

水工环地质条件下的坝体稳定性分析与评估研究

郭星辰

新疆有色冶金设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830002

摘要: 随着水利工程建设规模扩大,安全受关注。本文聚焦于水工环地质条件下的坝体稳定性分析与评估研究。首先概述水工环地质条件下坝体的基本情况,接着深入剖析水文、工程、环境地质条件对坝体稳定性的影响机制。详细阐述地质勘探、数值模拟、物理模型实验及现场监测等分析方法,构建包含地质条件、坝体结构、水文条件和环境因素指标的评估指标体系。旨在为准确评估水工环地质条件下坝体稳定性提供科学依据,保障水利工程安全运行。

关键词: 水工环地质; 坝体稳定性; 分析与评估

引言: 水利工程中,坝体的稳定性至关重要,关乎下游地区人民生命财产安全与区域经济发展。水工环地质条件涵盖水文、工程、环境地质等多方面,对坝体稳定性有着复杂且深刻的影响。不同地质条件组合下,坝体可能面临滑坡、渗漏等风险。然而,目前对于水工环地质条件下坝体稳定性的系统分析与全面评估尚存在不足。因此,深入开展该领域研究,准确把握各因素作用机制,构建科学合理的评估体系,对保障水利工程安全、促进水资源合理利用具有重大现实意义。

1 水工环地质条件下坝体的概述

在水工环地质的复杂体系中,坝体作为水利工程的核心构筑物,承担着挡水、蓄水及调节水流等关键任务,其稳定性直接关乎整个水利工程的安全与效能。水工环地质条件涵盖多个维度。水文地质条件方面,地下水的分布、水位变化及水流特征,会通过渗透压力、浮托力等方式影响坝体。工程地质条件中,坝基岩土体的物理力学性质,如强度、变形特性等,决定了坝体的承载能力与变形情况。环境地质条件同样不可忽视,地震活动可能引发坝体振动,导致结构破坏;滑坡、泥石流等地质灾害可能直接冲击坝体,威胁其安全。坝体根据结构形式和材料的不同,可分为土石坝、混凝土坝、拱坝等多种类型。不同类型的坝体对水工环地质条件的适应性存在差异。例如,土石坝对地基的不均匀沉降较为敏感,而混凝土坝则更注重地基的完整性。在实际工程中,需综合考虑水工环地质条件与坝体类型的匹配性,通过合理的设计与施工,确保坝体在复杂的地质环境中保持稳定,以实现水利工程的长期安全运行和可持续发展^[1]。

2 水工环地质条件对坝体稳定性的影响机制

2.1 水文地质条件的作用

水文地质条件对坝体稳定性影响显著。地下水的存

在改变了坝体及坝基的应力状态,渗透水流产生的渗透压力,会削弱坝体土石料或坝基岩土体的有效应力,降低其抗剪强度,易引发坝体滑动或坝基失稳。当水位快速上升时,坝体上下游水位差增大,水压力增加,对坝体产生较大推力;而水位骤降时,坝体内部渗流场改变,孔隙水压力不能及时消散,可能导致坝体出现裂缝。此外,地下水化学成分与坝体材料发生反应,可能造成材料腐蚀、软化,影响坝体结构完整性。例如,某些地下水中的酸性物质会侵蚀混凝土坝体,降低其强度和耐久性,从而威胁坝体稳定性。

2.2 工程地质条件的影响

工程地质条件是坝体稳定性的重要影响因素。坝基岩土体的性质直接决定坝体的承载能力,若坝基存在软弱夹层、断层破碎带等不良地质体,其强度低、变形大,在坝体荷载作用下,易产生不均匀沉降,导致坝体开裂甚至倾覆。岩体的风化程度也至关重要,风化岩体结构松散、强度降低,会削弱坝基的稳定性。同时,岩土体的透水性影响渗流情况,透水性强的坝基,地下水渗流可能带走细颗粒,引发管涌、流土等渗透破坏。此外,地形地貌对坝体布置和应力分布有影响,狭窄河谷中的拱坝,地形条件利于发挥拱的承重作用,而宽谷地区拱坝的稳定性则相对较差。

2.3 环境地质条件的作用

环境地质条件对坝体稳定性的影响具有多样性和不确定性。地震活动是重要影响因素之一,地震产生的地震波会使坝体和坝基发生振动,导致结构内部应力重新分布,当应力超过材料强度时,坝体可能产生裂缝、滑移甚至倒塌。滑坡、泥石流等地质灾害会直接冲击坝体,巨大的冲击力可能破坏坝体结构,造成严重后果。气候变化引起的降雨量变化也不容忽视,持续强降雨会

