

渠—塘导流截污系统控制农村 面源污染研究进展

周晓林¹, 周驰誉¹, 刘 伟¹, 孙炳香¹, 臧吴琪², 杨林军²

(1. 江苏省水利科教中心, 江苏 南京 210029;

2. 东南大学 能源热转换及其过程测控教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要:生态沟渠和生态塘适合于拦截处理农田排水,在“过程拦截”阶段减轻农村面源污染状况。在对其概念、构造的介绍基础上,综述了生态渠—塘导流截污系统(渠塘系统)内氮磷等污染物的净化机理及其去除的影响因素。针对渠塘系统应用现状总结了几点未来需要关注的问题,如长期处理效果的研究补充、低温环境下处理效果的保持、评估方法的优化及定量化、生态处理技术之间的优化连接。该综述可为渠塘系统的利用及系统内部参数的优化提供思路和依据。

关键词:生态沟渠;生态塘;农村面源污染;拦截;净化

中图分类号:X52

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)10-0007-06

Research progress on control of rural non – point source pollution by channel – pond diversion and interception system

ZHOU Xiaolin¹, ZHOU Chiyu¹, LIU Wei¹, SUN Bingxiang¹,
ZANG Wuqi², YANG Linjun²

(1. Jiangsu Water Conservancy Science and Education Center, Nanjing 210029, China;

2. Key Laboratory of Energy Heat Transfer and Process Measurement and Control, Ministry of Education, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Ecological ditches and ecological ponds are suitable for intercepting and treating farmland drainage and reducing rural non – point source pollution in the "process interception" stage. Based on the introduction of its concept and structure, the purification mechanism and influencing factors of nitrogen and phosphorus pollutants in ecological canal – pond diversion and sewage interception system (canal and pond system) were reviewed. In view of the application status of canal and pond system, some problems that needed to be paid attention to in the future were summarized, such as research supplement of long – term treatment effect, maintenance of treatment effect under low temperature environment, optimization and quantification of evaluation methods, and optimization connection between ecological treatment technologies. This review could provide ideas and basis for the utilization of ditch – pond system and the optimization of system internal parameters.

Key words: ecological ditch; ecological pond; rural non – point source pollution; interception; purification

收稿日期:2021-07-06

基金项目:江苏水利科技项目(2019044)

作者简介:周晓林(1983—),男,硕士研究生,主要从事水利工程施工、管理及运行工作。E-mail:29679357@qq.com

农村面源污染成为湖泊、河道等地表水的主要污染源之一。农村面源污染来源主要有农田流失的氮磷、降雨径流、河道底泥释放的氮磷、生活污水的直排等^[1]。20 世纪 80 年代,我国将控制面源污染提上议事日程^[2],而相对于传统的底泥疏浚、投放化学物质等物理、化学方法^[3],生态治理技术的经济和环境效益更好^[4]。

生态治理技术可分为“过程拦截”和“原位修复”^[5],生态塘和生态沟渠技术是过程拦截阶段可利用的技术之一^[6]。自然塘堰和排水沟渠存在植被覆盖度低、土壤老化等问题,并不能发挥出较好地去除污染物能力^[7],所以有研究者在其基础上加以改造建成生态塘和生态沟渠,提高了其处理农田地表径流的能力^[8]。其次随着农村河道水体污染成分愈加复杂、排放标准愈加严格,且单一的治理技术往往具有净化针对性^[5],故可以结合分散式的处理技术以改善水质净化效果^[9]。在过程拦截阶段可将多个生态塘和生态沟渠连接起来组成渠-塘导流截污系统(渠塘系统),在农田中分布的渠塘系统成为拦截农田污染物的主流工艺^[10]。因此,本文综述了渠塘系统净化水体的机理和影响因素并展望未来研究方向,以期利用渠塘系统处理农村面源污染提供思路。

