

水利水电工程边坡稳定分析研究

王哲 张子奇

中水东北勘测设计研究有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6323

[摘要] 水利水电工程边坡稳定性直接关系到工程的安全与效益。本文综述了边坡稳定性分析的意义、方法及其在水利水电工程中的应用,探讨了影响边坡稳定性的主要因素,并通过具体案例分析了边坡稳定性的评价与处理措施。研究表明,采用多种方法综合分析边坡稳定性,对于确保水利水电工程的安全运行具有重要意义。

[关键词] 水利水电工程; 边坡稳定性; 分析方法; 影响因素

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Analysis and Research on Slope Stability of Water Conservancy and Hydropower Project

Zhe Wang Ziqi Zhang

Northeast Water Survey and Design Research Co., Ltd.

[Abstract] The slope stability of water conservancy and hydropower project is directly related to the safety and benefit of the project. This paper summarizes the significance and methods of slope stability analysis and its application in water conservancy and hydropower projects, discusses the main factors affecting slope stability, and analyzes the evaluation and treatment measures of slope stability through specific cases. The research shows that it is of great significance to comprehensively analyze slope stability by various methods to ensure the safe operation of water conservancy and hydropower projects.

[Key words] water conservancy and hydropower engineering; Slope stability; Analytical methods; influencing factor

引言

随着我国经济的快速发展和能源需求的不断增长,水利水电工程建设日益增多。在水利水电工程的施工过程中,边坡稳定性问题尤为关键,它直接关系到工程的安全、进度和效益。边坡失稳可能导致滑坡、崩塌等地质灾害,不仅威胁施工人员和周边居民的生命财产安全,还可能对工程设施造成严重破坏。因此,对水利水电工程边坡稳定性进行深入分析研究,对于确保工程安全、提高工程效益具有重要意义。

1 边坡稳定性分析的意义与方法

1.1 边坡稳定性分析的意义

在水利水电工程中,边坡稳定性分析占据着至关重要的地位。从工程安全层面而言,边坡作为水利水电工程的关键组成部分,其稳定性直接关系到整个工程的安全运行。一旦边坡出现失稳现象,诸如滑坡、崩塌等地质灾害便会接踵而至,这些灾害不仅会对工程设施造成严重破坏,还可能对施工人员的生命安全构成严重威胁,同时也会影响周边居民的正常生活。因此,开展边坡稳定性分析能够及时察觉潜在的边坡失稳风险。基于此分析结果,可制定并实施相应的预防和治理措施,从而确保工程安

全、稳定地运行。

边坡稳定性分析对于提高工程效益具有重要意义。在水利水电工程的规划和设计阶段,通过进行边坡稳定性分析,能够优化边坡设计方案,减少不必要的工程投资。例如,在边坡开挖过程中,通过合理设计边坡角度和支护结构,可显著降低开挖量,有效减少支护成本,进而显著提高工程经济效益。同时,在工程运行阶段,通过实施边坡稳定性监测和预警,能够及时发现并妥善处理边坡失稳问题,有效避免或减少因边坡失稳引发的工程事故和损失,从而保障工程长期、稳定地运行。

边坡稳定性分析对于推动水利水电工程技术的进步和发展也起着至关重要的作用。随着科技的不断进步和工程实践经验的持续积累,边坡稳定性分析的方法和技术也在不断更新和完善。通过深入研究边坡失稳机理和稳定性分析方法,能够推动相关学科的发展和创新,为水利水电工程的设计、施工和运行提供技术支持。此外,边坡稳定性分析的研究成果还可为其他类似工程提供参考和借鉴,对整个工程领域的进步和发展起到积极的促进作用。

1.2 边坡稳定性分析的方法

边坡稳定性分析方法丰富多样, 每种方法适用于不同的场景, 且具备独特的优势。以下将对几种主要的分析方法进行详细阐述。

定性分析法主要基于经验和直观判断, 它充分依据工程地质勘察资料, 结合多种因素对边坡稳定性进行初步且准确的判断。该方法简单快捷, 能够迅速对边坡稳定性进行初步评估, 为后续的分析 and 处理提供参考。常用的定性分析法包括工程地质类比法、地质分析法(历史成因分析法)以及图解法等。

