

**JTJ**

中华人民共和国行业标准

**JTJ 306—2001**

---

# 船闸输水系统设计规范

Design Code for Filling and Emptying  
System of Shiplocks

**2001 - 09 - 05 发布**

**2002 - 01 - 01 实施**

---

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

# 船闸输水系统设计规范

**JTJ 306—2001**

主编单位：南京水利科学研究院

天津水运工程科学研究所

批准部门：中华人民共和国交通部

施行日期：2002年1月1日

# 关于发布《船闸输水系统设计规范》的通知

交水发〔2001〕489 号

各有关单位：

由我部组织南京水利科学研究院和天津水运工程科学研究所等单位修订完成的《船闸输水系统设计规范》，业经审查，现批准为强制性行业标准，编号为 JTJ306—2001，自 2002 年 1 月 1 日起施行。《船闸设计规范（第二篇 输水系统设计）》（JTJ262—87）同时废止。

本规范由交通部水运司负责管理和解释，由人民交通出版社出版发行。

中华人民共和国交通部

二〇〇一年九月五日

## 修 订 说 明

本规范是在《船闸设计规范(第二篇 输水系统设计)》(试行)(JTJ262—87)的基础上修订而成。主要包括集中输水系统设计、分散输水系统设计、输水系统水工模型试验和原型观测等内容。

本规范的主编单位为南京水利科学研究院和天津水运工程科学研究所。

原规范是从当时我国的实际情况出发,在总结建国 40 年来,船闸建设的实践经验、科研成果和国外先进技术的基础上编制而成的。原规范颁布试行至今十余年来,为工程建设的发展起到了积极重要的作用,其经济效益十分显著,但随着船闸工程建设的发展,原规范已难以满足需要,同时国内又有一批技术更为先进的高、中、低水头船闸相继建成并投入运行,为我国船闸建设积累了丰富的设计和运行经验。此外,近年来对世界上规模最大,技术难度最为复杂的三峡船闸输水系统,进行了多种方案深入的研究,取得了大量具有国际先进水平的成果。为体现船闸输水系统的设计、科研、运行管理等方面的最新技术和成果,对原规范“第二篇 输水系统设计”进行了修订,增补了分散输水系统选型的判别式、倒口及槛下输水型式、高水头船闸阀门防止空化的措施、阀门非恒定流空化试验、水工模型试验缩尺影响校正、鹅颈管状廊道、竖梁式反弧门及环形短廊道复合阻力系数等内容。并按照《水运工程建设标准编写规定》(JTJ200—2001)的要求对原规范的章、节、条进行了重新编排。

本规范共分 5 章 9 节和 7 个附录,并附条文说明。本规范修订人员分工如下:

- 1 总则:须清华
- 2 基本规定:赵德志 宣国祥
- 3 集中输水系统设计:周华兴 宗慕伟 连恒铎

4 分散输水系统设计;须清华 宗慕伟 李 云 胡亚安

5 输水系统水工模型试验和原型观测;宗慕伟 赵德志 孟祥玮

附录;须清华 周华兴 郑宝友

本规范于 1999 年 8 月 19 日通过部审,2001 年 9 月 5 日发布,2002 年 1 月 1 日起实施。

本规范由交通部水运司负责管理和解释,请各有关单位在执行过程中将发现的问题和意见及时函告交通部水运司和本规范管理组,以便再修订时参考。

# 目 次

1 总则 .....	(1)
2 基本规定 .....	(2)
2.1 输水系统的设计要求和分类 .....	(2)
2.2 船舶停泊标准 .....	(3)
2.3 输水系统运转安全技术指标和要求 .....	(3)
3 集中输水系统设计 .....	(5)
3.1 集中输水系统的型式和适用范围 .....	(5)
3.2 集中输水系统的布置 .....	(7)
3.3 短廊道输水系统的水力计算 .....	(17)
4 分散输水系统设计 .....	(23)
4.1 分散输水系统的型式和适用范围 .....	(23)
4.2 分散输水系统的布置 .....	(27)
4.3 分散输水系统的水力计算 .....	(32)
5 输水系统水工模型试验和原型观测 .....	(36)
附录 A 输水廊道阻力系数和流量系数 .....	(37)
附录 B 闸室灌水初期各类输水系统的波浪力系数 .....	(43)
附录 C 闸室灌泄水水力特性曲线 .....	(45)
附录 D 灌泄水时,停泊在闸室和引航道内船舶、 船队所受的各种水流作用力 .....	(48)
附录 E 输水廊道换算长度和闸室水面惯性超高、超 降值 .....	(51)
附录 F 分散输水系统输水阀门底缘空化数 .....	(53)
附录 G 本规范用词用语说明 .....	(54)
附加说明 本规范主编单位、主要起草人、总校人员 和管理组人员名单 .....	(55)
附 条文说明 .....	(57)

# 1 总 则

**1.0.1** 为适应船闸工程建设的需要,统一船闸输水系统设计的技术要求,提高船闸设计水平,做到船舶航行过闸安全、通畅,提高船闸的经济效益,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于新建、扩建和改建的 I~VII 级内河船闸,低于 VII 级的船闸、海船闸和筏闸的设计可参照执行。

**1.0.3** 船闸输水系统设计应从全局出发,在确保船舶、船队迅速、安全过闸的条件下,力求布置简单,并根据需要做到远近结合、留有余地。

**1.0.4** 船闸输水系统设计应积极采用新技术、新形式,使设计经济合理、技术先进,并便于施工、管理和维修。

**1.0.5** 本规范应与船闸总体设计、船闸水工建筑物设计、船闸闸门和阀门设计、船闸启闭机设计以及船闸电气设计等配套使用。

**1.0.6** 船闸输水系统的设计,除应符合本规范外,尚应符合国家现行标准的有关规定。

## 2 基本规定

### 2.1 输水系统的设计要求和分类

**2.1.1** 船闸输水系统应包括进水口、阀门段、输水廊道、出水口、消能工和镇静段等。

**2.1.2** 输水系统的设计,应满足下列基本要求:

(1)灌水和泄水时间;

(2)船舶、船队在闸室内的停泊条件和引航道内的停泊和航行条件;

(3)船闸各部位在输水过程中不至由于水流冲刷、空蚀、振动等造成破坏。

**2.1.3** 对有双向水头、多线船闸或船闸与升船机共用引航道、多级船闸补溢水、设置中间渠道、省水、防咸等要求的船闸,除满足第2.1.2条规定外,尚应满足各自特殊的要求。

**2.1.4** 船闸输水系统可分为集中输水系统和分散输水系统两大类。输水系统的类型可根据判别系数按式(2.1.4)初步选定。当 $m > 3.5$ 时,采用集中输水系统;当 $m < 2.5$ 时,采用分散输水系统;当 $m$ 为 $2.5 \sim 3.5$ 时,应进行技术经济论证或参照类似工程选定。

$$m = \frac{T}{\sqrt{H}} \quad (2.1.4)$$

式中  $m$ ——判别系数;

$H$ ——设计水头(m);

$T$ ——闸室灌水时间(min)。

**2.1.5** 船闸输水系统的设计,宜将水力计算分析和进行水工模型



试验相结合。

**2.1.6** 多级船闸的上、下游水位变幅较大且不同步时,应考虑闸室输水过程的补水和溢水措施。

**2.2 船舶停泊标准**

**2.2.1** 闸室与引航道内停泊船舶的允许系缆力,可按表 2.2.1 采用。

船舶允许系缆力							表 2.2.1
船舶吨位(t) 允许系缆力(kN)	3000	2000	1000	500	300	100	50
纵向水平分力	46	40	32	25	18	8	5
横向水平分力	23	20	16	13	9	4	3

**2.2.2** 船舶或顶推船队所受的作用力均应按一根系船缆绳承担考虑。顶推船队的允许系缆力,应按顶推船队中系缆的最小单船吨位计算。在使用固定系船设备的情况下,计算的允许系缆力,应乘以  $\cos\beta$ 。

注: $\beta$  为系船缆绳与水平面的最大夹角。

**2.3 输水系统运转安全技术指标和要求**

**2.3.1** 对只设有固定系船设备的船闸,闸室灌泄水时的最大水面升降速度应不大于 5~6cm/s,设有浮式系船柱时,可不受此限制。

**2.3.2** 船闸灌泄水时,引航道内非恒定流的水面波动、比降及流速等水力特性,除应满足引航道内船舶、船队停泊条件标准外,尚应满足船舶、船队在引航道内的航行条件和停靠码头的操作要求。引航道内水面的降低应保证航行船舶的富裕水深。上游引航道中最大纵向流速应不大于 0.5~0.8m/s,下游引航道中应不大于 0.8~1.0m/s。但在上游引航道码头处应不大于 0.5m/s。

**2.3.3** 船闸正常运转时,输水系统各部位不宜出现负压,在特殊情况下,其局部压力不宜产生超过 3mH<sub>2</sub>O 的负压。

**2.3.4** 输水廊道中的流速不宜大于 15 m/s。当流速超过 15m/s

或含沙量较大的水流,应采取防护措施。

**2.3.5** 当船闸闸室灌泄水时,闸室水面的最大惯性超高、超降值,在采取提前关闭输水阀门及水面齐平时开启闸门等措施后,不宜大于 0.25m。

**2.3.6** 输水系统进水口水面不应产生有危害性的串状吸气漩涡。

**2.3.7** 多级船闸采用输水阀门兼作补水阀门时,应核算补水操作时阀门的工作条件以及闸室输水时间。采用闸室侧溢流堰作为溢水措施时,溢流孔口顶高程应低于船舶底部高程。同时在确定闸室下闸首阀门井顶部高程时,应考虑阀门前廊道水流动能恢复所导致的阀门井水位增高。

## 3 集中输水系统设计

### 3.1 集中输水系统的型式和适用范围

**3.1.1** 集中输水系统可分为短廊道输水、直接利用闸门输水和组合式输水,并分别包括下列内容:

(1)短廊道输水包括无消能室、有消能室和槛下输水;

(2)直接利用闸门输水包括三角闸门门缝、平面闸门门下和闸门上开小门输水;

(3)组合式输水由上述某两种输水型式组成。

**3.1.2** 集中输水系统的消能工应根据具体条件选用,其型式主要包括消能室、消力齿、消力槛、消力梁、消力格栅、垂直挡板、水平遮板、消力池和消力墩等。

**3.1.3** 集中输水系统的消能措施按其有无消能工以及消能工的复杂程度可分为无消能工、简单消能工(图 3.1.3-1 ~ 图 3.1.3-7)和复杂消能工(图 3.1.3-8 ~ 图 3.1.3-13)。

**3.1.4** 集中输水系统上、下闸首断面最大平均流速可分别按下列近似公式计算:

$$\text{上闸首: } \bar{V}_{\max} = 2L_c H \frac{1}{T \left( S_c + \frac{H}{2} \right)} \quad (3.1.4-1)$$

$$\text{下闸首: } \bar{V}_{\max} = 1.8L_c H \frac{1}{TS_c} \quad (3.1.4-2)$$

式中  $\bar{V}_{\max}$ ——对上闸首为灌水时闸室最大的断面平均流速;对下闸首为泄水时下闸首门后段最大的断面平均流速(m/s);

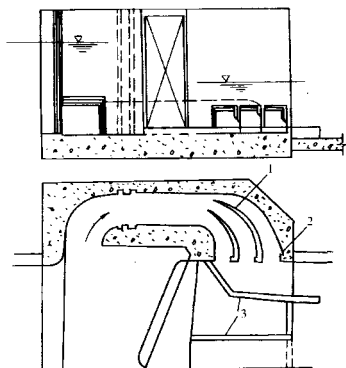


图 3.1.3-1 短廊道输水设消力槛示意图

1-隔墩;2-竖向槛;3-消力槛

$L_c$ ——闸室水域长度(m);

$H$ ——设计水头(m);

$T$ ——闸室灌泄水时间(s);

$S_c$ ——槛上最小水深(m)。

**3.1.5 集中输水系统消能工的类型**可根据上下闸首处断面最大平均流速和水头按表 3.1.5 选用。

各类消能工的水力指标

表 3.1.5

消能工类型 流速和水头 部 位	无 消 能 工		简 单 消 能 工		复 杂 消 能 工	
	$V_{\max}(\text{m/s})$	$H(\text{m})$	$\bar{V}_{\max}(\text{m/s})$	$H(\text{m})$	$\bar{V}_{\max}(\text{m/s})$	$H(\text{m})$
上闸首闸室	0.25 ~ 0.45	$\leq 4$	0.45 ~ 0.65	4 ~ 7	0.65 ~ 0.9	7 ~ 11
下闸首门后	$\leq 0.8$	$\leq 4$	0.8 ~ 1.9	4 ~ 8	1.9 ~ 2.3	8 ~ 11

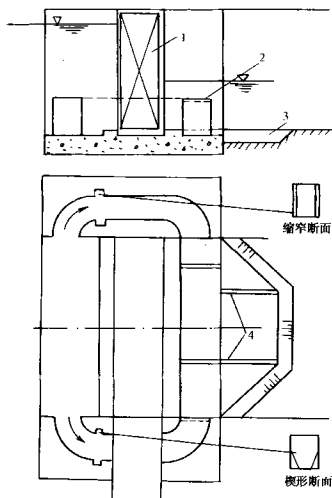


图 3.1.3-2 短廊道输水设消力槛及消力池示意图  
1-横拉门;2-顶横梁;3-消力池;4-消力槛

## 3.2 集中输水系统的布置

**3.2.1 集中输水系统及其消能工应布置在闸首及靠近闸首的闸室范围内。**消能段后宜设镇静段,镇静段的长度可按式(3.2.1)计算。倒口消能室短廊道输水不设镇静段时,其布置应通过水工模型试验确定。

$$L = BE_p \quad (3.2.1)$$

式中  $L$ ——镇静段长度(m);

$B$ ——经验系数,与船闸输水消能型式有关,对无消能工取

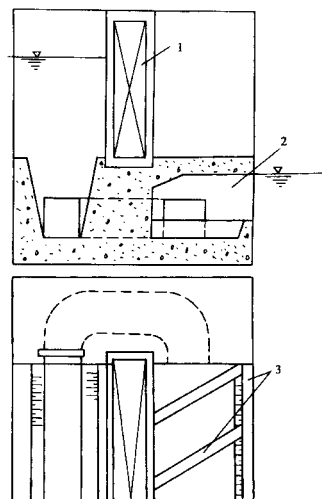


图 3.1.3-3 短廊道输水设简单消能室示意图  
1-横拉门;2-消能室;3-消力槛

0.7~1.3;对简单消能工取 0.3~0.7;对复杂消能工取 0.1~0.3。在各类内消能效果好的取小值;

