

水力自控翻板闸门门型发展概述

侯石华 沈长松 孙学智

(河海大学水利水电工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 介绍水力自控翻板闸门的发展过程、各种门型的工作原理和优缺点及运用注意事项.认为 20 世纪 80 年代初出现的连杆滚轮式水力自控翻板闸门,在解决闸门运行稳定性问题上取得了较大的发展.随后出现的连杆滑块式水力自控翻板闸门,使翻板闸门的结构形式和调节性能以及运行方式更加完善.

关键词 水力自控翻板闸门 闸门启闭 力矩平衡

中图分类号 :TV663+.8 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2003)07-0005-03

水力自控翻板闸门在水压力和闸门自重的作用下,利用力矩平衡原理使闸门绕水平铰轴转动,具有自动启闭的功能.闸门在开启时,有翻转倾倒之势,因此被称之为“翻板闸门”.这类闸门常用于拦河闸上,在正常蓄水位时,闸门关闭拦蓄河水,起到壅高水位的作用,以满足灌溉、发电和航运的需要.当上游洪水爆发或来水量增加,上游水位抬高时,闸门能自动地开启,及时地从闸门的顶部、底部同时宣泄洪水,确保上游农田和两岸免受淹没.待上游水位降落到一定程度时,闸门自动关闭,重新拦蓄河水.

水力自控翻板闸门的优点是能随水位涨落而自动启闭,运行平稳,结构简单,建设周期短,造价低廉,与常规的平板提升钢闸门和弧形闸门(含启闭设备、附属建筑物)相比,一般可节省投资 30% ~ 45%,管理维修方便,利于排沙.

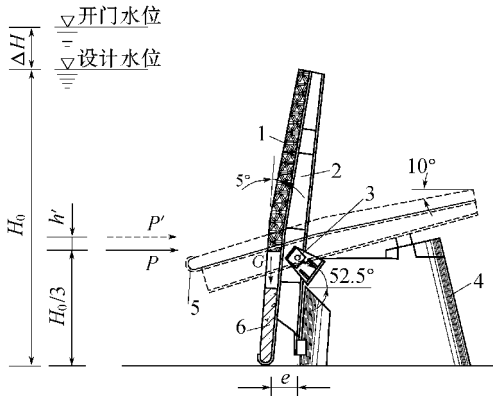
翻板闸门在国内外已有较长的应用历史,但由于早期的门型存在的问题较多,一度未引起工程技术人员的重视.我国的水力自控翻板闸门发展较快,运用较广,形式也较多,从 20 世纪 50 年代末开始,交通运输和水利部门对水力自控闸门进行了广泛的试验研究.到 60 年代中期,使沿用于国内外的古老门型在门体结构、材料应用以及闸门的工作原理等方面有所突破.70 年代初期,我国开始陆续涌现出一批新型的水力自控翻板闸门,这些闸门在结构形式和调节性能以及运行方式上都有了较大发展.20 世纪 80 年代初出现了连杆滚轮式水力自控翻板闸门,在解决闸门运行稳定性这一难题上取得了进一步的发展,而连杆滑块式水力自控翻板闸门的出现

使翻板闸门的结构形式和调节性能以及运行方式更加完善.

1 非连续铰式翻板闸门^[1]

1.1 单铰翻板闸门

20 世纪 60 年代初,单支铰(铰在门高的 1/3 处)翻板闸门逐渐建成使用(图 1).运行实践表明,这种闸门存在如下几个问题:①开启闸门所需的水位较高,即开门前上游水位产生较大的壅高值 ΔH ;②关门不及时,水位控制不准确,一般须等上游水位下降到设计挡水深度的 40% ~ 60% 时,闸门才能自动关闭,因此调节性能较差;③闸门在开门倾倒时,瞬时下泄流量形成“溃坝式”波浪,对下游消能防冲颇为不利;④闸门突开突关的运行方式,会产生很大的冲击力,门体和支墩都很容易被撞坏.



