

# 水闸除险加固施工中的关键技术应用分析

张金丽 赵云

内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015400

**【摘要】**：水利工程中的老旧水闸长期运行易产生结构失稳、渗水冲刷、混凝土破损等病害，威胁防洪、输水等功能正常发挥。本文以宿迁市黄河故道续建工程为依托，采用分层回填压实、防渗封堵、消能结构修复、混凝土病害修补等专项施工技术开展除险加固。施工完成后，水闸整体结构强度、防渗与防冲性能全面提升，各类病险隐患彻底消除，水工构筑物运行状态稳定，可为同类水闸加固施工提供实践参考。

**【关键词】**：水闸；除险加固；施工技术；结构修复；防渗防冲

DOI:10.12417/3041-0630.26.09.079

水闸是水利工程的核心水工构筑物，长期受水位变化、水流冲刷、结构老化等因素影响，易滋生多种病险问题，大幅降低工程运行安全性。当下老旧水闸除险改造需求持续增加，针对性应用加固施工技术尤为关键。结合宿迁市黄河故道续建工程实例，探究各类病害对应的专项加固工艺，分析技术应用要点与实际作用，为水闸除险加固施工提供实操依据。

## 1 工程概况

本工程为宿迁市黄河故道续建工程施工1标，地处洋河新区五河分洪道K1+900至K4+600段。项目新开河道1.72km，疏浚河道4.60km，加固堤防2.75km，河道护砌5.44km。主要改建宗墩控制闸，该闸模板支架架设高度6.20m。区域内原有水闸存在渗漏、结构失稳等病害，本次重点开展水闸除险加固施工<sup>[1]</sup>。

## 2 水闸存在的各类病险问题

### 2.1 闸室整体稳定与结构强度不足

闸室包含闸门、闸墩、闸底板、交通桥、工作桥、检修便桥及启闭设备等核心构件，水体水位动态升降、长期工况切换、地质震动作用以及防渗体系持续受力，不断改变结构外部受力条件，致使整体抗滑移、抗倾覆性能无法契合现行技术标准<sup>[2]</sup>。建筑主体常年自然老化，各类结构性病害逐步累积，叠加行业设计规范迭代更新带来的指标提升要求，构件原有力学性能持续衰减，整体承载能力持续下降。

### 2.2 翼墙与岸墙渗水及结构失稳

翼墙与岸墙承担挡土、导水、匀流的基础功能，部分墙体整体布设角度存在偏差，导水区段长度不足，阻水截面偏大，防渗构造设计缺陷逐步凸显，水体顺着结构缝隙持续向内渗透。地下水位、上下游水位反复波动，侧向土体压力与水流荷载不断增加，水平地震作用力持续扰动，配套排水构造流通能力弱化，多重外力共同作用下，墙体内部应力分布失衡，整体

结构逐步出现位移与变形隐患。

### 2.3 防护消能结构破损冲刷严重

部分区段未设置标准消力池，既有消力池开挖深度不足，水流下行阶段无法形成稳定的淹没式水跃，高速水流直接冲击下游河床，造成基面持续性磨损破坏，连带海漫、护坡等附属结构出现冲损、开裂现象。区域内砾石排布疏密不均，水流流经时形成局部紊流，定点侵蚀问题反复出现。护岸垫块凹陷、基底脱空问题频发，排水通道淤堵不通，结构长期受水流淘刷，逐步出现坍塌损毁现象。

### 2.4 混凝土结构及排水设施出现病害

混凝土浇筑结构长期接触水体与外部环境，表层逐步产生深浅不一的贯通及非贯通裂缝，水体沿裂缝渗入结构内部，进一步加剧渗漏问题。外界介质持续作用引发混凝土表层碳化、材质侵蚀，构件密实度与整体性逐步降低。虹吸管道、水平阻尼、垂直支撑等排水组件工况劣化，坝底碎石层与滤层组合体系排布紊乱，排水导渗效率大幅降低，间接加重主体结构病害发展程度。

