文章编号:1672-3031(2019)03-0233-08

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

赵月芬,李凯旋,王 湛,闫永生,耿晔晗,刘 杰
(中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100048)

摘要:随着城市水生态建设的趋势,河道拦水坝的应用需求越来越大,河道拦水坝的结构不仅要满足航运、灌溉、行洪等常规功能,还要满足环境协调、生态水景的要求。由于橡胶坝坝袋易破损、易老化、无法快速截洪泄流、景观融合度低等缺点,钢构拦水坝应运而生。本文介绍了5种钢构拦水坝即升卧式闸门、气动盾形闸、钢坝闸、液压升降坝及合页活动坝,阐述了其工作原理及结构特征,对比分析了其地基要求、土建工程量及安装难度、运行使用、景观生态特点和造价,归纳总结了各自的适用条件,为水利工程钢构拦水坝的应用选择提供参考。

关键词:城市水生态建设;钢构拦水坝;结构特点;对比分析;适用条件
中图分类号:TV34 **文献标识码**:A **doi**:10.13244/j.cnki.jiwhr.2019.03.010

1 研究背景

水利工程结合生态环境建设,是当前解决河流生态环境的需求,也是未来发展的必然趋势。自古以来,水利工程主要以修建堤坝、水闸、溢洪道等不同类型的水工建筑物为主,实现防洪、供水、灌溉、水力发电、调整河势等功能。传统的水利工程往往给生态环境系统带来了不利影响,现代水利工程的建设不仅要实现传统的功能,还要结合当代生态治水理念,考虑到净化环境、涵养水源、服务生产、景观效益、休闲娱乐等多方面的需求,实现恢复生态环境的建设,体现人水和谐,提升精神文明层次,保证城市的可持续发展。

拦水坝作为水利工程中关键的组成部分,在河流治理和生态文明建设中起着不可或缺的作用,有利于改善河道生态环境、提升河道水资产、传播城市河道水文化等。随着科学技术的发展,以及对水资源高效利用的要求,在满足挡水、蓄水、泄洪的基本功能前提下,挡水建筑物型式不再局限于常规的闸门型式,出现了大量具有生态、景观功能的大跨度、低水头且设计新颖、造型独特的拦水坝,广泛应用于城市河道治理工程,常见的类型有:橡胶坝和钢构拦水坝,钢构拦水坝又包括升卧式闸门、气动盾形闸、钢坝闸、液压升降坝及合页活动坝。型式多种多样,如何根据工程实际,从技术、经济、景观融合等角度出发,合理选择闸型,对于实际应用具有重要的意义。

2 钢构拦水坝的应用进程

在城市河道治理发展的初期,最先被广泛应用的是橡胶坝,其具有结构简单、价格低廉、技术要求不高等优点。橡胶坝最早于1960年代被引入中国,首座建于1966年,位于北京市右安门南护城河上[1]。随着时间的发展,橡胶坝的缺点也暴露无遗,坝袋易老化破坏且易被尖锐物刺破,升坝或者放坝时间过长,影响了快速截流和泄洪,给行洪安全带来隐患,且坝高受到限制,枯水期坝袋也影响景观。于是钢构拦水坝应运而生[2],其克服了橡胶坝的缺点,而且结构形式简单、安全可靠、加工安装方便,不仅保证了安全行洪的可靠,能通过坝顶过流形成瀑布,形成一道靓丽的风景,符合当

收稿日期:2018-04-26
基金项目:中国水科院科研专项(SJ0145B922017,SJ0145B202017)
作者简介:赵月芬(1980-),硕士,高级工程师,主要从事水工闸门研究。E-mail:zhao801030@163.com

