引文格式：李美珍,丘文敏. 实景三维在洪涝灾害分析中的应用研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(9): 89-92. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.09.019

实景三维在洪涝灾害分析中的应用研究

——以英德市为例

李美珍[1]，丘文敏[1*]
（1. 广东省国土资源测绘院，广东 广州 510500）

摘　要：为探究极端降雨条件下洪涝灾害影响，以英德市为例，基于实景三维数据分析了2024年6月20日英德市2号洪水洪涝灾害情况，构建洪涝灾害分析评估模型用以评估洪涝灾害发生时的洪水流向、淹没范围、漫溢点、淹没深度以及各填洼区能承受的最大降雨量。结果表明，2号洪水发生时的预测水位为33.60 m，对应英德（五）水位站的水位为33.88 m，误差为0.28 m，证明了洪涝灾害分析评估模型的科学性，可为北江防灾减灾提供服务支撑。

关键词：实景三维；高精度；洪涝灾害；漫溢点；淹没分析
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）09-0089-04

Research on the Application of 3D Real Scene in the Flood Disaster Analysis: A Case Study of Yingde City

LI Meizhen[1], QIU Wenmin[1]
(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China)

Abstract: In order to explore the influence of flood disaster under extreme rainfall conditions, taking Yingde City for example, we analyzed the flood disaster situation of No.2 Yingde City on June 20, 2024 based on 3D real scene data. We constructed a flood disaster analysis and evaluation model to evaluate the flood direction, inundation range, overflow point, inundation depth and the maximum rainfall that each depression filling area could withstand when flood disaster occurred. The result shows that the predicted water level when No.2 flood occurred is 33.60 m, corresponding to the water level of Yingde (5) Water Station is 33.88 m, and the error is 0.28 m, which proves the scientificity of flood disaster analysis and evaluation model, and provides service support for disaster prevention and reduction of Beijiang.

Key words: 3D real scene, high-precision, flood disaster, overflow point, inundation analysis

随着全球气候变暖，降雨模式也在发生变化，极端降雨事件的频率和强度增加[1-2]，导致我国城市洪涝灾害发生频繁。洪涝灾害分析是洪涝灾害研究的主要内容，众多学者[3-8]对洪涝灾害成因和影响进行了研究，但未对洪水流向和淹没区的漫溢点进行分析，因此本文构建了一套在极端天气下洪涝灾害发生时评估淹没范围、漫溢点和淹没深度的洪涝灾害分析模型。实景三维建设是实景三维中国建设的主要内容，地理场景是实景三维重要的组成部分，是对真实世界的模拟[9-11]。经过多年发展，实景三维数据的生产与成果已成功应用于自然资源管理、规划等领域[12-14]。洪涝灾害分析评估模型以实景三维地理场景为基础，构建反映真实世界的数字空间底座，并依据数字空间底座进行洪涝灾害分析评估，为防灾减灾提供服务支撑。

1　研究区概况和数据来源

英德市位于广东省中北部、北江中游，属北江流域。北江是珠江流域的第二大水系，发源于江西省信丰县石碣大茅坑，广东省境内集雨面积达42 930 km^2。北江的主汛期为每年4—7月[15]，将发生3~4次洪水。本文采用的数据包括河陆一体实景三维数据、单位时间降雨量、1∶1万地形图（表1），所有地理信息数据地理坐标系为CGCS2000，投影坐标系统为高斯-克吕格3°分带，横坐标加带号。

项目来源：广东省科技计划资助项目（2021B1111610001、2021B1212100003）。
第一作者简介：李美珍（1990—），本科，工程师，从事实景三维建设、地理信息系统、地理国情监测、房产测绘等工作，E-mail：790938252@qq.com。
通信作者：丘文敏（1990—），本科，工程师，从事地理信息系统、实景三维建设、海洋测绘等工作，E-mail：2361003609@qq.com。

