

# 水利水电工程中生态护坡施工工艺创新

何辉武

中国水利水电第五工程局有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19341

**[摘要]** 水利水电工程建设中,生态护坡是兼顾工程安全与生态保护的核心环节,直接影响工程稳定性与周边生态环境可持续性。传统生态护坡施工工艺存在生态适配性不足、质量管控难度大、施工效率偏低等问题,难以满足现代水利水电工程绿色发展需求。本文结合水利水电工程对生态护坡的特殊要求,概述生态护坡的定义、分类及功能,分析传统施工工艺的常见类型与突出问题,重点探究施工工艺创新路径,包括新型材料应用、施工方法优化及智能化技术融入,补充工艺创新的应用保障与发展趋势,为水利水电工程生态护坡施工提供全面技术参考,助力工程实现生态效益与工程效益的协同发展。

**[关键词]** 水利水电工程; 生态护坡; 施工工艺创新

中图分类号: TV861 文献标识码: A

## Innovation in Construction Technology of Ecological Slope Protection in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Huiwu He

Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd.

**[Abstract]** In the construction of water conservancy and hydropower engineering, ecological slope protection is a core link that balances engineering safety and ecological protection, directly affecting engineering stability and the sustainability of the surrounding ecological environment. Traditional construction technologies for ecological slope protection have problems such as insufficient ecological adaptability, difficulty in quality control, and low construction efficiency, making it difficult to meet the green development needs of modern water conservancy and hydropower engineering. Based on the special requirements of water conservancy and hydropower engineering for ecological slope protection, this paper outlines the definition, classification, and functions of ecological slope protection, analyzes common types and prominent problems of traditional construction technologies, and focuses on exploring innovation paths for construction technology, including the application of new materials, optimization of construction methods, and integration of intelligent technologies. It also supplements application guarantees and development trends of technological innovation, providing comprehensive technical references for ecological slope protection construction in water conservancy and hydropower engineering, helping to achieve coordinated development of ecological and engineering benefits.

**[Key words]** water conservancy and hydropower engineering; ecological slope protection; construction technology innovation

### 引言

随着水利水电工程绿色发展理念的深入推进,生态护坡已取代传统硬质护坡,成为工程建设中的关键组成部分。水利水电工程多位于河流、库区等水域周边,护坡工程需同时承担固坡防冲、水土保持与生态修复的双重任务,对施工工艺的生态性、稳定性提出更高要求。基于此,本文聚焦生态护坡施工工艺创新,结合工程实际需求,系统分析工艺创新要点、应用保障及发展趋势,为提升水利水电工程生态护坡质量、推动工程绿色可持续发展提供可行思路。

展提供可行思路。

### 1 水利水电工程生态护坡概述

#### 1.1 生态护坡的定义与分类

生态护坡是指在保障边坡稳定性、防止水土流失的基础上,兼顾生态环境保护与修复,采用生态友好型材料和施工方法,构建与周边自然生态系统相融合的护坡结构。与传统硬质护坡相比,生态护坡更注重生态兼容性,可实现工程防护与生态修复的协同推进。根据施工材料与结构形式,生态护坡可分为植物型、

工程与植物结合型两大类: 植物型护坡依托草本、灌木等植物的根系固土作用, 如植草护坡、灌木护坡, 具有成本低、生态性好的优势, 适用于坡度较缓、冲刷力较小的边坡; 工程与植物结合型护坡融合工程结构与植被防护, 如生态袋护坡、三维植被网护坡, 兼顾稳定性与生态性, 适用于坡度较陡、冲刷力较大的水利水电工程边坡。