## 3 水闸除险加固对应的施工技术应用

### 3.1 闸室分层回填压实加固技术

针对闸室稳定与强度不足问题，采用分层回填压实工艺提升结构整体稳定性与承载力。

(1) 土料参数测定与铺料管控：结合现场水头高度、土体性状、自然环境、施工设备类型确定回填土体密度指标，依据现场碾压试验成果划定铺料施工标准。分层回填单层厚度控制在30cm以内，常规铺筑厚度维持在25cm，上下浮动区间控制在5cm。回填土体内部单体土块最大外形尺寸限定为10cm，避免大粒径块体造成层间空隙<sup>[3]</sup>。开展沥青类材料铺筑作业时，铺筑边界超出设计结构表面，单侧预留宽度设置为30cm，铺料完成后借助推土机完成全域表层整平作业。施工区域

布设高程控制杆件，依托杆件精准把控每一层土体铺筑厚度，相邻施工区域保持同步铺筑节奏，保障土层整体厚度均匀一致。见图1。

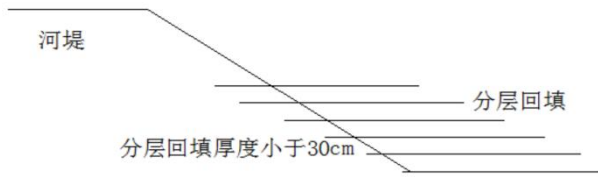


图1 分层加工示意图

(2) 标准化碾压夯实作业：碾压设备行进路线平行于闸室轴线，单次连续碾压作业长度设置为 100 m，相邻作业区域预留标准重叠碾压宽度。推土机执行碾压作业时采用进退错距作业模式，轮迹搭接范围占据单轮宽度三分之一，设备固定选用二档行进速度。机械作业无法覆盖的边角区域，配套小型夯实设备开展补夯作业，夯实工序采用连环套打模式，夯迹搭接宽度不小于单夯直径三分之一。全流程碾压作业严格沿用前期试验确定的作业参数，不更改碾压顺序与作业方式。碾压机械行进路径按照最优碾压力学效果规划布设，作业区域与场外施工道路保持 50 m 以上间距，减少外部环境对碾压作业的干扰。见图2。

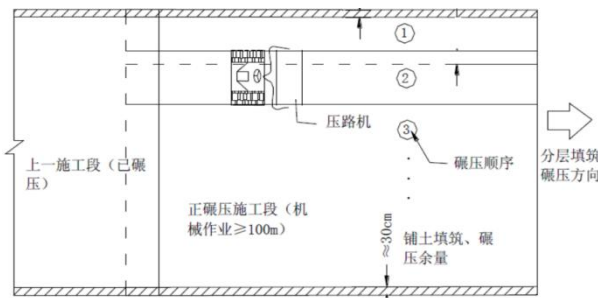


图2 标准化碾压夯实作业示意图

(3) 新旧结构接缝处理技术：新旧填土相接的边坡区域采用台阶开挖方式，提升不同阶段填筑土体相互嵌合效果。整体填筑从底部起步，顺着水平方向层层向上开展，各施工片区维持水平分层状态。填筑面逐步抬升时，修整相接处边坡样貌，把对接缝处土体水分占比，让相接区域土质地均匀并完成整体压实。结构表面接缝走向垂直于主体轴线时，开展跨接缝搭接碾压，搭接宽度执行现场施工规范。分层填筑阶段在各作业片区布设标识杆件，标明层间相接点位，让上下土层相接处连贯完整，规避层间分离问题。

### 3.2 岸墙翼墙防渗与墙体加固技术

针对翼墙岸墙渗水、结构失稳问题，实施防渗处理与墙体加固施工。

(1) 黏土封堵防渗施工：对翼墙、岸墙表层及内部出现的渗水缝隙、渗漏通道做清理，清走缝隙里堆积泥沙、松散土

块与风化残渣，清理深度定为 15 cm，让封堵基面干净紧实。选用质地统一、黏结性能稳定的黏土当作封堵原料，把黏土分层填入渗漏处的缝隙与空洞，单层铺筑厚度定为 20 cm，分层开展夯实作业。填筑顺着渗水扩散方向延展，延展长度定为 80 cm，令黏土填充体完全覆盖渗漏影响范围。填充结束后对表层统一拍压整平，让黏土和墙体结构紧密贴合，借助黏土密实特质阻隔水体下渗，依靠填充体承托墙体薄弱区域，提升墙体局部结构紧实度，从源头遏制渗水问题不断发展。

