

Applications of the GAST (GPU Accelerated Surface Water Flow and Transport) Model in Sponge City Program of Xi'xian New Area

Prof. Jingming Hou
侯精明

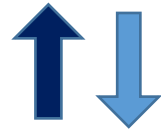


西安理工大学
XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UK-China joint workshop on
Urban Flooding and Sponge Cities
Shenzhen, China 3rd – 5th July 2017

Introduction of GAST Model

Surface Water Flow
(Overland and Open Channel Flow)



Flow in Sewer Network
(Open Channel Flow or Pipe Flow)

A 2D finite volume Godunov-type scheme computing surface hydrodynamic process

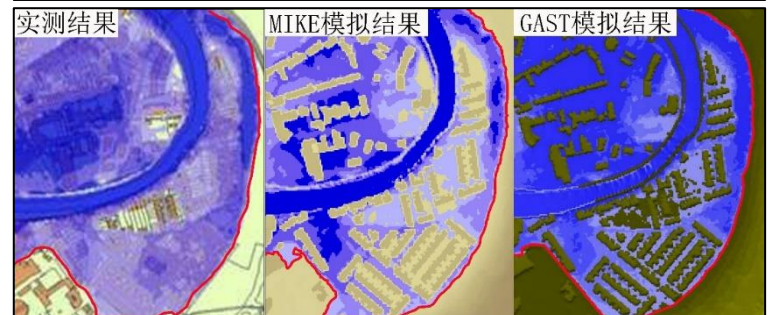
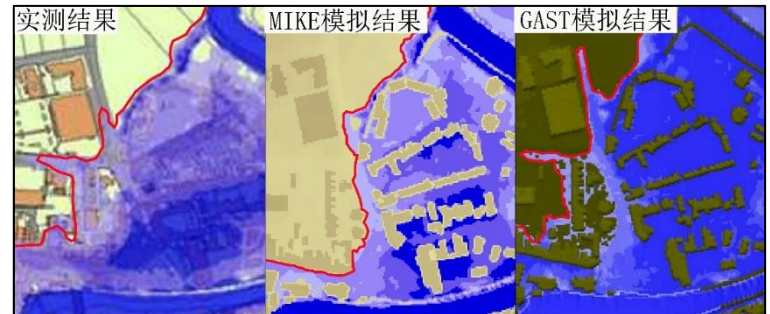
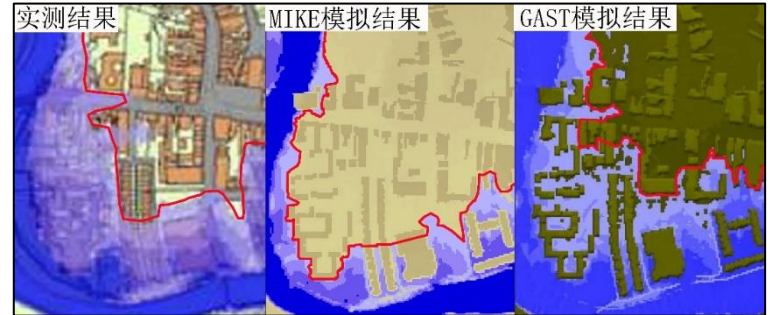
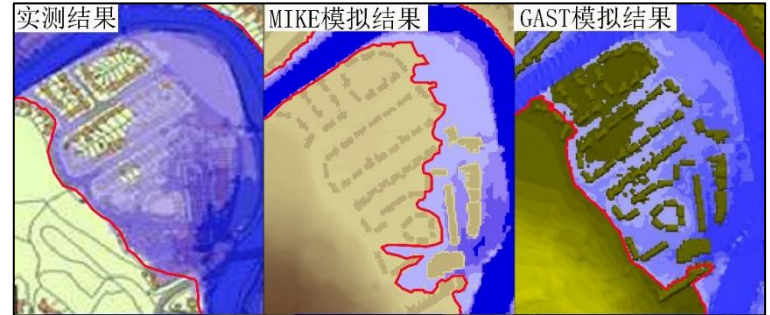
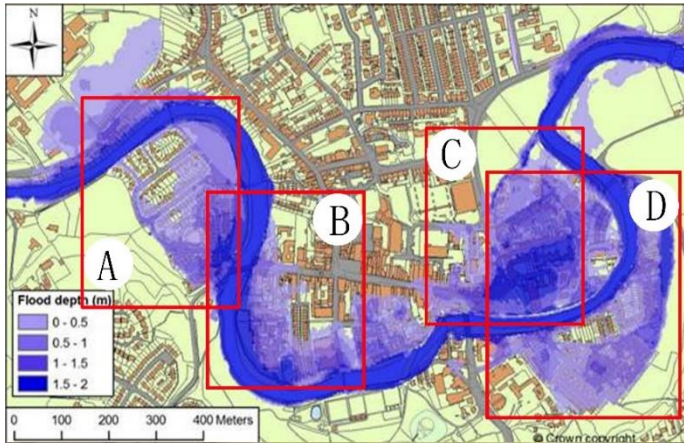
GPU



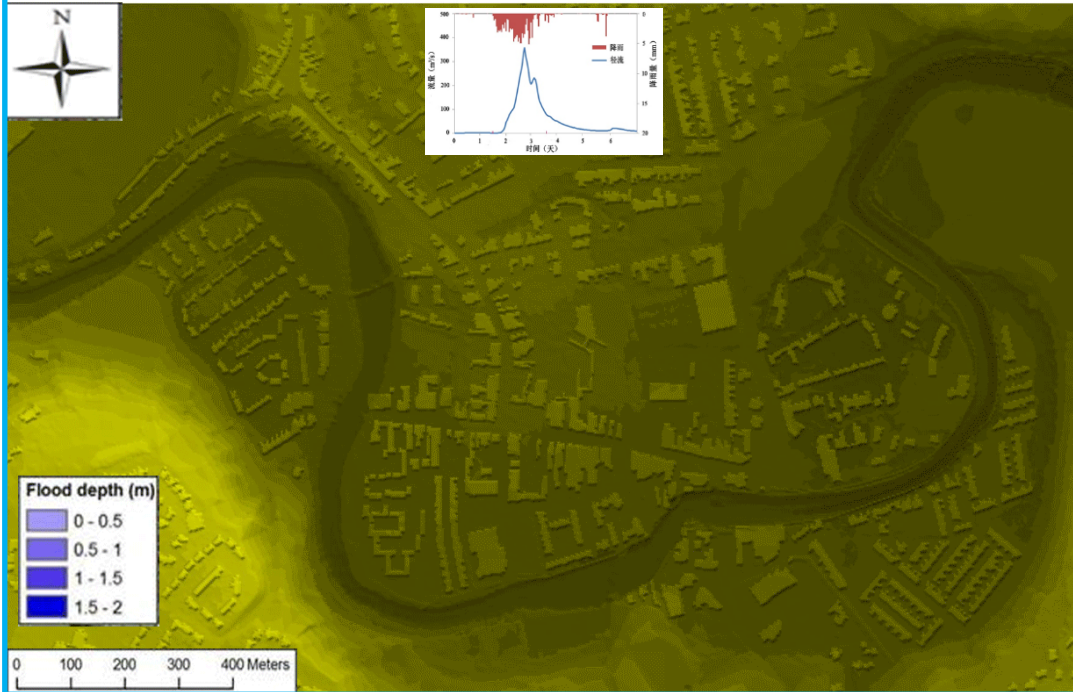
Diffusive wave equation is solved numerically to model the drainage process

The screenshot shows the Visual Studio environment for the GAST model. The Solution Explorer on the left displays the project structure, including source files like `kernel.cu` and test files like `California.cpp`. The main editor window shows the `cudaheader.cuh` file, which defines constants for the GPU simulation, such as `emsmall`, `tol_h`, `g`, and `nu`. A terminal window in the foreground shows the output of a build process, including GPU specifications like `GPU Accelerated Surface-water and Sediment Transport Model` and simulation parameters like `blocksPerGrid=196 threadsPerBlock=128`.

