中国水利水电科学研究院
China Institute of Water Resources and Hydropower Research

城市洪涝灾害损失评估方法研究

汇报人：刘家宏

中国防汛抗旱杂志社发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

中国水利水电科学研究院
流域水循环模拟与调控国家重点实验室
2021年10月11日

目录

1 研究背景

2 城市洪涝一二维水动力耦合模型构建

3 基于耦合模型的城市洪涝灾害经济损失

4 基于交通影响评估的城市洪涝灾害间接损失

5 结论与展望

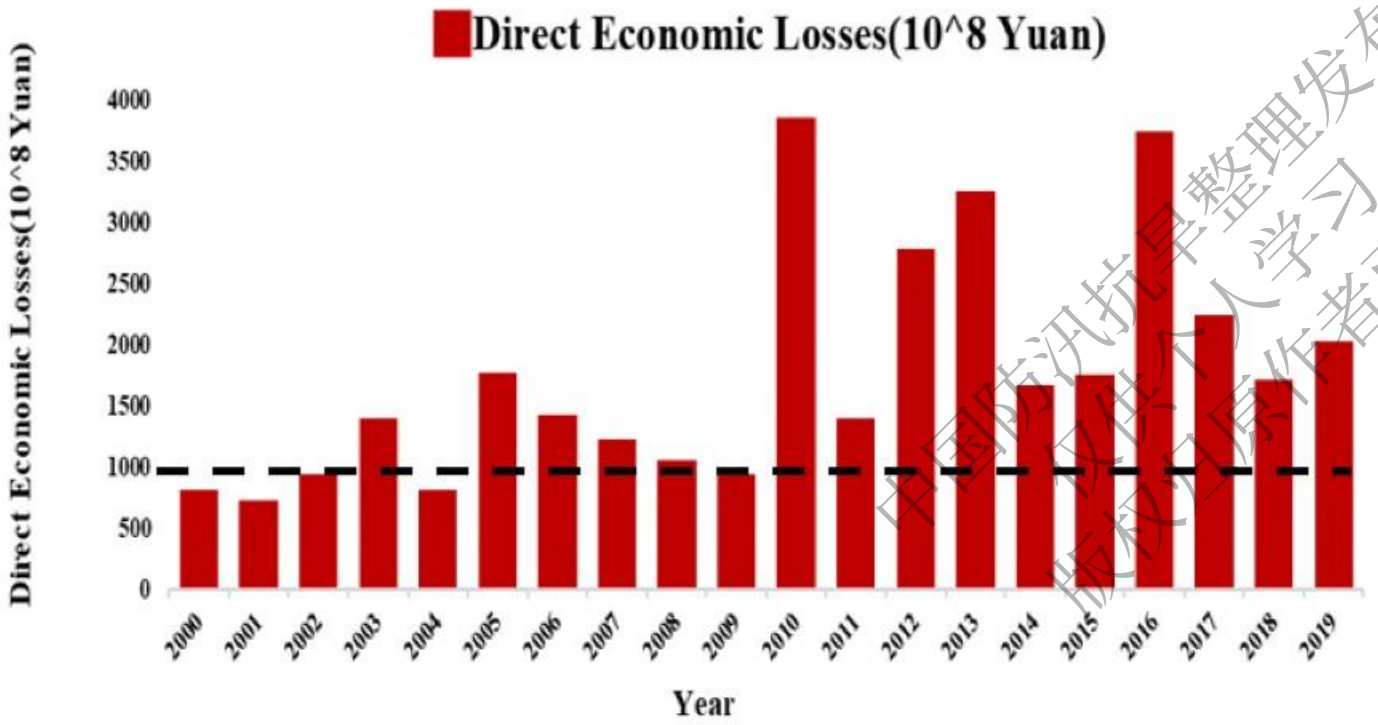
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

城市洪涝灾害的发生愈发频繁

- 在全球气候变化的背景下，研究表明从1961年至2020年，我国极端强降雨事件呈增多趋势（中国气候变化蓝皮书，2021），极端降雨事件往往历时短、强度大；
- 城镇化建设改变了城市下垫面条件，引起了局部气候条件和水文循环的变化（张建云等，2016）
- 城市防洪排涝系统与应急管理体系的不完善也是造成城市洪涝灾害的客观原因（李超超等，2019）
- 城市洪涝灾害损失**评估方法**主要包括：数值模型、神经网络、遥感技术等各种方法（高凯等，2021）

近年来影响较大的城市洪涝事件

中国防汛抗旱数理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有



2000-2019年洪涝灾害直接经济损失(亿元)

频发的城市内涝问题造成的直接和间接损失越来越大，640多个城市面临不同程度的洪涝风险。人口超千万的河南省郑州市，2021年发生了“7.20”特大暴雨事件，导致直接经济损失高达655亿人民币，并造成了严重的人员伤亡。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

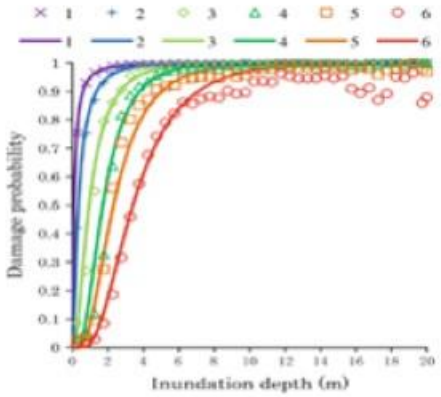
①城市洪涝灾害损失评估研究

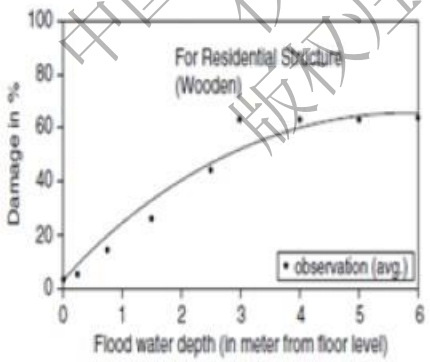
直接经济损失

直接经济损失，表征因洪水直接造成的物质与财产方面的损失，一般是通过实际物质或者财产的损失表现，同时由于洪灾发生时直接经济损失计量起来方便，表现形式直观，一般也是洪涝灾害经济损失评估的中心内容（王宝华，2008）。

间接经济损失

间接经济损失，表征因直接经济损失而附带的次生损失，一般是指生产生活或服务性活动被影响所造成的难以量化的经济损失，其中洪涝造成交通路网的中断、拥堵和速度下降等是典型的的间接经济损失。





