

Discussion on the Construction Path of Slope Protection and Ecological Compatibility of Ecological Drainage Channel

Yongming Chen¹ Yang Song¹ Dongmei Liu¹ Weibang Zhao¹ Quan Yu²

1. Water Science Research Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin, 130022, China

2. Jilin Emergency Rescue Team, Changchun, Jilin, 130022, China

Abstract

In the new era, drainage channels in irrigation districts and urban-rural drainage systems have evolved to maintain flood discharge functions while meeting increasingly stringent ecological and environmental protection requirements. This shift has transformed drainage channel slopes from purely engineering-based protection to an integrated engineering-ecological approach. Under these circumstances, eco-friendly drainage channels have emerged as a research hotspot, leveraging their ecological advantages. Drawing on literature review and engineering practices, this paper first elucidates the value of slope protection and ecological compatibility in eco-friendly drainage channels, then explores specific implementation pathways for slope protection and ecological compatibility, providing practical references.

Keywords

ecological drainage channel; slope protection; ecological compatibility; construction; value; path

生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建路径探讨

陈永明¹ 宋阳¹ 刘冬梅¹ 赵尉邦¹ 于权²

1. 吉林省水利科学研究院, 中国·吉林 长春 130022

2. 吉林省应急抢险救援队, 中国·吉林 长春 130022

摘要

进入新时期以来,排水渠道在灌区与城乡排水体系在维持排洪功能的同时,生态环保性要求也日益增强,这就使得排水渠道边坡从单一的工程防护向工程—生态一体化转变。正是在这一局面下生态型排水渠道应运而生,并凭借着生态环保性等诸多优点成为了当前建设的研究热点。基于此,文章通过查阅相关文献及工程实践背景下,首先就生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建价值进行阐述,随后聚焦于边坡防护与生态兼容性的具体构建路径,以供参考。

关键词

生态型排水渠道; 边坡防护; 生态兼容性; 构建; 价值; 路径

1 引言

排水渠道作为灌区水田与河流、湖泊之间的连接通道被广泛应用于农业生产与城乡水循环系统中。然而通过对相关工程与文献资料研究来看,受生态服务功能缺失等诸多因素影响,传统硬质排水渠道无法达到现阶段灌区和城乡水资源生态利用的要求。有鉴于此,下文将针对生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建展开探讨,以供参考。

【基金项目】基本科研经费—灌区生态型排水渠关键技术研究经费(项目编号: JLSKY-JBKYJF-2025-01)。

【作者简介】陈永明(1981-),男,中国江苏东台人,硕士,正高级工程师,从事水利科研工作。

2 生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建价值

第一,针对灌区农田退水携带的氮、磷及颗粒物问题,生态型渠道通过在边坡与底床设置功能性防护结构实现污染物的截留与转化。具体措施包括采用具有一定机械强度并兼具高孔隙率的结构单元作为边坡骨架,同时填充富含吸附位点与微生物附着空间的生态填料,以促进颗粒物截留、氮磷吸附与微生物硝化反硝化等生物化学过程,从而降低进入河道的营养盐负荷。其在维持渠道排水效率的前提下,可通过延长滞留时间与增设粗中细尺度截留构件,提高对溶解态与胶体态污染物的去除效率。第二,就边坡防护与生态功能兼容性而言,采用聚酯或高耐蚀金属网箱结合生态填料的组合体,可在满足力学稳定与防冲洗要求的同时保持透水性与生境连通性。网箱结构承担主要抗滑抗冲荷载并防止基体流失,生态填料则提供表面粗糙度与孔隙通道,有利于泥沙截

留与植被根系钻生；这种“骨架+生境”模式能在快速排除灌区涝水和降低地下水位的功能边界内，减少边坡硬化面积并保留或恢复地被植被带，进而增加表层渗透与水体横向净化能力。组合体内的多相介质还可促进微生物群落的定殖与前端有机物、无机态营养盐的转化，兼顾汇水、持水与水质净化等多重生态功能。

