

浅滩湿地在河道凹岸 冲刷防护中的应用研究

吴人杰,李昱,姜子岳,吴芳

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司,江苏苏州 215100)

摘要:天然河道在形成过程中,受周边地貌及水沙作用的影响易形成急弯段。水流结构在急弯段发生调整,形成横向环流,造成河道凹岸进一步冲刷,需对其进行防护。以白屈港综合整治工程为例,采用数值模拟的方式对生态浅滩湿地在河道凹岸防护中的应用进行初步探索,为后续河道治理提供相关经验参考。

关键词:凹岸防护;浅滩湿地;水流结构;数值模拟

中图分类号:TV853 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2023)07-0008-0004

Research on the application of shallow wetland in erosion protection of river concave bank

WU Renjie, LI Yu, JIANG Ziyue, WU Fang

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: In the process of formation of natural river channels, it is easy to form sharp bends under the influence of surrounding landforms and water and sand. The water flow structure is adjusted in the sharp bend section to form a transverse circulation, resulting in further erosion of the concave bank of the river, which needs to be protected. Taking the comprehensive renovation project of Baiqu Port as an example, this paper preliminarily explores the application of ecological shoal wetland in the concave bank protection of the river channel, so as to provide relevant experience reference for the subsequent river channel treatment.

Key words: concave bank protection; shallow wetland; water flow structure; numerical simulation

苏南区域流域骨干引排河道多为天然河道,天然河道在形成过程中,受周边地貌及水沙作用的影响易形成急弯段。河道水流从直线段进入弯道,水流方向的变化使得水面形态变得紊乱,局部区域受地形变化影响产生纵向冲击波^[1];同时弯道内外水流流速不等,使得凹岸水面升高,凸岸水面降低,内外侧水面坡降使得弯段产生横向环流,从而使得水

流流速沿各个方向进行重新分布^[2],从而导致河道凹岸进一步发展,从而使得堤岸破坏,河道改线^[3]。

现有河道治理工程中为稳定河势,保护河岸沿线生产、生活用地,常对凹岸进行防护,避免其进一步发展,现有防护形式主要以模袋混凝土护坡、铰链沉排等硬质护岸为主^[4]。弯道凹岸冲刷主要是由水流结构的剧烈变化及横向环流造成的^[7],因此改

收稿日期:2023-02-11

作者简介:吴人杰(1993—),男,工程师,硕士,主要从事河道整治工程设计工作。E-mail: 674846561@qq.com

善弯道水流结构可从根本上解决河道弯道冲刷淤积^[8-9]。本文以白屈港综合整治工程为例,在不影响河道整体过流能力的基础上,创造性地提出弯道段结合生态浅滩湿地的新型凹岸防护型式,通过浅滩地形及水生植物对水流的缓冲作用,有效地改善了弯道的水流结构,同时可以涵养水源、增加生物多样性,对流域内类似工程的建设具有重要的参考价值及意义。

1 工程概况

1.1 项目背景

白屈港位于江苏省无锡市境内太湖流域武澄锡虞区中部,北起长江,南起北兴塘,全长43.7 km,为区域南北向骨干通江引排河道,同时也是无锡市境内重要的航道。白屈港现状受航道船行波影响,河道沿线岸坡坍塌严重,水土流失严重,部分河段淤积,水体流动较差,并削弱河道行洪排涝功能。白屈港综合整治工程通过对白屈港清淤疏浚、岸坡整治、堤防达标建设等恢复白屈港区域骨干河道引排水功能,改善沿线生态湿地环境,实现水利现代化。

1.2 凹岸防护整治思路

白屈港作为天然河道多顺自然之势而成,因此弯道转折较多,作为区域引排骨干河道,因20多年未进行系统治理,部分凹岸受急弯段受水流冲刷影响严重,护岸发生坍塌破损^[10]。为避免河道凹岸进一步冲刷,考虑到提升整治工程的生态性,在保证河道过流断面的基础上,在现有河道急弯段凹岸冲刷区域打造浅滩湿地(图1),利用浅滩地形对弯道水流进行调顺^[11],形成一道天然的“生态顺坝”,从而既保证河势的稳定^[12-13],又涵养水源,提供生物栖息地,提高生物多样性。浅滩湿地范围为现状河岸至滩地边缘区域,宽度25~50 m,现状河道滩地高程约2.80 m,白屈港常水位3.55 m,在滩地前缘施打4 m长仿木桩密排布置,仿木桩顶高程3.50 m,利用河道清淤土方填筑使得滩地地形抬高至3.00~3.50 m,湿地内种植水杉林、芦苇、菖蒲等水生植物(图2),消散弯道水流冲刷及船行波对岸坡的侵蚀影响^[14]。