1. 木质面板 2. 钢梁 3. 支铰 4. 支墩 5. 配重块 6. 钢筋混凝土面板

图 1 单铰式翻板闸门

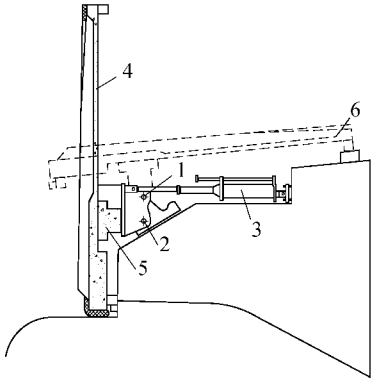
为了改善闸门的运行条件,设计者采用了各种

作者简介 侯石华(1974—),女,广东肇庆人,硕士研究生,从事水工结构研究.

措施,例如在闸门底部加上一定配重,或门体下部采用密度较大的材料以便闸门能较及时地关闭,或将支墩后部适当垫高,使闸门开启后不至于倒平,有利于增加关门力矩。但是这些措施并不能从根本上解决问题,只有从结构和构造上进行改造,创造新的门型,才可能从根本上改变闸门的运行条件。

1.2 双铰轴加油压减震器式翻板闸门

双铰轴加油压减震器式翻板闸门(图2),一方面采用较矮的支墩,并在支墩上设高低铰位,即在每一个门铰上设置上、下两个轴,因此闸门的开关过程就有一个变换支承轴的过程,使闸门的开关过程分两步进行,这对减小闸门启闭时的撞击和开关不及时等问题有了一定的改善。另一方面在门体与支墩之间装设油压减震器,减缓启闭的速度,消耗了门叶旋转过程中的大部分动能,较好地解决了翻板门在回关时猛烈撞击门坎致使门体和门坎遭到破坏的问题。



1.上轴 2.下轴 3.油压减震器；
4.带肋面板 5.主梁 6.闸门全开位置

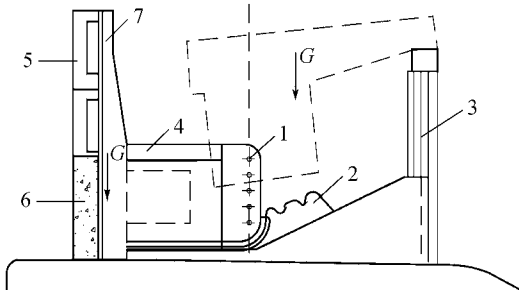
图2 双铰轴加油压减震器翻板闸门

双铰轴加油压减震器式翻板闸门虽然初步改善了开关水位和撞击问题,但仍存在以下几个缺点:①闸门的回关水位仍然较低,不能及时挡水,水头损失较大;②每扇闸门需要用两个油压减震器,这种装置结构复杂,要求的机械加工精度高,不易制作,成本也高,维修也很麻烦;③闸门在全开泄洪,处于淹没出流时,在上下游的某一水位差范围内,会出现门叶反复拍击支墩、拍坏门体的现象(即所谓的“拍打”);④漂浮物容易卡铰。但此门型的设计把闸门的启闭过程分成两步进行的实践经验,为以后的多铰轴翻板闸门的应用奠定了基础。

1.3 多铰轴翻板闸门

为了进一步改善闸门的调节性能,减小开门前上游水位的壅高和关门前上游水位的降落,保证闸门安全运行,有人在双铰翻板闸门的基础上,对闸门的构造作了进一步的改造,设计出多铰轴翻板闸门(图3),它具有多个铰轴位和开度,提高了闸门的调节精度,使闸门能随水位的涨落而逐渐启闭,既能调

节过闸流量,又能避免闸门突开、突关所引起的震动或撞击。



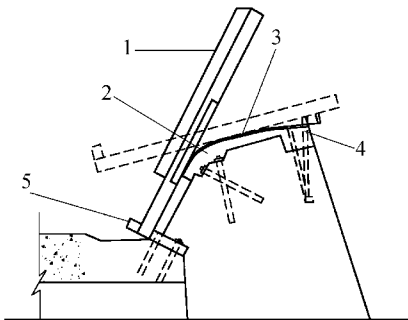
1.铰轴 2.轴槽座 3.支墩立柱 4.支腿 5.上部钢筋
混凝土空心面板 6.下部钢筋混凝土实心面板 7.纵梁

