

文章编号: 2096-1618(2024)03-0320-08

# 基于GIS和SWMM的城市雨洪模型构建与业务化

蒲运均<sup>1</sup>, 王增武<sup>1</sup>, 杨康权<sup>2</sup>, 刘维桥<sup>1</sup>, 罗欢<sup>3</sup>

(1. 成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225; 2. 四川省气象台, 四川 成都 610072; 3. 成都市双流区气象局, 四川 成都 610225)

**摘要:**近年城市化进程加快, 极端天气频繁出现, 各大城市都出现过严重的内涝情况, 严重危害人民群众的财产和人身安全。暴雨洪水管理模型(storm water management model, SWMM)等常用的城市雨洪径流模型已在城市内涝研究中广泛应用且效果显著。但构建SWMM工程文件所需的数据处理相对烦琐且对大多数模型来说, 模型的输入和输出数据不直观, 使用极不便。针对这一现状, 研究如何快速构建城市雨洪模型并实现业务化意义重大。以成都市双流区东升街道为例, 基于双流行政区划边界图层、排水(雨水)管网分布图、气象站点实况监测、数字高程模型(digital elevation model, DEM)和土地利用分类等多源数据, 利用地理信息系统(geographic information system, GIS)技术, 数字化并概化双流区的地下管网, 利用水文分析法和泰森多边形法划分东升街道子汇水区, 使用表面分析方法和分区统计方法计算处理各子汇水区的不透水占比、平均百分比坡度; 利用GIS软件开发技术实现子汇水区特征宽度的求取; 最后实现成都市双流区东升街道雨洪模型的程序化构建、自动化运行和结果可视化等一系列业务化研发, 并利用历史内涝个例数据对构建的东升街道雨洪模型进行模拟对比验证, 结果显示溢流节点与记录发生的汛情一致, 效果良好; 相应成果也应用到了双流城市内涝预警业务中。

**关键词:**3S集成; GIS; SWMM; 城市内涝

**中图分类号:**P208

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcui.2024.03.009

## 0 引言

近年各地城市化进程加快, 加上极端降水天气的出现, 城市内涝灾害事件频发, 严重影响交通和居民人身财产安全。成都近10年飞速发展, 下垫面条件发生了巨大的改变, 各区县在夏季短时强降水多发期极易发生内涝情况<sup>[1]</sup>, 成都作为内陆平原城市, 研究模拟其地下管网状态和内涝情况有普遍意义。以成都双流区东升街道为例, 研究并实现其雨洪模型的数值模拟、业务化对双流区城市应急管理工作有着重要的决策支持和指导意义<sup>[2]</sup>。

在城市内涝研究工作中, 基于模型和信息技术集成开发的预警系统已经有非常好的实际应用, 并且随着信息技术的快速发展, 越来越多的信息技术被应用于城市内涝研究中, 如地理信息系统(geographic information system, GIS)技术、遥感技术。而常用的城市雨洪径流模型有暴雨洪水管理模型(storm water management model, SWMM)、STORM、InfoWorks CS及MIKE等。其中美国环境保护局开发的SWMM<sup>[3-4]</sup>, 凭借强大的排水系统模拟功能成为国内应用最为广泛的雨洪模型。已有诸多学者对SWMM模型构建与集成应用展开了一系列的研究, JanetBarco等<sup>[5]</sup>应用GIS技术对SWMM模型中大型城市的汇水区进行了自动划分。

Uzair M Shamsi等<sup>[6]</sup>将Arcgis与SWMM模型进行集成, 对城市雨洪进行模拟。王立辉等<sup>[7]</sup>指出SWMM模型构建的难点之一在于模型输入数据的前期处理, 采取GIS的方法计算提取模型所需的子汇水区划分、管网概化以及平均坡度、不透水面积率等属性, 并构建了相应的雨洪模型进行模拟分析。陶文华<sup>[8]</sup>作了基于ArcGIS平台的SWMM模型构建方法研究, 并提出了有效处理子汇水区特征宽度的办法。许迪等<sup>[9]</sup>指出, SWMM模型中的汇水单元的划分尺度是构建模型的重要步骤, 并从模型效率和精度展开研究, 为汇水单元的诸多参数的具体设置提供参考。张晓媛<sup>[10]</sup>对SWMM模型关键参数之间的相关性及参数率定过程中可能的影响因素进行了探究, 并指出城市雨洪模型对实际过程进行了一定程度的概化, 模拟结果存在一定的不确定性。

在集成应用方面, Poole等<sup>[11]</sup>结合水文学、地理信息系统技术以及遥感技术等, 对洪水发生过程实现了三维可视化模拟。刘南等<sup>[12-13]</sup>基于相关淹没算法, 研制了洪水三维可视化分析系统。黄志军等<sup>[14]</sup>基于水文模型和GIS技术, 构建了城市洪水的三维模拟系统, 提升了模型的表达效果及应用价值。王伟<sup>[15]</sup>基于汇水区的积水量, 然后利用积水体积平衡原理和试根法, 建立了积水扩散算法, 最终得到研究区动态的积水深度和内涝空间分布。王小杰<sup>[16]</sup>开发了集“监测—模拟—预警”为一体的城市内涝预警系统, 实现城市雨