损失率函数

洪涝造成道路积水

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

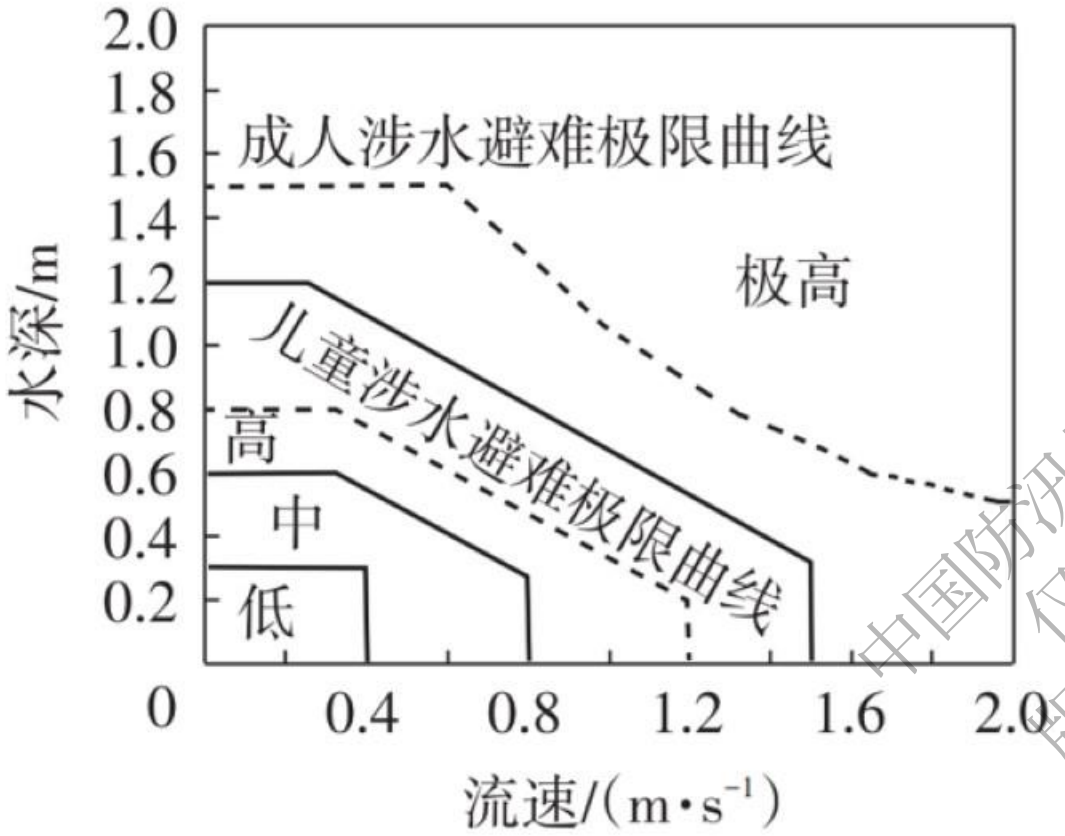


图1 澳大利亚沿避难路线的洪水危险等级划分*

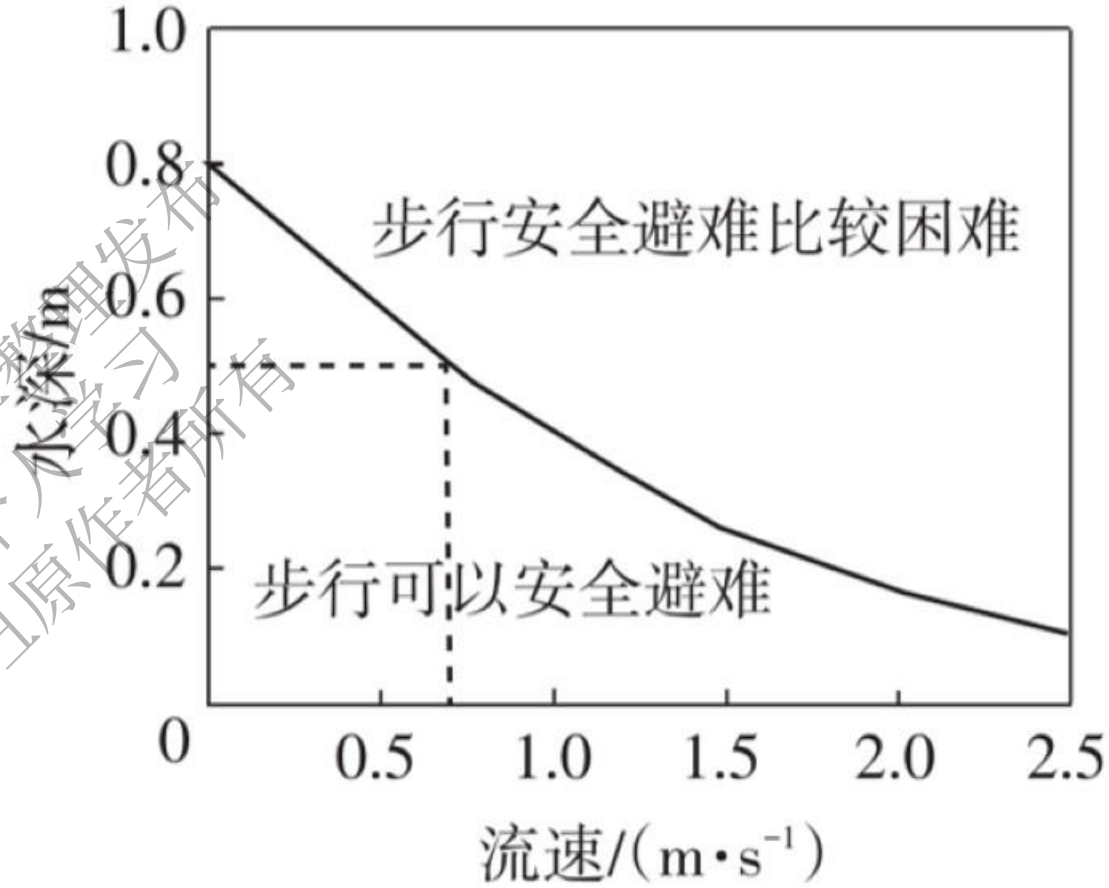


图2 日本步行避难困难度与水深、流速关系*

*王静,李娜,王杉.洪水危险性评价指标与等级划分研究综述[J].中国防汛抗旱,2019,29(12):21-26.

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②城市洪涝模型——原理和机制

城市洪涝模型根据求解方程和模拟对象的差异一般分为一维模型、二维模型和耦合模型三种形式（陈文杰，2019）。

一维模型

方法：求解圣维南方程组模拟河道和管道水流的运动规律。

不足：无法详细模拟内涝在地表的分布。

常见模型：SWMM，ILLUDAS，MOUSE等。

二维模型

方法：求解二维浅水流动方程模拟洪水在地表的运动状态。

不足：无法模拟水流在排水管网中的流动状态。

常见模型：FLO-2D，LISFLOOD-FP，TELEMAC-2D等。

一、二维耦合模型

方法：将一维模型和二维模型耦合起来进行模拟的模型。

不足：时间空间耦合难度较大，结构耦合困难。

常见模型：IFMS/Urban，InfoWorks ICM，MIKE等。

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城市洪涝灾害损失评估——困难和挑战

城市洪涝灾害损失评估近年来在计算理论上取得了较大进步，发展日趋成熟，但是在**区域损失空间具体分布**以及**间接损失的细化层面**等方面仍然存在一些尚待优化和解决的问题，主要体现在以下两个方面：

1. 目前对于城市洪涝灾害损失评估中，对于研究区的灾害损失往往从大尺度或区域总和层面展开，例如经济数据、淹没信息、损失函数等都是聚合统计，缺乏小尺度空间内的灾害损失信息，因此需要更低尺度的空间处理方法才能得到灾害损失的具体分布。

2. 已有研究大多是围绕直接经济损失展开，但随着海绵城市、韧性城市与智慧城市的建设，洪涝灾害带来的直接冲击将有所减少，而相对的间接经济损失例如交通路网、物流通讯等的损失会更加严重，但这方面的具体研究尚显不足。因此，在间接损失层面还有较大的探索空间。

中国防汛抗旱整理发布
仅供入学习
版权归原作者所有

2 城市洪涝一二维水动力耦合模型构建

- 城市洪涝一二维水动力耦合模型原理
- 模型数据及概化方法
- 模型合理性验证
- 城市洪涝模拟情景结果分析

中国防汛抗旱管理发展
仅供个人学习
版权归原作者所有

①降雨产流与地表汇流模块

TELEMAC-2D模块是一个二维浅水波方程求解器，经过数十年迭代研发，在二维水动力学领域展现出良好的性能。本文构建的模型采用该模块进行降雨产汇流过程的计算。

- ✓ 由法国国家水力学与环境实验室研发
- ✓ 是TELEMAC-MASCARET系列的一个子模块
- ✓ 具备泥沙、水质、点源等水动力模拟性能
- ✓ 在河流、湖泊、潮汐等领域有着广泛的应用
- ✓ 主要采用有限元离散方法并提供多种求解方法
- ✓ 模型代码开源，可读性强，维护方便

中国防汛抗旱整理分享
仅供个人学习
版权归原作者所有

$$Q=\frac{(P-\lambda S)^2}{P+(1-\lambda)S}$$

$$S=25.4\times\left(\frac{1000}{CN}-10\right)$$

SCS产流方法

二维浅水方程

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial(hu)}{\partial x}+\frac{\partial(hv)}{\partial y}=Sce$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial Z}{\partial x}+F_x+\frac{1}{h}div(hv_e\nabla u)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial Z}{\partial y}+F_y+\frac{1}{h}div(hv_e\nabla v)$$

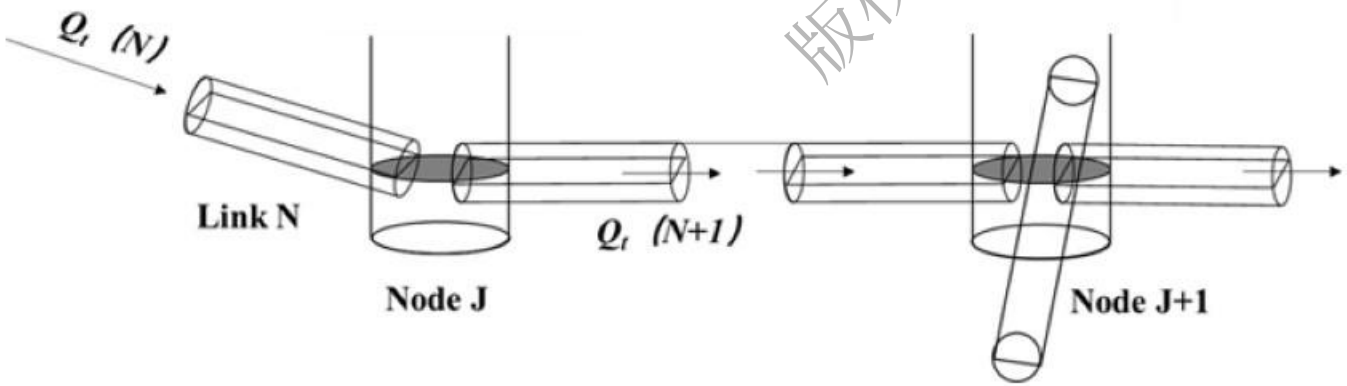
②管网汇流模块

EXTRAN模块是SWMM模型的一个非恒定流计算模块，在一维水动力学计算领域以其代码开源、适用性强特点得到了广泛的应用和实践。本文构建的模型采用该模块进行管网汇流过程的计算。

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q_L$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial\left(Q^2/A\right)}{\partial x}+gA\frac{\partial H}{\partial x}+gAS_f=q_L v_x$$

一维圣维南方程

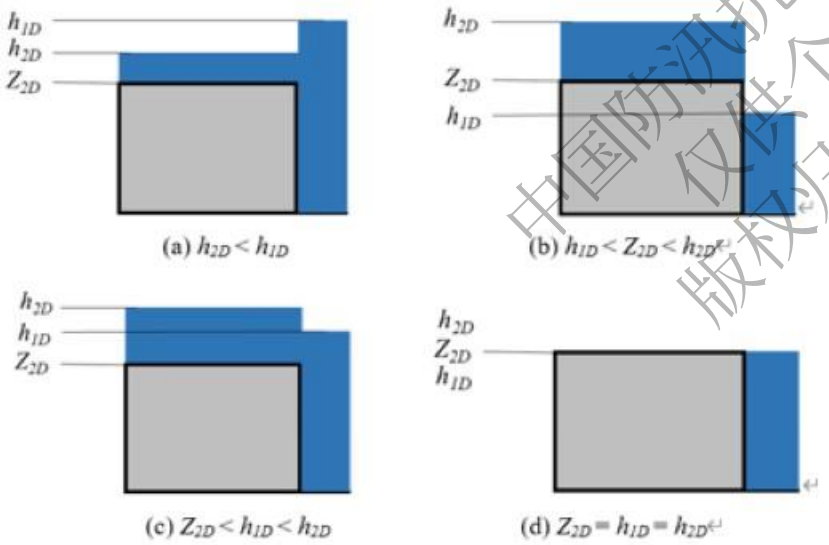


“节点-管渠”机制
(Chen X et al, 2017)

