

富春江七里泷航道第二通道工程船闸输水系统布置

金国强¹, 宣国祥²

(1. 浙江省交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 根据富春江七里泷航道第二通道工程船闸及其上游通航隧道总体布置的特点, 按照《船闸输水系统设计规范》的要求, 确定了船闸的输水系统型式, 并计算了输水阀门处廊道断面的面积; 推荐了通航船闸输水系统的布置及关键尺寸。

关键词: 输水系统; 廊道断面面积; 水力计算; 船闸

中图分类号: U641.32

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2007)01-0047-06

Layout of filling and emptying system of the second line shiplock of Qililong Sea Route on Fuchun River

JIN Guo-qiang¹, XUAN Guo-xiang²

(1. Zhejiang Provincial Planning & Design Institute of Communications, Hangzhou 310006, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: According to the Design Code for Filling and Emptying System of Shiplocks and the layout characteristics of the second line of Qililong Sea Route on Fuchun River and the upstream navigation tunnel, the type of the filling and emptying system of shiplocks is determined, the area of the culvert transect at the valve is calculated, and the layout type and key size of the filling and emptying system are recommended.

Key words: filling and emptying system; area of culvert transect; hydraulic calculation; shiplock

富春江水利枢纽位于钱塘江流域中游浙江省桐庐县境内。现有布置在枢纽右岸的通航船闸(航运第一通道)建于20世纪70年代。随着钱塘江中、上游经济建设的快速发展,已远不能满足日益增长的货运要求。经多方案论证,决定开辟第二航运通道。拟建的第二航运通道位于富春江水利枢纽电站的右岸(东侧),在富春江大坝上游约1 km处设隧道入口,向东北方向再设一半径约为1 km的弯道后转向北偏西方向,穿过大峡山,出山后在钱塘江边平地设置通航船闸^[1]。第二航运通道的最大特点是,船闸的上游有2.4 km长的通航隧道,且需要通过通航隧道向船闸充水。故在进行船闸输水系统布置时,必须考虑通航隧道内的水流与波浪条件应能满足通航安全要求。而船闸充水的水力特性则与船闸输水系统布置、输水阀门的开启方式和速度等又密切相关。富春江七里泷航道第二通道船闸布置为单线一级,船闸的有效尺度为230.0 m×23.0 m×3.5 m(长×宽×门槛水深),船闸设计水头为20.5 m。

收稿日期: 2006-08-11

作者简介: 金国强(1965-),男,浙江东阳人,高级工程师,主要从事交通工程规划、设计、咨询和研究工作。

1 船闸输水系统型式

富春江七里泷航道第二通道工程船闸的充水为直接由通航隧道中取水. 为尽可能降低船闸充水对隧道内非恒定流的影响, 满足隧道内船舶航行条件, 以及尽可能地提高船闸的通过能力. 故设计时: ①适当延长船闸的充水时间; ②尽量缩短船闸的泄水时间; ③为方便今后对船闸的管理和维护, 充、泄水阀门的尺寸应保持一致.

经对船闸通过能力的计算, 取船闸的充水时间为 25 min; 泄水时间为 10 ~ 12 min. 根据国内外已建的船闸布置经验^[2-7], 初步考虑富春江七里泷航道第二通道通航船闸的输水系统布置为闸底长廊道分散式输水系统.

需要指出的是, 第二航运通道的船闸如按充水时间 $T=25$ min 来选择输水系统型式, 可以采用集中输水系统型式. 但考虑到该第二航运通道工程的特殊性, 若采用集中输水系统型式, 则船闸充水阀门开启速度, 必须考虑闸室内船舶的停泊条件, 这将为解决通航隧道水流条件、调整阀门开启方式等带来很多的限制, 同时, 也将影响到泄水时间.

2 船闸输水系统布置及各部位尺寸的确定

2.1 输水阀门处廊道断面面积

根据《船闸输水系统设计规范》^[8]的规定, 输水阀门处廊道断面面积 ω 的计算式为

$$\omega = \frac{2C(\sqrt{H+d} - \sqrt{d})}{\mu T \sqrt{2g} [1 - (1-\alpha)k_v]} \quad (1)$$

式中: C 为计算闸室水域面积 (m^2); H 为船闸设计水头 (m); d 为输水系统的惯性水头; μ 为阀门全开时输水系统的流量系数; T 为闸室充水时间 (s); g 为重力加速度 (m/s^2); α 为系数 (可查表); k_v 为相对阀门开启时间.

