隐藏式闸门系统研发与长效运维

耿　昕[1]　朱方超[2]
1. 河南省水利勘测设计研究有限公司　河南　郑州　450016
2. 黄河水电工程建设有限公司　河南　郑州　450016

摘　要：随着城市河道治理对景观品质要求的不断提升，隐藏式闸门因其“宽、透”的景观效果和良好的生态兼容性，在城市中心区水闸工程中得到了日益广泛的应用。然而，隐藏式闸门的水下关键部件（如支铰、底轴等）检修维护困难、门前易淤积、液压设备运行维护要求高等问题，已成为制约该类型闸门长效安全运行的核心痛点。本报告以漯河市澧河退水闸工程为依托，系统开展了隐藏式闸门系统研发与长效运维的研究。研究首先对钢坝闸（底轴驱动翻板门）、平板闸、卧倒门三种方案进行了系统的适用性、水力特性及生态效果对比分析；继而深入剖析了隐藏式闸门水下支铰、底轴等关键部件的检修维护难题；在此基础上，对“免围堰”或“微扰动”检修维护成套技术与装备进行了研究探讨。

关键词：隐藏式闸门；卧倒门；长效运维；免围堰技术；澧河退水闸

引言

城市化进程的不断深入和居民对滨水环境品质要求的持续提升，城市河道水闸工程已从单一的水利功能设施向兼具防洪排涝、生态景观、休闲通航等复合功能的城市公共基础设施转变[1]。在这一背景下，传统的水闸闸型——如直升式平板闸门、常规弧形闸门等——因其启闭机房跨河布置、门体悬于河道上方等特征，对城市河道景观产生了不可忽视的负面影响。隐藏式闸门应运而生，然而，隐藏式闸门在带来景观效益的同时，也带来了新的技术挑战。在此背景下，漯河市澧河退水闸工程为隐藏式闸门系统研发与长效运维提供了典型的研究样本。

1 研究对象与意义

本报告以漯河市澧河退水闸工程为依托，系统研究隐藏式闸门系统研发与长效运维的关键技术问题。澧河退水闸为开敞式水闸，共5孔，单孔净宽12m，设计流量500m^3/s，属Ⅲ等工程，规模为中型，主要建筑物工程级别为2级。

本研究的意义在于：（1）理论层面，系统比较钢坝闸、平板闸、卧倒门等隐藏式闸门方案的适用性、水力特性及生态效果，建立方案比选的方法论框架；（2）技术层面，聚焦隐藏式闸门水下关键部件的检修维护难题，探索“免围堰”或“微扰动”检修维护成套技术与装备的研发路径；（3）实践层面，为城市中心区高景观要求河道的水闸工程提供可借鉴的闸型选择与运维管理经验。

2 隐藏式闸门方案比选

2.1 方案一：钢坝闸方案

钢坝闸，又称底轴驱动翻板闸门，是一种新型可调控溢流闸门，主要由支承支铰、旋转底横轴及驱动拐臂、穿墙装置、门叶结构、水封装置、驱动装置（液压启闭机）、锁定装置等组成。钢坝闸能通过升起闸门蓄水、放倒闸门行洪，挡水时可调节开启角度以调节水位，闸门门顶可溢流过水，形成瀑布景观。

本工程方案中，新建澧河退水闸采用钢坝闸型式，布置于新建人民路澧河桥下游侧3m处。闸室控制段采用钢坝闸结构，共3跨，跨度依次为10.6m、42.4m、10.6m，总宽87.60m。两侧边墩下部设置输水管，用于老澧河侧放空。为减小钢坝闸挡水高度，控制段采用局部空箱抬高至56.00m，闸门平卧时可满足500m^3/s过流要求。丁湾桥拆除后原位重建，采用35m+50m+35m组合跨径，顺接两侧道路。

该方案的优点是：闸室及桥梁跨度大，景观效果好；可以控制闸门开度，满足不同水位需求；上部无需设置闸房；桥梁无需抬高，两侧衔接平顺。缺点是：门前易造成淤积；液压启闭机双缸不同步时，造成门叶扭曲变形，存在一定的安全隐患；液压设备运行维护要求较高；上部油压管路需跨河布置，不宜通航，堰顶高程较高，门体平卧时水深较浅；投资较高。

2.2 方案二：平板闸方案

平板闸是传统的水闸闸型，技术成熟，运行安全可靠。本工程方案中，新建澧河退水闸采用平板闸型式，考虑施工空间、闸室渗透稳定、景观距离等因素，布置于新建人民路澧河桥下游侧10m处。闸室控制段采用开敞