前生态水利的理念。

升卧式闸门是由提升式平面闸门发展改进而来，提升式平面闸门是最早出现的钢构拦水坝，是由美国F.G.M斯托尼发明。首座于1883年，位于爱尔兰，单扇闸门尺寸高4.4 m，宽8.9 m，共四扇闸门，安装在桥墩之间，用来蓄水。20世纪初期，欧洲、美国、埃及以及印度等国大量兴起，并发展了多种形式[3]。我国直到20世纪50、60年代才引进应用。直升式平板闸门[4]的优点是结构简单、运行可靠、闸室短又适合用井柱桩和分离式闸底板。但是其机架桥的排架高达六、七米，造价较高，遇上大的地震或者台风，安全无保证。如1966年河北省邢台地区发生6.9级地震时，震中附近的直升式平板闸门的机架桥、排架多数都被震毁。随后改进发展的升卧式闸门被广泛应用[5]，如河北省廊坊市东张务节制闸、贵州大七孔电站溢洪道升卧式平板钢闸门、厦门马鸾海堤开口改造工程、河北省滦河迁安市段生态防洪工程等[6-8]。

气动盾形闸门最初由美国OHI公司进行研发，1990年代自美国问世以来，在世界范围内得到了大力的推广和应用，如美国的Friant坝和Horseshoe坝、新西兰的Ophua坝及冰岛的Rarik坝，累计建设达200多座。我国于2005年后开始引进并推广。初期，由于系统相关核心技术需要美国专利技术，价格昂贵，国内市场仅十余座[9]。但近两年，主要部件已实现国产化，市场应用增幅明显，如北京新凤河、清河气动盾形闸工程、吉林市松花湖人工湿地溢流闸工程、贵州德江玉龙湖气动闸项目等。目前，最高的气动盾形闸门于2013年建于贵阳南明河上，4座规模相同，各宽60 m，高度达到8 m[10]。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[11]。

钢坝闸是2007年正式开发出来并应用于实际工程。目前，国内建成的此类闸门工程有数百座，如重庆市铜梁区巴川河防洪工程、北京黑河沟水环境治理工程、德保县城区防洪治涝工程、北京万泉河治理工程等[12-15]。钢闸坝在辽宁省应用较早，应用案例较多，自2008年新民县新开河上修建了第一座钢坝闸至今，辽宁省已修建30余座钢坝闸，坝高多在1.5～4.0m，坝宽多在10～60 m[16]。国内外应用中第一个跨度达到100 m的工程建于上海苏州河河口，中间建有中墩[17]。目前单孔闸门宽度最大达到60 m，建于2011年，位于湖北郧西。山东省内首例最大规模建于2015年，位于山东淄博，设计挡水高度5.5 m，单孔净宽27 m[18]。

液压升降坝是2006年自安徽池州发展并应用于工程实际。截止2016年，国内已经建成投运300多座，目前发展趋势迅猛，年建可达百余座，如石家庄彩色弧形坝工程、山西高平彩色弧形闸工程、浙江省红浦江千秋桥项目工程、北京丰台弧形液压坝工程[19-20]。此类坝，最高坝高达到5 m，建于2009年，位于湖南炎陵，坝长为38 m，共7扇[21]。最长坝长为240 m，建于2016年，位于辽宁海城市，坝高为4 m[22]。

合页活动坝是2012年自北京发展的新型拦水坝。目前，国内已建成百余座，如布尔哈通河安图城区段河道治理工程、小凌河滨河新市镇生态示范段工程、济宁市引水入城南跃进沟提水站工程等[23-25]，此类闸门也已经在东南亚孟加拉、泰国等国外得到大力推广应用。目前，最长合页活动坝建于2014年，位于缅甸梅泽利，长261m。最高的合页活动坝建于2017年，位于贵州铜仁，坝高5 m。在东北寒冷地区，2014～2016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56～23 m的合页活动坝，配备冬季自动退冰功能，在寒冷地区河道中应用优势明显。

3　钢构拦水坝的技术经济分析

3.1　钢构拦水坝的构造　(1)升卧式闸门适合于水位较高的工况，单扇闸孔宽一般不超过8 m，需要建造多个闸墩。其结构包括门体、机架桥、启闭机工作桥、主卧、吊耳、止水装置等[26]，见图1。门体材质一般为铸铁结构。机架桥较高，用以保证启闭机的运行距离。其主卧一般采用悬臂式主轮，吊耳安装在门底靠近下主梁的上游面，当闸门开启时，启闭机通过吊耳向上提升门体到一定高度时，上、下主轮即分别沿弧形轨道、反向轨道滚动，闸门逐渐升高，最终平卧在斜向轨道上[27]。其驱动系统主要有固定卷扬式启闭机、螺杆式启闭机、液压启闭机，目前，国内应用最多的是液压启

