

沿海挡潮闸水力设计关键问题研究

康立荣, 张晓松

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127)

摘要: 感潮河道上挡潮闸的水力设计与上游涝水、下游潮位涨落情况关系密切且复杂, 目前尚无标准计算方法。某沿海挡潮闸外移建设中由于未足够重视基础资料收集, 消能设计水位组合不甚合理, 造成工程消能设施损坏严重, 因此有较长港道的挡潮闸外移时, 重新论证新闸处潮位数据显得非常重要。通过剖析工程存在的问题根源, 在该工程加固改造设计过程中, 深入分析了挡潮闸闸孔总净宽计算、消能防冲设施设计等关键技术问题, 可供类似挡潮闸设计工作参考。

关键词: 挡潮闸; 闸孔孔径; 消能防冲; 关键问题

中图分类号: TV 653 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 1683(2013) 06-0174-04

Key Problems on Hydraulic Design of the Tidal Gate

KANG Li rong, ZHANG Xiao song

(Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co. Ltd, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The hydraulic design of the tidal gate is in close relationship with upstream excess water and downstream tide; however, there is no standard calculation method for the hydraulic design. In this paper, a tidal gate in the coastal area was studied. Due to the lack of collection of basic information during the construction of the tidal gate, the combination water level of energy dissipation design was not reasonable, which caused serious damage to the engineering energy dissipation facilities. When there is emigration for the tidal gate in the long channel, the tidal information in the new gate is of important significance. Based on the analysis of the causes of problems, during the reinforcement reconstruction, several key technical problems were analyzed such as the calculation of total clear width of tidal gate and design of energy dissipation and scour prevention, which can provide references for the design of similar tidal gates.

Key words: tidal sluice; gate width; energy dissipation and scour prevention; key problems

1 研究背景

漫长型海岸的围垦活动在保护沿海人民的生命财产安全的同时, 还可起到促进滩涂经济稳定增长、增加土地资源储备的巨大作用^[1]。但是随着滩涂围垦范围的不断扩大, 不可避免地重塑区域局部水下地形, 也迫使部分沿海挡潮闸下移, 以保证流域排涝安全^[2]。

某挡潮闸工程建成于2003年, 位于20世纪60年代初建成的老挡潮闸下游侧约6.5 km处, 直接临海, 为一座挡潮、排涝与通航相结合的水利枢纽, 由挡潮闸和通航套闸组成。其中挡潮闸分为6孔, 总净宽62 m; 通航套闸有效尺寸为190 m×12(16) m×3.6 m。枢纽运行至今, 主要存在下列问题。

(1) 闸孔过流能力不足。工程建成后, 排涝能力达不到设计标准, 区域暴雨无法及时排出, 产生内涝, 对当地工农业生产、人民生活造成一定影响。

(2) 闸孔上、下游冲刷严重, 河床存在较深冲刷坑。2003年7月3日工程投入试运行, 7月5日挡潮闸下游西侧引河堤防出现坍塌险情, 遂停止排涝。其后, 检测发现, 上游侧护底末端、下游侧海漫部位局部冲刷深度达6.0 m, 闸下消力池底部顺水流向掏空长度大于3 m, 致使消力池末端出现悬空现象。2004年、2007年、2009年管理部门虽采取了一些补救措施, 但仍未能彻底解决河床冲刷问题。

在对挡潮闸水力计算关键技术进行充分分析基础上, 本文提出改造现有消能设施, 同时在工程西侧适当扩建新闸, 以消除工程隐患并提高泄洪能力。

2 工程存在问题的根源剖析

2.1 潮型、潮位等基础水文资料缺乏

工程地处江苏省潮差最大区域, 但原先工程设计时, 在缺少区域外海低潮位实测数据情况下, 未充分论证上游6.5

km处老闸闸下港道淤积^[3]及壅水情况^[4],直接借用老闸闸下潮位进行新闸水力设计,即:平均低潮位0.86 m,最低潮位-1.04 m。而本次实测新闸处平均低潮位-1.75 m,大潮平均低潮位-2.65 m,分别较原设计采用值低2.6 m、1.6 m。表明原设计对闸下低潮位预料不足,与实际情况出入较大。