2 数值模拟

2.1 数学模型基本控制方程

连续方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

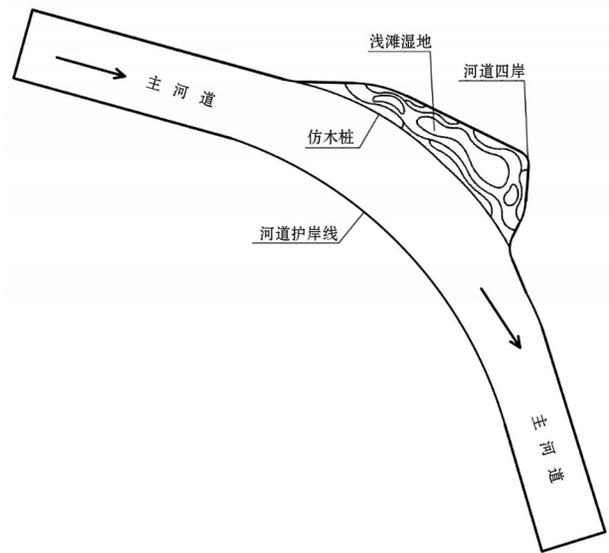


图1 河道凹岸生态防护结构平面示意

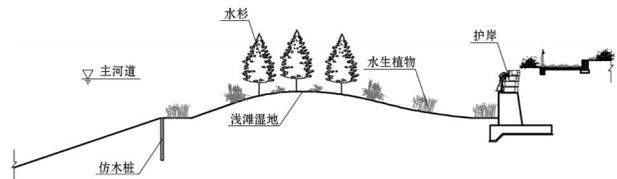


图2 河道凹岸生态防护结构剖面示意

动量方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \gamma \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

式中: u_i 为 (x, y, z) 方向上的速度分量; ρ 为流体密度; P 为动态压强; f_i 为单位质量的质量力; $\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i}$ 为单位质量的压强梯度力; $\gamma \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$ 为单位质量的黏性力。

2.2 数值求解方法

本工程采用二阶迎风离散格式的动量方程^[15],速度压力耦合修正采用SIMPLEC方法^[16],采用有限体积法对数学模型控制方程进行离散,所有参量的残差控制标准取为 1.0×10^{-6} 。

2.3 计算区域、边界条件和网格划分

模型采用流速入口边界,针对不同的流量及水位对应情况,给定入口过水断面的平均流速;采用压力出口边界条件;计算采用刚盖假定。

采用结构化的网格对结构区域进行划分,为提供计算的准确性,对重点区域网格进行加密处理。

3 计算结果分析

图3为现状河道水流结构分布情况。由图3可

可以看出,原直线段河道主流经过弯段时流态发生较大变化,受区域地形等影响在弯段段形成大范围回流区,回流区的存在压迫主流向河道中心线侧集中,导致局部流速增大,主流束窄,水流结构紊乱。

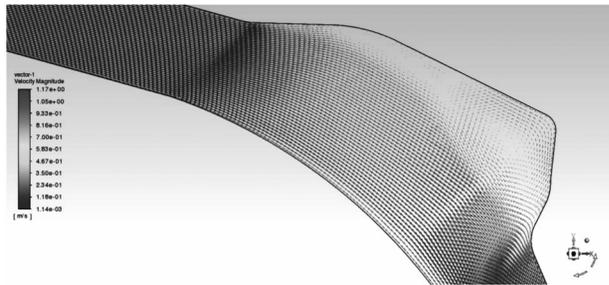


图3 现状河道水流结构分布

图4为修建浅滩湿地后的流速矢量分布。由图4可以看出,在弯段修建浅滩湿地后,由于地形的抬高以及局部区域的导流、缓流作用,使得水流结构得到有效的改善,主流基本沿河道中心区域,流速分布均匀^[17]。

