

# 大中型水闸除险加固与安全运行

王保穆 秦 华

连云港市赣榆区通榆河北延送水工程管理所 江苏 连云港 222100

**摘要:** 水闸作为水利工程体系中的关键控制性建筑物,在防洪排涝、灌溉供水、水资源调配、航运及生态调节等方面发挥着不可替代的作用。随着我国水利基础设施建设的持续推进,大量建于20世纪中后期的大中型水闸已进入“老龄化”阶段,普遍存在结构老化、设备陈旧、管理粗放等问题,安全隐患日益突出,严重威胁工程安全与区域经济社会发展。本文系统梳理了大中型水闸常见的病险类型及其成因,深入分析了当前除险加固工程中存在的技术与管理的挑战,并在此基础上,提出了涵盖工程措施、智能监测、制度建设与应急响应于一体的综合除险加固策略。同时,文章着重探讨了构建现代化水闸安全运行管理体系的路径,强调以“安全第一、预防为主、综合治理”为原则,通过技术创新、制度完善和人员素质提升,实现水闸从“被动抢险”向“主动防控”的根本性转变,为保障国家水安全和推动水利高质量发展提供坚实支撑。

**关键词:** 大中型水闸;病险成因;除险加固;安全监测;运行管理;智慧水利

## 引言

在众多水利建筑物中,水闸因其功能的综合性与调控的灵活性,成为江河湖库水系网络中的“咽喉”工程。我国已建成各类水闸近5万座,其中大中型水闸逾千座,构成了世界上规模最为宏大的水闸工程群。这些水闸在历次抗洪抢险、抗旱保供、生态修复等重大行动中功勋卓著。然而,历史的辉煌难掩现实的隐忧。据统计,我国约有40%的大中型水闸建于20世纪50至80年代。受当时历史条件、技术水平、投资规模及设计理念的限制,加之长期超负荷运行、维护投入不足以及极端气候事件频发等多重因素叠加,大量水闸出现了不同程度的病险问题。这些问题不仅削弱了水闸的正常功能,更构成了重大的公共安全风险。一旦发生溃闸事故,后果不堪设想,将对下游人民生命财产、重要基础设施乃至区域生态安全造成毁灭性打击。因此,对大中型病险水闸进行科学、系统的除险加固,并建立长效、可靠的安全运行管理机制,已成为当前水利工作的重中之重。这不仅是消除工程隐患、保障工程自身安全的迫切需要,更是践行“人民至上、生命至上”理念,服务国家重大战略和区域协调发展的必然要求。

## 1 大中型水闸常见病险类型及成因分析

大中型水闸的病险问题成因复杂,往往是设计、施工、材料、运行、环境等多因素长期耦合作用的结果。其主要病险类型可归纳为以下几类:

### 1.1 结构性病险

结构性病险直接威胁水闸的整体稳定性和承载能力,是最为严重的安全隐患。①地基与基础问题:这是水闸

失事的首要原因。包括地基不均匀沉降,导致闸室、翼墙等结构产生裂缝甚至倾斜;基础防渗体系失效(如齿墙破坏、帷幕灌浆老化),引发管涌、流土等渗透破坏;软弱地基承载力不足,在高水位或地震作用下发生失稳。②混凝土结构老化与损伤:长期受水流冲刷、冻融循环、化学侵蚀(如硫酸盐侵蚀、碳化)及钢筋锈蚀膨胀等因素影响,混凝土出现开裂、剥落、露筋、强度降低等现象。特别是水位变动区和水下部位,劣化尤为严重。③金属结构腐蚀与疲劳:闸门、启闭机及其构件长期处于潮湿甚至水下环境,易发生电化学腐蚀。同时,频繁启闭操作导致结构承受交变应力,易产生疲劳裂纹,降低承载能力和使用寿命。

### 1.2 功能性病险

功能性病险主要影响水闸的正常调度和运行效能。①启闭系统故障:启闭机(卷扬式、液压式等)老化、磨损、锈蚀,导致启闭力不足、动作失灵或卡阻。电气控制系统陈旧,自动化水平低,可靠性差,无法满足精准、快速调控的要求<sup>[1]</sup>。②止水系统失效:闸门止水橡皮老化、龟裂、压缩永久变形或安装不当,导致闸门关闭后漏水严重,不仅浪费水资源,更可能因集中渗漏冲刷下游基础,引发新的险情。③消能防冲设施损坏:消力池、海漫、防冲槽等设施因设计标准偏低或长期受高速水流冲刷,出现冲刷破坏、块石松动、结构断裂等问题,削弱了消能效果,威胁下游河床及岸坡稳定。

