

城市水文科与海绵城市科技学术会，京师大厦，2017，北京

LID与城市水生态维护若干问题商榷

刘昌明



北京师范大学



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

主要内容：

提纲

1. 国际与中国的城市化发展与趋势概况
2. 城市化的博弈问题
3. 海绵城市建设问题的学习与认知
4. 海绵城市科技研究：
5. 结论与展望



1、国际与中国

不同国情的3个西方国家的经验：

USA: 最早提出LID理念与绿色基础设施

UK: 英国水多，强调可持续排水SuDS

AUSTRALIA: 澳洲水少，强调水敏感城市

表明不同自然与社经应有不同解决方案：**中国**
采用海绵城市“Sponge City”



不同国情的3个发达国家经验：

美国： USA

- 20世纪80年代：美国乔治王子郡以雨水花园为基础提出LID设计理念。
- 1999年：乔治王子郡编制出第一部综合性LID设计技术标准
- 2000-2005年：LID设计理念快速得到美国联邦政府、各州政府及地方政府的认可，各种LID技术设施获得了广泛应用。美国现在做的比较好的有纽约、洛杉矶、芝加哥、费城、华盛顿、波特兰等
- 2006-2010年：美国联邦环保局正式认可LID设计理念应用于暴雨管理和面源污染控制设计。
- 当前阶段：2009年美国联邦环保局开始推广“绿色基础设施”的理念。



不同国情的3个发达国家经验：

美国：

L I D 要求在源头维持和保护场地自然水文功能、

- 强调还原开发前水文循环**
- 更多针对中小降雨事件控制径流污染**
- 提出增强对流域大暴雨事件峰流量控制**

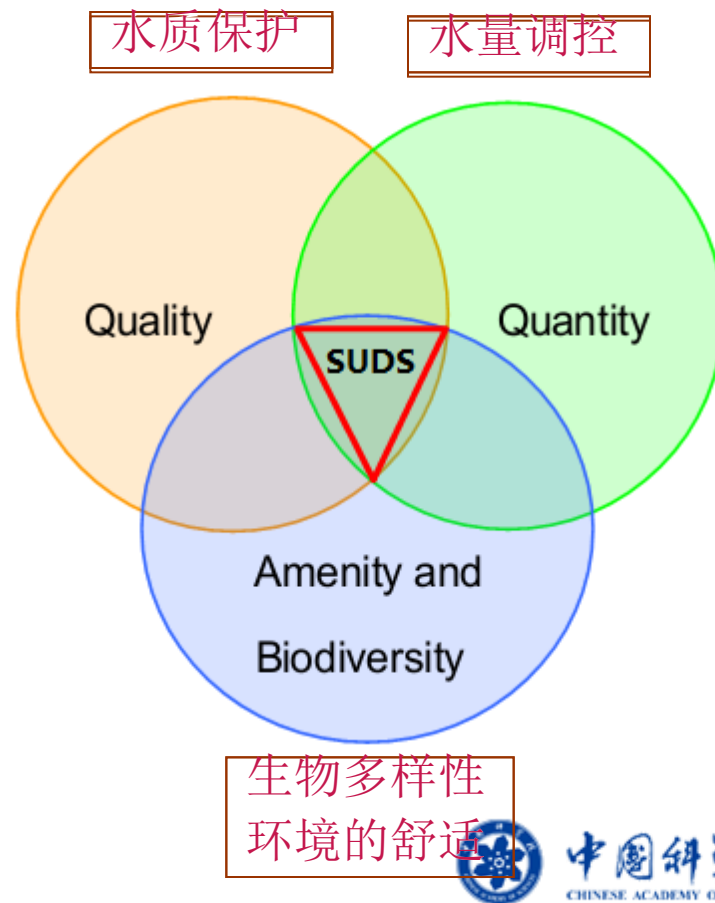


不同国情的3个发达国家经验：

英国 UK:

Sustainable Drainage System (SuDS)

- 英国水多，强调排水
- 利用源头管理方法对径流和污染物进行控制
- “排”的过程中体现可持续性
- 全过程进行分级削减和控制



澳大利亚 Australia :

传统排水系统示意

雨水口

雨水管（渠）

水体

Slide courtesy of M. Figurski, WWE



国内外有关海绵城市书刊大量出版，不胜枚举，成为研究热点

Springer公司杂志出版:

Resilience in Ecology
and Urban Design

Future City

Volume 3, 2013, pp 301-306,

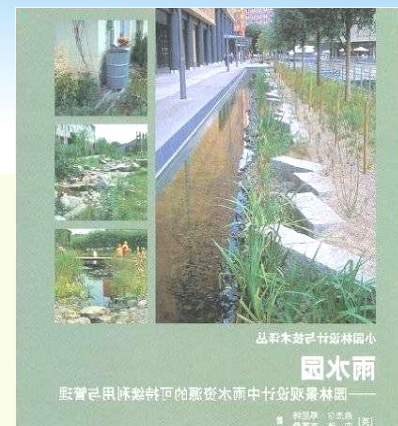
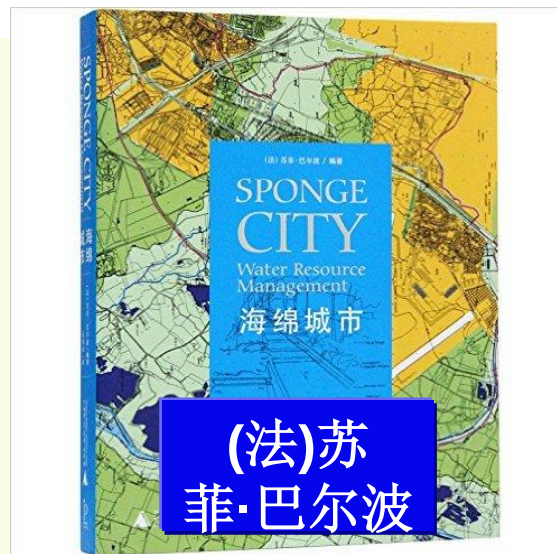
Date: 14 Dec 2012

Sponge City

作者:

