

高寒区水闸冻害防护与运行管理

王庆东

新疆维吾尔自治区水利运行调度中心（灌溉排水发展中心）

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6832

[摘要] 本文针对高寒环境下水闸工程面临的冻融破坏问题展开系统研究,探讨了冻害防治技术在水工结构设计、施工工艺优化及日常运维中的实际效能,阐述了冻害防控措施在保障水闸安全运行、延长工程使用寿命、提升防洪抗旱能力方面的重要作用。冻害治理标准的不断完善推动了水闸建设质量的全面提升,科学的防冻技术对水闸功能稳定性的维护,彰显了现代水利工程在极端气候条件下的适应能力。

[关键词] 高寒环境; 水闸工程; 冻融破坏问题

中图分类号: TV66 **文献标识码:** A

Frost damage protection and operation management of sluices in high-cold areas

Qingdong Wang

Xinjiang Uygur Autonomous Region Water Conservancy Operation and Dispatch Center (Irrigation and Drainage Development Center)

[Abstract] This article conducts a systematic study on the freeze-thaw damage issues faced by sluice projects in cold environments. It explores the practical effectiveness of freeze damage prevention and control technologies in hydraulic structure design, construction process optimization, and daily operation and maintenance. It also elaborates on the important role of freeze damage prevention and control measures in ensuring the safe operation of sluices, extending the service life of the projects, and enhancing flood control and drought resistance capabilities. The continuous improvement of freeze damage control standards has promoted the overall improvement of sluice construction quality. Scientific anti-freezing technologies maintain the functional stability of sluices, demonstrating the adaptability of modern hydraulic engineering under extreme climatic conditions.

[Key words] high-cold environment; sluice engineering; freeze-thaw damage problem

引言

在寒冷气候条件下的水利工程建设中,水闸作为水资源调控的关键设施,承担着防洪减灾和灌溉供水的重要使命,成为区域水安全体系的核心组成部分。当然,水闸工程需要应对低温环境带来的特殊挑战和复杂工况,更好地服务于区域经济发展需求,以实现水资源高效利用和工程安全稳定运行。极端气候条件与冻融循环作用,会加剧水闸结构的损伤。随着寒区水利工程标准规范不断完善,冻害防治技术日益成熟,监测预警系统和应急处置机制逐步健全,而水闸设计水平和施工质量在提高,寒冷地区水利设施安全管理体系需要重新构建,其技术标准、管理流程和应急预案,使水闸工程在严寒环境中保持良好运行状态,有效应对冰冻灾害威胁,保障工程长期稳定运行。近年来,冻害监测技术和防护材料研发逐渐深入,水闸运维过程中冻害问题得到系统化治理,使其安全性能显著提升。

1 高寒区水闸冻害问题概述

高寒区水闸冻害是指在极寒气候、冰凌活动、温度骤变等恶劣条件下,是水利工程建设中面临的主要技术难题,也是影响工程安全运行的关键因素。现存有多种冻害类型,包括基础冻胀、闸门卡阻、结构开裂等。工程实践证明,冻害问题普遍存在,危害程度严重,出现结构变形、功能失效等情况,多数工程采取被动应对措施,再进行事后修复,然后实施预防性维护。现阶段,冻害防治技术规范体系已初步建立,并形成了较为完善的防护标准,冻害监测手段大多依赖传统方法。目前,在这一技术领域,新型材料应用被广泛推广,并形成综合防治技术体系,此时冻害防控效果趋于稳定可靠,工程安全系数明显提高,运行效率得到保障。冻害成因分析。温度变化规律、材料性能特性、结构设计参数等。冻害表现形式,有季节性冻胀、冰压力破坏、材料脆化等,表现特征各异。冻害对水闸运行安全的影响,在不同区域

表现各异,程度不一。冻害问题研究,技术手段多样,有理论分析、数值模拟、现场观测等,方法各异,效果显著。

2 冻害防护在水闸运行管理中的作用

2.1 完善工程技术体系

冻害防护技术体系是由多学科理论支撑构建而成,而其技术方案来源于工程实践经验总结。冻害防护不仅是技术措施实施,也是工程安全理念的系统表达,对水闸结构安全维护,合理配置防护资源,更提升了水利工程整体运行可靠性,传递了安全至上的管理理念。新型防护材料以科学的配比设计将传统防护方法进行了创新性改进,成功地解决了冻胀问题,这种技术突破具有显著应用价值。冻害防护措施一般是结构优化和材料改良相结合的技术方案共同完成防护目标,多种技术手段协同应用,也可以采用智能化监测方法,能够实时掌握冻害发展态势,并提供精准的决策支持。在水闸运维管理中,围绕冻害预警机制形成了完整的防护技术体系^[1]。

