

基于水工观测资料分析大坝的安全稳定性探讨

刘 柱

内蒙古大唐国际海勃湾水利枢纽开发有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘 要：基于水工观测资料，深入探讨大坝安全稳定性的分析方法与策略。通过综合分析水文观测、地质勘测、结构位移监测等多源数据，评估大坝在不同工况下的运行状态，并建立相应的预警机制。研究强调监测频率与数据质量对分析结果的重要性，同时探讨数据解读与实时监测系统优化对提升大坝安全稳定性评估能力的关键作用。本文旨在为大坝安全管理提供科学依据，确保大坝长期、稳定、安全运行。

关键词：水工观测资料；大坝；安全稳定性

1 水工观测资料的内容

水工观测资料是水利工程运行管理中不可或缺的重要数据集合，它详细记录了工程结构、水体状态及环境变化的动态信息。以下是一段示例内容："本次水工观测于2023年5月15日上午9时进行，主要针对水库大坝进行全面监测。观测结果显示，大坝主体结构安全稳定，坝体表面未见明显裂缝或渗水现象，沉降观测点数据较上次记录无显著变化，最大累计沉降量控制在设计允许范围内（ $\pm 5\text{mm}$ ）。水库水位当日实测为1074米，较设计正常蓄水位低2米，处于安全合理区间。库水水质清澈，透明度良好，经现场取样检测，各项水质指标均符合国家地表水环境质量标准（III类）。对大坝渗流监测系统进行了数据复核，各监测断面渗流量稳定，最大渗流量为0.01L/s，远低于设计预警值，表明大坝防渗体系运行有效。还对库区周边环境进行了巡视，未发现滑坡、泥石流等地质灾害隐患，植被覆盖良好，生态环境保持稳定。"

2 水工观测资料在大坝安全稳定性分析中的基础性作用

水工观测资料在大坝安全稳定性分析中扮演着至关重要的基础性作用。这些资料是通过对大坝及其周边环境的定期、系统性监测所得，包含了坝体结构变形、渗流情况、库水位变化、水质状况以及地质环境等多方面的详细信息^[1]。它们不仅是评估大坝当前安全状态的重要依据，也是预测大坝未来发展趋势、制定维护与加固方案的基础数据支持。通过对水工观测资料的分析，工程师能够及时发现大坝可能存在的安全隐患，如裂缝扩展、渗流量异常增加等，从而迅速采取相应措施进行修复或加固，避免潜在的安全事故发生，长期积累的水工观测资料还能为大坝的安全稳定性评估提供历史对比和趋势分析，有助于更准确地把握大坝的整体安全状况，制定科学合理的安全管理策略。

3 大坝结构稳定性分析

3.1 大坝结构设计原理

大坝结构设计原理是确保大坝能够安全、稳定地承受各种自然力和工程荷载的基石。在设计之初，首要考虑的是大坝的选址与地形条件，包括地质构造、岩石性质、水文地质特征等，这些因素直接关系到大坝基础的稳定性和耐久性。随后，基于工程力学原理，设计师会精心计算大坝所需的承载能力、抗滑稳定性、抗倾覆能力等关键指标，确保大坝在各种工况下都能保持稳定。在大坝结构设计中，常用的设计理论包括弹性力学、塑性力学、结构动力学以及土力学等。弹性力学用于分析大坝在荷载作用下的应力与应变关系，确保结构在弹性范围内工作；塑性力学则关注结构在极端条件下的变形与破坏机制，为设计提供安全储备；结构动力学则考虑动荷载（如地震波、波浪冲击）对大坝的影响，确保大坝在动态环境中依然稳固；土力学则专注于大坝与地基土体的相互作用，优化地基处理方案，提高大坝的整体稳定性。现代大坝设计还广泛采用计算机模拟技术，如有限元分析（FEA）、离散元分析（DEM）等，对大坝结构进行精细化的模拟与预测，为设计提供更加科学、准确的依据。

3.2 大坝结构安全评估方法

大坝结构安全评估是确保大坝长期安全运行的重要环节。评估方法多种多样，涵盖了现场检测、实验室试验、数值模拟以及专家经验判断等多个方面。现场检测是安全评估的基础，通过布设在大坝上的各类传感器和监测设备，实时或定期收集大坝的变形、渗流、应力应变等关键数据。这些数据经过处理与分析，可以直观反映大坝的当前状态，为评估提供第一手资料。实验室试验则是对大坝材料性能、结构模型等进行深入研究的重要手段。通过模拟不同工况下的加载条件，可以测试

