

某生态区景观钢坝闸创新设计及工程应用研究

马 兰

(上海武东建设集团有限公司, 上海市 201802)

摘 要: 传统拦河坝在生态缓冲区景观工程里存在诸多问题,像安装要求高、抗冻性差、景观效果不好、维护成本高以及生态适配性不足等,结合长三角某生态缓冲区生态保护与景观营造两方面需求,研发出一种适配宽水面、大水头工况的景观液压钢坝闸,详细阐述其结构创新原理,着重突出特制自润滑轴承、底轴穿墙零泄漏、太阳能驱动无人值守等关键创新点。实践表明:该新型液压钢坝闸在长三角某生态缓冲区应用效果良好,既能实现枯水期蓄水、汛期泄洪的核心功能,又能借助门顶溢流形成特色景观,兼顾生态保护与工程实用性,为长三角地区某生态缓冲区景观工程、水利生态治理提供可靠技术参考与工程示范,具有在市政水利工程中的推广价值。

关键词: 生态缓冲区;景观液压钢坝闸;创新设计;生态适配;工程应用

中图分类号: TV66

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0345-05

Research on Innovative Design and Engineering Application of Landscape Steel Dam Gate in Ecological Area

MA Lan

(Shanghai Wudong Construction Group Co., Ltd., Shanghai 201802, China)

Abstract: Traditional barrages face numerous issues in ecological buffer zone landscape projects, such as high installation requirements, poor frost resistance, unsatisfactory landscape effects, high maintenance costs and insufficient ecological adaptability. Combined with the needs in two aspects of ecological protection and landscape construction in an ecological buffer zone in the Yangtze River Delta, a landscape hydraulic steel dam gate suitable for wide water surfaces and high head conditions has been researched and developed. Its structural innovation principles and the key innovation points focusing on the specially designed self-lubricating bearings, zero leakage of the bottom shaft through the wall, and solar-powered unattended operation are expounded in detail. The practical application demonstrates that the application effect of this new hydraulic steel dam gate performs effectively in an ecological buffer zone in the Yangtze River Delta, which can not only achieve the core functions of water storage during dry seasons and flood discharge during flood seasons, but also create a distinctive landscape by taking advantage of the overflow at the gate top, balancing ecological protection and engineering practicality, providing a reliable technical reference and engineering demonstration for landscape projects and water conservancy ecological management in ecological buffer zones in the Yangtze River Delta region, and demonstrating its value for promotion in municipal water conservancy engineering.

Keywords: ecological buffer zone; landscape hydraulic steel dam gate; innovative design; ecological compatibility; engineering application

0 引 言

生态缓冲区作为维系区域水生态平衡、改善人居环境的核心载体,其景观营造与水利治理的协同性已成为当前市政水利工程的重点研究方向。长三角某生态缓冲区地处长江入海口,生态缓冲区分布广泛,兼具水利调控、生态修复与景观观赏多重功

能,对拦河坝工程提出了“生态化、景观化、智能化、长效化”的更高要求。

在传统的拦河设施里面,橡胶坝有着一些不足之处,其对于安装质量的要求比较高,需要持续进行充气操作,还容易出现老化破损的情况,并且抗冻性也比较差,这样的特性使得它很难适应长三角某生态缓冲区四季温差较大的环境,以及长期稳定运行的需求;叠梁门整体性能欠佳,密封性不够好,没办法实现景观营造的功能,仅仅适用于临时检修,同样难以契合生态缓冲区的综合需求。液压钢坝闸是近

收稿日期: 2026-01-13

作者简介: 马兰(1977—),女,本科,工程师,从事市政工程、机电工程、环境工程及工程管理工作。

年来兴起的一种新型拦河景观坝,它有性价比高、使用寿命长以及启闭灵活等优点,在枯水期的时候抬水,到了汛期则可以卧倒进行泄洪以保障安全,其门顶溢流还可形成人工瀑布景观,适用于宽度在50~500 m、水头为2~6 m的水面工况,与长三角某生态缓冲区的工程需求非常契合^[1-2]。

依据长三角某生态缓冲区的景观水利工程实践情况,围绕生态缓冲区景观营造以及生态保护的核心需求,展开液压钢坝闸的创新设计研究工作,着重关注关键技术的突破,对结构与功能的适配性给予优化,将冗余的设计计算进行简化,凸显创新价值以及工程指导性,为同类型的生态缓冲区景观水利工程给予技术方面的参考。

