

植被护坡技术在水利工程堤坝堤坡防护中的实践

文 / 杨波 宁夏固原市原州区水务局

摘要:在国家现代化建设过程中,各种基础设施也开始朝着现代化的方向发展。水利工程作为国家基础工程项目,在技术不断更新的支持下,堤坝堤坡防护体系逐步从传统硬质防护向生态化防护转型。植被护坡技术凭借其成本可控、生态兼容性强及长期防护效果稳定的特点,成为水利工程堤坡防护的重要选择。为实现堤坝工程防洪安全与生态环境协同发展的目标,解决传统防护方式易引发的堤坡水土流失、生态系统破坏等问题,本文将重点探讨植被护坡技术在水利工程堤坝堤坡防护中的应用原理、适宜植被品种筛选标准及施工关键技术要点,分析不同水文条件下植被护坡体系的稳定性调控措施,为提升堤坝工程的综合防护效能与生态价值提供实践参考。

关键词: 植被护坡技术; 水利工程; 堤坝堤坡防护; 生态防护; 稳定性调控

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.069

引言

国民经济的发展与国家基础设施建设水平有着直接的关联,水利工程项目的不断扩建,对于平衡水资源供需现状、保护河道生态环境以及保障区域防洪安全具有不可替代的作用。堤坝作为水利工程的核心构筑物,其堤坡结构的稳定性直接决定工程整体安全性能,而长期受水流冲刷、雨水侵蚀及土壤重力作用影响,堤坡易出现冲刷沟、坍塌等病害,威胁工程运行安全。传统堤坡防护多采用混凝土、浆砌石等硬质材料,虽能短期抵御外力破坏,但易割裂水陆生态联系,导致堤坡周边生物多样性降低,且后期维护成本较高。在此背景下,植被护坡技术通过构建植物-土壤-根系复合防护体系,既能借助植物根系固持土壤、削弱水流冲刷力,又能恢复堤坡生态功能,符合水利工程生态化建设的发展需求,因此对该技术在堤坝堤坡防护中的实践应用展开研究具有重要现实意义。

一、植被护坡技术的主要功能

植被护坡技术是一项多学科交叉融合的综合防护技术,涉及工程力学、生物学、土壤学、肥料学、园艺学、环境生态学等学科,分析其防护原理时还需综合考虑区域气候条件、水文特征、土壤理化性质及植被生长特性。不同学科从各自维度为技术应用提供理论支撑,工程力学用于计算植被根系对土壤抗剪强度的提升效应,生物学指导植被品种的适生性选择,土壤学与肥料学保障土壤肥力及结构适宜植物生长,环境生态学则确保护坡体系与周边生态系统的协调性。

根据土质学、植物生理学、生态学与土力学的有关原理,土壤与植被在它们形成和演化的过程中形成了一个相对完整的复合系统,该系统通过植被、土壤、根系三者的协同作用实现堤坡防护功能。植被地上部分可削弱雨水溅蚀力,减缓地表径流速度,减少水流对堤坡表层土壤的冲刷,地下根系则能深入土壤内部,通过机械缠绕与化学黏结作用增强土壤颗粒间的联结力,提升土壤抗剪强度,抑制土壤崩解与滑坡。同时,根系分泌的

有机物质可改善土壤结构,增加土壤孔隙度,提升土壤保水保肥能力,为植被持续生长提供保障,而植被的光合作用与蒸腾作用又能调节土壤湿度,进一步巩固土壤稳定性,形成“植被生长-土壤改良-防护增强”的良性循环,实现堤坡长期稳定防护与生态功能恢复的双重目标。

(一) 防洪抗旱

随着应用措施的不断成熟以及技术的不断更新进步,生态护坡在水文调节方面的效能得到进一步提升。生态护坡体系中的植物群落与土壤结构形成协同作用,可有效优化河道水文过程。通过完善的河道生态护坡工程的构建,能够帮助进行防洪以及抗旱。在生态护坡技术下,河道的水流能够被科学的调整,汛期时,植物茎叶可减缓地表径流速度,削弱洪水冲击力,土壤孔隙与植物根系形成的渗透通道能增强雨水下渗能力,减少地表积水对堤岸的压力,枯水期时,存储于土壤中的水分可通过植物蒸腾与土壤蒸发补充河道水量,维持河道基本径流,缓解干旱对周边生态系统的影响,保障河道水资源供需平衡。

