

基于 HEC-RAS 二维洪水模拟中携带污染物范围的研究

薛玉丹¹, 苟万里²

1. 天津渤海职业技术学院, 天津 300402

2. 冀中矿建勘察设计院(天津)有限公司, 天津 300171

DOI: 10.61369/EAE.2025010003

摘 要 : 洪水从产流到汇流的过程中, 流速快、行洪范围较大, 很容易携带周边污染物汇入到河道中, 对河道水质造成一定的污染, 而洪水的行洪范围是计算污染物面积的基础, 文中采用美国陆军工程兵团工程水文中心 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) 研发的 HEC-RAS 软件进行二维水流模型宽度分析, 并以榆溪河为例, 计算在 10%、1%、0.3% 频率年下河道行洪携带污染物范围的研究, 以期洪水携带污染物计算范围提供依据。

关 键 词 : HEC-RAS; 二维数值模拟; 地形矢量; 污染物; 行洪范围

Study on the Scope of Pollutant Carrying in Two-Dimensional Flood Simulation Based on HEC-RAS

Xue Yudan¹, Gou Wanli²

1. Tianjin Bohai Vocational and Technical College, Tianjin 300402

2. Jizhong Mining Construction Survey and Design Institute (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300171

Abstract : During the process from flood generation to convergence, the flow velocity is fast and the flood discharge area is large, making it easy for surrounding pollutants to be carried into the river, causing certain pollution to the water quality. The flood discharge area serves as the basis for calculating the pollutant coverage. This paper uses the HEC-RAS software developed by the U.S. Army Corps of Engineers' Engineering Hydrology Center (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) to conduct a two-dimensional flow model width analysis. Taking the Yuxi River as an example, it calculates the flood discharge areas under 10%, 1%, and 0.3% frequency years, providing a basis for estimating the range of pollutants carried by floods.

Keywords : HEC-RAS; two-dimensional numerical simulation; terrain vector; pollutant; flood range

引言

河湖中的污染物通常有工业废水、生活污水、农业面源污染、垃圾倾倒等, 会随着降雨产生的地表径流进入河道, 尤其是在特大暴雨中, 往往会形成一定的洪水, 洪水具有流速快、行洪面积大等特点, 更容易将周边污染物带入河道中, 影响河道生态系统的稳定。因此在洪水条件下, 分析洪水的行洪面积, 是确定分析河道污染物范围的基础条件。

目前, 在洪水演进的过程中, 二维水流数学模型随着计算机技术的发展得到了广泛的应用。韩岭^[1]等通过 MIKE FLOOD 耦合模型, 预测了湟水河上游遭遇 10 年、50 年、100 年一遇洪水时的洪水风险情况。陈秀万^[2]设计了 1 个专用于地理信息系统洪灾损失信息存储和管理洪水灾情分析所需的信息系统, 可快速获取洪水淹没范围。聂汉江^[3]过 ERDAS 模拟黄壁庄水库下游一定水量的无源淹没面积。李毓湘等^[4]对珠江三角洲河网区河道进行了概化建立了珠江三角洲河网区水动力学模型。郭鹏程等^[5]采用 MIKE21 水质水动力综合模型模拟计算了不同方案下北川河生态河道 10[#] 生态湖的流场及水体交换情况。

文中采用美国陆军工程兵团工程水文中心 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) 研发的 HEC-RAS 二维水流模型分析计算在 10%、1%、0.3% 频率年下洪水行洪携带污染物范围的研究, 已期为洪水携带污染物计算提供依据。

一、HEC-RAS二维模型

HEC-RAS 是由美国陆军工程兵团工程水文中心 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) 研发的一款河流水力计算综合软件包。

(一) 计算原理

HEC-RAS 模型中空间离散采用有限差分法 (finite difference method, FDM) 与有限体积法 (finite volume method, FVM) 相结合的计算方法。

(二) 模型范围

根据《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则》(SL/T808-2021) 条文说明 1.0.6 条, 结合榆溪河为山区性河道特性, 本次分析范围为3倍的河段宽度, 榆溪河宽约62.17m, 按3倍考虑为186.51m, 本次纵向分析范围为上下游各300m考虑, 即: 桩号为 K0+000~K0+600, 横向分析范围按照河道左右河口各向外衍生1km。

