引文格式：李雅,王山东. 避洪转移安置方案的优化[J]. 地理空间信息, 2026, 24(3): 121-126. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.03.025

避洪转移安置方案的优化

李　雅[1]，王山东[2*]
（1. 河海大学 地球科学与工程学院，江苏 南京 210098；2. 河海大学 地理与遥感学院，江苏 南京 210098）

摘　要：以1954年马鞍山市防洪保护区溃坝为研究对象，在洪水灾害情景下，对洪水范围内的人员避险转移进行了系统性的研究与方案优化。首先利用HEC-RAS模型模拟洪水演进，并根据生成的淹没分布图确定撤退点和安置点；再基于多对多的安置点分配与路径优选思路，利用层次分析法和运筹学中的运输模型进行安置点分配和人数的自动匹配，并依据Dijkstra求解最佳疏散路径；最后根据疏散结果进一步分配路线流量，并验证撤退时是否超过道路容量，若超出，则重新规划路线，防止道路堵塞。

关键词：洪水演进；避洪转移；安置点分配；路径优选
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）03-0121-06

Optimization of Flood Evacuation Transfer and Resettlement Plan

LI Ya[1], WANG Shandong[2]
(1. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. School of Geography and Remote Sensing, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking the dam breach in Ma'anshan flood control protection zone in 1954 as the research object, we conducted a systematic study and optimization of evacuation plans for personnel within the flood range under flood disaster scenarios. Firstly, we applied the HEC-RAS model to simulate flood routing, and determined the evacuation and resettlement points based on the generated inundation distribution map. Then, based on the idea of many to many resettlement point allocation and path optimization, we carried out the resettlement point allocation and the automatic matching of people's number based on the analytic hierarchy process and transportation models in operations research, and solved the optimal evacuation path according to Dijkstra. Finally, based on the evacuation results, we carried out further allocation of route flow, and verified whether the evacuation exceeds the road capacity. If it exceeds the road flow threshold, the route is replanned to prevent road congestion.

Key words: flood routing, flood evacuation transfer, resettlement site allocation, path optimization

我国洪涝灾害具有发生频率高、受灾地区多、灾害损失大等特点，近年出现了2021年郑州“7·20”特大暴雨、海河“23·7”流域性特大洪水、2024年桂林“6·19”洪水、洞庭湖2024年第1号洪水等。洪水灾害的问题可分为洪水灾害发生前、发生时和发生后。洪水发生时避洪转移方案的确立主要包括两种思路：①基于数学理论的分析应用[1-2]；②基于ArcGIS的网络分析功能进行避洪转移道路选择[3-4]。这些研究没有完全考虑诸多动态问题，如在撤退单元与安置点匹配过程中，基于耗时最短的最优路径未考虑人数是否完全撤退、安置点容纳量是否足够以及交通流量分配等动态问题。鉴于此，本文首先采用层次分析法（AHP）建立模型，再结合运筹学中的交通运输模型，实现在洪水灾害情况下撤退点和安置点的匹配与人数自动分配，最后对规划出的路线进行合理性分析，从交通负荷角度验证路线规划的合理性。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

马鞍山市位于长江中下游东岸，安徽省与长江三角洲的结合部，长江三角洲沿江产业带的西端；地势较平坦，略有北高南低之势。马鞍山江堤防洪保护区属亚热带湿润半湿润季风气候，四季分明，具有温和湿润、夏初梅雨集中、雨量充沛、霜期短、日照长等特点。区域内分布海拔100~200 m的低山丘岗，为境内河流的发源地；西部沿江一带分布着北东向低山丘；中部为较平坦宽阔的冲积平原；马鞍山市区位于保护区的东北部。长江干流溃堤时，洪水会迅速将西部地低洼地区淹没，对该地区造成很大灾害。

第一作者简介：李雅（1999—），硕士，研究方向为地理信息技术与洪水风险，E-mail：1160841879@qq.com。
通信作者：王山东（1967—），博士，副教授，主要从事地理信息系统在智慧城市、数字水利等方面的应用与系统开发工作，E-mail：wsd@hhu.edu.cn。

