中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

第四届城市水安全与水管理学术研讨会
暨第五届城市防洪排涝学术研讨会

基于SWMM暴雨径流管理模型的流量削峰调蓄水池设置分析

中国防汛抗旱期刊发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

林凯荣 陈秋伶

中山大学 土木工程学院

2021年 10月11日

目录

1. 研究背景

2. 技术路线

3. 模型构建

4. 结果与讨论

5. 总结与展望

国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

1. 研究背景

城市洪涝问题

根据2020年3月住建部文件《防汛抗旱水利提升工程实施方案》，我国易涝城市已经上升到**100座**，相比其2017年增加了**40座**。

2020广州地铁5.22

2020江西景德镇6.3

2021郑州7.20

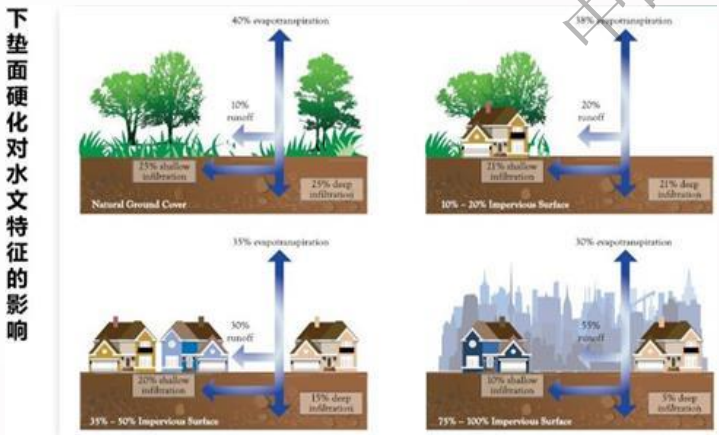
城市洪涝灾害频发

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

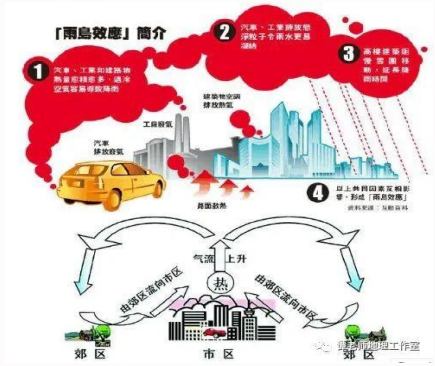
1. 研究背景

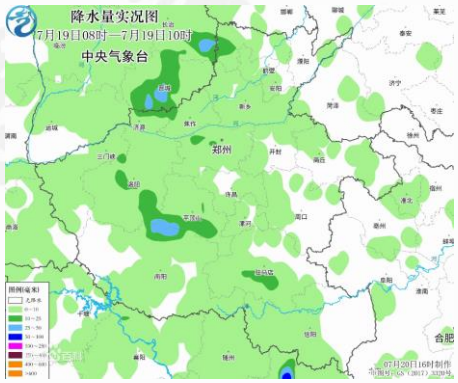
城市洪涝成因

在快速城市化的背景下，城市洪涝是各种因素的综合作用：



气候变化
极端降雨
城市地理位置
城市水文条件破坏
地表下渗能力低
管网排水能力
雨岛效应
水系不通
管理不善
……





中国防汛抗旱数学发布
仅供学习
版权归原作者所有

1. 研究背景

水安全问题

旱涝灾害频发

水资源短缺

水体污染

海绵城市

中国防汛抗旱整理人学习
仅供个人学习
版权归原作者所有

1. 研究背景

海绵城市在城市消减和缓解内涝方面有一定的作用

“小雨”	“中雨” “大雨”
低影响开发雨水系统	超标雨水径流排放系统
将雨水就地消纳 从源头减少雨水的径流排放	转输和调蓄雨水

设施的规模和所能消减调蓄的雨水体积有限

不能寄希望于其应对特大暴雨事件

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

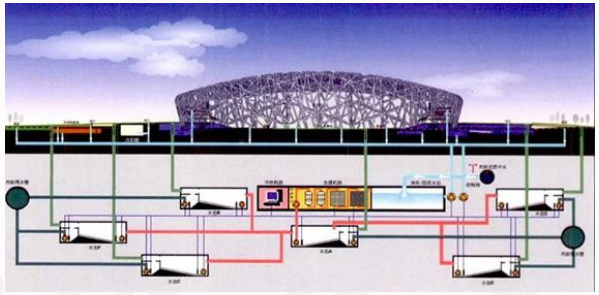
1. 研究背景

雨水调蓄池

雨水控制主要分为**水量控制**和**水质控制**两方面。

在各国的雨水控制概念中都把雨水调蓄视为雨水控制的关键因素，是解决城市内涝，实现雨水管理和雨水资源化利用的最有效途径。美国绿色建筑认证（LEED）也在雨水调蓄中设立了重要得分点。

带处理功能的调蓄池[2]



鸟巢雨洪系统

雨水调蓄的主要内容：

- 雨水滞蓄
- 雨水储存
- 雨水调节

设置雨水调蓄池

↓

减小雨水外排的流量，减轻市政管网的压力

↓

符合规范要求，兼顾经济因素，设计合理的调蓄池容积

中国防汛抗旱整理分享
仅供个人学习
版权归原作者所有

[1] Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices[R].

[2]张显忠, 带处理功能的调蓄池. 上海市,上海市城市建设设计研究总院,2014-02-12.

