

水利工程中装配式闸门技术应用

张钟天¹ 缪宏伟² 方 雨³

1. 镇江市水利建筑工程有限公司 江苏 镇江 212100

2. 徐州市水利工程建设有限公司 江苏 徐州 221000

3. 江苏江博建设有限公司 江苏 南京 211500

摘 要：本文系统梳理装配式闸门作为模块化装配式水利核心结构的技术内涵，从施工精度、建设效率、绿色施工三个维度明确其相较于传统整体式闸门的应用优势，覆盖模块化设计、工厂预制养护、现场装配防渗全流程关键施工技术，深入剖析当前技术落地中存在的模块适配性不足、装配精度管控薄弱、运维体系不完善等现实痛点，提出覆盖设计、施工、运维全链条的针对性优化路径，可为中小型水利工程中装配式闸门的标准化推广应用提供完整的技术参考。

关键词：水利工程；装配式闸门；技术应用

引言：传统整体式闸门长期依赖现场浇筑、焊接作业，受自然环境、人工操作、工序衔接等多重因素制约，普遍存在施工周期长、质量离散性大、现场污染突出等行业短板，已难以适配新时期水利工程高效建设、绿色低碳的发展要求。近年来，随着装配式水利技术体系的逐步成熟，装配式闸门凭借工业化预制、干式装配的技术特性，在灌区改造、河道治理、农村饮水安全等工程场景中快速推广。本文围绕该技术的核心逻辑、应用优势、施工要点与优化方案展开系统性论述，为技术规模化落地提供实操层面的技术支撑。

1 装配式闸门核心概述

装配式闸门是模块化装配式水利结构体系的核心组成部分，区别于传统现场焊接浇筑成型的整体式闸门，其核心设计逻辑是将门体、止水构件、支撑行走构件、连接固定构件等核心部件拆分为独立的标准化功能模块，所有模块均在工厂内通过标准化流水线完成预制生产，经出厂专项质量检测合格后，运输至项目施工现场，依托螺栓紧固连接、榫卯定位拼接、密封件精准对接等干式装配工艺完成现场组合，最终形成具备完整挡水调控能力的水工结构。（1）相较于传统整体式闸门，装配式闸门的核心技术特征集中体现为构件标准化、生产工业化、施工装配化、结构模块化四个维度，从生产源头到现场安装全流程减少现场湿作业与非标加工环节，大幅压缩施工周期。当前国内水利工程领域规模化应用的装配式闸门主要分为钢结构装配式闸门与钢筋混凝土装配式闸门两大技术体系，两类产品均严格遵循模块化设

计基本原则，在方案设计阶段，就结合工程实际的设计水位、承压水头、孔口跨度、运行频次等核心参数，对单个模块的外形尺寸、结构厚度、连接节点形式进行针对性适配优化。（2）其核心设计思路是将整体闸门的受力体系拆分为多个独立的标准受力单元，在保障单个模块结构形式简单、工业化生产难度低、陆路及水路运输便捷的前提下，通过拼接节点的密封构造设计与受力验算，确保多模块组合完成后，整体结构的拼接密封性、接缝抗渗性、整体结构抗压性均满足现行行业规范要求，完全适配水利工程中挡水、控水、调水的核心功能需求，同时可有效降低后期运维阶段的部件更换与维护成本^[1]。

2 装配式闸门技术应用核心优势

2.1 提升结构施工精度与质量稳定性

传统闸门现场施工受场地平整度、天气变化、人工操作误差等因素影响，极易出现构件尺寸偏差、混凝土密实度不均、焊接变形、止水结构错位等质量问题，且现场质量管控难度较大。装配式闸门所有核心构件均在工厂标准化车间生产，依托专业模具、自动化加工设备、标准化生产流程完成预制，构件尺寸、结构强度、平整度等核心参数可实现精准把控。同时，工厂可对预制构件进行统一养护、质量检测，剔除不合格构件，从源头保障闸门构件的质量统一性。现场仅进行装配拼接作业，无现场浇筑、现场焊接等易产生误差的工序，大幅降低人为施工偏差，有效提升闸门整体结构精度与质量稳定性，保障闸门运行过程中的止水效果与结构安全。

2.2 缩短施工周期,提升施工效率

传统闸门施工需依次完成现场支模、钢筋绑扎、混凝土浇筑、长时间养护、结构成型、配件安装等多道工序,各工序衔接紧密且等待周期长,整体施工耗时久,且雨季、低温等恶劣天气会直接中断施工,进一步延长工期。装配式闸门采用工厂预制与现场基础施工同步开展的并行施工模式,在施工现场进行基坑处理、基础浇筑的同时,工厂同步完成闸门构件的预制生产,大幅压缩整体施工时长。构件运输至现场后,仅需完成吊装、拼接、密封、固定等简易工序即可完成安装,无需长时间养护,施工流程高度简化,受自然环境影响极小,能够显著提升水利工程闸门施工效率,保障工程整体施工进度^[2]。

