

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdkj.2020.0056

王维林,顾士升,桑国庆,等.山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位及危险区划分方法[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):119-126. WANG W L, GU S S, SANG G Q, et al. Disaster level and dangerous zone division in flood disaster along with river villages in hilly areas[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(3): 119-126. (in Chinese)

# 山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位及危险区划分方法

王维林<sup>1</sup>,顾士升<sup>2</sup>,桑国庆<sup>1</sup>,李琴<sup>1</sup>,宋淑馨<sup>1</sup>,郑从奇<sup>3</sup>,王豪<sup>4</sup>

(1. 济南大学, 济南 250012; 2. 山东省防汛抗旱物资储备中心, 济南 250012; 3. 山东省水文局, 济南 250012; 4. 山东省人民政府防汛抗旱总指挥部办公室, 济南 250012)

**摘要:**随着山丘区小流域山洪灾害防御工作的精准化推进,山丘区河道沿岸局部重点区域(村落、集镇)已经成为山洪灾害重点关注对象。针对沿河村落开展暴雨洪水分析,定位村落内防洪能力最薄弱的居民户,计算受灾水位,分析不同频率洪水水面线下的淹没人口,绘制山洪灾害危险区是山洪灾害防御、预警工作的核心和难点之一。针对目前受灾水位和危险区划分存在的问题,根据现场调查和测量资料,综合设计暴雨洪水计算、水位—流量关系计算、点投影、点线关系判断等方法,提出了一种可行的受灾水位计算、受灾人口判定和危险区绘制方法。采用 Matlab 编程批量计算,以济南市小李庄村为例进行了应用实践。结果表明,该方法可准确定位防洪能力最薄弱的居民户,计算沿河村落受灾水位,判定居民户与不同频率洪水水面线的关系,从而较为精确地绘制山洪灾害危险区。

**关键词:**山洪灾害;受灾水位;投影;洪水水面线;危险区

中图分类号:P426.616;TV87 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



## Disaster level and dangerous zone division in flood disaster along with river villages in hilly areas

WANG Weilin<sup>1</sup>, GU Shisheng<sup>2</sup>, SANG Guoqing<sup>1</sup>, LI Qin<sup>1</sup>, SONG Shuxin<sup>1</sup>, ZHENG Congqi<sup>3</sup>, WANG Hao<sup>4</sup>

(1. University of Jinan, Jinan 250012, China; 2. Shandong Provincial Flood Control and Drought Relief Material Reserve Center, Jinan 250012, China; 3. Shandong Provincial Bureau of hydrology, Jinan 250012, China; 4. Shandong Provincial People's Government Flood Control and Drought Relief Headquarters Office, Jinan 250012, China)

**Abstract:** With the advancement of the prevention of flashflood disasters in the small watershed of the mountainous area, the local key areas (villages and towns) along the river in hilly areas have become the focus of flash flood disasters. It is critical and difficult to analyze and to calculate the risk of each village along the river, to determine the unified disaster water level, and to analyze the submersed number of people under different frequencies of floodwater line and the danger zone. This paper introduced the analytical process of the flood control capacity of the village along the river to calculate the water level-river discharge relationship in the control section. Moreover, this study also put forward a feasible method of calculating the disaster water level and counting the number of people in the danger zone by point out the projection and judging point-line relationship. For this purpose, a typical village along the river was taken out to calculate the floodwater line and danger zone. The results showed that the applied method could ascertain the household that was the weakest in the aspect of flood control capacity by combining field investigation and the determined relationship between households and different frequencies of the floodwater line. Therefore, the

收稿日期:2019-08-14 修回日期:2019-10-21 网络出版时间:2019-10-31

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20191031.1210.006.html>

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAB07B03); 国家自然科学基金(51409119); 山东省省级水利科研与技术推广项目(SDSLKY201505)

作者简介: 王维林(1993—), 女, 山东枣庄人, 主要从事山洪灾害防治、水文与水资源等方面研究。E-mail: 252547850@qq.com

通信作者: 桑国庆(1981—), 男, 山东济宁人, 副教授, 博士, 主要从事山洪灾害防治、梯级泵站优化调度等研究。E-mail: sangguoqing@163.com

flood control capacity of the village along the river could calculate accurately.

**Key words:** flash flood disaster; water level induced disaster; projection; flood water surface profile; danger zone

近年来,由于受复杂地质地形条件、气候因素、密集的人口分布和人类活动等多种因素共同影响,我国局地极端强降雨引发的山洪灾害频繁,导致大量人员伤亡。2016 年 7 月 19 日,由于上游突降暴雨,河北邢台七里河突发洪水,洪水冲毁河堤造成大贤村人员和财产损失。山丘区小流域山洪因强降雨形成,且沟(河)道比降较大,具有短历时、强降雨、大比降、陡涨陡落等特点,与大流域河道洪水有着很大差异<sup>[1-4]</sup>。目前,随着山洪灾害防御的精准化和精细化,小流域河道沿岸局部重点区域(村落、集镇)已经成为山洪灾害重点关注对象<sup>[5-6]</sup>。一方面,众多沿河村落分布于山区河道周边,均不同程度受暴雨山洪影响;另一方面,各沿河村落由于河道断面、居民户分布、地形等差异,受山洪灾害威胁程度也有所区别。对于特定沿河村落,其受灾水位和危险区范围是判定村落防洪能力和危险程度的重要指标,也是预警指标制定的基础<sup>[7-12]</sup>。因此,采用一种简单、可靠的方法对沿河村落进行受灾水位计算和危险区划分,筛选出威胁程度较高的沿河村落,划定村内危险区作为防御重点是十分必要的。