1 渠塘系统概述

1.1 生态沟渠

生态沟渠是在排水沟的基础上通过种植植物、优化护坡形式、增添基质等方式建立起来的^[11]。生态沟渠能够一定程度上减缓水流流速,延长污水与水生植物、基质、微生物等介质的接触时间,通过增强植物的拦截、吸收、基质和底泥的吸附、微生物的分解等作用^[12]净化来水,减轻了下污水负荷^[13]。种植的植物及生态护坡的材料的使用也解决了自然沟渠边坡水土流失的问题^[14]。涂佳敏^[15]设计的潜流透水坝生态沟渠通过植物、填料、阶梯形式透水坝的组合既延长了来水停留时间、增加了生物膜生长固着点,又以跌水方式增加溶解氧(DO)浓度,明显提高了沟渠对水体的净化效果。

1.2 生态塘

生态塘一般由自然塘堰改造或人为开挖形成。较自然塘堰来说,生态塘在减缓地表径流流速、增加水力停留时间等方面效果显著。在生态沟渠系统中加入生态塘加快了水流降速过程,污水中杂质或悬浮颗粒物更易沉降到底部,有利于去除颗粒性

污染物。郑志伟等^[16]设置串联“集水池-生态沟渠-生态塘”工艺处理山区农村生活污水,氮磷、有机物去除率在 50% 以上,处理后的水浊度下降、DO 浓度显著上升。综合来看采用渠塘组合生态工艺提高了拦截农田流失污染物的效果,减少了下游水的污染负荷。

2 氮磷的去除机理

水体中磷元素主要以磷酸盐形式存在,氮主要有无机氮和有机氮之分。磷主要通过沉淀、微生物代谢、水生植物的吸收和转化作用去除^[17-18]。氮元素主要通过挥发、硝化/反硝化、植物吸收、转化等作用去除^[19-20]。

对于磷来说,植物的吸收和微生物的降解作用去除的是磷酸盐,而底泥、填料的吸附和沉淀作用是各种形式磷元素去除的主要机理。Kröger 等^[21]研究认为植物对磷的吸附量只占总去除量的 5% 左右;Vymazal 等^[22]的实地试验中 14% 左右的磷通过植物吸收去除。有机氮是植物最先吸收的氮元素,主要通过氨化作用去除;氨氮主要是通过植物吸收、底泥吸附、微生物的硝化和反硝化作用、挥发去除。细菌的硝化和反硝化作用被认为是去除氮元素的主要途径^[23],氨氮通过硝化反应氧化成硝态氮,再经反硝化生成 N_2 释放到大气中。

3 污染物去除影响因素

3.1 渠塘分布特性

农田区域中的渠塘系统需具备灌溉排水的功能,在保证和农田匹配的基础上容易发生系统内水量过多或过少、污染负荷变化大的情况,处理效果不理想^[24],故在对原有渠塘进行改造修缮外,添加前置工艺、增减渠塘的数量,完善系统水力条件。崔霞^[25]在生态沟渠系统的最前端添加前置工艺一前置塘对系统进行优化改进,减少进入生态沟渠系统污染物负荷,调节了进水量,使得进水均匀,提高生态沟渠系统的运行效果。姚剑亭等^[26]根据实地情况另开挖了生态主沟渠和生态塘,沟渠内设计拦截坝和透水坝,既提高了系统的处理效果,也扩大可控农田面积、增加污水回用率。

处于不同路径的排水沟渠和生态塘在空间分布上不均匀,不同污染物、不同位置的同一污染物去除的主要限制因素会有所不同^[27],如渠塘系统与农田面积比、污染物浓度等。相比较而言,面积大、水深较深的塘与沟渠在污染物去除中占主导地位;

