

# 水闸基于检修闸门系统的事故闸门研究与应用

周和平，徐 铭，周建方

(江苏省洪泽湖水利工程项目管理处, 江苏 淮安 223100)

**摘要:**针对众多水闸工作闸门存在破坏隐患却无事故闸门应急抢险问题,提出在检修闸门系统的基础上构建事故闸门方案:配置能在动水中依靠自重关闭的事故闸门,借用检修门槽安装事故闸门,借用检修闸门启闭机械启闭事故闸门。验算闸门闭门力,为满足闸门闭门要求,设计事故闸门采用叠梁,适当降低单块叠梁的高度以降低水压力,行走机构采用滚轮,滚轮轴简支,在满足强度的基础上尽量降低轴直径。验算门槽轨道强度,对不符合事故闸门安装、行走条件的结构进行改造。控制事故闸门自重启闭机械额定起重量以内,配置起吊闸门水下自动脱钩装置,并确保起升高度满足要求。设置侧滚轮,防止闸门启闭时卡阻。三河闸门槽轨道为混凝土,滚轮行走接触应力大于规范要求,因一时不能改造门槽,设计在钢滚轮外缘设置橡胶轮圈,以降低接触应力。

**关键词:**水闸; 抢险; 事故闸门; 闭门力; 接触应力; 橡胶轮圈

中图分类号:TV663      文献标识码:B      文章编号:1007-7839(2019)10-0069-04

## Research and application of emergency gate based on bulkhead gate system

ZHOU Heping, XU Ming, ZHOU Jianfang

(The Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, Jiangsu)

**Abstract:** Aiming at the problem of many working gates have potential damages but no emergency gate for emergency rescue, the scheme of emergency gate construction based on the bulkhead gate system was put forward. Disposing emergency gate which could be closed by self-weight in active water, installing emergency gate by means of overhaul gate groove, and opening and closing emergency gate by means of overhaul gate mechanical hoisting and closing accident gate. To check the closing force of gate in order to satisfy the closing requirement of gate. The overlapping beam was used in the design of emergency gate, and the height of single overlapping beam was appropriately reduced to reduce water pressure. Roller wheel was used in the walking mechanism, and the roller shaft was simply supported. On the basis of satisfying the strength, the diameter of the shaft was reduced as far as possible. The track strength of the gate groove was checked and the structure that didn't meet the installation and running conditions of the accident gate was reformed. Controlling the self-weight of the emergency gate was within the rated lifting weight of the hoisting machinery, and equipping the underwater automatic decoupling device of the hoisting gate to ensure that the lifting height meet the requirements. Set up side rollers to prevent blockage when the gate was opened or closed. The track of Sanhe sluice gate trough was concrete, and the contact stress of the roller was greater than the standard requirement. Because the gate trough could not be reformed for a time, rubber rim was designed on the outer edge of the steel roller to reduce the contact stress.

**Key words:**sluice; emergency rescue; emergency gate; closed door force; contact stress; rubber rim

# 1 研究背景

## 1.1 众多水闸未设置事故闸门

水利水电工程闸门,按其工作性质可分为工作闸门、事故闸门和检修闸门。工作闸门在工程正常运行时使用,能在动水中启闭。事故闸门在工作闸门或相关建筑物、设备发生事故时使用,能在动水中关闭。检修闸门在工作闸门或相关建筑物、设备检修时使用,只能在静水中启闭。水闸检修闸门,10孔以内的一般设置1~2扇,10孔以上的每增加10孔一般增设1扇。对于重要工程,认为必要时设置事故闸门。资料显示,低水头水闸绝大多数没有设置事故闸门<sup>[1]</sup>。

## 1.2 诸多水闸工作闸门存在破坏隐患

诸多水闸存在工作闸门意外破坏隐患,如有的水闸泄水时闸门可能遭受船舶撞击,有的水闸弧形闸门位于公路桥侧下方可能遭受汽车撞击,还有恐怖袭击可能发生,这些隐患都可能造成水闸工作闸门破坏。水闸工作闸门突发破坏,若抢险不及时,一般都将发生一定程度的财产损失和水资源流失,有的可能造成人员伤亡、重大财产损失,甚至造成工程损毁。

## 1.3 针对隐患应有预案

这些未设置事故闸门的水闸,针对工作闸门意外破坏隐患,一般均无妥当的应急抢险预案。检修闸门只能在静水中安放,在动水中依靠自重不能下沉到位,即使压重也难以关闭,所以不能用于抢险。通常抢险方案是采取沉船、抛石等措施封闭闸孔,此类抢险方案历时长、效率低、费用高、社会影响大。因此,对于那些工作闸门存在破坏隐患,且破坏后将造成等级安全事故的水闸,备有妥当的应急抢险措施,十分必要。

