

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.03.015

李君, 洪娟, 胡亚安. 大化船闸渡槽水力特性及水流条件改善措施[J]. 水利水电工程学报, 2015(3): 101-107. (LI Jun, HONG Juan, HU Ya-an. Analysis of hydraulic characteristics for Dahua shiplock aqueduct and its flow condition improvement measures [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(3): 101-107.)

大化船闸渡槽水力特性及水流条件改善措施

李 君¹, 洪 娟², 胡亚安¹

(1. 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, 水利部水科学与水工程重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 中国人民解放军理工大学 野战工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要:通航水流条件是船闸中间渠道设计中需考虑的最为关键的技术问题。大化船闸渡槽为原升船机方案的中间通航渠道,与一般的船闸中间渠道相比具有其特殊性,且该船闸水头高达 29.0 m,使得其渡槽内水力特性更为复杂,水流流态较为恶劣,严重影响了过闸船舶安全及船闸通过能力。首先结合明槽水力学经典理论对大化船闸渡槽基本水力特性进行理论分析,剖析了渡槽水流条件主要影响因素,在此基础上结合物理模型试验及原型观测,提出了以优化船闸输水方式这一“软措施”为主,在渡槽斜坡段末端设置挡水墙这一“硬措施”为辅的渡槽水流条件综合改善措施,较好地解决了复杂的水力学问题,并得到了工程实践检验。

关 键 词:高水头船闸;渡槽;水力特性;水流条件;改善措施

中图分类号:U641.2

文献标志码:A

文章编号:1009-640X(2015)03-0101-07

高水头单级船闸的应用,往往受地形、经济及自身技术条件的制约而无法实现,因此,就出现了连续和带中间渠道的多级船闸型式。与单级船闸相比,设中间渠道的船闸能减小船闸的工作水头,有利于简化船闸输水系统设计和改善阀门工作条件,同时也有利于解决闸(阀)门加工、闸墙衬砌等问题^[1]。通航水流条件是船闸中间渠道设计中需考虑的最为关键的技术问题,南京水利科学研究院与天津水运工程科学研究院就船闸中间渠道水力学开展了大量研究,在船闸中间渠道尺度设计、非恒定流水力特性、水流条件改善措施及设置中间渠道船闸的运行方式等方面取得了大量成果^[2-6]。

大化水电站是红水河 10 个梯级电站中的第 6 级,通航建筑物原方案为 1×250 t 级垂直升船机,按其设计的水上游引航道、中间通航渠道、下游引航道及靠船墩基础、升船机本体段基础等土建工程已于 1986 年完成。因规划中水位调整等原因,2000 年经过多方论证决定将升船机改建为船闸。为减小改建工程量,节省工程投资,降低施工难度,改建工程中保留了上述已建工程,仅在原升船机本体段新建了船闸。改建工程于 2003 年 11 月开工建设,2006 年建成。

改建船闸按通过 2×500 t 级船队设计,位于原升船机本体段,进水前池紧接渡槽(即原升船机方案中间通航渠道),船闸总体布置见图 1。船闸设计上游最高通航水位 155.0 m,最低通航水位 153.0 m,下游最高通航水位 136.4 m,最低通航水位 126.0 m,设计最大工作水头达 29 m,船闸有效尺度为 120 m×12 m×3 m(长×宽×门槛水深)。渡槽总长 293.5 m,其中挡水坝段长 22 m,宽 11 m,平直段长 233.5 m,宽 12.5 m,斜坡段长 40 m,宽 12.5 m,斜坡段底坡坡度 1:10。挡水坝段和平直段均为平底,较上游引航道高 1.0 m,最大和最小通航水深分别为 4 和 2 m。船闸进水前池长 50 m,宽 12 m,池底为溢流堰曲线,末端与船闸进水口底部齐平。

由于设计上的变更,大化船闸虽设置了渡槽,但与一般船闸中间渠道不同,具有其特殊性。因由原方案

收稿日期:2014-08-04

作者简介:李 君(1982-),男,甘肃兰州人,高级工程师,主要从事通航建筑物水力学研究。E-mail:lijun@nhri.cn

的垂直升船机改建而成,其渡槽按升船机方案要求设计并已建成,渡槽位于改建船闸上游,并且大化船闸的设计最大水头为 29 m(国内已建单级船闸中实际运行水头最高),因此渡槽的设置非但没有减小船闸工作水头,而且还面临由于通航建筑物改型而带来的上游引航道及渡槽中的一系列水力学难题。