定量分析法则通过建立数学模型对边坡稳定性进行计算分析, 所得结果较为精确。其中, 基于静力学原理, 通过分析力的平衡条件来确定边坡安全系数的方法, 能够得到准确的结果。极限平衡法作为常用的定量分析方法, 在多种模式下得以运用, 能够准确可靠地计算出边坡诸多影响因素的结果。然而, 该方法假设条件较多, 无法考虑变形过程, 存在一定的局限性。相比之下, 利用计算机模拟应力应变过程, 通过求解方程组来得到稳定性系数和滑动面位置的方法则更为精确。考虑到变形过程、材料非线性等因素, 常用的数值分析法如有限元法、离散元法等, 能够实现更为精确的计算结果。

在边坡稳定性分析中, 存在诸多不确定性因素, 如地质参数、外部环境变化等。为了更全面深入地分析边坡稳定性, 可引入相关理论进行分析。常用的不确定性分析法包括多种方法, 能够为工程决策提供科学依据。

2 水利水电工程边坡稳定性的影响因素

2.1 地质因素

影响水利水电工程边坡稳定性的地质因素至关重要, 其复杂性和多样性使得边坡稳定性分析颇具难度。在决定边坡稳定性的诸多地质因素中, 岩石类型是首要因素。不同岩石的物理力学性质差异显著, 例如, 坚硬的花岗岩抗压、抗剪强度较高, 由其构成的边坡稳定性较好, 即便承受较大的外力作用也不易失稳。相反, 软弱的泥岩、页岩等岩石抗压、抗剪强度较低, 在自重或外力作用下易发生变形和破坏, 进而导致边坡失稳。

岩层结构对边坡稳定性也有较大影响。当岩层呈水平或缓倾时, 边坡稳定性相对较好, 因为岩层层面与边坡面近似平行, 岩层间的摩擦力能够阻止边坡滑动。然而, 当岩层存在倾斜、褶皱或断裂时, 边坡稳定性会显著降低。倾斜岩层容易形成滑动面, 褶皱和断裂会破坏岩层的完整性, 降低岩体的力学强度, 从而增加边坡失稳的风险。

地质构造同样不容忽视。断层、节理等地质构造会使岩体产生不连续性, 严重破坏其完整性, 明显降低力学强度。断层带通常破碎、软弱, 这些位置很容易成为地下水的通道, 从而加剧边坡失稳。节理的存在会削弱岩体的连接强度, 使其更容易发生分离和滑动。软弱夹层对边坡稳定性的影响尤为显著。软弱夹层是指夹在坚硬岩层之间, 力学强度远低于周围坚硬岩层的软弱岩层或土层。在边坡受力过程中, 软弱夹层很容易成为滑动面, 导致边坡轻易发生滑动破坏。软弱夹层的厚度、性质以及分布位置等因素对边坡稳定性影响极大。

在水利水电工程建设中, 必须充分重视地质因素对边坡稳定性的影响。在工程前期, 应进行周全详细的地质勘察, 清楚了解边坡的地质条件, 包括岩石类型、岩层结构、地质构造以及软弱夹层等情况。基于勘察结果, 合理设计边坡的坡度和支护结构, 并采取锚固、抗滑桩等有效的工程措施, 从而有效提高边坡稳定性, 确保水利水电工程的安全运行。

2.2 水文地质条件

水文地质条件因素对水利水电工程边坡稳定性的影响程度极高, 其复杂性和动态性给边坡稳定性分析带来了诸多挑战。地下水位的高低对边坡稳定性影响显著, 当水浸润边坡土体时, 会使土体重量增加。水在土体孔隙中产生静水压力和动水压力, 显著削弱土体颗粒间的摩擦力和黏聚力, 导致边坡土体更易滑动, 这是水对土体影响所产生的结果。尤其在地下水位大幅上升的情况下(特别是在雨季或水库蓄水期间), 会进一步加剧边坡失稳的风险。一些位于河谷地带的水利水电工程边坡, 在水库蓄水后因地下水位升高, 土体达到饱和状态, 很容易发生滑坡等地质灾害。

