

西辽河通辽市城区段防洪能力分析研究

洪文彬 蒋攀 雷宇明

中水东北勘测设计研究有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v7i12.5098

[摘要] 结合近些年西辽河通辽市城区段已建涉河工程,利用常规一维模型和MIKE21水动力模型进行水面线计算,复核现状堤防的防洪能力,并分析各涉水工程对河道水位的影响,分析发现现状部分堤防堤顶高程不足,建议政府及相关部门采取相关措施。

[关键词] MIKE 21 水动力模型; 西辽河; 防洪能力; 通辽市

中图分类号: TV87 **文献标识码:** A

Analysis and Research on Flood Control Capacity of the Urban Section of Tongliao City in Xiliao River

Wenbin Hong Pan Jiang Yuming Lei

China Water Northeastern Investigation, Design & Research Co., Ltd

[Abstract] combined with the recent years west liao river Tongliao city section has built on river engineering, using conventional one-dimensional model and MIKE 21 hydrodynamic model for surface line calculation, review the status of levee flood control ability, and analyze the influence of the wading engineering on river water level, analysis found that the present part of embankment elevation is insufficient, suggested that the government and relevant departments to take relevant measures.

[Key words] MIKE 21 hydrodynamic model; Xiliao River; flood control capacity; Tongliao City

引言

随着城市的社会经济发展,对河道岸线和滩涂开发利用程度不断提高,河道内修建的桥梁、堤防、景观公园等涉水工程会改变河道行洪情况,原本河道的防洪能力也会产生变化^[1-2]。距离《辽河流域防洪规划》批复已过去了近20年,这段时间通辽市开展了一系列涉河工程的建设。2000年后通辽市新建了彩虹桥、红光桥等7座桥梁;2005年,2013年及2018年,先后对西辽河两岸堤防进行改线,堤距有所缩短;基于城市景观营造的需要,先后开展了一系列河道治理工程在河道滩地内打造沿河滨水景观带,并先后在河道中修建8道生态挡水坝以形成蓄水水面,改善城市整体水生态环境。

通过上述工程建设,极大改善了生态、交通条件,方便了居民的生活,促进了经济社会的发展。但是,这些涉河工程的建设,对河道行洪产生一定的不利影响。为客观、真实反映河道现状的防洪能力,查找问题起因及影响程度,本次以西辽河通辽市城区段为研究对象,利用常规一维以及MIKE21二维模型计算不同工况下的河道水面线,为水利行业监管和通辽市防洪体系建设提供参考意见。

1 流域及河道概况

西辽河流域地处东北地区西南部,位于东经116° 50' 至

124° 06', 北纬41° 03' 至45° 13' 之间,东与东辽河为邻,西和大兴安岭南端内蒙古高原的大、小鸡林河、公吉尔河流域相邻,南以七老图山、努鲁儿虎山、科尔沁沙地南部,与滦河、大凌河、柳河流域毗连,北在大兴安岭南端东坡的松辽分水岭与霍林河为邻。西辽河属于辽河干流的上中游,源头在河北省境内七老图山脉的光头山(高程为1490m),流经河北、内蒙古、吉林、辽宁等四省区,到福德店水文站东辽河入汇处(高程为86m),全长827km,其中干流长403km。流域面积为13.62×10⁴km²,占辽河流域总面积的62%,河道平均比降1/2500,落差186m。

西辽河属于辽河干流的上中游,内蒙古通辽市地处辽河干流中游,在通辽城区内辽河长约16km。根据《辽河流域防洪规划》成果,通辽市防洪标准为100年一遇。

2 研究方法

2.1 一维水面线

一维水面线计算采用简化的恒定非均流公式,以下游断面为起始控制断面,向上游逐断面按试算法递推。计算公式为:

$$H_{上} = H_{下} + \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \cdot L$$

$$K = \frac{1}{n_{\text{主}}} A_{\text{主}} \cdot R_{\text{主}}^{2/3} + \frac{1}{n_{\text{滩}}} A_{\text{滩}} \cdot R_{\text{滩}}^{2/3}$$

式中: Q ——设计洪峰流量(m^3/s); K ——断面流量模数; L ——上、下游断面间距(m); A ——过流断面面积(m^2); R ——水力半径(m); n ——糙率,分主槽、滩地糙率; $H_{\text{上}}$ 、 $H_{\text{下}}$ ——上、下游断面水位(m)桥梁壅水计算,采用铁三院公式:

$$\Delta h = \eta(V_{\text{后}}^2 - V_{\text{前}}^2)$$

式中: η ——壅水系数($\eta=0.05\sim 0.15$); $V_{\text{后}}$ ——建桥后断面平均流速(m/s); $V_{\text{前}}$ ——建桥前断面平均流速(m/s);