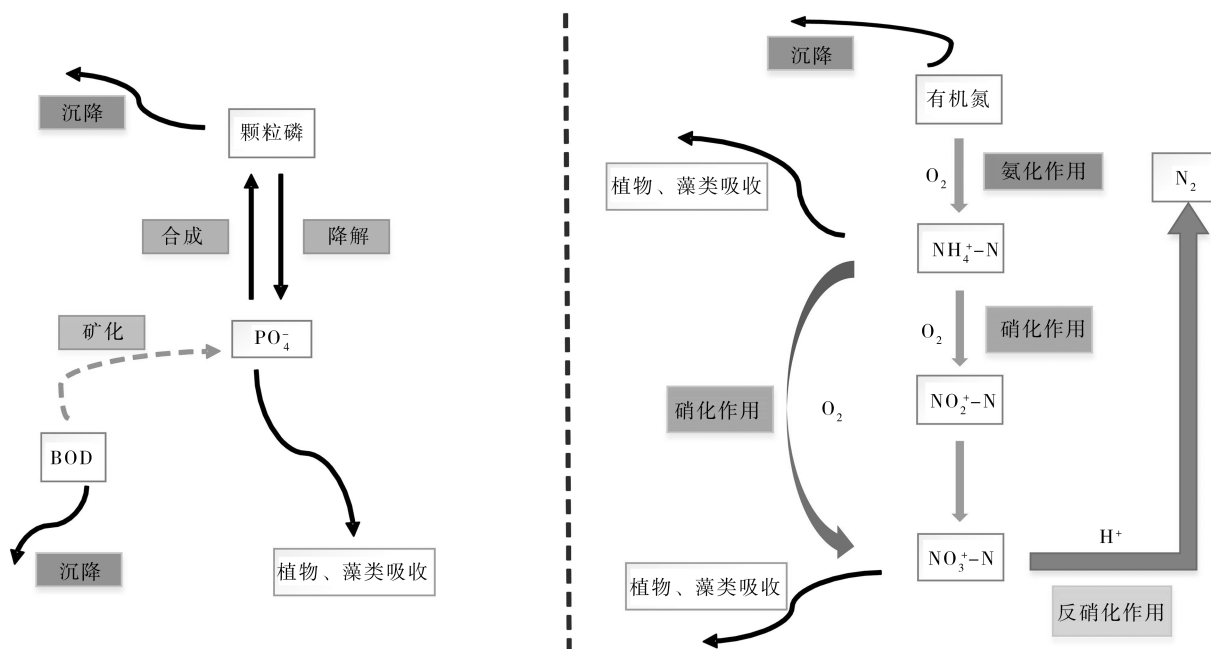


图1 水中氮磷元素脱除过程

但其水流流速相对会降低, DO 浓度得不到提升。为了平衡渠塘系统沉降作用及 DO 浓度, 在渠塘系统截面上研究者多设计成跌水式^[28], 利用高程差提高 DO 浓度。

3.2 植物种类

植物的吸收、转化、拦截等作用均能起到去除污染物、改善水质的效果^[29]。选择的植物不宜是外来入侵物种, 防止其在河面上大肆繁衍从而抑制河水的流动性、降低 DO 浓度。其次腐烂的植物会在水中分解, 向水体中释放氮磷、有机物等污染物质^[17], 为了预防二次污染, 水生植物枯萎前应进行收割。

一般多种植物组合处理农村污水的效果要优于单一植物的处理效果, 如浮水植物净化水体的效果容易受水流波动和水文冲刷的影响, 则可采用浮水植物和挺水植物组合, 挺水植物种植在浮水植物后, 以此利用挺水植物构建一个相对稳定的以浮水植物为主的湿地植物群落, 同时提高系统对农村污水的净化效率^[30]。但要考虑不同植物的根系分泌物是否存在抑制作用, 而使组合的植物之间有竞争关系致使组合的处理效果低于单种植物的净化效果。曾爱平等^[31]在对茭白与水生美人蕉进行组合处理生活污水时发现其净化效果比两者单独种植时的效果要差。