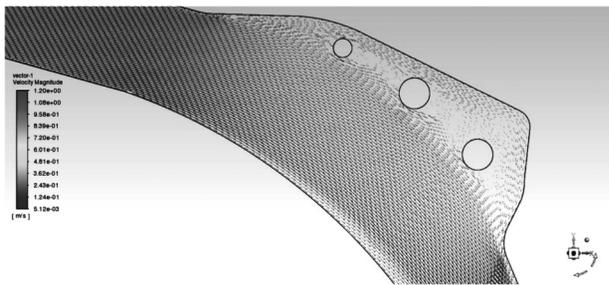


图4 浅滩湿地建设后水流结构分布

4 生态浅滩湿地凹岸防护的效果分析

4.1 水流结构的改善

生态浅滩湿地的凹岸防护本质是通过浅滩地形及水生植物对水流的缓冲作用,从而实现流速重分布,从而调顺水流结构,从根本上解决弯道段冲刷问题^[12]。

从图3、图4可以看出,生态浅滩湿地建设后回流区域基本消失,主流基本集中于河道中心区域,河道凹岸区域流速较小,从而避免护岸进一步被冲刷,从而达到了保护河岸的目的。且由图4可以看出,建设浅滩湿地后弯道末端最大流速为0.6 m/s,远远小于原状河道的0.8 m/s,有效防止凹岸冲刷的

进一步发展,具有明显的防护效果。通过数值模拟分析得出,在弯道凹岸处区域抬高滩地地形构建浅滩湿地,水流流态得到明显改善,回流减少,流速降低。

4.2 消纳利用弃土方

苏南区域经济发达,土地资源紧张,河道实施工程中弃土去向一直是各级政府的难题。生态浅滩湿地的构建可以有效消纳河道治理过程中产生的弃土,节约土地资源及工程投资。

4.3 水源涵养湿地的构建

目前河道断面型式较为单一,缺乏天然河道深较连续的生态环境,在满足防洪安全和通航条件的前提下,通过构建生态浅滩湿地,促进修复河湖水陆之间的连续的生态环境,使得河段的流速、流态较为稳定的前提下,河道生态环境更趋多样化、多元化,保留河道生物多样性。

浅滩湿地位于河道浅水湾处,该区域河面宽阔、流速较缓,受水流扰动相对较小,利于野生动植物的生长繁衍,并有效改善河道的水生态环境。通过在浅滩区域种植水淹耐受能力较强、水质净化效果好的水杉,构建“水上森林”;通过近岸区配置层次分明、品种丰富的挺水植物,在浅滩湿地中心区域设置沉水植物来提升水生植物区净化能力,利用生态围隔控制保护水生植物的生长,形成相对可控的区域“水下森林”。

5 结语

河道急弯段凹岸处往往易受水流侵蚀,现有工程常采用模袋混凝土、铰链沉排等硬质防护型式对凹岸进行防护,但又面临生态性不足、施工难度较大、工程投资较高的问题。本文结合白屈港综合整治工程,探究在满足河道过流能力的前提下,河道急弯段凹岸可考虑采用构建生态浅滩湿地的方式进行防护。通过数值模拟的方式计算研究得出生态浅滩湿地的凹岸防护方式可调顺水流结构,降低流速从而稳定河势,避免岸坡侵蚀及水土流失,同时构建水源涵养湿地,消纳多余土方,增加物种多样性,形成一道天然的绿色屏障,值得类似工程借鉴。

实际工程运用中如需采用生态浅滩湿地的凹岸防护型式,宜进一步通过计算的方式对比分析确定合适的浅滩的宽度、浅滩高程、以及浅滩的布置角度,既保证工程稳定安全地运行,又节约投资。

参考文献:

- [1] 高术仙. 河流典型弯段水流结构及动力特性研究[D]. 天津:天津大学,2007.
- [2] 李成光,槐文信,曾玉红,等. 强弯河道水流结构及离散特性研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2014,42(2):64-67.
- [3] 白玉川,李彬,徐海珏,等. 基岩弯曲河段洪水水流结构的试验研究[J]. 水科学进展,2022,33(1):108-109.
- [4] 吴芳,汪院生. 江苏省中小河流治理工程设计实践与思考[J]. 水利规划与设计,2013(7):64-66.
- [5] 吴青松,马军霞,左其亭,等. 塔里木河流域水资源-经济社会-生态环境耦合系统和谐程度量化分析[J]. 水资源保护,2021,37(2):55-62.
- [6] 左其亭. 人水关系学的基本原理及理论体系架构[J]. 水资源保护,2022,38(1):1-6.
- [7] 刘月琴,万艳春. 弯道水流紊动强度[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2003,31(12):91-93.
- [8] 王虹,王连接,邵学军,等. 连续弯道水流紊动特性试验研究[J]. 力学学报,2013,45(4):525-533.
- [9] 白向华. 三维视角下灌区弯道水流对工程影响的最不利位置研究[J]. 水利技术监督,2019(6):57-58.
- [10] 李润清. 关于强弯河道水流结构及离散特性分析[J]. 水利规划与设计,2017(6):94-95.
- [11] 周斌. 多流道式弯道在黄山洞水库溢洪道加固中的应用[J]. 水利规划与设计,2014(5):83-84.
- [12] 赵丹. 弯道水流调整池结构参数对流态改善能力的影响[J]. 水利技术监督,2018(3):99-101.
- [13] 王家琪,徐霖玉,张哲,等. 丁坝挑角对弯道防护的影响[J]. 水利科技与经济,2015,21(3):37-39.
- [14] 温文杰. 丁坝挑角对弯道水流流态影响的模型试验研究[J]. 水利技术监督,2022(10):231-233.
- [15] 于洋,艾丛芳,金生. 弯曲度对弯道水流结构影响的三维数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报,2018,16(3):218-223.
- [16] 韩国其,汪德耀,许协庆. 潮汐河口三维水流数值模拟[J]. 水利学报,1990(6):54.
- [17] 丁君松,王树东. 漫滩水流的水流结构及其悬沙运动[J]. 泥沙研究,1989(1):82-87.

(上接第7页)

受水平0.90,表示模型可信度高,训练效果好。通过粒子群算法与多层前馈神经网络相耦合,最终得到导叶出口安放角的变化规律。

(2)基于寻优得到导叶出口安放角的变化规律,通过CFturbo生成对应的三维模型,对优化设计后的导叶进行了三维非定常数值模拟计算,并与常规90°导叶的水力性能进行了对比分析。优化后泵装置的扬程提高了0.07 m,装置效率提高了1.83%;泵装置的总损失由0.761 m降低到了0.624 m。导叶出口处及灯泡体内的流速分布较为均匀,且流线分布光滑,说明导叶优化后可较为理想地改善了导叶和灯泡体内的水流流态。

参考文献:

- [1] 刘辉. 南水北调东线工程回顾与展望[J]. 治淮,2020(12):23-26.
- [2] 张仁田,朱红耕,卜舸,等. 南水北调东线一期工程灯泡贯流泵性能分析[J]. 排灌机械工程学报,2017,35(1):32-41.
- [3] 唐学林,王秀叶,贾玉霞. 基于流固耦合的灯泡贯流泵叶轮强度分析[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(11):921-926.
- [4] Sun Longyue, Pan Qiang, Zhang Desheng, et al. Numerical study of the energy loss in the bulb tubular pump system focusing on the off-design conditions based on combined energy analysis methods[J]. Energy, 2022, 258 (NOV.1):973-988.
- [5] 赵坤云,胡明健. 美国的生物护岸工程[J]. 水利水电快报,2000,21(24):8-10.
- [6] 蔡金来. 轴流泵出口环量对出水道损失影响的数值模拟研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.
- [7] 赵万勇,谢超,高振义. 导叶过流断面面积的变化对潜水轴流泵水力性能的影响研究[J]. 煤矿机械,2022,43(4):51-54.
- [8] Yang Gang, Shen Xi, Shi Lei, et al. Numerical investigation of hump characteristic improvement in a large vertical centrifugal pump with special emphasis on energy loss mechanism[J]. Energy, 2023, 273.
- [9] BOUSSINESQ J. Essay on the theory of water flow. (Essai sur la théorie des eaux courantes.).
- [10] VERSTEEG H K, MALALASEKERA W. An introduction to computational fluid dynamics[M]. 1995.
- [11] DAVID C, WILCOX. Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models [J]. AIAA Journal. 1988,26(11):1299.