

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.04.006

基于 SWAN 模型的风生波河道防浪林消浪模拟

周悦,董增川,徐伟,任杰,王建婷,韦一鸣

(河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098)

摘要:选取嫩江干流佰大街堤防为研究区,综合分析其河道地形与岸线条件,应用地表水模拟系统(surface water modeling system, SMS)差分生成局部加密的非结构三角形计算网格。在此基础上,基于第三代浅水波浪模型(simulating wave nearshore, SWAN)模拟防浪林对河道风生波的影响。结果表明:在发生 50 年一遇洪水时,模型模拟波高与实测波高的相关系数达到 0.95,模拟结果较好;嫩江干流佰大街堤防现状防浪林的消浪效果显著,消浪系数达到 30.51%;基于非结构三角网格的 SWAN 模型能较好地模拟以风生波为主的复杂地形河道内的波浪场。

关键词:护岸工程;SMS;SWAN;防浪林;消浪模拟;影响因素;嫩江干流佰大街堤防

中图分类号:TV871.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2019)04-0323-06

Wave attenuation simulation of vegetation based on the SWAN model in rivers

ZHOU Yue, DONG Zengchuan, XU Wei, REN Jie, WANG Jianting, WEI Yiming

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking the Baidajie embankment in the mainstream of Nenjiang River as the typical area, the locally encrypted and unstructured triangular calculating grid was generated by the surface water modeling system (SMS) based on the complex river topography and coastline conditions. Then, the third generation of shallow water wave model (simulating wave nearshore, SWAN) was adopted to simulate the effect of wave attenuation forest on the wind-generated waves in river. The results show that the correlation coefficient between the simulated wave height and the measured wave height is 0.95. The coefficient of wave dissipation is 30.51% under the condition of a flood once in fifty years. It means that the simulating results are reasonable and the anti-wave effect is significant. Meanwhile, the SWAN model based on the unstructured triangular mesh can effectively simulate the wind-generated wave field in the river of complex topography.

Key words: revetment engineering; SMS; SWAN; wave attenuation forest; wave attenuation simulation; influencing factor; Baidajie embankment in the mainstream of Nenjiang River

防浪林护岸工程是指种植于堤防迎水侧用于保护江河湖海堤岸免受水流、风浪、海潮侵袭和冲刷的一种林木生态护岸工程措施。因其具有成本较低、消波显著、改善生态等特点,在我国的大江大河得到广泛应用。目前关于河道防浪林的研究,多集中于植被对流速的影响以及对水土流失的作用方面^[1-4]。而对于河道防浪林的消波模拟研究,一直是防洪工程领域的难点。Camfield^[5]研究发现,植被对波浪易产生破碎力,使波浪产生位移和形变,对波浪的传播过程产生衰减作用。Dalrymple 等^[6]基于线性波理论和能量守恒方程,得出了波浪在植被中的衰减模型。基于该衰减模型以及 Mende 等^[7]的经验公式模型,荷兰代尔夫特理工大学在第三代波浪模型(simulating wave nearshore, SWAN)的基础上开发了 SWAN-VEG 模块,能较好地模拟植被场

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划(GZ16B031, GZ16B035)

作者简介: 周悦(1994—),女,硕士研究生,主要从事水文水资源、生态水利研究。E-mail:hhzhouyue@hhu.edu.cn

通信作者: 董增川,教授。E-mail:dongzengchuan@163.com

引用本文: 周悦,董增川,徐伟,等.基于 SWAN 模型的风生波河道防浪林消浪模拟[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(4):323-328.

ZHOU Yue, DONG Zengchuan, XU Wei, et al. Wave attenuation simulation of vegetation based on the SWAN model in rivers[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(4): 323-328.