材料的强度、韧性、耐久性等关键指标,为评估提供科学依据。数值模拟方法则利用计算机强大的计算能力,对大坝在不同工况下的响应进行仿真模拟。这种方法可以考虑到复杂的边界条件、非线性效应以及多场耦合作用,为评估提供更加全面、准确的预测结果。专家经验判断也是安全评估中不可或缺的一环,经验丰富的工程师和专家可以通过对大坝设计、施工、运行等各个环节的深入了解,结合现场检测数据和数值模拟结果,对大坝的安全状况进行综合评价,并提出相应的维护、加固或改造建议。

3.3 大坝结构稳定性分析常用指标

大坝结构稳定性分析涉及多个方面的指标,这些指标共同构成了评估大坝安全性的综合体系。(1)抗滑稳定性指标。主要用于评估大坝在水平荷载(如库水压力、地震力)作用下的抗滑能力。常用指标包括抗滑安全系数,该系数需大于一定的设计标准值,以确保大坝不会发生整体滑动;(2)抗倾覆稳定性指标。用于评估大坝在垂直荷载和力矩作用下的抗倾覆能力。通过计算倾覆力矩与抗倾覆力矩的比值(即倾覆安全系数),可以判断大坝是否具备足够的稳定性以防止倾覆^[2];(3)应力应变指标。反映大坝结构在荷载作用下的受力状态。通过监测关键部位的应力应变数据,可以评估大坝是否处于弹性工作状态,避免发生塑性破坏或疲劳破坏;(4)渗流稳定性指标。关注大坝及坝基的渗流情况。通过监测渗流量、渗透压力等参数,可以评估大坝防渗体系的性能,及时发现并处理潜在的渗流问题,防止渗流破坏的发生;(5)变形指标。包括水平位移、垂直位移和倾斜度等。这些指标能够反映大坝在荷载作用下的变形情况,是评估大坝整体稳定性的重要依据;(6)材料性能指标。如混凝土的强度、抗渗性、耐久性等。这些指标直接关系到大坝结构的安全性和耐久性,需要通过实验室试验和现场检测进行验证。

4 水工观测资料在大坝安全性中的应用

4.1 水文观测数据分析在大坝安全性中的应用

水文观测数据是大坝安全性分析中不可或缺的重要组成部分。这些数据涵盖了水库水位、入库流量、出库流量、降雨量、蒸发量等关键指标,它们直接反映了水库的蓄放水状况及水资源的动态变化。具体而言,水文观测数据分析在大坝安全性中的应用主要体现在几个方面:首先,通过对比历史水位数据与当前水位数据,可以评估大坝的防洪能力是否满足设计要求,及时发现并处理潜在的洪水风险;其次,分析入库流量与出库流量的关系,可以评估水库的调蓄能力,确保大坝

在合理的水位范围内运行;再者,结合降雨量和蒸发量数据,可以预测水库水量的变化趋势,为水资源的合理分配和调度提供决策支持;最后,通过对水文数据的统计分析,可以揭示水库水位变化的周期性规律,为大坝的长期安全稳定运行提供参考依据。

4.2 结构位移监测数据分析在大坝安全性中的应用

结构位移监测是评估大坝安全性的直接手段之一。通过在大坝上布设位移监测点,实时或定期监测大坝的变形情况,可以直观地反映大坝在不同工况下的工作性态。结构位移监测数据分析涉及多个方面,包括水平位移、垂直位移、倾斜度等指标的监测与分析。在分析过程中,工程师会重点关注几个方面:第一、通过对比不同监测点的位移数据,可以评估大坝的整体变形情况,判断是否存在异常变形区域;第二、分析位移数据随时间的变化趋势,可以预测大坝未来的变形趋势,为制定维护加固方案提供依据;第三、结合水文观测数据和地质勘测数据,可以深入分析大坝变形的原因,如库水压力、地基沉降、温度变化等,为制定针对性的处理措施提供指导;第四、通过对比历史位移数据与当前位移数据,可以评估大坝的变形是否处于可控范围内,确保大坝的安全稳定运行^[3]。

4.3 安全预警分析在大坝安全性中的应用

安全预警分析是大坝安全性管理的关键环节。它基于水文观测数据、地质勘测数据、结构位移监测数据等多源信息融合,运用先进的数据分析与预测技术,对大坝的安全状态进行实时监测与评估,及时发现并预警潜在的安全风险。在安全预警分析中,工程师会综合运用多种分析方法和技术手段,如趋势分析、模式识别、数据挖掘等,对监测数据进行深度挖掘与处理。通过设定合理的预警阈值和预警规则,实现对大坝安全状态的实时监控与预警。一旦监测数据出现异常或达到预警阈值,系统将自动触发预警机制,通过短信、邮件、报警声光等多种方式向相关人员发送预警信息,提醒其及时采取措施进行处理,安全预警分析还注重与应急响应机制的衔接。一旦预警信息发出,相关部门将立即启动应急预案,组织专业人员对大坝进行现场勘查与处置,确保大坝的安全稳定运行,安全预警分析还注重历史数据的积累与分析,通过不断总结经验教训,完善预警模型与规则,提高预警的准确性和可靠性。

