

基于糙率参数不确定性的河道防洪能力风险分析*

殷丹 石凤君 王凯

(辽宁省水利水电科学研究院, 辽宁 沈阳 110003)

【摘要】 为减少糙率参数不确定性给河道水面线推求带来的影响,提高河道防洪能力分析成果可靠性,提出基于参数不确定性的防洪能力风险分析技术。以柴河水库下游段为例,采用改进的摩尔斯分类筛选法进行糙率灵敏度分析,得出不同河段的糙率灵敏度,为模型计算中的糙率值选取提供依据。通过对柴河现状河道防洪能力以及堤段设计洪水标准下的河道行洪风险进行计算分析,得出行洪风险高的堤段,为防洪应急预案编制提供参考。

【关键词】 糙率; 不确定性; 防洪能力; 风险分析

中图分类号: TV82

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)04-0045-04

Risk analysis of river flood control capacity based on roughness parameter uncertainty

YIN Dan, SHI Fengjun, WANG Kai

(Liaoning Water Conservancy and Hydropower Research Institute, Shenyang 110003, China)

Abstract: The flood control capacity risk analysis technology based on parameter uncertainty is proposed in order to reduce the influence of roughness parameter uncertainty on the investigation of river water surface profiles, and improve the reliability of river flood control capacity analysis results. The downstream section of Chaihe River is adopted as an example. Improved Morris screening method is adopted for analyzing roughness sensitivity. The roughness sensitivity in different river sections is obtained, thereby providing basis for selecting roughness value in model calculation. The embankment sections with high flood draining risks are discovered through calculating and analyzing current river flood control ability in Chaihe River and river flood draining risks under embankment design flood standard. Reference is provided for compiling flood control emergency preplans.

Keywords: roughness; uncertainty; flood control capacity; risk analysis

河道防洪能力分析是根据不同洪水流量条件下的洪水淹没范围和淹没水深,得出各河段某一保证水位下可以安全下泄的洪水流量。河道防洪能力分析结果决定着堤防高程的确定,同时也关系着堤防保护区的安全及其防洪标准的确定,是影响流域防洪规划的重

大问题。随着桥梁、闸坝等涉河工程的建设以及采砂等人类活动,河道形态不断发生变化,从而使河道的防洪能力受到不同程度的影响。在河道防洪能力分析计算中,控制断面的初始水位、河道糙率、河道几何形状等输入条件存在一定的不确定性,传统的河道水面线

* 基金项目:辽宁省科学技术计划项目(2014212003)

推求未考虑各种随机因素,而以定值方法进行计算,使河道水面线的不确定性难以得到定量的描述。河道糙率 n 是洪水计算分析中的一个重要参数,其取值是河道一维数值模拟的关键,糙率 n 取值准确与否与直接影响着水动力模型的计算精度,糙率率定是模型计算的重要步骤。本文以柴河为例,将糙率参数的不确定性影响引入水面线的推求过程,进行局部参数灵敏度分析,以降低河道行洪风险,提高河道防洪能力计算结果可靠度。

1 研究区概况

柴河为辽河干流的左侧支流,发源于辽宁省清原县柞乃甸乡北乐山天桥岭,于铁岭水文站上游处汇入辽河。流域面积 1441km^2 ,河流长度 133km ,全河比降为 1.91‰ 。柴河上建有柴河水库,水库控制面积 1355km^2 ,占流域面积的 94% 。

柴河水库下游属低丘平原河流,地势较平坦,主槽和滩地不明显。柴河水库下游是铁岭城市防洪的重点,河段两岸村屯密布,人口聚集,特别是柴河入辽河口段为铁岭市郊,该次分析范围选取柴河水库溢洪道入柴河处至长大铁路桥,河道长度 11.4km ,具体见下图。柴河水库下游段河道宽约 $60\sim 270\text{m}$,治理型式主要为堤防和护岸,其中柴河大桥下游左岸为铁岭市城区,属辽河回水段,堤防设计标准 100 年一遇,右岸为 50 年一遇;柴河大桥至柴河橡胶坝属于城郊段,防洪标准 50 年一遇;柴河橡胶坝以上为农村段,基本无堤,防洪标准为 20 年一遇。随着河道采沙以及城市的



柴河水库下游概况图

建设发展,不同程度的影响河道过流能力。

2 河道糙率参数灵敏度分析

2.1 灵敏度分析方法

灵敏度分析是模型参数识别过程的重要步骤之一,对于验证及改进数值模型有重要的作用。在数值模型计算中,灵敏度分析可识别参数灵敏度的高低,定性或定量地评价参数不确定性对模拟结果的影响程度,能有效降低高灵敏度参数选择不当产生的误差,提高计算精度。参数灵敏度分析方法包括全局灵敏度分析和局部灵敏度分析,其中局部灵敏度分析主要用于计算单个参数的变化对模拟结果的影响,计算时仅改变一个固定参数的值,其他参数保持不变^[1]。局部灵敏度分析只针对某一个参数,操作简单、易于实施。本研究重点介绍糙率参数在模型计算中的灵敏度,为局部灵敏度分析,即检验糙率在最佳估计值附近的微变化对模拟结果的影响。