闭机，因其布置简单、适应性强、体积小、附属土建简单。国内部分企业已经研发了机电液一体化的新型液压启闭机集成式启闭机，并得到推广。

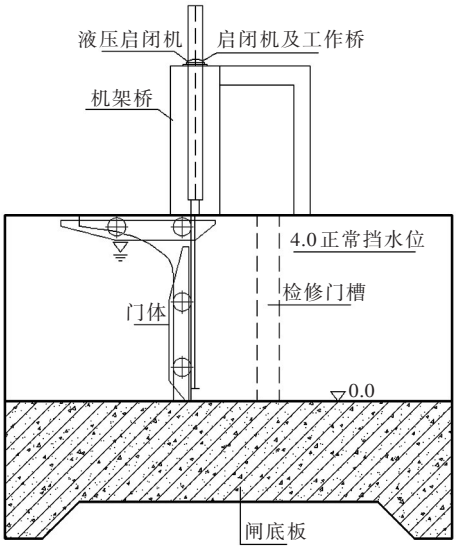


图1　升卧式平板闸门

（2）气动盾形闸门是一种将传统水工钢闸门和橡胶坝结合的新型拦水坝。适合拦蓄高度0.5～10 m，单扇盾形闸门门体及橡胶气袋可以最长达到10 m，多扇门体并排形成拦水坝，主要由门体、橡胶气袋、埋件结构、止水、气动系统和控制系统组成[28]，见图2。门体一般为弧形钢板，倒伏式覆盖气袋。橡胶气袋在门体的下游面，气袋内层为聚酯纤维强化的合成橡胶，中层为单体合成橡胶，外层为抗臭氧、抗侵蚀的混合物橡胶。通过角度传感器监测起伏角度，控制对橡胶气袋充气或排气过程，推动门体的起伏，实现控制闸门的开度[29]，下游侧的合成橡胶抑制带，一端与门体结构固定，另一端与基础底板固定，防止下游水位较高或者风力作用下，门体向上游翻转倾倒。埋件结构预先固定在河床上，将门体面板与土建基础地面相连。夹铸具将气袋和铰链盖板压在角形埋件上，气袋楔形开口一边被压紧，固定密封，压紧的铰链盖板与钢闸门底轴相连，保证门体结构沿底轴旋转。止水选用高分子聚乙烯材质的闸墩板，门体分节处采用条形橡皮，压板固定进行止水。

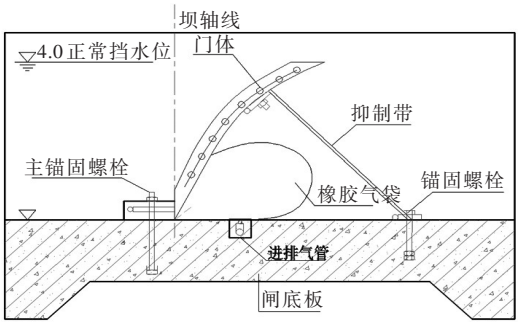


图2　气动盾形闸门

（3）钢坝闸是一种整体式的新型液压驱动的钢闸门，适合拦蓄高度1～7 m，单扇闸门最长可达60 m，超过60 m的宽度后需要建设中墩及独立的启闭机房[32]。主要由带固定轴的门体、拐臂、启闭设备、控制系统、止水结构等组成[30]，见图3。门体为T型主纵梁、型钢横向次梁组合焊接而成的主框架钢结构，门体下端与底轴之间用螺栓连接，底轴结构采用穿墙装置，用以保证底轴的旋转。驱动拐臂固定在底轴的两侧，上端与各自对应的液压伸缩杆连接，液压启闭机与支座连接，支座内的锁定装置与驱动拐臂相连，利用锁定装置锁定，利用液压启闭设备转动悬臂结构实现坝面起伏。止水结构材质为一般选用“Ⅱ”形橡皮。其控制系统一般为PLC控制，系统中会预留远程通讯和变频安装空间接口。当停电或者其他故障时，应急手动油泵装置可实现手动操作，保证闸门可靠运行。

