

蓄滞洪区洪灾避险迁移路径规划研究

朱大栋¹, 朱 昊^{1*}, 王 远², 陈寅达³, 徐 毅¹

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 江阴市水利工程有限公司, 江苏 无锡 214407;
3. 江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 江苏 无锡 214125)

摘要:蓄滞洪区是防洪减灾体系中的重要组成部分,研究蓄滞洪区洪灾避险迁移路径规划有助于指导灾民安全迅速地撤离,对保障人民生命及财产安全具有重要意义。以洪泽湖周边蓄滞洪区成河乡为例,通过无人机测量获取实验区精细DEM并确定迁移单元,根据洪水迁移避险的原则及洪灾避险思路划分人员迁移的安置场所,通过路权分析确定最佳撤离路线,针对降水及洪水淹没因素设计不同的选择方案,可为蓄滞洪区洪水风险决策管理提供参考依据。

关键词:蓄滞洪区;洪水;避险路径;无人机

中图分类号:TV873 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2023)02-0065-0005

Study on flood avoidance migration path planning in flood storage and detention area

ZHU Dadong¹, ZHU Hao¹, WANG Yuan², CHEN Yinda³, XU Yi¹

(1. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China;
2. Jiangyin Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Wuxi 214407, China;
3. Wuxi Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Wuxi 214125, China)

Abstract: The flood storage and detention area is an important part of the flood control and disaster reduction system. Studying the flood avoidance migration path planning in the flood storage and detention area is helpful to guide the safe and rapid evacuation of disaster victims, and is of great significance to ensuring the safety of people's lives and property. Taking Chenghe Country in the flood storage and detention area around Hongze Lake as an example, the refined DEM of the experimental area is obtained through UAV measurement and the migration unit is determined. The resettlement site for personnel migration is divided according to the principle of flood migration and risk avoidance and the flood disaster avoidance idea. The best evacuation route is determined through the right of way analysis. Different options are designed for precipitation and flood inundation factors, which can provide reference for flood risk decision-making and management in the flood storage and detention area.

Key words: flood storage and detention area; floods; risk avoidance path; unmanned air vehicle

随着江河流域防洪体系不断完善及整体防洪能力的提高,常遇洪水得到有效控制,但特大洪水的威胁依然存在^[1]。蓄滞洪区是防洪减灾体系中的重要组成部分^[2],除加强防洪工程建设外,洪灾避险

是避免或减少灾害造成人员伤亡的直接有效的手段^[3]。优化逃生路线将有助于指导灾民安全迅速地撤离,增强其应对洪灾能力,也将为蓄滞洪区开发区划以及洪水风险决策管理等提供参考依据。

收稿日期: 2022-11-26

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021063);江苏省水利科技项目(2020007)

作者简介: 朱大栋(1983—),男,硕士,主要从事洪涝灾害防治对策研究工作。E-mail:583694368@qq.com

通信作者: 朱昊(1989—),男,工程师,博士,主要从事河湖系统治理与保护工作。E-mail:592382399@qq.com

国内外关于蓄滞洪区避险迁移路径规划方面的研究已有较多成果。通过建立二维水动力学模型,李文杰等^[4]利用该模型获得的区域洪水淹没范围,通过分析模型,获得了洪水淹没过程中的水深分布以及不同时空分布下的洪水流动情况等信息。周杰等^[5]通过将一维和二维水动力模型耦合,根据计算模拟的结果,对洪泽湖周边蓄滞洪区洪水风险要素动态分布进行研究,完成了洪水风险的定量评估。王晓磊等^[6]模拟洪水的演进过程,获取洪水淹没范围,流场分布并绘制了蓄滞洪区50年一遇的洪水风险图。

上述研究大多采用数学模型模拟了洪水演进过程,获得洪水淹没深度、淹没范围及淹没时间等要素,而针对蓄滞洪区洪灾发生时居民避险迁移优化路线的规划研究还较少。本文以洪泽湖周边蓄滞洪区成河乡为例,在洪灾避险及路径规划策略分析的基础上,通过无人机测量获取实验区精细DEM并确定迁移单元,通过路权分析确定最佳撤离路线,针对降雨及洪水淹没2种因素设计不同的选择方案。