目录

1. 研究背景

2. 技术路线

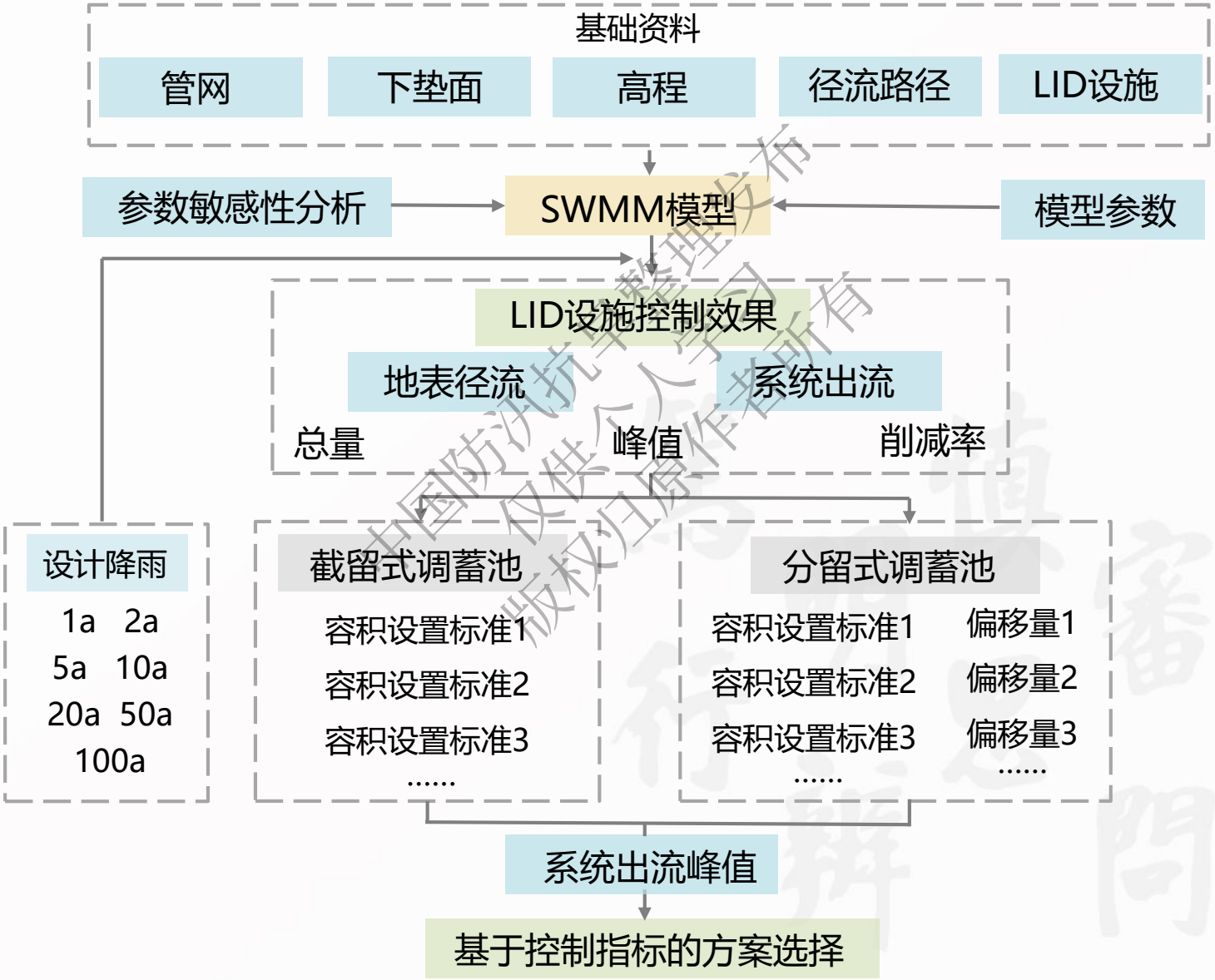
3. 模型构建

4. 结果与讨论

5. 总结与展望

国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

2. 技术路线



中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

目录

1. 研究背景

2. 技术路线

3. 模型构建

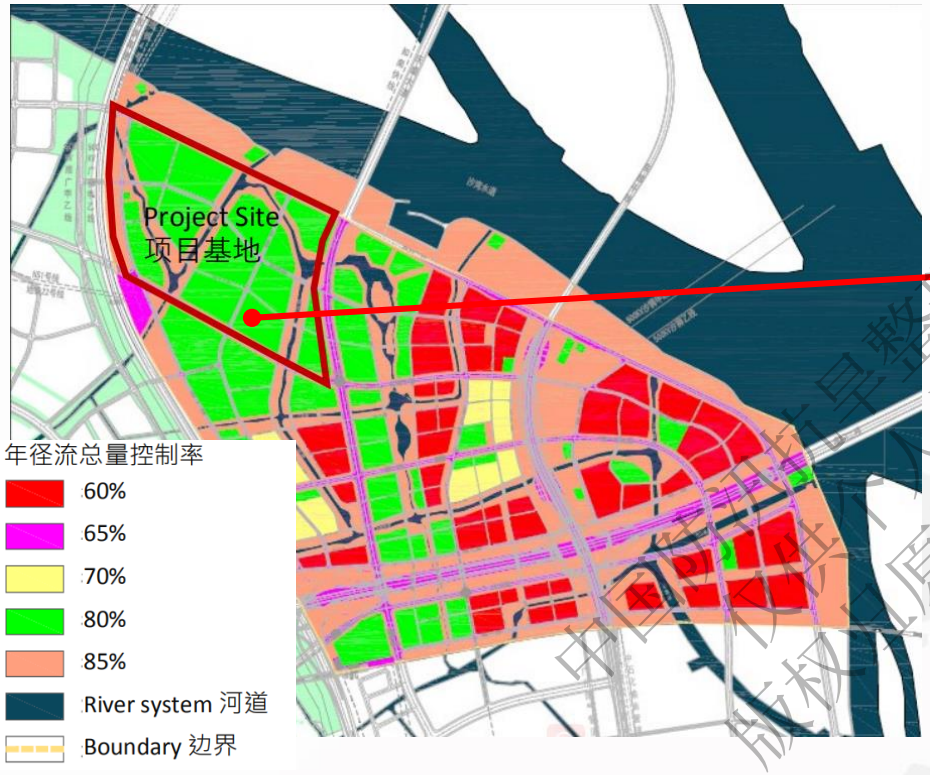
4. 结果与讨论

5. 总结与展望

国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

3. 模型构建

研究区概况



广州南沙区庆盛枢纽区块

南沙区位于**广州市南部**，属亚热带季风气候，降雨分布不均，雨季为4-9月，年均降雨量1673mm 。研究区域附近的江河流域主要由骝岗河水道、沙湾水道和西樵水道组成。

