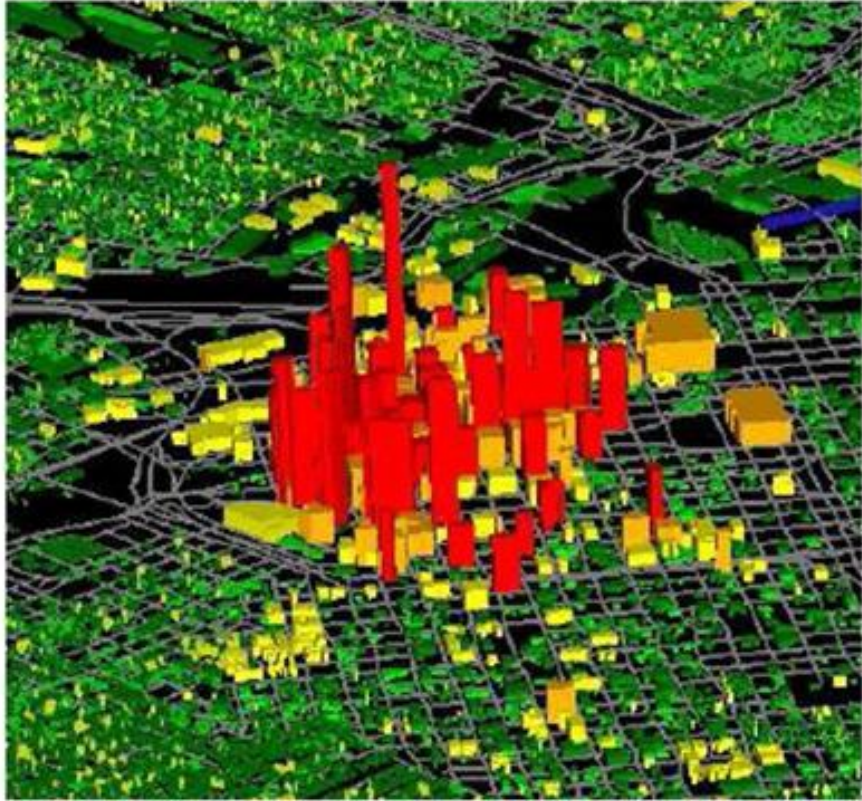
urban category	bw	sw	height	percentage
LIR	13	30	5	15%
			10	70%
			15	15%
HIR	17	25	5	0%
			10	20%
			15	60%
			20	20%
COM	20	20	5	0%
			10	0%
			15	10%
			20	25%
			25	40%
			30	25%

基于真实资料评估值

City	Urban_category	BW	SW _{2D}	SW _{3D}
Beijing	Low intensity residential	12.3	53.6	20.5
	High intensity residential	11.6	50.0	17.0
	Commercial	11.2	41.3	14.1
Shanghai	Low intensity residential	11.4	48.2	26.1
	High intensity residential	12.2	45.0	20.2
	Commercial	12.5	43.9	17.8
Guangzhou	Low intensity residential	12.2	36.8	23.1
	High intensity residential	12.0	31.4	16.2
	Commercial	11.5	24.4	14.7

现有WRF城市冠层模式默认UCPs不适合快速发展、复杂度高的中国城市

国内外研究进展



Real Building Data

Area Weighted Mean Building Height

Plan Area Fraction

Building Surface to Plan Area Ratio

Mean Building Height

Standard Deviation of Building Height

Frontal Area Index

Building Height Distribution

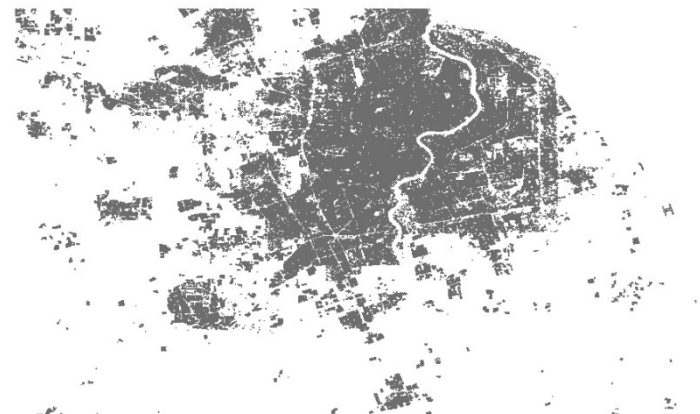
	数据集	城市数量
America	NUDAPT	44
China	Lack of nationwide dataset	

中国主要城市形态学参数集建立

北京



上海



通过爬虫的方法收集中国主要城市精细三维建筑物资料（建筑物轮廓、楼层数），设计形态学参数计算方法，制作UCPs数据库。

中国主要城市形态学参数集建立

Mean building height

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{N}$$

Building frontal area index

$$\lambda_f = \frac{A_{proj}}{A_T}$$

Median building height

$$s_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}{N - 1}}$$

Average building height weighted by building plan area

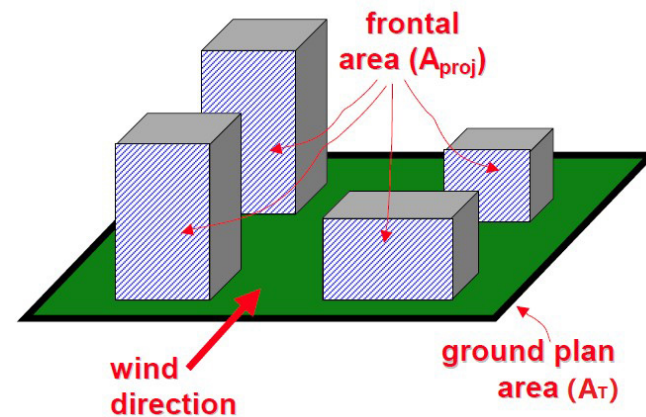
$$\bar{h}_{AW} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i h_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

Building plan area fraction

$$\lambda_p = \frac{A_p}{A_T}$$

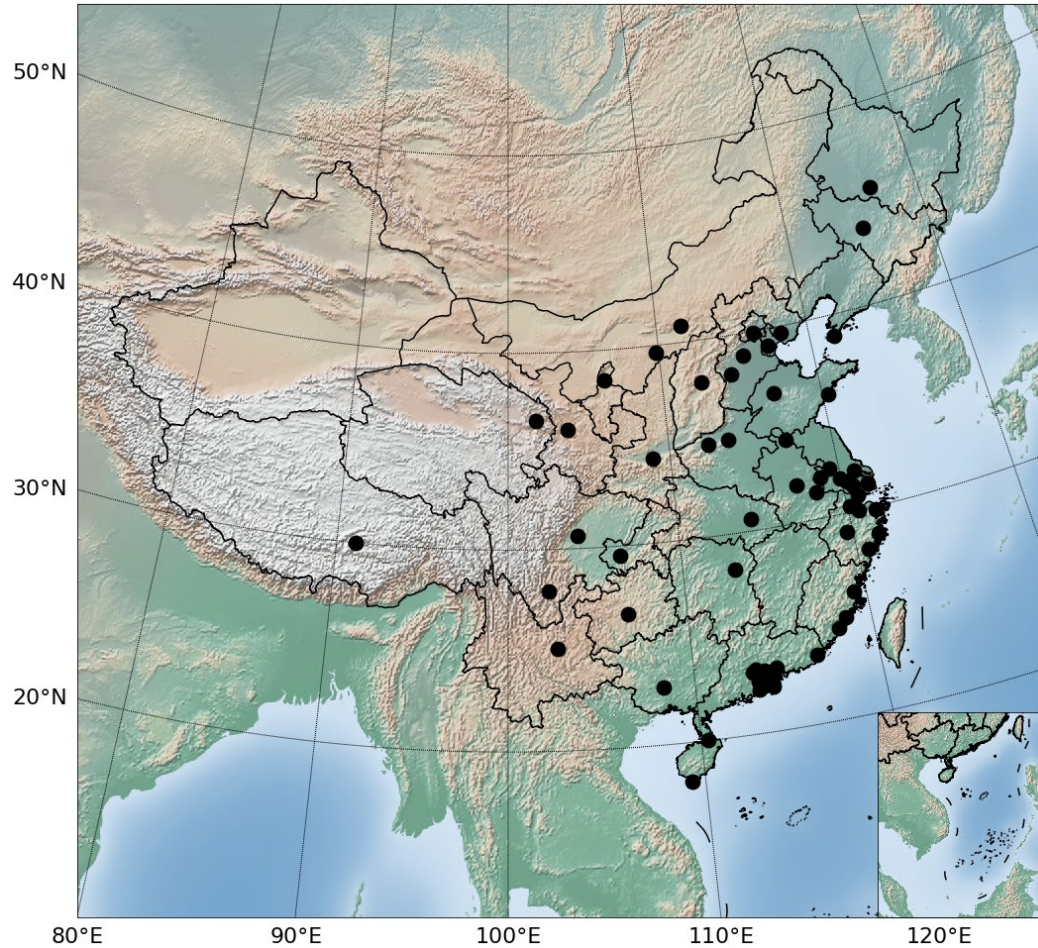
Building surface area to plan area ratio