### 1.2 生态护坡的功能与作用

水利水电工程中, 生态护坡具备工程防护与生态修复双重功能, 是保障工程安全、维护周边生态平衡的重要支撑。在工程防护方面, 生态护坡可有效固定边坡土体, 抵御水流冲刷、雨水侵蚀, 防止边坡坍塌、水土流失, 保障水利水电工程主体结构的稳定性, 减少工程运维成本; 在生态修复方面, 生态护坡可恢复边坡植被覆盖, 改善区域生态环境, 为鸟类、小型动物提供栖息环境, 提升水体净化能力, 减少工程建设对周边生态系统的破坏<sup>[1]</sup>。此外, 生态护坡还能美化工程周边景观, 实现水利水电工程与自然环境的和谐共生, 契合绿色水利发展理念。

### 1.3 水利水电工程对生态护坡的特殊要求

水利水电工程的特殊性, 决定了其对生态护坡的要求远高于普通工程。一是稳定性要求高, 水利水电工程边坡多面临水流长期冲刷、水位交替变化的影响, 护坡结构需具备较强的抗冲能力、抗渗能力和整体稳定性, 可适应水位涨落、水流冲击等复杂工况; 二是生态兼容性要求高, 护坡工程需与周边河流、库区的生态系统相融合, 避免采用破坏生态环境的材料与工艺, 最大限度保护原有植被、水体环境; 三是耐久性要求高, 需耐受雨水侵蚀、冻融循环、水体腐蚀等自然因素影响, 延长护坡使用寿命, 减少后期维修养护工作量; 四是施工适应性要求高, 水利水电工程边坡地形复杂、施工空间有限, 护坡施工工艺需具备灵活便捷的特点, 可适配不同坡度、不同地质条件的边坡施工。

## 2 传统生态护坡施工工艺分析

### 2.1 常见传统施工工艺介绍

水利水电工程中, 传统生态护坡施工工艺以植物型护坡和简单工程结合型护坡为主, 常见类型包括植草护坡、铺草皮护坡、浆砌石框格植草护坡。植草护坡是最基础的传统工艺, 通过在边坡表面撒播草种, 覆盖无纺布保湿, 待草种发芽生长后形成植被防护层, 适用于坡度较缓、冲刷力小的边坡, 具有施工简单、成本低廉的优势, 但防护稳定性较差。铺草皮护坡是将培育好的草皮直接铺设在边坡表面, 快速形成植被覆盖, 施工效率略高于植草护坡, 但草皮成活率受施工季节、养护条件影响较大, 长期使用易出现草皮脱落、退化现象。浆砌石框格植草护坡是在边坡表面砌筑浆砌石框格, 在框格内种植植被, 兼顾工程稳定性与生态性, 但施工工序繁琐, 且浆砌石材料生态兼容性较差, 易对周边水体造成污染。

### 2.2 传统施工工艺存在的问题

#### 2.2.1 生态效果方面

传统生态护坡施工工艺的生态效果存在明显不足, 难以实现生态修复与工程防护的深度融合。一方面, 部分传统工艺采用

的材料(如浆砌石、混凝土)生态兼容性差, 无法与周边自然生态系统协同发展, 易破坏原有植被、土壤结构, 影响水体环境; 另一方面, 传统植物型护坡多采用单一草种, 植被多样性不足, 生态系统稳定性差, 易出现植被退化、水土流失等问题, 难以实现长期生态修复效果。另外, 传统工艺对边坡生态环境的适应性较差, 在水位交替变化、水流冲刷较强的区域, 植被成活率低, 生态防护功能难以持续发挥<sup>[2]</sup>。

#### 2.2.2 工程质量方面

传统生态护坡施工工艺在工程质量管理方面存在诸多短板, 影响护坡结构的稳定性与耐久性。植草、铺草皮等传统工艺对施工环境要求较高, 草种发芽、草皮存活受温度、湿度、土壤条件影响较大, 若养护不到位, 易出现植被枯萎、脱落, 导致护坡失效; 浆砌石框格植草护坡中, 浆砌石砌筑质量难以精准控制, 框格拼接处易出现缝隙, 雨水、水流易渗入边坡土体, 导致边坡软化、坍塌; 同时, 传统工艺缺乏有效的质量检测手段, 难以及时发现施工过程中的质量隐患, 后期易出现护坡结构破损、水土流失等问题, 增加工程运维成本。