式平底板结构，共4孔，中间两孔中孔单孔净宽12m，仅设上扉门，底板采用空箱抬高至56.00m高程，非汛期上扉门提起，可通行小型游船；两侧边孔单孔净宽10m，设上、下扉门，下扉门常年关闭，可维持老澧河河道水位在56.00m左右，开启下扉门可放空河道；同时提起中孔上扉门及边孔上、下扉门过流，可满足过闸流量500m^3/s的要求。丁湾桥拆除后原位重建，采用30m+30m+30m组合跨径，顺接两侧道路。

该方案的优点是：平板闸门运行安全可靠，闸门可双向挡水，动水启闭，也可局部开启，技术最成熟，操作简单；后期运行维护安全系数高；投资相对较低。缺点是：需设置跨河启闭机房，景观效果受影响；中孔可通行游船，但通航水位较高且闸门位于墩顶；上、下扉门挡水，闸门及启闭设备多，运行管理相对复杂。

2.3 方案三：卧倒门方案

卧倒门是一种向下游倾倒的闸门型式，闸门完全开启后平卧于闸底，不占用河道上方空间。本工程方案中，新建澧河退水闸采用卧倒门型式，与新建人民路澧河桥下游相邻布置。闸室控制段采用开敞式结构，共5孔，单孔净宽12m，工作闸门采用卧倒门，卧倒门处堰顶高程55.00m。丁湾桥拆除后原位重建，采用30m+45m+30m组合跨径，顺接两侧道路。

该方案的优点是：启闭机房布置于两岸，无跨河建筑物，景观效果好；闸门卧倒时可通行游船，通航水位较低，相对安全。缺点是：闸前易造成淤积，液压设备运行维护要求较高。

2.4 三方案综合对比

综上所述，方案一的钢坝闸虽然景观效果好，但投资偏高，通航水位要求较高，同时后期运行维护较复杂；方案二的平板闸技术成熟，运行稳定，但闸门较多后期调度运行较复杂，需设置跨河启闭机房，通航时闸门位于墩顶，景观效果受影响；方案三的卧倒门无需设置跨河启闭机房，水面开阔，景观效果好，平卧时可通行游船，但闸前易造成淤堵；从工程投资来看，方案一明显高于方案二及方案三，方案二投资最低，但与方案三投资相差不大。本工程位于漯河市市区中心，对景观效果有着较高要求，综合考虑本阶段推荐采用方案三，即卧倒门方案。具体对比如表1所示。

表1 方案对比特性表

方案		钢坝闸	平板闸	卧倒门
对防洪的影响		闸门跨度较大，液压机双缸不同步时，闸门受扭，影响河道防洪。	部分坝体挡水，闸室相对较窄，平板门安全可靠	闸门支铰不能布置于水下，闸门不可控泄。
对结构的要求		对承载力要求高，需增加基础处理，闸桥基础分离，相对简单。	上、下扉门挡水，闸门及启闭设备多，运行管理相对复杂；基础处理稍复杂	对承载力要求高，需增加基础处理，闸桥基础分离，相对简单。
检修维护		运行维护要求高。	设置检修桥，较便捷	运行维护要求较高。
与周边景观协调		闸孔跨度大，可控泄，水面开阔连续，景观效果好。	束窄河床，水面小；	闸孔跨度大，水面开阔连续，景观效果好。
通航需求		通航水位较高，存在安全隐患	通航水位较高，闸门位于墩顶	通航水位较低
工程投资	桥	3650万元	3100万元	3330万元
	闸	16900万元	13420万元	14242万元
	合计	20550万元	16520万元	17572万元

3 隐藏式闸门生态效果分析

3.1 景观效果

隐藏式闸门的核心生态效益体现在景观效果上。底轴驱动翻板闸门具有不缩小水面宽度、水位调控灵活、上部空间完整等优点，有利于建筑风格和整体外观的打造。钢坝闸闸门门顶可溢流过水，形成人工瀑布的景观效果。卧倒门启闭机房布置于两岸，无跨河建筑物，水面开阔[2]。

本工程中，卧倒门方案无需设置跨河启闭机房，水面开阔，景观效果好。对于位于漯河市市区中心的澧河退水闸而言，这一景观效果的优势是方案最终选定的关键因素之一。

3.2 通航与生态连通性

隐藏式闸门在通航和生态连通性方面也具有显著优势。闸门卧倒时可通行游船，非汛期闸门开启保持水体流动，有利于维持河道生态系统的连通性。卧倒门通航水位较低，相对安全。相比之下，钢坝闸因上部油压管路需跨河布置，不宜通航；平板闸虽可通行游船，但通航水位较高且闸门位于墩顶[3]。

