

# 水利水电工程混凝土边坡生态修复措施研究

吕燕红

国家林业和草原局西南调查规划院 云南昆明 650216

**摘要:** 在水利水电工程中, 边坡稳定性关系到整个工程的安全。其混凝土边坡生态修复的总体原则是以实现植物生态服务功能为目标, 安全优先, 突出生态功能, 注重景观与区域生态协调。而边坡生态系统重建的基本方法是根据边坡的工程地质条件、气候环境条件、土壤环境条件, 采用现代生态修复技术构建边坡植物立地条件, 重建科学的植物群落, 实现边坡生态系统功能的恢复。本文就此进行了相关内容的探究。

**关键词:** 水利水电工程; 混凝土边坡; 边坡生态修复

## Study on the ecological restoration measures of concrete slope in water conservancy and hydropower projects

Yanhong Lv

Southwest Investigation and Planning Institute of State Forestry and Grassland Administration, Kunming, Yunnan 650216

**Abstract:** In water conservancy and hydropower projects, the slope stability is related to the safety of the whole project. The general principle of ecological restoration of concrete slope is to realize the plant ecological service function as the goal, give safety first, highlight the ecological function, and pay attention to the coordination between landscape and regional ecology. The basic method of slope ecosystem reconstruction is to construct the slope plant site conditions according to the engineering geological conditions, climate and environmental conditions and soil environment conditions of the slope, rebuild the scientific plant community, and realize the restoration of the slope ecosystem function. This paper has conducted the relevant content of the exploration.

**Keywords:** Water conservancy and hydropower engineering; Concrete slope; Slope ecological restoration

### 引言:

我国经历了几十年工业化发展阶段, 开展了大规模的水、电、路、矿山等基础设施建设和城市化建设, 对国土生态造成了巨大的破坏, 其中山区大量的道路工程和水电工程产生的工程边坡, 对生态环境的破坏面很大。水利水电工程边坡生态修复是典型的高困难立地条件下的生态修复, 是工程建设项目生态修复的大难题。目前, 国家尚未提出针对水利水电工程边坡生态修复的目标要求, 大部分工程边坡治理的技术目标主要是满足工程安全, 即使部分工程边坡做了绿化覆盖, 也仅仅是以满足水土保持要求的绿化为目标, 且每个地方的标准不统一, 效果差异也较大。总之, 未能从全面恢复生态功能的角度开展生态修复, 这种现状显然达不到国家关于绿色发展的要求。在国家生态文明建设和“碳达峰、碳中和”的发展阶段, 应坚持生态优先的发展原则, 建设绿色矿

山、绿色公路、绿色水电、绿色铁路, 最大限度修复因工程建设而破坏的生态环境。

### 一、水利水电工程混凝土边坡生态修复的目标及技术途径

生态修复的目标不应仅仅是绿化, 而应是根据生态学理论恢复生态系统的基本功能。生态系统对人类具有多方面的服务功能, 生态系统的服务功能在人类不同发展阶段的贡献是不一样的, 比如在农耕时代, 生态系统对人类的服务主要体现在农林产品的生产和食用动物的生产与供给。我们要修复的国土生态系统主要是指植物生态系统, 站在人与自然和谐发展角度, 在我国新的发展阶段, 在全面实施山水林田湖草生态保护修复工程的要求下, 植物生态系统对人类的服务功能主要体现在: 农林植物生产、固碳(碳汇)、固氮、制氧、净化空气; 美化自然和人居环境; 改善气候, 促进区域生态系

统良性循环等<sup>[1]</sup>。根据大量研究成果,生态服务功能总体可归纳为四大功能:供给功能、调节功能、文化功能、支持功能。边坡生态修复的基本目标就是充分恢复植物生态系统的四项服务功能。基本技术途径即根据气候条件、土壤环境及工程边坡实际情况,按照生态学理论,筛选优势植物,构建适宜的边坡植物立地条件,重建与区域生态功能(如城市生态功能、森林生态功能、草原生态功能、河岸湖岸湿地生态功能、农业生态功能等)相协调的生态系统<sup>[2]</sup>。在此重点以重建边坡森林型生态系统为例,根据工程实践经验和国内相关研究成果,结合工程实践介绍边坡生态系统重建的技术方法。