2.2 闸孔总净宽不足

按照区域规划数据,10年一遇设计排涝流量740 m³/s,20年一遇校核流量975 m³/s,以上流量为允许地表24 h滞水的平头设计流量。原先设计中排涝时闸孔总净宽74 m(其中挡潮闸6孔,总净宽62 m,套闸参与排涝,净宽12 m),闸孔总净宽采用以下方案进行确定:闸上取内河高水位3.20 m,闸下取近似平均高潮位3.0 m,过闸落差0.20 m,计算孔径73.9 m,取用74 m。此方案中船闸参与泄洪违反了水运工程相关规定“船闸严禁用作泄洪”^[5]。此外,涝水和潮水的关系较为复杂,目前尚无完善的计算办法,该闸闸孔总净宽计算方法虽符合“常规平原地区水闸过闸落差可采用0.1~0.3 m”的规范^[6]要求,但作为重要的沿海挡潮闸,在计算条件许可情况下,应尽量采用全潮型排涝过程进行模拟验算,特别是对于潮差较大地区,一方面可充分了解外海高潮位顶托情况,另一方面可为低潮位情况下消能水位组合提供依据,以合理确定闸孔宽度。

2.3 下游消能防冲设计工况选取有误

根据区域水系及地形特点,该工程日常调度运行方式为:闸上水位达2.80 m时,平潮开闸;下游潮位上涨与内河平时,关闸防止潮水倒灌。

原设计中按闸上排涝高水位遭遇闸下平均高潮位进行消能设计,具体水位组合为:闸上水位3.50 m,闸下水位3.10 m。由此确定闸底板面高程-1.5 m,下游外海侧河底高程-1.5 m,消力池池底顶面高程-2.5 m,池深1.0 m。上述消能计算中,闸下游侧采用下游外海侧高潮位,人为抬高了下游水深,而未考虑到下游低潮位时可能出现不利水位组合时的过闸水流动能消散情况,造成下游河床刷深、干砌块石海漫冲毁,并发生溯源冲刷,导致消力池出现水毁。现状消能工消能效果复核成果见表1。

表1 现状闸下消力池消能效果

Table 1 The energy dissipation effects of the existing energy dissipation structure

上游水位/m	下游水位/m	消能效果	备注
2.8	高于1.36	满足规范	
2.8	低于1.36	需控制开度	
2.8	0.0	控制运用	闸门开度0.97 m,单宽流量5.0 m ³ /s
2.8	-1.0	控制运用	闸门开度0.2 m,单宽流量1.0 m ³ /s
3.5	高于1.82	满足规范	
3.5	低于1.82	需控制开度	
3.5	0.0	控制运用	闸门开度0.6 m,单宽流量3.5 m ³ /s
3.5	-1.0	控制运用	闸门开度0.18 m,单宽流量1.0 m ³ /s

由表1可知,按现有消能设施,上游水位达警戒水位2.8 m,下游水位低于1.36 m时,消力池不能满足消能要求,需控制闸门开度。如当下游水位0.0 m时,闸门开度控制在0.97 m。但在实际运用时,往往由于上游持续高水位,下游水位低于0.0 m时,仍需保持1 m左右开度进行排涝。特别是当上游出现超过2.8 m水位的严重汛情时,需趁下游低潮位进行抢排,因此工程在消能设施不满足要求的情况下强迫排涝,导致下游海漫冲刷严重。

3 改造工程水力计算的关键问题

挡潮闸的水力设计内容主要包括:闸孔总净宽计算及闸孔尺寸确定;消能防冲设施设计;拟定闸门控制运用方式等。水力设计时应综合考虑建闸后上下游河床可能发生淤积或冲刷以及闸下水位变动情况对过流能力和消能防冲设施产生的不利影响。

加固改造工程方案设计时对水力计算关键点进行了深入研究,重点在于根据工程任务进行闸孔总净宽计算,并提出安全可靠的消能防冲设施方案。

3.1 闸下排涝潮型的选择

垦区地势较高,排涝受高高潮控制。排涝天数按3 d雨型雨后1 d排出标准,确定为4 d。采用汛期连续4 d平均高高潮位进行频率计算,潮型选用高高潮位P=50%平均潮型。通过分析2005年-2011年逐日高潮位及2009年-2012年5月闸下每日最低潮位的实测资料,经排频后,参考《江苏省水文手册》^[7],拟合出闸下排涝潮型过程线,见图1。

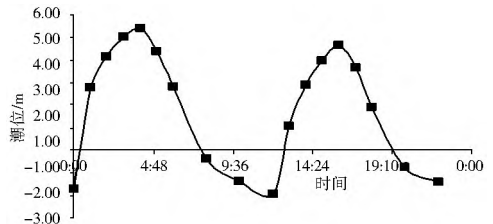


图1 闸下排涝潮型过程线(P=50%)

Fig. 1 The tidal process line drainage (P=50%)