2.3 降低施工损耗,实现绿色施工

传统现场施工模式原材料损耗量大,模板、钢筋、辅料等材料浪费现象普遍,且现场浇筑、焊接作业会产生粉尘、废料、噪音等污染,施工建筑垃圾产量大。装配式闸门的工厂标准化预制模式可精准核算原材料用量,统一配料、集中生产,大幅降低材料损耗率,避免现场材料浪费问题。同时,施工现场无大规模浇筑、切割、焊接作业,施工粉尘、建筑垃圾、施工噪音显著减少,有效改善施工现场环境,契合水利工程绿色施工的建设要求。此外,装配式闸门的标准化模块构件可实现重复利用,部分可拆卸模块在工程改造、维修时可二次使用,进一步降低工程建设成本与资源消耗^[3]。

3 装配式闸门关键施工应用技术

3.1 模块化拆分与标准化设计技术

模块化拆分与标准化设计是装配式闸门全流程施工的前置核心技术,其技术输出质量直接决定后续预制加工、转运吊装、现场装配的整体实施效果。在闸门方案设计阶段,需结合水利工程实际的过水断面尺寸、设计承压水头、长期运行荷载、配套启闭设备形式等核心边界参数,对闸门整体结构体系进行科学拆分,严格遵循“受力均衡、尺寸适配、运输便捷、装配简单”的拆分原则,将门体结构划分为若干规格统一、受力独立的标准模块。拆分实施过程中需主动规避结构薄弱受力截面,保证单个模块的结构承载力满足转运、吊装、临时搁置全流程的独立临时受力要求,同时对所有模块的连接接口尺寸、连接面形制进行统一标准化设定,保障不同批次生产的模块之间可实现无差别的精准对接。此外,需针对止水密封、接缝防渗、主体承重等核心运行功能,完成密封卡槽、连接螺栓孔、支撑定位结构的标

准化专项设计,同步完成接口公差匹配验算,从设计源头层面消除装配误差隐患,保障装配式闸门的现场装配精度与长期运行性能,相关设计成果需同步满足现行水利行业闸门设计规范的强制条款要求^[4]。

3.2 工厂预制与构件养护技术

工厂预制与构件养护是保障装配式闸门成品质量稳定性的核心管控环节。钢结构装配式闸门需依托自动化数控切割、精准折弯、定型焊接设备完成全流程加工,严格管控构件面板平面度、边梁垂直度、对接焊缝形位公差等核心指标,加工完成后执行整体喷砂除锈工序,达标后分层涂刷防腐防锈专用涂层,适配不同水环境的腐蚀等级要求,有效提升构件长期耐腐蚀性与服役寿命。钢筋混凝土装配式闸门需采用高强度定型钢模完成封闭浇筑,全过程严格管控混凝土配合比、下料浇筑速度、高频振捣点位布设与振捣时长,从工艺层面规避蜂窝、麻面、空洞、露筋等常见结构缺陷。所有预制构件脱模后,需转入专用恒温恒湿养护车间执行标准化养护流程,根据构件材质类型、车间环境温度动态调整养护周期与养护介质参数,保障构件强度按设计梯度稳步增长。养护工序全部完成后,对构件的几何尺寸精度、结构承载强度、外观完整度、防腐层附着力开展全项性能检测,所有指标满足现行行业规范要求后方可出具出厂合格证明,安排转运至施工现场,从源头杜绝不合格构件进入装配环节。

3.3 现场装配与密封防渗技术

现场装配与密封防渗是装配式闸门工程落地的核心实施环节,其施工管控精度直接决定闸门长期运行的可靠性与稳定性。正式装配作业启动前,需完成现场安装基面找平处理,对闸槽内预埋锚栓、定位构件的空间位置、高程参数逐一复核校准,彻底清理安装区域内的浮渣、杂物与积水,保障安装基础整体平整度、结构强度完全满足装配荷载要求。装配作业实施过程中,采用适配额定吊装荷载的专用设备,按照预先划定的工序顺序完成单块模块的吊装对位,通过高精度测量仪器实时校准模块拼接间隙、立面垂直度与整体水平度,确认对位精度达标后,采用高强度专用连接件完成模块的锁止固定。所有模块拼接作业完成后,集中开展密封防渗专项施工,在模块拼接缝隙、闸门与闸槽的接触界面,按设计要求安装适配规格的止水橡胶、密封垫片,采用专用水工密封胶对剩余微小间隙做填充处理,从构造层面消除渗漏通道。装配全流程同步开展精度校验,实时检测闸门整体平面度、止水构件贴合度、全行程启闭流畅性,确保装配成型的闸门结构稳固、密封严密,各项指