情、内涝、防汛物资等实时信息资源的共享、快速分析和可视化展示,为城市内涝应急应对和防洪减灾提供了技术支持。

综上所述,在 SWMM 模型构建所需的数据处理和参数提取中,GIS 技术都能很好地提升效率、发挥作用,且 SWMM 模型在城市内涝预警系统相关业务开发中集成应用广泛。从众多研究工作中看出,模型所需管网和子汇水区属性参数等需手动处理的部分相当复杂烦琐,需借助相应的工具或者开发手段对基础数据进行处理,减省人工,提升效率;且部分关键参数的提取如子汇水区特征宽度的计算提取,方式方法描述不详细,没有形成统一的普遍认可的计算方法。通过文献查阅发现,目前缺乏对 SWMM 模型业务化集成和扩展的系统设计与阐述,而且 SWMM 模型输入、输出数据都是固定格式的文本文件,对于大多数使用者来说不直观,使用极为不便。

所以,以四川省成都市双流区为研究区域,以东升街道城市内涝为研究对象,对 SWMM 模型输入—模拟—输出整个过程进行流程化梳理、程序化构建以及业务化实现。针对 SWMM 模型的快速构建和集成应用做出详细的设计与阐述,以期对模型研究者或使用者以及城市防涝管理工作提供帮助。

# 1 研究数据与方法

## 1.1 研究区概况

双流区地势平坦,地理位置优越,隶属于四川省成

都市,位于中心城区西南部,是成都向南发展的中心地带。从 2018 年 5 月至今,较严重且记录详细的涝情有 12 例。从记录中可以看出东升街道、黄龙溪、航空港等区域都曾多次受到暴雨内涝的影响。双流区与其他各大城市一样,都面临着严峻的城市内涝问题。本文研究区域、对象以及历史内涝情况见图 1。

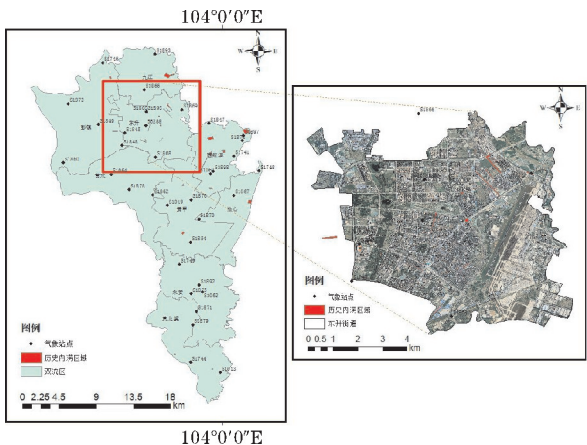


图 1 研究区域及对象

从图 1 来看,历史内涝区域分布集中于东升街道,其建筑密集,气象站点覆盖完整均匀,且属于老城区,排水设施相对落后,遂选取此街道作为研究对象。

## 1.2 主要数据源

模型构建与模拟的主要数据是研究区域的管网数据、气象数据、历史个例记录以及下垫面各要素数据,具体见表 1。

表 1 主要数据

数据名称	数据类型	数据年份	数据来源	数据简要说明
行政区划边界	Shape	2022 年	—	双流区各街道行政区划边界矢量图层
管网数据	PDF	2021 年	成都市双流区水务局	东升、航空港、协和规划区排水(雨水)管网分布图
气象降水数据	站点/格网	2018–2022 年	成都市双流区气象局	天擎大数据云平台获取
历史个例记录	文本	2018–2022 年	成都市双流区气象局	发生内涝过程的雨情、汛情记录
土地利用	TIF	2021 年	欧空局( <a href="https://scihub.copernicus.eu">https://scihub.copernicus.eu</a> )	Sentinel-2(哨兵 2 号卫星遥感数据)
数字高程模型	TIF	—	地理空间数据云( <a href="https://www.gscloud.cn/">https://www.gscloud.cn/</a> )	GDEM2 30 M(高分 2 号卫星遥感数据空间分辨率:30 m×30 m)

## 1.3 研究方法与技术

水文分析法是一种基于数字高程模型建立水系模型,研究流域的水文特征或者模拟地表的水文过程,并对未来的地表水文情况作出估计的分析处理方法。

表面分析法是坡向分析、坡度分析、曲率分析等多种分析方法的集合,主要用于分析处理得到研究区域对象的坡向、等值线、曲率、坡度等要素。

泰森多边形法是气候学家 A·H·Thiessen 提出的一

种根据离散分布的气象站点的降雨量,计算平均降雨量的方法。将相邻气象站连成三角形,然后作这些三角形各边的垂直平分线,再将这些垂直平分线的交点连接得到一个多边形,这个多边形就称为泰森多边形。这个多边形内包含的唯一的气象站的降雨强度可以表示这个多边形区域内的降雨强度。此方法也适用于其他区域相关性分析。

