



瓯江三溪口船闸输水系统布置及水力学模型试验

刘本芹, 徐新敏, 宣国祥

(南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,
通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏南京 210029)

摘要: 三溪口船闸设计水力指标较高, 闸室为非标准闸室, 输水系统布置受限制因素较多, 采用集中输水系统的难度较大。分析了不同消能方式的特点, 提出了适合该船闸的格栅帷墙消能室与消力池相结合的消能布置形式, 计算了输水系统各部位的尺寸及具体布置; 通过1:20的物理模型试验研究, 得到了输水水力特性、闸室流速分布、闸室船舶停泊条件、廊道压力特性以及进出口水流条件, 并提出了相关改善措施, 确定了充、泄水阀门开启方式、闸室镇静段长度及下闸首消能室内的挑流坎尺寸。提出的输水系统布置及消能工形式较好地适应了三溪口船闸的工程特点, 解决了相关输水系统布置难题, 试验成果满足规范及设计要求。

关键词: 船闸; 输水系统; 设计; 模型试验

中图分类号: U 641.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0115-06

Layout and hydraulic model experiment of filling and emptying system of Sanxikou shiplock on Oujiang river

LIU Ben-qin, XU Xin-min, XUAN Guo-xiang

(Key Laboratory of Navigation Structure Construction Technology, Ministry of Transport, PRC,

State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The hydraulic indexes of Sanxikou shiplock are high and the lock chamber is nonstand. At the same time, the layout of filling and emptying system of Sanxikou shiplock is affected by many limiting factors. Therefore, it is difficult to design its end filling and emptying system. The characteristics of different energy dissipating modes are analysed in this paper. And energy dissipating mode that combines grid stilling chamber with stilling basin is put forward and dimensions of the filling and emptying system are calculated. The hydraulic characteristics during lock filling and emptying, velocity distribution characteristics and mooring conditions of ship in lock chamber, pressure characteristics in culverts, and flow conditions at inlet or outlet are all studied and relevant improvement measures are presented through physical model experiment(scale 1:20). Furthermore, the valve opening modes, length of stilling lock section and dimensions of baffle sill in stilling chamber at downstream lock head are proposed. The energy dissipating type is very suitable for Sanxikou shiplock and many technical problems about layout of filling and emptying system have been solved. The experiment results accord with requirements of criterion and design.

Key words: shiplock; filling and emptying system; design; model experiment

随着瓯江中下游梯级开发的逐步实施, 中下游航道的通航条件得到极大改善, 三溪口航电枢

纽是瓯江中下游干流航运开发工程自上游至下游规划建设的第3个梯级。主要建筑物由泄洪闸、船

收稿日期: 2013-01-14

作者简介: 刘本芹(1977—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事通航建筑物水力学科研工作。

闸、河床式发电厂房、右岸挡水溢流坝、右岸交通防护工程以及两岸接头建筑物等组成,船闸为坝下式,布置在河道右岸,目前三溪口枢纽已经开工建设,电站和挡水闸正在施工。三溪口船闸闸室有效尺度为230 m×23 m×3.5 m,最大设计水头11.5 m,对应水位组合为上游18.0 m至下游6.5 m,设计输水时间为8~12 min,最大通航船舶为1 000 t单船。

三溪口船闸输水系统布置受限制因素较多,主要有以下几点:1)枢纽电站和挡水闸正在施工,船闸上闸首处预留位置宽度只有16.0 m,其后闸室宽度扩大为23.0 m,船闸为广式船闸;2)船闸右侧紧邻330国道,为了不影响道路安全,船闸的开挖深度及宽度都不能太大,因此无法布置闸墙输水廊道和闸底输水廊道;3)船闸上游引航道横断面为阶梯型,且紧邻上闸首及上游引航道右侧已经布置了自来水引水管,必须设计合适的输水系统进水口形式以满足工程需要。

1 输水系统形式的选择

三溪口船闸最大水头为11.5 m,属于中水头船闸,按《船闸输水系统设计规范》中的相关公式计算得出的输水系统选型系数为2.36~3.54^[1-2],可以采用集中输水系统形式,也可以采用分散输水系统形式。结合工程本身的布置条件,闸墙两侧及闸室底部均不宜大范围开挖,故三溪口船闸不适合采用闸墙长廊道输水系统和闸底长廊道输水系统,只能采用集中输水系统形式,但需研究分析合适的消能措施。