中国科学院地理整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

3. 模型构建

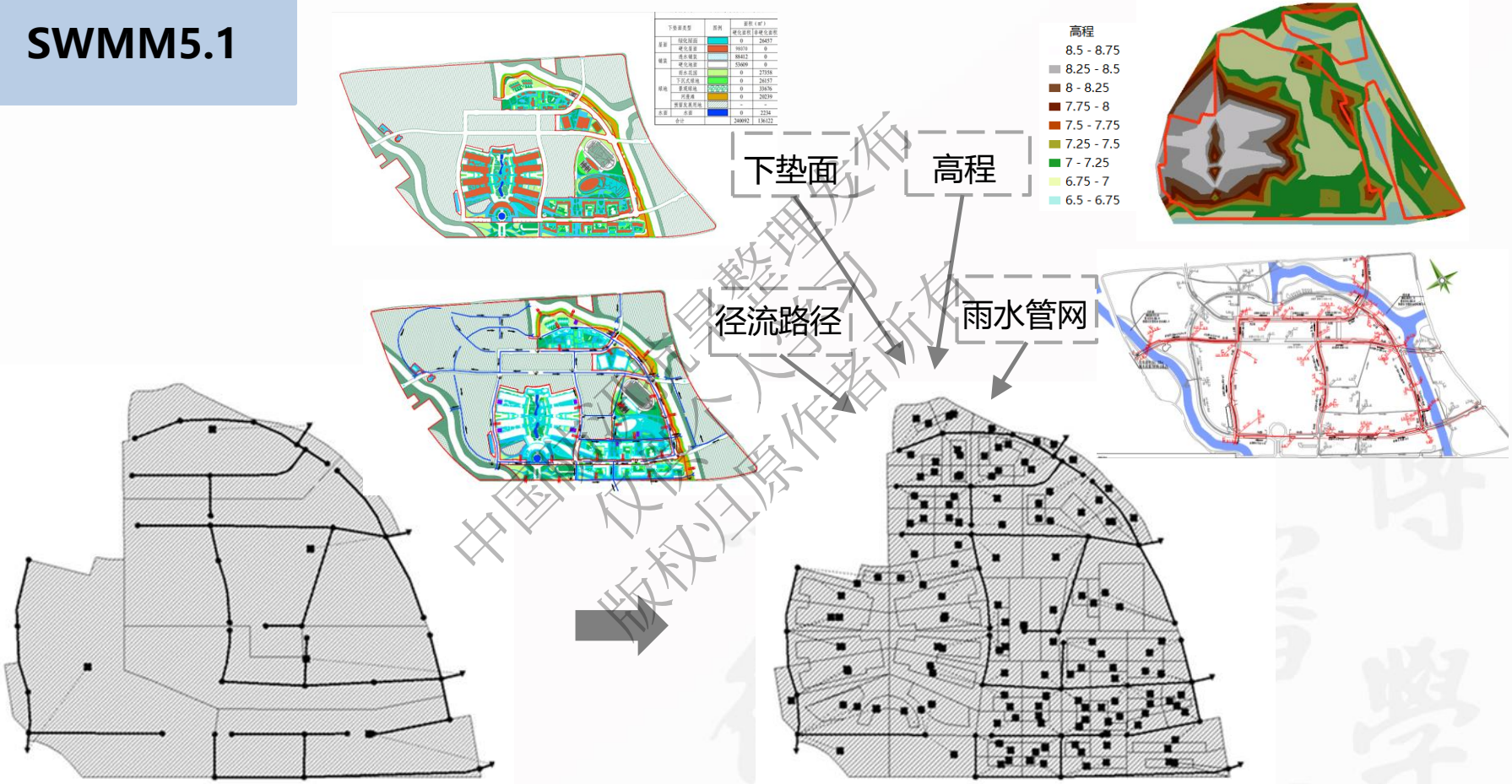
研究区概况

区域总面积101.75hm²，一期建设面积49.00hm²（硬化地面20.33hm²、草地15.22hm²、屋面13.45hm²），地面坡度0%-0.12%。

3. 模型构建

研究区域概化

SWMM5.1



开发前

开发后

区域划分为5个排水分区和146个子汇水区

雨水管网概化为5个排出口、40个节点检查井及37段管道

中国科学院导整理发布 仅供人人学习 版权归原作者所有

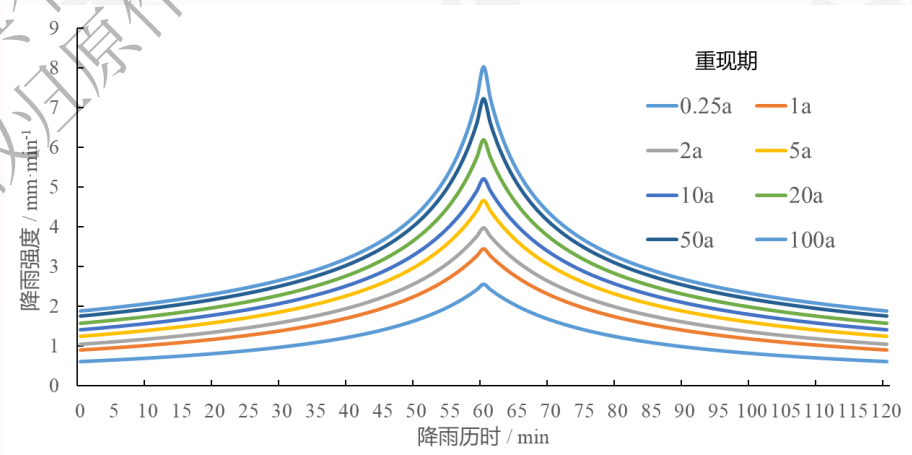
3. 模型构建

设计降雨

短历时设计雨型适用性[1]	
芝加哥雨型	更适用于推求设计国内**汇流面积相对小的城镇地区**；3 h左右的设计降雨历时最为准确
Huff雨型	适用大多数流域，但如果流域面积过大，须重点考虑空间分布；若降雨数据不足，极短历时雨型结果不准确
三角形雨型	主要应用于中小水库的暴雨设计
Pilgrim & Cordery雨型模型	更适用于推求设计汇流面积中等的流域；重现期相对较小、降雨历时相对较短的设计雨型

《广州市中心城区暴雨公式及计算图表》

重现期P/年	暴雨强度q/L·(s·hm^2)$^{-1}$
0.25	$6976.425/(t+17.660)^{0.972}$
1	$6366.875/(t+16.190)^{0.863}$
2	$5920.317/(t+14.646)^{0.815}$
5	$5411.802/(t+12.874)^{0.758}$
10	$5050.414/(t+11.610)^{0.717}$
20	$4161.139/(t+8.406)^{0.653}$
50	$3623.399/(t+6.274)^{0.598}$
100	$3293.741/(t+4.951)^{0.562}$



雨峰系数r取0.5，设计降雨历时120min，模拟时间步长1min，总模拟时间12h

中国防汛抗旱整理发布 仅供个人学习 版权归原作者所有

[1]严正宵,夏军,宋进喜,赵玲玲,庞国伟.中小流域设计暴雨雨型研究进展[J].地理科学进展,2020,39(07):1224-1235.

3. 模型构建

参数敏感性分析

修正的摩尔斯筛选法（Morris）

参数	
DstoreImperv	DstorePerv
NImperv	Nperv
Max Rate	Min Rate
Decay constant	Dry Time
Roughness	

→

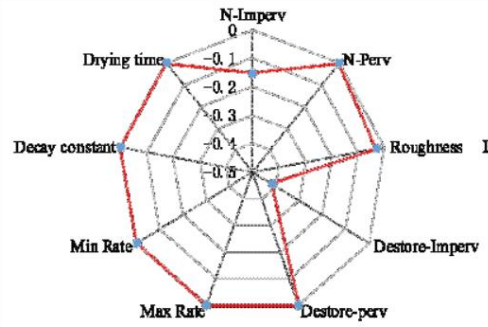
降雨数据
大雨（21mm）
中雨（18.1mm）
小雨（3.1mm）
暴雨（64.6mm）

→

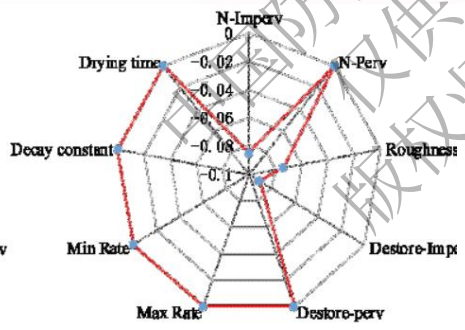
扰动值	
+30%	-10%
+20%	-20%
+10%	-30%

→

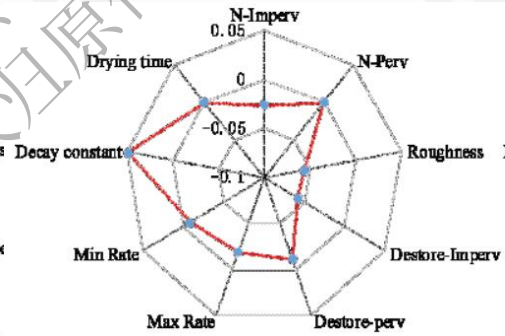
目标函数
径流总量



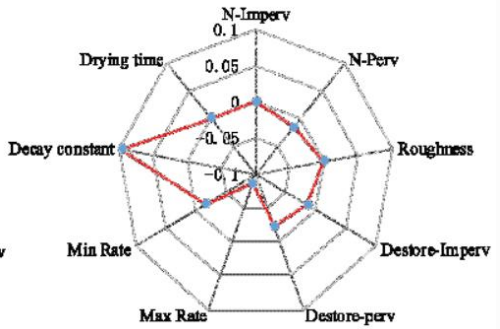
小雨



中雨



大雨



暴雨

对径流总量表现出敏感性的参数[1]：

N-Imperv、Roughness 、Destore-Imperv、Max Rate、 Decay constant

电子防汛技术整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

[1]付超. 基于SWMM模型的邯郸某区城市内涝模拟研究[D].河北工程大学,2020.