分区统计法是分区域汇总统计另一个数据集的栅格数据值的最大、最小、平均值等特征值的方法。

对比分析法也称比较分析法,是将客观事物加以比较,以达到认识事物的本质和规律,并做出正确评价的分析方法。对比分析法,要求对比的对象要有可比性。通常是将两个相互联系的指标数据进行比较,然后准确、量化地分析出两者的差异并评判各种关系是否协调。

GIS 技术是多种学科交叉的产物,是以地理空间数据为基础,采用地理模型分析方法,实时提供或处理多种时空动态变化地理信息的一种地理研究和决策服务支持的信息系统技术。其基本功能是将表格型数据转换为地理图形显示,然后对显示结果进行浏览、操作和分析。地理信息系统是一种极具特色的空间信息系统,在计算机硬件、软件系统支持下,可对地理空间数据进行采集、储存、管理、处理、分析、显示和描述。

GDAL(geospatial data abstraction library)技术是一个在 X/MIT 许可协议下的开源栅格空间数据转换库。利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式并且有一系列命令行工具进行数据的转换和处理。其中,OGR 是它的一个分支,提供对矢量数据的支持。GDAL 和 OGR 技术提供了对栅格和矢量数据的读写支持。

数据库技术是信息系统的一个核心技术,是一种计算机辅助管理数据的方法。它研究如何组织和存储数据,以及如何高效地获取和处理数据。目前应用最为广泛的是关系型数据库。

Cesium 是由国际平面设计协会在 2011 年开发的一个开源、跨平台、免插件、运行于浏览器上的数字地

球平台,可渲染 3D、2D、2.5D 地球场景。支持 3D 绘图协议的硬件加速,并且提供了淹没分析等功能,非常适用于各种场景下的可视化分析。

## 2 模型数据处理

模型构建所需参数需要从基础数据中处理提取,数据处理流程和需要提取的属性见图 2。

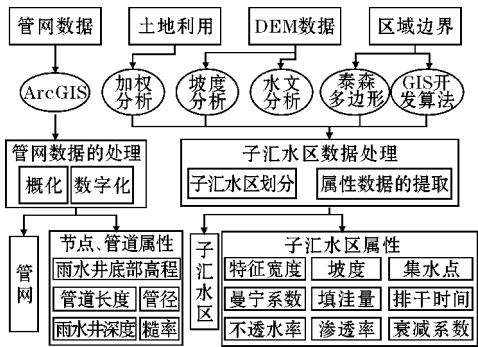


图 2 数据处理流程

### 2.1 管网概化

提供的管网数据需数字化处理。管网数据的数字化是一个庞大繁杂的工作,需要对地下管网数据进行地图配准和矢量化,还要将管网和节点的大量属性数据参数录入属性表中。数字化的部分节点和管段属性见表 2、表 3。

表 2 部分数字化节点属性

名称编号	类型	地面标高/cm	初始深度/m	超载深度/m	井底标高/cm	管径/m
node_12	雨水井	500	0	0	574.289978	1.3
node_16	雨水井	500	0	0	575.2800293	1.05
node_21	雨水井	500	0	0	575.2299805	2.6
node_22	雨水井	500	0	0	574.7700195	1.05
node_23	雨水井	500	0	0	575.0999756	1.05
node_24	雨水井	500	0	0	575.0599976	1.3
node_25	雨水井	500	0	0	574.9699707	1.3
node_28	雨水井	500	0	0	585.7800293	1.05
node_30	雨水井	500	0	0	574.1500244	1.05
node_31	雨水井	500	0	0	572.9799805	1.3

表 3 部分数字化管道属性

名称编号	管长/m	起始节点	终止节点	类型	管径/m	形状	粗糙度
C1816	364.597	node_67	node_60	管道	1.2	Circular	0.011
C246	236.541	node_182	node_178	管道	1.5	Circular	0.011
C70	364.067	node_53	node_54	管道	1.2	Circular	0.011
C2460	369.987	node_2117	node_2013	水渠	0	Trapezoidal	0.011
C261	285.369	node_195	node_795	管道	1.4	Circular	0.011
C2278	2516.384	node_2128	node_2031	河道	0	Trapezoidal	0.011
C1822	211.321	node_1477	node_78	管道	1.2	Circular	0.011
C975	310.296	node_188	node_189	管道	1	Circular	0.011
C752	254.661	node_631	node_629	管道	0.8	Circular	0.011
C722	304.629	node_605	node_604	管道	0.4	Circular	0.011



真实管网错综复杂且包含很多细小管段,若严格按照真实情况模拟,模型过于繁复,部分数据也难以获取,需要对管网进行一定程度的概化<sup>[7]</sup>。通过合理的管网概化,可以有效提高SWMM模型的计算效率<sup>[8]</sup>。在面积足够大的研究区域中,道路两旁的管线可以看作是流向一致的一条管线,一个路口的多个节点可概化为一个节点来处理。概化后管线的直径为原来的两倍,节点的参数大小也作相应的倍数调整。