现有山洪灾害防洪能力计算研究,通常以整个流域及河道为研究对象,计算河道整体防洪能力,较少精确到单个沿河村落,未针对局部特殊地形地貌、河道断面情况,计算沿河村落的现状防洪能力并进行危险区分析。已有的部分研究将对象细化到沿河村落,但其在受灾水位确定和危险区划定时简化河道、洪水比降以及居民户沿河分布等要素,以沿河村落以最低的居民户高程作为预警水位,以其水平面划分危险区,导致计算的受灾水位和危险区范围精度有限。此外,也有一些学者通过建立水文学模型耦合一、二维水力学模型,利用高精度 DEM 数据结合 GIS 空间分析功能进行危险区划分<sup>[13-16]</sup>,计算较为精确合理,但该方法对资料要求较高,对于大范围应用实践而言适用性不足。

本文以山丘区沿河村落为研究对象,提出了一种山洪灾害受灾水位及危险区划分方法:在设计暴雨洪水计算分析的基础上,定位沿河村落内最易受灾的居民户,计算受灾水位及对应成灾洪峰流量,统计不同频率洪水水面下的居民户,进行山洪灾害危险区等级划分。

## 1 受灾水位计算及危险区划分原理

### 1.1 受灾水位定义及计算原理

山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位可定义为:在沿河村落河道范围内选取一控制断面,当上游流域发生洪水,该控制断面水位达到某一特征水位时,村落内防洪能力最弱的居民户刚刚开始受灾,该特征水位为受灾水位。因此,该控制断面受灾水位代表了沿河村落整体防洪能力,可作为沿河村落山洪灾害预警指标。

对于山区河道下游段,水面比降较小,可认为沿河村落范围内河道水面为水平面。因此,可简化居民户位置与沿河道分布距离两个要素,直接将高程最低的沿河居民户作为最易受灾的居民户,该居民户高程可直接作为控制断面受灾水位。

对于山丘区沿河村落,河道比降较大,相应水面比降较大,沿河居民户高程分布和洪水水位都是沿河空间变化的,无法直接由一个断面的水位来判断其他断面上的居民户是否被淹,必须采用倾斜的洪水水面来判断沿河居民户是否受灾。基本计算原理:以洪水水面(洪痕)比降绘制水面线,将沿河居民户和水面线统一于同一坐标系下(起点距—高程坐标系),判定不同频率水面线与沿河居民户高程之间的关系,综合确定最危险的居民户及其高程值,并基于洪水水面比降将其高程值转化为控制断面上的受灾水位,基本原理见图 1。

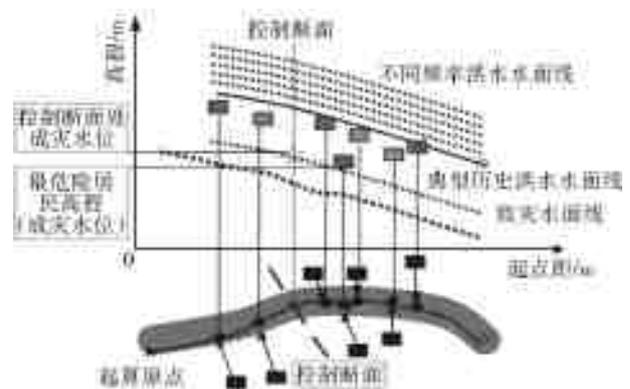


图 1 山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位及危险区划分计算原理

Fig. 1 Calculation principle of disaster water level and dangerous area division of mountain flood disaster in the villages along the rivers in Hilly Area

本研究提出的山洪受灾水位计算方法适用于山丘区河道成灾水位计算,山丘区河道纵比降在 0.5‰到 200‰。

### 1.2 危险区定义及计算原理

山丘区沿河村落山洪灾害危险区的定义为:根据受灾频率设定不同的危险区等级,结合不同沿河村落居民户的受灾频率,在地图上绘制不同等级危险区的范围,为山洪预警、预案编制、人员转移、临时安置等工作提供支撑。

基本计算原理为:首先假定短历时暴雨洪水同频,可选取 20%、10%、5%、2%、1% 5 种频率,利用设计暴雨洪水计算方法推求沿河村落控制断面处不同频率洪峰流量值,利用曼宁公式或实测资料计算控制断面水位—流量关系,根据水位—流量关系将洪峰流量转化为洪水水面线,精确统计不同频率洪水水面线下的淹没居民户,并利用 ArcGIS 工具在地图上标绘危险区。

## 2 典型沿河村落防洪能力计算

根据山洪灾害受灾水位及危险区定义及计算原理,提出了一种山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位及危险区划分方法,利用相对简单的数据资料,综合了河道调查、断面测绘、设计暴雨洪水计算、水位流量关系计算、点投影、点线关系判断等多学科不同方法,可较为精确计算沿河村落受灾水位,统计不同频率洪水水面线下淹没居民户,绘制危险区图。主要包括沿河村落居民户高程一起点距离关系计算、不同频率洪水水面线计算、居民户—水面线高程关系判定、受灾水位确定、危险区划分 5 个环节,见图 2。

