

# 水库防护工程生态护坡应用研究

邹玉君

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 中国·湖北 武汉 430010

**摘要:** 生态护坡属于水库防护工程的重要部分, 对于水库工程建构生态护坡的目标即为改善区域生态环境, 并能够有效缓解水土流失的情况。随着当前时期的水库工程建设规模扩大, 水库防护工程的生态护坡结构形式更加丰富多样, 需结合水库生态平衡维护的基本需求进行合理的设计优化。基于此, 本文探讨水库防护工程中的生态护坡技术应用方案。

**关键词:** 水库防护工程; 生态护坡; 技术应用

## Research on the Application of Ecological Slope Protection in Reservoir Protection Projects

Zou Yujun

Yangtze River Survey, Planning and Design Research Co., Ltd., China Hubei Wuhan 430010

**Abstract:** Ecological slope protection is an important part of reservoir protection projects. The goal of constructing ecological slopes for reservoir projects is to improve the regional ecological environment and effectively alleviate soil and water loss. As the scale of reservoir engineering expands in the current era, the structural forms of ecological slope protection in reservoir protection projects are becoming increasingly diverse, necessitating reasonable design optimization that combines the basic needs of maintaining ecological balance in reservoirs. Based on this, this paper discusses the application plan of ecological slope protection technology in reservoir protection projects.

**Keywords:** Reservoir protection projects; Ecological slope protection; Technology application

## 0 引言

水库防护工程是指通过采取工程措施, 旨在消除或减轻水利水电工程水库淹没影响(淹没、浸没、坍岸等)的工程, 一般分为堤(坝)工程、护岸工程、抬填工程、建(构)筑物加固处理工程、农田防浸(渍)工程等, 以上的防护工程形式可单独或综合采用。水库防护工程的生态护坡, 指的是通过种植绿化植被或者借助于工程加固手段, 集中针对水库所在区域的边坡结构进行一体化的综合防护。与传统的水库防护实现形式相比, 引进生态护坡作为支撑的水库防护工程更能够发挥良好的经济效益与生态效益, 有益于水库边坡的抗侵蚀能力、生态恢复能力获得同步的提升。

## 1 生态护坡的常见类型

### 1.1 植被护坡

植被护坡主要表现为“人工植草护坡”, 此外还包括土工网垫形式的客土植被护坡、液压喷灌植草护坡、平铺草皮形式的护坡等。对于水库防护工程采用植被护坡的技术方案, 充分体现了工程造价较低、施工操作便捷的优势。

但是同时, 采用植被护坡的水库生态防护方案易导致植被在水流冲刷的作用下呈现大面积死亡, 尤其是一部分草种存在较低的植被成活率<sup>[1]</sup>。大型水库植被护坡普遍具有较大的修复作业难度, 客观上增加了水库防护工程的施工投入成本。

### 1.2 土壤生物护坡

土壤生物护坡的主要类型包括灌丛垫护坡、活体植物枝条的柴笼护坡、活体植物枝条的承载护坡等。由土壤生物组成的水库护坡结构, 可有效防止大范围的水土流失, 并能够改善边坡土体的抗冲刷性能与稳定性, 对于改善区域生态环境起到不可忽视的作用。例如, 活体植物枝条组成的柴笼护坡一般来讲适用于陡坡为主的水库防护工程, 此种形式的水库生态护坡不仅起到了减小径流速度与抗侵蚀的作用, 同时还可以改善边坡土体的涵养水源性能<sup>[2]</sup>。

### 1.3 生态型的混凝土护坡

生态型的混凝土护坡主要划分为嵌入式挡土墙与预制块护坡, 以上两种形式的混凝土护坡都具有施工快捷、稳定性好、造价相对低廉的优势。近些年来, 预制块为主的

生态型混凝土护坡已获得较为广泛的应用,其能够抵御较大强度的水流冲击作用,适用于陡峭的水库防护坡面结构。除了以上的水库工程护坡形式之外,还可以采用木桩栅栏或者活性木格框的木材护坡形式。但是截至目前为止,木材护坡方案的可靠性并未得到严格的检测,水库防护工程的木材护坡普遍存在结构耐久性、维护成本、降碱处理等方面的难题<sup>[3]</sup>。

如下表,为生态护坡类型及其特征:

表1 生态护坡类型及其特征

生态护坡类型	应用优势	不足之处	应用比率
生态型的混凝土护坡	抗变形、成本低、施工便捷	易受水流冲刷	较高
植被护坡	施工快捷、造价低、抵御水土流失	植被易死亡	很高
土壤生物护坡	预防水土流失、减小水流冲刷速度、稳定性好	适用范围相对有限	一般
木材护坡	稳定性好、显著改善生态环境	成本高、技术可行性有待验证	较低

## 2 水库防护工程生态护坡的技术应用要点

### 2.1 边坡土层整平

水库防护工程的生态护坡施工在正式开始之前,首先需要彻底清除水库边坡表面的土渣以及杂草,维持边坡表面结构的光滑、平整。在此基础上对于水库边坡的坡面部分应采取集中修复的方式,清理树枝、固体废弃物等垃圾。一般情况下,水库生态边坡的植被与混凝土结合处需要得到重点的整治,关键就是要彻底铲除地下杂草的残留根茎,并应当限定于 1m 左右的边坡清理深度。施工过程中可借助铁锤或者电钻的机械设备辅助,配合采用人工清理边坡杂物的实施方案<sup>[4]</sup>。经过全面清理的边坡土层凹陷部位应当尽快予以填平,然后借助高压喷水枪进行边坡冲洗,最后利用砂浆混合物(规格为 M7.5)进行妥善的边坡土体补充。

### 2.2 挖掘边坡排水沟

水库防护工程的边坡排水沟属于非常关键的边坡防护组成部分,开挖边坡排水沟的目的就是避免水库边坡发生雨水存积的现象,进而导致植被混凝土的护坡结构被损坏。具体在挖掘水库生态防护系统的边坡排水沟时,应当将马道布置于边坡的适当位置。排水沟应设置在马道的上方,以期有效缓解水库边坡受到自然降雨的冲击与腐蚀作用,切实维护水库工程的边坡结构稳定。

### 2.3 布置铁丝网与锚钉

水库生态护坡的施工主要利用电锤设备,沿着水库边坡的垂直方向打入锚钉。现阶段常用的水库生态护坡锚钉

为螺纹钢钉,具体应限定于 15mm 左右的螺钉直径规格、16cm 左右的打孔深度、1.2m 以内的锚钉间隔距离,并且外露部分的锚杆长度不宜超出 8cm。在此基础上,在排水沟的底部铺设镀锌材质的铁丝网,具体需要牢固绑扎铁丝网的接头部位,然后再借助锚钉作用来进行铁丝网的固定操作。另外还需要在植被混凝土的基材内部铺设一定宽度的铁丝网,如此才能够长期保持水库边坡的生态防护体系坚固<sup>[5]</sup>。在完成以上各步骤的操作之后,应当定期检查水库生态护坡的铁丝网与锚钉,在发现铁丝网或者锚钉出现松动的情况下应当立即对其实施修复。

### 2.4 喷播植被与混凝土的混合物

喷播植被与混凝土的生态护坡混合物,重点就是要严格控制水泥、砂壤土、保水剂、有机质、植被草种的添加比例,通常可以选取优质的硅酸盐水泥用于建构水库灌区的生态护坡体系。在保证植被与混凝土的生态护坡材料配比符合要求之后,应当利用自动喷播设备来均匀喷播植被混凝土的混合物,通常需要沿着水库边坡的垂直方向进行喷播作业。在一些情况下,水库工程的生态护坡所在区域具有边坡陡峭的地势特点,施工过程中应高度重视是否存在遗漏喷播的现象,对于未覆盖植被混凝土的水库边坡区域应当及时进行覆盖保护。

## 3 水库防护工程生态护坡的项目实例

### 3.1 工程概况

某水库是一座大(2)型水库,工程开发任务以防洪为主,结合供水,兼顾发电,并为巩固革命老区脱贫成果创造条件。水库枢纽工程由挡水建筑物、泄水建筑物、发电引水建筑物、供水建筑物和过鱼建筑物等组成。挡水建筑物为碾压混凝土重力坝段,泄水建筑物包括泄洪表孔和泄洪深孔。大坝为碾压混凝土重力坝,坝顶高程 405.3m,最大坝高 71.3m。水库正常蓄水位 400m,汛期限制水位 384m,死水位 374m;总库容 14165 万 m<sup>3</sup>,防洪库容 8134 万 m<sup>3</sup>。