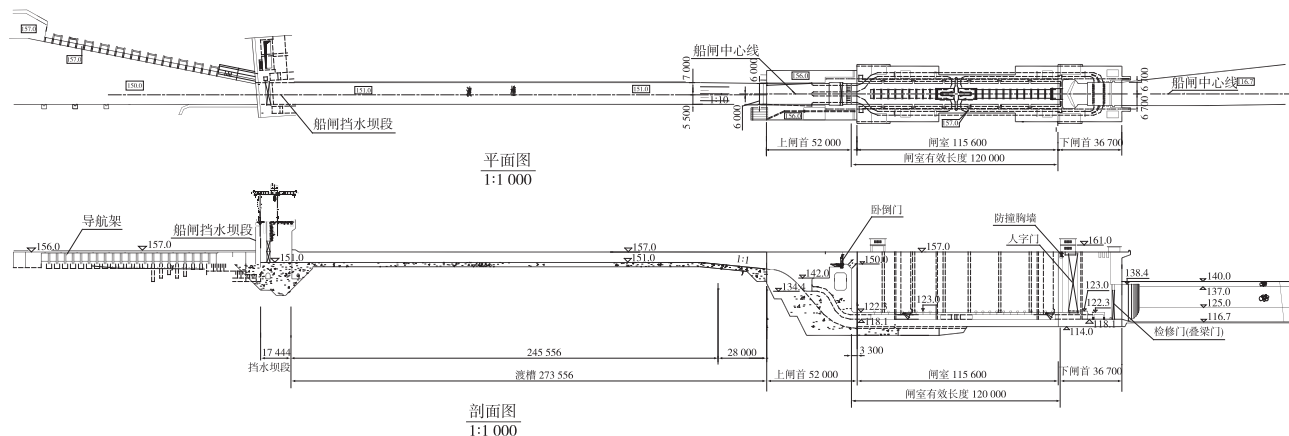


图 1 大化船闸总体布置(单位:长度 mm,高程 m)

Fig. 1 General layout of Dahua shiplock (unit: length in mm; elevation in m)

1 大化船闸渡槽水力特性分析

1.1 渡槽水力特性分析

船闸中间渠道水力特性主要受两方面的影响,一方面受船闸灌(泄)水非恒定流影响,中间渠道中的水流也呈非恒定流特性;另一方面则受中间渠道布置等方面的影响,在两端封闭的中间渠道中出现波浪的往复运动及叠加现象。

由于大化船闸渡槽的特殊性,其水力特性与其他船闸的中间渠道相比有其自身的特点,一方面,船闸输水系统的进水口位于与渡槽末端相连的进水前池,船闸灌水时将直接从渡槽内取水,因此渡槽过流能力成为控制闸室灌水时间和上游引航道船舶停泊条件的关键;另一方面,由于船闸渡槽为原升船机的中间通航渠道,渡槽并非位于两个单级船闸之间,而是直接连接船闸与上游引航道,因此,渡槽并非两端封闭,而是一端封闭,一端近似开敞(由于上游连接的是上游引航道,且上游进口为缩窄断面,并不能认为是真正的开边界),因此其中的波浪运动特性也具有其特殊性。

大化船闸渡槽进口为槛高 1 m 的宽顶堰,其过流能力取决于堰顶水头、侧向和垂直收缩系数以及堰宽和下游淹没程度^[7]。当进口型式和尺寸确定后,过流能力仅与堰顶水头和下游淹没程度有关。对于同一水位,渡槽平底段末端为临界水深时,渡槽中出现最低落水曲线,渠道中流量达到该水位下的最大值 Q_m 。上游水位与船闸最大灌水流量 Q_m 及渡槽最大流量关系见图 2。