二、模型建立

(一) 地形图

常见的地形图矢量处理方法有地形图矢量处理方法、扫描矢量化、基于摄影测量的矢量提取法、基于 LiDAR数据的矢量处理、ArcGIS地形矢量处理等。

文中采用 ArcGIS进行地形图矢量处理方法, 结合现场实测的榆溪河范围 Tiff文件地形, 通过 Arcgis转化为地理矢量图见图2-1。

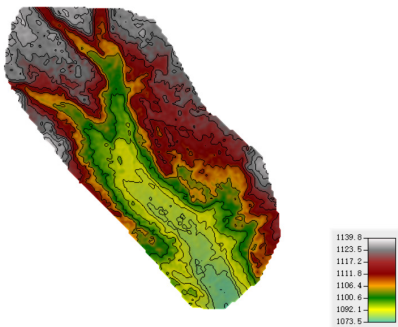


图2-1 项目区地理矢量地形图

(二) 网格划分

打开 HEC - RAS软件, 点击主界面的“RAS Mapper”按钮, 进入地理编辑界面。在“Mapper”主界面中, 点击“Tools”→“Set Projection File”, 选择之前导出的 shp文件设置坐标系, 然后导入地形数据, 进行网格生成。根据本工程的特点, 本模型中网格范围采用边长50 m 的正方形网格, 整个模型网格总数10105。

(三) 参数设置

(1) 时间离散采用有限差分法, 并通过 Crank-Nicolson 方法计算变量在 n 与 n+1 时间步的权重, 本模型中 $\Delta t=60\text{ s}$ 。

(2) 河床底部糙率根据模型区域水深及床面形态, 经反复调试后取为0.048, 并在局部有所微调。

(3) 模型水平涡粘系数 θt 。

$\theta t=Dhu^*$

式中:

D—为无量纲经验常数;

h—为水深;

u^* —为流体粘度;

$$u_* = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}}|V|$$

式中:

R—为水力半径;

n—为曼宁系数;

|V|—为流速大小。

模型的初始条件流量按照项目区段计算流量外, 其余均采用冷启动方式, 即初始水位、流速及流向皆为0。

三、洪水分析

分析区段洪水分析根据榆溪河项目区段来水及水文条件, 采用水文比拟法与上游水库泄水量进行叠加。

(一) 水文比拟法

本段设计洪水采用产汇流条件、下垫面等因素与榆溪河临近的海流兔河韩家崙站作为参证站。按照“水文比拟”法计算, 计算公式入下:

$$Q_1 = \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^n Q_2$$

式中:

Q_1 ——计算断面设计流量 (m^3/s);

F_1 ——计算断面集水面积 (km^2);

Q_2 ——水文站断面设计流量 (m^3/s), 本评价为韩家崙站设计流量;

F_2 ——水文站断面集水面积 (km^2), 本评价为韩家崙站集水面积;

n——面积指数, 取2/3。

计算各控制区间洪水成果见表3-1。

表3-1 各区间洪峰流量计算成果 单位: m^3/s

区间段	区间面积 (km^2)	频率 (%)		
		10	1	0.333
区间段流量	324.69	24.472	84.688	117.899

(二) 水库下泄流量

根据水库设计及除险加固资料, 中营盘水库最大下泄流量为 $6\text{m}^3/\text{s}$, 李家梁水库最大下泄流量为 $14\text{m}^3/\text{s}$, 河口水库最大下泄流量为 $6\text{m}^3/\text{s}$ 。

(三) 项目设计洪峰流量

项目设计洪峰流量, 采用水库最大下泄流量与项目区段10%、1%、0.333%频率洪峰流量进行叠加计算, 计算成果见表3-2。

表3-2 项目区段以上各区间洪峰流量计算成果 单位: m^3/s

区间段	频率 (%)		
	10	1	0.333
项目设计河段	49.258	106.378	138.312

四、模拟成果分析

根据模拟分析，在10%频率年遇洪水标准下，行洪范围宽度为51.74~62.17m，行洪宽度不溢岸，无河道两岸周边污染物携带情况，携带河道两岸周边污染物面积计算成果见表4-1，洪水范围模拟图见图4-1（1）。

表4-1 10%频率年下洪水行洪范围携带污染物面积计算成果

桩号	河底高程 (m)	左岸高程 (m)	右岸高程 (m)	行洪水面宽度 (m)	河道两岸可携带周边污染物宽度(m)	可携带周边污染物面积合计(m ²)
K0+000	1106.97	1111.25	1111.24	55.4	0	0
K0+150	1106.27	1111.15	1111.16	60.54	0	0
K0+200	1105.57	1111.06	1111.07	62.17	0	0
K0+300	1105.5	1110.95	1110.94	55.87	0	0
K0+400	1105.43	1110.85	1110.87	56.54	0	0
K0+500	1105.36	1110.36	1110.26	51.74	0	0
K0+600	1105.29	1110.29	1110.19	54.24	0	0

在1%频率年洪水标准下，行洪范围宽度为105.8~116.92m，行洪宽度溢岸，可携带河道两岸周边污染的宽度为25.8~35.74m，分析区段可携带污染物的总面积为18737 m²。携带污染物面积计算成果见表4-2。洪水范围模拟图见图4-1（2）。

