

王铁力, 陈莹颖, 金晓宇, 等. 滨海枢纽北船闸输水系统阀门运行方式[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(6): 1189-1195, 1213. WANG T L, CHEN Y Y, JIN X Y, et al. Operation mode of valves in water conveyance system of North Ship Lock of Binhai hub[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2024, 22(6): 1189-1195, 1213. (in Chinese)

# 滨海枢纽北船闸输水系统阀门运行方式

王铁力<sup>1</sup>, 陈莹颖<sup>2</sup>, 金晓宇<sup>3</sup>, 缪树杰<sup>4</sup>, 沈昊<sup>1</sup>, 杨帆<sup>3</sup>

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127; 2. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 南京 210029; 3. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009; 4. 江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225299)

**摘要:**滨海枢纽北船闸为淮河入海水道与通榆河间通航永久性建筑物, 通过物理模型试验, 分析在不同阀门开启时间船闸输水系统的物理指标, 重点探究输水过程的水力特性、闸室内流态和输水廊道顶部的压力变化特性以及闸室的船舶停泊条件。结果表明: 该船闸在运行水头不大于 5.99 m 时, 充水阀门双边匀速连续开启的时间为 7 min, 而当运行水头大于 5.99 m 时, 充水阀门双边匀速连续开启的时间为 9 min; 在各运行水位组合时, 泄水阀门双边匀速连续开启的时间均为 7 min。在推荐的阀门运行方式下, 船闸输水水力特性、输水廊道压力特性和闸室船舶停泊条件等均满足规范和设计要求。

**关键词:** 北船闸; 输水系统; 水力特性; 瞬态压力; 模型试验

**中图分类号:** TV135.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2024.0118

船闸是用水力提升帮助船舶克服水位落差的一种通航建筑物, 输水系统是船闸的重要组成部分, 输水系统的性能优劣直接影响船闸的通过能力及船舶过闸的稳定性。针对输水系统, 国内外学者均开展了大量研究, 研究内容主要有输水系统的水力学模型试验分析<sup>[1-4]</sup>, 输水系统阀门开启时间对阀门段水力性能的影响<sup>[5-8]</sup>, 输水系统的选型、设计及原型测量<sup>[9-14]</sup>, 输水系统的消能措施<sup>[15-18]</sup>, 研究方法主要包括数值模拟和物理模型试验<sup>[17-21]</sup>, 且以物理模型试验为主。Morgunov 等<sup>[22]</sup>以 1:30 比例的沃尔日斯基船闸闸室物理模型为基础, 确定了船闸输水与排空系统中闸门的最佳运行模式。Farinha 等<sup>[23]</sup>评估了 Douro 河船闸闸门因船舶碰撞以致大量水流落入闸室的水流冲击, 并以此进行了有限元数值模拟。这些研究成果加深了对船闸运行安全与效率的理解, 为船闸输水系统水力性能的研究提供了科学依据。

滨海枢纽北船闸的输水水头达到了江苏省内最高水平, 高水头的船闸需面对更加复杂的工作条件, 在非恒定高速水流的作用下, 阀门启闭时水流急变

分离, 输水廊道压力变化显著, 闸室内部易出现不良流态, 也影响了船闸运行的效率, 输水系统阀门运行方式的确定需在确保船闸输水系统自身运行和船舶过闸安全的前提下, 满足设计输水时间要求, 并尽可能提高船闸的运行效率, 因此船闸的运行安全和效率是北船闸建设中需解决的关键技术问题, 为确保北船闸安全高效运行, 本文通过物理模型试验开展滨海枢纽北船闸集中式输水系统的水力特性研究, 以期能为船闸的安全可靠运行提供技术参考。

## 1 工程概况

滨海枢纽北船闸位于江苏省盐城市, 是沟通入海水道与通榆河间通航永久性建筑物, 船闸级别为 II 级, 最大过闸船舶吨位为 2000 吨级, 该船闸基本尺度为 230 m×23 m×5 m(长×宽×最小门槛水深), 工作闸门采用平转式三角闸门, 输水系统采用短廊道集中式输水系统, 上闸首廊道出口设置格栅消能室, 下闸首采用反向布置并充分利用门库进行消能, 短廊道进出口均设置消力槛。船闸的 BIM 模型见图 1。

收稿日期: 2024-03-25 修回日期: 2024-08-23 网络出版时间: 2024-09-26

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20240925.1423.006>

基金项目: 江苏省高校自然科学研究重大项目(20KJA570001); 江苏省水利科技项目(2020029)

