

水利工程老化病害检测与加固技术研究

潘 锋 吴 哲 王志刚

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要：水利工程在长期运行中易受多种因素影响，导致结构性能下降，病害频发。通过系统梳理水利工程老化病害的定义、分类及成因，本研究采用多种检测技术，如混凝土抗压强度检测、碳化深度检测和裂缝检测等，精准识别病害。同时，研究提出了土石坝坝坡滑动破坏加固、混凝土防渗墙加固等加固策略，有效提升了水利工程的稳固性和耐久性。本研究成果为水利工程老化病害的防治提供了科学指导和技术支持，具有重要实践意义。

关键词：水利工程；老化病害检测；加固技术

引言：水利工程作为保障国家经济安全和民生福祉的基础设施，在长期运行中难免面临老化病害的困扰。随着岁月的积累，自然环境因素如水流冲刷、风化侵蚀以及人为管理不当等因素，使得水利工程的性能逐渐下降，病害频发。因此，对水利工程的老化病害进行科学检测与有效加固显得尤为重要。本研究旨在探讨水利工程老化病害的检测技术与加固策略，以保障工程的长期稳定运行，为水利工程管理提供科学依据和技术支持，从而推动水利事业的可持续发展。

1 水利工程老化病害概述

1.1 老化病害的定义与分类

（1）老化过程与病害的关联。水利工程的老化是一个复杂的过程，涉及多种物理、化学和生物因素的作用，这些因素随着时间的推移，逐渐削弱工程的结构性能和使用功能。老化过程与病害紧密相连，病害是老化现象的直观表现，而老化则是病害产生的根本原因。水利工程老化会导致其预定功能逐渐降低，甚至完全丧失，对工程安全构成严重威胁。（2）常见的老化病害类型。水利工程老化病害类型多样，常见的包括冲刷、磨损、裂缝、渗透变形、冻胀破坏、碳化及钢筋锈蚀等。冲刷和磨损主要由水流、风沙等自然力作用引起，导致工程表面材料损失，结构受损。裂缝则可能由温度应力、地基沉降、超载等因素导致，影响工程整体稳定性。渗透变形是地下水或地表水通过工程结构的缝隙或薄弱环节渗透，造成结构内部损伤。冻胀破坏主要发生在寒冷地区，由于水分结冰膨胀导致工程结构破坏。碳化和钢筋锈蚀则是混凝土结构老化的主要形式，会降低材料的力学性能和耐久性。

1.2 老化病害的成因分析

（1）自然因素。自然因素是水利工程老化病害的主要成因之一。气候因素如温度、湿度、降雨、风等，会

对工程材料产生物理和化学作用，导致材料性能退化。水质中的化学物质可能对工程材料产生腐蚀作用，加速老化进程。地质条件如土壤类型、地下水位、地震活动等，也会影响工程的稳定性和耐久性^[1]。（2）人为因素。人为因素同样不可忽视。设计缺陷可能导致工程结构不合理，难以满足实际使用需求。施工质量问题如材料不合格、施工工艺不规范等，会降低工程的整体质量。运营管理不善如维护不及时、超载使用等，也会加速工程老化病害的产生和发展。因此，在水利工程的规划、设计、施工和运营管理中，应充分考虑各种因素的影响，采取有效措施预防和控制老化病害的发生。

2 水利工程老化病害检测技术

2.1 混凝土抗压强度检测

混凝土抗压强度是衡量水利工程结构安全性的重要指标。其检测方法主要分为破损检测法和非破损检测法两大类。

2.1.1 破损检测法

取芯样检测是一种直接、准确的检测方法。它通过在混凝土结构上钻取芯样，然后对芯样进行抗压试验，以确定混凝土的抗压强度。这种方法虽然准确，但会对结构造成一定损伤，因此在检测时需谨慎选择位置，避免对结构安全造成影响。

2.1.2 非破损检测法

非破损检测法则避免了对结构的破坏，具有操作简便、检测速度快等优点。常见的非破损检测法包括回弹法、贯入阻力法、超声回弹法和核子法等。（1）回弹法：利用回弹仪测量混凝土表面的硬度，通过硬度与强度之间的关系推算出混凝土的抗压强度。该方法适用于表面硬度均匀的混凝土。（2）贯入阻力法：使用贯入仪将钢针贯入混凝土中，通过测量贯入阻力来评估混凝土的强度。这种方法适用于不同龄期、不同强度的混凝土。

土。(3) 超声回弹法: 结合回弹法和超声波检测的优点, 通过测量混凝土表面的回弹值和内部超声波传播速度, 综合评估混凝土的抗压强度。该方法具有较高的精度和适用范围。(4) 核子法: 利用放射性元素释放的伽马射线或中子与混凝土中的元素发生反应, 通过测量反应产物的能量来推算混凝土的密度和强度。这种方法具有检测速度快、适用范围广的优点, 但需注意放射性安全^[2]。

2.2 混凝土碳化深度检测

混凝土碳化是指混凝土中的氢氧化钙与空气中的二氧化碳反应生成碳酸钙的过程。碳化会降低混凝土的碱度, 从而加速钢筋锈蚀。因此, 检测混凝土碳化深度对于评估结构耐久性具有重要意义。酚酞试液法是一种常用的混凝土碳化深度检测方法。其原理是利用酚酞指示剂在碱性环境下呈红色的特性, 通过观察酚酞试液在混凝土表面变色情况来确定碳化深度。应用步骤包括: 首先清除混凝土表面的污垢和松散层; 然后在待测部位滴加酚酞试液; 待试液充分渗透后, 用钢尺测量从变色边缘到混凝土表面的距离, 即为碳化深度。需要注意的是, 酚酞试液法只能检测表面碳化深度, 对于内部碳化情况需结合其他检测方法进行分析。

2.3 裂缝检测

裂缝是水利工程中常见的病害之一。裂缝检测对于评估结构稳定性和制定加固方案至关重要。

2.3.1 直观检测法

直观检测法主要通过肉眼观察、读数放大镜和厚薄规等工具对裂缝进行初步检测和测量。这种方法简单易行, 适用于裂缝宽度较大、数量较少的情况。然而, 对于微小裂缝或复杂裂缝形态, 直观检测法可能难以准确评估。

2.3.2 仪器检测法

仪器检测法则具有更高的精度和适用范围。常见的仪器检测法包括超声波检测仪和面波检测仪等。(1) 超声波检测仪: 利用超声波在混凝土中的传播特性, 通过测量超声波在裂缝处的反射、折射和衰减等参数来评估裂缝的深度、宽度和走向。这种方法具有非破坏性、适用范围广的优点。(2) 面波检测仪: 通过激发面波并测量其在混凝土中的传播速度, 结合面波特性分析裂缝的位置和形态。这种方法适用于大面积、复杂裂缝的检测。

2.4 其他检测技术简介

(1) 渗透变形检测技术。渗透变形检测技术主要用于评估水利工程中因地下水渗透导致的结构变形情况。常见的渗透变形检测技术包括水位观测法、渗流监测法和示踪试验法等。这些方法通过监测地下水位变化、渗

流速度和流向以及示踪剂的迁移情况来评估渗透变形的程度和范围。(2) 冻胀破坏与冻融循环检测技术。在寒冷地区, 水利工程易受冻胀破坏和冻融循环的影响。针对这一问题, 可采用温度监测法、冻胀量测量法和冻融循环试验法等技术进行检测。这些方法通过监测结构内部的温度变化、冻胀变形量和经历冻融循环次数来评估冻胀破坏的程度和预测未来发展趋势。

3 水利工程加固技术研究

3.1 土石坝坝坡滑动破坏加固技术

土石坝作为水利工程中最常见的坝型之一, 其坝坡的稳定性直接关系到工程的安全。针对土石坝坝坡滑动破坏的加固技术, 主要包括地质勘探与施工方案设计、坝体防滑与加固方法以及坝基与岸坡的处理。(1) 地质勘探与施工方案设计。地质勘探是土石坝加固工程的首要步骤, 通过地质钻探、坑探、槽探以及地球物理勘探等手段, 全面了解坝址区域的地质构造、岩土特性、水文地质条件等。基于勘探结果, 结合工程实际情况, 制定科学、合理的加固方案。施工方案设计需考虑加固范围、方法、材料选择以及施工步骤, 确保加固工程的安全性、可行性和经济性。(2) 坝体防滑与加固方法。针对土石坝坝坡滑动破坏, 常用的加固方法包括放缓坝坡、增加抗滑结构、设置排水系统等。放缓坝坡可以降低坝坡的滑动风险, 通过削坡或培厚坝体来实现。增加抗滑结构如抗滑桩、抗滑板等, 可以显著提高坝体的抗滑能力。同时, 设置排水系统可以有效降低坝体内的孔隙水压力, 增强坝体的整体稳定性。加固材料应具备良好的力学性能、耐久性和施工可操作性, 以确保加固效果^[3]。(3) 坝基与岸坡的处理。坝基与岸坡的稳定性对土石坝的整体安全具有重要影响。对于坝基的不稳定问题, 可采用注浆加固、振冲加固等技术手段, 提高坝基的承载力和抗变形能力。对于岸坡的不稳定问题, 应采取削坡、护坡等措施, 确保岸坡的稳定性和安全性。在处理坝基与岸坡时, 应充分考虑地质条件、水文条件以及环境因素, 确保加固工程的有效性和长期稳定性。

3.2 混凝土防渗墙加固技术

混凝土防渗墙是土石坝、堤防等水利工程中常用的防渗结构, 其作用是切断地下水的渗漏通道, 确保工程的防渗性能。(1) 防渗墙的作用与特点。防渗墙具有防渗效果好、施工速度快、适应性强等特点。通过构建连续的混凝土墙体, 可以有效防止水体渗透, 保护工程主体不受水蚀破坏。同时, 防渗墙的施工对周边环境的影响较小, 具有较好的环保性能。(2) 防渗墙的施工方法与应用案例。防渗墙的施工方法主要包括槽孔法、板

桩法、帷幕灌浆法等。槽孔法是通过开挖连续的槽孔,然后浇筑混凝土形成防渗墙。板桩法则是利用钢板桩或预制混凝土桩形成连续的防渗屏障。帷幕灌浆法则是通过在坝体或坝基中钻孔,注入防渗材料(如水泥浆、化学浆液等)以形成帷幕状的防渗层。在实际应用中,混凝土防渗墙加固技术已广泛应用于国内外众多水利工程中。例如,在长江三峡水利枢纽工程中,为了解决水库渗漏问题,采用了槽孔法施工混凝土防渗墙,墙深达到数十米至上百米,有效提高了工程的防渗性能。在其他堤防加固工程中,也大量采用了板桩法和帷幕灌浆法等技术手段,取得了显著的加固效果。

3.3 预应力锚索加固技术

预应力锚索加固技术是一种利用高强度钢材制成的锚索,通过施加预应力来提高工程结构稳定性的方法。

(1) 预应力锚索的作用与布置方式。预应力锚索具有提供强大拉力、增强结构稳定性、减小变形等特点。在土石坝、边坡等工程中,预应力锚索常被用来加固滑动面、提高抗滑能力。锚索的布置方式通常根据工程实际需求来确定,包括锚索的数量、长度、倾角以及锚固深度等参数。合理的锚索布置可以充分发挥其加固效果,提高工程的安全性。(2) 加固效果分析。预应力锚索加固技术在水利工程中的应用取得了显著的成效。例如,在某土石坝加固工程中,针对坝体滑动破坏问题,采用了预应力锚索加固技术。通过施加预应力,锚索将滑动体紧紧锚固在稳定的地层中,显著提高了坝体的抗滑能力。同时,锚索的布置和参数选择也充分考虑了工程的地质条件和实际需求,确保了加固效果的有效性和长期稳定性^[4]。

3.4 增加泄洪能力加固技术

泄洪能力是水利工程在洪水期间安全运行的关键因素之一。针对泄洪能力不足的问题,可以采用扩大或加深溢洪道、增建简易非常溢洪道等技术手段来提高泄洪能力。(1) 扩大或加深溢洪道。通过扩大溢洪道的宽度或加深其深度,可以增加泄洪流量,提高工程的泄洪能力。这种方法适用于原有溢洪道容量不足或地形条件允许的情况。在实际工程中,需要综合考虑地质条件、施工难度、成本等因素来确定溢洪道的扩建方案。(2) 增建简易非常溢洪道。在洪水期间,当原有泄洪设施无法满足泄洪需求时,可以考虑增建简易非常溢洪道。简易

非常溢洪道通常是在原有泄洪设施的基础上增设临时泄洪通道,以增大泄洪流量。这种方法具有施工速度快、成本低等优点,但需要注意其对周边环境的影响以及运行期间的安全管理。

3.5 其他加固技术简介

除了上述加固技术外,水利工程加固中还可以采用其他技术来提高工程的稳定性和安全性。(1) 灌浆加固技术。灌浆加固技术是通过向地层中灌注浆液来提高地层的强度和稳定性。高喷灌浆是通过高压喷射将浆液注入地层中形成连续的防渗帷幕;劈裂灌浆则是通过施加压力使地层劈裂并将浆液注入其中填充裂缝和孔隙。这些方法适用于地层中存在裂缝、孔隙或软弱夹层等情况。(2) 振冲压密法加固。振冲压密法是通过振动和冲击作用使地层中的土体颗粒重新排列并密实化,从而提高地层的强度和稳定性。这种方法适用于软土地基或沙土地基等松散地层。通过振冲压密处理后的地层具有较高的承载力和较小的变形量,可以满足水利工程对地基稳定性的要求。

结束语

综上所述,水利工程老化病害检测与加固技术的研究对于保障水利设施的安全与持久运行至关重要。通过本研究的系统分析与探讨,我们认识到,科学、准确的检测技术是实现病害精准识别的关键,而针对性强、适用性广的加固技术则是提升工程安全性的有力保障。未来,随着技术的不断进步与创新,水利工程的检测与加固手段将更加智能化、精细化。我们应持续关注这一领域的发展动态,不断探索新技术、新方法,以更好地服务于水利工程的维护与管理,确保其在国民经济与社会发展中的重要作用。

参考文献

- [1]周大勇.水利工程中病险水库加固工程技术研究[J].文化科学,2022,(08):83-84.
- [2]尹帅.水利工程中病险水库加固工程技术研究[J].建筑科学,2023,(10):102-103.
- [3]任华.水利工程中病险水库加固工程技术研究[J].建筑理论,2022,(07):71-72.
- [4]廖云.水利工程中病险水库加固工程技术研究[J].水上安全,2024,(17):164-165.