3.3 温度

渠塘系统对水体的处理效果受温度变化的影响较大, 原因在于系统内种植的水生植物的生长及

微生物的活性受温度影响^[32]。不同季节水生植物对氮磷等营养物的吸收能力不同, 一般植物在夏季生长更旺盛, 对水中氮磷及有机物的去除率高于冬季。赵旭光^[33]对种植挺水植物的富营养化湖泊四季采样检测发现, 由春季到夏季 4 个采样点的总氮含量均下降; 而夏季过后, 温度降低, 水中总氮含量又回升。适宜温度下生物同化的效率较高, 温度升高能加强生物硝化、反硝化作用, 提高氨氮挥发水平。研究发现温度高于 15℃ 时微生物活性明显比 5℃ 下的活性要高^[34]; 硝化细菌在 20 ~ 30℃ 时活性较强, 5℃ 下即停止生长; 反硝化的速率在 15℃ 以下也迅速降低^[35]。针对温度对系统稳定性影响较大的问题, 黄治平等^[36]通过对原址废弃的多塘进行改造, 构造三级生态塘, 分别安装填料及复氧系统, 种植水生植物和养殖水生动物等, 形成了稳定的处理系统, 使其受温度的影响变小。未来对渠塘系统等生态治理手段的研究重点也应该放在解决低温的不利影响上。

3.4 溶解氧含量

水体中 DO 的来源主要是大气复氧和水生植物的光合作用^[37]。水中的 DO 浓度充足保证了水生植物的正常生长、有利于好氧微生物的生长繁殖。聚磷菌可在好氧状态下吸收、分解大量磷元素。硝化细菌属于好氧细菌, DO 浓度的增加有助于硝化反应的发生, 提高氨氮的去除率。胡将军^[28]研发跌水式渠塘系统, 利用跌水的高程差来增加水体 DO 浓度。崔霞^[25]设计的塘/生态沟渠系统中在每两者

之间设置了无动力曝气装置,以此来提高水体 DO 含量,保证了水体中水生植物、微生物等正常生长。但实验中也发现当 DO 到达一定浓度时,随着 DO 含量增加,TN 去除率反而降低。Ma 等^[18]研究渠塘循环系统中氮磷转化、平衡机制,检测了整个过程中各种酶的活性,对酶活性与氮磷去除率、DO 含量等做了相关性判断;发现试验期间 DO 含量与硝化还原酶活性呈负相关。氮元素的去除主要依靠硝化和反硝化作用,植物吸收作用只占小部分,故虽然充分的 DO 有助于硝化作用,但 DO 含量过高在系统后期运行中反硝化作用被严重抑制,致使氮元素以 NO_3^- -N 存在水体中。

3.5 降雨径流

降雨径流会导致系统内水质、水量及流速的变化。杨凯等^[38]对降雨前后河道各污染物含量测定发现,随着流量的增多,COD、氨氮的含量明显下降。段圣辉等^[39]在农村暴雨径流后的水样检测发现河道水体 pH 值下降、各下垫面氮磷含量超标,农田 COD 污染负荷最高。胡将军^[28]在模拟降雨冲击对设计的渠塘组合工艺的影响实验看出,雨量越大,工艺的各监测断面对各营养物的去除率均越低。流速是影响系统处理效果的核心因素之一,排水量越低、水力停留时间长的情况下对营养物质的去除率更高。Castaldelli 等^[40]研究表明硝态氮的反硝化去除过程受流速影响极大,原因在于在水力停留时间较长时各组分相互作用加深,提高了系列的化学循环反应,从而促进氮的降解。

由不同研究的结果得出,降雨径流对渠塘系统水质的具体影响也因具体情况而不同。目前对降雨径流污染的评价主要以径流污染物平均浓度^[41]为标准。评价降雨径流对水质的影响要考虑降水量和降雨强度,强降雨对水体有较大稀释作用,出现强降雨前期径流中污染物浓度变低情况。可以预见降雨条件下渠塘系统的处理效果会相应变差,各污染物浓度的变化有所不同,降雨后系统的处理能力会渐渐恢复。

4 总结与展望

4.1 总 结

渠塘系统是梯级生态治理技术中过程拦截阶段的有效处理技术。生态沟渠和生态塘用于处理农村面源污染不占用额外田地,两者的构造均有利于调节水文、减轻污染、节约水源、保护生物多样性。除自身分布特征、水生植物种类、降雨径流、DO