该水库库区涉及 1 处集镇防护工程,对沿江受水库蓄水淹没区进行防护,工程主要通过开挖回填结合防洪墙和放坡护岸方式对岸坡进行加高加固,放坡坡面采用生态措施结合工程措施进行护面,解决洪水抗冲刷问题,并美化沿江岸线。防护工程大体分为 3 段,即现状堤防加高加固段、新建防洪墙+放坡回填段和放坡回填段。防护堤坡面在正常蓄水位以上设置一级马道,马道上方岸坡采用“预制混凝土六棱块+植草生态护坡”的防护方案。空心六棱块主要采取预制结构,属于 C25 钢筋混凝土;该结构的

外边长为 30.0cm，混凝土的厚度与宽度分别为 15.0cm 与 5.0cm。为保证预制空心六棱块的结构完整，需要将直径为 6mm 的单排钢筋增加在预制块的布置区域。水库生态护坡的土体找平层，主要采取了人工夯实的结构加固措施，在其上部砌筑空心预制的六棱块；等待全部的空心块体砌筑完成之后，将植被草种与回填土填充于预制块内部。

### 3.2 生态护坡方案

防护工程的生态护坡设计，应充分考虑到库区地形条件的特殊性，拟采用复合式的水库生态护坡布局设计方案。具体而言，生态护坡工程的方案设计与实施关键在于六棱块的砌筑，需要依据从上而下的砌筑施工顺序，并应当保证咬合部位的紧密与平整。在砌筑六棱块的过程中，主要采用横向与纵向拉线的做法来控制坡比与平整度指标，并需要妥善做好坡面排水沟与平台梁衔接部位的施工处理。为保证水库生态护坡工程的植被成活率达到基本要求，应等到第二年春季再去集中采取液压喷播种植的措施。

生态护坡的结构设计应重点关注生态护坡结构的稳定性，采用定量评价与定性评价相结合的水库生态护坡性能评价模式。具体在设计水库生态护坡的定性评价指标时，重点评估水库生态护坡的使用寿命、防洪排涝性能、维护难度、生态影响等方面因素；对于水库生态护坡实施定量评价的核心指标，包括边坡透水性、土体稳定程度、工程费用成本、边坡抗冲刷性、植被覆盖度等。水库防护工程的生态护坡设计与施工采取有机配合的措施，着力解决水库生态护坡项目的施工技术难题，在优化工程资源配置的同时延长水库生态护坡体系的寿命。

如下图，为水库防护工程生态护坡的评价指标体系：

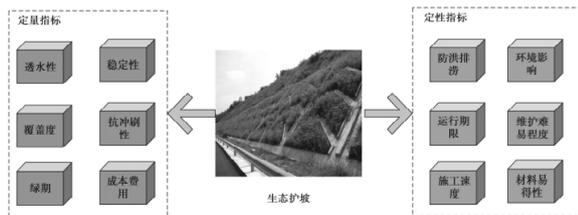


图1 水库防护工程生态护坡的评价指标体系

## 4 水库防护工程生态护坡的养护管理措施

### 4.1 适度添加保水剂与有机质

水库防护工程的生态护坡能否发挥保障生态平衡的作用，关键取决于植被混凝土的材料品质、有机质以及保水剂的掺入量等。例如对于大体积的堤坝工程而言，其中的生态边坡设计方案应体现因地制宜的指导思想，并需要将粉碎后的麦穗或者稻壳等有机质成分加入生态边坡土体<sup>[9]</sup>。工程设计还应当充分考虑到水库灌区的自然气候条件、地

质环境、人为破坏生态平衡的严重程度等，采用喷薄种植方式的水库边坡植被应达到出苗率高、易成活、抗逆性强的基本要求。

将生态护坡技术引进水库防护工程，还应当重视保水剂的合理应用。尤其是在水库工程的植被边坡防护体系施工与养护方面，更加需要重视适当的土壤施肥以及水分保持工作。例如在大面积水库灌区的生态护坡建构过程中，重点就是要控制复合肥与有机肥的施加比例，经过混合均匀的两种肥料应当能够完全融入水库边坡土壤，并需要借助保水剂来维持土壤表面的湿润性。

