

闸站合建枢纽对河口通航影响的模型试验

王法猛,傅宗甫,吕家才,刘明明

(河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:为了改善河口平面闸站合建枢纽水闸出流时容易在闸下河道内出现主流集中、偏流、回流,外河航道内横向流速大等问题,提出了在消力池下游海漫段设置八字形低坎的整流措施。基于平面闸站合建枢纽水力学模型试验,对有、无整流措施两种条件下闸下河道的水流流态、流速分布、特征断面流速不均匀系数以及航道内的最大横向流速进行了测试分析与比较。试验结果表明:闸下海漫段设置八字形整流低坎可以使外河入口断面流速不均匀系数从无整流措施的 4.5~4.9 降低到 0.3~1.4,且使外河航道内的横向流速大大降低,模型试验实测的最大横向流速范围在 0.30~0.50 m/s 之间。外河入口断面流速不均匀系数和外河航道内横向流速的显著降低有助于河口闸站合建枢纽的通航安全,是一种简单而有效的工程措施。

关键词:闸站枢纽;泵站;水闸;河口;通航安全;横向流速;整流措施;模型试验

中图分类号:TV131.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)05-0029-03

Model tests on influence of combined construction of sluices and pump stations on estuarine navigation//WANG Fameng, FU Zongfu, LÜ Jiakai, LIU Mingming (College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to improve the discharge flows of a combined sluice-pump station project at estuary, that is, concentration, drift and reflux of the mainstream and increase of transverse velocity in outer river channel, a trapezoid type low ridge in the downstream apron of the stilling basin is proposed. Based on hydraulic model tests on the combined sluice-pump station project, the flow regime, velocity distribution, non-uniform coefficient of characteristic velocity and the maximum transverse velocity in the outer channel through the sluice gate with or without regulation measures are observed and compared. The test results show that the trapezoid type low ridge in the apron will make the non-uniform coefficient of the velocity at the entrance to the outer channel of 4.5-4.9 become 0.3-1.4, and the transverse velocity in the river greatly decreases. The observed range of the maximum transverse velocity is between 0.3 m/s and 0.5 m/s. The significant decrease of the non-uniform coefficient and the maximum transverse velocity may improve the effect of the combined sluice-pump station project at estuary on its navigation safety. The proposed project is a kind of simple and effective engineering measure.

Key words: sluice-pump station project; pump station; sluice; estuary; navigation safety; transverse velocity; regulation measure; model test

随着城市现代化进程的加快,为了综合解决城市河道防洪排涝、通航、水质改善以及生态环境等问题,建造了大量的泵闸枢纽。传统泵闸枢纽的水闸与泵站通常是分开布置的,以便枢纽上下游水流平顺衔接,但传统的布置方式布置疏散、占地面积大,在城市的水利建设中容易引起拆迁和移民安置等复杂问题^[1-2]。闸站合建枢纽因为布置紧凑、占地面积小而得到迅速推广,如泰州引江河高港枢纽、常熟望虞水利枢纽、无锡江尖水利枢纽等,取得了较好的经济效益与社会效益^[3]。

闸站合建枢纽虽然解决了大面积征地问题,但容易引起枢纽上下游水流流态的复杂化^[4],目前对于平面布置形式的闸站合建枢纽的研究,主要偏向于改善主流偏斜引起的恶劣流态^[5-6]。对通航水域船舶航行的安全性已有大量研究,如关注港口通航安全的评判方法^[7],改变分流点位置的分汊河道分流区航道内斜流的整治措施^[8],电站泄流对坝下通航的影响及对策等^[9-12]。对于有通航要求的河口,由于通常情况下水闸、泵站不能同时运行,在水闸或者泵站单独运行时,闸下主流宽度与天然河道出流相比大大缩小,而且水

流难以通过自身的调整充分扩散,往往在河口附近航道内产生较大的横向流速,影响通航安全,但对通航的影响以及改善措施的研究还未见报道。

本文基于某工程平面对称布置闸站合建枢纽(图1)开展模型试验研究。该工程内河枢纽采用“泵+闸+泵”的布置形式,水闸为单孔闸,闸孔净宽8 m(该处河道宽度为28.4 m);闸下河道断面为矩形,河道宽度为40 m,河底高程为-1.0 m。通过对闸下水流流态、横向流速分布、特征断面流速不均匀系数的观测和计算,分析了枢纽对闸下通航的影响,提出了在消力池后护坦上设置墩群及八字形整流低坎的整流措施,以加强水流扩散,均化下游断面流速分布,减小河口横向流速。

