



七星墩船闸输水系统布置及优化

杨 崧

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 七星墩船闸是北江上延工程武江航道的重要节点工程, 其有效尺度为 $190\text{ m}\times 23\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 门槛水深), 设计水头 7.5 m 。结合枢纽总体布置, 按照规范要求, 确定船闸采用闸墙长廊道侧支孔分散输水系统形式。输水系统模型试验表明, 原设计方案的船闸输水系统存在泄水阀门后廊道压力偏低、进水口可见持续的吸气型漩涡、出水口附近局部壅高等不良水力现象。综合研究船闸整体及输水系统布置形式, 并结合试验各项水力特性指标, 提出将船闸泄水阀门段降低、进水口格栅布置优化、出水口处消力槛调整等优化措施。优化后的船闸输水系统各输水水力特性指标均达到预期目标和要求。

关键词: 七星墩船闸; 输水系统; 布置形式; 优化

中图分类号: U641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0145-06

Layout and optimization of water conveyance system of Qixingdun ship lock

YAN Qin

(China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: Qixingdun ship lock is an important node project of Wujiang Channel of Beijiang upward extension project. Its effective scale is $190\text{ m}\times 23\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (length \times wide \times water depth of threshold), and its designed water head is 7.5 m . Combined with the general layout of the junction, according to the requirements of the code, the ship lock adopts the distributed water conveyance system with the side branch holes of the lock wall gallery. The model test of the water conveyance system shows that the water conveyance system of the ship lock in the original design scheme has some adverse hydraulic phenomena, such as the low pressure of the gallery behind the sluice valve, the continuous air-breathing vortex at the inlet, and the local high phenomenon near the outlet. Based on the comprehensive study of the layout of the whole ship lock and the water conveyance system, and combined with the hydraulic characteristics of the test, this paper proposes optimization measures such as lowering the sluice valve section of the ship lock, optimizing the layout of the inlet grid, and adjusting the baffle sill at the outlet. All the hydraulic characteristics of the optimized water conveyance system of the ship lock have reached the expected goals and requirements.

Keywords: Qixingdun ship lock; water conveyance system; layout; optimization

1 工程概况

北江上延工程武江航道承上启下、区位独特, 七星墩水电站位于乳源县境内武江干流上, 是目前武江上的第 5 座梯级, 于 2003 年建成, 位于长安电站下游约 8 km 。枢纽以发电为主, 水库正常

蓄水位 75.82 m (1985 年国家高程基准), 相应库容 830 万 m^3 , 电站为低水头径流式电站, 无防洪任务, 装机 3 台, 装机容量 1.17 万 kW , 多年平均发电量 $4\,678\text{ 万 kW}\cdot\text{h}$ 。枢纽从左到右为左岸土坝、连接段、8 孔 14 m 宽泄水闸、电站厂房、右

收稿日期: 2023-02-21

作者简介: 杨崧 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道及船闸工程设计。

岸土坝, 坝顶全长 574.57 m, 土坝为均质土坝。

七星墩船闸布置在左岸, 船闸等级为Ⅲ级^[1], 船闸闸室有效尺度为 190 m×23 m×4.5 m(有效长度×有效宽度×槛上水深)^[2], 设计代表船型为 1 000 吨级货船。船闸设计水头为 7.50 m。