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

③城市洪涝水动力模型耦合方法

- 由于排水管网与地表的连接方式都是垂直的，所以动量的交换可以忽略不计，在进行模型耦合计算时只考虑水量的交换。
- 根据地表积水和排水管道中水位大小关系的不同情况，一维管道和二维地表之间的水量交换分别采用溢流公式和回流公式计算。



地表与排水管网的水流交换示意图（改绘自Albert S et al, 2007）

节点溢流公式：

$$Q_n = c_0 A_{mh} \sqrt{2g\left(h_{1D} - h_{2D}\right)}$$

节点回流公式：

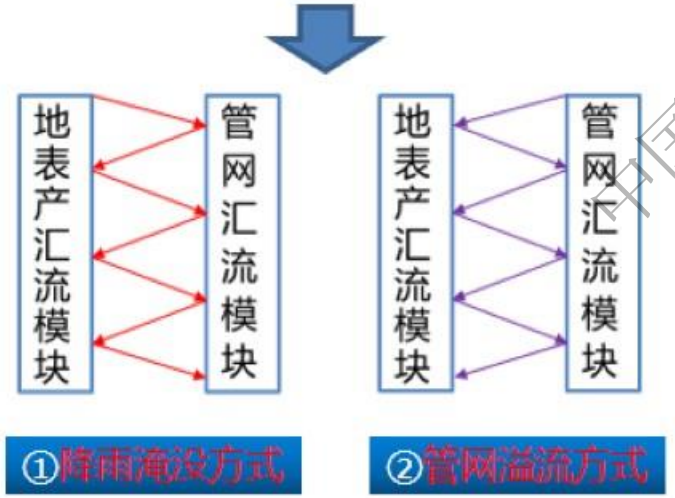
$$Q_n = \begin{cases} c_w w h_{2D} \sqrt{2g h_{2D}} \\ c_0 A_{mh} \sqrt{2g\left(h_{2D} - h_{1D}\right)} \end{cases}$$

中国防汛抗旱数字发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

③城市洪涝水动力模型耦合方法

时间耦合

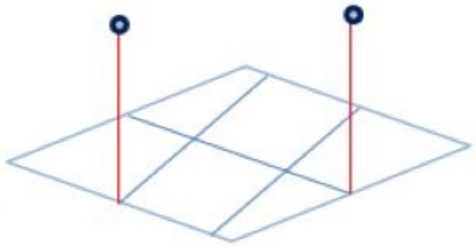
以不同的状态值来控制不同模块的运行状态，实现两个模块时间上的一致性。



耦合模型的两种运行方式

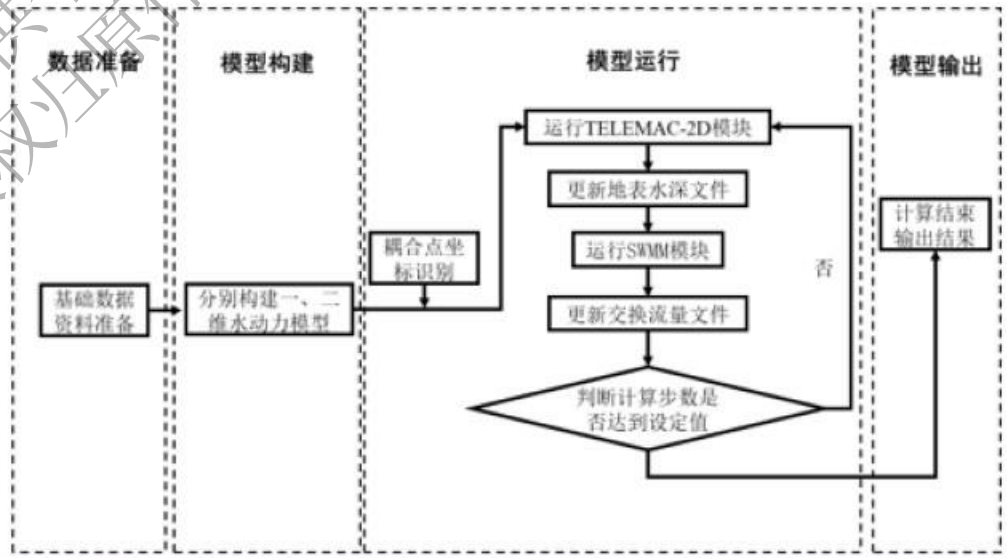
空间耦合

利用TELEMAC-2D模块的寻找最近网格点函数，自动识别并确定其一维节点和二维网格坐标的一一对应关系。



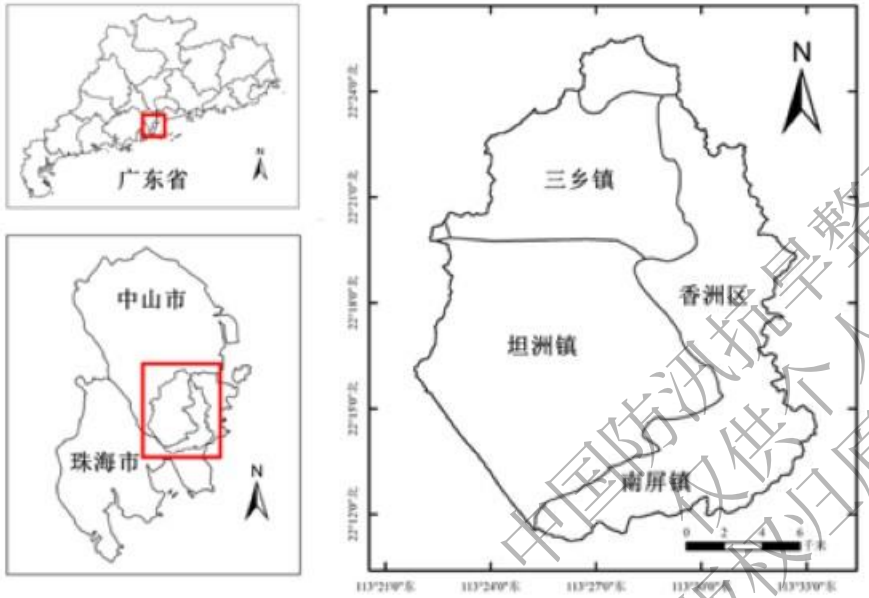
自动寻找最近网格点函数

城市洪涝水动力耦合模型全流程

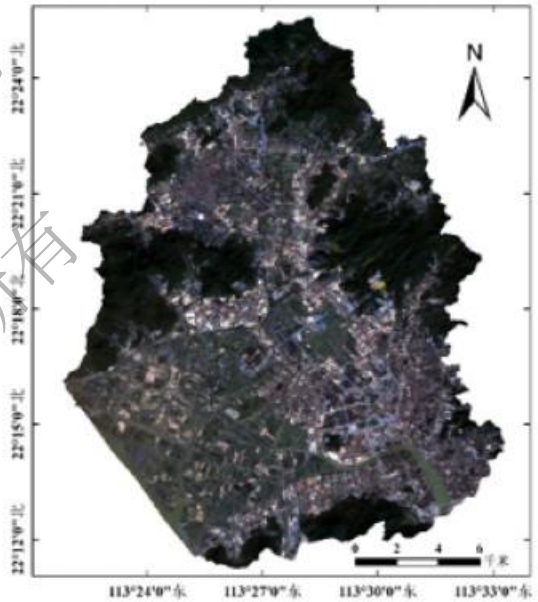


中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

①研究区概况与数据：前山河流域



前山河流域区位图



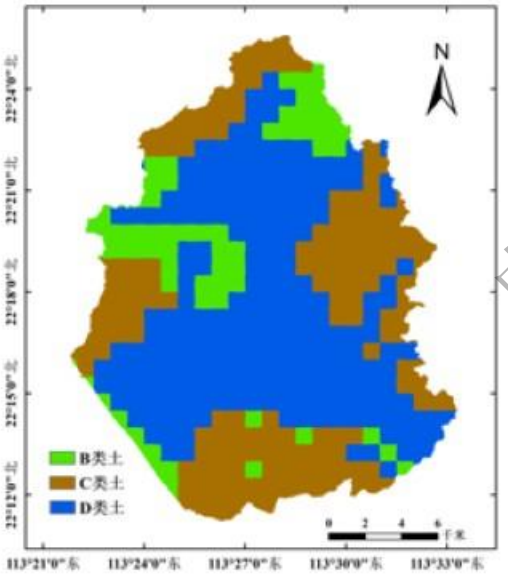
前山河流域遥感影像

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

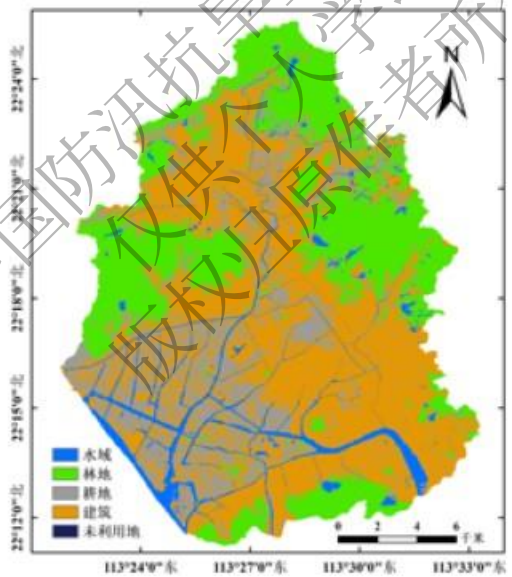
- ✓ 横跨广东省中山市与珠海市，中珠跨界区域为城镇建设密集区，总面积328.18km^2
- ✓ 属于亚热带海洋性季风气候，气候温和，降雨丰沛，多年平均降雨量为2065.0mm
- ✓ 洪水顶托会加剧流域洪涝灾害，但普降暴雨是形成大面积洪涝灾害的根本原因