$E_p$ ——理论最大比能( $\text{kW}/\text{m}^2$ ),可通过计算求得。

**3.2.2 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。

**3.2.3 短廊道输水的布置**应符合下列规定。

**3.2.3.1 廊道进口**的最小淹没水深应按下式确定,计算时应考

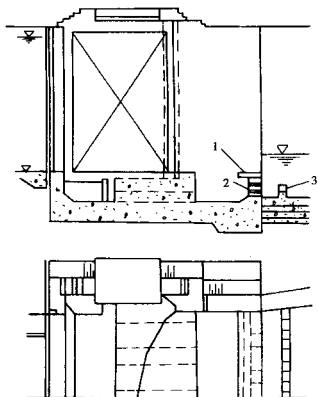


图 3.1.3-4 槛下输水设简单消能工示意图

1-平面遮板;2-消力梁;3-消力齿

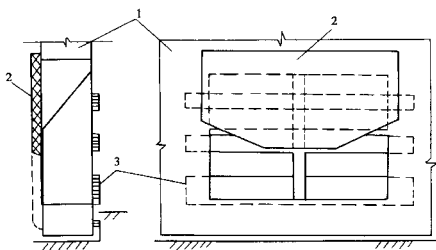


图 3.1.3-5 闸门上小门输水设消力梁示意图

1-闸门;2-平面阀门;3-消力梁

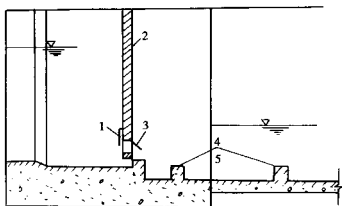


图 3.1.3-6 闸门上小门输水设导流板及消力槛和消力池示意图

1-平面阀门;2-闸门;3-导流板;4-消力槛;5-消力池

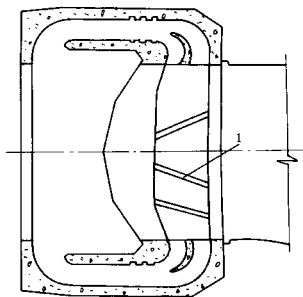


图 3.1.3-7 短廊道输水设消力槛示意图

1-消力槛

虑灌水廊道进口前水面的降低。

$$h = 1.2 \times \frac{v_m^2}{2g} \quad (3.2.3)$$

式中  $h$ ——最小淹没水深(m);

$v_m$ ——最大流量时廊道进口断面的平均流速(m/s);

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。



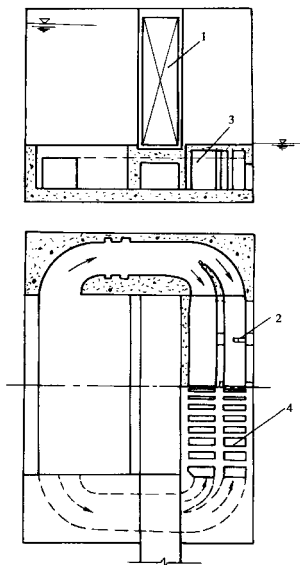


图 3.1.3-8 短廊道输水格栅式锥墙消能室示意图

1-横拉门;2-挡水板;3-消能室;4-格栅

**3.2.3.2** 廊道进口断面最大平均流速不宜大于  $4.0\text{m/s}$ 。廊道进口应修圆,修圆半径可取  $0.10 \sim 0.15$  倍廊道进口宽度。

**3.2.3.3** 廊道进口转弯段中心线的平均曲率半径不小于  $0.9 \sim 1.0$  倍廊道转弯段的平均宽度。廊道内侧的曲率半径可取为  $0.15$  倍设计水头。廊道出口转弯段的平均曲率半径不小于  $1.0 \sim 1.4$  倍廊道转弯段的平均宽度。廊道内侧的曲率半径可取  $0.2 \sim 0.25$

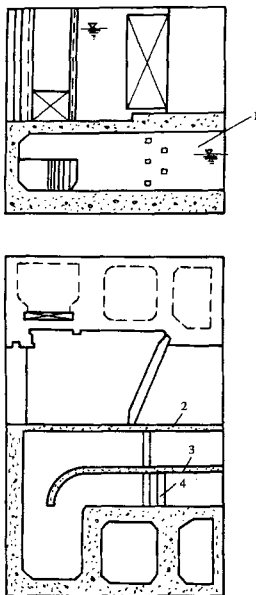


图 3.1.3-9 短廊道输水封闭式椎墙消能室示意图

1-消能室;2-隔墙;3-导流墙;4-消力梁

倍设计水头。廊道其他部位转弯段中心线的平均曲率半径不小于廊道转弯段的平均宽度。

**3.2.3.4 廊道出口的最小淹没水深**,按表 3.2.3 确定。当不满足要求时,廊道出口宜压扁放宽。廊道出口断面宜扩大为廊道阀门处断面的 1.2~1.6 倍,自转弯段的起点至出口,应设置中间导墙。

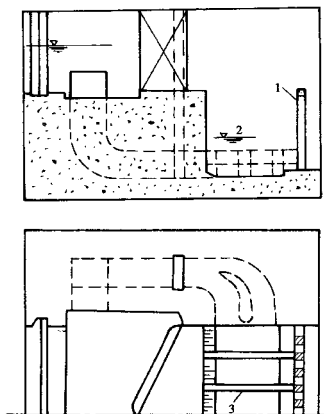


图 3.1.3-10 短廊道输水开敞式帷墙消能室示意图

1-消力栅;2-消能室;3-消力槛

### 廊道出口最小淹没水深

表 3.2.3

船 闸 级 别		I、II	III、IV	V ~ VII
最小淹没 水深(m)	上闸首	2.0	1.5	1.0
	下闸首	1.5	1.0	0.5

**3.2.3.5** 对垂直转弯的短廊道应将阀门置于高程最低的廊道直线段上。对 V ~ VII 级船闸,经过论证,阀门可设在廊道进口段。

**3.2.4** 无消能室的短廊道输水适用于没有帷墙或帷墙高度较小的上、下闸首。它的消能措施可采用无消能工的水流对冲消能,也可采用简单消能工的消力齿或消力池消能。

**3.2.5** 有消能室的短廊道输水适用于有帷墙的上闸首,可分为格栅式、封闭式、开敞式和倒口式等四种。其消能室布置符合第3.2.6 ~ 第 3.2.8 条规定的为复杂消能工,不符合时为简单消能工。

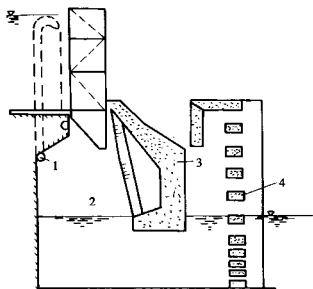


图 3.1.3-11 平面闸门门下输水开敞式消能室示意图

1-通气孔;2-消能室;3-挡板;4-消力梁

**3.2.6** 格栅式消能室适用于帷墙高度不大的情况,其出水总面积应大于廊道出口总面积的 2 倍,消能室顶部出水面积与正面出水面积的比值,宜近似于闸室出现最大断面平均流速时消能室顶板以上与顶板以下水深的比值。顶面格栅应中间密两侧疏,正面出水可由立柱或用挡板调整流量分布,见图 3.1.3-8。

**3.2.7** 格栅式消能室的体积可按下列公式计算:

$$V = A_0 E_{\max} \quad (3.2.7-1)$$

当  $k_v \leq 0.25$  时:

$$E_{\max} = \frac{313.9CH^2(1-k_v)^3}{T(2-k_v)^4} \quad (3.2.7-2)$$

当  $k_v > 0.25$  时:

$$E_{\max} = \frac{9.3CH^2}{T\sqrt{k_v}(2-k_v)} \quad (3.2.7-3)$$

式中  $V$ ——消能室体积( $\text{m}^3$ );

$A_0$ ——系数,取 0.09~0.13;

$E_{\max}$ ——灌水时水流的最大能量(kW);

$k_v$ ——输水阀门开启时间与闸室灌水时间的比值;

$C$ ——闸室水域面积( $\text{m}^2$ );

$H$ ——设计水头( $\text{m}$ );

$T$ ——闸室灌水时间( $\text{s}$ )。

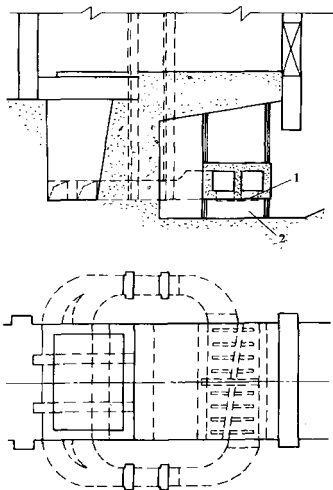


图 3.1.3-12 上闸首倒口消能输水示意图

1-出水孔;2-消力池

**3.2.8 封闭式消能室**的顶板应设通气孔,在闸室出现最大断面平均流速时消能室应全部淹没。消能室的进口应尽量置于闸首前端。消能室内应设导墙及隔墙以引导水流使其在平面上扩散,并应设消力梁及消力齿或消力槛以调整竖向流速分布,见图 3.1.3-9。封闭式消能室的出口面积应大于 2 倍廊道出口断面面积。消能室的体积可按式(3.2.7-1)计算,其中  $A_0$  可取 0.18~0.24。

**3.2.9 开敞式消能室**的消能高度,应大于闸室最大断面平均流

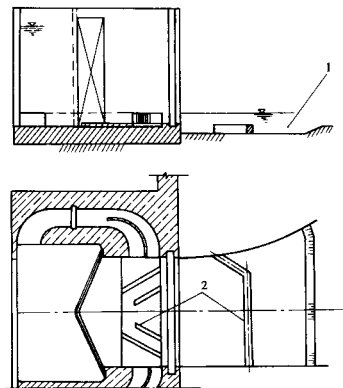


图 3.1.3-13 短廊道输水设消力槛和消力池示意图

1-消力池;2-消力槛

速出现时段的闸室水深,见图 3.1.3-10。开敞式消能室的体积可按式(3.2.7-1)计算,其中  $A_0$  可取 0.25~0.4。

**3.2.10** 槛下输水的消能措施可采用消力池、消力梁、消力齿或消力槛、消力墩和水平遮板、格栅等消能工,不应采用没有消能工的槛下输水。

**3.2.11** 倒口式消能室的布置应符合下列规定。

**3.2.11.1** 连接左右两侧廊道出口的两条横向廊道应互相隔开,中间隔墙可开一定面积孔口使其相通。

**3.2.11.2** 横向廊道顶位于下游最低通航水位以下,廊道顶部应设通气孔。廊道底部设出水口,其布置应满足闸室横向水流均匀的要求。

**3.2.11.3** 倒口廊道外壁与帷墙壁保持一定距离。

**3.2.11.4** 廊道底部出口下部,应设消力池,消力池底距出水口

的高度应满足水流消能及泄流的要求。消力池出口与闸室底可用斜坡相接。

**3.2.12** 三角闸门门缝输水适用于闸室最大的断面平均流速小于  $0.25\text{m/s}$  和设计水头小于  $4\text{m}$  的条件。水头在  $1.4\text{m}$  以下可直接用三角门门缝输水,水头在  $1.4\sim 4\text{m}$  之间,必须严格控制三角门的开启方式,采用分段间歇开启。当高于上述水力指标时,应采用组合式输水。

**3.2.13** 平面闸门门下输水适用于有帷墙的上闸首,当水位差大于  $10\text{m}$  时不宜采用, $5\text{m}$  以上应慎重考虑水流掺气的影响。平面闸门门下输水的消能工可采用由帷墙、垂直挡板、消力梁和消力齿或消力槛所组成的开敞式消能室,见图 3.1.3-11。平面闸门门下输水的消能室体积可按式(3.2.7-1)计算,其中  $A_0$  可取  $0.16\sim 0.40$ 。

**3.2.14** 闸门上开小门输水的孔口数不宜少于 4 个,其布置应有利于水流的扩散,小门输水孔口的淹没水深不应小于  $1\text{m}$ 。闸门上小门输水的消能工可采用设在闸门上的消力梁、板或门上导流板结合门后消力槛和消力池。闸门上小门输水应考虑水流对闸门冲击及门型对水流偏斜的影响,并采取相应的措施。

**3.2.15** 组合式输水适用于一种输水型式不能满足消能或输水时间要求的情况,但应考虑组合后的相互影响。

### 3.3 短廊道输水系统的水力计算

**3.3.1** 短廊道输水系统水力计算应包括下列主要内容:

- (1)输水阀门处廊道断面面积;
- (2)输水系统的阻力系数和流量系数;
- (3)输水阀门的开启时间;
- (4)闸室输水时间;
- (5)闸室输水的水力特性曲线;
- (6)过闸船舶、船队在闸室和上下游引航道内的停泊条件;
- (7)顶止水在下游面密封式输水阀门后廊道顶部的压力水头;
- (8)顶止水在上游面开敞式输水阀门后的水跃。

**3.3.2 输水阀门处廊道断面面积**,可按式(3.3.2-1)估算,亦可根据给定的输水时间和阀门全开时输水系统流量系数按式(3.3.2-2)计算。

$$\omega = 0.0065 \sqrt{CL_v H} \quad (3.3.2-1)$$

$$\omega = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu T \sqrt{2g} [1 - (1 - \alpha)k_v]} \quad (3.3.2-2)$$

式中  $\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );  
 $C$ ——计算闸室水域面积( $\text{m}^2$ ),对单级船闸取闸室水域面积;对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半;  
 $L_v$ ——闸室水域长度(m);  
 $H$ ——设计水头(m);  
 $\mu$ ——阀门全开时输水系统的流量系数,可取 0.6~0.8;  
 $T$ ——闸室灌水时间(s);  
 $\alpha$ ——系数,可按表 3.3.2 选用;  
 $k_v$ ——取 0.6~0.8;  
 $g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

输水阀门的  $\alpha$  值 表 3.3.2

阀门型式	不同流量系数(阀门全开时)的 $\alpha$ 值				
	$\mu = 0.5$	$\mu = 0.6$	$\mu = 0.7$	$\mu = 0.8$	$\mu = 0.9$
锐缘平面阀门	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
反向弧形阀门	0.58	0.51	0.46	0.43	0.41

**3.3.3 输水系统的阻力系数和流量系数**,可根据确定的输水阀门处廊道断面面积和拟定的输水系统各部分尺寸按附录 A 计算。

**3.3.4 输水阀门开启时间**可按下式计算:

$$t_v = \frac{k_r \omega DW \sqrt{2gH}}{P_L(\omega_c - \chi)} \quad (3.3.4)$$

式中  $t_v$ ——输水阀门开启时间(s);  
 $k_r$ ——系数,对锐缘平面阀门取 0.725,对反向弧形阀门取 0.623;



$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$H$ ——设计水头( $\text{m}$ );

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ );

$\omega_c$ ——初始水位的闸室横断面面积( $\text{m}^2$ );

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$D$ ——波浪力系数,可按附录 B 确定;

$W$ ——船舶、船队排水量( $\text{t}$ );

$P_L$ ——允许系缆力的纵向水平分力( $\text{kN}$ ),按第 2.2.1 条确定。

**3.3.5** 闸室输水时间应根据确定的流量系数和阀门开启时间按下式核算:

$$T = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}} + (1 - \alpha)t_v \quad (3.3.5)$$

