

水利工程生态护坡施工技术及其质量控制研究

瞿婧奕

杭州市南排工程建设管理服务中心（杭州市水利科普馆） 浙江 杭州 311222

【摘要】：水利工程传统护坡模式存在结构安全隐患与生态破坏问题，生态护坡应用过程中普遍存在技术选型、现场管控、进度协同、多方配合、环境干扰等多重管控难点。围绕边坡防护施工技术优化与全流程质量控制搭建完整管控体系，统一标准化施工工艺，建立多方协同与进度质量平衡机制，配套复杂环境专项防控措施。整套管控方案可提升边坡整体稳定性，简化现场作业流程，降低工程综合投入，修复滨水水域生态，支撑水利工程绿色长效运行。

【关键词】：水利工程；生态护坡；施工技术；质量控制；边坡防护

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.011

引言

水利行业绿色发展理念持续推进，传统硬质护坡难以兼顾堤防防洪安全与水域生态保护双重需求，各类生态护坡工艺逐步普及落地。现场施工阶段受场地地质、水文气候、多主体管理等因素制约，技术适配、工艺标准化、进度质量平衡等管控短板持续凸显。依托勘察、施工、养护全流程管控思路，梳理生态护坡现存管控痛点，针对性优化施工技术路径与全过程质量管控举措，形成适配各类水利边坡的标准化管理模式，为水利工程生态化建设提供实操层面的技术管理支撑。

1 水利工程生态护坡施工技术及其质量控制的重要意义

1.1 保障水利边坡结构安全稳定

生态护坡依靠加固构造与植被根系形成双重固土体系，有效提升边坡抗滑移、抗冲刷能力。传统硬质护坡密封性强，水位升降形成渗透压差易引发边坡滑塌，生态混凝土、三维植被网搭配石笼齿墙可疏导坡面积水，规避水压带来的失稳隐患。全流程标准化管控统一坡比、锚固、框架梁等关键构造施工标准，使边坡稳定性持续满足行业规范，抵御汛期冲刷、水位骤降、冻融等多种外力作用，维持河堤与库区边坡完整，减少坍塌、水土流失等安全隐患，为水利设施长期稳定运行提供坚实结构保障。

1.2 提升水利工程生态防护施工效能

成套施工方案结合全过程质量管控理顺勘察、基面修整、混凝土浇筑、植被铺设、后期养护全流程，精简交叉冗余工序，统一现场操作规范。地质雷达可提前识别坡面地质隐患，减少后期返工，统一网体搭接、种植土调配、浇筑坡度等工艺标准，简化技术交底，缩小人工操作偏差。标准化管理统筹机械开挖、构件铺设、植被栽植同步作业，省去传统护坡反复修整、面层修补工序，缩短整体工期，统一材料调配与固定施工标准，降低人为施工缺陷，全面提高生态护坡施工效率与现场规范化水平。

1.3 降低水利项目运维与建设综合成本

建设阶段，生态护坡以乡土草本、灌木替代大面积普通混凝土，减少水泥砂石等主材用量，降低前期材料与施工造价。标准化质量管控从源头规范基面处理、混凝土配比、网体锚固等工序，减少面层开裂、坡面冲刷、植被大面积死亡等返修开支^[1]。运维阶段，成型植被层自主固土，无需频繁修补混凝土破损；多孔结构自带排水能力，减少排水设施维护。稳定草灌乔植被群落可自然更替，仅需季节性简易养护，大幅减少人工管护、病害治理、边坡加固等长期支出，实现水利工程全周期成本合理管控。

1.4 修复保护水域生态自然环境

传统硬质护坡阻断水土交换，破坏水陆交界生物栖息环境，加剧区域生物多样性衰减。生态护坡依托多孔混凝土、石笼缝隙与植被根系搭建水陆连通通道，保障水土养分、水分正常交换，为微生物、小型动植物提供生存空间。标准化施工管控规范种植土理化指标，选用适配本地气候的耐旱植被构建稳定群落，植被根系拦截泥沙，降低河道淤积与水体富营养化风险。坡面植被调节滨水微气候、净化径流污染物，逐步修复受损滨水生态带，重建水域周边完整、良性的自然生态循环。

1.5 助力水利工程可持续发展建设

水利可持续发展需要兼顾防洪、水资源调配与生态保护多重目标，生态护坡配套完整质量管控体系，改变传统水利工程偏重防洪、忽视生态的建设思路，同步实现边坡防护与生态修复。标准化施工工艺兼顾堤防抗冲安全与植被重建需求，在符合防洪规范的前提下长期维持滨水生态稳定，规避水利建设造成的永久性生态损伤。可复制的成套管控模式适配城市河道、山地水库等各类水利工程，推动水利建设向生态友好型设施转型，贴合水资源节约、生态长效保护行业发展方向，助推水利行业绿色化长效发展。