①研究区概况与数据：前山河流域

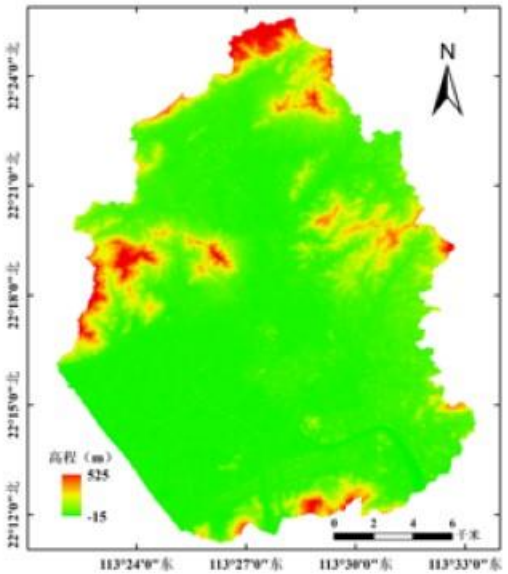
- ✓ 从寒区旱区科学数据中心获取土壤类型数据，根据SCS模型方法划分水文土壤分组
- ✓ 根据高分一号遥感卫星，采用监督分类、目视解译的方法得到土地利用类型
- ✓ 从地理空间数据云网站下载DEM，并进行适当的填洼处理，以提高DEM的准确性



水文土壤分组



土地利用类型



高程

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

①研究区概况与数据：前山河流域

二维模型参数

CN值设置

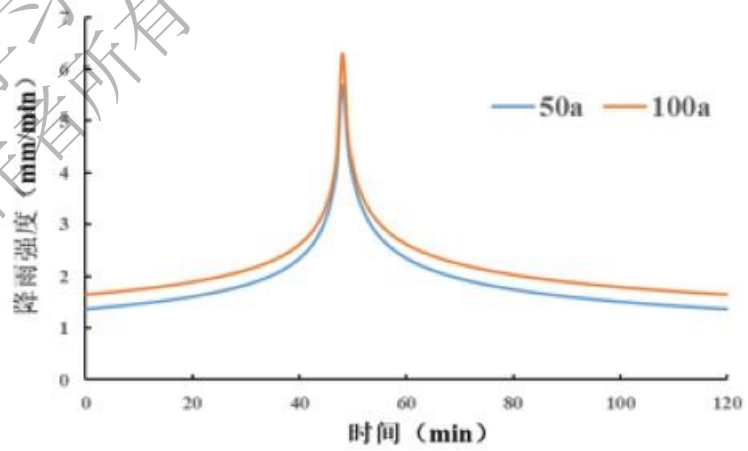
CN值	B类土	C类土	D类土
水域	98	98	98
林地	55	70	77
耕地	78	85	89
建筑	90	94	96
未利用地	86	91	94

曼宁系数设置

土地利用类型	水域	林地	耕地	建筑	未利用地
曼宁系数	0.015	0.5	0.05	0.2	0.05

设计暴雨强度公式

$$q=\begin{cases}1327.817/(t+3.105)^{0.295}, P=50\text{a}\\ 1257.343/(t+2.004)^{0.257}, P=100\text{a}\end{cases}$$

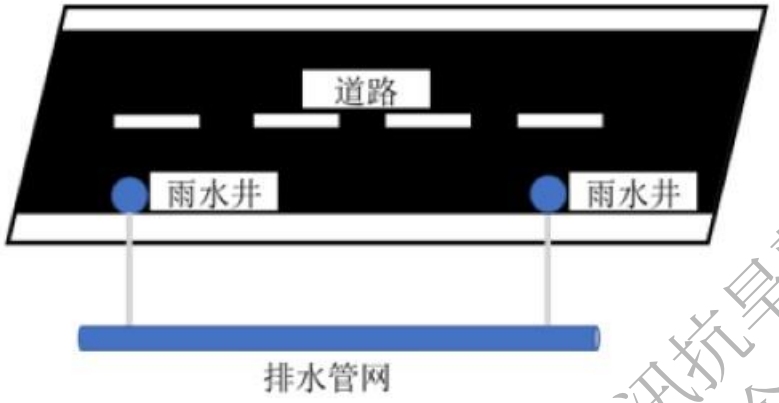


50a、100a一遇2h设计暴雨过程

✓ 50a一遇以及100a一遇的降雨总量分别为232.39mm和265.01mm

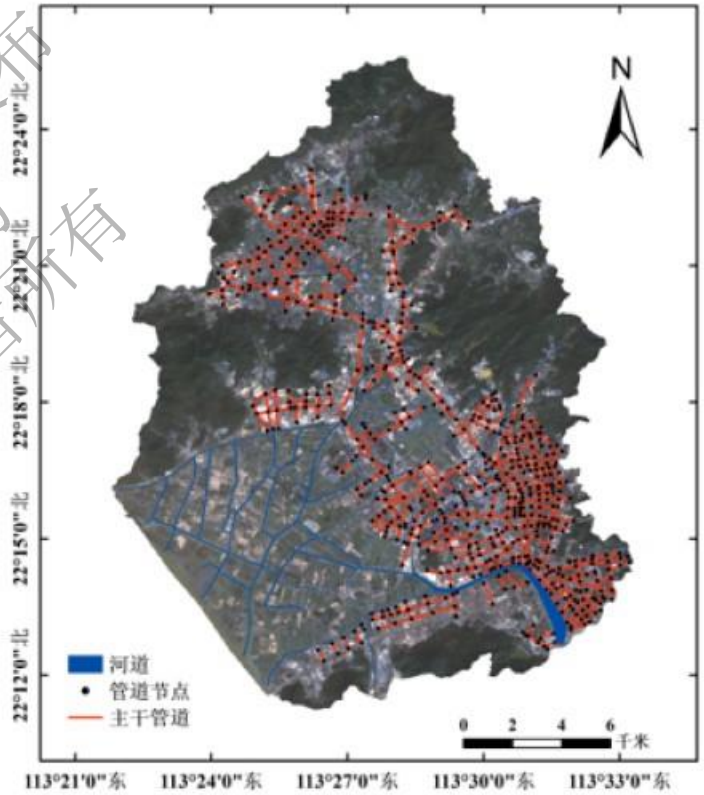
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②模型概化方法



“道路管网”方法示意图（改绘自李泽锦,2020）

- ✓ 使用SWMM-EXTRAN模块构建一维部分，使用TELEMAC-2D模块构建二维部分。
- ✓ 流域南部自由出流边界条件，初始地表无积水，前期土壤含水量为中等（即AMC-II），模拟计算时长360min。

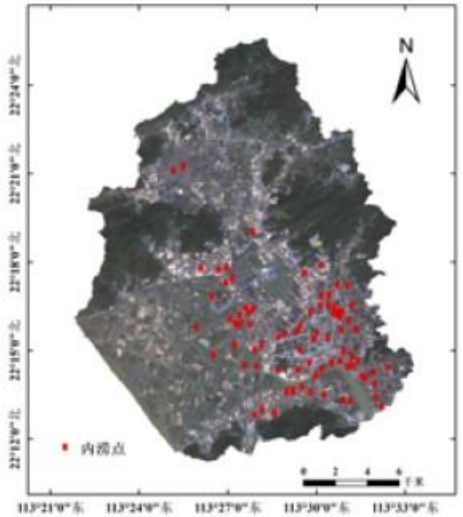


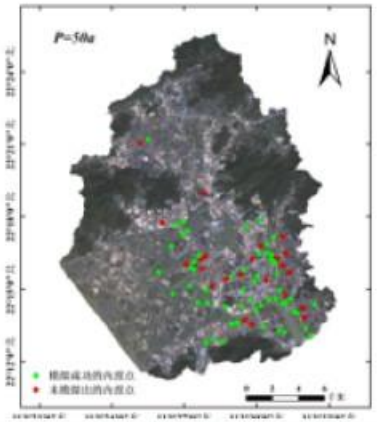
前山河流域主干管网与河道

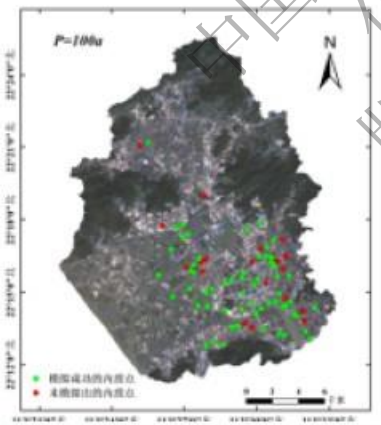
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