（4）液压升降坝是采用液压伸缩杆与锁定支撑杆配合直推弧形坝面实现挡水的新型拦水坝，适合拦蓄高度1.5～6 m，单扇闸门标准宽度为6 m，多扇坝面并排布置，独立运行，形成拦水坝。主要由门体、液压驱动机构、支撑杆结构、电控组成[33]，见图4。门体结构一般为钢筋混凝土外包钢板。底部用铰链轴将面板固定在混凝土底板基础上，坝面起伏通过门体背部的液压伸缩杆大角度直顶门体实现翻转，折叠支撑杆结构用于固定门体的驻坝位置。止水结构一般选用橡胶。其控制系统一般也可以实现PLC控制及远程控制，实现一控多管。

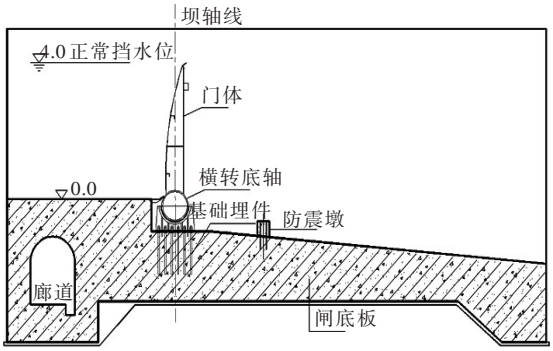


图3　钢坝闸

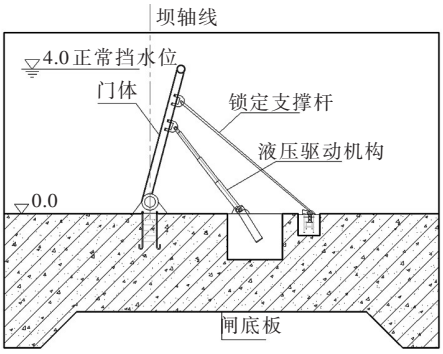


图4　液压升降坝

(5)合页活动坝是将“液压三铰点变幅运动机构原理”与传统水闸优化结合形成的拦水坝结构，该坝多扇闸门并排布置，独立运行，适合拦蓄水深1～6 m。主要由门体、止水、液压系统、控制系统、监控系统组成，见图5。门体组件均为钢材质，门体间止水选用P型止水橡胶，门体通过其独有的“整体式”底铰支座与埋件、液压伸缩杆连系成一体，将门体、液压伸缩杆精准定位，安装快捷且精度高。通过内设液压控制系统，利用坝体背部的2支液压缸的伸缩，小角度推动坝面绕底轴在一定角度内旋转，实现升坝挡水，利用坝体自重及水重无动力降坝[34]。控制系统包括PLC手动控制、自动控制及远程控制，还可实现对合页坝运行状态的实时监测。

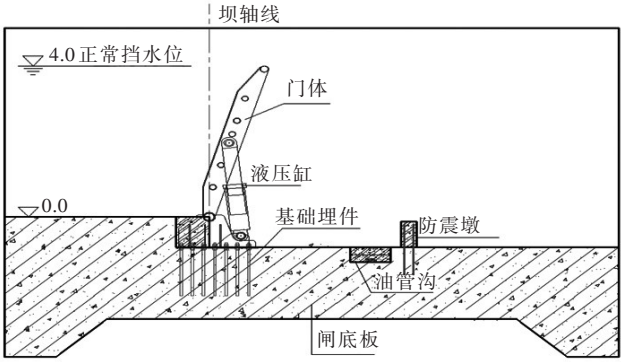


图5　合页活动坝

3.2　钢构拦水坝的结构比较　主要包括3个部分。

(1)土建结构。这5种坝型除了闸室底板结构区别较大以外，其他土建结构包括中墩、边墩、上下游翼墙、护坡、防渗墙、消力池和海漫等结构基本一致。其中钢坝闸中墩一般做成中空闸室作为启闭机房，气动盾形闸、液压升降坝、合页活动坝可不设置中墩。