式中  $T$ ——闸室输水时间( $\text{s}$ );

$C$ ——计算闸室水域面积,对单级船闸取闸室水域面积;对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半;

$H$ ——设计水头( $\text{m}$ );

$\mu$ ——阀门全开时输水系统的流量系数,可取 0.6~0.8;

$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$\alpha$ ——系数,可按表 3.3.2 选用;

$t_v$ ——阀门开启时间( $\text{s}$ );

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

**3.3.6** 短廊道输水系统灌泄水水力特性曲线计算应包括下列内容,其计算方法可按附录 C 进行:

(1)流量系数与时间的关系曲线;

(2)闸室水位与时间的关系曲线;

(3)流量与时间的关系曲线;

(4)能量与时间的关系曲线;

(5)比能与时间的关系曲线;

(6)闸室与上、下游引航道断面平均流速与时间的关系曲线。

**3.3.7** 船舶、船队在闸室内的停泊条件可按下列公式核算:

$$P_1 \leq P_L \quad (3.3.7-1)$$

$$\text{灌水时:} \quad P_1 = P_B = \frac{k_r \omega D W \sqrt{2gH}}{t_v(\omega_c - \chi)} \quad (3.3.7-2)$$

$$\text{泄水时:} \quad P_1 = P_i + P_v \quad (3.3.7-3)$$

式中  $P_1$ ——船舶、船队所受的水流作用力(kN);

$P_L$ ——允许系缆力的纵向水平分力(kN),按第 2.2.1 条确定;

$P_B$ ——灌水初期的波浪作用力(kN);

$P_i$ ——由泄水水面坡降所产生的作用力(kN),可按附录 D 计算;

$P_v$ ——由闸室纵向流速所产生的作用力(kN),可按附录 D 计算;

$k_r$ ——取 0.6~0.8;

$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$D$ ——波浪力系数,可按附录 B 确定;

$W$ ——船舶、船队排水量(t);

$H$ ——设计水头(m);

$t_v$ ——输水阀门开启时间(s);

$\omega_c$ ——初始水位的闸室横断面面积( $\text{m}^2$ );

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

**3.3.8** 船舶、船队在上下游引航道内的停泊条件可按下列公式核算:

$$P_2 \leq P_L \quad (3.3.8-1)$$

$$P_2 = P'_B + P'_v \quad (3.3.8-2)$$

式中  $P_2$ ——灌泄水时,上下游引航道内停泊的船舶、船队所受的水流作用力(kN);

$P_L$ ——允许系缆力的纵向水平分力(kN),按第 2.2.1 条确定;

$P'_B$ ——灌泄水时,上下游引航道内的波浪作用力(kN),可

按附录 D 计算；

$P'_v$ ——由上下游引航道纵向流速所产生的作用力(kN)，可

按附录 D 计算。

**3.3.9** 短廊道输水密封式输水阀门后水流收缩断面处廊道顶部的压力水头可按下列公式计算：

$$P_c = H_T - \xi_1 \frac{v^2}{2g} - \frac{v_c^2}{2g} \quad (3.3.9-1)$$

$$v_c = \frac{v}{n\epsilon_n} \quad (3.3.9-2)$$

式中  $P_c$ ——阀门后水流收缩断面处廊道顶部的压力水头(m)；

$H_T$ ——船闸上游水位与阀门后廊道顶部高程的差值(m)；

$v$ ——阀门段廊道断面的平均流速(m/s)；

$\xi_1$ ——输水阀门前廊道段各部分阻力系数之和，可按附录 A 计算；

$v_c$ ——水流收缩断面的平均流速(m/s)；

$n$ ——阀门开度；

$\epsilon_n$ ——收缩系数，按附录 A.0.4 选用；

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

**3.3.10** 短廊道输水开敞式阀门后不产生远驱式水跃的条件为：

$$P_1 \geq k[P_1] \quad (3.3.10-1)$$

$$P_1 = \frac{q^2}{2gh_1^2}(\xi_2 - 1) + \left(a_0 - \frac{h_1}{2}\right) \quad (3.3.10-2)$$

$$[P_1] = P_c + \frac{q^2}{gh_1^2} \left( \frac{1}{n\epsilon_n} - 1 \right) - \frac{h_1(1 - \epsilon_n^2 n^2)}{2} \quad (3.3.10-3)$$

式中  $P_1$ ——阀门后水流充分扩散处廊道顶部的压力水头(m)；

$[P_1]$ ——阀门后水跃始于收缩断面时水流充分扩散处廊道顶部的压力水头(m)；

$q$ ——廊道中单位宽度的流量[m<sup>3</sup>/(s·m)]；

$h_1$ ——阀门后水流充分扩散处的廊道高度(m)；

$\xi_2$ ——阀门后输水系统各部分阻力系数之和,可按附录 A 计算;

$a_0$ ——阀门处廊道断面中心在闸室(灌水时)或下游(泄水时)水位以下的深度(m);

$P_e$ ——阀门后水流收缩断面处廊道顶部的压力水头(m),  
当通气充分时, $P_e$ 取零;

$k$ ——安全系数,取 1.1;

$n$ ——阀门开度;

$\varepsilon_n$ ——收缩系数,按附录 A 选用;

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

## 4 分散输水系统设计

### 4.1 分散输水系统的型式和适用范围

4.1.1 分散输水系统可根据输水水力特点和布置型式分为下列三大类。

4.1.1.1 第一类应包括下列型式：

(1) 闸墙长廊道侧支孔出水, 见图 4.1.1-1;

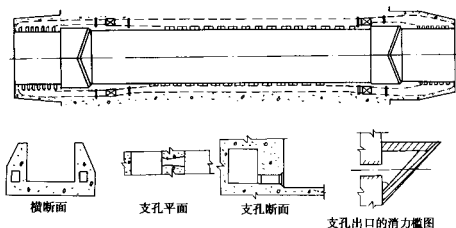


图 4.1.1-1 闸墙长廊道侧支孔输水系统示意图

(2) 闸墙长廊道多支孔出水, 见图 4.1.1-2。

4.1.1.2 第二类应包括下列型式：

(1) 闸底长廊道顶、侧支孔出水, 见图 4.1.1-3 和图 4.1.1-4;

(2) 槛下长廊道与闸底长廊道分区段出水, 见图 4.1.1-5 和图 4.1.1-6;

(3) 闸墙长廊道经闸室中部横支廊道支孔出水, 见图 4.1.1-7;

(4) 闸墙长廊道经闸室中段进口纵、横支廊道支孔出水, 见图 4.1.1-8;

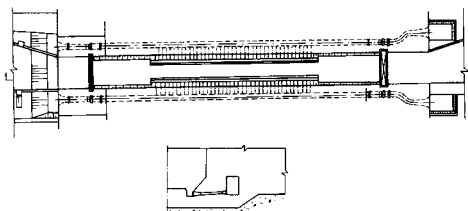


图 4.1.1-2 闸墙长廊道多支孔输水系统示意图

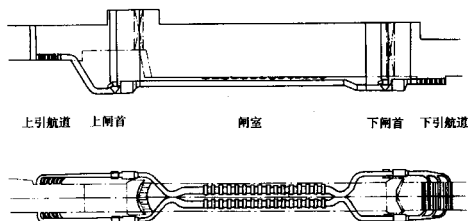


图 4.1.1-3 闸底长廊道顶支孔输水系统示意图

(5) 闸墙长廊道经闸室中心进口水平分流闸底支廊道二区段出水, 见图 4.1.1-9。

**4.1.1.3** 第三类应包括闸墙长廊道经闸室中心进口垂直分流闸底支廊道二区段出水和闸底支廊道四区段出水, 见图 4.1.1-10 和图 4.1.1-11。

**4.1.2** 分散输水系统的类型, 可根据式(2.1.4)计算的判别系数  $m$  值选择; 当  $m$  值大于 2.4 时, 可采用第一类分散输水系统; 当  $m$  值为 2.4~1.8 时, 可采用第二类分散输水系统; 当  $m$  值小于 1.8 时可采用第三类分散输水系统。

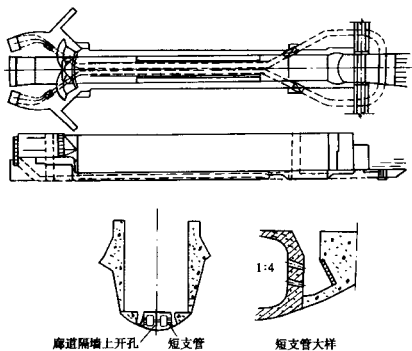


图 4.1.1-4 闸底长廊道侧支孔输水系统示意图

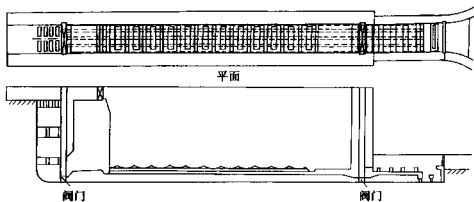


图 4.1.1-5 闸下长廊道分区段出水输水系统示意图

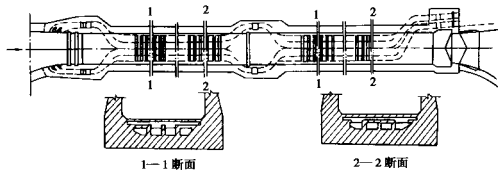


图 4.1.1-6 闸底长廊道分区段出水输水系统示意图

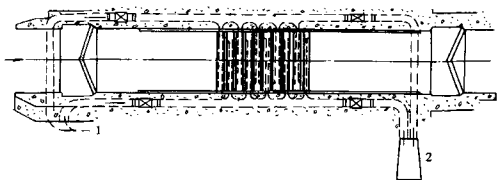


图 4.1.1-7 闸墙长廊道闸室中部横支廊道输水系统示意图

1-旁侧进水口;2-旁侧泄水口

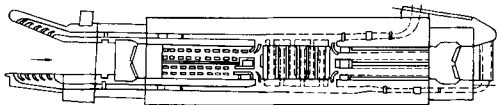


图 4.1.1-8 闸墙长廊道闸室中段进口纵横支廊道输水系统示意图

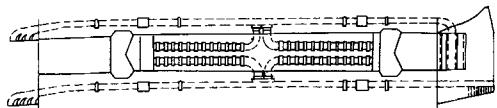


图 4.1.1-9 水平分流闸底纵支廊道二区段出水输水系统示意图

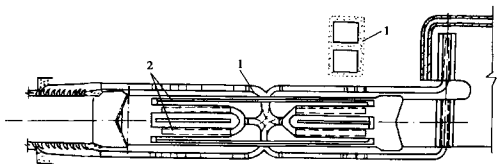


图 4.1.1-10 垂直分流闸底纵支廊道二区段出水输水系统示意图

1-垂直分流口;2-纵支廊道



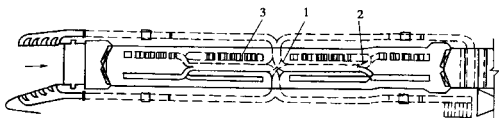


图 4.1.1-11 垂直分流闸底纵支廊道四区段出水输水系统示意图

1-第一垂直分流口;2-第二分流口;3-纵支廊道

## 4.2 分散输水系统的布置

**4.2.1** 各类分散输水系统的闸室出水段中心宜与闸室面积的中心相重合。

**4.2.2** 当闸首帷墙顶高于闸室起始水位时,可将闸门后的帷墙做成斜面,并缩短平台的纵向长度,以避免在闸室水位变化时闸室水域面积发生突变。

**4.2.3** 分散输水系统的阀门段,必须布置在下游最低通航水位以下,并有一定的淹没水深,阀门段的高程应满足阀门工作条件的要求。

**4.2.4** 阀门后廊道型式应根据阀门工作条件选择,有不扩大、逐渐向上扩大及突然扩大等三种型式,其布置应通过模型试验确定。

**4.2.5** 阀门后廊道压力较低或出现负压时,上、中闸首的下游侧检修阀门与工作阀门的距离,宜大于廊道高度的 3 倍。必要时需在检修阀门井内作防止掺气的封闭措施。

**4.2.6** 闸室中心的分流口可分为垂直隔墙水平分流和水平隔墙垂直分流两种布置型式。

**4.2.7** 分散输水系统的进、出口应布置为流线型。进口顶的淹没水深宜大于 0.4 倍的设计水头,并应考虑进口处水面的局部降落。出口顶的淹没水深宜大于 1.5m;进口的最大断面平均流速不宜大于 2.5m/s。

**4.2.8** 分散输水系统宜采用导墙上垂直多支孔进、出口布置,见图 4.2.8-1、图 4.2.8-2 和横支廊道进、出口布置,见图 4.2.8-3、图

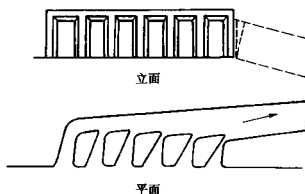


图 4.2.8-1 导墙上垂直多支孔进口示意图

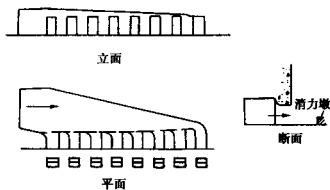


图 4.2.8-2 导墙上垂直多支孔出口示意图

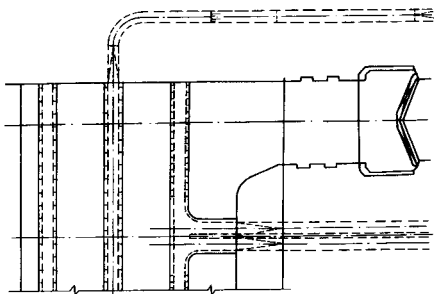


图 4.2.8-3 横支廊道进口(双线船闸)示意图

4.2.8-4。导墙上垂直多支孔进口喉部面积应顺水流方向逐渐缩小。当条件限制时,可在第一类分散输水系统中采用槛上多支孔进、出口布置,见图 4.2.8-5、图 4.2.8-6,但应满足安全要求。

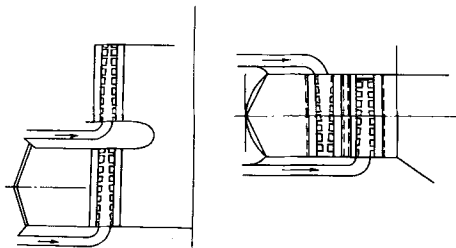


图 4.2.8-4 横支廊道出口示意图

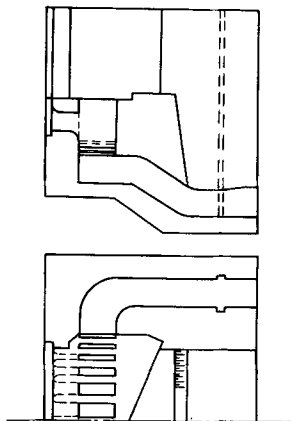


图 4.2.8-5 槛上多支孔进口示意图

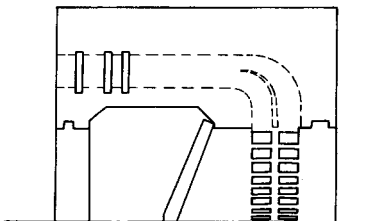


图 4.2.8-6 槛上多支孔出口示意图

**4.2.9** 当闸室全部通过引航道内灌泄水,且船舶在引航道内的停泊或航行条件不满足时,应采用部分旁侧灌泄水的设施。当必须采用全部旁侧灌泄水布置时,则应注意引航道水面与闸室水面的高差,若高差较大时,应采取辅助输水系统,保证输水完毕时,闸室与引航道水面齐平。当多线船闸或船闸与升船机共用引航道时,应考虑船闸灌泄水时相互间的影响。