浓度、温度之外,渠塘系统的净化效果还受系统的水力负荷、碳氮比等影响,需要考虑多方因素来建立处理能力更好的渠塘系统。

4.2 展 望

目前对于渠塘系统等组合生态处理技术的长远运行效果的研究较少,实验一般短则几个月长则一两年。未来应着重研究保证渠塘系统的多年稳定、高效处理效果。此外由于渠塘系统自身的特点,其处理效果受温度影响较大,未来应着重对稳定并提升低温下渠塘系统净化效果开展研究。

另一方面,渠塘系统在空间布置上因地制宜、灵活多变,不同部分的净化效果也可能有较大不同,采用相同的评估手段来评价其对污染物的去除能力或许并不可取。目前对生态治理技术在农村富营养化水体作用效果的评价缺乏定量评价,针对不同生态治理技术应提出各自完善的评价体系,将定性评价更多地转化为定量评价。此外为了提高农村污水净化效果,发挥各技术的最佳优势,还需要注重过程拦截、原位生态修复等各阶段技术的连接方式,构建三者的最优连通技术。

参考文献:

- [1] YAN R H, LI L L, GAO J F. Framework for quantifying rural NPS pollution of a humid lowland catchment in Taihu Basin, Eastern China[J]. Science of The Total Environment, 2019(688):983-993.
- [2] ONGLEY E D, ZHANG X L, YU T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China[J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5):1159-1168.
- [3] HU Z F, LI D S, GUAN D T. Water quality retrieval and algae inhibition from eutrophic freshwaters with iron-rich substrate based ecological floating beds treatment[J]. Science of The Total Environment, 2020(712):135-584.
- [4] LI Y P, ZHANG H K, ZHU L Q, et al. Evaluation of the long-term performance in a large-scale integrated surface flow constructed wetland-pond system: a case study[J]. Bioresource Technology, 2020(309):123-310.
- [5] XUE L H, HOU P F, ZHANG Z Y, et al. Application of systematic strategy for agricultural non-point source pollution control in Yangtze River Basin, China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020(304):107-148.
- [6] NSENGA K M, MENG F G, ISEYEMI O, et al. Remov-