(二) 保护河道生态环境

在水利工程建设过程中,工程人员通过建造河道生态护坡工程,其中的主要目的之一在于维护河道周围生态系统的完整性与稳定性。传统硬质护坡易阻断水陆物质交换与生物迁徙通道,导致河道生态功能退化,而生态护坡则通过模拟自然河道岸坡形态,为水生与陆生生物提供适宜的栖息环境。在构建生态护坡工程时,工程人员会考虑到对自然规律的深刻遵循,选用本土耐水、抗逆性强的植物品种,避免外来物种入侵对本地生态系统造成破坏,同时保留岸坡土壤的自然结构,维持土壤微生物群落活性,促进有机质分解与养分循环,改善河道水体质量,实现河道生态系统的自我修复与可持续发展。

(三) 提升景观价值

河道生态护坡技术本身也是一项景观工程,通过在

河道周围布设生态护坡,则能够提升水利工程的整体景观价值。在构建河道生态护坡时,工程人员会结合河道周边地形地貌与区域文化特色,对植物品种进行合理搭配,选择花色、叶形各异的植物构建层次丰富的植被景观,形成季相变化明显的生态景观带。生态护坡的自然形态与周边绿地、步道等设施有机融合,打破传统硬质护坡的单调视觉效果,营造出自然和谐的滨水空间。这种景观不仅能满足居民休闲观赏需求,还能提升区域整体环境品质,增强居民对水利工程的认同感,推动水利工程与城市景观、乡村风貌的协同发展^[1]。

二、植被护坡技术在水利工程堤坝堤坡防护中的实践应用

(一) 客土喷播护坡技术

所谓客土喷播技术,就是指将植物生长的基础——土壤与有机基材、粘结剂、保水剂、肥料、酸碱调节剂和种子等按一定比例混合,经过机械充分搅拌形成均匀地喷播基材混合物,再通过高压喷播设备将混合物喷射至堤坝堤坡表面,形成厚度均匀、结构稳定的种植层,为植物种子萌发与生长提供适宜环境。喷播前需对堤坡表面进行预处理,清除坡体表面的碎石、杂草及松动土层,对坡度大于1:1.5的坡体需先铺设三维植被网或土工格栅,以增强基材与坡体的附着力,防止后期基材滑落。



图1 客土喷播护坡技术

客土喷播技术适用于边坡坡率较缓的全风化及强风化边坡、植物根系容易插入的石质边坡,客土喷播防护边坡主要靠植物的根系来实现,因此需严格控制基材配比与喷播参数。基材中土壤占比需达到50%~60%,有机基材(如腐殖土、泥炭土)占比20%~30%,黏结剂(如木质素、羧甲基纤维素钠)添加量为基材总质量的0.3%~0.5%,保水剂(如聚丙烯酰胺类)添加量为0.1%~0.2%,氮磷钾复合肥(N:P2O5:K2O=15:15:15)施用量为20~30g/m²,酸碱调节剂需将基材pH值调节至6.5~7.5的适宜范围。种子选择需以本土耐水、抗

逆性强的草本与灌木为主,混合播种量控制在20~35g/m²,其中草本种子占比60%~70%,灌木种子占比30%~40%。

喷播作业时,需控制喷射压力在0.3~0.5MPa,喷播厚度根据坡体类型确定,全风化边坡喷播厚度为8~12cm,强风化石质边坡喷播厚度为10~15cm,喷播过程中需保持喷头与坡体表面垂直,移动速度均匀,确保基材层连续无空隙。喷播完成后需立即覆盖无纺布进行保湿保温,无纺布采用U型钉固定,间距50~80cm,后期需定期洒水养护,保持基材层含水率在20%~30%,直至植物出苗率达到80%以上后拆除无纺布,同时定期监测坡体稳定性与植物生长状况,及时补播缺失区域,保障植被群落持续发育,形成稳定的防护体系^[2]。

