

水电站建设中的水土保持与生态恢复设计

张 宇

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要:水电站建设易引发水土流失与生态破坏,影响区域可持续发展。本文聚焦水土保持与生态恢复设计,分析施工期水土流失机制、生态系统破坏特征及长期累积效应;阐述预防为主、因地制宜等设计原则及工程、植物、临时防护等技术措施;提出陆生与水生生态系统恢复策略,以及景观与游憩功能融合方案,为水电站生态友好建设提供理论支撑与实践指导。

关键词:水电站建设;水土保持;生态恢复设计

引言:在能源需求日益增长与生态保护并重的当下,水电站作为重要的清洁能源工程,其建设意义重大。然而,水电站施工易造成大面积地表扰动,引发水土流失,破坏周边生态系统,威胁生物多样性。如何实现水电开发与生态保护的平衡成为关键。因此,深入探讨水电站建设中的水土保持与生态恢复设计,制定科学合理的方案,对减少建设负面影响、实现可持续发展具有紧迫且重要的意义。

1 水电站建设对水土及生态的影响分析

1.1 施工期水土流失机制

(1)在水电站施工期间,挖填方作业频繁进行。大规模的土方开挖使原有的地表植被被铲除,土壤失去植被根系的固持作用。同时,填方区域由于土壤结构松散,在降雨及水流作用下,极易产生水土流失。道路建设过程中,不仅破坏了地表的完整性,其开挖的边坡若未及时防护,也会因雨水冲刷而出现滑坡、坍塌等现象,进一步加剧水土流失。(2)施工活动改变了原有的地形地貌,使得土壤侵蚀模数显著增大。例如,一些扰动区域的土壤侵蚀模数可比原状地表增加数倍甚至数十倍。土壤侵蚀模数的增大意味着更多的土壤颗粒被水流带走,这些泥沙随地表径流进入周边水体,造成河道、水库等的泥沙淤积,影响水体的行洪能力和水利设施的正常运行,增加了洪涝灾害的风险。

1.2 生态系统破坏特征

(1)水电站建设往往需要大量的土地,导致周边大面积的植被被砍伐和清除,植被覆盖率急剧下降。许多动植物的栖息地因此遭到破坏,生物栖息地破碎化严重。这使得物种之间的交流和迁徙受到阻碍,一些物种的生存空间被压缩,可能导致部分物种数量减少甚至濒危。(2)水电站建成后,水库蓄水改变了河流的水文条件。水温方面,深层低温水的下泄会使下游水温降低,

影响水生生物的繁殖和生长周期。流速减缓,使得一些适应急流环境的水生生物难以生存。泥沙含量减少,影响了以泥沙为食物或栖息地的水生生物。这些变化破坏了水生生物原有的生态平衡,对水生生物多样性造成严重威胁^[1]。

1.3 长期累积效应

(1)随着时间推移,库区水位的频繁涨落,使岸坡岩土体长期处于饱水与失水交替状态,强度降低。加之水库蓄水增加了岸坡的重量和静水压力,增加了库区岸坡失稳的风险,容易引发滑坡等地质灾害,威胁周边居民生命财产安全,同时也对生态环境造成进一步破坏。

(2)水电站运行过程中,为满足发电需求,可能过度拦截河水,导致下游河道生态需水不足。下游河流流量减少,使得河道萎缩,湿地面积减小,依赖河流生态系统生存的动植物面临生存危机,河流的自净能力也会下降,导致水质恶化,严重影响下游生态系统的稳定和健康。

2 水电站建设中的水土保持设计原则与技术措施

2.1 设计原则

(1)预防为主、综合治理、因地制宜是水土保持设计的核心准则。“预防为主”要求在工程规划阶段提前识别水土流失风险区域,如施工便道、料场等,通过优化布局减少地表扰动,例如将临时设施布置在植被覆盖率低、土壤抗蚀性强的区域,从源头降低侵蚀隐患。

“综合治理”需统筹工程、植物与临时防护手段,形成“拦、排、固、绿”相结合的防护体系,比如在挖方边坡设置挡土墙的同时,搭配灌木与草本植物种植,实现短期固土与长期生态修复的协同。“因地制宜”则强调结合项目区域的自然条件,若水电站位于多雨山区,需强化排水系统设计;若处于干旱地区,应优先选择耐旱性强的本土植物,避免盲目引种导致生态适配性问题。

(2)与主体工程同步规划、同步实施是保障水土保持

效果的关键机制。在主体工程可行性研究阶段,需同步编制水土保持方案,明确防护范围、措施布局及投资预算,避免后期增补措施与主体工程冲突。施工阶段需严格遵循“先防护、后施工”顺序,例如大坝基础开挖前,先修建周边排水沟与沉沙池,防止施工废水携带泥沙污染水体;道路施工时,同步完成边坡临时覆盖与挡土墙砌筑,避免裸露土壤遭遇降雨冲刷。同时,水土保持工程需与主体工程进度衔接,如在主体工程封顶前,完成库区周边植被恢复,确保工程竣工后生态防护体系同步发挥作用。