Morpeth Flood 2008



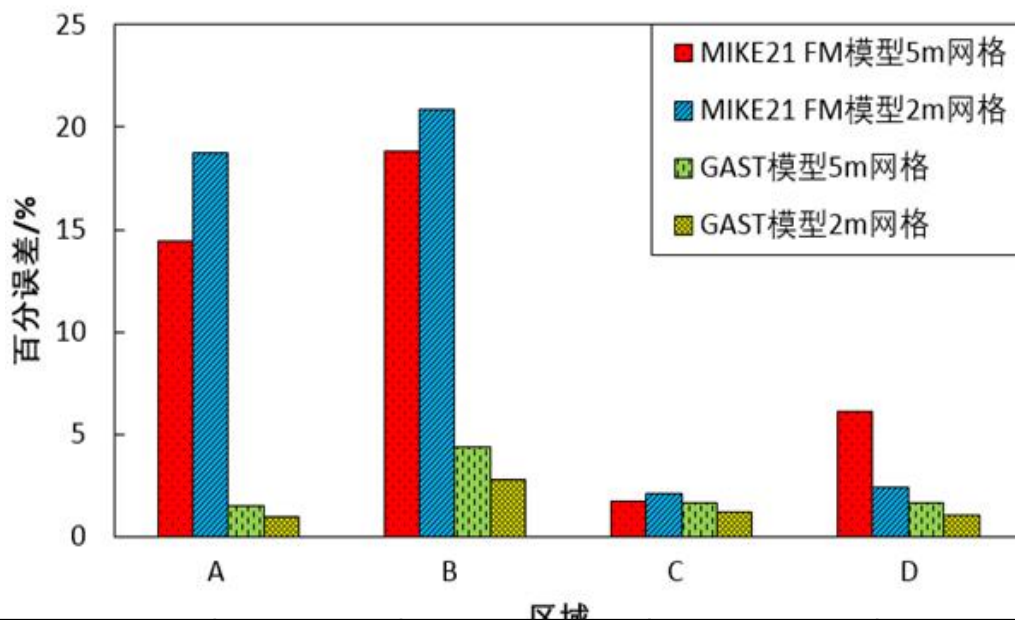
Morpeth入流洪水过程模拟 $t = 0$ h



GAST模型在洪水演进中的应用研究

1. 模拟精度分析

- 5m分辨率地形模拟精度提升**3.77-9.56**倍!
- 2m分辨率地形模拟精度提升**2.34-19.55**倍!

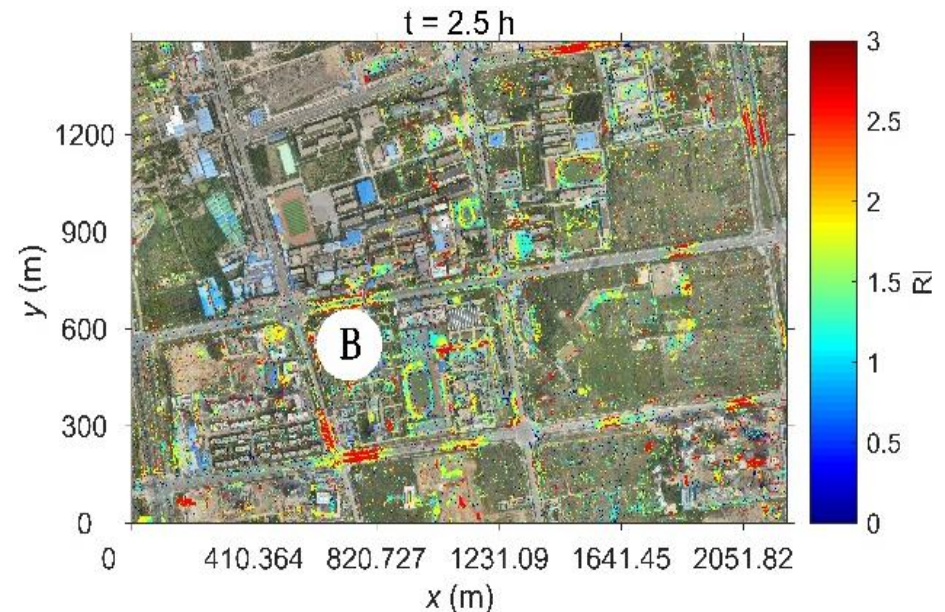
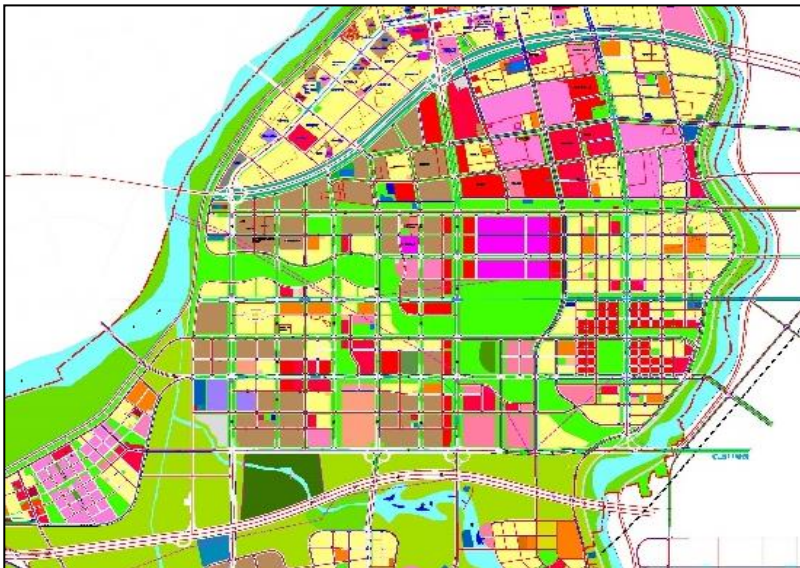


2. 计算效率分析

模型	网格尺寸 (m)	网格数目 (个)	计算引擎	模拟时间 (h)	计算用时(h)	效率提升
MIKE21 FM模型	5×5	52200	CPU(4核)	65	7.82	-----
MIKE21 FM模型	5×5	52200	GPU	65	2.30	3.40×
GAST模型	5×5	52200	GPU	65	2.17	3.60×
MIKE21 FM模型	2×2	326250	CPU(4核)	65	106.00	-----
MIKE21 FM模型	2×2	326250	GPU	65	21.29	4.98×
GAST模型	2×2	326250	GPU	65	9.00	11.78×

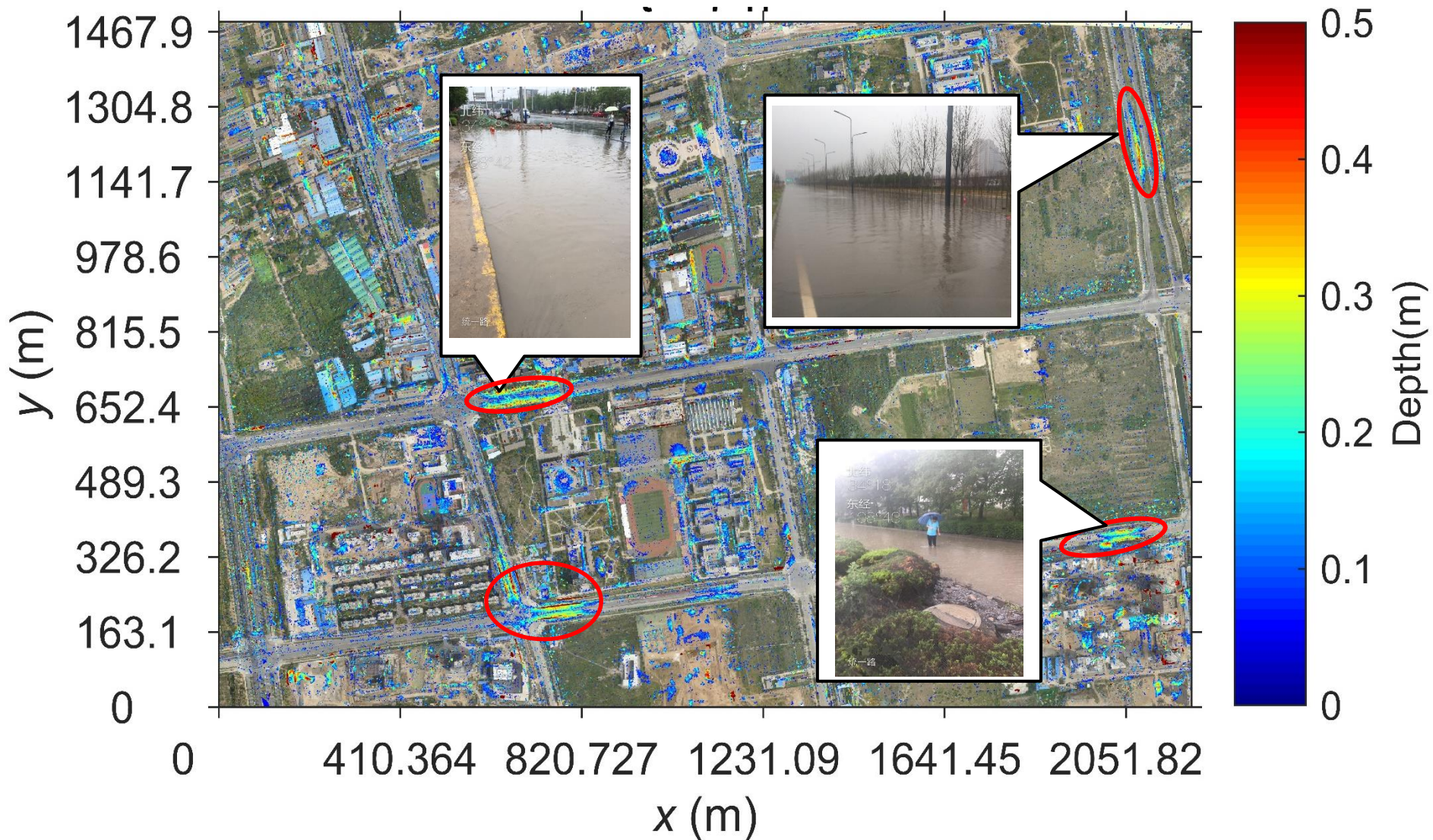
GAST模型应用

- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- 围湖造地对城市内涝影响模拟
- 缩尺海绵城市物理模型试验

