# 沿海环境防洪排涝闸设备病害成因及运维管理对策研究

石伟丰

江苏省盐城市大丰区大丰闸管理所　江苏　盐城　224100

**摘　要：**沿海防洪排涝闸长期服役于高盐雾、强潮汐的恶劣工况，设备易产生结构破损、功能失效等各类病害，严重影响防汛排涝安全。本文系统梳理闸体结构、启闭、止水、电气监测等设备的常见病害类型与分布特征，从自然环境、设计施工、运维管理、技术体系四方面剖析病害核心成因，针对性提出源头优化设计、精细化巡检、分级病害处置、智能运维升级的长效管理对策，为沿海闸站设备运维提质增效提供参考。

**关键词：**沿海环境；防洪排涝闸设备；病害成因；运维管理对策

**引言：**沿海防洪排涝闸是抵御海潮侵袭、排除区域内涝、保障沿海城乡安全的核心水利基础设施。受沿海特殊恶劣环境与长期运行损耗影响，多数闸站设备普遍出现老化破损、性能衰减等问题，病害频发引发防汛排涝隐患。当前行业缺乏适配沿海工况的专项运维体系，传统管理模式难以适配设备长效安全运行需求。基于此，本文探究设备病害成因，优化运维管理对策，助力提升沿海水利工程安全保障能力。

## 1 沿海防洪排涝闸设备常见病害类型及现状分析

### 1.1 沿海防洪排涝闸核心设备组成及运行工况

（1）核心设备组成：沿海防洪排涝闸由主体结构（闸墩、底板、胸墙）、启闭设备（启闭机、钢丝绳、传动部件）、止水设备（止水橡胶、压板、紧固件）、电气控制设备（控制柜、线路、PLC）及监测传感设备（水位计、应力传感器）五大系统构成，协同实现挡潮、排涝及安全监测。（2）运行工况：长期处于高盐雾腐蚀、潮汐往复荷载、风浪动水冲击、干湿交替及海水浸泡等恶劣环境。盐雾加速金属电化学腐蚀，潮汐荷载致疲劳受力，风浪加剧局部损伤，干湿交替与海水浸泡促进混凝土碳化及氯离子侵蚀，多工况耦合持续劣化设备耐久性[1]。

### 1.2 设备结构类病害及现状

（1）混凝土结构病害：闸墩、底板、胸墙等关键构件普遍存在碳化深度超标、氯盐侵蚀剥落、结构性及温度收缩裂缝、蜂窝麻面等病害，伴随钢筋锈胀外露、保护层崩裂等问题。高发部位集中于水位变动区、浪溅区及施工缝处，频发程度与服役年限及潮汐作用强度呈正相关。（2）金属结构病害：闸门钢体、启闭机金属构件及预埋件普遍发生电化学腐蚀与锈蚀变形，动滑轮、钢丝绳及轨道出现不同程度磨损；闸门主梁及焊缝区开裂、连接螺栓松动脱落等现象频发，尤以高潮位淹没区和干湿交替界面最为严重，直接影响结构整体性与承载安全。

### 1.3 设备功能类病害及现状

（1）止水系统病害：止水橡胶普遍存在老化硬化、开裂变形、压板脱落等问题，止水缝隙渗漏严重，闸门挡潮与防渗功能明显下降，部分工程出现闭水失效、潮水倒灌等险情。（2）启闭运行病害：启闭机运行卡顿、升降偏移、启闭速度异常、负荷超标等现象多发，闸门启闭不到位、卡阻倾斜等运行故障频繁，严重影响排涝调度的及时性与可靠性。（3）电气与监测设备病害：电气线路老化短路、控制柜受潮失效、传感器锈蚀断线、数据采集漂移异常、自动控制系统响应滞后等问题突出，导致远程监控失效、安全预警失灵，严重削弱工程智能化管理水平。

### 1.4 病害整体分布特征与危害总结

（1）病害分布特征：呈季节性（梅汛、台风季加速劣化）、区域性（高潮位盐雾影响区集中）及部位性（浪溅区、水位变动区、焊缝热影响区高发）规律。高湿高盐区腐蚀速率成倍增长，潮汐冲击部位破损严重，电气受潮故障集中于梅雨及台风前后。（2）病害核心危害：病害耦合发展致设备效率下降、防洪挡潮能力不足，可引发闸门启闭失灵、止水失效等险情；结构劣化缩短工程寿命，推高运维成本，加剧安全隐患，威胁人民生命财产及可持续发展。

