

# HEC-RAS 在临河集镇防洪能力分析中的应用

张 进

(大同市水文水资源勘测站,山西 大同 037000)

**【摘 要】** HEC-RAS 是美国陆军工程兵团工程水文中心(Hydrologic Engineering Center)开发的河道水力计算程序(River Analysis System)。文章以灵丘县柳科乡为例,利用 HEC-RAS 一维水动力模型对临河集镇防洪能力进行分析。HEC-RAS 在推演山洪沟一维水面线以确定防护对象成灾水位有较好的适用性,结合成灾水位反推成灾流量,确定防洪能力,可为山洪灾害预警、防灾意识普及等工作提供科学、全面的信息支撑。

**【关键词】** HEC-RAS;一维水面线;成灾水位;防洪能力

**【中图分类号】** TV87

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1009-6159(2025)-12-0056-04

## Application of HEC-RAS Modeling in the Analysis of Flood Control Capacity of Linheji Town

ZHANG Jin

(Hydrology and Water Resources Survey Station of Datong Municipality, Datong, Shanxi 037000, China)

**Abstract:** HEC-RAS is a River Analysis System developed by the Hydrologic Engineering Center of the U.S. Army Corps of Engineers. The paper taking Liuke Township of Lingqiu County as an example, the flood control capacity of Linheji town is analyzed by using HEC-RAS-based one-dimensional hydrodynamic model. HEC-RAS has good applicability in calculating the one-dimensional water surface line of mountain trench to determine the disastrous water level of the protected object, and in combination with the disastrous water level to deduce the disastrous flow reversely, which can determine the flood control capacity. This method can provide scientific and comprehensive information support for mountain flood disaster warning, disaster prevention awareness popularization, etc.

**Key words:** HEC-RAS; One-dimensional water surface line; Disaster water level; Flood control capacity

HEC-RAS 是由美国陆军工程兵团水文工程中心开发的河道水力计算软件,其功能包括一维/二维水动力模型、动床输沙模型、水温模型和水质模型。其中一维/二维水动力模型现已广泛应用于涉水、临河工程建设项目的防洪影响评价,但将 HEC-RAS 建模应用于山区临河集镇居民防洪能力的研究较少。

文章通过大同市灵丘县柳科乡防洪能力分析实例,介绍基于 HEC-RAS 一维水动力模型推演山洪沟一维水面线确定临河集镇居民户成灾水位的方法,进而反推成灾流量、重现期,以确定临河集镇的防洪能力。

### 1 HEC-RAS 一维水面线计算原理

水面线计算是从河道某控制断面的已知水

位开始,根据相关水文和地形等资料,运用水面曲线基本方程,逐河段推算设计断面水位的一种水力计算,包括恒定流和非恒定流水面线计算<sup>[1]</sup>。

#### 1.1 恒定流计算

恒定流是指以时间为标准,流场内各水质点的流动参数(流量、流速、压强等)皆不随时间变化,也称稳定流。恒定流计算基于一维能量方程,按照设计标准洪峰流量,采用直接步进法,逐个断面迭代求解能量方程<sup>[2]</sup>,基本公式如下:

$$z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_r + h_j \quad (1)$$

式中: $z_1$ 、 $z_2$  为上、下游断面相应水位,m; $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  为上、下游断面流速系数,山区河流一般取

收稿日期:2025-06-05

作者简介:张进(1990—),男,工程师

1.5~2.0, 或根据相关书籍<sup>[3]</sup>经验公式计算; $v_1$ 、 $v_2$  为上、下游断面平均流速, m/s;  $h_r$ 、 $h_j$  为上、下游断面之间沿程水头损失、局部水头损失, m;  $\Delta h_v$  为上、下游断面的流速水头之差, m。

恒定流计算通常需要给出设计流量值及断面的流量变化, 根据断面点、曼宁系数、设计流量等信息计算每个断面的水位值等水力要素。恒定流计算主要应用范围包括设计洪水标准下水位、流速等水力要素计算, 以及桥梁、堰坝等涉水建筑物壅水计算和其他流量变化相对稳定的情况。

## 1.2 非恒定流计算

非恒定流是指流场内各水质点的运动要素不仅随空间位置而变, 而且随时间变化, 也称非稳定流。非恒定流是逐个计算每个时间步长内所有断面的连续性方程和动量方程的矩阵解, 得到相应的流量和水位。非恒定流计算一维连续性方程和动量方程<sup>[2]</sup>如下:

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_w v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

