

平面闸门门下输水型船闸灌泄水运行研究

邵春楼¹, 苏叶春², 黄劲松¹

(1. 常州市长江堤防工程管理处, 江苏 常州 213127;

2. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

摘要: 本文针对门下输水型式, 从经济合理角度提出“N次输水”法。由船闸输水一般方程, 给出了各阶段计算公式, 结合澡港河船闸进行分析计算, 结果表明“N次输水”法比“一次输水”法要节约灌泄水时间, 也减少了启闭设备运行次数。

关键词: 船闸; 门下输水; 计算; 运行

中图分类号: TV66

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2017)02-0045-04

Research on operation of lock filling and emptying under plane gate

SHAO Chunlou¹, SU Yechun², HUANG Jinsong¹

(1. The Yangtze River Levee Project Management Office of Changzhou, Changzhou 213127, Jiangsu;

2. Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd,
Suzhou 215128, Jiangsu)

Abstract: In view of the door type, “multiple water transfer” method is put forward from the perspective of economic and reasonable. By emptying general equation, the formula of each stage is given. Combined with the analysis of Zaogang river lock, the results show that “multiple water transfer” method could save water filling time than “single water transfer” method. The operation way of hoisting equipment is better.

Key words: lock; lock filling and emptying under the gate; calculation; operation

1 船闸输水型式

船舶通过船闸时, 输水系统向闸室灌水, 闸室水位上升; 闸室向外泄水, 闸室水位降落。停靠在闸室的船舶靠水的浮力, 随着闸室的水位升降, 与上游或下游水面齐平达到克服水位差的目的^[1]。输水系统的选择和布置直接影响到船闸的通过能力, 以及过闸船舶和船闸及其附属结构物的安全。

船闸输水系统, 经历了几百年的发展历史, 总体上分为集中输水系统和分散输水系统。在我国

已建成的船闸中, 采用集中输水系统的占绝大多数。集中输水系统可分为三类^[2]: 短廊道输水、直接利用闸门输水和组合式输水。其中, 直接利用闸门输水包括三角门门缝、平面闸门门下输水、弧形闸门门下输水和闸门上开小门输水。

平面闸门门下输水是利用船闸的工作闸门兼作输水之用, 需要采用消能措施。我国大中型船闸采用这种方式的不多, 但前苏联和欧洲一些国家用的较多。其主要缺点是在水流跌落时掺气严重, 强烈掺气的水流不但破坏波浪力的特性, 而且改变了断面流速分布, 增大了进入闸室的水流

收稿日期: 2016-10-14

作者简介: 邵春楼(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利工程建设和管理工作。

能量,以致大大增加船舶的缆绳拉力。所以《船闸输水系统设计规范》明确提出:“当水头大于10 m时不宜采用,5 m以上应慎重考虑掺气影响。”在水位差比较小的情况,采取门下输水就省去了输水廊道和阀门,节省了工程造价。

2 平面闸门门下输水的水力计算

船闸水力计算的目的是保证闸室输水时间、船舶安全过闸和船闸安全运转。平面闸门门下输水时,由于水位差的变化,输水系统内将发生非恒定的水流运动,从开始的流量为零,随着闸门的开启流量逐渐加大,达到峰值后,在闸室水位逐渐抬升(降低)后又逐渐减小,直至降为零。因此,闸室和引航道内都将发生非恒定流运动,即所谓的“长波运动”。由于长波运动的波幅相对水深很小,所以一般都假设闸室的水位是水平的。

《船闸设计》和《船闸输水系统设计规范》都提到闸门门下输水型式,但在计算方法上均只给出用得最多的廊道输水方法。

2.1 开启次数

叶文明^[3]认为采用常规的廊道输水方式,在船闸运行期存在两大问题:一是输水阀门需要定期维修甚至更换,影响船闸正常工作;二是廊道灌泄水过程需要的时间长,影响船闸通航效率。例如,广东省鹤山市沙坪船闸大胆采用直接提升闸门输水的方式,由于该闸设计水头为3.0~3.5 m,为避免闸门停留在高频振动区,故采用一次提升闸门至0.9 m,待水位向平后再启闭闸门,这样船闸充水时间不到3 min,然后根据最高流速来设计消能设施。

以上方法我们称之为“一次输水”法,“一次输水”法适用于低水位差,其优点是避免闸门停留在高频振动区,一次输水对启闭设备的保护较好;但其缺点是不适合高水位差,对于已经建成的船闸,一次开度过高会造成流速过大而损坏消能设施,也不利于船舶安全停靠。

在技术上可行、经济上合理的条件下,尽可能缩短船闸灌泄水时间,一般情况下,低水头船闸不超过5~8 min,同时要考虑船舶停靠条件,闸室灌泄水时的最大水面升降速度应不大于5~6 cm/s。为此,根据已建成的船闸消能设施,计算出闸门经济合理开度,提出“N次输水”法,当水位

