

# 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用分析

薛 锋 杜鹏飞 王义杨

中国水利水电第十工程局有限公司 四川成都 610037

**摘要:** 在群山、峭壁等地势险峻、地质条件不断变化的作业环境中,水利与水电建设频繁进行斜坡挖掘作业,斜坡的稳固性对于整个工程的成功至关重要。伴随着现代水利与水电项目规模的不断扩张以及施工挑战的加剧,对斜坡开挖行业的支撑技术亦提出了更高层次的需求。妥善挑选并运用斜坡挖掘支撑新技术不仅能确保施工作业有序推进,同时也有助于缩减斜坡崩塌的风险,并对生态环境实施保护。

**关键词:** 水利水电工程; 边坡开挖; 支护技术; 应用

## 引言

水利水电建设领域中,斜坡构筑物的存在对水库、大坝及其相关配套设备的安穩性起到了关键作用,有助于预防滑坡与塌方带来的工程安全隐患和对下游地带可能导致的重大损害。通过精心规划与加强斜坡的稳固,可以有效降低地质灾害发生的概率,从而维护了项目和环境的安全。进一步来说,当边坡管理得当时,无论是在建设阶段还是在运营阶段,都能保障施工作业顺畅无阻,节约后期养护的经济投入,并延长水利水电工程设施的服役年限。对于确保水电站可持续发电,供应可靠水源,斜坡工程扮演着至关重要的角色,是水电建设项目中必不可少的一个环节。

## 一、边坡开挖支护技术概述

### 1. 边坡开挖的基础概念

在道路、铁路建设,楼宇根基打造,矿场挖掘及水利电力等项目建设中,坡面开凿是对地表上或下的土石体进行倾斜处理的步骤。这个程序涵盖了边坡设计、挖掘与强化措施,目的是为了预防滑坡与塌方等灾害的发生。进行坡面挖掘时需充分评估诸如地质状况、坡度、土质属性、排水能力和生态保护等多方面因素,运用恰当的防护结构与强化方法,比如安装挡土墙、使用锚杆或植物覆盖等手段,确保其持久稳固。

### 2. 支护技术的分类及应用范围

主要包括几个分类:传统支护技术、加固支护技术、新型支护技术。传统的边坡维稳技术如护土墙、抗滑墙等,主用于土性较简单且坡面较为稳定的环境。而加强型支撑技术,例如注锚体、锚杆、预应力锚索以及湿喷混凝土等,常应用于地基土壤条件欠佳或者对边坡稳定

性有较高要求的场合。新兴的边坡保护技术,比如土钉墙、格网结构和生态土工布袋等,正在工程领域逐步得到推广,它们不仅强化了边坡的稳定性,同时在一定程度上减轻了对敏感生态区的影响。在大型治水发电项目中,深层预应力锚索和深层搅拌墙等深部支护手段亦被采纳,用以应对深层次滑坡和复杂地质状况下的斜坡稳固工程。各类技术均有其适宜的使用场景,在挑选时应深入考虑到工程地理特征、边坡大小、工程要履行的功能需求以及财经条件等多方面因素,目的在于实现支撑作用与经济效益的最大化。现实工程实施过程中,往往依据现场的具体状况,综合采用多种不同的支护技术,以保障工程结构的稳固性。

## 二、边坡稳定性分析

### 1. 边坡稳定性评价方法

多个边坡稳定性评判方法经常被运用。利用极限平衡法通过对潜在滑坡表面抵抗力和驱动力的比值进行分析,来计算边坡的抗滑稳定系数,通常这个系数需要高出1.3,这表示边坡的抗滑能力须超出滑动倾向的1.3倍以上,这个过程旨在对边坡稳固性进行检测。数值仿真方法,例如有限元方法,可以呈现材料应力和形变的精确分布图,基于这个信息可以预见边坡在某些特定条件影响下的响应。在进行数值仿真时,正确选取材料参数是至关重要的,例如通常会根据具体情况选定内摩擦角介于 $15^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 之间,还有选择合适的粘聚力。而在处理更为复杂的场景时,比如考量爆破开挖活动对邻近岩体稳定性产生的影响,物理模型试验就显得尤为关键。此外,田野观测亦构成了对边坡稳固度进行判定的关键手段,借助铺设的测斜器、地面位移感测器和水文地质检测工具(例如地下水位压力仪)来搜集信息,进而追

