

Research on the Detection and Safety Operation Evaluation System of Aging Diseases of Irrigation Area Water Conservancy Facilities

Houze Ya

Guangxi Hechi Haoyu Engineering Consulting Co., Ltd., Hechi, Guangxi, 547000, China

Abstract

Irrigation district water conservancy facilities constitute a fundamental basis for agricultural water allocation and irrigation assurance, and their operational condition is directly related to water supply security, irrigation efficiency, and the sustainable development of agriculture within irrigation districts. With the continuous increase in service life, many irrigation district facilities have exhibited widespread problems such as structural aging, functional degradation, and the accumulation of operational hazards, making traditional experience-based management and single detection methods insufficient to meet the requirements of refined safety operation control. Focusing on the practical needs of aging defect identification and safe operation management of irrigation district water conservancy facilities, this study systematically analyzes the types, characteristics, and formation mechanisms of aging defects in water conveyance and distribution projects as well as canal systems and associated structures, and establishes a defect detection technology system integrating routine inspection and instrument-based monitoring. The results provide systematic technical support for operational risk identification and scientific management of irrigation district water conservancy facilities.

Keywords

irrigation district water conservancy facilities; aging defect detection; safe operation; evaluation index system; comprehensive assessment method

灌区水利设施老化病害检测及安全运行评估体系研究

牙侯泽

广西河池浩宇工程咨询有限公司, 中国·广西河池 547000

摘要

灌区水利设施作为农业水资源配置与灌溉保障的重要基础,其运行状态直接关系到灌区供水安全、灌溉效率及农业可持续发展。随着服役年限的持续增长,部分灌区水利设施普遍出现结构老化、功能退化及运行隐患累积等问题,传统经验式管理和单一检测手段已难以满足安全运行精细化管控需求。本文围绕灌区水利设施老化病害识别与安全运行管理实际,系统梳理灌区输配水工程及渠系建筑物老化病害的类型特征与形成机理,构建以常规巡查与仪器监测相结合的病害检测技术体系,为灌区水利设施运行风险识别与科学管理提供系统化技术支持。

关键词

灌区水利设施;老化病害检测;安全运行;评估指标体系;综合评估方法

1 引言

灌区水利设施是保障农业生产用水、稳定粮食安全与支撑区域经济发展的重要工程基础。受建设年代久远、运行工况复杂及维护投入不足等因素影响,部分灌区设施在长期服役过程中逐渐暴露出结构性性能衰减、渗漏破损加剧及运行稳定性下降等问题,安全风险呈现隐蔽化和累积化特征。当前灌区运行管理中,对设施老化病害的认识多停留在局部经验判断层面,检测手段分散,评估标准缺乏系统性,难以全

面反映设施真实安全状态。随着灌区管理向精细化与规范化转型,对老化病害的系统检测和安全运行评估提出了更高要求,所以有必要从病害形成机理出发,整合多种检测信息,构建科学合理的安全运行评估体系,为灌区水利设施的运行管理、维护决策与风险防控提供可靠依据。

2 灌区水利设施老化病害的类型特征与形成机理

2.1 灌区输配水工程结构老化病害特征

灌区输配水工程在长期运行过程中普遍承受水流冲刷、结构荷载变化及材料性能衰减等多重作用,其老化病害具有渐进性与隐蔽性并存的特征。渠道衬砌结构易出现表层剥

【作者简介】牙侯泽(1986-),男,壮族,本科,中级职称,从事水利评估、水利检测、水利工程技术指导研究。

蚀、裂缝扩展及局部脱空现象,混凝土构件因碳化深度增加、钢筋保护层减薄而导致承载能力下降。部分输水建筑物在长期水位波动条件下产生不均匀沉降,致使结构整体性受损,局部应力集中明显。金属构件受潮湿环境影响,腐蚀速率加快,启闭设备灵敏度下降,运行阻力增大。这类结构老化病害往往不以突发性破坏形式出现,而是在持续服役中逐步累积,对输配水安全和工程耐久性形成长期制约,需要从结构响应变化中加以识别。

2.2 灌区渠系及附属建筑物功能退化表现

灌区渠系及附属建筑物在实际运行中承担着水量调配与运行控制的重要功能,其功能退化主要表现为水力条件恶化与控制能力下降。渠道断面因淤积与边坡坍塌而发生变化,过水能力明显降低,水位调控精度受到影响。量测设施受长期运行磨损和精度漂移影响,计量误差逐步放大,难以准确反映实际供水状况。闸门启闭系统在长期频繁操作下出现机械磨损与传动效率下降,调节响应时间延长。部分附属建筑物防渗性能减弱,渗漏现象加剧,导致水量损失增加。这类功能退化虽不一定直接引发结构失稳,但会持续削弱灌区运行效率,对供水均衡性和调度可靠性产生不利影响。