图3 多铰轴翻板闸门

多铰翻板闸门的构造特点是在门体后加一框架式支腿,支腿后设有铰座,铰座上设置有倾斜的轴槽座,轴槽座上又具有与铰轴相应的轴槽。闸门的工作原理同样是力矩平衡,但是闸门的启闭过程为一逐次翻倒或逐次关闭,并逐次支承于不同的铰位的过程。这种闸门的优点是:渐开渐关,提高了关门水位,水位控制比较准确,取消了油压减震器,门铰容易加工等。但闸门的缺点也同时存在:处在高水位下的某些水位差时,闸门的稳定性较差,严重时会出现“拍打”损坏门体。此外,在简化设计、方便运行等方面也需改进。

2 曲线铰式翻板闸门

多铰闸门与单铰闸门相比,其调节性能较好,能较灵敏地以多种开度来适应上游来水量或水位的变化,而且使闸门基本实现逐渐开启和逐渐关闭。但是多铰闸门的支腿及铰轴、轴槽的结构仍相当复杂,铰轴的防污问题及调节的精度有待于解决和提高。将多铰改造成由无数铰组成的“连续铰”,用一完整的曲线形铰代替多铰的作用,并取消门叶后的支腿,这就设计出曲线铰式翻板闸门(图4)。曲线铰由铰板和曲线支座组成,铰板设置在门叶后,曲线形支座设置在支墩上,相当于多铰的轴槽。



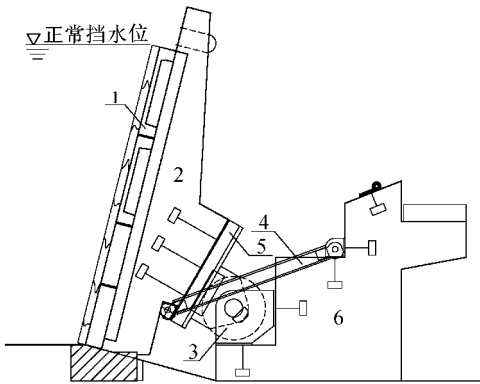
1.闸门门体 2.圆弧曲线反座 3.链带支座面；
4.可调螺栓 5.平衡配重

图4 圆弧支座水力自控平面旋转闸门

从曲线铰式翻板闸门的运行实践来看,在下游水位较低、保证自由出流的条件下运用是比较成功的,特别是其门叶及支铰的构造相当简单,造价低廉,因此曾一度受到工程技术人员和群众的欢迎。但由于其随遇平衡的工作特点,使闸门抵御外来干扰的能力降低,如波浪、动水压力、下游水流的紊动等都可能使闸门改变开度位置,从而使闸门产生来回摆动,也有“拍打”现象,严重时会使闸门及闸底坎遭受破坏,这在淹没出流情况下尤为严重。

3 连杆滚轮式水力自控翻板闸门

在 20 世纪 80 年代初,连杆滚轮式水力自控翻板闸门问世(图 5)。这种闸门在启闭过程中,门叶完全由连杆和滚轮支承,连杆和滚轮设计得当时,门叶的瞬时转动中心(以下简称瞬心)能随门叶向开启方向转动向门顶方向移动(开门),也能随门叶向关闭方向转动向门底方向移动(关门)。当上游水位升高,水压合力增大且重力与水压合力作用线高于瞬心时,产生转动力矩使门叶向开启方向转动,随着瞬心上移使水压转动力矩减少,对于某一水位,当门叶转动到某一特定位置,使门叶转动的摩阻力矩与相应位置的转动力矩平衡时,门叶将稳定于此特定位置或开度。同样,在关闭过程中,由于上游水位下降,重力与水压合力作用线低于瞬心,形成使门叶向关闭方向转动的转动力矩,当门叶转动到某一特定位置,门叶转动的摩阻力矩与相应位置的转动力矩平衡时,门叶将稳定于此特定位置或开度。由于实际工程的水位涨落都经历一定的时程,因而门叶的开度能平稳地随着水位的变化而变化。因此该闸门除了具备多支铰闸门水位控制准确的优点外,在解决闸门运行稳定性这一难题上取得了较大进展,得到了较快的推广使用。



