

Analysis of mechanism and optimization of control technology for high slope collapse in hydraulic engineering construction

Chunsheng Zhang

Hubei Yaofuan Construction Labor Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

The stability issues of high slopes in hydraulic structures have long plagued the safety and economy of engineering projects. Landslides on high slopes not only pose significant threats to the surrounding environment and structural integrity but also lead to economic losses and casualties. The mechanisms of high slope failures are complex, involving soil mechanics, rock mechanics, hydrogeology, and other factors. Therefore, the control and protection measures for high slope failures are a key focus in the design of hydraulic structures. This paper analyzes the mechanisms of high slope failures, explores geological, environmental, construction, and external factors related to these failures, and proposes optimization solutions based on the shortcomings of existing control technologies. By conducting in-depth research on soil mechanics models, reinforcement techniques, drainage systems, and intelligent monitoring technologies, comprehensive management measures suitable for different types of high slopes are proposed. The study results show that scientific analysis of failure mechanisms and reasonable optimization of control technologies can significantly enhance the stability of high slopes in hydraulic structures, ensuring project safety.

Keywords

hydraulic engineering construction, high slope, collapse mechanism, treatment technology, optimization scheme

水工建筑高边坡塌方机理分析与治理技术优化

张春生

湖北省耀复安建筑劳务有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘 要

水工建筑中高边坡的稳定性问题长期以来困扰着工程的安全性及经济性。高边坡塌方不仅会对周围环境和工程结构造成巨大威胁,还会导致经济损失和人员伤亡。高边坡塌方的机理复杂,涉及土壤力学、岩体力学、水文地质等多方面因素,因此,其治理和防护措施成为水工建筑设计中的重点。本文分析了高边坡塌方的机理,探讨了与高边坡塌方相关的地质、环境、施工及外界因素,并针对现有治理技术的不足提出了优化方案。通过深入研究土体力学模型、加固技术、排水系统和智能监测等技术,提出了适应不同类型高边坡的综合治理措施。研究表明,科学的塌方机理分析和合理的治理技术优化能够显著提高水工建筑中高边坡的稳定性,保障工程安全。

关键词

水工建筑,高边坡,塌方机理,治理技术,优化方案

1 引言

水工建筑工程作为基础设施建设的重要组成部分,涵盖了大量的边坡、坝体、渠道等结构,其中高边坡的稳定性问题尤为重要。尤其是在水库大坝、河道治理以及水利设施建设中,高边坡的塌方往往成为严重影响工程安全的隐患。高边坡塌方的发生不仅会导致巨大的经济损失,还会对周围的环境和人员安全构成威胁。近年来,随着水工建筑规模的不断扩大和技术要求的提升,如何在复杂地质条件下确保高边坡的稳定性成为亟待解决的问题。

高边坡的塌方机理涉及众多因素,包括土壤或岩石的物理力学性质、外部环境变化、施工过程中的人为干扰以及水文地质条件等。不同的因素可能交织在一起,共同引发边坡的失稳。传统的边坡治理方法,如加固、排水和防护等,往往侧重于单一方面,未能充分考虑不同因素的综合影响。因此,如何通过科学的机理分析,合理优化现有的治理技术,是提高边坡稳定性的关键。

本文将从高边坡塌方的机理分析出发,结合工程实践,探讨当前治理技术存在的问题,并提出一套技术优化方案。通过对边坡塌方的机理进行深入剖析,本文提出的优化治理措施可以有效减少水工建筑中的高边坡失稳风险,确保工程的安全性和可靠性。

【作者简介】张春生(1973-),男,中国山东济宁人,本科,工程师,从事水利水电工程研究。

2 高边坡塌方的机理分析

高边坡塌方是一个多因素交织的复杂过程，涉及多个学科领域的交叉。根据不同的地质条件和外部环境，边坡的失稳机制有所不同。高边坡的塌方可以分为滑坡、崩塌、沉降等几种类型，每种类型的机理都有其独特的特点。为深入了解高边坡塌方的原因和机制，需要从地质条件、环境因素以及施工影响等多个角度进行综合分析。

2.1 地质条件与土壤力学特性

高边坡的稳定性与其所处的地质条件有着密切的关系。土壤或岩体的物理力学性质直接影响边坡的稳定性，主要包括土壤的摩擦角、凝聚力、密度以及岩层的结构等。一般来说，摩擦角和凝聚力越高，土体的稳定性越强，相反，若这些物理性质较低，边坡则容易发生失稳。

特别是在不均匀土层或裂隙发育的岩体中，边坡的滑动易发生。这是因为裂隙发育的岩体在外力作用下更容易发生破裂或滑移，尤其是在土壤或岩石强度不足的情况下，外部因素（如降雨、地震或施工荷载等）会加剧边坡的失稳，进而引发滑坡、崩塌等灾害^[1]。特别是对于松散土层或者裂隙较多的岩体，传统的加固措施往往无法有效提供足够的稳定性，导致土体容易在外界环境的作用下发生大规模的滑动或坍塌。