①内涝点验证

前山河流域内涝点







两场设计降雨模拟结果与内涝点进行验证

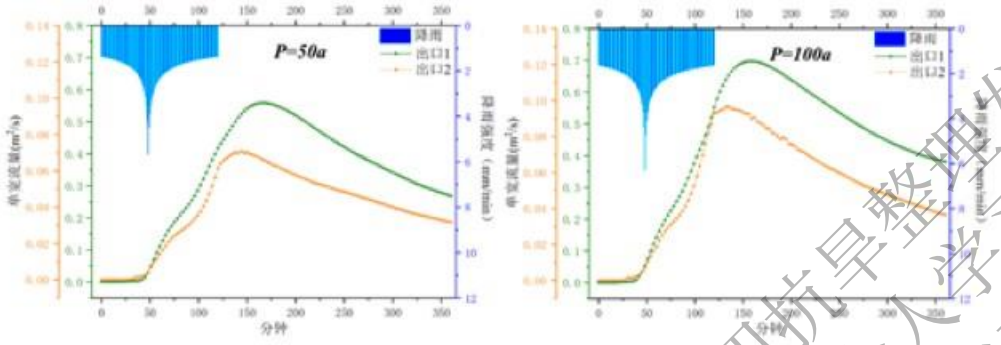
模拟精度验证的积水点数量

积水深度 /cm	50年一遇		100年一遇	
	内涝点个数	平均水深 /cm	内涝点个数	平均水深 /cm
0～15	22	4	20	3
15～30	25	22	24	23
>30	34	67	37	70

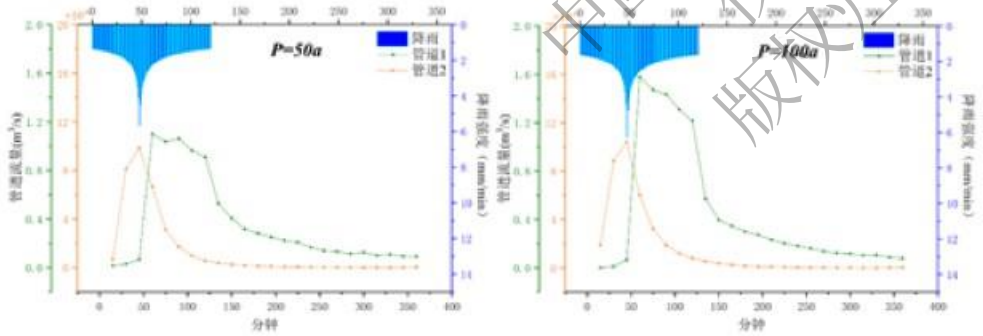
- ✓ 本文建立的城市洪涝模型对内涝点的精度均达到了70%以上，同时在内涝点个数与深度上也符合客观认知，表明模型的模拟结果是较为精确的，模型具有一定的可靠性

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②径流系数与水流过程验证



两场设计降雨下出口流量过程



两场设计降雨下管道流量过程

两场设计降雨下前山河流域径流系数

重现期	50a一遇	100a一遇
径流总量（10^7m^3）	5.15	5.93
降雨总量（10^7m^3）	9.09	10.36
径流系数	0.57	0.58

- ✓ 本文建立的城市洪涝模型径流系数处于合理范围，流域出口流量过程与管道流量过程模拟结果符合城市洪水的基本规律，验证了模型的稳定性与可靠性

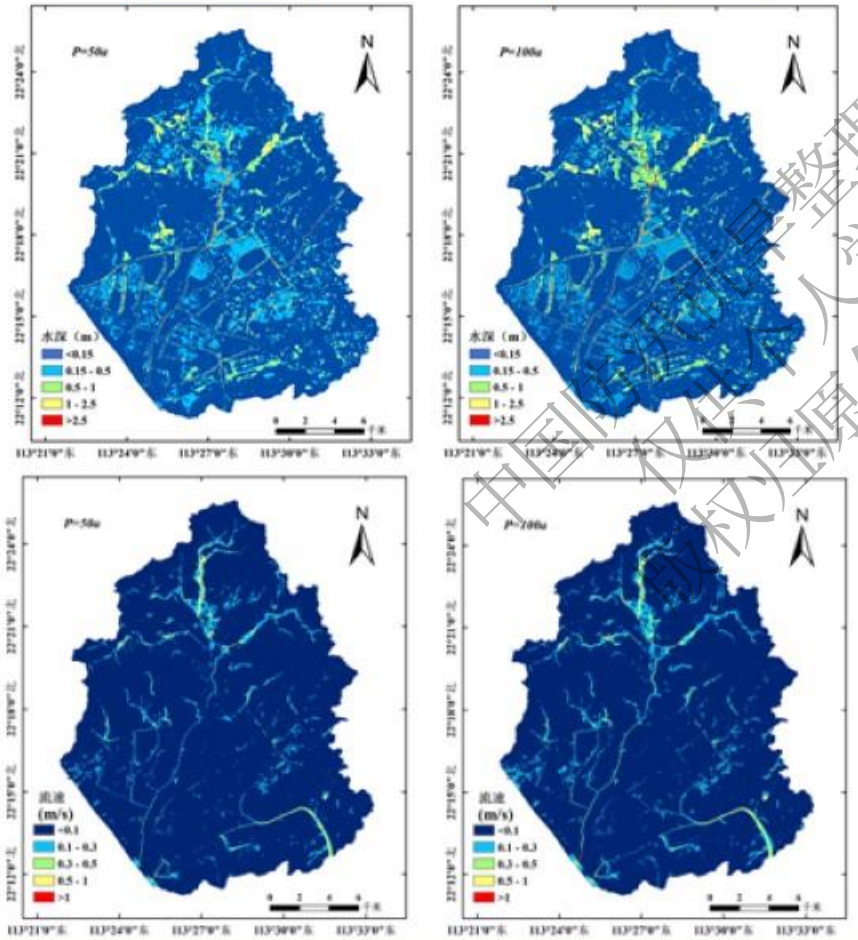
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

淹没深度与水流流速分析

P=50a　　P=100a

淹没深度分布

水流流速分布



- ✓ 淹没深度严重区域集中在河道与山脚，建筑与耕地也有分布
- ✓ 水流流速较大区域主要在河道与山坡，建筑区域流速较小
- ✓ 前山河流域的洪涝要素中，水流速度在除河道以及山脚外整体速度都较慢，而淹没深度在耕地与建筑区域都有积水区域分布，因此对于前山河流域的洪涝灾害损失评估主要围绕淹没深度展开

中国水利水电科学研究院整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

3 基于耦合模型的城市洪涝灾害经济损失

社会经济数据空间化原理与方法

洪涝灾害损失评估

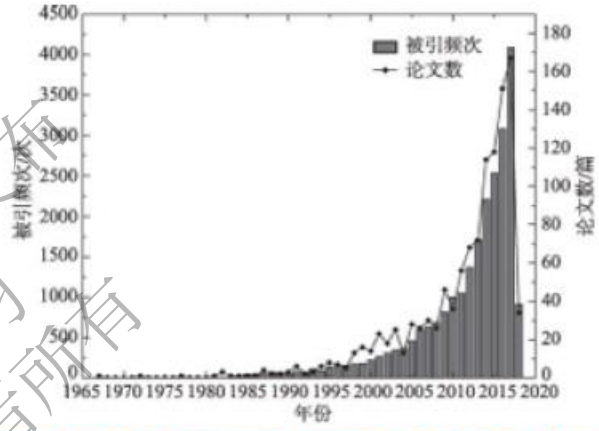
城市防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