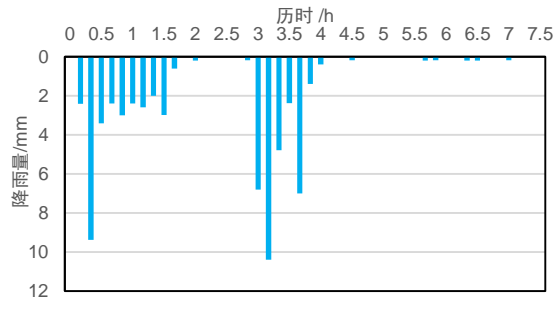




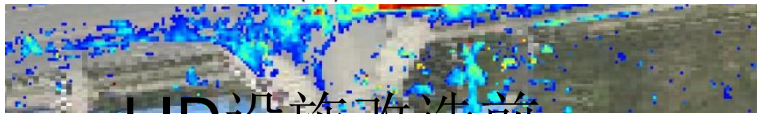
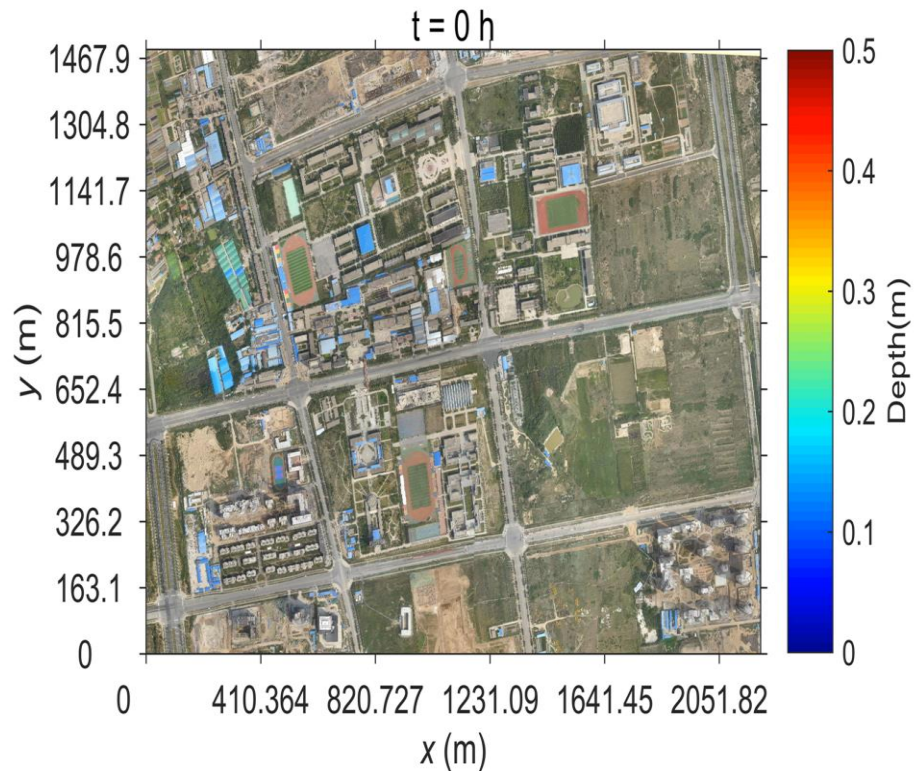
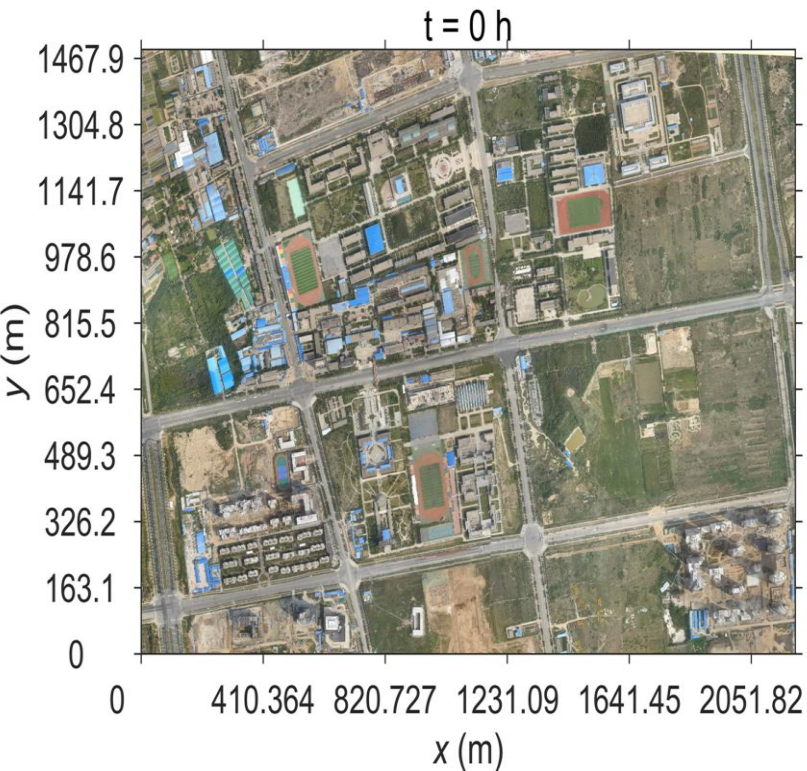
模型结果验证