3.2 闸孔总净宽的确定

挡潮闸常规运行方式为涨潮时关闸挡水,落潮时开闸泄水,挡潮时上游河道可起到临时调节作用,泄水时过闸流态为变量变速,水位、流量及流速均在不断变化,情况较为复杂。

(1) 流域净雨量计算。根据本流域中心地点,查阅区域暴雨参数图集得流域最大3日暴雨均值为145 mm,并根据区域降雨径流相关曲线参数表,计算得到区域不同频率净雨值,见表2。

表2 流域不同频率净雨值

Table 2 The net rainfall frequency values of the river basin

P(%)	KP	点雨量/mm	面雨量/mm	净雨量/mm
5	2.16	315.4	309.1	239.9
10	1.75	255.5	250.4	169.3
20	1.35	197.1	193.2	115.6

(2) 设计洪水。根据区域地形特点,采用瞬时单位线法进行汇流计算,区域排涝分析成果见表3。

表 3 流域排涝分析成果

Table 3 Drainage analysis results of the river basin

	20 年一遇(5%)	10 年一遇	5 年一遇
洪峰流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	1 339.2	1 021.5	645.5
24 h 削峰流量($m^3 \cdot s^{-1}$)	999	762	482
排涝模数/($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^2$)	1.04	0.79	0.50

(3) 闸孔总净宽的确定。由于挡潮闸的泄流能力与上游来水情况、闸下潮流涨落情况等有关,通过建立一维河网水动力数学模型进行数值模拟研究^[8],以确定闸孔的规模。下游外海侧潮型选择了图 1 所列高高潮位 $P=50\%$ 平均潮型。模拟河口水流状态的数学模型采用一维非恒定流圣维南(Saint Venant)方程组^[9]:

$$B_s \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{aQ^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

式中: x 为空间坐标(m); t 为时间坐标(s); Q 为断面流量(m^3/s); h 为水位(m); A 为断面过流面积(m^2); R 为水力半径(m); B_s 为水面河宽(m); q 为单位河长的旁侧入流流量($m^3/(s \cdot m)$); C 为谢才系数; g 为重力加速度(m^2/s); a 为垂向速度分布系数,即 $a = \frac{A}{Q^2} \int_A u^2 dA$, 其中 u 为断面平均流速(m/s)。

挡潮闸过流能力根据上下游水位及闸门开启度分别按宽顶堰堰流^[10]和闸孔出流^[11]进行计算。以老闸闸上水位不超过 3.5 m、保证区域不受淹为控制条件,核算结果表明:由于现状工程闸下低潮位取值有误、消能水位组合不合理,为防止闸下消能设施水毁,现有枢纽全潮排涝能力仅相当于设计标准的 60%,因此需对现状枢纽进行扩建。

3.3 闸下消能设计

据统计^[12],至 2000 年底,在全国 1 782 座大中型病险水闸中,42.3% 存在闸下游消能防冲设施损坏严重问题。产生闸下冲刷破坏的原因很多,诸如闸门控制运用不当一开启不对称或开启速度过快等,消能设计条件选择不当也是主要原因之一。

一般承担泄洪任务的水闸消能设计时,上游侧采用提闸泄水时的闸上水位,下游选用相应于前一级开度泄量的河道水位,然后利用闸门分级开启、逐级试算的方法,找出最大单宽能量时的水位流量组合,作为消能防冲的设计条件。但对于直接临海的挡潮闸,其下游临海水位基本由潮位决定,因此进行消能防冲设计时,须重视闸下可能出现低潮位水位组合情况下的消能安全,同时根据水力设计情况,制定合适的闸门控制运用方式(包括闸门控制运用曲线),规定闸门启闭顺序和开度,作为闸门控制调度的参考和依据。

鉴于现有闸孔排涝能力不足,需新建闸孔以满足区域排涝要求。参考下游低潮位,将新建闸孔底板面高程降低至 -2.0 m,下游侧消力池起始断面顶高程与闸底板同高。为缩短 -2.0 m 高程至池底 -6.0 m 之间连接段长度^[13],改善水流流态,过度段头部采用 WES 型幂曲线形式^[14],后接斜坡直线段,以反弧段与消力池底板衔接。消力池结构参见图 2。

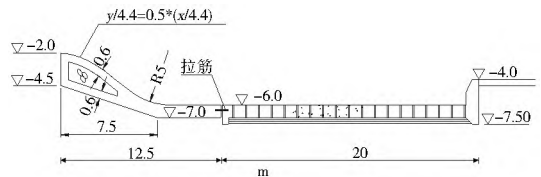


图 2 消力池结构剖面图

Fig. 2 The cross section of energy dissipation structure

计算结果显示,采用以上消能布置型式,在上游水位 2.8 m,下游水位 -1.0 m,闸孔可进行敞泄;在下游潮位 -1.5 m 时闸门可开启 2.0 m,单宽排涝流量 $10.0 m^3/s$,仍保持了一定泄洪能力。与表 1 数据相比,消能效果远高于现有工程。

