

# 基于生态防护的木桩护岸在农田水利工程中的应用分析

袁盛林<sup>1</sup> 杨素丽<sup>1</sup> 顾晶晶<sup>2</sup>

1.南通兴洋水利勘测设计有限公司 江苏 南通 226000

2.如东县水利电力建筑工程有限责任公司 江苏 南通 226400

**【摘要】**：木桩护岸作为农田水利工程生态化改造的重要技术，通过水文适应性改造、多要素耦合稳定性设计、长期维护机制及成本效益平衡策略，实现工程安全与生态功能的协同。研究从材料选择、结构优化、施工管理及效益评估等方面，系统阐述关键技术控制要点。研究提出采用本地防腐木材与复合结构提升耐久性，通过桩—板—土耦合增强抗冲刷能力，建立分级维护与数字化监测体系保障长期效能，并探索生态效益转化路径实现可持续发展。技术为农田水利生态化建设提供兼具经济性与生态性的解决方案。

**【关键词】**：木桩护岸；农田水利工程；生态防护；稳定性设计

DOI:10.12417/3083-5526.25.05.030

## 引言

传统农田水利护岸工程多采用硬质化结构，虽能有效抵御水流冲刷，但导致水生态系统割裂、生物多样性下降等问题。随着生态水利理念的推广，木桩护岸因其材料可再生、结构透水、生态亲和性强等优势，逐渐成为农田水利生态化改造的重要方向<sup>[1]</sup>。木桩护岸在复杂水文条件下的稳定性、长期耐久性<sup>[2]</sup>及成本效益平衡仍是制约广泛应用的关键问题。研究从水文适应性、结构稳定性、维护管理及经济性四个维度，系统分析木桩护岸的关键技术控制要点，为农田水利工程生态化设计提供理论支持与实践指导。

## 一、木桩护岸的生态防护机理

### （一）生物栖息环境营造机制

木桩护岸通过创造多维的三维空间，为水陆交错区的生物创造一个独特的生活环境<sup>[2]</sup>。桩体结构所构成的缝隙和孔洞，可以成为鱼产卵和依附的天然基质，还可以为底栖无脊椎动物的栖息和觅食提供一个隐蔽场所，这一半开放空间可以有效平衡生物的庇护和觅食需要。桩体表面的粗糙木质纹理为藻类提供一个理想的附着界面，构建一个以附生藻类为基础的初级生产力系统，为浮游生物和小型鱼类提供持续的食物来源。护岸坡面发育的缓坡结构和桩间空隙一起组成微生境网络，并在不同高程区域产生温差和湿度梯度，适应两栖类动物陆生—水生生活史过渡的需要。木桩材料本身的生物亲和性，相较于硬质护岸更易被水生生物接受，缓慢降解过程还能持续释放有机质，促进微生物群落发育，形成“植物—微生物—动物”协同共生的生态链。

### （二）水土流失阻控物理效应

木桩护岸以其特殊的物理结构，构成对水土流失行之有效的阻控体系。纵向打入土体中的桩群形成一道致密的立体屏障，桩间摩擦力和土体凝聚力的综合作用能显著增强岸坡抗剪强度并有效地抵抗水流剪切应力。桩体表面粗糙度产生的紊流

效应可以分散水流能量、减小近岸流速梯度、削弱水流挟沙能力。护岸整体式成型柔性结构能够适应地基微变形的要求，并利用桩体倾斜和土体的联合变形来分散应力集中现象，避免常规硬质护岸容易出现的局部塌陷问题。木桩与根系形成的复合加固层，渗透系数较原状土降低，既减少地表径流冲刷，又维持土壤孔隙连通性，实现“保水—固土”双重功能。

### （三）水体生态修复促进路径

木桩护岸以建构多维生态界面的方式提供多路径的水体生态修复推进机制。桩体粗糙的木质结构给微生物膜的粘附提供理想的载体，缓慢的降解过程不断释放出有机碳源并能激发硝化细菌和反硝化细菌功能微生物群落的大量繁殖，增强水体氮磷循环转化效率。桩间的空隙为沉水植物创造稳定的生长空间，植物的根系与木桩结合形成的复杂根系网络能够提高水中的溶解氧含量，并通过植物的吸收机制直接从水中去除氮、磷等营养成分<sup>[3]</sup>。护岸整体式透水结构能够保持水体和岸坡之间的物质交换并促进底泥—水界面处的物质循环，避免常规硬质护岸造成水体自净能力的恶化，最后构建一个由“微生物—植物—底泥”共同参与的生态恢复体系。