另一个关键因素是土壤的透水性。雨水或地下水的渗透会导致土壤湿润，降低其抗剪强度，从而显著提高滑坡发生的风险。特别是在季节性降雨较为集中的地区，水分的增加会在土壤中形成水压力，进一步降低土壤的稳定性，这也成为边坡失稳的重要原因之一。

2.2 水文地质条件与环境变化

水文地质条件对高边坡的稳定性有着至关重要的影响。地下水位的波动、雨水的渗透以及水库水位的变化，都会直接影响边坡的稳定性。例如，在水库周围的高边坡区域，水库水位的波动会导致土层中的水分波动，从而改变土体的物理力学特性。这种水文变化会导致土壤湿度增加，使其承载能力下降，进而增加边坡滑动的风险。

水文地质条件的变化通常与环境条件的变化密切相关，尤其是在气候变化的背景下，极端天气事件的频发（如暴雨、洪水等）使得边坡的稳定性变得更加不可预测。在暴雨等极端天气情况下，降水量剧增，水分迅速渗透到土层中，增加了土壤的湿度和水压力^[2]。这不仅导致土壤强度的急剧降低，也使得原本相对稳定的边坡突然失去平衡，进而引发滑坡、崩塌等灾害。

此外，水流的过度渗透或积聚，也可能对边坡的结构产生严重影响。特别是一些边坡水流通道较为狭窄，容易在暴雨后形成强烈的水流和水压，进而导致土壤的侵蚀和松动，使边坡的稳定性变得脆弱。水文地质条件的不稳定，尤其是在极端天气背景下的变化，已成为现代高边坡塌方的一个重要诱因。

2.3 施工过程中的人为因素

施工过程中对高边坡的开挖、支撑和填埋操作，可能破坏原有土体的结构，导致边坡稳定性下降。特别是在边坡开挖过程中，如果缺乏合理的支撑系统和加固措施，可能引发边坡的失稳。施工时的震动、重型设备的运作、开挖面的暴露等因素，都会对边坡的稳定性造成负面影响。

具体来说，施工期间的振动会引发地层的微小位移，甚至加剧已存在的裂隙发育，从而引发边坡的破裂或滑动。此外，施工荷载的增加，尤其是重型机械和车辆的通过，会改变土体的应力状态，加剧边坡的应力集中，增加滑坡风险。

在某些情况下，施工过程中的疏忽，例如未按照设计要求进行排水处理或支护加固，可能导致土体结构不均匀，进一步加大了边坡失稳的风险^[3]。对于复杂地质条件下的边坡，若没有采取足够的加固措施和预防措施，施工过程中破坏原有的地质结构和水文条件，将严重威胁边坡的稳定性。

3 高边坡治理技术的现状与问题

高边坡治理技术的目的是确保边坡的稳定性，防止滑坡、崩塌等灾害的发生。当前，针对高边坡的治理技术主要包括加固、排水、防护等措施。这些技术在实际应用中不断得到优化和发展，但在许多复杂地质条件下，治理措施仍然存在一些问题，无法彻底解决高边坡失稳问题。以下是高边坡治理技术的现状以及其面临的一些主要问题。

3.1 传统加固技术的应用与局限

传统的高边坡加固技术包括锚固、喷射混凝土、土工网等。锚固技术通过在边坡内部安装锚杆，将其与土壤或岩体固定，从而提高边坡的稳定性；喷射混凝土则主要用于增强边坡表面的强度，防止土体剥离；土工网则可以提供额外的拉伸强度，防止土体发生滑移。传统加固技术常常通过增强边坡的抗剪强度和承载力来防止滑坡、崩塌等灾害。

然而，在一些特殊地质条件下，传统的加固措施效果有限。例如，在松散土层或裂隙发育的岩体中，传统加固技术的效果往往不显著。在松散土层中，土壤的承载力较低，即便使用锚杆加固，也难以形成稳定的结合。在裂隙发育的岩体中，传统加固方法无法有效封堵裂隙，导致加固效果无法持久，甚至可能因为加固过程中的施加应力改变了岩体的原始结构，反而引发新的隐患。因此，在一些特殊地质条件下，传统的加固措施往往难以应对复杂的边坡失稳问题，甚至可能引发新的安全隐患。

3.2 排水系统的不足

排水系统是高边坡治理中的关键措施，尤其是在降水量较大的地区。通过合理设置排水系统，能够有效减少水分对土壤强度的影响，防止因水分积聚导致的边坡失稳。然而，当前许多传统排水系统存在设计不合理、排水效果差等问题。传统排水系统通常是根据边坡的表面水流进行设计，

