

水工高边坡支护结构选型及稳定性分析

宋一梦

吉林省水利水电勘测设计研究院

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6831

[摘要] 水工高边坡支护结构的合理选择以及稳定性分析,对于保证水利工程的安全运行来说,是十分重要的技术环节。本文系统阐述了水工高边坡支护结构选型及稳定性分析的重要意义,对地质条件、水文环境、经济技术等主要影响因素进行了详细的分析,对边坡稳定性计算评价、支护结构设计优化、监测预警等关键技术方法进行了详细的探讨。研究表明,科学的支护结构选择要综合考虑诸多因素,稳定性分析应采取多种方法相互印证,并且要创建起完备的监测预警体系。本文的研究成果给水工高边坡治理提供理论基础和技术指导,对水利工程安全水平的提高有重要的现实意义。

[关键词] 水工高边坡; 支护结构; 稳定性分析; 结构选型; 监测预警

中图分类号: U416.1+4 **文献标识码:** A

Selection and stability analysis of hydraulic high slope supporting structure

Yimeng Song

Jilin Province Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute

[Abstract] The reasonable selection and stability analysis of hydraulic high slope supporting structure is a very important technical link to ensure the safe operation of water conservancy projects. In this paper, the significance of the selection and stability analysis of hydraulic high slope supporting structure is systematically expounded, the main influencing factors such as geological conditions, hydrological environment, economy and technology are analyzed in detail, and the key technical methods such as slope stability calculation and evaluation, supporting structure design optimization, monitoring and early warning are discussed in detail. The research shows that many factors should be considered comprehensively in the scientific selection of supporting structure, and various methods should be adopted to verify each other in stability analysis, and a complete monitoring and early warning system should be established. The research results of this paper provide theoretical basis and technical guidance for the treatment of hydraulic high slopes, and have important practical significance for improving the safety level of water conservancy projects.

[Key words] hydraulic high slope; Supporting structure; Stability analysis; Structural selection; Monitoring and early warning

引言

水工高边坡属于水利工程中的重要组成部分,边坡的稳定性会直接影响工程的安全性以及周围环境的安全性。随着我国水利事业的发展,大量的水库、水电站等水工建筑物的建设使高边坡治理问题越来越突出。高边坡失稳不仅会造成巨大的经济损失,还会给人们的生命财产安全造成威胁。因此对水工高边坡支护结构选型及稳定性分析进行研究,具有重要的理论意义和实际价值。本文主要从支护结构选型的影响因素、稳定性分析方法等几个方面进行论述,为水工高边坡治理提供科学依据。

1 水工高边坡支护结构选型及稳定性分析的意义

1.1 保障水利工程安全运行的必要性

水工高边坡稳定性是水利工程安全运行的前提。边坡失稳会引起库岸滑坡、泄洪设施被堵、建筑物被破坏等严重的后果,直接威胁工程的正常运行。科学的支护结构选择可以提高边坡整体稳定性,防止滑坡、崩塌等地质灾害的发生。稳定性分析可以准确评价边坡的安全状况,找到可能的失稳危险,给制定具体的加固措施提供依据。合理的支护结构能够承受边坡自重及外荷载,并且可以适应水位变化、渗流等复杂的工况,在各种运行条件下保证水利工程的安全可靠,从而保证发电、供水、防洪等各项功能的正常发挥,保证工程长期稳定运行^[1]。

1.2 提升边坡治理技术水平的重要性

水工高边坡治理属于技术性高、难度大的系统工程。探究支护结构的选型及稳定性分析,可以不断积累工程经验,改善理论体系,促进边坡治理技术的革新。科学的选型方法可以考虑边坡的地质条件、环境状况、工程需求来选择最优的支护方案,防止盲目施工,节约资源。稳定性分析技术进步后对边坡安全状况做出更加准确的判断,也可以对边坡变形发展趋势进行预测,给工程决策提供可靠的技术依据。随着计算机技术以及数值模拟方法的发展,边坡稳定性分析手段越来越丰富,分析精度越来越高,这些技术的进步给解决复杂边坡问题提供了强有力的工具,促进了边坡治理技术水平的整体提高^[2]。

1.3 促进水工建设可持续发展的价值

水工高边坡支护结构合理选型及稳定性分析,对水利建设的可持续发展具有十分重要的意义。科学的选型可以保证安全,节约工程投资,降低建设成本,提高经济效益。通过稳定性分析来合理确定安全储备量,防止设计过多造成资源浪费,达到技术经济最优化的目的。合理的支护结构能减小对周围环境的扰动,减小生态破坏,符合绿色发展理念。长期稳定的边坡可减少后期养护的费用,增长工程的使用年限,改善水利设施的综合效益。规范的选型方法和分析技术有利于产生标准化的技术体系,推进行业技术更新,给水利工程项目持续发展提供技术支撑和理论支撑^[3]。