对于富春江七里泷第二航运通道的船闸有: $C=230 \times 23=5\,290 \text{ m}^2$; $H=20.5 \text{ m}$; $T=12 \text{ min}(720 \text{ s})$; 取 $d=0.25 \text{ m}$, $\mu=0.68$, $\alpha=0.56$, 以及 $k_v=0.35$. 可初步确定输水阀门处廊道断面面积 $\omega=2 \times 3.0 \times 3.8=22.8 \text{ m}^2$.

2.2 输水系统闸室出水支孔段布置

初步确定输水阀门处廊道断面面积之后, 在选择主廊道以及出水支孔断面面积时, 必须注意 δ (主廊道断面面积/阀门处廊道断面面积) 和 ζ (出水支孔断面面积/主廊道断面面积) 这两个系数. 原则上, δ 值越大, 输水系统出水孔段的水头损失就越小; ζ 值越小, 越有利于出水支孔出流均匀, 但会增加出水孔段的水头损失. 部分船闸 δ 和 ζ 的统计值见表 1.

表 1 部分闸底长廊道船闸输水系统尺寸统计

Tab.1 Statistics of the size of the filling and emptying system with bottom longitudinal culvert

船 闸 名 称	阀门处廊道 断面面积 / m^2	主廊道 断面面积 / m^2	出水支孔 总面积 / m^2	出水段 长度 / m	出水段长度	δ	ζ
					—— 闸室有效长度		
沙溪口	10.00	15	18.00	75.0	0.54	1.500	1.20
长洲#1	24.00	33	30.48	114.0	0.60	1.375	0.92
王甫洲	18.00	8	11.08	72.0	0.60	1.000	1.38
五强溪	18.00	24	31.96	60.0	0.50	1.330	1.33
飞来峡	18.00	24	24.30	115.0	0.60	1.330	1.01
七里泷	8.75	15	19.20	56.0	0.55	1.710	1.28
康 杰	24.45	30	23.76	96.1	0.49	1.230	0.79

由表1可见,7个船闸的 δ 值均大于等于1.0,而 ζ 值则在0.79~1.38之间.分析 ζ 值较小的几座船闸可见,它们的出水段均较长,较小的 ζ 值是为了保证在较长出水段内出流均匀.经比较,取主廊道断面面积 $\omega=2\times 3.6\times 3.8=27.36\text{ m}^2$ (考虑到结构上的要求,在主廊道中间设1.20 m的隔墙,但仍有40%面积互通,以保证单边输水时出流均匀).为减小闸室底板厚度,采用侧支孔出水明沟消能,闸底廊道出水段每侧设24个出水支孔,并将出水支孔分3组,每组8孔,自上闸首至下闸首,第1、2、3组的孔口尺寸分别为0.70 m \times 0.90 m(宽 \times 高)、0.60 m \times 0.90 m和0.50 m \times 0.90 m,出水孔总面积为25.92 m^2 .这时,相应的 δ 和 ζ 值分别为1.20和0.95.由于一般要求船闸长15 m左右设纵向结构缝,故确定出水支孔间距为5 m,这样出水孔段总长为120 m,约为闸室有效长度的60%.

支孔出口的消能明沟对水流消能及二次调整的作用十分显著.为获得较好的消能效果,消能明沟的宽度 B 应满足支孔出流的流核缩小至消失所需距离,即

$$B \geq \frac{1.03}{a} \times \frac{b}{2} \quad (2)$$

式中:长方形支孔出流紊动系数 $a=0.10$;出水支孔的宽度(取出水支孔的最大宽度) $b=0.70\text{ m}$.据(2)式则有 $B \geq 3.64\text{ m}$.明沟挡槛的高度 D 应大于出水支孔出流扩散后的高度,因此,有

$$D \geq d_0 + 0.24B \quad (3)$$

式中:出水支孔的高度 $d_0=0.90\text{ m}$.故有 $D \geq 1.77\text{ m}$.

为保证出水支孔水流较平顺以及减小出水支孔的形状阻力,取出水支孔的最小长度 L 为2倍的支孔宽度,则 $L=2.0\text{ m}$.

最后,根据闸室宽度(23.0 m)确定消能明沟的尺寸及断面,取明沟宽度为4.0 m,明沟顶与闸室底高程平齐,明沟深为3.80 m,由于明沟较深,挡槛的底部高程可适当抬高.同时,为将水流导向闸室中部,明沟顶部按1:1的坡度向闸室中心倾斜.