作者简介: 王铁力(1985—), 男, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 主要从事通航建筑物设计及研究。E-mail: 451096828@qq.com

通信作者: 杨帆(1985—), 男, 江苏宿迁人, 教授, 博士, 主要从事泵站工程理论与教学工作。E-mail: fanyang@yzu.edu.cn

北船闸主要水位见表 1, 其承受双向水头, 正向最大水位差为 7.19 m, 反向最大水位差为 1.91 m。北船闸在运行水位不小于 5.99 m 时, 设计输水时间控制在 9~12 min; 运行水头低于 5.99 m 时, 设计输水时间控制在 6~8 min。

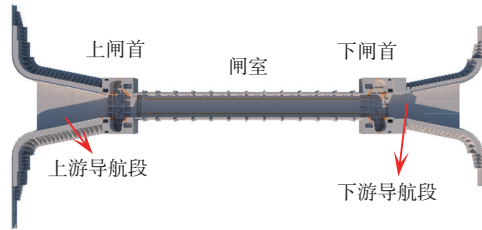


图 1 北船闸三维 BIM 模型

Fig. 1 BIM model of ship lock

表 1 北船闸设计主要水位

Tab. 1 Design main water level of North Ship Lock 单位: m

类别	上游(入海水道侧)	下游(通榆河侧)
最高通航水位	6.99	2.41
最低通航水位	0.50	-0.20
常水位	1.00	1.00
		-0.20

## 2 模型试验

物理模型试验参照《水运工程模拟试验技术规范(JTS/T 231—2021)》的重力相似准则, 建立滨海枢纽北船闸 1:30 的水工整体模型, 则重量及力的比尺为 27000, 流速及时间比尺为 5.48, 流量比尺为 4929.5。借鉴文献 [24-26] 中船闸物理模型的材料及加工制作方法, 该船闸的闸室边墙、输水廊道及上下游进出口段均采用聚乙烯塑料板。船闸输水系统物理模型见图 2, 物理模型试验的范围包括上闸首、下闸首、闸室及上下游闸首的导航段。上下游水位通过溢流式电动平水槽进行控制, 输水阀门采用可无级调速的步进电机驱动启闭机控制, 闸室充泄水曲线和阀门后廊道非恒定流压力均采用电阻式点压力传感器测定, 试验测量数据通过计算机系统采集和处理。输水水力特性模型试验主要考虑北船闸运行正向最大水头、常水头和反向最大水头对应水位组合工况, 其中, 正向和反向最大水头工况为船闸输水时间、输水最大流量、引航道水流条件、廊道压力特性的控制工况, 正向常水头工况为船闸在常遇水位组合时的运行工况。正向最大

水头、正向常水头和反向最大水头对应水位组合工况均分别对阀门双边匀速连续开启的运行方式进行试验, 试验工况见表 1。试验内容主要包括: 充水和泄水时阀门不同开启时间的闸室水位变化过程线、流量变化过程线、闸室的充泄水时间、输水廊道的压力特性和闸室船舶停泊条件等物理参数的测定和分析。



(a) 上闸首

(b) 下闸首



(c) 船闸整体

图 2 船闸输水系统物理模型

Fig. 2 Physical model of water conveyance system of ship lock

## 3 结果与分析

### 3.1 不同水头工况时水力特性曲线

在正向最大水头 7.19 m 工况, 双边阀门不同开启时间闸室水位和输水流量随时间的变化趋势基本相同。图 3 给出了双边阀门开启 7 min 时闸室充水和泄水时闸室水位与输水流量的变化曲线: 在充水条件下, 随着双边阀门的开启, 闸室水位随着时间先快速增长后呈水平波动状态, 而输水流量随阀门开启时间呈先增加后减小至平稳波动状态, 闸室水位随着时间快速增长后呈水平波动状态, 而输水流量随阀门开启时间呈先增加后减小至平稳波动状态; 在泄水条件下, 随着双边阀门的开启, 闸室水位随着时间先快速下降后呈水平波动状态, 而输水流量随阀门开启时间呈先增加后减小至平稳波动状态。当双边阀门开启闸室充水时, 上闸首充水阀门采用 6~9 min 开启, 闸室充水时间为 11.04~12.42 min, 充水最大流量为 120.00~100.23 m<sup>3</sup>/s, 闸室断面最大平均流速为 0.68~0.55 m/s, 闸室水面最大上升速度为 3.00~2.58 cm/s, 闸室横断面最大比能为 38.75~31.20 kW/m<sup>2</sup>。当双边阀门开启闸室泄水时, 下闸首泄水阀门采用 6~9 min 开启, 闸室泄