1. 面板 2. 支腿 3. 滚轮 4. 连杆 5. 导轨 6. 支墩

图 5 连杆滚轮式水力自控翻板闸门

多年来的经验证明,这种闸门在各类水利工程中的应用是成功的,发挥了很好的效益。如广东怀集

县大浪坪电站安装了连杆滚轮式翻板闸门,投资 123 万元,现运行正常,增加调节库容 180 万 m^3 ,减少淹没征地 4 hm^2 ,年增加效益 80 万元^[2]。

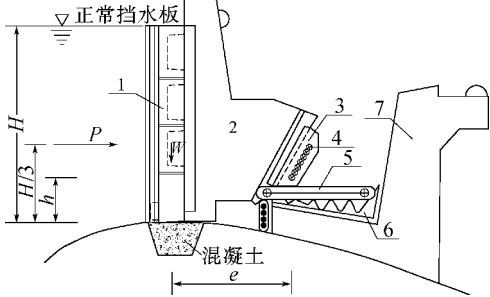
连杆滚轮式翻板闸门利用连杆的阻尼作用,使闸门的稳定性有了很大的改善,这种闸门的连杆和滚轮设计得当时,基本不会发生“拍打”现象,但仍有可能在某些不利的水位组合下产生“拍打”。有实验表明,下游水压力的交变作用是形成“拍打”的主要因素。因此,设计时应尽量避免出现下游水压力有交变作用的流态,即在翻板闸门运行的全过程不出现“临界开度”。所谓“临界开度”,就是下游水位通过闸门瞬时转动中心时的闸门开度。可以根据具体工程的具体情况合理设计滚轮的直径、连杆的长度和位置以及其它几何尺寸等调整“临界开度”的位置。

4 连杆滑块式水力自控翻板闸门

更新型的水力自控翻板闸门——连杆滑块式翻板闸门^[3],与连杆滚轮式翻板闸门相比,这种闸门在理论上取得了突破性进展,解决了闸门稳定性差、震动严重这一久攻不克的难题,经模型试验和多处工程实例证明,具有在较为复杂的水力条件下安全运行的能力,能广泛运用于水利水电、水运、城市环保等领域。

4.1 闸门工作原理

设每扇门的闸板支腿、导轨等重量为 W ,其重心至铰轴中心距为 e ,如不计摩阻力时,则抵抗力矩 $M_w = We$ 。当上游水位继续升高,水深为 H ,水压力 $P = 0.5\gamma H^2$,力臂为 $e_2 = H/3 - h$ (h 为铰轴中心至门底坎的距离)。当上游水位继续升高,并且超过闸门顶一定高度时, P 力增大,作用点随之升高,当倾翻力矩 $M_{倾} = Pe_2 > We$ 时,闸门倾斜,水位越高, $M_{倾}$ 越大,则闸门倾斜角度越大,相应闸门泄洪能力也越大;当水位下降, $M_{倾} < M_w$ 时,闸门自动回关(见图 6)。



1. 面板 2. 支腿 3. 滑块 4. 铰轴 5. 连杆 6. 铰座 7. 支墩

图 6 连杆滑块式水力自控翻板闸门

4.2 闸门运行特点

随着上游水位的变化,连杆滑块式翻板闸门的开启(倾斜)角度也在不断地变化,(下转第 17 页)

参考文献：

[1] 姜炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.75~94.
[2] 高宏兴.软土地基加固[M].上海:上海科学技术出版社,1990.70~74.
[3] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京:中国水利水电出版社,1996.199~213.