3. 模型构建

参数的率定与验证

2a设计降雨 → 初定参数 → 逐步迭代 → 筛去不合理结果

参数敏感性分析结果 → 逐步迭代

参数率定优化过程

次数	参数								目标综合径流系数	模拟综合径流系数
	子汇水区				Horton下渗模型					
	Dstore Imperv	Dstore Perv	N Imperv	Nperv	Max Rate	Min Rate	Decay constant	Dry Time		
0	2.5	4.5	0.013	0.24	78	8.5	3	5	0.4762	0.4926
1	3	4.5	0.013	0.24	78	8.5	3	5		0.4912
2	3.5	5.5	0.013	0.24	78	8.5	3	5		0.4885
3	3.5	6.5	0.013	0.24	78	8.5	3	5		0.4873
4	3.5	6.5	0.013	0.26	78.5	8.5	3	5		0.4843
5	3.5	6.5	0.013	0.28	78.5	8.5	2.8	5		0.4803
6	3.5	6.5	0.013	0.3	78.5	8.5	2.6	5		0.4761
7	3.5	6.5	0.013	0.3	78.5	8.5	2.61	5		0.4762

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

3. 模型构建

LID设施参数

下凹式绿地

海绵设施渗透层	模型参数	单位	参数取值
表面层	蓄水深度	mm	100
	表面粗糙度	/	0.2
	表面坡度	%	0.5
土壤层	壤层厚度	mm	150
	孔隙率	%	0.4
	田间持水率	%	0.35
	枯萎点	%	0.14
	导水率	mm/h	120
	导水率坡度	%	30
	吸水水头	mm	5.5
蓄水层	蓄水深度	mm	100
	孔隙比	/	0.4
	渗水速率	mm/h	110
	堵塞因子	/	0

雨水花园

海绵设施渗透层	模型参数	单位	参数取值
表面层	蓄水深度	mm	150
	表面粗糙度	/	0.2
	表面坡度	%	0.5
土壤层	壤层厚度	mm	500
	孔隙率	%	0.45
	田间持水率	%	0.35
	枯萎点	%	0.14
	导水率	mm/h	150
	导水率坡度	%	30
	吸水水头	mm	5.5

透水铺装

海绵设施渗透层	模型参数	单位	参数取值
表面层	蓄水深度	mm	10
	表面粗糙度	/	0.03
	表面坡度	%	0.05
路面层	路面厚度	mm	120
	孔隙比	/	0.19
	不渗透表面数	%	0
	渗透速率	mm/h	280
	堵塞因子	/	0
蓄水层	蓄水深度	mm	300
	孔隙比	/	0.4
	渗水速率	mm/h	100
	堵塞因子	/	0

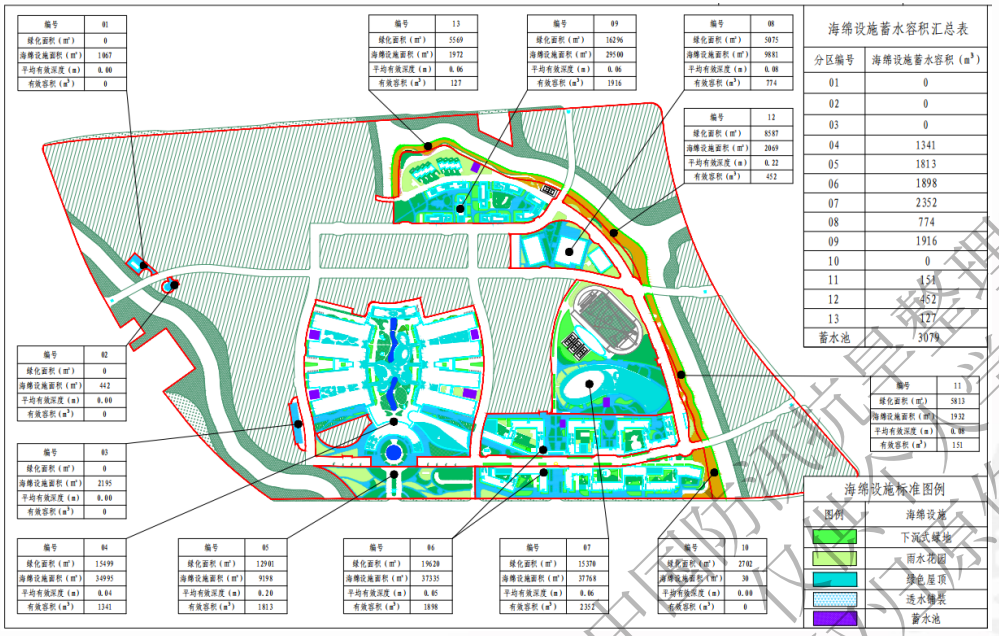
绿色屋顶

海绵设施渗透层	模型参数	单位	参数取值
表面层	蓄水深度	mm	60
	表面粗糙度	/	0.24
	表面坡度	%	1
土壤层	壤层厚度	mm	200
	孔隙率	%	0.435
	田间持水率	%	0.25
	枯萎点	%	0.135
	导水率	mm/h	120
	导水率坡度	%	30
	吸水水头	mm	5.5
排水垫层	厚度	mm	200
	空隙分数	%	0.5
	粗糙度	/	0.1

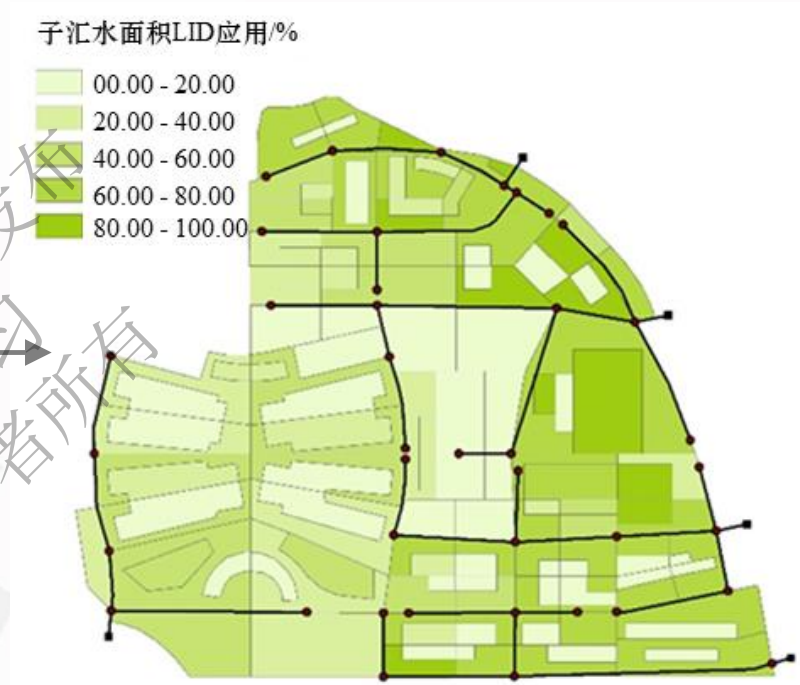
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