### 1.3 管理性病险

管理性病险源于制度、人员和技术层面的短板。①安全监测体系缺失或落后:许多老旧水闸缺乏系统、有

效的安全监测设施,或虽有监测但手段原始、数据离散、分析滞后,无法对工程性态进行实时、全面的感知和预警。②运行维护规程不健全:缺乏科学、规范的日常巡查、定期检查、特别检查和维修养护制度,导致小问题积累成大隐患。③管理人员专业素养不足:部分基层管理单位技术力量薄弱,缺乏具备现代水利工程知识和应急处置能力的专业人才。

## 2 大中型水闸除险加固的关键技术与策略

针对上述病险问题,除险加固工作必须坚持“安全、科学、经济、实用”的原则,采取系统性、针对性的综合措施,实现从“治标”到“治本”的转变。

### 2.1 结构加固与修复技术

结构加固与修复是除险加固的核心,旨在恢复和提升水闸的承载能力与整体稳定性。对于地基沉降问题,应根据地质勘察结果,采用高压旋喷桩、水泥土搅拌桩等成熟工法对软弱地基进行加固处理,以控制不均匀沉降。针对渗透破坏风险,必须重建或强化防渗体系,例如在闸基前沿增设混凝土防渗墙,或对原有帷幕进行深层补充灌浆,甚至引入新型高分子防渗材料,以构建一道可靠、持久的防渗屏障。在混凝土结构修复方面,现代材料与工艺提供了有力支撑。对于裂缝,可采用高压化学灌浆技术进行封闭;对于大面积剥落或强度不足的区域,则可运用聚合物改性水泥砂浆进行表面修复,或采用粘贴碳纤维布(CFRP)等先进复合材料进行结构补强,显著提升构件的抗弯、抗剪能力<sup>[2]</sup>。对于金属结构,应坚决淘汰存在严重腐蚀或疲劳损伤的部件,更换为采用高性能防腐涂层(如热喷涂镀锌/铝复合封闭油漆体系)或阴极保护技术的新制构件,并在材料选型上优先考虑不锈钢、耐候钢等耐腐蚀性更优的品种,从根本上延长其服役寿命。

### 2.2 功能提升与现代化改造

除险加固不仅是对病险的修复,更是对水闸功能的全面提升与现代化再造。启闭系统的自动化升级是其中的关键一环。应彻底淘汰技术落后、可靠性差的老旧启闭机,代之以技术先进、运行平稳的新型液压或卷扬式启闭设备,并配套建设基于PLC(可编程逻辑控制器)或DCS(分布式控制系统)的自动化监控系统。该系统不仅能实现远程集中控制和自动启闭,更能集成故障自诊断、运行状态记录等功能,极大提升了调度的精准性和应急响应的时效性<sup>[3]</sup>。在止水系统方面,应摒弃单一的传统橡胶止水,转而采用P型、Ω型等新型复合止水结构,或将橡胶止水与铜止水有机结合,通过优化设计确保其在各种复杂工况下均能保持良好的密封性能,有效杜绝渗漏。

对于消能防冲设施,则需依据最新的水力学模型试验和数值模拟成果,重新进行科学设计,并采用高强度、高韧性、抗冲刷性能优异的材料(如C40以上高性能混凝土、格宾石笼等)进行高标准重建,确保其在遭遇设计乃至超标准洪水时,依然能够有效耗散水流能量,保护下游河床与岸坡的稳定。

### 2.3 构建智慧化安全监测预警体系

如果说结构加固和功能改造是水闸安全的“筋骨”与“血脉”,那么智慧化安全监测预警体系就是其“神经系统”。这是推动除险加固工作向纵深发展、实现本质安全的核心驱动力。应着力构建一个融合“空-天-地”多源信息的立体化监测网络。在工程内部,于闸墩、底板、岸墙等应力与变形关键部位,系统性地埋设渗压计、应变计、钢筋计、测缝计等各类传感器,实时捕捉结构内部的细微变化<sup>[4]</sup>。在工程外部,则利用GNSS(全球导航卫星系统)、静力水准仪等高精度设备,对水闸整体的位移、沉降进行毫米级监测。同时,通过部署高清视频监控、水位计、雨量计等,对水闸外观状态、上下游水情及周边环境进行全天候、无死角的监控。所有这些海量、多维的监测数据,通过物联网技术汇聚至统一的智慧管理云平台。在此基础上,运用大数据分析、机器学习等人工智能算法,构建能够动态评估工程安全状态、精准预测风险发展趋势的智能预警模型。这一闭环系统能够将原始数据转化为有价值的决策信息,真正实现从“被动响应”到“主动防控”的跨越,为水闸的安全运行提供全天候、全时段的智能守护。