城市内涝积水模拟结果



模型输入的降雨条件为2016年8月25日西咸新区实测降雨数据。降雨历时7h，降雨量66mm，重现期为50年一遇，双峰雨型，降雨强度峰值出现于3.1h。



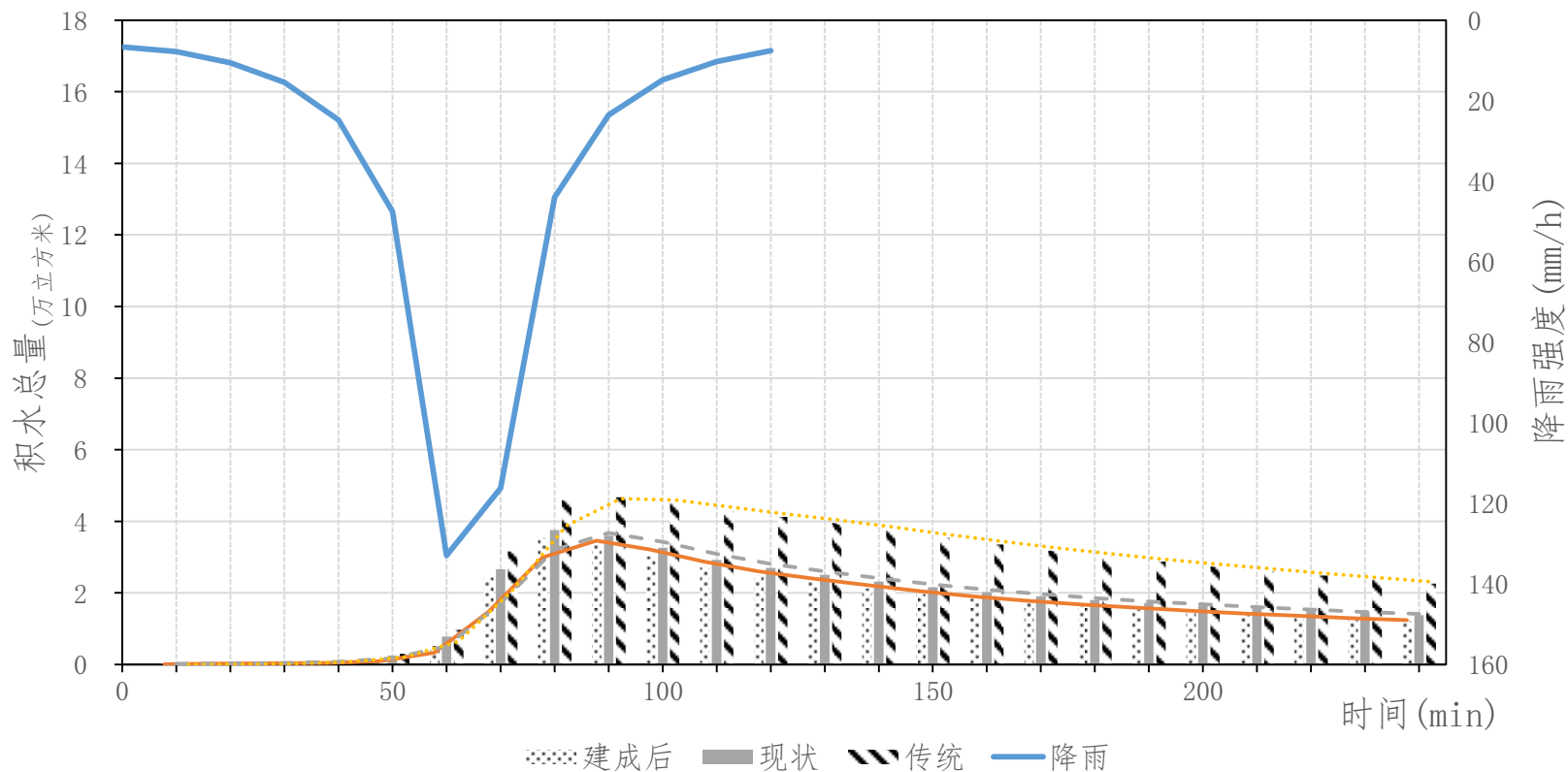
LID设施改造前



LID设施改造后

西咸新区中央绿廊区LID措施对内涝缓解模拟

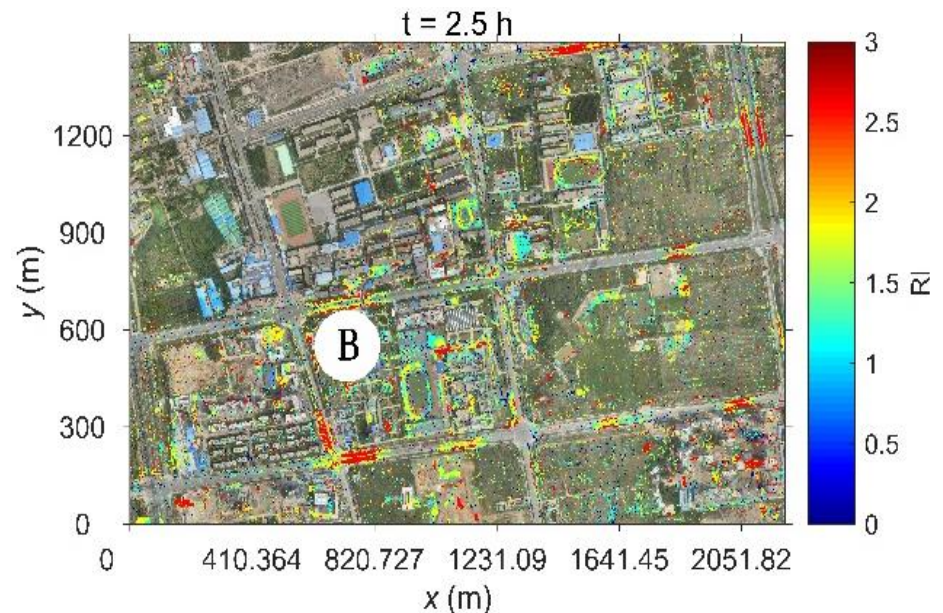
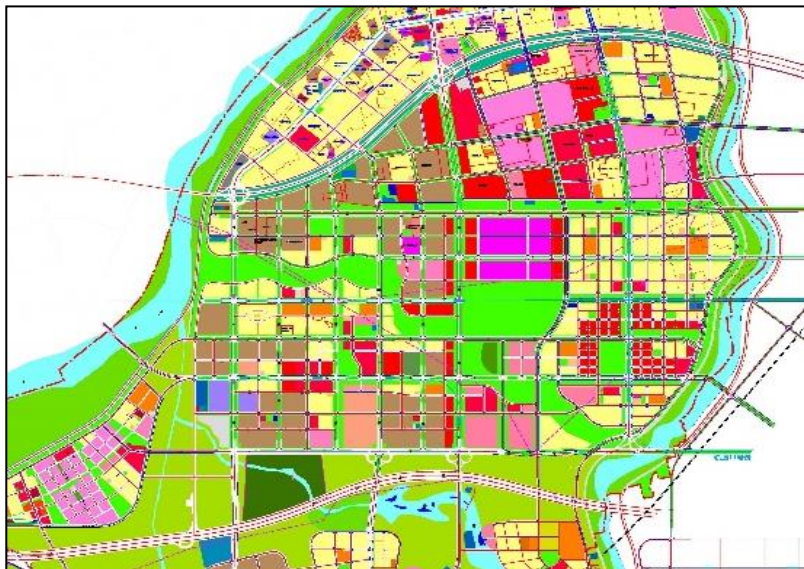
降雨及积水量图（50年一遇）



在50年一遇重现期降雨下，与传统开发模式相比，现状与建成后模式下积水面积分别削减平均为**37.86%**与**41.56%**。在超强暴雨情况下，**中央绿廊**对内涝积水缓解作用明显。

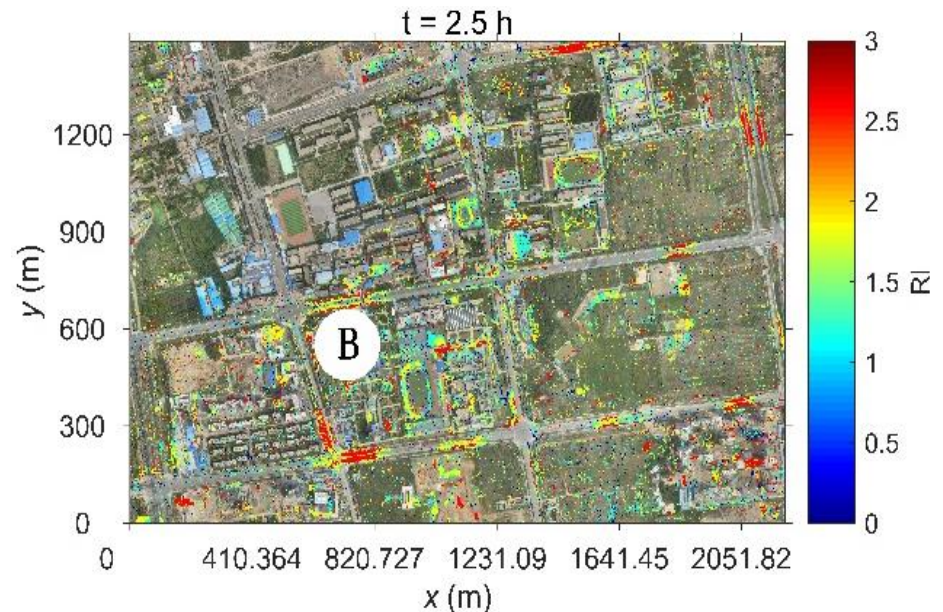
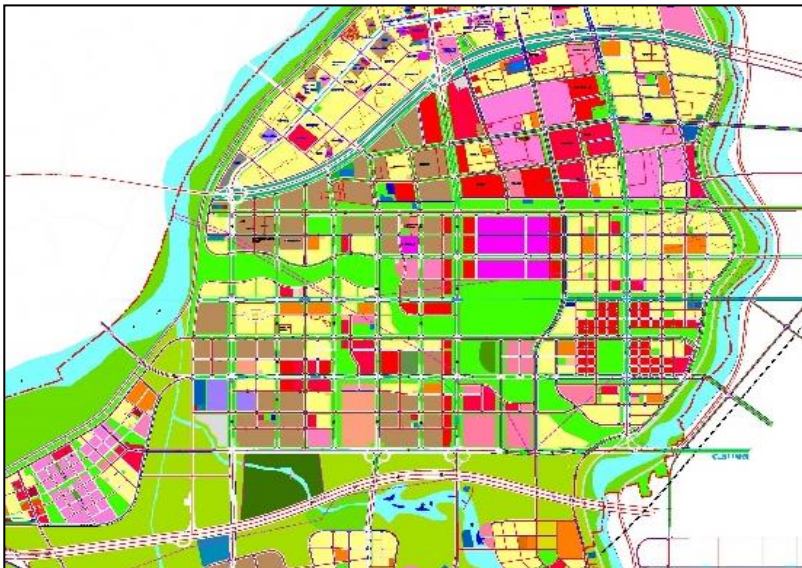
GAST模型应用

- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- 围湖造地对城市内涝影响模拟
- 缩尺海绵城市物理模型试验



GAST模型应用

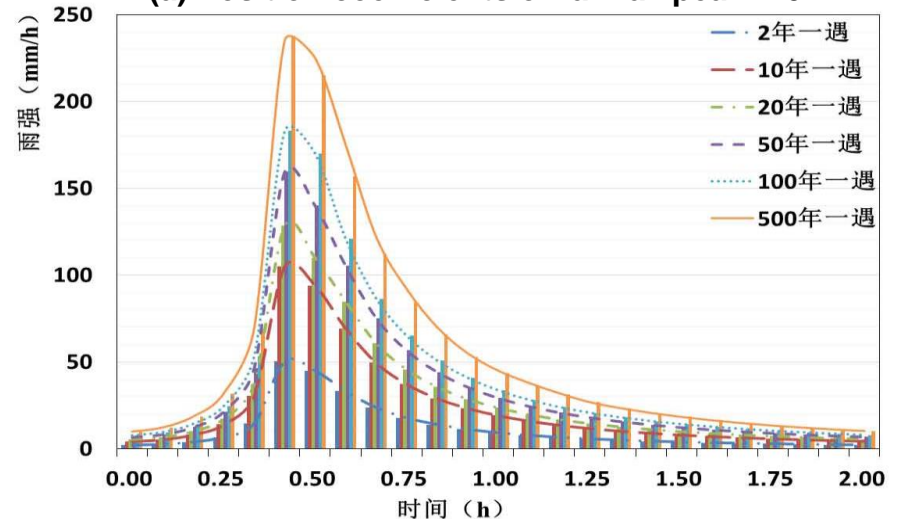
- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- 围湖造地对城市内涝影响模拟
- 缩尺海绵城市物理模型试验



