

基于数字孪生的蓄滞洪区淹没分析模型研究和实现

孟成

湖北建科国际工程有限公司 湖北省武汉市, 430223

摘要: 开展蓄滞洪区淹没分析, 对蓄滞洪区内国土空间优化、基础设施布局和重大项目落地等工作有着重要的意义。本研究提出基于数字孪生技术开展蓄滞洪区淹没分析的思路, 设计了基于规划蓄洪量前提下安全区划定方案评价的方法, 并基于 ArcGIS 的空间分析和计算接口进行了程序设计和实现, 为安全区划定提供了科学的方法和工具。

关键字: 数字孪生, GIS, 淹没分析, 空间计算

0 引言

长江物产丰富, 为国家经济和社会发展提供了良好的基础, 但也给沿岸的百姓带来了深重的灾害。2010 年, 水利部发布了《国家蓄滞洪区修订名录》, 在全国范围内划定了 98 处蓄滞洪区, 其中长江流域多达 44 处。通过蓄滞洪区的划定, 保证重点地区的防洪安全, 满足流域或区域防洪规划现实与经济合理的需要。然而在蓄滞洪区范围内, 如何合理布局基础设施, 支撑地区经济社会发展成为了国土空间规划、城市科学管理的重大课题。目前, 国内外开展洪水淹没分析的研究多采用 GIS 技术、水动力模型等结合 DEM 进行不同水位高程的淹没范围计算, 主要对淹没范围的确定、评估等工作提供依据和参考, 这些研究主要围绕防洪安全开展, 少有从地区社会经济建设发展需求角度出发, 开展面向防洪安全和国土空间利用效率方面的研究。2023 年 2 月, 中共中央、国务院印发《数字中国建设整体布局规划》提出了“构建以数字孪生流域为核心的智慧水利体系”建设的要求, 为蓄滞洪区淹没分析提供了新的方向和路径。在此背景下, 本研究以数字孪生技术为支撑, 结合 GIS 技术, 构建面向蓄滞洪区国土空间布局优化的淹没分析模型和技术实现路径。

1 研究思路和方法

1.1 研究思路

蓄滞洪区包括行洪区、分洪区、蓄洪区和滞洪区, 其中行洪区是指天然河道及其两侧或河岸大堤之间, 在大洪水时用以宣泄洪水的区域; 分洪区是利用平原区湖泊、洼地、淀泊修筑围堤, 或利用原有低洼圩垸分泄河段超额洪水的区域; 蓄洪区是分洪区发挥调洪性能的一种, 它是指用于暂时蓄存河段分泄的超额洪水, 待防洪情况许可时, 再向区外排泄的区域; 滞洪区也是分洪区起调洪性能的一种, 这种区域具有“上吞下吐”的能力, 其容量只能对河段分泄的洪水起到削减洪峰, 或短期阻滞洪水作用。行洪区作为洪水流动的通道, 分洪区、蓄洪区和滞洪区, 均起到暂时蓄储洪水的作用。

淹没分析涉及到大量的空间计算和模拟仿真, 采用数字孪生技术建立研究区域的数字空

间，能够为空间计算分析提供研究基础。本研究以满足蓄滞洪区洪水蓄储要求为核心前提，在此基础上结合自然地貌特征，辅以人工干预等手段，以蓄滞洪区安全区域划定与校核为目标，提出一套科学可行的洪水淹没分析流程和模型，支撑国土空间规划方案预演、重大建设项目选址以及市政设施布局提供支撑。

1.2 模型设计

(1) 高程基准关系

在蓄滞洪区的划定时，同步设计了该区域的最高水位。蓄洪容量必须是该区域最高水位和起始高程之间，除去安全区范围所能容纳的洪水量。一般情况下，蓄滞洪区规定的最高水位要高于河段的警戒水位、低于保证水位，如图 1 所示。目前，长江设防水位、警戒水位、保证水位均沿用“吴淞零点和吴淞高程系”，即以长江入海口——吴淞口的实测水位资料为基准，以比实测最低水位略低的高程作为长江水位的水尺零点，并正式确定为吴淞零点 (W.H.Z)。但当前，在我国测绘、规划、建设领域统一采用的是 1988 年 1 月 1 日启用的“1985 国家高程基准”。因此，为了便于模型计算和成果应用，模型首先需要建立两个高程基准间的转换关系，如公式 1 所示：

$$H_{1985\text{ 国家高程}} = h_{\text{吴淞高程}} - 1.953m$$

(式 1)

