

渠首工程除险分析及加固补强技术研究

张国强

新疆峻特设计工程有限公司 新疆 喀什 844000

摘 要：渠首工程作为水利系统关键枢纽，长期受复杂环境作用易产生结构裂缝、基础渗漏、金属腐蚀等病害。通过现场检测、数值模拟、原型观测与专家评估等方法，系统剖析病害成因。针对不同病害，提出裂缝处理、基础防渗、金属防腐及结构补强等加固技术。研究成果可为渠首工程安全运行提供科学依据，有效提升工程耐久性与可靠性，对保障水利工程功能发挥及延长使用寿命具有重要意义。

关键词：渠首工程；除险；加固补强；技术

引言

渠首工程是水资源调配与利用的核心设施，其安全稳定运行直接关系区域经济社会发展与生态安全。然而，在长期运行过程中，工程面临自然环境侵蚀、设计施工缺陷及运行管理不当等问题，导致结构裂缝、基础渗漏及金属结构腐蚀等病害频发。这些病害不仅影响工程效益正常发挥，更威胁工程安全。本文基于渠首工程病害现状，系统分析病害类型与成因，研究科学的除险分析及加固补强技术，旨在为渠首工程的安全运行与维护提供技术支撑。

1 渠首工程病害类型及成因分析

1.1 常见病害类型

1.1.1 结构裂缝病害

渠首工程结构裂缝病害表现形式复杂多样，主要包括温度裂缝、干缩裂缝及荷载裂缝。混凝土作为工程主体结构材料的常用材料，其热胀冷缩特性在温度剧烈波动时易引发温度裂缝，尤其在昼夜温差大、季节性温度变化显著区域更为突出。干缩裂缝则源于混凝土硬化过程中水分蒸发，导致体积收缩，若收缩受到约束，便会产生应力集中，进而形成裂缝。荷载裂缝与工程长期承受的水压力、土压力及机械荷载相关，当结构局部应力超过混凝土抗拉强度，裂缝便会萌生并扩展，这些裂缝不仅削弱结构整体性，还为有害物质侵入提供通道，加速结构劣化。

1.1.2 基础渗漏病害

基础渗漏是渠首工程威胁安全运行的重要病害。在地下水丰富且水位变化频繁区域，工程基础长期处于渗透压力作用下，若基础岩土体存在孔隙、裂隙等缺陷，地下水会沿这些通道渗入工程内部。混凝土基础与地基接触面若未处理好，存在施工缝、冷缝等薄弱环节，也会成为渗漏通道。渗漏持续发展，会使地基土力学性能

降低，导致基础沉降、不均匀变形，严重时甚至引发工程整体失稳，影响渠首正常输水功能与结构安全。

1.1.3 金属结构腐蚀病害

渠首工程金属结构如闸门、拦污栅、启闭机等，长期暴露在复杂环境中易发生腐蚀病害。水环境中的溶解氧、电解质与金属表面发生电化学反应，形成电化学腐蚀，氯离子的存在会加速这一过程，破坏金属表面钝化膜，造成点蚀、坑蚀。大气环境中的湿度、污染物也会对金属结构产生腐蚀作用，在潮湿环境下，金属表面形成薄液膜，与空气中二氧化硫、氮氧化物等反应生成腐蚀性介质，加速金属腐蚀。腐蚀使金属结构有效截面减小，强度降低，影响设备正常运行与操作安全性。

1.2 病害成因分析

1.2.1 自然环境因素

自然环境对渠首工程病害产生具有不可忽视影响。极端温度变化使工程材料产生热胀冷缩循环，反复作用导致材料疲劳，引发裂缝。强降雨、洪水等极端水文事件，会增加工程承受的水压力与冲刷力，对结构造成机械损伤。地下水化学性质复杂，含有多种侵蚀性离子，如硫酸根离子、镁离子等，与混凝土中的成分发生化学反应，生成膨胀性物质，导致混凝土膨胀开裂。长期风化作用使岩石地基强度降低，增加基础渗漏与失稳风险，自然环境因素持续作用，加速工程病害发展。

1.2.2 工程设计与施工因素

工程设计与施工环节存在问题是病害产生的内在原因。设计阶段，若对工程地质条件勘察不详细，未能准确掌握地基岩土特性、地下水情况，会导致基础设计不合理，无法满足工程实际受力与防渗要求。结构计算模型与参数选取不当，使结构设计安全储备不足，易出现应力集中与变形过大问题。施工过程中，混凝土配合比设计不合理、搅拌不均匀、振捣不密实，会使混凝土内