而忽视了地下水的影响。地下水位的波动、渗透水的积聚等问题往往不能通过简单的表面排水系统解决。

此外,许多排水系统在施工过程中未能充分考虑土壤的渗透性、边坡的地质层次及水流的动态变化,导致排水效果较差^[4]。排水管道和排水渠可能受到土壤沉积、岩石阻塞等问题的影响,导致排水不畅。特别是在地质条件复杂、土层不均匀的区域,传统的排水系统往往不能满足实际需求,不能及时有效地排除水分,甚至会引发新的土壤侵蚀或水压力积聚问题。因此,传统的排水系统在高边坡治理中的作用受限,必须根据具体地质情况进行优化设计和改进。

3.3 防护技术的缺陷

防护技术通常包括设置防护栏、挡土墙、护坡网等设施,目的是防止边坡滑落,减少灾害发生的影响。这些防护措施能有效阻止部分土石的滑落,但其效果往往是局部性的,不能从根本上解决边坡的稳定性问题。在高危环境下,防护设施的有效性受到外界环境和人为因素的影响,长期以来很难保持其原有的稳定性和防护效果。

例如,挡土墙和护坡网等设施会受到风化、腐蚀、气候变化等因素的影响,随着时间的推移,其结构可能会出现老化或损坏,导致防护能力下降。防护设施也可能由于施工不当、外部冲击或地基不稳等因素受到破坏,进而失去防护功能。此外,单一的防护措施无法解决边坡内在的稳定性问题,例如土层结构不均匀、地下水压力过高等,因此在实际应用中往往无法有效避免边坡塌方事故的发生。

综上所述,当前的高边坡治理技术虽然在某些情况下取得了一定的效果,但仍然面临着许多不足。传统加固技术、排水系统以及防护技术在面对复杂地质条件和恶劣环境时,往往无法达到理想的效果,无法彻底解决高边坡失稳的问题。因此,需要结合新的技术和方法,进一步优化和创新现有的治理措施,以提高高边坡治理的效果和安全性^[5]。

4 高边坡治理技术的优化方案

针对当前治理技术中存在的不足,本文提出了一些优化措施,旨在提高高边坡的稳定性,降低施工过程中的风险。

4.1 综合加固技术的应用

为提高加固效果,建议采用综合加固技术,例如,结合锚固、喷射混凝土和土工布等材料,通过多种加固手段共同作用,以实现对边坡的全面加固。同时,可以结合地质条件,优化锚杆的设计,调整施工方法,提高加固效果。

4.2 智能排水系统的设计与实施

智能排水系统是未来高边坡治理的一个发展方向。通

过利用传感器技术,实时监测边坡的水文数据(如地下水位、降水量等),并通过自动化控制系统调整排水系统的工作状态,可以有效提高排水效率。此外,智能排水系统还可以根据不同的环境条件进行自适应调整,减少由于排水不及时或不合理引发的边坡失稳风险。

4.3 防护措施的智能化与可持续性

在防护措施方面,智能化防护系统将成为未来的趋势。通过安装传感器、实时监测系统和智能报警系统,可以在发生异常时及时采取相应措施,确保防护设施的有效性。同时,防护材料的选择应考虑环境友好和可持续性,例如,使用可回收材料、环保型支撑结构等,减少对环境的负面影响。

5 结语

高边坡的稳定性问题一直是水工建筑和土木工程中的重点研究领域,尤其在面对复杂地质条件时,如何有效预防和治理边坡失稳成为工程技术的挑战之一。高边坡的失稳不仅威胁着周边环境的安全,还可能造成严重的经济损失和人员伤亡。因此,深入分析高边坡塌方机理、研究现有治理技术的不足,并提出优化方案,显得尤为重要。

本文通过分析高边坡塌方机理,结合现有治理技术,提出了优化方案以提高稳定性和施工安全性。综合加固技术、多种手段结合应对复杂地质;智能排水系统通过实时监测和调节提升排水效果;智能化防护措施则确保防护设施的长期有效性,通过实时监控和自动预警进行保障。

随着智能化技术的发展,未来高边坡治理将更加注重技术集成与创新,采用多种手段进行全面控制,提升治理效果和精确性。工程人员应根据项目特点,结合先进技术和科学管理,制定切实可行的解决方案。通过优化技术、提高管理水平,确保治理的长期有效性和可持续发展,从而保障工程的安全性、环保性和经济效益。

参考文献

- [1] 梁羽,陈业林.暗挖水平隧洞施工技术研究[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册)。中交一航局城市建设工程有限公司;2024:75-78.
- [2] 唐丽霞,张习传.生产建设项目水土保持[M].中国水利水电出版社:2024:11.223.
- [3] 周恒,陆希,马刚.高土石坝筑坝材料工程特性研究与应用[M].中国水利水电出版社:2024:10.558.
- [4] 陈景涛.水工建筑中混凝土结构施工技术和质量控制策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(09):155-157.
- [5] 陈芳红.水工建筑施工技术的发展趋势研究[J].工程与建设,2023,37(04):1285-1287.