(二) 喷混植生护坡技术

喷混植生护坡技术是指利用液态播种原理,将生命力强且能满足各种绿化功能的植物种子经科学处理后,与有机基材、粘结剂、保水剂、缓释肥、pH调节剂及水按特定比例混合,制备成均匀的液态喷混植生混合液。种子处理需先进行浸种催芽,将种子放入30~35℃温水中浸泡8~12小时,捞出后置于25~28℃环境中催芽,待种子露白率达60%以上时即可使用,以提升种子萌发率。

通过搅拌器将混合液搅拌至全悬浮状态后,利用离心泵把混合液导入消防软管,经喷枪喷播在欲建边坡裸地形成均匀覆盖层保护下的植生层,该植生层兼具防护与育苗功能。喷播前需对堤坡进行预处理,对坡体表面的凸起岩石进行凿平处理,对凹陷区域采用水泥砂浆填补,使坡体表面平整度误差控制在±5cm内;对坡率大于1:1.2的陡边坡,需先铺设镀锌铁丝网,铁丝网采用直径6~8mm的钢筋固定,钢筋间距1.5m×1.5m,深入坡体内部不少于50cm,确保铁丝网与坡体紧密贴合。

混合液配比需严格控制,其中水占比60%~70%,有机基材(如腐熟秸秆、椰糠)占比15%~20%,粘结剂(如聚乙烯醇)添加量为混合液总质量的0.4%~0.6%,保水剂添加量0.2%~0.3%,缓释肥(氮磷钾有效含量≥40%)施用量30~40g/m²,pH调节剂需将混合液pH值稳定在6.0~7.8。喷播作业时,离心泵工作压力需保持在0.4~0.6MPa,喷枪与坡体表面保持30~45°夹角,喷射距离控制在1.5~2.0m,喷播厚度统一为5~8cm,确保植生层无漏喷、无堆积。喷播后需覆盖遮阳网,遮阳网透光率控制在50%~60%,采用竹签固定,间距60~80cm。后期每日洒水1~2次,保持植生层含水率在18%~25%,待幼苗高度达5~8cm时拆除遮阳网,定期监测植被覆盖率,当覆盖率低于70%时及时进行补喷,保障堤坡防护效果持续稳定^[3]。

技术环节	具体项目	参数要求
种子处理	浸种水温 / 时间	30-35℃ / 8-12h; 催芽温度 25-28℃, 露白率 ≥ 60%
坡体预处理	平整度误差	±5cm (凸凿平、凹补砂浆); 坡率 > 1:1.2 铺铁丝网
	铁丝网固定	钢筋直径 6-8mm, 间距 1.5m×1.5m, 入坡 ≥ 50cm
混合液配比	水 / 有机基材	60%-70%/15%-20%; 粘结剂 0.4%-0.6%, 保水剂 0.2%-0.3%
	其他	缓释肥 30-40g/m ² (氮磷钾 ≥ 40%), pH6.0-7.8
喷播作业	压力 / 夹角 / 距离	0.4-0.6MPa/30-45° / 1.5-2.0m; 喷厚 5-8cm (无漏喷堆积)
养护管理	遮阳网	透光率 50%-60%, 竹签固定间距 60-80cm
	水肥	日洒水 1-2 次, 含水率 18%-25%; 苗高 5-8cm 拆网
	监测	植被覆盖率 < 70% 时补喷

图 1 喷混植生护坡技术核心参数

(三) 厚层基材植被护坡技术

厚层基材植被护坡技术是指使用经改进的混凝土喷射机将拌和均匀的厚层基材与植被种子的混合物按照设计厚度均匀喷射到需防护的工程坡面的绿色防护技术, 该技术通过构建厚度远超常规喷播的基材层, 为植物生长提供充足养分与稳定环境, 同时增强坡体抗冲刷能力。厚层基材需提前进行配比设计, 其中改良土(砂壤土与腐殖土按 7:3 混合)占比 65%-75%, 有机改良剂(如腐熟木屑、泥炭)占比 15%-20%, 水泥(强度等级 32.5R)添加量为基材总质量的 3%-5%, 保水剂(丙烯酸盐类)添加量 0.2%-0.3%, 氮磷钾复合肥(N:P205:K20=16:10:14)施用量 40-50g/m², 种子选用本土耐旱、耐贫瘠的草本与灌木混播组合, 播种量控制在 30-40g/m², 草本与灌木种子比例为 7:3^[4]。