Ignacio F. Bunster-Ossa

DS



奈杰尔·邓尼特、安迪·克莱登

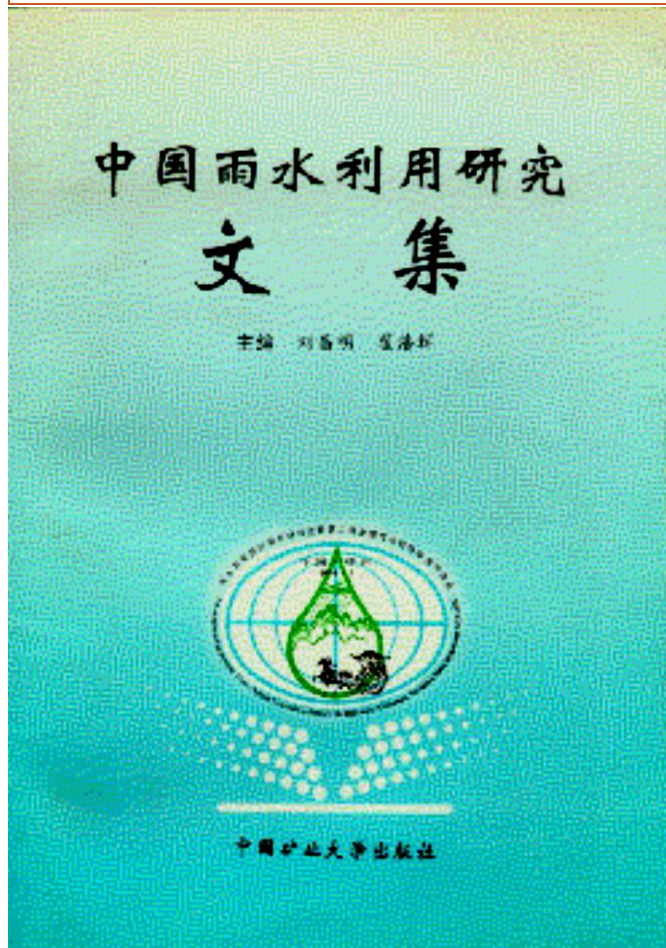


□综上所述，SC，SuDS，WSUD，绿色发展和水利部门的“水生态文明城市”等等的提法，都可以统一到LID的理念。本大会的取名已高度概括了。

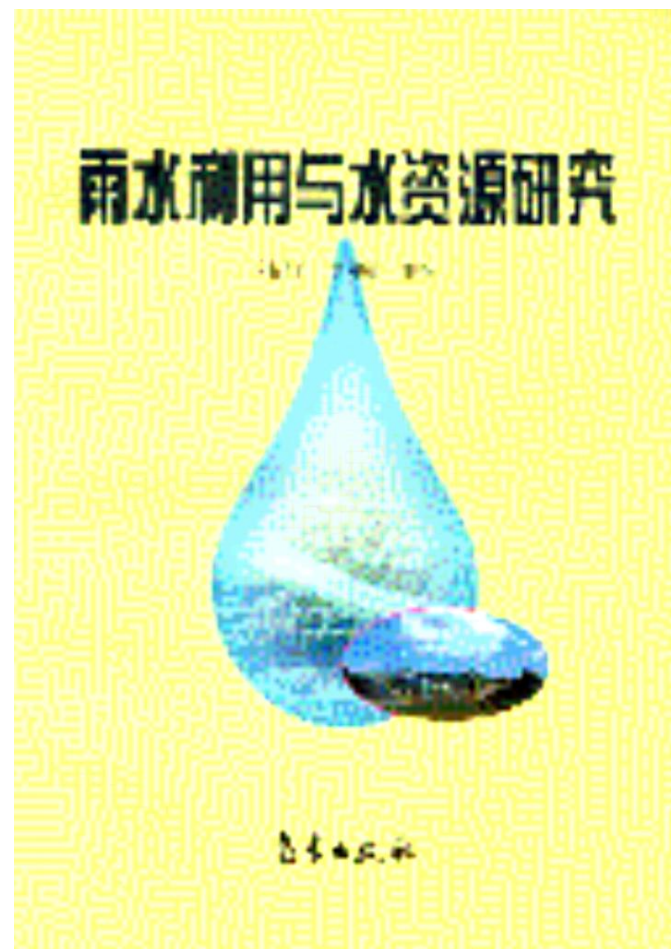
Publications

“中国雨水收集行业发展研究报告”等

刘昌明 翟浩汇 主编，1998



刘昌明 李丽娟 主编，2003



90年代
开始雨
水资源
化部分
研究成
果

刘昌明, 张永勇, 王中根, 王月玲, 白鹏. 维护良性水循环的城镇化LID模式: 海绵城市规划方法与技术初步探讨. 自然资源学报, 2016, 31 (5): 719-731.



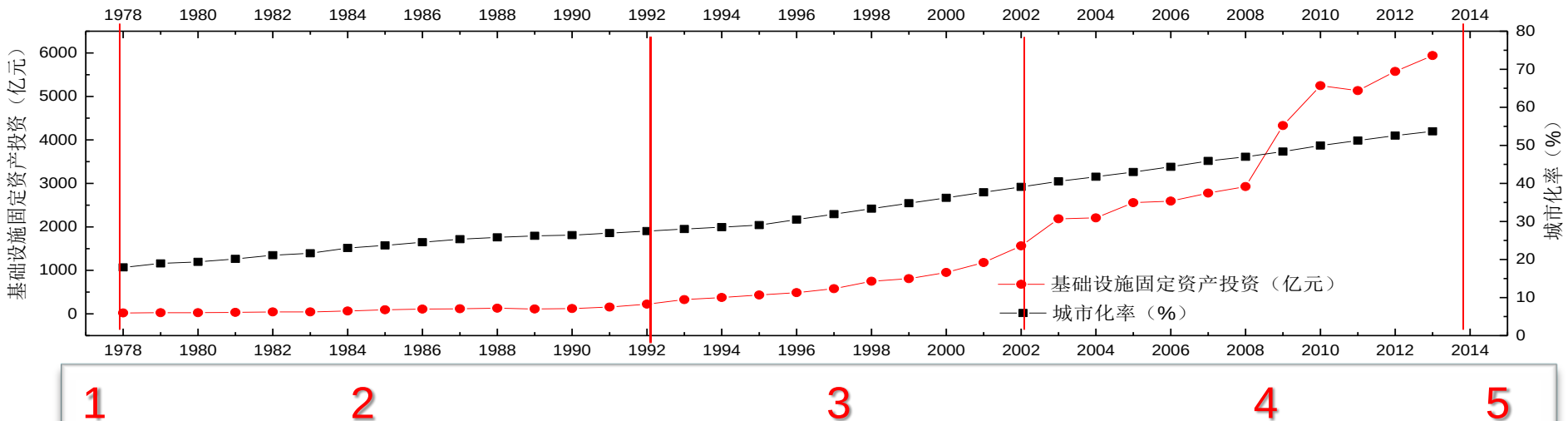
中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

中国城镇化发展：

城镇化的发展五阶段 Urbanization in China in Five Phases：

1. Before 1978: no plan
2. 1978-1992: starting phases
3. 1993-2002: enhancing phase
4. 2003-2012: fostering phase
5. After 2012: innovating phase

“今天，中国仍然是世界上最大的发展中国家。中国的人均国内生产总值仅相当于全球平均水平的三分之二、美国的七分之一、、、”



Urbanization process in China: investment & population ratio

2、城市化的主要生态与环境问题与博弈

城市是国家经济社会发展的火车头

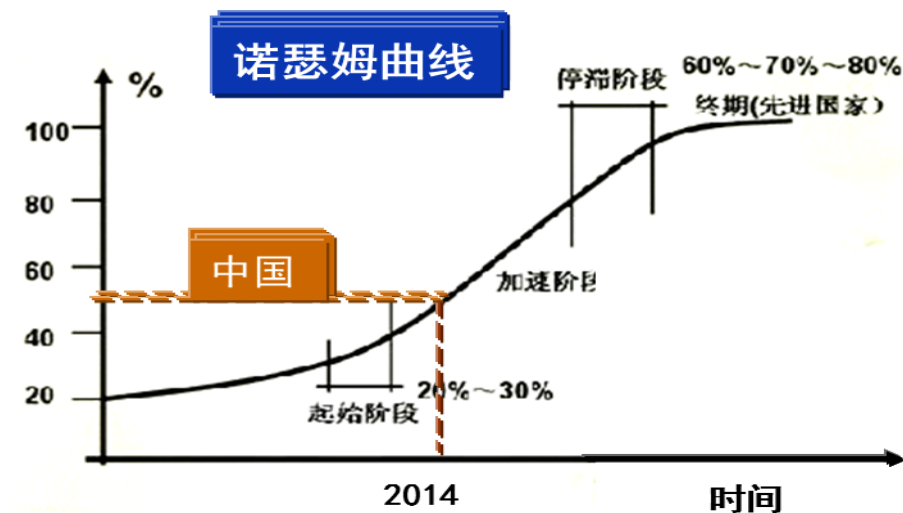
(2012月20日中央城市工作会议提出)

■ 2015年全国城镇常住人口达到7.7亿人，城镇人口占总人口比重为56.1%。估计2030年人口比重趋近70%，城市在全国GDP贡献的比重，将由目前50%多增加到95%。

■ 随着人口和产业向城市集中，产生了劳动力过剩、交通拥挤、住房紧张、环境恶化等“城市病”……美国城市地理学家诺瑟姆

(Ray. M. Northam) 曲线

■ 预计：2030年城市城镇人口超过 10亿人。



城市化的主要生态与环境问题与博弈

Three Major Urban Water Issues 中国城镇化的三大水问题

- Flooding & inundation/waterlogging 相当多的城市缺水的同时，雨洪内涝与污水蔓延，据调研，2008至2010年间，全国有62%的城市发生过不同程度的内涝，其中内涝灾害超过3次以上的城市有137个
- Water pollution/non-point 城镇化初雨面源污染严重，河湖水系被随意侵占，生态退化；
- Rainwater catchment/harvesting 全国2/3的城市缺水。雨水是资源，而硬化建筑与河道渠化将径流迅速排去，使得大量宝贵的雨水资源白白流失。