踪边坡稳固性的即时波动。工程技术人员将这些测量手段和信息综合运用，从而对边坡的稳固状况作出周全的评估，并据此规划出切实的加强方案。

## 2. 影响边坡稳定性的主要因素

在水利及水电项目建设中对边缘坡面的稳固程度会受到众多因素的作用，这些因素主要涵盖地质环境、力学物理属性、水文状况、坡面的外形特征及人工作用等。地质环境的特点，例如岩层的种类、构造面的排布和岩石受风化的程度，会直接作用于坡面的固定性，这些特点常通过测定岩石的承压能力参数，如常见的岩石抗压能力在15至250MPa范围内，以及构造面的角度倾斜度等指标来评估。土壤等的物理力学特性，比如土壤的内部摩擦角，是评价土壤防止滑坡的抗剪切力度的重要指标。水文作用，尤其是周期性降雨和地下水活动，能够有效影响斜坡的土孔水压力，例如一个水封的裂缝系统有可能显著减少斜坡稳定性20%到30%。斜坡的外形特征，比如斜面的角度、高度（通常建议上限为15米）及斜坡外貌，同样直接决定了其稳固程度。而人类作业行为，包括爆炸施工、斜坡挖掘或额外荷载施加，都有可能诱发位移或加剧裂纹扩展。工程技术人员通过对这些信息和变量的详尽评估，有能力设计出更加坚固的边坡支撑构造，并优化预防与治理策略。

## 3. 现有边坡稳定分析软件工具介绍

常用于进行边坡稳定性评估的计算程序包括GeoStudio、Plaxis和Phase2等。其中GeoStudio平台整合了众多地质工程与边坡稳定性评估工具，例如Slope/W工具专门用于边坡稳定性研究，这个工具能够处理复杂的边坡形状和多样化的边界状况，并通过强劲的数值分析技术来判定边坡稳固状况；而Plaxis则是针对有限元分析的专业软件，它支持三维渗流与边坡稳定性的联合分析，非常适合模拟边坡的形变和失稳过程；至于Phase2则是一款针对岩土工程设计的二维有限元分析软件，它不仅能评价边坡稳定性，还可考量地下水流和水渗流对边坡稳定性的影响。这套软体具备了丰富的材质模拟、界限条件设定和成果展现等多项功能，能深刻全面地分析边坡的安全性，为工程师的决策提供了科学的参考和依据。工程师可依赖这类软体工具，迅速而精确地进行边坡稳定性的评估工作，并据此为边坡支撑结构的设计及施工计划的拟定，提供了关键数据与参考。

### 三、边坡开挖支护技术应用分析

#### 1. 锚杆支护技术

本技术采用钢筋或钢缆预应力锚固，促使斜坡与锚

固体互相牢固结合，从而保持斜面的安定性。其运行机理在于利用锚固体的预应力以对抗斜坡中的土壤滑移与剪力，进一步将支点处的载荷迁移至斜坡内部较深层，增强斜坡的整体稳固性。适用于斜坡的临时或永久稳固，锚固技术实施时需综合考量斜坡的地质特征、设计参数、负载状况、锚杆材质和施工方式等。视斜坡倾斜度、土壤性质与设计需求而决定锚固的具体位置与排列方式。在锚固技术中，主流的锚杆种类涵盖了单束锚杆、复杆锚杆和拉索锚杆等多种形式。锚杆施工时，常规的做法是先进行钻探孔洞，接着进行灌浆作业，并进行锚杆拉伸，以此确保锚杆与岩土体结合紧密。针对不同地质环境与工程需求，还可采取额外加固措施，包括喷射混凝土加固、构建支挡墙等，增强边坡的整体稳定性。应用锚杆支护的技术优势多多：其一，它能提供长期而稳固的支撑作用，有效避免边坡的下滑或倒塌等灾害；其二，锚杆支护的施工流程比较简便，周期短，对环境的扰动也较小；最后，锚杆施工不占用多余空间，特别适用于空间受限的施工场合。

#### 2. 喷锚支护

喷射锚固技术的基本作用机制是，将锚固材料利用喷枪对准边坡进行喷射，从而建立起一层与土壤紧密结合的高强度锚固层。这类材料可能是通过人工操作喷射的混凝土或者是纤维增强的喷射砂浆等。该技术的施工流程主要涉及几个关键步骤：最初需对边坡进行彻底清洁与事前处理，保证表面平整无异物；随后按照设计方案，在边坡预划分特定的喷射区域；然后用专门的设备将锚固材料均匀地喷涂于边坡上，构建出锚固层；最终对其进行适度养护并检验，以确保其结构质量与稳固性。这一工艺因其施工便利、效果立竿见影、成本效益高等特点，在边坡挖掘作业领域扮演着重要角色。喷射锚固作用的成效受到若干要素的影响，包括锚固材质的特性、喷射作业的压力水平、锚固体的厚度及锚杆的伸入长度等方面。以手工喷涂混凝土来说明，一般选用标准强度在C30到C50范畴的混凝土，喷射操作的压力通常控制在0.4至0.8MPa范围内，锚固层的厚度则根据斜坡的具体需求来决定。喷射锚固处理后，斜坡的剪切承载能力和整体稳固性会显著增强，并显示出良好的抵御水流冲刷和持久性特点。但是，喷射锚固技术同样存在着一些限制因素，比如其效用可能受到喷射质量、施工技巧和原材料特性的制约。在设计及施工过程中，必须全面考虑斜坡的地质状况、设计标准及实际施工环境，采纳合适的策略以确保施工的质量和斜坡的稳定。锚喷技术在