## 二、水利水电工程混凝土边坡护坡网材

### 1. 加筋麦克垫

加筋麦克垫是一种新型的护坡材料,它是由多个无序排布的防护网丝、防护网丝铺设而成,它包裹在平面六角封合状的镀锌铁丝网表面,能够有效地抵抗剪切应力和拉应力,同时还具有三维网固土防护植物根系的功能和效果。从功能上看,3D植物网与3D植物网在功能上基本一致,但其抗拉力来源比3D植物网更大,其护坡工作效果也比3D植物网好,其主要应用于高陡边坡的防护。

### 2. 三维植被网

三维植被网是一种由多个塑料凹凸网和高强度平面网组成的网络,它的质地比较疏松,材质也比较坚韧,90%以上的空间都是用来填充植物根部的,植物可以从它的缝隙中钻出来,生长出来的植物可以用它来做垫子,将它与地面的泥土完美的融合在一起。由于植物的根部扎入地面之下,能够形成一种较为牢固的绿色植物复合保护层,三维植物网状物是一种适合在水土保持工作中使用的新型护坡材料,它能够有效地预防土壤侵蚀,增加绿化面积,提高生态环境品质。采用三维植物网状护坡技术,将土工网与植物护坡的工作优势结合在一起,形成了一种很好的复合护坡效应,当植物的覆盖面大于30%的时候,能够有效地抵御雨滴的冲刷,当植物的覆盖面大于80%的时候,能够有效地抵御雨滴的冲刷,当植物长势旺盛的时候,能够有效地抵御6m/s的水流冲刷,与一般的草坪相比,具有更好的防护效果。利用三维网可以有效地降低坡体构造土体部位的水分蒸发,提高水的渗透能力,从而达到较好的保土效应<sup>[3]</sup>。同时,由于三维网材料是聚乙烯材料,它的吸热保温的作用和效果,能够进一步促进种子发芽,更加有利于植物的生长。

### 3. 镀锌铁丝网

在铺放镀锌钢丝网的工作中,需将网面绷紧,由上往下展开。铁丝网的铺设工作需保证坡顶部和坡体两侧的覆盖面积大于20cm, <20cm的部位需增加锚杆,局部部位的岩石面不平整部位需进行加密锚杆,并采用 $\phi 2.4$

铁丝对铁网和锚杆进行绑扎加固,锚杆和铁丝网的连接部位需采用绑扎铁丝进行固定,挂网需采用热镀锌铁网规格为50mm $\times$ 50mm,铁丝网之间的搭接长度 $\geq 5$ cm,并采用 $\phi 2.4$ 铁丝材料进行绑扎。

### 4. 锚固材料

加筋麦克垫和镀锌铁丝网锚固材料,以带锚盘或者L型短锚杆材料为主,主锚杆采用 $\phi 18$ 螺纹钢,锚杆长度80cm,入坡体深度大于70cm,水平间距大小为2m,垂直间距2m,采用光圆钢筋,长度为50cm,入坡深度大于40cm,水平间距大小为0.5m,垂直间距大小为0.5m。三维植被网在土石混合边坡结构上进行铺设,在施工过程中,可以采用长度20cm的U型钉进行固定,推荐采用 $\phi 8$ 钢筋型号材料,固定深度能够结合护坡角度岩石破碎程度来对其加以调整,然而不能小于标准设计深度的最小值<sup>[4]</sup>。