挡水坝壅水采用堰流计算公式:

$$Q = \varepsilon \sigma m B \sqrt{2gh_0}^{\frac{3}{2}}$$

式中: Q ——流量, m^3/s ; B ——溢流断面宽度, m ; σ ——淹没系数; ε ——侧收缩系数; h_0 ——计入行近流速水头的堰顶水头, m ; m ——流量系数;

2.2 MIKE21水动力模型

MIKE21模型是丹麦水力学研究所开发的二维数学模拟软件,广泛应用于国内外水动力模拟当中,取得了较好的效果,在平面二维自由表面流数值模拟方面具有强大的功能,是目前国际上较为先进的模型之一^[3-5]。

MIKE21水动力模型的主要控制方程为平面二维水流连续方程、平面二维水流的动量方程和静水压力假设。控制方程的具体表达式如下:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} +$$

$$\frac{\tau_{ax}}{\rho_0} - \frac{\tau_{hx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + hu_s S$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} +$$

$$\frac{\tau_{ay}}{\rho_0} - \frac{\tau_{hy}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial(hT_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + hv_s S$$

式中: h 为静止水深; t 为时间; u 、 v 为流速 x 、 y 方向上的分量; x 、 y 、 z 为右手Cartesian坐标系; S 为源汇项; f 为Coriolis参量; ω 为地球自转角速度,取 ω 为 $0.729 \times 10^{-4} \text{s}$; φ 为地理纬度; $f\bar{v}$ 、 $f\bar{u}$ 均为地球自转引起的加速的; g 为重力加速度; η 为水面相对未扰动基面的高度,即水位; ρ_0 为

参考水密度; P_a 为当地气压; ρ 为水密度; S_{xx} 、 S_{xy} 、 S_{yx} 、 S_{yy} 为辐射应力分量; τ_{ax} 、 τ_{ay} 、 τ_{bx} 、 τ_{by} 为水面与河床边界水流切应力在 x 、 y 方向上的分量; u_s 、 v_s 为源汇项水流速度。

其中:

$$f = 2\omega \sin \varphi$$

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz$$

T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yx} 、 T_{yy} 为水平黏滞应力,包括粘性力、紊流应力和水平对流,这些量是根据沿水深平均的速度梯度用涡流粘性方程得出的:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right), T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}$$

2.3 计算条件

2.3.1 计算范围

本次西辽河二维模型上游边界为304高速桥上游约1560m处断面,下游边界为新鲁高速桥下游约1890m处断面,左右岸以现状已建堤防为边界,模型全长约20.11km。

2.3.2 模型网格处理

模型计算网格为三角形网格,两岸滩地网格最大面积为20000 m^2 ,主槽网格最大面积为2000 m^2 ,模型计算网格数为56436个,节点数为30506个。

河道主槽网格适当加密,对桥墩、桥台占用河道位置采用不过水处理,不过水区域附近网格自动加密。

2.3.3 边界条件

计算上游为恒定流量边界条件,下游为恒定水位边界条件。根据《辽河流域防洪规划》设计洪水成果,流量采用通辽水文站100年一遇设计洪水成果1910 m^3/s ,下游出口断面水位边界根据《西辽河干流防洪规划报告》100年一遇水位插值得出,为174.48m,一维及二维模型边界条件相同。

2.3.4 糙率选取

通过二维模型构造原防洪规划时的边界条件进行率定糙率,并参考《辽河流域防洪规划》中西辽河段糙率选择成果,最终确定原防洪规划工况下彩虹桥上游主河槽糙率采用0.035,彩虹桥下游糙率选取0.03,滩地糙率选取0.05。现状工况下河道主槽糙率不变,滩地糙率结合现状河道内滩地植被的实际情况进行选取。

