

水利枢纽大坝安全性试验检测技术分析

杲吉祥

新疆兵团水科院(有限公司) 新疆 乌鲁木齐 734000

摘要:水利枢纽大坝作为关键的水利基础设施,其安全性直接关系到防洪、灌溉、发电及供水等多方面功能的正常发挥,对国民经济和社会发展具有重大影响。本文旨在探讨水利枢纽大坝的安全性试验检测技术,通过分析现有检测技术、方法及其局限性,提出创新性的检测思路与技术路径,以期为大坝安全管理提供科学依据和技术支撑。

关键词:水利枢纽;大坝安全;试验检测;技术创新

引言

水利枢纽大坝在长期运行过程中,受自然环境、材料老化、地质变化等多种因素影响,其安全性面临挑战。因此,开展全面、精确的安全性试验检测,及时发现并处理潜在风险,是确保大坝安全运行的重要环节。本节概述大坝安全性检测的重要性,并简述当前研究背景与意义。

1 水利枢纽大坝安全性检测现状分析

1.1 传统检测技术概述

1.1.1 外观检查

外观检查是一种直观、基础的检测方法,主要依赖于检测人员的专业知识和经验。通过目视观察大坝表面,检查是否存在裂缝、剥蚀、渗漏点、植物生长异常等现象。这些现象往往是结构受损或材料老化的直接反映。在检查过程中,还会利用简单的工具如锤子、放大镜等辅助判断裂缝的深度和范围。

1.1.2 无损检测技术

无损检测技术能够在不破坏大坝结构的前提下,对其内部状态进行检测和评估。常见的无损检测方法包括超声波检测、雷达探测、红外热成像等。(1)超声波检测:利用超声波在介质中传播的特性,通过发射和接收超声波信号,分析信号在材料中的传播速度、衰减程度等参数,从而判断大坝内部是否存在缺陷。(2)雷达探测:利用电磁波在介质中的反射和透射特性,通过向大坝内部发射高频电磁波并接收其反射信号,分析信号特征以识别内部结构变化^[1]。(3)红外热成像:基于物体表面温度分布的差异,通过红外摄像机捕捉大坝表面的红外辐射图像,分析图像中的温度变化来推断大坝内部的热工性能和结构完整性。

1.1.3 静力与动力测试

静力测试主要通过加载试验来评估大坝结构的承载能力和稳定性。在特定位置施加静力荷载,监测大坝的

变形、应力等参数变化,以判断其结构性能是否满足设计要求。动力测试则通过模拟地震、波浪等动荷载作用下的响应特性,评估大坝的抗震性能和动态稳定性。

1.1.4 渗流监测

渗流监测是评估大坝防渗效果的重要手段。通过在大坝内外设置渗压计、渗流量观测井等监测设施,实时监测大坝的渗流压力和渗流量变化。同时,结合水位观测、降雨资料等信息,分析大坝渗流场的变化规律,判断防渗体系的完整性和有效性。一是利用渗压计测量大坝内部不同深度处的孔隙水压力变化,反映大坝渗流场的状态。二是通过设置观测井或集水井收集大坝渗漏水,定期测量渗流量变化,评估大坝的防渗性能。

1.2 现有技术局限性

1.2.1 依赖经验判断,缺乏量化评估标准

目前,大坝安全性检测在很大程度上仍然依赖于检测人员的经验和专业知识。然而,这种基于经验的判断方法存在主观性和不确定性,不同检测人员可能对同一检测结果给出不同的结论。此外,由于缺乏统一的量化评估标准,检测结果的准确性和可比性也受到影响。这导致在大坝安全评估中难以形成客观、一致的判断依据。

1.2.2 部分技术难以深入检测大坝内部复杂结构

虽然无损检测技术等现代检测方法已经应用于大坝安全性检测中,但这些技术在大坝内部复杂结构的检测方面仍存在困难。例如,大坝可能包含多层材料、不同材质的结合部、复杂的几何形状等,这些因素都可能影响检测信号的传播和解释。因此,部分区域或结构细节可能无法得到有效检测,从而遗漏潜在的安全隐患。

1.2.3 长期监测数据利用效率低,预警能力不足

大坝安全性检测通常涉及大量的长期监测数据,包括水位、渗流、应力、变形等参数。然而,目前这些数据在利用效率上还存在明显不足。一方面,数据分析和处理方法相对简单,难以深入挖掘数据中的潜在信息;

另一方面,缺乏有效的数据整合和共享机制,导致不同来源的数据之间难以形成有效的关联和对比。这使得大坝安全预警能力受到限制,难以及时发现和预测潜在的安全风险。

2 创新性试验检测技术探索

2.1 智能化监测系统的应用

智能化监测系统是当前大坝安全性检测领域的一大创新,它融合了先进的传感器技术、通信技术和数据分析技术,实现了对大坝状态的全方位、实时监测。智能化监测系统的核心是集成传感器网络。这一网络由高密度、高性能的传感器阵列组成,能够全面覆盖大坝的各个关键部位,包括坝体、坝基、溢洪道、闸门等。这些传感器能够实时采集大坝的应力、变形、渗流、水位等多参数信息,并将数据传输至中央控制室进行进一步处理和分析。在数据传输和处理方面,智能化监测系统采用了先进的通信技术和大数据分析技术。通过高速、稳定的通信网络,传感器采集的数据能够实时传输至中央控制室,确保数据的时效性和准确性。而在中央控制室,运用机器学习算法对大量监测数据进行深度挖掘和分析,能够提前识别出大坝运行中的异常模式,如微小的变形趋势、渗流路径的变化等,这些异常模式可能是大坝安全隐患的早期预警信号^[2]。具体来说,机器学习算法能够通过历史监测数据的学习,建立起大坝运行状态的数学模型。当新的监测数据输入模型时,算法能够自动对比历史数据,识别出任何偏离正常模式的变化。这种基于数据驱动的异常检测方式,不仅提高了大坝安全监测的准确性和效率,还实现了对大坝状态的实时预警和预测。

2.2 新型无损检测技术

在水利枢纽大坝的安全性检测中,新型无损检测技术以其独特的优势逐渐崭露头角。其中,相控阵超声检测技术和光纤传感技术是两种具有代表性的创新技术。相控阵超声检测技术是一种先进的超声检测技术,它通过控制多个超声换能器的发射和接收,实现对声束的聚焦和扫描。这种技术能够显著提高检测的精度和深度,使得对大坝内部复杂结构的检测成为可能。相控阵超声检测技术能够生成高分辨率的图像,清晰显示大坝内部的缺陷和异常,如裂缝、空洞等。同时,该技术还具有检测速度快、操作简便等优点,大大提高了大坝安全性检测的效率。光纤传感技术则是另一种颇具潜力的新型无损检测技术。它利用光纤作为传感器,通过测量光纤中光信号的变化来监测大坝的应变、温度等参数。光纤传感技术具有极高的灵敏度和精度,能够捕捉到微小的

变形和温度变化,这对于及时发现大坝的安全隐患至关重要。此外,光纤传感器还具有抗电磁干扰、耐腐蚀等优点,适应于恶劣的检测环境。通过在大坝关键部位布置光纤传感器网络,可以实现对大坝状态的全面、实时监测。综合来看,相控阵超声检测技术和光纤传感技术为水利枢纽大坝的安全性检测提供了新的解决方案。这两种技术都具有无损、高精度、实时监测等优点,能够有效提升大坝安全管理的水平。相控阵超声检测技术适用于对大坝内部复杂结构的深度检测,而光纤传感技术则擅长于捕捉大坝的微小变形和温度变化。将这两种技术相结合,可以形成一套完善的大坝安全性检测系统。

2.3 多源信息融合与风险评估模型

为了更全面、准确地评估水利枢纽大坝的健康状态,多源信息融合与风险评估模型的应用显得尤为重要。这一模型通过整合遥感、GIS(地理信息系统)、现场监测等多源信息,构建了一个大坝健康状态的综合评估体系。在多源数据整合方面,遥感技术能够提供大坝及其周边环境的宏观信息,如地形、地貌、植被覆盖等,这些信息对于评估大坝的整体稳定性和环境因素对大坝的影响至关重要。GIS技术则能够将各种空间信息(如地质构造、水文分布等)进行数字化处理,为大坝安全评估提供丰富的地理背景数据。而现场监测数据,如应力、变形、渗流等,则直接反映了大坝的实际运行状态。将这些多源信息进行融合,可以形成一个全面、立体的大坝健康状态评估体系。在风险评估模型方面,该模型基于历史数据与实时监测数据,运用统计学和机器学习算法,建立大坝安全风险预测模型。这一模型能够综合考虑多种因素(如地质条件、气候条件、运行工况等),对大坝的安全风险进行量化评估,并预测未来可能出现的安全隐患。通过这一模型,可以更加科学地制定大坝的安全管理策略,为决策提供有力依据。具体来说,风险评估模型能够输出大坝在不同工况下的安全风险等级,以及可能出现的风险类型和位置。这使得大坝管理者能够有针对性地制定监测和维护计划,及时采取措施消除安全隐患,确保大坝的安全运行。同时,该模型还能够为应急预案的制定提供科学依据,提高大坝应对突发事件的能力。

3 水利枢纽大坝安全性试验检测技术的实施策略与挑战

3.1 实施策略

3.1.1 制定统一的技术标准与操作规范

为了确保水利枢纽大坝安全性试验检测技术的有效实施,制定统一的技术标准与操作规范是至关重要的。

这一策略涉及多个方面：首先，需要确立传感器的选型、布置与校准标准，确保采集的数据具有准确性和一致性。其次，应制定详细的数据采集、传输与处理流程，包括数据的采样频率、传输协议以及数据预处理和分析方法，以保证数据的时效性和有效性。此外，还应规范检测报告的编制与审核流程，确保检测结果的准确性和客观性^[3]。最后，对于新型无损检测技术等创新技术的应用，也需制定相应的技术标准与操作规范，以指导技术人员正确、有效地使用这些技术。通过制定这一系列的技术标准与操作规范，可以为水利枢纽大坝的安全性检测提供一个统一、科学的技术框架，从而提高检测工作的效率和质量，确保大坝的安全运行。

3.1.2 加强跨学科合作，促进技术创新与应用

水利枢纽大坝的安全性检测涉及多个学科领域，包括水利工程、结构工程、地质学、材料科学以及信息技术等。为了推动技术创新与应用，必须加强这些学科之间的跨学科合作。具体来说，可以通过组织跨学科的研究团队，共同攻克大坝安全性检测中的技术难题。例如，结构工程师与地质学家可以合作开发更精确的大坝稳定性评估模型；材料科学家与信息技术专家则可以共同研发新型的无损检测技术。同时，为了促进技术创新成果的快速应用，还需要建立有效的技术转移机制。这包括将科研成果转化为实际可用的检测技术，以及将这些技术推广应用到实际的大坝安全性检测工作中。通过加强跨学科合作，不仅可以推动水利枢纽大坝安全性检测技术的创新，还可以加速这些技术的实际应用，从而为大坝的安全运行提供更加全面、可靠的保障。

3.1.3 建立长期监测与定期评估机制

为确保水利枢纽大坝的安全性，必须建立长期监测与定期评估机制。这一机制要求在大坝的关键部位布置传感器网络，进行实时数据采集，监测大坝的应力、变形、渗流等关键参数。同时，利用先进的数据传输和处理技术，确保监测数据的及时性和准确性。在长期监测的基础上，还需要定期进行大坝安全评估。这包括组织专业的评估团队，对监测数据进行深入分析，识别大坝运行中的异常模式和潜在风险。评估结果应以报告的形式呈现，详细列出大坝的安全状况、存在的问题以及

改进建议。为确保长期监测与定期评估的有效性，还需建立相应的管理机制。这包括制定监测和评估的工作计划，明确责任分工，以及确保所需资源和资金的投入^[4]。通过这一机制的建立和实施，可以及时发现并处理大坝的安全隐患，保障大坝的长期安全运行。

3.2 面临的挑战

水利枢纽大坝安全性试验检测技术的实施面临多方面的挑战。首先，高昂的投资成本与运维费用是一大难题。先进的监测设备、传感器网络以及数据分析平台都需要大量的资金投入。同时，长期的运维费用，包括设备维护、数据传输与处理等，也是一笔不小的开支。其次，技术集成与数据分析的复杂性也是一个挑战。大坝安全性检测涉及多种技术，如传感器技术、通信技术、数据分析技术等，这些技术的集成需要解决诸多技术难题。同时，对海量监测数据进行深度挖掘和分析，提取有价值的信息，也需要强大的数据处理和分析能力。最后，政策法规与公众认知的适配性也是一个不容忽视的挑战。新的检测技术的实施需要得到政策法规的支持，同时也需要公众的理解和接受。

结语

水利枢纽大坝的安全性试验检测是确保其长期稳定运行的关键。通过智能化监测系统的应用、新型无损检测技术的研发以及多源信息融合与风险评估模型的建立，可以有效提升大坝安全管理的科学化、精细化水平。未来，需持续关注技术革新，优化资源配置，强化政策支持，以应对日益复杂的安全挑战，保障水利枢纽大坝的安全运行与可持续发展。

参考文献

- [1]张峰,付浩,陈国元.富水水库大坝变形监测与安全性分析[J].中国水能及电气化,2022,(07):39-46+70.
- [2]王杰.铁岭县范家屯水库大坝安全性分析[J].吉林水利,2022,(09):50-54.
- [3]陈刚.努尔加水库洪水泄流能力及大坝安全性复核[J].水利科学与寒区工程,2021,4(04):150-153.
- [4]陈泳江,张慧颖,王新华,等.基于FMECA-模糊层次分析法的水库大坝安全性分析[J].水电能源科学,2022,40(05):101-104.