的消浪作用。该模型以风场为驱动项,在源项中物理过程考虑全面^[8],适用于以风生波为主的江河湖海的波浪场模拟。苏志重等^[9]将 SWAN 模型应用在辽东湾,取 3 个大风过程的波浪数据分析,发现模拟效果较好。曹海锦等^[10-11]考虑植被高度系数影响因子及柔性植物晃动影响因子,优化刚性植被、柔性植被的阻力系数估算方法。本文选取风生波为主、水面宽阔的嫩江干流佰大街堤防段河道为研究区,采用模拟复杂河道地形与岸线较好的地表水模拟系统(surface water modeling system, SMS)差分生成非结构三角形计算网格^[12],构建基于非结构计算网格的 SWAN 波浪模拟模型,模拟防浪林对河道风生波的消浪作用。

1 流域概况

嫩江是我国洪水多发的江河之一^[13],河底地质为第四系松散层,厚度为 80 ~ 120 m,有巨厚的陆相沉积物全新统冲、湖积层厚度约 5 ~ 20 m,岩性主要为粗砂、砾石、卵石类,分布在漫滩区,两岸漫滩滩面开阔,地质构造稳定性高。嫩江干流全长 1 370 km,流域面积为 29.85 万 km²,水位随季节性变化大,50 年一遇洪水水位下河宽可达 20 km。该区域自然资源丰富、土地肥沃、水分充沛、光照良好,成为我国重要的林区、农牧业基地和水产业基地。但由于 2013 年大洪水的破坏,河道治理已成为流域面临的首要任务。据 2015 年统计,嫩江干流堤防总长约 966.485 km。堤防坝身多为低液限黏土、粉土质细砂或混合土,坝体单薄、抗冲性差;其中部分堤防是在原有民堤基础上加高培厚形成,结合段不紧密,且加高培厚时多就近取土,在堤脚前后形成大面积坑塘,存在抗渗性差等隐患。高水位时,嫩江水面宽阔,范围 4 ~ 20 km,最大风速可达 18 m/s,易形成 1 ~ 2 m 的浪高,同时由于主河道摆动大,对部分临近主河道的堤段易形成急流冲顶作用,特别是在自然草皮护坡的状态下,波浪严重冲刷、淘蚀堤防易造成塌岸。营造防浪林是消减风浪、减轻风浪对堤防冲淘、防止堤防滑坡和塌岸的重要手段^[14-16]。目前,嫩江干流现状与规划防浪林 169.171 km,以杨树、柳树为主,采用行株距为 2 m、宽度为 10 m 的栽种方式。根据课题组实际勘察,防浪林平均树高为 6.1 m。

2 模型介绍

2.1 SMS 模型

SMS 模型是由 United States Army Corps of Engineers Hydraulics Laboratory 和 Brigham Young University 联合开发的基于二维浅水方程模拟和分析地表水运动规律的模型,主要包含一、二维有限单元模型、有限差分模型和三维水动力学模型。ADCIRC 模型是 SMS 模型中有限单元模型之一,是最新一代的高级循环多维水动力模型。其采用非结构三角网格进行网格差分及模拟计算,与结构网格相比,能更好地拟合复杂边界,而且可以通过局部加密网格来满足敏感区域的计算精度,具有建网容易且计算精度高的优点,尤其适用于地形复杂、水深急剧变化的区域^[17-19]。而且其与 SWAN 模型采用非结构网格时的输入文件均基于同一网格,避免了基于不同网格而造成的误差,可以进一步提高计算精度。

2.2 SWAN 模型

SWAN 模型^[7,20]基于线性随机表面重力波理论和全隐式差分,用二维作用量谱密度描述随机波浪场,动谱平衡方程作为控制方程。整体思路是在给定地形、水深、风场等条件下,综合考虑水深变化引起的折射、绕射、耗散、底部摩擦等各物理过程后,对控制方程在时间、空间和谱空间进行有限元计算,从而实现对波浪产生、传播、耗散过程的模拟。在直角坐标系下,SWAN 模型的控制方程表达式如下:

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial t}C_xN + \frac{\partial}{\partial t}C_yN + \frac{\partial}{\partial \theta}C_\theta N + \frac{\partial}{\partial \sigma}C_\sigma N = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$
(1)

式中: N ——动谱密度,是能谱密度 E 与相对频率 σ 的比值; C_x ——波浪在地理坐标空间 x 上的传递速度; C_y ——波浪在地理坐标空间 y 上的传递速度; C_θ ——波浪在相对频率空间 θ 上的传递速度; C_σ ——波浪在相对频率空间 σ 上的传递速度; S_{tot} ——控制物理过程的源函数项,进一步解释可参考 Yang 等^[8]的介绍。

3 基于非结构计算网格的 SWAN 模型构建

3.1 河道概化与网格划分

根据堤防数据在 SMS 模型中确定研究区域的边界及其属性,依据计算精度确定边界上的网格节点。边界属性分为开边界和陆边界,开边界处波浪可以自由出入,陆边界处波浪被吸收、不产生波。由于现状防浪

林宽度为 10 m,综合考虑 SWAN 模型计算的压力及模型计算的稳定性,先取整体网格边长为 50 m 进行二维三角网格差分,再局部加密长 1 500 m、宽 200 m 的防浪林及其缓冲区域,加密的边长为 5 m,得到非结构三角形计算网格,模型计算时按防浪林现状设置长 1 000 m、宽 10 m 的区域为防浪林区域,共将研究区划分为 401 180 个非结构三角形网格单元。在该非结构网格的基础上,导入水位、地形数据文件,采用 SMS 的 ADCIRC 模型生成水深文件。因为嫩江流域主槽距堤防较远,河滩地较宽,因此根据佰大街堤防的保护级别与防洪标准确定 50 年一遇洪水水位作为水深条件,此时水位可淹没至堤脚,同时波高低于堤顶,进行防浪林消浪模拟较适宜。研究区 50 年一遇水深网格及植被区局部放大如图 1 所示。

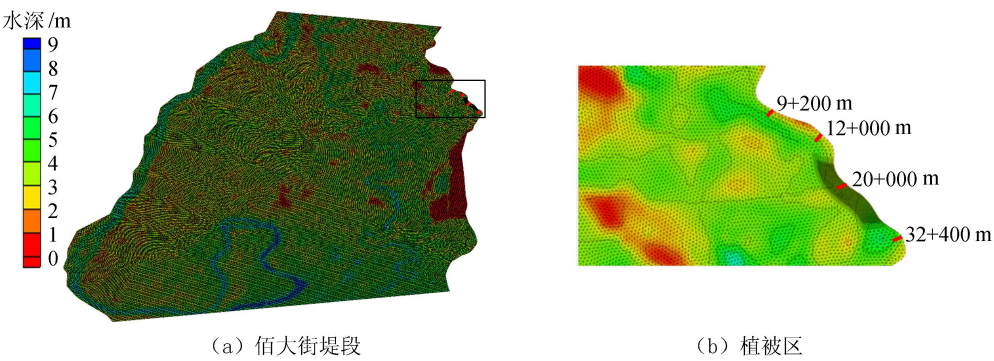


图 1 水深网格图
Fig. 1 Bathymetric grids

3.2 输入文件

植被参数主要有植被高度、植被茎宽、植被密度和阻力系数。其中,植被密度由植被参数文件和植被网格文件共同决定,植被网格文件是在计算网格节点上分别设置 0 和 1 表示无植被和有植被文件,网格节点上的数值与密度参数相乘即为该点的实际植被密度。其余参数由植被参数文件直接决定。考虑到植被衰减作用在垂向上的不均匀性及可叠加性,模型采用分层处理,分别为树干层和树冠层,将 2 层的衰减作用沿垂向叠加得出植被总体的衰减作用。植被的阻力系数公式采用曹海锦等^[10-11]针对 SWAN-VEG 模块中刚性阻力系数研究的改进公式计算给出。佰大街现状防浪林树干层高度为 2.6 m,茎宽为 0.1 m,密度为 0.300 6 棵/m²,阻力系数为 1;树冠层高度为 3.5 m,茎宽为 1.5 m,密度为 0.300 6 棵/m²,阻力系数为 0.8。