### （四）微气候调节功能实现

木桩护岸以其特殊的构造和生态特性构筑起一个高效的微气候调节系统。护岸植被和木桩构成的复合界面能够显著改变近岸热力学特征，在日间植被蒸腾作用和木桩遮阴效应联合作用使岸坡表面温度下降，比裸露岸坡降低3-5℃，降低地表热辐射增温作用；到晚上，木桩做为热导体，能慢慢地放出白天吸收来的热，产生一个温度缓冲带来减小昼夜温差波动。护岸整体式透水结构有利于水—气界面物质交换和水体溶解氧含量的提高，也有利于植被光合作用对二氧化碳的吸收和氧气的释放，达到改善近岸空气质量目的。木桩和植被组成的立体屏障能够降低近岸风速、减少水分蒸发、保持岸坡湿度均衡，为两栖动物和水生昆虫提供合适的温度和湿度微生境，微气候

调节机制最终呈现出“遮阴——滋润——增氧”的协同效应。

## 二、农田水利工程适配性设计

### (一) 材料耐久性优化方案

农田水利工程木桩护岸材料耐久性优化,需要综合考虑生态功能和工程寿命。根据农田水体 pH 值波动和微生物侵蚀的特性,可以选择耐腐蚀性较好的杉木和落叶松天然木材进行改良,也可以采用乙酰化和热处理等改性技术,来增强木材的防腐能力并将使用寿命提高到 15 年以上。受到强烈冲刷的区域,可以选择使用纤维增强的复合木桩。这种木桩以天然木材为基础,并结合玻璃纤维或碳纤维增强层,抗弯能力比传统木桩提高三倍以上,同时还能保持木材的生态亲和性。桩体表面涂覆生物基防腐涂层,既可阻隔水分渗透,又能为微生物附着提供营养界面,实现“保护——生态”双效协同。通过材料组合设计形成适应于不同水文地质条件下耐久性解决方案。

### (二) 结构抗冲刷增强技术

农田水利工程木桩护岸结构抗冲刷强化需要多维度技术整合。针对水流冲刷特性,可采用变截面桩体设计,上部桩径增大以增强抗剪能力,下部桩径缩小以减少入土阻力,形成“上刚下柔”的力学结构。桩群的布局选择梅花状的交错方式,与直线方式相比,这种布局可以增强抗冲刷稳定性,并利用桩之间的土体拱形效应来分散水流的能量。强冲刷区域可以结合仿生学原理在桩身表面加工出仿生凹槽结构,诱发水流产生稳定的漩涡并减小近桩流速峰值。对于河床冲刷严重部位,采用木桩与抛石基床复合结构,利用抛石消能作用减少水流对桩基的直接冲刷,形成“上护坡——下固床”的立体防护体系。

### (三) 施工工艺标准化体系

农田水利工程木桩护岸施工工艺标准化体系建设需要注重生态功能保障和工程质量控制。施工前进行系统勘察,查明土质类型、地下水位和水流特性等,并依此拟定桩体选型和布设方案,优先选择当地适生树种,减少生态风险。在打桩过程中使用静压或者振动沉桩工艺,来避免锤击作业造成桩体结构损伤,并在控制沉桩速率的前提下降低对周围土体的干扰。桩间连接为可降解麻绳绑扎或者榫卯连接,在保证初期稳定性的同时也避免传统金属连接件带来的生态污染。护岸坡面整理遵循“原状土的防护”原则,仅清除杂物而不破坏表层熟土,施工后及时进行植被恢复,选用当地优势草本与灌木品种形成自然群落。对整个施工过程进行质量追溯管理并对桩体埋深,垂直度和连接强度关键参数建立动态监测机制,保证施工质量满足生态水利工程的规范要求。

### (四) 生态-工程协同模式

农田水利工程木桩护岸生态-工程协同模式需要从功能耦合和时空协同两方面进行系统优化。工程的结构设计中,木桩护岸与生态沟渠、缓冲带等生态单元被串联起来,形成一个“截

流——缓冲——净化”的梯度防护系统,通过木桩来减少水流的能量,为后续的生态净化单元提供稳定的水文环境。生态功能上,通过桩体——植被——微生物协同作用,构建“物理拦截——植物吸收——微生物降解”的多级净化机制,使护岸兼具防冲刷与水质改善双重功能。时空维度方面,进行季节性的功能适配,洪水期以木桩结构抵抗冲刷,在非洪水期以桩间空隙补栽水生植物加强生态修复。管理层面上建立动态监测——反馈调节机制,依据水位波动和生物群落的变化及时调节木桩间距和植被配置等工程要素,保持生态——工程系统动态平衡。

## 三、关键技术控制要点

### (一) 水文条件适应性改造

水文条件适应性改造作为木桩护岸技术的核心先决条件,需要根据区域水动力特征准确设计。考虑到水流流速的不同,强冲刷区为变径桩体,采用桩身上部粗、下部细的过渡方式来降低近底流速掏蚀桩基;缓流区选择等径桩体,降低造价。对水位变幅较大的地区,利用阶梯式桩群设置,由不同埋深的桩体构成弹性防护界面,既能保证低水位下抗冲性能又能避免高水位下结构失效。对于泥沙含量较多的水域,桩与桩之间布置透水良好的生态格栅能让细颗粒泥沙穿过保持水域自净,还能截留粗颗粒物构成天然护坡。改造时注意保留原生水连通性,通过桩体开孔或者建立过水通道等措施,来保持水体和岸坡之间物质交换、避免常规硬质护岸造成水生态系统割裂等。