1 液压钢坝闸与传统拦河设施对比及核心设计定位

1.1 各类拦河设施性能对比^[3-6]

为明确液压钢坝闸在生态缓冲区景观工程中的优势,结合长三角地区工程工况特点,将其与传统橡胶坝、叠梁门进行性能对比,重点突出生态景观性、耐久性 & 工程适配性,具体如表1所示。

表1 各种钢坝闸门比较表

序号	门型方案	钢坝闸	橡胶坝	叠梁门
1	工程适配性	适配宽水面、大水头,适合长三角某生态缓冲区工况,技术成熟	适配范围有限,抗冻性差,不宜长三角某生态缓冲区冬季工况	无类似景观工程应用,需额外论证,仅适用于临时检修
2	结构特点	底轴旋转下卧闸门挡水,创新优化结构,密封性优良	柔性薄壳结构,易破损、老化,密封性较差	拼接结构,整体性和密封性差,无法满足蓄水景观需求
3	启闭效率	2~10 min 快速启闭,适配汛期应急泄洪,智能化可控	1~6 h 缓慢启闭,塌坝速度慢,应急能力不足	需大型吊车吊装,启闭效率极低,影响景观体验
4	生态景观性	干净清爽,门顶溢流形成人工瀑布,适配生态缓冲区景观营造	景观效果一般,坝袋老化后影响视觉体验	无景观功能,闸墩阻洪且破坏景观整体性
5	耐久性与维护	耐久性优良,创新技术实现十年免维护,维护成本低	坝袋8年左右需更换,维护成本高,需持续充气维护	仅用于临时检修,耐久性一般,维护频次高
6	造价与性价比	约1 200万元,使用寿命长,综合性价比高	约250万元,短期造价低,长期维护成本高,性价比低	暂估600万元,无景观价值,综合性价比差

1.2 核心设计定位^[7-10]

依据生态缓冲区“生态优先、景观适配、智能高效、长效稳定”的核心需求而研发的液压钢坝闸,明确了三大设计定位,其一为生态适配,该设计旨在减少工程对缓冲区水生态造成的扰动,以此达成蓄水保生态与泄洪保安全之间的平衡,其二是景观融合,借助结构优化达成门顶溢流景观可控的效果,适配缓冲区景观营造的需求。其三为创新高效,着重于技术瓶颈的突破,达成智能化、免维护、低能耗的运行状态,提升工程的指导性与推广价值。

此液压钢坝闸是由多扇可单独控制的闸门组合构建而成的,具有可同步或者单独进行启闭的功能,它采用的是三角支撑原理,借助两侧的液压启闭机来驱动闸门进行旋转,并且配置了不锈钢以及碳钢这两种材质的闸门以及自动化控制柜,以此达成自动以及远程控制的效果,适配生态缓冲区多样化的工程需求,液压钢坝闸总体外观图见图1。

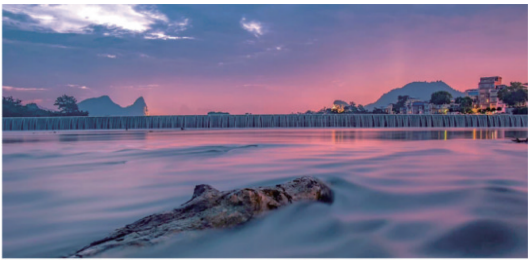


图1 液压钢坝闸总体外观图

2 液压钢坝闸核心创新点研发

传统液压钢坝闸应用于生态缓冲区景观工程时,存在耐磨性欠佳、有泄漏隐患、能耗相对较高、景观可控性不佳以及生态适配性不足等状况,结合长三角地区工程运行的具体特点,进行了7项关键技术创新,形成了适配生态缓冲区景观需求的新型液压钢坝闸,其核心创新点如下。

2.1 特制自润滑轴承研发与创新应用^[11-12]

生态缓冲区的液压钢坝闸长时间处于水下或者潮湿的环境之中,闸室支铰座以及启闭机支铰座承受着较高的载荷,润滑存在险阻,同时维护起来也不太方便,传统的轴承容易出现磨损情况,而且寿命比较短,这对工程的长效运行产生了影响。

针对生态缓冲区潮湿且高载荷的工况对材料配比给予优化,无需额外进行润滑,设计使用寿命达到10年以上,达成免维护运行,这种轴承可有效抵抗水下腐蚀以及泥沙磨损,突破传统轴承润滑险阻且维护频繁的技术瓶颈,保障钢坝闸长期稳定运行,减少