## 三、水利水电工程混凝土边坡生态修复措施

### 1. 种植藤本类植物

对于锚喷坡面和主动防护网覆盖的岩质坡面,可采用种植藤本类植物的工艺进行坡面景观修复,即在坡顶砌花槽,种植炮仗花,坡脚植草沟周边种植爬山虎、常春藤等藤本类植物,达到“上垂下爬”的覆盖效果。这种修复方法工艺简单,成本低,施工快,但是见效慢,很难短时间内覆盖整体坡面<sup>[5]</sup>。此外,在边坡竣工1~2年后,常能发现在泄水孔附近和潮湿阴凉处,生长着成片的苔藓类和地被植物,这在一定程度上可消除混凝土面单调、苍白的感官效果,但需要的时间十分漫长。工程尝试在岩质坡面的石缝、锚喷边坡的植生孔中,栽植常春藤、三角梅等岩生植物,以呈现“石中生花”的效果。步道设计过程中,充分考虑到该修复方法的优劣性,种植藤本类植物主要运用于距离步道较远,景观要求较低的支线。

### 2. 喷混植生

喷混植生是步道生态修复的主要技术措施,该方法以生物学和工程力学理论为指导,在平整的坡面上挂设镀锌铁丝网,将有机质、土壤肥料、植物种子、掺和剂等混合料喷射到坡面上,形成100~150mm厚的基质层。生长的植被层能有效固结基质土,防止雨水冲刷,提高边坡稳定性<sup>[6]</sup>。该防护方法复绿速度较快,景观效果好,又能够稳固边坡,防止水土流失。但施工工艺相对较复杂,养护要求严格。对于锚喷坡面及坡率陡于1:0.75的岩质边坡,基质容易受雨水冲刷局部掉落,造成基质厚度不均。相关研究及工程实践对喷混植生的关键技术做出部分改善:①喷混层钻根系引导孔或植生孔,要求为植生孔直径不宜太大,孔径过大或分布过密易破坏喷射的混凝土结构,起不到坡面防冲刷的效果;而直径太

小,根系很难穿过孔洞,无法与边坡体交互,一般以40~50mm为宜。②紧贴着坡面铺设生态毯,改善植物生长的基质环境,并且使基材得以稳固。

### 3.景观塑石种植槽

喷混植生的坡面只能为草本和低矮灌木提供100~150mm厚的基质层,相比之下,塑石种植槽的覆土厚度可达500~1000mm,适合大型的灌木生长,且不局限于平顺的坡面,适用性更广,特别适用于高陡的锚喷坡面及岩质边坡,坡度可达70°~90°。因此,对于有着特殊步道景观效果的节点,在已经稳定的边坡坡面上,常采用塑石种植槽的方法进行营造<sup>[7]</sup>。塑石种植槽能使高矮灌木与攀爬植物相结合,达到恢复生态、长久绿化的效果,而且抗冲刷能力和抗腐蚀能力强,但是景观塑石工艺相对较复杂,造价往往较高。塑石种植槽通常在平整坡面和加固完成的边坡上预先选定的锚固位置,利用工字钢和角钢构建塑石的框架,其上锚固钢筋网,浇筑水泥砂浆,仿石处理。隐藏在塑石里的浇灌系统,可为植物迅速生长提供足够的水分。

### 4.削坡减载+台阶植树+边坡种草

首先,采用削坡减载方式治理工程区,要保证边坡稳定,削坡坡面角应不大于岩层顺层倾角(39°);其次,为保证种草植树所需表土能在坡面自然附着,削坡坡面角应不大于自然安息角(36°)。因此,采用图上作业方式,在保证台阶宽度的前提下,以坡面角不大于36°圈定削坡减载范围。采用该方案能保证边坡稳定的同时实现平台和边坡的生态修复<sup>[8]</sup>。在具体施工时,应自上而下实施削坡减载。优缺点分析:削坡减载+台阶植树+边坡种草能保证工程区边坡稳定,实现平台和边坡的生态修复,景观效果好。但需新增大量破坏范围,需搬迁高压线塔和部分坟地,削坡工程量大,成本高。