使坝体和坝基的含水量增加，重量增大，同时降低土石料的抗剪强度，增加滑坡风险。

3 水工环地质条件下的坝体稳定性分析方法

3.1 地质勘探与土壤力学测试

地质勘探是了解水工环地质条件下坝体稳定性的基础工作。通过钻探、物探等手段，能详细查明坝基及周边区域的地质结构，包括岩土层分布、厚度、性质，以及断层、裂隙等地质构造的发育情况。钻探可获取岩芯样本，直观观察岩土特征；物探则利用物理方法探测地下地质信息，快速且范围广。土壤力学测试对评估坝体稳定性至关重要。针对获取的岩土样本，开展一系列力学试验，如直剪试验测定土的抗剪强度指标，确定其内摩擦角和黏聚力，这些参数直接影响坝体抗滑稳定性。三轴压缩试验能更全面地了解土在不同应力状态下的强度和变形特性。此外，进行渗透试验，测定岩土体的渗透系数，掌握地下水的渗透规律，分析渗透对坝体稳定性的影响。通过地质勘探与土壤力学测试相结合，可准确掌握坝体及基础的地质条件和力学性能，为后续的稳定性分析和设计提供可靠依据，确保坝体在复杂地质环境下安全稳定运行。

3.2 数值模拟与计算分析

数值模拟与计算分析是研究水工环地质条件下坝体稳定性的重要手段。借助有限元法、有限差分法等数值方法，构建能精准反映坝体、坝基及周边地质环境相互作用的计算模型。在模型中，可细致设定岩土体的物理力学参数，如弹性模量、泊松比、抗剪强度等，以及水文地质条件，如地下水位、渗透系数等。通过模拟不同工况，如正常蓄水、洪水、地震等，分析坝体内部的应力、应变分布情况。利用数值模拟，能直观呈现坝体在复杂地质和水力条件下的变形过程，预测可能出现的失稳模式，如滑动、倾覆、管涌等。计算分析结果可为坝体设计优化提供依据，比如调整坝体结构尺寸、选择合适的建筑材料。同时，还能评估加固措施的效果，确定最佳的加固方案。数值模拟与计算分析具有高效、灵活的优点，能充分考虑多种因素的综合影响，为保障坝体稳定性提供科学、精确的理论支持^[2]。

3.3 物理模型实验

物理模型实验是探究水工环地质条件下坝体稳定性的直观且有效的方法。它依据相似理论，按一定比例缩小制作坝体及周边地质环境的物理模型，模拟实际工程中的复杂工况。在实验中，可精确控制各种参数，如水流速度、水位变化、地质材料特性等。通过向模型施加类似真实环境的水力荷载和地质作用力，观察坝体的变

形、位移以及渗流等情况。利用先进的测量仪器，如激光位移传感器、应变片等，实时采集数据，准确记录坝体在不同阶段的响应。物理模型实验能直观呈现坝体失稳的过程和形态，帮助研究人员深入理解破坏机理。同时，可对数值模拟结果进行验证和修正，提高分析的准确性。此外，通过改变模型参数进行多组实验，能研究不同因素对坝体稳定性的影响程度，为优化坝体设计、制定合理的施工方案和防灾减灾措施提供可靠依据，在保障水利工程安全方面发挥着不可替代的作用。

3.4 现场监测与数据分析

现场监测与数据分析是保障水工环地质条件下坝体稳定性的关键环节。通过在坝体及周边关键部位布置各类监测仪器，如测压管监测坝体内部水位与渗透压力，沉降仪测量坝体沉降变形，测斜仪跟踪坝体水平位移等，可实时获取坝体在不同工况下的运行状态信息。这些监测数据连续且真实地反映了坝体的实际工作情况。利用先进的数据采集系统和传输技术，能将数据及时、准确地传输至监控中心。随后，运用专业的数据分析软件和方法，对海量监测数据进行深入挖掘和分析。通过绘制位移-时间曲线、渗透压力-水位关系图等，可直观呈现坝体的变化趋势。一旦发现数据异常，如位移突然增大、渗透压力异常升高等，能及时发出预警，为采取应急措施争取时间。同时，长期积累的监测数据还可用于验证数值模拟和物理模型实验的结果，不断优化坝体稳定性分析方法，为坝体的安全运行和维护提供科学依据。

4 水工环地质条件下的坝体稳定性评估指标体系

4.1 地质条件指标

在水工环地质条件下，地质条件指标是评估坝体稳定性的重要基础，涵盖多个关键方面。岩土体性质指标至关重要。坝基与坝体材料的岩土体类型、密度、孔隙率等物理性质，直接影响其承载能力与变形特性。如坚实的砂砾石层作为坝基，相比松散的粉质黏土，能提供更稳定的支撑。岩土体的力学性质指标，如抗压强度、抗剪强度，决定了坝体抵抗破坏的能力。高强度的岩体可有效抵御坝体传来的压力，防止发生剪切破坏。地质构造指标也不容忽视。断层、节理、裂隙等地质构造的发育程度和分布特征，会破坏岩土体的完整性，降低其强度。若坝基存在规模较大的断层，可能成为地下水渗透通道，引发渗透变形，威胁坝体稳定。此外，岩土体的透水性指标影响地下水的渗流情况。透水性强的岩土体，地下水渗流速度快，可能带走细颗粒，导致管涌、流土等渗透破坏。而透水性弱的岩土体，虽能减少渗流影响，但可能因孔隙水压力积聚，影响坝体有效应力，