水时间为 10.30~11.86 min,泄水最大流量为 126.72 ~ 103.27 m<sup>3</sup>/s,闸室水面最大下降速度为 3.18~2.62 cm/s。在正向最大水头 7.19 m 时,充、泄水阀门双边匀速连续开启时间在 6~9 min 时,输水时间满足设计要求,考虑到物理模型存在一定缩尺效应,原型输水时间会更快;充水阀门 9 min 开启时,闸室原型输水时间应在设计要求的 12 min 内,其他水力指标也均满足文献 [27] 的要求。根据文献 [27],集中式输水系统消能段后宜设镇静段,依据模型试验可得不同阀门开启时间运行方式时闸室横断面最大比能为 38.75 kW/m<sup>2</sup>,镇静段长度为 3.88~11.63 m,北船闸上闸首格栅消能室外已设置的 5.0 m 镇静段满足文献 [27] 要求,布置合理。

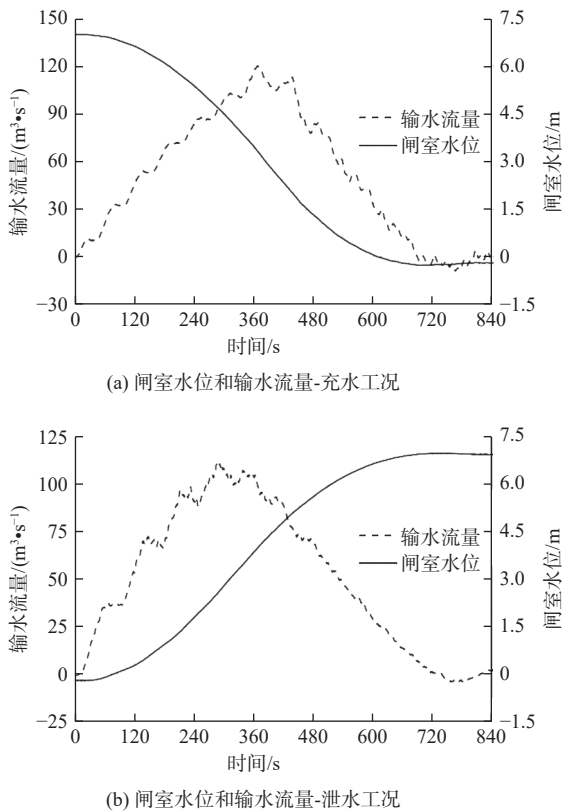


图3 双边阀门开启 7 min 时闸室水力特性曲线 (正向最大水头时)

Fig. 3 The hydraulic characteristic curve of the lock chamber when the bilateral valve is opened for 7 min (at forward maximum water head)

在正向常水头 1.20 m 工况,双边阀门开启闸室充水时,上闸首充水阀门采用 5~8 min 开启,闸室充水时间为 5.49~6.82 min,充水最大流量为 36.30~29.05 m<sup>3</sup>/s,闸室断面最大平均流速为 0.28~0.22 m/s,闸室水面最大上升速度 0.87~0.70 cm/s,闸室横断面最大比能为 2.32~1.84 kW/m<sup>2</sup>。双边阀门开启闸室泄水时,下闸首泄水阀门采用 5~8 min 开启,闸

室泄水时间为 5.42~6.91 min,泄水最大流量为 34.18~26.13 m<sup>3</sup>/s,闸室水面最大下降速度为 0.83~0.67 cm/s。相比正向最大水头工况时,正向常水头工况,船闸运行水头减小了 5.99 m,在相同阀门开启方式下输水系统的各项水力指标相比正向最大水头工况均明显减小,在正向常水头时输水系统的各项水力指标均满足文献 [27] 和设计要求。在充泄水时双边阀门不同开启时间时闸室输水的水力特征值见图 4。