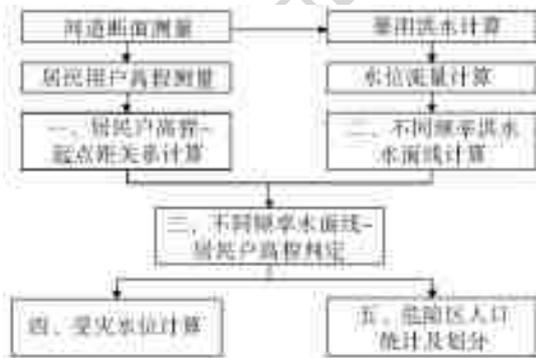


图 2 山丘区沿河村落山洪灾害受灾水位及危险区划分方法流程

Fig. 2 Flowchart of water disaster and danger zone in villages along the rivers in Hilly Area

### 2.1 沿河居民户高程-起点距离关系计算

第一步,对山丘区沿河村落河道进行现场调查,并进行纵、横断面测量以及沿河居民户测量。一般

可按照设定间距沿河村落河道上、中、下游选取 3~5 个横断面,各个横断面的间距,视河段坡降大小、断面变化程度而定,一般 300~500 m 左右,横断面应能反应河道形状,尽量选择河势平稳,河道顺直段,可设置沿河村落河道中游断面作为沿河村落的控制断面。纵断面测量一般沿沟(河)道深泓线(山谷线)布置,并向上、下游断面外各延伸 100~200 m,见图 3。测量结果可采用北京 54 或西安 80 平面坐标表示。

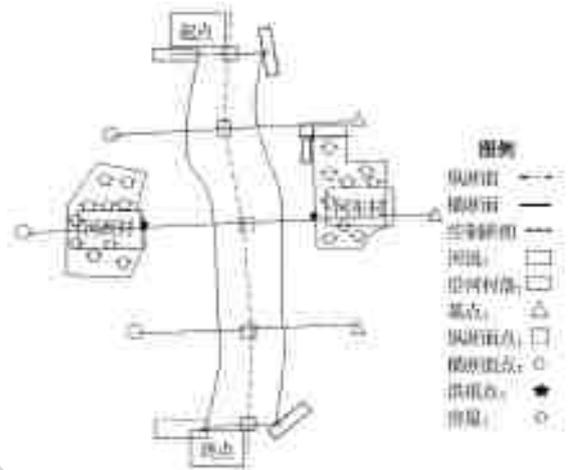


图 3 山丘区沿河村落河道横、纵断面及居民户测量示意图

Fig. 3 A survey of the horizontal, vertical section and inhabitants of the river along the river in the Hilly Area

第二步,将沿河居民户投影到河道中泓线。建立平面坐标系(X-Y),利用点线投影的方法将沿河居民户坐标点投影到河道中泓线:由居民户坐标点向河道中泓线做垂线,并确定交点坐标值,见图 4。

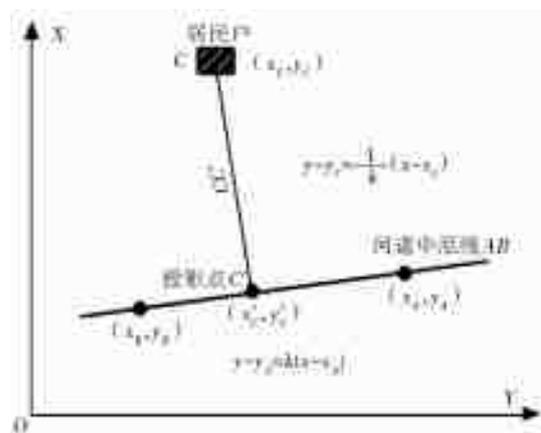


图 4 沿河村落居民户点向河道中泓线投影计算示意图

Fig. 4 A schematic diagram of projection of the river bank

过 A、B 两点的河道中泓线 AB 的方程式为

$$y - y_A = k(x - x_A) \quad (1)$$

假定已知居民户的平面坐标为  $C(x_c, y_c)$ , 过居民户坐标点向中泓线 AB 做垂线  $CC'$ , 斜率为  $-1/k$ , 则直线  $CC'$  方程式为

$$y - y_c = -\frac{1}{k}(x - x_c) \quad (2)$$

联立直线 AB 和直线 CC' 方程,解得直线 AB 和直线 CC' 两线交点,即为投影点 C'(x'\_c, y'\_c)

$$x'_c = (k \times x_A + \frac{x_C}{k} + y_C - y_A) / (\frac{1}{k} + k) \quad (3)$$

将 x'\_c 作为 x 代入直线 CC' 方程可求得 y'\_c。

第三步,计算河道纵断、控制断面测点和居民户投影点的起点距。将河道纵断面上游或下游的第一个测点定义为起点,利用平面两点距离公式,可计算纵断面上的其他测点与起点之间的距离,即起点距;根据各居民户在中泓线上的投影点坐标,利用平面两点距离公式,可计算每个居民户投影点的起点距;根据控制断面与中泓线的交点,可计算控制断面的起点距。