(2) 排水系统优化改造：拆除岸墙、翼墙区域功能衰退的虹吸管道、水平阻尼件与竖向支撑件，依照原有点位重新安置各类构件，改动管道内部流通截面，保障水流正常通行。翻新重塑坝底原有碎石层，整体铺筑厚度定为 40 cm，碎石颗粒排布连贯有序，碎石层上方加铺滤层结构，两类结构紧密贴合在一起。疏通墙体周边连通式排水通道，清走通道内堆积杂物，拓宽局部窄段通行空间，地下水体、侧向水流可快速向外排出<sup>[4]</sup>。利用改造后的排水系统减少墙体周边积水量，减轻水体长期施加的额外荷载，弱化水位变化带给墙体结构的持续影响，稳住墙体周边水流环境状态。

(3) 墙体基础回填加固技术：清理岸墙与翼墙基础周边浮土、冲刷遗留杂物，修整基础周边作业面，划出规整的回填施工区域。以分层方式开展墙体基础回填，单层回填厚度定为 28 cm，顺着水平层次逐层向上施工。每层土体铺筑完毕，压实设备顺着基础轮廓全域碾压，作业范围向外延展 60 cm，拓宽基础受力覆盖范围。新旧土体相接位置开挖阶梯构造，阶梯高度定为 25 cm，让各填筑层相互嵌合牢固。全部回填工序结束后，整平基础表层，增强墙体基底承载能力，抵消侧向力与震动引发的形变，保持岸墙、翼墙整体形态不变。

### 3.3 防护消能结构修复与防冲施工技术

针对防护消能结构冲刷、破损、坍塌问题，开展结构修复与防冲加固施工。

(1) 消力池修整扩容施工：深挖原有深度不达标的消力池，开挖深度参照水流运行标准统一调至 120 cm，清走池底淤积泥沙与松散碎料，清理深度达到 10 cm，让池体基面坚实平整。未修建消力池的地段依照设计轮廓开挖成型，池体纵向长度定为 1800 cm，横向宽度和上游过水断面保持一致。池体基底整平后铺设硬质垫层，垫层铺筑厚度为 25 cm，垫层表层统一做夯实处理。池壁与池底陆续浇筑刚性防护层，防护层整体厚度控制在 30 cm，池体内部空间适配水流形态转变，水流下行后稳定形成淹没式水跃，耗散高速水流自带的冲击能量，减轻水流对下游构筑物的直接影响。

(2) 河床及护面防冲处理：对下游河床表层受冲刷形成的坑洼区域进行土方回填找平，回填分层厚度设置为 22 cm，

分层完成碾压作业后铺设砾石层,砾石层整体厚度为35 cm,砾石按照统一规格均匀分布,消除局部紊流产生的定点侵蚀条件。对出现开裂、冲毁的海漫结构拆除破损部分,重新进行基底修整后铺设全新结构层,单层结构厚度为28 cm,各层之间紧密贴合形成整体。受损护坡区域剔除松动板块与内部虚土,依托原有结构轮廓重新砌筑防护面层,面层外延尺寸增加45 cm,扩大防护覆盖范围,提升河床与表层护面整体抗水流淘刷能力,保持过水区域表层结构完整连续。

(3) 护岸构件修复加固:撤掉护岸区域凹陷变形的垫块,参照标准规格制作新垫块,单块垫块厚度定为20 cm,把垫块嵌入原有安装点位,让构件和基体紧密贴合。处理基底脱落区域,清理底部悬空部分,填入密实土体后浇筑连接层,连接层厚度为26 cm,加固构件与基体的连接效果。疏通护岸内部排水通道,清运通道内堆积杂物,通道净空保留30 cm,水流可顺利向外排出。修复坍塌破损的护岸段落,自下而上分层填土,单层填土厚度定为24 cm,分层压实后砌筑外侧防护结构,复原护岸整体地貌与结构,抵挡水流常年冲刷和外力干扰。