暴雨雨型对城市内涝影响数值模拟

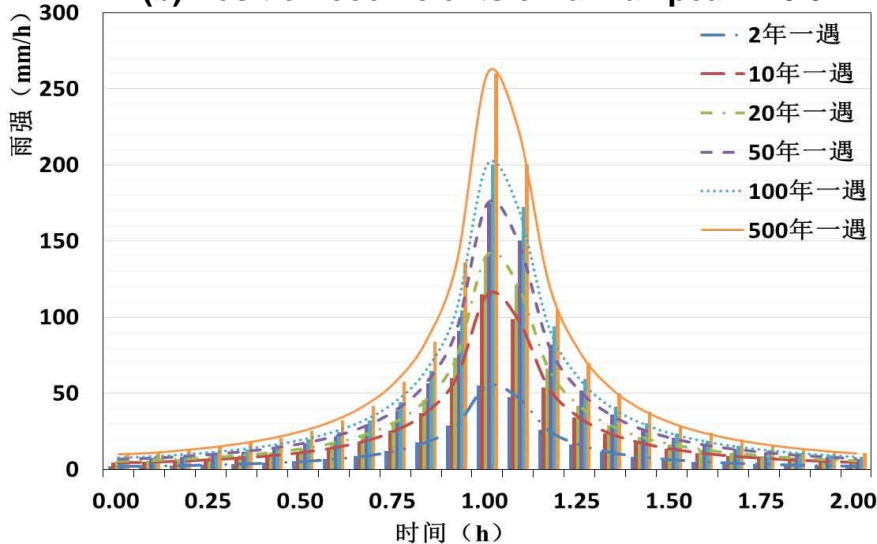
以陕西省西咸新区一面积为3.68平方公里的核心地块为研究区域，模拟了不同重现期(2、10、20、50、100、500年重现期)及峰值比例($r=0.2$ 、 $r=0.5$ 、 $r=0.8$)设计降雨(芝加哥雨型)条件下的内涝过程，18场设计降雨过程如图：

(a) Position coefficients of rainfall peak $r=0.2$



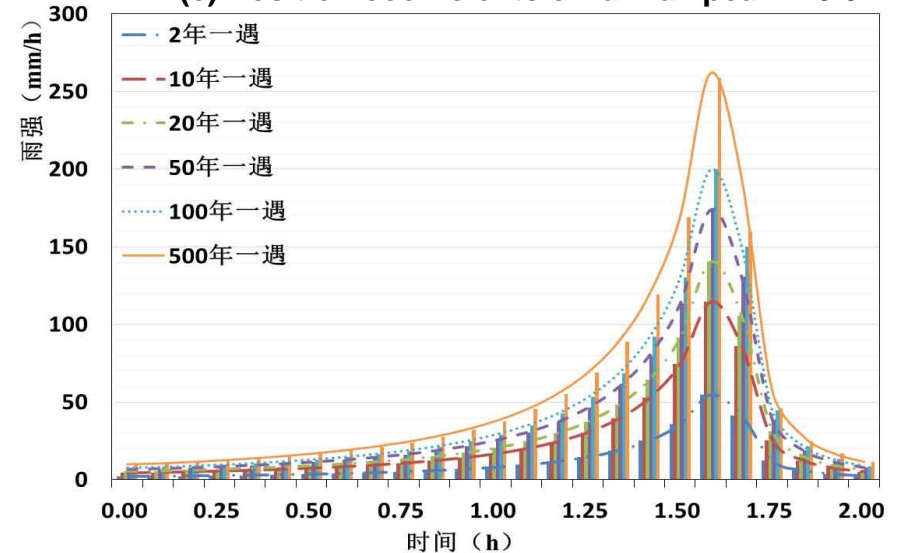
(a) 峰值比例 $r=0.2$

(b) Position coefficients of rainfall peak $r=0.5$



(b) 峰值比例 $r=0.5$

(c) Position coefficients of rainfall peak $r=0.8$

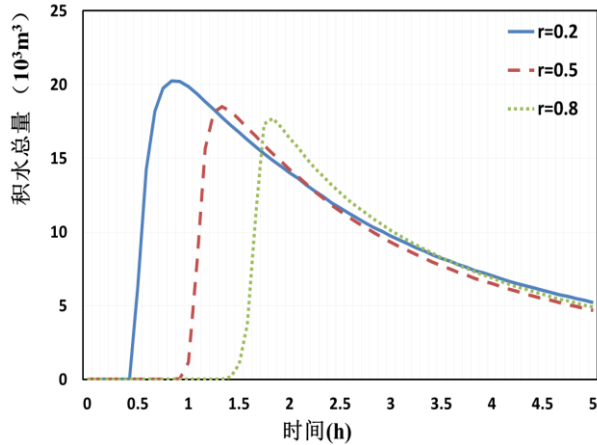


(c) 峰值比例 $r=0.8$

西咸新区海绵城市不同雨型积水总量模拟结果

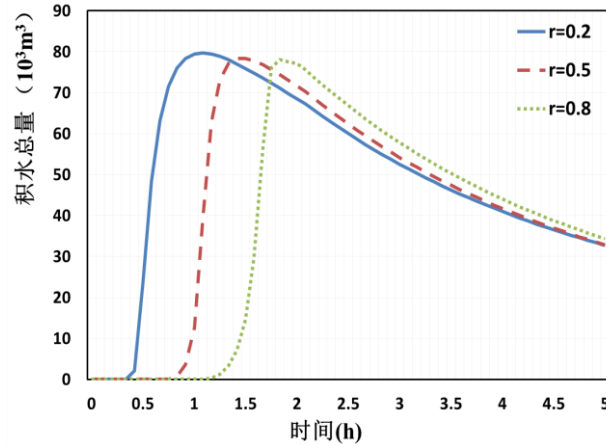
在不同的设计降雨条件下，对研究区域内涝积水总量进行了对比分析，如下图所示表示了不同设计降雨条件下内涝积水总量的变化过程：