2.3 船闸上、下闸首输水系统布置

由于要求富春江七里泷航道第二通道中的隧道内的水流为均匀分布,故船闸上闸首廊道的进水口宜采用横支廊道布置形式,以保证在隧道中全断面取水.进水口的底部高程可与引航道底部高程齐平,为减小进口水头损失,应修圆进口轮廓,通过垂直和水平转弯将进水口与闸室出水段廊道相连接,工作阀门设在垂直转弯段之后,使阀门后廊道顶保持一定的淹没水深,以保证阀门工作条件.

下闸首输水阀门底部高程宜与闸室输水廊道底部高程齐平,以简化布置,通过2个水平转弯与闸室出水廊道相连接,下闸首宜采用第三类消能设施.考虑到下游引航道底部高程为56.79 m与闸底部高程齐平,故选用正面和顶部出水格栅式消能室,并在消能室内设挑流槛,以均匀格栅出流.

3 输水系统输水水力特性计算及分析

3.1 输水系统阻力系数、流量系数的确定

分散式输水系统的基本水力参数有阀门全开后输水系统的阻力系数、流量系数,输水系统换算长度和闸室超高、降.准确计算输水系统的阻力系数则较为困难.现采用计算结果与已有试验研究成果相比较的方法予以确定.

根据船闸设计规范^[8]的相关规定,富春江七里泷第二航运通道通航船闸输水系统充、泄水的阻力系数、流量系数计算结果见表2.统计的4座船闸输水系统各部位充、泄水的分段阻力系数和流量系数见表3.这4座船闸与七里泷航道第二通道通航船闸输水系统各部位的面积与阀门处廊道断面面积之比见表4.

由表2及表4可见,除桥巩船闸外,其他各船闸的阻力系数及流量系数均较为接近,这说明计算值较为准确.因桥巩船闸的输水阀门后为突扩体型,与其他船闸不同,故流量系数就有了差别.

表 2 富春江七里泷第二通道船闸计算的输水系统充、泄水阻力系数及流量系数

Tab. 2 Calculated resistance coefficients and flow coefficients of the filling and emptying system of the second line shiplock of Qililong Sea Route on Fuchun River

输水系统充水			输水系统泄水		
部 位	阻力系数	流量系数	部 位	阻力系数	流量系数
进口段	0.42		进口段	1.13	
阀门段廊道	0.32		阀门段廊道	0.38	
闸室出水孔段	1.53		出口段	1.05	
总阻力系数	2.27	0.664	总阻力系数	2.56	0.625

表 3 4 座船闸输水系统各部位充、泄水阻力系数及流量系数

Tab. 3 Local resistance coefficients and flow coefficients of the filling and emptying system of four locks

船 闸 名 称	输水系统充水					输水系统泄水				
	充水阀门前	阀门段	出水孔段	充水廊道 总阻力	流量系数	出水孔段	阀门段	阀门后	泄水廊道 总阻力	流量系数
桥巩	0.634	0.495	1.878	3.007	0.577	1.463	0.391	0.937	2.791	0.599
红花	0.347	0.228	1.572	2.147	0.682	1.010	0.194	1.028	2.232	0.669
山秀	0.451	0.342	1.312	2.105	0.689	0.974	0.322	1.008	2.304	0.658
那吉	0.390	0.360	1.660	2.400	0.645	1.320	0.350	1.010	2.680	0.611

表 4 5 座船闸输水系统布置的各部位特征值

Tab. 4 Characteristics of the filling and emptying system of five locks

船闸名称	各部位的面积/阀门处廊道断面面积			
	上闸首进水口	主 廊 道	闸室出水孔	下闸首出水口
桥巩	4.54	1.22	1.07	1.81
红花	2.00	1.19	1.00	2.00
山秀	5.25	1.31	1.10	2.40
那吉	3.00	1.08	1.21	2.00
七里泷第二通道	3.00	1.20	1.14	2.00

3.2 输水阀门开启方式和速度的确定

结合七里泷航道第二通道通航船闸闸底长廊道分散式输水系统的布置,输水阀门的开启方式和速度尚应考虑:①船闸设计水头仅为 20.5 m,通过必要的模型试验,闸室内船舶停泊条件一般均能满足要求.故闸室内船舶停泊条件不是确定输水阀门开启方式和速度的控制条件;②采用合适的阀门型式、适当加大阀门后的淹没水深,以及进行必要的输水阀门非恒定流水动力试验等措施,可以满足输水阀门的工作条件;③按照闸室充、泄水时间要求设计的输水系统廊道尺寸,也可以满足输水时间的要求;④由于船舶停泊段距下闸首距离较远,可以通过出水口消能工调整水流流态,加之泄水水力特性可调整余地较大,因此,下游引航道内船舶的停泊与航行条件也不是控制条件.