佰大街堤段计算风速为 18 m/s,主风向为与堤轴线的法线夹角为 5°的西北风,风区长度为 5 600 m,风场区较小,故取恒定风场,坐标系采用 NAUTICAL,在该坐标系下风向表示为 275°。50 年一遇洪水的平均水深为 2.83 m,有效波高为 0.91 m,平均周期为 2.92 s,波长为 11.92 m。

3.3 输出文件

SWAN 模型的输出方式很多,为了便于清晰比较及整体规划,分别通过 SWAN 模型的 CURVE 及 BLOCK 命令定义造波断面及造波区域,设置运行结果为造波断面及造波区域内各点的相对位置和有效波高。为直观表征植被对波高的衰减作用,采用消浪系数表示消浪效果。消浪系数越大表示植被对波浪的衰减程度越大,即防浪林消浪效果越好;反之,消浪系数越小表示植被对波浪的衰减程度越小,防浪林消浪效果越差。消浪系数的表达式如下:

$$K = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100\% \tag{2}$$

式中:K——消浪系数,%;h₀——经防浪林消浪前的入射波高,m;h——经防浪林消浪后的波高,m。

通过比较造波断面上实测点的实测波高与模拟值验证模型的模拟效果,依据造波断面上防浪林末端有无防浪林情况下的波高计算消波系数,在 MATLAB 中对造波区域即河道内的各点经纬度及波高值进行作图处理,可以直观地看出河道内的波高分布情况。

4 模拟结果

4.1 模型验证

嫩江干流佰大街原型观测检验的造波位置为 3 个无防浪林断面及 1 个有防浪林断面,桩号分别为

9+200 m、12+000 m、32+400 m、20+000 m。实测点位置为防浪林靠近堤防侧的边缘,距离堤脚5 m。根据设计院资料^[21],上述4个断面实测点的波高资料分别为0.7 m、0.62 m、1 m、0.46 m。对应断面的SWAN模型模拟结果分别为0.88 m、0.84 m、0.95 m、0.5 m。模型模拟波高与原型实测波高对比可以发现其相关系数达0.95,考虑到河底网格概化及风场、水深条件等误差,可以认为SWAN模型能够很好地模拟嫩江干流佰大街堤防段河道内的波高。

通过修改植被网格文件,将有防浪林更改为无防浪林,利用构建的SWAN模型模拟相同条件下无防浪林状态下的波浪场,无防浪林波高分布和有防浪林波高分布情况如图2所示。由于主风向为西北方向,河道宽阔、风区长,佰大街堤段左岸波高大于右岸。其中,图2右上角为有防浪林区域的波高分布的局部放大图。比较图2局部放大图中桩号20+000 m断面附近消波前后的波高分布,消波前堤前波高约0.921 m,经防浪林消波后波高约0.640 m,故现状防浪林消波是显著的,可以有效减轻波浪对堤防的压力。