1 研究要素

为保证受灾区人员的安全撤离,需要制定科学合理的避险迁移策略,洪灾迁移策略是保证居民生命安全的重要行动方针。迁移策略的制定必须依据洪灾避险的原则,结合洪水淹没分析的结果,通过分析获取区域淹没水深及淹没范围,得出避险迁移的范围。根据洪水要素及人员信息确定迁移单元以及安排迁移的批次,根据安全位置的选取原则,确定洪水区域内的安全避险场所,为后期的路径规划提供依据。

1.1 避险迁移要素

(1)迁移范围。根据洪水淹没分析的结果,确定各区域的淹没情况,如淹没水深或者流速等确定迁移的范围。

(2)避险分区。根据确定的避险迁移范围和居民区人口分布数据对受灾区进行区域划分。

(3)迁移单元。根据洪水演进时间的不同和人员分布来确定人员迁移的不同批次,通常情况下以一个范围内的全部人员为单元。

1.2 安全位置确定

确定洪泛区安全位置是洪灾避险的重要内容之一,也是洪水灾害管理费工程措施重要组成部分。在洪灾发生时,快速确定受灾区域的安全位置

是高效规划避险路线的关键,也是安全疏散受灾区居民的重要环节。安全场所需顾及洪泛区的人口及其分布。一般情况下,选择容纳一定数量人口的广场、公园、体育场、操场或者空地等。在洪灾发生时,可在该类区域搭建临时避难建筑以供灾民暂时安顿。具体来说一般包括以下几个方面。

(1)选址地点不能选择地势低洼区域,且要避开劣质土层,防止出现滑坡等。要避开洪水尚未淹没但后续可能淹没的区域,保证该地点的绝对安全。

(2)避免选在地震带上,避开高层建筑,以避免出现坍塌、坠物等造成的伤害。远离易燃易爆的工业场所等区域,避免出现二次伤害,同时应选择地质情况稳定、地势较高并远离河流及其他水域的地方。实验区所选择的洪泽湖西岸的成河乡地区,有一定数量的人工圈围的养蟹池,在该地区选址时也需要顾及此类因素。

(3)根据人员数量的多寡设置不同数量的安全区,在人口密集、活动频繁的地区应多设置安全区或者设置大安全区。同时,应兼顾地区的容纳能力,灵活调整人员安置,避免浪费时间。

(4)顾及避难场所选址的规模,选用的临时避险安置区理论上不需要较大的面积,而且要尽量保证较小的人均占用面积,通常维持在 $1\sim 2\text{ m}^2$,总体面积一般在 $10\ 000\text{ m}^2$ 左右。固定避险安置区域居民停留的时间长,对一些基础设施的要求较高,所以需要更大的避难空间,一般情况下为 $2\sim 3\text{ m}^2$ 的人均面积,总面积一般情况下应不小于 $15\ 000\text{ m}^2$,服务半径一般为 $500\sim 2\ 000\text{ m}$ 为宜。

1.3 路权函数分析

最短路径分析主要是通过数学模型解算洪水风险区域与安全避难场所之间的最短路径,分为点对点间和多个点间2种最短路径类别。点对点的 shortest path 是指在网络中单个点之间的花费路径最少的路径,多点间的最短路径则为先计算出网络中全部点之间的最短路径,然后再选择其中花费路径最少的路径。在洪灾发生时,需要确定受灾区域到安全避难场所的最佳路径,因此最短路径分析在洪水迁移策略中有着至关重要的作用。

1.4 路径规划策略

避险路径规划受到多种因素的影响,客观因素包括降水量、洪水进水量等,在暴雨天气条件下,降水量和洪水进水量是影响路径规划的重要因素。结合区域实际情况,按照单一考虑降水量以及综合

考虑雨量和洪水进水量2种情况,确定人员的避险迁移路径。

(1)在当地防洪基础设施较好的情况下,若洪水水位尚未超过防浪堤坝,此时并不需要考虑洪水进水量,只需顾及一定时间内的降水量即可。根据降水量的大小,判断受灾区内的风险区域,以此确定该条件下的避险迁移路线。