表1 数据来源与格式

数据类型	数据格式	数据说明	时效性	数据来源
河陆一体实景三维数据	栅格	陆域部分通过机载激光点云生产2 m格网的DEM；河域部分通过船载单波束测深系统生产2 m格网的DEM；陆域、河域无缝连接	陆域部分：2018年 河域部分：2019年	广东省国土资源档案馆
单位时间降雨量	降雨量	根据水利部门预报当地单位时间降雨量	2024年	https://www.gd121.cn/index.shtml/
1∶1万地形图	基础地理信息数据	房屋、围墙、拦河坝等具备阻隔洪水淹没的建/构筑物	2023年	广东省国土资源档案馆

2 研究方法

2.1 洪涝灾害分析评估模型设计

洪涝灾害分析评估模型以河陆实景三维数据、单位时间降雨量和疏洪口单位时间流量为基础，通过计算填洼区得到填洼区集水区域和漫溢点出现时的汇水体积；再评估极端洪水发生时的洪水走向、受灾区和受灾区淹没水深情况（图1）。

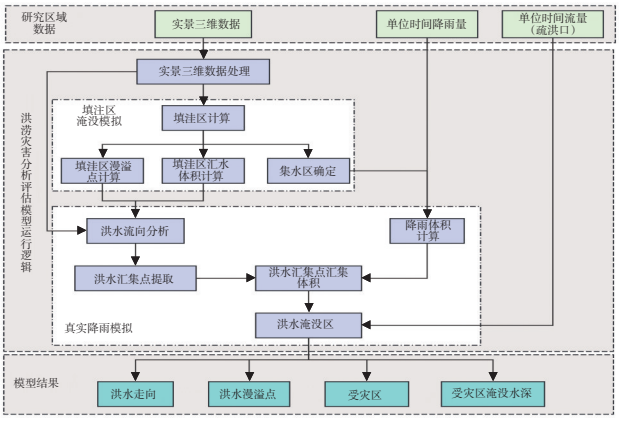


图1 涝灾害分析评估模型设计流程

2.2 实景三维数据处理

在实景三维数据中，植被将导致洪水流动路径、洼地位置及其体积、漫溢点和相关流域的分析评估出现误差，因此需对实景三维数据进行水文条件调节，使其成为裸露地表和建筑物的组合，更贴近洪水流动时的地面真实反映。

2.3 填洼区淹没模拟

1）填洼区计算。假设在极端降雨且不考虑土壤入渗等情况下，所有填洼区均被淹没，研究区将形成地势平坦（无填洼区）的理想DEM，将理想DEM与原始DEM进行空间叠加分析，从而计算得到极端降雨条件下英德市北江岸段周边填洼区分布和汇水体积情况。英德市北江岸段周边填洼区分布和汇水体积见图2。

$$V_{汇}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(h_{填}-h_i)Ce^2 \quad (1)$$

2）漫溢点与流向计算。填满填洼区后，洪水将从填洼区高程最低点处溢出，即漫溢点。漫溢点的计算与洪水流向、填洼区息息相关，本文采用8邻域种子蔓延算法。该算法核心是基于3像素×3像素的DEM栅格，计算每个栅格中心点与相邻8个方向上栅格点之间的坡度，中心点水流优先流向与中间栅格点坡度最大的栅格点。利用8邻域种子蔓延算法计算洪水形成时的流向[16-19]；再将计算得到的栅格点一一连接，并基于降雨情况计算各栅格单元的流量累积值，构建洪水流向和流量累积网；然后通过填洼区获取填洼区内具有最大流量累积值的单元格；最后联合洪水的流向得出漫溢点的位置。洪水形成时英德市的洪水流向、填洼区漫溢点和汇水体积见图3。