最后,对管网和节点按以下规则进行拓扑检查,以此减少数据错误,有利于模型的正确构建和运行。

- (1)点要素必须在线要素之上;
- (2)线与线不能重叠;
- (3)不允许线要素有悬节点,即每条线段不能孤立;
- (4)不能有伪节点,即一条线段中间不能有断点;
- (5)线要素的断点必须被点要素覆盖。

最终概化得到404个有效管段,289个合理节点。概化前和概化后的对比结果见图3。

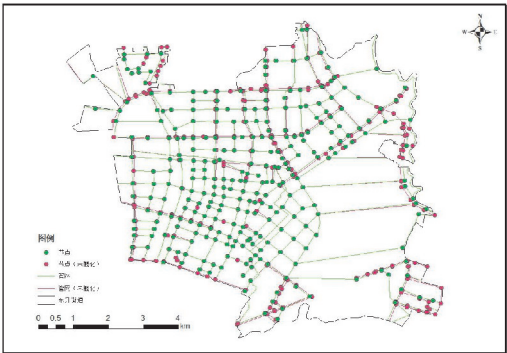


图3 管网概化对比

2.2 子汇水区处理

主要通过水文分析法和泰森多边形法实现对子汇水区的划分,其次通过表面分析,分区统计等方法以及GIS开发技术实现子汇水区平均百分比坡度、不透水率、特征宽度等确定性参数的提取。

2.2.1 子汇水区划分

子汇水区根据不同类型的研究区域,划分方法上需要有所区分和差异,也会直接影响模型构建和运行的准确性<sup>[9]</sup>。自然地形下的研究区域,通过流域的出水口和水文分析可以得出各子流域的汇水区域。而城市地区建筑密集区,下垫面受人为改动较大,所以直接的水文分析方法不直接适用,但可以提供一定的参考。目前城市地区的汇水区划分主要有人工划分法和自动

划分法两种<sup>[8]</sup>。人工划分法是以城市地图、卫星遥感影像和其他配准的数据图片为背景来人工勾绘,主观性太强,缺少经验和相关数据支撑时,说服力不够且耗时长,只适用于如小区、学校等小范围的研究区域。而自动划分法是基于确定好的集水点利用泰森多边形法生成,更加快捷且符合要求。

城市区域既要考虑地形汇流,又要考虑管网的具体建设情况。而东升街道的开发程度较高,范围较大,适合利用水文分析法人工筛选处理得到集水点之后再

用泰森多边形法划分出子汇水区。本文基于30 m×30 m 高分辨率的高分二号数字高程数据,运用水文分析法对研究区域的水文情况进行分析,并以15×15的栅格单元提取低洼点,综合筛选出集水点,由集水点生成泰森多边形从而划分出子汇水区,这样比较符合非自然汇水区的实际汇流情况。具体划分结果见图4。

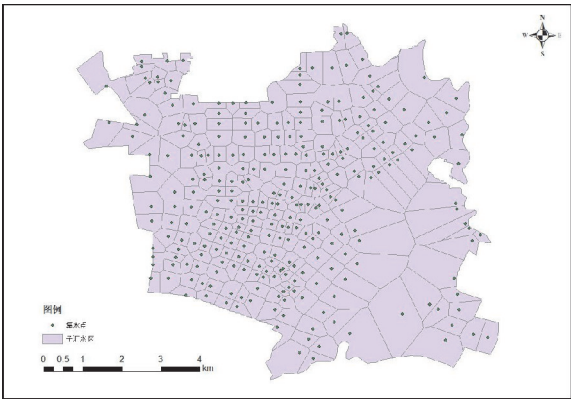


图4 集水点与子汇水区

2.2.2 属性数据提取处理

(1)子汇水区平均坡度

基于DEM数据,使用表面分析方法提取出百分比坡度。提取结果见图5。

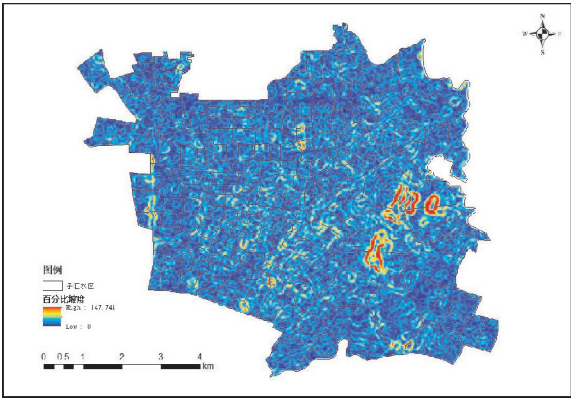


图5 东升街道百分比坡度

利用分区统计方法分区统计得到各子汇水区平均百分比坡度。部分统计结果见表 4。

(2) 子汇水区不透水率

根据最新室外排水设计标准(GB50014-2021),设定土地利用类型径流系数:水1.0,植被0.2,湿地0.95,庄稼0.15,建筑0.9,裸地0.6,绿地0.1。东升街道的土地利用类型分布见图 6,由图 6 可以看出,下垫面建筑面积占比非常大。利用分区统计方法,加权求和得出各子汇水区不透水面积百分比,部分提取结果见表 4。