3 生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建路径

3.1 骨架材料与结构配置的工程性优化

在生态型排水渠道边坡的骨架材料与结构配置中，应以耐久性与现场可装配性为主导，具体包括四个技术要点。第一，骨架主材应采用经热浸或聚涂层处理的低碳高强钢丝或不锈钢编织网箱，配合就地块石或级配碎石填充，主材规格与涂层耐蚀等级须以50年耐久为设计目标，网箱节点采用机械拧接并辅以分段预张与锚固板连接，锚固深度与布置按抗拔试验与坡体承载核算确定以保证整体连锁性和裂隙抗拉承载力，网格开口常取50~150mm并在设计时校核泥沙通过性和抗冲载系数，锚固板常按0.8~1.5m间距布置。第二，网格与填料粒径及植被根系尺度应协同设计，采用分级筛选填料并设置渐变级配层，网格开口由根系允许直径与最小填料粒径共同约束，底层布设透水性粗粒滤层以阻止下滤并预留根系垂直生长通道，植被种类选择以根系粗细与侧根密度作为工程配对指标，渐变级配中的筛级应遵循 D_{max} 与 D_{min} 配伍原则，底层滤料推荐粒径范围20~60mm且厚度200~400mm。第三，结构布局采用错位互锁与段间能量耗散单元相结合的模块化布置，模块沿坡向设置沉积台阶与多级排流缝，模块连接处采用横向拉索与局部注浆加固并保留孔隙连通，基底接触面按渗流稳定原则设立排渗沟与透水垫层，透水层厚度与排渗孔径依据孔隙水压力计算优化，排流缝宽度可取2~8cm以便泄能。第四，施工与维护采用工厂化预制与现场模块化装配相结合的流程，单元化生产确保尺寸公差与接口标准化，并在安装后按设计间隔设置观测孔与排水口以便长期检查与局部单元置换，观测孔宜设在每20~40m单元处并配观测装置，就地取材石料须经级配与抗磨检验，填料表面必要时进行表面处理以提高摩擦系数并降低粒料迁移率。

3.2 生态填料体系的功能化组合与配置

在生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建中，生态填料体系应以多孔性与表面活性为设计主轴，针对原文四点展开细化。第一，颗粒组合实施上宜采用三维分级填层，自迎水面向坡体内侧依次布置粗砾层（粒径20~60mm，厚度0.20~0.30m）、中细砂层（粒径2~8mm，厚度0.30~0.50m）与微孔有机质层（粒径<2mm，厚度0.15~0.30m），微孔层宜混配经350~700℃热解生物炭与腐植改良剂以提升比表面积，层与层之间通过透水土工

布或孔隙化支撑骨架控制混析并便于分区更换。第二，粒级与孔隙结构设计需以现场降雨历时分析和渗流试验为依据，采用落水实验、柱状淋洗与原位回流试验确定孔隙连通率与有效孔径分布，目标孔隙率控制在30%~45%，透水系数 k 建议不低于 $1 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以保证排水同时满足滞留时间要求，沿槽每10m布置横向检修口与溢流带以防范极端暴雨下填料漂移。第三，为强化溶解态污染物去除，应在易富集段设置铁-碳类或活性矿物反应模块，模块内置粉碎火山岩、活性氧化铁与复合炭体并辅以周期性间歇厌氧水力条件以促进硝态氮反硝化与溶解态磷固相吸附，模块体积与布置密度按径流污染负荷分级确定，监测方案包括每季一次的水样化学需氧量与总磷/硝氮测定及暴雨后24小时内的补采。第四，填料长期演替与维护路径应明确填料衰变曲线与更换策略，建议对高负荷区实施3~5年更换或原位热激活再生，对常规区实施5~8年周期更换，施工期预留取样孔与目视检修窗以便粒径分布与堵塞率检测，并在边坡骨架处采用土工格栅锚固与植物基质相容设计以确保力学耦合与植物根系渗透共生。

3.3 植被配置与生境连通性的措施

生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建中植物配置既承担生物截留与固沙功能，又为水生与陆生生物提供栖息条件。第一，优先采用本地稳定种群的草本-灌木混播体系，选种以本底种源、根系深度与抗沉淀冲刷能力为主导，通过样带试验确定种群比例与株距，并按水位带划分耐涝、耐旱与耐盐碱群落以形成纵向植被梯度和功能冗余，设计中应明确种源采集时间、繁育批次及栽植季节以保证遗传适应性和成活一致性。第二，在纵向处理单元间布置阶梯式截留带与沉积缓冲带，将粗颗粒截留、沉砂与细颗粒吸附分区实施，植被带与沉砂设施的高程与坡比以历史水位变幅与径流能量谱校核后确定，并结合断面沉降效率、颗粒谱分布与植被阻力系数进行逐段计算以指导带状生物格室的尺度与间距。第三，沿坡面采用模块化生物基构件与植被护坡复合体，构件间以植被缝合并置入微地形与改良基层以提升根系固结和表层滞水能力，关键横剖面留设纵向微通道、浅滩和隐蔽栖息基位以保障小型水生动物的溯游与夜间避难，并在设计中校核汛期连通性与通行门槛以避免断连或滞阻。第四，植被施工贯穿成活率控制措施，包括基底耕整与土壤理化指标调节、苗木适应性驯化、分期灌根和按年际降雨量动态调整初期浇灌方案，以及首三年按群落动态实施定向补植、病虫害监测与植被置换，施工与养护记录应纳入生境完整性评估与缓冲带技术规范逐段检核以便于长期生态连通性评估与后期维护决策。

3.4 水力调控与截污模块化设置

生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建中水力管理是保证净化效率与边坡安全的关键。第一，在分段沉砂与逐级落差段应以重力沉降与能量耗散并行的方式确定单段

