

# 水利工程边坡支护施工技术研究

周溢, 胡新刚

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/WCEST.2026030008

**摘 要 :** 在水利工程领域里, 护坡是保障整个水利工程的安全性和稳定性的关键技术之一, 然而目前水利工程建设日益庞大复杂, 传统的护坡技术已经很难适应工程建设的要求。本文基于近年来水利工程建设的实际案例, 在对各种护坡施工技术进行研究的基础上, 创新性地提出了几个新型的护坡技术和施工方法的应用, 提高了护坡的安全系数以及施工效率, 着重介绍了其中几种新型的护坡技术和施工方式的应用情况, 同时比较了各种护坡方式的优点和不足之处, 针对不同的地质、水文条件以及施工环境制定了相应的优化措施, 为今后水利工程护坡施工提供了借鉴。

**关 键 词 :** 水利工程; 边坡支护; 施工技术; 稳定性; 创新方法

## Research on Construction Technology for Slope Support in Hydraulic Engineering

Zhou Yi, Hu Xingang

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

**Abstract :** In the field of hydraulic engineering, slope protection serves as a critical technology for ensuring the safety and stability of water conservancy projects. However, with the increasing scale and complexity of modern hydraulic engineering construction, traditional slope protection techniques have become inadequate to meet contemporary engineering requirements. Based on practical case studies from recent hydraulic engineering projects and comprehensive research on various slope protection technologies, this paper innovatively proposes several novel slope protection techniques and construction methods. These advancements enhance both safety coefficients and construction efficiency. The study focuses on demonstrating the application scenarios of selected innovative slope protection technologies and construction approaches, while systematically comparing their respective advantages and limitations. Tailored optimization measures are formulated according to diverse geological conditions, hydrological parameters, and construction environments, providing valuable references for future slope protection practices in hydraulic engineering projects.

**Keywords :** hydraulic engineering; slope support; construction technology; stability; innovative methods

## 引言

水利工程边坡支护工程施工技术直接影响到整个工程的安全及稳固程度, 近几年来由于水利工程建设的规模增大, 边坡支护技术的要求以及难度也随之增大, 在面对复杂的地质环境时传统支护技术已经不能满足需要了。所以进行水利工程边坡支护工程施工技术的新技术研发与推广势在必行, 这样才能做到加快施工进度, 保证工程质量。通过国内外先进的边坡支护施工技术的对比并借鉴国内相关实例工程, 本文将对水利工程边坡支护施工的技术革新, 特别是新技术的研发加以探讨以此为基础提出新的施工技术和方法来为水利工程边坡支护提供技术支持及理论指导。

## 一、边坡支护技术发展概述

### (一) 水利工程边坡支护的技术背景与发展

水利工程建设中的边坡支护技术是保障整个工程的安全及稳定的必不可少的一个环节, 从上世纪五十年代水利工程建设规模越来越大, 对边坡支护的要求也越来越高了, 一开始边坡支护主

要是采取传统的土石方支护方式, 主要是依靠大型机械设备来进行支护施工, 在后期工程越来越复杂特别是对于一些大型水库以及梯级电站等工程的修建, 边坡地质越来越复杂, 各种不同的岩石以及水文条件, 让传统的支护方式无法满足要求。所以边坡支护技术逐渐走向更加高效的、精准化、绿色环保的方向。进入 21 世纪以来, 在工程力学与地质力学以及计算机模拟技术进步的

时,智能化、自动化的边坡支护方式应用到水利工程当中,支护技术的研究与应用又有了新的发展进程<sup>[1]</sup>。

### （二）传统边坡支护技术的应用与局限性

传统的边坡支护方式大多依靠机械支护、土石方支护等方式,大量应用在早期的水利工程建设之中。其中锚固支护技术由于其构造简单、工期短、造价低的特点而得到普遍的应用。但是随着工程量增加及施工环境变化,传统的支护方式存在很多不足之处,比如土石方支护难以适应复杂地形,对于软土地基、滑坡区、冲刷等不良地段无法适用;锚固支护虽然可以一定程度上增强边坡强度,但是它需要良好的施工场地条件,在恶劣天气条件下或者较高地下水位下容易出现問題。传统工艺对施工精确度以及实时性的把控较弱,无法很好的处理复杂多变的岩土地质条件,使得支护质量不能得到保障。

