

大型水利水电工程地质稳定性分析与安全评价

李丰洲

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:大型水利水电工程地质稳定性分析是确保工程安全的基础,采用地质勘察技术、数值模拟方法、物理模型试验及现场监测与分析技术,全面评估地质条件对工程稳定性的影响。同时,构建大型水利水电工程安全评价体系,明确安全评价标准,运用定性与定量相结合的评价方法,遵循规范的安全评价流程与实施步骤,对工程的安全性进行综合评价,为工程的设计、施工及运营提供科学依据,确保工程长期稳定运行,保障人民生命财产安全。

关键词:大型水利水电工程;地质稳定性;安全评价

引言:大型水利水电工程,作为推动国家经济发展不可或缺的重要引擎,其建设与运行不仅关乎国家能源安全与水资源调配,更对地质环境的稳定性提出了极高的要求。这些工程多选址于地质条件极为复杂、自然灾害频发的地区,如山区、河谷地带等,这些区域的地质构造复杂多变,地震、滑坡、泥石流等自然灾害时有发生。因此,地质稳定性问题直接关系到工程的安全性、稳定性和耐久性,是确保工程长期安全运行、发挥综合效益的关键所在。

1 大型水利水电工程地质条件概述

大型水利水电工程,作为国家能源战略的关键支撑与水资源管理的重要设施,其选址与建设均深受地质条件的制约与影响。地质条件,这一涵盖地形地貌、地层结构、地质构造及水文地质特征的综合体系,是水利水电工程规划、设计与实施不可或缺的基础考量。地形地貌作为工程的直观背景,不仅决定了工程的总体布局与取水、泄洪系统的规划,还影响着施工难易度与生态环境保护策略。复杂多变的地形,如峡谷、盆地等,往往对大坝选址、坝型选择及枢纽布置提出特殊要求。地层结构,特别是岩性与土层的物理力学性质,直接关系到坝基的稳定性与边坡的安全。坚硬的岩石层能提供稳固的支撑,而软弱地层则可能需要额外的地基处理或加固措施,以确保大坝的承载能力与抗滑稳定性^[1]。地质构造,如断层、褶皱等,是潜在的地质灾害源,可能引发坝体裂缝、滑坡或渗漏等问题。因此,在选址与设计阶段,需深入勘探地质构造,评估其对工程稳定性的影响,并采取相应的工程措施进行预防与治理。水文地质条件,特别是地下水的分布、水位变化及渗透性,对大坝的防渗设计与基坑排水至关重要。不合理的防渗设计或排水措施可能导致渗漏、管涌等严重问题,威胁大坝安全。

2 大型水利水电工程地质稳定性分析技术与方法

2.1 地质勘察技术

2.1.1 遥感与GIS技术应用

遥感技术利用卫星、飞机等平台上的传感器,远距离获取地面的影像信息。在水利水电工程地质勘察中,遥感技术能够迅速覆盖大面积区域,提供高分辨率的地形地貌图像,有助于识别地质构造、地层分布及不良地质现象。而GIS(地理信息系统)技术则能将遥感数据与其他地质信息进行整合,形成三维地质模型,为工程选址、设计与施工提供直观、准确的地质参考。

2.1.2 钻探与坑探技术

钻探与坑探是获取地下地质信息的直接手段。钻探通过旋转钻进或冲击钻进的方式,深入地下获取岩芯或土样,用于分析地层岩性、物理力学性质及地下水情况。坑探则通过开挖探坑或探井,直接观察并取样地下地层,适用于浅层地质条件的详细勘察。这些技术为工程提供了关键的地质数据,有助于评估地基承载力、边坡稳定性及潜在地质灾害风险。

2.1.3 地球物理勘探

地球物理勘探利用岩石、土壤等地质体的物理性质差异,通过测量电场、磁场、重力场等物理场的变化,间接推断地下地质结构、地层分布及潜在的地质灾害源。在水利水电工程地质勘察中,地球物理勘探常用于探测断层、岩溶、滑坡等不良地质现象,为工程选址、设计与施工提供重要的地质依据。

2.2 数值模拟方法

在大型水利水电工程的地质稳定性分析中,数值模拟方法以其强大的预测能力和高精度,成为不可或缺的分析工具,该方法基于现代计算技术和地质力学理论,能够模拟地质体在复杂工况下的应力、应变及变形过程,进而评估工程的稳定性。数值模拟方法的核心在于