1.2 数据来源

本文采用的数据包括马鞍山市行政区划矢量数据和高精度TIF数据，模拟1954年洪水溃坝时的溃口流量过程线，户籍人口统计数据，固定的避难场所（学校、医院等）地址、容量信息，马鞍山江堤防洪保护区内的省道、县道、乡道、村道等路线以及最大行驶速度和通行时间。其中矢量数据从Bigemap下载，高精度TIF来源于ALOS采集的12.5 mDEM高程数据；溃口流量过程线由安徽省河道局提供；户籍人口数据通过搜索相关区域的统计年鉴得到；固定的避难场所（学校、医院等）地址、容量信息由民防局提供；路网数据由测绘部门提供，并结合Google Earth进行补充[5-6]。

根据1954年洪水溃坝时的溃口流量过程线，采用美国陆军工程兵团水资源机构下属的水文工程中心（HEC）开发的HEC-RAS模型进行洪水演进模拟，展示了1954年6月22日零点起，48 h内的洪水演进过程[7]。马鞍山区域两个溃口48 h内的流量过程线见图1，将流量过程线输入HEC-RAS模型，模拟的洪水最大水深见图2。

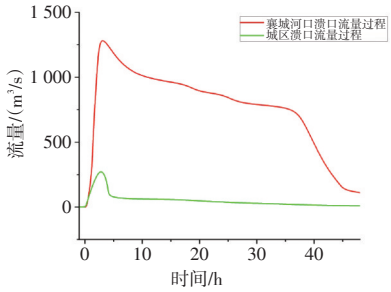


图1 城区溃口、襄城河口溃口流量过程

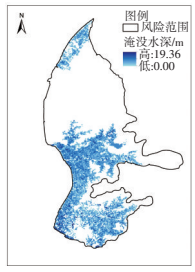


图2 洪水最大水深图

2 避洪转移研究方法

2.1 道路路网的路权图

1）道路路网的建立。将路网看作线和点的组合 $G=(V,E)$，V 为节点，E 为边[8-9]，在GIS中导入道路数据，建立网络拓扑关系，修复拓扑错误、剔除重复数据，进行投影转换。将处理好的数据创建网络数据集，设置网络分析所需的属性和参数，建立道路路网。

2）路阻函数包括美国道路局Bureau of Public Road算法和半理论半经验的算法[10]。本文采用的路阻函数为：

$$t(i,j)=L(i,j)/V(i,j) \tag{1}$$

$$V(i,j)=U_0/2\pm\sqrt{(U_0/2)^2-Q(i,j)\times U_0/K_m} \tag{2}$$

$$U_0=\gamma\times\eta\times V_0 \tag{3}$$

$$K_m=\gamma\times c\times 1\,000\times n/(L+L_0) \tag{4}$$

式中，U_0 为道路交通量为零时车辆移动速度；$Q(i,j)$ 为交通流量；γ 为复杂交通情况影响折减系数，若受非机动车影响，则 γ 为0.8，否则为1；η 为车道宽影响系数；V_0 为道路设计车速；K_m 为道路拥堵密度；L 为机动车平均车长，取4.5 m；L_0 为拥堵车辆平均车距，取0.5 m；c 为交叉口影响修正系数。道路等级划分见表1。

表1 道路等级划分

等级	道路等级	γ	η	V_0/(km/h)	Q/辆
4	乡级	0.8	0.75	20	1 500
3	县级	0.8	0.75	30	5 000
2	省级	1.0	1.00	40	10 000
1	国级	1.0	1.00	60	15 000
0	高速	1.0	1.11	80	50 000

2.2 转移需求与安置点分析

1）避洪转移人员分析。在避洪转移过程中，根据水深分布图和到达时间包络图得到最大淹没范围包络图，再根据淹没信息确定转移范围。转移人员的划分方式分为异地、就地安置和转移批次（表2）[11]。