(a) The amount of inundation for the storms with the return periods of 2 years



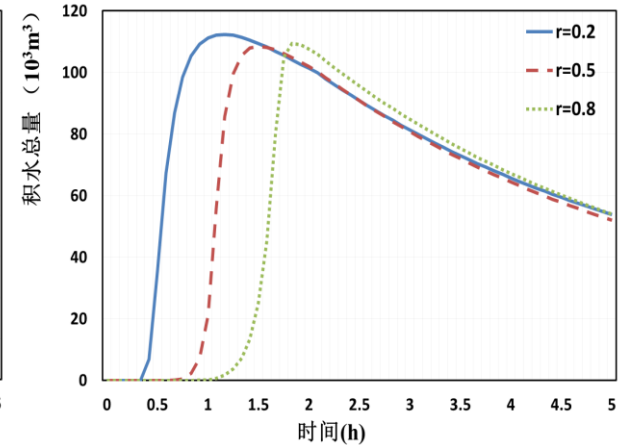
(a) 2年一遇设计降雨积水总量

(b) The amount of inundation for the storms with the return periods of 10 years



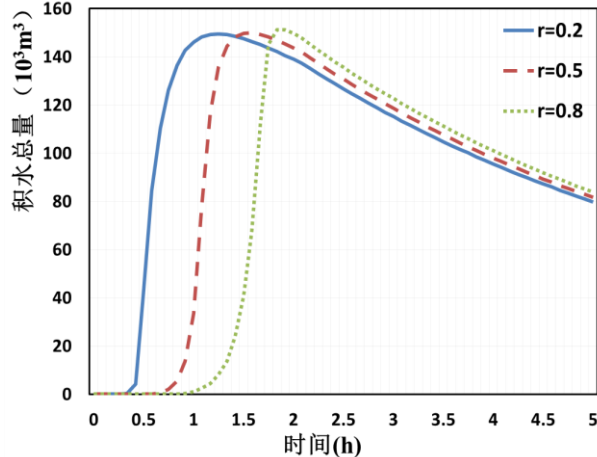
(b) 10年一遇设计降雨积水总量

(c) The amount of inundation for the storms with the return periods of 20 years



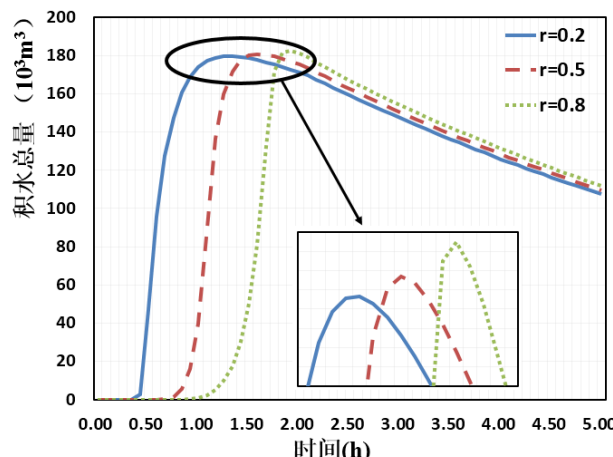
(c) 20年一遇设计降雨积水总量

(d) The amount of inundation for the storms with the return periods of 50 years



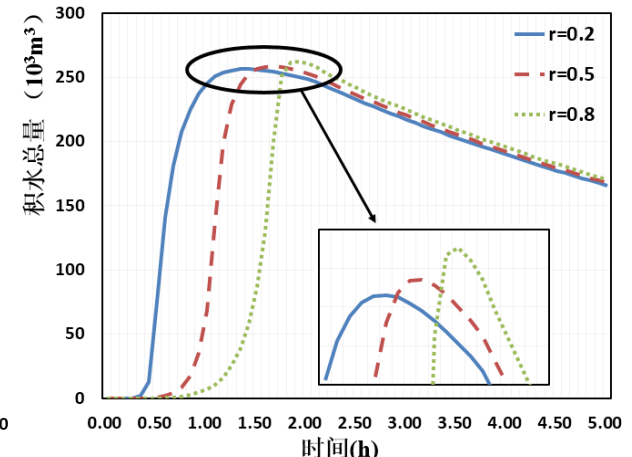
(d) 50年一遇设计降雨积水总量

(e) The amount of inundation for the storms with the return periods of 100 years



(e) 100年一遇设计降雨积水总量

(f) The amount of inundation for the storms with the return periods of 500 years



(f) 500年一遇设计降雨积水总量

不同降雨下城市内涝积水面积比较

按照城市暴雨内涝预报等级，可根据研究区域积水深度把内涝程度分为四级：

I级（无内涝）：城区路面积水深度在0cm-3cm之间；

II级（轻度内涝）：城区有微量积水，积水深度在3-10cm之间；

III级（中度内涝）：城区有积水，积水深度在10-25cm之间；

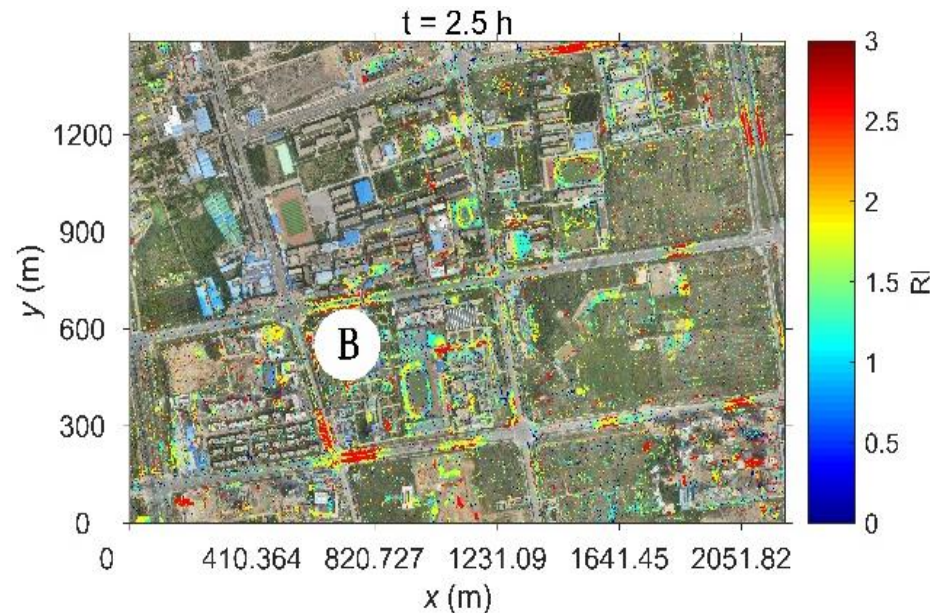
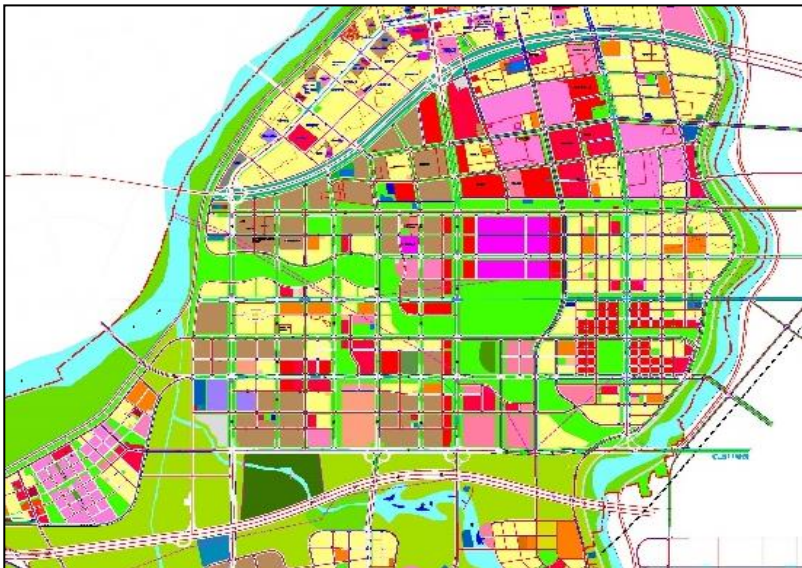
IV级（重度内涝）：道路积水严重，积水深度大于25cm。

暴雨重现期	峰值比例	III级内涝面积差值(m ²)	IV级内涝面积差值(m ²)	内涝总面积差值(m ²)
2年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	-6684	-484	-19908
	r=0.8	-7988	-516	-29316
10年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	-6072	-1740	-3388
	r=0.8	-5180	-3420	15512
20年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	-14456	-7992	3692
	r=0.8	-11548	-10532	20700
50年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	3992	-1286	9640
	r=0.8	16108	-9024	52508
100年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	7676	-5808	17808
	r=0.8	21156	-8092	41604
500年一遇	r=0.2	0	0	0
	r=0.5	16188	1230	19688
	r=0.8	49416	2092	64912

由上表可得：设计降雨重现期短于20年一遇时，内涝总面积随着设计降雨峰现时间的延后而增大，III级、IV级内涝面积却随之减小；重现期长于20年一遇时，内涝总面积及III级内涝面积随着设计降雨峰现时间的延后而增大，IV级内涝面积却随着减小。

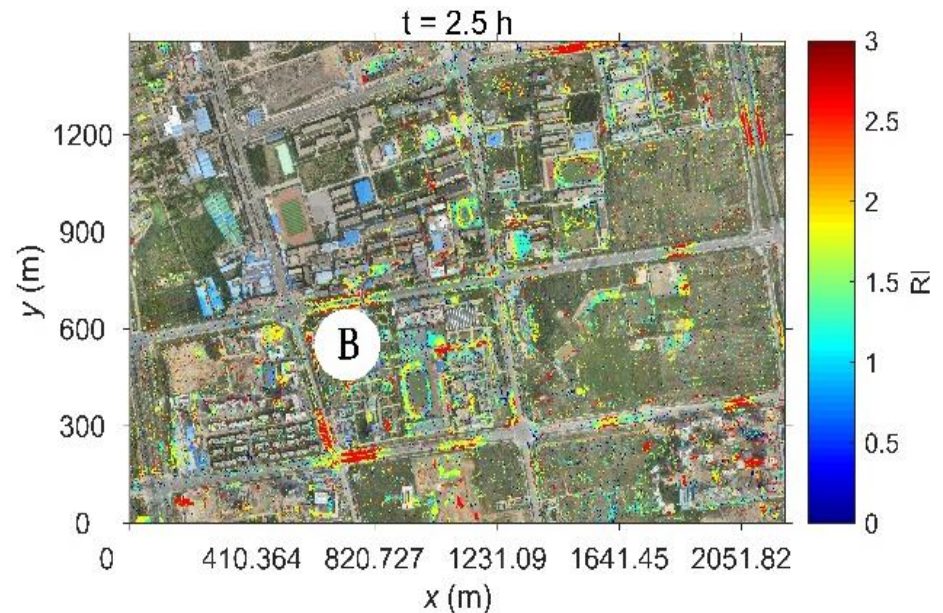
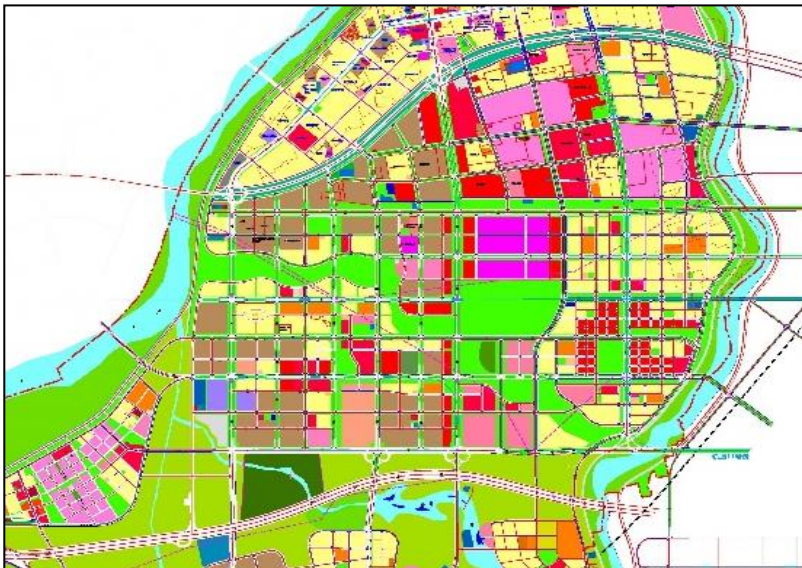
GAST模型应用

- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- 围湖造地对城市内涝影响模拟
- 缩尺海绵城市物理模型试验



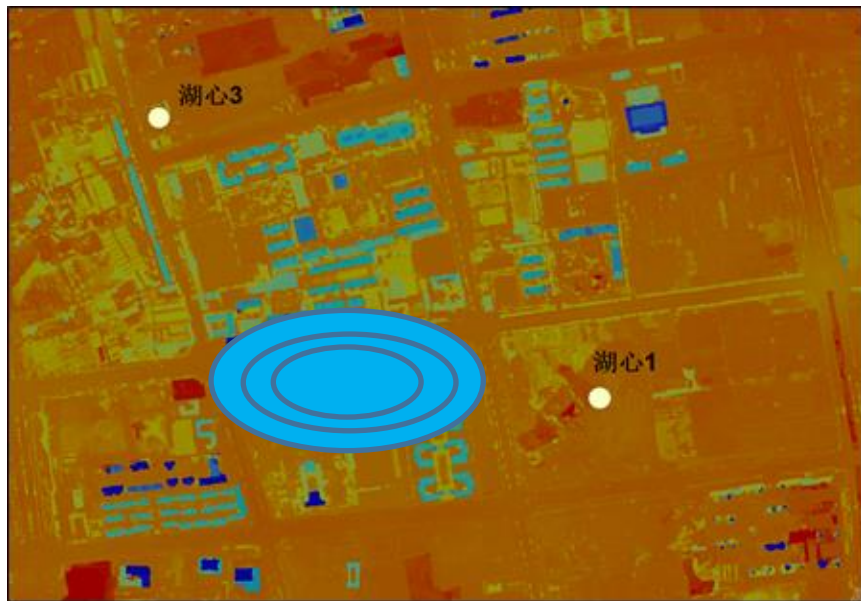
GAST模型应用

- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- **围湖造地对城市内涝影响模拟**
- 缩尺海绵城市物理模型试验

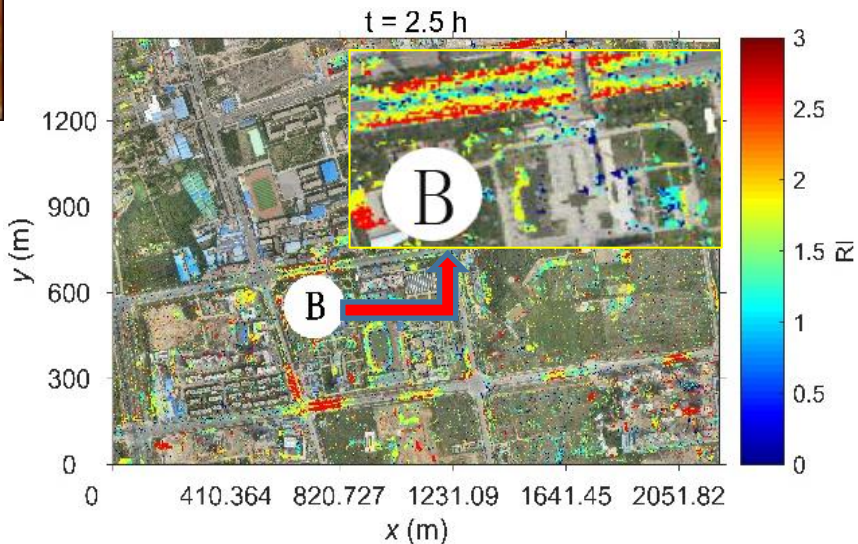
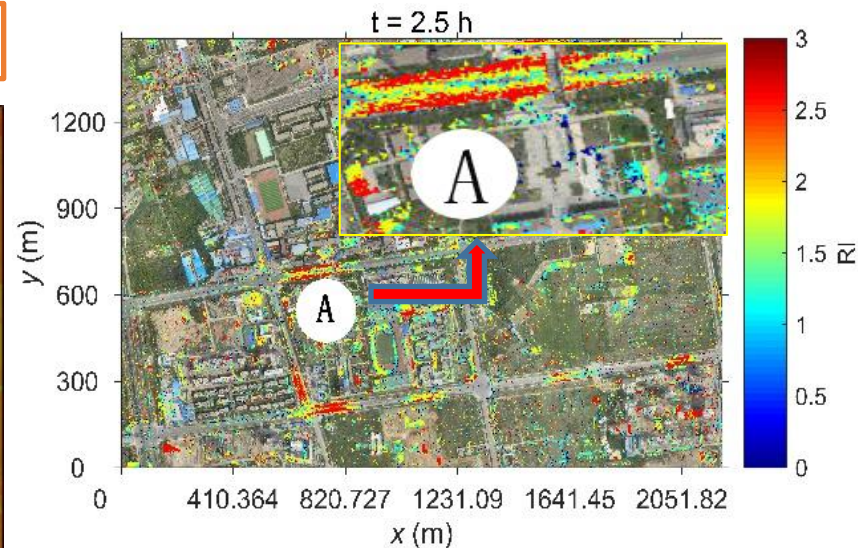


“围湖造地”对城市内涝程度影响规律研究

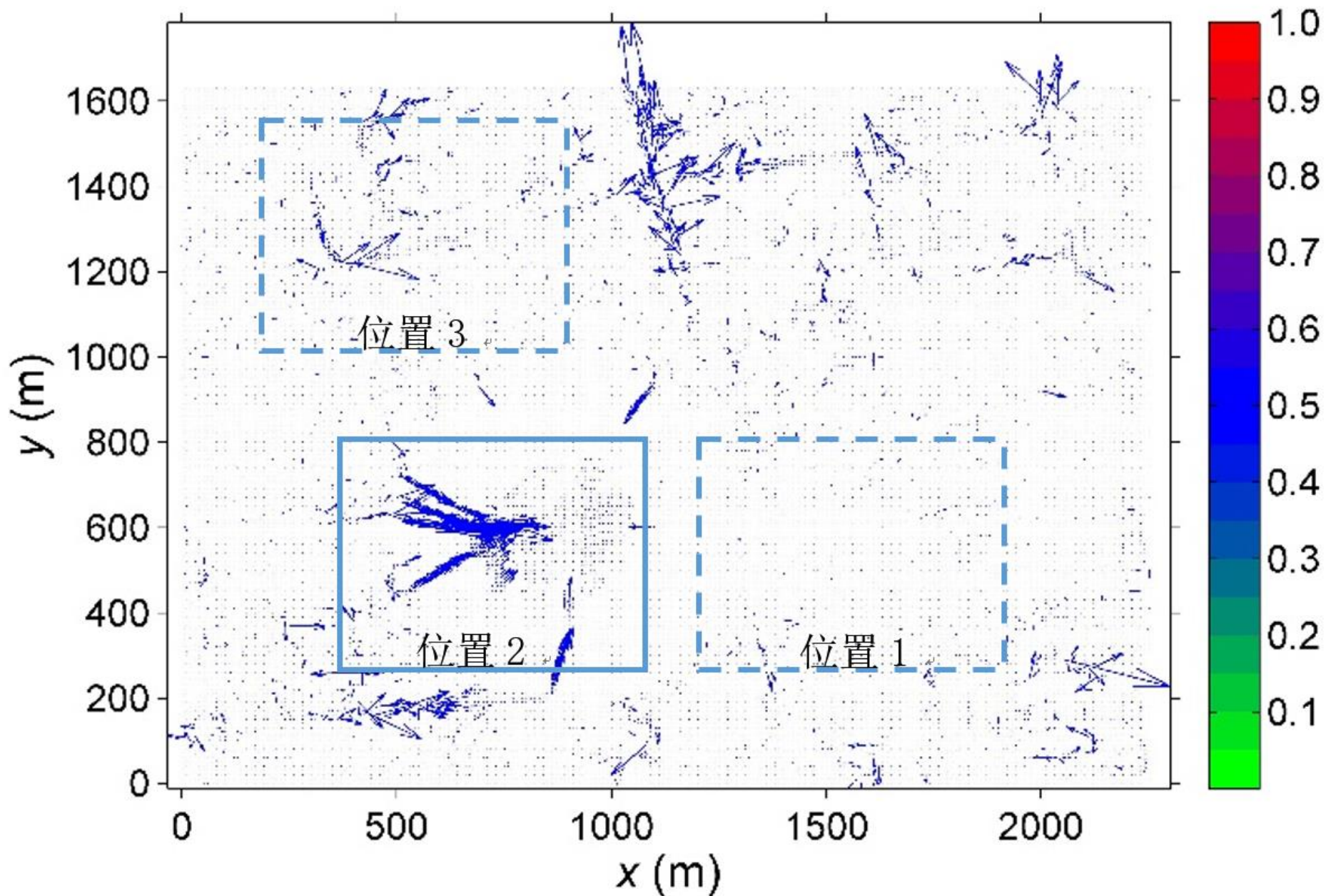
研究区域高程图



当湖泊面积由 502400m^2 减少到 7850m^2 时，峰值内涝积水总量增加 $1475\text{-}6999\text{ m}^3$ ，增加率达 **11.28%-15.39%**；IV级内涝面积增加 $25104\text{-}35736\text{m}^2$ 。增加率为 **14.47%-21.97%**