3.4 防冲设计

过闸水流通过消能工程后,动能并未完全消除,紊动仍较强烈,所以还需设置防冲工程消散其剩余动能,使紊动水流在较短距离内扩散到下游河床的全断面,变成比较平稳且流速均匀水流,从而保护河床、河岸免遭水流严重冲刷^[15]。闸下防冲工程主要包括海漫及防冲槽。

本工程河床土质以低液限粉土为主,呈软塑状,土体颗粒中粉粒含量近 70%,不冲流速较低,经复核算,海漫末端河床计算冲刷深度较大^[16],常规简单设置的柔性防冲槽不足以保证安全。在改造工程中,采取海漫末端设置灌注桩排桩措施,形成刚性防冲墙,用于提高工程抗冲刷能力。

4 结语

本文通过某闸下有较长港道的挡潮闸外移建新闸的工程实例,论证了闸下低潮位数据分析的重要性,结合该工程加固改造设计工作,分析研究了挡潮闸闸孔总净宽计算、消能防冲设施设计等关键技术问题,可供类似挡潮闸设计工作参考。

参考文献(References):

- [1] 王艳红,李加林,王建,等. 海岸滩涂围垦的适宜速度研究——以江苏淤泥海岸为例[J]. 海洋通报, 2006, 25(2): 15-20. (WANG Yanhong, Li Jiarlin, WANG Jian, et al. Feasible Rate of Tidal Flat Reclamation: Jiangsu Mud Coast as a Case Study [J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(2): 15-20. (in Chinese))
- [2] 颜秉龙,仇健. 沿海围垦工程对流域排洪影响分析[J]. 人民长江, 2010, 41(3): 15-18. (YAN Bairlong, QIU Jian. Analysis on Impact of Coastal Reclamation Project on Flood Drainage of River Basin [J]. Yangtze River, 2010, 41(3): 15-18. (in Chinese))
- [3] 朱国贤,项明. 沿海挡潮闸闸下淤积分析与疏浚技术[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 115-118. (ZHU Guoxian, XIANG Ming. Sedimentation and Dredging Downstream of Tidal Sluices along Coasts [J]. The Ocean Engineering, 2005, 23(3): 115-118. (in Chinese))
- [4] 徐雪松,陈星,张新周. 射阳河挡潮闸闸下冲淤特性分析[J]. 人民黄河, 2011, 33(8): 55-58. (XU Xuesong, CHEN Xing, ZHANG Xinzhou. Analysis on Erosion and Deposition Characteristics Downstream Tidal Sluice in Sheyang Estuary [J]. Yellow River, 2011, 33(8): 55-58. (in Chinese))
- [5] JTJ 305 2001, 船闸总体设计规范[S]. (JTJ 305-2001, Code for