**4.2.10** 输水系统的布置应考虑泥沙淤积的影响,闸室出水孔宜采用顶部出水,其布置应利于减少闸室的死水区。

**4.2.11** 分散输水系统支孔沿水流方向的长度不宜小于其断面的宽度或直径的 2~4 倍,支孔的进、出口宜修圆扩大,支孔喉部后的出口扩大角宜小于  $3^\circ$ 。出水段廊道支孔断面的总面积宜与该廊道断面面积相等。

**4.2.12** 闸墙长廊道侧支孔和闸底长廊道顶支孔输水系统的出水孔段,宜设置在闸室中部,其长度为闸室长度的  $1/2 \sim 2/3$ 。

**4.2.13** 闸墙长廊道侧支孔输水系统的支孔间距宜为闸室宽度的  $1/4$ ,两侧廊道的支孔应相互交错布置。支孔出口应布置在下游最低通航水位时设计船舶吃水深度以下,以保证支孔出流不射船底。出水孔段前  $1/3$  的支孔宜在其出口处设三角形消力槛或消力塘。当船闸富裕水深小于支孔间距的  $1/2$  倍,支孔出流影响船底时,应在全部出水孔出口外设置消力槛,当水头较高时应设置消力塘或

四面出水的分流罩,并应通过模型试验验证。

**4.2.14** 当闸墙和闸底长廊道侧向多支孔数量较多时,可增加排数。支孔应对称布置在闸底长廊道两侧,并采用明沟消能,见图 4.1.1-2 和图 4.1.1-4。

**4.2.15** 闸底长廊道顶支孔输水系统的长廊道断面宜采用宽浅型,顶支孔上必须设消能盖板,使出水孔水流经盖板消能后在闸室宽度方向分布均匀。

**4.2.16** 闸底长廊道分区段出水输水系统的长廊道数,应等于 2 倍的出水区段数,每根长廊道只允许一个出水区段。与船闸中心线对称布置的顶支孔上,应设横贯闸室的横支廊道,横支廊道上的出水支孔应设在侧面,见图 4.1.1-6。槛下长廊道输水宜优先采用闸底廊道分区段出水布置。

**4.2.17** 当支廊道采用侧向出水支孔布置时,宜用明沟消能。明沟的宽度宜为支孔宽度的 5 倍,相邻两根支廊道共用一个明沟时,出水支孔应交错布置。当明沟宽度较大时,应在明沟中设 T 字形挡槛,其高度可按下式计算:

$$h \geq d_0 + 0.24y \quad (4.2.17)$$

式中  $h$ ——挡槛高度(m);

$d_0$ ——侧面出水支孔的高度(m);

$y$ ——出水支孔至挡槛的距离(m)。

注:设挡槛后出水支孔可交错布置。

**4.2.18** 等高度变宽度阶梯式变断面的支廊道,其出水支孔总面积宜取支廊道进口断面面积的 1.2 倍,支廊道末段的断面积宜取进口断面面积的 40%。

**4.2.19** 闸墙长廊道闸室中部横支廊道输水系统,其横支廊道的布置范围宜为闸室长度的  $1/3 \sim 1/2$ ,两侧横支廊道应交错布置。

**4.2.20** 闸墙长廊道闸室中部进口的纵、横支廊道输水系统,其纵、横支廊道的进口应设在闸室中部  $1/3$  段内,横支廊道区段应设在闸室中部  $1/5$  段内,纵支廊道布置在闸室前、后两区段;横支廊道的进口总面积宜为纵、横支廊道进口总面积的 30%,前、后纵支

廊道进口面积宜分别为 35%；前、后纵支廊道的出水孔段宜分别为闸室长度的 25%。

**4.2.21** 闸墙长廊道经闸室中心进口两区段出水输水系统,其两个出水区段的中心应分别布置在闸室长度的前、后四分点上。出水区段的长度宜为闸室长度的 25%~35%。

**4.2.22** 闸墙长廊道经闸室中心进口八支廊道四区段出水输水系统,第一分流口应设在闸室长度中心部位的两侧闸墙长廊道上,第二分流口应设在闸室长度前、后四分点部位的前、后纵向分支廊道间。

### 4.3 分散输水系统的水力计算

**4.3.1** 分散输水系统水力计算应包括下列主要内容:

- (1)输水阀门处廊道断面面积;
- (2)输水系统的阻力系统和流量系数;
- (3)输水廊道的换算长度和惯性超高、超降值;
- (4)闸室输水的水力特性曲线;
- (5)过闸船舶、船队在闸室及引航道内的停泊条件;
- (6)密封式输水阀门后廊道顶部的压力水头及开敞式输水阀门后的水跃;
- (7)廊道转弯段内侧的最低压力水头;
- (8)输水阀门的工作空化数。

**4.3.2** 分散输水系统的输水阀门处廊道断面面积,在初步计算时可按第(3.3.2)条的规定计算,其中  $k_v$  取 0.4~0.6,  $\mu$  取 0.6~0.8。

**4.3.3** 分散输水系统的阻力系数及流量系数应按附录 A 确定。

**4.3.4** 分散输水系统输水廊道的换算长度及惯性超高、超降值应按附录 E 确定。

**4.3.5** 分散输水系统的输水时间,应根据确定的流量系数和惯性超高、超降值以及阀门开启时间按下式核算:

$$T = \frac{2C\sqrt{H+d}-\sqrt{d}}{\mu\omega\sqrt{2g}} + (1-\alpha)t_v \quad (4.3.5)$$

式中  $T$ ——分散输水系统的输水时间(s);  
 $C$ ——计算闸室水域面积( $m^2$ ),对单级船闸取闸室水域面积;对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半;  
 $H$ ——设计水头(m);  
 $d$ ——阀门全开后惯性水头,即闸室水面惯性超高、超降值,可按附录式(E.0.3)计算;  
 $\mu$ ——阀门全开时输水系统的流量系数,可取 0.6~0.8;  
 $\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $m^2$ );  
 $\alpha$ ——系数,可按表 3.3.2 选用;  
 $t_v$ ——输水阀门开启时间(s);  
 $g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )。

**4.3.6** 分散输水系统灌泄水水力特性曲线的计算应包括下列内容,其计算方法可按附录 C 进行:

- (1)流量系数与时间的关系曲线;
- (2)流量与时间的关系曲线;
- (3)闸室水位与时间的关系曲线;
- (4)阀门门井水位与时间的关系曲线;
- (5)能量与时间的关系曲线;
- (6)上下游引航道断面平均流速与时间的关系曲线。

**4.3.7** 分散输水系统船闸灌水时,船舶、船队在闸室内的停泊条件,可按第 3.3.7 条核算。波浪力系数可按附录表 B.0.2 选用。灌泄水时船舶、船队在上下游引航道内的停泊条件,可按第 3.3.8 条核算。

**4.3.8** 分散输水系统密封式输水阀门后水流收缩断面处廊道顶部的压力水头,开敞式阀门后远驱水跃产生的条件,可分别按第 3.3.9 条及第 3.3.10 条的规定确定。当阀门开启速度较快时,尚应考虑阀门前廊道段惯性水头的影响。

**4.3.9** 分散输水系统矩形断面廊道转弯段内侧的最低压力水头可按式计算:

$$H_i = H_p - C_p \frac{v^2}{2g} \quad (4.3.9)$$

式中  $H_i$ ——廊道弯段内侧最低压力水头(m);

$H_p$ ——廊道弯段 45°处按上游压力坡度直线延长计算的平均压力水头(m);

$C_p$ ——与  $R/C_b$  有关的压降系数,可按图 4.3.9 查用。其中: $R$  为廊道转弯段中心线曲率半径(m);  $C_b$  为廊道宽度的 1/2;

$v$ ——廊道弯段断面的平均流速(m/s);

$g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )。

**4.3.10** 分散输水系统闸室输水廊道出水支孔段末端断面的内外压力水头之差,可按下列公式计算:

$$\text{灌水时:} \quad P_m = (1 + \xi_m) v_m^2 / 2g \quad (4.3.10-1)$$

$$\text{泄水时:} \quad P_m = - (1 + \xi'_m) v_m^2 / 2g \quad (4.3.10-2)$$

式中  $P_m$ ——闸室输水廊道出水支孔段末端断面内外压力水头之差(m);

$\xi_m$ ——闸室灌水时输水廊道出水支孔段的阻力系数,可按附录 A 计算;

$v_m$ ——输水廊道出水支孔段断面的最大平均流速(m/s);

$\xi'_m$ ——泄水时闸室输水廊道出水支孔段的阻力系数,初步计算时可取  $\xi_m$  值;

$g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )。

**4.3.11** 高水头分散输水系统船闸应验算输水阀门底缘空化情况和考虑阀门门槽及门顶止水缝隙产生空化的可能性,并应满足下列要求。

**4.3.11.1** 当底缘工作空化数大于相应的临界空化数时,阀门段廊道顶部可容许产生不超过 3mH<sub>2</sub>O 的负压;

**4.3.11.2** 当底缘工作空化数接近其相应的临界空化数时,阀门段廊道顶部应保持一定的正压;

**4.3.11.3** 当底缘工作空化数小于临界空化数时,应采取措施使二者接近,并应采用门楣通气措施。当条件许可时,尚应在阀门



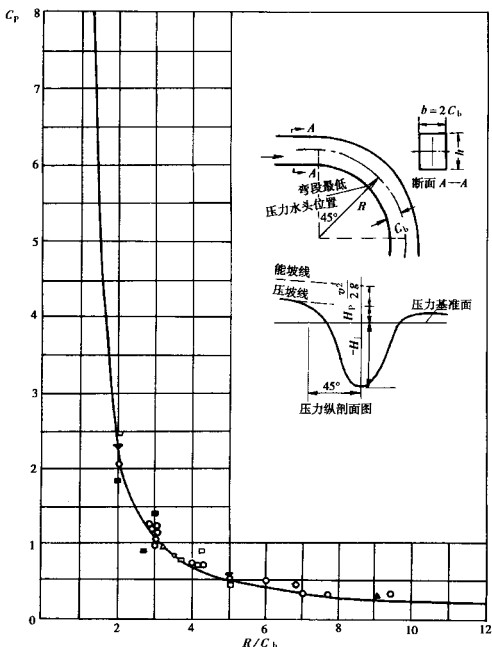


图 4.3.9  $C_p$  和  $R/C_b$  关系曲线示意图

后廊道顶部通以适量空气。阀门段廊道顶部应保持约  $3\text{mH}_2\text{O}$  的负压。阀门底缘工作空化数可按附录 F 确定,临界空化数可通过模型试验或参考类似工程确定。

**4.3.11.4 船闸阀门段廊道布置、门楣空化及通气措施应通过模型试验研究确定。**

## 5 输水系统水工模型试验和原型观测

### 5.0.1 输水系统水工模型试验应包括下列主要内容：

- (1)测绘闸室灌泄水水力特性曲线；
- (2)测定闸室和引航道的系船缆绳拉力及不系缆船舶、船队的自由漂移情况；
- (3)测定闸室和引航道内的流速分布并观测其流态；
- (4)测定输水廊道和其他构件的压力分布；
- (5)观测输水系统进、出口附近及闸室内的局部水力现象；
- (6)高水头船闸的闸门、阀门水力学试验。

### 5.0.2 高水头船闸的阀门水力学试验,应包括非恒定流减压模型试验。

### 5.0.3 分散输水系统的水工模型试验成果应进行缩尺影响的校正。

### 5.0.4 船闸建成后应进行一般性的原型观测,观测应包括内容：

- (1)测定闸室灌泄水时间和闸室水面升降速度；
- (2)观测输水时船舶在闸室和上下游引航道内的泊稳情况；
- (3)观测输水系统上下游进出口附近和闸室及引航道的水流现象；
- (4)观测闸门、阀门运转情况。

### 5.0.5 对下列情况之一的除进行一般性的原型观测外,尚应进行专门性的原型观测,观测内容可根据具体情况确定：

- (1)验证重大工程、新技术、新型式的设计和科学试验成果的合理性与效果；
- (2)不能或很难由模型试验解决,而需通过原型研究者；
- (3)运转过程中发生不正常情况者。

## 附录 A 输水廊道阻力系数和流量系数

**A.0.1** 进口、拦污栅、转弯段、突然扩大、收缩及逐渐扩大、收缩、出口等局部阻力系数,可按表 A.0.1 选用。

局部阻力系数

表 A.0.1

局部损失种类	阻力系数的符号和数值
进 口	$\xi_{\text{en}} = 0.5$ , 进口边缘未做成圆弧形; $\xi_{\text{en}} = 0.2 \sim 0.25$ , 进口边缘微带圆弧形; $\xi_{\text{en}} = 0.05 \sim 0.1$ , 进口外形很光滑, 或多支孔进口段; 或按以下公式计算: $\xi_{\text{en}} = 0.50e^{-16.8r/b}$ (适用于非平底廊道单进口) $\xi_{\text{en}} = 0.55e^{-13.8r/b}$ (适用于平底廊道单进口) 式中 $\xi_{\text{en}}$ ——进口阻力系数; $e$ ——自然对数; $r$ ——进口圆弧半径(m); $b$ ——廊道宽度(m)
拦污栅	$\xi_{\text{bar}} = \beta \left( \frac{S}{b} \right)^{4/3}$ 式中 $\xi_{\text{bar}}$ ——拦污栅阻力系数; $S$ ——栅条厚度(cm); $b$ ——栅条净间距(cm); $\beta$ ——栅条形状系数; 对长方形栅条, 前端做成圆形, $\beta = 1.83$ ; 对长方形栅条, 前、后端均做成圆形, $\beta = 1.67$ ; 对长方形栅条, 前端做成圆形, 后端自栅条长度的 0.6 处开始做成斜的, $\beta = 1.035$ ; 对前端圆形, 两边做成斜的栅条, $\beta = 0.92$ ; 对两端都做成楔形的光滑栅条, $\beta = 0.76$ ; 对圆形栅条, $\beta = 1.79$