集中输水系统及消能工的布置应使水流能充分消能和均匀扩散,并不应妨碍输水系统的泄流能力,在平面上应和闸室或下游引航道的布置相适应,在立面上应按闸室或下游引航道最大断面平均流速出现时段的上、下游水位条件进行设计^[1]。我国水力指标较高的集中输水系统船闸常用的消能方式为封闭式帷墙消能室、帷墙格栅消能室、帷墙倒口消能以及近年来研究发展的短廊道侧支孔出水双明沟消能等4种布置方案^[3-7]。第1种布置由于水流集中在正面孔口而顶部不出流,

帷墙较高时水流调整难度较大,船闸镇静段长度较长;第2种布置方案在短廊道出口设置了一个格栅消能室,利用消能室内的消力槛、立柱及正面和顶面格栅的缝隙大小调整水流;第3种布置方案在两侧短廊道出口,连接了一根架空的横向廊道,出水孔位于横向廊道底部,利用出水孔孔口的大小调整横向流量分配,水流自出水口向下射入消力塘,消能后再进入闸室,这种布置消能效果较好,应用水头均在8.0 m以上,水力指标在集中输水系统中属较高水平,由于其出口在消能室的下方,要求下挖一定深度;第4种输水系统的水流是在靠近上闸首的一段范围内分散进入闸室,并且采用底部明沟消能,它具有消能效率高、可降低局部水流作用力、不设镇静段等优点,但在靠近上闸首处仍需开挖较深以便布置输水横支廊道。

根据以上分析,格栅帷墙消能室可通过调整消能室顶部及正面的格栅面积来得到较好的竖向流速分布,且布置梁、槛及立柱的调整余地也较大。结合该工程布置特点、受限制因素及船闸水力指标,综合分析后认为三溪口船闸采用格栅帷墙消能室与消力池相结合的消能方式较为合适。

2 输水系统布置

2.1 输水阀门处廊道断面面积

根据JTJ 306—2001《船闸输水系统设计规范》^[1]及设计要求,参考已有船闸研究成果资料^[6],计算得到阀门处廊道断面面积 $\omega=19.2\sim 28.8\text{ m}^2$,取输水阀门处廊道断面高度为3.5 m,宽度为4.0 m,双边总断面面积为28.0 m²。

2.2 输水廊道及格栅消能室布置

充水时格栅消能室的体积可按下式计算:

$$V = A_0 \frac{9.3CH^2}{T\sqrt{k_v(2-k_v)}} \quad (1)$$

式中: V 为消能室体积(m³); A_0 为系数,可取0.09~0.13; C 为计算闸室水域面积(m²); H 为设计水头(m); T 为充水时间(s); k_v 为相对阀门开启时间。根据三溪口船闸的闸室水域面积、设计水头及设计输水时间,可计算得 $V=964\sim 1\,392\text{ m}^3$ 。综合考虑上闸首帷墙高度、闸室最小水深及闸室渐

变段长度等多种因素, 将充水阀门后廊道出水口宽度放大至阀门控制断面宽度的2.8倍(中间加设隔墩), 与格栅消能室连接, 充分利用广式船闸布置特点, 设计的上闸首消能室横剖面为梯形, 尺寸(长×宽×高)为(16.0~20.0)m×12.0m×4.5m, 体积约为972.0 m³。消能室顶面设48个对称布置的出水孔, 出水孔长度均为5.6 m, 为使出水均匀, 从两侧闸墙至中心出水孔的宽度依次递减; 同样正面设置14个高度为4.3 m、宽度依次递减的出水孔(图1)。

三溪口船闸水力指标较高, 为保证良好的引航道水流条件, 泄水时左侧廊道采用旁侧泄水, 右侧廊道采用引航道泄水, 且下闸首也采用复杂消能工形式, 布置了体积为370.3 m³的消能室, 消能室顶部布置24个长4.0 m, 宽0.8 m的出水孔, 正面布置12个高3.5 m, 宽0.8 m的出水孔, 消能室内设置高度不等的消力槛以保证出流均匀。上、下闸首格栅消能室正面出水孔外均布置消力池进一步消能。