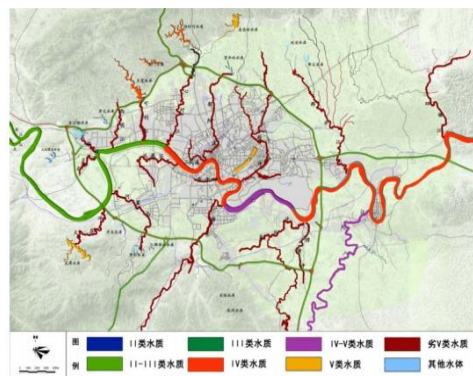


城镇化问题水问题案例：

水环境问题突出

■ 城市水环境问题突出

- 城市内河内湖水体污染严重
- 水生态功能退化
- 初期雨水面源污染问题显现



■ 城市合流制溢流污染严重

- 合流制截流倍数低



■ 雨污分流改造困难

- 合流制改造难度大

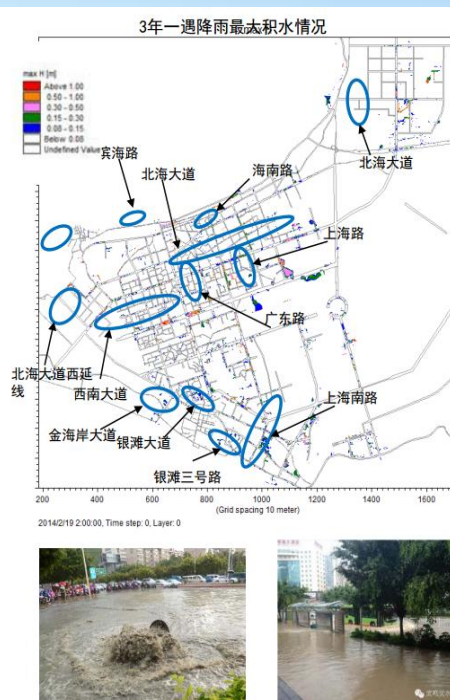
城市内涝问题突出

■ 快速城镇化进程中

- 部分河湖水系被侵占,调蓄空间减少
- 城市生态环境遭到破坏

■ 城市过度硬化,排水标准低

- 硬化面积比例大,水域、绿地等调蓄和透水下垫面比例过低
- 排水管网设计重现期普遍低于2年一遇
- 下穿隧道、立交桥等低洼地积水严重



发展快，环境、生态问题严重。



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

2、城市化的博弈问题思考：

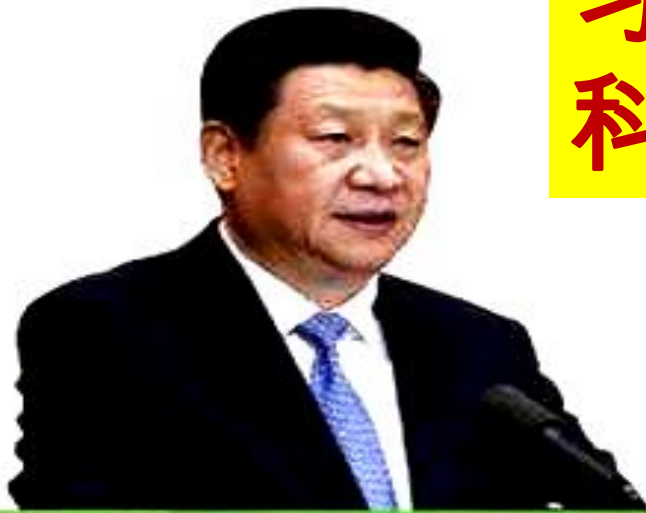
城镇化发展对生态、环境负面影响**需要解决城市病**

“发展是硬道理”；世界最大发展中国家的中国**“发展是第一要务”**

矛盾对立与统一：采取**低影响发展（LID）**，维护和修复自然水循环，建设海绵城市。



3、海绵城市建设问题的学习与认知



习近平主席关于海绵城市的科学论述：

海绵城市

解决城市缺水问题，必须顺应自然。优先考虑更多利用自然力量排水，建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。许多城市提出生态城市口号，但思路却是大树进城、开山造地、人造景观、填湖填海等。这不是建设生态文明，而是破坏自然生态。

——《习近平同志在中央城镇化工作会议上的讲话》（2013年12月12日）

习总书记在2013年12月中央城镇化会议上的讲话：

为什么这么多城市缺水？一个重要的原因是水泥地太多，把能够涵养水源的林地、草地、湖泊、湿地给占用了，切断了自然的水循环，雨水来了，只能当污水排走，地下水越抽越少。

解决城市的缺水问题，必须顺应自然，比如在提升城市排水系统时要优先考虑把优先的雨水留下来，优先考虑更多利用自然力量排水，建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。



城市发展遵循的五大理念：

创新、协调、绿色、开放、共享

（党的十八届五中全审议通过）



北京师范大学



4、海绵城市科技研究：

- 海绵城市理念：用“海绵”的概念来比喻自然系统的洪涝调节能力，指调节河水之丰欠，缓解旱涝灾害，使雨水就地蓄留、资源化，与城市中的公园系统、湿地系统一起，形成统一的水生态基础设施自然保护系统。让城市能在降雨时有效蓄水、避免洪涝；干旱时释放蓄水，自然地起到调节作用。维护良性/健康水循环
- 主要科技涉及跨/多学科，主要包括与水生态相关的学科（如水文水资源、园林生态）、土木建筑科学（如城市规划设计与工程等等）。是一个系统工程、与经济社会学综合集成研究的科学领域。



Major research topics

海绵城市建设的8个重要基础研究

- 暴雨发生频率、时空分布变化规律与防洪除涝工程的标准与设计
- 降雨入渗规律、滞蓄雨洪能力计算与拦蓄工程的标准与设计
- 河湖连通的生态防护，包括水系流通性与蓄水域面积与容积及工程的标准与设计
- 调蓄降水的地下水埋深的确定与三水联合调控、利用工程的标准与设计
- 雨洪雨水资源利用潜力计算、利用方式与有效利用工程的标准与设计
- 地表水与地下水水质变化过程，达标率控制工程的标准与设计
- 节水减排、废污水回收、处理与再生水利用及工程的标准与设计
- 基于LID理念的海绵城市化发展与综合治理与管理模式。



Technical systems

海绵城镇建设主要技术系统与设施

技术系统的内容

- 雨洪调控：减少城镇内涝
- 防治污染：河道管道分流
- 雨水利用：雨水的资源化
- 适应技术：高效节水系统
- 管理体制：最严格三指标
- 科学规划：按十六字方针

低影响开发主要设施：透水铺装、绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留设施、渗透塘、渗井、湿塘、雨水湿地、蓄水池、雨水罐、调节塘、调节池、植草沟、渗管/渠、植被缓冲带、初期雨水弃流设施、人工土壤渗滤、高效节水等等设施。

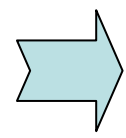
具有多个功能低影响开发单项设施：例如生物滞留设施的功能除渗透补充地下水外，还可削减峰值流量、净化雨水，实现径流总量、径流峰值和径流污染控制等



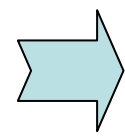
● 海绵城市水生态评价、综合管控模拟

Hydro-Informatics Modelling(HIMS)

复杂水问题
水循环机制



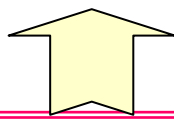
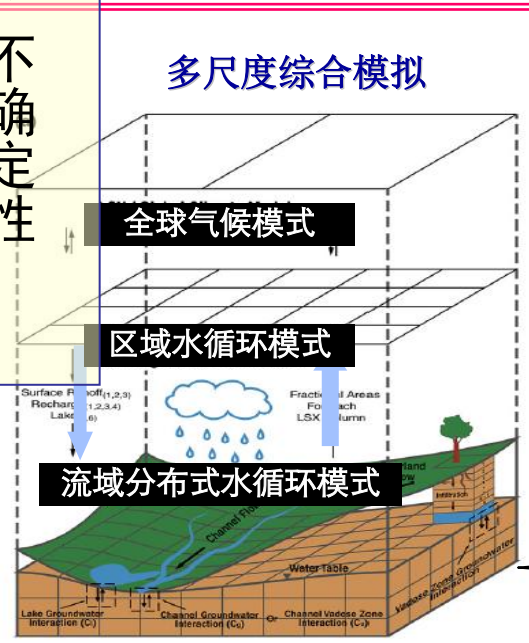
流域水循环综合模拟