续表 A.0.1

局部损失种类	阻力系数的符号和数值																						
廊道圆滑转弯	$\xi_k = \xi'_k \frac{\theta}{90^\circ}$																						
	式中 $\xi_k$ ——廊道转弯阻力系数;																						
	$\theta$ ——转角( $^\circ$ );																						
	$\xi'_k$ ——系数,与廊道形状及转弯曲率半径有关,其数值如下:																						
	对圆形廊道:																						
	<table><tr><td><math>\frac{d}{2R}</math></td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td>0.9</td><td>1.0</td></tr><tr><td><math>\xi'_k</math></td><td>0.13</td><td>0.14</td><td>0.16</td><td>0.21</td><td>0.29</td><td>0.44</td><td>0.66</td><td>0.98</td><td>1.41</td><td>1.98</td></tr></table>	$\frac{d}{2R}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	$\xi'_k$	0.13	0.14	0.16	0.21	0.29	0.44	0.66	0.98	1.41	1.98
$\frac{d}{2R}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0													
$\xi'_k$	0.13	0.14	0.16	0.21	0.29	0.44	0.66	0.98	1.41	1.98													
	对矩形廊道:																						
	<table><tr><td><math>\frac{b}{2R}</math></td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td>0.9</td><td>1.0</td></tr><tr><td><math>\xi'_k</math></td><td>0.12</td><td>0.14</td><td>0.18</td><td>0.25</td><td>0.40</td><td>0.64</td><td>1.02</td><td>1.55</td><td>2.27</td><td>3.23</td></tr></table>	$\frac{b}{2R}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	$\xi'_k$	0.12	0.14	0.18	0.25	0.40	0.64	1.02	1.55	2.27	3.23
$\frac{b}{2R}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0													
$\xi'_k$	0.12	0.14	0.18	0.25	0.40	0.64	1.02	1.55	2.27	3.23													
	其中 $d$ ——圆形廊道直径(m); $b$ ——矩形廊道宽度(m); $R$ ——廊道轴线的曲率半径(m)																						
突然扩大	$\xi'_{BP} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2$ $\xi''_{BP} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$ <p>式中 <math>\xi'_{BP}</math>——以扩大处前面断面为计算断面的突然扩大阻力系数; <math>\xi''_{BP}</math>——以扩大处后面断面为计算断面的突然扩大阻力系数; <math>\omega_2</math>——扩大处前面断面的面积(<math>m^2</math>); <math>\omega_1</math>——扩大处后面断面的面积(<math>m^2</math>)</p>																						

续表 A.0.1

局部损失种类	阻力系数的符号和数值							
突然收缩	$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
	$\xi_{BC}$	0.5	0.42	0.34	0.25	0.15	0	
	其中 $\xi_{BC}$ ——突然收缩阻力系数(相对于收缩断面); $\omega_1$ ——收缩处前断面的面积(m <sup>2</sup> ); $\omega_2$ ——收缩处断面的面积(m <sup>2</sup> )							
圆锥形扩大	$\xi'_{PK} = k \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2$ $\xi''_{PK} = k \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ 式中 $\xi'_{PK}$ ——以扩大前的断面 $\omega_1$ 为计算断面的阻力系数; $\xi''_{PK}$ ——以扩大后的断面 $\omega_2$ 为计算断面的阻力系数; $k$ ——系数,与圆锥顶角 $\theta$ 有关,其值为:							
	$\theta$	5°	10°	15°	20°	30°	40°	50°以上
	$k$	0.13	0.17	0.26	0.41	0.71	0.90	1.0~1.1
圆锥形缩小	不考虑							
鹅颈管	对于 $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 当 $l/b < (l/b)_k$ $\xi_{gn} = \frac{(k_1 - k_2 + k_3 + 0.26) \left( \frac{\theta}{2.331 - 1.042\theta} + 0.15 \right)}{2.6(r/b) - 1.6}$							
	当 $l/b \geq (l/b)_k$ $\xi_{gn} = \frac{(k_4 + 0.170) \cdot k_5 + [(l/b) - (l/b)_k] (0.00495 - 0.00475\theta)}{2.6(r/b) - 1.6}$							
	对于 $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 当 $l/b < (l/b)_k$ $\xi_{gn} = \frac{(k_1 - k_2 + k_3 + 0.26) \cdot k_5}{2.6(r/b) - 1.6}$							

续表 A.0.1

局部损失种类	阻力系数的符号和数值
鹅颈管	<p>当 <math>l/b \geq (l/b)_k</math></p> $\xi_{gn} = \frac{(k_4 + 0.170) \cdot k_5 + [(l/b) - (l/b)_k] \left[ 0.114 \left( \theta - \frac{\pi}{3} \right)^{1.5} \right]}{2.6(r/b) - 1.6}$ <p> <math>(l/b)_k = 10.08 \times 10^{-0.532(\theta - \pi/6)}</math>  <math>k_1 = 0.00352[(l/b)P_1]^3</math>  <math>k_2 = 0.038[(l/b)P_1]^2</math>  <math>k_3 = 0.103[(l/b)P_1]</math>  <math>k_4 = 0.0154[(l/b)P_2]</math>  <math>k_5 = 0.25 \times 10^{0.5990 - 0.017\theta^2}</math>  <math>P_1 = 3.462 \times 10^{-0.95(\theta - \pi/6)}</math>  <math>P_2 = 1.833 \times 10^{-0.532(\theta - \pi/6)}</math> </p> <p>           式中 <math>\xi_{gn}</math>——鹅颈管阻力系数;  <math>k_1, k_2, k_3, k_4, k_5</math>——系数;  <math>P_1, P_2</math>——参数;  <math>l</math>——衔接直段长度;  <math>b</math>——管道宽度;  <math>r</math>——弯头曲率半径;  <math>\theta</math>——弯头转角(rad)         </p>
出口	<p>对单支孔出水, <math>\xi_{ex} = 1.0</math>;</p> <p>对多支孔出口段, <math>\xi_{ex} = 0.7 \sim 0.9</math>;</p> <p>对类似闸室廊道出水支孔段, <math>\xi_{ex}</math>可按式(A.0.2)计算</p>

注:局部阻力系数以障碍物后断面为计算断面。

**A.0.2** 分散输水系统带有出水支孔的廊道段局部阻力系数,可按式计算:

$$\xi_m = \frac{1}{\sin^2 \left( k_f \frac{\Sigma \omega_B}{\omega} \right)} \quad (\text{A.0.2})$$

式中  $\xi_m$ ——输水廊道出水支孔段局部阻力系数,包括出水孔的损失在内;

$\Sigma \omega_B$ ——出水支孔控制断面总面积( $\text{m}^2$ );

$\omega$ ——出水支孔段的廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$k_f$ ——出水支孔形状系数。对未修圆的底部侧向矩形孔口取 0.63;对修圆的底部侧向矩形孔口取 1.15;对喇叭

型的底部侧向矩形孔口取 1.90;对未修圆的顶部缝隙孔口,无消能盖板取 0.80,有消能盖板取 0.65 ~ 0.75;对修圆的顶部缝隙孔口,无消能盖板取 1.15,有消能盖板取 0.75 ~ 1.1。有消能盖板时,由于盖板四周出流孔口的面积影响出流阻力系数,当盖板周边孔口面积与廊道出水孔面积的比值大于 5 倍时取大值,小于 3 倍时取小值。

### A.0.3 摩擦阻力系数的确定应符合下列规定。

A.0.3.1 对不带出水孔、缝的廊道摩擦阻力系数,可按下式计算:

$$\xi_c = \frac{2gL}{C^2 R} \quad (\text{A.0.3})$$

式中  $\xi_c$ ——沿程摩擦阻力系数;

$L$ ——廊道长度(m);

$R$ ——廊道水力半径(m);

$C$ ——谢才系数;

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

A.0.3.2 对带有出水孔、缝廊道的摩擦阻力系数,可取式 A.0.3 计算值的 1/3。

A.0.4 阀门不同开度时的阻力系数  $\xi_{vn}$  和收缩系数  $\epsilon_n$  可按表 A.0.4 选用。

阀门开度  $n$  与  $\xi_{vn}$ 、 $\epsilon_n$  的关系

表 A.0.4

阀门开度		$n$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
门 型												
反弧形 阀 门	横梁 全包	$\xi_m$	145.2	36.31	17.38	8.32	3.98	1.91	0.91	0.44	0.21	0.10
		$\epsilon_n$	0.767	0.713	0.646	0.647	0.673	0.711	0.751	0.791	0.835	1.00
	竖梁式	$\xi_m$	273.8	57.95	20.60	9.87	4.94	2.73	1.33	0.56	0.23	0.10
		$\epsilon_n$	0.570	0.581	0.603	0.606	0.625	0.636	0.677	0.744	0.820	1.00
平面阀门		$\xi_m$	186.2	43.78	17.48	8.38	4.28	2.16	1.01	0.39	0.09	0
		$\epsilon_n$	0.683	0.656	0.643	0.642	0.652	0.675	0.713	0.771	0.855	1.00

注:反弧形阀门阻力系数值已包括阀门井损失;平面阀门阻力系数值不包括门槽及门井损失。

**A.0.5** 输水阀门后廊道断面扩大时,阀门段阻力系数和收缩系数应按下列公式计算:

$$\xi'_{vn} = (1 - \alpha + \sqrt{\xi_{vn}})^2 \quad (\text{A.0.5-1})$$

$$\epsilon_n = \frac{1}{n(\alpha + \sqrt{\xi'_{vn}})} \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中  $\xi'_{vn}$ ——输水阀门后廊道面积扩大时,阀门局部开启的阻力系数;

$\alpha$ ——廊道扩大系数,为阀门处廊道面积和扩大后廊道面积的比值;

$\xi_{vn}$ ——阀门后廊道不扩大的阀门局部开启阻力系数,按表 A.0.4 选用;

$\epsilon_n$ ——阀门开度  $n$  时的收缩系数。

**A.0.6** 流量系数可按下式计算:

$$\mu_t = \frac{1}{\sqrt{\xi_{vn} + \xi' + \xi_c}} \quad (\text{A.0.6})$$

式中  $\mu_t$ ——时刻  $t$  的输水系统流量系数;

$\xi_{vn}$ ——时刻  $t$  阀门开度  $n$  时的阀门局部阻力系数,可按表 A.0.4 选用;

$\xi'$ ——阀门井或门槽的损失系数;平面阀门取 0.10;反弧形阀门取零;

$\xi_c$ ——阀门全开后输水系统总阻力系数,包括进口、出口、拦污栅,转弯、扩大、收缩等局部阻力系数,以及沿程摩阻损失的阻力系数。以上各阻力系数均应换算为阀门处廊道断面的阻力系数,即各阻力系数应乘以阀门处廊道面积与各段廊道面积比值的平方。



## 附录 B 闸室灌水初期各类输水系统的波浪力系数

**B.0.1** 集中输水系统当船舶、船队的长度小于闸室长度,宽度接近闸室宽度,停泊于任意位置时,波浪力系数可按下列公式计算:

$$D = \frac{1 + 2a\sqrt{\alpha} + 4b(\sqrt{\alpha} - \alpha\beta)}{1 + 2a} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$a = \frac{l_B}{l_C} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$b = \frac{l_H}{l_C} \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$l_C = \frac{W}{\chi} \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$\alpha = \frac{\omega_c - \chi}{\omega_c}; \quad (\text{B.0.1-5})$$

$$\beta = \frac{4\sqrt{\alpha}}{(1 + \sqrt{\alpha})^2} \quad (\text{B.0.1-6})$$

式中  $D$ ——波浪力系数,当船舶、船队的长度接近闸室长度时取 1.0;

$a$ 、 $b$ ——系数;

$W$ ——船舶、船队排水量(t);

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$\alpha$ ——断面系数;

$\beta$ ——系数;

$l_C$ ——船舶、船队换算长度(m);

$l_B$ ——船首离上闸首的距离(m);

$l_H$ ——船尾离下闸首的距离(m);

$\omega_c$ ——初始水位时的闸室横断面面积( $m^2$ )。

**B.0.2** 分散输水系统闸室灌水初期的波浪力系数可按表 B.0.2 选用。

波 浪 力 系 数 表 B.0.2

输水系统型式	大 船	小 船
第一类	0.1~0.3	0.5~0.65
第二类	0.1~0.3	—
第三类	$\leq 0.1$	—

注：①大船系指长度大于闸室长度一半之单船或船队，小船系指长度小于 1/2 闸室长度的单船或船队；

②对二、三类输水系统，波浪力对小船不起控制作用。

## 附录 C 闸室灌泄水水力特性曲线

**C.0.1** 阀门开启过程各时刻的流量系数与时间关系曲线可按式 A.0.6 计算求得,阀门全开以后流量系数为常数。

**C.0.2** 闸室水位与时间关系曲线的计算应符合下列规定。

**C.0.2.1** 当忽略阀门开启过程惯性水头的影响时,阀门开启过程中任一时段末的水头可按式计算:

$$h_{i+1} = \left( \sqrt{h_i} - \frac{\Delta t \mu_{\text{ml}} \omega \sqrt{2g}}{2C} \right)^2 \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中  $h_{i+1}$ ——计算时段末的水头(m);

$h_i$ ——计算时段开始的水头(m);

$\Delta t$ ——计算时段,取 10~30s;

$\mu_{\text{ml}}$ ——计算时段的平均流量系数;

$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积(m<sup>2</sup>);

$C$ ——计算闸室水域面积(m<sup>2</sup>),对单级船闸,取闸室水域面积;对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半;

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

**C.0.2.2** 阀门全开以后任一时段末的水头可按式计算:

$$h_{i+1} = \left( \sqrt{h_i + d} - \frac{\Delta t \mu \omega \sqrt{2g}}{2C} \right)^2 - d \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中  $h_{i+1}$ ——计算时段末的水头(m);

$h_i$ ——计算时段开始的水头(m);

$d$ ——阀门全开后惯性水头(m),按附录式(E.0.3)计算;

$\mu$ ——阀门全开后输水系统的流量系数;

$\Delta t$ ——计算时段,取 10~30s;

$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$C$ ——计算闸室水域面积( $\text{m}^2$ ),对单级船闸,取闸室水域面积;对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半;

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

**C.0.2.3** 闸室水位可由上游水位减去水头求得。

**C.0.3** 流量与时间关系曲线可通过下列公式计算求得:

$$Q_t = \mu_t \omega \sqrt{2g(h_t + d_t)} \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$d_t = \frac{L_{np}}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (\text{C.0.3-2})$$

式中  $Q_t$ ——时刻  $t$  的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\mu_t$ ——时刻  $t$  的流量系数,由流量系数与时间关系曲线求得;

$h_t$ ——时刻  $t$  的水位差( $\text{m}$ ),可由闸室水位与时间关系曲线求得;

$d_t$ ——时刻  $t$  的惯性水头( $\text{m}$ ),对集中输水系统可忽略不计;

$L_{np}$ ——输水廊道换算长度( $\text{m}$ ),按附录 E 确定;

$v$ ——阀门段廊道断面平均流速( $\text{m/s}$ );

$\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ );

$\frac{dv}{dt}$ ——流速增率;