2 输水系统形式及布置

根据计算并结合类似船闸工程, 本船闸输水系统采用闸墙长廊道侧支孔分散输水系统^[3], 输水系统各部位特征尺寸^[4]见表 1, 输水系统布置见图 1。

表 1 七星墩船闸闸墙长廊道侧支孔输水系统特征尺寸

部位	特征	面积/m ²	与输水阀门面积比
充水阀门段廊道	阀门底高程 62.32 m, 顶高程 65.82 m, 阀门处廊道顶最小淹没水深 2.5 m	21.0	1.00
进水口(顶面进水)	上闸首闸墙内横向廊道顶部对称布置 36 个进水孔, 进水口顶高程 67.82 m, 最小淹没水深 5.5 m	61.2	2.91
充水阀门后连接段廊道	充水阀门后廊道通过垂直转弯和水平转弯调整廊道高度和宽度, 与闸墙主廊道连接	—	—
闸墙主廊道	闸墙廊道顶高程 67.12 m, 最小淹没水深 1.2 m。	25.84	1.23
出水支孔	自上游向下游分 3 组, 每组 8 孔, 孔口尺寸分别为 0.68 m×0.85 m、0.62 m×0.85 m、0.56 m×0.85 m; 支孔间隔 5.8 m, 出水段廊道总长 139.2 m, 占闸室有效长度的 73.3%	25.296	1.20
闸室消能工	闸室内距离两侧闸墙边 1.0 m 处各设一道消力槛, 槛高及槛宽均为 0.5 m	—	—
泄水阀门前连接段廊道	闸墙主廊道通过水平转弯和垂直转弯调整廊道宽度和高度, 与泄水阀门段廊道连接	—	—
泄水阀门段廊道	阀门底高程 62.32 m, 顶高程 65.82 m, 阀门处廊道顶最小淹没水深 2.5 m	21.0	1.00
泄水廊道出口	泄水廊道出口净宽放大为阀门处廊道宽度的 2 倍, 并设中间导墙, 导墙首末端宽度分别为 0.20 m 和 0.50 m	42.0	2.00
泄水口消能工	泄水口外侧设置 3 道不对称的消力槛, 槛高 0.5 m; 下游引航道内沿宽度方向设置 2 道消力槛, 槛高 0.5 m, 槛净间距 10.0 m	—	—

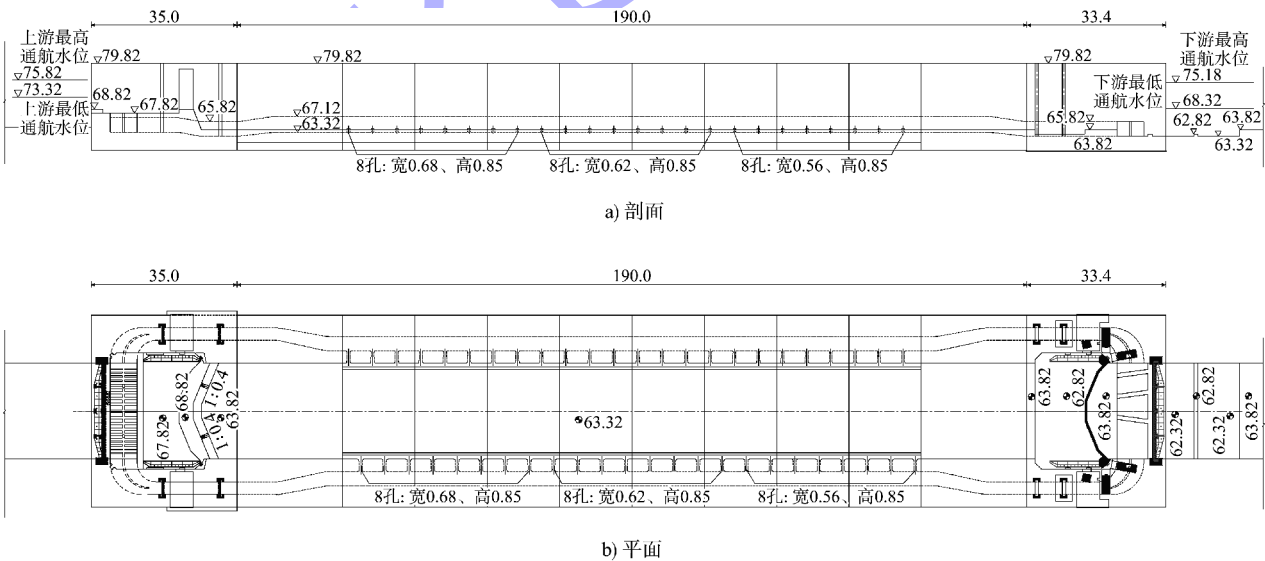


图 1 七星墩船闸闸墙长廊道侧支孔输水系统布置 (单位: m)