2.2 传递安全运维理念

冻害防护在水闸管理中具有重要指导意义,也是工程安全运行的基本保障。冻害防护技术在水闸运行管理中的广泛应用,展现了安全管理的重要性,更是运维理念现代化的具体体现。冻害防护在水闸安全评估中是基础性工作或关键环节,监测数据及预警信息等等,传递安全管理理念是确保工程安全运行的核心要素,这对保障公共安全、满足功能需求有着不可替代的价值。例如冻害监测系统可以提前预警潜在风险,也可以指导维护工作有序开展,突出安全运行管理的重要性,如温度监测、变形观测、应力分析、材料检测等等,充分体现冻害防护在技术管理上的实用价值,并且使水闸安全管理体系在实际应用中更加完善。新技术对冻害机理的深入研究,在水闸运行管理中防护效果也得到了显著提升。这种技术进步基于理论创新,使得冻害防护在实际应用中更为有效。

2.3 构建安全运行环境

冻害防护创造了安全可靠的水闸运行环境,水闸功能也因此得到充分发挥,冻害防护对工程安全运行保障也至关重要。冻害防护措施切合工程实际需求。而冻害防护技术体系在水闸工程安全运行中具有明显技术优势。其对冻害监测预警系统的应用,产生了及时有效的防护效果,进而提升管理水平和应急能力,能有效预防和减少冻害带来的不利影响。在技术应用上,不仅有传统方法,也可以采用现代技术,甚至是智能化手段等创新方法。冻害防护在水闸运行中无论作为预防措施还是应急手段,都会有显著的防护效果。冻害监测技术在水闸管理中应用可以提高预警准确率,使得水闸运行安全得到提升。冻害防护使得水闸安全性能不断提升并在工程运行管理中具有重要保障作用。对冻害问题需要采用系统化思维进行综合治理应用多种防护技术,将其融入水闸全生命周期管理中。冻害防护不仅仅是技术措施实施,同时安全管理理念得到贯彻,也体现了水闸运行管理中安全至上的核心价值^[2]。

3 冻害防护技术在水闸运行管理中的应用

3.1 保温隔热技术应用

结合高寒地区气候特点,水闸冻害防护中保温隔热技术是关键措施。保温材料可以有效阻隔温度传递进行热量保持,冻害防护技术在水闸工程已经被应用多年,在冻害防治领域,主要有多种技术方案。这些技术方案又可以细分为不同类型,为不同工程条件提供适用方案,实现针对性防护。由于保温材料可以实现温度稳定控制,所以在水闸基础防护也可以广泛应用。在水闸结构设计中,从材料选择到施工工艺,将保温性能与结构强度进行优化,在水闸运行管理中能够给工程安全提供保障,同时为维护工作提供技术支持。保温材料可以保持结构温度,可以对冻胀变形起到抑制效果,这种防护措施具有显著技术优势。现阶段,保温材料和施工工艺都相对成熟,但是防护效果仍有提升空间,新型材料具有更好性能。冻害防护在水闸工程都会选择适宜的技术方案,以保温材料为主,还可将多种防护措施综合应用,技术方案相对完善,能够满足不同工程需求。通常冻害防护需要根据具体情况制定方案,并结合监测数据,防护效果也更加可靠,尤其冻害监测技术应用比较广泛。比如,在水闸闸墩设计,按照结构特点、功能需求为依据形成复合保温层,将保温材料合理布置,整个防护体系完善,在水闸运行管理中作为重要措施,促使工程安全稳定运行^[3]。

3.2 结构优化设计应用

结构优化设计在水闸工程冻害防护应用效果显著。在设计和施工阶段,其核心是结构合理性,优化设计可以为水闸工程增添安全保障,在寒冷气候背景下,结构设计对冻害防护效果显著,优化设计在水闸安全运行管理中具有重要价值。对于水闸作为重要水利设施来说冻害防护至关重要,水闸在运行管理中利用优化设计作为基础手段,这样能有效提升防护效果。例如,将结构优化设计应用在水闸基础处理中,能够减少冻胀影响,尤其在基础部位,可以将应力分布更加均匀,将冻胀变形也控制在合理范围,有利于工程安全运行。通过优化设计,具有更好的结构适应性,冻害防护措施也会对工程安全和运行效率,将其防护效果最大化。比如,将新型材料作为结构组成部分,可以改善材料性能。为了提高防护效果、延长使用寿命,水闸工程选择利用优化设计方案。通过对结构特性的深入研究利用,最为显著的技术进步就是新型复合结构,而且具有良好的适应性特征。在结构优化设计应用同时,能够提升工程安全性能,同时材料性能并不降低,能够给水闸运行提供可靠保障^[4]。

3.3 监测预警系统应用

在当前水闸工程安全管理中,必须重视冻害监测预警系统在水闸运行管理中的作用,部分水闸工程监测体系尚不完善。为了提升冻害防控水平,需要充分认识监测预警系统的重要性。监测预警系统建设,冻害风险评估受到广泛关注。通过对监测数据的科学分析利用,可以为冻害防护提供决策支持。冻害监测技术发展,冻害预警能力不断提升,对冻害风险评估也越加精准,所以监测预警系统成为安全保障基础,防护措施也逐步成为系统化管理体系。其在水闸安全运行管理中的监测预警起到关键保

