

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.05.004

基于 MIKE21 FM 模型的河道防浪林行洪影响分析

任 杰,董增川,徐 伟,周 悦,韦一鸣,王建婷
(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:为分析在滩地种植防浪林对河道行洪能力的不利影响,以嫩江干流东阳堤段为例,通过在 MIKE21 FM 模型中对防浪林进行结构物概化构建数值模型,选取堤前水位、断面水位和断面流速作为输出,比较有、无防浪林时输出位置的水位和流速,定量计算现状防浪林和优选布局条件下设计防浪林种植对河道行洪的影响。结果表明,防浪林的种植会对行洪水位和流速产生影响,且林带越宽、滩地水深越大,防浪林对河道行洪的影响越大;现状防浪林和设计防浪林对研究区河道行洪水位和流速的影响均很微小,对河道行洪不构成威胁。

关键词:防浪林;行洪能力;MIKE21 FM 模型;结构物概化;东阳堤防;嫩江

中图分类号:TV871 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2019)05-0420-05

Study on influence of river wavebreak forest on flood discharge ability based on MIKE21 FM Model
REN Jie, DONG Zengchuan, XU Wei, ZHOU Yue, WEI Yiming, WANG Jianting
(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the adverse effect of wavebreak forest on river flood, a numerical model was constructed using MIKE21 FM model, and the wavebreak forest was described by the structure to build the numerical model. Outputs including water level before the dike, average cross-section water level and cross-section velocity were quantitatively compared between conditions with and without wavebreak forest to analyze the effect. The Dongyang Dike of Nenjiang River was taken as an example, and results show that the wavebreak forest influences the changes of water level and velocity. The wider the forest, the greater the water depth, and the greater the influence of wavebreak forest on the flood discharge. Meanwhile, the effect of wavebreak forest on flood discharge capacity is very small under current condition and designed condition on the Dongyang reach.

Key words: wavebreak forest; flood discharge ability; MIKE21 FM Model; generalization of structures; Dongyang Dike; Nenjiang River

目前,河流生态护岸工程措施得到越来越多的应用,河流的生态水文效应也成为研究的热点。防浪林作为生态护岸工程措施的一种,不仅可以改善河流的生态系统环境,还可以有效减小堤前的波浪爬高,延长堤防的使用寿命^[1-2],在我国大江大河中均有广泛应用^[3-6]。然而,在堤前种植防浪林,会导致洪水期过水面积减小等问题,可能会对河道行洪产生不利影响。目前,对防浪林的研究多集中于对防浪林消浪机理^[7-9]、防浪林树种选择^[10-12]以及对防浪林可能造成的地貌改变的数学物理试验^[13]等方面。而针对防浪林营造对河道行洪影响的研究方面,以 Huang 等^[14-15]、王忬^[16]、石月珍^[17]的水槽物理试验为代表,得出滩地种植植被对水流的影响主要在于植被形成的阻水面积、自身的阻力及其与水流的相互作用,在滩地种植防浪林会造成上游

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划项目(GZ16B031,GZ16B035);国家重点研发计划(2016YFC0402209)

作者简介: 任杰(1994—),女,博士研究生,主要从事水文水资源、生态水利研究。E-mail:jessieren2016@163.com

通信作者: 董增川,教授。E-mail:zcdong@hhu.edu.cn

引用本文: 任杰,董增川,徐伟,等.基于 MIKE21 FM 模型的河道防浪林行洪影响分析[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(5):420-424.
REN Jie, DONG Zengchuan, XU Wei, et al. Study on influence of river wavebreak forest on flood discharge ability based on MIKE21 FM Model[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(5): 420-424.