3 水力学模型试验

针对最大水头差 7.5 m 工况(水位组合: 68.32~75.82 m)对设计方案进行试验研究^[5], 通过测

定并计算闸室输水水力特性、闸室船舶停泊条件、输水系统流量系数、压力特性及进出口水流条件后, 发现原设计方案存在泄水阀门后

廊道压力偏低、进水口可见持续地吸气型漩涡、出水口附近局部壅高现象等不良水力现象等 3 方面问题。

3.1 输水廊道压力特性

为了解输水廊道典型部位非恒定流和恒定流压力特性，利用水压力传感器检测输水阀门段廊道顶部输水过程非恒定流压力特性和阀门不同开度恒定流条件下廊道顶部压力特性，测点高程见表 2，测点布置见图 2。

表 2 输水廊道压力测点高程

测点编号	高程/m	测点编号	高程/m
1	66.82	10	67.12
2	65.82	11	67.12
3	65.82	12	67.12
4	65.82	13	65.82
5	66.08	14	65.82
6	66.52	15	65.82
7	66.97	16	65.82
8	67.12	17	65.82
9	67.12		

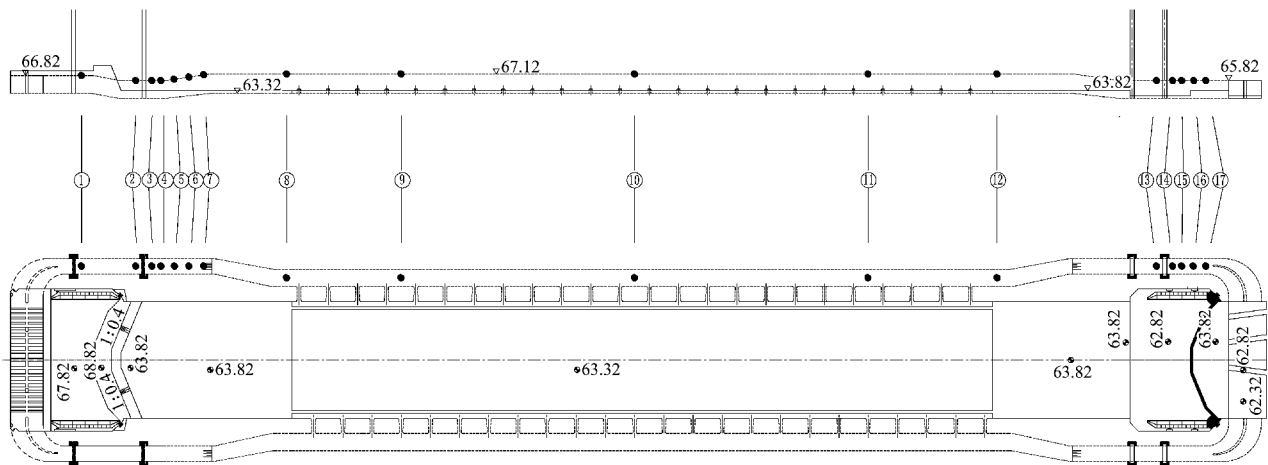
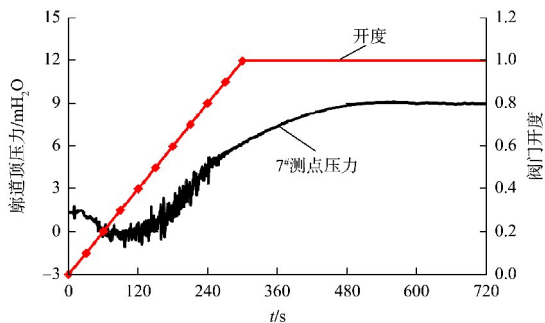