式中: $\rho_w$  为水的密度,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $v_i$ 、 $v_j$  为断面流速, m/s;  $x_i$ 、 $x_j$  为距离, m;  $\rho$  为压力, Pa;  $f_i$  为质量力;  $\nu$  为流体的运动粘滞系数。

非恒定流计算需给定边界或者内部连接的人流过程线, 会预先计算每个断面或者涉水建筑物附近所有可能的水力参数曲线, 然后在计算过程中根据曲线插值出水力特性。非恒定流计算主要应用范围包括突发性洪水(如溃坝、山洪等)、水流受建筑物的控制(如设置闸门的构筑物、泵站等)、潮汐影响严重的河流以及需要模拟洪水过程等特殊情况。

## 2 实例分析

### 2.1 小流域概况

柳科乡地处山西省大同市灵丘县东北部山区, 属温带大陆中性气候, 降雨多以暴雨和雷阵雨形式出现, 加之山高坡陡谷深、地形起伏多变, 属于山洪易发地区, 山洪影响涉及其南部发育的山洪沟—柳科沟, 柳科乡集镇所处柳科沟河段以上小流域面积  $5.77 \text{ km}^2$ , 河道长度  $3.29 \text{ km}$ , 河道比降  $8.38\%$ 。

根据《山西省水文计算手册》水文下垫面产汇流地类图集资料, 量算该小流域范围产流地类: 灰岩灌丛山地  $4.31 \text{ km}^2$ , 灰岩森林山地  $0.35 \text{ km}^2$ , 砂岩灌丛山地  $1.07 \text{ km}^2$ , 黄土丘陵的阶地  $0.04 \text{ km}^2$ ; 汇流地类: 草坡山地  $4.07 \text{ km}^2$ , 灌丛山地  $1.33 \text{ km}^2$ , 森林山地  $0.37 \text{ km}^2$ 。

### 2.2 设计暴雨洪水计算

柳科乡小流域缺乏长系列降雨和洪水的实测资料, 设计暴雨和洪水计算采用《山西省水文计算手册》<sup>[4]</sup>中流域模型法。

#### 2.2.1 设计暴雨计算

根据《山洪灾害分析评价技术要求》规定和《山西省水文计算手册》计算方法, 确定计算暴雨历时为  $10 \text{ min}$ 、 $60 \text{ min}$ 、 $6 \text{ h}$ 、 $24 \text{ h}$  和  $3 \text{ d}$  五种; 暴雨频率为  $1\%$ 、 $2\%$ 、 $5\%$ 、 $10\%$  和  $20\%$ , 计算中不考虑可能最大暴雨(PMP)的分析; 雨型采用《山西省水文计算手册》北区主雨日  $24 \text{ h}$  雨型模板为设计雨型。设计暴雨计算成果见表 1。

#### 2.2.2 设计洪水计算

设计洪水频率与暴雨频率对应, 分产流计算

表 1 设计暴雨成果表

历时	均值/mm	变差系数 $C_v$	$C_s/C_v$	设计雨量值( $H_p$ )/mm				
				P=1%	P=2%	P=5%	P=10%	P=20%
10 min	14.5	0.53	3.5	37.7	33.1	27.1	22.4	17.7
60 min	28	0.49	3.5	69.1	61.1	50.5	42.3	33.9
6 h	42	0.47	3.5	104.0	92.7	77.5	65.6	53.4
24 h	51.5	0.43	3.5	122.1	109.5	92.3	79.0	65.2
3 d	64	0.41	3.5	148.0	133.3	113.3	97.8	81.4

和汇流计算两部分, 产流计算包括设计净雨深和设计净雨过程计算两部分, 前者采用双曲正切模型计算, 后者采用变损失率推理扣损法计算, 汇流计算采用综合瞬时单位线计算。分别采用山西

省水文计算手册实用程序软件进行产、汇流计算。设计洪水计算成果见表 2。

### 2.3 水面线计算及防洪能力分析

根据 HEC-RAS 恒定流和非恒定流水面线

表 2 设计洪水成果表

频率/%	1	2	5	10	20
设计洪峰流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	124	99.3	67.2	44.1	26.9

计算方法及适用范围,本次柳科乡防洪能力分析是以无资料地区小流域设计标准下洪水推算临河居民户成灾水位,且乡镇段河道及上游无桥梁、坝、涵等涉水建筑物,适用于恒定流水面线计算。