部存在蜂窝、孔洞等缺陷,降低结构抗渗与承载能力。金属结构焊接质量差、防腐涂层施工不规范,为腐蚀埋下隐患,这些设计与施工缺陷在工程运行中逐渐显现为各类病害。

1.2.3 运行管理因素

渠首工程运行管理对病害发展影响深远。长期超负荷运行,使工程结构持续承受过大荷载,超出设计承载能力,加速结构老化与病害发展。日常维护保养不到位,未能及时清理金属结构表面污垢、锈蚀物,未对结构裂缝进行有效修补,会使病害不断恶化。工程调度不合理,频繁改变水位、流量,使结构受到反复水压力作用,增加结构疲劳损伤。运行监测体系不完善,无法及时发现病害早期征兆,错过最佳处理时机,导致小病害发展成重大隐患,威胁渠首工程安全稳定运行。

2 渠首工程除险分析方法

2.1 现场检测法

现场检测法依托专业设备与技术手段,对渠首工程实体结构及附属设施进行直观勘查。通过地质雷达、超声波探伤仪等非破损检测设备,可对混凝土结构内部缺陷进行探测,精准定位裂缝深度、空洞范围等隐蔽病害。利用全站仪、水准仪等测量仪器,能够获取建筑物变形数据,分析基础沉降、坝体位移趋势。在金属结构检测中,磁粉探伤与渗透检测技术可有效识别钢材表面及近表面裂纹,涡流检测则对金属材料的腐蚀程度进行量化评估。现场检测需遵循标准化作业流程,对检测点位进行科学布设,结合工程实际情况与历史资料,综合分析检测数据,从而为渠首工程病害诊断提供直接、可靠的依据。不过该方法受环境条件制约较大,复杂地形与恶劣气候会影响检测效率与精度,且部分检测工作存在高空、水下等作业风险,对检测人员的专业技能与安全防护要求较高^[1]。

2.2 数值模拟法

数值模拟法基于计算力学与流体力学理论,构建渠首工程三维数学模型,通过有限元、有限差分等数值计算方法,模拟工程在不同工况下的力学响应与水力特性。针对渠首水闸结构,可模拟水位骤变、地震荷载作用下的应力应变分布,分析结构薄弱部位;对输水渠道进行流场模拟,研究水流速度分布、泥沙淤积规律。数值模型能够整合地质参数、材料属性、边界条件等多源信息,通过参数敏感性分析,探究各因素对工程安全的影响程度。相较于现场试验,数值模拟可灵活设置工况组合,开展极端条件下的安全评估,降低试验成本与周期。数值模拟结果的准确性依赖于模型构建的合理性与

参数取值的可靠性,模型简化与参数选取不当可能导致计算误差,需结合现场检测与原型观测数据进行验证与修正,以提升模拟结果的可信度。

2.3 原型观测法

原型观测法通过在渠首工程关键部位埋设传感器,对工程运行状态进行长期、实时监测。在大坝坝体内部布设渗压计、测斜仪,可连续获取渗流压力与深层位移数据,掌握渗流场变化与坝体稳定性动态;在水闸启闭机、闸门等关键部件安装应力传感器、位移传感器,监测设备运行过程中的力学参数与运动状态。自动化监测系统可实现数据的自动采集、传输与存储,借助数据分析软件,能够绘制参数变化曲线,分析参数随时间、工况的演变规律。原型观测数据具有时效性与连续性特点,可及时捕捉工程细微变化,对潜在安全隐患进行预警。该方法能够真实反映工程实际运行状态,但观测设备的安装与维护要求较高,传感器的精度、耐久性直接影响数据质量,且长期观测数据需进行科学处理与深度挖掘,才能有效指导工程除险决策^[2]。

2.4 专家评估法

专家评估法汇聚水利工程、结构力学、地质水文等多领域专家智慧,基于专家丰富的理论知识与工程实践经验,对渠首工程安全状况进行综合研判。专家通过现场勘查、资料审阅,结合工程设计文件、施工记录、运行监测数据,从专业视角分析工程存在的问题与潜在风险。在评估过程中,采用德尔菲法、层次分析法等科学方法,对工程病害成因、危害程度进行系统分析,量化各风险因素权重,形成客观的评估结论。专家团队可针对复杂疑难问题,开展多轮研讨与论证,提出针对性的除险加固建议与技术方案。该方法充分发挥专家群体优势,能够弥补单一技术方法的局限性,对缺乏历史数据或特殊地质条件下的工程评估具有独特价值。专家评估结果受个人经验与主观判断影响,需通过规范评估流程、扩大专家样本量等方式,提升评估结论的科学性与客观性。

3 渠首工程加固补强技术

3.1 裂缝处理技术

(1) 对于渠首工程结构表面的细微裂缝,常采用表面封闭法进行处理。通过高压空气清理裂缝表面的灰尘、油污等杂质后,使用环氧树脂胶液或丙烯酸酯类密封胶沿裂缝涂刷,形成致密的封闭膜,阻止水分和有害介质侵入,从而防止裂缝进一步扩展。(2) 当裂缝宽度较大且深度较浅时,开槽填充法是有效的处理方式。沿裂缝开凿出U型或V型槽,槽内清理干净后,嵌入具有