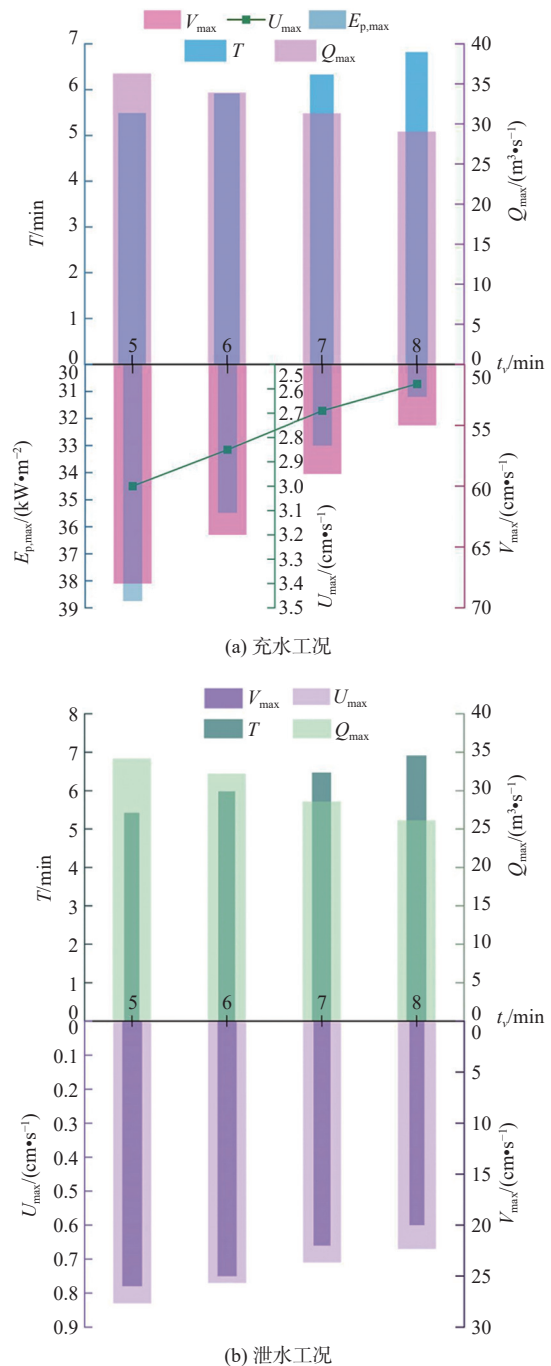


图4 不同阀门开启时间时正向常水位闸室输水水力特征值  
Fig. 4 Hydraulic characteristic values of forward normal water level lock chamber water conveyance under different valve opening times



图 4 中:  $t_v$  是阀门开启时间;  $T$  为闸室输水时间;  $Q_{\max}$  为输水最大流量;  $E_{p,\max}$  是闸室横断面的最大比能;  $U_{\max}$  是闸室水面最大上升(下降)速度;  $V_{\max}$  是闸室断面最大平均流速。随着双边阀门开启时间的增大, 充泄水最大流量、闸室内水面升降速度、闸室断面最大平均流速及闸室内最大比能均逐渐减小, 仅充泄水时间逐渐增大。在充水条件时双边阀门开启 5 min 时闸室比能最大值为  $2.32 \text{ kW/m}^2$ , 是双边阀门开启 8 min 时的 1.26 倍。

不同运行水头时充水及泄水时间、流量与阀门开启时间的关系见图 4。在反向最大水头 1.91 m 工况, 双边阀门开启闸室充水时, 上闸首充水阀门采用 5~8 min 开启, 闸室充水时间为 6.14~7.44 min 之间, 充水最大流量为  $49.54 \sim 42.22 \text{ m}^3/\text{s}$ , 闸室断面最大平均流速为  $0.35 \sim 0.27 \text{ m/s}$ , 闸室水面最大上升速度  $1.26 \sim 1.05 \text{ cm/s}$ , 闸室横断面最大比能为  $7.13 \sim 3.39 \text{ kW/m}^2$ 。当双边阀门开启闸室泄水时, 下闸首泄水阀门采用 5~8 min 开启, 闸室泄水时间为 6.18~7.18 min, 泄水最大流量为  $48.39 \sim 37.41 \text{ m}^3/\text{s}$ , 闸室水面最大下降速度为  $1.22 \sim 0.93 \text{ cm/s}$ 。相比正向最大水头工况时, 反向最大水头 1.91 m 工况, 船闸运行水头减小了 5.28 m, 且闸室初始水深较正向最大水头工况增加了 0.70 m, 在相同阀门开启方式下输水系统的各项水力指标相比正向最大水头工况也均明显减小。