水位壅高、滩地流速减小、主槽流速增大等影响。但水槽试验受场地与经费的限制,不利于不同组试验方案的切换与对比。笔者以嫩江干流东阳堤段为例,利用 MIKE 软件中的 MIKE21 FM 模块构建模型,在模型中对防浪林进行结构物概化,来定量研究防浪林营建对河道行洪的影响。

1 模型构建

1.1 研究区概况

嫩江是黑龙江支流松花江的北源,发源于我国大兴安岭,流向自北向南,于三岔河汇入松花江。东阳堤防位于嫩江中游右岸,距上游尼尔基水库约 55 km。其堤防现状全长 34.088 km,两岸堤顶间距约为 5 ~ 10 km,设计防洪标准为 50 年一遇。目前,东阳堤防现有防浪林 18 处,总长约 24 km,种植于堤防迎水侧堤前 10 m 处,林带宽度 10 m,株行距为 2 m,成等边三角形交错排列,树种以杨树和柳树为主。设计防浪林布局方式采取消浪效果、成本、土地利用多目标优化后的优选模式,其林带宽度为 50 m,其余均与现状防浪林参数相同^[9, 18]。

1.2 模型设置

为了更好地刻画河道岸线并对植被区域进行局部加密,选择 MIKE 软件中的网格剖分工具——mesh generator生成研究河段非结构网格,对河段的河底地形进行插值,同时选择能够适应不规则网格的 MIKE21 FM 模块^[19]对研究区进行水动力学计算。所构建模型中的水动力模块的控制方程是基于三向不可压缩和 Reynolds 值均布的 Navier-Stokes 方程,采用有限体积法求解。

选取嫩江干流东阳堤段为研究区,研究区地形数据、河道糙率、风场和水位流量数据均取自黑龙江省勘测设计院提供的 1 : 2000 堤防条带地形图和《黑龙江省嫩江干流治理工程初步设计报告》提供的东阳堤段数据。《黑龙江省嫩江干流治理工程初步设计报告》为“2013 年大水”后,根据中央 15 号文的精神和水利部《关于加强嫩江松花江近期防洪建设若干意见》的要求,由黑龙江省水利厅组织编制的。对同盟断面至嫩 18 断面之间河段进行概化(图 1)。利用 mesh generator 工具,用边长为 400 m 非结构网格对研究河段进行初步划分,并对种植防浪林及防浪林上游 1 000 m、下游 500 m 部分的河段进行局部加密,加密河段网格边长 100 m,其中防浪林种植区域进行再次加密,网格边长 10 m。根据河底高程数据对概化河道进行插值,得到河底地形网格(图 1)。以上游流量和下游水位值作为 MIKE21 FM 模型的上、下边界。

目前,没有可以直接设置防浪林的数值模拟软件,但 MIKE 21 FM 的结构物模块中有桥墩模块,由于桥墩群对水流的影响与乔木对水流的影响基本一致^[15, 20],均体现在水流经过柱体时的绕流并形成尾迹流,故可以用桥墩代替乔木进行研究。在如图 1 所示的矩形区域内,在堤前 10 m 处设置 1 km 长防浪林,设计防浪林布局方式采取消浪效果、成本、土地利用多目标优化后的优选模式,具体为 2 m×2 m 等边三角形排列,林带宽度 50 m,树干直径 0.07 m,树冠直径 0.9 m^[9, 18]。由于树干和树冠的直径、刚性程度均相差较大,参数设置时,对每一棵植被进行分层设置,树冠和树干部分分别选取 1 和 0.8 作为阻力系数^[21]。在东阳段 50 年一遇和 100 年一遇来水条件下分别模拟有、无防浪林时堤前水位、河道断面平均水位和流速的变化,研究防浪林种植对研究区河道行洪的影响。

以研究区内嫩 16 断面(图 1)作为验证断面,通过断面 50 年一遇和 100 年一遇平均水位对模型的模拟效果进行验证。《黑龙江省嫩江干流治理工程初步设计报告》中提供的嫩 16 断面 50 年一遇平均水位值为 165.83 m,MIKE 21 FM 模型模拟的嫩 16 断面平均水位为 165.78 m;断面 100 年一遇平均水位值为 166.07 m,MIKE 21 FM 模型模拟的嫩 16 断面平均水位为 165.98 m。平均水位差绝对值均小于 0.2 m,可以认为,MIKE 21 FM 模型可以较好地模拟研究区内河段的水流情况。