5 水工观测资料分析对大坝安全性的影响

5.1 监测频率与数据质量对分析结果的影响

水工观测资料的监测频率与数据质量是直接影响大

坝安全稳定分析结果准确性的关键因素。监测频率的合理设定确保了数据的时效性和连续性,使得分析人员能够捕捉到大坝运行状态的细微变化,从而及时评估其安全状态。如果监测频率过低,可能会遗漏重要的变形或应力变化信息,导致分析结果滞后于实际情况,无法有效预警潜在风险。另一方面,数据质量的高低直接关系到分析结果的可靠性。高质量的数据意味着准确度高、误差小、完整性强,能够真实反映大坝的实际运行状况。相反,低质量的数据可能由于测量误差、设备故障、人为操作不当等原因而失真,导致分析结果出现偏差,甚至误导决策。监测频率与数据质量的优化是提升大坝安全稳定分析能力的重要途径。通过增加监测点位、提高监测设备精度、加强数据校验和审核等措施,可以显著提高数据的完整性和准确性,根据大坝的实际运行情况和风险等级,灵活调整监测频率,确保在关键时期和关键部位能够获得足够的监测数据,为分析提供有力支持。

5.2 数据解读和预警机制的建立

数据解读是将原始观测数据转化为有价值信息的关键步骤,它直接影响到大坝安全稳定分析结果的实用性和有效性。在数据解读过程中,分析人员需要运用专业知识和经验,对监测数据进行深入分析和挖掘,识别出数据中的规律和异常,进而评估大坝的安全状态。为了更好地解读数据并预警潜在风险,需要建立完善的预警机制。预警机制包括预警指标体系的构建、预警阈值的设定、预警模型的建立以及预警信息的发布与响应等多个环节。通过构建科学合理的预警指标体系,可以全面反映大坝的安全状态;通过设定合理的预警阈值,可以明确区分正常状态和异常状态;通过建立准确的预警模型,可以对未来发展趋势进行预测;通过及时发布预警信息并启动应急响应机制,可以迅速采取有效措施应对潜在风险^[4]。预警机制的建立需要充分考虑大坝的实际情况和外部环境因素,如地形地貌、气候条件、水文地质条件等,还需要加强与其他相关部门的沟通协调,形成合力共同应对大坝安全风险。

5.3 实时监测系统的优化与改进

实时监测系统是大坝安全稳定分析的重要工具之一。它通过自动化、智能化的手段对大坝进行全天候、全方位的监测,为分析提供实时、准确的数据支持。然而,实时监测系统的性能和效果并非一成不变,需要随着技术的发展和坝实际情况的变化不断优化和改进。在实时监测系统的优化与改进过程中,需要重点关注几个方面:一是提高监测精度和灵敏度。通过升级监测设备、改进监测方法等手段提高监测数据的准确性和可靠性;二是扩大监测范围。根据大坝的实际情况和风险等级合理设置监测点位和监测参数以全面反映大坝的安全状态;三是加强数据处理和分析能力。运用先进的数据处理和分析技术提高数据处理的效率和准确性同时深入挖掘数据中的有价值信息;四是提升系统的稳定性和可靠性。通过加强系统维护、优化系统架构等手段提高系统的稳定性和可靠性确保系统能够长期稳定运行;五是加强系统集成和互操作性。通过加强与其他相关系统的集成和互操作性实现数据共享和资源整合提高整体监测效果。

结束语

水工观测资料分析对于大坝安全性的评估具有不可替代的作用。通过精细化的数据监测、科学的分析方法和有效的预警机制,可以及时发现并处理大坝运行中的安全隐患,为大坝的安全管理提供有力支持。未来,随着技术的不断进步和数据的不断积累,大坝安全稳定分析将更加精准、高效,为水利工程的可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]葛文.何文峰.王英林.徐长虹.陈锦林.大坝平面变形控制网观测及稳定性分析[J].城市勘测,2018(02):123-127.
- [2]周砂杉.基于水工观测资料分析大坝的安全稳定性探讨[J].消费导刊,2019(10):229-230.
- [3]杨国强.浅谈大坝安全观测资料的整编和分析[J].四川水泥,2019,(9).DOI:10.3969/j.issn.1007-6344.2019.09.264
- [4]田宇.长大水工隧洞永久监控量测设备的施工期观测[J].吉林水利,2019(11):60-62.