$$\lambda_b = \frac{A_R + A_W}{A_T}$$

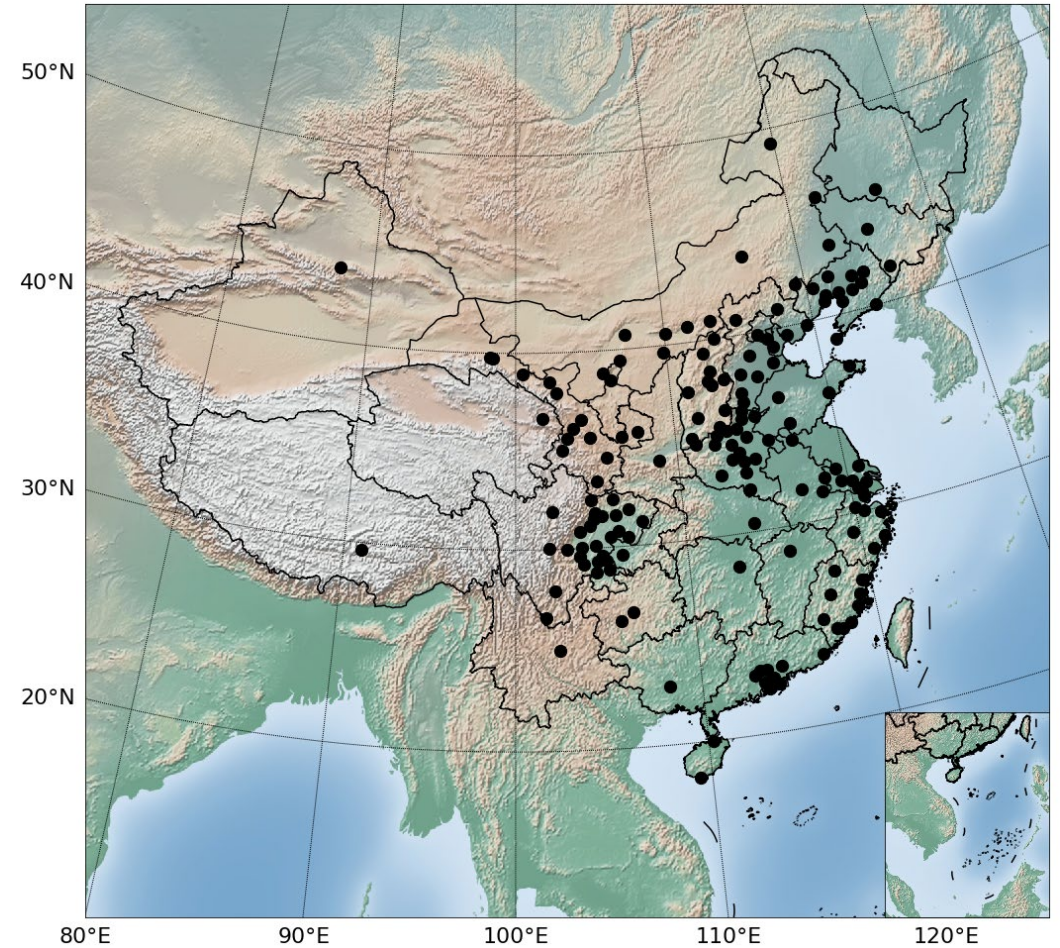


中国主要城市形态学参数集建立

Dataset_1.0 – 60 cities



Dataset_2.0 – 165 cities



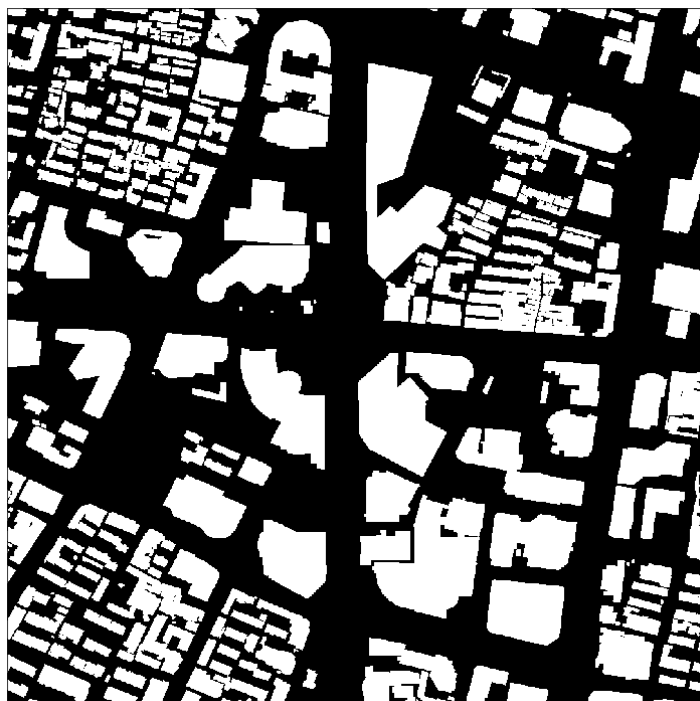
<https://doi.org/10.7910/DVN/VZH1QY>

中国主要城市形态学参数集建立

水平方向

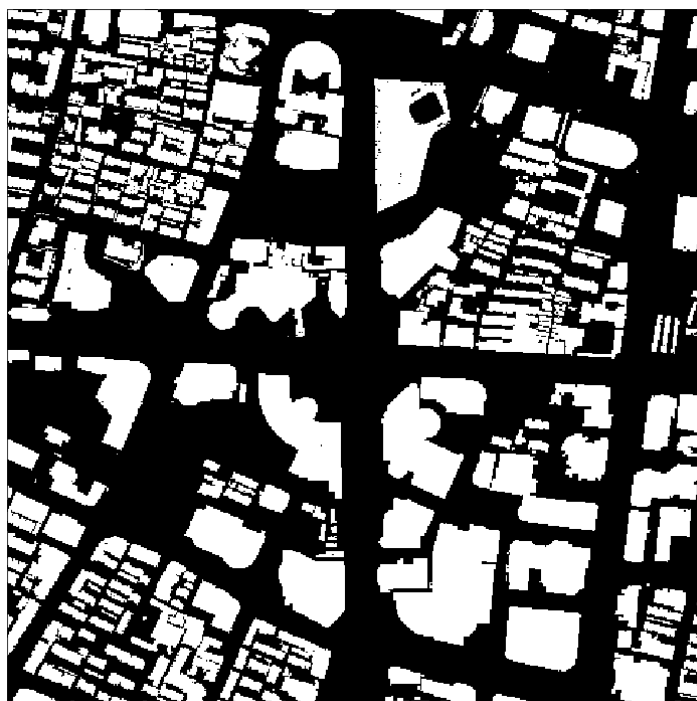
Plan area Fraction

CBD (1km × 1km)



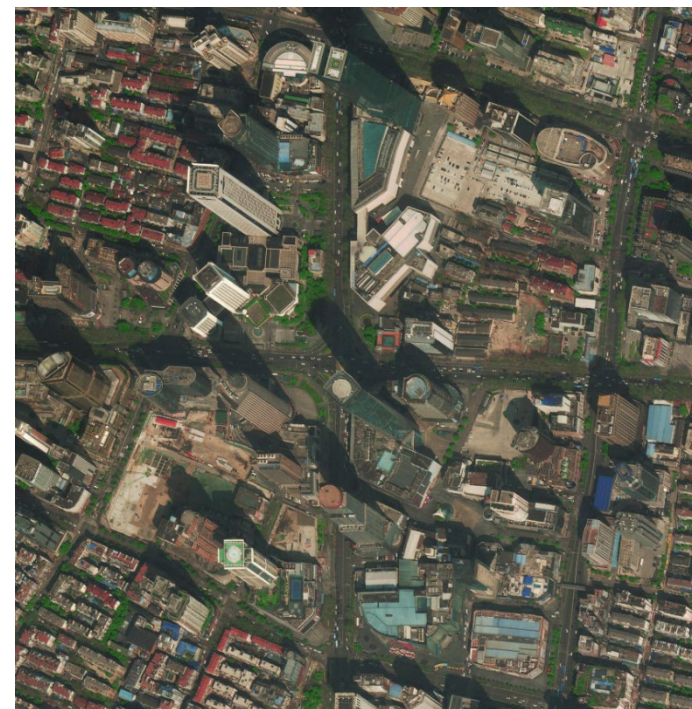
Vector data

0.39



Radar data

0.37



中国主要城市形态学参数集建立

水平方向

Plan area Fraction

Residential area (1km × 1km)



