

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.03.004

河道新型拦水闸技术特点及应用进展

王 湛, 刘旭冉, 闫永生, 耿晔晗, 李凯旋

(中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

摘 要: 随着我国水利工程建设的新发展, 城乡水生态环境建设与河道拦水构筑物的结合日趋紧密, 河道拦水构筑物在满足河道水利工程防洪、供水灌溉功能的同时, 需要着重提高城乡规划的景观效应。传统拦水构筑物橡胶坝在行洪安全、景观效果上已经逐渐无法满足新时代的要求。为适应新形势下河道拦水构筑物的设计要求, 通过调查分析和对比, 归纳总结了5种新型拦水闸的技术特点以及应用情况, 为河道水利工程拦水构筑物的选型与应用提供参考。

关键词: 生态环境建设; 拦水闸; 应用

中图分类号: TV66

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2021)03-0024-07

Technical Characteristics and Application Progress of New Low-head Water Retaining Structures in Riverway

WANG Zhan, LIU Xuran, YAN Yongsheng, GENG Yehan, LI Kaixuan

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: With the new development of water conservancy engineering construction in China, the integration of urban and rural water ecological environment construction and river water blocking structures has become increasing. River water blocking structures need to focus on improving the landscape effect of urban and rural planning while meeting the flood control and water supply and irrigation functions of river water conservancy projects. Traditional water-blocking structures, such as rubber dams, have gradually failed to meet the requirements of the new era in terms of flood discharge safety and landscape effects. In order to adapt to the design requirements of river water blocking structures under the new situation, through investigation, analysis and comparison, the technical characteristics and application of 5 new types of water blocking sluices are summarized, which could provide references for the selection and application of water blocking structures in river water conservancy projects.

Keywords: water ecological environment construction; low-head water retaining structures; application

随着我国经济及社会的持续发展, 城市人口和工业迅速增长, 城乡用水状况也发生了根本性的变化, 各行业与水利的关系日趋密切, 城乡生态环境建设有机结合拦水闸坝, 能够在实现传统水利工程防洪、供水灌溉功能的同时, 提高城乡规划的景观效益, 体现人水和谐的当代生态治水理念。城乡地区河道拦水工程具有以下特点:

(1) 对城市河道形成景观效应, 改善城乡河道水系生态环境。

(2) 由于建设区河道坡降比低, 因此挡水水头一般不超过6 m, 在工程等级上划分为低水头拦水坝。

(3) 河道两岸需要设置河堤, 闸坝建成后需要能够自由启闭保证行洪安全, 同时不影响原河道设计的其他功能, 如在通航河道不影响通航功能^[1]。

随着水利技术的发展, 传统河道拦水构筑物橡胶坝的缺点也暴露无遗, 坝袋易老化破坏, 升降操作时间过长, 且坝内气体不能完全放尽, 会造成高低不

同的壅水高度,且过水水深有严格限制,影响行洪流量,无法满足快速截流和泄洪的要求^[2]。针对这些缺陷,国内外涌现出一批新型的低水头拦水闸坝,逐渐替代了传统形式的低水头拦水闸坝。本文主要阐述钢坝闸、翻板闸、气盾闸、液压支撑闸、合页闸五种新型拦水闸的技术特点及应用进展^[3]。

1 各种拦水闸的技术特点

1.1 钢坝闸

钢坝闸学术名称为底轴驱动翻转闸门(见图1),底轴两端穿过边墙向外延展与闸板两侧液压启闭系统相连接,由液压启闭系统提供动力,驱动拐臂形成扭矩,使闸板以底轴为轴心转动实现闸门启闭的闸型。位于启闭机房的液压锁定设备决定了闸门的开启角度,闸门的开度范围一般为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的任意角度,可以实现任意高度挡水。整体工程由闸底板等混凝土工程、钢闸板、液压启闭系统等组成。由于闸门底轴需要与外墙内的液压启闭系统相连,同时底轴两侧由于扭矩问题需要设置中墩类的启闭机房,导致该类闸门土建工程量较大。坝面采用单跨连体结构,无其他支撑机构,可以在任意角度内停留,实现任意角度挡水。但由于连体结构影响,闸板需要同升同降,无法灵活交替操作闸门启闭实现良好的冲砂排淤效果^[4]。视上下游水利条件不同,闸门运行速度可达到 $1 \text{ m/min} \sim 2 \text{ m/min}$,升坝降坝速度快,当闸门全部关闭处于垂直 90° 角时可实现溢流达到河道景观效果。由于钢坝闸为刚性结构,且底转轴与门体为一整体,抗基础变形能力差。受启闭系统及地基要求影响,单跨闸门不易过长,否则驱动底轴尺寸太大,安全风险及经济成本过高。一般单跨控制在 40 m 以内,河道较宽时需要设置中墩及检修廊道,工程量巨大,且由于中墩闸室难以实现完全密封,导致行洪期容易漏水进而造成闸室存水腐蚀启闭机^[5]。