2 水利工程生态护坡施工技术及其质量控制难点研究

2.1 生态护坡技术选型适配性把控困难

生态混凝土、三维植被网、石笼护砌等护坡工艺适用坡度、

冲刷强度、土质条件各有差异,选型阶段易出现方案匹配失衡。现场多依靠过往经验确定防护形式,未运用地质雷达、土壤采样完成前期地质水文综合研判,无法精准掌握土体渗透性、土壤酸碱度与水位变化特征^[2]。高冲刷岸坡选用缓坡专用网材、黏性坡面搭配高孔隙混凝土等错配情况,会降低边坡抗滑性能,阻碍植被正常生长。不同护坡工艺对应的坡比、锚固深度、材料配比标准存在区别,选型失误后难以依靠后期施工弥补结构与生态双重缺陷,增加全流程质量管控压力。

2.2 现场施工工艺标准化管控不足

生态护坡涵盖基面处理、构件铺设、混凝土浇筑、植被栽植、养护多道工序,细分管控参数繁杂,现场标准化管控容易缺失。基面修整易出现平整度超标、凹陷回填压实不足,三维植被网存在搭接宽度、锚固深度不达标等违规操作。混凝土施工存在水灰比随意更改、面层厚度与伸缩缝设置不规范问题,植被种植缺少统一的种植土、覆土厚度、播种执行标准。现场未建立固定工序管控流程,作业人员凭经验施工,各班组参数执行不统一,工序交接缺少统一验收规范,微小缺陷不断累积,降低边坡整体稳定性能与植被成活率。

2.3 施工进度与质量管控协同难度大

水利工程受汛期时间约束,河道、库区护坡主体工程需赶在汛期前完工,工期压缩会压缩质量管控实施空间。为加快施工进度,基面精细修整、分层压实、混凝土养护等关键工序常被简化,混凝土未完成养护即覆土种草,网体锚固省略深度复核。坡度、孔隙率、植被基底等多层检测会占用工期,现场常减少抽检次数、放宽验收偏差。进度目标与质量验收标准天然存在矛盾,缺少双向平衡管控体系时,现场管理普遍侧重施工进度,弱化质量管控要求,为边坡长期运行埋下安全隐患。

2.4 多施工主体协同管控衔接不顺畅

生态护坡工程涉及勘察设计、土建施工、材料供应、植被养护多个参与主体,各主体管控目标、作业范围、验收标准存在明显区别,容易出现管理衔接断层。勘察单位提交的地质水文数据无法及时同步至施工班组,设计给出的坡比、齿墙尺寸等参数交底存在信息缺失;材料供应方提供的生态混凝土原料、三维网土工材料进场时,施工方缺少同步核验流程,材料性能不达标问题不能及时排查^[3]。土建施工完成坡面基础作业后,植被养护单位进场交接缺少标准化验收流程,基面平整度、种植土条件未完成联合确认便开展播种施工。各主体独立开展管控工作,缺少统一协调管理机制,工序交接存在责任空白,各类质量问题出现后难以快速划分整改责任。

2.5 水文与自然环境干扰施工质量管控

水利边坡施工区域紧邻水域,常年受水位涨落、降雨、温度变化等自然条件持续干扰,大幅增加全过程质量管控难度。施工期持续降雨会造成坡面土体软化,基面开挖后易出现局部塌陷,土壤含水率超标会改变生态混凝土水灰比,降低面层成型强度;高温交替环境会影响混凝土冻融耐久性能,植被播种后遇持续干旱会大幅降低出苗率。河道水位动态变化会改变坡面水施工工况,临时排水设施布设不到位会造成基坑积水,破坏垫层与齿墙基础结构。自然环境变化具备不可控特征,现场缺少针对性前置防控措施,质量检测标准无法随环境条件动态调整,各类环境扰动带来的施工缺陷难以提前规避,持续干扰整体质量管控成效。

3 水利工程生态护坡施工技术优化及质量控制研究

3.1 构建科学的生态护坡技术选型体系

搭建分层分级的技术选型研判流程,先采用地质雷达全域扫描搭配多点土壤取样完成坡面基础条件勘察,同步采集常年水位波动、坡面冲刷强度、土体酸碱度等基础指标,以此作为方案筛选核心依据。按照通用工程划分标准,坡度 1:1.5 以内高陡边坡优先搭配土工格栅增强层与生态混凝土组合结构,缓坡区域可选用三维植被网防护体系,水流冲击较强堤段配套深度 2.5m、宽度 1.5m 标准化防冲齿墙石笼基础^[4]。结合孔隙率不低于 25%、植被覆盖率 95% 以上通用技术指标划分方案适用边界,明确不同护坡形式对应的坡比、锚固深度、材料配比硬性标准,形成标准化选型对照表。杜绝仅凭施工经验确定防护方案的粗放模式,从源头规避结构与场地条件不匹配问题,降低后期坡面滑移、植被大面积死亡等质量隐患。