不同运行水头时闸室充泄水时间、输水流量与阀门开启时间的关系见图 5。结合上述试验成果可知, 北船闸在不同水头工况充、泄水运行, 闸室输水时间、闸室最大断面平均流速、闸室水面升降速度等与输水水力特性相关的各项特征指标均可满足参考文献 [27] 的要求, 船闸输水时间基本满足设计要求, 输水系统整体布置和主要尺寸设计合理。

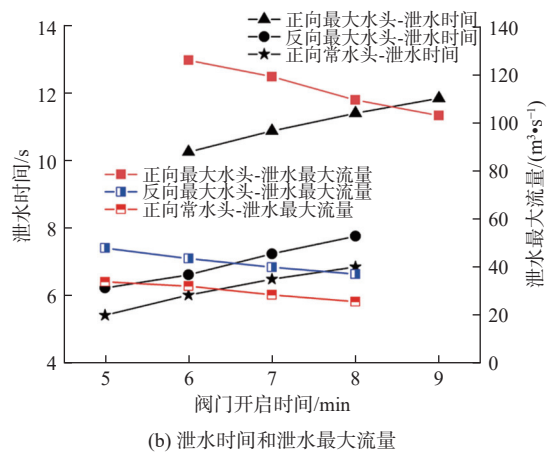
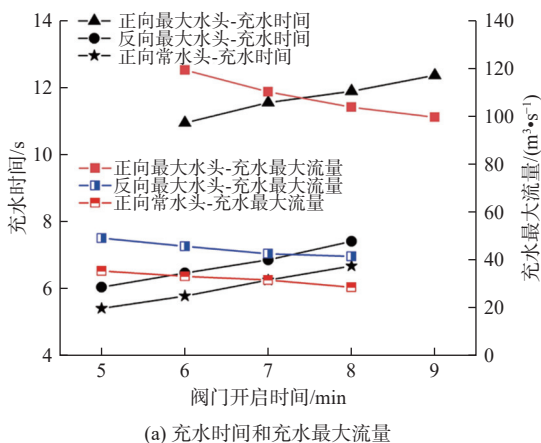


图 5 双边阀门开启时充泄水时间与最大流量关系曲线  
Fig. 5 The relationship curve between the filling and discharging time and the maximum flow rate when the bilateral valve is opened

### 3.2 不同水头工况时闸室流态

不同水头工况时, 闸室水位均升降平稳, 表面平静, 闸室无漩涡、泡漩等不利水流流态。在正向最大水头工况充水时, 闸室初始水深最小, 充水阀门双边匀速连续开启的时间为 7 min 时, 闸室内水流流态见图 6(a), 闸室流态整体较佳; 在正向常水头工况时, 船闸运行水头减小 5.99 m, 输水流量较低, 闸室水流条件更佳, 见图 6(b); 在反向最大水头工况时, 闸室初始水深较正向最大水头工况增加了 0.70 m, 输水流量则明显降低, 闸室水流流态也较佳, 见图 6(c)。

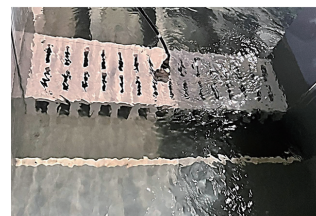


图 6 闸室水流流态

Fig. 6 Flow patterns in lock chamber

### 3.3 输水廊道压力特性

为分析不同水头工况时输水短廊道的压力变化,在上下闸首的短廊道顶部共布置了8个压力监测点,监测点位置见图7,通过压力传感器测定不同水头工况时阀门开启过程输水廊道顶部的非恒定压力变化。

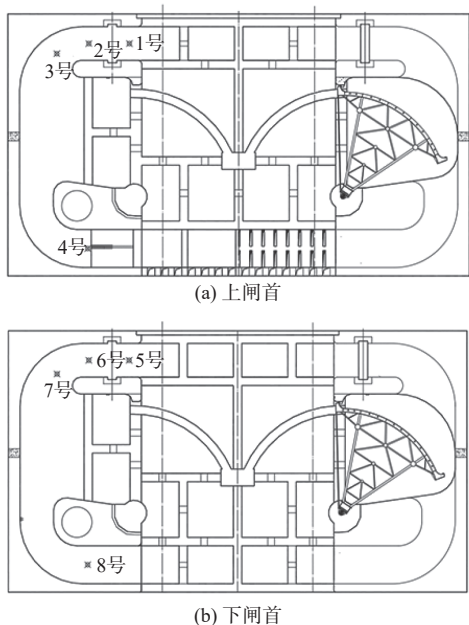
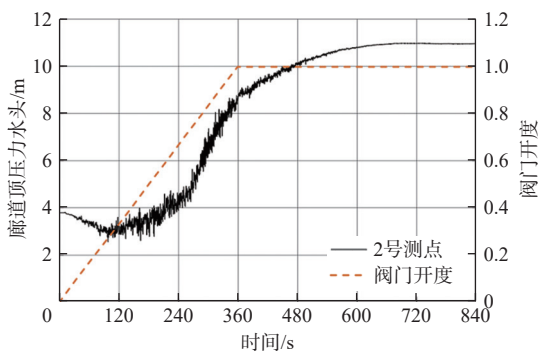