(2)闸体结构。闸体结构均采用钢面板形式，略有区别。其中，钢坝闸和合页活动坝门体结构一般采用弧形或平面钢制面板，升卧式闸门门体结构一般为平面钢板，气动盾形闸门门体结构一般为薄壁弧形钢板，迎水侧设肋板加强。钢质面板均可在门体下游设置挑水、放水孔等满足景观及生态模拟需求。液压升降坝一般采用钢筋混凝土外包钢板结构。

(3)驱动及控制系统。气动盾形闸门采用气动装置充排气袋驱动门体旋转，其他4种钢构坝均采用液压控制系统，驱动原理和结构有所不同。升卧式闸门利用液压启闭机向上提升门体，带动门体沿轨道运动最终横卧在水面之上。钢坝闸利用液压伸缩杆驱动两侧与门体底轴相连的拐臂结构，带动门体旋转。液压升降坝采用液压伸缩杆大角度直顶门体旋转，锁定支撑杆进行门体限位。合页活动坝采用液压伸缩杆小角度直顶带动门体旋转并限位。每种坝型都能实现手动控制、自动控制及远程控制，用以保证行洪安全。

3.3　钢构拦水坝的技术经济比较　对这5种坝型的地基要求、土建工程量及安装难度、运行使用、生态景观、主要缺点及造价进行对比[35-36]。

3.3.1　地基要求、土建工程量及安装难度对比　见表1。

表1　地基要求、土建工程量及安装难度对比

参数	升卧式闸门	气动盾形坝	钢坝闸	液压升降坝	合页活动坝
地基要求	闸墩短,机架桥高度适中(与提升闸比),闸门挡水后闸室有较大的水重,抗震、抗地基变形能力好	门体与基础采用合成橡胶柔性连接,门体间组合结构,抗震、抗地基变形能力最佳	转轴和门体采用一体钢性结构,抗震、抗地基变形能力差	坝体采用多扇分块设计,抗地基变形能力好	坝体采用多扇分块联组形式,抗地基变形能力好
整体基础平整度及稳定性要求	不高	不高	最高	较高	较高
土建工程量	所需闸墩较长,启闭机工作桥相对较高,土建工程量较大	只有锚固、限位部分及充排气管路预埋,土建工程量较小	跨度较大河道,需建中继启闭机房,土建工程量较大	无需中墩,工程量较小	无需中墩,工程量较小
安装难度	需布设闸墩、排架、启闭机梁且门体和启闭设备高,安装难度大	门体组合式结构,跨度小,且对锚固等部位安装要求不高,安装难度小	门体和转轴结构跨度大、重,安装精度高、难度大	门体分块相连,跨度小,对液压缸及支撑杆定位要求高,安装难度适中	坝体联组形式,跨度小。一体式底铰之座,精准定位三铰点,安装难度小

3.3.2　运行使用对比　溢流深度一般都不允许超过30～50 cm。超过50 cm以后，会对坝体结构安全造成一定隐患，且视觉上景观效果较差。以100 m宽，2 m高钢构拦河坝为例，主要运行使用参数对比见表2。

3.2.3　生态景观对比　见表3。

3.3.4　主要缺点及造价对比　见表4。

4　结论

综上所述，5类钢构拦水坝在地基要求、土建工程量及安装难度，运行使用，生态景观方面都有不同的优势和各自的劣势，这就需要在应用时，根据工程实际情况，避重就轻，选择合适的钢构拦水坝来进行使用。

(1)升卧式闸门具有闸体较高且结构坚固的特点，尤其适用于对挡水高度要求较大、简易船闸和河岸式溢洪道工程的工作闸门河道地区；不适合于跨度大、漂浮物多及景观要求高的河道。