## 2 沿海防洪排涝闸设备病害核心成因分析

2.1 自然环境因素成因

（1）盐蚀腐蚀作用：沿海海水及大气中高浓度氯离子渗入混凝土微孔隙，破坏钢筋钝化膜引发电化学锈蚀，锈蚀产物膨胀致混凝土顺筋开裂、保护层剥落；氯离子同时加速钢闸门、螺杆及预埋件等金属构件的电化学腐蚀，形成大面积锈斑与截面损失，是设备退化的首要环境诱因。（2）潮汐与风浪荷载：潮汐水位周期性升降使闸体承受交变水压力，台风期风浪冲击产生动态荷载，二者耦合致闸门及埋件长期疲劳受力，构件微观损伤累积，焊缝及螺栓连接逐步松动，混凝土裂缝反复扩张贯通，严重削弱结构整体刚度和承载安全裕度。（3）干湿交替与温变影响：沿海昼夜温差与季节性温变显著，水位变动区反复经历浸水湿润与曝晒干燥，产生干缩湿胀循环应力；温差引起热胀冷缩，二者加速混凝土表层酥松粉化、止水橡胶弹性下降与老化开裂，加剧防渗体系失效风险。

2.2 设备自身与施工设计因素成因

（1）设计适配性不足：早期建设的大部分排涝闸对沿海高盐雾、强潮汐、台风频繁等极端工况认识不足，设计标准偏低，在金属材料耐蚀等级、混凝土抗氯离子渗透等级、防腐涂层配套体系、止水系统冗余度等方面先天存在短板，导致设备” 带病服役” 基础薄弱，后期病害频发。（2）施工质量缺陷：施工阶段因质量控制不严，混凝土振捣密实度不足导致内部孔隙率高、防腐涂层厚度不均或附着力差、现场焊接存在气孔夹渣等缺陷、止水橡胶安装位置偏差及压板紧固力不均匀等，使设备投运之初即埋下隐性病害隐患，在恶劣工况下快速暴露并持续恶化[2]。（3）设备自然老化损耗：设备经长期高频次启闭运行，金属材料发生疲劳累积、高分子密封材料分子链断裂老化、电气元件绝缘性能自然衰减，部分设备超期服役，材料力学性能与功能指标持续下降，必然引发功能退化性病害。

2.3 运维管理人为因素成因

（1）日常巡检养护不到位：实际运维中巡检频次不足，巡检路线多集中于地面可见部位，对水下构件、背水侧隐蔽焊缝、电气柜内部接线等关键部位排查缺失；日常防腐补涂、丝杆清洁润滑、螺栓紧固等预防性养护工作执行不到位或流于形式，早期微病害难以及时发现。（2）病害处置不及时：行业内长期存在” 重运行调度、轻维修养护” 倾向，对初期表面锈斑、轻微止水渗漏等看似非紧急病害重视不足，未及时启动修复程序，导致病害持续扩展升级，从局部表层问题演变为结构性、系统性重大安全隐患，维修成本与处置难度大幅攀升。（3）运维标准不健全：当前缺少专门针对沿海高盐蚀特殊环境的排涝闸运维技术标准与操作规程，各地多沿用通用水利设备维护规范，在防腐周期、检测方法、修复工艺等方面缺乏差异化精准依据，运维工作随意性大，维护质量难以保证。

2.4 技术与管理体系因素成因

（1）运维技术水平滞后：当前仍以传统人工目视巡检为主，在线腐蚀监测、超声波无损探伤、光纤应变传感等智能化手段推广应用不足，病害早期识别效率低、定量评估精度差，难以实现” 早发现、早预警、早处置” 的预防性维护目标。（2）管理制度不完善：基层管理单位普遍存在运维责任划分模糊、岗位职责交叉、绩效考核与问责机制缺失等问题；设备技术档案与维修履历管理不规范，历史病害数据积累不足，尚未建立常态化、标准化、全闭环的运维管理体系，管理效能参差不齐。（3）运维人员专业能力不足：一线运维人员多为转岗或兼职，缺乏针对沿海水利设备腐蚀机理识别、防腐材料选用与施工、止水系统精准修复等专项技能培训，专业技术储备薄弱，实操能力难以有效应对复杂工况下多样化病害的诊断与处置需求。

## 3 沿海防洪排涝闸设备长效运维管理优化对策

3.1 优化设备前期设计与改造，从源头防控病害

（1）优化设备材质选型：针对沿海高盐腐蚀环境，闸门钢体优先选用 Q355NH 耐候钢或 316L 不锈钢，预埋件及紧固件采用热喷涂锌铝复合涂层加封闭处理，止水橡胶选用耐盐水、耐臭氧的氯丁橡胶或三元乙丙橡胶，混凝土掺入矿渣微粉及阻锈剂以提升抗氯离子渗透性能，从材料本源层面增强设备抗环境损伤能力。（2）优化结构防腐与防渗设计：完善闸体结构防腐涂层配套体系设计，阴极保护与涂层防护协同作用；防渗设计采用多道止水布置方案，加大止水压板刚度与紧固密度；抗冲击设计增加水位变动区护面厚度与钢筋保护层厚度。对既有老旧设备针对性实施涂层重涂、牺牲阳极加装、止水系统升级等改造，弥补先天设计与施工缺陷[3]。（3）建立沿海设备专属建设标准：结合沿海高盐雾、强潮汐、台风频繁等工况特点，编制《沿海防洪排涝闸设备建设与改造技术标准》，明确防腐等级、材料选型、施工工艺、验收准则等全流程专属要求，从建设源头系统降低病害发生概率。