- al of non – point source pollutants from domestic sewage and agricultural runoff by vegetated drainage ditches (VDDs): design, mechanism, management strategies, and future directions[J]. *Science of The Total Environment*, 2018(639):742-759.
- [7] LI S S, LIU H B, ZHANG L, et al. Potential nutrient removal function of naturally existed ditches and ponds in paddy regions: prospect of enhancing water quality by irrigation and drainage management[J]. *Science of The Total Environment*, 2020(718):137-418.
- [8] LIN M, TONG W J, CHEN H G, et al. Quantification of N_2O and NO emissions from a small – scale pond – ditch circulation system for rural polluted water treatment[J]. *Science of The Total Environment*, 2018(619):946-956.
- [9] 肖伟, 罗海兰, 吕本儒, 等. 磁加载—碳纤维载体渠—增强型生态塘组合工艺在河道水质提升工程中的应用[J]. *水电能源科学*, 2019, 37(11):62-65, 61.
- [10] CHEN L, LIU F, WANG Y, et al. Nitrogen removal in an ecological ditch receiving agricultural drainage in sub-tropical central China[J]. *Ecological Engineering*, 2015(82):487-492.
- [11] 田昌, 陈敏, 周旋, 等. 生态沟渠对小流域农田排水中氮磷的拦截效果研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(4):186-191.
- [12] 郑斌. 生态沟渠对农业面源氮磷污染的去除效率及影响因素[D]. 兰州:西北师范大学, 2020.
- [13] 李丹, 储昭升, 刘琰, 等. 洱海流域生态塘湿地氮截留特征及其影响因素[J]. *环境科学研究*, 2019, 32(2):212-218.
- [14] DOLLINGER J, C D AGÈS, BAILLY J S, et al. Managing ditches for agroecological engineering of landscape. a review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(3):999-1020.
- [15] 涂佳敏. 生态沟渠处理农田氮磷污水的实验与模拟研究[D]. 天津:天津大学, 2014.
- [16] 郑志伟, 胡莲, 邹曦, 等. 生态沟渠 + 稳定塘系统处理山区农村生活污水的研究[J]. *水生态学杂志*, 2016, 37(4):42-47.
- [17] MUSTAFA H M, HAYDER G. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: a review article[J]. *Ain Shams Engineering Journal*, 2020(5):9.
- [18] MA L, HE F, HUANG T, et al. Nitrogen and phosphorus transformations and balance in a pond – ditch circulation system for rural polluted water treatment[J]. *Ecological Engineering*, 2016(94):117-126.
- [19] MARTINS C L, FERNANDES H, COSTA R H R. Land-fill leachate treatment as measured by nitrogen transformations in stabilization ponds[J]. *Bioresource Technology*, 2013(147):562-568.
- [20] ZHANG S N, LIU F, XIAO R L, et al. Effects of vegetation on ammonium removal and nitrous oxide emissions from pilot – scale drainage ditches[J]. *Aquatic Botany* 2016(130):37-44.
- [21] KRÖGER R, HOLLAND M M, MOORE M T, et al. Plant senescence: a mechanism for nutrient release in temperate agricultural wetlands[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 146(1):114-119.
- [22] VYMAZAL J, T D Brezinová. Removal of nutrients, organics and suspended solids in vegetated agricultural drainage ditch[J]. *Ecological Engineering*, 2018(118):97-103.
- [23] 张巍, 许静, 李晓东. 稳定塘处理污水的机理研究及应用研究进展[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(8):1396-1401.
- [24] JIA Z, CHEN C, LUO W, et al. Hydraulic conditions affect pollutant removal efficiency in distributed ditches and ponds in agricultural landscapes[J]. *Science of the Total Environment*, 2019(649):712-721.
- [25] 崔霞. 塘/生态沟渠耦合系统的构建及其处理面源污染效果的研究[D]. 金华:浙江师范大学, 2017.
- [26] 姚剑亭, 丁洪明, 徐洁. 生态沟渠塘氮磷拦截方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(24):12179-12181.
- [27] SUN G Z, SAEED T. Kinetic modelling of organic matter removal in 80 horizontal flow reed beds for domestic sewage treatment[J]. *Process Biochem*, 2009(44):717-722.
- [28] 胡将军. 多级跌水充氧式沟渠连通生态塘污水处理效果及优化模拟试验[J]. *农业生物环境与能源工程*, 2006, 3(25):782-785.
- [29] LU B, XU Z S, LI J G, et al. Removal of water nutrients by different aquatic plant species: an alternative way to remediate polluted rural rivers[J]. *Ecological Engineering*, 2018(110):18-26.
- [30] 王丽莎, 李希, 甘蕾, 等. 亚热带丘陵区湿地水生植物组合模式拦截氮磷的研究[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(9):1577-1583.
- [31] 曾爱平, 刘洪见, 徐晓薇, 等. 2种挺水植物治理生活污水的研究[J]. *浙江农业科学*, 2009(4):806-808.
- [32] LIN J L, KUO W C, CHANG Y M, et al. Development of a natural treatment system for stream water purification: mechanisms and environmental impacts evaluation[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2015.