### （三）水利工程发展对边坡支护技术的需求

水利工程的发展壮大,特别是水库、大坝、引水工程等诸重点建设工程项目的开工,都给边坡支护工作带来了一定困难。尤其是近几年来我国大力推进的“水利工程”项目高规格、高标准的要求使得对于边坡支护的技术水平也提出更高要求。例如近一两年中国境内多个大型水库的建设中,边坡支护不仅要应对水土流失、滑坡等自然方面的问题还需考虑水库水位升降、极端恶劣天气等问题。据统计未来10年,在水利工程中边坡支护方面的投入将高达300亿元,促进了边坡支护技术的发展创新。此时,边坡支护的技术需要有更好的地质匹配度、环境匹配度以及快速有效的施工方法来保证工程长期稳定安全<sup>[2]</sup>。

## 二、创新型边坡支护技术的研究与应用

### （一）高性能复合材料支护技术的研究

高强复合材料支护方法已经成为水利水电工程边坡支护的一种新型支护方式。复合材料比如玻璃纤维增强塑料(GFRP)、碳纤维增强复合材料(CFRP)等在边坡支护中广泛应用,可以很大程度增强支护结构的整体强度以及耐用程度。如CFRP材料抗拉强度高达2500MPa远大于一般钢筋材料的1600MPa,通过其高的强度、良好的防腐蚀性能、低密度等特点很好地解决了在恶劣地质环境中支护结构的长时间稳定性难题,最近几年复合材料的支护方案也逐渐实现着多功能、智能一体化的设计目标。复合材料支护一般都用在山高、河道以及水库岸边这种地质环境比较恶劣的地方,可以承受各处恶劣环境下长时间的压力以及水土冲刷作用来增强边坡的抗滑动性能,保障边坡的安全可靠。

### （二）基于人工智能的支护设计优化

人工智能(AI)应用于边坡支护设计中,给复杂的工况及动态的地质条件提供了解决方法,在边坡支护的设计过程中,利用机器学习以及大数据等进行数据分析和挖掘,准确的预估出支护方案的实际施工以及稳定性情况,如基于AI算法对历史数据、现场监测数据和环境情况进行不断的学习和优化,自动得出最优的支护方案,提升工程的设计水平和施工质量;利用AI技术实现边坡支护的动态跟踪,AI算法通过对监测数据进行分析,在第一

时间发现边坡发生的细微变化并做出反馈,及时调整边坡支护情况。应用AI技术对工程支护方案进行优化可以使得设计精确度提升大约20%,并且会减少由于人为因素导致的设计上的偏差,增强工程建设的安全性能以及可实施性,比如某重大水利工程,用AI优化过的支护设计比起原来的传统支护设计而言,工期减少了18%,造价少用了12%<sup>[3]</sup>。

### （三）绿色环保支护材料的应用前景

伴随着国家越来越严格的环保政策,绿色环保支护材料研究及使用也越来越成为水利工程建设中的一项重要发展方向。绿色支护材料不仅要满足一定的力学要求以及耐久性,还要满足环保的要求,在一定程度上减小对周围环境带来的破坏。目前市面上出现的一些新型环保材料,比如天然纤维复合材料以及聚乳酸基材料等已经开始被运用到水利工程边坡支护领域之中,它们有很好的可降解作用,不会给周围的环境造成长久性的污染。天然纤维增强复合材料不仅力学性能与钢筋相近,同时它还有很好的生物学降解能力可以降低建筑过程中产生的二氧化碳。从相关统计数据可以看出,绿色环保支护材料将会在未来五年内占据边坡支护材料市场百分之三十以上的份额。特别是在一些对于生态环境保护有严格要求的水利工程建设项目中,应用绿色环保支护材料将会发挥着很大的作用,可以提高整个工程项目的环保程度以及可持续性。<sup>[4]</sup>

