

浅谈一维水动力模型在水文分析计算中的应用

姚力铭, 朱京德, 余文忠, 孙传文

(连云港市水利规划设计院有限公司, 江苏 连云港 222000)

摘要: 平原区内河道纵横、互连成网, 水工建筑物控制调度复杂, 同时亦受海洋潮汐的影响, 水位、流量变化较为复杂。常规明渠恒定非均匀流计算方法难以综合反应片区排水情况, 文中采用 mike11 一维河网水流数学模型进行建模, 分析片区排涝水位, 为工程建设提供理论依据和技术支持。

关键词: 一维水动力模型; 平原河网; 水文分析

中图分类号: U442

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0089-03

连云港地处淮沂沭泗流域最下游, 境内水系复杂, 河网稠密, 是著名的洪水走廊。辖区分属沂河水系、沭河水系和滨海诸小河水系。灌南、灌云县和市区东南部属沂河水系, 东海县、市区大部及赣榆区西南部分地区属沭河水系, 赣榆区其它大部地区属滨海诸小河水系。

为满足连云港市某工程建设需求, 需计算连云港市宿城片、排淡河片、烧香河片、板桥片 20 年一遇最高排水水位。区域内河道纵横、互连成网, 沿海涵闸水工建筑物控制调度复杂, 同时亦受海洋潮汐的影响, 水位、流量变化较为复杂。常规明渠恒定非均匀流计算方法难以综合反应片区排水情况, 本次采用 mike11 一维河网水流数学模型进行建模分析, 分析各片区闸上最高排水水位。

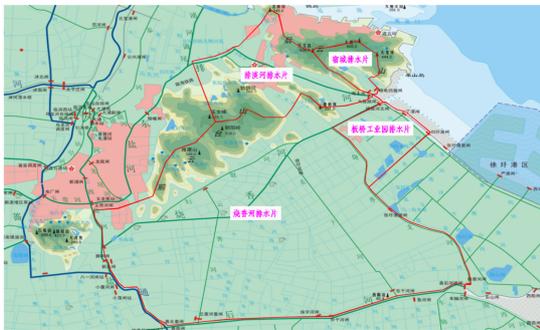


图 1 工程周边水系图

一、基本情况

1. 排水片概况

(1) 宿城排水片

沿海港区片主要指后云台山东侧沿海的区域, 排水范围主要为连云城区和港区, 排水面积 85.3km²。南中心河、南河位置处属于沿海港区片中的宿城片。总流域面积为 17.82km²。小(一)型宿城水库座落于山区中, 水库集水面积 5.23km², 总库容 297 万 m³。南中心河入海口由核电挡潮闸控制, 南河入海口由海丰闸控制。

(2) 排淡河排水片

排淡河原全长 36.0km, 流域面积 209km², 后经水系

调整以及新建猴嘴闸和顾圩门节制闸后, 排淡河起于顾圩门节制闸, 东至大板跳闸, 全长 17.5km, 流域面积 66.29km², 其中山丘区面积 31.17km², 平原区面积 35.12km²。

(3) 烧香河排水片

烧香河排水片的排水范围南至善后河北堤、北至云台山南麓, 西至盐河、东至烧香支河, 主要包括烧香河城区片和善北片, 总排水面积 450km², 该排水片的涝水主要通过烧香河经过烧香北闸入海。烧香河是连云港市的主要排涝河道之一, 干流全长 30.6km, 北界云台山分水岭, 西起盐河, 向东流经南城、板桥、南云台两镇一乡, 由烧香河新闸入海。

(4) 板桥工业园排水片

板桥工业园区排水片集水范围为西至烧香河南段, 东至海堤, 北至烧香河, 南至刘圩港河, 集水面积 33.24km²。

2. 水利工程概况

(1) 核电挡潮闸

核电挡潮闸位于宿城片南中心河下游, 为南中心河入海控制口门。由于田湾核电站的建设, 沿南中心河开挖了核电排洪沟, 入海口原东风闸拆除, 于 1998 年建成了核电挡潮闸, 闸共 4 孔, 单孔净宽 3m, 闸底高程-1.23m。