3. 模型构建

LID设施的布置

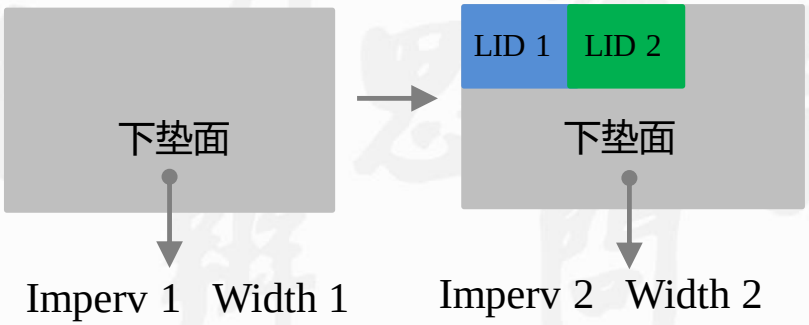


分区编号	海绵设施蓄水容积（m^3）
01	0
02	0
03	0
04	1341
05	1813
06	1898
07	2352
08	774
09	1916
10	0
11	151
12	452
13	127
蓄水池	3079



LID设施应用比率

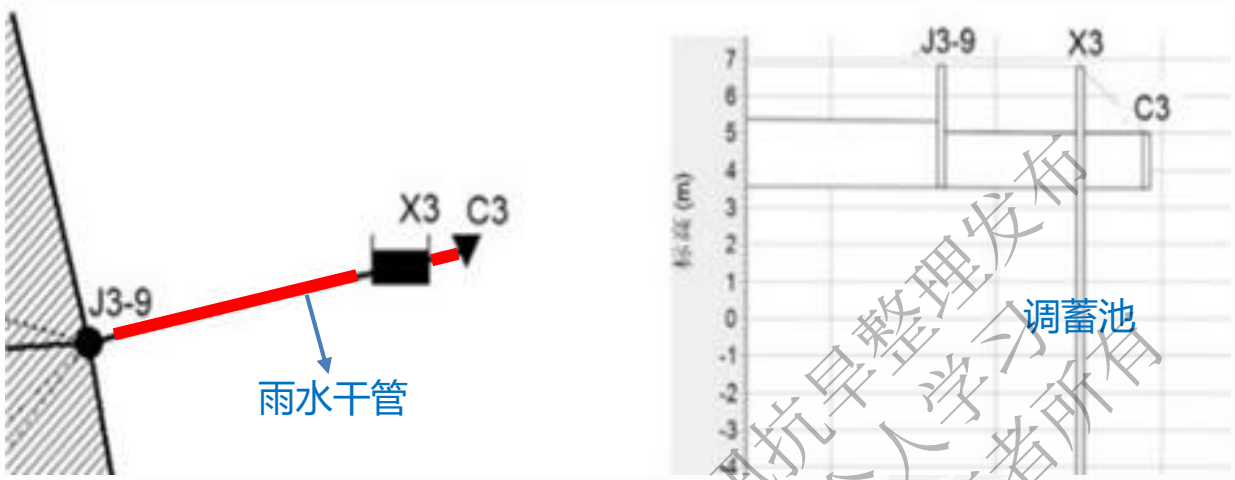
下凹式绿地率	15.49%
雨水花园率	14.71%
透水铺装率	64.00%
绿色屋顶率	23.57%



中国防洪抗旱管理发布
仅供大学习
版权归原作者所有

3. 模型构建

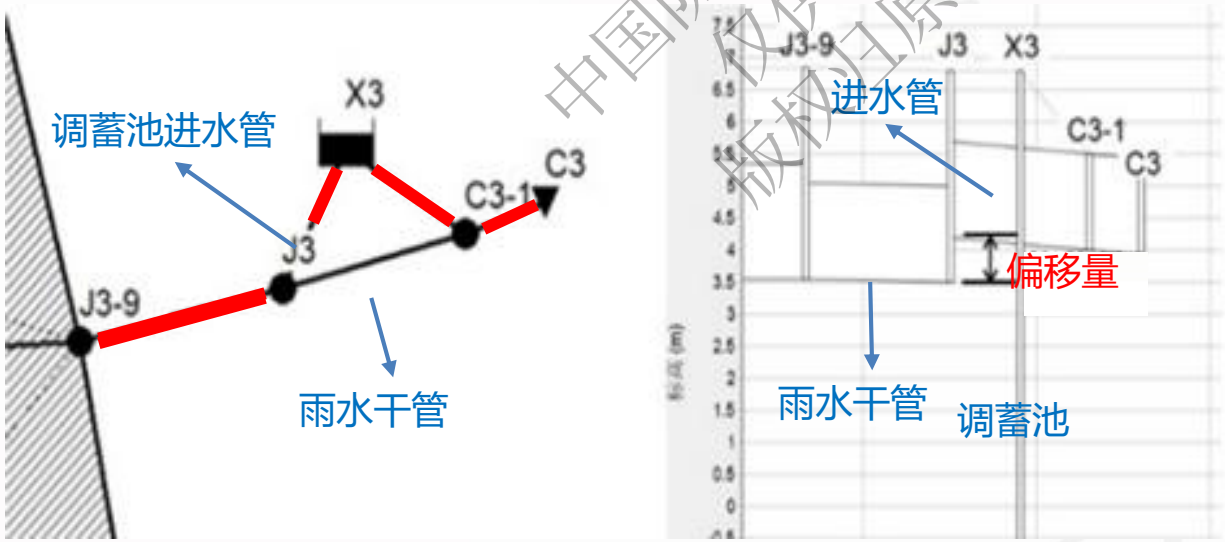
调蓄池的设置



截留式调蓄池

容积设置标准：

450、500、525、550、600、650、675、700 m^3/万m^2硬化面积



分流式调蓄池

容积设置标准：

200、250、300、350、400、450、500、550 m^3/万m^2硬化面积

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

目录

1. 研究背景

2. 技术路线

3. 模型概化

4. 结果与讨论

5. 总结与展望

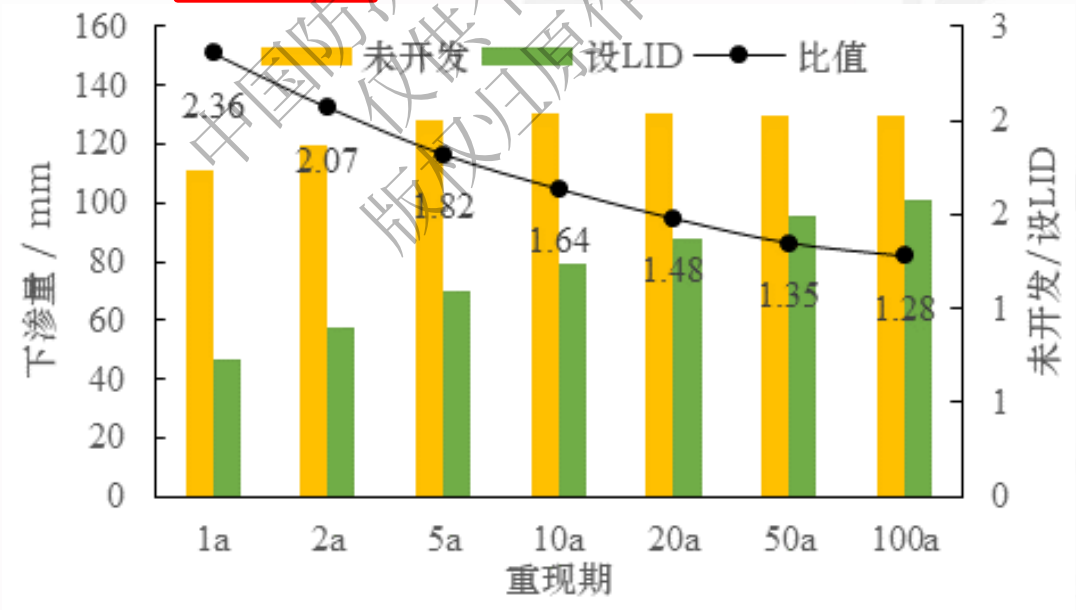
国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