### 2.3.1 地形数据采集

采用无人机航测按 15 cm 以内地面分辨率进行低空飞行采集地形数据,航拍影像数据满足 1:2 000 比例尺正射影像图(DOM)与数字高程模型(DEM)的成图精度要求,用于提取沟道横纵断面、沿河居民点位置及高程数据。无人机航测地形数据采集辅以人工 RTK 实测数据验证,以保证航测地形数据满足精度要求。无法实施航测的则全部采用人工实测河道断面、居民户位置及高程。

### 2.3.2 控制断面选取

河道横断面一般选择 3~5 条,垂直于河道主流,结合计算需要适当调整,根据实际情况选择河道防洪能力最薄弱位置确定控制断面。控制断面选取主要考虑以下情况:1)河道走势明显变化(弯曲、变窄)的河段;2)上游有水利工程等涉水建筑物的河段;3)因杂物等堆积严重阻碍行洪的河段;4)堤防低洼洪水易出槽的河段;5)堤防破损或缺失的河段。经地形数据分析比较,并经实地踏勘,选定距离河道最近且地势较低处的居民点作为控制断面位置,如图 1 所示。在控制断面上下游各布设 2 条横断面,根据航测地形数据提取该 5 组横断面数据用于水面线计算。

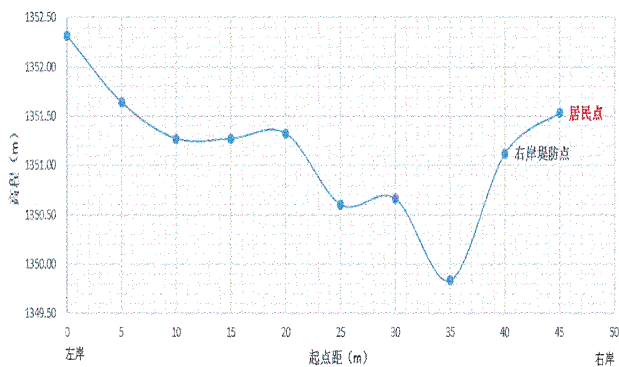


图 1 控制断面横断面图

### 2.3.3 水面线计算

根据 5 种不同频率设计洪峰流量,结合 5 组

断面数据以及选取的比降值、糙率值,使用 HEC-RAS 推求其对应河段各频率水面线,成果见表 3。

### 2.3.4 成灾水位及防洪能力的确定

现状防洪能力以成灾水位对应流量频率表示。成灾水位指防治区内可能发生山洪灾害的最低水位,即防治对象所能正常抵御的最高洪水位,当实际水位超过此水位时,防治对象可能受灾。

柳科乡集镇成灾水位为河道右岸最易受淹居民点房基高程。根据水面线计算成果,以断面桩号和水位为坐标轴将 5 种不同频率水面线绘制在一张图上,同时按居民点位置、高程点绘居民户散点图。结合居民点位置、高程与各频率水面线对比,自上游至下游低于某一频率水面线(从劣)且紧邻该水面线的第一个居民点为最易受淹点,该居民点房基高程可确定为成灾水位,提取该居民点高程为 1 351.53 m,即成灾水位为 1 351.53 m,如图 2 所示。

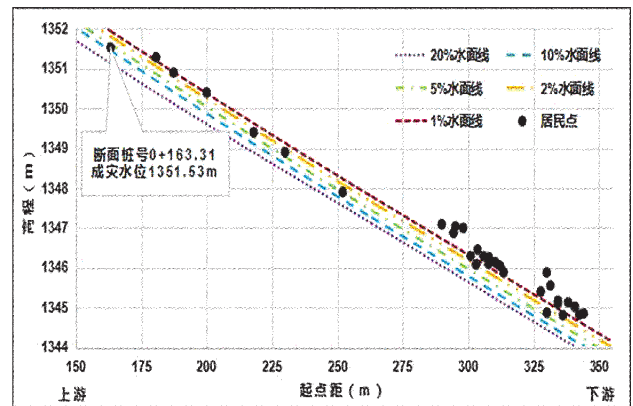


图 2 居民点与水面线高程对比图

根据 HEC-RAS 计算的设计洪峰流量对应的洪峰水位,插补绘制控制断面水位流量关系线;在该水位流量关系线上插补成灾水位对应的成灾流量,为 55.7 m<sup>3</sup>/s,如图 3 所示。