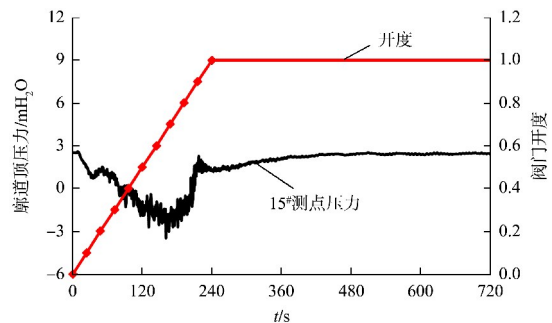
图 2 输水廊道压力测点布置 (单位: m)

充、泄水阀门段廊道非恒定流压力见图 3，恒定流闸室充水、泄廊道顶时均压力见表 3。如图 3a) 所示，最大设计水头工况下，非恒定流充水阀门双边开启时 ($t_v = 5 \text{ min}$) 最低平均和瞬时压力分别为 -0.04 、 $-0.87 \text{ m H}_2\text{O}$ (7#测点)；泄水阀门双边开启时 ($t_v = 4 \text{ min}$) 最低平均和瞬时压力分别为 -2.17 、 $-2.86 \text{ m H}_2\text{O}$ (15#测点)。如图 3b) 所

示，最大设计水头工况下，恒定流充水阀门双边连续开启时 ($t_v = 5 \text{ min}$)，阀门后廊道段在开度 $n=0.2$ 时出现最低压力，时均值为 $-0.51 \text{ m H}_2\text{O}$ (7#测点)；泄水阀门双边连续开启时 ($t_v = 4 \text{ min}$)，阀门后廊道段在开度 $n=0.6$ 时出现最低压力，时均值为 $-2.53 \text{ m H}_2\text{O}$ (15#测点)。



a) 充水阀门段



b) 泄水阀门段

图 3 充、泄水阀门段廊道非恒定流压力

表 3 恒定流闸室充、泄水廊道顶时均压力

时段	测点 编号	时均压力/ $\text{m H}_2\text{O}$				
		$n=0.2$	$n=0.4$	$n=0.6$	$n=0.8$	$n=1.0$
充水	1	8.73	7.95	6.87	6.36	7.07
	2	10.29	10.27	9.43	10.02	9.96
	3	1.21	0.80	1.74	4.10	7.83
	4	1.28	0.87	1.78	4.25	7.69
	5	0.92	0.49	1.69	5.23	7.56
	6	0.35	0.11	1.81	5.36	7.19
	7	-0.51	-0.06	2.09	4.78	6.40
	8	0.45	2.00	3.29	5.01	6.67
	9	1.60	2.48	3.90	5.56	7.00
	10	1.60	2.62	4.17	5.84	7.19
	11	1.61	2.66	4.32	6.02	7.30
	12	1.61	2.68	4.35	6.05	7.33
泄水	8	8.54	8.17	7.70	5.21	4.26
	9	8.33	7.49	6.35	4.93	3.73
	10	8.26	7.32	6.02	4.49	3.30
	11	8.18	7.00	5.37	3.56	2.44
	12	8.11	6.68	4.67	2.53	1.47
	13	9.54	8.01	5.74	3.11	1.87
	14	1.43	0.44	-0.43	-0.36	1.70
	15	0.70	-0.99	-2.53	-1.41	1.28
	16	1.16	-0.26	-0.70	1.34	1.06
	17	1.18	0.36	0.79	2.14	2.04

由上述试验成果可知, 双边阀门连续开启充、泄水时的廊道压力虽均满足规范要求(不小于 -3.0 m), 但对于中低水头船闸略显偏低, 为进一步优化泄水阀门后廊道压力条件, 将船闸泄水阀门段降低 1 m , 相应阀门后廊道初始淹没水深由 2.5 m 增加至 3.5 m 。