对于船闸灌水过程,采用不同的阀门开启方式会有不同的非恒定流量过程,而其灌水则全部来自渡槽,因此,船闸灌水流量与渡槽过流能力关系的不同将直接影响渡槽内水流流态。

当船闸充水最大流量超过渡槽过流能力时(即当上游水位小于 154.60 m 时,见图 2),渡槽内水流条件

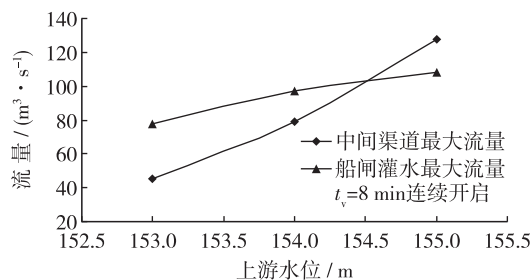


图 2 上游水位与船闸及渡槽最大流量关系

Fig. 2 Relationship between upper water level and the maximum discharge of shiplock and aqueduct

十分复杂。首先,灌水初期,进水前池水位缓慢下降,同时形成向上游推进的逆落位移波,自前池至渡槽上游进口水位逐渐降低,形成降水曲线,但由于船闸灌水流量 Q 不大,上游补入渡槽的流量能够满足灌水要求,因此,渡槽水流呈缓流流态,而渡槽进口由于宽顶堰作用出现局部水面跌落现象,见图 3(a);随着 Q 逐渐增大,渡槽平直段末端至前池水位明显下降,当 $Q = \bar{Q}_m$ 时,平直段末端达到临界水深 h_c ,渡槽自进口至平直段末端形成稳定的 H_2 型降水曲线,渡槽进口水面跌落达到最大值,见图 3(b)。 Q 继续增大时,前池水位低于临界水深水位,斜坡上水流进入急流状态,而平直段水流仍为缓流,因此将在平直段末端发生由缓流变为急流的水跌现象,水面跌落斜坡段形成 S_2 型降水曲线,其水深接近正常水深 h_0 ,由于前池水流仍为缓流状态,因此斜坡段将发生由急流变为缓流的水跃现象,水跃后形成 S_1 型壅水曲线与前池水位相连,见图 3(c)。随着前池水位继续下降,水跃由淹没水跃向远驱水跃转变,其位置也逐渐向进口推移,直至 $Q < \bar{Q}_m$ 时,前池水位才开始回升,水跃开始向上游移动。当跃首到达平直段末端,水跃迅速消失,形成向上游传播的逆涨位移波,渡槽水位自平底段末端向上游进口逐渐回升,见图 3(d)。逆涨波传播至上游进口后,一部分经反射又向下游传播,另一部分则继续向上游引航道推进;经上游进口反射的波到达船闸卧倒门后再次被反射,再次回到上游进口后便形成一个完整的波动过程,而此波动过程将一直持续至船闸灌水结束后较长一段时间。

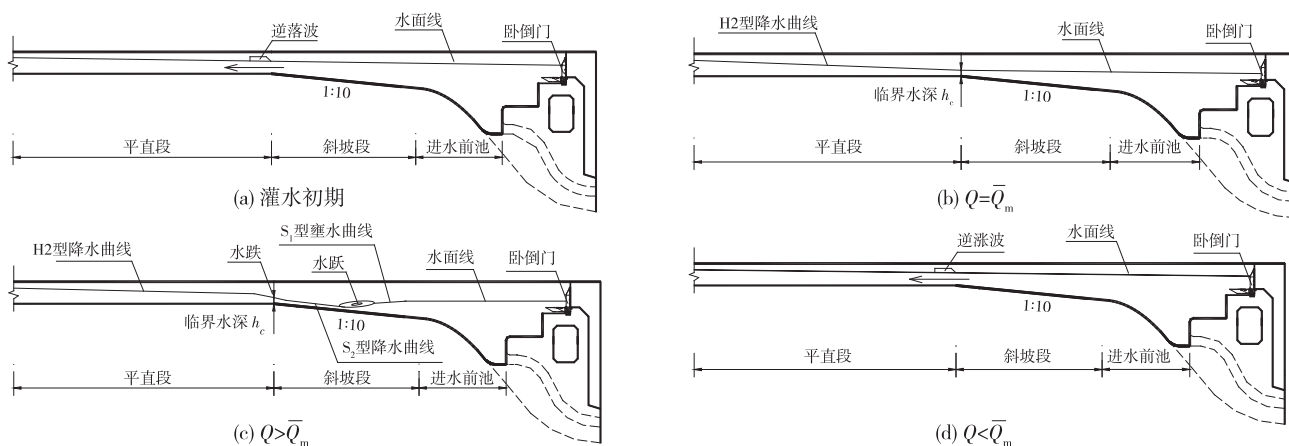


图3 渡槽水面线示意图 ($Q_m > \bar{Q}_m$)