# 2 技术方案

## 2.1 基本思路

水闸一般都设有检修闸门系统,由检修门槽、检修门、启闭机械等组成。检修闸门一般多孔合用,多为叠梁或浮式叠梁型式;启闭机机械多为移动式,包括门式行车、移动电动葫芦等。基于检修闸门系统构建事故闸门系统,是水闸工作闸门破坏后应急抢险的较好措施。基本思路是:

(1)配置能在动水中依靠自重关闭的事故闸门。

(2)借用检修门槽或适当改造后安装事故闸

门。

(3)借用检修闸门启闭机械或适当改造后启闭事故闸门。

## 2.2 技术要求

(1)闸门能依靠自重关闭到位。闸门在动水中受到较大水压力,且检修门槽轨道一般不如工作闸门轨道平整、光滑,需采取技术措施增加闭门力,降低摩阻力。

(2)检修门槽的尺寸和强度满足要求。门槽深度、宽度应满足事故闸门安装和行走要求,门槽局部承压强度应满足要求。

(3)检修闸门启闭机械具备吊装事故闸门各项条件。包括额定起重量、起升高度和扬程等技术参数应满足要求,吊装事故闸门入槽后应能水下自动脱钩。

(4)事故闸门及启闭机械配置数量应满足要求。

## 2.3 技术措施

(1)闸门采用叠梁,适当降低单块叠梁的高度以降低水压力,行走机构采用滚轮。

(2)开展门槽外观检查、尺寸测量和强度验算,对不符合事故闸门安装条件的结构进行改造。

(3)核对启闭机械技术参数,控制事故闸门自重启闭机械额定起重量以内,配置起吊闸门水下自动脱钩装置,并确保起升高度满足要求。

(4)合理配置事故闸门和启闭机械数量。由于工作闸门发生破坏的几率极低,2孔以上同时破坏的几率更低,因此一般水闸配置1套事故闸门足够,若闸孔较多或特别重要,应增加事故闸门配置数量。对闸孔较多的水闸,由于叠梁运距较长,为缩短抢险时间,应适当增加启闭机械数量。

# 3 关键技术

## 3.1 行走支承设计

平面闸门行走支承主要有滑块和滚轮2种方式<sup>[2]</sup>。滑块摩阻力大,对于水位差较大的水闸,闸门闭门力难以满足要求。虽然通过降低叠梁梁高、增加事故闸门总重量等措施也可能满足闭门要求,但叠梁梁高很小必然数量较多,抢险效率将下降,且大部分水闸检修门槽轨道一般为混凝土,采用滑块行走摩阻力更大,闸门难以关闭。

所以,水位差较大的水闸的事故闸门一般只能采用滚轮行走。滚轮行走设备设计应注意以下几点:

(1) 验算闭门力。如闭门力不够, 可在满足强度的基础上适当降低轴直径, 选用摩擦系数较小的轴套, 滚轮轴应简支。

(2) 验算滚轮的接触应力。尤其要验算混凝土轨道的接触应力是否满足要求, 水位差较大、闸孔较宽的水闸, 若检修门槽没有埋设钢轨, 混凝土的局部承压强度一般不够, 应改造门槽设置钢轨。

(3) 应设置侧滚轮, 防止闸门启闭时卡阻。

3.2 水下自动脱钩装置

事故闸门由多块叠梁组成, 每块叠梁安装到位后, 启闭机械须能水下自动脱钩, 否则无法继续工作。水下自动脱钩装置可选用水下自动挂脱梁或自动脱钩<sup>[3]</sup>。

自动挂脱梁能水下脱钩, 也能水下挂钩。配置自动挂脱梁应注意以下几点:

- (1) 叠梁止水宜设置在上游侧。
- (2) 行走支承也应使用滚轮, 并设置侧滚轮。
- (3) 力求轻盈, 梁高较小。
- (4) 应做静平衡试验。

自动挂脱梁自重较大, 结构较复杂, 动水中使用可能发生卡阻, 其自身高度也降低了启闭机械的起升高度。

自动脱钩可用于安装事故闸门, 使用自动脱钩吊装事故闸门就位后能实现水下自动脱钩, 但不能水下挂钩。由于采用事故闸门应急抢险几率较低, 可待工作闸门恢复后由潜下水工水下挂钩起吊闸门。