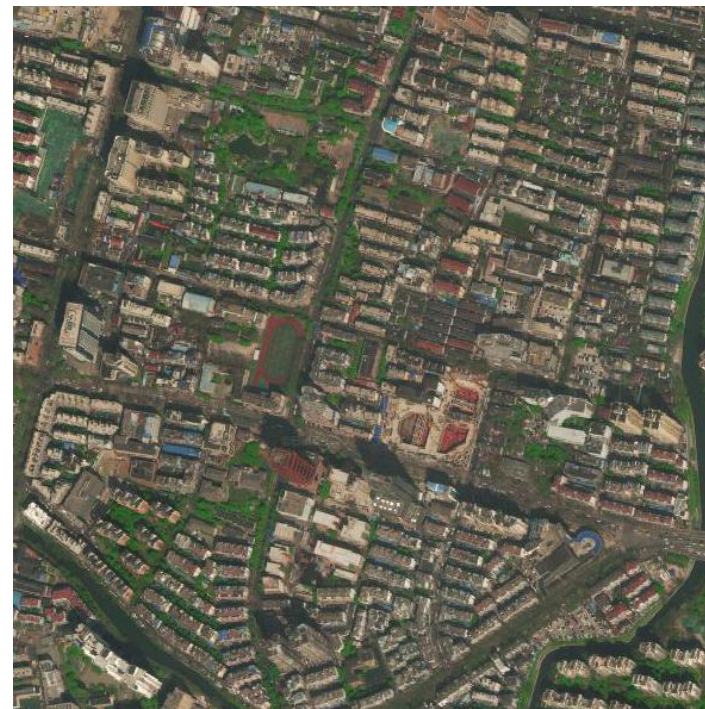
Vector data

0.35



Radar data

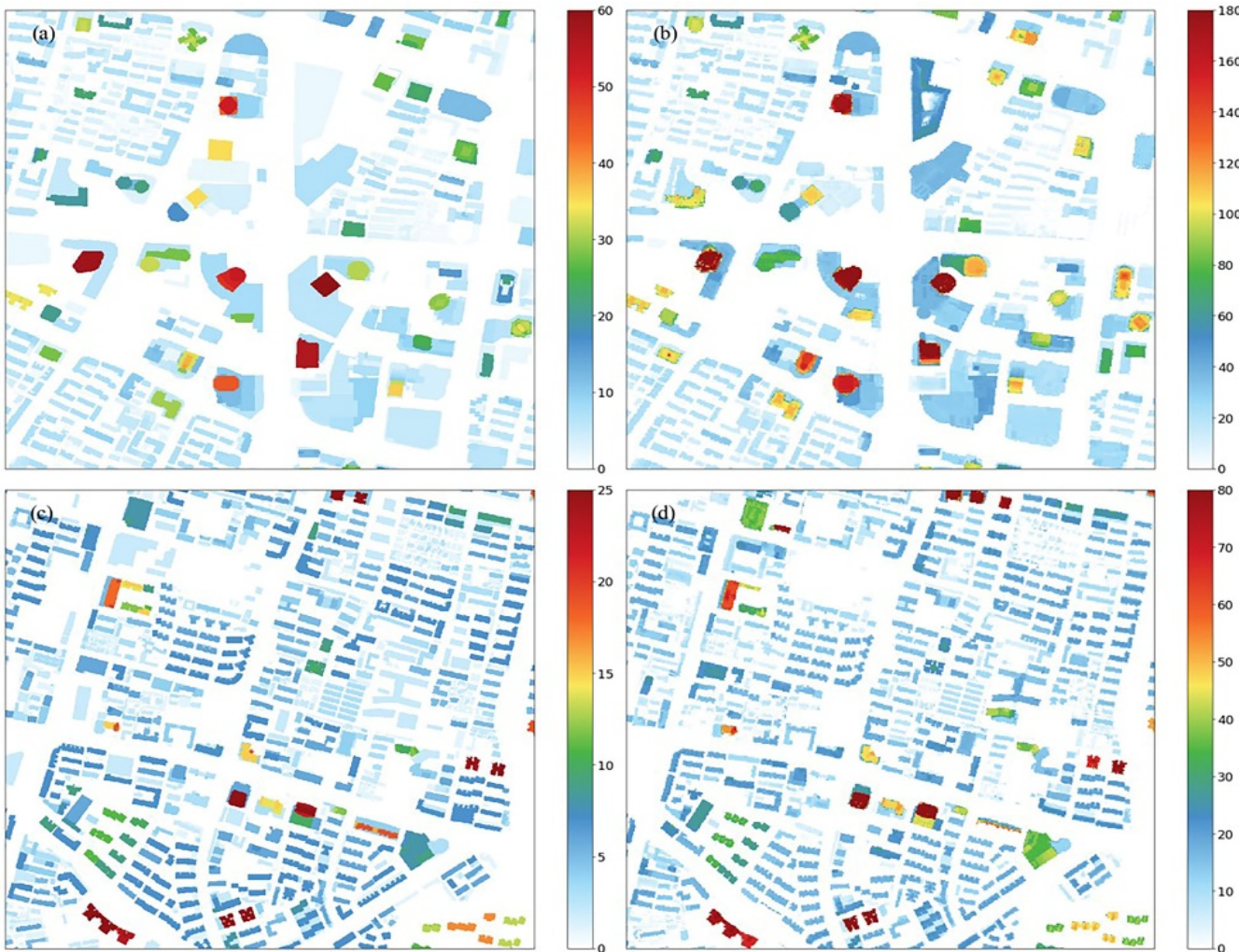
0.36



中国主要城市形态学参数集建立

垂直方向

Average building height



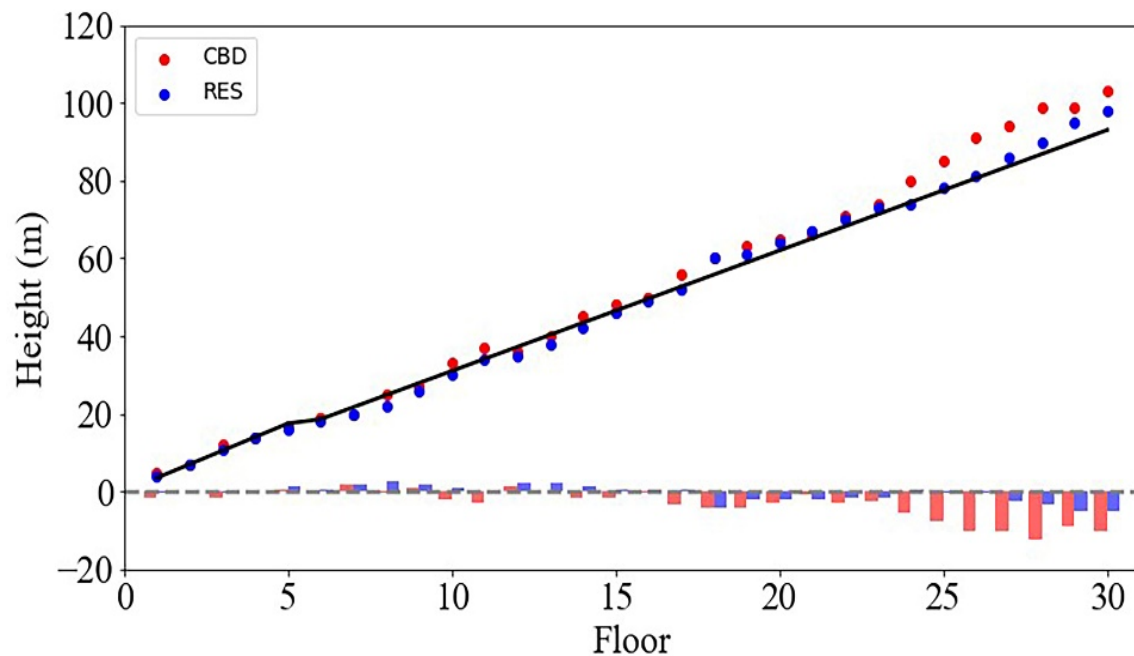
Floor height	Floors			
	all	1-5	6-10	>10
Mean	3.1	3.8	3.0	3.0
Median	3.0	3.6	3.0	3.1
SD	1.6	1.8	0.7	0.8

1-5 floors: 3.5m

> 5 floors: 3m

中国主要城市形态学参数集建立

垂直方向

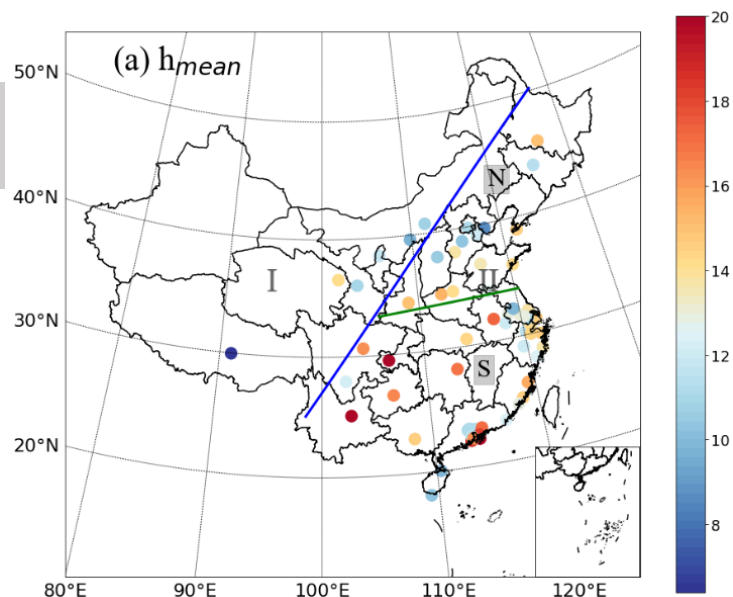


The estimated building heights agree well with the real building heights for buildings below 25 floors. For the high-rise buildings in CBD, the building heights were slightly underestimated (about 10 m).

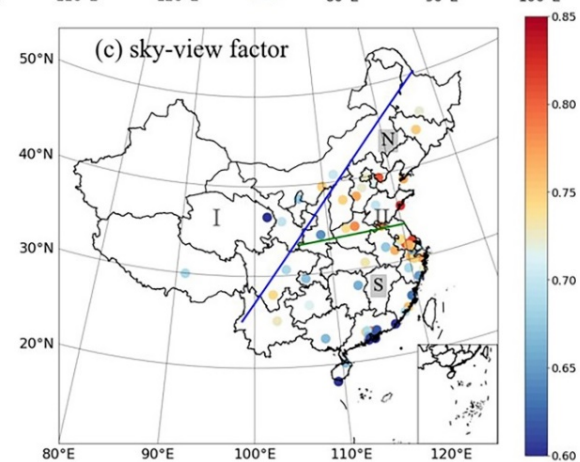
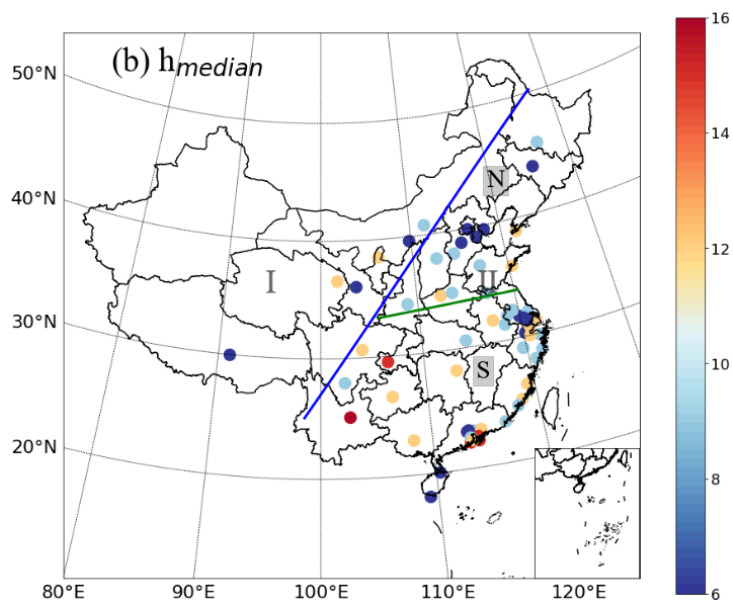
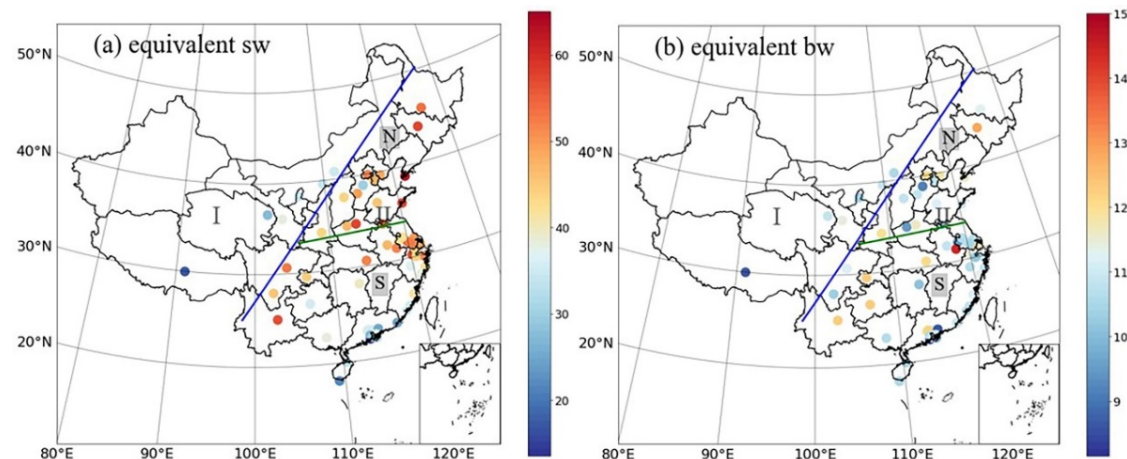
Comparison of the average real building heights with the estimated building heights in the CBD and residential area