## 2.2 不同频率洪水水面线计算

先利用设计暴雨洪水计算方法<sup>[17-20]</sup>推求沿河村落控制断面处洪峰流量;然后计算沿河村落控制断面水位—流量关系;绘制不同频率洪水水面线。

### 2.2.1 洪峰流量计算

假设暴雨与洪水同频率,选取频率 p 为 20%、10%、5%、2%、1% 5 种频率。针对沿河村落控制断面以上流域,考虑流域产汇流特性,进行设计暴雨洪水分析计算;其中产流计算可采用初损后损法或降雨径流相关法,汇流计算可采用推理公式法或单位线计算洪峰流量,得到控制断面不同频率设计洪峰流量和汇流时间。所述推理公式方法介绍如下,可采用试算法求解。

$$Q_p = 0.278F(R_t/t) \quad (4)$$

$$\tau = \frac{0.278L}{mJ^{1/3}Q_p^{1/4}} \quad (5)$$

$$\theta = \frac{L}{J^{1/3}F^{1/4}} \quad (6)$$

式中:τ 为汇流时间;Q<sub>p</sub> 为设计洪峰流量, m<sup>3</sup>/s; F 为流域面积, km<sup>2</sup>; L 为沿主河道从出口断面至分水岭的最长距离, km; J 为沿流程 L 的平均比降; F、L、J 可根据沿河村落所在流域 DEM 数据提取获得; θ 为流域特性参数; m 为汇流参数, 根据 θ 取值查《水利水电工程设计洪水计算规范》得。

### 2.2.2 沿河村落河道控制断面水位—流量关系计算

针对单一顺直河段,假定恒定均匀流,使用曼宁公式计算水位—流量关系

$$Q = Av = A \frac{1}{n_c} R^{2/3} J^{1/2} \quad (7)$$

式中:Q 为流量, m<sup>3</sup>/s; A 为断面过流面积, m<sup>2</sup>; v 为过流断面平均流速, m/s; n<sub>c</sub> 为河道糙率,通过实测

资料或查表计算; R 为水力半径; J 为洪水水面线比降(如无水面线比降,可采用河道综合纵比降 J<sub>z</sub> 代替)。J<sub>z</sub> = [(h<sub>0</sub> + h<sub>1</sub>)l<sub>1</sub> + (h<sub>1</sub> + h<sub>2</sub>)l<sub>2</sub> + ... + (h<sub>n-1</sub> + h<sub>n</sub>)l<sub>n</sub> - 2h<sub>0</sub>l] / l<sup>2</sup>, h<sub>n</sub> 为纵断面上各测点的河底高程, m; l<sub>n</sub> 为纵断面上第 n-1 和 n 个测点之间的河长, m; l 为河段全长, m。

对于沿河村落河道控制断面处有堰坝或跌水,导致水面线转折的建筑物处,采用堰流公式计算。以实用堰为例,采用公式(8)计算控制断面水位—流量关系

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (8)$$

式中:Q 为流量; m 为流量系数; b 为堰宽; g 为重力加速度; H<sub>0</sub> 为堰前水头。

### 2.2.3 不同频率 p 洪水水面线计算

根据沿河村落河道控制断面处不同频率洪峰流量值,利用控制断面水位—流量关系,将洪峰流量 Q<sub>p</sub> 转化为洪水水位 z<sub>dp</sub>。

对于相对顺直河段,在沿河村落河道范围内的洪水水面线近似为倾斜直线,假定比降为 k<sub>J</sub>。以高程为 Z 轴,起点距离为 X 轴,假定频率 p 洪峰流量对应的控制断面处洪水水位为 z<sub>dp</sub>,根据 2.1 节计算的控制断面起点距为 x<sub>dq</sub>,则洪水水面线方程见式(9)。

$$z - z_{dq} = k_J(x - x_{dq}) \quad (9)$$

## 2.3 判定沿河村落居民户与不同频率洪水水面线关系

建立起点距—高程坐标系(X-Z)(图 5),其中 X 轴定义为起点距离,Z 轴定义为高程。将沿河村落纵、横断面以及沿河居民户,不同频率洪水水面线统一于起点距—高程坐标系(X-Z)内,建立沿河居民户—洪水水面线判定公式,判定沿河村落居民户与不同频率洪水水面线关系,确定不同频率洪水水面线下的淹没居民户。

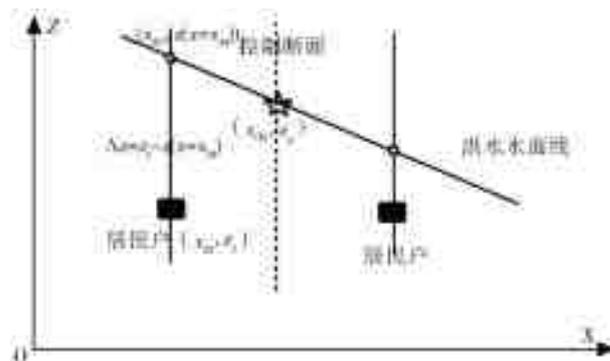


图 5 沿河村落居民户—不同频率水面线关系判定示意图  
Fig. 5 Schematic diagram for determining the relationship between households and water surface lines of different frequencies in villages along the river

假定居民户在起点距—高程坐标系内的坐标点为 $(x_{jp}, z_j)$ ,不同频率洪水水面线方程为 $z - z_{dp} = k(x - x_{dq})$ 。根据点线关系判断方法,给出沿河居民户—洪水水面线判定公式如下:

$$\Delta z = z_j - z(x - x_{jq}) = z_j - k_j(x_{jp} - x_{dq}) - z_{dq} \quad (10)$$