通过物理模型实测了最大设计水头工况、非恒定流条件下的泄水阀门后廊道顶压力水柱, 见图 4。由图可知, 泄水阀门双边开启时($t_v=4\text{ min}$)最低平均和瞬时压力分别为 -0.91 、 $-0.93\text{ m H}_2\text{O}$ (15#测点)。泄水阀门降低 1 m 后, 泄水阀门段后廊道压力得到一定程度改善。

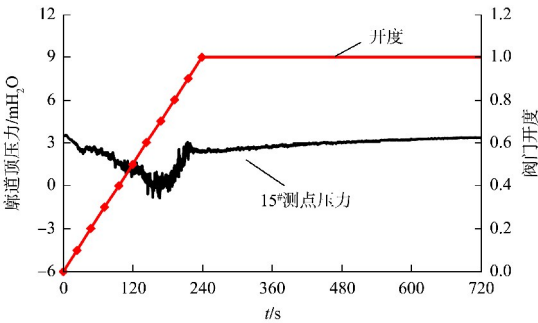


图 4 泄水阀门段降低 1 m 后廊道顶压力

3.2 水流条件

3.2.1 进口水流条件

在原进水口布置条件、最大水头工况下(水位组合: $68.32\sim75.82\text{ m}$), 充水阀门双边开启时($t_v=5\text{ min}$), 双边充水最大流量为 $133.59\text{ m}^3/\text{s}$, 进水口水流条件较好, 充水时进水口可见短历时的表面漩涡, 未见持续的吸气型漩涡等不良水力现象。

最低通航水位工况下(水位组合: $68.32\sim73.32\text{ m}$), 充水阀门双边开启时($t_v=5\text{ min}$), 双边充水最大流量为 $99.56\text{ m}^3/\text{s}$, 进水口最大平均流速为 1.26 m/s , 进水口可见持续的吸气型漩涡等不良水力现象(图 5), 需对进水口进一步优化。



图 5 充水阀门双边开启时进水口附近流态

优化措施：在原布置基础上，将两侧进水口间的隔墩延长并相连，使得格栅板下沿水流方向横向布置两行独立的廊道。经过反复试验验证，将左右两侧各 8 根支孔中间增加横向格栅（图 6）以阻断边墙侧进水口漩涡的移动路径，防止形成连续性的串心漩涡。经上述布置修改后，引航道边墙两侧进水口附近可见零星分散的小型表面漩涡，未形成持续性的大型吸气漩涡（图 7），满足规范要求。

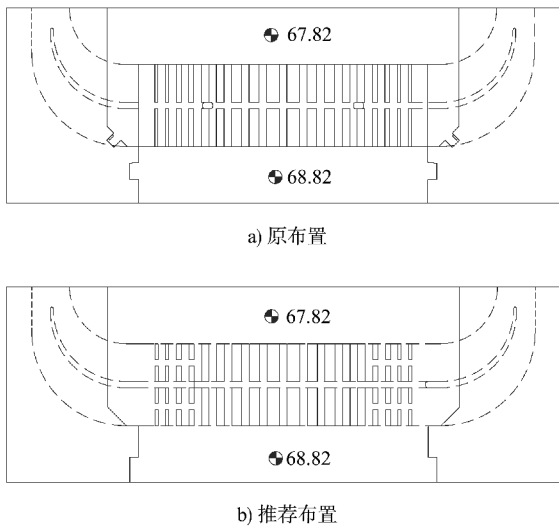


图 6 进水口格栅布置调整（单位：m）



图 7 推荐布置充水阀门双边开启时进水口水流状态

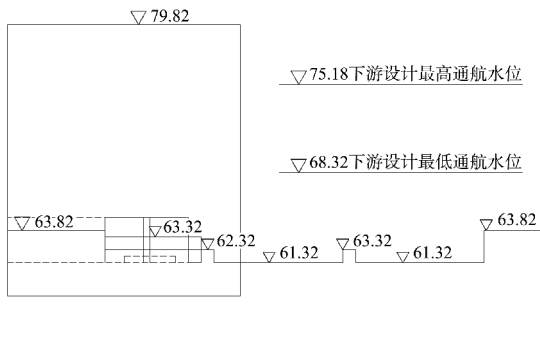
3.2.2 出口水流条件

船闸采用闸墙侧面泄水的方式，泄水口外侧设置 3 道不对称的消力槛，槛高 0.5 m；下游引航道内沿宽度方向设置 2 道消力槛，槛高 0.5 m，槛净间距 10.0 m。闸室双边泄水时，可见在闸墙泄水口处出现局部水面壅高（图 8）。



