



犍为船闸输水系统布置

徐 红, 吴礼国, 郝文宇

(四川省交通勘察设计院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 犍为船闸是岷江高等级航道的重要节点工程, 其有效尺度 $220\text{ m}\times 34\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 门槛水深), 设计水头 19 m 。结合枢纽总体布置, 按照规范要求, 研究确定犍为船闸采用闸墙长廊道、闸底横支廊道的分散输水系统形式, 并经水力学计算及模型试验验证。结果表明, 输水系统的布置和阀门开启方式合理, 闸室泊稳条件以及上下游进、出水口的水流条件良好, 满足船闸灌泄水时的水流条件及输水系统安全运转要求, 达到预期目标。

关键词: 犍为船闸; 输水系统; 布置形式

中图分类号: U 641.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)12-0028-05

Layout of filling and emptying system of Qianwei ship lock

XU Hong, WU Li-guo, HAO Wen-yu

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

Abstract: Qianwei ship lock is an important joint project of Minjiang high-grade waterway, and its effective scale is $220\text{ m}\times 34\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (length \times width \times water depth on sill), design head is 19 m . Combining with the general layout of the project and in accordance with the requirements of the specification, we determine the decentralized water conveyance system form of lock wall long corridor and branch corridor at the bottom of the lock in Qianwei ship lock, and verify by the hydraulic calculation and model test. The results show that the layout of the water conveyance system and the opening mode of the valves are reasonable. The berthing conditions of the lock chamber and the flow conditions of the upstream and downstream water inlets and outlets are good, which can meet the requirements of the flow conditions and the safe operation of the water conveyance system, and achieve the expected goal.

Keywords: Qianwei ship lock; filling and emptying system; layout form

岷江是长江上游的一级支流, 也是四川省唯一连接沿海地区的水上出海通道, 乐山—宜宾段渠化完成后, 航道等级提升到Ⅲ级, 可常年通行 1 000 吨级船舶, 丰水期可通行 2 000 吨级船舶, 可进一步提高成都中心枢纽物流集散的大件运输能力, 对综合利用水能资源、实现区域经济又好、又快发展具有重要意义。

1 工程概况

犍为航电枢纽工程位于四川犍为县境内, 是岷江乐山—宜宾段梯级规划的第 3 个梯级^[1]。工

程以航运为主、航电结合, 兼顾防洪、供水与灌溉等功能, 工程等别为二等, 工程规模为大(2)型。枢纽正常蓄水位 335.0 m , 电站装机容量 500 MW , 多年平均发电量 $23.13\text{ 亿 kW}\cdot\text{h}$ 。通航建筑物为Ⅲ级船闸, 闸室有效尺度 $220\text{ m}\times 34\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 门槛水深), 设计水头为 19 m , 通行 1 000 吨级船舶, 单向年过闸货运量 $1\,474.67\text{ 万 t}$ ^[2]。

2 输水系统形式及布置

2.1 输水系统形式选择

根据《船闸输水系统设计规范》^[3] (简称“规

收稿日期: 2021-05-28

作者简介: 徐红(1982—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计及研究。

范”), 判别系数 m 按下式计算:

$$m=\frac{t}{\sqrt{H}}$$

(1)

式中: t 为输水时间, 初拟定为 10~12 min; H 为设计水头, 取 19 m。经计算, m 为 2.29~2.75。鉴于犍为船闸闸室体量大、通航要求高, 结合以往工程经验采用第二类分散输水系统, 即闸墙长廊道、闸底横支廊道输水系统。

2.2 输水系统布置

2.2.1 阀门处主廊道断面面积的拟定

根据规范, 阀门处主廊道断面面积 ω 按下式

计算:

$$\omega=\frac{2C\sqrt{H}}{\mu t\sqrt{2g}\left[1-(1-\alpha)k_v\right]}$$

(2)

式中: C 为闸室水域面积, 取 8 194 m²; H 为设计水头, 取 19 m; μ 为阀门全开时输水系统的流量系数, 取 0.78; t 为闸室输水时间, 取 720 s; α 为与流量系数有关的参数, 取 0.436; k_v 为系数, 取 0.5。经计算, $\omega=33.6$ m²。