水系统调控
良性水循环

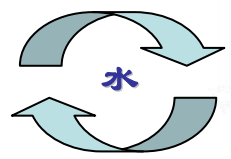
★ 时空变异性
★ 资料稀缺性

★ 不确定性



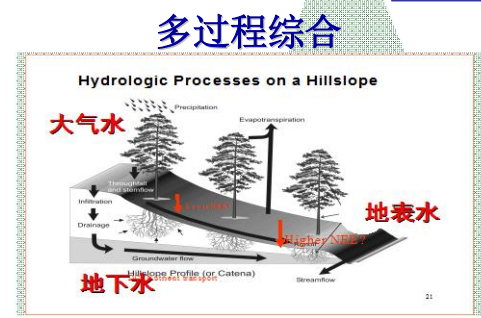
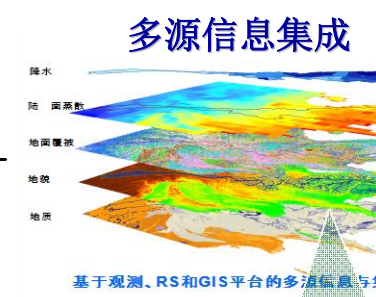
系统集成

模式耦合



原型观测

过程机理



★ 水短缺问题
★ 水污染问题
★ 水生生态问题
★ 水灾害问题
★ 水管理问题

气候变化

水系统
水管理

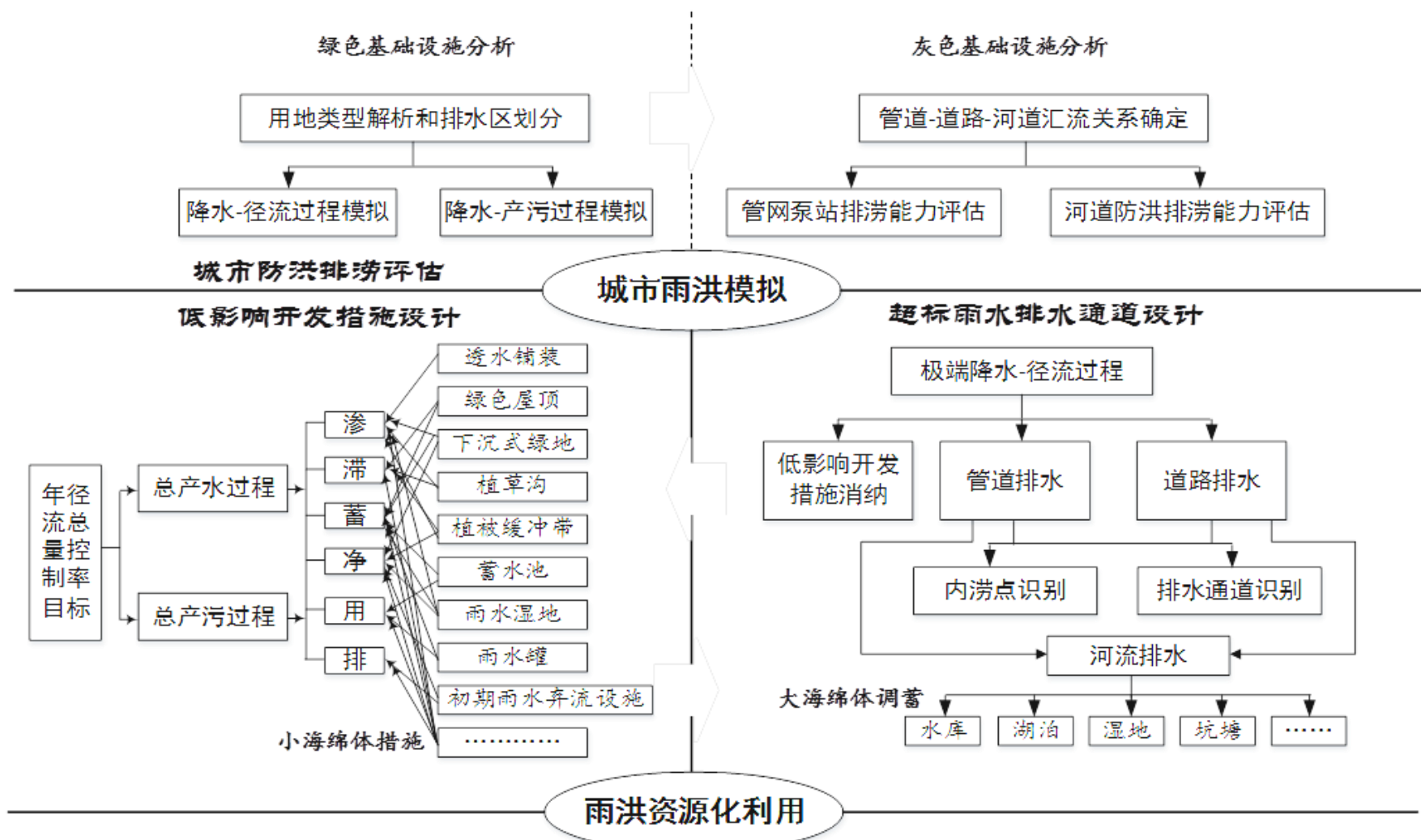
人类活动

HIMS——海绵城市雨洪模型定制开发

► 城市雨洪模型在海绵城市建设中有着广泛的用途：

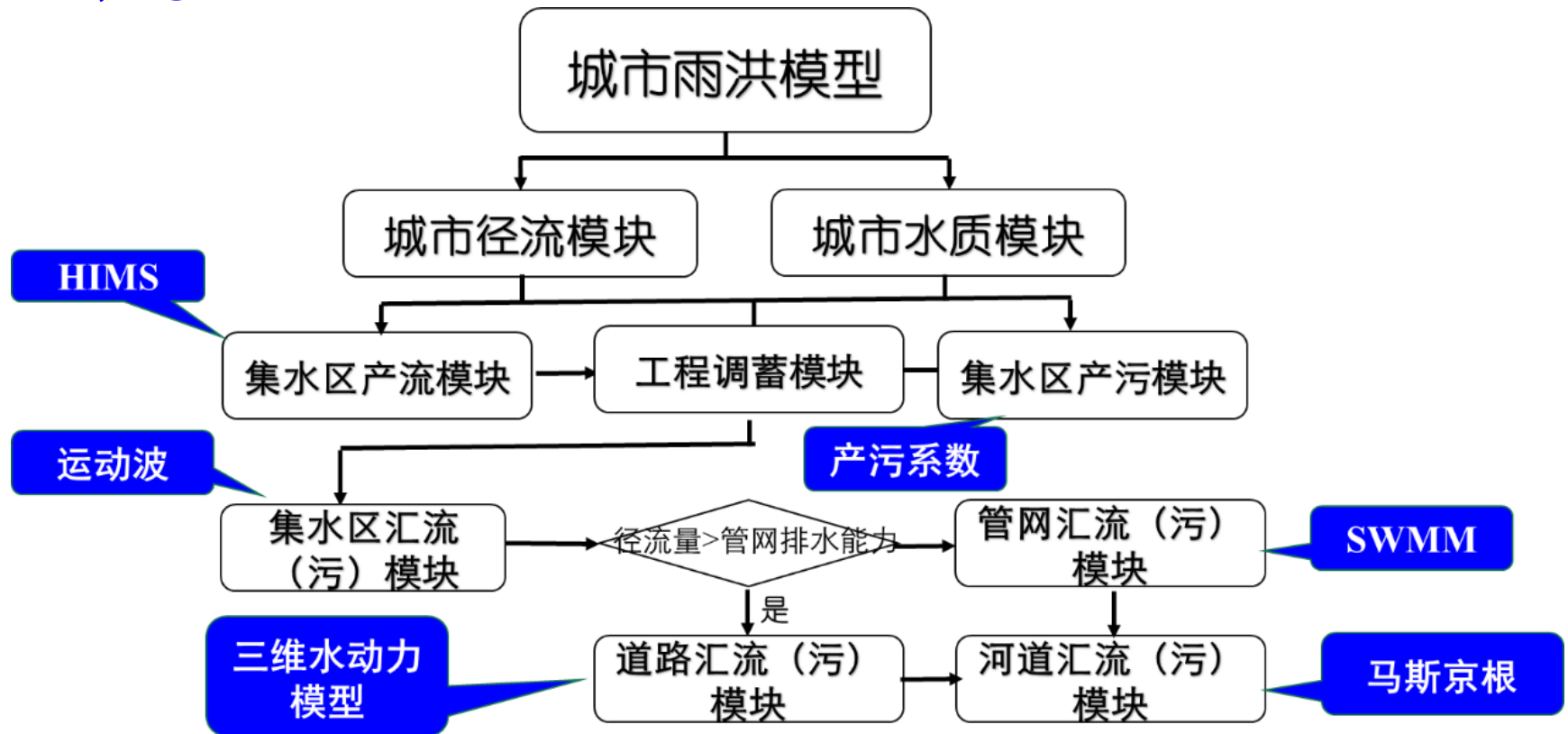
- ① 防洪排涝风险评估；
- ② 低影响开发措施设计；
- ③ 排水设施设计；
- ④ 雨洪资源利用潜力评估与高效节水综合