进而影响稳定性。

4.2 坝体结构指标

坝体结构指标是衡量水工环地质条件下坝体稳定性的核心要素,对保障水利工程安全起着关键作用。坝体几何尺寸指标包含坝高、坝顶宽度、上下游坡度等。坝高直接影响坝体所承受的水压力和自重应力,较高的坝体面临更大的水推力和自重作用,对结构稳定性要求更高。坝顶宽度需满足交通、检修等实际需求,同时过窄可能影响坝体整体刚度。上下游坡度则关系到坝体抗滑稳定性,合理的坡度设计可有效分散应力,防止滑坡现象发生。坝体材料性能指标涵盖材料的强度、弹性模量、变形特性等。不同材料构建的坝体,其稳定性差异显著。例如,混凝土坝材料强度高、弹性模量大,能承受较大荷载且变形较小;而土石坝材料颗粒间的摩擦力和咬合力决定其稳定性,材料的级配、含水量等对强度影响较大。坝体结构形式指标也至关重要。拱坝依靠拱的作用将水压力传至两岸,结构受力合理;重力坝主要依靠自身重量维持稳定;土石坝则通过堆石体的自重和颗粒间的摩擦力抵抗水压力。不同结构形式的坝体,在水工环地质条件下的稳定性表现和破坏模式各不相同,需针对性评估。

4.3 水文条件指标

在水工环地质条件下,水文条件指标对于准确评估坝体稳定性具有不可忽视的作用,主要涉及水位、流量、渗流等多个方面。水位指标是关键因素之一。库水位的高低直接影响坝体所承受的水压力大小。当库水位上升时,坝体上下游水位差增大,水压力随之增加,对坝体产生的推力也相应增大,可能导致坝体出现滑动、倾覆等不稳定情况。而库水位的骤降也不容小觑,它会使坝体内部渗流场发生急剧变化,孔隙水压力不能及时消散,造成坝体有效应力降低,进而引发裂缝甚至滑坡等危害。流量指标同样重要。洪水期间,入库流量的急剧增大,会使库水位迅速上升,加剧对坝体的压力。同时,大流量水流可能携带大量泥沙,对坝体下游造成冲刷,影响坝体的基础稳定。渗流指标也不容忽视。坝体和坝基的渗流情况会影响岩土体的物理力学性质。过大的渗流速度可能导致细颗粒被带走,引发管涌、流土等

渗透破坏,降低坝体和坝基的稳定性。

4.4 环境因素指标

在水工环地质条件下评估坝体稳定性时,环境因素指标起着关键作用。首先,气象因素不容忽视。降雨量的大小和强度直接影响坝体表面的水流冲刷情况。长时间的暴雨可能导致坝体表面土壤流失,削弱坝体结构;而极端干旱天气则可能使坝体材料干裂,降低其抗剪强度。气温的变化也不容小觑,气温的剧烈波动会使坝体材料产生热胀冷缩效应,长期作用下可能引发裂缝,影响坝体整体稳定性。其次,地震活动是重要环境因素。地震产生的地震波会使坝体和坝基发生振动,导致结构内部应力重新分布。当应力超过材料强度时,坝体可能产生裂缝、滑移甚至倒塌。地震的震级、震中距等因素都会对坝体稳定性产生不同程度的影响。再者,周边地质灾害活动也会威胁坝体安全。如滑坡、泥石流等灾害发生时,巨大的冲击力和堆积物可能直接冲击坝体,造成严重破坏。同时,地质灾害还可能改变周边地形地貌,影响地下水的渗流路径,进而对坝体稳定性产生间接影响^[3]。

结束语

在水工环地质条件下,坝体稳定性分析与评估是确保水利工程安全运行的关键环节。本研究通过综合分析地质结构、水文条件及工程特性,构建了科学的坝体稳定性评估体系。实践表明,精准的地质勘测与动态监测,结合先进的数值模拟技术,能有效识别潜在风险,为加固设计与应急管理提供可靠依据。未来,需进一步强化多学科交叉融合,提升评估模型的精细化与智能化水平,以应对复杂环境变化,保障坝体长期稳定运行,为水利事业可持续发展筑牢安全基石。

参考文献

- [1]周庆响.考虑强度龄期效应的水泥固化土坝体稳定性分析[J].水利科技与经济,2024,30(08):10-13.
- [2]吴峻民.采动水浸作用下煤柱坝体承载特征与失稳规律研究[J].煤矿安全,2024,55(08):159-166.
- [3]陈世平.基于有限元的库水位升降条件下水库大坝稳定性研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(07):32-36.