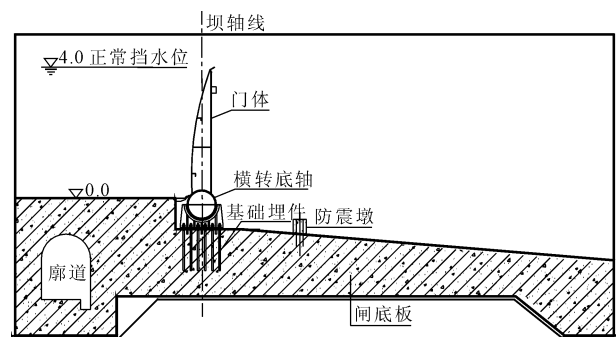


图1 钢坝闸示意图

1.2 翻板闸

传统的翻板闸又名水力自动翻板闸(见图2),该闸门借助上下游水位的变化,通过两侧水压力以及自身重力的双重作用,借助力矩平衡原理,在压力平衡的情况下实现闸门启闭的闸型。当河道上游水位高于闸门一定高度($5 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$)时,闸门自动开启;当河道水位降低,闸门逐渐关闭,开始蓄水。该类闸门升降速度靠水位差调节。由于该类闸门的启闭完全依靠上下游水位等自然因素,这也就导致该闸门容易被河道中的漂浮物卡阻,也会导致上游泥沙淤积,造成在汛期不能正常翻板从而影响防洪安全。当洪水过后,翻板门往往被异物卡住,导致无法行使正常蓄水工作。

液压控制翻板闸是在水力自动翻板闸门技术基础上,部分利用其原有结构而优化出的升级产品,在一定程度上解决了传统水力自动翻板闸无法根据实际需要控制闸门开启角度,导致在运行期间容易卡阻所带来的行洪安全问题及蓄水功能缺失问题,以及闸板在自动启闭过程中的强烈拍击及受到水流中杂物撞击时容易损坏的问题。液压控制翻板闸按其启闭方式分为中轴式翻板闸、前倾式翻板闸与后仰式翻板闸。中轴式翻板闸结构形式与传统水利自动翻板闸类似,但驱动力的来源由上下游水位差形成的驱动力更改为液压外力驱动。液压控制翻板闸亦需要建立支墩构筑物,且每一扇闸门均需要两侧设置两个支撑墩,闸门开启时闸体平行于闸底板,闸门上下同时形成过水状态,闸体金属结构将受到过水带来的复杂水力影响,这会对闸门本体金属结构造成一定的冲击,减低使用寿命的同时对河道泄洪量及河道景观效果会有一定程度影响^[6]。

后仰式翻板闸在开启时利用液压启闭系统驱动闸门门体绕底轴向上游前倾直至完全倒伏于河道底面,由于开启时闸门完全与底板贴合,因此河道景观效果不受影响,单闸门开启时能够形成高速水压,冲淤效果较为明显,但由于闸门顶部处于河道上游,闸门前容易堆积杂物,容易造成卡阻而影响泄洪。后仰式翻板闸开启时,闸体向下游方向后仰至平行于闸底板,由于其闸背板侧在行洪期间受到闸前侧保护,因此其不存在闸前的泥沙淤积问题,不会导致由于淤积造成的闸门关闭问题。传统翻板闸的升级替代产品虽然改善了原有水力自动翻板闸卡阻的问题,但仍然需要在闸门两侧设置墩座,影响整体工程美观的同时严重影响了河道的行洪过流量^[7]。

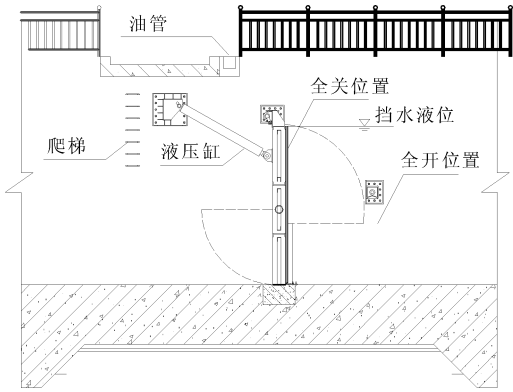


图 2 翻板闸示意图

1.3 气盾闸

气盾闸全名气动盾形闸(见图 3),系统由混凝土底板、金属挡板、后置升降气囊、及充气系统组成。上游挡水面是一排由柔性橡胶连接为一体的金属钢板,气囊支撑在钢板下游,通过对气囊充气或排气来实现闸门启闭,进而实现蓄水泄洪。整体闸门通过柔性橡胶连接组合而成,不需设立中间墩墩。气盾坝单块闸板之间、闸板与基础间均为软连接,柔性连接也就决定了其相对于钢坝闸在运行中受基础变形影响较小,有一定承受底板沉陷的能力。每个闸板单元都由挡水板和充胀气囊支撑组成^[6],通过对充气压力的调节,调整挡水盾板的支撑角度,控制所需的挡水高度,调至最高支撑角度的充气时间一般为 30 min ~ 60 min,充气时间受制于风机功率大小。充气完成后,还需进行 2 h 以上的坝体调平。由于闸体之间采用组合式柔性连接结构,且每个气囊中的内部压力不同,再加上闸前每一个闸板的水压也不禁想到,最终导致每个闸板的开启角度略有差异,造成闸顶溢流不均匀,严重影响景观效果。在汛期可通过手动紧急开启排气阀,排放气囊中的空气实现安全泄洪,但排气时间相对较慢。由于气囊内的介质为空气,即使泄露也不会对河道造成污染,使用起来环保安全性较高^[1,8]。