4.结果与讨论

LID设施的流量控制效果

设置LID设施 / 开发前（比值）

重现期		1a	2a	5a	10a	20a	50a	100a
流量总量	地表径流总量	2.6592	2.0269	1.5847	1.3866	1.2356	1.1302	1.0813
	系统出流总量	2.6491	2.0260	1.5841	1.3874	1.2367	1.1314	1.0833
流量峰值	地表径流峰值	2.8576	2.4808	2.1645	1.9921	1.8571	1.7450	1.6889
	系统出流峰值	2.8752	2.4910	2.1747	2.0031	1.8675	1.7544	1.6975

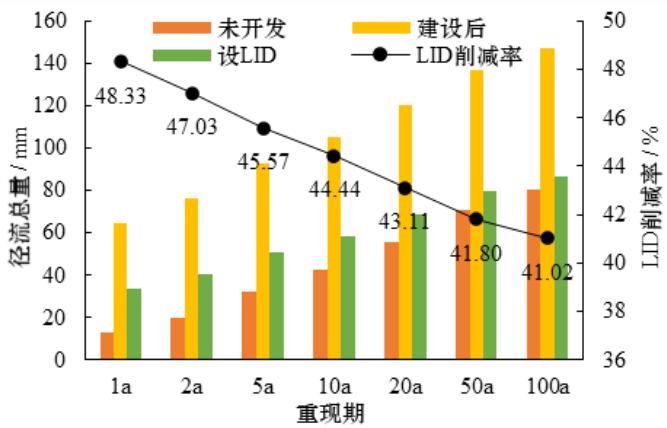


区域总下渗量（12h）

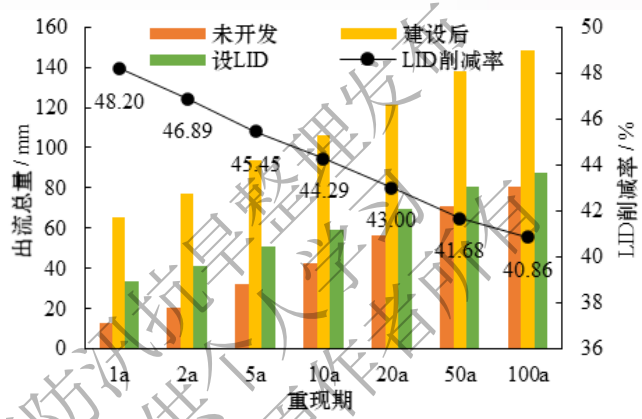
中国防洪抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