由于船闸上游为通航隧道,这在国内还是首次采用,隧道断面尺度大,不仅设计及施工技术难度高,而且

工程造价较大.因此,通航隧道内的水流条件和船舶航行条件就成为确定充水阀门的开启方式和速度的控制条件.

当经船闸上游的通航隧道向闸室充水时,在通航隧道内将产生非恒定的纵向波浪运动.纵向波经反射叠加,在引航道内的水面呈现周期性的上升和下降运动.如果通航隧道内的非恒定水流运动过分强烈,则将影响船舶在引航道内的航行.

根据长波运动理论,降低上游导航段或通航隧道内的非恒定水流特征值的最有效方法,是减小输水最大流量 Q_{max} . 减小输水最大流量的方法,一种是不改变充水流量过程线的形状而仅降低其峰值;另一种则是将通常的三角形充水流量过程线,改变成为梯形(或近似梯形).对于前一种方法,即要求充水阀门在满足充水时间的条件下,阀门慢速连续开启,根据设计的输水系统尺寸和估算的充水流量系数,估计充水阀门全开时间 t_v 可采用 30 min 左右(输水阀门未全开充水即可结束);而后一种则可通过数学模型优化阀门开启方式,且最简单的方法是阀门采用多级间歇开启.

对于泄水阀门,为增加船闸的通过能力,应尽可能地缩短泄水时间.通过出水口消能工经对下游引航道水流条件的调整,可采用泄水阀门的开启时间 $t_v=4$ min.

3.3 闸室充、泄水水力特性计算分析

闸室充、泄水水力计算采用的数学模型和计算方法见文献[9].闸室充、泄水水力特性计算考虑了上游设计最低通航水位为 21.6 m(对应的船闸水头为 18.1 m)和上游设计最高通航水位为 24.0 m(对应的船闸水头为 20.5 m).经试算得到的两种充水阀门开启方式见图 1.闸室充、泄水的水力特征值计算结果见表 5.船闸充、泄水水位和流量过程线见图 2 和图 3.

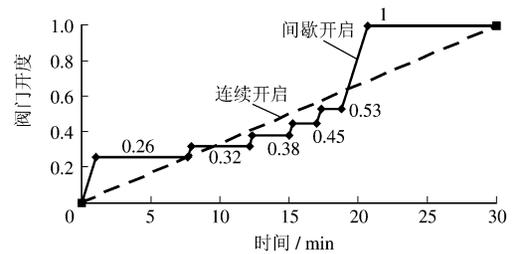


图 1 充水阀门开启方式

Fig. 1 Opening pattern of the filling valve

表 5 计算的闸室输水水力特征值

Tab. 5 Calculated hydraulic characteristics of the lock chamber

输水过程	阀门开启方式	设计水头 / m	输水时间 / min	最大流量 / (m ³ · s ⁻¹)	惯性水头 / m	闸室水面最大升速 / (m · min ⁻¹)
充水	$t_v=4$ min 间歇开启	20.5	23	95.9	0.26	1.09
	$t_v=30$ min 匀速开启	20.5	24	115.3	0.26	1.31
	$t_v=4$ min 间歇开启	18.1	22	82.4	0.26	0.93
	$t_v=30$ min 匀速开启	18.1	23	104.8	0.26	1.19
泄水	$t_v=4$ min 匀速开启	20.5	14	233.8	0.24	2.65
	$t_v=4$ min 匀速开启	18.1	13	217.3	0.24	2.46