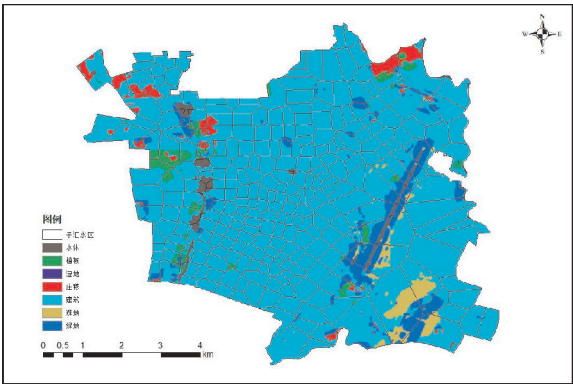


图 6 东升街道土地利用类型

表 4 部分子汇水区确定性参数

名称编号	集水点	面积/m <sup>2</sup>	不透水面积百分比	特征宽度/m	百分比坡度/%
60	node_104	15.069646	0.89643778	388.1964194	13.62503512
63	node_110	8.326022735	0.892863284	288.5484835	14.79081822
65	node_114	8.661937325	0.737133018	294.311694	12.3891307
67	node_117	6.282836222	0.901026193	250.6558641	12.58767138
68	node_118	10.98151412	0.647451701	331.3836768	11.57428841
69	node_121	11.67781878	0.584184438	341.7282368	12.34794202
70	node_123	21.590886	0.639366999	464.6599402	12.99792525
71	node_124	11.49835229	0.903346822	339.0922041	13.16188681
108	node_170	11.23200601	0.892449665	335.1418507	16.81800434
109	node_171	11.1473148	0.901024164	333.875947	15.29445564

(3) 子汇水区特征宽度

子汇水区的特征宽度是对 SWMM 模型产流计算的地表汇流时间和峰值有一定的影响的敏感参数。

特征宽度的定义为子汇水区的面积与地表漫流最长路径长度的比值。地表漫流最长路径长度可以理解为子汇水区边界上的点离集水点的最远距离。计算公式如下:

$$\text{Width} = \text{Area} / \text{FlowLength}$$

式中,Area 为子汇水区面积,FlowLength 为地表漫流最长路径长度。其中地表漫流最长路径长度的计算是一个难题。部分研究者使用 ArcGIS 的测量工具手动测量每个子汇水区的特征宽度,简单实用,但是对于范围较大、子汇水区划分较多的研究区域来说不太适合。

目前有多种常用估算汇水子流域特征宽度的方法:

$$\text{Width} = 1.7 \cdot \text{Max}(H, W)$$

式中,H 为子汇水区的高度,W 为子汇水区宽度。

$$\text{Width} = K \cdot \sqrt{\text{Area}} \quad (0.2 < K < 5)$$

式中,K 为修正系数,Area 为子汇水区面积。

$$\text{Width} = K \cdot \text{Perimeter} \quad (0 < K < 1)$$

式中,K 为修正系数,Perimeter 为子汇水区周长。

这些计算方法都是把子汇水区假定成矩形,然后假设特征宽度与正方形的边长或矩形的周长成某一系数关系后进行估算。但对于敏感性参数,其计算公式的修正系数还需在一个给定区间内合理取值,增加了模型参数的不确定性。且子汇水区除了面积容易计算之外,

其他的周长、高和宽等具体数值都难以直接获取。

综上,采取 GIS 开发的方式计算特征宽度,其本质上与 ArcGIS 测量工具的原理一致,具体计算的原理说明见图 7。基于 GDAL 技术,可以读写 Shape 和 TIF 等多种格式的地理数据。以集水点和子汇水区作为输入数据,循环读取子汇水区图层要素,使用 gdal.RasterizeLayer 方法对每个读取出的子汇水区矢量要素进行栅格化,栅格分辨率设置为 10 m×10 m。

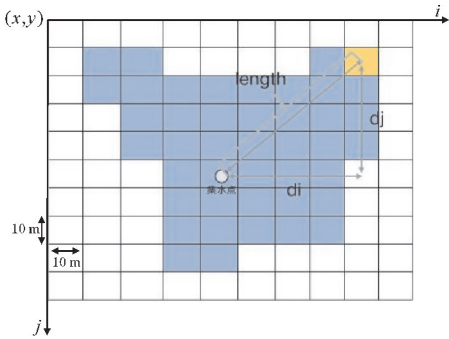


图 7 计算原理说明

读取栅格化的子汇水区上下左右边界坐标和行列大小,读取集水点坐标并推算出集水点所在的行列位置,集水点行列位置与子汇水区各有值栅格进行距离计算并用排序算法得出最大值,得出的最大距离值与子汇水区的栅格面积求比值即可求出该子汇水区的特征宽度值。通过这种方式计算,节省人力且增加了特征宽度参数的准确度。具体计算流程见图 8。