## 三、边坡支护技术在不同地质条件下的适应性分析

### （一）山地复杂地质条件下的支护技术应用

山地复杂的地质情况是边坡支护难题之一,目前随着水利工程的发展以及山地地区边坡支护的要求越来越高,在这种特殊的地质环境下,传统的支护措施已经无法适应,尤其是针对软弱层状结构、滑坡区域及陡峭的地貌等特殊地质环境,一般采用的土石方支护和锚固支护就很难达到设计标准,所以近些年出现了一些新的技术手段比如高强度的锚杆以及复合材料支护装置的应用。在某一西部山区中采用了高强度的钢绞线锚杆及预应力支护系统,支护体系的承载能力可以达到3000kN,极大的增强了支护的效果并且提升边坡稳定程度。另外,由于山区复杂的地质环境,在此基础上使用智能化检测方式来进行监测工作能够加快边坡反应的时间以及监测程度。比如在山地工地上面,数字地质勘探以及对数据的即时处理可以使施工计划随着边坡稳定性的波动而变动,保证工程施工的安全可靠。

### （二）水土保持与生态修复型支护技术的适用性

水土保持及生态修复型支护技术主要是针对水利工程建设中出现的水土流失及生态环境恶化的问题而提出的。这项技术不仅可以保证边坡的安全,而且还具有一定的防治水土流失以及生态恢复的效果,在水库、大坝等地方可以得到广泛的应用。近年来一些生态友好型的新材料也开始被使用了,比如天然纤维、绿化植被等等,以某水利工程为依托通过使用生态复合材料与植被共生的技术方案,配合生物支护和土工格栅技术来达到防治水土流失和恢复植被的作用,从实际的效果来看,能够使得水土流失降

低超过四成以上，植被覆盖率也提高了三成左右<sup>[5]</sup>。如图1所示。

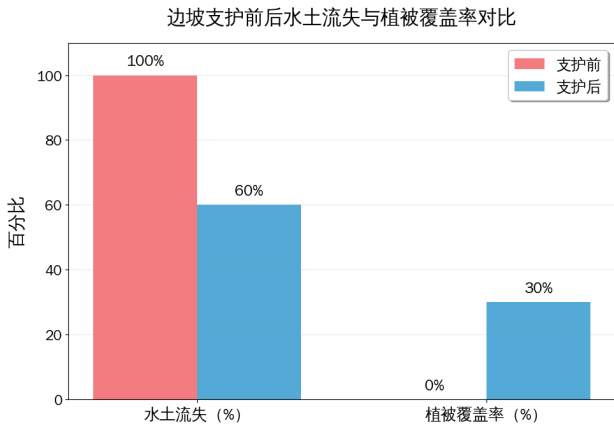


图1 水土流失与植被覆盖率变化对比图

**（三）城市水利工程中的边坡支护技术**

城市水利工程中的边坡支护问题主要是由于人口密集、地质复杂造成的。而城市水利工程中的边坡稳定不仅要保证水利工程的安全还要与其他的周边环境以及市政工程相协调，随着地下空间开发和城市的发展，边坡支护技术也逐渐从单一化走向综合化治理，在某城市的大型水电站修建过程中就使用了钢结构加预应力锚固系统来加以支护，这种方法比较灵活且支护力达每米30kN，相较之前增加了15%左右的安全系数。另外边坡支护也越来越突出与环境的和谐度，在其基础上加入了透水材料及绿化措施等手段，既提高了边坡稳定性又美化了城市环境。城市边坡支护技术的优点是可同时满足稳定好、施工方便及环保的要求，在当今的城市水利工程施工中起着主导作用<sup>[6]</sup>。

**四、边坡支护施工中的关键技术与质量控制**

**（一）边坡支护施工中的风险评估与管理**

对边坡支护工程施工的风险评价应结合土质条件及施工方法、机械设备以及环境等进行分析。首先应在施工之前依据《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）开展地质调查、划分风险级别并采取相应的对策，比如观察岩层和土体是否稳定、是否有地下水渗漏或者坡面破碎等问题；其次就是在工程施工期间运用量化的标准来评定风险程度，例如：坡面变形速度大于5mm/天或者孔隙水压力差值大于0.7则定义为有较大风险应当采取排险加固手段等等；还应当构建动态的风险监测预警机制以跟踪钻孔误差情况、注入压力等情况保证施工环节中的重点流程的风险可防可控<sup>[7]</sup>。

