

地灾边坡治理中的锚固技术应用与优化

闫 聪

山西金地源地质科技有限公司 山西 晋中 030600

摘 要：地灾边坡问题严重威胁着工程建设、生态环境和人民生命财产安全，滑坡、崩塌、泥石流等灾害频发，给社会带来了巨大损失。本文介绍了地灾边坡的类型与危害，阐述了锚固技术的原理与分类，分析了其在不同应用对象和锚固机理下的特点。阐述了锚固技术在地灾边坡治理中的具体应用，如锚杆支护、锚索加固、土钉墙及喷射混凝土与锚固联合技术等。最后从设计参数、施工工艺、监测与维护等方面提出了锚固技术的优化方法，为地灾边坡治理提供了参考。

关键词：地灾边坡治理；锚固技术应用；优化方法

引言：锚固技术作为一种有效的边坡治理手段，能够充分利用岩土体自身能量，维持边坡稳定。但在实际应用中，锚固技术面临着诸多挑战。深入研究锚固技术的应用与优化方法具有重要的现实意义。本文旨在探讨锚固技术在地灾边坡治理中的应用现状，分析存在的问题，并提出相应的优化策略，以提高锚固技术的治理效果，保障边坡安全。

1 地灾边坡的类型与危害

1.1 地灾边坡的类型

地灾边坡主要有以下滑坡、崩塌、泥石流等类型。

(1) 滑坡是边坡部分岩、土体沿着先前存在的地质界面，或新形成的剪切破坏面向下滑动的过程和现象。它通常是由于边坡岩、土体的工程地质性质变化，如土体的抗剪强度降低；边坡中断层、层面、不整合面等不连续面的产状与坡面倾向、倾角之间的关系不利；坡脚遭受水的侵蚀或人工开挖；边坡上天然或人工加载；边坡岩、土体中地下水位的升降等因素引起的。(2) 崩塌是陡坡前缘部分岩、土体突然与母体分离，翻滚跳动崩坠崖底或塌落而下的过程和现象。地形高差大、坡度陡是崩塌发生的重要前提条件，当边坡岩体存在节理、裂隙等结构面，且受到地震、风化等作用影响时，岩体的稳定性降低，容易发生崩塌。(3) 泥石流则是在山区或者其他沟谷深壑、地形险峻的地区，因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流。其形成需要有丰富的松散固体物质、充足的水源和适宜的地形条件。

1.2 地灾边坡的危害

地灾边坡对工程建设、生态环境和人民生命财产都造成了严重的危害，在工程建设方面，滑坡、崩塌等灾害会破坏道路、桥梁、房屋等基础设施，导致交通中

断、建筑物损坏，给工程建设带来巨大的经济损失。在山区公路建设中，边坡失稳可能会掩埋公路，阻碍交通，影响物资运输和人员往来；在水利工程中，边坡的崩塌可能会损坏水坝、渠道等设施，影响水利工程的正常运行。对生态环境而言，地灾边坡会破坏植被，导致水土流失，影响生态平衡。泥石流携带的大量泥沙和石块会掩埋农田、森林，破坏生态系统的结构和功能。在人民生命财产安全方面，地灾边坡的突然发生往往会导致人员伤亡和财产损失^[1]。滑坡、崩塌等灾害可能会掩埋村庄、房屋，造成大量人员被困或死亡；泥石流的冲击力巨大，会冲毁沿途的一切，给人民的生命和财产带来毁灭性的打击。

2 锚固技术的原理与分类

2.1 锚固技术的原理

锚固技术是一种将受拉杆件的一端固定在边坡或地基的岩层或土层中，另一端与工程建筑物相联结，用以承受由于土压力、水压力或风压力等所施加于建筑物的推力，从而利用地层的锚固力以维持建筑物（或岩土层）稳定的技术。其核心原理是充分发挥岩土体自身能量，调用和提高岩土体的自身强度和自稳能力。以锚杆为例，当锚杆被安装在岩土体中时，它通过与岩土体之间的摩擦力、粘结力或机械咬合力，将岩土体的应力传递到深部稳定的地层中。在这个过程中，锚杆起到了加筋和约束的作用，增强了岩土体的整体性和稳定性。当边坡受到外力作用而产生滑动趋势时，锚杆能够提供一个反向的拉力，抵抗边坡的滑动，从而保持边坡的稳定。锚索一般由高强度的钢绞线或钢丝束组成，通过施加预应力，使锚索在岩土体中产生预压应力，提高岩土体的抗变形能力。