中国城市形态学参数特征分析

建筑高度

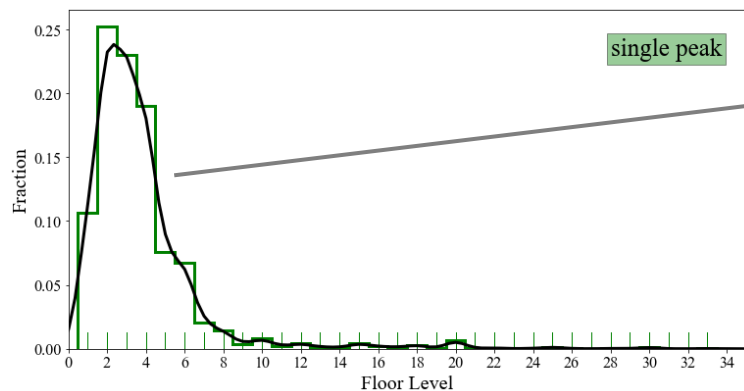


街宽、楼宽



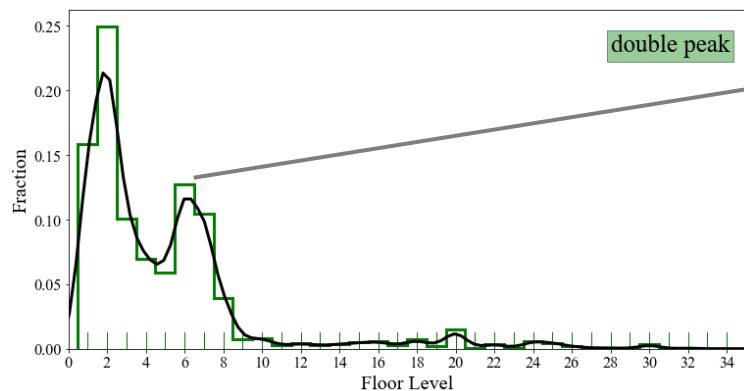
- 建筑高度南高北低
- 等效街宽北高南低
- 等效楼宽无明显区域分布特征

中国城市形态学参数特征分析



Single-peak

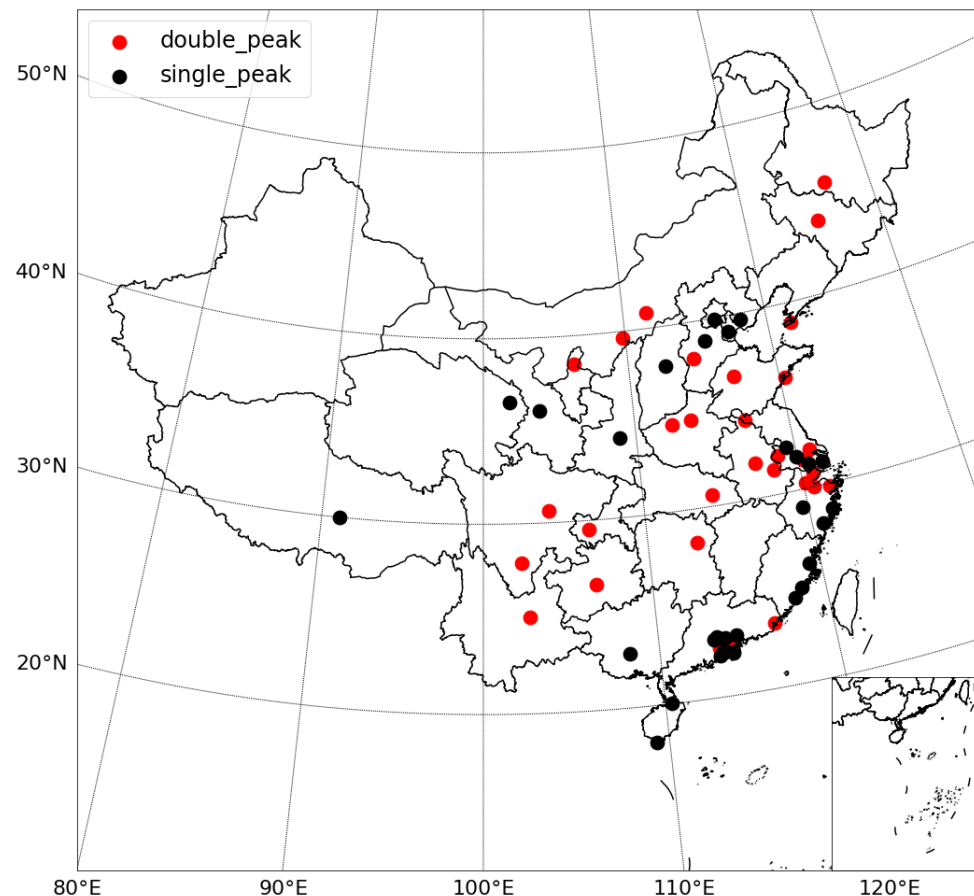
- 京津冀
- 珠三角
- 东南沿海

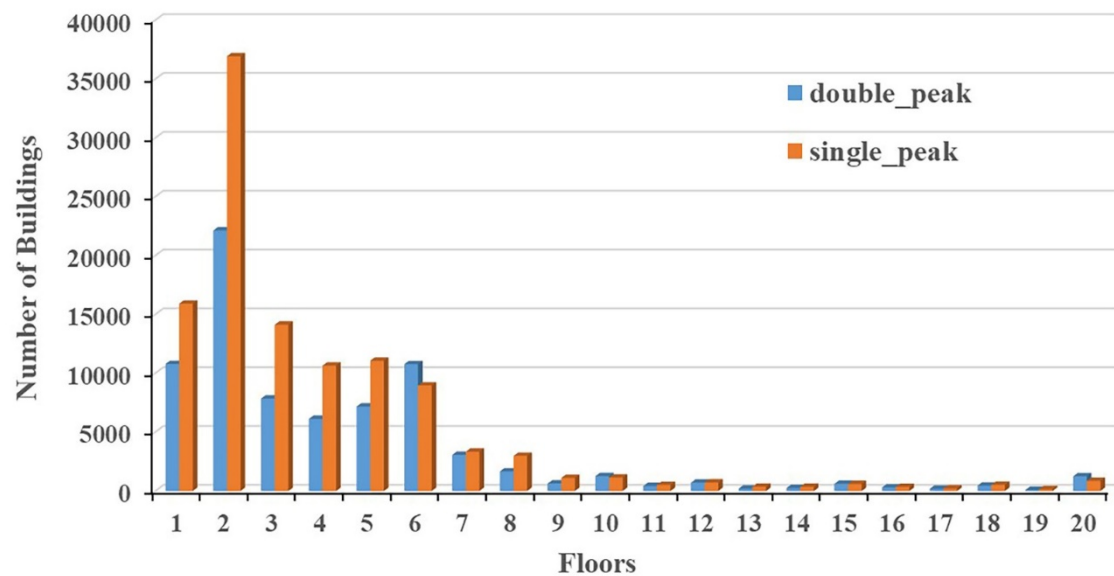
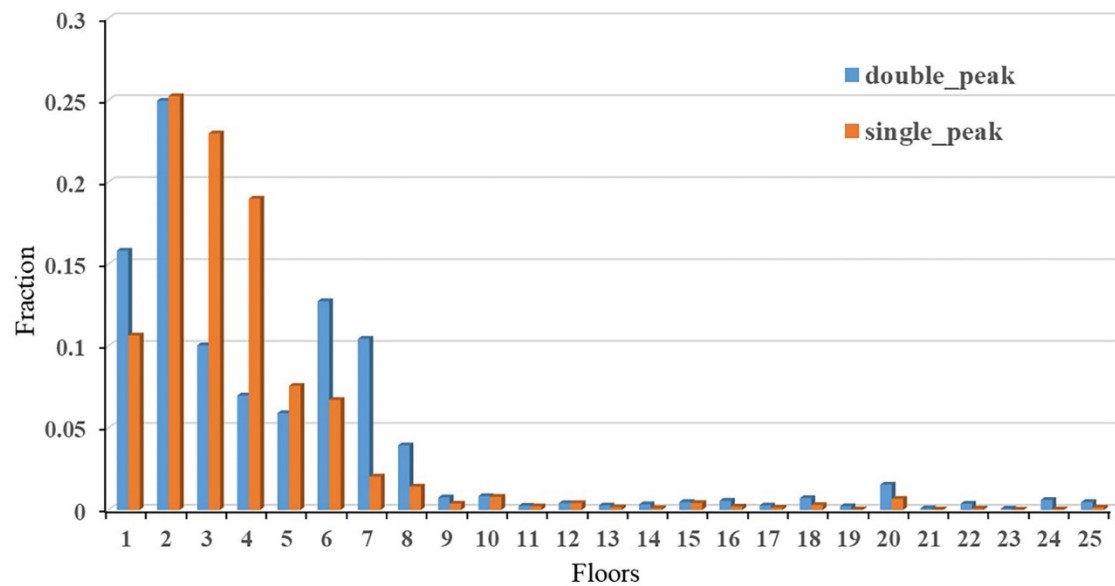