$g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ )。

**C.0.4** 能量与时间关系曲线可通过下式计算求得:

$$E_t = 9.81 Q_t h_t \quad (\text{C.0.4})$$

式中  $E_t$ ——时刻  $t$  的能量( $\text{kW}$ );

$Q_t$ ——时刻  $t$  的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$h_t$ ——时刻  $t$  的水位差( $\text{m}$ ),可由闸室水位与时间关系曲线求得。

**C.0.5** 比能与时间关系曲线可通过下式计算求得:

$$E_{pt} = \frac{E_t}{\omega_t} \quad (\text{C.0.5})$$

式中  $E_{pt}$ ——时刻  $t$  的比能(kW/m<sup>2</sup>)；

$E_t$ ——时刻  $t$  的能量(kW)；

$\omega_t$ ——时刻  $t$  的闸室过水横断面面积(m<sup>2</sup>)。

**C.0.6** 反弧阀门及顶止水在下游面的平面阀门门井水位与时间关系曲线可通过下式计算求得：

$$Z_2 = Z_1 - \xi_{cl} \frac{v^2}{2g} - \frac{L'_{np}}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (C.0.6)$$

式中  $Z_2$ ——阀门井水位(m)；

$Z_1$ ——上游水位(m)；

$\xi_{cl}$ ——阀门井前的输水系统阻力系数,包括进口、拦污栅、转弯、扩大、收缩等局部阻力系数以及沿程摩阻损失的阻力系数；

$v$ ——阀门处廊道断面平均流速(m/s)；

$L'_{np}$ ——阀门井前的输水廊道换算长度(m)；

$\frac{dv}{dt}$ ——流速增率；

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

**C.0.7** 闸室与引航道断面平均流速与时间关系曲线应按下列规定确定。

**C.0.7.1** 灌泄水过程各时刻的闸室与引航道断面平均流速可按下式计算：

$$v_t = \frac{Q_t}{\omega_t} \quad (C.0.7)$$

式中  $v_t$ ——时刻  $t$  的闸室及引航道断面平均流速(m/s)；

$Q_t$ ——时刻  $t$  的闸室灌泄水流量(m<sup>3</sup>/s)；

$\omega_t$ ——时刻  $t$  的闸室及引航道过水横断面面积(m<sup>2</sup>)。

**C.0.7.2** 集中输水系统船闸泄水时下闸首门后段的最大断面平均流速可按式 C.0.7 计算,此时  $Q_t$  应为泄水过程中的最大流量, $\omega_t$  为下闸首门后段的过水横断面面积。

## 附录 D 灌泄水时,停泊在闸室和引航道内 船舶、船队所受的各种水流作用力

**D.0.1** 泄水时闸室水面坡降所产生的作用力可按式计算:

$$P_i = \varphi \rho g \chi \left[ \frac{\sqrt{h^4 - 4h \frac{q_1^2}{g}}}{4h} - \frac{\sqrt{h^4 - 4h \frac{q_2^2}{g}}}{4h} \right] \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$h = H_t - \frac{\chi}{B_c} \quad (\text{D.0.1-2})$$

$$q_1 = \frac{Q l_T}{B_c L_c} \quad (\text{D.0.1-3})$$

$$q_2 = \frac{Q(l_T + l_c)}{B_c L_c} \quad (\text{D.0.1-4})$$

式中  $P_i$ ——泄水时,闸室水面坡降所产生的作用力(kN);

$\varphi$ ——校正系数取 1.2;

$\rho$ ——水的密度( $\text{t/m}^3$ );

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$h$ ——换算的船底以下水深(m);

$H_t$ ——时刻  $t$  的闸室水深(m),可由附录 C 闸室水位与时间关系曲线求得;

$B_c$ ——闸室宽度(m);

$q_1$ ——船尾处的单宽流量 [ $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ];

$Q$ ——泄水流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$l_T$ ——船尾离上闸首的距离(m);

$L_c$ ——闸室水域长度(m);

$q_2$ ——船首处的单宽流量 [ $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ];

$l_c$ ——船舶、船队的换算长度(m);

$g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )。

**D.0.2** 闸室和引航道内的流速力可分别按下式计算:

闸室:

$$P_v = \left\{ \delta \varphi \chi [1 + (m_c - 1) \alpha^2] + \frac{1}{3} \left( fO + \frac{W}{C^2 R} \right) \right\} \frac{gQ^2}{(\omega - \chi)^2} \quad (D.0.2-1)$$

引航道:

$$P'_v = \left( \delta \varphi m_c \chi + fO + \frac{W}{C^2 R} \right) \frac{gQ^2}{(\omega - \chi)^2} \quad (D.0.2-2)$$

$$\alpha = \frac{\omega - \chi}{\omega} \quad (D.0.2-3)$$

式中  $P_v, P'_v$ ——分别为闸室及引航道内的流速力(kN);

$\delta$ ——船舶、船队排水量方形系数;

$\varphi$ ——剩余阻力系数,非自航楔形木船和金属船取  $10.5 \times 10^{-3}$ ;非自航式勺形铁壳船取  $8.0 \times 10^{-3}$ ;

$m_c$ ——船前流速不均匀系数,闸室泄水及引航道取 1.0;闸室灌水,当采用复杂消能工时取 2.0 ~ 2.5;当采用简单消能工时取 3.0 ~ 4.0;

$f$ ——摩擦系数,金属船取  $0.17 \times 10^{-3}$ ;木船取  $0.25 \times 10^{-3}$ ;

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $m^2$ );

$O$ ——船舶浸水表面面积( $m^2$ );

$\alpha$ ——系数;

$W$ ——船舶、船队的排水量(t);

$R$ ——水力半径(m);

$C$ ——谢才系数;

$Q$ ——流量( $m^3/s$ );

$\omega$ ——闸室和引航道内的过水横断面面积( $m^2$ );

$g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )。

**D.0.3** 灌泄水时,作用于停泊在引航道导航段末端的船舶、船队的波浪力可按下式计算:

$$P'_B = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{W\sqrt{\alpha}}{(\omega_n - \chi)} + \frac{2Q_2 W(1 - \sqrt{\alpha})\sqrt{g}}{l_c \sqrt{(\omega_n - \chi)B_n}} \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_2 - Q_1}{t_c} \quad (\text{D.0.3-2})$$

$$t_c = \frac{l_c \sqrt{B_n}}{\sqrt{g(\omega_n - \chi)}} \quad (\text{D.0.3-3})$$

$$\alpha = \frac{\omega_n - \chi}{\omega_n} \quad (\text{D.0.3-4})$$

式中  $P'_B$ ——灌泄水时,引航道内的波浪作用力(kN);

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ——波浪沿船舶、船队行进时段内的平均流量增率( $\text{m}^3/\text{s}^2$ );

$t_c$ ——行进时段(s);

$Q_1$ ——时段开始的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_2$ ——时段末了的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\alpha$ ——系数;

$\omega_n$ ——引航道过水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$B_n$ ——引航道水面的宽度(m);

$W$ ——船舶、船队的排水量(t);

$\chi$ ——船舶、船队浸水横断面面积( $\text{m}^2$ );

$l_c$ ——船舶、船队的换算长度(m);

$g$ ——重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ )。



## 附录 E 输水廊道换算长度和闸室水面惯性超高、超降值

**E.0.1** 串联输水廊道的换算长度可按式计算：

$$L_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{v} l_i \quad (\text{E.0.1})$$

式中  $L_{np}$ ——廊道换算长度(m),对于出水孔数大于 15 的出水支孔段廊道可取该段长度的 1/2;

$v_i$ ——第  $i$  段廊道断面平均流速(m/s);

$v$ ——输水阀门段廊道断面平均流速(m/s);

$l_i$ ——第  $i$  段廊道的长度(m)。

**E.0.2** 并联输水廊道的换算长度可按式计算：

$$L_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{v} l_i \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{E.0.2})$$

式中  $L_{np}$ ——廊道换算长度(m),对于出水孔数大于 15 的出水支孔段廊道可取该段长度的 1/2;

$v_i$ ——第  $i$  段廊道断面平均流速(m/s);

$v$ ——输水阀门段廊道断面平均流速(m/s);

$l_i$ ——第  $i$  段廊道的长度(m);

$Q$ 、 $Q_i$ ——分别为走廊道和支廊道的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

**E.0.3** 闸室水面惯性超高、超降值可按式计算：

$$d = \frac{\mu^2 \omega L_{np}}{C} \quad (\text{E.0.3})$$

式中  $d$ ——惯性超高、超降值；  
 $C$ ——计算闸室水域面积( $\text{m}^2$ ),对多级船闸中间级,取闸室水域面积的一半；  
 $\mu$ ——阀门全开时输水系统的流量系数,可取 0.6~0.8；  
 $\omega$ ——输水阀门处廊道断面面积( $\text{m}^2$ )；  
 $L_{np}$ ——输水廊道换算长度(m),按附录 E 确定。

## 附录 F 分散输水系统输水 阀门底缘空化数

**F.0.1** 分散输水系统输水阀门底缘空化数可按下式计算：

$$K = \frac{P + (P_a - P_v)}{v^2/2g} \quad (\text{F.0.1})$$

式中  $K$ ——阀门底缘空化数；

$P$ ——阀门后水流参考断面的压力水头(m),对于平底阀门段廊道等于阀门井水位或阀门前廊道压力水头减去收缩断面平均流速水头和收缩断面高程之和；

$P_a$ ——大气压力(mH<sub>2</sub>O),可按图 F.0.1-1 选用；

$P_v$ ——水的蒸气压力(mH<sub>2</sub>O),可按图 F.0.1-2 选用；

$v$ ——参考断面平均流速(m/s);对于平底阀门段廊道,可取门后收缩断面平均流速；

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

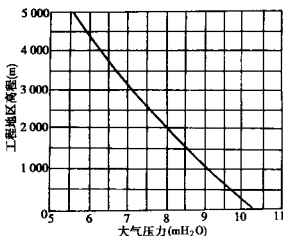


图 F.0.1-1

大气压力与高程的关系曲线

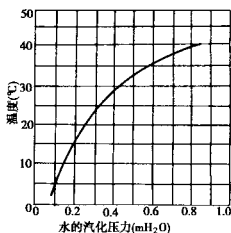


图 F.0.1-2

水的汽化压力与温度的关系曲线

## 附加说明

### 本规范主编单位、主要起草人、总校人员 和管理组人员名单

主 编 单 位:南京水利科学研究院

天津水运工程科学研究所

主要起草人:须清华(南京水利科学研究院)

周华兴(天津水运工程科学研究所)

(以下按姓氏笔画为序)

李 云(南京水利科学研究院)

连恒铎(南京水利科学研究院)

郑宝友(天津水运工程科学研究所)

孟祥玮(天津水运工程科学研究所)

宗慕伟(南京水利科学研究院)

赵德志(天津水运工程科学研究所)

胡亚安(南京水利科学研究院)

宣国祥(南京水利科学研究院)

总校人员名单:姜明宝(交通部水运司)

李永恒(交通部水运司)

余俊华(交通部水运司)

须清华(南京水利科学研究院)

周华兴(天津水运工程科学研究所)

宗慕伟(南京水利科学研究院)

## 附加说明

### 本规范主编单位、主要起草人、总校人员 和管理组人员名单

主 编 单 位:南京水利科学研究院

天津水运工程科学研究所

主要起草人:须清华(南京水利科学研究院)

周华兴(天津水运工程科学研究所)

(以下按姓氏笔画为序)

李 云(南京水利科学研究院)

连恒铎(南京水利科学研究院)

郑宝友(天津水运工程科学研究所)

孟祥玮(天津水运工程科学研究所)

宗慕伟(南京水利科学研究院)

赵德志(天津水运工程科学研究所)

胡亚安(南京水利科学研究院)

宣国祥(南京水利科学研究院)

总校人员名单:姜明宝(交通部水运司)

李永恒(交通部水运司)

余俊华(交通部水运司)

须清华(南京水利科学研究院)

周华兴(天津水运工程科学研究所)

宗慕伟(南京水利科学研究院)

赵德志(天津水运工程科学研究所)  
林雄威(中交水运规划设计院)  
吴敦龙(中交水运规划设计院)  
涂启明(中交水运规划设计院)  
付家猷(中交水运规划设计院)  
田凤兰(中交水运规划设计院)  
刘杏忍(中交水运规划设计院)  
盛周伟(人民交通出版社)

管理组人员名单:李 云(南京水利科学研究院)  
周华兴(天津水运工程科学研究所)  
胡亚安(南京水利科学研究院)  
郑宝友(天津水运工程科学研究所)  
宣国祥(南京水利科学研究院)

中华人民共和国行业标准

# 船闸输水系统设计规范

JTJ 306—2001

条文说明

# 目 次

1 总则 .....	(60)
2 基本规定 .....	(61)
2.1 输水系统的设计要求和分类 .....	(61)
2.2 船舶停泊标准 .....	(61)
2.3 输水系统运转安全技术指标和要求 .....	(62)
3 集中输水系统设计 .....	(64)
3.1 集中输水系统的型式和适用范围 .....	(64)
3.2 集中输水系统的布置 .....	(65)
3.3 短廊道输水系统的水力计算 .....	(68)
4 分散输水系统设计 .....	(72)
4.1 分散输水系统的型式和适用范围 .....	(72)
4.2 分散输水系统的布置 .....	(72)
4.3 分散输水系统的水力计算 .....	(73)
5 输水系统水工模型试验和原型观测 .....	(76)
附录 A 输水廊道阻力系数和流量系数 .....	(77)
附录 B 闸室灌水初期各类输水系统的波浪力系数 .....	(78)
附录 C 闸室灌泄水水力特性曲线 .....	(79)
附录 D 灌泄水时,停泊在闸室和引航道内船舶、船队 所受的各种水流作用力 .....	(80)



# 1 总 则

**1.0.3** “远近结合,留有余地”,是指在进行输水系统设计时,要考虑今后可能出现的泥沙淤积、水位和运量的变化及所需采取的措施。

**1.0.4** 条文中的“应积极采用新技术、新型式”是指在船闸输水系统设计中,要结合工程具体情况发展新技术、新型式,对本规范所列出的新输水型式要总结经验,不断加以改进。

## 2 基本规定

### 2.1 输水系统的设计要求和分类

**2.1.4** 输水系统两大类的选择,是根据对我国已建成或做过试验的 60 余座集中输水系统船闸和国内外 60 余座分散输水系统船闸资料分析而得。式中的  $T$  可按  $T = K_p \sqrt[3]{HBL_c}$  估算,其中  $H$ 、 $B$ 、 $L_c$  分别为闸室设计水头、有效宽度及长度(m)。系数  $K_p$  对于集中输水系统,采用 0.27;对于分散输水系统,采用 0.19。计算所得的  $m$  值可取小数点后有效数 1 位。