### 3.4 混凝土结构病害修复与补强技术

针对混凝土裂缝、渗漏、侵蚀、碳化等病害,开展结构修复与补强作业。

(1) 混凝土裂缝封闭处理:顺着裂缝走向剔除表层松动混凝土与附着泥沙,清理宽度统一设为8 cm,深度达到6 cm,裂缝内壁干净规整、无零散碎料<sup>[5]</sup>。沿裂缝走向开凿规则凹槽,槽体深度定为5 cm,打磨平整槽体两侧基面后填入专用密封材料,填料作业全程连贯,顶面与原有混凝土表面齐平。深入结构内部的贯通裂缝采用注浆填充,注浆导管按40 cm间距排布,浆液自裂缝底部向上逐步充盈,填满内部所有空隙。表层填料完工后静置养护,密封材料和原有混凝土紧密结合,阻隔水体渗透路径,阻挡外界物质沿缝隙侵入结构,减缓裂缝进一步延展。

(2) 碳化与侵蚀部位修补:对混凝土表层发生碳化、受水流侵蚀的区域进行彻底凿除,凿除深度设定为7 cm,直至露出内部质地密实的新鲜混凝土基体。凿除完成后使用高压水流冲刷作业面,清除表面粉尘与残留碎料,自然风干至表层无积水状态。按照结构原有外形支设定型模板,向作业区域浇筑高

强度修补混凝土,单次浇筑层厚度控制在22 cm,分层浇筑过程中保持料体均匀分布,同步开展振捣作业消除内部空腔。浇筑完成后对表层进行收光抹平,使修补区域和原有结构外形保持一致,待材料固化后形成完整受力整体,恢复混凝土构件原有的密实度与力学性能,抵御外界水体和有害物质的持续侵蚀。

(3) 整体防渗涂层施工:全面清理混凝土结构外表面的污渍、水垢与风化浮层,整体打磨粗糙基面,保证涂层与基体具备良好结合条件。分多层涂刷防渗防护涂层,单层涂刷厚度设置为1.5 cm,前后两层涂刷间隔时长遵循材料固化要求,每层涂刷范围向外延伸30 cm,扩大防护覆盖区域。涂层顺着结构立面、平面依次均匀涂布,边角、接缝等关键位置增加涂刷遍数,保证涂层无漏涂、无堆积。完整涂层体系成型后,在结构表面形成连续的防护膜层,隔绝水体、空气与混凝土本体的直接接触,减缓碳化反应与水流侵蚀作用,长期维持混凝土结构表层完整性,降低各类病害再次出现的概率。

## 4 加固施工成效

宿迁市黄河故道续建工程完成水闸加固作业后,闸室回填料土体压实标准全部达标,6.20 m高模板支架配套的主体结构抗滑移、抗倾覆能力满足现行规范要求。翼墙与岸墙15 cm深度渗漏缝隙全部封堵完毕,40 cm厚碎石滤层排水功能恢复正常,墙体未再出现渗水与位移现象。改造后消力池深度达到120 cm,可稳定形成淹没式水跃,下游1800 cm长度范围内河床、海漫及护坡不再出现冲刷破损。混凝土结构各类裂缝、碳化及侵蚀区域均完成修复,表层防渗涂层完整覆盖所有构件表面。整套加固施工完成后,宗墩控制闸及沿线20座涵闸、配套泵站、桥梁附属水工结构运行状态稳定,彻底消除原有病险隐患,各项水工构造运行指标均达到设计使用标准。

## 5 结语

结合工程实际工况选用配套加固技术,有效处置了闸室、翼墙、消能设施及混凝土结构的各类病害。各项施工技术落地后,水闸整体稳定性、防渗能力与抗冲刷能力均达到设计标准,水工设施恢复正常使用状态。本次施工形成的成套技术应用经验,能够为区域内同类型老旧水闸除险加固工作提供可靠借鉴。

## 参考文献:

- [1] 皇佳承.水闸加固施工技术在水利工程中的应用[J].中国科技纵横,2026,(6):140-142.
- [2] 韩宝华,陈峰.水利工程中水闸加固施工技术的应用研究[J].价值工程,2025,44(5):149-152.
- [3] 曹学义.堤坝防渗加固施工技术在水利工程中的应用分析[J].科技与创新,2024,(7):176-178.
- [4] 刘国鹏.水闸加固施工技术在水利工程中的应用[J].科技资讯,2024,22(1):110-113.
- [5] 何冠森.浅析水利工程中水闸加固施工技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(30):155-157.