(2)若洪水水位已经高过防浪堤坝,即出现漫堤,则需要综合考虑实时降水量和洪水的进水量2种因素。此时,该地区风险区域的概率及风险区域的形成速度将大大提高。根据实际降水量和洪水进水量的大小,结合确定的安全避险位置,快速规划人员安全避迁的路线。

根据路网情况,在最短路径的基础上,拟定多条备选迁移路线。根据不同时刻各地区淹没情况的变化,适当调整迁移路线,以安全为主,不局限于最短原则,此方案适用于洪泛区内交通路网较完备的情况。

2 实例分析

2.1 区域概况

本文选择紧邻洪泽湖西岸的成河乡进行了航飞实验,该区域位于江苏省西北部、淮河下游的泗洪县东部。洪泽湖降水量丰沛,泄洪道为淮河入江水道。测区三面环水,内部有水道贯通洪泽湖,东西方向长度约3.0 km,南北方向长度约1.3 km,总面积约4.0 km²。测区内主要地物为水塘、农田,有少量低层建筑及若干高度大于100 m的风力发电塔。

2.2 测量方案

倾斜摄影是近年来航测领域逐渐发展起来的新技术,相对于传统航测采集的垂直摄影数据,通过新增多个不同角度镜头,获取具有一定倾斜角度

的倾斜影像。应用倾斜摄影技术,可同时获得同一位置多个不同角度、高分辨率的影像,采集丰富的地物侧面纹理及位置信息。通过相关软件自动生成地面点云,然后通过影像密集匹配获得地表点云,云自动滤波后,可能会存在未能过滤的少量粗差点和自动分类错误的点,需进行人工编辑以控制DEM的精度。人工编辑后,利用关键点构建三角网,内插之后将格网转换成栅格数据,即可生成DEM。所生成的三维模型和DEM如图1所示。

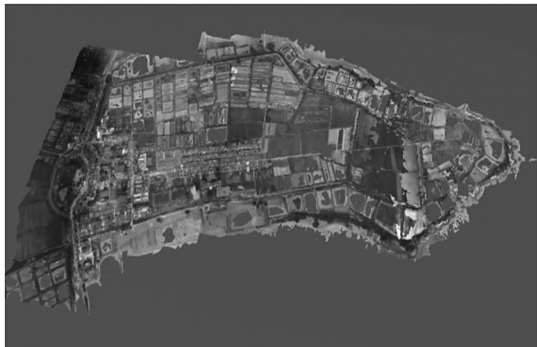
2.3 路径规划

洪灾避险迁移属于疏散规划研究的范畴,本文基于洪水淹没分析的结果,结合避险迁移的原则,制定科学的洪灾避险迁移策略。在最短路径的基础上,根据当地实际情况兼顾安置区容量、转移方式、转移批次以及转移进程中的拥堵等问题,确定区域内的安全位置。综合降水量和洪水进水量2种因素,分别确定2种工况下的避险迁移路线,利用ArcGIS软件将规划路线显示在地图上。

研究区成河乡约有居民0.9万人,学校1个,开放式小区2个,有大面积平房居住区。该地区三面环水,内部有水道贯通洪泽湖,且分布有若干人工围筑的养蟹池。实验模拟2003年洪水情况制定迁移路线。

根据区域淹没情况,结合避险迁移策略,将该区域进行避险迁移单元划分。在ArcMap中,新建SHP文件,设置需要进行划分的区域名称以及要素类型,通过Editor工具条完成对各要素类的编辑,设置单元属性,输入划分区域的面积等。

根据避险迁移的分区结果,结合区域地面高程以及淹没情况确定安全位置。根据安全位置的确定原则,选择未被淹没、交通便利且具有一定容纳能力的地区,满足上述要求的地点2个,分别是龙集