2.3 输水系统进、出水口布置

初步估计最大水头时船闸充水最大流量为153~184 m³/s(分别对应输水时间12~10 min)^[2], 由于上游引航道为阶梯状断面, 为了在船舶系缆力满足规范要求的前提下给节省输水时间留有余地, 同时能够保证上游引航道流速条件满足规范要求, 进水口采用引航道取水与旁侧取水相结合的方式。具体为: 靠近右岸的输水廊道在上游引航道内取水, 采用正面取水方式, 进水口高5.0 m, 宽15.4 m; 靠近枢纽泄洪闸一侧的输水廊道从主河道取水, 采用侧墙垂直四支孔取水方式, 每个支孔高3.5 m, 宽4.0 m。泄水时下闸首廊道采用侧面进水, 并局部降低进水口附近的闸室底高程, 廊

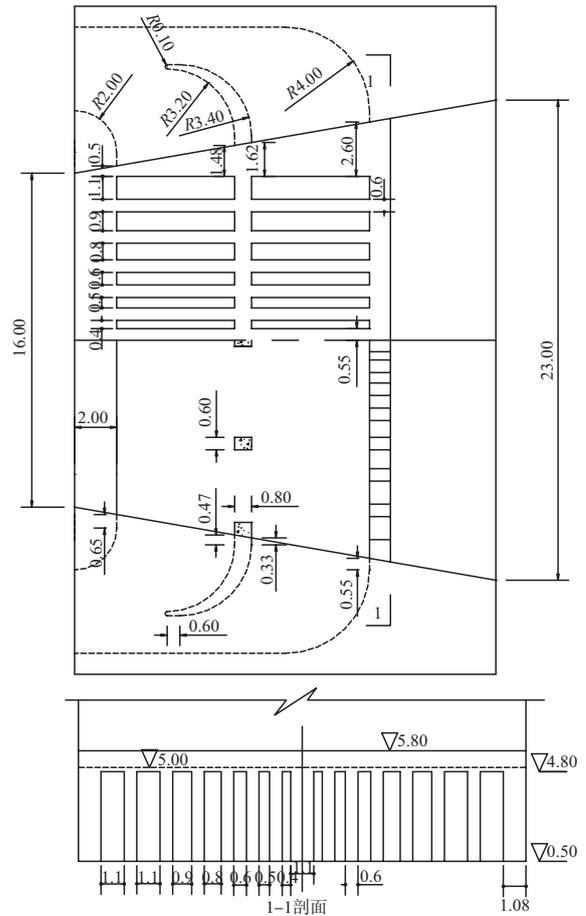


图1 上闸首格栅消能室布置

道出口面积放大为阀门处廊道断面面积的2倍, 与下闸首消能室连接。

输水系统布置特性及尺寸见表1, 整体布置见图2。

3 物理模型试验

3.1 输水水力特性^[8]

建立了该船闸1:20的整体物理模型, 通过模型试验研究了最大水头不同阀门开启方式下的

表1 三溪口船闸集中输水系统布置特征尺寸

闸首	部位	描述	面积/m ²	与阀门面积比
上 闸 首	进水口	引航道取水与旁侧取水相结合	133.00	4.75
	阀门段廊道	廊道顶高程4.0 m, 最小淹没水深2.5 m	28.00	1.00
	廊道出口	宽度放大为控制断面的2.8倍, 中间设隔墩, 与消能室连接	78.40	2.80
	格栅消能室	消能室正面及顶面开孔, 正面出水孔外设消力池	142.76	5.10
下 闸 首	进水口	侧面进水	38.50	1.38
	阀门段廊道	廊道顶高程2.0 m, 最小淹没水深4.5 m	28.00	1.00
	廊道出口	宽度放大为控制断面的2.0倍, 中间设隔墩, 与消能室连接	56.00	2.00
	格栅消能室	消能室正面及顶面开孔, 正面出水孔外设消力池	110.40	3.94