式中: $x_{jq}$ 为居民户投影点起点距; $z_j$ 为居民户高程; $z(x = x_{jq})$ 为当 $x = x_{jq}$ 时,频率为 $p$ 的洪水水面线方程对应的高程值; $\Delta z$ 为 $x = x_{jq}$ 时,居民户高程与洪水水面上高程的差值,

如果 $\Delta z > 0$ ,则该居民户在频率为 $p$ 的洪水水面线以上,反之则在洪水水面线以下,从而判定居民户与频率 $p$ 洪水水面线的位置关系,进一步可统计出位于频率 $p$ 洪水水面线下的淹没居民户数量。

### 2.4 受灾水位计算

根据沿河村落居民户与不同频率洪水水面线关系,筛选沿河路径上最容易受灾的居民户,转化为控制断面的受灾水位值。

依据洪水水面线比降,将所有居民户高程转化为控制断面处高程,获取所有沿河居民户相对于控制断面处的高程,计算原理如下。

如图6所示,已知控制断面的起点距为 $x_{dq}$ ,居民户坐标 $(x_{jq}, z_j)$ ,洪水水面线比降为 $k$ ,过居民户点 $(x_{jq}, z_j)$ 的水面线方程为

$$z - z_j = k_j(x - x_{jq}) \quad (11)$$

将所有居民户高程按水面比降转化为控制断面处的高程,方程为

$$z_{jk} = k_j(x_{dq} - x_{jq}) + z_j \quad (12)$$

选取所有 $z_{jk}$ 的最小值 $\min(z_{jk})$ 作为控制断面处的受灾水位,并将其作为整个村落的受灾水位,相应的居民户则为沿河村落中最容易受灾的居民。

$$z_{ze} = \min(z_{jk}) \quad (13)$$

式中: $z_{ze}$ 为控制断面处受灾水位,也是整个沿河村落受灾水位。

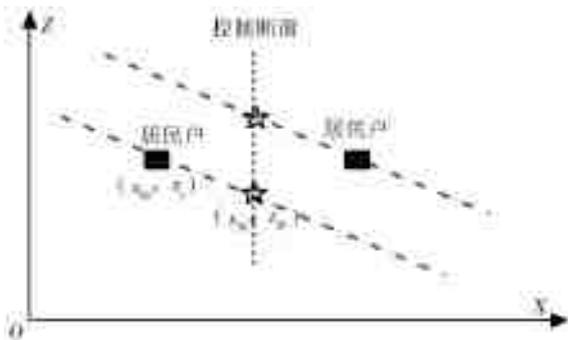


图6 沿河村落河道控制断面受灾水位计算示意图

Fig.6 Schematic diagram of the calculation of the flood control surface of the river channel in the river

### 2.5 沿河村落山洪灾害危险区绘制

根据计算得到的不同频率 $p$ 洪水水面线下的淹没居民户,依据频率划分危险等级,将居民户进行分类,分类标准见表1;根据各居民户的经纬度坐标和高程,利用 ArcGIS 在地图上圈绘危险区,并用不同颜色表示。

表1 危险区等级划分标准  
Tab.1 Standard of danger zone division

危险区等级	等级名称	频率 $p$	居民户数量	说明
1	极高危险区	$>20\%$	X	属较高发生频次
2	高危险区	$20\% \sim 5\%$	Y	属中等发生频次
3	危险区	$<5\%$	Z	属稀遇发生频次

### 3 典型沿河村落防洪能力计算

以济南市锦阳川流域内的小李庄村为例,小李庄村位于锦阳川上游流域,汇流面积 $F = 30 \text{ km}^2$ ,汇流路径 $L = 8.7 \text{ km}$ ;流域比降 $J = 0.0016$ ,经现场调查和测量,沿河居民户共56户,距河道均在20m以内。近年来,小李庄多次发生暴雨山洪灾害。根据上述理论和方法,应用 Matlab 编制程序进行受灾水位和危险区人口统计。

#### 3.1 沿河村落不同频率洪峰流量及水面线计算

采用流域雨量站短历时(10 min、30 min、1 h、3 h、6 h、12 h、24 h)暴雨资料,计算20%、10%、5%、2%、1%频率设计暴雨量及时程分配;参考《山东省暴雨图集》降雨径流关系曲线进行净雨计算;采用推理公式进行汇流计算,计算5种频率的洪峰流量值。

采用曼宁公式获取控制断面水位—流量关系,计算不同频率洪峰对应的控制断面水位,绘制洪水水面线,计算结果见表2。

表2 小李庄村不同频率 $p$ 洪峰流量及水位计算成果  
Tab.2 Calculation results of peak flow and water level of different frequency of Xiaoli village

基本信息	频率/%	流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	水位/m
小李庄村:汇流面积= $30 \text{ km}^2$ ; $L = 8.7 \text{ km}$ ; $J = 0.0016$	20	30	48.82
	10	47	49.19
	5	68	49.54
	2	101	49.92
	1	128	50.19