(a) 模型预览



(b) 模型细节

图1 成河乡的数字模型与DEM图

镇居委会和上咀小学。将包含安全位置及主要居住区的静态道路图在 ArcGIS 中显示,如图 2 所示。

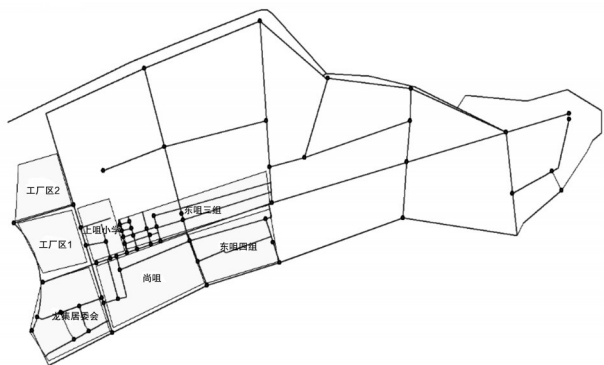


图2 研究区道路分布

该地区大部分区域为稻田以及水池,居住区面积小且分布密集,有利于避险统一管理。整个地区有 1 条主线干道(527 乡道)。

2.3.1 仅考虑降水因素

如图所示,在不考虑进水量的前提下,该地区除工厂 1 区、工厂 2 区两区域有部分被淹没的情况,其余各区域均未出现淹没情况,527 乡道未被淹没。利用 ArcGIS 中的网络分析工具,生成道路网格,在路径图中添加各个区域的“停靠点”,由于单一考虑降水量因素的情况下,该地区内部的人口分布区的道路均未出现淹没,可采用无权重最佳路径,此情形下是以网络长短来确定最短路径分析。添加划分的区域图层,生成的直观路径图如图 3 所示。

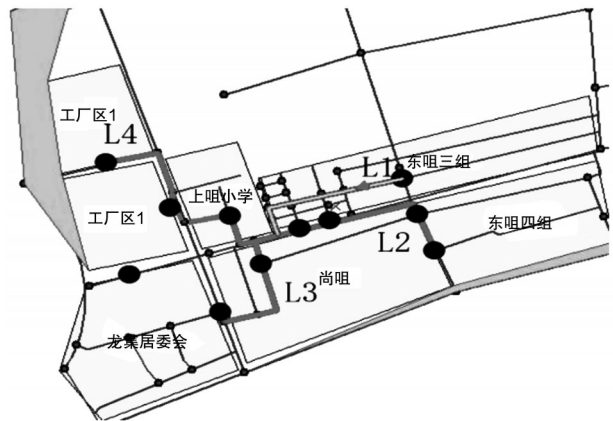


图3 降水量因素洪水淹没范围

由生成的最短路径可知,仅受降水量的影响时,实验区大部分面积并未出现淹没,尚咀人员可选择 L3 路线撤离至龙集居委会,东咀三组人员可

择 L1,东咀四组人员可选择 L2,工厂 1 区和 2 区人员可选择 L4 撤离至上咀小学区域。

2.3.2 考虑降水量及洪水进水量双重因素

综合考虑降水量和进水量,该地区东咀三组、东咀四组、工厂 1 区和工厂 2 区均出现淹没,稻田被淹没,527 乡道部分被淹没,确定安全区域为上咀小学和龙集镇居委会。在此情形下,由于该地区内部的人口分布区域道路出现了淹没情况,所以单一考虑两者安全点和迁移点之间的最短距离不再适用。因此需要在路径中添加“障碍”来表示路障,然后找到前往目标点的备选路线。单一情况下的东咀三组的撤离路线 L1 被水淹没,在该路段上添加 1 个“障碍点”,重新生成路线 S1。生成的路径如图 4 所示。

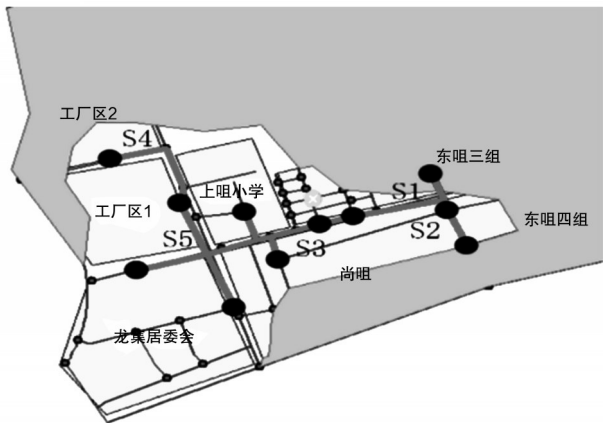


图4 双重因素洪水淹没范围

当受到降水量和进水量双重影响时,东咀三组人员由于线路被淹没,可更改成 S1 撤离至上咀小学区域,东咀四组选择 S2、工厂 2 区人员可选择 S4 撤离至上咀小学区域,顾及安全区容纳量,尚咀和工厂 1 区人员分别选择 S3 和 S5 撤离至龙集居委会。