从生态连通性的角度来看，卧倒门方案在维持河道纵向连通性方面具有最佳表现—— 闸门全开时平卧于闸底，几乎不形成阻隔，有利于鱼类洄游和水生生物的自

由迁移。

3.3 生态效果综合评价

生态效果综合评价，具体如表2所示。

表2 生态效果综合评价对比表

序号	评价维度	钢坝闸	平板闸	卧倒门
1	水面开阔度	好	一般	好
2	上部空间完整性	好	差（需跨河启闭机房	好
3	通航条件	不宜通航	可通航（水位较高）	可通航（水位较低）
4	生态连通性	一般	一般	好
5	景观协调性	好	较差	好

4 隐藏式闸门长效运维关键技术

4.1 “免围堰”或“微扰动”检修维护成套技术与装备

（1）浮式检修闸门。浮式检修闸门是一种无需设置围堰的检修装备。该技术包括整体浮塞式检修闸门和组合浮塞式检修闸门两种实施方式，主要由浮塞门、潜水泵、压重、支撑悬臂等组成。浮式检修闸门利用浮力原理，通过充泄水装置控制浮箱的上浮与下沉，实现检修闸门的安装与拆除。该技术无需设置围堰来创造旱地施工条件，不受水库运行条件限制，无需导流，无需弃水施工，在节约工期的同时也大幅度降低了工程造价。

（2）吸附式水下空间站。针对大型输水渠道非停水维修施工要求，已有研究团队基于水动力学原理与真空吸附原理，将露天围堰模式转换成半封闭的水下贴壁空间模式。该设备在待修复渠道边坡上建立“吸附式水下空间站”，同时满足不影响过流能力的要求。这一技术思路为隐藏式闸门水下部件的“微扰动”检修提供了新的可能性[4]。

（3）便携式水闸检修围堰装置。北京市京密引水管理处研发了一种便携式水闸检修金属可调节围堰装置，该装置主要包括拦水板气动伸缩固定装置、可调节拦水板、固定承力可调节支杆和气动控制单元。该装置结构轻便、可快速拆装，适用于中小型水闸的快速检修。

（4）水下施工技术。遥田水电站拦河坝工程采用潜水员水下施工方式新建检修门槽，无需设置围堰来创造旱地施工条件。该工程为首例通过水下施工的方式新建门槽的项目，为同类工程提供了重要借鉴。

4.2 隐藏式闸门运维技术体系构建

基于上述分析，隐藏式闸门的长效运维需要构建系统性的技术体系，主要包括以下几个层面：

（1）设计阶段的可维护性设计。在闸门设计阶段，应充分考虑水下关键部件的可检修性。具体措施包括：预设检修廊道和支铰安装拆卸腔室；采用可拆卸支铰结构设计；合理设置防淹门实现干湿隔离。

（2）运行阶段的监测与预警。对闸门关键部位实现实时在线监测意义重大。应建立支铰、底轴等水下关键部件的状态监测系统，通过振动、温度、位移等参数的实时采集与分析，实现故障的早期预警。

（3）检修阶段的“免围堰”技术装备。针对不同的检修场景，选择合适的“免围堰”或“微扰动”检修技术装备：对于大型检修，可采用浮式检修闸门；对于局部检修，可采用便携式可调节围堰装置；对于特殊场景，可考虑水下施工方式。

（4）防淤积措施。针对卧倒门和钢坝闸门前易淤积的问题，应采取综合防淤措施，包括：优化闸门运行调度方式、设置冲淤系统、定期进行水下清淤等。

5 结论

本项研究以漯河市澧河退水闸工程为依托，系统开展了隐藏式闸门系统研发与长效运维的研究，卧倒门是城市中心区高景观要求水闸工程的优选闸型。隐藏式闸门的水力特性具有显著的流固耦合特征，“免围堰”检修技术装备为隐藏式闸门运维提供了可行的技术支撑。浮式检修闸门、吸附式水下空间站、便携式可调节围堰装置等创新技术，为无需设置围堰的“免围堰”或“微扰动”检修提供了多样化的技术选择，可有效降低检修工程造价、缩短施工周期。隐藏式闸门长效运维需要构建系统性技术体系，从设计阶段的可维护性设计、运行阶段的监测与预警、检修阶段的“免围堰”技术装备、防淤积措施等多个层面，构建覆盖闸门全生命周期的运维技术体系。

本项研究完成了从方案比选到关键技术攻关的完整研究链条，研究成果可为城市中心区高景观要求河道的水闸工程提供闸型选择与运维管理的技术参考。

参考文献

[1].丁超龙, 丁睿玥. 一种隧道隐藏式防水自动控制闸门及设置方法: CN113622999A[P]. 2021-09-15.

[2].徐强, 徐梦燕, 翁发根. 新型防洪墙隐藏式闸门的有限元分析[J]. 海河水利, 2025(10).

[3].黎明, 赵明, 蒋彬卿, 等. 尼日河智能闸门控制系统的设计研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2024, 22(6): 122-125.

[4].严根华. 水工闸门流激振动强振危害与防治措施研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2026, 24(1): 1-13.