#### 2.2.3 施工效率方面

传统生态护坡施工工艺多依赖人工操作, 施工效率偏低, 难以适配大型水利水电工程的施工进度需求。植草、铺草皮护坡需人工撒播草种、铺设草皮、覆盖无纺布, 工序繁琐, 人工工作量大, 施工周期长; 浆砌石框格植草护坡需人工砌筑框格、回填土壤、种植植被, 施工难度大, 且受地形限制, 大型机械设备难以进场作业, 进一步降低施工效率。此外, 传统工艺对施工人员的技术水平要求较高, 若施工人员操作不规范, 易出现施工质量问题, 需返工整改, 进一步延长施工周期、增加施工成本。

## 3 水利水电工程生态护坡施工工艺创新

### 3.1 新型材料的应用创新

新型生态友好型材料的应用, 是生态护坡施工工艺创新的核心方向, 可有效解决传统材料生态兼容性差、耐久性不足等问题。一是环保型生态混凝土材料, 采用可降解骨料、生态水泥等原料, 替代传统混凝土, 具备良好的透水性、透气性和生态兼容性, 可促进植被生长, 同时具备较强的抗冲能力、抗冻融能力, 适用于水利水电工程水位交替变化区域的护坡施工; 二是高分子生态材料, 如生态袋、三维植被网等, 具有重量轻、强度高、耐腐蚀、可降解的优势, 生态袋可填充土壤、草种, 快速构建护坡结构, 三维植被网可固定土壤、促进植被生长, 提升护坡稳定性; 三是复合植生材料, 将草种、营养基质、保水剂、粘结剂等混合制成植生基质, 可提高草种成活率, 缩短植被生长周期, 适用于坡度较陡、土壤条件较差的边坡施工, 实现工程防护与生态修复的同步推进。

### 3.2 施工方法的创新

#### 3.2.1 三维植被网与喷播联合施工工艺

三维植被网与喷播联合施工工艺, 融合了三维植被网的固土优势与喷播技术的高效性, 是传统植草护坡工艺的优化升级。施工时, 先对边坡进行清理、平整, 修整边坡坡度至设计要求,

然后铺设三维植被网,采用锚钉固定,确保植被网与边坡土体紧密贴合;随后,将草种、营养基质、保水剂、粘结剂等混合制成喷播材料,通过高压喷播设备均匀喷洒在边坡表面,覆盖三维植被网;最后,覆盖无纺布保湿,定期浇水养护,促进草种发芽生长。该工艺解决了传统植草护坡稳定性差、草种成活率低的问题,施工效率较传统工艺提升30%以上,且植被覆盖均匀,生态效果良好,适用于各类坡度的水利水电工程边坡施工。

### 3.2.2生态袋护坡施工工艺

生态袋护坡施工工艺是一种新型工程与植物结合型护坡工艺,替代了传统浆砌石框格护坡,具备生态性好、施工便捷、稳定性强的优势。施工前,对边坡进行清理、平整,铺设防渗膜防止水土流失;然后,将生态袋填充混合土壤、草种、营养基质的材料,压实后按设计坡度分层铺设,相邻生态袋采用卡扣连接,确保拼接紧密,形成整体护坡结构;铺设完成后,在生态袋表面撒播草种,覆盖无纺布养护,待植被生长后,形成“生态袋+植被”的双重防护体系。该工艺无需大型机械设备,人工即可施工,适配复杂地形边坡,且生态袋可降解,生态兼容性好,抗冲能力强,可适应水位交替变化的工况,广泛应用于水利水电工程库区、河道边坡施工<sup>[3]</sup>。