(2) 海丰闸

海丰闸位于宿城片南河下游, 为南河入海控制口门。海丰闸原名幸福闸, 2008 年海堤达标工程拆除原幸福闸, 基本为原址新建海丰闸, 海丰闸共 2 孔, 单孔净宽 3.5m, 闸底高程-1.23m。启闭机采用 LQ-10t 型手电两用螺杆启闭机 2 台, 平板钢闸门尺寸为 4.1m (高) × 3.96m (宽)。

(3) 大板跳闸

大板跳闸位于排淡河片排淡河下游, 为排淡河片入海控制口门。大板跳闸距海口约 700m, 与核电站相距 2km。1972 年 6 月建成, 5 孔, 每孔净宽 5m, 闸底高程-2.73m, 设计流量 159m³/s, 兼具挡潮排涝蓄水等任务。

(4) 烧香河北闸

烧香河北闸位于烧香河片烧香河下游, 为烧香河片入海控制口门。该闸于 2003 年开工、2005 年 12 月竣工, 共 5

收稿日期: 2022-03-06

作者简介: 姚力铭 (1986-), 女, 连云港市水利规划设计院有限公司, 工程师。

孔，每孔净宽 10m，净高 5m，闸总长 160.5m，闸底高程 -2.73m，闸顶高程 7.27m，交通桥面高程 6.77m，设计流量 580m³/s。

(5) 小丁港闸

小丁港闸位于连云区段海堤上，大板跳闸以南沿海堤约 3.257km 处。建于 1954 年，主要功能为纳潮排淡。2006 年海堤达标工程按 50 年一遇高潮位设计，100 年一遇高潮位校核标准对小丁港闸进行了拆建。共 2 孔，单孔净宽 5m，闸底板顶面高程 -1.23m。

二、排涝水位分析

1. 计算原理

河流数学模型是研究水体随时间和空间运动的重要手段之一，特别是近年来，随着计算机的高速发展，数学模型的应用有了更坚实的基础，应用的空间也更为广阔。本次采用非定常水动力学模型的控制方程一维非定常水动力学模型，使用丹麦水力科学研究所 (DHI) 开发的 Mike11 计算软件建立了水利计算模型。一维非恒定流动方程组如下：

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial X} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial X} + Ag \frac{\partial Z}{\partial X} = u^2 \frac{\partial A}{\partial X} - g \frac{Q|Q|}{C^2 R} + q_1(u - u_0)$$

式中：Z (x, t) 一断面平均水位 (m)；Q (x, t) 一断面流量 (m³/s)；A (x, t) 一断面面积 (m²)；u (x, t) 一断面平均流速 (m/s)；C—谢才系数；q₁—单位河长上的支流流量。

定解条件包括水流的初值与边界值。

水流初始条件：

$$t=0, Z(x, t) = Z(x, 0),$$

$$Q(x, t) = Q(x, 0).$$

边界条件：

$$\text{当 } x=0 \text{ 时, } Z(x, t) = Z(0, t),$$

$$\text{当 } x=L \text{ 时, } Z(x, t) = Z(L, t).$$

结合边界条件，用追赶法求解离散后的线性方程，从而获得河网中每个节点处的水位或流量过程。

MIKE 11 SO 模块是 MIKE 11 中专门设置闸、泵、涵等水工建筑物基本参数及调度规则的模块，在该模块中将水工建筑物定义为闸孔出流型（如泄流闸）、越流型（如橡胶坝）、流量型（如泵站）等，对水工建筑物运行可以设置复杂的调度规则，可依据河道某处的水位或流量、水位差或流量差、蓄水量、时间等数十种逻辑判断条件控制水工建筑物的运行。

数学模型根据建筑物上下游水文条件自动判断所处流态（亚临界流、临界流、超临界流等），选用相应的流体力学公式代替圣维南方程组中的动量方程，从而获得相应水工建筑物的过流流量。