**2.1.5** 由于船闸输水系统的设计,目前尚不够完善,除了一些基本的水力学计算,如输水系统阀门尺寸、输水时间、输水水力特性曲线、船舶所受的波浪力等可以计算外,其它的都只能凭经验或参考已有工程来进行设计,加上各工程的条件不同,使输水系统的布置亦千变万化不尽相同。由于这些原因,在设计中就常常要借助水工模型试验以寻求合理的解决。

**2.1.6** 通常采用只补不溢或只溢不补的方式,以减小闸墙和闸门的高度。

### 2.2 船舶停泊标准

**2.2.1** 允许系缆拉力值可由缆绳破坏强度和安全系数确定。不同吨位船舶配备的系船缆绳尺寸,在《钢质内河船舶入级与建造规范》(1996)中规定,是由船型尺度和上层建筑侧面积等算得的船舶舾装数来确定。将缆绳的破断力除以安全系数就可得到系船缆绳允许受力值。对排水量为 500t 及 500t 以上船舶的安全系数可取 4。对 500t 以下船舶,考虑到系船缆绳与船闸纵轴向交角的变化

较大,且缆绳松弛。此外,较小船舶所配缆绳有可能未用标准缆绳,或未能按照使用年限及时调换新的标准缆绳。因此,将船舶缆绳安全系数适当提高,对 50t 及以下船舶允许系缆力的安全系数取为 8,而 500t 到 50t 的安全系数定在 4~8 之间线性变化。表中所列允许系缆力数值是根据上述原则计算所得,允许纵向水平分力及横向水平分力则是在假定缆绳与船闸纵轴线交角为  $30^\circ$  情况下得到的,横向水平分力取为纵向水平分力的一半,略小于实际分力值。纵、横向水平分力值是根据船闸设计水力计算和水工模型试验的需要而列出的。对于 500t 以上的船舶,表中纵向水平力值与按原规范公式计算所得数值是一致的。

**2.2.2** 由于缆绳系缚松紧程度不易掌握,当用多根缆绳系缚船舶时,总力可能集中传递于一根缆绳上。所以,规定不论在船闸中用几根缆绳系缆均按一根系船缆绳承担。

由于缆索配备是为每艘船舶,而不是为整个船队。所以,当硬绑船队过闸时,其允许受力值应按船队系缆船只中最小船舶吨位的规定采用。对非硬绑船队应对船队中的每艘船舶单独系缆,其允许受力值,应对船队中的每艘船舶单独确定。

## **2.3 输水系统运转安全技术指标和要求**

**2.3.1** 采取浮式系船环时,因不需人工移置缆绳,所以对闸室水位升降速度无限制。当只设固定系船设施时,过闸船舶垂直移动的最大速度由系船设施上缆绳的移置条件所限制。因此,要求灌泄水位升降最大速度不大于  $5 \sim 6\text{cm/s}$ 。

**2.3.2** 当不满足船舶、船队在引航道的停泊及航行条件时,要采取部分或全部旁侧取泄水等工程措施或改变运行方式予以改善。引航道中流速参考了原苏联规范 СНИП—55—79 规定。

**2.3.3** 船闸输水系统运转频繁,且一旦破坏维修困难影响通航,因此希望不产生负压值。但由于船闸阀门门槽、阀门段以外的输水廊道、分水墙及消能构件等处难免有局部负压产生,为此,参考水工建筑物发生空蚀的条件,一般在表面有突变处,时均负压达

-3 ~ -4mH<sub>2</sub>O,在平坦处达-5 ~ -6mH<sub>2</sub>O 将发生空蚀,并考虑到前述船闸运用特点,将其允许负压值适当降低,即不宜超过 3mH<sub>2</sub>O 负压。高水头船闸阀门段的允许负压值见第 4.3.11 条。

**2.3.4** 本条参考了原苏联规范 СНИП III—55—79 规定。

**2.3.5** 闸室灌泄水末期,水位惯性超高、超降的现象,特别在长廊道分散输水系统中尤为明显。葛洲坝一号船闸原型观测中测到灌水末期惯性超高达 1.06m。原型中当闸室水位与上游水位齐平时即开始打开人字门,闸室内超高将使船舶受力超出船闸正常灌水时的受力值。当水位惯性超高、超降较大时,还将影响人字闸门启闭机构的安全,因此应采取措施限制其惯性超高、超降值。葛洲坝一号船闸通过原型试验采取了提前关闭阀门措施,将惯性超高值降为 0.2 ~ 0.25 m,才保证了船舶停泊及启闭机构的安全。故本条提出惯性超高、超降值不宜大于 0.25m。

**2.3.6** 输水系统上游引航道进水口,如在灌水过程发生有危害的串状吸气漩涡,将影响上游引航道中小型船舶的停泊安全,对分散输水系统船闸还将恶化船舶在闸室中的停泊条件,并降低输水效率,甚至会因吸入漂浮物而影响输水系统工作。因此,应予避免。改善的工程措施视进口型式而不同,短廊道闸首边墩进口可用消涡栅或板;分散输水系统导墙垂直多支孔进口可采用消涡檐板、调整喉部控制断面面积、改善付导墙端部几何形状等;槛上窄缝单向或双向进口可调整格栅间距;闸首外支廊道进口可改变横支廊道布置、调整支廊道进口流量分配及增大进水口淹没水深,减小进水口流速等。

**2.3.7** 多级船闸采用闸室旁侧溢流堰,作为溢水措施时,由于开始溢流时,虽然闸室水位已达到设计高程,但此时还存在一定的水位差,输水廊道中流量较大,主廊道中的流速水头(动能)在处于关闭状态的闸室下闸首阀门前,转换为压力水头(位能),导致阀门井水位升高,在设计中必须考虑。我国已建成的福建水口和湖南五强溪连续三级船闸均属于此类型。

## 3 集中输水系统设计

### 3.1 集中输水系统的型式和适用范围

#### 3.1.2 集中输水系统消能工种类及其作用：

(1)消能室——消能室是利用闸首帷墙的高度或将闸底部分挖深而构成的一个顶上封闭或开敞的消能空间。消能室内及出口可设其他消能构件。

(2)消力齿、消力槛——消力槛的作用主要是将底部较大的流速向上挑起,兼起撞击消能扩散及转变水流方向的作用。消力齿是一个锯齿形的消力槛。消力齿或槛一般用在底速较大的消能室出口、短廊道出口及消力池内。

(3)消力梁及消力格栅——消力梁的作用主要是调整竖向流速分布,可由单根或多根组成。它的间距应根据水流情况及下游水位来布置,底流速大时应下密上疏。消力格栅由一排立柱所组成,它的作用主要是调整横向流速分布,稳定闸室水面。消力梁及消力格栅多用在有帷墙的上闸首消能室出口。

(4)垂直挡板和水平遮板——垂直挡板主要用来阻挡水流的冲击并迫使水流转变方向。水平遮板是用来促使水流漩滚消能并防止水面翻滚以稳定闸室水面。挡板及遮板多在水流直接冲入闸室的大门门下输水或槛下输水。

(5)消力池——消力池是用来增大消能的水深,增强消力齿或槛及消力墩的消能作用。

(6)消力墩——消力墩是一个较短的立柱,常采用多排交错排列,它一方面有挑流的作用,另一方面也起立柱式消能工调整横向流速分布的作用,常与消力池配合使用。

**3.1.3** 本条所列无消能工系指利用水流本身对冲、扩散或水垫进行消能。

简单消能工系指在上闸首采用消力齿或消力槛、消力墩、消力池、水平格栅或遮板、消力梁或消能室等进行消能。在下闸首采用单道或多道消力齿或消力槛进行消能。

复杂消能工系指在上闸首利用帷墙或开挖闸底构成消能室,并需采用消力齿或消力槛、复杂的消力梁、垂直格栅、挡板等进行消能。在下闸首可采用消力齿、消力槛、水平格栅、水平遮板、简单的消力梁并结合消力池进行消能。

**3.1.5** 本条主要说明集中输水系统应该用什么水力特征值来作为水力指标,并根据实际船闸的运转经验以及试验研究成果,提出了各种输水型式及各类消能措施所适应的范围。

## **3.2 集中输水系统的布置**

**3.2.1** 强调了集中输水系统应在闸室有效长度外设镇静段。对于镇静段长度,在规范中暂按公式  $L = BE_p$  来进行计算。 $B$  值系根据国内部分船闸镇静段长度的统计资料而得。在各类内,则应根据输水型式的优劣、消能工的完善程度,过闸标准船舶的大小等来进行选择。

新近发展的倒口消能输水型式,由于其出口水流向下,经水垫及底板撞击消能,消能效果较好,可不设置镇静段,以缩短闸室长度,节省工程投资,但由于该型式运行经验较少,故其布置应通过试验确定。

**3.2.3.1** 廊道进口布置在水面下一定深度,是为了保证廊道进口顶部不产生负压,并可避免吸入空气和其它漂浮物体,也可增大输水效率。在确定淹没水深时,还需要考虑水流在引航道内行进至闸首处的水面降落。

**3.2.3.2** 规定廊道进口流速是为了避免产生较大漩涡和减少进口损失。根据国内一些船闸的统计,在一般的边界条件下,进口流速在  $5.0 \text{ m/s}$  以上,产生强大漩涡的可能性较大,而小于

4.0 m/s时,不会产生漩涡。

进口轮廓对进口损失影响很大,进口稍加修圆的损失要比没有修圆的小得多。

### 3.2.3.3 确定廊道转弯主要考虑了以下三个因素:

1. 转弯损失小;
2. 转弯内侧曲面的压力会否过低而发生空蚀;
3. 经济合理,不致增加闸首尺寸。

本款对转弯半径的要求基本上是按已建船闸的情况提出来的,把廊道进、出口转弯、扩大与不扩大加以区分,并考虑到水头的大小。

3.2.3.4 对廊道出口的淹没水深,从消能角度来看原则上是越大越好,已建输水条件较好的的无消能室的上闸首环绕短廊道淹没水深一般均有 1.5~2.0 m,还有达到 2.6 m 的。考虑到不同航道等级的船闸起始水深不同,闸室起始水深大的则淹没水深可大一些。同时,也考虑到水头大的廊道出口流速较大,所以要求的淹没水深也应大些。此外,对于下闸首,由于它的消能要求可比上闸首低,淹没水深也可以小些。所以本款中把廊道进出口淹没水深分别进行规定。若淹没水深不能满足要求,则可将廊道出口断面压扁放宽,或者将出口置于低于闸底的消力池内,也可在廊道出口的顶部加一水平横梁,这种横梁用在下闸首时,二侧廊道也可采用不同高度,以适应下游引航道的不对称布置。

廊道出口从减小出口流速、扩大对冲面积增加消能效果并减少出口损失来说,应该扩大。但是,由于廊道出口一般紧接在弯段之后,水流转弯时受离心力作用而偏向外侧。因此,规定在出口弯段设导墙,导墙起点应位于弯段起点、廊道正中而略偏向外侧约  $0.05b$  处,在出口宽度较大时,有时尚可设置二道或三道导墙。

3.2.4 这种输水型式的水流对冲于闸首轴线,其水流不但在横向而且在竖向的分布都不均匀。它的消能措施可以由水流对冲消能,也可再设消能工消能。由于通航水深的限制,这种型式只能采用高度较低的消力槛、开挖消力池等消能措施。

下闸首的闸底一般和下游引航道齐平,其输水廊道与消能工的布置原则与上闸首相同,但还必须注意和引航道的布置形状相适应。

**3.2.5** 有帷墙的上闸首,由于有空间上的有利条件。因此,即使在水力指标不大时也常可利用帷墙构筑消能室,在没有帷墙的上、下闸首则因构筑消能室须开挖闸底而增加投资。所以只有在水力指标较大时采用。

**3.2.8** 封闭式帷墙消能室比较适合的帷墙高度为近于闸室起始水深的情况。

**3.2.9** 开敞式消能室较易适应闸室水位的变化,它一般利用水流对冲及消能工消能。它的缺点是闸室水面波动较大,消能效率较低。

**3.2.10** 槛下输水的水流是从槛下直接进入闸室,没有经过对冲和撞击消能的水流流速很高。水流集中底部,会产生较大的横轴表面淤滚和局部水面下降。不采用任何消能措施的槛下输水是不合适的。

槛下输水的消能布置主要采用上疏下密的消力梁栅及消力齿槛消能,并在梁栅顶部设置水平遮板或格栅。

槛下输水的消能布置视消能工高度及完善程度的不同而分别属于简单或复杂消能工。

**3.2.11** 倒口消能输水是一种新型消能型式,其特点是短廊道出口连接一长度与闸室宽度相同的横向廊道。水流经横向廊道底部格栅孔口出流,经孔口下方消力池水垫层及底板撞击消能,本条的四条布置原则是总结了已采用该型式的5座船闸设计研究经验而得。

**3.2.12** 平转式三角闸门能承受双向水头且可动水启闭,在沿海、沿江受潮汐影响的河道及河口船闸上被广泛采用兼作开启门缝输水。在潮汐河道近平潮时,以及船闸上、下游水位差小于0.3m时,打开上、下闸首的闸门,开通闸通航,可大大提高船闸的通过能力。三角门输水的缺点是水流条件差,输水时间长,闸室镇静段也



较长。

**3.2.13** 平面闸门门下输水,适用在有帷墙的上闸首。为了能把平面闸门降入帷墙下,要求的帷墙高度比较大。

闸门门下输水在水流跌落时掺气严重。而强烈掺气的水流不但破坏了波浪力的特性,而且改变了断面流速分布,增大了进入闸室的水流能量,以致大大增加船舶的缆绳拉力。因此,本条提出“当水头大于 10m 时不宜采用,5m 以上应慎重考虑掺气影响”。

平面闸门门下输水的主要消能设备为:阻挡水流和控制水流方向的垂直挡板,起挑流和分流作用的消力齿槛以及均匀流速分布的消力梁栅等。

平面闸门门下输水的消能措施视帷墙高低及消能工完善程度,可属于简单消能工或复杂的消能工措施。

**3.2.14** 闸门上开小门输水具有经济、简易的优点。因此,虽然它在水力条件上存在一些缺点,但至今仍是一种重要的输水型式。

由于小门输水的水流直冲入闸室会产生严重的横轴漩滚与立轴漩涡,它的消能条件不好,故这种输水型式的各类消能工的水力指标都只能取各类中的下限。

### 3.3 短廊道输水系统的水力计算

**3.3.1** 短廊道输水系统中以淹没出流的短廊道输水居多数。规范的水力计算也主要适用于淹没出流阀门均匀开启的情况,至于阀门间歇开启、变速开启以及输水廊道阀门段为楔形断面等情况的水力计算也可参阅有关文献。输水系统的其他输水型式尚有阀门输水孔口位于闸室初始水位以上的非淹没出流情况以及利用三角闸门开启的垂直缝隙输水方式等。