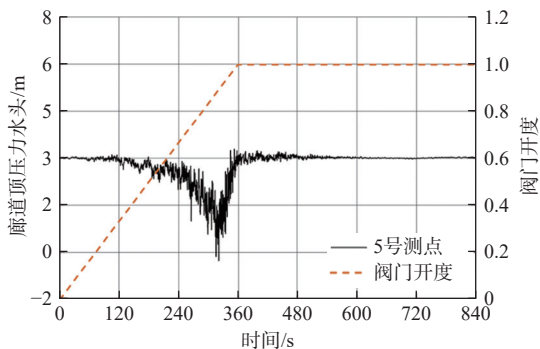
图7 闸首短廊道压力监测点位置

Fig. 7 Schematic diagram of the location of pressure monitoring points in the short corridor of the lock head

在正向最大水头工况时,上下闸首廊道各监测点的最小瞬时压力见图8。上闸首阀门6~9 min 双边连续开启充水时,上闸首输水廊道顶部最低瞬时压力为2.57 m 水柱,对应2号监测点,此时阀门开启时间为6 min。在下闸首阀门6~9 min 双边连续开启泄水时,下闸首输水廊道顶部最低瞬时压力为-0.26 m 水柱,对应5号监测点,此时阀门开启时间为6 min。在正向常水头和反向最大水头工况时,上闸首及下闸首阀门5~8 min 双边连续开启,输水廊道顶部均未出现负压,满足文献[27]要求。



(a) 上闸首2号监测点压力水头-充水



(b) 下闸首5号监测点压力水头-泄水

图8 闸首短廊道最小瞬时压力变化(正向最大水头工况)

Fig. 8 Diagram of minimum instantaneous pressure variation in the short corridor of the lock head (forward maximum water head condition)

因船闸正常运转时输水系统各部位不宜出现负压,故建议泄水阀门采用7 min 双边匀速连续开启方式,在该运行方式下,输水廊道顶部最低瞬时压力为0.18 m 水柱。

### 3.4 闸室船舶停泊条件

船闸输水过程中闸室内船舶停泊条件主要受充水工况控制。正向最大设计水头工况,闸室输水体积最大,伴随而来的水流能量最为显著,对闸室消能效果要求最高。因此闸室船舶停泊条件试验工况主要按正向最大水头(船舶在闸室中受力最大的条件)考虑,同时对常水头(船闸常运行条件)和正向5.99 m 水头工况设计船舶停泊条件进行复核算证,以进一步确定阀门合理开启时间。北船闸设计最大过闸船舶吨级为2000 吨级,设计船舶主要指120~150 TEU 集装箱船单船和1顶2×2000 t 顶推船队,设计船舶尺度见表2。

表2 北船闸设计代表船型

Tab. 2 Design representative vessels of North Ship Lock 单位: m

船型	总长	型宽	吃水
集装箱船	120-150TEU	88	15.8
顶推船	1顶2×2000 t	182	16.2

充水阀门双边开启,不同开启时间闸室内船队系缆力见表3。充水阀门在7和8 min 双边匀速连续开启,设计船队最大纵向系缆力超过规范允许限值,分别达49.17 kN 和44.11 kN。由此建议正向最大水头工况,充水阀门9 min 开启,以确保船舶停泊安全,在此条件下,设计船队最大纵、横向系缆力分别为36.61 kN 和11.39 kN,满足文献[27]要求。对于船闸其他运行水头,则建议充水阀门7 min 双边连续开启,对应闸室停泊船舶系缆力满足文献[27]要求。