2.4 计算工况

为了分析通辽市现状防洪能力及不同涉河工程对水面线的影响,共设计6种工况来分析不同条件下水位壅高影响程度。

工况一:基础工况,河道两岸以防洪规划时堤防为边界,河道内只考虑《西辽河干流防洪规划》中的通霍铁路桥和霍林河大桥两座桥,河道无生态景观工程。

工况二:在工况一基础上,加入哲里木大桥至东外环大桥段已建堤防,以及东外环大桥至新鲁高速桥段规划堤防作为边界条件,以分析堤防改线对水面线的影响。

工况三:在工况一基础上,加入防洪规划后建设的桥梁,用于分析桥梁建设的影响。

工况四:在工况一基础上,考虑生态治理工程及滩地植被变化的影响,用于分析滩地生态治理工程的影响。

工况五:现状工况,即考虑现状堤防、桥梁、滩地植被变化的影响,其中河道内的挡水土坝以及滩地上球场等娱乐设施的围栏按洪水期间拆除考虑,不做特殊处理。

工况六:考虑到发生洪水时挡水坝全部拆除比较困难,在工况五基础上,河道内挡水坝按未能拆除处理,作为不利工况。

3 计算结果及分析

3.1 计算结果

通过一维和二维模拟计算水面线对比可以看出,计算水面线变化趋势总体相同,说明计算结果合理。由于二维模型能够模拟整个研究范围内的洪水演进,而一维计算只能根据上下游河道横断面地形及距离计算水位变化,无法考虑断面间地形等因素引起的水位变化,所以各工况一维水面线计算结果均小于二维计算结果,偏差均在0.2m以内,故模拟所求水面线是合理的。

3.2 不同工况的防洪能力分析

本次以二维模型计算成果进行防洪能力分析研究。由于堤防裁弯取直工程从哲里木大桥下游开始,到新鲁高速桥结束,所以工况二(堤防改线)相比工况一的变化主要在哲里木大桥下游,最大壅高值0.41m,而哲里木上游水位壅高减小,在彩虹桥以上水位与工况一相等。

西辽河通辽市城区段新建桥梁较多且比较分散,所以工况三(桥梁建设)水面线相比工况一均有所增加,在基础工况的边界条件下,新鲁高速桥和东外环桥的建设对行洪影响较大,使河道行洪断面缩窄50%以上,故两座桥梁建设对此区间水面线影响较大,东外环桥壅高最大为0.43m,除此之外,上游其他断面水面抬高基本均在0.1m之内。

由于研究范围内现状滩地植被情况相比基础工况均有所变化,所以工况四(滩地糙率增加)水位均有所增加,最大壅高0.35m,且现状滩地生态化改造主要集中于哲里木大桥上游,下游段变化相比原始状态变化相对较小,所以工况四在哲里木大桥以上影响较为明显。

工况六相比于工况五区别在于发生洪水时挡水坝未能拆除,水位均有所提高。其中6号挡水坝长546m,坝高2.5m,且两侧延伸

至哲里木大桥建有护岸,高约2m~4m,所以在哲里木大桥下相比现状工况壅高最大为0.51m,新世纪大桥以下由于没有挡水坝建设,水位与现状相同。

综上所述,通过各工况水面线的对比,西辽河通辽市城区段不同河段水面线受影响的主要原因为:

(1)哲里木大桥以上主要受滩地糙率增加影响,其次为桥梁建设;(2)哲里木大桥至新世纪大桥下游段主要受堤防改线影响,其次为桥梁建设;(3)新世纪大桥下游至新鲁高速桥段主要受桥梁建设和堤防改线共同影响。

3.3 防洪能力分析

以最不利的工况六作为典型,对比工况六水面线成果与现状堤顶高程,分析工况六条件下西辽河城区段堤防防洪能力,其中堤顶超高按2m考虑。

工况六条件下城区段左岸红光大桥上游至科尔沁大桥、彩虹桥上游断面15附近堤防不达标,约2.85km,最大欠高0.58m;右岸科尔沁大桥上游断面8至科尔沁大桥,科尔沁大桥下游断面11至霍林河大桥下游断面14堤防不达标,约2.88km,最大欠高0.82m。

3.4 桥梁安全净空分析

根据本次工况六的水面线计算结果及桥梁底高程分析,见表5。现状条件下,霍林河大桥及彩虹桥桥下实际净空分别为0.01m和0.43m,不足0.5m。

4 结语

本次利用常规一维模型以及MIKE21水动力模型计算了不同工况下西辽河通辽市城区段100年一遇设计水面线,总体模拟效果较好,成果较为可靠,进一步分析了不同河段影响水位的主要因素,并根据现状的堤防及桥梁工程指出了防洪薄弱环节,为通辽市未来防洪体系完善提供了科学依据。

[参考文献]

- [1]王宇明.柴河水库下游河道防洪能力分析[J].水利技术监督,2022,(8):4.
- [2]王晓昕,肖飞.基于防洪规划的辽河流域防洪体系建设[J].国际沙棘研究与开发,2021,(008):81-84.
- [3]许士国,姜彪,丁勇.生产堤对河道行洪能力影响的MIKE21模拟研究[C]//水力学与水利信息学进展,2009.
- [4]袁雄燕,徐德龙.丹麦MIKE21模型在桥渡壅水计算中的应用研究[J].人民长江,2006,37(4):3.
- [5]班美娜,武永新.基于MIKE21FM的南渡江河口段行洪能力分析[J].南水北调与水利科技,2018,16(2):7.