差较小时,可“一次输水”,一次开启就离开高频振动区;当水位差相对大时,可“两次输水”或“三次输水”,多次开启闸门灌水,最多只有一次极短时间内处于高频振动区,同时也尽最大可能减少启闭设备运行次数,保护设备。

2.2 水力计算

现就平面闸门门下输水系统计算作如下推导:

船闸输水一般方程:

$$Q_t = -C \frac{dH_t}{dt} \quad (1)$$

其中 $C = \frac{\Omega_1 \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2}$, 对于单级船闸 $C = \Omega$

闸门门下输水为有压孔流,则有 $Q_t = \mu \omega \sqrt{2gH_t}$ 将上式代入式(1)后得:

$$\mu \omega_t \sqrt{2gH_t} = -C \frac{dH_t}{dt} \quad (2)$$

现对输水各阶段进行积分,分别有:

(1) 闸门第一次开启过程中 ($0 \leq t \leq t_1$)

$$\frac{2C(\sqrt{H_0} - \sqrt{H_1})}{\mu\sqrt{2g}} = \int_0^{t_1} \omega_t dt = \int_0^{t_1} Bv dt = Bv \frac{t_1^2}{2}$$

其中 $\omega_t = Bvt$, 设闸门均匀开启,速度 v 保持不变,可知:

$$\sqrt{H_1} = \sqrt{H_0} - \frac{\mu\sqrt{2g}Bv \frac{t_1^2}{2}}{2C} \quad (3)$$

(2) 第一次开启到位后 ($t_1 \leq t \leq t_2$)

在此阶段保持 ω_t 不变,即 $\omega_t = Be$, 得:

$$\sqrt{H_2} = \sqrt{H_1} - \frac{\mu\sqrt{2g}Be(t_2 - t_1)}{2C} \quad (4)$$

若水位差较小可采取“一次输水”法,输水完成;若水位差较大,则进入步骤(3)。

(3) 第二次开启过程中 ($t_2 \leq t \leq t_3$)

原理同步骤(1),可知:

$$\sqrt{H_3} = \sqrt{H_2} - \frac{\mu\sqrt{2g}Bv \frac{t_3^2 - t_2^2}{2}}{2C} \quad (5)$$

(4) 第二次开启到位后 ($t_3 \leq t \leq t_4$)

原理同步骤(2),得:

$$\sqrt{H_4} = \sqrt{H_3} - \frac{\mu\sqrt{2g}Be(t_4 - t_3)}{2C} \quad (6)$$

若水位差依然很大,则继续重复步骤(1)和(2),

具体可参考式(5)和式(6);若水位差已经接近“一次输水”法的水位差时,则只进入步骤(1),之后直接进入步骤(5)。

(5)当 $\Delta H=0$ m时,闸门就开启到位放航,输水过程结束。

输水过程中各时刻水流能量公式:

$$E_t=9.81Q_tH_t \quad (7)$$

输水过程中各时刻水流比能公式:

$$E_{pt}=\frac{E_t}{\omega_t} \quad (8)$$

输水过程中各时刻平均流速公式:

$$v_t=\frac{Q_t}{\omega_t} \quad (9)$$

在采用门下输水的船闸中,一般水位差不是很高,否则就会采取短廊道法,通过“N次输水”就能快速灌泄水,通航效率明显提高。

3 计算应用

常州市澡港河水利枢纽是太湖治理骨干工程中武澄锡低片治理的主要工程项目之一,位于常州市沿江引排骨干河道澡港河的入江口。工程于1998年11月开始新建,2002年6月竣工,具有防洪、排涝、抗旱、航运、水环境保护等多种功能。枢纽包括节制闸、泵站和船闸等建筑物,呈三位一体布置,工程可抗御长江100年一遇洪水,使得武澄锡地区西部的除涝标准达到20年一遇,年均可自流引水4亿 m^3 ,可灌溉0.67万 hm^2 。其中五级通航船闸,设计标准为 $190\times 12(16)\times 2.5$ m,通航能力按500 t级船队设计,闸门均为平面升卧式钢闸门,采用卧式增程式液压式启闭机。输水方式为闸门门底输水,设计最大水头3.27 m,为低水头船闸。考虑船闸在特殊情况下的引排水需要,上下闸首均设置深0.5 m、长20 m消力池,最大水位差3.27 m输水时,最大灌泄水流量达25.23 m^3/s ,能满足消能和防冲要求,因此该输水方式是安全的。