2.2 关键技术措施

(1) 工程措施需针对不同水土流失场景精准设计:挡土墙多用于挖填方边坡、料场边坡等易坍塌区域,设计时需根据边坡高度、土壤类型计算抗滑稳定性,采用浆砌石或混凝土结构,高度通常控制在2-5米,顶部设置截水沟拦截坡面径流;排水沟需与地形坡度适配,纵坡不小于0.5%,断面尺寸根据暴雨强度计算确定,确保雨水快速排出,避免在坡面形成积水;沉沙池一般布置在排水沟末端或料场出口,采用矩形或梯形结构,设计停留时间不小于30分钟,通过重力沉降去除径流中80%以上的泥沙,防止泥沙进入下游水体。(2) 植物措施的核心是构建稳定的植被群落:适生植物筛选需兼顾抗逆性与生态功能,优先选择本土物种,如在亚热带地区可选用狗牙根、紫穗槐等耐旱耐贫瘠植物,在寒冷地区则选择沙棘、樟子松等耐寒物种,避免外来物种入侵。边坡绿化技术需根据边坡坡度选择合适方式,缓坡(坡度 $< 25^\circ$)可采用喷播绿化,将草籽、有机肥、保水剂等混合喷覆于坡面;陡坡(坡度 $25^\circ-45^\circ$)需结合网格防护,铺设植草砖或喷播灌木种子,增强植被固土能力;急坡(坡度 $> 45^\circ$)则需先采用工程措施稳定边坡,再点缀攀爬类植物,如爬山虎、紫藤等^[2]。(3) 临时防护措施需覆盖施工全周期:表土剥离应在施工前开展,选择土壤肥沃、有机质含量高的表层土(厚度通常为30-50厘米),集中堆放于临时存土场,同时搭建挡土埂与覆盖膜,防止表土流失与扬尘污染,剥离的表土后期可用于植被种植与土地复垦。施工期临时覆盖需针对不同区域采取差异化措施,裸露施工面可铺设防尘网或无纺布,雨季需增设防雨布;临时堆料场需设置围挡与排水系统,堆料高度不超过2米,且需定期洒水降尘;施工便道两侧需开挖临时排水沟,路面采用碎石铺设或喷洒抑尘剂,减少车辆行驶产生的扬尘与土壤侵蚀。

2.3 监测与评估体系

(1) 水土流失动态监测方法需结合传统与现代技

术:无人机遥感监测适用于大范围区域,通过定期(每月1-2次)拍摄获取施工区植被覆盖度、地表扰动面积等数据,利用GIS技术分析水土流失分布规律,精准识别高风险区域;径流小区观测多用于典型区域(如边坡、料场),设置标准小区(长20米、宽5米、坡度 $5^\circ-15^\circ$),安装径流收集装置与雨量计,实时记录每次降雨的径流量与泥沙含量,计算土壤侵蚀模数;此外,还可布设土壤含水量传感器、沉降观测点等,监测边坡稳定性与土壤水分变化,为防护措施调整提供数据支撑。(2) 防治效果量化评价指标需涵盖生态与工程维度:生态指标包括植被覆盖度(目标值不低于80%)、物种丰富度(较施工前提升10%-15%)、土壤有机质含量(恢复至原状土的90%以上),反映生态修复成效;工程指标包括水土流失量(较无防护措施减少70%以上)、边坡稳定性(安全系数不小于1.25)、排水系统效率(暴雨后2小时内排除坡面积水),评估工程措施的防护能力;同时,还需考虑社会效益指标,如周边居民满意度、土地复垦率(不低于95%),全面衡量水土保持工作对区域生态与社会的综合影响。监测数据需每季度汇总分析,形成评估报告,若指标未达标,需及时优化防护措施,如增补植被种植、加固挡土墙等,确保水土保持效果持续稳定。

3 水电站建设中的生态恢复设计策略与实施方案

3.1 陆生生态系统恢复

(1) 植被重建技术(草本-灌木-乔木立体配置)需构建多层次、高稳定性的植被群落。优先选用本土物种,按照“草本固土、灌木护坡、乔木涵养”的思路搭配:底层选择根系发达的草本植物,如白三叶草、高羊茅,播种量控制在 $20-30\text{g}/\text{m}^2$,快速覆盖裸露地表,减少初期水土流失;中层配置耐旱耐贫瘠的灌木,如柠条、胡枝子,株行距设为 $1\text{m}\times 1.5\text{m}$,形成防护屏障,同时为小型动物提供栖息空间;上层种植乡土乔木,如杨树、柏树(北方)或香樟、杉木(南方),株行距 $2\text{m}\times 3\text{m}$,打造乔灌草结合的立体植被结构。施工时需先平整土地,采用穴播或移栽方式,避开雨季施工,确保植被成活率不低于85%,后期定期浇水养护,第3年实现植被覆盖率达90%以上。(2) 动物通道设计与生物多样性保护需兼顾动物迁徙习性与工程安全。针对中小型哺乳动物,在施工便道下方修建宽2-3m、高2.5m的混凝土箱型通道,通道内铺设落叶、碎石模拟自然环境,两侧种植灌木形成遮蔽;为鸟类设计生态栈桥,设置于库区周边树林密集区域,栈桥宽1.5m,长度根据迁徙路径确定,表面种植藤蔓植物,供鸟类停歇;对于大型动物,若项目位于生态敏感区,需规划宽10-15m的生态廊道,保留原生植