2.2.2 输水系统布置

输水系统各部位特征尺寸见表 1。输水系统布置见图 1。

表 1 犍为船闸输水系统特征尺寸

部位	面积/m ²	布置描述	与输水阀门面积比
灌水阀门段	33.6	阀门底高程 306.50 m, 顶高程 310.70 m, 最大水头时淹没水深 5.3 m	1.00
进口	180	导墙上垂直 6 支孔进口, 喉部及高度不变、宽度分级收缩	5.36
主廊道	40.0	灌水阀门后通过顶部渐扩将廊道高度抬高至 5 m, 再通过水平及垂直转弯与闸室出水廊道相连接	1.19
闸室出水段	进口 51.2 末端 19.2	分两个出水区域, 每个出水区域 8 根廊道, 每根廊道进口 3 面修圆, 上下区域廊道进口修圆半径沿灌水平水流方向分为 2.5、1.5 m, 横支廊道为复合式, 由相邻 2 根廊道组成, 共 8 组	进口 1.52 末端 0.57
闸室段出水支孔	61.44	每组横支廊道每侧设 8 个出水支孔, 支孔距离闸墙 3.0 m, 各支孔中心间距为 4.0 m, 支孔长为 1.6 m, 每个支孔进口两面修圆、出口三面修圆, 修圆半径 0.3 m	1.83
消能明沟	—	闸室内出水段出水孔外侧采用单明沟消能布置, 明沟宽 3.7 m, 深为 2.5 m。	—
泄水阀门段	33.6	通过垂直与水平两个方向的同时转弯与下闸首出水廊道相连, 之后通过顶部渐缩的方式将廊道由高 5.0 m 调为高 4.2 m, 并与泄水阀门相连, 阀门后廊道再采用顶部渐扩的方式将廊道高度由 4.2 m 调整至 5.0 m。泄水阀门底高程 305.5 m, 顶高程 309.7 m, 最大水头时淹没水深为 6.3 m	1.00
出水口	左侧 30.0 右侧 40.0	左侧泄水廊道采用旁侧泄水的方式, 右侧泄水廊道则将出水口面积放大一倍, 并设中间导墙	2.08
格栅消能室	100.0	采用顶支孔出水形式, 消能室内设不对称挑流坎	2.98

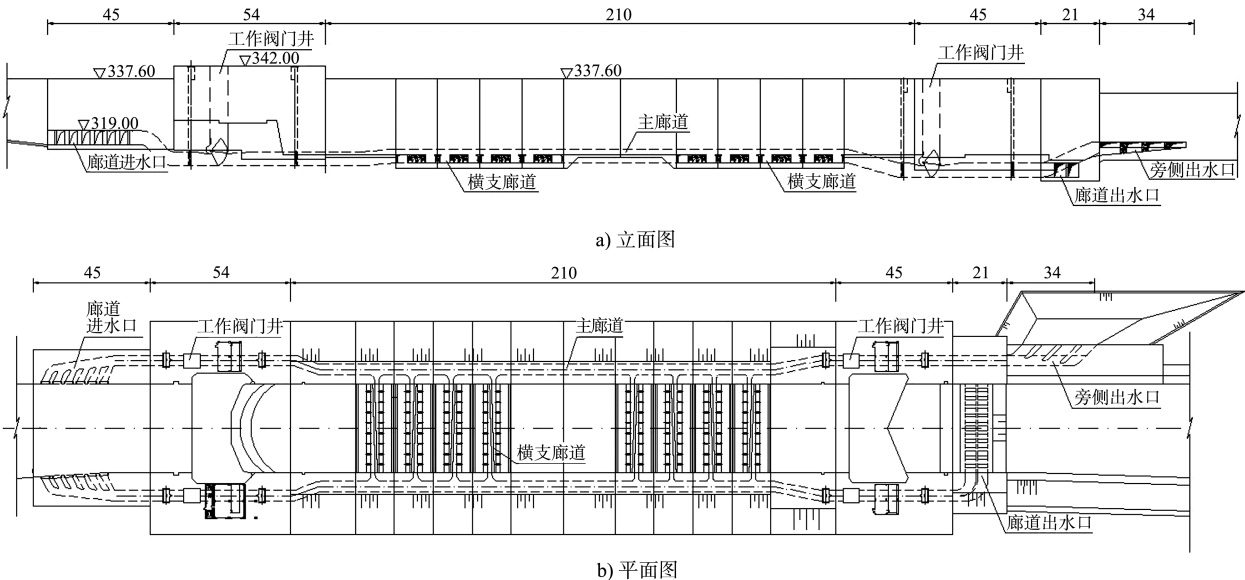


图 1 犍为船闸输水系统布置 (单位: m)