Double-peak

- 长三角
- 西南地区

典型单双峰形态城市建筑楼层概率分布





单、双峰城市不同楼层数建筑分布

单、双峰城市形态学参数均值对比

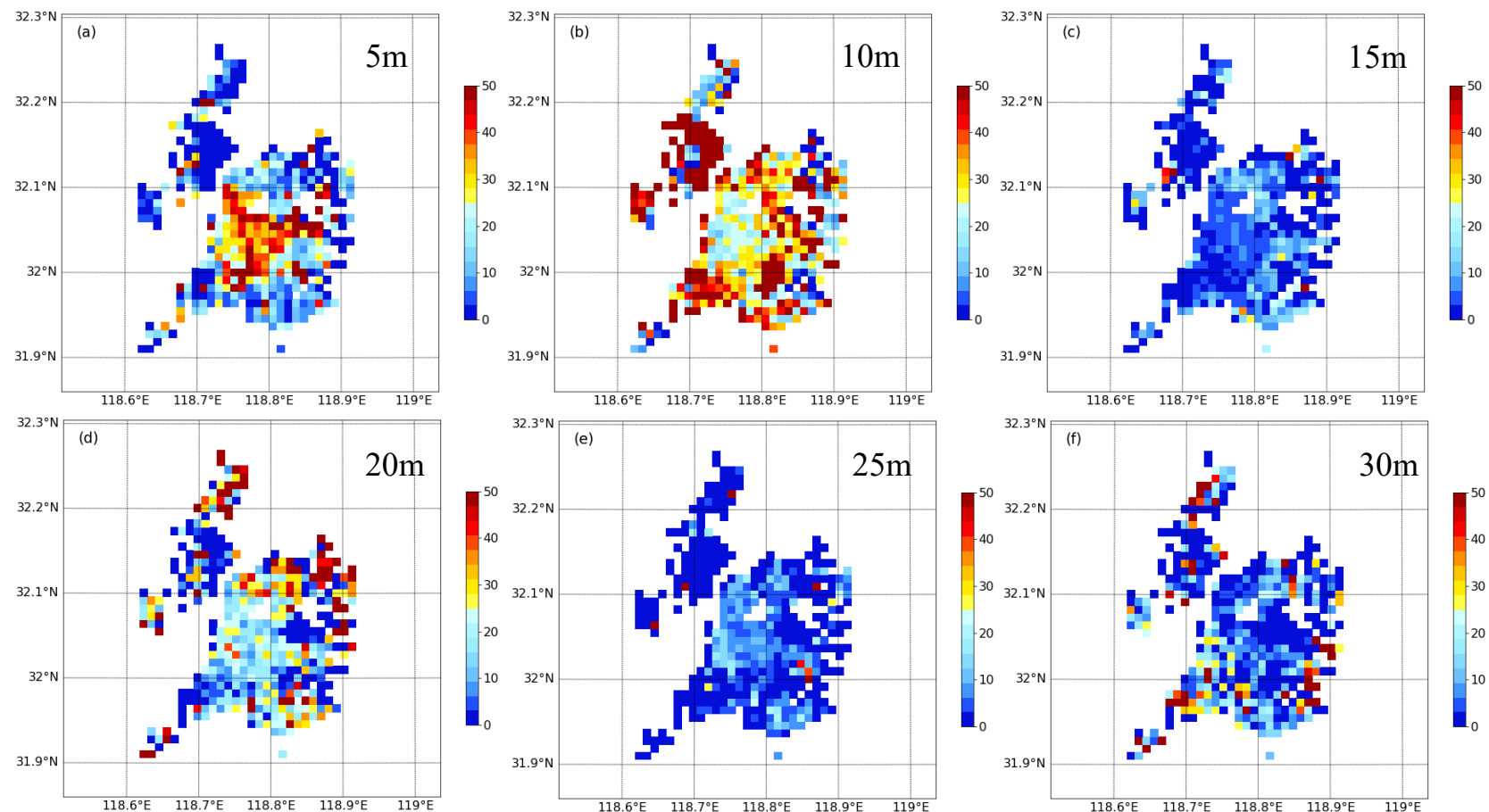
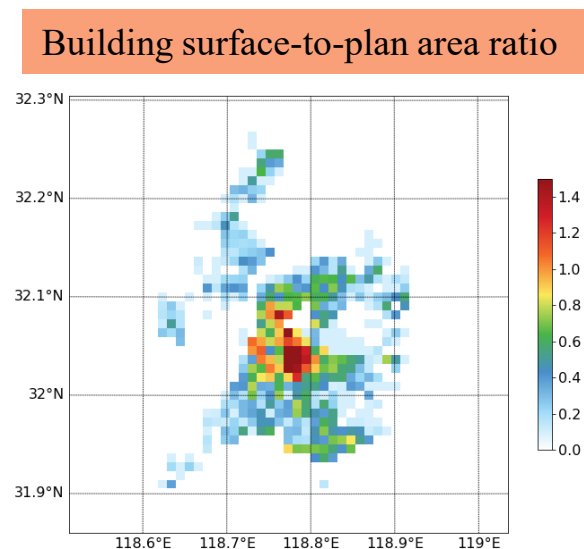
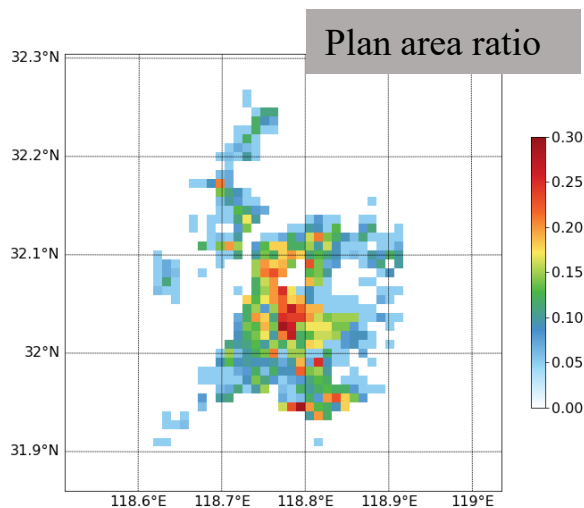
	h_{mean}	h_{median}	h_{sd}	$\bar{h}_{\text{AW}}$	λ_p	λ_b	λ_f
Single_peak	13.1	9.0	18.2	14.5	0.17	0.66	0.08
Double_peak	14.2	10.3	13.4	15.1	0.11	0.41	0.06