[4] 胡中辑,邵伯敏,林冬青,等.最优控制原理及应用[M].杭州:浙江大学出版社,1988.100~102.
[5] 赵维炳,施建勇.软土固结与流变[M].南京:河海大学出版社,1996.178~179.
[6] 龚晓南.反分析确定固结过程中土的力学参数[J].浙江大学学报,1989(6):841~848.

(收稿日期 2003-07-09 编辑:马敏峰)

(上接第7页)

上游水位越高,闸门的开启角度越大,下泄流量也越大;当上游水位逐渐降低,闸门的开启角度也随之变小.在整个运动过程中,随着上游水位的变化,闸门始终维持着某种平衡状态,而且这种平衡状态的变化,总是不停地进行着.因此,连杆滑块式水力自控翻板闸门克服了因气囊振荡引起闸门震动这一难题,大大提高了闸门的使用寿命和运行可靠性.

近年来对连杆滑块式水力自控翻板闸门的广泛应用表明,连杆滑块式水力自控翻板闸门在水利水电工程,特别是在低水头电站上应用,具有很好的社会效益.四川达州市松石洞电站原坝高2m,水头6.3m,1997年底建成了翻板闸门,闸门高1.5m,水头7.8m,2000年的发电量就增加了30%.同时连杆滑块式翻板闸门具有在较为复杂的水力条件下安全稳定运行的性能,因此,值得推广使用.

5 运用翻板闸门应注意的几个问题

水力自控翻板闸门由于其特有的优点,在中小型水利工程中越来越受到欢迎.例如,作为小型水库除险加固,将翻板闸门装设在水库溢洪道上,达到加大泄洪与控制运用,在灌溉、发电、水运、城市环保等工程中也起到了较好的作用.但在推广应用翻板闸门时,需要注意以下几个问题:

- a. 根据以往的经验与实地观察,翻板闸门的“宽高比”控制在2~3.5之间较为理想,这样有利于闸门运行的稳定性.若门高定得太高,全开水位也因此太高,不但会淹没农田,还会影响泄洪;若门高定得太低,又会无谓地损失水量及水头.
- b. 设计闸门时,启动水位最好高于门顶,若启动水位低于门顶,门前将会积存来自上游的漂浮物等,启动后大部分水流挟带漂浮物从门底经过,容易堵塞大轮影响运行.为了防止漂浮物堵塞,也可以在铰座四周加设拦污栅.
- c. 翻板闸门的“全开水位”最好控制在门顶水深 $\Delta H=(0.18\sim0.2)H$ (H 为门高),以免影响闸门的稳定与泄流.

d. 翻板闸门是借助水力和重力作用,在一定的水位条件下自动启闭的,它不能“随意”控制泄量和开度,倘若要提前排放泄量,必须用专门机具由人工操作拉开闸门.

e. 在浇制翻板闸门时,要严格控制其重量、尺寸,因翻板闸门活动部分的重心位置和重量直接影响着关门力矩,所以在浇制各门体构件(如闸门面板、支腿等)时,除控制设计尺寸外,还需要严格控制其材料密度,浇入模内的砂石等均应按计算规定配料.

f. 不要把翻板闸门建设在河流的弯道处,以免翻板闸门因水流侧流的影响而失稳,从而影响闸门的安全运行.

g. 要使河床中部的翻板闸门先开、后关,由三扇门以上组成的闸坝工程,为了避免冲刷河岸,应采取必要的措施以保证中间的门先开而后关.在设计中可以有意使位于中间部分的闸门门顶比两边的门顶低约2cm.为防止因施工、制造的误差,使得两边门顶低于中部门的门顶,或因门的重心的差异等原因致使靠两岸的门先开而后关,造成冲刷河岸时,应对下游消能问题有足够的重视和可靠的措施.

参考文献：

[1] 李宗健,江仪贞,王长德,等.水力自动闸门[M].北京:水利电力出版社,1987.30~85.
[2] 植成杰.新型连杆滚轮水力自控翻板闸门的推广应用[J].广东水利水电,2001(2):34.
[3] 马思伟.新型水力自控翻板闸门及其应用[J].四川水利,2001(5):26~27.

(收稿日期 2003-08-29 编辑:马敏峰)