Fig. 3 Sketch of water surface profile in the aqueduct ($Q_m > \bar{Q}_m$)

当船闸充水最大流量小于渡槽最大过流流量时(即当上游水位大于 154.60 m 时,见图 2),渡槽的过流能力能够满足船闸取水要求,此时渡槽平底直段末端将不会出现临界水深,斜坡上亦无水跃发生,进水前池水面降落很小,渡槽内仅形成较稳定的降水曲线,船闸灌水结束后的波浪运动也较小,整个过程流态较平稳。

1.2 对船舶停泊及航行条件的影响

对于 $Q_m \geq \bar{Q}_m$ 的工况,渡槽中将出现急流、水跃、漩涡及涌浪等一系列恶劣水流流态,对停泊在上游引航道的船舶安全造成极为不利的影响,而进水口前的水位降落和流态紊乱使灌水时间延长,对船闸上游卧倒门的正常运行也造成了较大的安全隐患。而对于 $Q_m < \bar{Q}_m$ 的工况,上述不利影响将大大减小。由于大化船闸上游水位大于 154.60 m 的时间只占全年的一小部分,其运行工况大多处于 $Q_m \geq \bar{Q}_m$ 的状态下,因此,极有必要改善其水流条件,以达到保证过闸船舶安全及船闸安全运行的目的。

2 大化船闸渡槽水流条件改善措施

2.1 改善措施分析

由上述分析可知,改善渡槽水流条件最有效的措施就是增大其过流能力或者设法减小船闸灌水流量,也可采取工程措施以减小渡槽中的水面波动,如增大渡槽宽度和水深以增加渡槽过流能力;改造船闸进水口,将相对集中布置改为相对分散布置,将正面进水改为旁侧取水以减小渡槽中的流量变化从而减小水面波动;若地形条件适合,还可以设置调水池以调节渡槽流量,减小渡槽水面波动。以上几点均需通过施工改造完成,可称之为“硬措施”。与之相对,还可以通过“软措施”,即通过优化船闸的运行方式,适当增加输水时间以降低灌水流量,从而达到改善渡槽水流条件的目的。

由于大化船闸渡槽已于 1986 年建成,若再进行大规模的工程改造,工程量及施工难度均较大,成本亦较高,只能进行小范围的改造以改善局部水流条件。相对于“硬措施”,“软措施”在应用方面有较大优势,因为优化船闸运行方式只需在控制程序上稍作修改即可实现,并且优化运行方式已在三峡^[8]、乐滩^[9]等许多高水头船闸中得到应用,效果较好,其主要缺点是要牺牲一部分输水时间,但对于货运压力不是很大的船闸影响较小。因此,对于大化船闸,主要采取“软措施”为主,辅以简单的“硬措施”,以改善其渡槽复杂的水流条件,从而保证过闸船舶在上游引航道内停泊(系缆力满足规范要求)或在渡槽内航行时的安全(航行平稳,不触底),以及船闸输水过程中船闸结构尤其是上闸首卧倒门的自身安全(卧倒门启闭杆件不被破坏)。

2.2 工程措施

由于大规模的施工改造不易进行,船闸整体模型试验表明,在渡槽斜坡段末端设置顶面高程与平底段渠底高程(151.0 m)相同的挡水墙,可以有效消除船闸灌水期间斜坡段发生的水跃及其淹没时出现的涌浪,以改善渡槽水流条件。并在墙顶下 1.1 m 处设 4 个宽 1 m,高 0.25 m 的过水孔,以解决由跌流水舌贴墙和通气不足形成的水舌摆动现象。挡水墙的最终布置见图 4。

试验及现场观测结果^[10-11]表明,虽然设置挡水墙会减小渡槽过流能力,但在设置过水孔后,渡槽最大流量与未布置挡水墙前已接近,各种工况下前池水面与墙顶水面齐平前,前池内水跃和表面漩滚均已消失,齐平时无明显涌浪,上游引航道内水面波动微小,船舶系缆力过程线亦无船舶受力突增迹象,系缆力明显减小并低于允许值。设置挡水墙前后的渡槽水面线如图 5 所示。