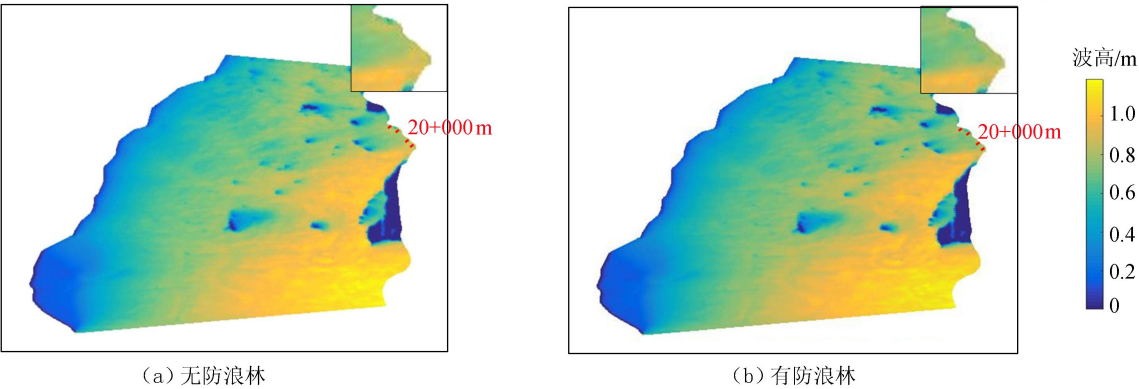


图2 波高分布
Fig.2 Distribution of wave height

4.2 结果分析

经过分析确定了影响堤外滩地上防浪林消浪效果的因素主要有:水深、林带宽度、排列方式、刚度、树干半径、树冠半径等。以水深、林带宽度为例,采用控制单因素变量法分析各影响因素的消浪效果。结合现场实测防浪林资料,分析来水频率分别为20年一遇、50年一遇、100年一遇,即平均水深为2.53 m、2.83 m、2.99 m条件下现状防浪林的消波效果,以及林带宽度分别为10 m、20 m、30 m、40 m、50 m的防浪林在50年一遇洪水条件下的消波效果。不同来水频率下防浪林消浪模拟的结果如表1所示。

由表1可知,20年一遇洪水条件下的水深小于树干高度,未淹没至树冠;50年一遇及100年一遇洪水均淹没至树冠,但树冠未被完全淹没。50年一遇洪水条件下的消波系数比20年一遇洪水条件下的大17.3%,是20年一遇洪水条件下消波系数的2倍多;100年一遇洪水条件下的消波系数比20年一遇洪水条件下的大33.63%,是20年一遇洪水条件下消波系数的3倍多;100年一遇及50年一遇洪水条件下的消波系数明显好于20年一遇洪水下的消波系数。由此可见,水深越大,波高越高,消波系数越好;水深差异越小,波高差异越小。不同来水频率下防浪林消浪效果模拟结果呈现上述规律的原因主要如下:首先,波浪中水质点的运动速度沿水面向下递减,所以植被对水质点的阻力和对波浪的衰减作用也沿水面向下递减;其次,植被冠层的近似多孔球体结构增加了植被对波浪各个方向的破碎作用,因此树冠层对波浪衰减作用的贡献大于树干层,再加上植被衰减作用的垂向可叠加性,所以呈现出当水位未完全淹没树冠之前,水深越大而消浪效果越好的现象。

表1 不同来水频率下防浪林消浪模拟结果
Table 1 Simulation results of the wave attenuation under different flood frequency

设计来水 频率 P/%	平均 水深/m	波高/m		消浪 系数/%
		无防浪林	有防浪林	
1	2.99	0.980	0.521	46.84
2	2.83	0.921	0.640	30.51
5	2.53	0.833	0.723	13.21

注:防浪林宽度为10 m,排列方式为正方形,行株距为2 m,树干高度为2.6 m,树冠高度为3.5 m。

如表 2 所示,林带宽度为 20 m 的防浪林消波系数比 10 m 的大 11.73%,林带宽度为 30 m 的防浪林消波系数比 20 m 的大 11.36%,林带宽度为 40 m 的防浪林消波系数比 30 m 的大 7.51%,林带宽度为 50 m 的防浪林消波系数比 40 m 的大 3.07%。林带宽度在以 10 m 为梯度增加条件下,对波高的衰减作用不断增强,但衰减的增强程度逐渐减弱。