低矮建筑是造成单双峰城市差异的主要原因

- 单峰城市低矮建筑数量远大于双峰城市
- 单峰城市平均建筑高度略低于双峰城市
- 单峰城市建筑密度更大

WRF对UCPs敏感性分析

Nanjing - Example

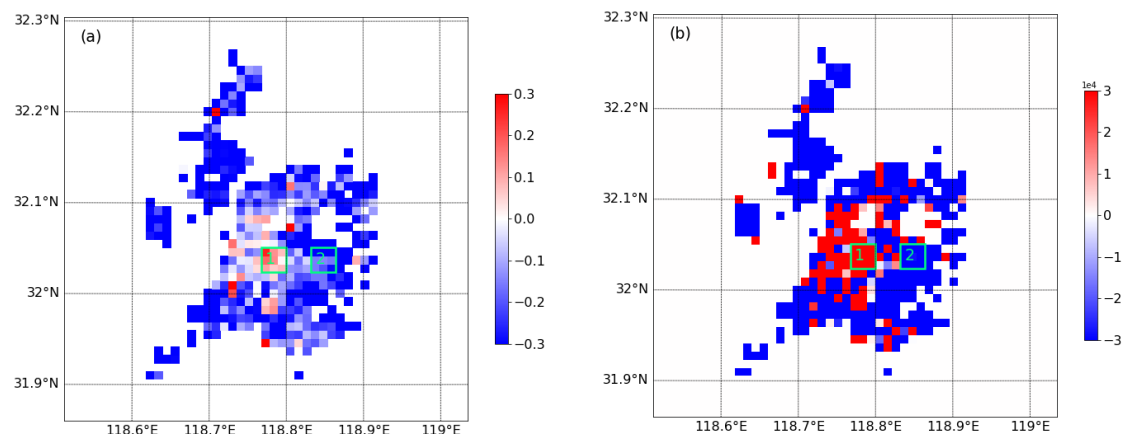


南京建筑高度概率分布

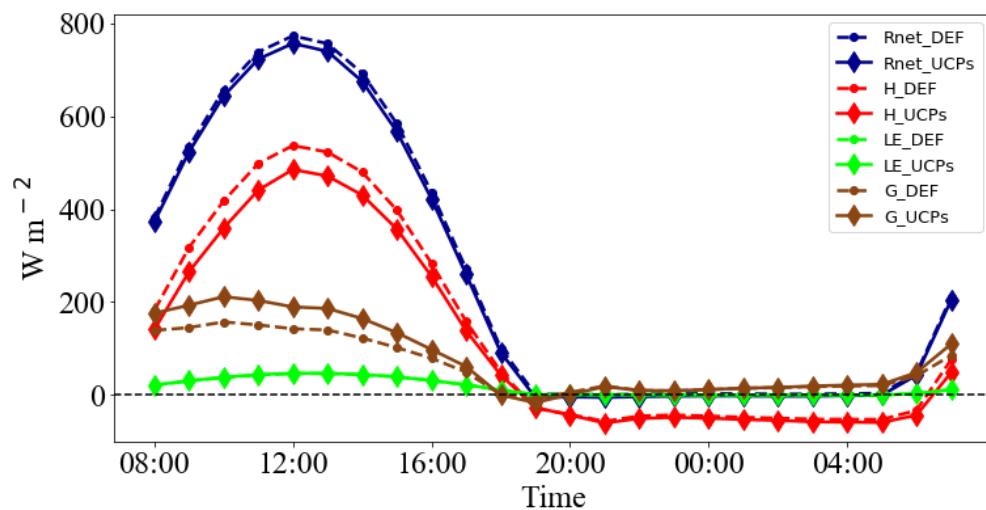
城市内部非均匀性

- 水平方向上，体现建筑水平分布的不均匀性
- 垂直方向上，对建筑物高度分布描述更为合理

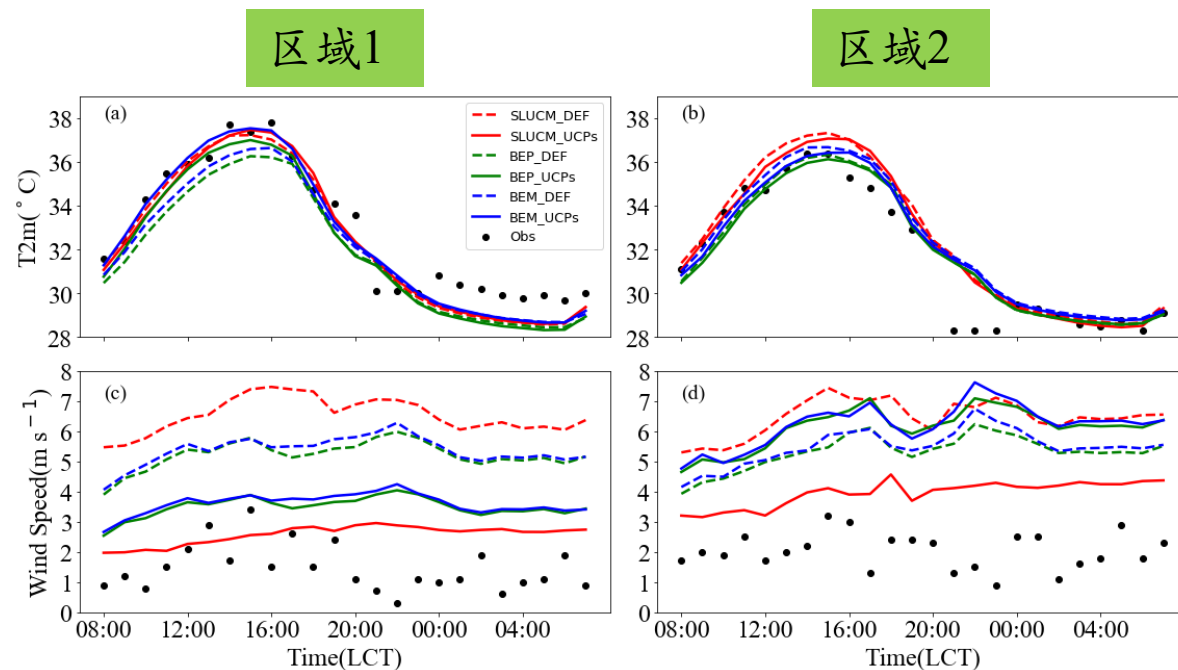
WRF对UCPs敏感性分析



建筑全面积差值水平分布 (UCPs-DEF)



能量平衡



- 不同城市冠层方案对UCPs敏感性不同，UCPs对城市区域风湿场的模拟有所提升。
- UCPs对温度的影响主要体现在对辐射过程的描述，对风场的影响主要体现在建筑物表面摩擦上。

城市建筑对局地气候影响模拟研究

WRF

模拟城市：北京、上海、广州
(典型超大城市)

模拟时间：2016-2020冬、夏季

模拟精度：1km*1km

算例设置：

Case_ctl: BEP (抹除建筑)

Case_ucp: BEP (真实建筑)

辐射过程

城市建筑对辐射过程影响 (阴影遮蔽效应、辐射截陷、建筑储热三者竞争关系)

动量损耗

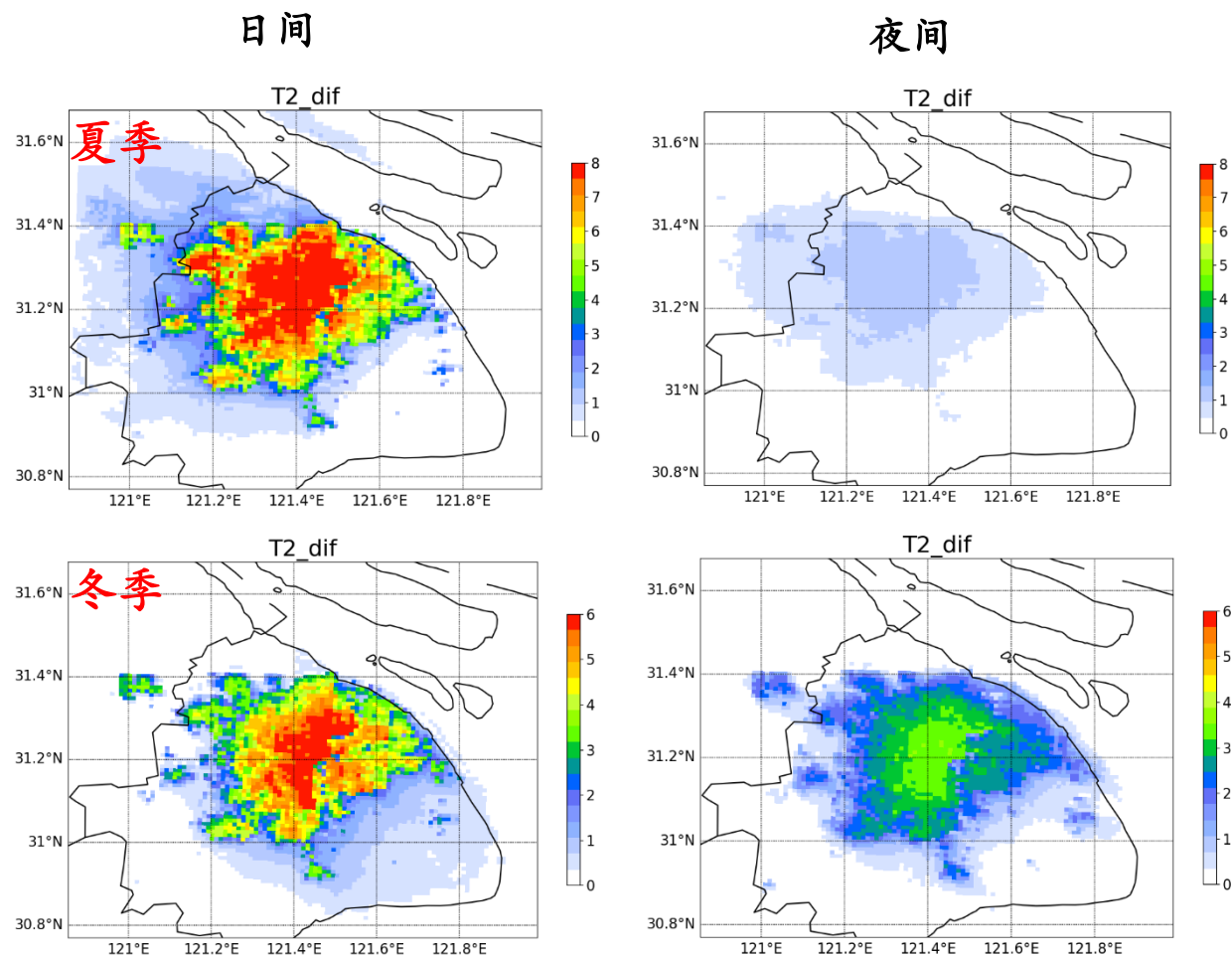
定量描述建筑造成的动量损耗 (城市建筑与城市平均风速关系)

边界层结构

城市建筑引起的边界层结构特征变化 (热力、动力)

不同气候背景下，城市形态对城市局地气候是否有不同影响？

► 城市建筑对辐射过程影响



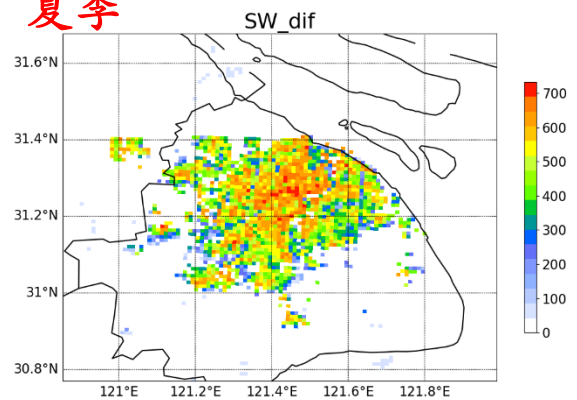
城市建筑物导致的增温

日间：夏季 > 冬季

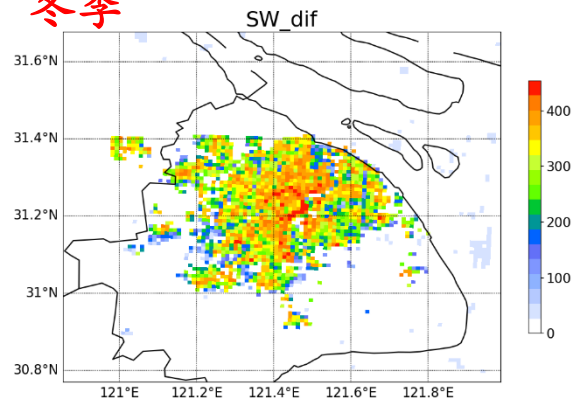
夜间：冬季 > 夏季

夜间城市保温效果主要通过建筑储热来实现，夏季夜间环境温度高，建筑储热难以释放；冬季环境温度低，建筑储热释放程度高，加热大气，导致气温升高。

夏季

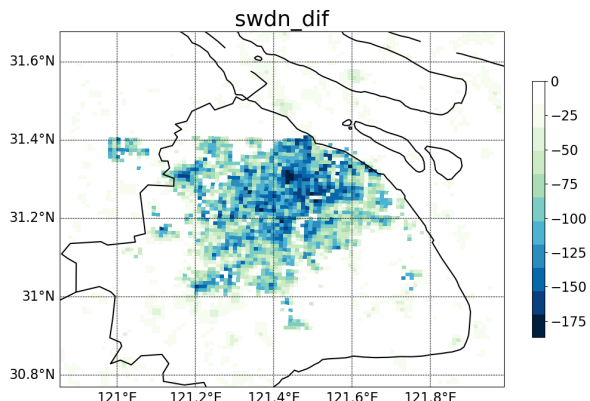
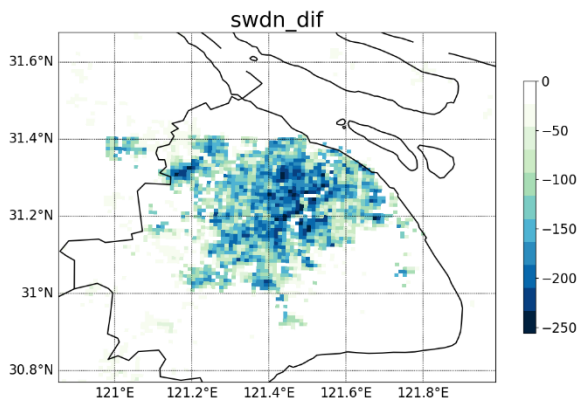