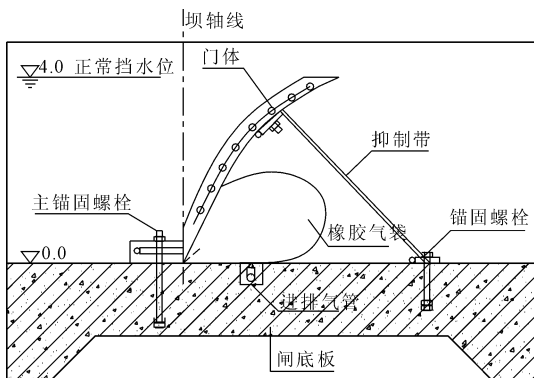


图 3 气动盾形闸示意图

1.4 液压闸

液压闸也称液压缸支撑闸(见图 4),是一种底轴铰接闸底板、液压缸启闭,支撑杆支撑,由多扇门体组成的无中墩的整体拦水闸。每一道闸板下游设置两根液压缸杆,通过液压泵站驱动液压杆伸缩以底部为轴轴心旋转实现启闭^[9]。液压闸系统由闸板、预埋件、支撑杆、液压缸、液压杆、油管路和液压泵站组成,整个工程由多扇闸板串联组成。闸门底轴通过底铰支座与闸底板连接,闸板背水面除设置两根启闭作用的液压缸之外,还额外需要安装两根支撑杆。由于每一个闸板均为一个独立的运行单元^[10],因此可通过调节每一扇闸门的启闭状态实现河道泄流方式的多种组合,通过两侧立闸,中间倒伏状态可以实现高速水流,进而对闸板上游的泥沙及杂物进行冲刷,达到河道排淤排漂的作用。单扇门体的升降工作角度约为 70°,视上下游水利条件不同,单扇闸门体升降时间为 1 m/min ~ 2 m/min。闸后支撑杆过多,影响美观的同时容易被漂浮物连挂,需要人工清理。并且存在解锁缸失灵、支撑杆卡阻所带来的隐患,尤其是在泄洪期电力供应不足的情况下,支撑杆无法解锁,闸门无法开启而导致行洪安全风险。由于力矩问题,液压缸往往为多级缸,当闸板倒伏状态时,液压缸需要收缩到闸室底板坑槽内,而坑槽的保护盖无法达到完全密封,在长时间的水淹作用下,坑槽内会形成积水与淤积,会影响液压缸的正常伸缩,进而对闸体的升降造成影响。到了冬天天气寒冷,液压缸槽内的存水还会结冰,同样会干扰液压缸的正常工作,需要人工进行清理,影响使用的同时亦会增加运行管理成本^[11]。

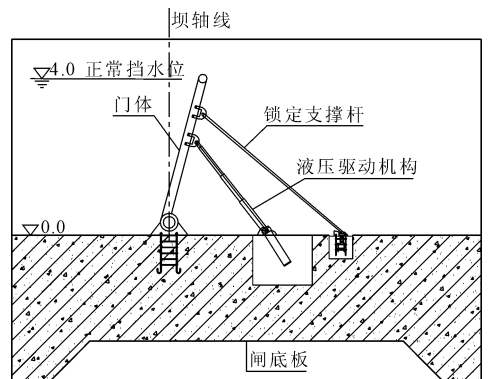


图 4 液压升降闸示意图

覆盖面板式液压闸为液压闸的改型技术,该类闸门在液压杆的上部增加覆盖背板,将液压缸、支撑杆全部置于覆盖背板的保护下。每扇闸门的启闭装置由位于闸板背面的两只折叠式液压缸组成,除此

之外也需要设置两个具备解锁功能的小液压缸,当闸门关闭时,起支撑工程的两个折叠液压缸打开,当达到立闸角度时,液压缸实现限位锁定支撑。当需要开启闸门时,两个小解锁液压缸将已锁定的支撑液压缸进行解锁,限位打开,液压缸折叠,闸板倒伏实现开启。覆盖面板式液压闸解决了传统液压闸支撑杆繁多对景观带来的影响,同时避免河道漂浮物对支撑杆造成的悬挂现象。液压杆采用折叠式液压杆,避免了底部存放液压缸所需要的坑槽设计。但由于在降坝时需要利用两只小的解锁液压缸对液压杆进行解锁,依然存在解锁失灵的情况,在泄洪期同样存在着行洪安全隐患^[12]。

1.5 合页闸

合页闸也叫整体式合页活动闸(见图5),与液压闸不同的是其利用液压三铰点变幅机构原理,将液压缸、液压杆、闸体、底轴铰支座连接成为一个整体,由于闸体底轴、液压缸与底轴铰支座的定位连接孔出厂前已精确定位,因此此种闸型在保证安装快捷的同时也保证了安装的精确定位。