(2)钢坝闸采用一体化门体结构，水景观效果好，价格较高，适用于雨量充沛的南方、洪水涨落快速的山区及城市景观河道，尤其适用于岩石基础河床较窄的河道及要求快速开闸泄流的河道；不适合于宽阔河道、地基基础条件差或需要频繁启闭门体冲砂排漂的河道和震级高或投资受局限的地区。

(3)气动盾形闸门具有的环保生态性及对能效要求不高的特点，尤其适用于城市河流梯级开发和通电不利的山区河流，也适用于地基基础条件差，震级高的地区；不适用于要求需要频繁启闭门体冲砂排漂的河道，或季节性断流河道且对水景观要求较高的地区。

(4)液压升降坝具有分区且价格较低的特点，适用于雨量充沛的南方、洪水涨落快速的山区河道；不适用于冬季寒冷或者泥沙含量大的河道及对景观要求高的地区。

(5)合页活动坝具有隐藏式支撑和冬季坝前自动破冰的特点，适用于雨量充沛的南方、洪水涨落

表2　运行使用参数对比

参数	升卧式闸门	气动盾形坝	钢坝闸	液压升降坝	合页活动坝
可否任意高度挡水	门体沿高度分段，只能实现既定高度挡水，不能实现任意高度挡水	气袋内气量平衡不稳定，坝体调整到同一高度较难且振幅较大，任意挡水效果一般	坝面无支撑结构，利用机械锁定可实现任意高度挡水高度	解除支撑杆锁定，可实现任意高度短期挡水	采用柱塞液压伸缩杆，可实现任意高度挡水
升降坝面速度	时间较长	充气时间较短，但充气完成后还需要时间调平	启闭机数量少，耗时短，一般为1~20 min	启门一般为30~50min，降坝前需先解锁，耗时更长	升坝一般为10~30min，降坝一般为2~15min，速度可调
是否可以单扇开启或多扇同时调控	可实现单扇、多扇同时调控	一体式结构，基本无法实现单扇或多扇同时调控	一体式结构，只能长跨整体调控。	可实现单扇、多扇同时或组合调控	可实现单扇、多扇同时或组合调控
排漂效果	排漂规模受闸室宽度及高度限制	盾板连成整体，不可交替关闭，排漂效果较差	闸前淤沙，排漂效果较差	可交替升降坝，水量集中冲刷，排漂效果好	可交替升降坝，水量集中冲刷，排漂效果好
排沙效果	排沙效果一般	盾板连成整体，不可交替关闭，排沙效果较差	有中墩、阻水行洪不彻底，容易造成漂浮物淤积	可交替启闭门体，以有限的水量集中冲刷，排沙效果较好	既可交替启闭门体，又可实现任意高度协调冲刷，排沙效果好
抗冻效果	闸墩、排架等混凝土结构较多，抗冻效果较差	冬季蓄水坝前需除冰，且气袋可以自动释放冰压力，抗冻效果较好	结冰期，蓄水应解除门体锁定，减缓冰胀压力，否则容易引起大跨度面板及底轴形变	钢筋混凝土薄壁面板容易被冻裂，细长支撑杆易弯折，抗冻效果较差	专用液压系统，可以实现自动退让缓解冰压力，抗冻效果好
抗冲撞力	面板材质为铸铁面板，抗冲撞能力较强	整体结构为橡胶气袋和钢板相结合，利用囊袋缓冲，抗冲击能力较强	门体与底轴间用螺栓连接，抗突来的大型冲撞能力较强	面板材质为薄壁钢筋混凝土结构，驱动机构位于漂浮物及水流跌落区，抗冲撞能力一般	采用高强度钢板，驱动机构位于漂浮物跌落区以外，利用液压缓冲，抗冲撞力能力强
维修管理	维修和管理较复杂	维护量少，耗电量比较少	对启闭机同步精度 要求较高，管理难度大，门体部分故障率低，但维修难度大，液压设备耗电量偏大	液压设备维护难度大，特别是液压缸与支撑机构转换动作多，汛前应解锁运行，对管理要求高	液压设备维护难度适中，部件可带水更换