2. 模型概化

根据研究范围内各片河流水系现状及水利工程分布情况，对各片的河网进行概化。

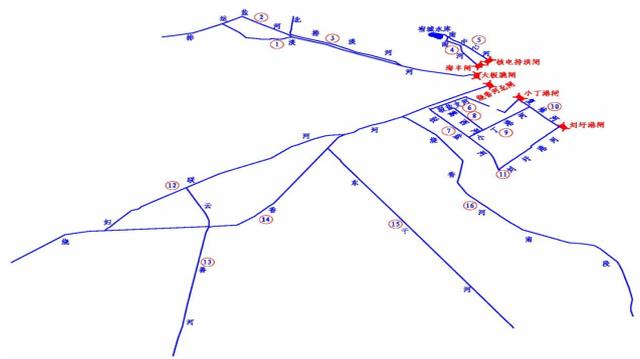


图 4 宿城片、排淡河片、烧香河片、板桥片河网概化图

3. 工程调度及概化

根据连云港市市区调度原则，汛期内河水位一律按汛限水位控制，河道水位控制在 1.6m。当闸上水位超过 1.6m，乘低潮开闸排涝，低于 1.6m 关闸挡潮。

4. 定解条件

一维河网水动力学数学模型的定解条件包括初始条件和边界条件。

初始条件：根据连云港市市区调度原则，河道蓄水控制水位均为 1.8m 左右，本次河网初始水位为 1.8m，所有闸门处于全关状态。

边界条件包括：

上游边界：河道上游端点处为盲端，即闭边界；

下游边界：沿海侧挡潮闸下边界为外海潮位或设计潮型，现状工况下沿海各涵闸闸下潮型均采用燕尾港站 P=50% 的排涝潮型。

内部边界：宿城水库下泄洪水以点入流形式加入模型，其余区域采用分布式入流。

表 1 一维河网水动力学模型内部边界情况表

序号	河道名称	内部边界	起止点	输入数据
1	排淡河	分布式入流	顾圩门节制闸~大板跳闸	排淡河设计洪水过程
2	运盐河	分布式入流	昆仑山路~跨排淡河渡槽段	运盐河设计洪水过程
3	北排淡河	分布式入流	河道起点~终点	北排淡河设计洪水过程
4	南河	分布式入流	宿城水库溢洪道~海丰闸	南河设计洪水过程
6	南中心河	点入流	宿城水库	宿城水库下泄洪水过程
7	联盐支河	分布式入流	河道起点~终点	联盐支河设计洪水过程
8	蒿西河	分布式入流	河道起点~终点	蒿西河设计洪水过程
9	小丁港河	分布式入流	河道起点~终点	小丁港河设计洪水过程
10	刘圩港河	分布式入流	河道起点~终点	刘圩港河设计洪水过程
11	妇联河	分布式入流	烧香河~凤凰嘴	妇联河设计洪水过程
12	云善河	分布式入流	善后河~妇联河	云善河设计洪水过程
13	烧香河	分布式入流	盐河~烧香河闸	烧香河设计洪水过程
14	东干河	分布式入流	河道起点~终点	东干河设计洪水过程
15	烧香河南段	分布式入流	烧香河~烧香河闸	烧香河南段设计洪水过程

5. 糙率

糙率是表征河道底部、岸坡和洪泛区地表影响水流阻力

的综合系数，是水力计算的重要灵敏参数，也是水动力数学模型中最重要的参数。糙率取值如下：近期已整治过或本次按规划计算的河道河槽糙率取 0.0225，河滩糙率取 0.03，久未整治的河道河槽糙率取 0.0275，河滩糙率取 0.035。

6. 计算结果

经计算，当发生 20 年一遇设计洪水时，在各片区河道及相关水利工程维持现状的情况下，闸下潮位取用燕尾港 2 年一遇 (P=50%) 排涝潮位过程。研究范围内各片区主要节点最高水位见图 5，沿海涵闸闸上最高水位统计见表 1。

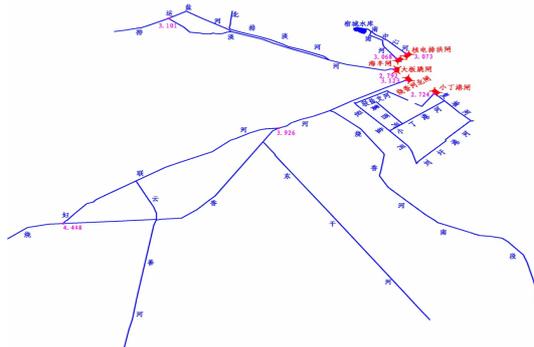


图 5 各片区主要节点最高水位示意图

表 2 各片区沿海涵闸闸上最高水位统计表

序号	建筑物名称	闸上最高水位 (m)
1	核电挡潮闸	3.073
2	海丰闸	3.068

续表 2

序号	建筑物名称	闸上最高水位 (m)
3	大板跳闸	2.792
4	烧香河北闸	3.123
5	小丁港闸	2.724

三、结论

文中采用一维水动力模型对各排涝片区进行河网概化，分析连云港市宿城片、排淡河片、烧香河片、板桥片 20 年一遇最高排水水位，该方法能够为工程建设提供理论依据和技术支持。