表2 撤退点划分依据

避险转移分析	划分依据
就地安置	水深 < 1.0 m且流速 < 0.5 m/s，有基本安置设施和卫生条件
异地安置	水深>1.0 m或流速>0.5 m/s
转移批次	洪水到达时间<12 h为第一批次，12~24 h为第二批次，>24 h为第三批次

2）安置场所的选择。在安置区域的选址中，优先选择公共建筑物或露天公共场所，再对这些安置点进行分析。根据相关资料规定，建筑物内的人均安置面积不小于3 m²，露天区域的人均安置面积不小于8 m²，安置人数在100人以上[12]。安置场所选址应避免易发生震动、滑坡或坍塌和地势较低处，防止人员的二次伤亡[13]。考虑路网通行状况与能力，选址应在路网交汇处，方便人员安置以及物资运送、资源供给。保障转移前道路畅通，转移中提高转移效率，转移后安置区的后勤保障。

3）最优路径选择。最优路径选择方法可分为3类：①最短路径算法Dijkstra；②对图的数据结构的研究；③关于道路网络、管道等的建模[14]。本文根据路阻函数理论得到实时路况不同等级的道路速度，计算得到每个路段所花的时间；再结合Dijkstra算法进行静态寻优，计算最优撤退路径的时间、距离、经过的路

段等[15]。

2.3　“点—点”匹配模型构建

在路线规划的数学模型中，从几何角度可将安置区域和撤退区域看作点。在安置点与撤退点的匹配模型中，本文采用AHP和运输模型实现“点—点”的自动匹配以及人口的自动分配。

2.3.1　AHP选址规划模型构建

AHP由美国运筹学家Satty T L提出[16-17]。其原理是列举复杂的决策问题的影响因素，按照标度法进行打分，得到每个影响因素相对于决策问题的权重值；再根据影响因素的权重值进行计算，得到每种方案的最终权重值；最后比较每种方案的最终权重值选取最优的决策方案。根据层次分析结构模型，建立判断矩阵 $\boldsymbol{A}=\{a_{ij}\}_{n\times n}$，其中 a_{ij} 通过9标度法来确定。根据判断矩阵计算得到最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和相应的特征向量 $\boldsymbol{u}=[u_1\ u_2\ \cdots\ u_n]^{\mathrm{T}}$；再对特征向量进行归一化处理，得到 $\boldsymbol{w}=[w_1\ w_2\ \cdots\ w_n]^{\mathrm{T}}$，即各评价指标的权重向量；最后对判断矩阵进行一致性检验。

2.3.2　运输模型构建

基于运输模型，将产地看作撤退点，产地的供应量看作需要撤退的人数，销地看作安置点，销地的最大需求量看作安置点的容纳人数，由于需撤空撤退点的所有人员，到达安置点的人数不能超过安置点本身最大容纳量，因此引入销大于产的数学模型和总平衡约束条件。

$$\min z=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}x_{ij} \tag{5}$$

$$\begin{cases}\sum\limits_{j=1}^{n}x_{ij}=a_i,\ i=1,2,\cdots,m\\ \sum\limits_{i=1}^{m}x_{ij}\leqslant b_j,\ j=1,2,\cdots,n;x_{ij}\geqslant 0\\ \sum\limits_{j=1}^{m}b_j\geqslant\sum\limits_{i=1}^{m}a_i\end{cases} \tag{6}$$

$$w_{ij}=t_{ij}w_1+d_{ij}w_2+c_{ij}(-w_3)+s_{ij}(-w_4) \tag{7}$$

式中，x_{ij} 为从撤退点 i 到安置点 j 的转移人数；a_i 为转移单元 i 的待转移人数；b_j 为安置点 j 的总容纳人数；w_{ij} 为撤退点 i 对安置点 j 的目标权重，由于 t、d 越小，c、s 越大，该安置点对于这个撤退点越合适，因此 w_{ij} 越小，该方案越优；w_1、w_2、w_3、w_4 为AHP计算得到的目标权重。