在斜坡段末端设置挡水墙,施工难度及成本较低,其改善渡槽水流条件的效果较为明显,并在实际应用中得到验证,是一项简单但效果显著的工程措施。

2.3 船闸运行方式优化

虽然设置挡水墙可以有效消除斜坡段水跃及其淹没时的涌浪,但仅是解决了局部的水流流态问题,要改善整个渠道的水流条件则必须从其根本入手,即增大渡槽的过流能力或减小船闸的灌水流量。由于前者在现有条件下较难实现,因此,可以利用“软措施”,即优化船闸运行方式来有效控制船闸的灌水流量,从而解决渡槽的水流问题。

优化船闸运行方式主要依靠改变输水阀门运行方式来实现控制灌水流量。整体模型试验推荐的阀门运行方式为连续开启,阀门开启时间 t_v 为 8 min。现场观测^[12]表明,模型试验推荐的阀门运行方式在较低的初始作用水头(17.4 m)下,实测渡槽平底段末端断面最大流速超过 3 m/s,水面跌落约 2 m,前池进水口水位跌落超过

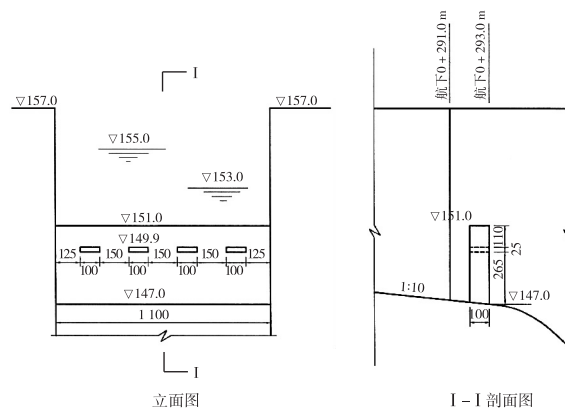


图 4 渡槽挡水墙布置(单位:高程 m,长度 cm)

Fig. 4 Layout of water barrier in the aqueduct
(unit: elevation in m, length in cm)

11 m,最大灌水流量达 83 m³/s,已大于渡槽最大过流能力,斜坡段形成急流,并伴有波状水跃,水面流态较为恶劣,灌水结束后水面波动较大,最大波幅达 0.77 m 且持续时间较长。

鉴于此种情况,在原型调试中采用了两种阀门开启方式,一种为阀门局部开启,即将阀门开至某一开度直至灌水结束;另一种方式为阀门间歇开启,先将阀门开至某一小开度,等作用水头减小后再将阀门开启至另一开度,最后在一定的剩余水头时动水关阀至某一开度直至灌水结束。

在阀门局部开启情况下(停机开度为 40%),灌水流量得到有效控制,接近设计水头下最大灌水流量为 55 m³/s,小于渡槽最大过流能力,渡槽内水流呈缓流状态,前池水位跌落值小于 1 m,前池表面漩滚较弱,渡槽及前池流态较好,最大波幅小于 0.4 m,对上游引航道待闸船舶不会产生不利影响。但是其输水时间过长,超过 20 min。

为尽量缩短船闸灌水时间,在局部开启基础上提出了间歇开启并进行了多组试验研究,最终选择第 1 次停机开度为 40%、第 2 次停机开度为 60%、停机时间为 5 min 的开启方式,既能满足上游引航道及渡槽水流条件,又可尽量缩短输水时间。在接近设计水头下,最大流量约 65 m³/s,小于渡槽最大过流能力,输水时间为 18 min,渡槽平底段末端断面最大流速 2.37 m/s,前池水面最大降落约 0.7 m,渡槽及卧倒门前水流流态平稳,前池表面漩滚较弱。整个灌水过程,上游 1#靠船墩处水位波动较小,最大水位波幅小于 0.2 m,最大流速 0.55 m/s,实测的 200 t 级单船最大系缆力约 5.2 kN,上游靠船墩船舶停泊条件满足规范要求。卧倒门开启后,渡槽内水面较为平静,船舶航行条件较好。