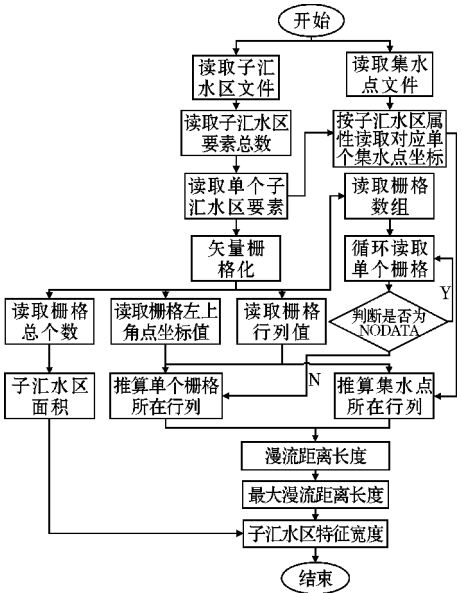


图 8 子汇水区特征宽度计算流程

最终提取出的部分子汇水区各确定性参数见表 4。

3 模型业务化

使用软件开发技术将 SWMM 模型业务化,增加其直观表达性和应用价值。业务化总体流程见图 9。

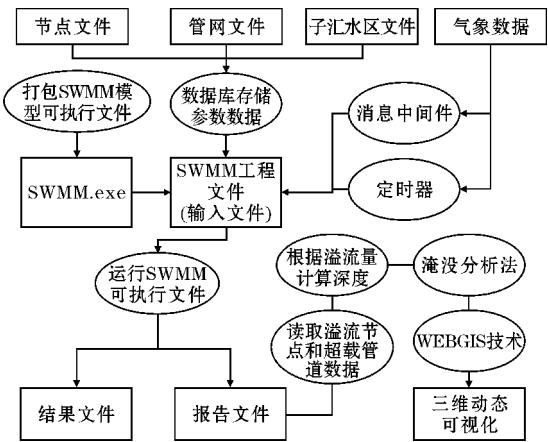


图 9 模型业务化总体流程

3.1 程序化构建

SWMM 模型的工程文件是一般文本文件,文件以节组织,每一节对应 SWMM 模型运行所需的特定对象。其中包含描述研究区域的节点、管段、子汇水区、雨量计等所有数据以及用于分析的各种控制选项。

基于 SWMM 模型软件,用户不需要直接编辑工程文件,SWMM 模型软件的图形用户界面能可视化的添加、删除、更改工程数据和控制选项。对大型工程,其数据往往以其他格式保存和提供,如 CAD 或者其他 GIS 格式的文件,在构建并执行模型文件时,需要从这些资源中提取导入。目前 SWMM 软件及其汉化版以及其他如 inp、PINS 和 StormDesk 等软件均支持从 GIS

的 Shape 文件中导入相应属性字段生成模型工程文件,但这种方式不够灵活。

本文使用 GDAL 技术直接读取已处理好的各矢量、栅格数据,利用数据库技术实现数据存储和使用。即对应 SWMM 工程文件中的不同节建立不同表,在输入数据有更新时读取入库,运行 SWMM 模型时从数据库中读取各表数据然后按节按行写入模型工程文件。最终构建模型的可视化结果见图 10。

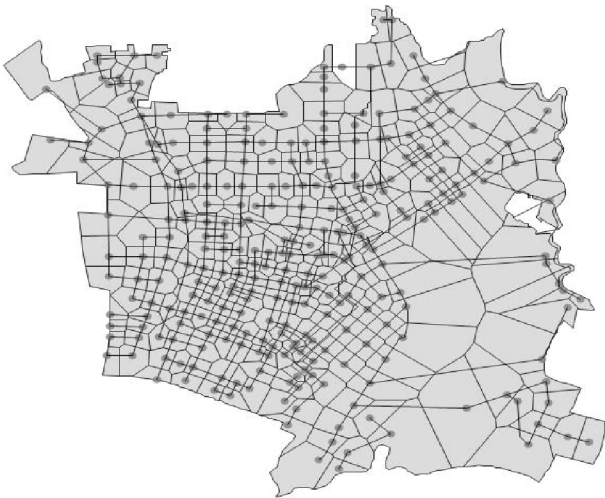


图 10 构建的东升街道 SWMM 模型

3.2 自动化运行

气象数据动态接入是 SWMM 模型自动化运行非常关键的部分。自动地将气象数据更新到模型输入文件并执行模拟,可以提高模型的即时性和能动性。接入历史或者实时降水数据可模拟当前或者历史情况,接入预测降水数据即可模拟预测时效内的未来发展情况。