“点—点”匹配的算法流程见图3，其中NetworkX为Python中处理图结构、计算最短路径的库；GeoDataFrames为管理地理空间数据（如道路网络）与NetworkX结合构建的带地理属性的图；nx.Dijikstra_path_length()为基于NetworkX库中Dijkstra算法计算最短路径总权重的函数；PuLP为通过数学建模（线性/整数规划）解决带复杂约束的路径优化。

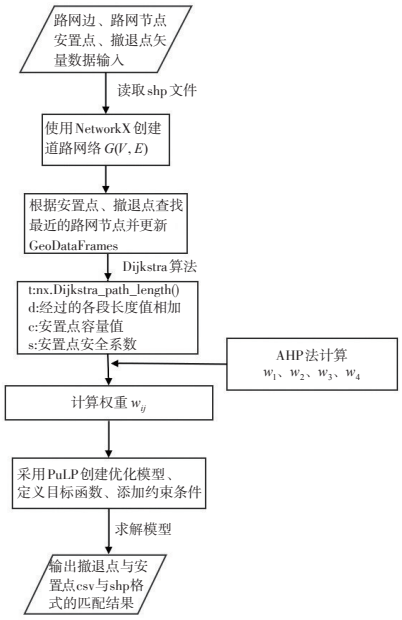


图3　算法流程图

2.4　路径合理性分析

对生成的路线进行合理性分析，即考虑在同批次转移的车辆中，是否会出现超过某条路段设计的交通流量阈值。

3　实例应用与结果评价

3.1　实例应用

以马鞍山防洪保护区为例，包括19个转移点和10个安置点。撤退点的转移人数和划分方式见表3，安置点容纳人数和高程值见表4，其中 s 根据高程值进行打分（1~5）。

路网的建立包括路段和节点，其中路段shp中的属性字段包括道路名称NAME，该条道路线的起点与终点ID编号SNODE_ID、ENODE_ID，道路长度Length（km），道路等级LEVEL，该道路等级下道路允许的最大行驶速度SPEED，加上路阻函数的实际行驶速度SPEED1（乡道、县道、省道、国道、高速分别为11.16、15.48、38.45、58.67、84.76 km/h），该段路段实际的行驶时间TIME=Length/SPEED1。节点shp的属性字段包括ID节点编号，坐标值X、Y。

以撤退点2为例，该点撤退人数为300人，首先将容纳人数小于300的安置点排除（安置点B）；然后

表3 撤退点划分

转移点编号	转移点	转移人数/人	转移批次	避险方式
1	南村村	193	1	异地
2	烟墩山社区	329	2	异地
3	银塘社区	895	2	异地
4	宝庆小区	600	1	异地
5	科达生活园	300	1	异地
6	港务原料南路小区	250	1	异地
7	起点幼儿园	150	1	异地
8	当涂第一中学	200	2	异地
9	千字文书院	900	1	异地
10	焦家社区居委会	400	1	异地
11	办税服务厅	400	1	异地
12	当涂开发区工作委员会	300	1	异地
13	芦场村	152	2	异地
14	前庄村	300	3	异地
15	矿内社区	443	1	异地
16	宝庆社区	155	1	异地
17	前进社区	300	3	异地
18	卸巷社区	144	1	异地
19	联农村	200	–	就地

表4 安置点

安置点	c	高程值	s
A	650	19	5
B	300	20	5
C	500	8	3
D	1 500	10	3
E	1 000	16	4
F	1 000	19	5
G	1 000	18	5
H	1 000	11	4
I	1 000	14	4
J	500	13	4

将权重值代入到其他安置点进行计算。撤退点2能选择的所有安置区影响因素见表5，可以看出，安置点F的 w_{ij} 值最小，即 F 为最佳安置点。多对多分配结果见表6。