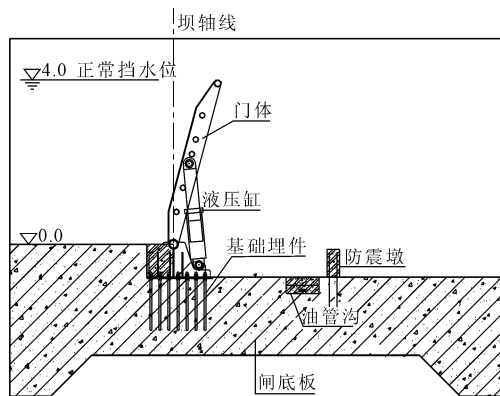


图5 合页闸示意图

合页闸系统由闸体、液压杆、液压缸、油路系统、液压泵站组成,闸体背水面不设支撑杆结构,仅设两只伸缩液压杆,通过液压缸推动液压杆绕底轴一定角度伸缩旋转实现闸体启闭,由于除底轴铰支座外与闸室底板无任何其他连接,因此非常适合各类低水头拦水闸的改造项目,节省土建工作量。单扇门体的升降工作角度约为 75° ,视上下游水利条件不同,单扇闸门体升降时间 $1\text{ m/min} \sim 2\text{ m/min}$,为与液压闸类似,整个工程由多扇闸板串联组成,单扇合页闸为独立安装单元,通过操作该独立单元的液压系统,能够自由调整闸门的高度及开启数量,实现对河道中泥沙及漂浮物的灵活冲洗,尤其在山区地形河道比降较大时效果将更为明显^[13]。且由于液压杆

与闸门板为贴合暗藏式支撑,不存在河道中漂浮物的悬挂现象。不存在任何解锁性支撑杆也就避免了液压闸泄洪期解锁失灵导致的行洪安全隐患^[14-15]。

通过上文各种闸型技术特点的阐述及分析总结,从结构形式、操作形式、闸门升降速度、排淤排漂能力、挡水功能、泄洪功能、景观效果、施工特点几个方面归纳出新型低水头拦水闸的技术特点总结见表1。

2 技术应用进展

钢坝闸在我国自2007年应用于实际工程。目前,国内已存在数百座此类工程,如宣城市水阳江生态蓄水试点工程、江西赣州寻乌县河道治理工程、云南临沧勐董河生态蓄水工程、鸡冠山渠首枢纽工程、北京黑河沟水环境治理工程、德保县城区防洪治涝工程等^[16-17]。鸡冠山渠首枢纽工程全闸方案采用3孔 $\times 30\text{ m}$ 钢坝闸,两个中墩 $2.0\text{ m} \times 6.3\text{ m}$,钢坝闸的单扇闸门底轴净宽为 30 m ,作用在闸室底板上,为了对闸室的不均匀沉降及位移所导致的钢坝闸的底轴变形问题能够提前预警,对闸室段6道分封处安装了12台位移传感器,对闸底板的横向纵向位移进行了安全监测。在运行中的横向位移为 1.5 cm ,纵向位移为 2.3 cm ,由于位移量较小未对钢坝闸运行带来影响,长久运行所带来的位移变化印象还未可知^[18]。镇江市丹阳开发区环境生态治理工程将钢坝闸应用于丘陵区城市河道,丘陵地区地势变化大,暴雨强度大,对泄洪速度有较高要求,河道共建有3座蓄水闸,形成分级控水功能^[19]。

气动盾形闸门最初由美国Obermeyer Hydro公司进行研发,是将橡胶坝与钢坝闸之所长相结合经创新之后的新型水工建筑物。气盾闸在国际上已经应用了多年,如美国的Toston河道蓄水灌溉项目,该项目采用了7跨高度 3.5 m ,长度 15 m 的气盾坝,自2014年运行以来,运行状态良好,没有发生过气囊破损现象,乌干达Achwa HPP2项目,同样为蓄水灌溉项目,采用2跨 33 m 长,高度 3 m 的气盾闸,截止到现在,已运行两年,但由于河道中泥沙含量比较大,且气盾闸排淤效果较差,导致河道淤积现象比较严重^[20],英国Leeds皇冠镇蓄水灌溉项目,采用两跨 30 m 长, 2 m 高的气盾闸,秘鲁Quiroz HPP项目同样为蓄水灌溉兼具泄洪功能,该项目为当地试点工程,建成于2001年,同样由于河道泥沙漂浮物角度,淤积现象严重,后期维护成本较大,导致秘鲁建成这个项目后没有后续应用^[21]。我国北京某国有企业自2005年伊始与美国Obermeyer Hydro公司