将构建好的 SWMM 模型打包成可执行文件(.exe),将写好的输入文件(.inp)放到模型服务器的指定位置,再使用命令行调用启动模型运行,模型执行完毕后,输出文件(.out)和报告文件(.rpt)输出到指定位置并读取处理存储到数据服务器。这种方式简单快捷,方便集成和扩展。自动化运行的部署结构见图 11。

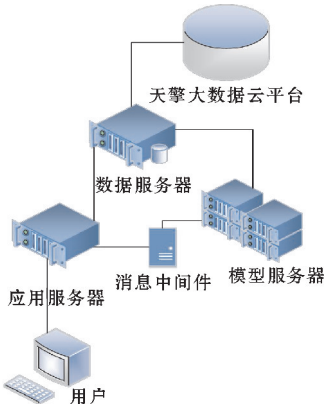


图 11 自动化业务系统部署结构



3.3 结果可视化

模型执行后的各节点溢流和管道超载等状态信息输出在报告文件中。从报告文件读取解析出溢流节点和节点溢流量,进行可视化处理。节点的溢流量结合节点位置计算积水深度,采用 Cesium 技术的淹没分析功能,实现模型模拟结果的三维动态可视化。淹没可视化效果见图 12。



图 12 双流三维 GIS 可视化内涝分析系统淹没展示

3.4 历史个例对比验证

利用记录较为详细的 2019 年 9 月 12 日 23 时至 13 日 15 时的一次历史内涝个例进行模拟对比验证。个例记录详情见表 5。

表 5 2019 年一次典型历史个例记录

信息类型	记录说明
时间	2019 年 9 月 12 日 23 时至 13 日 15 时
雨情	双流区出现了一次明显的降水天气过程,普降中到大雨,部分镇(街道)达暴雨;最大降水量出现在九江 153.0。具体雨量:彭镇 147.5、黄水 131、东升 127、金桥 105、黄龙溪 108.1、永安 99.5、胜利 83、协和 73.9、西航港 61.8、公兴 56.1、黄甲 43.6。(单位:mm)
汛情	本轮强降雨造成双流区彭镇花园路党校门口、西航港长城路川大路口、空港一路、文星大道、东升龙桥路、永安路、塔桥路、商都路、白河路棠湖南路路口等 9 处路段积水,未影响交通。东升西航港成双大道下穿、成双大道迎春桥星空路口、航都大街葛陌路口等 3 处道路积水较深,交通短时受阻。九江成新蒲绕城高速段进城方向、西航港长城路川大路口、东升广巍路、广履路等 4 处道路交通短时中断。九江万家村 7 组、彭镇福田社区嘉兴鸽业、黄龙溪敬老院、幼儿园等 4 处低洼区域出现积水。

模型模拟出的溢流节点如图 13 所示,分布情况与发生的汛情基本一致,效果良好。

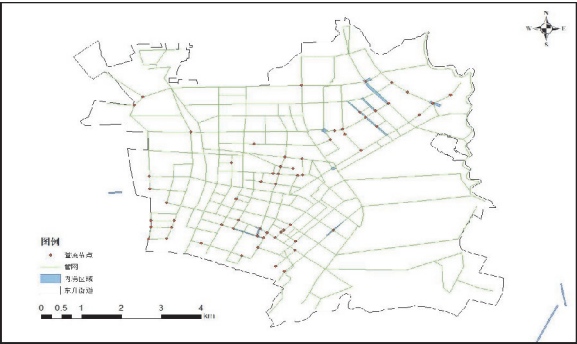


图 13 历史个例对比验证

4 结束语

数字化、概化双流区的地下管网数据,利用水文分析法和泰森多边形法划分东升街道子汇水区,用 GIS 方法提取各子汇水区的不透水占比、平均百分比坡度,并使用 GDAL 技术计算子汇水区特征宽度;程序化地构建了双流区东升街道雨洪模型,实现 SWMM 模型的业务化并已投入双流三维 GIS 可视化内涝分析系统项目应用。最终结论与成果如下:

(1)得到双流区东升街道地下管网数据数字化、概化结果,生成东升街道子汇水区、处理提取各子汇水区确定性参数并提供一种相对准确和高效的求取特征宽度的方法。

(2)在处理的基础数据之上,实现 SWMM 模型的程序化构建、自动化运行和结果可视化等一系列业务化研发。

(3)提升了 SWMM 模型的扩展性,以集成应用模式,只需将处理好后的管网数据、子汇水区数据和集水点 and 对应城市行政区划边界图层等基础数据进行替换,即可在其他城市进行快速应用。

(4)经过历史个例对比验证,效果良好。但目前模型的不确定性参数大部分是按经验设置或按规定范围配置的,还需程序以及人工智能算法作率定,通过训练来不断调整、修正。模型不确定性参数的率定、历史个例对比验证的量化、历史个例库的建立等将作为进一步的研究内容,以期模型能够在系统长时间的使用过程中不断修正相关系数、提升精度;另外,系统本身还需不断优化、提升效率。

总体来说,所述方法能够快速有效地处理数据、构建城市雨洪模型工程并业务化集成应用,比起人工的方式更加精确和高效,为 SWMM 模型的应用研究提供参考,为相关工作者提供便利,对城市内涝预警系统集成应用和研究有一定的借鉴价值,为城市内涝灾害的应急管理工作提供一定的决策支持,有利于水务、气象等行业管理工作的信息化、自动化。

参考文献:

[1] 黄诚,张晓祥,韩炜,等. 基于 SWMM 模型及 GIS 技术的城市雨洪调控情景模拟——以镇江市城区为例[J]. 人民长江,2022,53(4):31-36.