表5 撤退点2安置区影响因素

安置点	t /min	d /m	c	s	w_{ij}
A	21.45	9 743.36	650	5	2 699.27
C	27.18	6 904.22	500	3	1 912.31
D	33.61	12 911.53	1 500	3	3 488.45
E	17.01	4 221.35	1 000	4	1 069.89
F	9.34	1 736.87	1 000	5	356.61
G	19.76	3 675.44	1 000	5	914.93
H	16.20	4 982.73	1 000	4	1 287.03
I	24.70	5 276.33	1 000	4	1 374.56
J	21.85	7 939.39	500	4	2 205.63

表6 最终分配结果

转移小组FID	安置区域										转移小组人数
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	0	0	0	193	0	0	0	0	0	0	193
2	0	0	0	0	0	329	0	0	0	0	329
3	0	0	0	0	0	216	679	0	0	0	895
4	0	0	500	0	0	0	0	0	0	100	600
5	0	0	0	0	150	0	0	0	0	150	300
6	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	250
7	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150
8	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	200
9	650	0	0	0	0	0	0	0	0	250	900
10	0	0	0	0	79	0	321	0	0	0	400
11	0	300	0	0	0	0	0	0	100	0	400
12	0	0	0	25	275	0	0	0	0	0	300
13	0	0	0	0	152	0	0	0	0	0	152
14	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	300
15	0	0	0	443	0	0	0	0	0	0	443
16	0	0	0	0	0	155	0	0	0	0	155
17	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	300
18	0	0	0	0	144	0	0	0	0	0	144
总计/人	650	300	500	911	1 000	1 000	1 000	300	250	500	6 411
安置地容纳量	650	300	500	1 500	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	500	–

根据分配人数和转移批次，基于Dijkstra算法，以时间为权重，计算得到时间最短的路线。根据不同转移批次展示的路线规划图见图4，可将同批次中的最长耗时作为该批次所需花费的最大转移时间。第二批次不同路线的转移情况见表7，第二批次路线转移时间为41.39 min。



a 第一批次 b 第二批次 c 第三批次

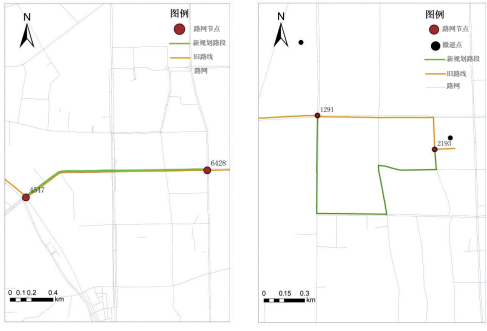
图4 转移路线图

路径合理性分析分为两种：部分路线规划，即路线中只存在部分路段超过流量阈值，只对该路段进行重新规划；整体路线规划，即整条路线均超过了流量阈值，需重新规划新路线。

表7　第二批次路线转移情况

撤退点	安置点	转移人数/人	所经过路段	距离/km	时间/min
2	F	329	[东湖路, 东湖东路, 军民路]	1.74	9.34
3	F	216	[湖西南路,Y002, 江东大道南段, 九华东路, 窑佳路, 九华东路, 军民路]	4.42	23.79
	G	679	[湖西南路, 湖西中路]	2.71	14.58
8	E	200	[太白中路, 姑孰路, 太白中路, G205, 天门大道南段, 天门大道中段, 湖南西路, 红旗中路, 雨山西路, 太白大道]	21.12	41.39
13	E	152	[天门大道南段, 天门大道中段, 湖南西路, 红旗中路, 雨山西路, 太白大道]	9.18	13.73

1）部分路线规划。两条路线部分路段重新规划的情况见图5，在撤退点4到安置点C的路线中，有500人撤退，假设60人一辆大巴车，则通过的车辆数为9辆，而路网节点4547–6428，由于该路段为乡道，道路通量阈值为5辆/5 min，超过4辆车，因此需在该路段重新规划路线，图中绿色路线即为重新规划的路线，将未超过阈值的路线与新路线合并即为这4辆车辆通行的路线规划。在撤退点9到安置点A的部分路线中，网络节点2193–1291存在超过6辆车的情况，重新规划路线见绿色路段。



a 4–C撤退路线　　b 9–A撤退路线

图5　部分路线规划图

2）整段路线规划。在撤退点3至安置点G的路线中（图6），撤退人数为679人，需要12辆车运送，原规划路线经过的路段均为乡道，因此需最多再重新规划2条路线，以保证原有路线不会拥堵。