表 1 各种新型低水头拦水闸技术特点汇总表

闸型	钢坝闸	翻板闸	气盾闸	液压升降坝	合页闸
结构形式	全钢材质,整体式结构,闸体背部无支撑	混凝土或钢结构材质,多扇组合式,中轴或底轴旋转	坝袋及挡水钢板组合,多扇柔性连接式整体结构	混凝土或钢结构材质,多扇组合式结构,闸体背部油缸大角度支撑闸体	全钢材质,多扇组合式结构,闸体与油缸在一个底铰支座上,背部油缸小角度支撑闸体
操作形式	靠底轴扭矩对闸体进行整体启闭	水力或液压使闸门绕水平轴启闭,实现单扇或多扇闸门启闭	通过对闸体背部多个坝袋内充气或充气,实现挡水钢板的整体启闭	通过液压驱动系统使液压杆伸缩,实现闸体单扇或多扇启闭,闸门关闭时需要支撑杆锁定	通过液压驱动系统使液压缸、闸体产生三铰点变幅运动,实现闸体单扇或多扇启闭
单扇闸门升降速度(与液压站功率正相关)	1~2 m/min	水力自动驱动时视上下游水力平衡条件,液压驱动时 1~2 m/min	30~60 min,视调平情况延长 1~2 h	1~2 m/min,解锁锁定耗时长,易失效影响升降速度	1~2 m/min
排淤排漂	整体式结构,排淤冲沙效果不好,不灵活	水力自动翻板闸易卡阻形成淤积,后倾式液压翻板闸排淤效果较好	整体式结构,排淤冲沙效果不好,不灵活	可单扇自由调节,多种组合方式排淤排漂效果好,但漂浮物易悬挂于液压杆或支撑杆	可单扇自由调节,多种组合方式排淤排漂效果好
挡水功能	可任意高度挡水	水力自动翻板闸及中轴式液压翻板闸无法实现任意高度挡水,卧式底轴翻板闸可以实现	由于气袋及上游水力压力不均匀,无法实现任意高度挡水且各闸板单元调平困难	支撑杆仅设最高水位支撑锁定,无法实现任意高度挡水	可任意高度挡水
泄洪能力	每 40 m 需要在河道中设置 2 m 净宽的中墩,产生一定阻水影响,无法实现无动力泄洪	单扇闸间需要设置中墩,阻水影响明显,可以实现无动力泄洪但容易受到漂浮物卡阻	无中墩,无动力降坝需要排水或排气,降坝速度慢	无中墩,降坝需要解锁支撑杆,无法实现无动力泄洪	无中墩,无动力泄洪速度快
景观效果	背部无支撑结构,景观效果好	中墩多,水上机械设备多,影响景观效果	景观效果较好	形成溢流时溢流落在液压杆区域,景观效果一般	液压缸及液压杆贴服坝面,景观效果较好
施工特点	需中墩、启闭室等,土建工程量大	中墩较多,土建工程量大	无中墩,只有锚固和限位部分预埋,土建工程量较少	无中墩,有预埋、基坑,且易堵塞,两套油路布置复杂,土建工作复杂繁琐	无中墩,仅有预埋,土建工程量小,一套油路,施工简单
设备造价/(元·m ⁻²)	30000~40000	10000~20000	20000~30000	10000~20000	15000~25000

合作开始开拓气盾闸在中国市场的应用,并于 2007 年在北京安装了一座样板工程,该工程的设计以及产品生产均需要进口,价格昂贵,未能在国内推广应用。自 2017 年以来,江苏、山东、辽宁等地通过自主研发,对于气囊等部分构件实现了国产化,提高了该产品的性价比,增加其市场应用性,如北京凤河、清河气动盾形闸工程、大连老龙头气盾闸工程、贵州德江玉龙湖气动闸项目等,同时也将国产气盾闸向我国周边国家如泰国、越南地区进行了推广应用,由于价格较低,占有了一定市场。目前,世界上最高的气动盾形闸门于 2013 年建于贵阳南明河上,该项目是贵州省贵阳市城市水环境整治工程的一部分,工程由 4 座宽 60 m 的气盾闸组成,采用双气袋,每座气盾闸分 6 个单元,每个单元 10 m,气袋长 10 m,闸门采用不锈钢材质,每扇闸门由 4 片 2.5

m 的单元门组成,单元门上下两截焊接在一起。最长跨度的气动盾形闸门于 2015 年建于山东淄博,跨度长达 100 m,高 3 m^[22-24]。但需要注意的是,我国生产的气盾闸采用的气囊材料成分由于受到国际专利影响,因此与美国生产的并不一致,有些橡胶坝厂将橡胶坝的坝袋生产工艺照搬到气盾闸上,导致气囊在实际运行中的效果以及使用寿命参差不齐^[25]。

水力自动翻板闸历史较为悠久,自 20 世纪 50 年代末我国就开始对水利自动翻板闸进行了大量的研究。至 20 世纪 60 年代,在翻板闸的工作原理、施工方法、适用环境等方面均取得了大量的突破性进展。位于甘肃临夏回族自治州积石山县的吹麻滩河城区段河道治理工程,由 9 个水力自动翻板闸构成,河道断面宽度 45 m~57 m,全河道 9 座翻板闸按一字型布置,两侧翼墙与河堤相连接^[26]。进入 2000