①基于夜间灯光的GDP空间化

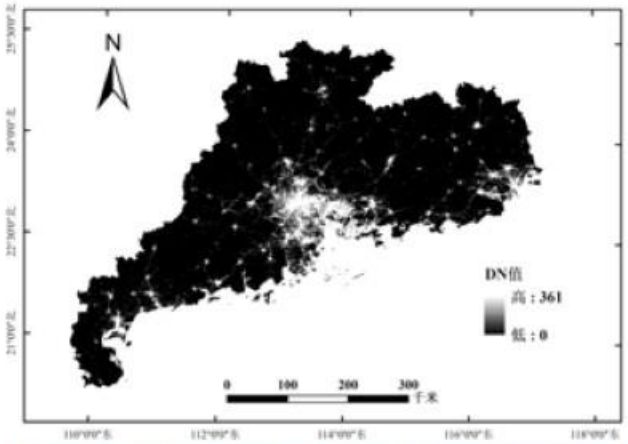
夜间灯光数据：探究人类夜间活动而造成的地球表面亮度的分布情况。

Q：传统的GDP统计数据以行政单元为基础，缺乏有效、准确的空间位置信息。如何与区域地理位置实现有效的关联，是实现空间化的关键。

A：建立区域GDP数据与灯光数据指标间的合理函数关系，通过不同区域灯光数据的像元值差异进行换算后反映出不同区域GDP的差异。



夜间灯光数据研究论文数及被引频次分布（陈颖彪等，2019）



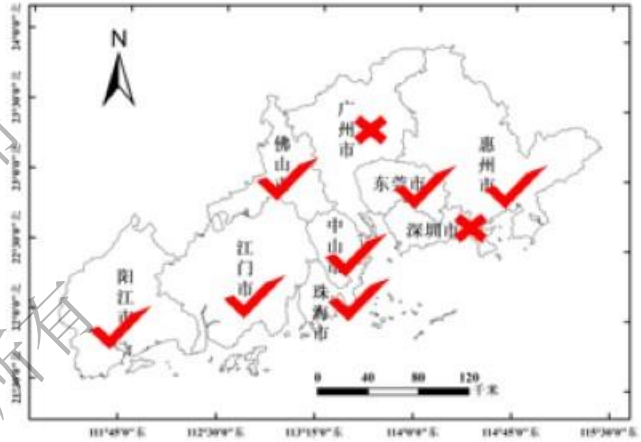
广东省夜间灯光数据影像（2018）

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

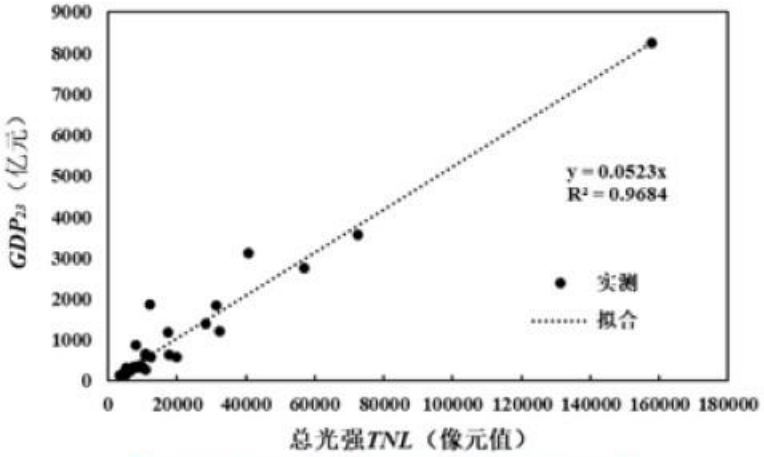
①基于夜间灯光的GDP空间化

各县市GDP数据和灯光数据

城市	区	第二产业（亿元）	第三产业（亿元）	GDP_{23}(亿元)	总光强（TNL）
中山		1780.2315	1790.8839	3571.1154	72613
珠海	香洲	765.8548	1066.3118	1832.1666	31549
	金湾	455.5553	144.4176	599.9729	10899
	斗门	212.4084	128.4401	340.8485	9827
佛山	禅城	754.6804	1100.1144	1854.7948	12168
	南海	1544.3777	1218.4716	2762.8493	56892
	顺德	1774.4071	1342.9775	3117.3846	40726
	高明	658.8131	200.5663	859.3794	7971
	三水	881.7232	315.309	1197.0322	17510
东莞		4027.2122	4226.3418	8253.554	157897
江门	蓬江	259.5689	407.4169	666.9858	10757
	江海	119.6694	66.9008	186.5702	4554
	新会	384.2783	248.5061	632.7844	17854
	台山	236.3014	130.1148	366.4162	9051
	开平	184.8525	155.1997	340.0522	7460
	鹤山	183.9719	149.2692	333.2411	8692
	恩平	59.2933	118.4985	177.7918	5329
阳江	江城	109.9522	156.8192	266.7714	10807
	阳东	135.4309	95.6883	231.1192	6459
	阳春	113.8681	216.18	330.0481	5295
	阳西	74.5704	103.7829	178.3533	4253
惠州	惠城	675.5705	720.8648	1396.4353	28292
	惠阳	864.9975	346.0009	1210.9984	32254
	惠东	229.4934	347.8087	577.3021	12448
	博罗	323.4578	271.8799	595.3377	20011
	龙门	59.018	88.4923	147.5103	3440



中山、珠海及其相邻城市位置图



GDP_{23}与夜间灯光数据拟合

中国防汛抗旱数理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

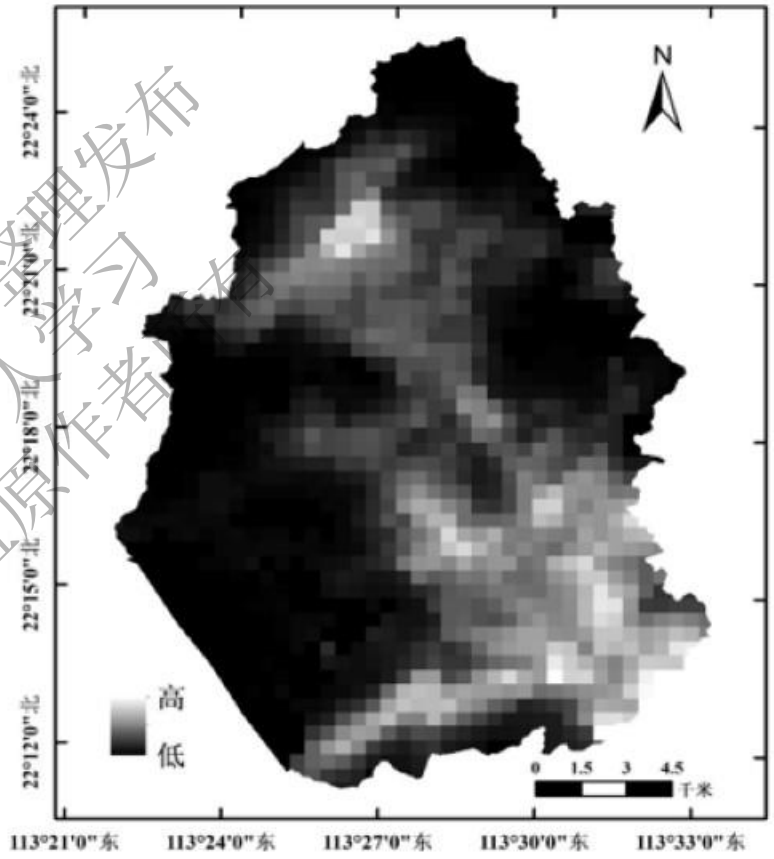
①基于夜间灯光的GDP空间化

GDP_{23}与夜间灯光数据拟合公式

$$GDP_{23} = 0.0523TNL$$

$$R^2=0.9684$$

- ✓ GDP_{23}较高的区域基本与土地利用中的建设用地区域保持了空间一致，这也符合第二、三产业的产值主要来源于建筑区域和人类活动的普遍认知；
- ✓ 耕地以及林地区域，GDP_{23}值基本为0或者很少。



前山河流域GDP_{23}空间分布

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②基于土地利用的GDP空间化

基于土地利用的GDP空间化：考虑第一产业的空间异质性较低，即第一产业GDP在不同的区域差异较小，因此第一产业增加值可以平均分配到相应的产出来源上。农业增加值主要来源于耕地，林、牧业增加值主要来源于林业用地，渔业增加值主要来源于水域。

前山河流域不同用地类型GDP_1值

土地利用类型及指标		中山区域	珠海区域	总和
耕地	单位面积增加值（万元/km^2）	1417.30	409.05	
	面积（km^2）	57.04	10.81	
	总增加值（万元）	80842.93	4420.08	85263.00
林地	单位面积增加值（万元/km^2）	77.63	253.71	
	面积（km^2）	57.02	42.21	
	总增加值（万元）	4426.52	10708.23	15134.75
水域	单位面积增加值（万元/km^2）	1950.29	1416.51	
	面积（km^2）	13.76	6.00	
	总增加值（万元）	26842.63	8493.11	35335.74

✓ 水域的单位产值最高，耕地次之，林地的单位产值远低于另外两种土地类型，根据不同土地利用类型的单位产值结合土地利用网格数据就实现了GDP_1的空间化。

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洪涝灾害直接经济损失理论

洪涝灾害直接经济损失：

直接经济损失一般是一个静态概念，用来表征因洪水直接造成的物质与财产方面的损失，同时由于洪灾发生时直接经济损失计量起来方便，表现形式直观，一般也是洪涝灾害经济损失评估的中心内容（王宝华，2008）。

洪涝灾害经济损失评估的系统指标：①承灾体指标；②致灾因子指标；③损失率指标

$$P_i = \sum a_j \bullet G_j(h_j, T_j, A_j) \bullet Q_j + B_j$$

P_i是区域在某场洪涝灾害中的直接经济损失，a_j是某个子区域的抗灾能力；G_j是某种土地利用类型的灾损函数，主要与三个参数有关：h_j，A_j，T_j分别是淹没水深、淹没面积和淹没历时；Q_j代表某个子区域的经济价值；B_j是截距