表3　主要景观生态参数对比

参数	升卧式闸门	气动盾形坝	钢坝闸	液压升降坝	合页活动坝
环保性能	液压用油存在漏油风险，但不在主河道内，影响较小	充胀介质为空气，环保性能好	液压用油存在极小漏油风险，且位于启闭机房内，对河道污染较小	河道内液压设备接头数量多，存在一定的漏油风险	河道内液压设备接头数量仅为液压升降坝的1/4，漏油风险大幅降低
景观效果	闸墩及排架多，景观效果差	囊袋调平难，盾板后囊袋外露，景观效果一般	底轴驱动面板，闸体干净整洁，景观效果好	坝面后支撑杆较多，杂乱，景观效果一般	暗藏式支撑，重心低，坝面整齐干净，景观效果好
临时生态通道	门体任意升卧，可形成多样生态通道	门体为一体式结构，需要设置专门的生态通道	门体为一体式结构，需要设置专门的生态通道	门体任意组合倒伏，可形成多样生态通道	门体任意组合倒伏，可形成多样生态通道

表4　主要缺点及造价对比

参数	升卧式闸门	气动盾形坝	钢坝闸	液压升降坝	合页活动坝
主要缺点	所需启门力大,选用大型启闭机;闸墩较多,工作桥较高,工程量大;设备安装调试复杂,维修不便	容易在不等甚至相等的水压力作用下,坝顶高程不同,发生不均匀溢流	超过一定跨度的河道,需建启闭机房,安装难度大,对基础沉降敏感,一旦发生故障,需要整体维修	面板采用薄钢包裹混凝土结构,容易造成坝面破坏严重;液压缸转动,支撑杆支撑容易弯折卡死	液压缸长期处于工作状态,对液压部件的质量要求高
造价	造价较高	进口造价高,国产造价略高	造价最高	造价较低	造价适中

快速的山区及城市景观河道，尤其适用于结冰期无除冰装置的北方寒冷地区及漂浮物和泥沙沉积较多的河道；不适合于坡降比较大，水流湍急的陡峭河道。

(6)目前，只有升卧式闸门已应用约50年，其他新型闸门的起步较晚，对于使用年限，都仅限于理论计算年限，最长应用时间不过10年左右，需要随着时间的推移，进一步验证使用年限。

(7)钢构拦水坝技术在国内尚无设计规范可循，其结构计算方法、质量检测、评定等内容还需要进一步研究和实例检验。

参　考　文　献：

[1] 尹秦安 . 橡胶坝的发展趋势展望[J] . 地下水, 2005, 27(3): 313-314 .
[2] 丁清伟 . 橡胶坝损害原因和防治措施[J] . 广东水利水电, 2010(9): 25-26, 38 .
[3] 周军 . 平面多定轮钢闸门结构分析[D] . 南京:河海大学, 2007 .
[4] 张晴, 刘旭辉, 谢立华 . 新型直升式城市防洪闸门及应用[J] . 浙江水利水电学院学报, 2016, 28(2): 35-37 .
[5] 王蓓 . 新型水闸在水利工程中的应用研究[D] . 济南: 山东大学, 2011 .
[6] 张宗旗 . 大七孔电站溢洪道升卧式平板钢闸门设计[J] . 贵州水力发电, 2000, 14(2): 54-55 .
[7] 张建春 . 马鸾海堤开口改造工程建闸方案闸门型式的创新设计[J] . 水利建设与管理, 2009(4): 29-30 .
[8] 郭绍艾, 李志国 . 升挂式闸门在滦河生态防洪工程中的应用[J] . 河北水利, 2016 (5): 26, 31 .
[9] 魏明政 . 气动盾形闸门静力特性分析[D] . 长春:长春工程学院, 2016 .
[10] 陈东清 . 气动盾形闸门系统在南明河水景观工程中的应用[J] . 水利建设与管理, 2013, 33(12): 59-61 .
[11] 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] . 工程建设与管理, 2017(8): 45-47 .
[12] 张奉华 . 景观钢坝闸在山区河道的运用[J] . 黑龙江水利科技, 2017, 10(45): 122-124 .
[13] 尚常清, 崔瑞香 . 钢坝闸在黑河沟水环境治理工程的应用与探索[J] . 水利技术监督, 2013(3): 22-25 .
[14] 黄鲜丽 . 钢坝闸在德保县城区防洪治涝工程中的应用[J] . 广西水利水电, 2015(6): 19-21 .
[15] 闫永旺, 敖雪, 苏斌超 . 钢坝闸在北京市万泉河治理工程中的设计应用[J] . 北京水务, 2012(3): 54-56 .
[16] 郑红, 韩立阳, 其其格 . 河道综合整治工程景观壅水闸坝应用与分析[J] . 东北水利水电, 2016, 34(3): 69-70 .
[17] 陈文伟, 汪云祥, 季永兴, 等 . 苏州河河口水闸工程综述[J] . 水利水电科技进展, 2007, 27(1): 1-4 .
[18] 王宁, 王金龙, 李淑芹 . 城市河道综合治理中的大型钢坝闸应用—以山东淄博为例[J] . 工程建设与管理, 2017(8): 48-49 .
[19] 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 .
[20] 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(4): 71-73 .
[21] 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 .
[22] 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 .
[23] 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(5): 13-14 .