年后,为解决水利自动翻板闸的一些固有缺陷,加入了液压控制系统,保证翻板闸能够自由调节启闭与开度,使该工程在运行方式上更加趋于完善。重庆璧山县八塘镇蹬子坪堰改造工程旨在将水电站上游的固定溢流堰改造为满足行洪要求的活动性拦水闸。由于水力自控翻板闸在洪水期被树枝等大型漂移物卡住的情况频繁发生,导致闸门无法正常启闭,直接影响行洪时期的安全稳定运行,因此采用人工控制与水力自动控制相结合的水力液压双控翻板闸,工程跨度54 m,分为9扇,高度2.5 m,建成后泄流通畅,解决了固定堰洪水期间雍水严重的问题^[27]。翻板闸的设计及生产要求较为简单,基本所有水工闸门厂均可以自行设计生产,亦没有专利相关限制,因此在设备生产上造价相对较低,当资金预算相对较低时是一种较为适合选择的闸门^[28]。

液压闸发源于安徽池州,通过不断摸索研究并与2006年应用于实际工程的一种闸门类型。截止2018年,国内已建成800余座此类工程,扩张时期年建设量可达百余座,如汾河中下游蓄水工程、齐齐哈尔劳动湖水系治理工程、晋城市沁河河道治理工程、浙江省红浦江千秋桥项目工程、北京丰台弧形液压坝工程。由于其市场潜力大,结构相对简单,因此自池州开发以来,各地纷纷以早期液压闸为雏形,生产设计出了多种液压闸。由于支撑角度大,在水利计算时风险较小,甚至一些非水利专业的生产厂也可以自主设计制造。迄今为止液压闸最高闸高达到5 m,位于湖南炎陵县,建于2009年,坝长为38 m,共7扇。最长的液压闸建于2016年,整体工程长为240 m,坝高为4 m,位于辽宁海城市^[29-32]。由于市场准入条件低,在实际工程应用中也出现了质量参差不齐的现象,如工程普遍在运行1年后发生了液压缸漏油现象,行洪期支撑杆无法解锁导致的行洪安全重大问题均影响了该类产品的进一步推广应用。

合页活动闸相对其他闸型开发较晚,2011年由水利部属单位针对其他闸型的缺陷而自主研发的新型拦水闸,于2012年在山东省龙口市绛水河建成了第一座合页活动坝工程^[33]。目前,该类闸型已在国内外多个地区建成并投入使用,总计约为百余座。如龙口市黄水河侧高拦河闸除险加固工程,大元宝山河道防洪及蓄水工程,吉林敦化牡丹江水利景观拦河坝、松江河 & 头道松花江抚松县城水生态治理及修复工程、安徽省安庆市岳西县天仙河流域综合治理项目等^[34-35],并且此类拦水闸门也是除气盾闸

之外唯一在国外广泛应用的钢构闸型,在孟加拉、泰国、缅甸等国外地区的灌溉领域得到大力推广应用。合页活动闸由于其对闸室段底板要求低,施工安装连接点少的特性,尤为适合原有橡胶坝改造项目。如吉林敦化牡丹江橡胶坝技术改造设备项目、兰西县河口水电站橡胶坝水毁修复工程等。最长的合页活动闸建于2014年,位于缅甸梅泽利,长261 m,该闸的主要功能为蓄水灌溉。最高的合页活动坝建于2017年,位于贵州铜仁,坝高5 m^[36]。在东北寒冷地区,该闸门主要用途为松桃平举电站的水库扩容,改造完毕后实现水库扩容311万m³,同时增加了平举电站的发电量,由于当地为了增加发电量,因此其运行工况复杂,往往运行水位在超过闸高0.5 m的情况下运行,通过2年的汛期检测,其运行稳定。2014年—2016年在吉林省敦化市牡丹江干流建设完成6座,坝高2 m,坝长为56 m~230 m不等,实现梯级调度,配备冬季自动退冰功能,在寒冷地区河道中应用优势明显^[37]。截止到目前,该类闸门由于其三铰点变幅支撑的核心技术,技术设计上准入门槛较高,需要对河道水力及机械结构进行大量计算,因此能生产出该类闸门的厂家极少,且专利保护较好。由于其使用效果避免了很多传统闸门的固有缺陷,因此有些生产厂采用不通过实际计算,直接对现有合页坝项目进行尺寸测绘完全照搬的方式来实现项目应用。这往往导致此类项目无法完全满足河道的蓄水及行洪要求,对后期使用造成影响。

3 结语与展望

随着城市的发展以及经济的增长,城乡河道建设不再局限于单纯的防洪、排涝,而要求改善河道及周边空间环境,创造多样式的活动空间。钢坝闸、翻板闸、气盾闸、液压升降闸、合页活动闸等新型低水头拦水闸由于采用钢结构设计,闸体结构坚固可靠,抗洪水冲击能力强,在生态水利工程中已广泛应用。由于各种闸型在结构形式、操作方式、施工手段、功能运用上存在着不同的技术特点^[1],因此在实际工程的应用上应根据工程自身条件,如工程预算、河道泥沙含量、行洪要求、气候条件等,并结合各种低水头拦水闸坝的技术特点等多方面综合因素进行选型。钢坝闸由于其无任何外露液压缸,因此其在河道中的景观效果较好,适合对景观要求较高并且有充足预算的地区,由于其对地基沉降反应敏感,因此不适用于地质情况不稳定的地区。水力翻板闸的升级技术液压翻板闸综合性能较好,但由于需要设置