工程维护对周边生态环境的干扰,符合生态优先的工程设计理念,拥有十分突出的技术创新性与工程实用性。创新运用航空航天级特制耐磨自润滑轴承,如图 2 所示。

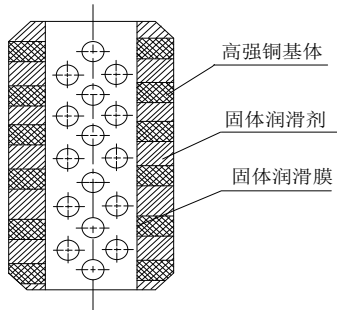


图 2 自润滑轴承原理图

2.2 牺牲阳极保护定制化防腐设计

生态缓冲区水资源丰富,水体含盐量、湿度较高,钢坝闸门体易发生腐蚀,影响结构安全性与景观完整性。针对这一问题,结合闸门材质(碳钢/不锈钢)开展定制化防腐创新设计,核心优化如下。

(1)碳钢材质门叶采用“抛丸除锈+喷锌防腐+多层涂层”工艺,喷砂除锈达到 Sa2.5 级,表面粗糙度 $Ry60\sim100\ \mu\text{m}$,喷锌厚度 $160\ \mu\text{m}$,配套封闭底漆、环氧云铁防锈漆及氯化橡胶面漆,总干膜厚度达 $380\ \mu\text{m}$,埋件与混凝土接触部分涂苛性钠水泥浆,完全符合《水工金属结构防腐蚀规范》(SL105—2018)要求;

(2)创新采用牺牲阳极保护系统,阳极均匀布置以此来优化闸门表面电位分布的均匀程度,同时优化检测周期,建立阳极更换与性能评估机制,结合涂层破损率以及厚度减薄情况动态调整阳极材料用量,达成钢坝闸全生命周期的防腐防护,防止腐蚀现象影响景观外观的完整性以及结构运行的安全性,填补了生态缓冲区钢坝闸定制化防腐技术的应用空白。

2.3 高可靠性液压系统集成创新^[13]

液压系统在钢坝闸运行过程中占据着核心地位,生态缓冲区工程对液压系统有着严格要求,既需保持 24 h 不间断运行,同时还要防止出现漏油等隐患,以免对生态环境造成破坏,着重关注系统可靠性以及生态安全性方面,展开液压系统的集成创新工作。

(1)对液压系统散热结构给予优化,以此保证在 24 h 持续运行的情况下,温度升高幅度不会超过 $35\ ^\circ\text{C}$,解决传统液压系统因长时间运行而出现过热现象以及容易发生故障的问题。

(2)优先选择世界一流品牌的核心配件,以此构建高可靠性的液压系统,具体的配置情况如表 2 所示,从根源上杜绝液压启闭机出现泄漏隐患,保证启闭动作灵活且可控,防止液压油发生泄漏污染缓冲区的水体,保障生态环境处于安全状态,达成液压系统与生态缓冲区工程的协同适配效果,提高系统运行的稳定性以及耐久性。具体液压启闭机外形如图 3 所示。



图 3 液压系统外观图

2.4 门体结构创新设计(双重原理优化)^[14-15]

结合生态缓冲区景观营造与低能耗需求,创新采用“强度不平衡原理+重力浮力耦合原理”,优化门体结构设计,实现节能降耗与景观适配的双重目标:

(1)强度不平衡创新设计^[16-17]:门叶选用 Q235B 钢材,底轴(核心受力件)选用 Q355B 钢材,结合生态缓冲区载荷特性优化许用应力分配(许用应力):

$$Q235B\ \sigma=160\ \text{MPa}\ \tau=95\ \text{MPa}$$

$$Q355B\ \sigma=220\ \text{MPa}\ \tau=130\ \text{MPa}$$

通过强度不平衡设计在提升门体承载能力的同时,有效减轻结构自重,适配宽跨度景观布置需求,解决传统钢坝闸宽跨度布置时自重过大、能耗偏高的技术难题。

(2)重力浮力耦合创新设计方面:对底轴与门体的结构形态给予优化,利用“浮箱拍门”原理,将门体底轴和靠近底轴的部分门体做成浮箱结构,采用重力是浮力的 1.1~1.2 倍的设计原理,借助重力与浮力的耦合作用达成力的相互抵消效果,降低闸门竖立所需的最大持柱力,相较于传统钢坝闸可实现节能,实例验证显示,对于宽度为 18 m、高度为 3 m 的门体,其总功率仅需 $2\times7.5\ \text{kW}$,能耗降低幅度超过 30%,符合长三角地区节能降耗的工程建设需求,同时还可以有效降低设备运行时产生的噪声,减少对缓冲区水生生物栖息环境的干扰,达成技术创新与生态保护的协同发展。