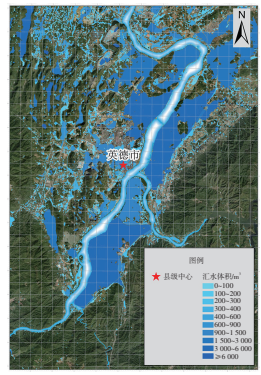


图2 英德市北江岸段填洼区空间分布示意图
审图号：GS(2024)0568

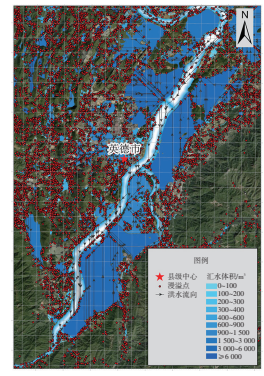
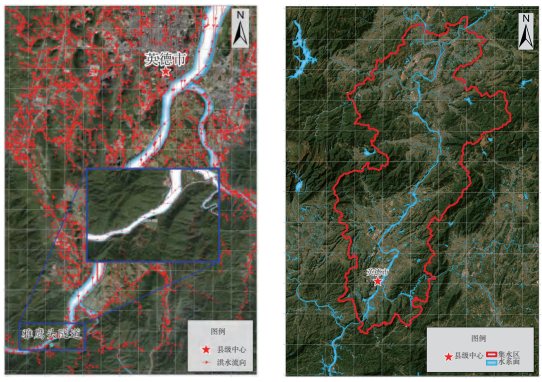


图3 漫溢点、流向和填洼区汇水体积示意图
审图号：GS(2024)0568

3）集水区确定。为更好地模拟英德市北江岸段不同等级洪水的受灾情况，对洪水发生时汇集到英德市的降雨集水区和洪水流向进行分析计算，结果见图4，降雨发生时洪水将汇集到英德市北江岸段干流（雅鹰头隧道以北）区域，在单位时间降雨条件下，其流量是决定上游是否发生洪水淹没的关键因素，基于此进行单位时间降雨分析。

2.4 真实降雨模拟

北江分别于2024年4月7日（1号）和4月21日（2号）发生了两次洪水，北江干流英德（五）站于4月7日7时和4月21日11时记录的水位为29.99、34.50 m，分别超警戒水位3.99、8.50 m[20]，对群众的生命财产安全造成严重影响。因此，本文利用洪涝灾



a 洪水流向　　b 降雨集水区

图4　英德市的降雨集水区和洪水流向分析结果

审图号：GS(2024)0568

害分析评估模型进行单位时间降雨量英德市北江岸段淹没分析。

首先基于河陆一体实景三维数据，计算河流流域截面随水位上涨时的截面面积；再计算英德市北江岸段集水区范围内单位时间降雨体积，即

$$V_{降}=\sum_{i=1}^{N}p_{降}Ce_i^2-\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(h_{填}-h_i)Ce^2-v\sum_{i=1}^{M}(H_{涨}-h_i)Ce\times T \tag{2}$$

水位上涨是一个动态过程，为优化评估模型的效率和可行性，本文计算得到英德市北江干流雅鹰头隧道段截面面积与水位变化的相关关系，并结合英德（五）水位站日常水位和警戒水位得到截面面积与水位变化的关系（图5），可以看出，北江干流雅鹰头隧道段对应的英德（五）水位站日常水位和警戒水位分别为20、26 m，截面面积分别为2 350、3 379 m^2，因此英德（五）水位站水位为34.50 m时，对应北江干流雅鹰头隧道段截面面积为5 300 m^2。

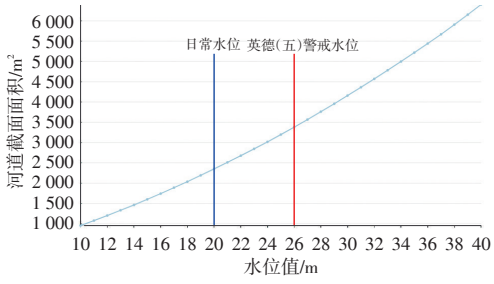


图5　北江干流雅鹰头隧道段截面面积随水位变化图

由于英德（五）水位站尚未提供流量数据，因此本文采用距离最近的飞来峡水文站洪水流速表示英德市北江干流雅鹰头隧道段流速。假设单位时间内，飞来峡水文站所在河流截面上流速相同，则洪水发生时的流速为流量与横截面积的比值，2024年4月7日下午的流量为12 000 m^3/s，基于河陆一体实景三维数据，水位到达18.99 m（超警戒水位0.99 m）时，洪水流速为1.8 m/s。