4.结果与讨论

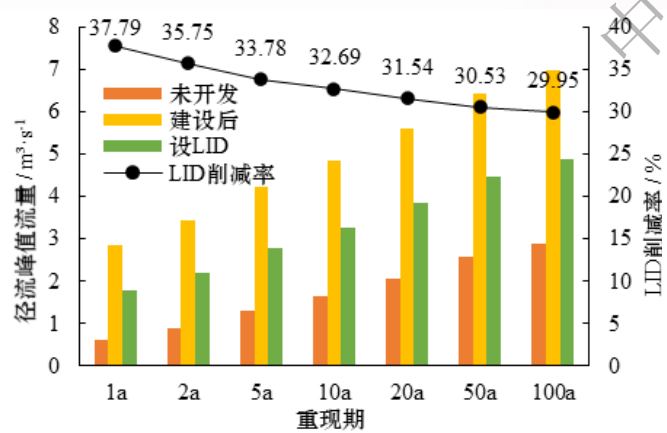
LID设施的流量控制效果



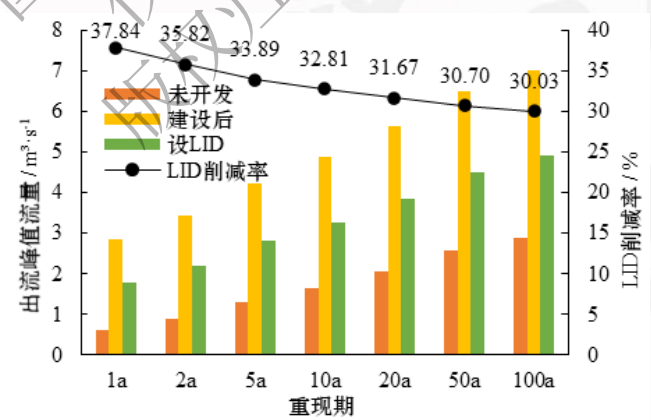
径流总量



出流总量



径流峰值



出流峰值

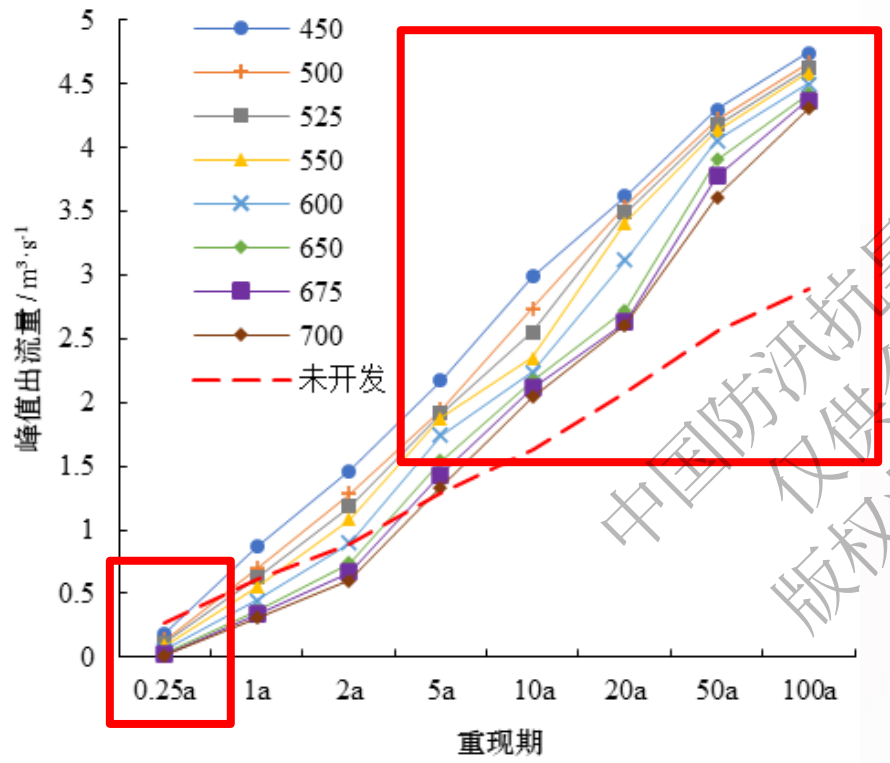
无法使开发建设后区域的水文特征恢复接近至开发前

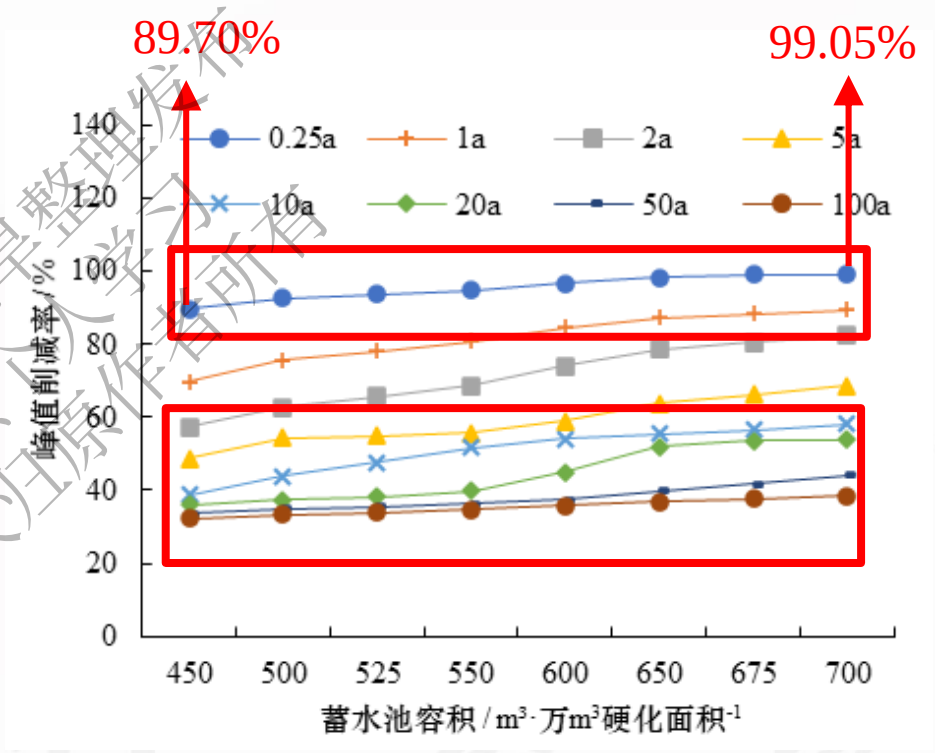
雨水管网末端设置调蓄池

中国防汛抗旱整理发布 仅供个人学习 版权归原作者所有

4.结果与讨论

调蓄池对流量峰值的控制 截留式调蓄池





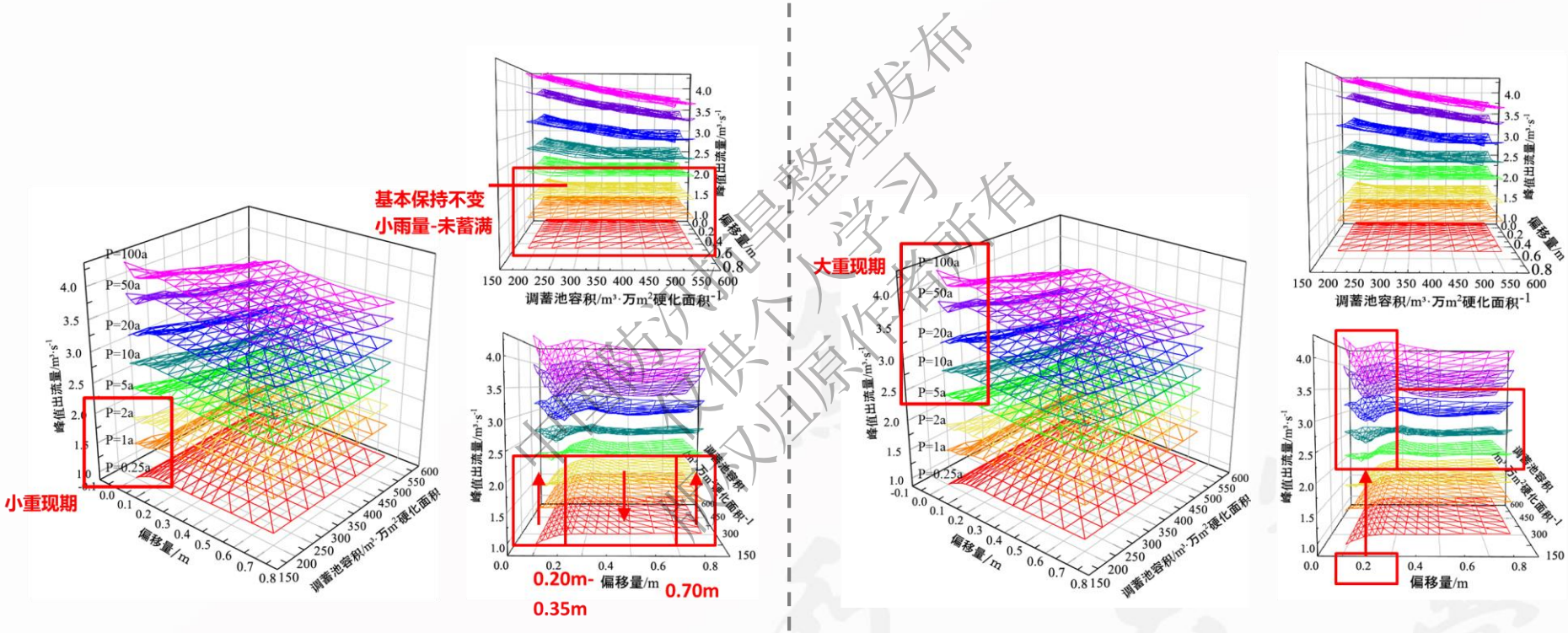
中国防汛抗旱整理发布
仅供人民学习
版权归原作者所有

不同容积调蓄池在不同重现期设计降雨条件下的系统出流量峰值

不同容积调蓄池在不同重现期设计降雨条件下的峰值削减率

4.结果与讨论

调蓄池对流量峰值的控制　分留式调蓄池

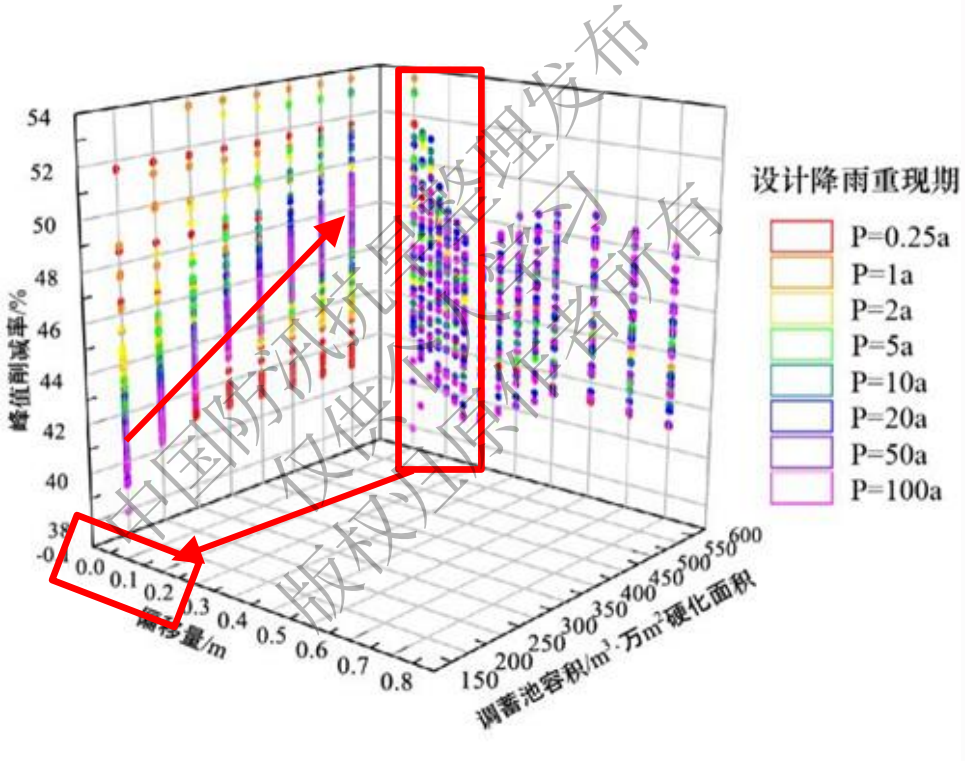


不同重现期降雨条件下设置不同容积及偏移量调蓄池的**系统出流量峰值**

中国知网早整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

4.结果与讨论

分流式调蓄池峰值流量削减率



不同重现期下设置不同容积及偏移量的调蓄池对系统出流峰值的削减率（散点XZ、YZ投影）

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

4.结果与讨论

基于控制指标的方案选择

分流式调蓄池适宜偏移量

容积设置标准	降雨重现期	适宜偏移量
小于400m³/万m²硬化面积	20a以内	不超过0.05m
	大于20a	0.50m-0.60m
大于400、小于400-500m³/万m²硬化面积	50a以内	不超过0.05m
	大于50a	0.40m-0.60m
大于500m³/万m²硬化面积	任意重现期	0.00m

《广州市海绵城市专项规划（2016-2030）》

年径流总量控制率80%，对应的设计降雨41mm

↓

研究重现期0.25a

建设成本 →

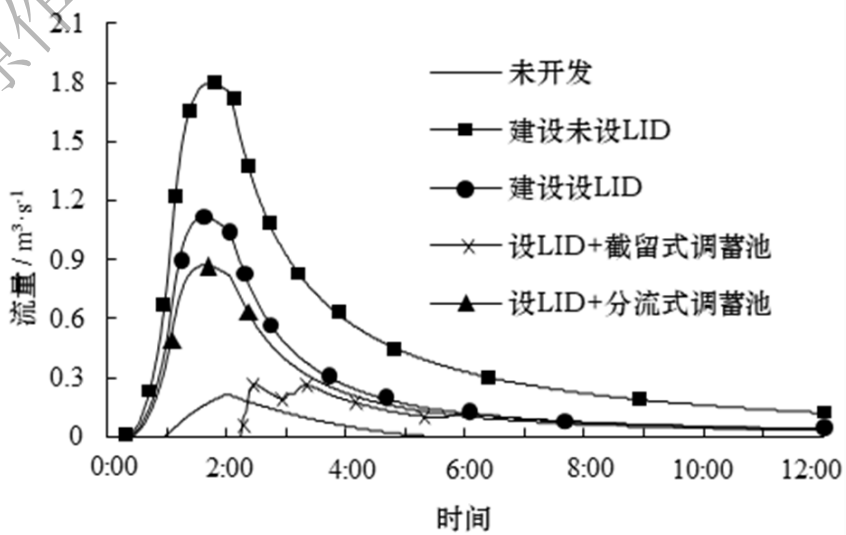
↓

截流式调蓄池：380m³/万m²硬化面积

（峰值流量恢复）