障效果,还具有预防作用。冻害监测预警系统最为明显作用在风险识别方面,是温度监测、变形观测等监测手段,冻害预警系统完善。现阶段,监测预警技术趋于成熟应用,结合数据分析技术,促使预警能力充分提升,作为安全管理基础,监测预警系统完善。比如在水闸运行管理进行实时监测。冻害监测预警系统最为显著特点是实时性,虽然系统建设需要投入,但是防护效果显著。冻害监测所能够提供的数据支持,都具有重要参考价值。例如,无论是在基础部位或者是闸门系统等关键部位,可以实施精准监测。通过监测预警系统的全面应用,可以提前发现潜在风险,将冻害影响降到最低,不仅保障工程安全,而且提高运行效率^[5]。

3.4综合防护体系构建

目前,冻害综合防护在水闸安全管理中的应用日益广泛,需要注意防护体系是系统化工程,所以技术集成,其效果显著。冻害防护将多种技术措施有机结合,在水闸运行中科学选择适用技术方案。这种技术集成与系统管理相结合,有利于提升整体防护效果。冻害防护体系在水闸运行中,可以给安全管理提供全面支持,尽可能减少冻害影响。除此之外,冻害监测技术完善,预警机制健全,具有及时有效的防护能力。冻害防护体系作为管理基础,以科学系统化方式构建防护体系。由于冻害成因复杂,所以需要综合防护措施。比如冻害监测设备、预警系统建设等,由于冻害发展规律及影响因素存在多样性,不同防护技术等也具有互补性。在水闸运行管理中,对冻害风险进行全面评估,同时结合工程实际情况,实现精准防护,促使防护效果最优化。对冻害防护体系构建,可以将监测预警、结构优化、材料应用等有机结合。如冻害风险评估分析等,以科学方法来指导实践,在水闸运行管理等环节,体现综合防护体系价值。作为冻害防控系统解决方案,有着技术先进性和管理科学性,既可以预防冻害发生,也可以成为应急处置基础。对冻害防护体系应用,决定了水闸安全运行水平。冻害防护体系在水闸工程安全管理中,通过系统化技术集成,使得防护效果更加可靠。冻害防护体系也建立在科学管理基础上,更好地指导工程实践,保持技术先进性,更好地服务工程需求,凸显安全价值,也为可持续发展提供保障^[6]。

3.5管理机制创新

冻害防护需要建立完善的管理体系,冻害防控需从制度建设为根本保障。冻害防护并不仅仅依靠技术,而是通过改变传统

管理模式,设立专门机构等。冻害防护并非单一措施,而是系统工程、长效机制、科学方法,比如整合技术资源,组织专业团队,深入开展研究,完善防护体系;深化技术应用与管理创新;建立评估机制,不再局限于事后处理,而是预防为主、监测为先、处置及时等综合措施。冻害防护对水闸安全进行系统评估,为工程运行提供全面技术支持,冻害防控可实现技术与管理的有机结合。将管理创新,技术升级;制定应急预案,冻害防控具体措施落实,构建科学管理体系。设置基于风险评估的防护标准,确保防护措施有效实施。冻害防护必须与时俱进,具备技术创新能力^[7]。

4 结语

总之,冻害防护在水闸运行管理中的应用,应注意技术集成与管理创新,在实践中不断优化完善,是水利工程发展的必然趋势。冻害防控技术体系已经形成完整框架。但从工程实际应用角度,冻害防控技术仍需不断完善,冻害问题属于系统性难题,是多因素耦合结果,很多技术细节,冻害防控更需精细化,对水闸安全运行保障具有重要意义。

[参考文献]

- [1]陈新河.水利工程水闸闸墩补强加固及表面防护处理分析[J].黑龙江水利科技,2021,49(06):180-182.
- [2]梁伟强.基于废纸纤维材料的堤防水闸泵设施生态防护结构优化研究[J].华东纸业,2025,55(09):10-12.
- [3]李震,丁华.水闸工程运行维护中信息化监测技术的应用研究[J].产品可靠性报告,2025,(11):51-53.
- [4]彭荣平.水利工程管理中水闸安全运行措施研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(08):214-216.
- [5]林森.水利工程管理中水闸安全运行措施分析[J].水上安全,2025,(03):173-175.
- [6]康健.水利工程运行管理强化提升问题研究及对策建议[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S1):346-349.
- [7]李君,卢慧敏,张理军,等.基于现代化技术的水闸运行管理应用分析[J].水上安全,2024,(03):64-66.

作者简介:

王庆东(1975--),男,汉族,山东人,大学本科,副高级工程师,研究方向:水利工程运行管理。