2 水工高边坡支护结构选型的影响因素

2.1 地质条件与边坡特征分析

地质条件是决定支护结构选型的主要因素。岩土体类型、强度、完整性决定边坡的稳定性及支护方式。坚硬完整的岩质边坡自稳能力强,可以采用锚杆、锚索等轻型支护结构,破碎软弱的岩土体应该用抗滑桩、挡土墙等刚性支护结构。地质构造特征,断层、节理、裂隙发育程度及分布规律都会对边坡稳定性产生重要影响,应根据结构面的产状、延伸性、充填情况来选择合适的支护措施。边坡的几何形态有坡高、坡角、坡面形状等参数,高陡边坡一般采用组合式支护结构。岩土体的风化程度、透水性、膨胀性等物理力学性质也是选型时必须考虑的因素。地下水的赋存状态、运动规律都会对边坡稳定性造成很大的影响,支护设计时必须考虑排水措施,防止地下水对边坡稳定性的影响。详细的地质勘察、试验是掌握地质条件的基础,应该用钻探、物探、原位测试等方法获得可靠的地质参数。对复杂的地质条件下边坡做专门的地质分析、稳定性评价,为支护结构选型提供科学依据^[4]。

2.2 水文环境与荷载作用评估

水文环境条件对水工高边坡支护结构的选择有特殊的意义。库水位变化会引起边坡应力状态的变化,孔隙水压力分布也随之改变,从而对边坡稳定产生影响。水位突然降低的时候,边坡内部的孔隙水压力不能及时消散,有效应力减小,容易造成边坡失稳,因此需要选择能够适应水位变化的支护结构。渗流作用是水工边坡特有的荷载形式,渗透压力会降低岩土体的抗剪强度,增大下滑力,支护结构选型时必须考虑防渗、排水措施。波

浪冲刷、水流冲击等水动力作用会侵蚀边坡坡脚及支护结构,应做护坡、护脚等防护。荷载作用包含边坡自重、上部建筑物荷载、地震荷载、施工荷载等,不同的荷载组合下边坡的稳定性不一样,支护结构要能承受各种不利荷载组合。地震作用对高边坡的影响较大,在地震烈度较高的地区应选用抗震性能好的支护结构,做动力稳定性分析。长期的水文观测资料对准确评价水位变化规律、渗流状况具有很大的参考价值,应该充分收集和分析历史水文资料。荷载作用的确定应符合有关规范的要求,对特殊荷载工况还需做专项分析、论证^[5]。

2.3 经济技术与施工条件考量

经济技术因素属于支护结构选择所受到的限制条件。不同的支护方案工程造价差别很大,在保证安全的前提下,通过技术经济比较选择性价比最高的方案。材料是否容易获得、施工设备是否齐全、施工技术是否成熟都会影响到支护方案的可行性、经济性。技术力量、管理水平也要考虑进去,复杂的支护结构需要较高的技术水平和管理水平。另外支护结构的耐久性、维护要求、使用寿命等长期因素也应该考虑进来,防止出现由于维护困难或者寿命短而产生的后期问题。环境保护要求和景观协调性在现代工程中越来越受到重视,支护结构选型要尽量减少对环境的影响,与周围环境相协调。施工过程中的安全风险评价和应对措施,选型时选择施工安全性好的支护方案。充分的技术经济论证和多方案比选能够有效提高决策的科学性,降低工程风险和投资成本。

3 水工高边坡支护结构稳定性分析方法

3.1 边坡稳定性计算与评价

边坡稳定性计算为支护结构设计打下基础,主要采用极限平衡法、数值分析法。极限平衡法是传统分析方法中应用最广的一种,包括瑞典圆弧法、简化毕肖普法、摩根斯顿-普莱斯法,将边坡分成若干块,建立力或力矩平衡方程,求得安全系数来评价边坡的稳定性。此方法概念清楚、计算简便,适用于均质或者简单的分层边坡。对于地质条件复杂的边坡,用传递系数法、不平衡推力法等考虑块体间的相互作用来提高计算精度。数值分析方法,有限元法、有限差分法、离散元法等可以模拟边坡的应力应变过程,考虑材料的非线性及渐进破坏特性,更真实地反映边坡实际工作状态。利用有限元法建立边坡的数值模型,求解应力场、位移场,用强度折减法确定安全系数,可以分析复杂边界条件、荷载作用下边坡的稳定性。离散元法适合模拟节理发育的岩质边坡,可以模拟块体的运动和相互作用。稳定性评价要将多种方法的计算结果综合起来,结合工程地质条件、变形监测资料进行综合判断。评价指标有安全系数、应力水平、变形量等,按工程等级、重要性确定安全储备。对重要的工程做敏感性分析与可靠度分析,分析参数不确定性对稳定性的影响,提高评价结果的可靠性。实际工程中要结合理论计算和现场观测,用反馈分析不断修正计算模型和参数。在计算分析过程中要充分考虑施工期、运行期不同的工况条件,保证边坡全过程的稳定。