厚层基材植被防护功能通过锚杆、复合材料网、植物根系的力学加固和基材层的物理防护共同实现, 因此需严格执行坡面预处理与结构固定流程。喷播前需清理坡体表面松散岩块与杂物, 对坡面裂缝采用水泥砂浆填充, 裂缝宽度大于 5cm 时需植入直径 10-12mm 的钢筋网片补强; 锚杆选用直径 16-20mm 的螺纹钢, 长度根据坡体岩性确定, 中风化岩坡锚杆长度 1.2-1.5m, 全风化土坡锚杆长度 1.8-2.2m, 锚杆间距 1.5m×1.5m, 钻孔深度比锚杆长度深 10-15cm, 植入后采用水泥砂浆锚固, 锚固强度需达到 3MPa 以上。复合材料网选用聚酯纤维土工网, 网孔尺寸 5cm×5cm, 铺设时需与坡面紧密贴合, 边缘搭接宽度不小于 10cm, 通过锚杆固定点压实固定^[5]。

该技术适用于年平均降雨量大于 600 mm, 连续干旱时间小于 50 d 的非高寒地区, 喷播作业时混凝土喷射机工作压力需控制在 0.6-0.8MPa, 喷射速度保持 2-3m³/h, 喷播厚度根据坡率设定, 坡率 1:1.0-1:1.5 时厚度为 15-20cm, 坡率 1:1.5-1:2.0 时厚度为 10-15cm, 喷播过程中需分两次喷射, 首次喷射厚度达设计值的 60%, 待基材初步凝结(约 2-4 小时)后进行二次喷射, 确保基

材层密实无空隙。喷播完成后立即覆盖无纺布, 采用 U 型钉固定, 间距 50-70cm, 后期每日洒水 1 次, 保持基材层含水率在 22%-30%, 待植物出苗率达 85% 以上拆除无纺布, 定期检测基材层完整性与植被生长状况, 当基材出现开裂长度大于 30cm 时, 需及时灌注水泥浆(灰水比 1:1.5)修补, 保障堤坡长期防护稳定性。

结语

综上所述, 植被护坡技术作为水利工程堤坝堤坡防护领域的生态化技术代表, 既突破传统硬质防护的生态局限, 又通过多学科技术融合实现堤坡稳定性与生态功能的协同提升。其在实践中依托不同技术类型的精准应用, 结合区域水文、土壤与气候特征优化参数设计, 构建起“防护-生态-景观”一体化的堤坡防护体系。未来需进一步深化植被品种选育与基材配比的适配性研究, 推动技术向低成本、高耐久性方向发展, 为水利工程生态化建设提供更坚实的技术支撑, 助力实现堤坝安全与生态保护的长期共赢。

参考文献

[1] 邓先娇. 水利工程中小流域治理中的水土保持技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (21): 204-206.

[2] 冉丽娟. 基于湿喷植被混凝土生态护坡技术的边坡防护施工研究[J]. 水利科技与经济, 2025, (05): 111-116.

[3] 崔凯. 水利工程中的河道生态护坡施工关键技术研究[J]. 水上安全, 2025, (06): 106-108.

[4] 刘志扬. CBS 植被混凝土护坡技术在泰宁县里家源水库大坝边坡支护中的应用[J]. 珠江水运, 2024, (24): 69-71.

[5] 银丽彩. 河道生态护坡施工技术要点及其在水利工程中的应用研究[J]. 水上安全, 2024, (24): 25-27.

作者简介: 杨波(1979年-), 男, 汉, 宁夏固原, 本科, 研究方向: 水利工程。