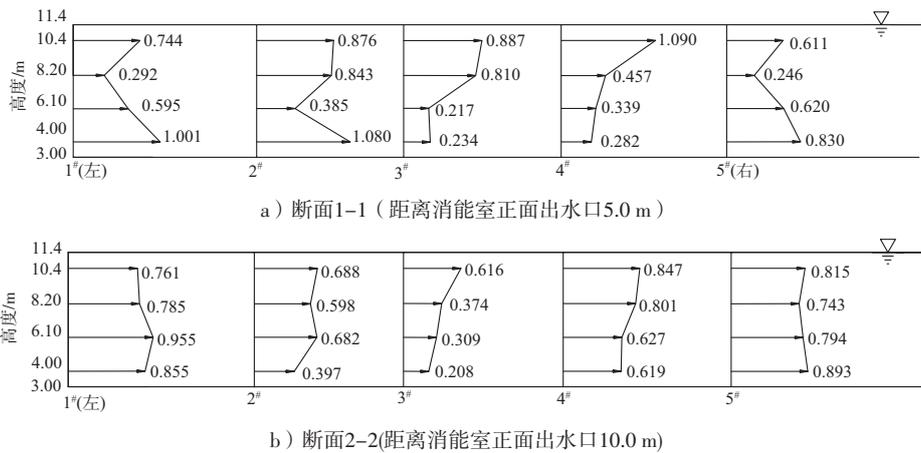


图3 充水时闸室断面流速分布 (最大流速时刻) (单位: m/s)

表3 闸室内船舶最大系缆力

船舶类型	开启时间/ min	开启 方式	纵向力/ kN	前横向力/ kN	后横向力/ kN
1 000 t 单船	9	双 边	13.45	9.10	6.47
		左单边	8.21	11.77	8.48
		右单边	10.56	13.33	10.18
	10	双 边	11.68	8.16	6.29
		左单边	7.84	10.62	7.79
		右单边	9.10	12.53	8.26
11	双 边	11.52	8.46	5.88	
	右单边	8.75	10.45	7.18	
300 t单船	10	双 边	7.85	8.10	4.15
		右单边	7.93	8.16	4.17

系缆力, 其中1 000 t船舶的最大纵、横向水平分力分别为32.0 kN和16.0 kN, 300 t船舶的最大纵、横向水平分力分别为18.0 kN和9.0 kN^[1]。

模型试验中船舶位于上闸首格栅消能室正面出水口下游10.0 m处, 充水阀门以匀速全开时间 $t_v=10$ min的速度充水运行, 设计1 000 t船舶的最大纵向系缆力为11.68 kN, 最大横向系缆力为8.16 kN; 300 t船舶的最大纵向系缆力为7.85 kN, 最大横向系缆力为8.10 kN, 均小于规范允许的最大系缆力。阀门单边开启运行时的最大系缆力也满足规范要求。由此可见, 确定的充水阀门开启速度和闸室镇静段长度是合适的。

3.4 输水廊道压力特性

在充、泄水阀门后廊道顶部设置了压力传感器, 用以测定充、泄水阀门开启过程阀门后廊道顶部的非恒定流压力。前述确定的阀门开启方式下, 双边运行时测得的充水阀门后廊道顶最低平

均和瞬时压力分别为1.9 m水柱和1.6 m水柱, 泄水阀门后廊道顶最低平均和瞬时压力分别为-1.0 m水柱和-2.6 m水柱; 单边运行时测得的充水阀门后廊道顶最低平均和瞬时压力分别为1.0 m水柱和0.2 m水柱, 泄水阀门后廊道顶最低平均和瞬时压力分别为-1.8 m水柱和-3.5 m水柱。模型试验实测数据表明, 阀门双边开启时的廊道最低压力满足规范要求。

根据阀门后廊道压力特性, 确定三溪口船闸充、泄水阀门均采用封闭式, 泄水阀门后尚存在一定负压, 提出了在阀门后廊道顶加设通气管进行通气的措施。

3.5 进出水口及引航道水流条件

观测发现, 上游引航道水面较平稳, 在最大流量前后进水口有浅表漩涡, 不影响船闸正常运行, 原进水口布置较为合适。下闸首右侧泄水廊道通过消能室顶面及正面出水孔将水体泄入下游引航道, 出水孔为等面积布置, 为了调整出水水流使其均匀分布, 经多组方案的试验成果比较, 确定消能室内设二道挑流坎, 距离廊道出口分别为7.4 m和14.6 m, 高度分别为1.1 m和2.2 m。这样船闸泄水时下闸首门后水流无回旋现象, 水面平稳, 出流均匀, 下游引航道水流平顺。