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②洪涝灾害直接经济损失计算

$$P_i = \sum a_j \bullet G_j(h_j, T_j, A_j) \bullet Q_j + B_j$$

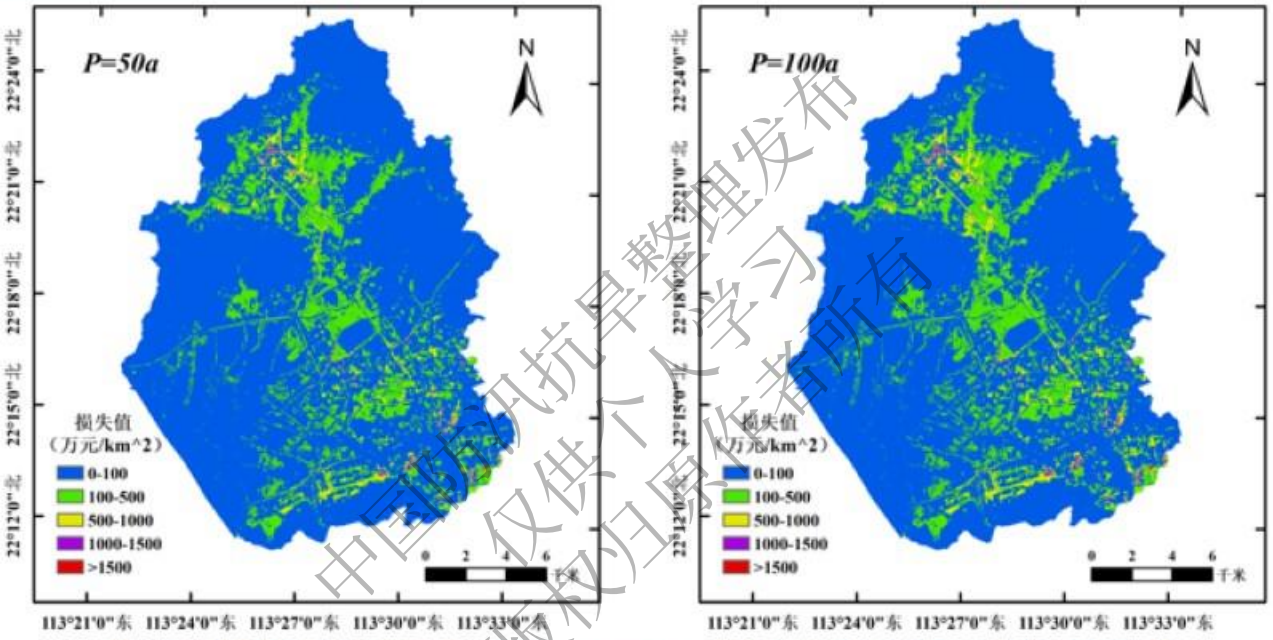
本研究选取GDP指标来反映不同区域承灾体的价值Q_j，选取淹没深度h_j作为主要致灾因子来进行损失率G_j的确定，而损失率则根据不同区域的土地利用类型展开，抗灾能力a_j取1，即暂不考虑区域主被动的抗灾减灾能力，截距B_j取0。

不同土地利用类型下暴雨洪涝灾害损失率函数

土地利用类型	淹没水深/m				
	<0.1	0.1-0.5	0.5-1.5	1.5-3	>3
水面	0	0	0	0.05	0.1
园地	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
滩涂	0	0.01	0.1	0.15	0.2
林地	0	0	0.1	0.2	0.3
耕地	0.01	0.2	0.5	0.7	0.8
建设用地	0.05	0.3	0.6	0.8	0.9
草地	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7
未利用地	0	0.01	0.1	0.1	0.15

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②洪涝灾害直接经济损失计算



两场设计降雨下前山河流域洪涝灾害损失分布

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

- ✓ 主要的经济损失来自于城市建筑区域，并且与淹没深度范围高度一致，这是由于建筑区域本身经济价值较高且脆弱性较大。与50a一遇降雨情景相比，100a一遇降雨情景下，GDP损失值高的区域增多，增多的区域主要在三乡镇附近。

4 基于交通影响评估的城市洪涝灾害间接损失

- 基于情景模拟的交通影响方法
- 道路速度衰减模型验证
- 城市洪涝对交通的间接损失评估

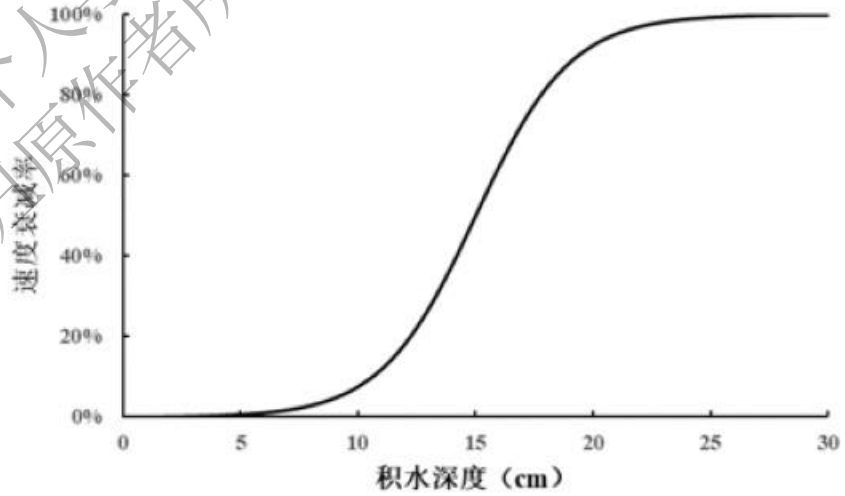
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

①道路积水对交通的影响

城市洪涝对交通系统的影响主要包括三个方面：驾驶员、路面状况和车辆状况。这三个方面都会对道路行车速度产生显著的影响，而道路行车速度的变化是道路积水对交通影响最直接的反映。我国学者在北京进行了详细的实测分析和理论研究，建立了行车速度随积水深度的衰减模型（杜嘉等，2011）。

行车速度随积水深度的衰减模型：

$$v=\frac{v_0}{2}\tanh\left(\frac{-x+a}{b}\right)+\frac{v_0}{2}$$



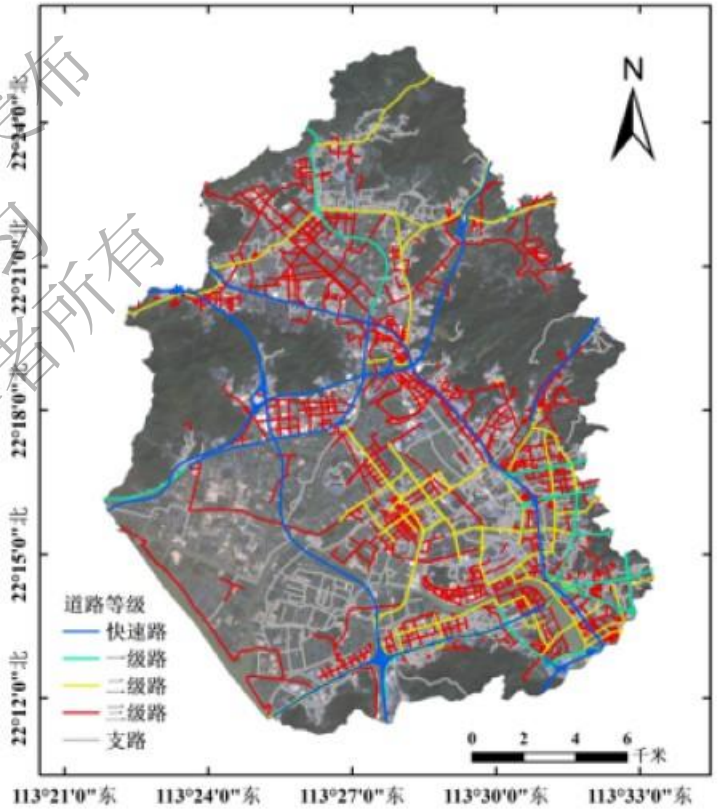
行车速度随积水深度的衰减规律

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②OpenStreetMap道路数据

OSM数据主要有两大特征：①数据来源方式的多样性，包括公开数据、用户自主贡献、遥感资料识别等；②所有的用户都可以免费使用分享数据资料，且更新及时。

网站：https://www.openstreetmap.org/



前山河流域交通路网分布

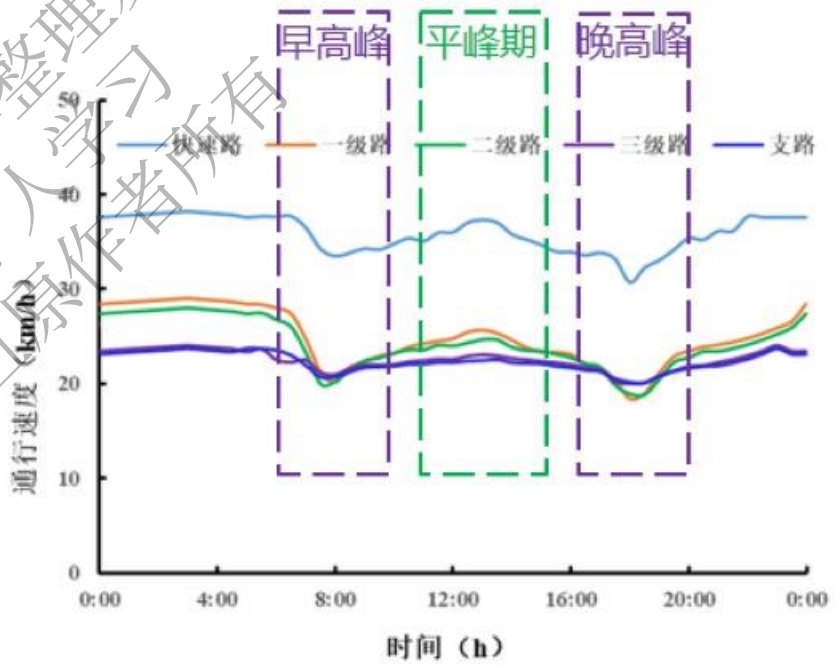
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