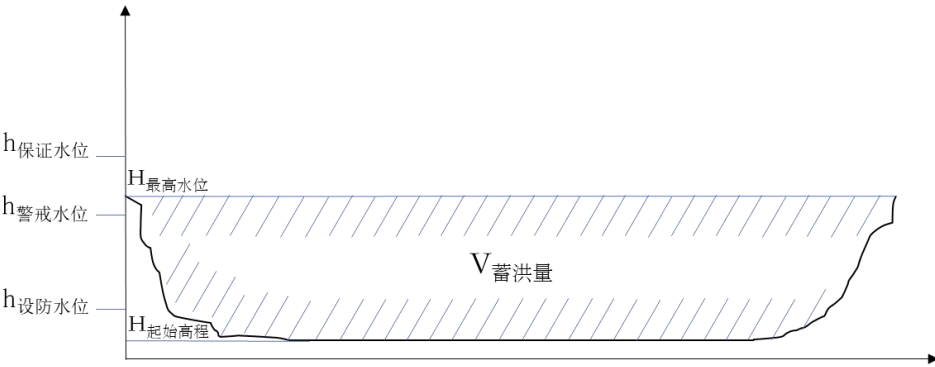


图 1 蓄洪区工程关系图

(2) 模型计算流程

模型的整体设计以满足蓄滞洪要求为前提，在容纳规定蓄洪量的情况下，结合地质地貌条件，以尽量将蓄滞洪区内连片、优质的区域划定为安全区范围的目的。模型流程图如图 2 所示。

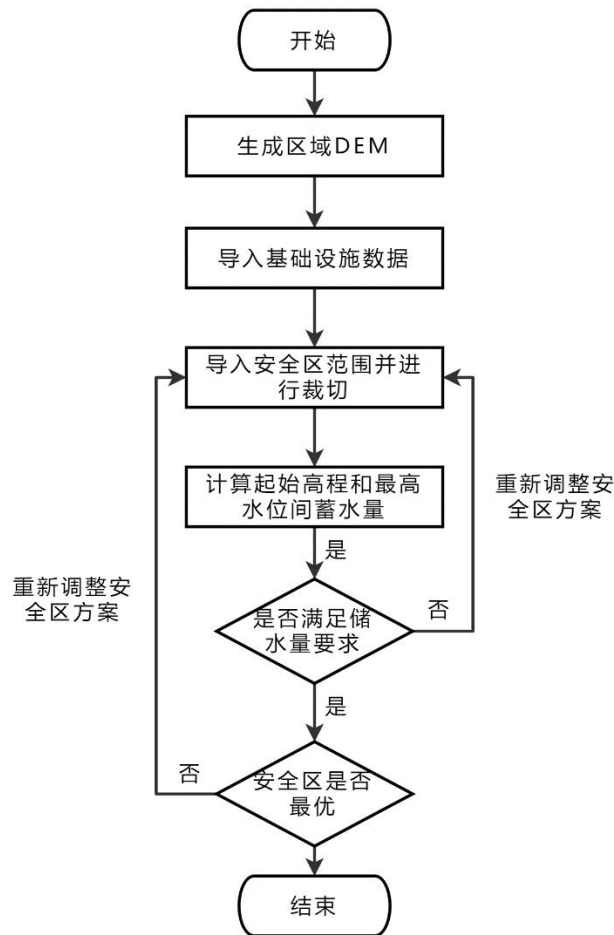


图 2 模型流程图

- ①根据高程测量数据，生成研究区域数字高程模型；
- ②导入安全区范围和基础设施布局方案，用安全区范围对研究区域进行裁切，作为淹没计算的底图；
- ③计算蓄滞洪区范围内起始高程到最高水位间储水量；
- ④若不能满足蓄滞洪区设计蓄洪量要求，则重新调整安全区范围设计方案，重复步骤②，若满足要求，则判断安全区是否最优化；
- ⑤从安全区面积、基础设施布局等角度判断安全区是否最优化，若安全区设计方案还可进一步优化，则重复步骤②，直至得到最优安全区方案为止。

2 设计和实现

数字孪生是将物理空间向数字空间的映射产物。为建立研究区域的数字孪生，首先需要建立研究区域数字化底板，其次梳理研究区域各类要素信息，形成数字化的信息基础，最后是实现各类要素和数字化底板的关联和融合，建立基准统一、内在联系的数字化研究对象，即建立数字孪生的蓄滞洪区。