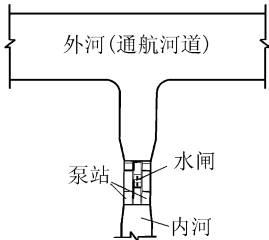


图1 闸站合建枢纽布置示意图

1 模型设计和试验条件

1.1 模型设计

模型按重力相似准则设计,几何相似比尺 $\lambda_L=20$ 。由于泵站运行时通常外河水位较高,而且泵站排涝流量不大,不是外河通航的控制条件,因此试验仅针对影响通航安全的水闸运行工况。为了全面观测下游河口附近的水流流态以及流速分布,在内河入口以及口门区附近的外河通航河道上布置了9个流速测量断面,1号、2号断面用来测量闸下河道断面流速分布的均匀性,3~9号断面用于测量外河河道内的横向流速以及水流流态。流速观测断面位置见图2。

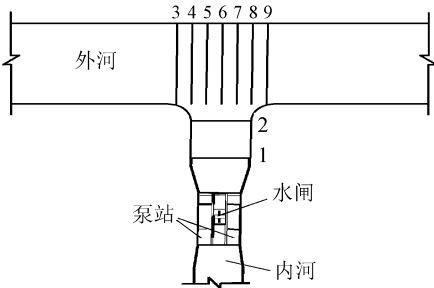


图2 流速观测断面布置

1.2 试验参数组合

试验中根据水闸运行时外河可能出现的最高和最低水位选择了水位组合,见表1。内河水位 $H_{内}$ 的变化范围为0~1.4 m,外河水位 $H_{外}$ 的变化范围为0~2.5 m。

表1 试验水位组合

试验工况	流量/在($m^3 \cdot s^{-1}$)	$H_{内}/m$	$H_{外}/m$
1	40	4.2	4.0
2	40	4.0	2.5
3	40	2.8	1.5

2 试验结果与分析

2.1 无整流措施方案

2.1.1 闸下水流流态及流速分布

无整流措施方案水闸运行时,由于闸下河道宽度为40 m,水闸净宽只有8 m,出闸水流主流集中,而且出现主流偏于一侧的附壁效应,同时在主流的另外一侧产生回流,断面流速分布很不均匀,工况1闸下河道的水流流态及流速分布见图3;其他两种工况下与图3所示的情况基本相似,由于内外河水位差更大,出闸水流主流更加集中,这种流速不均匀的出流情况也会更加明显。

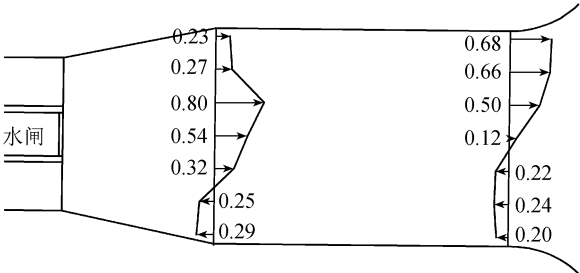


图3 无整流措施工况1 闸下水流流态及流速分布(单位:m/s)

2.1.2 外河入口断面流速不均匀系数和外河航道内最大横向流速

流速不均匀系数反映流速沿断面分布的均匀性,在相同流量和水深条件下,外河入口断面(断面2)流速分布越均匀,外河航道内的横向流速也将越小,因此外河入口断面流速的均匀性间接反映外河航道内横向流速的大小。流速不均匀系数 η 定义为断面垂线平均最大和最小流速差与该断面平均流速的比值,即

$$\eta = \frac{v_{max} - v_{min}}{\bar{v}} \tag{1}$$

式中: v_{max} 为断面垂线平均最大流速; v_{min} 为断面垂线平均最小流速; $\bar{v}$ 为断面平均流速。

试验全面观测了外河航道内的横向流速 v_c ,试验结果(表2)表明,由于外河入口断面的流速分布不均匀,在外河入口断面至航道的有限距离内,水流流速的均匀性得不到有效的调整,流速不均匀系数在4.5~4.9之间,因此外河航道内出现较大的横向流速。

2.2 整流措施方案

针对闸站合建枢纽在无整流措施情况下,闸下出现偏流、回流,闸下横断面流速分布不均匀,外河

表2 外河入口断面流速不均匀系数和
外河航道内最大横向流速

试验工况	无整流措施		增设八字形整流低坎	
	η	$v_{\max}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	η	$v_{\max}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
1	4.5	0.76	0.3	0.30
2	4.6	1.17	0.4	0.33
3	4.9	1.67	1.4	0.50

航道内出现较大横向流速等问题,模型试验尝试在闸下海漫段设置八字形的整流低坎,坎高 1.75 m,如图 4 和图 5 所示,目的是使闸下主流受低坎的作用而强迫扩散,消除主流偏斜以及均化断面流速分布的作用,最终减小外河航道内的横向流速,保证通航安全。

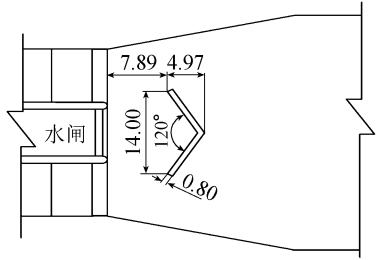


图4 八字形整流低坎布置(单位:m)