3 种不同阀门开启方式下渡槽水力特性对比见表 1。

表 1 双边灌水工况渡槽水力特征值

Tab. 1 Hydraulic characteristics of the aqueduct under the double valves filling condition

阀门 开启 方式	渡槽 初始 水位/m	水头/m	最大水面降落值/m				最大流速/(m·s ⁻¹)		最大 水面 比降/‰
			上游进口	平底段末端	挡水墙顶	前池末端	平底段 末端断面	口门区	
连续开启	154.40	17.40	1.10	1.80	2.40	/	3.15	/	5.20
局部开启	154.29	27.82	0.32	0.55	0.76	0.63	2.05	2.70	1.76
间歇开启	154.23	27.25	0.42/0.47 ^①	0.69/0.70	0.83/0.75	0.78/0.72	1.93/2.37	2.65/2.83	1.64/1.12

注:①A/B,A 指第 1 次停机后的值,B 指第 2 次停机后的值。

由表 1 可见,采用间歇开启方式后,渡槽水力特性大大优于连续开启方式,与局部开启时间接近,但灌水时间减小较多,因此,推荐船闸双边灌水工况的阀门运行方式为间歇开启,即灌水阀门以 $t_v=8$ min 速率开至 40%,停 5 min,再开至 60%,当剩余水头为 0.5 m 时动水关阀至 40%,上游卧倒门前后水位差为 10 cm 时开启卧倒门,在卧倒门开至全开位后,将灌水阀门关至全关位,最终关闭卧倒门。推荐的阀门运行方式下挡水

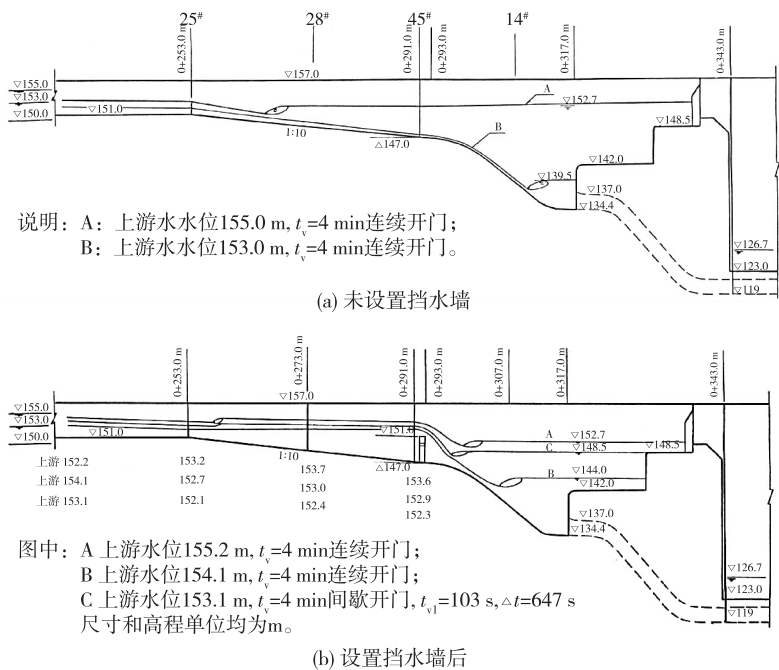


图 5 设置挡水墙前后渡槽水面线(模型试验)

Fig. 5 Comparison of water surface profile in the aqueduct before and after setting up water barrier (model test)