2.2 锚固技术的分类

锚固技术的分类具体如下：（1）按应用对象分类。

岩石锚固：主要应用于岩石边坡的加固。岩石具有较高的强度和稳定性，但在受到风化、节理裂隙等因素影响时，也可能发生失稳现象。岩石锚固通过在岩石中钻孔、安装锚杆或锚索，将不稳定的岩石块体与稳定的岩体连接在一起，提高岩石边坡的稳定性。**土层锚固：**适用于土层边坡的治理。土层的强度相对较低，容易受到雨水冲刷、地下水渗透等因素的影响而发生滑坡。土层锚固通常采用土层锚杆或土钉等方式，增加土层的抗滑能力。**海洋锚固：**在海洋工程中，如海上平台、海底隧道等，需要对结构物进行锚固，以抵抗海洋环境中的风浪、水流等作用力。海洋锚固技术需要考虑海水的腐蚀、海洋生物附着等特殊因素。（2）按锚固机理分类。**粘结型锚固：**通过粘结材料（如水泥浆、树脂等）将锚杆或锚索与岩土体粘结在一起，依靠粘结力传递荷载。这种锚固方式适用于各种岩土体条件，具有较高的锚固力。**摩擦型锚固：**主要依靠锚杆或锚索与岩土体之间的摩擦力来传递荷载。缝管锚杆就是一种典型的摩擦型锚杆，它通过钢管与孔壁之间的摩擦力提供锚固力。**混合型锚固：**结合了粘结型和摩擦型锚固的特点，综合利用粘结力和摩擦力来提高锚固效果。**端头锚固型：**锚杆或锚索的锚固力主要集中在杆体的端部，通过端部的锚固体与岩土体之间的相互作用来提供锚固力^[2]。

3 锚固技术在地灾边坡治理中的具体应用

3.1 锚杆支护技术的应用

锚杆支护技术凭借其良好的锚固效果和广泛的适用性，它主要分为以下普通锚杆支护和预应力锚杆支护两种方式。（1）普通锚杆支护。施工前，依据边坡的地质条件和稳定性分析，精确确定锚杆的布置间距、长度和直径等参数。通常情况下，土质边坡的锚杆长度在3-10米之间，而岩石边坡的锚杆长度往往更长。施工时，先用钻孔设备在边坡上钻出符合设计要求的孔，接着将钢筋或钢绞线等杆体插入孔中，再向孔内注入水泥浆等粘结材料，使杆体与周围岩土体紧密结合。普通锚杆依靠与岩土体之间的粘结力和摩擦力，把边坡不稳定部分的应力传递到深部稳定的岩土体中，进而提高边坡的稳定性。（2）预应力锚杆支护。预应力锚杆是在普通锚杆基础上发展起来的。安装锚杆后，通过张拉设备对杆体施加一定的预应力，使锚杆在岩土体中产生预压应力。这能在边坡发生变形之前就提供反向作用力，有效控制边坡变形。预应力锚杆的施工工艺相对复杂，除了钻孔、插杆、注浆等步骤外，还需进行预应力张拉和锁定。张拉过程中，要严格把控张拉力的大小和张拉顺序，以确

保锚杆发挥最佳锚固效果。

3.2 锚索加固技术的应用

锚索加固技术能够显著增强边坡的稳定性。根据锚固段位置和受力方式的不同，常见的锚索类型有以下拉力型锚索和压力型锚索。（1）拉力型锚索。其锚固段处于锚索端部，借助锚具把拉力传递至岩土体。施工时，先在边坡上钻设大直径钻孔，再将锚索体放入孔内，于锚固段注入水泥浆等材料形成锚固体。拉力型锚索适用于各类地质条件的边坡，尤其在需要较大锚固力的场景中表现出色。它能有效抵抗边坡的滑动和倾覆，提升边坡稳定性。（2）压力型锚索。压力型锚索的锚固段位于锚索中部，通过在锚固段施加压力，使锚索与周围岩土体紧密结合。相较于拉力型锚索，压力型锚索具备更好的耐久性和抗腐蚀性能。

3.3 土钉墙技术的应用

土钉墙是一种原位土体加筋技术，通过在边坡中钻孔、插入钢筋并注浆形成土钉，与土体共同作用形成复合土体。土钉的布置通常呈梅花形或矩形，间距一般在1-2米之间。施工时，先按照设计要求开挖一定高度的边坡，然后在坡面上钻孔，插入钢筋，再向孔内注浆。随着边坡的开挖，逐层设置土钉，直到达到设计的边坡高度。在土钉施工完成后，还需要在坡面上铺设钢筋网，并喷射混凝土面层，以增强土钉墙的整体性和抗冲刷能力。土钉墙适用于土质较好、地下水位较低的边坡治理。它具有施工速度快、成本低、对周边环境影响小等优点。

3.4 喷射混凝土与锚固联合技术的应用

喷射混凝土与锚固联合技术是将喷射混凝土与锚固结构相结合，能更好地保障边坡的稳定。下面将分别介绍喷射混凝土的作用以及联合技术的施工与效果。（1）喷射混凝土的作用。喷射混凝土是借助喷射设备，将混凝土高速喷射到边坡表面，形成连续的混凝土层。这层混凝土能封闭边坡表面，避免雨水冲刷和风化作用对边坡造成破坏。同时，它还可与锚杆、锚索等锚固结构协同工作，增强边坡的稳定性。喷射混凝土的强度和厚度需依据边坡地质条件和稳定性要求来设计，通常强度等级不低于C20，厚度在50-150毫米之间。（2）联合技术的施工与效果。在应用该联合技术时，先开展锚杆或锚索的施工，接着在坡面上铺设钢筋网，最后进行喷射混凝土作业^[3]。这种联合方式能充分发挥喷射混凝土的封闭保护作用和锚固结构的加固作用，有效提高边坡的整体稳定性，为地灾边坡治理提供可靠保障。