## 3 构建现代化水闸安全运行管理体系

除险加固是“治已病”,而建立现代化的安全运行管理体系则是“治未病”,二者相辅相成,共同构筑水闸安全的坚固防线。

### 3.1 健全法规与标准体系

法规与标准是安全管理的基石。当前,亟需加快对《水闸技术管理规程》《水闸安全鉴定办法》等核心法规和技术标准的修订与完善,使其能够充分吸纳现代工程理念与技术成果。新标准应更加明确不同等级水闸在安全管理、检查周期、评价方法、应急响应等方面的差异化、精细化要求,并强化其强制执行力,推动水闸安全管理全面走向法制化、标准化和规范化轨道。

### 3.2 落实安全管理责任制

清晰的责任体系是确保各项安全措施落地生根的关键。必须全面推行并严格落实水利工程安全管理责任制,明确界定水闸管理单位的主体责任与水行政主管部门的监管责任。在管理单位内部,要建立起由“一把手”负

总责、分管领导具体抓、各专业技术岗位人员各司其职、协同联动的责任网络,将安全责任层层分解、压实到每一个岗位、每一个人,形成“人人有责、人人尽责”的安全管理格局。

### 3.3 强化全生命周期管理

安全管理的视野必须超越单纯的运行维护阶段,贯穿于水闸从规划、设计、施工、运行、维护直至最终报废的全生命周期。在运行阶段,尤其要严格执行日常巡查、定期检查(包括年度检查和遭遇极端事件后的特别检查)以及周期性的安全鉴定制度<sup>[4]</sup>。通过这些制度化的检查与评估,动态掌握工程健康状况,对鉴定为三类及以上(病险)的水闸,必须建立台账,明确除险加固的时间表和路线图,确保隐患得到及时、彻底的消除。

### 3.4 提升应急处置能力

再完善的预防体系也无法完全杜绝突发事件的发生,因此强大的应急处置能力是最后一道安全屏障。必须针对水闸可能面临的各类险情(如闸门失控、基础管涌、结构裂缝急剧扩展等)以及超标准洪水等极端情况,制定科学、详尽、具备高度可操作性的应急预案。预案的生命力在于演练,应定期组织不同层级、不同规模的应急演练,检验预案的有效性,磨合应急队伍,熟悉处置流程。同时,要足额储备必要的应急抢险物资和专用设备,并依托专业力量组建一支“召之即来、来之能战、战之能胜”的应急抢险队伍,确保在关键时刻能够迅速、高效地控制险情,最大限度地减少损失。

### 3.5 加强人才队伍建设

一切先进的技术与制度,最终都要依靠人来执行。因此,必须高度重视基层水闸管理单位的人才队伍建设。一方面,要加大人才引进力度,吸引具备水利工程、自动化、信息化等专业背景的高素质人才;另一方面,要建立常态化的培训机制,通过定期的专业培训、技能比武、岗位练兵等方式,持续提升现有管理人员的专业素养、操作技能和应急处置能力。特别是在智慧水利背景下,更要着

力培养一批既精通传统水利工程知识,又掌握现代信息技术的复合型人才,为水闸的现代化、智能化管理提供坚实的人才保障。

## 4 结语

大中型水闸的安全,事关国计民生和长远发展。面对日益严峻的老龄化和安全风险挑战,必须采取系统性、前瞻性的策略。本文认为,未来的水闸安全管理应着力于以下方向:首先,必须坚持“加固”与“管理”并重。除险加固是消除存量风险的关键举措,而现代化的安全运行管理体系则是防范增量风险的根本保障。两者必须协同推进,形成合力,方能构建起坚不可摧的安全防线。其次,应深化“智慧水利”赋能。充分利用物联网、大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术,构建覆盖全域、全要素、全时段的水闸智慧管理平台,实现工程状态的“可知、可感、可控、可预测”,推动水闸安全管理从传统经验型向现代智能型实现历史性跃升。最后,要强化“全生命周期”理念。将安全、耐久、绿色、智能的理念深度融入水闸规划、设计、建设、运行、维护的每一个环节,从根本上提升工程的内在质量和长期服役性能,为国家水网的高质量建设和安全运行奠定坚实而长远的基础。

## 参考文献

- [1]王栋,李征.水闸施工技术及除险加固方案的研究[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一).滨州黄河河务局,2025:1144-1147.
- [2]俞铭琦,徐义桦,陈柳杰,等.水利工程水闸除险加固的优化设计[J].水上安全,2025,(02):1-3.
- [3]武文祥.水闸工程运行期安全隐患排查与管理机制研究[J].城市建筑空间,2025,32(S1):375-376.
- [4]付燕琴.大中型水闸安全运行管理现状及解决对策[J].水上安全,2023,(08):178-180.