3.1 闸门开度选择

为缩短输水时间,尽可能选择大的闸门开度,

具体开度可根据公式 $e=\frac{Q}{\mu B\sqrt{2g\Delta H}}$ 进行计算选取。

根据《水闸设计规范》(SL265-2001)规定^[4]:闸门开度小于总水头的0.1倍时,闸门容易产生高频

振动;闸门开度为门前总水头的0.45~0.5倍时,出闸水流不稳定,亦会引起闸门产生振动。

开度在0.6 m以下时,闸门处于高频振动区,但考虑到闸室船舶安全停靠不得已而为之。等闸室水位适当抬高或降低后,短时间内就可再次开启,离开高频振动区。船闸输水闸门开度选择见表1。

表1 船闸输水闸门开度选择

序号	ΔH (m)	计算开度 (m)	选取开度 (m)
1	0.5	1.12	1.0
2	1.0	0.79	0.6
3	1.5	0.64	0.6
4	2.0	0.56	0.5
5	2.5	0.5	0.5
6	3.0	0.46	0.4
7	3.27	0.44	0.4

为了便于操作,提出如下灌泄水运行方案:

(1)水位差不大于0.5 m时,采用“一次输水”法,根据水位差选取闸门开度为1.0 m,水位相平后直接开启闸门至顶,输水过程结束。

(2)水位差不大于1.5 m时,采用“两次输水”法,第一次开度为0.6 m,当水位差减少至0.5 m时再次开启闸门达1.0 m,水位相平后直接开启闸门至顶,输水过程结束。

(3)当水位差不大于2.5 m时,采用“三次输水”法,第一次开度为0.5 m,当水位差减少至1.5 m时开启闸门至0.6 m,当水位差减少至0.5 m时开启闸门至1.0 m,待两边水位相平后闸门开启至顶,输水过程结束。

(4)当水位差不大于3.27 m时,采用“四次输水”法,第一次开度为0.4 m,当水位差减少至2.5 m时开启闸门至0.5 m,当水位差减少至1.5 m时开启闸门至0.6 m,当水位差减少至0.5 m时开启闸门至1.0 m,待两边水位相平后闸门开启至顶,输水过程结束。

3.2 计算结果比较

在澡港河船闸初步设计中要求:“在水位差较大的情况下,闸门不是一次开足,而是提高0.3~0.4 m后停顿5 min,然后再继续缓慢开启”^[5]。其计算结果见表2。

由于4种工况下,水位差均较大,所以选用“N次输水”法进行灌泄水。其计算结果见表3。

表 2 “一次输水”法水力计算成果表

工况	水位组合		灌泄水时间 (s)	最大流量 (m ³ /s)	闸首最大平均流速 (m/s)	允许流速 (m/s)
	长江 (m)	内河 (m)				
正向设计	6.84	3.80	705	24.33	上：0.47 下：0.70	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
正向校核	6.84	3.57	720	25.23	上：0.56 下：0.94	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
反向设计	2.72	4.84	545	20.32	上：0.30 下：0.55	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
反向校核	1.77	4.84	705	24.45	上：0.43 下：0.69	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90

表 3 “N 次输水”法水力计算成果表

工况	水位组合		灌泄水时间 (s)	最大流量 (m ³ /s)	闸首最大平均流速 (m/s)	允许流速 (m/s)
	长江 (m)	内河 (m)				
正向设计	6.84	3.80	665	23.42	上：0.64 下：0.89	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
正向校核	6.84	3.57	704	23.42	上：0.59 下：0.69	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
反向设计	2.72	4.84	506	23.42	上：0.63 下：0.74	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90
反向校核	1.77	4.84	670	23.42	上：0.64 下：0.76	0.45 ~ 0.65 0.80 ~ 1.90

4 结 语

通过计算结果对比可以看出，“N 次输水”法比设计的“一次输水”法要节约灌泄水时间，提高了通航效率，虽然闸首最大流速有所增加，但能够满足消能防冲要求。同时，“N 次输水”法也尽最大可能减少了启闭设备运行次数，延长设备运行寿命，值得在门下输水型船闸的运行中进行推广应用。

参考文献：

[1] 王作高 . 船闸设计 [M]. 北京：水利电力出版社，1992.

[2] 南京水利科学研究院，天津水运工程科学研究所 .JTJ306-2001 船闸输水系统设计规范 [S]. 北京：人民交通出版社，2001.

[3] 叶文明 . 闸底直接充水式船闸设计 [M]. 广东水利水电，2011 (10) : 56-58.

[4] 江苏省水利勘测设计研究院 . SL265-2001 水闸设计规范 [S]. 北京：中国水利水电出版社，2001.

[5] 江苏省水利勘测设计研究院，常州市水利规划设计院 . 常州市溧港河水利枢纽工程初步设计 [R].1998:38-39.

(责任编辑：徐丽娜)