2.5 底轴穿墙零泄漏技术突破^[18]

底轴穿过墙体的部位出现泄漏情况,这属于传统液压钢坝闸在技术方面普遍存在的瓶颈问题,一旦发生泄漏,会对设备运行的稳定性产生影响,而且还会致使生态缓冲区的水体遭受污染,破坏生态环境,针对这一问题,本文进行了结构优化创新,研发出底轴穿墙零泄漏技术。底轴穿墙零泄漏现场施工如图4所示。



图4 底轴穿墙零泄漏现场施工图

对底轴穿墙密封结构形式给予优化,选用多层复合密封材料,并结合间隙自适应调整设计,成功化解了底轴转动与穿墙密封间的技术矛盾,达成了液压启闭机室内零泄漏运行的效果,此项技术可有效阻止水体渗入液压启闭机室,避免设备遭受腐蚀以及出现运行故障,杜绝泄漏水体对缓冲区生态环境造成污染,符合生态保护的核心要求,填补了同类钢坝闸在生态缓冲区应用零泄漏技术的空白,提高了钢坝闸的生态适配性与运行可靠性。

2.6 水位自动跟踪监控与景观可控创新

考虑到生态缓冲区景观营造的具体需求,创新性地研发了水位自动跟踪监控技术,以此达成景观效果可得到有效控制且保持稳定的目的。

在上游河道处安装超声波液位计,借助自动化控制柜实时收集并反馈上游水位的动态数据,依据景观设计预先设定水位阈值,可自动调节钢坝闸的开度,保证门顶溢流稳定形成人工瀑布景观,避免水位波动对景观效果产生影响,这项技术实现了生态缓冲区景观效果的自动化精确调控,降低了人工操作强度。可依据汛期以及枯水期水位的动态变化,自动切换运行模式,实现景观营造与水利调控功能的协同兼顾,适应生态缓冲区多样化的工程需求,提高了工程的智能化程度。

2.7 太阳能驱动自动化无人值守创新^[19]

如图5所示,部分生态缓冲区存在远离电源且人

工维护不便的状况,在此情形下创新研发出太阳能驱动智能钢坝闸,达成自动化无人值守运行状态。



图5 利用太阳能自动化无人值守液压钢坝闸驱动装置外观图

运用太阳能供电系统,无需连接外部电网来获取电力,可借助遥控指令对钢坝闸的开度加以调控,也可与水位自动跟踪系统相联动达成自主运行,还集成了运行状态实时监测以及故障报警功能,以此保障设备安全稳定运行,这项技术成功解决了偏远生态缓冲区钢坝闸的供电难题,降低了人工维护所需的成本,减少了人工干预给缓冲区生态环境带来的扰动,提高了工程的生态适配性以及智能化程度,符合长三角智慧城市和生态城市建设的发展理念,有着良好的推广应用前景。

3 生态缓冲区工程应用实例

为了验证所研发的创新型液压钢坝闸有实用性以及可靠性,将其应用在长三角某生态缓冲区景观水利工程当中,该工程位于长三角某生态缓冲区,结合工程实际提出的需求来进行优化设计,着重呈现创新技术在实际中的应用效果以及工程价值,突出创新点与工程的适配性。

3.1 工程基本概况

此生态缓冲区的总面积大概是12 000 m²,其核心功能包含生态修复、景观观赏以及水利调控,河道宽度为20 m,设计底坎高程是0.00 m,门顶挡水位为3.0 m,设计水头差为3.0 m,钢坝闸需要实现动水启闭,在汛期水位超过3.0 m的时候会自动卧倒进行泄洪,在枯水期则保持稳定蓄水,形成人工瀑布景观;并且要契合10年免维护、无泄漏以及低能耗等要求。

根据工程的具体需求情况,选用了本文所研发的有创新性的液压钢坝闸,该液压钢坝闸的门叶选用的是Q235B钢材,底轴则采用的是Q355B钢材,并且配置了太阳能驱动系统以及自动化控制柜,将全