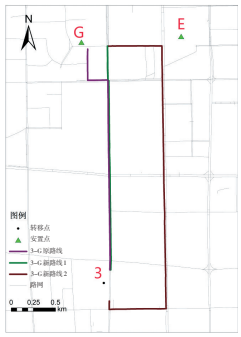


图6　新旧路线对比图

本文将距研究点最近的路网节点作为其替代的起点，在重新规划路线时，若无法找到新路线，可根据距离起点或终点第二近的路网节点或添加虚拟节点进行重新规划；若仍无法找到新路线，则让其中某队撤退人员等待几分钟再出发，以保证道路的畅通，减少道路拥堵情况。

经过路径合理性分析后的总路线见图7，图例中数值表示离起点和终点最近的路网节点的ID编号。

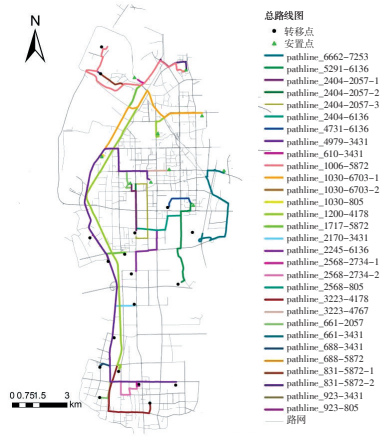


图7　总路线示意图图

3.2　结果评价

本文对安置点和路径选取结果进行合理性分析。

1）安置点分配合理性分析。重新匹配安置点后，安置点A~J的接纳转移人数分别为650、300、500、886、525、1 000、1 000、500、550、500人，均未超过安置点总容量，且不存在有些安置点人很多，附近安置点未使用的情况。

2）时间合理性分析。分流前后的时间比较见表8，基于超过的车辆数重新规划路线，并保证重新规划的路线不超过路段阈值数加1，可以看出，分流后车辆数不会超过路段阈值，且分流前后的时间差不超过3 min，可保证全部车辆在规定时间内快速撤离。通过分流算法保障了洪水到来时规划的撤退路线免于交通拥堵，受灾人员撤退能更加有序，避免撤退过程中的二次伤害。

利用ArcGIS空间分析中的多值提取至点工具提取每个转移点的洪水到达时间，统计最短的洪水到达时间和转移完成时间，洪水从1954年6月22日0:00进行模拟，假设在溃堤后1 h内完成监测预报、决策动员，从1:00开始转移，统计结果见表9，动态规划完成后路线是免受洪水影响的。从撤退点和安置场所的人数匹配和时间合理性分析方面证明，该结果可应用于实际情况，保证避险人员的合理撤退。

表8 分流前后时间比较

路线	节点起点	节点终点	超过车辆数/辆	重新规划路线条数/条	分流前时间/min	分流后时间/min	分流后是否超过路段阈值
4–C	4547	6428	4	1	9.46	9.55	否
9–A	2193	1291	6	1	9.68	11.65	否
10–G	831	1735	3	1	7.48	7.81	否
3–G	2404	2057	7	2	13.66	14.58	否

表9 转移时间与洪水到达时间比较

转移批次	开始转移时间	最小洪水到达时间	转移完成时间	是否受洪水影响
第一批次	6月22日1:00	6月22日2:30	6月22日1:36	否
第二批次	6月22日2:00	6月22日15:00	6月22日3:00	否
第三批次	6月22日3:00	6月23日4:00	6月22日3:30	否

4 结 语

为弥补避洪转移路径规划研究中未同时考虑安置点容纳量和最佳安置区优选的问题，本文将AHP与运输模型相结合构成数学模型，在可行性、安全性方面，对各安置点进行人数分配和道路流量分配，主要结论如下：