2.3 运行环境与长期服役条件对病害演化的影响

灌区水利设施所处运行环境对老化病害的演化过程具有显著影响。区域气候条件决定了温湿度变化频率,冻融循环会加速混凝土微裂缝扩展,高温暴晒促使材料内部水分迁移和性能衰减。水质条件中含沙量与化学成分变化,对渠道衬砌表面磨蚀和钢筋腐蚀产生持续作用。长期超设计流量运行使结构处于高应力状态,疲劳效应逐步显现。运行管理中检修周期偏长、养护措施不足,会使初期轻微病害演化为系统性问题。多种环境因素与服役条件相互叠加,推动病害由局部向整体发展,形成复杂的演化路径,对设施安全运行构成长期压力。

3 灌区水利设施老化病害检测技术体系构建

3.1 基于常规巡查的灌区水利设施病害识别方法

常规巡查是灌区水利设施病害识别的基础手段,依托规范化巡查制度对结构外观和运行状态进行持续记录。通过对渠道裂缝宽度、衬砌破损面积、渗漏点数量等指标进行量化统计,可形成年度变化序列。实际巡查中,裂缝宽度超过0.3毫米、单段渠道渗漏点密度达到每百米2处以上时,往往反映结构性能开始明显下降。巡查数据结合运行水位、流量变化记录,可分析病害与运行工况之间的关联性。通过统一巡查表单与数据编码,实现病害信息的标准化存储,为后续分析提供可靠基础,使经验判断逐步向数据支撑转变^[1]。

3.2 基于仪器监测的灌区水利设施病害检测技术

仪器监测技术为灌区老化病害检测提供了量化手段。通过布设位移计、应变计与渗压计,对关键结构部位进行连续监测,可获取结构变形与内部应力变化数据。监测结果表

明,当渠道结构水平位移年变化量超过5毫米,应变值相较于初始状态增加15%以上时,结构安全裕度明显降低。超声检测与回弹检测技术可用于评估混凝土强度衰减程度,检测结果显示,部分老旧渠道衬砌强度下降幅度可达原设计值的20%。水位与流量自动监测系统能够实时反映运行状态,为病害识别提供动态数据支撑。

3.3 多源检测信息在灌区病害识别中的协同应用

多源检测信息协同应用是提升病害识别准确性的关键途径。通过整合巡查记录、仪器监测数据及运行调度信息,可构建完整的病害特征数据库。实际应用中,将裂缝发展速率、位移变化率与流量波动幅度进行关联分析,可识别潜在风险区段。当多项指标同时出现异常波动,如位移增长率超过年均值的1.5倍且渗漏量同步增加10%以上时,病害演化趋势更加明确。基于数据融合分析,可对病害程度进行分级判定,避免单一信息带来的判断偏差,为后续安全运行评估提供更具可靠性的技术依据。

4 灌区水利设施安全运行评估指标体系构建分析

4.1 灌区水利设施老化病害评估指标选取原则

灌区水利设施老化病害评估指标的选取应以工程安全运行需求为导向,注重指标对设施真实状态的反映能力。在技术层面,指标需具备可检测性和可量化特征,能够通过巡查记录或仪器监测获得稳定数据来源。结构类指标可采用裂缝宽度、变形量、强度折减率等参数,相关监测结果显示,当混凝土强度折减率达到15%时,结构安全储备明显下降。运行类指标应关注水位波动幅度、过水能力变化率等参数,统计数据表明,渠道过水能力下降超过10%后,运行风险显著增加。管理类指标需反映养护频率与设施状态之间的关系,如年度维修投入与病害发生率的相关系数可达到0.65以上^[2]。通过将技术可行性与数据敏感性相结合,确保指标体系能够客观刻画灌区水利设施老化病害水平。

4.2 灌区水利设施安全运行综合评价指标框架

安全运行综合评价指标框架应涵盖结构安全、运行状态与管理保障等核心维度,并形成层次清晰的技术体系。结构安全维度侧重反映设施承载能力与稳定性,可设置位移变化率、裂缝扩展速率和渗漏强度等指标,其中位移年变化量超过设计允许值的80%时,风险等级明显提高。运行状态维度关注水力条件与功能发挥情况,水位偏差控制指标常以设计水位 ± 0.2 米作为参考阈值,超过该范围运行不稳定性增强。管理保障维度通过检修周期、巡查覆盖率等指标反映运行支撑能力,数据分析表明,巡查覆盖率低于85%的灌区,病害漏判概率明显上升。该框架通过多维指标耦合,实现对灌区水利设施安全运行状态的综合刻画。