降雨入渗也是导致边坡失稳的重要因素。雨水顺着边坡表面或裂缝渗入土体内部, 增加了土体的重量, 使边坡下滑力增大。同时, 雨水在土体中流动形成动水压力, 破坏土体结构, 降低其稳定性。降雨入渗对边坡稳定性的影响在强降雨或长时间降雨时更为显著, 暴雨过后, 边坡常出现局部塌陷或整体滑动, 给工程安全带来严重威胁。

此外, 地表水的冲刷作用也不容忽视。地表水体的流动会对边坡坡脚和坡面造成冲刷, 破坏其原有形态和结构。长期的地表水冲刷会使坡脚变陡, 坡面土体被侵蚀, 导致边坡稳定性降低。地表水侵蚀还会使边坡土体中的细颗粒被带走, 形成空洞和裂缝, 削弱其抗滑能力。

2.3 自然因素

自然因素在水利水电工程边坡稳定性中扮演着不可忽视的角色, 其影响广泛且与地质和水文地质条件紧密交织, 共同作用于边坡。地震作为自然因素中危害较大的现象, 对边坡稳定性的影响尤为剧烈。地震波在传播过程中会对边坡土体产生强烈震动, 显著减弱土体颗粒间的连接力, 导致边坡土体出现裂缝和位移。强烈地震甚至可能引发边坡大规模滑坡和崩塌, 对水利水电工程造成毁灭性破坏。地震的震级、烈度以及震中距离等因素对边坡稳定性的影响程度各异, 震级越高、烈度越大、震中距离越近, 边坡受影响的严重程度就越高。因此, 在地震多发地区进行水利水电工程建设时, 必须充分考虑地震对边坡稳定性的影响, 并采取相应的抗震设计和措施。

降雨也是影响边坡稳定性的重要因素之一。大量降雨会使边坡土体饱和, 增加其重量和下滑力。同时, 雨水在土体内部形成孔隙水压力, 降低土体的抗剪强度。在强降雨或长时间降雨的情况下, 边坡土体的稳定性会急剧下降, 易发生滑坡和泥石流等地质灾害。此外, 降雨还会引发地表水的冲刷和侵蚀, 破坏边坡的坡脚和坡面, 进一步加剧边坡的失稳。

河流冲刷对边坡稳定性的影响也不容小觑。在水利水电工程中,许多边坡位于河流附近,其坡脚会受到河流冲刷作用的不断侵蚀,导致边坡变陡,稳定性降低。在洪水期间,河流的流速和流量增大,冲刷作用更为剧烈。长期的河流冲刷可能会使边坡土体中的细颗粒被带走,形成空洞和裂缝,使边坡更易失稳。

3 水利水电工程边坡稳定性的案例分析

3.1 边坡稳定性分析

针对构皮滩水电站两岸边坡稳定性问题进行分析。首先,通过详细的地质勘察,全面获取了边坡的地形地貌、地质结构以及水文地质条件等基础资料。勘察团队运用先进的勘探设备和技术,对边坡进行了精确的实地测绘、钻探、物探等工作,准确掌握了边坡的地形起伏、坡度变化,清晰了解了岩层分布、走向、倾向以及断层、节理等地质构造情况,并查明了地下水水位、流向、补给和排泄条件等水文地质信息,为后续稳定性分析提供了坚实的数据支撑。