[2] 姜仁贵,解建仓. 城市内涝的集合应对体系[J]. 水资源保护,2017,33(1):17.

[3] Huber WC, Dickinson RE. Storm water management model, version 4, user's manual[R]. US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia,

- Report. EPA/600/3-88-001a,1988.
- [4] Elliott AH, Trowsdale SA. A Review of Models for Low Impact Urban Storm Water Drainage[J]. Environmental Modelling & Software. 2007, 22(3): 394-405.
- [5] Barco J, Wong KM, Stenstrom MK, et al. Automatic calibration of the U. S. EPASWMM Model for a large urban catchment[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 134(4): 466-474.
- [6] Shamsi UM, Smith P. ArcGIS and SWMM integration[J]. The Journal of Water Management Modelling, 2005: 295-307.
- [7] 王立辉, 陈欣, 闫福恩. 基于GIS和SWMM的雨洪模型构建方法研究[J]. 市政技术, 2020, 38(4): 183-188.
- [8] 陶文华. 城市雨洪SWMM模型的构建与LID综合效能评价方法研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2022.
- [9] 许迪, 严长安, 李丽珍, 等. 汇水单元划分尺度对SWMM模型结果的影响[J]. 环境科学导刊, 2021, 40(5): 16-20.
- [10] 张晓媛. 贝叶斯统计法进行SWMM模型水文参数率定及影响因素识别[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [11] Poole GC, Stanford JA, Frissell CA, et al. Three-dimensional mapping of geomorphic controls on floodplain hydrology and connectivity from aerial photos[J]. Geomorphology, 2002, 48(4): 329-347.
- [12] 刘南, 刘仁义. 基于GIS技术的海塘防洪减灾信息系統明. 自然灾害学报, 2005(1): 116-120.
- [13] 刘仁义, 刘南. 基于GIS的复杂地形洪水淹没区计算方法[J]. 地理学报, 2001(1): 1-6.
- [14] 黄志军, 王树文. 基于水文仿真模型与GIS的三维可视化在城市洪水演进中的模拟研究——以马鞍山为例[J]. 测绘科学, 2010, 35(1): 88-90.
- [15] 王伟. 基于GIS和SWMM模型的城市内涝模拟研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.
- [16] 王小杰. 基于多源信息融合的城市内涝模拟仿真及预警系统研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.

## Construction and Operation of Urban Storm Flood Model based on GIS and SWMM

PU Yunjun<sup>1</sup>, WANG Zengwu<sup>1</sup>, YANG Kangquan<sup>2</sup>, LIU Weiqiao<sup>1</sup>, LUO Huan<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China; 3. Shuangliu District Meteorological Bureau, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In recent years, the process of urbanization has accelerated, extreme weather has occurred frequently, and serious waterlogging has occurred in major cities, which can seriously endanger the property and personal safety of the people. SWMM (storm water management model) and other commonly used urban storm flood runoff models have been widely used in urban waterlogging research and have achieved some remarkable results. However, the data processing required to build the SWMM project file is relatively cumbersome and for most model users, the input and output data of the model are not intuitive and extremely inconvenient to use; In view of this situation, it is of great significance to study how to quickly build urban storm flood model and realize its commercialization. Taking Dongsheng Street, Shuangliu District, Chengdu as an example, the author digitised and generalized the underground pipe network in Shuangliu District using GIS (geographic information system) technology based on multi-source data such as boundary layer of Shuangliu administrative division, distribution map of drainage (rainwater) pipe network, actual monitoring of meteorological stations, DEM (digital elevation model) and land use classification, the sub-catchment area of Dongsheng Street is divided by hydrological analysis method and Tyson polygon method, and the impervious proportion and average percentage slope of each sub-catchment area are calculated and processed by surface analysis method and zoning statistical method; GIS software development technology is used to obtain the characteristic width of sub-catchment area. Finally, a series of operational research and development of the rain and flood model of Dongsheng Street in Shuangliu District, Chengdu, including the programmed construction, automatic operation and result visualization, were realized. The simulation and comparison of the rain and flood model of Dongsheng Street were carried out using the historical waterlogging case data. The results showed that the overflow node was consistent with the flood record, which means the performance of this model is good. The corresponding results have also been applied to the urban waterlogging early warning business in Shuangliu.

**Keywords:** 3S integration; GIS; SWMM; urban waterlogging