4.3 指标权重与评价等级划分方法设计

指标权重与评价等级划分是安全运行评估体系发挥作

用的关键技术环节。权重确定可结合专家评分与历史数据分析结果,对结构安全指标赋予较高权重,其权重系数一般控制在0.4至0.5区间,以突出结构稳定性在整体安全中的主导作用。运行状态与管理保障指标权重可分别设定在0.3和0.2左右,反映运行条件与管理水平的支撑效应。评价等级划分可依据综合得分区间进行设定,当综合得分高于85分时判定为安全运行状态,60至85分区间反映为存在一定风险,低于60分则表明安全隐患较为突出^[3]。通过明确权重分配与等级界限,使评估结果具备可比性和可操作性,为灌区运行管理决策提供量化依据。

5 灌区水利设施老化病害检测与安全运行综合评估方法

5.1 检测结果在灌区设施安全评估中的集成方式

灌区水利设施老化病害检测结果来源多样,既包括人工巡查形成的定性与半定量信息,也包括仪器监测获取的连续性数据,在综合评估中需通过技术集成实现信息协同。集成过程中,应以统一的数据结构为基础,对裂缝宽度、破损面积、位移量、渗漏强度等指标进行量纲统一与标准化处理。工程实践表明,将裂缝宽度0.3毫米、年均位移5毫米、渗漏量增长率10%设定为参考阈值,有利于不同检测结果的横向对比。对连续监测数据可采用时间序列分析方法提取趋势特征值,对巡查数据则通过等级量化方式转化为数值参数。通过建立综合数据库,实现不同来源数据在同一评价模型中的融合计算,使检测结果由分散状态转变为系统化评估输入,为安全运行评价提供完整的数据支撑。

5.2 灌区水利设施安全运行状态分级评价方法

安全运行状态分级评价以综合评估模型输出结果为依据,通过定量阈值划分反映设施运行风险水平。在技术实现上,可对结构安全、运行条件及管理保障等指标进行加权求和,形成单体设施或区段的综合评分。统计分析显示,当综合评分达到85分以上时,位移变化率和渗漏强度均低于控制阈值,设施处于稳定运行状态;评分介于70至85分之间时,部分指标呈现接近临界值趋势,表明风险处于可控但需关注状态;评分低于70分时,结构变形速率和功能退化指标明显偏高,运行安全隐患突出^[4]。通过这种分级方法,可将复杂的检测与计算结果转化为直观等级,便于灌区管理部

门快速识别风险区段并实施针对性管控措施。

5.3 评估结果对灌区水利设施运行管理的指导作用

综合评估结果在灌区水利设施运行管理中可作为制定维修计划和运行调度方案的重要依据。通过对评估等级的空间分布分析,可明确不同设施和区段的风险差异,从而优化资源配置。实际应用表明,将年度维修资金中不低于50%的比例投向评估等级偏低的区段,可在较短周期内显著改善设施状态,综合评分平均提升10分以上。评估结果还可用于运行方式调整,当某些设施评分接近风险阈值时,通过降低运行水位0.1至0.2米或减少高负荷运行时段,可有效减缓结构应力积累。通过持续更新评估数据并跟踪管理措施实施效果,逐步形成以评估结果为核心的动态管理机制,推动灌区水利设施运行管理向精细化和科学化方向发展^[5]。

6 结语

灌区水利设施老化病害的识别与安全运行评估是保障灌区长期稳定运行的重要基础工作。通过系统分析老化病害类型特征与形成机理,构建以常规巡查和仪器监测相结合的检测技术体系,并在此基础上建立科学合理的安全运行评估方法,可有效提升灌区设施风险识别的准确性与管理决策的可靠性。研究表明,将多源检测数据纳入统一评价框架,有助于全面反映设施运行状态,避免单一判断带来的偏差。相关评估成果在运行管理、维修决策及调度优化中的应用,能够推动灌区水利设施管理由经验依赖向数据支撑转变,对提升灌区供水安全保障能力和延长工程服役寿命具有积极意义。

参考文献

- [1] 陈明星.水利设施赋能城市建设发展的探索与实践——以山美灌区晋江灌片工程为例[J].海峡科学,2024,(01):97-101.
- [2] 王四海.灌区水利工程运行管理措施分析[J].水上安全,2024,(01):158-160.
- [3] 蔡玉梅.浅谈灌区水利工程运行管理措施[J].农业科技与信息,2022,(05):75-77.
- [4] 魏强.都江堰灌区小型农田水利设施管护及农户参与意愿研究[D].导师:唐宏;阮成.四川农业大学,2021.
- [5] 刘静雯.公共选择视角下泽口灌区水利设施管护制度创新研究[D].导师:危怀安.华中科技大学,2016.