- Master Design of Shiplocks[S]. (in Chinese)
- [6] SL265 2001, 水闸设计规范[S]. (SL 265 2001, Design Specification for Sluice[S]. (in Chinese))
- [7] 江苏省革命委员会水利局水文总站. 江苏省水文手册[K]. 1976. (Revolutionary Committee of Jiangsu Province Bureau of Hydrology Station. Jiangsu Province Hydrology Manual[K]. 1976. (in Chinese))
- [8] 吴作平, 杨国录, 甘明辉. 河网水流数值模拟方法研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 350-353. (WU Zuoping, YANG Guolu, GAN Minghui. Flow Numerical Model for River Systems[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 350-353. (in Chinese))
- [9] 赵克玉. 天然河道一维非恒定流数学模型[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(1): 38-41. (ZHAO Keyu. Numerical Model of Unsteady Flow in Natural River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2004, 15(1): 38-41. (in Chinese))
- [10] 贾西斌. 高淹没度开敞式水闸孔径计算公式探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 154-156. (JIA Xibin. Discussion of the Computational Formula for the Gate Size of Open Sluice with High Submergence Degree[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 154-156. (in Chinese))
- [11] 张志昌, 李国栋, 李建中. 用边界层理论计算平底闸孔出流的流量[J]. 西安理工大学学报, 1998, 14(3): 79-84. (ZHANG Zhichang, LI Guodong, LI Jianzhong, et al. Calculating Discharge of Outflow under Sluice Gate by Using Boundary Layer Theory[J]. Calculating Discharge of Outflow under Sluice Gate by Using Boundary Layer Theory, 1998, 14(3): 79-84. (in Chinese))
- [12] 袁庚尧, 余伦创. 全国病险水闸除险加固专项规划综述[J]. 水利水电工程设计, 2003, 22(3): 6-9. (YUAN Gengyao, YU Lunchuang. The Summary of the Special Program of Countrywide Ill Conditioned and Dangerous Sluice[J]. Design of Water Resources & Hydroelectric, 2003, 22(3): 6-9. (in Chinese))
- [13] 齐清兰, 孟庆, 单长河, 等. WES 剖面实用堰流量系数的计算公式[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2002, (4): 8-9. (QI Qinglan, MENG Qingcai, SHAN Changhe, et al. The Calculating Formula of Flow Coefficient of WES Weir[J]. Journal of Hebei Engineering and Technical College, 2002, (4): 8-9. (in Chinese))
- [14] 李晓庆, 唐新军. 新疆引水枢纽闸后消能防冲设计理念的演变[J]. 水电能源科学, 2012, 30(11): 77-80. (LI Xiaqing, TANG Xinjun. Design Conception Evolution on Energy Dissipation and Erosion Prevention of Water Diversion Project in Xinjiang[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(11): 77-80. (in Chinese))
- [15] 赵忠文. 泄洪闸后防冲设计[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(2): 27-30. (ZHAO Zhongwen. Scour Prevention Design After Opening Flood Discharge Gate[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(2): 27-30. (in Chinese))
- [16] 梅海州. 闸后冲刷深度计算的探讨[J]. 水科学与工程技术, 2008, (增刊): 74-76. (MEI Haizhou. Discussion with Downstream Scour Depth Calculations[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2008, (Supp.): 15-20. (in Chinese))
- (上接第 173 页)
- [5] 沈荣胜, 王胜春, 王积永. 基于 ANSYS 的塔式起重机振动模态分析[J]. 起重运输机械, 2011, (9): 68-70. (SHEN Rongsheng, WANG Shengchun, WANG Jiyong. Vibration Modal Analysis of Tower Crane Based on ANSYS Software[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2011(9): 68-70. (in Chinese))
- [6] 徐可, 高德军, 徐港, 等. 基于 ANSYS 的预制混凝土 T 型梁裂缝成因分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(4): 44-47. (XU Ke, GAO Dejun, XU Gang, et al. Cause Analysis of Precast Concrete T-beam Crack Based on ANSYS[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(4): 44-47. (in Chinese))
- [7] 钟阳, 王哲人, 张肖宁. 不平整路面上行驶的车辆对路面随机动压力分析[J]. 中国公路学报, 1992, 5(2): 40-43. (ZHONG Yang, WANG Zheren, ZHANG Shaoning. Moving Vehicles Analysis of Random Dynamic Pressure on Uneven Pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 1992, 5(2): 40-43. (in Chinese))
- [8] 王丽, 张玉玲, 陶晓燕. 下承式钢桁梁旧桥净空改造设计[J]. 钢结构, 2009, 24(5): 47-49. (WANG Li, ZHANG Yuling, TAO Xiaoyan. Reconstruction Design of Through a Steel Truss Old Bridge[J]. Steel Construction, 2009, 24(5): 47-49. (in Chinese))
- [9] 许磊平, 刘伟庆, 徐秀丽, 等. TMD 抑制桥梁振动仿真分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(3): 272-276. (XU Leiping, LIU Weiqing, XU Xirli, et al. Simulation Analysis of Inhibiting Bridge Vibration Based on TMD[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(3): 272-276. (in Chinese))
- [10] 张大勇, 尤岭, 李亮. 南水北调中线跨渠桥梁若干问题的探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(6): 434-437. (ZHANG Dayong, YOU Ling, LI Liang. The Cross Ditch Bridge Investigation of the Middle Route in the South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(6): 434-437. (in Chinese))
- [11] 李小珍, 张黎明, 张洁. 公路桥梁与车辆耦合振动研究现状与发展趋势[J]. 工程力学, 2008, 25(3): 230-237. (LI Xiaozhen, ZHANG Liming, ZHANG Jie. State of the art Review and Trend of Studies on Coupling Vibration for Vehicle and Highway Bridge System[J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(3): 230-237. (in Chinese))
- [12] 袁安富, 陈俊. ANSYS 在模态分析中的应用[J]. 制造技术与机床, 2007, (8): 79-81. (YUAN Anfu, CHEN Jun. Application of ANSYS in Modal Analysis[J]. Manufacturing Technology & Machine Tools, 2007, (8): 79-81. (in Chinese))