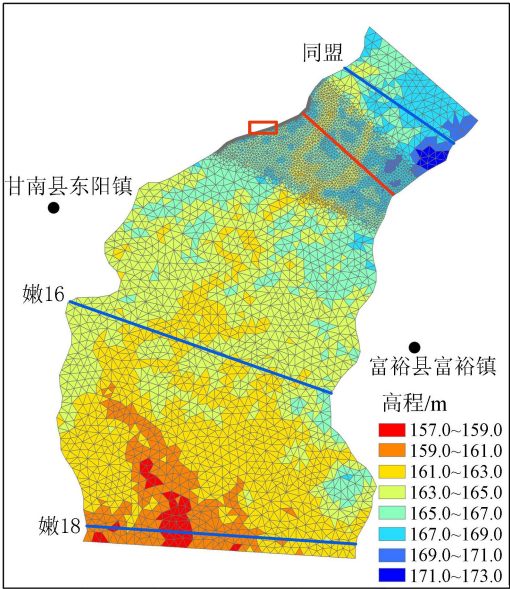


图 1 研究区河底地形网格

Fig.1 Topographic grid map of the study area

2 模拟结果分析与讨论

2.1 防浪林种植对堤前水位的影响

对研究区种植防浪林及防浪林上游 1 000 m、下游 500 m 部分的堤脚至堤前 100 m 以内区域进行输出,比较有无防浪林时堤前水位的变化,结果如图 2~3 所示。

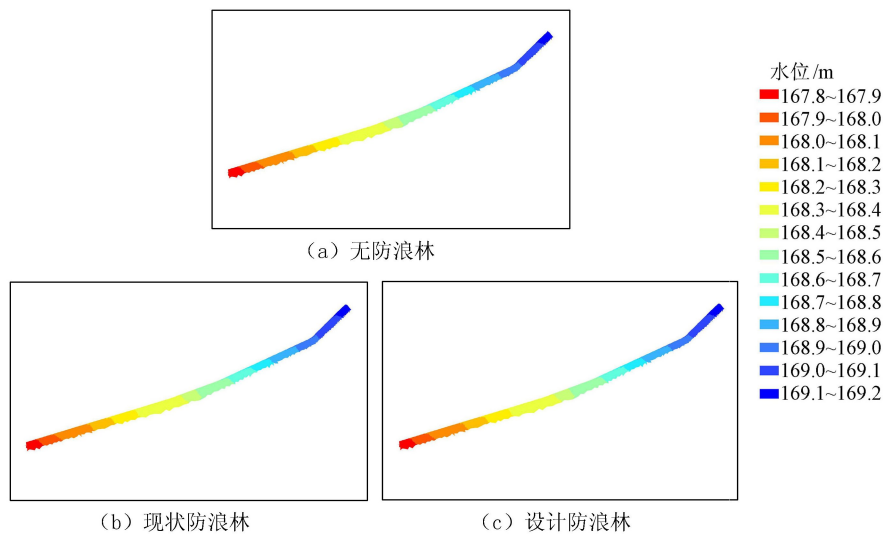


图 2 50 年一遇来水条件下有、无防浪林时堤前水位变化

Fig. 2 Variation of water level in front of dike with and without wavebreak forest under a flood with occurring period of 50 years