3 输水系统水力计算

根据规范第 4.3.1 条，分散输水系统的水力计算主要包括阀门处廊道断面面积、输水系统的阻力系数和流量系数、换算长度及惯性超高(降)值、闸室输水的水力特性曲线，以及过闸船舶(队)在闸室和引航道内的停泊条件等。犍为船闸输水系统水力计算的基本数据：上游最高、上游最低、下游最低通航水位分别为 335.00、327.23、

316.00 m，进口段、出口段淹没水深分别为 16.0、5.5 m，上、下引航道停泊段宽度均为 60 m，工作阀门为反向弧形门形式，设计代表船舶(队)为 1 000 t 船舶，中洪水期兼顾 2 000 t 船舶。

根据该船闸的实际运行情况，在水力计算时按上游最高通航水位-下游最低通航水位(组合 1)和上游最低通航水位-下游最低通航水位(组合 2)两种工况组合分别进行水力计算，结果见表 2。

表 2 犍为船闸输水系统水力计算结果

类型	水头/ m	阀门 开启 时间/ s	输水 时间/ s	泄水 时间/ s	流量系数		阻力系数		闸室内 最大流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		闸室船舶 系缆力最 大值/kN		系缆力 最大值/ kN		纵向流速 最大值/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		闸室水位 最大惯性 超高/m		
					灌水	泄水	灌水 廊道	泄水 廊道	灌水	泄水	纵向	横向	上引 航道	下引 航道	上引 航道	下引 航道	灌水	泄水	
设计 值	组合 1	19	240	631	743	0.809	0.674	1.529	2.202	448	378	29	17	22.03	37.71	0.63	0.77	0.41	0.32
	组合 2	11.23	240	538	617	0.809	0.674	1.529	2.202	314	275	—	—	—	—	1.30	0.56	0.26	0.17
规范允许值	—	—	—	—	—	0.6~0.8	0.6~0.8	—	—	—	—	40	20	40	40	0.5~0.8	0.8~1.0	0.25	0.25

由表 2 可知，犍为船闸的灌泄水时间、船舶在闸室及上下游引航道中的停泊条件及输水系统运转安全技术指标，在高水组合下均能满足规范要求，但在低水组合时上引航道纵向流速达 1.30 m/s，超过了规范允许值；灌水时闸室的惯性超高在 0.41 m 左右、泄水时闸室的惯性超降在 0.32 m 左右，均超过规范允许值。

输水系统水力特性曲线见图 2~5。

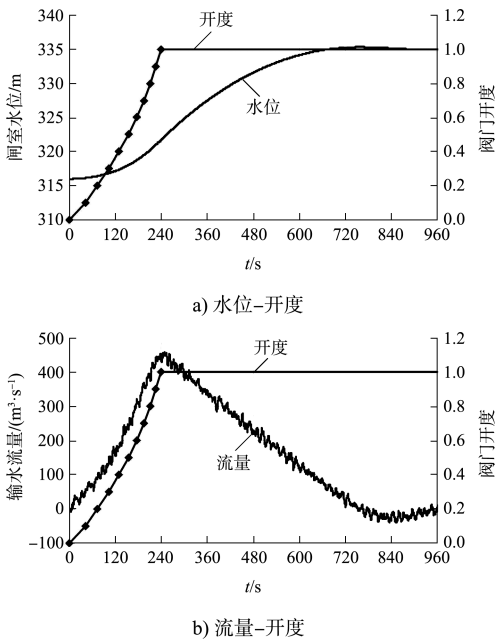


图 2 高水工况时闸室灌水水力特性曲线

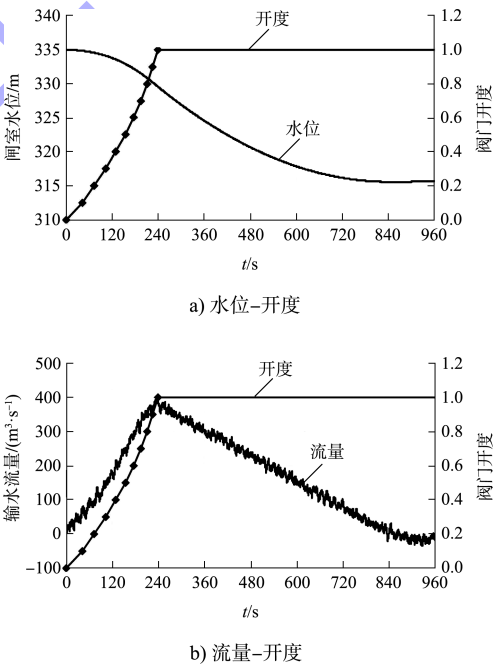
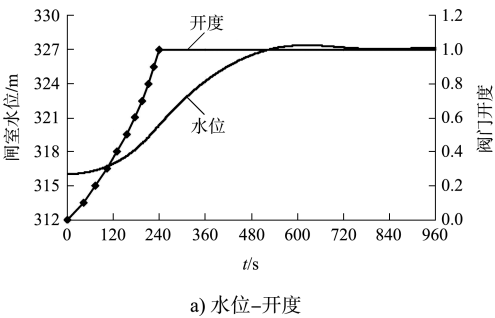