城市雨洪模型在海绵建设中的作用



城市水文模型 HIMS Urban water model

- Cooperative developed by IGSNRR-CAUPD-Guiren , 联合开发具有中国自主知识产权的城市雨洪模型
- 模型特点：①直接面向中国海绵城市规划设计需求；②分布式物理基础模型；③水量水质联合模拟



HIMS urban storm water model for sponge city

HIMS——海绵城市雨洪模型开发

►模型的主要方程:

单元产流:
$$\begin{cases} f_i = R_i \cdot P^r_i \\ Y_i = P - f_i - E_i \\ Q = 10^3 \cdot \sum Y_i \cdot A_i / t \end{cases}$$

单元产污:
$$\begin{cases} W = 0.0864 \cdot \sum Q_i \cdot E_i \cdot t \\ B = C_1 \cdot (1 - e^{-C_2 t}) \cdot A - W \end{cases}$$

坡面汇流:

$$q_m = \frac{Q_m}{F} L_2 V_2 = A_2 I_2^{1/3} L_2^{0.5} Q_m^{0.5} F^{-0.5}$$
$$\tau_2 = L_2 / V_2 = 0.278 \frac{L_2^{0.5} F^{0.5}}{A_2 I_2^{1/3} Q_m^{0.5}}$$

管道汇流:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta}{A} Q^2 \right) + \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} (Kh) + (K - K') h \cos \theta \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \\ = (s_0 - s_f) + \frac{1}{\gamma A} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{q U_x}{gA} \end{cases}$$

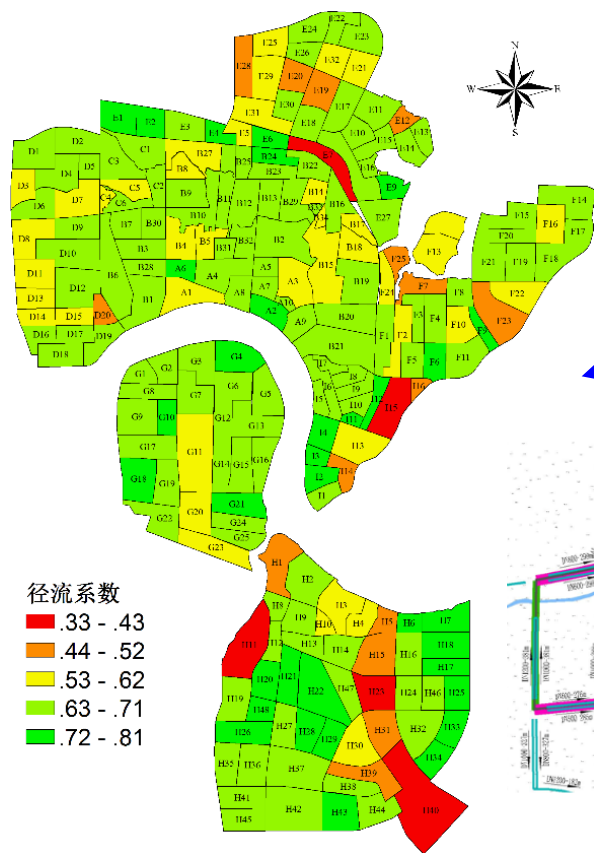
道路汇流: 三维水动力学方程

河道汇流: 马斯京根方程

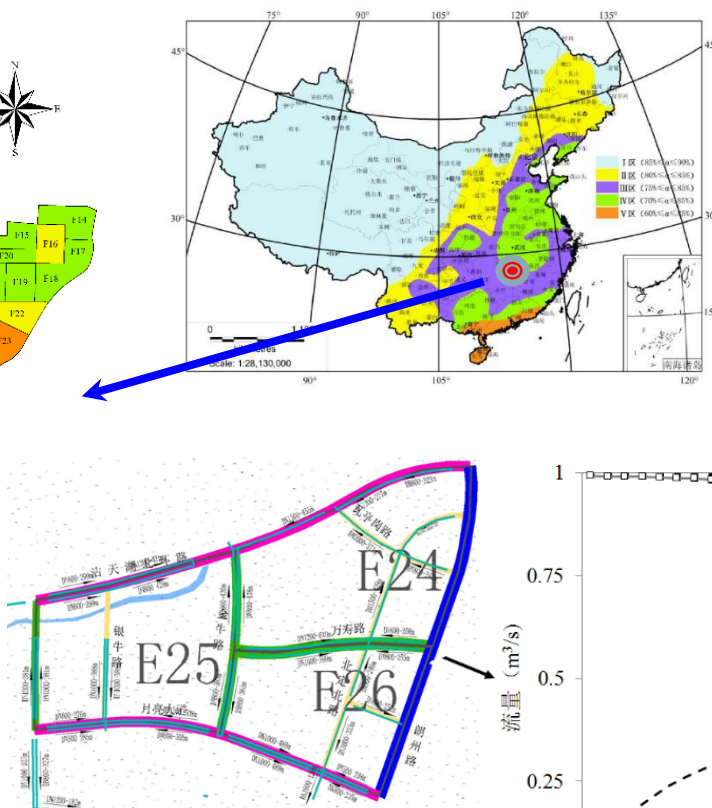


HIMS——海绵城市雨洪模型开发

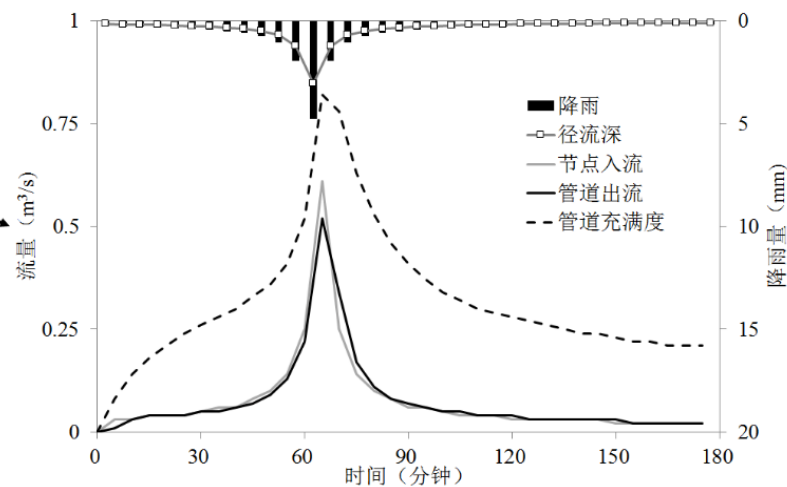
模型应用：常德市海绵城市试点规划



研究区径流系数分布



Objective of annual water yield control rate (75%-85%)