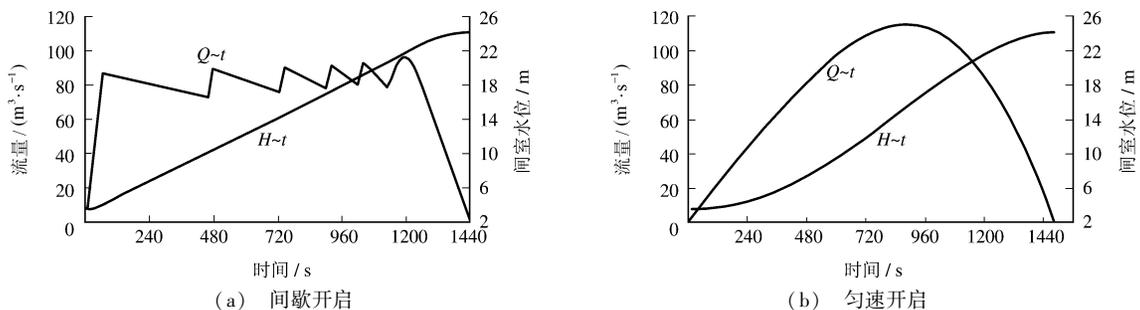
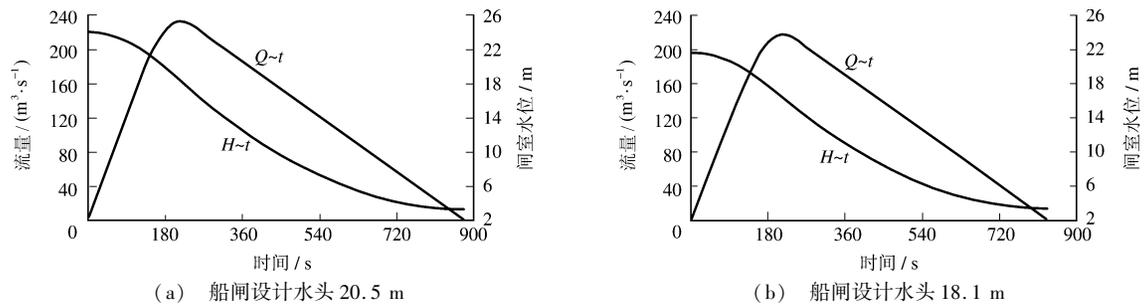


图 2 船闸充水水位、流量过程线(船闸设计水头 20.5 m)

Fig. 2 Filling water level and discharge curves of the lock chamber



(a) 船闸设计水头 20.5 m

(b) 船闸设计水头 18.1 m

图3 船闸泄水水位、流量过程线(阀门开启时间 $t_v=4$ min)

Fig. 3 Emptying water level and discharge curves of the lock chamber

可见,充水阀门间歇和匀速开启方式,其输水时间均可满足(设计)要求(小于 25 min). 上游低水位不同开启方式闸室充水最大流量分别为 $82.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $104.8 \text{ m}^3/\text{s}$. 不同水头下,泄水阀门双边开启时间 4 min 时,闸室的泄水时间分别为 13.6 和 12.9 min,泄水最大流量分别为 $233.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $217.3 \text{ m}^3/\text{s}$,双边开启时闸室的惯性超高为 0.24m,故输水水力特性满足设计要求.

4 结 语

富春江七里泷航道第二通道通航船闸的有效尺度为 $230.0 \text{ m} \times 23.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 门槛水深),最大通航设计水头为 20.5 m. 根据《船闸输水系统设计规范》^[8]和类似船闸的资料,确定采用第二类分散输水系统中的闸底长廊道侧支孔出水明沟消能的布置型式. 还根据《船闸输水系统设计规范》^[8]计算了输水阀门处廊道断面的面积,并结合七里泷第二航运通道通航船闸及通航隧道总体布置的特点,设计和确定了该船闸的输水系统布置和各部分的尺寸. 闸室充、泄水水力特性计算分析表明,所设计的船闸输水系统的输水水力特性达到了预期的目的.

参 考 文 献:

- [1] 浙江省交通规划设计研究院. 富春江七里泷航道第二通道工程方案研究[R]. 杭州:浙江省交通规划设计研究院, 2005.
- [2] Glenn A, Pickering P E. Filling and emptying system for high-lift navigation lock[R]. Vicksburg: USAE Waterways Experiment Station, 1986.
- [3] 宣国祥, 薛丽金, 李中华. 柳江红花水利枢纽工程船闸输水系统布置[J]. 水运工程, 2006, (2): 74-78.
- [4] 连恒铎, 徐新敏. 广东北江孟洲坝船闸水工模型试验报告[R]. 南京:南京水利科学研究院, 1993.
- [5] 董凤林, 乔文荃. 广东北江飞来峡水利枢纽船闸水力学试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院, 1994.
- [6] 宣国祥, 张小伟. 广西桂江巴江口水利枢纽船闸水工模型试验研究[J]. 水运工程, 2005, (12): 45-49.
- [7] 宣国祥, 李中华, 黄岳. 广西红水河桥巩船闸输水系统水力学试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2005.
- [8] JTJ306-2001, 船闸输水系统设计规范[S].
- [9] 须清华, 张瑞凯. 通航建筑物应用基础研究[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.