表 3 闸室停泊船舶最大系缆力

运行工况	阀门开启时间/min	纵向系缆力/kN	横向系缆力/kN
正向最大水头	7	35.90 / 49.17	12.36 / 15.33
	8	29.23 / 44.11	11.45 / 13.00
	9	28.27 / 36.61	9.79 / 11.39
正向常水头	7	15.92 / 21.59	1.87 / 1.88
正向 5.99 m 水头	7	14.75 / 36.17	7.93 / 9.66

注:纵、横向系缆力“/”前数值为集装箱船单船系缆力最大值、“/”后数值为顶推船队系缆力最大值;2000 t 船舶(队)纵向力允许值为 40 kN,横向力允许值为 20 kN。

## 4 结论

滨海枢纽北船闸经 1:30 水工模型试验结果分析表明,该船闸所采用的短廊道集中输水系统整体布置设计合理。综合考虑船闸输水水力特性、船舶停泊条件特性及引航道水流条件等,推荐北船闸运行输水阀门运行方式为:

在运行水头不大于 5.99 m 时,充水阀门双边匀速连续开启的时间为 7 min;在运行水头大于 5.99 m 时,充水阀门双边匀速连续开启的时间为 9 min。

在各运行水位组合,泄水阀门双边匀速连续开启的时间均为 7 min。

在推荐的阀门运行方式下,船闸输水水力特性、输水廊道压力特性和船舶停泊条件等均满足规范和设计要求。

### 参考文献:

- [1] 韩莹莹, 刘海民, 张丽媛, 等. 某枢纽省水船闸输水系统水力学模型试验 [J]. *水运工程*, 2023(3): 121-126. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20230306.024.
- [2] 李君, 郭超, 金英, 等. 赣江万安二线船闸输水系统水力学模型试验研究 [J]. *水运工程*, 2021(2): 7-11. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20210125.033.
- [3] 刘本芹, 杨锦, 黄岳, 等. 山区省水船闸输水系统水力学研究 [J]. *水运工程*, 2023(6): 114-119. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20230605.031.
- [4] 阚延炬, 李君, 宣国祥, 等. 蜀山泵站枢纽船闸输水系统水力学模型试验 [J]. *水运工程*, 2017(9): 126-130. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.2017.09.025.
- [5] 袁浩, 邹翼遥, 林晶晶. 闸墙长廊道侧支孔船闸阀门运行方式优化试验研究 [J]. *水运工程*, 2024(2): 101-106. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.202400

29.008.

- [6] 杨忠超, 杨斌, 陈明栋, 等. 高水头船闸阀门开启过程水力特性仿真研究 [J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2009, 28(4): 758-762. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0696.2009.04.29.
- [7] 陈亮, 孙倩, 徐启航, 等. 船闸顶扩廊道阀门段水力特性模拟研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2023(6): 274-279. DOI: 10.12396/znsd.221323.
- [8] 王新, 胡亚安, 严秀俊, 等. 高水头船闸阀门顶缝空化切片试验研究 [J]. *水利水运工程学报*, 2017(4): 14-19. DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640x.2017.04.003.
- [9] 陈明栋, 杨忠超, 杨斌. 乌江银盘船闸输水系统选型研究 [J]. *重庆建筑大学学报*, 2006, 28(5): 30-34. DOI: 10.3969/j.issn.1002-4972.2008.12.025.
- [10] 陈亮, 金莹, 孙倩, 等. 沫水船闸短廊道输水系统布置及试验研究 [J]. *水运工程*, 2020(1): 57-62. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20191227.006.
- [11] 孙倩, 陈亮, 王召兵, 等. 船闸单侧闸墙廊道输水系统布置及试验研究 [J]. *人民长江*, 2019, 50(12): 182-186. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2019.12.033.
- [12] 罗慧婧, 严秀俊, 李中华. 贵港二线船闸输水系统水力特性原型观测 [J]. *水利水运工程学报*, 2022(4): 55-61. DOI: 10.12170/20220107001.
- [13] 杜军, 罗少桢. 万安枢纽二线船闸输水系统阀门后廊道选型 [J]. *水运工程*, 2021(10): 276-280. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20210924.001.
- [14] 李中华, 宣国祥. 基于多因素的船闸输水系统选型方法 [J]. *水运工程*, 2020(10): 1-6. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20200927.030.
- [15] 陈明, 马鑫林, 段黎明, 等. 消力槛对船闸闸室单明沟消能特性的影响研究 [J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2023, 42(6): 76-83.
- [16] 沈立群, 刘浩源, 聂艺博, 等. 船闸闸墙长廊道侧支孔输水系统闸室内消力槛研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2020(12): 217-223. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2020.12.041.
- [17] 李君, 洪娟, 李中华. 设置消能竖井的船闸输水系统水力计算数学模型 [J]. *水利水运工程学报*, 2010(2): 73-78. DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640x.2010.02.002.
- [18] 段黎明. 船闸输水系统单明沟与消力槛协同消能特性研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2020. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2020.000103.
- [19] SHIN H K, KIM M S, NOH C M, et al. Model test and numerical simulation of the behaviour of dock-gate in waves [J]. *Journal of the Society of Naval Ar-*