4 力学验算

钢闸门设计力学计算包括强度、刚度、稳定性、启闭力等, 本课题要重点核算事故闸门闭门力和滚轮作用下混凝土承压应力<sup>[4]</sup>。

4.1 闭门力验算

事故闸门要在动水中关闭, 闭门力必须满足规范要求。闭门力按式(1)计算:

$$F_w = n_T(T_{zd} + T_{zs}) - n_G G + P_t \tag{1}$$

式中,  $n_T$  为摩擦阻力安全系数, 可取为 1.2;  $T_{zd}$  为支承摩阻力, kN;  $T_{zs}$  为止水摩阻力, kN;  $n_G$  为闸门自重修正系数, 可取为 0.9~1.0;  $G$  为闸门自重, kN, 可采用浮重;  $P_t$  为上托力, kN。

事故闸门一般采用滑动轴承, 支承摩阻力按式(2)计算:

$$T_{zd} = \frac{P}{R}(f_1 r + f) \tag{2}$$

式中,  $P$  为作用在闸门上的总水压力, kN;  $r$  为

滚轮轴半径, mm;  $R$  为滚轮半径, mm;  $f_1$  为滑动摩擦系数, 按钢对铜考虑, 可取为 0.3;  $f$  为滚动摩擦系数, 考虑到混凝土不够平整, 取为 3 mm。

止水摩阻力按式(3)计算:

$$T_{zs} = f_2 P_{zs} \tag{3}$$

式中,  $f_2$  为止水橡皮对混凝土的滑动摩擦系数, 可取为 1.0;  $P_{zs}$  为作用在止水上的压力, kN。

上托力按式(4)计算:

$$P_t = \gamma \beta_1 D_1 B_{zs} \tag{4}$$

将事故闸门止水安装在上游侧,  $D_1 = 0$ , 故上托力为零。

若计算结果  $F_w$  为负值, 表明事故闸门能依靠自重关闭; 若  $F_w$  为正值, 则必须修正设计, 直至  $F_w$  为负值。

4.2 滚轮作用下混凝土承压应力验算

检修门槽一般未设置轨道, 事故闸门安放在检修门槽时, 滚轮直接作用在混凝土上。按照滚轮与混凝土接触为线接触考虑。其接触应力按式(5)验算:

$$\sigma_{max} = 0.418 \sqrt{PE/bR} \leq 3.0 \sigma_s \tag{5}$$

式中,  $P$  为作用在滚轮上的荷载, N;  $E$  为材料弹性模量, N/mm<sup>2</sup>;  $b$  为轮缘宽度, mm;  $R$  为滚轮半径, mm;  $\sigma_s$  为材料屈服强度, N/mm<sup>2</sup>, 混凝土采用承压容许应力。

由于滚轮和混凝土弹性模量不同, 所以  $E$  为合成弹性模量, 按式(6)计算:

$$E = 2E_1 E_2 / (E_1 + E_2) \tag{6}$$

式中:  $E_1$ 、 $E_2$  分别为滚轮和混凝土的弹性模量。

5 应用示例

三河闸位于江苏省淮安市, 是淮河入江水道的控制口门, 建于 1953 年, 63 孔, 每孔净宽 10 m, 设计流量 12000 m<sup>3</sup>/s, 上游洪泽湖非汛期设计蓄水位 13.5 m, 下游入江水道非泄洪正常水位 7.8 m, 配弧形闸门、绳鼓式启闭机, 1970 年增设检修门槽并配置浮箱式检修门。弧形闸门位于公路桥侧下方, 倘有车辆冲出桥面下坠(交通事故或恐怖袭击)撞击闸门支臂, 闸门将失稳破坏。此时倘抢险不及时, 不仅仅是下游人民生命财产遭受损失和水资源流失, 更有可能将消力池冲毁, 危及闸身安全。但检修闸门在动水中不能关闭, 无法用于抢险, 可采用的相对快速的抢险方案是: 就近征用多条载有砂石的船舶下沉在闸孔前, 用以封堵闸孔。因此, 三河闸须配置事故闸门, 用于工作闸门意外破坏时应急

抢险。

### 5.1 技术方案

(1)配置能在动水中依靠自重关闭的事故闸门。采用叠梁,单块叠梁自重与单块检修闸门相当,但高度略低于检修闸门,采用滚轮行走并简支滚轮轴,在满足强度的基础上适当降低轴直径,选用自润滑轴套,设置侧滚轮。