2.1 数字孪生设计和构建

(1) 数字资源目录

构建数字孪生蓄滞洪区，需收集整理包括基础地理数据、基础设施数据、其他相关数据。详见表 1。

表 1 数据资源目录

序号	大类	小类	类型	备注
1	基础地理数据	数字高程模型	空间数据	三维数据
2		地表覆盖数据	空间数据	
3		房屋建筑数据	空间数据	三维数据
4	基础设施数据	道路数据	空间数据	三维数据
5		桥梁、涵洞数据	空间数据、属性数据	三维数据
6		地下管线数据	空间数据、属性数据	三维数据
7		应急场所数据	空间数据、属性数据	三维数据
8		其他市政、公共设施	空间数据、属性数据	三维数据
9	其他相关数据	人口统计数据	属性数据	
10		经济单位数据	属性数据	

(2) 空间关联方法

数字孪生的数据体系中涉及大量空间和非空间数据，为了开展空间计算和仿真推演，一方面需要对各类数据进行融合关联，另外一方面需要实现各类数据空间基准的统一。本研究拟采用地理空间索引方式实现各类数据的融合，包括采用地址描述、位置描述、空间编码、坐标记录等带有空间特征的描述，通过空间索引将基础设施数据、人口、经济数据等与基础地理数据关联，构建成基准统一、内在联系的数字孪生底座。

2.2 核心算法设计和实现

程序以 ArcGIS 空间分析和三维分析接口为基础，参照 1.2 节模型流程，根据实际应用需求设计程序框架，包括输入层、操作层、计算层和输出层。如图 3 所示。

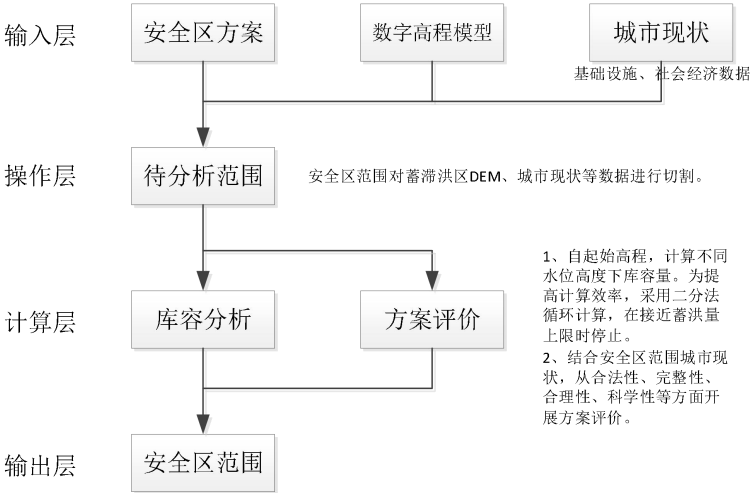


图 3 程序设计

考虑代码实现的完整性和一致性，淹没分析模块二次开发接口、核心算法接口、空间计算接口均使用 ArcGIS 接口实现。结合实际应用场景，淹没分析的核心计算包括空间裁切、库容计算和栅格输出，且操作逻辑能够按照输入、计算、输出三个步骤进行标准化组织。整个操作步骤采用 ArcGIS 的模型构建器（ModelBuilder）完成。模型构建器是一个用来创建、编辑和管理模型的应用程序。模型是将一系列地理处理工具串联在一起的工作流，它将其中一个工具的输出作为另一个工具的输入。也可以将模型构建器看成是用于构建工作流的可视化编程语言。

3 结束语

本研究提出了一种基于数字孪生技术的洪水淹没分析模型，主要面向蓄滞洪区安全区划定方案的筛选和评价。该方法以满足蓄滞洪区规定的洪水蓄储量要求为核心前提，提出了淹

没分析模型的思路和计算流程，依托 ArcGIS 的分析、计算接口实现模块的开发。模型设计的流程和逻辑具备程序实现的可能，符合设计人员的操作习惯，并能够支撑国土空间规划方案预演、重大建设项目选址以及市政设施布局提供支撑。

参考文献：

- [1] 吴宗阳,吴晓翔,林源君等.浙江典型滨海城市复合致灾因子洪涝模拟及淹没分析[J].水力发电,2022,48(12):22-27+47.
- [2] 林源君,王旭滢,包为民等.基于一二维水动力模型的山丘区小流域洪水模拟与淹没分析[J].水力发电,2022,48(03):10-14.
- [3] 邓理思,刘闯,朱长富.大藤峡实景三维可视化淹没分析系统开发与应用[J].人民珠江,2021,42(04):35-39.
- [4] 侯龙潭,张永平,官庆朔.不同标准洪水条件下山东省峡山水库下游淹没分析[J].中国防汛抗旱,2020,30(11):29-33.DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2020117.
- [5] 张静,倪金,马诗敏等.基于 GIS 的大连市金普新区洪水淹没分析[J].地质与资源,2021,30(05):590-594.DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2021.05.010.