**参考文献**

[1] 杨庆红. 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J]. 价值工程, 2025, 44 ( 22 ) : 134-137.  
[2] 娄军委, 郑建花. 水利水电工程深基坑施工支护新技术的应用研究与实例探讨[J]. 张江科技评论, 2025, ( 07 ) : 174-176.  
[3] 王奋发. 水利建设项目实施阶段企业项目管理方法的研究[J]. 陕西水利, 2025 ( 8 ) : 163-165.  
[4] 范振华. 六月让所有的美好如夏花般绚烂[J]. 大众标准化, 2025, ( 11 ) : 3.  
[5] 肖敏, 关晓琦. 水利水电工程边坡开挖支护施工技术优化策略[J]. 陕西水利, 2022, (02): 136-137.  
[6] 刘亚妮. 建筑工程施工中边坡支护技术[J]. 四川水泥, 2021, ( 09 ) : 345-346.  
[7] 余茂坦. 研究水利工程施工中边坡开挖支护技术[J]. 科技风, 2021, ( 20 ) : 197-198.  
[8] 王海涛. 水利工程施工中的边坡开挖支护技术分析[J]. 中小企业管理与科技 ( 下旬刊 ), 2020, ( 10 ) : 174-175.

**（二）边坡稳定性监测技术的创新应用**

边坡稳定性监测技术是保障工程质量及安全的重要技术措施，需要建立全面的监测网系。针对不同工程的施工难易程度以及工程级别，设置坡顶水平位移、垂直位移、裂缝宽度等监测点的基础网架并采用GPS及大地测量等方式进行检测，该类监测精度一般要求对于岩质边坡不应低于 $\pm 0.50\text{ mm}$ ，而对于土质边坡不应低于 $\pm 1.00\text{ mm}$ ，能够对边坡的微小变化予以量化；长期监测系统利用倾角仪、应力计以及孔隙水压力计可以实现对支护结构应力状况、预应力衰减等情况的连续观测。实际案例有比如乌东德水电站高陡边坡长期变形观测，人工开挖区表面位移及岩体变形最大分别达到了312.5mm、92.2mm，在此以三维有限元模型联现场观测结果进行边坡稳定性的动态响应评估<sup>[8]</sup>。如表1所示。

表1 监测指标与精度要求

| 监测指标   | 方法        | 精度要求                       |
|--------|-----------|----------------------------|
| 坡顶水平位移 | GPS/ 大地测量 | $\leq 0.50\text{ mm}$ （岩质） |
| 地表裂缝宽度 | 光学 / 裂缝计  | $\pm 0.1\text{ mm}$        |
| 锚杆应力   | 应力计       | $\pm 1\text{ MPa}$         |
| 孔隙水压力  | 水位传感器     | $\pm 0.01\text{ MPa}$      |

**（三）施工质量控制的技术手段与方法**

工程质量管控要全过程全方位管控。支护施工严格按照设计及相关技术规程要求组织支护，对进场材料、机器设备、工艺参数进行检验跟踪，保证锚杆的屈服强度、钢筋抗拉强度满足要求等；施工过程中，利用自动配浆机和压力控制系统控制好注浆水灰比、水泥用量、注浆压力，保证浆液配比一致性，锚杆安装及张拉过程采用激光测距仪、智能张拉设备进行定位跟踪，保证误差在规范范围内，质量检测为定期观测排水沟情况，裂缝发展状况等支护结构物变化，动态管理系统记录处理数据，保证施工质量有量化、可追溯性。这些措施有效提高了支护施工的质量与精度。

**五、结语**

水利工程边坡支护技术对工程的安全起着决定性的作用，在地质越来越复杂，环境的要求越来越高的趋势下，复合材料支护、智能AI设计、环保型材料等新型的技术出现也带动了支护技术的发展。并且对于风险评估、稳定性检测、施工质量控制实行精细化管理也提升了整体效率与安全性。边坡支护技术会朝着更加智能化以及更加环保的方向前进。以满足未来工程中更多的难点。