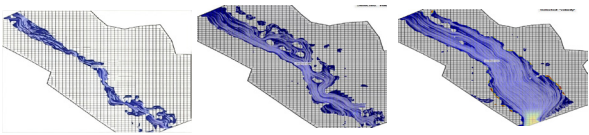
表4-2 1%频率年下洪水行洪范围携带污染物面积计算成果

桩号	河底高程 (m)	左岸高程 (m)	右岸高程 (m)	行洪水面宽度 (m)	河道两岸可携带周边污染物宽度(m)	可携带周边污染物面积合计(m ²)
K0+000	1106.97	1111.25	1111.24	110.36	30.36	0
K0+150	1106.27	1111.15	1111.16	115.74	35.74	4957.50
K0+200	1105.57	1111.06	1111.07	116.92	36.92	6774.00
K0+300	1105.5	1110.95	1110.94	109.79	29.79	10109.50
K0+400	1105.43	1110.85	1110.87	111.25	31.25	13161.50
K0+500	1105.36	1110.36	1110.26	105.8	25.8	16014.00
K0+600	1105.29	1110.29	1110.19	108.66	28.66	18737.00

在0.333%频率年洪水标准下，行洪范围宽度为107.13~117.95m，行洪宽度溢岸，可携带河道岸周边污染的宽度为27.13~37.95m，分析区段可携带河道两岸周边污染物的总面积为194563.25 m²。携带污染物面积计算成果见表4-3，洪水范围模拟图见图4-1（3）。

表4-3 0.333%频率年下洪水行洪范围携带污染物面积计算成果

桩号	河底高程 (m)	左岸高程 (m)	右岸高程 (m)	行洪水面宽度 (m)	河道两岸可携带周边污染物宽度(m)	可携带周边污染物面积合计(m ²)
K0+000	1106.97	1111.25	1111.24	112.44	32.44	0
K0+150	1106.27	1111.15	1111.16	117.1	37.1	5215.50
K0+200	1105.57	1111.06	1111.07	117.95	37.95	7091.75
K0+300	1105.5	1110.95	1110.94	110.51	30.51	10514.75
K0+400	1105.43	1110.85	1110.87	112.23	32.23	13651.75
K0+500	1105.36	1110.36	1110.26	107.13	27.13	16619.75
K0+600	1105.29	1110.29	1110.19	109.74	29.74	19463.25



（1）10%频率年行洪范围 （2）1%频率年行洪范围 （3）0.333%频率年行洪范围

图4-1 不同频率年下洪水行洪范围携带污染物面积计算成果

五、结论与展望

（一）结论

河道周边的污染物会随着降雨产生的地表径流进入河道，尤其是在特大暴雨中，往往会形成一定的洪水，洪水具有流速快、行洪面积大等特点，更容易将周边污染物带入河道中，文中采用 HEC-RAS 二维水流模型分析计算了在10%、1%、0.333%频率年下对洪水行洪可携带污染物范围进行了研究，结果表明 HEC-RAS 二维水流模型在河道行洪分析计算过程中，对污染物面积的分析计算具有良好的适用性。

（二）展望

文中采用 HEC-RAS 是由美国陆军工程兵团工程水文中心 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) 研发的一款河流水力计算综合软件包，二维水流模型是在最新的5.0版本中加入的，该模块计算精度高，人机界面友好，因此在国际上得到广泛应用，但国内应用较少，其次模型对参数和资料的高要求，使得模型在实际应用中并不能完全发挥其普遍的作用；当时间步长调整的很小时，计算周期会大大增加；当人类活动影响较大的时候，模拟出的结果误差较高等等。以上问题在今后进一步的研究中，可以仔细讨论深入探究，进一步进行优化改进。

参考文献

[1] 韩岭, 盖永刚, 刘杨等. 基于 MIKE FLOOD 模型的温河上游洪水风险评估 [J]. 中国农村水利水电. 2017, (7): 616-164.
[2] 陈秀万. 遥感与 GIS 在洪水在洪水灾情中的分析与应用 [J]. 水利学报. 1194.11: 70-73.
[3] 聂汉江, 刘彬, 何立新等. 基于库群联合调度度和 DEM 的区域洪水淹没范围模拟 [J]. 水电能源科学. 2014, 5 (5): 44-46.
[4] 李毓湘, 逢勇. 珠江三角洲地区河网水动力学模型研究 [J]. 水动力学研究与进展, 2011, 16(2): 143-155.
[5] 郭鹏程, 蔡明, 闫大鹏. 基于 MIKE21 模型的人工生态湖优化设计 [J]. 人民黄河, 2014, 36(4): 56-58.