构建精细的地质力学模型,工程师需根据工程场地的地质条件,包括地层分布、岩性特征、地质构造等,将地质体离散化为一系列具有特定物理力学性质的单元。通过施加边界条件和外部荷载,利用有限元法、离散元法等数值方法,求解地质体在特定工况下的响应。这一过程不仅能够揭示地质体内部的应力、应变分布,还能预测潜在的变形和破坏模式。例如,在评估大坝基础的稳定性时,数值模拟方法可以模拟坝基在不同水位、荷载条件下的应力状态,从而预测坝基的沉降、滑移等潜在风险。此外,数值模拟方法还具有灵活性和可定制性,工程师可以根据具体工程需求,调整模型参数和边界条件,以模拟不同工况下的地质响应。这种灵活性使得数值模拟方法能够适用于各种复杂的地质和工程条件,为工程设计和施工提供科学依据。

2.3 物理模型试验方法

物理模型试验方法是大型水利水电工程地质稳定性分析中的一项重要技术,它借助物理模型来模拟工程场地的地质条件和工程结构,从而直观地分析和评估工程的稳定性。以下是该方法在应用中需要考虑的几个关键方面:(1)模型设计的精确性:物理模型的设计需要高度精确,以反映实际工程场地的地质特征和工程结构。模型的比例尺、材料选择、边界条件设置等都需要经过精心计算和设计,以确保模型能够真实地模拟实际工程的情况。

(2)材料选择与模拟:在物理模型试验中,选择合适的材料来模拟实际地质体是至关重要的。这些材料需要具有与实际地质体相似的物理力学性质,如密度、强度、变形特性等。同时,还需要考虑材料的可加工性和经济性,以确保模型的制作成本和质量。(3)加载与监测:在物理模型试验中,需要对模型施加与实际工程相似的荷载,并监测模型的变形和应力状态。这可以通过各种传感器和测量设备来实现,如位移传感器、应变计等。通过实时监测和分析模型的变形和应力数据,可以评估工程的稳定性和安全性。(4)试验数据的处理与分析:物理模型试验产生的大量数据需要进行系统的处理和分析。这包括数据的整理、筛选、统计和图形化展示等。通过科学的数据处理和分析方法,可以从试验数据中提取有用的信息,为工程设计和施工提供科学依据。(5)试验结果的验证与应用:物理模型试验的结果需要与实际工程进行对比和验证,以确保其准确性和可靠性。一旦验证通过,试验结果可以直接应用于工程设计和施工中,为工程的安全性、稳定性和经济性提供有力保障。

2.4 现场监测与分析技术

在大型水利水电工程中,地质稳定性分析是保障工

程安全的基石,现场监测与分析技术作为这一环节的核心,对于实时监控工程地质状态、预警潜在风险具有不可替代的作用。地表与地下变形、应力状态、水文地质条件、岩体完整性和地震活动是评估地质稳定性的关键指标。现场监测技术通过布置水准点、测斜仪、GPS、应力计、水位计、声波探测设备和地震监测网络等设备,实现对这些指标的全面监测。监测数据的价值在于分析和应用,数据预处理是确保数据准确性和完整性的基础,通过对监测数据进行质量检查、异常值处理和缺失值插补,为后续分析提供可靠的数据支持^[2]。数据分析与建模则运用统计学、时序分析和空间分析等方法,揭示地质体变形、应力变化的规律,为稳定性评价提供科学依据。风险评估是现场监测与分析技术的关键环节,根据监测数据和分析结果,工程师能够评估地质稳定性风险,确定预警阈值,为工程安全管理提供决策支持。这有助于及时发现潜在的安全隐患,避免或减少地质灾害的发生。可视化与动态模拟技术进一步提升了现场监测与分析技术的实用性,通过地理信息系统(GIS)和三维建模技术,将监测数据和分析结果以直观的方式呈现出来,实现对地质稳定性状态的动态模拟和展示。这有助于工程师更好地理解地质体的变形和演化过程,为工程设计和施工提供有力支持。

3 大型水利水电工程安全评价体系

3.1 安全评价标准

大型水利水电工程的安全评价体系中,安全评价标准是至关重要的一环,这一标准旨在通过多维度、全方位的考量,确保工程在设计、施工、运营及后期维护等各个阶段均能满足安全要求,为工程的稳固运行提供坚实保障。在安全评价标准中,首要关注的是工程设计的科学性。标准要求设计方案必须充分考虑地质条件、水文特征、环境因素等,确保工程结构稳定、防洪能力达标、抗震性能可靠。设计方案还需经过严格的审查与评估,确保其符合相关规范与标准。施工过程中的安全管理同样不容忽视,安全评价标准要求施工单位必须建立健全的安全管理体系,加强现场安全监控,确保施工人员的安全与健康^[3]。此外,对施工质量也有严格要求,必须按照设计图纸与规范进行施工,确保工程质量达标。在运营阶段,安全评价标准关注工程的日常维护与安全管理。标准要求运营单位必须建立完善的巡视、检查与维修制度,及时发现并处理潜在的安全隐患。同时,还需加强应急管理,与灾害防御能力,确保在突发事件发生时能够迅速响应,有效保障工程安全。