高粘结强度和良好柔韧性的填充材料,如改性环氧砂浆或聚硫密封胶,使填充材料与裂缝两侧的混凝土紧密结合,恢复结构的完整性。(3)针对深层裂缝,采用压力灌浆法进行处理。利用灌浆设备将低粘度的环氧树脂灌浆料或水泥基灌浆料以一定压力注入裂缝内部,使其充满裂缝并与混凝土充分粘结,提高结构的承载能力和抗渗性能,有效修复裂缝对结构造成的损伤。

3.2 基础防渗加固技术

(1)高压喷射灌浆技术在基础防渗加固中应用广泛。通过高压喷射设备,将水泥浆液或其他固化浆液以高速喷射到地基土层中,冲击破坏土体结构,同时与土体颗粒混合搅拌,形成具有较高强度和良好防渗性能的凝结体,切断地下水的渗流通道,达到防渗加固的目的。(2)水泥土搅拌桩技术也是常用的基础防渗措施。利用深层搅拌机械,将水泥作为固化剂,与地基土强制搅拌,使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥加固土,形成连续的水泥土搅拌桩墙,有效阻止地下水渗透,同时提高地基的承载能力。(3)帷幕灌浆技术通过在基础中精准钻孔,把水泥浆液或化学浆液注入地层孔隙和裂隙,进而形成连续的防渗帷幕。根据工程地质条件和防渗要求,合理设计灌浆孔的布置、深度和间距,严格控制灌浆压力和浆液配比,确保帷幕的防渗效果和稳定性,保障渠首工程基础的防渗安全^[3]。

3.3 金属结构防腐修复技术

(1)对于金属结构表面的轻微腐蚀,采用表面清理和涂装防护的方法。第一,使用喷砂或抛丸设备去除金属表面的锈层、氧化皮和其他杂质,使金属表面达到一定的粗糙度,增强涂层的附着力。第二,涂装底漆、中间漆和面漆,形成多层防护涂层,隔离金属与腐蚀介质的接触,起到防腐保护作用。(2)当金属结构出现局部腐蚀或破损时,采用补焊和表面修复技术。选用与母材材质相匹配的焊接材料,对腐蚀破损部位进行补焊修复,补焊后对焊缝进行打磨处理,使其表面平整。再对修复部位进行涂装防护,恢复金属结构的完整性和防腐性能。(3)对于大面积腐蚀的金属结构,采用热喷涂技术进行防腐修复。将金属或合金材料加热至熔融状态,通过高速气流将其雾化并喷射到金属结构表面,形成致密的金属涂层,该涂层与基体结合牢固,具有良好的耐

磨性和耐腐蚀性,能有效延长金属结构的使用寿命。

3.4 结构补强技术

(1)粘贴碳纤维布补强技术是在混凝土结构表面粘贴碳纤维布,通过高性能粘结剂将碳纤维布与混凝土牢固粘结,使碳纤维布与原结构共同受力,提高结构的承载能力和延性。粘贴前需对混凝土表面进行打磨、清理,确保表面平整、干燥,同时严格控制粘结剂的涂抹厚度和均匀性,保证碳纤维布与混凝土之间的粘结效果。(2)外包钢加固技术通过在混凝土构件四周外包型钢,并用高强度灌浆料或粘结剂使型钢与混凝土紧密结合,形成整体受力体系。该技术能显著提高构件的承载能力和刚度,尤其适用于梁、柱等构件的加固。施工时需对型钢进行防锈处理,合理设计型钢的规格和连接方式,保证加固效果。(3)预应力加固技术是通过在受弯构件施加体外预应力,改善结构的受力状态,提高结构的承载能力和抗裂性能。采用高强度钢绞线或钢筋作为预应力筋,通过张拉设备施加预应力,将预应力筋锚固在构件两端,利用预应力产生的反弯矩抵消部分荷载效应,从而达到结构补强的目的,施工过程中需精确控制预应力的大小和张拉顺序^[4]。

结语

综上所述,通过对渠首工程病害类型、成因的系统分析,结合现场检测、数值模拟等多种方法开展除险分析,并针对性提出裂缝处理、基础防渗等加固补强技术,为渠首工程安全运行提供了有效解决方案。随着水利工程服役年限增加与环境变化,渠首工程病害防治仍面临新挑战。未来需进一步深化研究,结合新技术、新材料,持续完善渠首工程除险加固技术体系,保障水利工程长期稳定运行。

参考文献

- [1]陈华剑.渠首工程除险分析及加固补强技术研究[J].云南水力发电,2023,39(9):237-241.
- [2]李晓燕.窝巴特渠首工程除险加固方案分析[J].水利技术监督,2023(7):230-232,239.
- [3]赵建国.渠首除险加固方案比选分析[J].农业与技术,2022,42(14):45-48.
- [4]赵玮.洛惠渠渠首加固改造工程设计技术特点[J].陕西水利,2020(9):197-198,201.