5 结 语

宽浅型河道中下游段水面开阔,汛期来水量大,在风场作用下易形成较高的风生波,加重堤防的抗洪压力。营造防浪林工程是保护江河湖海堤岸免受水流、风浪、海潮侵袭和冲刷的有效手段。采用模拟复杂河道地形与岸线较好的 SMS 模型差分生成非结构三角形计算网格,构建基于非结构计算网格的 SWAN 波浪模拟模型,可以很好地模拟防浪林对河道风生波的消浪作用,分析防浪林各影响因素的消浪效果。根据模拟结果,水位位于树冠层时消波效果较好,在选择树种时宜参考水位及地形资料,以充分发挥防浪林树冠的消波作用;防浪林的种植宽度在 10~50 m 范围内,随着防浪林种植宽度的增加,防浪林的消浪效果先显著增加,然后缓慢增加,即在该范围内防浪林种植宽度的改变对消浪效果的影响较敏感,且其影响程度随种植宽度的增加而逐渐减弱,故目前多认为防浪林的种植宽度以 10~50 m 为宜。构建基于非结构计算网格的 SWAN 波浪模拟模型,可为堤防防浪林工程规划布局提供技术支撑,具有实用价值。

参考文献:

[1] 黄本胜,赖冠文. 河滩种树对行洪影响试验研究[J]. 水动力学研究与进展,1999,14(4):468-474. (HUANG Bensheng, LAI Guanwen. Experimental research on influence of vegetated floodplains upon flood carrying capacity of river[J]. Journal of Hydrodynamics,1999,14(4):468-474. (in Chinese))

[2] 王付,赵振兴. 河岸植被对水流影响的研究现状[J]. 水资源保护,2003,19(6):50-53. (WANG Cun,ZHANG Zhenxing. Study on the effect of riverbank vegetation on water flow[J]. Water Resources Protection,2003,19(6):50-53. (in Chinese))

[3] 拾兵. 植物治沙力学机理及河宽动力调整研究[D]. 成都:四川大学,1998.

[4] 徐伟,董增川,付晓花,等. 基于 BP 人工神经网络的河流生态健康预警[J]. 河海大学学报(自然科学版),2015,43(1):54-59. (XU Wei,DONG Zengchuan,FU Xiaohua, et al. Early warning of river ecosystem health based on BP artificial neural networks[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2015,43(1):54-59. (in Chinese))

[5] CAMFIELD F E. Wind-wave propagation over flooded, vegetated land[R]. Amsterdam: DTIC Document,1977.

[6] DALRYMPLE R A,KIRBY J T,HWANG P A. Wave diffraction due to areas of energy dissipation[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering,1984,110(1):67-79.

[7] MENDEZ F J,LOSADA I J. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields[J]. Coastal Engineering,2004,51(2):103-118.

[8] YANG Jun,SHAER C A,HEATH L S. The SWAN User's Manual, Version 1.1[M]. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute & State University,1995.

[9] 苏志重,张伟,陈德花,等. SWAN 浅水波浪模式在福建沿海的应用[J]. 福建气象,2016(1):7-12. (SU Zhizhong,ZHANG Wei,CHEN Dehua,et al. Application of SWAN model in Fujian coastal region[J]. Journal of Fujian Meteorology,2016(1):7-12. (in Chinese))

[10] 曹海锦,冯卫兵. 人工柔性植被场中波浪衰减特性研究[J]. 海洋工程,2014,32(3):36-44. (CAO Haijin,FENG Weibing. Study on the characteristic of wave dissipation by artificial flexible vegetation field[J]. The Ocean Engineering,2014, 32(3):36-44. (in Chinese))

[11] 曹海锦,冯卫兵,厉佳卉. 基于 SWAN-VEG 的植被消浪护岸模拟研究[J]. 科学技术与工程,2013,13(9):2430-2436. (CAO Haijin,FENG Weibing,LI Jiahui. Research on the modeling of the wave attenuation due to vegetation based on SWAN-VEG[J]. Science Technology and Engineering,2013,13(9):2430-2436. (in Chinese))