图 3 高水工况时闸室泄水水力特性曲线



a) 水位-开度

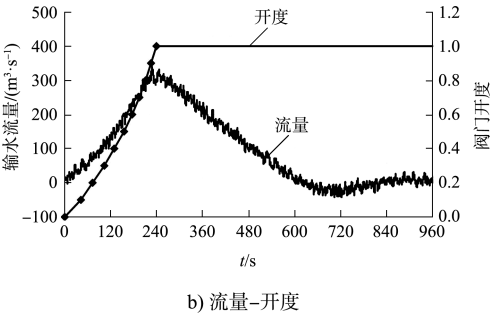


图 4 低水工况时闸室灌水水力特性曲线

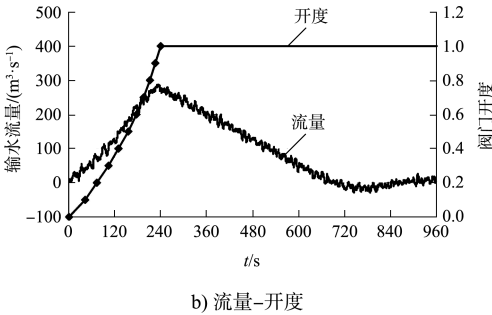
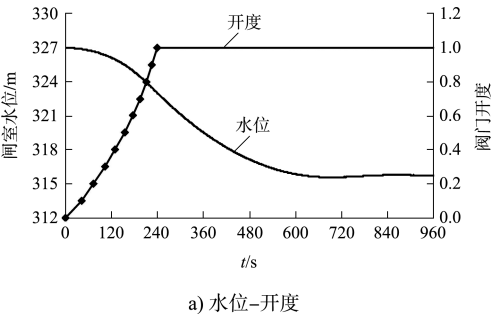


图 5 低水工况时闸室泄水水力特性曲线

4 水力学模型试验

4.1 闸室输水水力特性

本工程水力学模型试验在南京水利科学研究院进行。试验采用比尺 1:30 的整体物理模型，针对高水、低水两种工况进行水力特性试验研究，测定并计算相关水力特征值^[4]。高、低水位工况下的输水水力特征值见表 3。

表 3 闸室输水水力特征值

工况	输水方式	t_v/min	H/m	t/min	$Q_{\max}/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	d/m	$v_{\max}/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	$v_a/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$
高水	灌水	3	19.00	10.51	463	0.42	3.36	1.81
		4	19.00	11.04	448	0.41	3.25	1.72
		5	19.00	11.61	432	0.42	3.14	1.64
		6	19.00	12.13	407	0.40	2.96	1.57
	泄水	3	19.00	12.38	392	-0.33	2.85	1.53
		4	19.00	12.89	378	-0.32	2.75	1.47
		5	19.00	13.40	364	-0.31	2.64	1.42
		6	19.00	13.93	350	-0.32	2.54	1.36
低水	灌水	4	11.23	8.97	314	0.26	2.28	1.25
		5	11.23	9.46	299	0.25	2.17	1.19
		6	11.23	10.03	284	0.27	2.06	1.12
	泄水	4	11.23	10.29	275	-0.17	2.00	1.09
		5	11.23	10.84	258	-0.18	1.87	1.04
		6	11.23	11.37	241	-0.17	1.75	0.99

注： t_v 为阀门开启时间； H 为作用水头； t 为闸室输水时间； Q_{\max} 为最大流量； d 为惯性超高(降)； v_{\max} 为闸室水面最大上升(下降)速度； v_a 为闸室水面平均上升(下降)速度。