#### 3.2 小李庄村居民户高程—不同频率水面线关系判定

将小李庄村河道纵、横断面测点,沿河居民户测

点,不同频率洪水水面线统一于起点距—高程坐标系(X-Z)内,根据公式(10)计算居民户与水面线的高程差。经计算,5 种频率洪水水面线下的居民户数分别为 10、30、45、50、56 户,详见表 3 和图 7。

表 3 小李庄村居民户与不同频率洪水水面线关系判定成果

Tab. 3 A case study of the relationship between residents' households and different frequency flood water lines of Xiaoli village

序号	点类别	居民户名称	经度	纬度	起点距/m	高程/m	不同频率的 $\Delta z$				
							20%	10%	5%	2%	1%
1-1	纵断面起点	—	118.4196682	34.8280921	0.00	50.99	—	—	—	—	—
1-2	纵断面点	—	118.4193115	34.8278522	42.09	50.58	—	—	—	—	
2-1	居民户投影点	王自胜	118.4179641	34.82704519	198.38	52.70	0.58	0.16	-0.20	-0.58	-0.84
2-2	居民户投影点	王全喜	118.4179373	34.82702938	202.22	53.83	1.71	1.29	0.93	0.55	0.29
3	控制断面与中弘线交点	—	118.4167641	34.8263761	339.66	50.09	—	—	—	—	
1-3	纵断面点	—	118.4163517	34.8261395	378.22	49.95	—	—	—	—	
1-4	纵断面点	—	...	...	...	...	—	—	—	—	
2-...	居民户投影点	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
2-54	居民户投影点	郭敬英	118.4156513	34.82568122	462.52	51.33	-0.52	-0.94	-1.30	-1.68	-1.94
1-...	纵断面点	—	118.415404	34.8255207	488.81	49.79	—	—	—	—	
2-55	居民户投影点	王振方	118.4153173	34.82547913	501.98	52.59	0.53	0.11	-0.25	-0.63	-0.89
2-56	居民户投影点	王振现	118.4152366	34.82544039	511.35	52.34	1.44	1.02	0.66	0.28	0.02
1-11	纵断面终点	—	118.4141871	34.8249369	689.23	49.77	—	—	—	—	
min	—	郭敬英	118.4156513	34.82568122	462.52	51.33	-0.52	-0.94	-1.30	-1.68	-1.94
汇总	—	—	—	—	—	—	10	30	45	50	56

注:表中负值表示该居民户处于对应的水面线下方。

### 3.3 小李庄村受灾水位计算

根据表 3 中沿河居民户与洪水水面线高程差( $\Delta z$ )结果,筛选出沿河路径上最容易受灾的居民户为郭英敬,其投影点的起点距为 462.52 m,高程为

51.33 m,按照洪水比降将其转化为控制断面处的高程为 51.45 m,即为沿河村落控制断面受灾水位。当该处水位超过 51.45 m 后,郭英敬居民户开始受灾,见图 7。

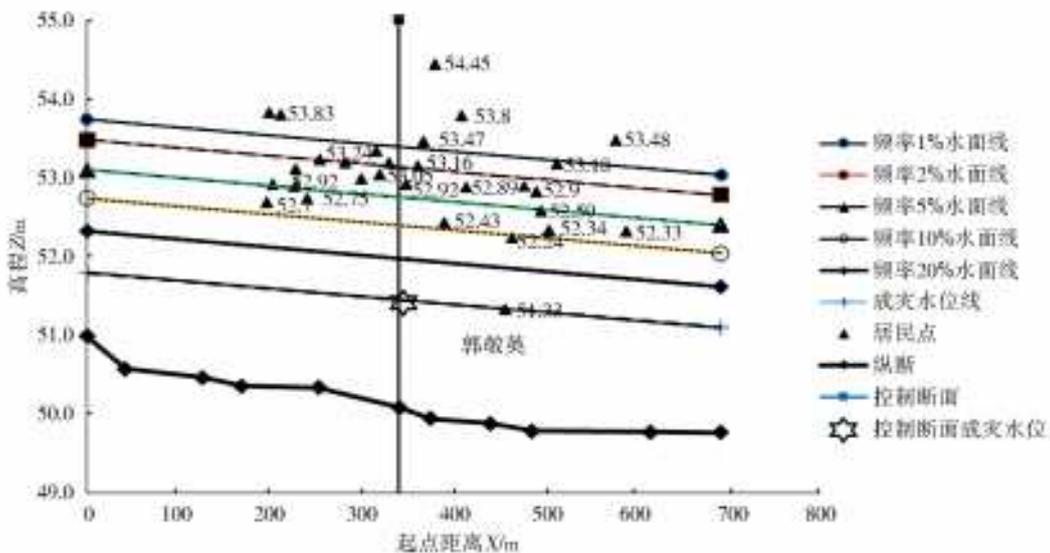


图 7 小李庄村居民户与不同频率洪水水面线关系判定成果表

Fig. 7 The relationship between residents' households and different frequency flood water lines