墙顶水位、渡槽平底段末端断面流速、上游引航道 1#系船柱处水位波动及船舶系缆力过程线见图 6。

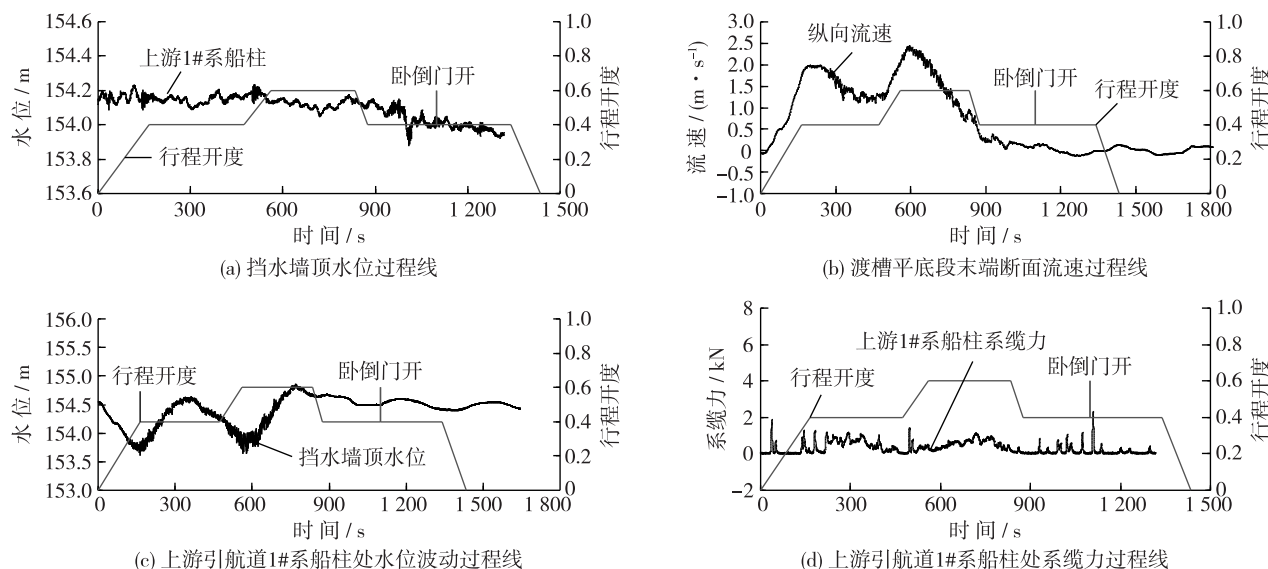


图 6 推荐的阀门运行方式下渡槽水力特性曲线

Fig. 6 Typical hydraulic characteristic curves of the aqueduct under the recommended valve operation mode

3 结 语

由于红水河大化船闸是由原升船机方案改建而成,其渡槽原为升船机方案的连接上游引航道与升船机本体段的中间通航渠道,与一般船闸中间渠道有较大区别,因而造成了其独特的水力特性,加之化大船闸水头高达 29.0 m,使得大化船闸的渡槽水流条件更为复杂,若不加以解决,将成为限制船闸正常运行的瓶颈。

本文对大化船闸渡槽的水力特性进行了理论分析,并在此基础上提出了以采用优化船闸运行方式的“软措施”为主,同时进行适当的工程改造的“硬措施”为辅的综合改善手段,较好地解决了大化船闸渡槽复杂的水力学问题,并在实际应用中得到了验证,其方法及经验可供相关工程技术人员参考。在船闸实际运行中,为确保过闸船舶安全,应提醒过闸船舶在上游引航道停泊时需按要求系紧缆绳,待灌水结束渡槽内水面相对平稳后再由上游引航道经渡槽慢速驶入闸室内停泊。此外,需对船闸结构尤其是上闸首卧倒门进行定期检查和维护,以确保船闸自身安全。

参 考 文 献:

- [1] 王作高. 船闸设计[M]. 北京:水利电力出版社,1992. (WANG Zuo-gao. Navigation lock design[M]. Beijing: China Water & Power Press, 1992. (in Chinese))
- [2] 吴时强,丁道扬. 中间渠道内非恒定流数值模拟[J]. 水利水运工程学报,1997(3):219-227. (WU Shi-qiang, DING Dao-yang. Numerical simulation of unsteady flow in a midchannel[J]. Hydro-Science and Engineering, 1997(3): 219-227. (in Chinese))
- [3] 周华兴,郑宝友,于宝海. 船闸设中间渠道的有关问题[J]. 水利水运工程学报,2005(增1):189-193. (ZHOU Hua-xing, ZHENG Bao-you, YU Bao-hai. Related issues of ship lock with middle channel[J]. Hydro-Science and Engineering, 2005 (Suppl1): 219-227. (in Chinese))
- [4] 戈龙仔,曹玉芬,孟祥玮,等. 船闸中间渠道非恒定流特性与调节池改善措施探讨[J]. 水道港口,2006(6):378-383. (GE Long-zai, CAO Yu-fen, MENG Xiang-wei, et al. Analysis of characteristics of unsteady flow in middle channel and improving measures about balancing bank[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2006(6): 378-383. (in Chinese))
- [5] 曹玉芬,戈龙仔,孟祥玮,等. 带中间渠道船闸运转方式的试验研究[J]. 水道港口,2007(2):126-132. (CAO Yu-fen, GE Long-zai, MENG Xiang-wei, et al. Study on run mode of upper and lower lock with intermediate channel[J]. Journal of Waterway