- [33] 赵旭光. 挺水植物对富营养化湖泊水体中氮磷循环的影响[D]. 天津:天津大学, 2011.
- [34] KUSCHK P, WIESSNER A, KAPPELMEYER U, et al. Annual cycle of nitrogen removal by a pilot – scale sub-surface horizontal flow in a constructed wetland under moderate climate[J]. Water Research, 2003, 37(17): 4236-4242.
- [35] NSENGA K M, BATOOL A, LI X. How to enhance the purification performance of traditional floating treatment wetlands (FTWs) at low temperatures: strengthening strategies[J]. Science of the Total Environment, 2021, 20(766).
- [36] 黄治平, 张克强, 朱昌雄, 等. 三级生态塘强化处理农村生活污水的应用研究[J]. 中国给水排水, 2014, 30(13): 69-72.
- [37] 苏建成. 地表水中温度、溶解氧、氨氮的关系研究[J]. 科技创新与应用, 2020, (14): 44-45.
- [38] 杨凯, 袁林江, 赵丙良. 降雨对沔河水质和污染特征的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(2): 50-54.
- [39] 段圣辉, 赵钰, 单保庆, 等. 杭州市余杭区典型农村暴雨径流污染特征[J]. 环境科学, 2015, 36(10): 3697-3705.
- [40] CASTALDELLI G, ASCHONITIS V, VINCENZI F, et al. The effect of water velocity on nitrate removal in vegetated waterways[J]. Journal of Environmental Management, 2018(215): 230-238.
- [41] 汪楚乔, 陈柔君, 吴磊, 等. 宜兴典型村落不同下垫面降雨径流污染物排放特征[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(4): 632-638.

(上接第 3 页)

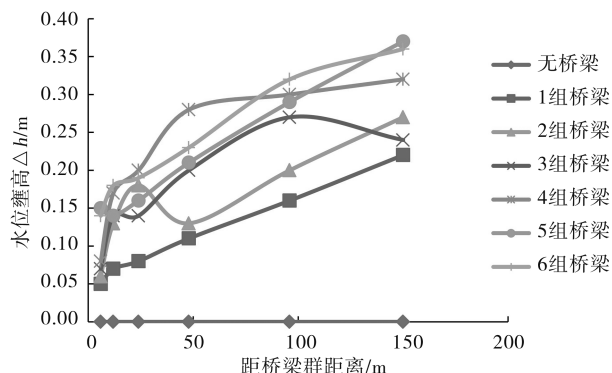


图 3 工况 3 洪水条件河道中心线桥前水位变化

变化,得到以下主要结论:上游水流受桥墩阻水影响,水位壅高较为明显,壅水高度随桥墩数量的增加而增大,壅水范围随着桥墩数量的增多而延长;对于概化河道(流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、流速 2.5 m/s 、阻水率 6%),河道中心线最大壅水高度为 36 cm ,壅水范围 150 m ;6 座桥梁组成的桥梁群引起的壅高值为单座桥梁壅高值的 1.5 倍(桥梁群上游 150 m 位置处)。

参考文献:

- [1] 耿艳芳, 王志力. 桥渡对河道水流影响的二维无结构网格模型[J]. 水利水运工程学报, 2008(4): 78-83.
- [2] 拾兵, 贺如泓, 于浩方. 斜交桥渡的壅水及设计计算[J]. 水科学进展, 2001, 12(2): 201-205.
- [3] 李付军, 张佰战, 戴荣尧. 桥下壅水高度计算方法的理论分析[J]. 铁道建筑, 2009(6): 31-33.
- [4] HONG Y M, CHANG M L, LIN H C, et al. Experimental Study on Clear Water Scour around Bridge Piers[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 121: 162-166.
- [5] JAIN S C, FISCHER E E. Scour around bridge piers at high flow velocities[J]. Journal of the Hydraulics Division, 1980, 106(11): 1827-1842.
- [6] CHRISOHOIDES A, SOTIROPOULOS F, STURM T W. Coherent structures in flat – bed about – ment flow: computational fluid dynamics simulations and experiments[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 129(3): 177-196.
- [7] BRIAUD J L, CHEN H C, WANG J. Pier and contraction scour in cohesive soils[M]. Washington D C: National Cooperative Highway Project; Transportation Research Board, 2004.
- [8] SALAHELDIN T M, IMRAN J, HANIF C M. Numerical modeling of three – dimensional Flow field around circular piers[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130(2): 91-100.
- [9] 解鸣晓, 张玮. 桩墩影响下的水动力数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(3): 20-24.
- [10] GAMAL A A, ABOUZEID H I, MOHAMED, et al. 3 – D Numerical Simulation of Flow and Clear Watersour by Interaction between Bridge Piers[C]//Tenth International Water Technology Conference. Alexandria, Egypt, 2006: 899-915.