### 4.2 合理控制掺入水泥的比率

在目前的现状下，植被混凝土边坡在水库防护工程中的应用范围不断扩大。但是由于一些植被混凝土边坡存在水泥掺入比率过大或者过小的问题，由此造成水库边坡的保护层易受水流侵蚀的不利影响，从而导致护坡植被死亡以及水土流失的后果。过大的水泥掺入比率有可能阻碍绿色植被的正常呼吸以及光合作用，而过低的水泥掺入量将会影响到边坡防护体系的稳定坚固，易导致植被混凝土边坡出现垮塌的情况。

例如对于农田防浸渍工程在布置生态护坡之前，项目设计人员需要深入开展前期考察，做到准确掌握水泥掺入比率与植被成活率之间的关系，而且还应当充分考虑绿色植被生长期的呼吸作用、光合作用、水分蒸腾等影响因素。一般情况下，水库防护工程的植被混凝土边坡应限定于 10% 以内的掺入水泥比率，最高不宜超出 15% 的水泥掺入比率。并需要遵循农田耕地保护的指导原则，将水库生态护坡打造成为农业产业发展的坚固防线。

### 4.3 定期检查护坡结构完整性

水库工程的护岸边坡在施工完成的前提下，需要对其采取定期检查的运维管理措施，以期在最大程度上保证水库边坡的土体结构坚固，还可以有效防止水库边坡的土体失稳、水土流失、地质结构沉降等现象。具体而言，需定期查看护岸边坡部位的植被混凝土表层完整性，对于存在缺陷的边坡防护部分应当立即进行修复，从而延长水库工程的植被混凝土边坡防护体系寿命。在水库护岸边坡的修复实践中，重点就是要选取水分含量适中、富含有机质的砂壤土，并需要控制在 5% 以内的粗砂比率、18% 左右的土体含水率等指标。加强针对水库工程的生态边坡维护与保养，做到及时修复生态边坡的损坏部位，采取积极有效的措施降低人为活动导致的生态破坏影响。

例如对于植被混凝土为主的护岸工程边坡在实施运维

管理方面,应高度重视“强制性养护”的技术手段采用。具体需要等待植被混凝土喷播完成后的 48 小时,将柔软、清洁的无纺布覆盖于生态边坡的基材表层,进一步起到控制温度与土壤保墒的作用。工程养护人员还应当及时察觉植被草种是否受到飞禽的侵蚀损坏,借助自动化的喷灌系统予以实施。针对出芽率较低的局部边坡土体采取必要的补充种植措施,并需要定期灌溉边坡土壤。

## 5 结语

综上所述,水库防护工程若要体现最大化的环境效益以及社会效益,则不能够缺少生态护坡作为保障。护岸型式应与现状岸线平顺衔接,并充分利用沿江滩涂,为居民创造良好的沿江休闲亲水条件,满足人们对滨江区域优美生态环境和休闲景观日益增长的需求。现阶段的国内研究人员正在致力于探索水库生态护坡的布局优化路径,解决防护区长期存在的水土流失问题,关键就是要采取因地制宜的护坡选型与布置措施,合理改进水库防护工程的生态护坡技术实现方案,结合水库防护区周边滨江生态带建设,

实施坡面天然植被保护与恢复、水生生境构建、滨江生态活动空间重建等生态措施,构建层次分明、错落有致的滨江绿化景观,营造和谐的陆域立体休闲空间。

## 参考文献:

- [1] 韦燕南. 小型水库除险加固土石坝护坡技术研究——以永福县横山桥水库为例[J]. 数字农业与智能农机, 2025(06):75-78.
- [2] 胡鑫, 张晓敏. 框格梁生态护坡在面板堆石坝中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2024,53(12):50-51.
- [3] 祝天新. 生态护坡结构在河道整治中的研究及应用[J]. 水利科技与经济, 2023,29(12):78-82+93.
- [4] 廖承凌. 某山区水库工程边坡植被恢复措施[J]. 河南水利与南水北调, 2023,52(06):7-8.
- [5] 蔡宗霖. 水库灌区边坡植被混凝土生态护坡技术[J]. 珠江水运, 2023(09):20-22.
- [6] 姬红卫, 赵立荣. 驮英水库灌区边坡植被混凝土生态护坡技术[J]. 广西水利水电, 2022(06):65-67.