在边坡稳定性计算分析方面,综合运用了极限平衡法和数值分析法。基于静力学原理,将边坡划分为若干个土条,通过分析滑移面或潜在滑移面上力的平衡条件来计算边坡安全系数,这种方法较为准确。根据不同边坡形态和地质条件,选取了合适的极限平衡分析方法,如瑞典条分法、毕肖普法等,对两岸边坡在不同工况下的稳定性进行了细致计算。同时,利用计算机强大的计算能力,建立了边坡有限元模型,模拟了边坡在自重、地震力、水压力等作用下的应力应变过程,从而得到了边坡稳定性系数和滑动面的精准位置。在数值分析中,充分考虑了边坡土体的非线性特性、各向异性以及地下水渗流作用等因素,使分析结果更加接近实际情况,达到了预期的理想效果。

分析结果表明,两岸边坡在自重作用下稳定性良好,安全系数满足设计要求。然而,在地震等外力作用下,边坡存在不小的失稳风险。该地区地震活动频繁,地震波对边坡土体产生强烈震动,导致土体结构破坏严重、强度大幅降低,从而可能引发滑坡等地质灾害。此外,降雨入渗和地下水位变化也对边坡稳定性产生了不利影响,特别是在雨季,大量降雨使边坡土体饱和,增加了土体的重量和下滑力,显著降低了边坡的稳定性。

3.2 处理措施

为确保构皮滩水电站两岸边坡的稳定性,提出了一系列科学合理的处理措施。首先,应做好边坡的分级开挖和支护工作。根据边坡的地形地质条件及稳定性分析结果,将边坡划分为不同级别,并采用不同的开挖方式和支护参数。在开挖过程中,应严格遵循“分层分段、自上而下”的原则,避免超挖和扰动边坡土体。同时,开挖后应及时对边坡进行支护,可采用喷锚支护、

锚索支护等方式,以增强边坡的抗滑能力和整体性。

其次,应完善边坡表面排水系统。设置截水沟、排水沟、盲沟等设施,以拦截和排除地表水和地下水,降低降雨入渗和地下水位对边坡稳定性的影响。截水沟应设置在边坡坡顶,以拦截地表径流,防止其流入边坡范围;排水沟应沿边坡坡面妥善设置,以便迅速排出地表水;盲沟应设置在边坡内部,以排除地下水,降低地下水位。

3.3 监测与验证

在构皮滩水电站建设过程中,对边坡稳定性进行了长期监测。通过安装位移计、应力计、渗压计等多种监测仪器设备,实时获取边坡位移、应力、地下水位等数据,并对边坡稳定性进行了全面评估。监测工作从边坡开挖阶段一直持续到工程运行阶段,监测频率根据边坡稳定状态和施工进度进行调整。在开挖和支护施工期间,加密监测频率,以便清晰掌握边坡变形和应力变化情况;在工程运行阶段,适当降低监测频率,但仍保持定期监测,以便及时发现边坡潜在问题。

经过处理,边坡稳定性得到显著提高,边坡位移量在允许范围内保持稳定,应力状态良好,地下水位得到有效控制。监测数据验证了处理措施的有效性,边坡确实满足工程设计和安全标准要求。经过长期监测和验证,构皮滩水电站的安全运行得到了有力保障,同时也为类似水利水电工程的边坡稳定性分析和处理提供了宝贵的经验和参考。

4 结束语

水利水电工程边坡稳定性分析是一个复杂而重要的课题。通过本文的研究可以看出,采用多种方法综合分析边坡稳定性,充分考虑各种影响因素,并采取有效的处理措施,对于确保水利水电工程的安全运行具有重要意义。未来,随着科技的不断进步和工程实践经验的积累,边坡稳定性分析的方法和技术将更加完善和优化,为水利水电工程的建设和发展提供更加有力的支持。

[参考文献]

- [1]张伯艳,王璨.地震作用下水利水电工程边坡稳定分析研究进展[J].中国水利水电科学研究院学报,2018,16(3):168-178.
- [2]王甜,张鹏.地震作用下水利水电工程边坡稳定性分析研究[J].中国设备工程,2024(16):237-239.
- [3]惠静.基于ICMP的水利水电工程边坡稳定分析研究[J].四川水泥,2020(2):110.

作者简介:

王哲(1992—),男,汉族,辽宁康平人,工程师,硕士研究生,研究方向为水利水电工程。