### 3.2.3预制混凝土框架生态护坡施工工艺

预制混凝土框架生态护坡施工工艺,是传统浆砌石框格护坡工艺的创新升级,兼顾工程稳定性与生态性,解决了传统工艺施工繁琐、生态兼容性差的问题。施工时,先在工厂预制混凝土框架构件,构件采用环保型混凝土材料,预留植生孔;然后,对边坡进行清理、平整,铺设土工格栅,增强边坡土体稳定性;随后,将预制混凝土框架构件吊装至边坡表面,拼接固定,形成规则的框架结构;最后,在框架植生孔内填充土壤、草种,覆盖保湿材料养护,促进植被生长。该工艺施工效率高,框架结构稳定性强,可有效抵御水流冲刷,且植生孔内植被可自由生长,实现工程防护与生态修复的协同,适用于坡度较陡、冲刷力较大的水利水电工程边坡。

### 3.3智能化施工技术的应用

智能化施工技术的融入,是生态护坡施工工艺创新的重要方向,可有效提升施工效率、保障施工质量,实现生态护坡施工的精细化、智能化。一是无人机航拍监测技术,施工前通过无人机航拍获取边坡地形、地质数据,为护坡设计、工艺选择提供精准依据;施工过程中,实时监测边坡施工进度、施工质量,及时发现施工隐患,避免返工整改;施工后,定期监测护坡植被生长情况、边坡稳定性,为后期养护提供数据支撑。二是自动化喷播技术,采用自动化喷播设备,可精准控制喷播材料的用量、喷洒

均匀度,替代传统人工喷播,提升施工效率,减少人工工作量,同时确保喷播质量,提高草种成活率。三是智能化养护技术,通过传感器实时监测边坡土壤湿度、温度等环境参数,自动控制浇水、施肥设备,实现植被养护的智能化、精准化,减少养护成本,提升养护效果,确保生态护坡长期稳定发挥作用。

## 4 生态护坡施工工艺创新的应用保障与发展趋势

生态护坡施工工艺创新的落地应用,需依托完善的保障体系,同时结合行业发展趋势持续优化。应用保障方面,需建立健全工艺标准体系,结合水利水电工程不同工况,制定针对性的创新工艺施工规范,明确材料选型、施工流程及质量验收标准;强化施工人员专业培训,提升其对新型材料、智能化设备的操作能力,保障工艺落地质量;建立长效运维机制,结合智能化监测数据,开展精准养护,延长护坡使用寿命<sup>[4]</sup>。发展趋势上,将推动生态护坡工艺与低碳理念深度融合,研发更环保、可循环的新型材料;促进多技术协同应用,推动无人机、大数据与护坡施工深度结合,实现全流程智能化管控;注重因地制宜创新,结合不同区域地质、水文条件,优化工艺方案,进一步提升生态护坡的适配性与综合效益。

## 5 结束语

生态护坡施工工艺创新是水利水电工程绿色发展的必然要求,也是提升工程质量、实现生态效益与工程效益协同发展的关键路径。传统生态护坡施工工艺存在生态效果差、工程质量管控难、施工效率低等问题,已难以适配现代水利水电工程的发展需求。通过新型生态材料的应用、施工方法的优化及智能化技术的融入,搭配完善的应用保障体系,可有效弥补传统工艺的短板,提升生态护坡的稳定性、生态性和耐久性。未来,需结合水利水电工程的实际工况,紧跟行业发展趋势,持续探索施工工艺创新方向,推动生态护坡技术不断升级,为水利水电工程绿色可持续发展提供有力的技术支撑,助力构建人与自然和谐共生的水利生态环境。

### [参考文献]

- [1]侯锋.生态浆砌石护坡施工技术在水利工程施工中的运用探究[J].传奇故事,2023(46):31-33.
- [2]官婧祺.水利水电工程中生态护坡比选方法研究[J].中国新技术新产品,2024(3):129-131.
- [3]张权.简析水利水电工程中河道生态护坡施工技术的要点[J].生态与资源,2024(5):114-116.
- [4]李昂,秦钊茵.水利水电工程扰动区生态护坡技术比较研究[J].水利水电快报,2024,45(2):115-121.