模拟单元地块降雨径流、管道入流和出流过程计算



模拟结果
北京师范大学



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

HIMS——海绵城市雨洪模型开发

► 模型应用：常德市海绵城市试点规划设计

LID optimization

目标函数：

$$f_{obj} = (c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n) \rightarrow \min$$

低影响开发措施：

约束条件：

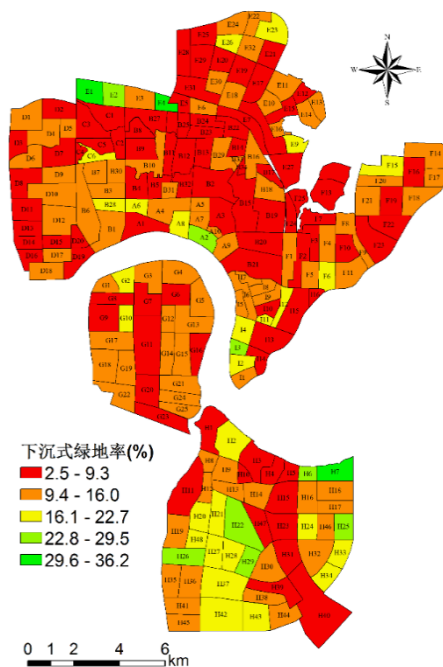
$$\begin{cases} Area_j \geq Area_{下沉式绿地,j} + Area_{透水铺装,j} + Area_{绿色屋顶,j} \\ Area_{下沉式绿地,j} \leq \eta_{绿地} \cdot Area_{总,j} \\ Area_{透水铺装,j} \leq \eta_{铺装} \cdot Area_{不透水路面,j} \\ Area_{绿色屋顶,j} \leq \eta_{屋顶} \cdot Area_{屋顶,j} \end{cases}$$

优化方法：

随机优选、SCE-UA优化等

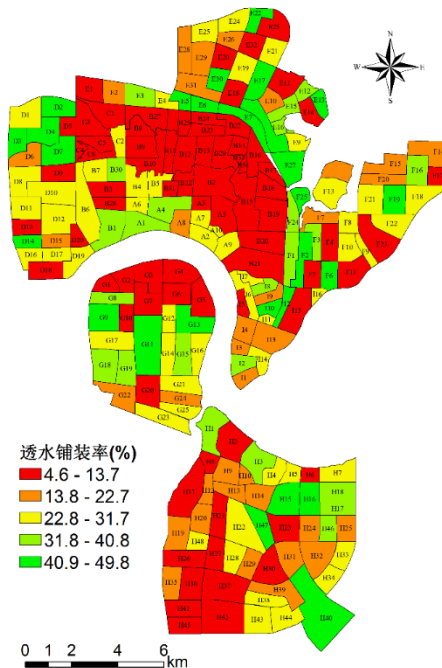
□ 下沉式绿地：

- 径流削减量：150-300mm
- 负荷削减率：100%



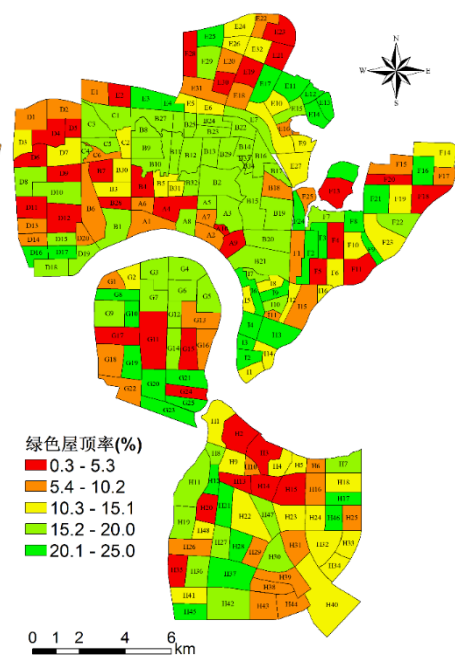
□ 透水铺装：

- 径流削减量：30mm
- 负荷削减率：80-90%



□ 绿色屋顶：

- 径流削减量：14mm
- 负荷削减率：70-80%



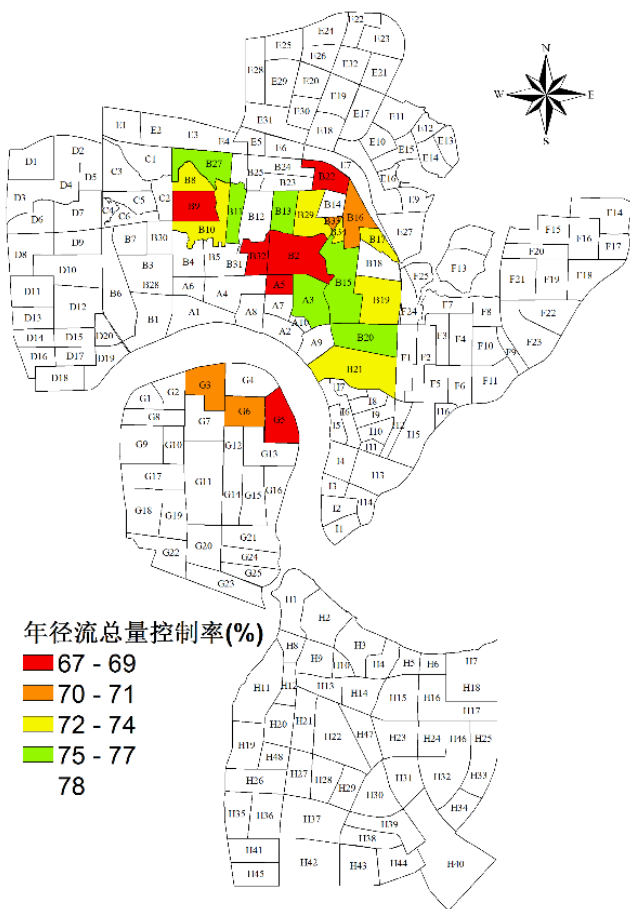
北京师范大学



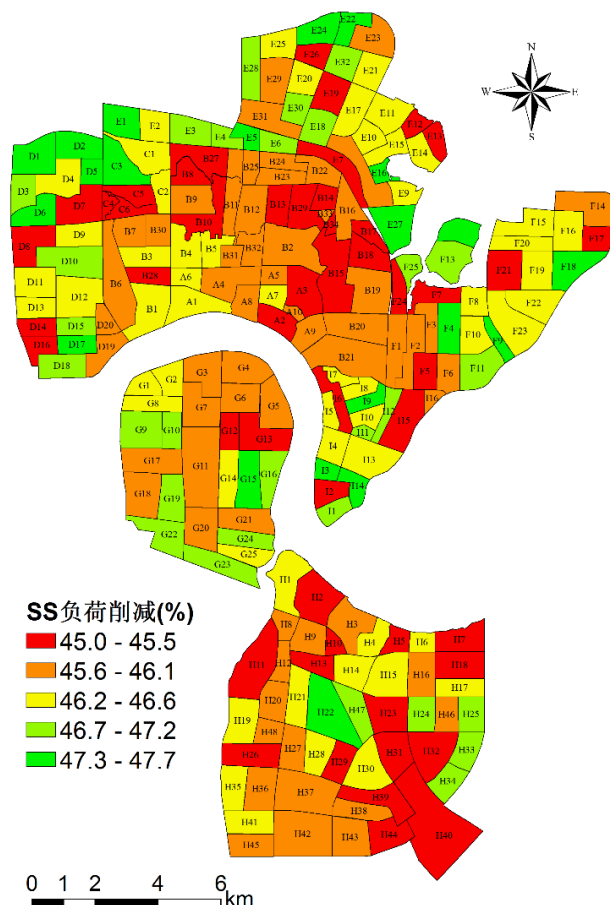
中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