有效容积与泄流断面,依据粒径谱与来流历年暴雨回数核算滞留时间并采用阶梯式跌水结合止水坝与泄能石砌垫进行溢流耗能与泥沙截留,同时在段前布置可调节进水翼墙以控制剖面流速并在出水端设置可检修的沉砂沉积槽以便周期性机械抽泥。增加格栅自动清洗或手动清理的技术要求,并对沉积速率做历年核算以确定抽泥频次。第二,关键节点分流口与截留闸阀采用可调节孔口和多档止回组件构成的组合阀门,以实现常态分流、暴雨旁路与填料保护三种工况切换,阀门与分流沟应配置可逆流防冲板与检修桥,按设计洪峰流量与 Manning 糙率开展逐级启闭算例并在闸后设置缓冲沉降箱与溢流监测孔以便快速判定堵塞与磨损。阀体材料宜选用耐磨不锈钢或高分子衬里,并按周期进行非破坏性检测并记录启闭次数。第三,预处理单元以粗格栅-格网滤池-初沉池串联形式布置,粗格栅间距、格网孔径与初沉池进出口构型按最大粒径与泥砂负荷确定,初沉池设有可抽吸沉泥区与检泥口,且在高负荷期配置冲洗通道与旁通,滤料选用多孔高比表面积介质并辅以人工植被带作二次拦截,所有预处理构件应留置便于人工疏理的检查通道与溢流分流标高。所有构件须考虑防鼠害、易腐蚀件的耐久处理与便于更换的细节设计。第四,模块化设置应采用箱体化构件标准化接口与可更换填料篮构造,模块间采用机械连锁与柔性密封,模块尺寸依据运输与吊装限制优化,模块基础与锚固按边坡抗冲刷与冻融循环校核,维护采取轮换下线检修与现场更换策略,并制定总体检修周期与更换件清单以保证长期可操作性与构件来源可追溯。模块设置应包含标准化检验接口与安装说明以便现场施工与质量验收。

3.5 微地形与生物工程边坡一体化构建

在坡面力学与流态分布基础上,于坡脚与坡腰设置阶梯式微地形与沉滞带时,应先依据极端降雨设计频率和径流峰值开展一维/二维洪水数值模拟以确定阶梯高差、台阶深宽比及相邻阶梯间的能量耗散系数,并结合土体抗剪强度与原位试验结果核定锚固与骨架构件承载力。台阶与沉滞带宜采用分区施工,底层铺设粗颗粒排水层并通过锚杆或微桩与主坡体连接以防滑移,台阶面设置可调节溢流口以实现逐级泄能与溢流分割,并在施工前对试验段进行冲刷稳定性试验以校正设计参数。生物工程构件选配方面,优先采用可降解生态毯、植草席与生物格室的组合体系,材料应满足短期抗

冲击性能指标与中长期分解产物对根系不产生抑制的化学性要求,铺设采用“先固定后填土、先固化后播种”工序,构件下方保留连续孔隙以利根系穿透并通过人工插枝或穴植增强早期覆盖率,并结合现场成活率开展植被替代与补植。微地形沉滞带与生物构件之间应布置可渗透浅层过滤带与微型反应层,滤带采用由粗到细的三级颗粒配比并按径流负荷核定厚度与孔隙率,反应层填充含可利用有机碳的多孔介质并接种硝化一反硝化功能菌群,同时配置细粒矿物吸附层以提高可交换态磷截留,并制定定期反冲洗或逐段更换的维护方案以维持通水性与处理效率。通过纵横交错布置的植被格井与钩状沉砂舱等微规模生态阻滞单元可形成连续生境廊道,单元尺度与间距应依据目标物种迁徙能力与最不利流速条件优化,格井内采取分层填土与湿生植物组合以兼顾截泥与生境复杂性,沉砂舱采用可拆卸内衬便于清疏并在清理后恢复植被基质结构。以上措施在施工与验收阶段均需按试验段监测径流削峰、入渗系数、根系加固深度及颗粒滞留率等指标,并将监测结果反馈至微地形与构件的局部优化方案中。施工应结合地方规范与生态护岸技术指南实施。

4 结语

综上所述,作为以排除灌区与土地表面积水为首要功能且具备良好水质截留、流态缓释、生态补偿以及景观融合的复合型水工构筑物,生态型排水渠道备受瞩目。对此,上文基于工程实践与相关研究着手,对生态型排水渠道边坡防护与生态兼容性构建提出了五条从骨架材料到微地形与生物工程一体化的可操作路径,希望能够为行业中其他人员及项目建设提供一定参考。

参考文献

- [1] 龙雷.试论平原地区生态水利渠道的建设与管理[J].国际援助, 2022(3):70-72.
- [2] 邱淑青.浅谈渠道化农田水利工程对农业生态环境的影响[J].幸福生活指南, 2020.
- [3] 郑春阳,张晓辉,叶楠,等.入湖灌区排水渠道水质指标时空分布性分析[C]//中国水利学会2021学术年会论文集第二分册.2021.
- [4] 龚铭.灌排渠(沟)结合设计模式在灌区改造项目中的应用[J].江淮水利科技, 2025(2):52-55.
- [5] 刘媛媛.山区农田灌溉渠道防渗节水与生态保水分析[J].亚热带水土保持, 2021.