冬季



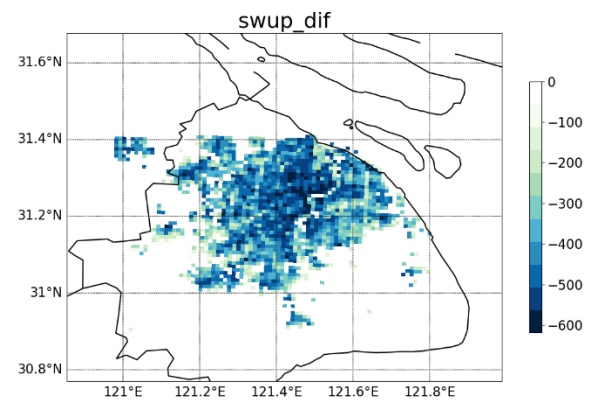
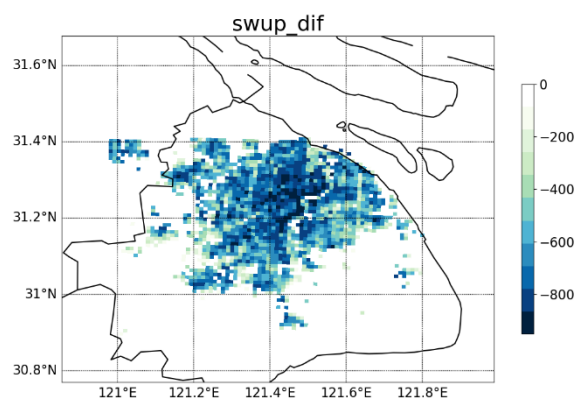
建筑导致城市接收净短波辐射增加

夏季 > 冬季



建筑阴影遮蔽效应导致城市地表接收向下短波减少

夏季 > 冬季



建筑辐射截陷效应导致城市反射向上短波减少

夏季 > 冬季

夏季

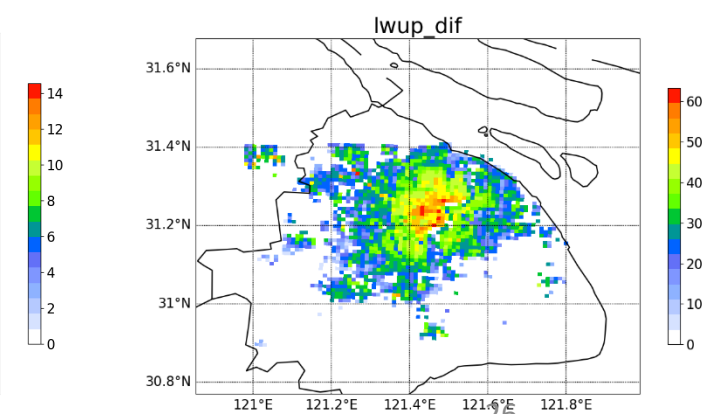
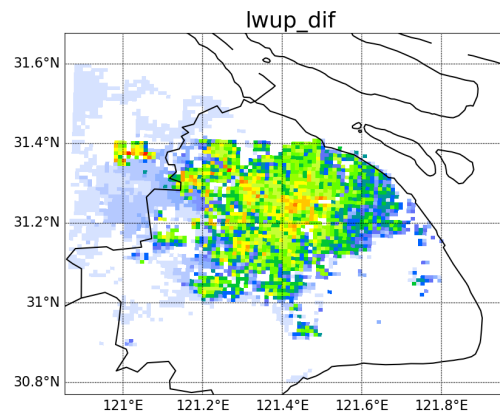
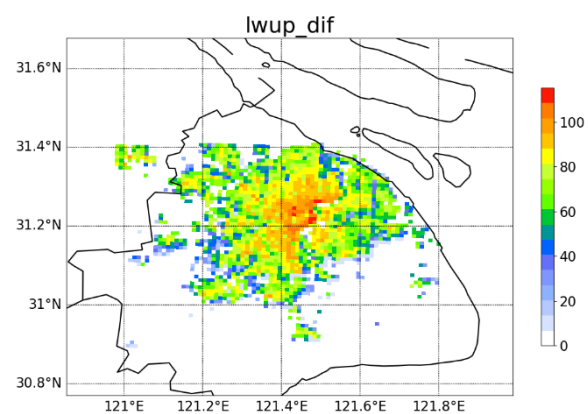
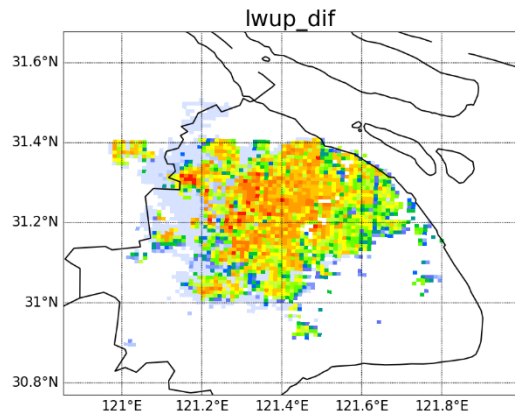
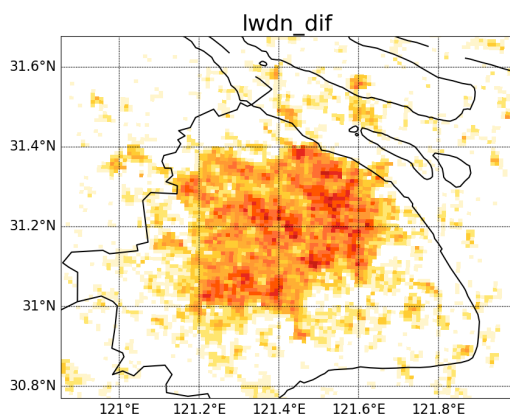
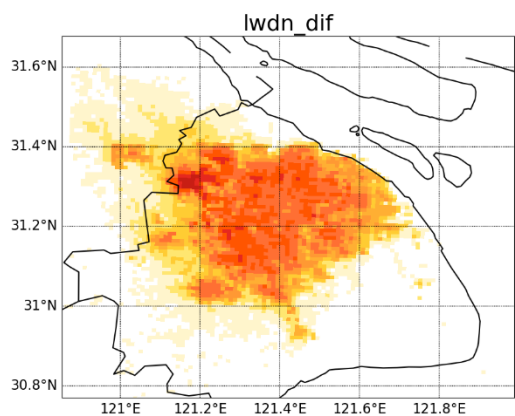
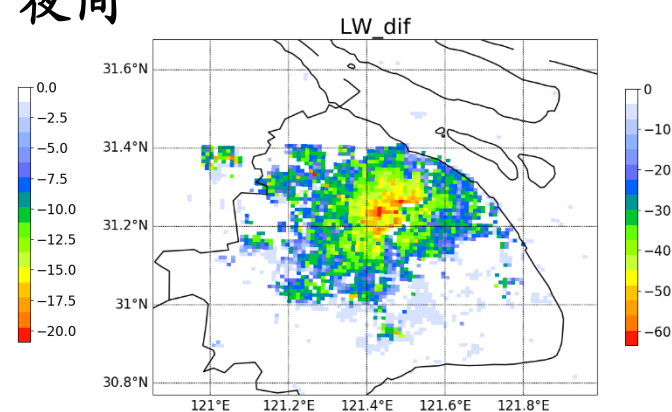
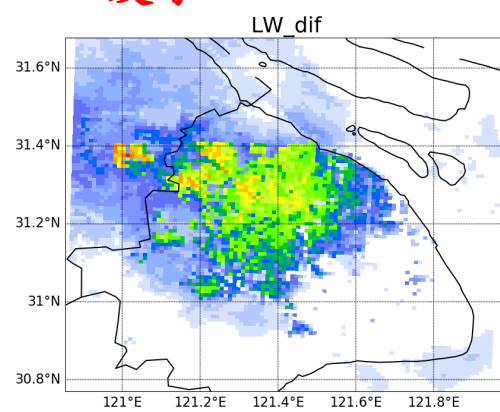
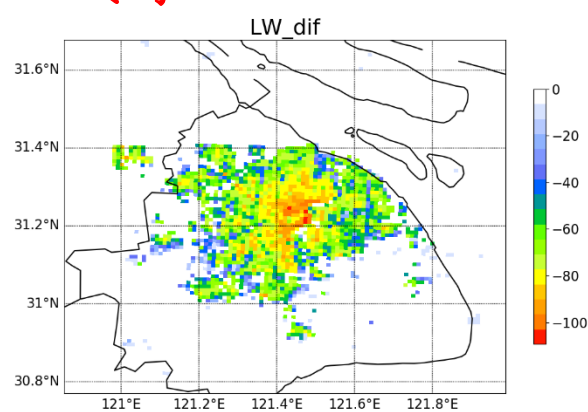
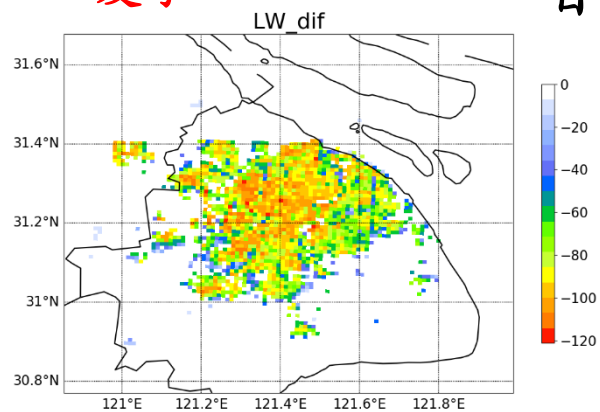
日间