应用：常德市海绵城市试点规划设计

LID performance assessment



中心城区低影响开发措施后 年径流总量控制率模拟

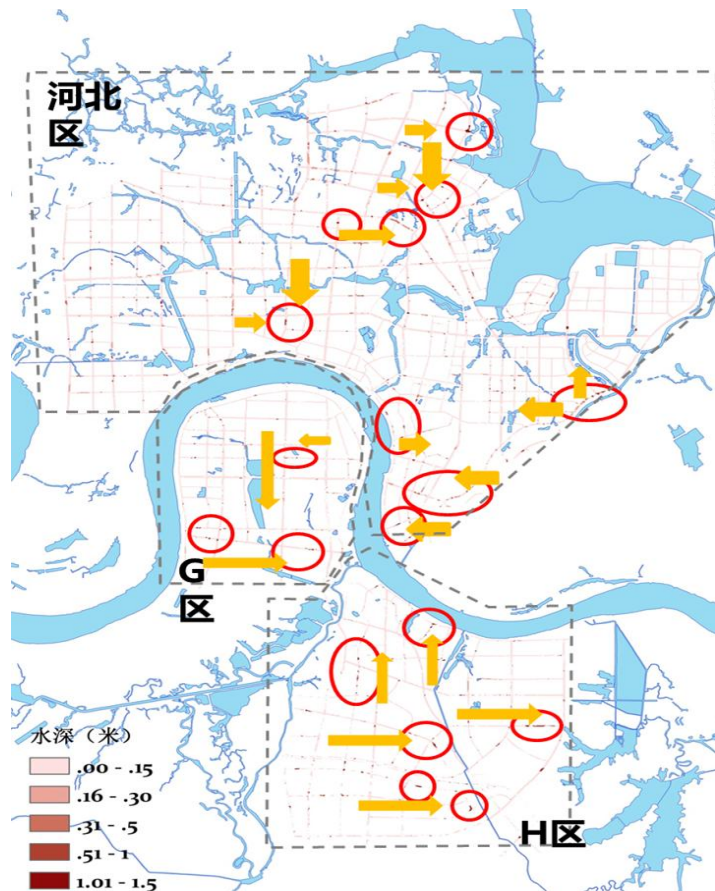


中心城区低影响开发措施后污 染负荷削减率模拟

HIMS customization for Changde

应用：超标雨水排放和城市水安全系统构建

Waterlogging site simulation



■ 城市超标雨水控制标准

- 20年一遇超标雨水主要通过城市内河、大的调蓄水体、城市大排水通道等大排水系统应对。城市道路路面水流最大允许深度，为主干路、快速路、次干路小于30厘米，支路小于45厘米。

■ 超标暴雨通道构建

- 江北城区洞庭大道为主要排放通道。江南鼎城阳明路为鼎城主要排放通道。
- 优先利用路旁的下沉式绿地构建超标雨水排放通道，保障防洪安全，保障基础设施安全。利用路面排泄超标雨水，需统筹电力、电信、供水、排水等灰色基础设施建设，确保城市安全。

■ 严格保护城市坑塘水体

- 铁路线以北区域
- 马家吉河西岸
- 江南永安路与阳明路
- 江南德山区常德大道

20年一遇设计暴雨中心城区
易涝点水深分布模拟



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

HIMS customization for Changde

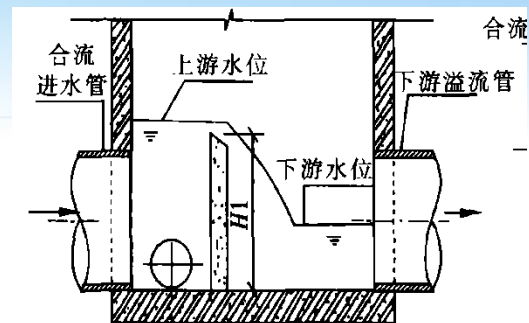
应用：城市水环境治理

■ 小区雨污分流前置溢流井改造

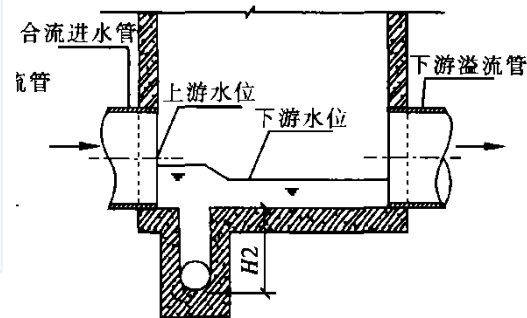
- 针对小区雨污合流的问题，建设雨污分流前置溢流井

■ 护城河、楠竹山排水分区污水管网建设指引

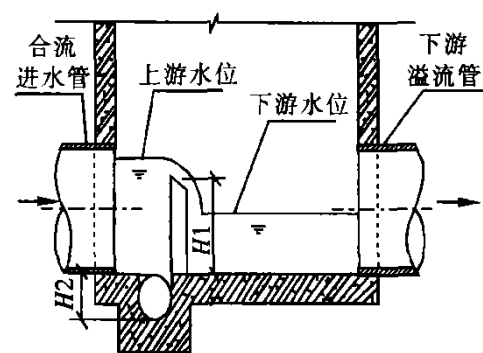
- 护城河暂维持为合流制，通过建设截污干管减小对三闾港可能造成的水质污染。
- 远景护城河片区随着护城河的改造逐步改为分流制。
- 楠竹山片区改成分流制的排水体系。