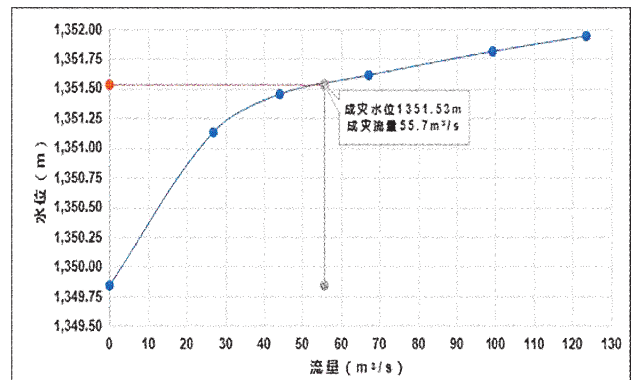


图 3 控制断面水位流量关系线

表 3 水面线计算成果表

河段	断面桩号	频率/%	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	水位/m	临界水位/m	流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	过流面积/ $\text{m}^2$
1	0			1 359.04	1 359.04	2	13.45
2	0+63.31			1 355.74	1 355.74	1.84	14.64
3	0+163.31	20	26.9	1 351.13	1 351.13	2.42	11.13
4	0+263.31			1 347.1	1 347.1	1.95	13.82
5	1+052.46			1 315.63	1 315.63	2.39	11.27
1	0			1 359.25	1 359.25	2.07	21.51
2	0+63.31			1 355.88	1 355.88	2.12	20.83
3	0+163.31	10	44.1	1 351.45	1 351.45	2.18	20.26
4	0+263.31			1 347.25	1 347.25	2.24	19.66
5	1+052.46			1 315.91	1 315.91	2.52	17.47
1	0			1 359.43	1 359.43	2.12	32.96
2	0+63.31			1 356.02	1 356.02	2.45	27.42
3	0+163.31	5	67.2	1 351.61	1 351.61	2.47	27.15
4	0+263.31			1 347.43	1 347.43	2.57	26.19
5	1+052.46			1 316.12	1 316.12	2.87	23.4
1	0			1 359.57	1 359.57	2.42	43.02
2	0+63.31			1 356.23	1 356.23	2.65	37.48
3	0+163.31	2	99.3	1 351.81	1 351.81	2.72	36.5
4	0+263.31			1 347.64	1 347.64	2.87	34.6
5	1+052.46			1 316.39	1 316.39	3.23	30.79
1	0			1 359.66	1 359.66	2.61	49.75
2	0+63.31			1 356.35	1 356.35	2.81	44.01
3	0+163.31	1	123.6	1 351.94	1 351.94	2.91	42.53
4	0+263.31			1 347.78	1 347.78	3.07	40.21
5	1+052.46			1 316.57	1 316.57	3.44	35.92

再用插值法在流量频率曲线中确定该流量对应的频率,换算成重现期,即为该集镇的现状防洪能力,如图 4 所示。最终确定柳科乡现状防洪能力为 14.3 年(7.0%)。

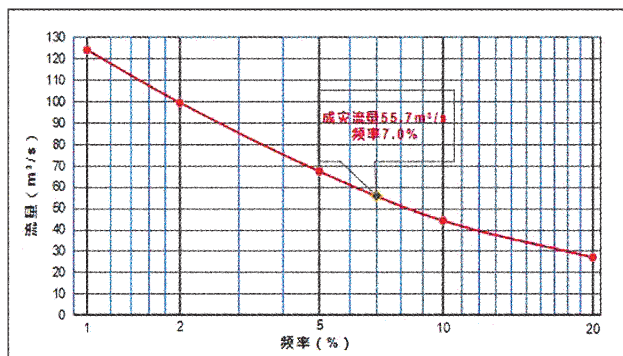


图 4 控制断面流量频率曲线图

### 3 结语

通过对灵丘县柳科乡防洪能力分析,说明在

设计洪水标准下利用 HEC-RAS 一维水面线推演临河集镇居民户成灾水位是合理可行的,为进一步推算成灾流量、防洪重现期提供合理可靠的依据;同时,分析成果可作为山洪防治的非工程措施,为山洪灾害预警、防灾意识普及等工作提供科学、全面的信息支撑。

#### 参考文献

- [1] 叶楠,陈永明.利用 HEC-RAS 软件计算山洪沟水面线[J].吉林水利,2013(11):5-8.
- [2] Hydrologic Engineering Center.HEC -RAS User's Manual Version4.1.0[Z].US Army Corps of Engineers Institute,2010.
- [3] 李炜.水力计算手册(第二版)[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [4] 山西省水利厅.山西省水文计算手册[M].郑州:黄河水利水电出版社,2011.

(责任编辑 崔春梅)