4 锚固技术的优化方法

4.1 设计参数优化

合理的设计参数能够使锚固结构更好地适应不同的地质条件和边坡特性,下面将从以下锚固长度与间距、锚杆(索)直径与材质、锚固角度方面阐述设计参数的优化方法。(1)锚固长度与间距优化。传统设计多依据经验或规范取值,但实际工程中,不同地质条件和边坡特性需要更精准的设计。借助FLAC、PLAXIS等数值模拟软件,可分析不同锚固长度和间距下的边坡稳定性。同时结合现场监测数据对模拟结果进行验证和修正,从而确定最优的锚固长度和间距。(2)锚杆(索)直径与材质优化。锚杆(索)的直径和材质直接关系到其承载能力和耐久性。设计时根据边坡荷载大小和地质条件选择合适的直径和材质。对于高荷载边坡,可适当增大锚杆(索)直径;在腐蚀性较强的环境中,要选用不锈钢锚杆或经过防腐处理的钢绞线锚索等耐腐蚀材质。新型复合材料锚杆如玻璃纤维增强塑料(GFRP)锚杆,具有质量轻、强度高、耐腐蚀等优点,能有效提升锚固系统性能。(3)锚固角度优化。通常,锚固角度要根据边坡滑动方向和岩土体力学特性确定。通过理论分析和数值模拟,研究不同锚固角度下锚杆(索)的轴力分布和边坡稳定性。如在某岩质边坡中,当锚固角度与潜在滑动面垂直时,锚杆(索)锚固效果最佳,能最大程度发挥抗滑作用。

4.2 施工工艺优化

施工工艺的优劣直接影响锚固技术的应用效果,以下将从钻孔、注浆和张拉三个工艺环节介绍优化方法。(1)钻孔工艺优化。钻孔质量直接关系到锚杆(索)的安装和锚固效果。采用先进的钻孔设备和工艺是提高钻孔质量和效率的有效途径。潜孔锤钻孔适用于坚硬岩石地层,能显著提高钻孔速度和质量;跟管钻进则在松散地层中表现出色,可防止钻孔坍塌。在钻孔过程中,严格控制钻孔的垂直度和孔径也十分重要,这样才能确保锚杆(索)顺利安装。(2)注浆工艺优化。优化注浆工艺可提高注浆质量和锚固力。二次注浆技术是一种有效的优化方法,在第一次注浆初凝后进行第二次高压注浆,能使浆液更好地填充岩土体的孔隙和裂隙,增强粘结强度。在浆液中添加早强剂、减水剂等外加剂,可改善浆液性能,进一步提高注浆效果。(3)张拉工艺优化。精确控制张拉力和张拉顺序,能确保锚杆(索)

达到设计的预应力值,充分发挥锚固作用。智能张拉设备的应用可实现张拉力的精确控制和实时监测。在张拉过程中,按照设计要求进行分级张拉,并控制好持荷时间,有助于消除锚杆(索)的松弛和徐变影响。

4.3 监测与维护优化

为确保锚固技术在地灾边坡治理中持续发挥作用,以下从实时监测系统建立、数据分析与预警机制完善以及定期维护与修复方面介绍优化措施。(1)实时监测系统建立。在边坡和锚固结构上布置位移传感器、应变计、锚索测力计等监测仪器,可实时获取边坡的位移、应力等信息。借助无线传输技术,将监测数据实时传输到监控中心,实现远程监控。一旦监测数据出现异常,能及时采取处理措施,保障边坡安全。(2)数据分析与预警机制完善。运用回归分析、神经网络等先进数据分析方法处理和预测监测数据。建立科学的预警机制,依据监测数据变化设定不同级别的预警阈值^[4]。当数据超过阈值时,及时发出预警信号,并采取增加锚固力、边坡加固等应急措施。(3)定期维护与修复。检查锚杆(索)外观是否有损坏、腐蚀,及时修复或更换问题锚杆(索)。检查注浆体完整性,对裂缝或空洞部位进行补浆处理。

结束语

地灾边坡治理是一项复杂而艰巨的任务,锚固技术的应用与优化对于保障边坡稳定、减少灾害损失具有重要意义。本文通过对地灾边坡类型与危害、锚固技术原理与分类的阐述,深入分析了锚固技术在地灾边坡治理中的具体应用,并从设计参数、施工工艺、监测与维护等方面提出了优化方法。随着科技的不断进步和工程实践的积累,锚固技术将不断完善和发展。

参考文献

- [1]张显科.岩土工程边坡治理的岩土锚固技术研究[J].城镇建设,2023(9):114-116.
- [2]朱泽军.边坡支护工程在矿山地质灾害治理施工中的运用分析[J].中国金属通报,2022(11):29-31.
- [3]黄晓伟.基于岩土锚固技术的矿山工程边坡治理研究[J].中国金属通报,2023(18):185-187.
- [4]王泰棋.试析岩土工程中边坡治理的锚固技术[J].建筑工程技术与设计,2019(5):582-583.