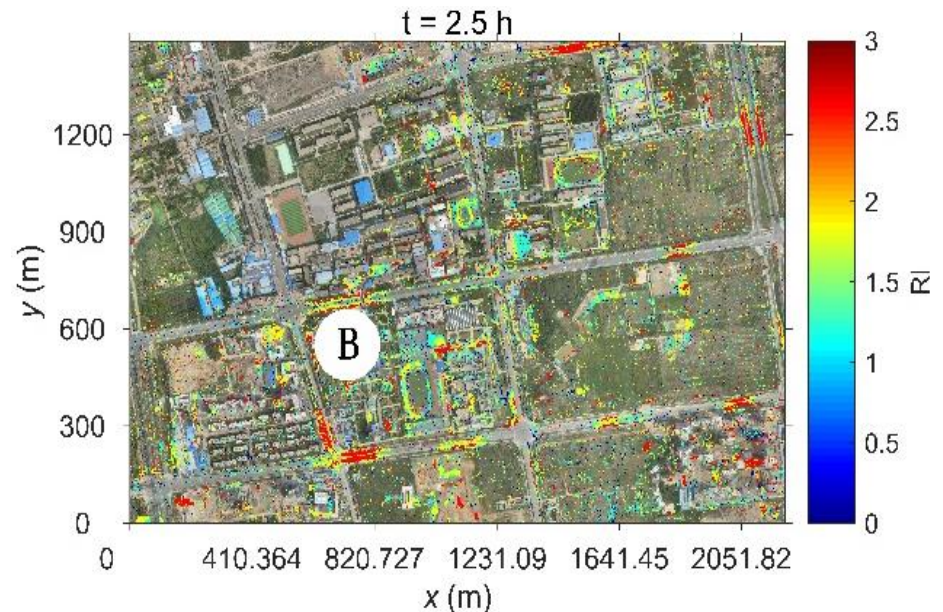
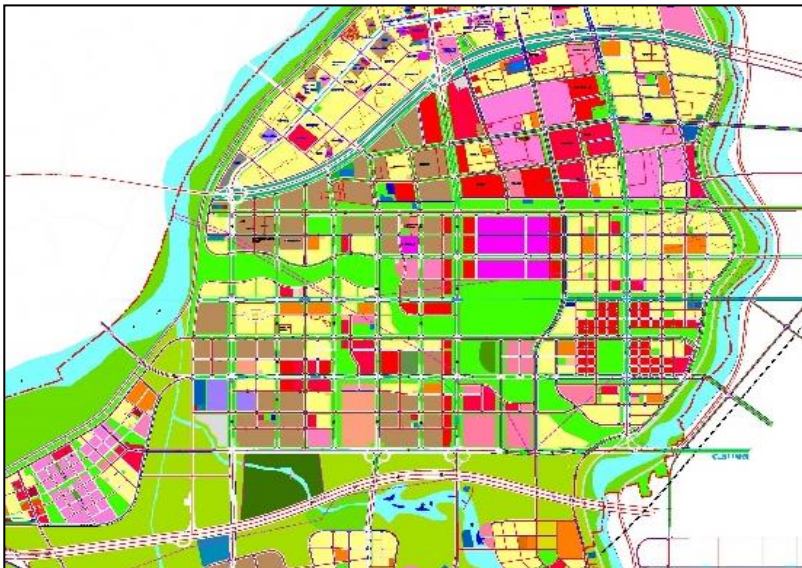


“围湖造地”对城市内涝程度影响规律研究



GAST模型应用

- 西咸新区海绵城市建设对内涝的缓解效果模拟
- 城市内涝积水及径流控制效果对暴雨雨型响应规律模拟
- 围湖造地对城市内涝影响模拟
- 缩尺海绵城市物理模型试验

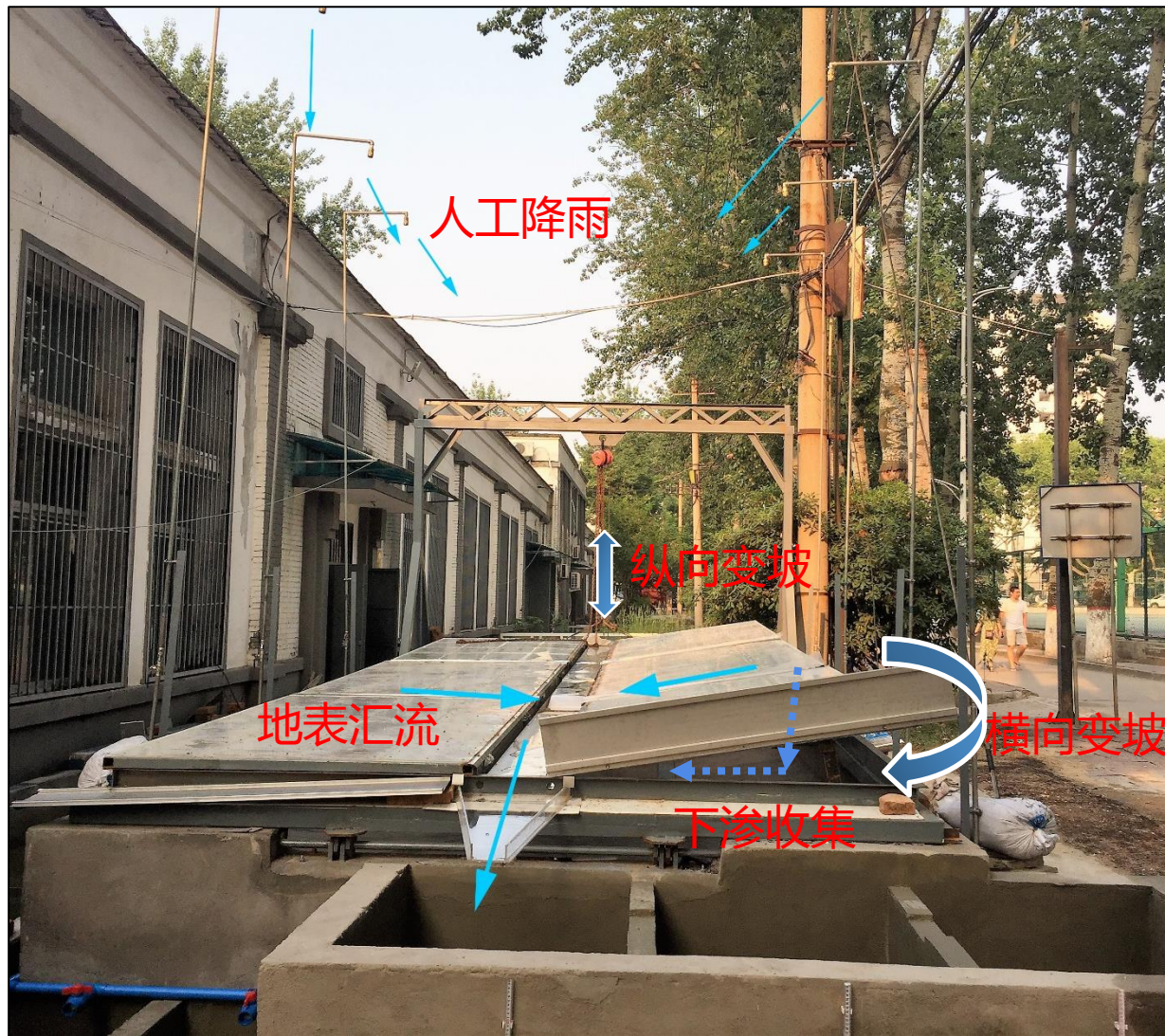


迷你海绵城市雨洪过程物理模型试验设计

Question?

1 LID + 1 LID + 1 LID > or < or = 3 LID ?

迷你海绵城市雨洪过程物理模型试验设计



该试验平台可进行不同类型降雨、地形、下垫面类型和排水情况的**交叉组合试验**，为研究城市水利工程尤其是土地利用格局对雨洪过程的影响提供了一种研究手段。

迷你海绵城市雨洪过程物理模型试验

50年一遇重现期降雨下试验过程



Applications of the GAST (GPU Accelerated Surface Water Flow and Transport) Model in Sponge City Program of Xi'xian New Area

Prof. Jingming Hou
侯精明

NNSF, Xi'xian New Area National Natural Science Foundation of China (19672016); National Key Research Program of China (2016YFC0402704) and Xi'xian New Area are Acknowledged



西安理工大学
XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Mobile: 15809283371

Email: jingming.hou@xaut.edu