3　英德市洪涝灾害分析评估

受南海上空暖湿气流与冷空气交汇影响，2024年4月20日20时45分，北江流域遭遇强降雨，北江干流石角水文站流量涨至12 000 m^3/s，英德沙口24 h最大累积降雨量为299.50 mm（特大暴雨），英德（五）水位站出现了33.88 m的洪峰水位，超警戒水位接近8 m，形成了北江流域2024年第2号洪水[21]。当降雨量达到20~300 mm时，利用洪涝灾害分析评估模型计算汇集到北江干流雅鹰头隧道段的汇水体积（图6），进而推算得到当24 h最大累积降水量达到299.50 mm时英德市淹没水深空间分布（图7a）和实地洪水淹没情况（图7b）。此时的预测水位为33.60 m，与英德（五）水位站的实测水位相差0.28 m，说明该模型可为洪水防灾减灾提供一定的参考作用。

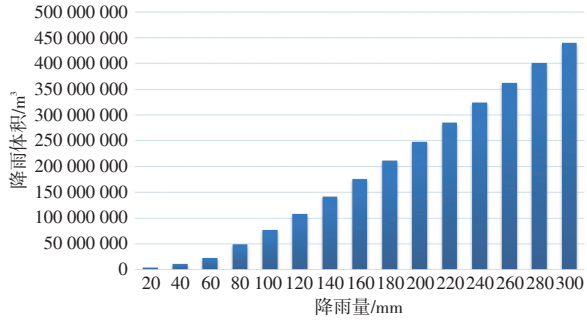
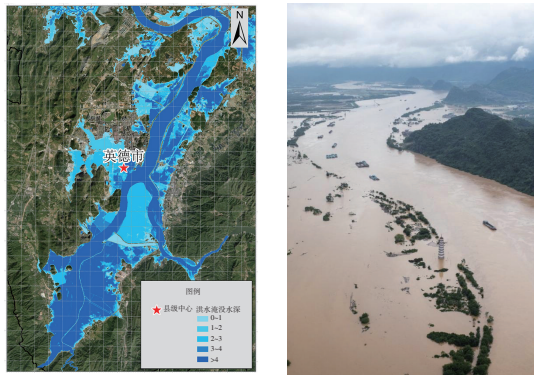


图6　不同降雨量汇集降雨体积变化图



a 淹没水深分布　　b 实景图

图7　英德市淹没水深图与实景图

审图号：GS(2024)0568

4　结　论

本文基于实景三维数据与降雨量预测结果，构建了一套洪涝灾害分析评估模型，可评估洪水发生时洪水流向、淹没区域、漫溢点和水位变化情况等，已取得较好的模拟效果，对北江干流的防灾减灾具有一定的指导作用，但也存在一定的局限性。洪涝灾害涉及

土质渗透率、水动力、植被等多种影响因素，且实际发生过程中还存在降雨空间分布的不均匀性，因此在后续研究中仍需对不同变量进行模拟分析，以便得到更好的评估分析结果。

参考文献

[1] 宋天旭,刘家宏,梅超,等. 极端降雨下地下空间淹水对城市内涝过程的影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2024,32(2):349-364

[2] 汪明圣,胡娅敏,胡婷,等. 近50年广东春运期间气温和降水协同变化的气候特征[J]. 热带气象学报,2023,39(2):230-241

[3] 于琛,胡德勇,张亚妮,等. DEM空间分块的洪水动态演进算法研究与应用[J]. 测绘科学,2020,45(10):181-189

[4] 刘波,李英冰,杨新红. 卡霍夫卡溃坝造成的下游灾情评估[J]. 地理空间信息,2024,22(1):39-43

[5] 王昊,张永祥,唐颖,等. 暴雨洪水管理模型的城市内涝淹没模拟[J]. 北京工业大学学报,2018,44(2):303-309

[6] 韩赞希,张昕,王自法,等. 基于气象水文水动力耦合模型的流域尺度洪水预报方法:以北江流域为例[J]. 科学技术与工程,2024,24(11):4 397-4 408

[7] 倪丽丽,刘晔,李经纶,等. 基于生态水文调节服务的石家庄雨涝灾害供需匹配分析与街区规划干预[J]. 生态学报,2024,44(13):5 828-5 841