多个中墩,对于行洪过流面积要求不高的河道较为适用,同时由于其具有价格低廉的特点,适用于预算不足的地区。气盾闸由于其升闸降闸速度较慢,且不易调平,因此适合于对行洪反应时间要求不高,且不频繁升降闸坝的河道地区,由于其整体闸门同升同降的工作原理,一些泥沙含量较大的河流不适用于此类闸门。液压升降闸由于存在行洪安全隐患,因此仅适用于对景观有要求,但对行洪要求不高的地区。合页闸同液压翻板闸一样综合性能较好,且无中墩设置,既满足行洪要求又具备良好的景观效果,适用于有一定预算并且对排沙排淤能力有要求的河道地区。

目前没有一种型式的闸门是完美无缺的,都存在着各种各样的缺点与不足,且都在不断的完善中。如液压启闭虽然在山区行洪上具备闸门倒伏速度快,及时行洪的特点,但液压缸中的液压油对河道水体有影响因素,因此无污染液压油的替代方案正在进一步完善中。针对一些高水头地区,结构安全可靠的高水头拦水坝也在逐步完善中。除此之外,针对长年双向挡水的区域,其水下机械设备的维修方案也是未来亟待解决的问题。

参考文献:

[1] 刘彦琦,张 梁,王瑞瑶.城市河道治理中景观坝坝型的对比与优选[J].水电站设计,2017,33(3):19-22,45.

[2] 杨绍金,肖建军,钱 圣,等.一种新型复合坝在城市河道中的成功运用[J].水利水电技术,2016,47(5):29-32,37.

[3] 丁清伟.橡胶坝损害原因和防护措施[J].广东水利水电,2010(9):25-26.

[4] 夏萍娟,陈芳清.大型水利水电工程扰动区景观生态恢复与建设的探讨[J].长江流域资源与环境,2013,22(S1):103-107.

[5] 李慧敏.河道拦水建筑物型式的比选[J].河北水利,2019(2):42-43.

[6] 霍香丽,田金钢,王家会.洛河东湖拦河坝工程选型及设计[J].人民黄河,2018,40(1):85-87,91.

[7] 王明才.下卧式闸门水力特性研究[D].南京:河海大学,2006.

[8] 徐君冉,赵海涛,张乐为.简论气盾坝的设计[J].河北水利,2016(8):42-43.

[9] 柴向斌,赵爱莉,赵小军,等.新型低水头拦水闸坝选取原则及注意事项简述[J].山西水利,2019,35(6):40-41.

[10] 谢 芳.水利景观坝的选型与应用探讨[J].水利科

技,2018(2):33-35.

[11] 李夏清.液压翻板闸门在干流蓄水工程中的应用[J].山西水利,2018,34(6):36-37.

[12] 覆盖式支撑液坝坝技术特点和产品优势[J].中国水利,2020(3):66-68.

[13] 张红武,方红卫,钟德钰,等.宁蒙黄河治理对策[J].水利水电技术,2020,51(2):1-25.

[14] 李元奇,蒲继刚,张乔军.合页活动坝在防洪水库中的应用[J].建材与装饰,2018(38):291.

[15] 赵月芬,李凯旋,王 湛,等.钢构拦水坝在城市水生态建设中的应用进程与技术经济比较[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(3):233-240.

[16] 吴松宝.钢坝闸在河道蓄水工程中的应用[J].陕西水利,2019(5):155-156,158.

[17] 徐运海,从 容,张保祥.钢坝技术与应用研究[J].水利科学与寒区工程,2019,2(4):102-105.

[18] 李 昂.寒区钢坝闸安全监测设计研究[J].水利科学与寒区工程,2019,2(2):64-67.

[19] 袁晓渊,司黎晶,冯淑琳,等.钢坝闸在丘陵地区城市景观河道水利工程中的应用[J].内蒙古水利,2019(3):49-50.

[20] Tucker C B, Munksgaard L, Mintline E M, et al. Use of a pneumatic push gate to measure dairy cattle motivation to lie down in a deep-bedded area[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2018,201:S0168159118300029.

[21] Gabriel-Martin I, Sordo-Ward A, Garrote L, et al. Castillo. Influence of initial reservoir level and gate failure in dam safety analysis. Stochastic approach[J]. Journal of Hydrology, 2017,550:669-684.

[22] 侯放鸣,郭云峰,刘雪松.气动盾形闸系统在城市中小河流治理中的应用[J].中国水利,2014(13):66-68.

[23] 范杰利,卢明锋,王 珑.大跨度高挡水气动盾形闸在河流景观工程中的应用[J].中国水利,2017(8):45-47.

[24] 陈 莉,韩伟刚.国产气盾坝在咸阳渭河水生态治理工程中的应用研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(1):136-138,193.

[25] Baumgartner M T, Baumgartner G, Gomes L C. The effects of rapid water level changes on fish assemblages: the case of a spillway gate collapse in a neotropical reservoir[J]. River Research and Applications, 2017,33(4):548-557.