1）利用AHP和运输模型构建的数学模型，实现了撤退点与安置点的多对多匹配。以总安置方案最优为主目标，以安置点分配合理性为次目标，使撤退点匹配到相应的安置点。在综合考虑时间、距离、安全系数、容纳人数等方面的基础上，选择最优的安置区域进行匹配，且能在不超过安置点容纳量的情况下进行分配人数。

2）由于规划的路径是静态路线，考虑交通负荷的情况下，增加了对道路流量的分析。根据事先规划好的路线，计算撤退人员撤离路线的通过量，制定通行量上限，当规划的路线总是通过一条路段时，能自动分配另一条路线，以减少交通压力。

后续需将人员的避险转移路线图与洪水时空变化图进行结合，以帧率引用洪水动态变化过程[18]，进一步验证安置点匹配与路线规划的时间合理性。避险路径转移规划研究中，可加入人工智能、对避险数据的实时获取与处理、实时交通路况等，让路线拥堵情况更加贴合实际模型。

参考文献

[1] 许增培,施文婧,沈福新,等. 避洪转移中安置点分配及路径优选分析[J]. 水电能源科学,2018,36(6):60-63

[2] 邓卓,王媛,冯迪. 基于多目标函数的避洪转移安置方案优化[J]. 人民长江,2024,55(2):35-40

[3] 宋文涛. 防洪保护区洪水风险评价与避险转移方案研究[D]. 大连:大连理工大学,2016

[4] 刘卫林,万一帆,刘丽娜,等. 基于罗塘河溃堤洪水风险的避洪转移方案研究[J]. 水利规划与设计,2020(6):35-40

[5] 薄伟伟,高庆方,胡洁,等. 洪水风险图编制多源地理数据整编技术研究[J]. 地理空间信息,2020,18(2):61-63

[6] 李勇永,郭涛,张晓萍,等. 基于GEE的郑州市洪水监测及生态影响评估[J]. 地理空间信息,2022,20(12):27-34

[7] 林焕新,牟丽琴,雷保聚. “22·06”韶关城区洪涝模拟研究[J]. 水利规划与设计,2024(1):35-39

[8] Dong K, Yang D, Sheng J, et al. Dynamic Planning Method of Evacuation Route in Dam-break Flood Scenario Based on the ACO-GA Hybrid Algorithm[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction,2024,100:104219

[9] 江辉仙,郝志兵. 洪涝演进中多目标应急避险路径算法优化及其应用[J]. 灾害学,2022,37(2):64-70

[10] 李丙尧. 耦合高分辨率城市雨洪数值模型的洪涝灾害避险路径规划方法研究[D]. 西安:西安理工大学,2023

[11] 于赢东,刘家宏,杨志勇. 洪涝灾害应急避险技术及应用综述[C]//2023中国水利学术大会论文集,2023

[12] 孙连华,秦萍. 基于GIS的洪水风险图避险转移分析[J]. 测绘与空间地理信息,2023,46(1):155-158

[13] 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

[14] 管永宽. 蓄滞洪区洪水演进、撤退路线数学模型的研究与应用[D]. 天津:天津大学,2011

[15] 徐洋洋,王山东,王秀云. 基于Dijkstra改进算法的城市交通阻塞研究[J]. 地理空间信息,2019,17(11):80-82

[16] Ogrodnik K, Kolendo L L. Application of GISTechnology and AHP to Determine the Areas with Fully Developed, Compact Functional and Spatial Structure: A Case Study of Bialystok, Poland[J]. Land Use Policy, 2021, 109: 105616

[17] 征程,王山东,毛泽红,等. 洪灾避险安置区与转移单元匹配[J]. 地理空间信息,2016,14(7):45-46

[18] 杨德玮,张文东,盛金保,等. 溃坝洪水避洪转移动态路径优化方法[J]. 水利水运工程学报,2023(2):43-52