### 5.锚网支护+平台植树

工程区开挖后,坡面出现风化,表面岩体抗剪强度降低,但内部岩体仍然保持完整,只要能保证表面岩体不滑塌,内部岩体不暴露,应能确保边坡稳定。锚网支护能有效支护表面岩体,因此,采用锚网支护+平台植树方案能保证边坡稳定的同时实现平台的生态修复。危险滑动面采用圆弧滑动条分法进行稳定性验算,并据此选择锚杆类型、确定锚杆孔深度、锚杆长度。施工时柔性钢丝网覆盖有潜在表面岩土滑落的坡面,用纵横向交错的撑绳与锚固锚杆相联结<sup>[9]</sup>。优缺点分析:锚网支护+平台种树能保证工程区边坡稳定,实现平台的生态修复,但总高达70m的边坡无法实现生态修复,成本高,景观效果差。

### 6.削坡减载+反压坡脚+台阶植树+边坡种草

此方案是针对工程区现场北东部坡顶距坟地约35m、

坡脚环湖路约15m、南西坡顶距30kV高压线塔约10m、坡脚存在采坑且距环湖路较远的具体情况,采用工程区北东削坡减载+南西反压坡脚+台阶植树+边坡种草。此方案削坡坡面角应不大于自然安息角(36°),同时将上部台阶高度调整为20m,减少平台数量,能保证边坡稳定,实现平台和边坡的生态修复<sup>[10]</sup>。优缺点分析:削坡减载+反压坡脚+台阶植树+边坡种草能保证工程区边坡稳定,实现平台和边坡的生态修复,景观效果好;新增破坏范围少,不需搬迁高压线塔和坟地,削坡工程量大,土方能就地处理,成本低。

### 四、结束语

总之,水利水电工程边坡生态修复是工程建设项目生态修复的大难题,国家尚未提出针对工程边坡生态修复的目标要求,大量的工程边坡治理的技术目标主要是满足工程安全,未能从全面恢复生态功能的要求开展生态修复。针对水利水电工程项目混凝土边坡生态修复工作进行全面落实,提出关键性的生态修复工作方法,全面保证水利水电工程边坡生态环境质量。

### 参考文献:

- [1]施灿海,常普,尚大奎,李旅,孙高月.硫磺冶炼废渣临河堆积边坡生态修复技术应用[J].有色金属设计,2022,49(04):8-13.
- [2]刘娜,王志洋.路域边坡六棱砖不同铺设方式下的生态修复效果研究[J].黑龙江环境通报,2022,35(04):116-120.
- [3]闫云,傅圣涛,唐良智.浅谈喷灌技术在废弃矿山边坡生态修复实施中的应用[J].中国金属通报,2022,(11):225-227.
- [4]马悦阳,夏栋,舒倩,郭士维,罗婷,闫书星,刘大翔.向家坝工程扰动区不同生态修复模式边坡土壤颗粒分形特征[J].水土保持研究:1-7.
- [5]刘娜,任国俊,王磊.兴隆山矿山岩质边坡生态修复技术研究[J].金属矿山,2022,(10):218-225.
- [6]米拓.打孔点穴绿化法在渭南某高陡边坡生态修复中的应用[J].化工矿产地质,2022,44(03):236-242.
- [7]高轩,邵鹏远,康春景,何旭麒.露天矿山高陡岩质边坡生态修复技术的应用现状与发展趋势[J].能源与环保,2022,44(08):27-31.
- [8]陈雪,梁伟.水肥一体化技术在边坡生态修复中的应用[J].黑龙江水利科技,2022,50(03):167-170.
- [9]康斌,刘强,郭俊楠.关于高边坡生态修复施工技术的探讨[J].陕西水利,2019,(10):143-145.
- [10]瞿红云,贾国梅,向瀚宇,岳云飞.植被混凝土边坡修复基质易氧化有机碳组分季节动态[J].水土保持研究,2019,26(05):28-33.