### 3.4 小李庄村山洪灾害危险区划分

根据表 3 中不同频率洪水水面线下的居民户判定成果,按频率大小进行危险等级分类,结合居民户

坐标信息,利用 ArcGIS 软件在地图上圈绘危险区,并用不同颜色表示:极高危险区用红色表示、高危险区用橙色表示、危险区用黄色表示,小李庄村山洪灾

害危险区划分见图 8。

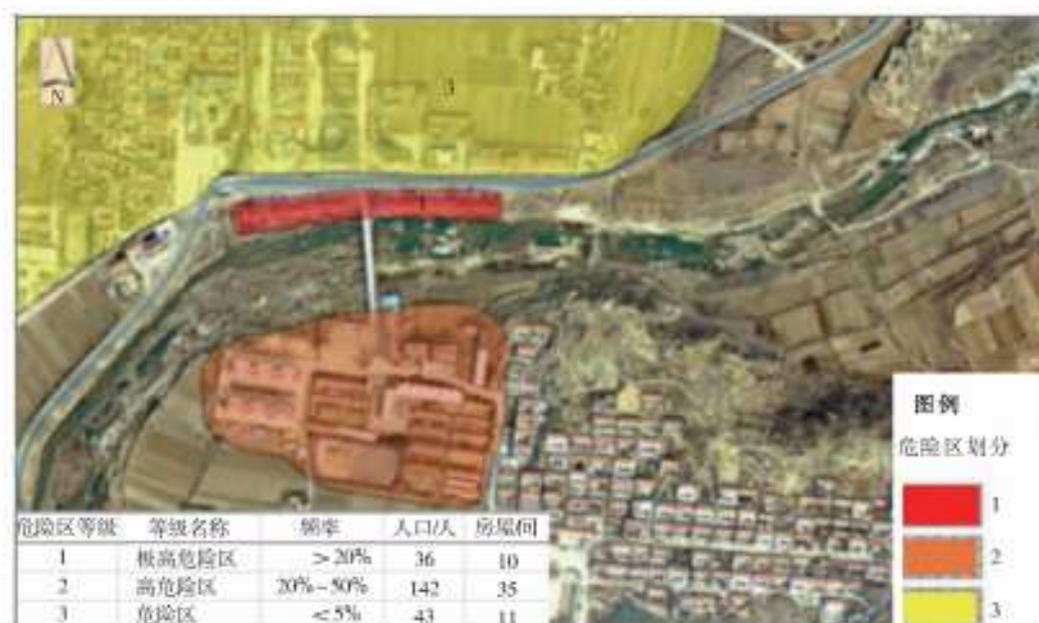


图 8 小李庄村山洪灾害危险区划分

Fig. 8 Hazard area of mountainous torrent disaster

#### 4 结论

本文针对目前受灾水位和危险区划分存在的问题,根据现场调查和测量资料,综合设计暴雨洪水计算、水位—流量关系计算、点投影、点线关系判断等方法,提出了一种可行的受灾水位计算、受灾人口判定和危险区绘制方法。实践表明,该方法可准确定位防洪能力最薄弱的居民户,计算沿河村落受灾水位,判定居民户与不同频率洪水水面线的关系,可较为精确地绘制沿河村落山洪灾害危险区。

本文提出的受灾水位计算方法虽然考虑了河道和洪水比降,以及居民户沿河分布等要素,理论上可准确定位村内最易受灾的居民户,推求受灾水位。但由于山洪成灾的复杂性,仍需结合现场调查进行校核;此外,本文中采用的设计暴雨、产汇流计算方法应结合实测资料进行率定,进而对危险区人口统计和危险区划分成果不断修正,从而为山洪灾害预警指标确定建立可靠基础。

#### 参考文献(References):

- [1] 李红霞,覃光华,王欣,等. 山洪预报预警技术研究进展[J]. 水文, 2014, 34(5): 12-16. (LI H X, QIN G H, WANG X, et al. Advances in study on flash flood forecast and warning[J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(5): 12-16. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0852. 2014. 05. 003.
- [2] 贾丹,张紫怡,陈竹安,等. 沿河村落现状防洪能力分析

- 与评价[J]. 中国科技论文, 2016, 11(3): 318-323. (JIA D, ZHANG Z Y, CHEN Z A, et al. Analysis and assessment of present flood control capacity of riverside villages [J]. China Sciencepaper, 2016, 11(3): 318-323. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; ZKZX. 0. 2016-03-014.
- [3] 程卫帅. 山洪灾害临界雨量研究综述[J]. 水科学进展, 2013, 24(6): 901-908. (CHENG W S. A review of rainfall thresholds for triggering flash floods [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(6): 901-908. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2010. 04. 003.
- [4] 胡余忠,姚学斌,章彩霞,等. 山洪影响调查评价与预警体系建设方法研究—以昌江芦溪河段为例[J]. 水文, 2015, 35(3): 20-25. (HU Y Z, YAO X B, ZHANG C X, et al. Investigation and assessment of flash flood effect and research on construction of early warning system: Take Luxi Reach of Chang River as a case [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(3): 20-25. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; SWZZ. 0. 2015-03-004.
- [5] 杜俊,陈晶,熊执中. 云南省山洪灾害防治非工程措施项目建设综述[J]. 人民长江, 2016, 47(9): 12-16. (DU J, CHEN J, XIONG Z Z. Summary of non-engineering measures project construction of mountain torrent disaster prevention and control in Yunnan Province [J]. Yangtze River, 2016, 47(9): 12-16. (in Chinese)) DOI: 10. 16232 /j. cnki. 1001-4179. 2016. 09. 004.
- [6] 戚蓝,李楠,李少明. 浙江省沿河村落山洪灾害的研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6): 113-117. (QI L, LI N, LI S M. Study on flash flood disasters for the villages along river in small watershed of Zhejiang