(2)借用检修门槽安装事故闸门。

(3)借用检修闸门启闭机械启闭事故闸门,配置自动脱钩。

(4)由于闸孔较多,事故闸门配2套,并增设1套启闭机械。

### 5.2 闭门力验算

由于三河闸上游水位超过13.5 m一般即开闸泄洪,事故闸门设计水位取为上游13.6 m、下游7.6 m较合适。三河闸现有浮箱式检修门每块高825 mm,事故闸门每块叠梁高可取为700 mm,计需9块叠梁。尽管事故闸门叠梁是逐块安装的,但宜按9块整体作用计算闭门力。

(1)支承摩阻力按式(2)计算。作用在门上的总的水压力 $P=1830$  kN,滚轮轴半径 $r=30$  mm,滚轮半径 $R=150$  mm,取滑动摩擦系数 $f_1=0.3$ ,滚动摩擦臂 $f=3$  mm,计算得支承摩阻力为 $T_{sd}=146$  kN。

(2)止水摩阻力按式(3)计算。作用在止水上总的水压力 $P_{zs}=18$  kN,止水橡皮对混凝土的滑动摩擦系数取为 $f_2=1$ ,计算得止水摩阻力为 $T_{zs}=18$  kN。

(3)闭门力按式(1)计算。事故闸门总重 $G=261$  kN,取 $n_T=1.2$ 、 $n_G=0.9$ ,事故闸门止水安装在上游侧,上托力 $P_t=0$ ,下吸力不予考虑,计算得闭门力 $F_w=-37$  kN。

可见,该闸门能依靠自重关闭。

### 5.3 滚轮作用下混凝土承压应力验算

三河闸检修门槽未设置轨道,事故闸门滚轮直接作用在混凝土上。按照滚轮与混凝土接触为线接触考虑,其接触应力按式(5)验算。事故闸门底部叠梁下滚轮受到的压力最大,故计算该滚轮作用部位的接触应力。作用在该滚轮上的荷载 $P=104000$  N,滚轮弹性模量 $E_1=206000$  N/mm<sup>2</sup>,C20混凝土弹性模量 $E_2=25500$  N/mm<sup>2</sup>,合成弹性模量 $E=45380$  N/mm<sup>2</sup>,轮缘宽度 $b=80$  mm,滚轮半径 $R=150$  mm,计算得滚轮与混凝土的接触应力为

262 N/mm<sup>2</sup>。C20混凝土承压容许应力7 N/mm<sup>2</sup>,轴心抗压设计强度为9.6 N/mm<sup>2</sup>,不满足式(5)要求,混凝土局部承压强度远远不足。

针对混凝土局部承压强度不足问题,最佳方案是改造检修门槽,埋设钢轨,但造价较高。设计在钢滚轮外缘设置厚橡胶轮圈,增加滚轮与混凝土轨道的接触面积,从而降低局部压应力,譬如压缩5 mm,滚轮与混凝土的接触宽度增大为76 mm,此时混凝土承压力基本满足要求。为防止橡胶受到碾压破坏,橡胶轮圈内应设置多层钢丝网,橡胶层的厚度和压缩度应通过试验确定。

## 6 结论

(1)对于工作闸门存在破坏隐患且破坏后可能造成等级安全事故的水闸,应具备有事故闸门。

(2)国内众多水闸只设置了检修闸门,未设置事故闸门,其中大量水闸存在工作闸门破坏隐患并可能造成等级安全事故,可基于检修闸门系统构建事故闸门,用以应急抢险。

(3)基于检修闸门系统构建事故闸门的技术方案是:配置能在动水中依靠自重关闭的事故闸门,借用检修门槽或适当改造后安装事故闸门,借用检修闸门启闭机械或适当改造后启闭事故闸门。

(4)事故闸门采用叠梁,适当降低单块叠梁的高度以降低水压力,行走机构采用滚轮。

(5)开展门槽外观检查、尺寸测量和强度验算,对不符合事故闸门安装条件的结构进行改造。

(6)核对启闭机械技术参数,控制事故闸门自重启闭机械额定起重量以内,配置起吊闸门水下自动脱钩装置,并确保起升高度满足要求。

(7)事故闸门和启闭机械应定期养护,确保滚轮转动灵活,每年开展抢险演练。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL 74-2013 水利水电工程钢闸门设计规范[S]. 北京:中国水利出版社, 2013.
- [2] 宋艳, 邱晓琳. 平面钢闸门设计、施工及维护浅谈[J]. 四川水利, 2008(5):33.
- [3] 王曾, 宿德春, 赵文德. 水下自动脱钩装置研究[J]. 机械工程师, 2016(10):52-55.
- [4] 陈满洲. 平面事故闸门闭门力及持住力峰值位置的图解法[J]. 陕西水利水电技术, 2001(2):4-7.