冬季

夏季

夜间

冬季



- 建筑导致城市地表接收净长波辐射减少

日间：夏季 > 冬季，**夜间：冬季 > 夏季**

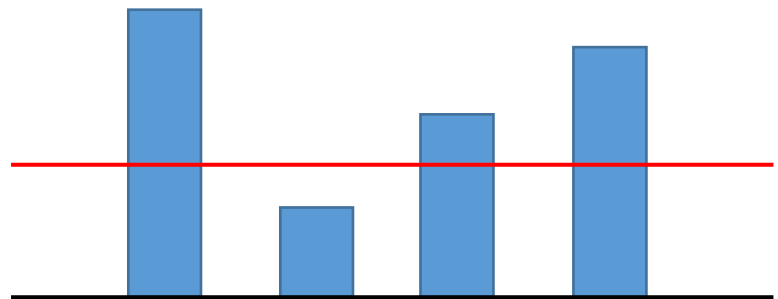
- 建筑导致城市地表接收向下长波辐射增多

日间：夏季 > 冬季，夜间：几无影响

- 建筑导致城市发射向上长波辐射增多

日间：夏季 > 冬季，**夜间：冬季 > 夏季**

建筑使得城市日间吸收更多辐射，夜间释放更多辐射



短波

城市建筑总体效果是使得城市吸收更多的短波辐射

向下短波：建筑物的阴影遮蔽效应使得接收的向下短波减少（250）

向上短波：建筑物对短波的辐射截陷效应使得反射的短波减少（800）

辐射截陷占主导作用

长波

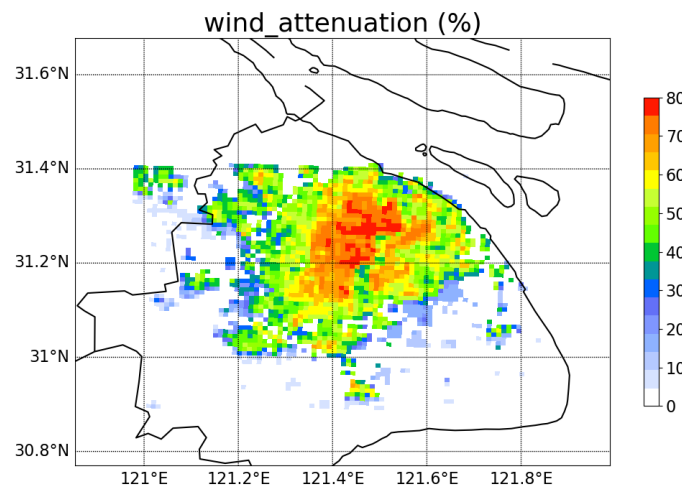
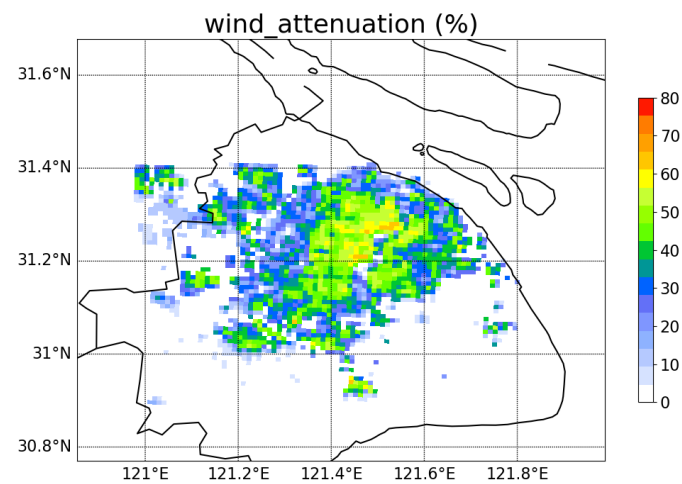
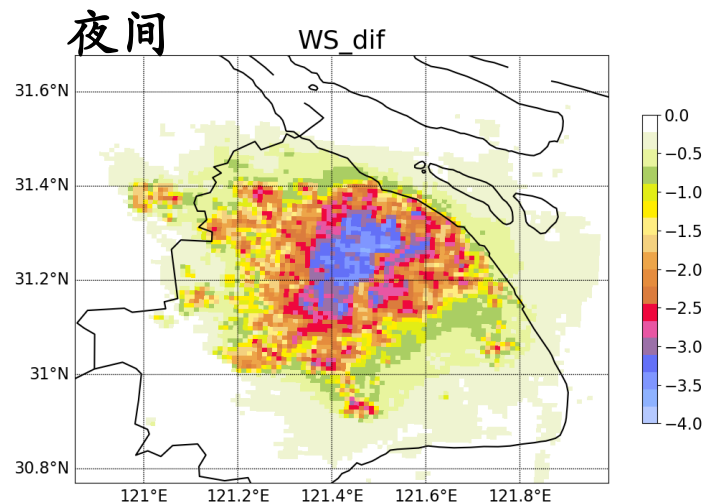
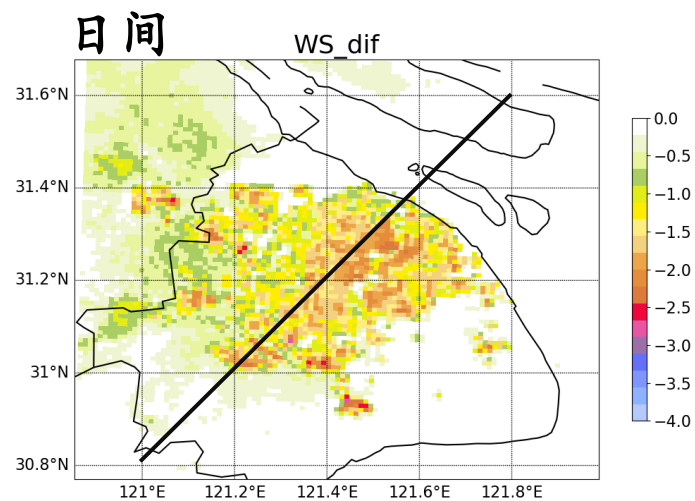
城市建筑总体效果是使得城市发射更多的长波辐射

向下长波：模式第一层以上的建筑物发射的长波辐射使得得到的向下长波增加（30）

向上长波：模式第一层以下的建筑物发射的长波辐射使得向上长波增加（辐射源增加、温度升高），辐射截陷效应又使得逸出长波减少，总体向上长波增加（120）

建筑储热引起的长波辐射占主导作用

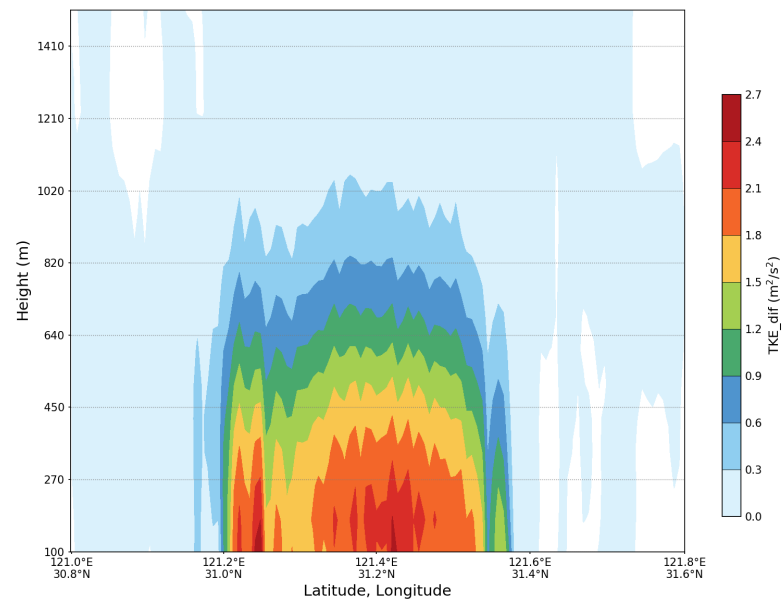
► 城市建筑对风场影响



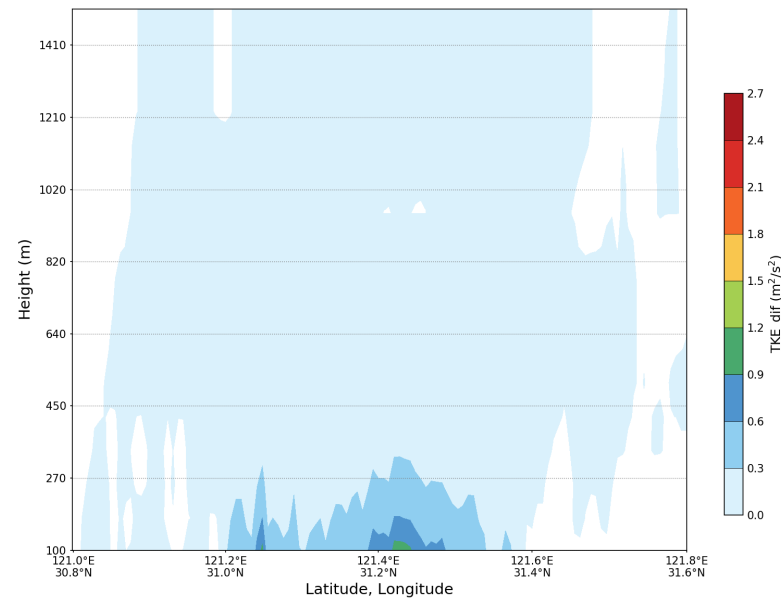
城市建筑对风速的衰减作用

夜间 > 日间

日间



夜间



日间垂直方向上湍流活动旺盛，上层大气动量下传，补充下层动量损耗

下一步工作

➤ 城市建筑对城市局地气候影响模拟研究

- 定量描述UCPs与辐射、动量损耗关系
- 不同气候环境下，城市建筑对局地气候影响差异

➤ 城市建筑对城市空气质量影响模拟研究

- 城市建筑对扩散条件影响（水平、垂直方向）

夏季：臭氧事件

冬季：颗粒物污染

谢谢！ 请各位老师批评指正！