3 结 语

研究阐述了洪灾迁移理论,通过路权函数分析得到受灾区与安全位置的最短路径,结合洪水迁移原则制定了洪水迁移策略,并结合实例根据无人机测量结果,确定迁移单元并设定了避险迁移规划路径。结合降水量及洪水淹没 2 种因素提出不同避险策略:当考虑单一降水量因素时,可以选择安全点和迁移点之间的最短距离确定无权重最佳迁移路径;若受到降水量和进水量双重影响时,则洪水淹没道路形成障碍,需重新规划安全路线并顾及安全区容纳量。

参考文献:

[1] 黄艳,李昌文,李安强,等. 超标准洪水应急避险决策支持技术研究[J]. 水利学报,2020,51(7):805-815.

[2] 果鹏,夏军强,陈倩,等. 基于力学过程的蓄滞洪区洪水风险评估模型及应用[J]. 水科学进展,2017,28(6):858-867.

[3] 陈福容. 某蓄滞洪区优化调度模型应用研究[J]. 水电能源科学,2021,39(8):103-106.

[4] 李文杰,谢悦波,朱程,等. 地下储气库建设对洪泽湖蓄滞洪区影响的数值模拟[J]. 水电能源科学,2016,34(2):45-48.

[5] 周洁,董增川,朱振业. 洪泽湖周边滞洪区洪水风险分析[J]. 水电能源科学,2017,35(4):63-66.

[6] 王晓磊,韩会玲,李洪晶. 宁晋泊和大陆泽蓄滞洪区洪水淹没历时及洪水风险分析[J]. 水电能源科学,2013,31(8):59-62.

(上接第 64 页)

表2 常见标尺对比

| 类别 | 搪瓷 | 铝合金 | 不锈钢 |
|------|---------------------|--------------|--------------|
| 材质 | 铁板搪瓷 | 铝合金 | 304 不锈钢 |
| 规格 | 长 100 cm,宽 8 cm(常用) | 可定制 | 可定制 |
| 工艺处理 | 传统工艺 | 表面贴膜 | 腐蚀烤漆 |
| 优点 | 浸水不腐蚀,字迹不掉色,有成品 | 较轻,易加工,字清晰工整 | 经久耐用,字迹清楚 |
| 缺点 | 易脱落 | 膜易老化褪色 | 工艺较复杂,制作时间较长 |
| 费用 | 经济 | 中等 | 较高 |

表3 不锈钢表面印字工艺

| 工艺处理 | 使用效果 |
|------|--------------------------------------|
| 喷漆 | 将字体喷在不锈钢表面,时间久了会掉漆 |
| 丝印 | 在不锈钢表面丝印字体,类似于喷漆工艺,效果比喷漆好,但时间长了会慢慢掉膜 |
| 转印 | 通过热转印,将字体或图案印在不锈钢表面,适合用于室内,室外容易变色 |
| 蚀刻 | 通过化学药水腐蚀进行蚀刻,可将不锈钢字体蚀刻下去且不易消失,效果最好 |

份,尤其是在闸控系统出现故障时,现场手动方式能及时将闸门启闭到调度指令要求的开度,满足工程实时启闭精准调度要求,方便直观,维护简单,对具有相同弧形闸门的水闸工程具有一定借鉴作用。

参考文献:

[1] 邱文艺. 浅谈水工建筑中水闸的构成及分类[J]. 建筑

工程技术与设计,2015(12):1471.

[2] 席清海,唐靖壹,吴福生. 弧形闸门开度测量尺[J]. 科技创新与应用,2018(35):90-91.

[3] 代威. 弧形闸门开度计算[J]. 山西水利科技,2014(2):18-21.

[4] 孙鲁安. 弧门开度与启闭机行程的函数关系推导[J]. 水利电力机械,2016,11(28):41-44.