标满足设计挡水运行要求。

4 装配式闸门技术应用现存问题与优化措施

4.1 现存应用问题

(1) 模块适配性不足。现阶段部分装配式闸门标准化模块规格较为单一,针对大跨度、高水压、异形断面的水利工程场景,通用模块无法实现精准适配,需要定制化加工构件,弱化了装配式施工的效率优势。同时,不同生产厂家的模块接口标准不统一,构件兼容性较差,难以实现通用互换。(2) 装配施工精度管控不足。现场装配施工对吊装对位、拼接校准的精细化程度要求较高,施工过程中容易出现模块对位偏差、连接件紧固度不均、密封件安装错位等问题,导致闸门局部渗水、结构受力不均,影响运行稳定性。部分施工人员对装配式施工工艺掌握不足,精细化施工管控不到位,容易遗留施工质量隐患。(3) 后期运维适配性差。装配式闸门模块拼接位置为结构薄弱点,长期受水流冲击、水压荷载、水流侵蚀作用,容易出现密封件老化、连接件松动、拼接缝隙变形等问题。相较于整体式闸门,装配式闸门的拼接部位运维难度更高,且缺乏针对性的精细化运维技术手段,长期运行易出现防渗性能下降、结构稳定性降低等问题^[5]。

4.2 技术优化措施

优化模块标准化与定制化适配体系,结合不同水利工程的实际运行工况,逐步完善装配式闸门的模块规格体系,扩充标准化模块的覆盖尺寸区间与结构类型,全面适配常规河道、灌区、小型枢纽等不同应用场景的通用需求。(1) 针对特殊异形工程结构,采用“标准模块+少量定制模块”的组合设计模式,在不降低整体装配效率的前提下,大幅提升闸门结构对非标准工况的适配能力。同步统一全行业构件接口尺寸、连接紧固方式、密封构造的通用技术标准,提升不同批次、不同项目构件的通用性与互换性,从源头降低后续施工与运维环节的综合成本。(2) 强化现场装配精细化质量管控,建立覆盖装配式闸门装配施工全流程的精度管控体系,正式施工前对作业人员开展专项工艺培训,明确吊装、对位、拼接、密封各环节的执行标准与精度控制阈值。施工过程中采用高精度测量设备实时校准构件空间位置,严格管控连接件紧固扭矩、密封件压缩量等核心参数,杜绝各类装配偏差。全部装配工序完成后,按规范开展静水承压试验、全行程启闭试验等专项质量检测,全面排查

接缝渗水、运行卡滞、结构偏移等质量隐患,保障最终施工质量完全满足设计要求。

4.3 运维技术优化升级

针对装配式闸门拼接部位的结构薄弱特性开展运维技术优化升级,首先聚焦拼接缝这一核心渗漏风险区域优化密封结构设计,采用多材质复合一体成型的密封材料,针对性提升密封件的耐环境老化、耐高速水流冲刷性能,延长整套密封结构的无故障服役寿命。建立完全适配装配式结构特性的模块化运维检修机制,针对拼接缝隙、高强度连接构件、止水结构等关键部位制定量化可执行的专项检修标准,按预设周期开展螺栓扭矩复紧、老化密封件更换、防腐层破损修复等定向运维作业。同时优化故障构件的无损拆卸更换工艺,依托原有标准化装配接口,实现损坏模块、密封配件的原位快速更换,无需对闸门周边结构做大面积破除作业,大幅降低运维作业难度与施工成本,有效提升装配式闸门全生命周期长期运行的稳定性与可靠性。

结束语

随着国内水利工业化转型进程的持续推进,装配式闸门的标准化体系、施工管控规范、运维技术框架将不断完善,其适配复杂工况的能力也将得到显著提升。该技术的全面推广,不仅能系统性破解传统闸门施工的长期行业痛点,更能为水利工程全生命周期降本增效、实现绿色低碳建设提供核心技术抓手。后续随着相关行业标准的统一细化,装配式闸门将在更多中小型水利项目中实现规模化落地,持续助力水利工程建设综合效益稳步提升。

参考文献

- [1] 曹其飞,蔡光耀,张登云.高标准农田水利工程装配式渠道施工技术应用与效益[J].现代工业工程,2026,(6):119-121.
- [2] 徐震.大型水利水电工程中装配式建筑技术应用与质量控制研究[J].中国地名,2026,(6):0169-0171.
- [3] 田鸿芝,王福,郑振磊.灌区农田水利工程闸门自动控制技术研究[J].北方水稻,2026,56(1):31-36.
- [4] 高园.基于水位变化特征的水利工程闸门自动启闭控制方法[J].大众科学,2026,47(3):74-77.
- [5] 刘峰.水利工程中水闸施工工艺要点及施工质控探讨[J].中国科技期刊数据库工业C,2026,(1):059-062