[26] 赵 星.水力自控(液控)翻板闸坝在河道景观工程中的应用[J].农业科技与信息,2020(2):106-109,117.

河道轴线夹角约 20° , 水流纵向难以拉开; 从原设计消能效果来看, 下游河道水垫深度仅约 7 m, 河道底部及两岸边坡面临较严重冲击与淘刷, 而采用常规大夹角挑流消能的有效空间严重不足, 因此通过模型试验来优化挑坎体型, 以解决工程面临和存在的问题十分必要。最终优化的挑坎体型, 适宜了工程的条件, 从下游水流流态、冲刷坑深度、雾化影响范围来看, 均得到了有效控制, 采取较小的工程措施即可有效解决岸坡稳定带来的安全问题。但该异型挑坎体型给工程的实施也带来了一定的难度, 受分层出流高差的影响, 挑坎基础开挖处理较为困难。

总体来说, 囿于特殊的地形条件和窄深河槽条件限制, 采用特殊的异型挑坎是可取的, 其“左挑右俯、分层出流、纵向拉伸”的挑坎体型对同类型的工程有一定借鉴作用。

参考文献:

- [1] 阮祥明, 罗光其. 石埭子水电站泄洪消能工设计研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(1): 201-204.
- [2] 曾永军, 严根华, 侍贤瑞, 等. 高水头溢洪洞水力学及结构动力安全原型观测研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(2): 111-116.
- [3] 张 帝, 刘亚坤, 倪汉根. 高坝二级挑流消能研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(3): 32-33, 69.
- [4] 万 俊, 王 韦, 杨永全, 等. 椭圆弧底板在溪洛渡泄洪洞中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2006, 4(1):

9-11.

- [5] 王 瑞, 聂源宏. 玛尔挡水电站溢洪道挑流鼻坎体型试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(9): 211-215.
- [6] 查双全, 王均星, 朱祖国. 狭窄河道垂直直角泄洪洞水舌落点控制试验研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(3): 92-94.
- [7] 池明阳, 雷声军, 崔 进, 等. 枕头坝电站江沟泄洪洞出口消能防冲设计[J]. 人民长江, 2012, 43(14): 36-39.
- [8] 谭哲武, 王均星. 泄洪洞窄缝燕尾组合挑坎试验研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(4): 40-44.
- [9] 邱 勇, 龚爱民. 斜鼻坎挑流消能在黑石罗水库的应用[J]. 水电能源科学, 2016, 34(3): 101-103.
- [10] 徐 敏. 泄洪洞挑坎对比研究[J]. 四川水力发电, 2017, 36(3): 120-123.
- [11] 奉紫岑, 杨 庆, 程文磊, 等. 弯曲河道上底流消能工布置试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(7): 166-169.
- [12] 明福林, 刘金辉. 跌坎与陡坡后接挑流消能工程布置的水力计算方法探讨[J]. 水利规划与设计, 2011(4): 52-54.
- [13] 肖兴斌. 高坝泄水建筑物泄洪消能的新发展[J]. 东北水利水电, 1995(3): 41-45.
- [14] 谢德瑞. 山仔工程枢纽布置与消能设计[J]. 水利科技, 1997(3): 21-25.
- [15] 杨家修, 张陆陈, 庞博慧, 等. 高土石坝大交角挑流消能水垫塘优化布置[J]. 水利水电科技进展, 2020(5): 9-12.

(上接第 30 页)

- [27] 陈卓英, 倪培桐. 低水头拦河闸重建工程消能工优化布置试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2017, 15(2): 49-54.
- [28] Louise Shaw. Coedty reservoir spillway tilting gate refurbishment, 2011 [J]. Water and Energy International, 2016, 59(5): 74-78.
- [29] 谢良平. 液压升降坝泄流特性试验研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [30] 季昌化, 朱水生, 郑 毅. 中小河流闸坝新选择——液压升降坝[J]. 水利水电快报, 2015, 36(12): 27-29.
- [31] 马贵友, 朱水生, 李 强. 高寒地区大型液压升降坝设计问题探讨[J]. 人民长江, 2016, 47(10): 62-64.
- [32] 何奇宝, 周演腾, 吴国芳. 新型分体式液压升降坝在

河道挡水中的应用[J]. 浙江水利科技, 2016, 44(4): 71-73.

- [33] 曲遵民. 合页坝在绛水河城区段工程治理中的应用[J]. 山东水利, 2016(5): 40, 42.
- [34] 杜 伟, 刘衍堂, 陆 平. 合页坝在济宁市引水入城泵站中的应用[J]. 山东水利, 2016(10): 29-30.
- [35] 陈文熙, 齐 奇, 郭瑞鹏. 合页活动坝技术在蓄水工程设计中的应用[J]. 东北水利水电, 2015, 33(5): 13-14.
- [36] 李元奇, 蒲继刚, 张乔军. 合页活动坝在防洪水库中的应用[J]. 建材与装饰, 2018(38): 291.
- [37] 曹晨华. 浅谈合页坝在牡丹江市河湖水系连通治理工程的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(5): 185-187.