此外, 试验中发现泄水廊道进口存在范围和旋转强度稍大的串心吸气漩涡, 这对船舶停泊条件是不利的。针对这种现象, 研究提出了泄水廊道进口上方设置水平消涡板的改善措施, 试验表明消涡板起到了明显的改善作用^[8]。

4 结语

三溪口船闸具有平面尺度较大、设计水力指标较高、闸室为非标准闸室以及输水系统布置受限制因素多等特点,采用集中输水系统的难度较大。

为满足工程需要,本文分析了我国水力指标较高的集中输水系统船闸常用的消能方式及特点,提出了适合该船闸的格栅帷墙消能室与消力池相结合的消能布置形式,计算并分析确定了输水系统各部位的尺寸及具体布置。通过1:20的物理模型试验研究,得到了船闸充、泄水水力特性、闸室流速分布、闸室船舶停泊条件、廊道压力特性及输水系统进出水口水流条件,确定了充泄水阀门开启方式、闸室镇静段长度及下闸首消能室内挑流坎尺寸,并提出了泄水阀门后廊道顶加设通气管和泄水廊道进口上方设置水平消涡板等改善措施。提出的输水系统布置及消能工形式较好的适应了三溪口船闸的工程特点,解决了相关输水系统布置难题,试验成果满足规范及设计要求。

参考文献:

- [1] JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].
- [2] 刘本芹,宣国祥. 瓯江中下游干流航运开发工程三溪口船闸输水系统形式和水力计算分析[R]. 南京:南京水利科学研究院,2012.
- [3] 刘本芹,宣国祥. 泰州引江河高港二线船闸输水系统布置及水力计算分析[J]. 水利水运工程学报,2012(4): 65-70.
- [4] 刘本芹,宗慕伟,宣国祥. 可不设镇静段的船闸集中输水系统研究[J]. 水运工程,2008(11): 139-143.
- [5] 谢红,刘本芹. 引江济汉通航工程高石碑船闸输水系统布置[J]. 水运工程,2012(7): 135-139.
- [6] 宣国祥,刘本芹,胡亚安. 红船豆船闸输水系统水力学试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2008.
- [7] 连恒铎. 江苏解台(复线)船闸上闸首倒口出流消能集中输水模型试验[R]. 南京:南京水利科学研究院,1996.
- [8] 徐新敏,刘本芹,宣国祥. 瓯江中下游干流航运开发工程三溪口船闸输水系统水力学模型试验[R]. 南京:南京水利科学研究院,2012.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第109页)

高桩梁板结构后期维护费用较其它的形式维护费用低。

3) 经济可行。

优化后堆取料机基础结构实施后实际投资仅比实体斜坡式结构大了约3.6%,但实体式结构后期维护费用大。且优化后的堆场堆货面积增大后相应增加了经济效益,故从经济的角度考虑是可行的。

根据业主使用情况反应,新的结构形式使用一年后情况良好,维修方便。

5 结语

本文从整个堆场的平面布置出发,找出了堆取料机基础及堆场排水沟这2个可以共同优化的项目,并考虑使用维修方便、经济可行的原则,对

堆取料机基础进行了优化设计,形成了一种新型的高桩梁板架空式堆取料机基础结构,达到了节约堆场使用面积的目的。

随着沿江沿海地区经济的快速发展,港口生产用地紧缺,此新型堆取料机基础结构形式必将拥有广阔的使用前景,可供类似工程参考借鉴。

参考文献:

- [1] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 南京港西坝港区(西坝港区)西坝作业区二期工程施工图[R]. 武汉:中交第二航务工程勘察设计院有限公司,2010.
- [2] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册[M]. 北京:人民交通出版社,1997.

(本文编辑 郭雪珍)