- Province[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2016, 27(6): 113-117. (in Chinese) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2016.06.20.
- [7] 陈瑜彬, 杨文发, 许银山. 不同土壤含水量的动态临界雨量拟定方法研究[J]. 人民长江, 2015, 46(12): 21-26. (CHEN Y B, YANG W F, XU Y S. Study of dynamic critical precipitation drafted method under different soil moisture content level[J]. Yangtze River, 2015, 46(12): 21-26. (in Chinese) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.12.006.
- [8] 刘志雨, 杨大文, 胡建伟. 基于动态临界雨量的中小河流山洪预警方法及其应用[A]. 中国水利学会 2010 学术年会论文集[C]. 郑州, 2010. (LIU Z Y, YANG D W, HU J W. Method of mountain flood warning based on content level and its application[A]. Zheng Zhou, 2010. (in Chinese))
- [9] 叶金印, 李致家, 常露. 基于动态临界雨量的山洪预警方法研究与应用[J]. 气象, 2014, 40(1): 101-107. (YE J Y, LI Z J, CHANG L. Research and application of flash flood early warning method based on dynamic critical precipitation [J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(1): 101-107. (in Chinese) DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.01.012.
- [10] 訾丽, 杨文发, 袁雅鸣, 等. 基于临界雨量的山洪灾害预警技术试验研究[J]. 人民长江, 2015, 46(1): 10-13. (ZI L, YANG W F, YUAN Y M, et al. Experimental study on early warning technology of mountain torrent disaster based on critical rainfall[J]. Yangtze River, 2015, 46(1): 10-13. (in Chinese) DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.11.003.
- [11] 苑希民, 张建伟, 田福昌. 宁夏山洪灾害雨量预警值计算[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(1): 33-48. (YUAN X M, ZHANG J W, TIAN F C. Calculation of rainfall warning value of mountain torrent disaster in Ningxia[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(1): 33-48. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.01.006.
- [12] 江锦红, 邵利萍. 基于降雨观测资料的山洪预警标准[J]. 水利学报, 2010, 41(4): 458-463. (JIANG J H, SHAO L P. Standard of mountain flood warning based on the precipitation observation data [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(4): 458-463. (in Chinese) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2010.04.003.
- [13] 黄国如, 冼卓雁, 成国栋, 等. 基于 GIS 的清远市瑶安小流域山洪灾害风险评价[J]. 水电能源科学, 2015, 33(6): 43-47. (HUANG G R, XIAN Z Y, CHENG G D, et al. Risk assessment of mountain torrent disaster at Yaoan small watershed in qingyuan city based on GIS technique[J]. Water Resources and Power, 2015, 33(6): 43-47. (in Chinese) DOI: CNKI; SUN; SD-NY. 0.2015-06-001.
- [14] 高玉芳, 陈耀登, 蒋义芳, 等. DEM 数据源及分辨率对 HEC-HMS 水文模拟的影响[J]. 水科学进展, 2015, 26(5): 624-630. (GAO Y F, CHEN Y D, JIANG Y F, et al. Effects of DEM source and resolution on the HEC-HMS hydrological simulation[J]. Advances in Water Science, 2015, 26(5): 624-630. (in Chinese) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2015.05.003.
- [15] 张容焱, 游立军, 高建芸, 等. 统计方法与淹没模型结合的山洪灾害风险评估方法及其应用[J]. 气象, 2013, 39(12): 1642-1648. (ZHANG R Y, YOU L J, GAO J Y, et al. Flash floods disaster risk assessment method combination of statistical and inundated model and its application[J]. Meteorological Monthly, 2013, 39(12): 1642-1648. (in Chinese) DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.12.013.
- [16] 张明达, 李蒙, 戴丛蕊, 等. 基于 FloodArea 模型的云南山洪淹没模拟研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 78-82. (ZHANG M D, LI M, DAI C R, et al. Simulation study of flood in Yunnan based on the floodarea model[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 78-82. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.016.
- [17] 蔡道明, 肖翔, 孙金伟. 区域山洪灾害预警难度评价[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(3): 84-87. (CAI D M, XIAO X, SUN J W. Difficulty evaluation of regional mountain torrent disaster[J]. 2015, 32(3): 84-87. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1001-5485.2015.03.017.
- [18] 李克先. 基于推理公式的山洪预警雨量计算方法研究[J]. 水文, 2016(1): 84-87. (LI K X. Calculation method of flash flood warning rainfall based on reasoning formula[J]. Journal of China Hydrology, 2016(1): 84-87. (in Chinese) DOI: CNKI; SUN; SWZZ. 0.2016-01-015.
- [19] 李昌志, 孙东亚. 山洪灾害预警指标确定方法[J]. 中国水利, 2012(9): 54-56. (LI C Z, SUN D Y. Determination of flood warning index for mountain flood[J]. China Water Resources, 2012(9): 54-56. (in Chinese) DOI: CNKI; SUN; SLZG. 0.2012-09-018.
- [20] 刘媛媛, 胡昌伟, 张红萍, 等. 资料匮乏地区山洪灾害临界雨量确定方法分析[J]. 水利水电技术, 2014, 45(8): 15-17. (LIU Y Y, HU C W, ZHANG H P, et al. Analysis on method for determination of critical rainfall of mountain torrent disaster in data deficient region [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(8): 15-17. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0860.2014.08.004.