[8] 樊航,王恒,刘伟男,等. 利用国产高分卫星影像数据提取洪涝灾害影响分析[J]. 地理空间信息,2023,21(8):65-67

[9] 陈军,田海波,高崟,等. 实景三维中国的总体架构与主体技术[J]. 测绘学报,2025,54(4):636-649

[10] 孙建华,李巍,袁伟哲,等. 基于NeRF的城市实景高精度三维建模技术[J]. 测绘通报,2024(4):129-134

[11] 沈吉宝. 空地融合精细化实景三维重建方法[J]. 地理空间信息,2023,21(8):114-117

[12] 乐黎明,覃雪梅,王祥,等. 实景三维模型的建设技术与应用[J]. 地理空间信息,2022,20(11):96-99

[13] 闫昶,宋伟凯. 面向多源数据的开源三维GIS关键技术研究[J]. 地理空间信息,2024,22(6):39-42

[14] 黄林周,姜紫薇,黄印. 实景三维地理信息系统在智慧林业中的应用[J]. 地理空间信息,2023,21(3):49-51

[15] 刘占明,徐丹,魏兴琥,等. 北江流域汛期降水结构变化特征[J]. 热带地理,2020,40(1):145-153

[16] 董良,张宏鸣,王岩泽,等. 一种在DEM平地中的河网水流方向估算方法[J]. 遥感信息,2020,35(3):130-137

[17] 杨启贵,王汉东. 一种大区域洪水淹没范围快速提取的分块种子蔓延算法[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2015,49(4):603-607

[18] 陈静,袁思佳,曾方敏. 三维虚拟地球中有源洪水淹没分析算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(4):492-495

[19] 李武. 洪水淹没分析与避洪转移路线研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2021

[20] 李赫,粤水轩. 水利部门如何筑牢防汛抗洪“安全堤”? [N]. 南方日报,2024-05-24(A07)

[21] 作者不详. 珠江流域多河发生编号洪水 水利部滚动会商部署科学精细调度应对[J]. 中国防汛抗旱,2024,34(5):5

（上接第79页）

[16] 张玉琢,杨志贵,于红妍,等. 基于STARFM的草地地上生物量遥感估测研究:以甘肃省夏河县桑科草原为例[J]. 草业学报,2022,31(6):23-34

[17] Zhai H, Huang F, Qi H. Generating High Resolution LAI Based on a Modified FSDAF Model[J]. Remote Sensing, 2020,12(1):150-165

[18] 余志巍,刘强,张宇阳,等. 内蒙古不同草地NDVI变化及其驱动要素[J]. 生态学报,2024,44(22):10 068-10 082

[19] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159

[20] 牛莉婷,周波,陈建荣,等. 基于NDVI的兰州市城关区植被覆盖度变化研究[J]. 地理空间信息,2017,15(12):28-30

[21] Mishra R, Singh E, Kumar A. et al. Application of Remote Sensing for Assessment of Change in Vegetation Cover and the Subsequent Impact on Climatic Variables[J]. Environment Science and Pollution Research , 2021 , 28:41 675-41 687

[22] 王星,霍艾迪,吕继强,等. 塔里木河干流植被覆盖度动态变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2023,39(8):284-292

[23] 赵楠,赵颖慧,邹海凤,等. 1990—2020年黑龙江省植被覆盖度的时空变化趋势及驱动力[J]. 应用生态学报,2023,34(5):1 320-1 330

[24] 王超,侯鹏,刘晓曼,等. 中国重要生态系统保护和修复工程区域植被覆盖时空变化研究[J]. 生态学报,2023,43(21):8 903-8 916

[25] Gao S Q, Dong G T, Jiang X H, et al. Quantification of Natural and Anthropogenic Driving Forces of Vegetation Changes in the Three-river Headwater Region During 1982-2015 Based on Geographical Detector Model[J]. Remote Sensing, 2021, 13(20):4 175

[26] 王正雄,蒋勇军,张远嘱,等. 基于GIS与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析[J]. 地理学报,2019,74(5):1 025-1 039

[27] Kallimanis A S, Touloumis K, Tzanopoulos J, et al. Vegetation Coverage Change in the EU: Patterns Inside and Outside Natura 2000 Protected Areas[J]. Biodiversity and Conservation, 2015, 24:579-591