3.2 安全评价方法

3.2.1 定性评价方法

定性评价方法主要依赖于专家的主观判断和经验积累,通过对工程的各种安全因素进行综合分析,形成对安全状况的整体评价。这种方法通常包括专家打分、安全检查表、风险矩阵等。专家打分法通过邀请具有丰富经验的专家,对工程的安全性进行打分评价,可以直观地反映工程的安全状况。安全检查表则是根据工程特点和安全要求,列出关键的安全检查项,逐一进行核查,确保各项安全措施得到落实。风险矩阵则通过综合考虑风险的可能性和严重性,对工程的风险等级进行划分,帮助我们更清晰地了解工程的安全风险。

3.2.2 定量评价方法

与定性评价方法相比,定量评价方法更加注重数据的客观性和准确性。它通过建立数学模型,对工程的各项安全指标进行量化分析,从而得出更为精确的安全评估结果。这种方法通常包括概率风险评估、结构可靠性分析、事故树分析等。概率风险评估通过计算事故发生的概率和可能造成的损失,来评估工程的风险水平。结构可靠性分析则通过对工程结构的力学性能和耐久性进行分析,来评估其长期运行的安全性。事故树分析则通过模拟事故发生的路径和条件,来识别潜在的安全隐患和薄弱环节。

3.2.3 综合评价方法

综合评价方法是将定性和定量评价方法相结合,形成更为全面、系统的安全评价体系。它综合考虑工程的安全性、经济性、环境性等多个方面,通过构建评价指标体系,对工程的安全状况进行综合评价。这种方法通常包括层次分析法、模糊综合评价、灰色关联分析等。层次分析法通过将评价对象分解为多个层次和因素,构建层次结构模型,进行逐层分析和评价。模糊综合评价则通过引入模糊数学理论,对评价对象的模糊性进行量化处理,提高评价的准确性和可靠性。灰色关联分析则通过计算评价对象与理想状态之间的关联度,来评估其安全性能的优劣。

3.3 安全评价流程与实施步骤

在大型水利水电工程的安全评价体系中,明确的安全评价流程与实施步骤是确保评价工作顺利进展的关键。(1)前期准备:明确评价对象,收集相关设计文

件、施工图纸、运行记录等资料,并组建专业的评价团队。这一步骤旨在为后续的评价工作奠定坚实的基础。

(2)危险源辨识与分析:基于收集的资料,运用科学的方法对工程中的潜在危险源进行全面辨识,分析危险源可能引发的事故类型、影响范围及后果。这一步骤是安全评价的核心,直接关系到后续评价结果的准确性。

(3)评价单元划分与指标确定:根据危险源辨识的结果,将工程划分为若干个评价单元,并针对每个单元确定具体的评价指标。这一步骤有助于使评价工作更加系统化、条理化。(4)实施评价与数据分析:运用定性和定量相结合的评价方法,对每个评价单元进行详细的安全评价,收集并分析评价数据,形成初步的评价结果。这一步骤是安全评价的关键,需要确保评价方法的科学性和数据的准确性。(5)编制评价报告与提出改进建议:根据评价结果,编制详细的安全评价报告,指出工程中存在的安全隐患,并提出具体的改进建议。这一步骤是安全评价的最终成果,对于指导工程的安全管理和改进具有重要意义。

结语

未来,随着科技的飞速发展与经验的不断积累,我们将迎来大型水利水电工程地质稳定性分析与安全评价领域的新一轮革新。通过引入更先进的数据分析技术、人工智能算法以及实时监测手段,我们将持续优化评价流程,创新评价方法,力求实现评价过程的智能化、自动化,从而大幅提升评价的科学性和准确性。这将为确保大型水利水电工程在复杂多变的地质环境下依然能够保持安全稳定运行提供更为坚实的保障,同时也将为我国经济社会的持续健康发展注入更为强劲的动力,助力国家实现高质量发展的新跨越。

参考文献

- [1]罗正全.水利水电工程边坡地质稳定性分析及支护施工工艺[J].工程建设与设计,2021(19):158-160.
- [2]王伟琛.水利水电工程中地质勘测技术应用分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(8):0112-0115.
- [3]孙云博,孙文植.水利水电工程区域构造稳定性浅析[J].地下水,2022,44(6):195-196+251.