[24] 王震宇. 合页活动坝在城市景观建设中的应用[J]. 东北水利水电, 2013(6): 4-5, 56.
[25] 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]. 工程建设, 2016(10):29-30.
[26] 杨克昌. 升卧升式新型闸门的设计[J]. 河北水利水电技术, 2000(3): 45.
[27] 程震滨, 郑素愫. 升卧式平面闸门在深圳福田水闸工程中的运用[J]. 广东水利水电, 2010(7):66-68.
[28] 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): 66-66.
[29] 罗益涛. 气动浮体式钢闸门在新丰河河道治理中的应用[J]. 水利科技, 2017(2): 16-18.
[30] 江飞. 钢坝闸门在城市景观河道中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2011(12): 142-143.
[31] 杨超. 底横轴翻转闸门静力学与动力学特性分析[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2017.
[32] 蔡金丽, 孟建发. 钢坝闸——一种新型挡水结构的设计和应用[J]. 水利建设与管理, 2011(8): 34-35, 64.
[33] 马宗正, 张垚, 李晓玲. 钢坝闸与液压升降坝在河道水环境治理中的应用比较[J]. 水与水技术, 2013(3):141-143.
[34] 刘慧明. 水利工程治理项目中合页坝工程设计浅谈[J]. 黑龙江水利科技, 2016, 44(7): 73-74, 145.
[35] 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.
[36] 石桂萍. 城市河道治理设计中几种拦河建筑物型式的分析比较[J]. 水利规划与设计, 2013(6): 62-64.

Comparison of Steel Structure Dams in application course and technical economic of urban water ecological construction

ZHAO Yuefen, LI Kaixuan, Wang Zhan, YAN Yongsheng, GENG Yehan, LIU Jie

(*State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing* 100048, *China*)

Abstract: As constructions of water ecological city, the demand of river dam increases fast not only to facilitate general functions such as shipping, irrigation, flood discharge, but also to provide harmonious with environment, ecological waterscape. Steel Structure Dam emerges as rubber dam exposes its vulnerable and aging of bags, slow response to discharge flood, and poor landscape effect etc.. This paper briefs origins and development in engineering application of 5 steel structure dam. Including: Horizontal sluice gate, Pneumatic shield Dam, Hydraulic rotating dam, Hydraulic lifting dam, Hydraulic Elevator Dam, furthermore it explains how these dam works and its structure characteristics. Finally, through comparison of foundation requirement, civil works quantity, installation difference, operation, ecological waterscape, shortcomings and cost analysis, this paper summarizes and analyzes the applicable and inapplicable channel conditions for aforesaid five new steel structure dam and provides reference for application of steel structure dam.

Keywords: Urban water ecological construction; Steel Structure Dam; Structure characteristics; Comparison; Applicable channel conditions

（责任编辑：李福田）