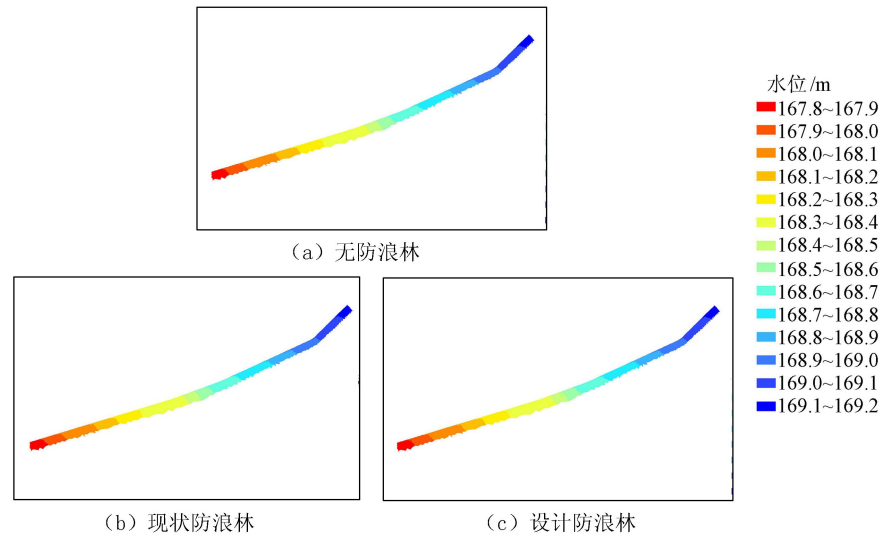


图 3 100 年一遇来水条件下有、无防浪林时堤前水位变化

Fig. 3 Variation of water level in front of dike with and without wavebreak forest under a flood with occurring period of 100 years

由图 2~3 可以看出,防浪林种植导致防浪林种植区域上游段及防浪林上游部分水位小幅上升,中下游段水位小幅下降。对输出区域所有网格点有无防浪林时水位数值进行比较,上升和下降的幅度均小于 4 cm,变化幅度不超过滩地水深的 1%,可以认为防浪林种植对堤前水位影响较小,尤其是考虑到防浪林可以将堤前的波高消减约 15 cm,防浪林种植对堤前水位的影响非常小。

2.2 防浪林种植对断面平均水位的影响

在壅水部分河段取一河道横断面,如图 1 红色线所示,将线段离散成 1 000 个点,比较防浪林种植前后河道断面平均水位变化。由表 1 可知,各条件下平均水位变化均不超过 1 cm,可以认为防浪林种植对河道断面

平均水位影响甚微,同时可以发现,水位变化随水深的增加而增加、随林带宽度增加而增加。

2.3 防浪林种植对河道流速的影响

对图 1 红色线所示的横断面,比较有、无防浪林时的断面流速变化,如图 4 所示。有防浪林时的断面流速与无防浪林时相比,堤前流速下降、河槽内流速上升。现状防浪林在 50 年一遇来水条件下使得滩地流速下降最大值为 0.00038 m/s,下降了 0.05%;河槽内上升最大值为 0.00147 m/s,上升了 0.68%;100 年一遇来水条件下滩地下降最大值为 0.0053 m/s,下降了 0.06%,河槽内上升最大值为 0.0081 m/s,上升了 2.28%。设计防浪林在 50 年一遇来水条件下使得滩地流速下降最大值为 0.00104 m/s,下降了 0.14%;河槽内上升最大值为 0.0015 m/s,上升了 0.72%;100 年一遇来水条件下滩地下降最大值为 0.0082 m/s,下降了 0.16%,河槽内上升最大值为 0.0082 m/s,上升了 2.30%。断面流速变化均很微小。

100 年一遇来水条件下的水深比 50 年一遇来水时的增加了仅 0.2 m,但断面流速变化率却由最大 0.72% 增加到了 2.3%,水位变化也有明显增长,可见水深对防浪林条件下的水位和流速变化有很大影响。东阳堤防百年一遇来水条件下,滩地水深不足 2 m,应当是防浪林产生影响不显著的一个重要原因。防浪林对行洪的影响随林带宽度的增加而增加,而研究区滩地较长,约为 500 m,这也应是计算结果变化不大的原因。