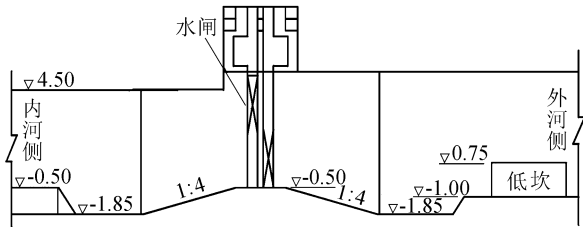


图5 八字形整流低坎纵剖面(单位:m)

2.2.1 闸下水流流态及流速分布

试验观测表明,出闸水流经过八字形整流低坎后,迅速向两侧扩散,消除了由于主流集中而形成的回流以及主流偏斜状况,闸下河道横断面水流流动基本对称,横断面流速分布比较均匀对称。最具代表性工况(工况1)的闸下河道的水流流态及流速见图5。

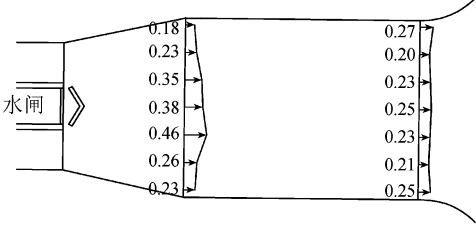


图6 八字形整流低坎工况1 闸下水流流态及
流速分布(单位:m/s)

其他两种工况下,闸下出流底部流速较小,并使水流均匀扩散,同时也使出池后水流更为平顺地与下游衔接。

2.2.2 外河入口断面流速不均匀系数和外河航道内最大横向流速

通过对外河航道内的横向流速 v_c 的测量发现,

由于在闸下海漫上增设了八字形整流低坎,均化了外河入口断面的流速分布,航道内的横向流速大大降低,实测最大横向流速范围在 0.30 ~ 0.50 m/s 之间(表2);从表2 还可以看出,增设八字形整流低坎后,外河入口断面流速不均匀系数大大降低,从无整流措施的 4.5 ~ 4.9 降低到 0.3 ~ 1.4,大大增加了断面流速分布的均匀性。

3 结 论

a. 河口闸站合建枢纽水闸运行时,在无整流措施条件下,由于水流过闸宽度缩窄,在闸下容易出现主流集中、偏斜以及主流的另外一侧河道内产生回流等不良水流流态,河口下游航道内容易形成较大的横向流速,影响通航安全。

b. 闸下海漫段设置八字形整流低坎,大大降低了外河航道内的最大横向流速,有效改善了闸下的水流流态,闸下水流扩散充分,闸下河道断面流速分布均匀对称,显著提高了外河的通航安全。

c. 八字形整流低坎的几何尺寸应根据具体的闸站合建枢纽布置形式通过试验确定。

参考文献:

[1] 梁民阳,熊孟果. 水闸与泵站合建的一种新的布置形式[J]. 中国农村水利水电,2006(6): 82-86.

[2] 严忠民,周春天,阎文立,张平易,等. 平原水闸泵站枢纽布置与整流措施研究[J]. 河海大学学报:自然科学版 2000,28(3): 50-53.

[3] 屈磊飞,王林锁,陈松山,等. 闸站合建枢纽泵站三维水流的数值模拟[J]. 水利与建筑工程学报,2006(3):16-17.

[4] 傅宗甫,顾美娟,严忠民. 闸站合建枢纽导流墙体型及适宜长度[J]. 水利水电技术,2011(10):128-131.

[5] 屈磊飞,陈松山,王林锁. 泵站侧向进水三维流动数值模拟[J]. 水资源与水工程学报,2007(2):26-30.

[6] 李银海,朱建军. 朝东圩港闸站枢纽导流墩及中隔墩设计[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(2): 98-100.

[7] 郑中义,李红喜. 通航水域航行安全评价的研究[J]. 中国航海,2008(2):130-134.

[8] 胡旭跃,沈小雄,黄伦超,等. 分汊河道分流区航道内斜流的整治方法研究[J]. 长江科学院院报,2002(3):22-24.

[9] 曹民雄,庞雪松. 电站泄流对坝下航道影响研究进展[J]. 水利水运工程学报,2011(2):94-104.

[10] 叶如意,王攀. 曹娥江至宁波引水工程平面二维水流数值模拟[J]. 水资源保护,2010,26(5):24-28.

[11] 姚仕明,王兴奎,张丙印. 三峡大坝至葛洲坝两坝间河段通航水流条件[J]. 水利水电科技进展,2010,30(6):43-47.

[12] 徐锡荣,白金霞,陈界仁,等. 韩江干流航道设计最低通航水位探讨[J]. 水利水电科技进展,2011,31(6):66-68.

(收稿日期:2012-01-05 编辑:熊水斌)