由表 3 可知，高水工况下当灌水阀门的开启时间分别为 4、5 min 时，闸室灌水时间分别为 11.04、11.61 min，闸室灌水最大流量分别为 448、432 m³/s，进水口断面最大平均流速分别为 2.49、2.40 m/s，而相应闸室泄水时间分别为 12.89、13.40 min，此时闸室泄水最大流量分别为 378、364 m³/s，相应的输水主廊道的最大流速分

别为 9.45、9.10 m/s，阀门段廊道最大流速分别为 11.25、10.83 m/s。以上水力特征值均满足规范要求。

闸室灌水时的惯性超高在 0.41 m 左右、泄水时的惯性超降在 0.32 m 左右，均大于规范的允许值，在运行中可通过提前关闭灌、泄水阀门并在水位齐平时打开人字门的措施解决。该措施已在

葛洲坝、三峡等多个工程中成功应用，效果较好。

低水工况下船闸工作水头仅为 11.23 m，较最大设计水头工况减小了 7.77 m，其各项水力指标较最大设计水头工况均有较大减小，满足规范 and 设计要求。

4.2 闸室停泊条件

船闸输水过程中闸室内船舶(队)停泊条件主要受灌水工况控制，试验主要针对最大设计水头灌水工况进行了设计船队及单船的系缆力测试，试验的设计船队及单船的最大系缆力值见表 4。

表 4 闸室内船舶(队)最大系缆力

船舶类型	t_v/min	停泊位置	纵向力/kN	前横向力/kN	后横向力/kN
2×1 000 t 船队	3	上半闸室	26	12	10
		闸室中段	28	14	12
		下半闸室	22	11	10
	4	上半闸室	19	11	10
		闸室中段	22	12	12
		下半闸室	23	10	9
	5	上半闸室	18	10	10
		闸室中段	17	8	10
		下半闸室	20	9	9
	3	上半闸室	12	7	16
		闸室中段	29	7	14
		下半闸室	12	18	16
2 000 t 单船	4	上半闸室	29	8	15
		闸室中段	24	9	9
		下半闸室	17	13	13
	5	上半闸室	14	9	18
		闸室中段	23	12	10
		下半闸室	17	15	13

由表 4 可知，设计船舶(队)的纵、横向系缆力均满足规范要求，且其纵向系缆力仍有较大富余，表明输水系统布置在调整闸室内水流纵向分布方面起到了较好效果。

4.3 水流条件

4.3.1 进出口水流条件

进水口采用导墙上多支孔布置形式，上游最低通航水位时淹没水深为 8.23 m。当灌水阀门开启时间分别为 4、5 min 时，进水口最大断面平均流速分别达到 2.49、2.40 m/s。从试验观察的流

态来看，灌水过程中上游进水口附近水面未有明显水面跌落，也未形成串心漩涡。

出水口采用单侧旁侧泄水的布置形式，引航道内的出水口设置消能室，同时采用顶部格栅出水，为适应下游引航道不对称的布置，在消能室内设置两道高度不同的挑流坎。试验表明，引航道内出水口各出水支孔出流较为均匀，格栅顶部的紊动及水面壅高相对较小。

4.3.2 引航道水流条件

根据闸室输水水力特性试验结果，分别计算组合 1 和 2 两种工况下 4、5 min 时上下游引航道内的最大断面平均流速，结果见表 5^[5]。

表 5 最大断面平均流速

阀门开启时间/min		最大断面平均流速/(m·s ⁻¹)	
		上游引航道	下游引航道
组合 1	4	0.63	0.77
	5	0.61	0.74
组合 2	4	1.30	0.56
	5	1.24	0.53

由表 5 可知，上游最低通航水位工况为上游引航道水流条件的控制工况，引航道最大断面平均流速达到 1.30 m/s，远超规范允许值，且流速超过允许值的持续时间接近 4 min，无法满足引航道内船舶的停泊及航行安全要求；下游引航道水流条件满足规范要求。同时，由于在下游出水口消能室内采用了不对称挑流坎，调整了下游引航道内的水流分布，引航道内流速分布比较均匀。

5 结语

1) 键为船闸采用闸墙长廊道、闸底横支廊道输水系统的整体布置形式是合适的，各输水水力特征的分析计算值与模型试验值比较吻合，达到了预期的设计目标。

2) 根据模型试验结果，键为船闸输水阀门开启时间控制在 6 min 以内，输水时间即可满足设计要求的 12 min 以内，输水系统各部分尺寸基本合理。