分流式调蓄池：350m³/万m²硬化面积，0m偏移量

（恰能蓄满 削减率最高）



0.25a重现期设计降雨条件下区域不同建设情况时系统出流量过程

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

目录

1. 研究背景

2. 技术路线

3. 模型构建

4. 结果与讨论

5. 总结与展望

国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

5. 总结与展望

1 区域设计设置的LID设施可在一定程度上控制源头径流并削减流量总量和峰值
但仅设置LID设施不能将区域的**水文特征恢复接近至开发前**

↓

需设置雨水调蓄池

2 在各研究降雨量下

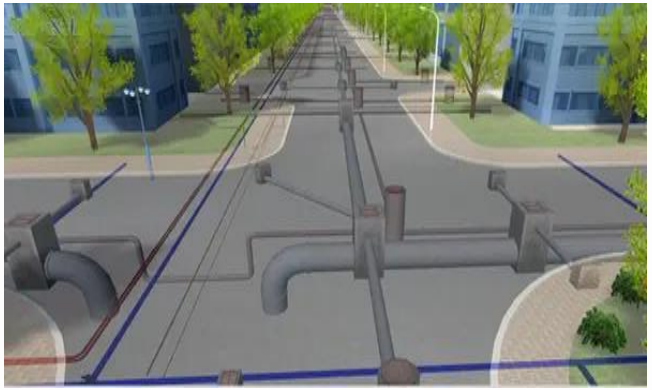
- 当调蓄池容积一定，对于总降雨量小于调蓄池容积的场次降雨，截流式调蓄池对系统出流量峰值的削减效果优于分流式调蓄池，对于总降雨量大于调蓄池容积的场次降雨，分流式调蓄池对系统出流峰值的削减效果优于截流式调蓄池。
- 对于不同设计重现期的降雨，各容积的分流式调蓄池均存在一个使峰值流量削减率达到最大的最优偏移量。

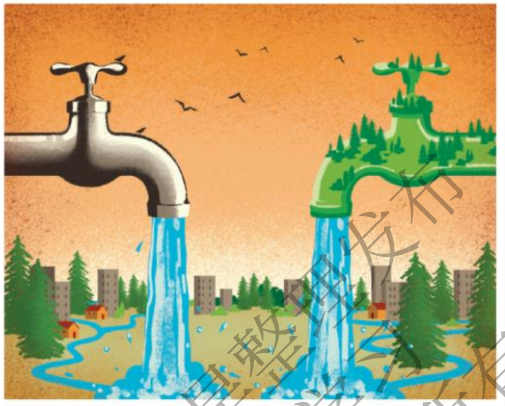
↓

其他各地区选择何种形式及容积的调蓄池还应依据
当地多年**降雨数据**及**海绵文本**进行确定

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

5. 总结与展望





WATER

Water security: Gray or green?

海绵城市建设秉承低影响开发的理念，绿色基础海绵设施是特色，灰色基础设施是不可或缺最有作用的部分，调蓄池作为灰色基础设施中的一部分，能够有效调控出流总量、峰值流量及外排雨水的水质，若将其蓄存的雨水进行资源利用可在一定程度上缓解区域的供水压力。

针对不同的区域条件，选取合适的调蓄池有助于最大程度地体现区域海绵城市的建设理念。

中国药汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

谢谢各位专家，敬请批评指正！

中国防汛抗旱监测发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

林凯荣

E-mail: linkr@mail.sysu.edu.cn