部7项核心创新技术进行了整合,可适应工程生态以及景观这两方面的双重需求。

3.2 核心创新技术落地与效果验证

(1)结构与材料创新得以落地实施,具体采用强度不平衡与重力浮力耦合设计,门体宽度为20 m,高度是3 m,总功率仅 2×7.5 kW,相比传统钢坝闸,其能耗降低了32%,运行时产生的噪声被控制在50 dB以下,如此便能避免对缓冲区水生生物栖息造成干扰。

(2)零泄漏以及防腐效果:底轴穿墙零泄漏这项技术成功实现,在运行的阶段当中没有出现任何泄漏的情况,保障了缓冲区水体的清洁,采用牺牲阳极保护以及多层防腐工艺,经过1年的试运行之后,门体没有出现任何腐蚀的痕迹,外观保持整洁,符合景观方面的需求。

(3)智能化与景观效果方面,水位自动跟踪监控技术可达成人工瀑布景观的稳定呈现效果,它可以依据游客数量以及景观需求对溢流高度进行调整,太阳能驱动系统达成了无人值守运行,其运行稳定性达到了99.8%,并且不需要外接电源,可适配偏远缓冲区的工况。

(4)长效运行效果:特制的自润滑轴承在运行过程中表现良好,可顺畅运转,没有出现磨损情况,也没有发生故障,达成了免维护的目标,液压系统可以持续运行24 h,运行时温度升高被控制在30℃以内,不存在漏油现象,也没有出现故障,为工程的长效稳定运行提供了保障。

3.3 工程应用价值

此工程试运行长达1年时间,期间钢坝闸运行状况稳定,各项性能指标均契合设计要求,它达成了枯水期蓄水以保护生态、汛期泄洪以保障安全的核心功能,还借助门顶溢流塑造出特色景观,提高了生态缓冲区的观赏价值,周边生态环境得以改善,水生生物多样性较大提高。

该实例有力地证实了所研发的创新型液压钢坝闸在生态缓冲区景观工程里有实用性以及创新性,其7项核心创新技术可直接推广应用到长三角地区类似的生态缓冲区、湿地公园、景观河道等工程之中,为区域生态水利工程的设计以及施工提供可靠的技术支持和工程示范,呈现出本研究成果拥有工程指导性和推广应用价值,让生态缓冲区景观水利工程的技术体系得以完善。

4 结语与展望

4.1 结语

传统拦河坝用于生态缓冲区景观工程时存在不少问题,结合长三角某生态缓冲区生态保护和景观营造两方面需求,研发出一种适配宽水面、大水头工况的创新型景观液压钢坝闸,该钢坝闸有7项核心技术创新,解决了传统钢坝闸耐磨性不够、有泄漏情况、能耗高、景观可控性欠佳等技术难题,提高了创新价值和工程指导性。

工程实践已经证明,这种创新型的液压钢坝闸有多种特性,包括生态适配性、景观观赏性、智能高效性以及长效稳定性,其可以契合水利调控方面的核心需求,还可以契合生态缓冲区景观营造的要求,其运行时能耗较低,维护成本也不高,并且对生态环境较为友好,在长三角地区的某生态缓冲区投入使用后,取得了良好的应用效果,为长三角地区某生态缓冲区的景观水利工程提供了可靠的技术参照以及工程范例。

研究成果有效提高了液压钢坝闸的核心技术水平,丰富了生态缓冲区水利景观工程的设计理念以及技术途径,契合长三角地区生态城市与智慧城市建设的趋向,拥有较高的研究价值、工程指导意义以及推广应用价值。

4.2 展望

在未来,会依据本地区不同类型生态缓冲区,像滨江、滨河以及湿地公园等的工况差异情况,对液压钢坝闸的创新技术做优化,重点会去研发智能化升级以及生态适配性优化方面的技术,以此达成景观效果与生态保护更好的耦合,会强化创新技术的标准化以及规范化研究,促使其在长三角以及全国同类生态缓冲区景观水利工程里得到广泛应用,为区域水生态治理与景观营造提供更为有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 张春明.曹村一号闸除险加固工程设计研究[J].东北水利水电,2023(2):3-5.
- [2] 崔坤明,赵相航,王青.大跨度底轴驱动式钢坝闸闸室结构优化设计[J].中国水运,2024(3):91-93.
- [3] 刘草原,陈能成.大跨度钢坝闸在水景观中的利用和探讨[J].中国水运,2023(4):111-113.
- [4] 李兴彩,王国花.钢坝闸的比选及在工程中的应用[J].云南水力发电,39(7):115-118.
- [5] 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

(下转第404页)