- chitects of Korea, 2008, 45(6): 611-619. DOI: 10.3744/snak.2008.45.6.611.
- [20] ZOU K M, YANG X A, LI J. Layout and hydraulics model experiments of filling and emptying system of shiplock structure with chamber wall's long culvert and short side orifice outlet[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 639-640: 745-751. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.639-640.745.
- [21] 陈明, 段黎明, 王多银, 等. 融江麻石船闸改扩建工程下引航道通航水流条件模型试验 [J]. *水运工程*, 2020(7): 175-180. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20200706.030.
- [22] MORGUNOV K P, RYABOV G, BUCHNEV I. Determination of the optimal modes of filling and emptying the chamber of the navigational lock of a low-pressure hydroelectric complex[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 2061(1): 012136. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012136.
- [23] FARINHA A, SOUSA L, REIS L. Evaluating lock gates' strength due to ship collisions: A Douro waterway lock gates case study[J]. *Marine Structures*, 2018, 60: 261-278. DOI: 10.1016/j.marstruc.2018.04.008.
- [24] 南京水利科学研究所. 灵璧船闸输水系统物理模型试验 [R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2018.
- [25] 南京水利科学研究所. 江西省信江界牌枢纽船闸改造工程船闸输水系统布置及水力计算 [R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2018.
- [26] 南京水利科学研究所. 合裕线裕溪一线船闸扩容改造工程初步设计阶段输水系统水力学模型试验 [R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2019.
- [27] 中华人民共和国交通部. 船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

## Operation mode of valves in water conveyance system of North Ship Lock of Binhai hub

WANG Tieli<sup>1</sup>, CHEN Yingying<sup>2</sup>, JIN Xiaoyu<sup>3</sup>, MIU Shujie<sup>4</sup>, SHEN Hao<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>3</sup>

( 1. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd, Yangzhou 225127, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 4. Jiangdu Key Water Conservancy Project, Yangzhou 225007, China )

**Abstract:** The North Ship Lock of Binhai hub is a permanent structure for navigation between Huaihe River and Tongyu River with the ship lock level of grade II. The design of normal water level difference requires the water conveyance time to be 6 ~ 8 min. The design of high water level difference (5.99 m and 7.19 m head difference) requires the water conveyance time to be 9 ~ 12 min. The ship lock is subjected to two-way head action with the maximum forward water level difference of 7.19 m, and the maximum reverse water level difference of 1.91 m. To construct the ship lock the operation safety and water conveyance efficiency of the ship lock are the key technical problems to be solved. In order to ensure the safe and efficient operation along with providing technical references for the safe and reliable operation of the ship lock, the physical model test was used to study the hydraulic characteristics of the centralized water conveyance system of the North Ship Lock of the Binhai hub.

According to the provisions and requirements of the “Design Code for filling and Emptying Systems of Shiplocks (JTJ 306-2001)” and the “Technical Code of Modelling Test for Port and Waterway Engineering (JTS/T 231—2021)”, the weight and force scale of the original model was 27000, the flow velocity and time scale was 5.48, and the flow scale was 4 929.5. The overall physical model of the ship lock with a scale of 1 : 30 was established. The side wall of the lock chamber, the water conveyance corridor and the inlet and outlet sections of the upper and lower lock heads were all made of polyethylene plastic plates. Reservoirs were set up in both upstream and downstream, and 2.3 m×2.5 m horizontal grooves were arranged in the reservoir to stabilize the upstream and downstream water levels. The hydraulic characteristics of the water conveyance process of the lock, the flow pattern in the lock chamber, the pressure change characteristics at the top of the water conveyance corridor and bollard force for ships moored in lock chambers under different valve opening time were analyzed by experiments, and the rationality of the overall layout design of the water conveyance system was verified.

When the operating head was not greater than 5.99 m, the continuous opening time of the double-sided uniform

( 下转第 1213 页 )