

水利水电工程中的大坝安全监测与管理研究

黄瑞娟

金安桥水电站有限公司 云南 丽江 674100

摘要：大坝安全监测技术是大坝安全运行的重要保障，包括变形监测、渗流监测和应力应变监测等。变形监测主要依赖水准测量和GPS测量，渗流监测采用渗压计和流量计，而应力应变监测则常用振弦式应力应变计和光纤光栅传感器。大坝安全管理涵盖数据管理、预警管理和维护管理，需建立专门数据库，构建预警指标体系，制定维护计划。为提升大坝安全监测与管理水平，需加强技术创新、人才培养和信息化建设，如研发新型监测设备、优化课程设置、构建信息平台等，以确保大坝长期稳定运行。

关键词：水利水电工程；大坝安全监测；管理研究

引言：大坝作为重要的水利工程设施，其安全性直接关系到下游人民生命财产的安全。随着大坝服役年限的增长及外部环境的不断变化，大坝的安全监测与管理显得尤为重要。本文旨在全面探讨大坝安全监测技术及其管理模式，从变形监测、渗流监测到应力应变监测，深入分析各种监测技术的原理、特点及适用范围。同时，本文还将探讨如何构建有效的大坝安全管理体系，包括数据管理、预警管理及维护管理等方面。在此基础上，提出提升大坝安全监测与管理水平的策略，以期为大坝的安全运行提供坚实的技术与管理支撑，确保大坝在复杂多变的自然环境中始终保持稳定与安全。

1 大坝安全监测技术概述

1.1 变形监测技术

(1) 变形监测是大坝安全监测的核心内容之一，它直接关系到大坝结构的整体稳定性和安全性。大坝在长期的水压力、温度变化、地质条件等多种因素作用下，可能会发生微小的位移变化。这些变化虽然初期可能不易察觉，但一旦累积到一定程度，就可能预示着大坝结构稳定性的潜在风险。(2) 水准测量是变形监测中最为传统且基础的方法之一。它利用精密的水准仪和标尺，通过测量大坝坝体、坝基等关键部位的高程变化，来判断大坝是否存在沉降或抬升等异常情况。随着科技的发展，GPS测量技术逐渐应用于大坝变形监测中。GPS技术凭借其高精度、全天候、连续观测等优势，能够实时捕捉大坝的微小位移变化，为大坝的安全评估提供更加精确的数据支持。(3) 除了水准测量和GPS测量外，还有激光测距、雷达干涉测量等先进技术被应用于大坝变形监测中。这些技术不仅提高了监测的精度和效率，还为大坝的安全预警提供了更加可靠的手段。

1.2 渗流监测技术

(1) 渗流是大坝安全中另一个需要重点关注的问题。大坝内部及周边的渗流情况直接关系到坝体的渗透稳定性和抗渗能力。过高的渗流压力或异常的渗流量可能引发坝体渗透破坏，严重时甚至导致大坝溃决。(2) 渗流监测主要借助渗压计、流量计等专业设备。渗压计能够实时测量大坝内部及周边的渗流压力，帮助工程师判断坝体的渗透稳定性。而流量计则用于监测大坝周边的渗流量，以评估坝体的抗渗能力。这些监测数据不仅为大坝的安全评估提供了重要依据，还为后续的维修加固工作提供了指导。(3) 随着传感器技术的不断发展，新型渗流监测设备不断涌现。这些设备不仅具有更高的精度和稳定性，还能够实现远程监控和智能化管理，大大提高了渗流监测的效率和准确性。

1.3 应力应变监测技术

(1) 应力应变监测是大坝安全监测中不可或缺的一环。大坝材料在长期运行过程中，由于受到各种外力的作用，可能会产生应力集中和应变累积。这些现象如果及时发现和处理，就可能引发大坝结构的损坏和失效。(2) 为了监测大坝材料的受力状态变化，工程师们通常会在大坝的关键部位埋设应力应变传感器。这些传感器能够实时捕捉大坝材料在受力过程中的应力应变数据，为工程师提供直观的监测结果。通过对这些数据的分析处理，工程师可以判断大坝结构的受力状态是否安全，从而及时采取必要的维修加固措施^[1]。

2 主要监测技术解析

2.1 变形监测技术

变形监测是大坝安全监测的基础，旨在通过测量大坝坝体、坝基等关键部位的位移变化，评估大坝结构的整体稳定性。在这一领域，水准测量和GPS测量是两种最为常用的方法。(1) 水准测量作为传统且经典的变形

监测手段,其原理是利用水准仪建立水平视线,通过测量水准尺读数来确定两点间的高差,进而计算出大坝测点的垂直位移。该方法具有测量精度高、稳定性好的特点,尤其适用于对监测精度要求极高的大坝关键部位。然而,水准测量也存在一些局限性,如测量效率相对较低,受地形条件限制较大,特别是在复杂地形和恶劣天气条件下,测量工作可能会受到严重影响。(2)随着卫星定位技术的发展,GPS测量在大坝变形监测中得到了广泛应用。GPS测量能够实时、动态地获取测点的三维坐标,不受通视条件限制,可实现大面积同步监测。这一特点使得GPS测量在大型水坝、跨江大桥等复杂工程结构的变形监测中发挥了重要作用。然而,在大坝周边存在遮挡物或电磁干扰的环境下,GPS信号易受影响,导致测量精度下降。因此,在实际应用中,需要综合考虑地形条件、电磁干扰等因素,选择合适的测量方法和设备。

2.2 渗流监测技术

渗流监测是评估大坝抗渗性能、预防渗透破坏的重要手段。渗压计和流量计是渗流监测中常用的两种设备。(1)渗压计作为渗流监测的核心设备之一,分为振弦式渗压计和电阻式渗压计两种类型。振弦式渗压计利用压力变化引起钢弦振动频率改变的原理来测量渗流压力。该方法具有精度高、稳定性好、抗干扰能力强等优点,特别适用于长期监测和恶劣环境下的测量。电阻式渗压计则基于压力作用下敏感元件电阻值变化的原理来测量压力。该方法成本相对较低,但测量精度稍逊于振弦式渗压计。在实际应用中,需要根据监测需求、成本预算等因素综合考虑选择合适的渗压计类型。(2)流量计用于监测渗流量,常见的类型有电磁流量计和超声波流量计。电磁流量计利用法拉第电磁感应定律测量导电液体的流量,具有测量精度高、响应速度快、可测量范围宽等优点。超声波流量计则利用超声波在流体中的传播速度随流速变化的原理来测量流量,具有非接触测量、安装维护方便等特点。在实际应用中,需要根据测量介质的性质、管道尺寸、测量精度要求等因素选择合适的流量计类型。

2.3 应力应变监测技术

应力应变监测是评估大坝结构受力状态、预防结构损坏的重要手段。在这一领域,振弦式应力应变计和光纤光栅应力应变传感器是两种常用的监测设备。(1)振弦式应力应变计的工作原理与振弦式渗压计类似,通过测量钢弦振动频率变化来反映应力应变情况。该类仪器具有测量精度高、长期稳定性好、能适应复杂恶劣的工作环境等特点。在大坝安全监测中,振弦式应力应变计

被广泛应用于测量坝体混凝土、岩石等材料的应力应变状态。(2)光纤光栅应力应变传感器是近年来发展迅速的新型监测技术。它利用光纤光栅的应变-波长特性,将应力应变转化为光信号进行测量。光纤光栅传感器具有抗电磁干扰、灵敏度高、可分布式测量等独特优势。在大坝安全监测中,光纤光栅传感器能够实现对大坝结构内部应力应变的精细化监测,为深入了解大坝结构受力状态提供丰富数据。此外,光纤光栅传感器还具有体积小、重量轻、易于安装维护等特点,特别适用于大型水坝、核电站等复杂工程结构的应力应变监测^[2]。

3 大坝安全管理模式探讨

大坝安全管理是一个系统工程,涵盖数据管理、预警管理、维护管理等多个方面。有效的管理模式能够确保监测数据得到合理分析与利用,及时发现大坝安全隐患并采取相应措施,保障大坝安全运行。数据管理是基础,通过建立完善的数据库系统,对监测数据进行分类存储、快速查询与高效分析,为大坝安全评估提供数据支持。预警管理则依据设定的安全阈值,对监测数据进行实时比对分析,当数据超出阈值时及时发出预警信号,提醒管理人员采取应对措施。维护管理根据监测结果与预警信息,制定科学合理的大坝维护计划,安排专业人员对大坝进行定期检查、维修与保养,确保大坝始终处于良好运行状态。

3.1 数据管理

建立专门的大坝安全监测数据库,采用关系型数据库管理系统,如 Oracle、MySQL 等,对监测数据进行结构化存储。数据库应具备数据录入、查询、统计分析等功能。在数据录入环节,要确保数据的准确性与完整性,对原始监测数据进行严格审核。通过数据库查询功能,管理人员可快速获取特定时间段、特定测点的监测数据。利用统计分析工具,对监测数据进行趋势分析、相关性分析等,挖掘数据背后隐藏的大坝运行规律,为大坝安全评估提供量化依据。例如,通过对多年的变形监测数据进行趋势分析,可预测大坝未来变形发展趋势,提前制定防范措施。

3.2 预警管理

构建科学合理的预警指标体系是预警管理的关键。根据大坝设计参数、运行历史数据以及相关行业标准,确定变形、渗流、应力应变等各项监测指标的安全阈值。采用实时数据采集与传输系统,将监测数据实时传输至预警管理平台。平台利用数据分析算法,对监测数据与安全阈值进行实时比对。一旦数据超出阈值,系统立即启动预警机制,通过短信、邮件、声光报警等多种方式向管

理人员发送预警信息。同时,预警管理平台应具备预警信息记录与追溯功能,方便管理人员查询历史预警事件及处理情况,总结经验教训,不断完善预警机制。

3.3 维护管理

基于监测数据与预警信息,制定详细的大坝维护计划。维护计划应包括日常维护、定期维护与应急维护。日常维护主要包括对大坝表面进行清洁、检查排水系统是否畅通等工作。定期维护按照一定周期,对大坝进行全面检查,如坝体结构检查、监测设备校验等。当大坝出现安全预警时,启动应急维护机制,组织专业技术人员迅速赶赴现场,对大坝进行紧急抢修,采取相应加固措施,确保大坝安全。维护管理过程中,要建立维护记录档案,详细记录每次维护工作的时间、内容、人员及维护效果等信息,为后续维护管理提供参考依据^[3]。

4 提升大坝安全监测与管理水平的策略

为进一步提升大坝安全监测与管理水平,需从技术创新、人才培养、信息化建设等方面入手。在技术创新方面,持续研发新型监测技术与设备,提高监测精度与效率,拓展监测范围。人才培养是保障,加强对大坝安全监测与管理专业人才的培养,提高从业人员技术水平与管理能力。信息化建设至关重要,构建一体化的大坝安全监测与管理信息平台,实现数据共享、远程监控、智能分析等功能,提升管理效能。

4.1 技术创新

鼓励科研机构与企业开展产学研合作,加大对大坝安全监测技术研发的投入。研发具有更高精度、更强抗干扰能力的监测设备,如新型光纤传感器、智能监测机器人等。探索将物联网、大数据、人工智能等新兴技术应用于大坝安全监测领域。例如,利用物联网技术实现监测设备的智能化组网与数据自动采集传输;借助大数据技术对海量监测数据进行深度挖掘与分析,发现潜在安全隐患;运用人工智能算法建立大坝安全预测模型,提前预测大坝运行状态变化,为管理决策提供科学依据。

4.2 人才培养

高校应加强水利水电工程、土木工程等相关专业建设,优化课程设置,增加大坝安全监测与管理相关课程比重,培养具有扎实专业知识的高素质人才。同时,企业应加强对在职人员的培训,定期组织内部培训课程

与技术交流活动,邀请行业专家进行讲座与指导,提升员工业务水平。此外,还可通过开展技能竞赛、学术交流等活动,激发员工学习热情,营造良好的人才成长环境,打造一支技术精湛、管理高效的大坝安全监测与管理人才队伍。

4.3 信息化建设

构建大坝安全监测与管理信息平台,整合监测数据采集、传输、存储、分析、预警以及维护管理等功能模块。利用云计算技术搭建数据存储与计算平台,实现监测数据的高效存储与快速处理。通过开发移动应用程序,管理人员可随时随地通过手机、平板电脑等移动终端访问信息平台,查看监测数据、接收预警信息、下达维护指令等,提高管理工作的灵活性与及时性。借助地理信息系统(GIS)技术,将大坝地理位置、周边环境以及监测数据等信息进行可视化展示,为管理人员提供直观、全面的大坝运行状态信息,辅助管理决策^[4]。

结束语

综上所述,大坝安全监测与管理水平的提升是确保大坝长期安全运行的关键。通过持续的技术创新,研发高精度、高效率的监测技术与设备,我们能够更准确地掌握大坝的运行状态。同时,加强人才培养,提高从业人员的专业水平与管理能力,是保障大坝安全监测工作顺利进行的重要基础。此外,信息化建设为大坝安全管理提供了强有力的技术支持,实现了数据的实时共享与智能分析。未来,我们将继续深化这些方面的工作,不断提升大坝安全监测与管理的整体水平,为确保大坝安全、促进水利事业的可持续发展贡献力量。在科技的引领下,大坝安全管理将迎来更加智能化、精细化的新时代。

参考文献

- [1]李竞.水库大坝安全自动化监测问题研究[J].智能城市,2019,5(22):175-176.
- [2]郑志成.水利水电工程中的大坝工程安全监测改造分析[J].陕西水利,2019(11):102-104.
- [3]胡顺志,张冬冬.松树水库大坝安全监测资料分析[J].东北水利水电,2019,37(11):66-67.
- [4]沈定斌,罗正英,黄会宝,王洪洋,冯俊.大坝安全监测设备状态监控研究与实践[J].大坝与安全,2019(05):16-19+23.