防浪林对水位和流速的不利影响随水深和林带宽度的增加而增加,而防浪林的消浪效果也随水深和防浪林林带宽度的增加而增加,故针对不同河道,应分别进行研究。

3 结 论

- a. 利用 MIKE21 FM 水动力模型定量研究了防浪林对河道行洪的影响,在滩地种植防浪林会对种植区域河段以及种植区域上下游一定范围内的河段的水流形态造成影响。主要表现在:上游水位升高、滩地流速减小、主槽流速增加。
- b. 识别了防浪林对河道行洪影响的 2 个关键因素:滩地水深和林带宽度,具体表现为:水深增加,防浪林种植对河道行洪的影响增加。林带宽度增加,防浪林对河道行洪的影响也增加。
- c. 对于嫩江这类滩地较长的宽浅型河道,在滩地种植林带宽度为 50 m 的防浪林,对河道行洪的影响极小。对于窄滩断面河道和水深较大的河道,防浪林种植对河道行洪的威胁更大。
- d. 防浪林作为具有多重效益的生态护岸措施,值得推广使用。在现有研究的基础上,可以对在不同河槽形态的河道种植防浪林的可行性、不同河槽形态河道种植防浪林的最大适宜林带宽度等方面进行进一步研究。

参考文献:

[1] BENNETT S J, WU W, ALONSO C V, et al. Modeling fluvial response to in-stream woody vegetation: implications for stream corridor restoration[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2010, 33(6): 890-909.

[2] MCBRIDE M, HESSION W C, RIZZO D M, et al. The influence of riparian vegetation on near-bank turbulence: a flume experiment[J]. Earth Surface Processes & Landforms,2010, 32(13): 2019-2037.

[3] 张敏,刘洪林,张立师. 洪泽湖大堤生物防护模式的实践[J]. 人民长江,2008, 39(3): 54-56. (ZHANG Min, LIU Honglin, ZHANG Lishi. Practice of biological protection mode of Hongze Lake Embankment[J]. Yangtze River, 2008, 39(3):

表 1 有、无防浪林时断面平均水位

Table 1 Average water level of the cross section with and without wavebreak forest

情景	水位/m	
	50 年一遇	100 年一遇
无防浪林	168.5158	168.7325
现状防浪林	168.5158	168.7331
设计防浪林	168.5159	168.7334

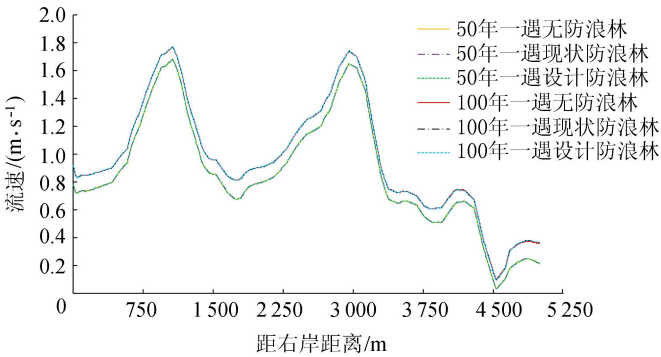


图 4 横断面流速

Fig.4 Current velocity diagram of the cross section

54-56. (in Chinese))