图 8 泄水阀门双边开启时出水口附近流态

为改善出水口附近局部壅高现象，将出水口外左右侧两道消力槛调整为与导航墙平行，将出水口外靠近闸墙侧 2 道消能槛高度增加至 1 m，并在消能槛上设置高 0.5 m 的透空部分，以利于出水口处水流从透空处流出至中间消能槛消能，一部分水流经过消能槛消能后继续流动至中间消能槛消能。中间 2 道消能槛高度增加至 2 m，下游引航道内沿宽度方向设置 1 道消力槛，槛高增加至 1.0 m（图 9）。



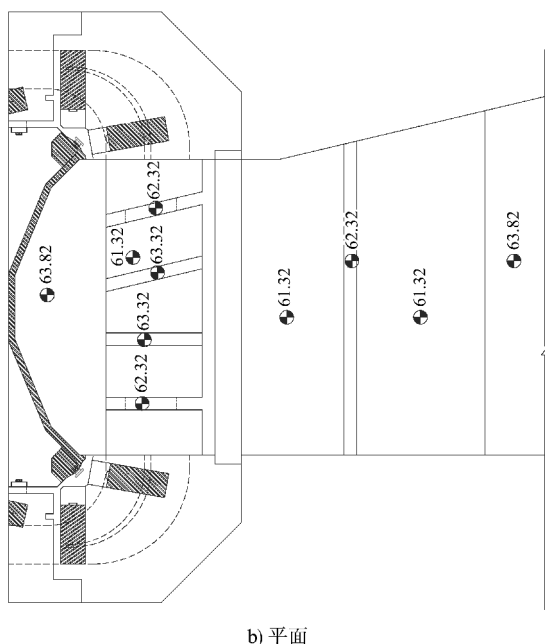


图9 船闸出水处消能槛推荐布置 (单位: m)

由船闸泄水工况模型试验可以看出,出水口消能槛高度增加后,出水口处的水流能量得到一定程度消减,局部水面壅高现象得到了改善,实测水面壅高仅为 0.5 m 左右,并随着泄水流量减小水面壅高值逐渐降低(图 10)。



图10 推荐布置泄水阀门双边开启时出水口附近流态

4 结语

1) 七星墩船闸整体物理模型试验结果分析表明,采用闸墙长廊道侧支孔分散输水系统整体布置设计合理。

2) 将船闸泄水阀门段降低 1 m,相应阀门后廊道初始淹没水深由 2.5 m 增加至 3.5 m。泄水阀门双边连续开启 ($t_v = 4 \text{ min}$) 测得的最低平均压力为 $-0.91 \text{ mH}_2\text{O}$,泄水时廊道压力得到一定程度改善。

3) 七星墩船闸在进水口推荐布置下,充水过程中进水口附近水面较为平稳,可见零星小型表面凹陷漩涡,未见吸气漩涡等不良水力现象;泄水出水口处消力槛经过优化后,出流较为均匀,未见明显的不良水力现象。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTS 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 华设设计集团股份有限公司. 北江航道扩能升级上延工程初步设计 七星墩船闸工程[R]. 南京: 华设设计集团股份有限公司, 2022.
- [3] 南京水利科学研究院, 天津水运工程科学研究所. 船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [4] 南京水利科学研究院. 北江航道扩能升级上延工程七星墩船闸输水系统布置和水力计算分析[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2022.
- [5] 南京水利科学研究院. 北江航道扩能升级上延工程七星墩船闸输水系统水力学模型试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2022.

(本文编辑 王传瑜)

欢迎投稿 欢迎订阅