使用中展现出几大明显优势：首先，该技术通过打造均匀连贯的锚定层来强化边坡的整体稳固度，有效避免了边坡发生滑落或崩塌的现象；接着，该技术施工便捷高效，对施工场地的要求不高，适宜于不同形态及坡度的边坡；另外，锚喷材质种类繁多，可以根据工程的具体情况进行灵活选择，通常能够符合边坡工程的需求。

### 3. 土钉墙

本质上，此技术通过在斜坡表层嵌入钢筋水泥板，并使用土锚把板材与斜坡土壤结合，创建一个坚固的联合体。土锚一般选用高强度的钢材，它们通过预置或后期打孔的方式，在斜坡的稳固土层内固定适当长度的钢材。钢筋水泥板为斜坡提供一个均匀而且连贯的防护层，这层防护层有效地拒绝了地震、风化、水蚀等自然力量的侵袭。构建土锚墙时需充分考虑斜坡的地理特征、土壤属性、项目设计要求和建筑技艺等多个要素。土锚墙的典型设计参数涉及土锚的密集度、直径与间隔距离、植入深度及钢筋水泥板的厚度等诸多方面。选取具体参数时应依据现场的实际施工状况与工艺需求来做出恰当的抉择。土钉墙设计可根据具体设计标准及坡面状态的变化，与包括喷射锚固、固体挡壁等其他辅助支撑技术相配合使用。此举有利于提升坡面的整体安定性。例如，在一个水电站项目中，坡面的高达20米，坡度为 $45^\circ$ ，抗滑稳定系数需达到1.5的标准下，运用直径为32毫米、间隔为2.5米的钢筋作为土钉，并将其深度设定为8米，同时施加20厘米厚的钢筋混凝土护面板。经过土钉墙支持系统的加固后，坡面的稳固性有了明显的增强，完全符合设计规定和施工的实际需要。锚土墙固定技术携带众多益处：最先，此技术显著增强了承重力和防滑稳定性，可有力防御边坡崩塌与移动。继而，锚土墙施工方法相对简便，且施工速度迅速，适宜于多样化、复杂的地质环境中的边坡稳固。另外，锚土墙适用于较广的边坡面积，并且对施工空间的占用极少，便于受地形限制的挖坡工程使用。

### 4. 预应力锚索

基本原则是利用预应力技术把钢筋束或钢丝绳与斜坡相连，经过加张力的操作，实现斜坡土层与下部岩石的紧密结合，增强斜坡的抵御滑移能力及整体的支撑力。在工程实施过程中，要合理配置预应力锚杆，需充分评估斜坡的岩土特性、设计标准和预期的载重等多种因素，以确定锚杆的安放位置、数量和张拉力度等关键参数。

一般情况下，预应力锚杆施加的张力按照设计规范和施工实际情况进行调节，通常可以实现数百到数千吨级别的张力。锚杆的密集程度和布局间距同样需要依据实际工程需求和设计预期来适当配置，确保预应力锚杆系统能够达到最优的支持效果。打个比方，假设一个水电站项目的斜坡有30米高，斜度达到60度，而且斜坡的土地是比较松散的黏土层。根据设计规范，施工方需要采用的预应力锚杆每根需达到800吨的拉力，并且每隔3米安装一根，总计部署20根。通过这种方式加固，斜坡得以极大程度上的稳固，符合建设和施工的标准。在水利水电建设领域，预应力锚杆的使用带来了几个明显的益处：第一，它能长期并且稳定地支撑斜坡，显著提升了斜坡的整体安全，避免了滑坡和坍塌事故的发生。第二，因为预应力锚杆技术的适用性强，它可以针对不同的斜坡角度、高度和地质条件，进行个性化的设计和实施，显示出它在工程领域的广泛适用性。

### 结束语

在水资源及水电设施建设领域，进行边坡挖掘并实施加固措施是维持工程安全稳定的关键步骤。例如，使用喷射混凝土锚固、土钉墙技术以及预应力锚索技术对边坡施工进行保护，都是至关重要的。这些建设技术通过强化边坡的稳定性、提升其整体的承重能力与防滑性，有助于保障工程建设的顺利推进。为保证水利水电项目的质量和稳固性，在施工时要针对具体的工程地理条件、设计需求以及施工过程中的各种限制，慎选合适的边坡挖掘加固技术。

### 参考文献

- [1] 杨正平. 边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J]. 石材, 2023(12): 90-92.
- [2] 杨正. 水利水电施工过程中边坡开挖支护施工技术[J]. 大众标准化, 2023(21): 35-37.
- [3] 赖华巨. 水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(29): 91-93.
- [4] 林军伟, 祁雪珍, 程延峰. 水利水电工程边坡开挖支护技术研究[J]. 内蒙古水利, 2023(8): 43-44.
- [5] 卢雪涛. 水利工程施工中边坡开挖支护技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(23): 208-210.