- [4] 苗长运,谢军,阎国杰. 黄河下游防浪林防护效果分析[J]. 人民黄河,1998,20(6): 9-10. (MIAO Changyun, XIE Jun, YAN Guojie. The analysis of protection effect of wavebreak forest in the Yellow River downstream [J]. Yellow River, 1998, 20(6): 9-10. (in Chinese))
- [5] 张宝森,王仲梅. 黄河郑州段种植 500 m 宽防浪林可行性研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2005, 26(3): 71-73. (ZHANG Baosen, WANG Zhongmei. Feasibility study on planting 500 m wide wavebreak in Zhengzhou section of Yellow River[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Nature Science Edition), 2005, 26(3): 71-73. (in Chinese))
- [6] 刘达,黄本胜,邱静,等. 华南沿海防浪林带种植宽度对消浪效果影响的试验研究[J]. 水利水电技术,2015, 46(9): 109-114. (LIU Da, HUANG Bensheng, QIU Jing, et al. Experimental study on impact from planting width of coastal wavebreak forest zone in South China on its wave absorbing effect [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015, 46(9): 109-114. (in Chinese))
- [7] 张茂章,宋正明. 不同林相结构防浪林的消波性能计算[J]. 水利水电科技进展,2013, 33(6): 40-43. (ZHANG Maozhang, SONG Zhengming. Calculation on wave dissipation performance for different wave break forest structures [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(6): 40-43. (in Chinese))
- [8] 王瑞雪. 非淹没刚性植物对波浪传播变形影响实验研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2012.
- [9] 王建婷,董增川,徐伟,等. 嫩江干流防浪林消浪影响因素分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018, 46(1): 30-36. (WANG Jianting, DONG Zengchuan, XU Wei, et al. Influencing factors analysis of wave dissipation of the wavebreak forest in mainstream of Nenjiang River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2018, 46(1): 30-36. (in Chinese))
- [10] XU Wei, DONG Zengchuan, REN Jie, et al. A vegetation selection model for ecological bank protection works based on improved TOPSIS method and its application [C]//Chongqing Academy of Science & Technology. Proceedings of 2017 IEEE 3rd International Conference on Mechanical, Electronic and Information Technology Engineering (ICMITE 2017). Chongqing: Chongqing Academy of Science & Technology, 2017:139.
- [11] XU Wei, DONG Zengchuan, WANG Jianting, et al. An improved fuzzy optimum selection model for choosing wavebreak forest species and its application [C]//Chongqing Academy of Science & Technology. Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2017). Chongqing: Chongqing Academy of Science & Technology, 2017:122-126.
- [12] 张茂章. 影响淮河中游防浪林建设的因素分析及树种选择[J]. 中国水利,2015(9): 22-24. (ZHANG Maozhang. Planting of wavebreak forest in middle reaches of Huaihe River: influential factors and selection of tree species [J]. China Water Resources, 2015(9): 22-24. (in Chinese))
- [13] KIM H S, NABI M, KIMURA I, et al. Computational modeling of flow and morphodynamics through rigid-emergent vegetation [J]. Advances in Water Resources, 2015, 84(2): 64-86.
- [14] HUANG Bensheng, LAI Guanwen, QIU Jing, et al. Hydraulics of compound channel with vegetated floodplains [J]. Journal of Hydrodynamics, 2002, 14(1): 23-28.
- [15] 黄本胜,赖冠文,邱静,等. 河滩种树对行洪影响试验研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 1999, 14(4): 468-474. (HUANG Bensheng, LAI Guanwen, QIU Jing, et al. Experimental research on influence of vegetated floodplains upon flood carrying capacity of river [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics (Ser A), 1999, 14(4): 468-474. (in Chinese))
- [16] 王付. 有植被的河道水流试验研究[D]. 南京:河海大学, 2003.
- [17] 石月珍. 河滩种树的复式断面河道水流特性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2002.
- [18] REN Jie, DONG Zengchuan, XU Wei, et al. Optimal layout pattern of anti-wave forest based on improved fuzzy entropy [C]//Chongqing Academy of Science & Technology. Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2017). Chongqing: Chongqing Academy of Science & Technology, 2017:141-145.
- [19] 冯静. MIKE21FM 数值模型在海洋工程环境影响评价中的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011.
- [20] MODULE H, GUIDE U. Mike 21 flow model fm [M]. Shanghai: Digital Human Interface, 2011.
- [21] REINOUT O D, AUGUSTIJN D, WIJNBERG K, et al. Modelling wave attenuation by vegetation with swan-veg; Model evaluation and application to the noordwaard polder [M]. Enschede: University of Twente, 2010.

(收稿日期:2018-03-25 编辑:刘晓艳)