③百度地图API应用接口

基于百度地图API大数据方法，采用驾车出行的方式，采用Python语言编写爬虫工具，获取24小时的每条道路的长度和通行时间信息。

网站：http://lbsyun.baidu.com/

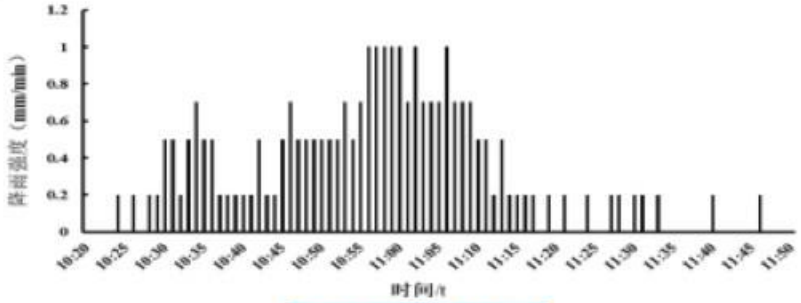
以2020年9月份爬取的交通信息为例



不同等级道路工作日的速度变化

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

道路速度衰减模型验证



实测降雨过程

不同等级道路单条道路模拟误差统计

道路等级	模拟误差
快速路	16.7%
一级路	7.7%
二级路	8.7%
三级路	7.1%
支路	5.4%
平均	7.7%

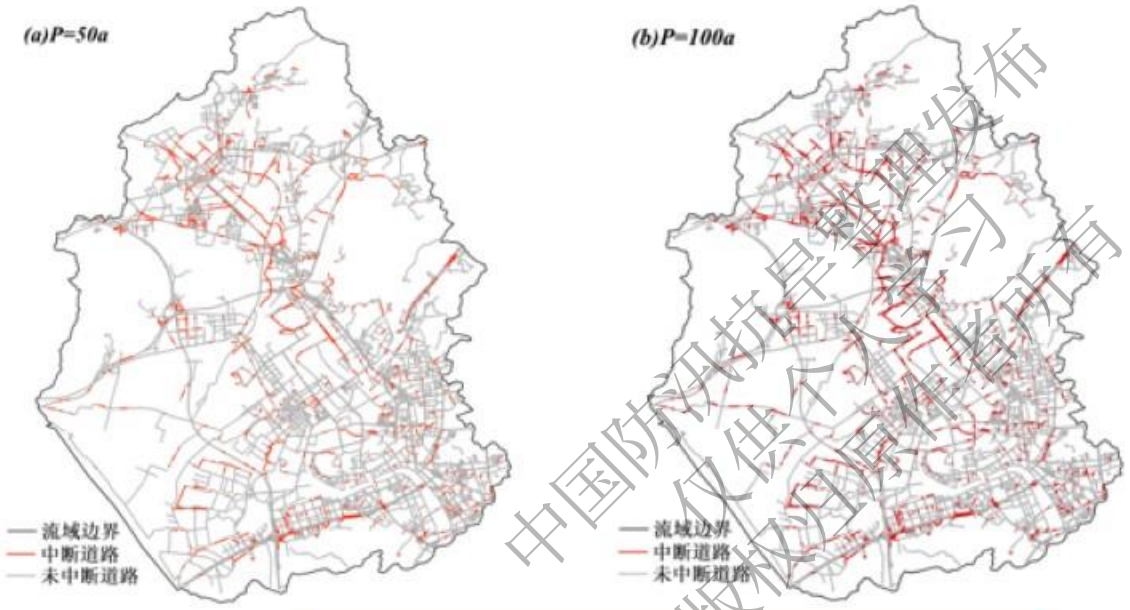
不同等级道路平均速度模拟误差统计

道路等级	实测平均速度（km/h）	模拟平均速度（km/h）	模拟误差
快速路	34.52	35.42	2.6%
一级路	24.32	24.25	0.3%
二级路	23.32	23.55	1.0%
三级路	22.22	21.94	1.3%
支路	21.95	21.53	1.9%

✓ 道路速度衰减模型在前山河流域的道路平均模拟误差为7.7%，低等级道路模拟效果强于高等级道路，各等级道路的平均速度模拟结果较好，认为其可用于后续研究。

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城市洪涝对道路淹没的影响



两种设计降雨情景下中断道路分布

- ✓ 认为积水深度超过30cm时道路无法通行，即道路中断（胡文燕,2019）。
- ✓ 二级路在两次降雨情景下道路中断长度的增加比例最大，说明二级路对于降雨变化的响应最为敏感。

100年一遇情景相比于50年一遇降雨情景，不同等级道路的中断长度有所增加

快速路	一级路	二级路	三级路	支路
10.1%	12.3%	22.1%	17.9%	12.5%

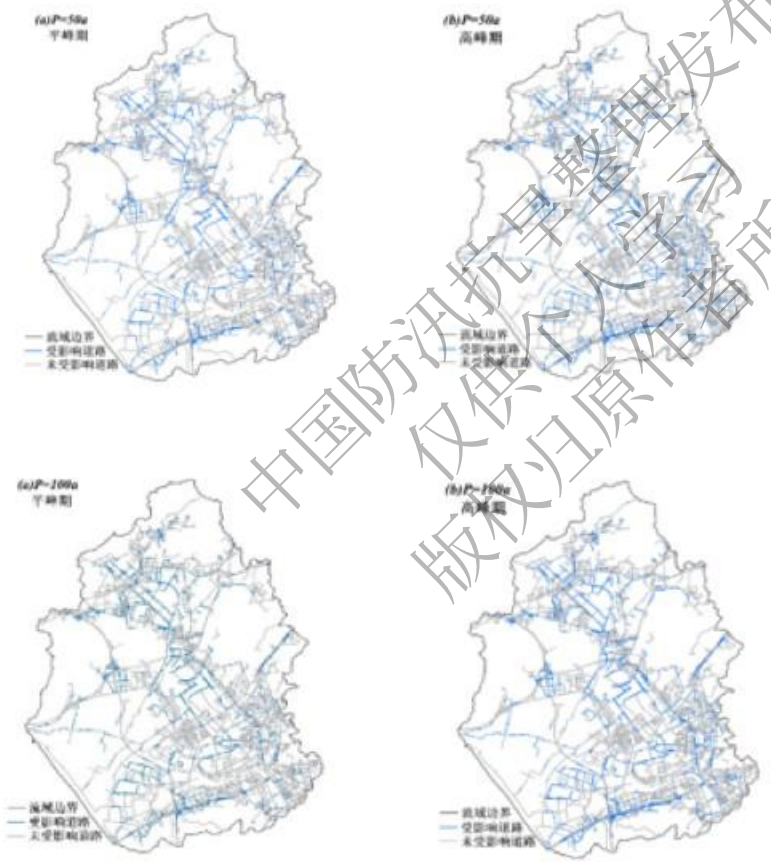
中国防灾减灾学会发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②城市洪涝对交通的影响

平峰期　　高峰期

P=50a

P=100a



- ✓ 速度变化大于20km/h视为交通受影响路段。
- ✓ 受影响路段主要分布在城市区域，与淹没深度分布情况类似。
- ✓ 图中不同重现期降雨情景和交通不同时刻差异并不明显，需要进行定量分析。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

②城市洪涝对交通的影响

不同等级道路受影响的长度 (km)

道路等级	50年一遇		100年一遇	
	高峰	平峰	高峰	平峰
快速路	70.65	57.99	74.61	62.01
一级路	29.45	23.91	31.00	25.31
二级路	65.24	51.97	70.68	58.45
三级路	109.74	98.83	120.45	110.06
支路	88.21	81.42	95.02	88.81

不同等级道路通行速度的降低 (km/h)

道路等级	50年一遇		100年一遇	
	高峰	平峰	高峰	平峰
快速路	17.46	12.86	18.11	13.64
一级路	15.55	11.35	15.89	11.85
二级路	14.92	10.61	15.52	11.38
三级路	10.85	8.76	11.42	9.41
支路	9.46	7.87	9.97	8.44

- ✓ 在高峰期，三级路受影响的长度最大，其次为支路和快速路，平峰期规律类似。但两种交通情景下受影响道路占该等级道路比例最大的为快速路，其次为一级路。
- ✓ 在高峰期，一级路和二级路受极端降雨的影响最大，平均速度降低49%，其次为快速路，平均速度降低43%，平峰期规律类似。

中国防汛抗旱整理发布
版权归原作者所有
仅供个人学习

5 结论与展望

主要结论

不足与展望

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

- **构建了基于一二维水动力耦合模拟的城市洪涝灾害损失评估方法体系。**在课题组前期集成研发的城市洪涝一二维水动力耦合模型的基础上，考虑洪涝对交通影响的间接损失以及洪涝对经济活动影响的直接损失，提出了城市洪涝灾害损失量化评估方法体系，为洪涝灾害损失的动态评估提供了基础支撑。

- **提出了基于夜间灯光数据的城市化区域GDP数据空间网格化方法。**基于城市化区域夜间灯光亮度和GDP分布的正相关假设，将NPP/VIIRS夜间灯光数据与GDP相关数据建立相关关系，通过区域灯光灰度值量化GDP的空间分布，实现了对区域第二、三产业GDP数据的空间网格化，为洪涝灾害直接经济损失评估提供了数据基础。

- **提出了基于OSM（OpenStreetMap，即开放街道地图）和实时路况信息的洪涝对交通影响间接损失的量化方法。**通过OSM研究了城市洪涝对交通路网的影响，以极端降雨作为洪涝情景，采用实时路况信息与洪涝情景下的淹没结果相互叠加，分析了两种设计降雨条件下交通路网通行速度变化情况以及高峰时期的路网交通成本额外损失。

中国防汛抗旱整理学习
版权归原作者所有

➢ 城市洪涝模型方面

- 建模数据和验证数据有待进一步收集整理，可结合目前大力推进的智慧水务建设项目，多渠道、多来源、多技术实现数据收集。

➢ 洪涝灾害损失评估方面

- 将洪涝对交通路网影响的动态特征考虑不足，缺乏实时车流量和同类研究。可根据现有大数据技术，结合人工智能、多智能体等新技术对交通路网遭遇洪涝情景的反馈形式进行模拟。
- 洪涝灾害损失计算中的损失率函数准确性有待考证，现有损失率函数多是通过同类研究或同区域研究来得到，对不同区域的灾害响应效果差异性考虑不足，后续可以通过建立区域灾害损失数据库，考虑历史灾损情景，得到更为精准的损失率函数。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

谢谢！

敬请各位专家批评指正！

中国水利水电科学研究院整理发布
仅供大家学习
版权归原作者所有