摩尔斯分类筛选法(morris screening method)在局部灵敏度分析中应用较为广泛,方法简单有效^[2]。修正的摩尔斯筛选法,自变量以固定步长变化,灵敏度判别因子取多个平均值^[3],计算公式如式(1)所示。

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(y_{i+1} - y_i)/y_0}{(P_{i+1} - P_i)/100} / (n - 1) \quad (1)$$

式中 S ——灵敏度判别因子;

n ——模型运行次数;

y_i ——控制断面在模型第 i 次运行时的水位值;

y_0 ——水位初值;

y_{i+1} ——模型第 $i+1$ 次运行的水位值;

P_i ——第 i 次模型运算参数值变化百分率;

P_{i+1} ——第 $i+1$ 次模型运算的参数值的变化百分率^[4]。

S 值越大,则该参数对计算结果越灵敏,影响越大。参照灵敏度分级标准,分为四级: $0 \leq |S| < 0.05$ 为不灵敏参数; $0.05 \leq |S| < 0.2$ 为中等灵敏参数; $0.2 \leq |S| < 1$ 为灵敏参数; $|S| > 1$ 为高灵敏参数^[5]。

2.2 柴河糙率参数灵敏度分析

选用丹麦 DHI 水力模拟系列软件的 MIKE11 模块

建立河道一维水动力模型,计算河道水面线,MIKE 软件在水力计算方面应用较为广泛,其计算原理及过程在此不再赘述。该次计算横断面资料主要采用最新实测地形,柴河水库下游河段计算长度 11.4km,计算断面 20 个。柴河水库下游至河口段无较大支流汇入,有部分平原区及城区,洪水主要来自柴河水库的放流,故该区段设计洪水直接采用柴河水库设计情况下的泄流量。设计洪水采用《柴河水库除险加固工程初步设计报告》中成果,见表 1。下边界采用起始断面的水位流量关系。

表 1 柴河水库下游段设计洪水成果

洪水频率/%	5	2	1
最大泄流/(m ³ /s)	182	518	1651

表 2 柴河水库溢洪道—熊官村(上游段)参数灵敏度

糙率 n		0.021	0.024	0.027	0.03	0.033	0.036	0.039
糙率变化率		-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
上游段	水位变幅/m	-0.372	-0.251	-0.104	0	0.126	0.317	0.591
	灵敏度 ISI	0.4						
中游段	水位变幅/m	-0.032	-0.021	-0.01	0	0.098	0.193	0.273
	灵敏度 ISI	0.13						
下游段	水位变幅/m	-0.302	-0.215	-0.114	0	0.115	0.244	0.381
	灵敏度 ISI	0.28						

为 $ISI_{上游} > ISI_{下游} > ISI_{中游}$ 。根据灵敏度分级情况,柴河水库溢洪道—熊官村、沈四高速桥—长大铁路桥段的糙率值为灵敏参数,而中游的熊官村—沈四高速桥段的糙率为中等灵敏参数。柴河水库溢洪道—熊官村的糙率灵敏,主要是由于河道两岸多坑塘,河道地形变化较大;而下游城市段的糙率参数灵敏是由于城市河道滩槽明显,滩地上的草木植物较多。对于糙率参数灵敏河段,在计算过程中要更加注意参数值的选取,减少计算步长,提高计算精度。

3 防洪能力风险分析

柴河长大铁路桥至柴河大桥有堤防,设计防洪标准为 50 年一遇;柴河大桥以上现状无堤防,分别进行 50 年一遇、20 年一遇设计洪水的水位计算,以及现状

为分析柴河糙率离散性对水位的影响,对糙率灵敏度进行分析。根据河道实际情况分段计算,分为上游乡村段,溢洪道—熊官村;中游农田段,熊官村—沈四高速桥;下游城镇段,沈四高速桥—长大铁路桥等三段。

采用局部灵敏度分析法检验糙率在最佳估计值附近的微变化对模拟结果的影响。当糙率均值取 0.03 时,保持模型边界条件、初始条件等其他因素不变,仅改变上、中、下游三段的糙率值,进行水面线计算。分别将糙率值以增大或减小 10%、20%、30%、40% 变化,计算河段沿程水位变化,并采用摩尔斯分类筛选法进行糙率灵敏度计算,结果见表 2。

从计算结果可以看出,河道不同位置糙率值改变对水位计算结果影响不同,各河段的灵敏度顺序依次

断面保证流量计算,结果见表 3。有堤段防洪能力基本达到 50 年一遇设计要求,由于无堤段两岸地势较高,泄流能力较强,该次计算中将其断面保证流量确定为不超过 100 年一遇设计洪水流量,即 1651m³/s。