参考文献

- [1] 郭立兵. 基于一维水动力模型分析涉水建筑对河道行洪能力的影响[J]. 南水北调与水利科技. 2017, 15 (6): 165-171.
- [2] 王齐锋. 基于经验公式与一维水动力模型的大宁河洪水预报[J]. 陕西水利, 2022, (1): 85-89.
- [3] 陈思宇. 太浦河一维、二维水流数值模拟比较研究[J]. 人民长江, 2008, (15): 51-53+56+111.
- [4] 张大伟. 溃堤洪水的一维、二维耦合水动力模型及应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29 (2): 149-154.
- [5] 金新芽. 一维水动力模型在河口潮流推算中的应用[J]. 海洋学研究, 2006, (2): 86-92.
- [6] 周利. 一维水动力模型在感潮河道施工导流中的应用[J]. 水利建设与管理, 2015, 35 (4): 29-32+28.

(上接第 88 页)

图 9 为轮胎在不同流速情况下，试验 40min 后的淤积变化图；由图可知，当流速较小时，轮胎前方的淤积量较小，随着流速的增加，淤积量逐渐增加，且淤积的形状越规则；但流速增加到一定程度之后，随着流速的增加淤积量逐渐减小，且颗粒逐渐粗化，由此表明，流速的变化对轮胎前方的淤积产生较大的影响。

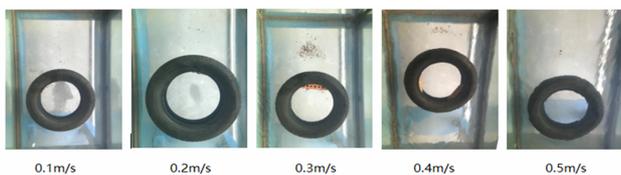


图 9 轮胎前方淤积随流速变化图

综合分析图 8 和图 9 可得，(1) 轮胎前方的淤积量受时间的影响，时间越长其淤积量越大；(2) 轮胎前方的淤积量随着水槽流速的增加呈增加趋势，但到一定流速之后，随着流速增加淤积量逐渐减小且泥沙颗粒逐渐粗化。

三、总结与展望

试验在水槽实验室中进行，对废弃轮胎的流态及淤积进行试验，通过流速仪及拍照等手段记录，分析不同流速情况下各测点处的流速变化及轮胎周围的淤积变化，得到如下结论：(1) 轮胎后方的流速变化区域约是轮胎前方的两倍，但

轮胎前方的流态较稳定；(2) 轮胎内部存在不受水槽流速变化影响的区域且流速非常小，对于泥沙淤积起促进作用；(3) 轮胎两侧的流态相同及流速比水槽流速大，且随着流速增加其幅度逐渐减小；(4) 轮胎前方的淤积量受时间及流速的影响，随着流速的增加而增加，但到达一定的流速之后，随着流速的增加而减小且泥沙颗粒逐渐粗化。

本次试验主要集中于单个轮胎的流态及淤积研究，未来希望在以下方面开展研究：(1) 将废弃轮胎构筑成防沙堤模型进行试验研究；(2) 考虑水位、波浪等变化对废弃轮胎防沙堤的淤积影响。

参考文献

- [1] 佚名. 全球最大废弃轮胎存储场着火或致全球生态灾难[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2021, (9): 1.
- [2] 王乔力. 废旧轮胎的低温热解冷淬碎化的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007: 1-9.
- [3] 席国喜, 杨文洁, 路迈西. 废旧轮胎回收利用新进展[J]. 化工科技市场, 2008, 31 (9): 6.
- [4] 肖衡林, 王钊, 张训祥. 处理废弃轮胎的一种有效方法——轮胎加筋土结构[J]. 环境工程, 2002, 20 (3): 51-54.
- [5] Bosscher P J, Edil T B, Eldin N N. CONSTRUCTION AND PERFORMANCE OF A SHREDDED WASTE TIRE TEST EMBANKMENT[M]. 1992.