3.2 全面规范现场施工工艺管控流程

针对生态护坡全工序制定统一标准化操作细则,细化各环节通用量化控制指标,基面修整完成后平整度误差控制在 10mm 以内,三维植被网铺设相邻网片搭接宽度统一设置 10cm,坡顶坡脚锚固深度保持 30cm。生态混凝土施工严格执行 0.25 至 0.35 区间水灰比,面层厚度维持 50 至 100mm,沿坡面每间隔 10m 设置 15mm 宽伸缩缝,浇筑成型后坡面排水坡度控制在 3.5% 上下浮动 1.5%。石笼分层填石单层厚度不得超过 30cm,种植土调配固定 pH 值 7.0 至 8.0 区间,草本、灌木播种量分别执行 20 至 30g 每平方米、5 至 10g 每平方米通用标准。设置工序交接联合验收制度,每道工序完成后复核全部量化参数,未达标不得进入下一工序,压缩人工操作差异带来的施工缺陷。见表 1:

表 1 水利工程生态护坡核心施工质量管控参数基准表

管控维度	生态混凝土护坡	三维植被网护坡	石笼防冲齿墙基础	计量单位	数据来源
结构安全管控值	≥15	≥50	2.5	MPa; kN/m; m	SL/T794-2019《水利水电工程生态护坡技术规范》、GB50286-2013《堤防工程设计规范》

生态功能 管控值	≥25	≥95	≤30	%; %; cm	SL/T794-2019《水利水电工程生态护坡技术规范》、 SL734-2016《水利工程质量检测技术规范》
施工工艺 管控值	0.25~0.35	10	1.5	无量纲; cm; m	SL/T794-2019《水利水电工程生态护坡技术规范》、 水利部《水利工程施工质量验收统一标准》

3.3 建立进度与质量双向协同管控机制

结合水利工程汛期施工时间约束，拆分护坡整体施工任务为分段流水作业单元，同步划定各分项工序标准工期与质量检测节点，实现两项管理目标同步推进。依据各工序施工时长合理分配检测工作时间，将坡面坡度复核、混凝土强度检测、植被覆土厚度查验等质量检测工作穿插在机械开挖、构件铺设等并行作业间隙，避免集中验收占用大量施工工期。设定分级质量管控红线，针对齿墙浇筑、生态混凝土养护、网体锚固等关键工序设置强制静置与养护时长，不允许为追赶工期随意压缩工序周期。配套弹性工期调整方案，若现场出现进度滞后，优先优化人员机械调配方案，禁止简化基面修整、分层压实等核心工艺，在保障施工标准不降低的前提下平衡施工推进速度与工程整体质量。

3.4 强化各参建主体协同管控衔接工作

明确勘察、设计、土建施工、材料供应、植被养护各方固定对接权责，建立常态化信息同步传递渠道，勘察阶段获取的地质、土壤、水文全部勘察数据完成整理后第一时间同步至设计与施工单位，保证方案落地不存在信息偏差。材料进场环节落实多方联合核验机制，施工方与监理共同核对水泥强度等级、土工网抗拉性能、种植土有机质含量等材料指标，不合格材料直接清离现场^[5]。土建基础施工完成后，组织施工、养护、监理三方开展坡面基面联合交接验收，统一核查坡面平整度、排水构造、锚固埋设深度等基础条件，确认达标后方可移交植

被种植工序。划分各主体质量整改责任边界，形成闭环交接管理模式，消除工序衔接阶段的管理空白区域。

3.5 完善复杂环境施工质量防控措施

针对水域周边降雨、水位变动、高低温交替等干扰因素建立前置防控方案，施工前根据区域常年降水规律规划分段开挖作业，基坑作业同步布设集水池与连通排水边沟，及时排出坡面积水防止土体软化塌陷。高温低温施工时段调整生态混凝土浇筑时段，规避极端温度影响冻融耐久性能，低温施工阶段延长混凝土养护周期，高温干旱环境下配套标准化滴灌养护系统维持种植土湿度。水位变动频繁堤段提前完成防冲齿墙与石笼护砌基础施工，减少水位涨落对坡面基础的侵蚀破坏。同步建立环境动态监测台账，根据实时降雨、温度、水位数据灵活调整施工工序与养护方案，通过前置防控手段削弱自然环境对施工成型质量的不利影响。

4 结语

生态护坡成套施工工艺与全流程质量管控体系，可同步满足水利边坡结构稳定与水域生态修复双重需求。标准化选型、量化工序管控、多方协同管理、环境前置防控等手段，能够化解技术匹配、进度质量平衡、自然条件干扰等现场管控难题。各类量化施工参数与分层管控模式具备普适性，可应用于水库、河道各类水利边坡工程，推动水利防护工程向安全稳固、低碳生态方向长效发展。

参考文献:

[1] 钟祥.水利工程设计中的河道生态护坡技术[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(14)213-215.
[2] 贺爽,闫志强.生态护坡技术在水利工程中的设计、施工与全周期管理研究[J].河南水利与南水北调,2026,55(4)77-78.
[3] 王少华,刘卓.水利工程防洪堤生态护坡组合施工技术的研究[J].科技资讯,2026,24(8)160-162.