被,避免人为干扰。同时,在恢复区域设置生物多样性监测点,安装红外相机,定期监测动物活动情况,禁止非法捕猎,逐步恢复区域生物链^[3]。

3.2 水生生态系统修复

(1)人工鱼巢建设与鱼类增殖放流需为鱼类提供繁殖与栖息场所。人工鱼巢选用天然材料,如棕榈片、竹枝,捆绑成直径0.5m的束状,固定在水深2-5m、水流较缓的库区浅滩或下游河道,每100m²布置15-20个,每年3-4月鱼类繁殖期前投放,定期清理附着的杂物,确保鱼巢有效使用率达90%。增殖放流选择适应本地水文条件的鱼类,如鲫鱼、鲤鱼(杂食性)或中华鲟、裂腹鱼(珍稀保护物种,需取得相关许可),放流规格为体长5-10cm的幼鱼,密度控制在50-100尾/m²,每年放流1-2次。放流前需进行检疫,避免带入病原体,放流后通过水下摄像头监测鱼类存活与生长情况,第2年评估种群数量增长幅度。(2)河流连通性恢复(如过鱼设施、生态流量释放)需打破水利工程对河流生态的阻隔。过鱼设施根据鱼类洄游习性设计,中小型河流可建设鱼道,采用阶梯式结构,每级台阶高度0.3-0.5m,宽度2-3m,槽内铺设鹅卵石,水流速度控制在0.5-1m/s,满足鱼类逆流洄游需求;大型水库可搭配升鱼机,提升能力设为500-1000kg/h,运行时间与鱼类洄游季节同步。生态流量释放需保障下游河道基本生态需求,根据流域水资源情况,确定最小生态流量不低于多年平均流量的10%-20%,通过水电站闸门调控,采用脉冲式下泄方式,模拟自然洪水过程,每月监测下游河道水位、流速,确保河道不出现断流,维持水生生物生存环境^[4]。

3.3 景观与游憩功能融合

(1)库区消落带生态景观设计需解决水位涨落导致的植被退化问题。采用“分区治理”策略,高程变动区(水位涨落1-3m)种植耐淹植物,如芦苇、香蒲,采用盆栽式种植,便于水位变化时调整位置;稳定区(水位变动小于1m)种植半耐淹灌木,如垂柳、水杉,搭配水

生花卉(如睡莲、鸢尾),打造滨水景观带;在消落带边缘设置生态缓冲带,种植乔木与灌木,减少陆域污染物进入水体。同时,修建木质观景栈道,栈道高出最高水位0.5m,采用防腐木材,宽度1.2m,沿线设置休息平台与解说牌,既满足游憩需求,又避免破坏生态环境。

(2)生态教育功能区划(如湿地公园、科普步道)需实现生态保护与科普教育结合。在库区下游适宜区域建设湿地公园,规划面积5-10公顷,划分湿地保育区、科普展示区、休闲体验区:保育区禁止游客进入,重点保护湿地生态系统;科普展示区设置生态展馆,通过模型、视频讲解水电站生态保护技术,室外布置鱼类、鸟类标本展示牌;休闲体验区修建长3-5km的科普步道,采用透水砖铺设,沿线设置20-30个科普标识牌,介绍植物种类、水文知识等,步道每隔1km设置休息驿站,配备环保垃圾桶。定期组织中小学研学活动、生态保护讲座,每年接待游客不超过5万人次,避免过度旅游对生态造成压力。

结束语

水电站建设中的水土保持与生态恢复设计是实现工程可持续发展的重要保障。通过科学分析建设影响,落实预防与治理结合的设计原则,采取工程、植物及临时防护等多元措施,并系统推进陆生、水生生态系统修复及景观功能融合,能有效控制水土流失、恢复生物多样性。未来需持续优化监测评估体系,强化全生命周期管理,为水电工程与生态协调发展提供可复制的实践范式。

参考文献

- [1]刘金蕊.水利工程施工中水土流失的影响及防治策略[J].水上安全,2024,(14):166-168.
- [2]刘嘉庚.水利工程建设中水土保持生态修复技术的实践[J].大众标准化,2025,(08):71-73.
- [3]张扬.水土保持技术在水利工程建设中的运用探讨[J].农业科技创新,2025,(10):75-77.
- [4]王潇潇,王然.水利工程建设中水土保持生态修复技术的应用研究[J].水上安全,2024,(10):91-93.