### (二) 多要素耦合稳定性保障

多要素耦合稳定性的保证需要在结构,材料和生态三个层面上协同努力。结构上采用桩——板——土复合体系并通过木桩和横向连接板刚性组合加强整体抗弯能力的同时,利用桩与土体之间的摩擦力产生被动土压力区,促进抗滑移稳定性。材料上,选择耐水腐木材和生物基黏结剂并采用纤维增强技术增强桩体的抗裂能力,避免木材各向异性造成局部损伤;生态层面上,深根型草本植物植于桩间,根系和木桩构成生物加固网络,通过植物蒸腾减少土体孔隙水的压力,还利用根系分泌物来促进微生物的矿化作用和提高土体胶结强度。三要素通过应力传递、能量耗散与生态固结的协同作用,形成“结构承力——材料抗损——生态固土”的立体稳定机制,有效应对水流冲刷,土体蠕变和生物侵蚀的各种胁迫。

### (三) 长期维护管理机制

长期的维护管理机制,是确保木桩护岸生态工程效益不断发挥的关键所在。需要建立周期性的巡查制度,着重监控桩体的倾斜度,腐朽程度和连接件的完整性,并及时用相同材料的木桩替换或者加固局部破损的桩体,以免结构失稳蔓延。对于生物侵蚀,应定期将附着在桩体上的贝类,藻类和其他生物群

落清理干净，避免加快木材降解速度，并在基础上预留出有利于生态的微生物膜附着层<sup>[4]</sup>。每隔三年进行一次护岸的生态评估，利用植被覆盖率、土壤侵蚀模数和水体中的氮磷含量等指标，对护岸的生态服务功能进行量化评估，并据此调整植被的配置或优化桩群的布局。搭建数字化管理平台将巡查记录，维护日志和监测数据整合在一起，利用大数据分析对护岸劣化发展趋势进行预测，达到预防性维护的目的。还需要加大对周边社区的宣传和教育的力度，指导农户规范他们的农业活动，防止因耕作、放牧等人为活动破坏护岸结构，形成一个“工程维护+生态监测+社区共管”的立体管护体系。

#### （四）成本效益综合平衡策略

成本效益综合平衡策略需要贯穿木桩护岸管理的全生命周期。选材方面，优先选择当地耐腐树种可以减少运输成本，还可以通过减少碳足迹来促进生态效益的提高；针对特殊水文区域使用天然木材和再生材料复合桩体，降低高成本材料的使用，同时确保耐久性。在施工阶段引入模块化预制技术，使桩体加工和现场安装相脱离，实现工业化生产，在减少工期的前提下降低人工成本，减小农田灌溉受到的冲击。运维环节构建

以风险评估为基础的分级维护体系，对于稳定性较好的地段延长巡查周期，对于冲刷较重地区提高监测频次以达到精准资源配置。通过对生态服务功能的价值评价，把水质改善和生物多样性增加的生态效益转化成经济指标，并与工程投入作动态比较分析，为优化设计参数奠定基础。研究还探索政府补贴和碳交易收益的多元化融资方式，实现生态效益向经济回报的转变，形成“低成本建设——高效能运维——持续收益”闭环管理体系。

#### 总结

木桩护岸技术通过材料优化、结构创新及科学管理，实现农田水利工程中生态保护与工程安全的双重目标。核心在于根据区域水文特征选择适配性材料，通过桩—板—土耦合设计提升抗冲刷能力，建立分级维护与数字化监测体系保障长期效能，并探索生态效益经济化路径实现可持续发展。未来研究需进一步聚焦新型生物基材料开发、智能监测技术应用及全生命周期成本效益评估，推动木桩护岸技术向标准化、智能化方向演进，为农田水利生态化建设提供更完善的解决方案<sup>[5]</sup>。

#### 参考文献：

- [1] 吴昊,张培,唐金晶,等.园林绿化废弃物在城市绿地裸露坡面生态防护中的应用——以西山国家森林公园裸露坡面生态防护示范项目为例[J].中国水土保持, 2024(8):64-68.
- [2] 罗希鹏.生态护岸仿木桩阵列优化布置消波特征分析[J].水科学与工程, 2024(6):77-80.
- [3] 嵇鹏,何绍丽,王森林.箱型生态砌块挡墙在河道护岸中的应用[J].建筑工程技术与设计, 2021(3):7-10.
- [4] 张丽.生态型护岸在河道综合治理中的应用研究——以汾河水段为例[J].山西水利, 2023(10):47-50.
- [5] 陈权浩.古水河干流岸坡支挡防护及稳定性分析[J].水利科学与寒区工程, 2022(10):75-79.