3.2 构建精细化日常巡检养护体系

（1）制定差异化巡检方案：依据沿海设备病害部位

性分布规律，将浪溅区闸门迎水面、水位变动区混凝土结构、焊缝及螺栓连接部位、电气控制柜内部等划为重点巡检区域，明确每月全面巡检不少于 2 次、台风汛期加密至每周 1 次，细化腐蚀程度、渗漏状态、松动情况等核心检查内容与判定标准。（2）落实常态化专项养护：建立年度防腐翻新计划，每两年对金属结构涂层进行评估补涂；每半年开展止水橡胶弹性检测及压板紧固；每季度实施启闭机润滑调试与丝杆清洁；每月完成电气柜防潮剂更换与接点紧固，形成定时、定标、定责的预防性养护机制，将病害消除在萌芽阶段。（3）建立设备全生命周期台账：开发排涝闸设备电子台账系统，完整记录设备出厂信息、安装调试、历次巡检结果、养护维修内容、改造变更等全流程数据，实现设备状态可追溯、隐患趋势可分析、维修决策有依据。

3.3 完善病害分级处置与修复机制

（1）建立病害分级标准：根据病害类型、破损程度及安全影响，将设备病害划分为三个等级——轻微病害（表面涂层破损、初期锈斑、轻微渗迹，不影响运行安全）、一般病害（混凝土剥落深度 < 30mm、结构裂缝宽度 0.2-0.5mm、止水局部渗漏，功能指标下降）、重大病害（钢筋锈断、结构裂缝超限、止水完全失效、启闭卡阻严重，威胁工程安全），逐一明确量化判定指标[4]。（2）实行分级闭环处置：轻微病害纳入日常养护立即整改并记录备查，一般病害启动维修流程限期 15 日内修复并验收，重大病害立即上报、停机整治并启动应急调度预案，形成” 发现—判定—处置—验收—归档” 全闭环管理链条，杜绝病害扩散升级。（3）优化病害修复工艺：针对沿海高湿高盐环境，裂缝修补采用低压注浆法配合改性环氧树脂灌浆料，混凝土剥落修复使用聚合物水泥砂浆并加涂渗透结晶型防水层，金属锈蚀修复采取喷砂除锈至 Sa2.5 级后实施热喷涂锌铝复合涂层，止水更换采用整体成型橡胶带与不锈钢压板螺栓紧固工艺，确保修复后设备长效稳定运行。

3.4 升级智能化运维与规范化管理体系

（1）搭建智能化监测预警系统：部署多参数腐蚀在线监测传感器、闸门位移与倾斜监测仪、水位潮汐实时采集站及设备运行电流、振动、温度状态监测终端，构建数据采集传输网络与病害识别模型，实现腐蚀速率超限、结构异常变形、运行参数超标等隐患的自动识别与实时预警推送。（2）健全运维管理制度与考核机制：完善岗位职责说明书、巡检作业指导书、隐患整改闭环流程、防汛应急调度预案等管理制度体系，建立运维工作量化考核评分标准，将设备完好率、隐患发现率、整改及时率等指标纳入绩效考核，压实各级运维管理责任[5]。（3）强化运维人员专业培训：每年组织不少于 2 次沿海设备专项培训，内容涵盖腐蚀机理与病害识别、防腐材料选用与施工工艺、智能监测系统操作、突发故障应急处置等，选送技术骨干参加行业资质认证，定期开展技能比武与实战演练，全面提升运维团队专业素质与实操能力。

**结束语**

本文归纳了沿海防洪排涝闸设备的典型病害类型与分布特点，厘清环境侵蚀、建设缺陷、管护缺失、技术滞后等多重致病因素。立足沿海特殊工况，构建从源头防控、日常养护、分级修复到智能管控的全链条运维优化体系，可有效降低设备病害发生率、延缓设备劣化速度、提升工程运行可靠性。研究成果能够有效补齐沿海闸站运维短板，为同类沿海水利设备长效安全运维提供借鉴与支撑。

**参考文献**

[1] 高建伟, 陈宇, 周鹏. 基于贝叶斯网络的沿海水闸闸门运行病害辨识与风险分析 [J]. 中国农村水利水电,2025,25(06):172-177.

[2] 王艳, 李建峰. 滨海环境水闸金属结构锈蚀病害机理及修复技术 [J]. 水利水运工程学报,2023,13(04):90-96.

[3] 陈雪奎. 沿海闸站工程设备运维短板及精细化管理优化 [J]. 水利建设与管理,2024,44(02):78-81.

[4] 刘军, 张铭. 滨海区水闸启闭设备典型故障成因及防控技术 [J]. 水电能源科学,2022,40(09):135-138.

[5] 夏一星. 沿海城市防洪排涝水闸老化病害对运行功能的影响及防控策略 [J]. 工程技术研究,2025,10(15):142-144.