表 2 设计来水频率 $P=2\%$ 时不同林带宽度的防浪林消浪模拟结果

Table 2 Simulation results of the wave attenuation under different wave-attenuation forest width

林带 宽度/m	波高/m		消浪 系数/%
	无防浪林	有防浪林	
10	0.921	0.640	30.51
20	0.921	0.532	42.24
30	0.921	0.427	53.60
40	0.921	0.358	61.11
50	0.921	0.330	64.18

注:防浪林排列方式为正方形,行株距为 2 m,树干半径为 0.75 m,树冠半径为 0.921 m。

[12] 张振全. 洞庭湖区洪水模拟模型应用研究[D]. 武汉:武汉大学, 2005.

[13] 王静爱,王珏,叶涛. 中国城市水灾危险性与可持续发展[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2004(3):138-143. (WANG Jingai,WANG Jue,YE Tao. Hazard assessment of urban flood disaster and sustainable development [J]. Journal of Beijing Normal University (Social Science Edition),2004(3):138-143. (in Chinese))

[14] 李晶洁,郭彦秋,张韬鹏. 浅析松干堤防两林建设在防洪中的作用[J]. 黑龙江大学工程学报,2002,29(1):77-78. (LI Jingjie, GUO Yanqiu, ZHANG Taopeng. Brief analysis on flood control forests in Songgan Dike[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College,2002,29(1):77-78. (in Chinese))

[15] 任杰,董增川,徐伟,等. 基于多目标模型的防浪林优化布局设计[J]. 林业科技,2017,42(5):38-42. (REN Jie,DONG Zengchuan,XU Wei,et al. Optimized layout design of anti-wave forest based on multiple targets [J]. Forestry Science & Technology,2017, 42(5):38-42. (in Chinese))

[16] 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))

[17] 韩亮. 二维潮流波浪数学模型及工程应用[D]. 天津:天津大学, 2010.

[18] 黄卡. SMS 模型在长洲水利枢纽下游水流模拟中的应用研究[J]. 红水河,2010,29(3):24-28. (HUANG Ka. Application of surface water model system to simulation of the river downstream Changzhou Hydraulic Complex[J]. Hongshui River, 2010, 29(3):24-28. (in Chinese))

[19] 梁永亮. 马踏湖水水质数学模型及其应用研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2013.

[20] 徐福敏,苗琪,姜静. Mackenzie 三角洲风暴相关的海岸水动力现象[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):177-182. (XU Fumin, MIAO Qi, JIANG Jing. Coastal hydrodynamic phenomena generated by the storm in waters off Mackenzie Delta[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2018,46(2):177-182. (in Chinese))

[21] 黑龙江省水利水电勘测设计研究院. 黑龙江省嫩江干流治理工程初步设计报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省水利水电勘测设计研究院,2015.

(收稿日期:2018-05-30 编辑:高建群)

• 简讯 •

第十届统计水文国际学术研讨会将在河海大学举办

第十届统计水文国际学术研讨会(STAHY 2019)将于2019年10月19—20日在河海大学举办。会议主办单位为国际水文科学协会国际统计水文学委员会(ICSH-IAHS)、河海大学;协办单位为南京大学、武汉大学、清华大学、南京水利科学研究院、北京师范大学、西北农林科技大学。

统计水文国际学术研讨会是国际水文科学协会国际统计水文学委员会的年度会议。STAHY 2019 将延续往届会议的主题,重点研讨统计理论在水科学中的应用与发展,促进国际统计水文研究的发展。本次研讨会主题是统计理论在水科学中的应用与发展,主要包括以下议题:(a)水文科学中的大数据分析及同化;(b)气候变化下的极端水文气象事件;(c)水文预报预测及不确定性;(d)变化环境下工程水文设计及风险评估;(e)人类活动影响下生态水文情势变化及不确定性评估。

会议详情请关注:<http://www.stahy2019.org/>

(本刊编辑部供稿)