a. 堰式



b. 槽式

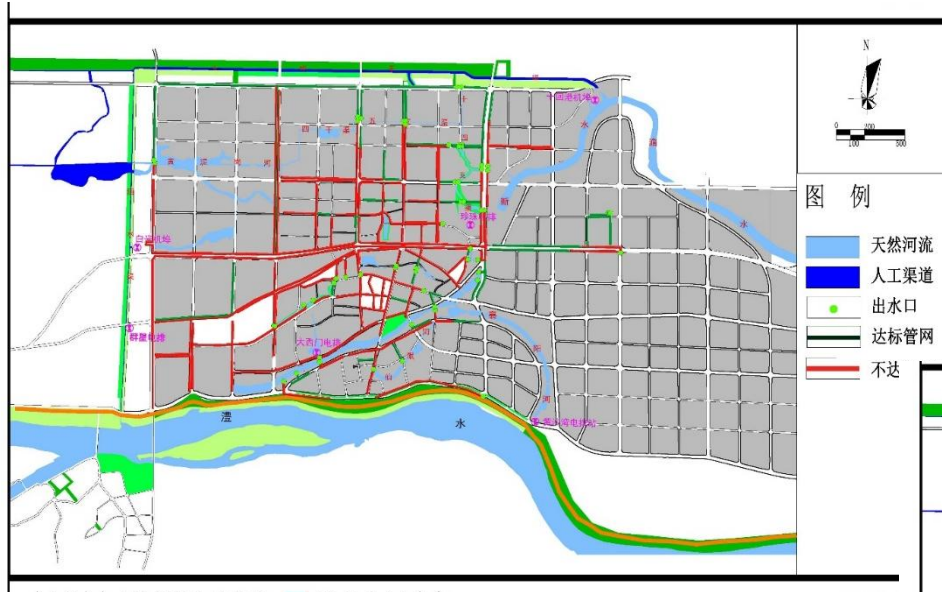


c. 堰槽结合式

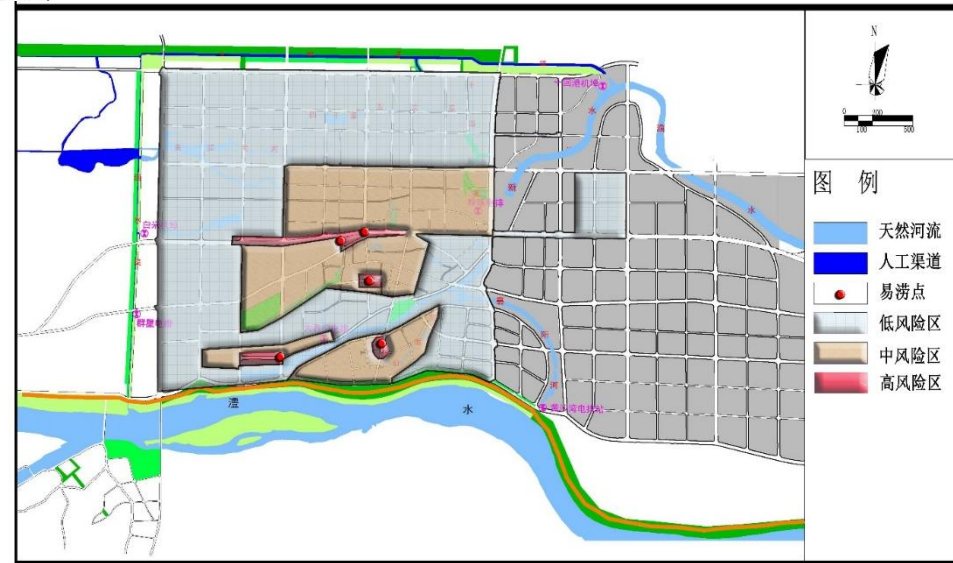


HIMS customization for Lixian

模型应用：澧县海绵城市试点规划设计



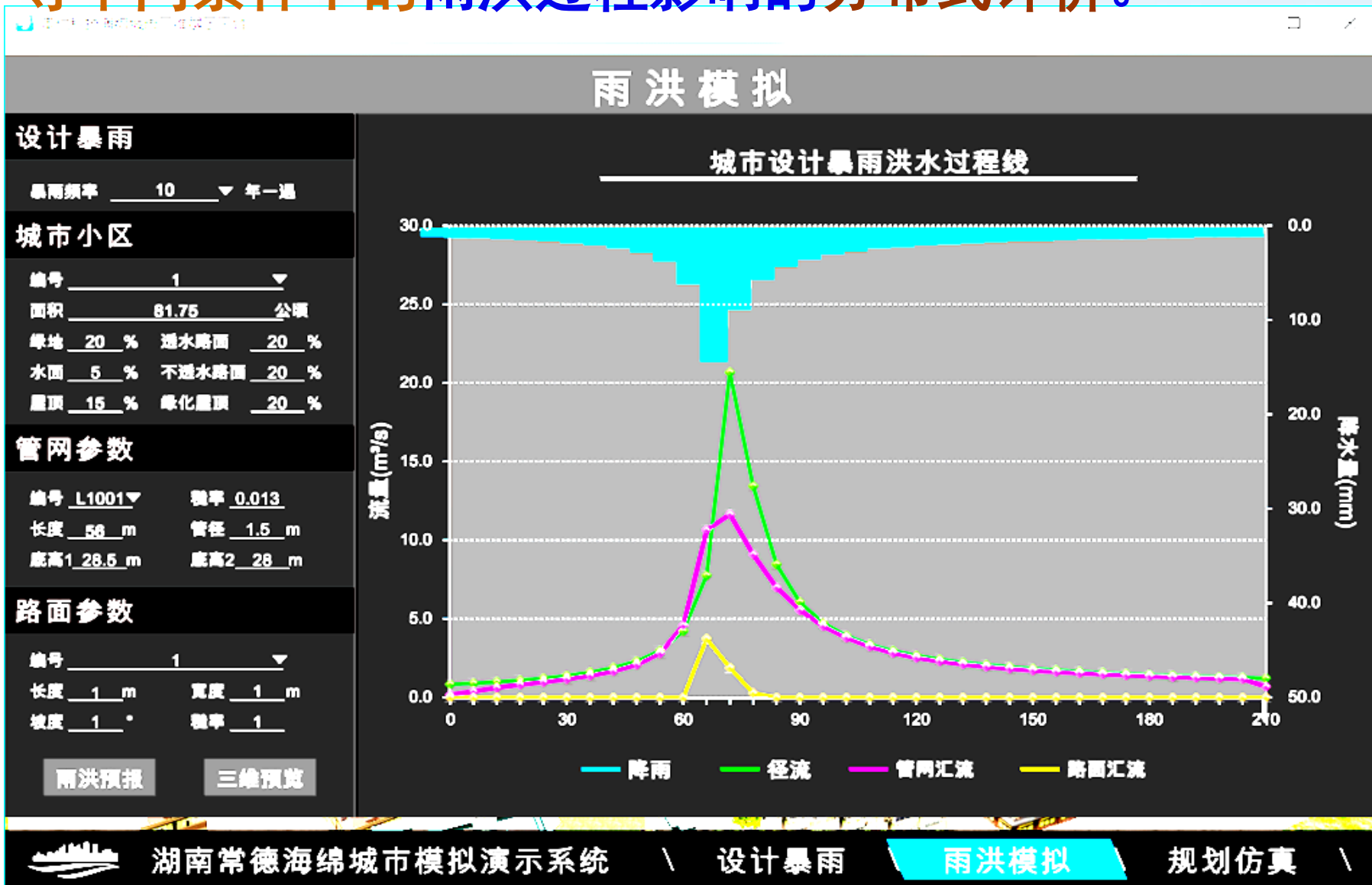
中心城区排水管网评估
Drainage system assessment



中心城区内涝风险评估
Waterlogging risk assessment



HIMS simulation: 设计暴雨、房屋路面、管网参数等不同条件下的雨洪过程影响的分布式评价。

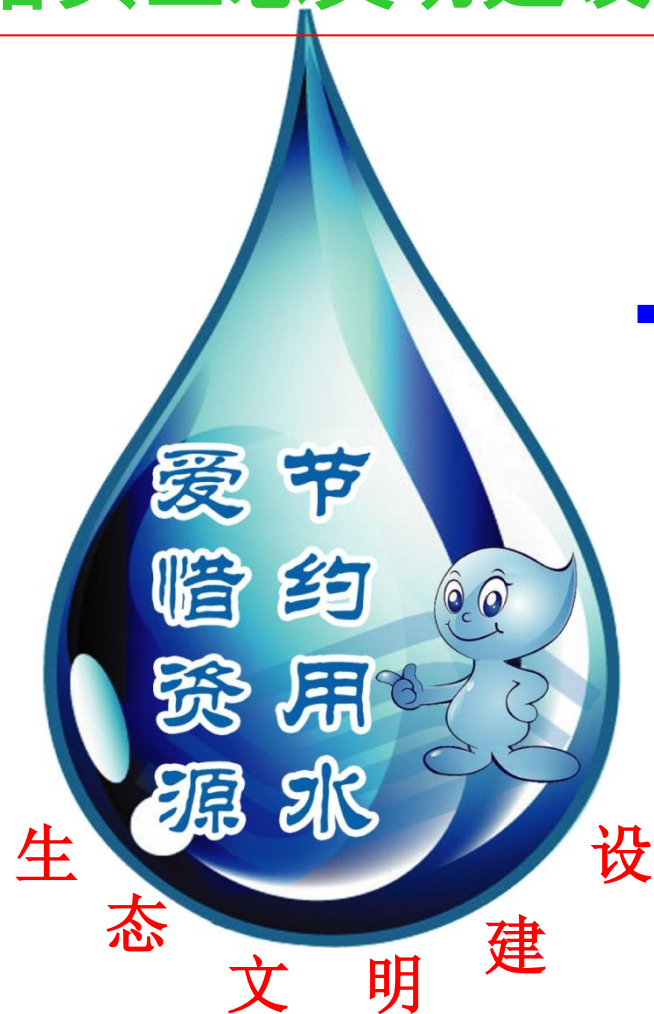


5、结论与讨论

- 进展：速度快，投资大。问题：社会资本或**PPP**的机制有待完善（建设成本地方高于政府）
- 过于工程化，对海绵城市的认知不统一存在若干认识误区，如认为海绵城市可以解决洪水等灾害，其实对城市的雨水科学管理是海绵城市主要内涵
- 国家与地方的试点建设因地制宜创新空间很大尚无法规范
- 监测、模拟与效果与效益评价尚不统一，缺乏观测与实验研究，模型计算参数的获取困难。
- 问题很多，缺乏部门、不同科技部门之间的协同。

希望此次会议的成果能够推动我国城市化科技的进一步发展。
祝学术会议成功。

落实生态文明建设



THANK YOU !
谢谢各位



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES