

大坝安全监测与加固设计研究

陶建福

广西桂水工程咨询有限公司 广西 南宁 530023

摘要：大坝安全监测与加固设计研究旨在提升大坝结构的稳定性和安全性，以应对自然灾害和长期运营带来的挑战。本研究通过对大坝的裂缝、渗漏、结构老化等关键问题进行深入分析，结合先进的监测技术和加固设计理念，提出了一系列有效的解决方案。研究重点包括监测系统的优化、加固设计方法的创新以及两者之间的协同作用。研究成果对于保障大坝安全、延长使用寿命具有重要意义，为水利工程的可持续发展提供有力支持。

关键词：大坝安全监测；加固设计；实施

1 大坝安全监测的基本概念

大坝安全监测是通过仪器观测和巡视检查对水利水电工程主体结构、地基基础、两岸边坡、相关设施以及周围环境所作的测量及观察。监测既包括对建筑物固定测点按一定频次进行的仪器观测，也包括对建筑物外表及内部大范围对象的定期或不定期的直观检查和仪器探查。通过观测仪器和设备，以及时取得反映大坝和基岩性态变化以及环境对大坝作用的各种数据的观测和资料处理工作。其目的是分析估计大坝的安全程度，以便及时采取措施，设法保证大坝安全运行。由于大坝的工作条件十分复杂，大坝和地基的实际工作状态难以用计算或模型试验准确预测，设计中带有一定经验性，施工时也可能存在某些缺陷。在长期运行之后，由于水流侵蚀和冻融风化作用，筑坝材料和基岩特性不断恶化。因此，在初期蓄水和长期运行中，大坝都存在着发生事故的可能性。大坝一旦出现异常状态，必须及时发现和处理，否则可能导致严重后果。大坝失事不仅会损失全部工程效益，而且溃坝洪水将使下游人民生命财产遭受毁灭性损失。

2 大坝安全监测技术综述

2.1 变形监测技术

变形监测是大坝安全监测的重要组成部分，它通过对大坝的水平和垂直位移进行实时监测，及时发现大坝的变形情况。变形监测技术的应用有助于评估大坝的结构稳定性和安全性，为采取必要的维护和管理措施提供科学依据。位移监测是大坝变形监测的关键环节^[1]。在实际应用中，差分RTK技术、GPS技术、激光测距技术等都被广泛应用于大坝的位移监测。这些技术能够高精度地测量大坝的位移变化，及时发现潜在的变形问题。变形监测还包括裂缝监测和伸缩缝监测等，裂缝是大坝常见的病害之一，通过裂缝监测可以及时发现裂缝的产生和

发展情况，为裂缝处理提供依据。伸缩缝则是大坝为了适应温度变化而设置的缝隙，通过伸缩缝监测可以了解大坝的伸缩变形情况，评估其结构稳定性。

2.2 渗流监测技术

渗流监测在水库大坝安全中起着至关重要的作用，它不仅是保障大坝结构安全和稳定运行的必要手段，也是预防和应对潜在渗流问题的重要措施。渗流监测有助于及时掌握水坝的安全状态，通过监测水坝坝体和坝基的渗流情况，可以及时发现大坝结构中的漏洞和潜在的渗流通道。这些监测数据对于评估大坝的健康状况、预测未来的渗流趋势以及为大坝的维护和修复提供科学依据至关重要。渗流监测数据是评估大坝安全状态的重要依据，通过分析渗流速度、渗流量等参数，可以判断大坝的渗流稳定性，为制定维护和管理措施提供科学依据。例如，在土石坝的安全检查中，通过监测浸润线、扬压力、渗流量等参数，可以了解大坝渗流场的分布和变化情况，从而评估大坝的稳定性和安全性。在实际应用中，渗流监测系统通常采用先进的传感器技术和数据采集、传输、处理与分析技术。这种实时监测和分析的方式大大提高渗流监测的效率和准确性。

2.3 应力应变监测技术

应力监测是评估大坝结构安全性的重要手段。通过对大坝的应力进行实时监测，可以及时发现大坝的应力异常情况，为采取应急措施提供科学依据。在大坝安全监测中，常用的应力监测技术包括电阻应变计、振弦式应力计、光纤光栅传感器等。这些传感器通过粘贴或埋设在大坝混凝土或钢筋中，实时测量大坝内部的应力变化。应变监测技术也是大坝安全监测中的重要组成部分，应变计是一种测量材料表面或内部微小变形的传感器，常用于监测大坝的变形情况，并通过变形数据推算出大坝的应力状态。应变监测技术具有测量范围广、响

应速度快的特点,能够实时监测大坝的变形和应力变化。声发射监测技术也被应用于大坝的应力监测中,声发射是指材料在受力作用下内部微观结构发生变化时产生的瞬态弹性波。通过接收和分析大坝内部产生的声发射信号,可以判断大坝内部是否存在裂纹扩展、材料损伤等安全隐患。声发射监测技术具有实时监测、定位准确的特点,能够及时发现大坝内部的异常情况。

2.4 自动化监测系统的应用

自动化监测系统在大坝安全监测中发挥着越来越重要的作用。自动化监测系统具有数据采集准确、传输速度快、处理能力强等优点。通过实时监测大坝的各项参数变化,系统能够及时发现异常情况并发出预警信号,为管理人员提供决策支持。自动化监测系统还能够实现数据的远程传输和共享,方便各级管理部门及时掌握大坝的安全状况^[2]。在实际应用中,自动化监测系统已经广泛应用于各类大坝的安全监测中。例如,某水库大坝采用了自动化监测系统对大坝的位移、渗流、应力等参数进行实时监测,并通过数据分析系统对监测数据进行处理和分析,为管理人员提供了全面、准确的大坝安全状况信息。

3 大坝安全监测设计与实施

3.1 监测系统设计原则

在大坝安全监测系统的设计中,应遵循以下原则:

(1)全面性原则。监测系统应覆盖大坝的各个关键部位和潜在风险点,确保监测数据的全面性和准确性;(2)实时性原则。监测系统应具备实时监测能力,能够及时发现并预警大坝的异常情况;(3)可靠性原则。监测系统的设备和软件应具有较高的可靠性和稳定性,确保监测数据的连续性和完整性;(4)可扩展性原则。监测系统应具备可扩展性,能够根据需要增加监测点和监测参数;(5)经济性原则。在满足监测需求的前提下,应尽可能降低监测系统的建设和运行成本。

3.2 监测点位的选择与布置

监测点位的选择与布置是大坝安全监测设计的关键环节。在选择监测点位时,应考虑大坝的结构特点、地质条件、运行环境等因素,确保监测点位能够真实反映大坝的安全状况。第一,关键部位。在大坝的关键部位如坝顶、坝坡、坝基等设置监测点位,以监测大坝的主要变形和应力情况。第二,均匀分布。在大坝的各个部位均匀分布监测点位,以确保监测数据的全面性和代表性。第三,易于安装和维护。监测点位应便于安装和维护,以减少对大坝正常运行的影响。

3.3 监测仪器的选择与安装

监测仪器的选择与安装是大坝安全监测实施的重要步骤。在选择监测仪器时,应考虑仪器的精度、稳定性、可靠性、适用性等因素。还应考虑仪器的安装方式和维护成本。常用的监测仪器包括位移传感器、渗压计、应力计、应变计等。这些仪器应根据监测点位的具体情况和监测需求进行选择。在安装监测仪器时,确保监测仪器能够准确测量大坝的变形、渗流和应力等参数。监测仪器应牢固安装在监测点位上,避免因外力作用而损坏或脱落。监测仪器的数据读取和维护应方便进行,以减少对大坝正常运行的影响。

3.4 监测系统实例分析

以某大型水库大坝的安全监测系统为例,该系统采用了自动化监测技术对大坝的位移、渗流、应力等参数进行实时监测。系统由传感器网络、数据采集装置、数据传输网络、数据处理与分析系统等组成。在位移监测方面,系统采用了GPS技术和差分RTK技术实现对大坝毫米级的位移监测。在渗流监测方面,系统采用分布式光纤渗压监测系统实现对大坝渗流的实时监测和预警。在应力监测方面,系统采用了光纤光栅应变监测系统实现对大坝内部应力的实时监测和预警。通过该系统的实时监测和数据分析功能,管理人员能够及时了解大坝的安全状况并采取相应的维护和管理措施。例如,在某次监测中系统发现大坝某部位的位移异常增大并发出预警信号,管理人员及时采取措施对该部位进行加固处理,避免潜在的安全风险。该系统的成功应用表明自动化监测技术在大坝安全监测中具有广阔的应用前景和推广价值,未来随着科技的不断发展和大坝安全需求的不断提高自动化监测技术将在大坝安全监测中发挥更加重要的作用^[3]。

4 大坝加固设计策略

大坝作为重要的水利工程设施,其安全性和稳定性直接关系到下游人民生命财产的安全。由于长期运行、自然侵蚀、人为破坏等多种因素,大坝往往会出现裂缝、渗漏、结构老化与损坏等问题。大坝加固设计成为确保大坝安全、延长使用寿命的重要手段。

4.1 裂缝处理技术

裂缝是大坝结构中常见的病害之一,其产生原因复杂多样,包括施工缺陷、地基不均匀沉降、温度变化等。裂缝的存在不仅影响大坝的美观性,更重要的是可能威胁到大坝的结构安全。裂缝处理技术在大坝加固设计中占据重要地位。裂缝处理技术主要包括填充法、注浆法和表面封闭法。填充法适用于宽度较小的裂缝,通过填充裂缝内部来恢复大坝的整体性。注浆法则适用于

宽度较大、深度较深的裂缝，通过注浆材料填充裂缝并固化，提高大坝的抗渗性和整体稳定性。表面封闭法则主要用于防止裂缝进一步发展，通过涂抹或喷涂封闭材料来封闭裂缝表面。在实际应用中，裂缝处理技术的选择应根据裂缝的宽度、深度、位置以及大坝的材料和结构特点等因素综合考虑。裂缝处理技术还应与加固设计的其他措施相结合，如增加配筋、加固坝体等，以提高大坝的整体抗裂性和稳定性。

4.2 渗漏处理技术

渗漏是大坝常见的病害之一，其产生原因包括坝体材料不密实、裂缝、施工缺陷等。渗漏不仅会导致大坝内部结构的破坏，还可能引发安全事故。因此渗漏处理技术在大坝加固设计中同样至关重要。渗漏处理技术主要包括防渗墙技术、帷幕灌浆技术和排水减压技术等。防渗墙技术通过在坝体内部或外部设置防渗墙来阻断渗漏通道，提高大坝的抗渗性。帷幕灌浆技术则是通过注浆材料填充坝体内部的孔隙和裂缝，形成一道防渗帷幕。排水减压技术则是通过设置排水设施来降低坝体内部的渗透压力，减轻渗漏对大坝结构的破坏。在实际应用中，渗漏处理技术的选择应根据渗漏的严重程度、渗漏通道的位置和形状以及大坝的材料和结构特点等因素综合考虑。渗漏处理技术还应与加固设计的其他措施相结合，如增加防渗层、加固坝基等，以提高大坝的整体抗渗性和稳定性。

4.3 结构老化与损坏修复技术

大坝在长期运行过程中，由于自然侵蚀、人为破坏等因素，其结构往往会出现老化与损坏。这些老化与损坏不仅影响大坝的美观性，更重要的是可能威胁到大坝的结构安全。结构老化与损坏修复技术主要包括加固坝体、修复裂缝、更换损坏部件等，加固坝体可以通过增加配筋、增设防渗层、加固坝基等措施来提高大坝的整体稳定性和抗渗性。修复裂缝则可以采用上述裂缝处理技术进行修复。更换损坏部件则是针对大坝中损坏严重的部件进行更换，以恢复大坝的正常功能。在实际应用中，结构老化与损坏修复技术的选择应根据大坝的具体损坏情况、损坏原因以及加固设计的要求等因素综合考虑。修复技术还应与加固设计的其他措施相结合，以形成完整的加固方案，确保大坝的安全性和稳定性。

5 大坝安全监测与加固设计的综合应用

5.1 安全监测在加固设计中的应用

安全监测在大坝加固设计中发挥着重要作用。通过安全监测，可以及时发现大坝存在的安全隐患和问题，为加固设计提供科学依据。例如，通过监测大坝的位移、变形、渗漏等参数，可以判断大坝的稳定性和抗渗性是否满足要求，从而确定加固设计的重点和措施^[4]。安全监测还可以为加固设计的效果评估提供数据支持，在加固设计实施后，通过持续的安全监测，可以评估加固效果是否达到预期目标，以便及时调整和优化加固方案。

5.2 加固设计对安全监测系统的优化需求

加固设计对安全监测系统也提出了优化需求。一方面，加固设计可能会改变大坝的结构和材料特性，从而影响安全监测系统的布置和监测参数的选择。因此，在加固设计过程中，需要充分考虑安全监测系统的需求，确保监测系统的有效性和准确性。另一方面，加固设计还可以为安全监测系统的升级和改造提供契机。例如，在加固设计中可以引入新的监测技术和设备，提高安全监测系统的自动化和智能化水平，从而更加准确地反映大坝的安全状况。

结束语

综上所述，大坝安全监测与加固设计研究是确保大坝长期安全运行的关键。通过不断优化监测技术和加固设计策略，能够有效提升大坝的稳定性和安全性。未来，随着科技的进步和水利工程的发展，大坝安全监测与加固设计将面临更多挑战和机遇。期待在更多领域取得突破，为水利工程的可持续发展贡献更多智慧和力量。

参考文献

- [1] 俞扬峰,马福恒,娄本星,叶伟,罗翔.基于BIM+GIS的区域水闸安全监测分析预警系统研发[J].水利水运工程学报,2024,(12)1-13.
- [2] 李松培,熊静,杨志虎,黎海波,周江.大坝安全数字化巡检系统探索及应用[J].云南水力发电,2024,40(06):109-111.
- [3] 黎宇杰,华博深,谢长宁,袁书超.GNSS大坝监测多路径模型应用分析[J].水利水电快报,2022,(11)1-4.
- [4] 徐晔,刘迪,高军,邹冰玉.长江水文数据中心智能监控系统设计与研究[J].水利水电快报,2023,(02)1-8.