**3.3.2** 系数  $\alpha$  是与阀门门型,阀门全开后的输水系统流量系数  $\mu$  以及阀门开启过程线有关。

$$\alpha = \int_0^1 \mu'_n dn \quad \mu'_n = \frac{\mu_n}{\mu}$$

$\mu_n$  为阀门开度  $n$  时的流量系数。本条所列平面阀门资料取

自有关文献,而反向弧形阀门资料系根据葛洲坝二号、三号及一号船闸、万安船闸以及部分国外反弧门船闸试验资料计算而得。

**3.3.3** 在输水廊道阀门处面积确定后,便可进行输水系统各部分的布置,然后再进行输水系统在阀门各开度时的阻力系数和流量系数的计算。但这里应该说明,附录 A 所列出阻力系数均是在理想条件下的值,也即是该局部损失前后的水流都是均匀流,而在船闸输水系统中这种条件往往达不到。因此,用附录 A 所得的阻力系数相加而求得的流量系数,与实际值有一定差别。较好的方法是将设计的输水系统与已有类似工程进行比较,而采用相近的实际工程资料,在没有实际资料可供使用时,则应通过模型试验确定。

**3.3.4** 对短廊道输水系统,阀门的开启时间或速度一般都是由灌水时闸室内的船舶停泊条件所决定,而闸室内的船舶停泊条件决定于灌水初期,这时,船舶所受的水动力中流速力和局部力很小。式(3.3.4)即是由灌水初期的波浪力和船舶系缆力的允许纵向水平分力相等的条件而得,式中计算波浪力所用的闸室灌水初期的流量增率采用 $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_0 = \frac{K_t \omega}{t_v} \sqrt{2gH}$ 。

**3.3.5** 若计算所得的输水时间太长不能满足要求,则应加大输水廊道阀门处面积或采用变速开启阀门和特殊形状的阀门处输水廊道断面等方法以缩短输水时间。

若计算得的输水时间与阀门开启时间相近或甚至小于阀门开启时间,则说明所确定的阀门处输水廊道断面面积过大。此时可将面积缩小,但单位时间阀门开启面积仍可保持不变。

**3.3.6** 所列的六种水力特性曲线,除了第五项仅需在灌水时计算外,一、二、三、四和六项对灌水和泄水都需进行计算。但其中对上游及下游引航道以及下闸门后横断面的断面平均流速,只要由最大流量求得其最大值就可以了。一般就不必一一描绘其随时间的变化曲线。

有了水力特性曲线、除了可以进行以下各条计算外,尚可根据

流速指标(即灌水闸室最大断面平均流速及泄水下闸首闸门后最大断面平均流速)核算所采用的消能措施是否合适,并可根据最大流量、最大能量及最大比能分别核算设计的廊道进口断面、镇静段长度以及消能室体积等是否合适。

**3.3.7 闸室内船舶停泊条件的核算**是在输水系统的设计和水力特性曲线的绘制全部完成后进行的。灌水时,只要核算灌水初期的波浪力即可,因为对于设计合理的短廊道输水系统,灌水后期的水流作用力一般是不会超过初始波浪力的。

当船舶在闸室内不能安全停泊时,一般可按许可值重新确定阀门开启时间,或采用变速开启、或在阀门处廊道采用楔形断面等措施,并核算其输水时间。

泄水时,由于泄水初期闸室水深较大。因此,泄水初期的波浪力不决定闸室的停泊条件,其后,波浪力也一直较小。泄水时,船舶所受的动水作用力,主要是由泄水流量所产生的闸室纵向水面坡降以及纵向流速所产生,计算时可由最大流量瞬间开始进行,然后得出其最大值。若泄水时的停泊条件不能满足则只能采取延长阀门开启时间、缩小阀门面积以减小最大流量,或在阀门全开后即把阀门关小,以使最大流量后的流量变化减缓等措施。此外,若采用先快后慢或下大上小的倒楔形断面,也同样可以减小泄水最大流量并减缓流量的变化。

**3.3.8 对短廊道输水系统引航道中停泊及航行条件**,一般只要核算下游引航道中的停泊条件。因为在设计水头时,下游均为最低通航水位,它的横断面不及上游的大。而且,为了缩短输水时间,有时泄水阀门的速度定得比灌水阀门快一些。

**3.3.9 计算封闭式阀门后的压力值**应对阀门的每一个开度进行,然后绘制  $P_c = f(t)$  的曲线,以求出压力下降的最大值。

若计算所得的压力太低,则要提高封闭式阀门后的压力。对短廊道输水系统,通常采用的方法有两种。一种是延长阀门的开启时间,但这种措施对闸室灌水时效果较大,而对泄水效果较小,且将延长输水时间,另一种方法是将阀门位置降低,这种措施可以

提高的压力是与阀门淹没深度的增加成正比的,但这种方法会使造价有所增加。

**3.3.10** 为检验开敞式阀门后是否会否产生远驱式水跃,必须对阀门的每个开度进行验证,这需在有了水力特性曲线之后才能进行。

船闸中远驱式水跃的危害在于将使阀门后高速水流的区域增大,故应加大廊道混凝土表面的保护范围,同时这种水跃的位置又变化不定,在水跃碰到阀门时会引起阀门的振动,故应提高阀门抗振能力,加强阀门的结构强度。当然这种危害与水头的大小有关,若水头较小,其流速不大,能量也较小,即使发生远驱式水跃,其影响也不会太大,反之其影响就较大。

防止开敞式阀门后产生远驱式水跃的方法与提高封闭式阀门后压力的方法相同。

## 4 分散输水系统设计

### 4.1 分散输水系统的型式和适用范围

**4.1.1** 分散输水系统的特征是水流通过闸墙廊道或闸室底部廊道上的一系列支孔分散地进入闸室,有利于改善船舶、船队在闸室内的停泊条件。本条所列的是目前通过实践认为比较合适的分散输水系统型式,并按其灌水时闸室出水的水力特性进行分类。

**4.1.2** 系根据国内外分散输水系统船闸经验,经分析论证提出选型标准。

### 4.2 分散输水系统的布置

**4.2.2** 船闸上闸首或中闸首帷墙如果高于闸室起始水位,当闸室灌水水面上升到帷墙平台时,水流骤然进入这一平面空间,将造成闸室水面坡降突变和水面波动,对顶推船队会产生很大的作用力。本条规定可大大减小这不利影响。

**4.2.3** 分散输水系统的输水阀门段廊道必需有一定的淹没水深,以保证阀门工作条件,并避免大量的空气进入闸室,严重恶化闸室内船舶的安全停泊。

**4.2.5** 本条是为了避免大量空气从检修门井进入闸室及水流冲刷、空蚀对检修门槽的损害。

**4.2.6** 闸室中心分流口的布置很重要,是保证将水流均匀稳定地分配入各供水区段的关键。

水平分流口由于垂直隔墙端点的位置对分流过于敏感,很难保证非恒定水流分流的均匀与稳定,且隔墙端点也容易产生空化;而垂直分流的水平隔墙,不影响水流的流态,可以保证分流的均匀

与稳定,也不易产生空化。但垂直分流结构复杂,造价较高,所以它仅用于高水头船闸。

垂直分流口水平隔墙的布置比较容易,只要放在分流口高度的  $1/2$  处即可,而水平分流口的布置则必须通过模型试验确定。

垂直分流通常又称为立体分流或立交分流。

**4.2.7** 进出口布置的流线型可达到改善流态、减少损失、提高输水效率的目的。进口淹没水深及流速的要求是为了避免进水口发生有危害性的串状吸气漩涡。输水系统出口的淹没水深,主要是控制水流的紊动。

**4.2.8** 分散输水系统的进、出口布置有两类:一类是布置在闸首边墩或闸槛上,另一类是布置在接近闸首的引航道底或导墙上。因为前者水流比较集中,适用于水头较低的第一类分散输水系统;后者水流比较分散,一般用于水头较高的第二类 and 第三类分散输水系统。

**4.2.11** 本条适用于分散输水系统的各种型式。

**4.2.13** 本条主要依据美国船闸建设的经验。由于我国船闸富裕水深常难以满足所规定的要求,因此,根据水头的大小,发展了各种消能布置,最高水头已应用至 15.60m。

**4.2.16** 闸首槛下长廊道输水,由于其廊道没有水平转弯,因此沿闸室全宽布置廊道较为方便,特别适宜采用闸底廊道多区段出水。

**4.2.17** 本条对明沟宽度的规定是参照了支孔出流的流核逐渐缩小达到消失所要求的距离而确定的。

**4.2.18** 条文中规定的数字是根据葛洲坝二号船闸试验研究资料分析而得。其各支孔面积相同可达到支孔出流均匀的要求。

**4.2.20** 本条系总结葛洲坝二号船闸输水系统布置的经验而得。

### **4.3 分散输水系统的水力计算**

**4.3.2** 当船闸输水时间及输水系统类型初步确定后,先计算输水阀门廊道断面面积,然后才能进一步确定输水廊道各部分的尺寸。

**4.3.4** 按附录 E 计算输水廊道换算长度及惯性超高、超降值与原

型观测所得的值极为相近。

**4.3.5** 本条计算闸室输水时间  $T$  的公式考虑了阀门全部开启以后廊道水流的惯性水头,但忽略了阀门开启过程中的惯性水头项,经与模型试验值以及电算值(考虑全过程的惯性水头项)相比较,说明其精度是足够的。

**4.3.7** 分散输水系统闸室灌水时船舶的波浪力在很多情况下并不控制闸室内船舶停泊条件,而局部力却可能起控制作用。但局部力的计算目前尚不成熟。因此,分散输水系统闸室内的停泊条件主要应由水工模型试验确定。

泄水时,闸室水体分散进入输水廊道泄入下游,因此,闸室内停泊船舶的缆绳受力很小,一般可以不予考虑。

船舶在上、下游引航道内的停泊条件与集中输水相同,但若为部分旁侧取泄水,则计算时只要考虑在引航道内取泄水的部分。

**4.3.8** 惯性水头可按式(C.0.3-2)计算,式中廊道换算长度应取阀门前输水廊道的换算长度。

**4.3.10** 闸室内具有出水孔段输水廊道剩余压力的计算公式,是假定水流在出水孔段以前所具有的动能(即流速水头  $v_m^2/2g$ ),在水流抵达出水孔段末端时,全部转变为压力水头或位能,即不考虑该段内的水流沿程损失与分流损失。因而计算所得数值略大即偏于安全。

**4.3.11** 高水头船闸廊道输水阀门往往可能产生底缘与门楣顶缝空化,因此必需核算产生空化的可能性。先计算工作空化数,然后与临界空化数相比较,当工作空化数低于临界空化数时将发生空化。输水阀门的临界空化数与阀门门型、阀门底缘型式、止水与门楣的细部尺寸及阀门的边界条件有关,应通过减压模型试验求得。在初步设计中可参考相近工程的资料。

在核算底缘空化数时可能出现工作空化数大于、接近或小于临界空化数等三种情况,对这三种情况应区别对待。

(1)当工作空化数大于相应的临界空化数时,阀门底缘不可能形成空化。因此,廊道顶部可允许少量负压。过去,美国在船闸设

计中规定负压不超过  $1.5\text{mH}_2\text{O}$ , 苏联设计规范中规定负压不超过  $5\text{mH}_2\text{O}$ , 参考这些数字本规范采用  $3\text{mH}_2\text{O}$ 。

(2) 当工作空化数接近其相应的临界空化数时, 阀门底缘实际上已存在促成空化的可能性, 而空化一旦产生, 在水流的负压区它将得到强化, 此时宜将廊道淹没水深适当增加, 以保证阀门后廊道为正压。

(3) 当底缘工作空化数小于其临界空化数时, 底缘处将产生较大的空化泡, 而成为主要的空化源。此时应采取改变阀门开启方式、降低阀门高程、增加门后阻力、改变阀门段廊道体型等使二者接近, 并应采用门楣通气措施, 以减免门楣缝隙及阀门底缘的空化。当阀门后廊道顶部有可能保持  $3\text{mH}_2\text{O}$  负压时, 亦可在该处设置通气管, 通入适量的空气。



## 5 输水系统水工模型试验和原型观测

**5.0.1** 条文中所列的一些内容应结合工程的具体情况而定,可以全部进行试验,也可进行一部分内容。

**5.0.2** 以往船闸的阀门水力学试验通常采用恒定流方法进行,特别是阀门空化试验均在恒定流减压箱中进行。随着船闸水头的增大,阀门空化问题愈益严重,往往需要采用快速开启阀门的方式,以利用水流的惯性水头减免阀门的空化。但快速开启阀门时阀门段(包括阀门井)水流流态与恒定流或慢速开启阀门时有较大差别,因此本条文规定宜采用非恒定流方法进行输水阀门水力学试验,包括减压模型试验。

**5.0.3** 分散输水系统由于输水廊道较长,模型廊道糙率一般偏大,再加上廊道水流雷诺数偏小,达不到阻力平方区的要求,因此需进行缩尺影响的校正。设计部门在使用水工模型试验成果时,必须加以注意。

## 附录 A 输水廊道阻力系数和流量系数

**A.0.1** 鹅颈管是指两个不同方向弯管和中间衔接直管构成的组合弯管,通常位于具有较高帷墙的上闸首输水阀门井前,是垂向弯管,但所列经验公式亦适用于平面组合弯管。

其他类型的组合弯管,如平底环形短廊道,它由进、出口两个同向弯管加上其间的衔接直管组成,其阻力系数,可参见有关文献。

**A.0.2** 该式是由下面具有锐缘出水孔缝廊道的阻力系数  $\xi_m$  公式简化而得,

$$\xi_m = \frac{1}{\sin^2 \left[ \left( 0.82 - 0.105 \frac{\sum \omega_B}{\omega} \right) \frac{\sum \omega_B}{\omega} \right]}$$

系数  $k_f$  与支孔形状有关,取自七里垅、万安、水口、葛洲坝二号、三号、一号船闸及美国一系列船闸的模型试验资料。

**A.0.3** 廊道摩擦阻力系数可参考一般水力学计算手册等。

**A.0.4** 表中锐缘平面阀门资料,横梁全包式反向弧形门及竖梁式反向弧形阀门资料均取自有关文献。

**A.0.5** 输水阀门后廊道断面扩大时,  $\xi'_m$  及  $\epsilon_n$  值可按廊道断面不扩大时的计算方法求得。

## 附录 B 闸室灌水初期各类输水系统的波浪力系数

**B.0.1** 该式对船舶、船队长度大于半闸室,宽度接近闸室宽度的较大型船舶、船队较为准确,对较小船舶、船队则通过模型试验确定。

## 附录 C 闸室灌泄水水力特性曲线

**C.0.2** 本条所列为淹没出流输水的情况。

**C.0.3** 本条所列为淹没出流输水的情况。

**C.0.4** 该式适用于各种输水方式。

**C.0.5** 该式适用于各种输水方式。

## 附录 D 灌泄水时,停泊在闸室和引航道内 船舶、船队所受的各种水流作用力

**D.0.2** 引航道内由水流流速引起的作用力和在有限水域中船舶航行时所受的阻力相似。而在闸室内的情况有些不同。

**D.0.3** 此计算只有当全部水力特性曲线完成以后才能进行。而且船舶应距下闸首较近才符合计算的假定。