表 3 柴河水库下游河道现状防洪能力成果

位置	水位/m		堤顶/地面高程/m		保证流量/(m ³ /s)	
	$P=2\%$	$P=5\%$	左岸	右岸	左岸	右岸
长大铁路桥	61.75		64.72	63.23	1245	578
柴河大桥	63.05		66.96	66.82	1651	1651
沈四高速公路桥		62.11	68.3	67.85	1651	1651
熊官屯桥		64.84	71.72	71.74	1651	1651

由于河道行洪能力计算过程中参数不确定,使计算结果存在随机性,该次研究对有堤防段进行河道行

洪风险率计算。计算洪水频率为 50 年一遇,根据堤防设计情况,堤防安全超高为 2m。该次研究考虑糙率参数不确定性,计算发生设计洪水时河道行洪风险情况,结果见表 4。

表 4 柴河有堤段 50 年一遇洪水沿程行洪风险率

断面号	河道水位/ m	堤顶高程/m		行洪风险率	
		左岸	右岸	左岸	右岸
长大铁路桥	61.75	64.72	63.23	0.01	0.72
柴河大桥	63.05	66.96		0.00	

行洪风险率的数值为 0~1,为方便比较,根据经验确定行洪风险级别,将行洪风险率划分为 5 个等级,见表 5。

表 5 行洪风险等级划分

行洪风险等级	低	较低	中	较高	高
行洪风险率	0~0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	>0.7

根据表 4 及表 5 对照分析,发生 50 年一遇洪水时,柴河长大铁路桥断面右岸堤防行洪风险级别较高,按正常糙率参数取值时,已达到设计防洪标准,但当发生特殊情况时,如大洪水将上游的树木、庄稼或建筑物冲毁,将引起下游河道糙率大幅增加,引起水位上涨,有洪水漫溢或溃堤风险。

(上接第 39 页)

信息能够支持防汛决策,应用效果良好。该系统除了在防汛领域中发挥了重要作用,还在山洪灾害和抗旱工作中起到了辅助支持决策的作用。随着大连市山洪灾害调查评价工作的逐步展开,系统提供的雨情、水情、工情等信息在山洪灾害防御与指挥调度中发挥了重要作用,其三维空间指明了逃避险路线,为挽救生命财产提供了重要支撑。大连市近些年来旱灾时有发生,系统提供的雨情、水情、工情等基础信息对于合理预判干旱风险等级、指导抗旱减灾工作有着重要作用。

5 结 语

随着大连市智慧水利项目的开展,防汛系统作为

4 结 论

采用摩尔斯分类筛选法进行柴河水库下游段的河道糙率灵敏度分析,得出柴河水库溢洪道—熊官村以及沈四高速桥—长大铁路桥段的糙率值为灵敏参数,而中游的熊官村—沈四高速桥段的糙率为中等灵敏参数。河道防洪风险分析结果表明,发生 50 年一遇设计洪水时,长大铁路桥处右岸堤防的行洪风险率高,说明该段堤防在大洪水时,有洪水漫溢或溃堤风险,在汛期应注重该处河段的防汛检查与应急抢险准备工作。◆

参考文献

- [1] 刘玉珍,程世迎. 灵敏度分析法确定水文地质参数的基本模型及其应用[J]. 水利学报,2006,37(7):846-850.
- [2] 薄会娟,董晓华,邓霞. 新安江模型参数的局部灵敏度分析[J]. 人民长江,2010,41(1):25-28.
- [3] 张利茹,管仪庆,叶彬,等. 新安江模型参数敏感性分析的实证研究[J]. 水电能源科学,2008,26(5):16-17.
- [4] 许春东,殷丹. 基于 MIKE11 的河道糙率灵敏度分析[J]. 水电能源科学,2014,32(11):101-103.
- [5] Lenhart T, Eckhardt K, Fohrer N, et al. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27(9-10): 645-654.

其中的重要组成部分,将融入更多的内容,如各类分析模块、预警预测模块等,丰富完善系统功能,更加智能地发挥支持决策作用。◆

参考文献

- [1] 关峰,刘浩,曹巍. 灾害可视化系统中的二维三维联动技术研究[J]. 测绘科学,2012,37(3):93-95.
- [2] 聂云峰,周文生,舒坚,等. 基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引[J]. 中国图像图形学报,2012,17(2):286-292.
- [3] 殷福忠,孙立民. 基于瓦片金字塔技术的地图发布平台开发研究[J]. 测绘与空间地理信息,2010,33(5):16-20.
- [4] 霍亮等. 瓦片金字塔模型技术的研究与实践[J]. 测绘科学,2012,37(6):144-146.
- [5] 黄梦龙. 瓦片地图技术在桌面端 GIS 中的应用[J]. 地理空间信息,2011,9(4):149-151.