- and Harbor, 2007(2): 126-132. (in Chinese))
- [6] 孟祥玮,高学平,周华兴. 船闸中间渠道尺度对通航水流条件影响的研究[J]. 水利水电技术,2010(10):31-36. (MENG Xiang-wei, GAO Xue-ping, ZHOU Hua-xing. Study on influence from scale of ship lock intermediate channel on navigation flow condition[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010(10): 31-36. (in Chinese))
- [7] 余常昭. 水力学(下册)[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 1996. (YU Chang-zhao. Hydraulics(volume two) [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 1996. (in Chinese))
- [8] 胡亚安,张瑞凯,李云,等. 提高三峡船闸完建期通过能力措施研究[J]. 水利水运工程学报,2009(4):105-115. (HU Ya-an, ZHANG Rui-kai, LI Yun, et al. Research on improving the traffic capacity of the TGP ship lock during the completion period [J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(4): 105-115. (in Chinese))
- [9] 胡亚安,李君,宗慕伟. 红水河乐滩船闸输水系统水力特性原型调试研究[J]. 水利水运工程学报,2008(3): 6-13. (HU Ya-an, LI Jun, ZONG Mu-wei. Study by prototype debug on hydraulic characteristics of the filling and emptying system of Letan ship lock on Hongshui River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(3): 6-13. (in Chinese))
- [10] 乔文荃,严秀俊,黄岳. 广西红水河大化水电站船闸整体水工模型试验中间成果报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2001. (QIAO Wen-quan, YAN Xiu-jun, HUANG Yue. Interim report of overall model test of Dahua ship lock on Hongshui River in Guangxi Zhuang Autonomous Region[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2001. (in Chinese))
- [11] 乔文荃,严秀俊,黄岳. 广西红水河大化水电站船闸整体水工模型终结试验报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院,2001. (QIAO Wen-quan, YAN Xiu-jun, HUANG Yue. Final report of overall model test of Dahua ship lock on Hongshui River in Guangxi Zhuang Autonomous Region[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2001. (in Chinese))
- [12] 胡亚安,李君,李中华. 红水河大化船闸输水系统水力特性原型调试研究[J]. 水运工程,2008(3):87-92. (HU Ya-an, LI Jun, LI Zhong-hua. Prototype debug study on the hydraulic characteristics of the filling and emptying system of Dahua ship lock on Hongshui River[J]. Port & Waterway Engineering, 2008(3): 87-92. (in Chinese))

Analysis of hydraulic characteristics for Dahua shiplock aqueduct and its flow condition improvement measures

LI Jun¹, HONG Juan², HU Ya-an¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Navigation Structures Construction Technology of Ministry of Transport, Key Laboratory of Water Science and Engineering of Ministry of Water Resources, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: Navigation flow condition is one of the most important problems which should be considered in designing the shiplock intermediate channel. As the Dahua shiplock aqueduct is the intermediate channel of the former designed ship lift, it is different from the normal shiplock intermediate channel. Besides, the working head of the Dahua shiplock reaches 29.0 m, which makes the aqueduct hydraulic characteristics and flow regime become more complicated and severe, which can produce a serious influence on the ship safety and shiplock efficiency. Based on the classical theory of the open channel hydraulics, the basic hydraulic characteristics and the main factors affecting the flow conditions in the aqueduct are analyzed, and the comprehensive measures are adopted to improve the flow regime, including “soft measure” as the main and “hard measure” as the supplementary via model experiments and prototype observation. The “soft measure” means optimizing the valve schedule and the “hard measure” means setting up a wall at the end of the sloping section of the aqueduct. The measures have perfectly solved the complicated hydraulic problems and their validity has been testified by engineering practice.

Key words: high water head shiplock; aqueduct; hydraulic characteristic; flow regime; improvement measures