3.2 支护结构设计与优化

支护结构设计要依据边坡稳定性分析结果来确定支护类型和布置方案。常用的支护结构有重力式挡土墙、抗滑桩、锚杆锚索、格构梁、土钉墙等,不同的边坡条件应选用不同的结构。重力式挡土墙依靠自身重量来平衡土压力,适用于填方边坡或土质边坡,但占地多、工程量大。抗滑桩依靠桩身的抗弯能力来抵抗滑坡推力,适合于深层滑动的边坡,支护效果好、变形小,但是造价高。锚杆锚索把不稳定岩土体锚固在稳定岩体上,用预应力提高边坡的整体稳定性,适用于岩质边坡或者浅层滑动边坡,施工方便、经济性好。格构梁配合锚杆一起使用来加固坡面,防止局部破坏。支护结构设计时要做内力计算,确定结构尺寸、配筋,保证结构强度、稳定性达到要求。设计时要考虑到支护结构与边坡岩土体之间的相互作用,合理地确定土压力分布和支护反力。结构优化就是在满足安全要求的前提下,对结构参数进行调整,从而达到降低工程造价、提高经济效益的目的。优化内容有支护结构类型、布置方案、截面尺寸、材料强度等。可以采用多方案比较法、参数敏感性分析法、优化算法进行优化设计。对大型复杂边坡采用多级支护或者组合支护,发挥各种支护结构的作用。设计时要考虑施工的可行性、便利性,防止由于设计不合理而造成施工困难。支护结构的耐久性设计也不能忽视,根据工程环境条件采取防腐、防水等措施,保证支护结构在设计使用年限内安全可靠。设计方案要经过多轮论证、专家评审来保证技术方案的科学性、可靠性。优化设计应贯穿于工程建设的全过程,在施工揭露的基础上及时对设计方案进行调整完善。

3.3 监测预警与安全控制措施

边坡监测是对边坡工作状况进行了解、检验设计是否合理、防止边坡失稳的重要手段。监测项目有变形监测、应力监测、地下水监测、裂缝监测等。监测方式分为传统的人工测量和现在的自动化监测,自动化监测系统可以实时采集数据,发现异常情况。预警系统依据监测数据创建预警指标和预警等级,监测值大于预警阈值时发出预警信号并启动应急响应。预警指标有位移速率、累计位移、加速度等,根据边坡具体情况及工程经验确定合适的预警标准。安全控制措施有应急加固、交通管制、人员

撤离等,应该制订详细的应急预案,明确各级责任,处置流程。出现险情的边坡要立即采取应急加固措施,增加锚杆、施加反压、减载等,控制变形的发展,防止灾害的发生。定期做安全评价、检查,及时发现并消除隐患,保证边坡长期稳定。对监测数据做系统分析,创建边坡稳定状况评价的动态反馈系统,根据监测结果调整支护方案、改进运行管理措施,达到边坡全生命周期安全管理的目的。监测工作要创建完备的数据管理系统,保证监测资料的完整性、可追溯性。加强监测人员的技术培训,提高监测数据的准确性、分析判断能力,给边坡安全管理提供可靠的依据。

4 结语

水工高边坡支护结构选型及稳定性分析属于综合性强、技术要求高的系统工程。科学合理的支护结构选型要考虑地质条件、水文环境、经济技术等各方面因素,用多种方法做稳定性分析与验证,建立完善的监测预警体系。新技术、新方法不断涌现的时候,边坡治理水平会不断提升。今后要重视理论研究同工程实践的融合,不断充实技术标准和规范,推进水工高边坡治理技术的创新发展,给水利工程的安全运行和可持续发展赋予有力支撑。

【参考文献】

- [1]贾明胜,罗晓生,董艳亮,等.复杂高边坡稳定性分析及支护设计[J].工程建设与设计,2025,(12):28-30.
- [2]吕昊轩.深基坑工程中的支护结构选型与稳定性分析[J].陕西建筑,2025,(4):25-28.
- [3]何泓男.深厚填土高边坡支护设计研究[J].中国高新科技,2024,(2):57-59.
- [4]贾志杰.冻融循环荷载作用下框架锚杆支护高边坡稳定性分析[J].公路,2025,70(8):38-44.
- [5]赵彩琴,钱利屏,潘文韬.高边坡高挡墙结构物施工稳定性与极限承载力研究[J].山西建筑,2025,51(7):55-59.

作者简介:

宋一梦(1993--),女,汉族,吉林长春人,硕士研究生,工程师,研究方向:水利工程。