

生态修复在水利工程设计中的应用

司 雯

山东中鲁技术服务集团有限公司 山东 菏泽 274000

摘 要: 本文系统论述了生态修复在水利工程设计中的应用。首先分析了水利工程建设对水体水文、河道岸带、水生生物群落三类生态系统的影响机理。其次阐述了生态适配性、功能协同性、自然自愈性三大核心设计原则,明确了修复方案需与区域生态条件匹配、工程安全与生态功能协同、以激活系统自修复能力为目标的设计要求。在此基础上,从河道工程、岸坡护坡、水体水质三个应用领域提出了具体修复方案,并从生态环保建材选用、连通性水系构建、乡土植被配置三个技术要点进行了系统说明,为水利工程生态修复设计提供了完整的技术参考框架。

关键词: 水利工程设计; 生态修复; 水域生态; 应用

引言: 水利工程在满足防洪排涝、输水调水等功能需求的同时,传统渠硬化、阻隔连通等设计方式对区域水域生态、岸带生态及生物群落造成了持续性负面影响,水体自净能力下降、岸带生态断裂、生物多样性降低等问题日益突出。随着生态文明建设要求不断提升,将生态修复理念系统融入水利工程设计已成为行业发展的必然趋势。然而当前生态修复设计仍存在与工程功能协同不足、建材选择不当、植被配置缺乏科学性等突出问题,制约了修复效果的长期发挥。本文从影响分析、设计原则、应用领域及关键技术四个层面展开论述,旨在构建系统化的生态修复设计框架。

1 水利工程建设对自然生态的主要影响

水利工程的施工建设与后期运行,会对区域水域生态、岸带生态、生物生态产生持续性的间接与直接影响,多数负面影响源于传统工程设计的生态缺失,也是生态修复设计需要重点解决的核心问题。

1.1 对水体水文环境的影响

传统水利工程设计为满足输水、防洪需求,多对天然河道进行渠化、硬化处理,规整的河道形态改变了自然水流的速度、流向与湍流结构。自然河道深浅交错、缓急交替的水流特征消失,水体流动性趋于单一,导致水体复氧能力下降,水中悬浮物与污染物无法自然降解富集,水体自净功能持续弱化。同时,堤坝、闸体等工程结构会阻断水体纵向连通性,造成上下游水文环境割裂,水域水循环失衡,进一步加剧局部水体生态退化^[1]。

1.2 对河道岸带生态的影响

硬质护坡、挡墙是传统水利岸线设计的主要形式,混凝土、石块等硬质材料完全覆盖天然土质岸坡,彻底破坏了岸带土壤与水体的物质交换通道。天然岸带原本生长的草本、灌木植被消亡,岸带失去植被固土、涵养

水源的能力,同时丧失了水陆过渡带的生态功能。这种单一的硬质岸带,无法为两栖生物、水生植物、小型动物提供生存与栖息空间,直接导致水陆交错带生态系统断裂。

1.3 对水生生物群落的影响

水文环境改变与岸带生态退化,直接破坏了水生生物的生存栖息地。水流形态单一、水体溶氧量不足,会导致浮游生物、藻类群落结构失衡;河道硬质化改造使得水生植物无法扎根生长,食物链底层生态单元缺失;工程结构阻断了鱼类洄游、生物迁徙通道,造成水生生物栖息地碎片化,生物栖息、繁殖、觅食空间大幅缩减,最终引发区域生物多样性下降,水域生态群落结构趋于单一脆弱。

2 水利工程设计中生态修复的核心设计原则

2.1 生态适配性原则

生态适配性是水利工程设计中生态修复的首要原则,要求修复方案与项目区域的自然生态条件高度匹配。设计过程中需系统采集项目区域的水文特征、土壤类型、原生植被群落、微生物种群结构及生物多样性现状等基础数据,在此基础上开展生态本底分析,明确区域生态系统的承载能力与自我调节边界^[2]。

设计中应摒弃统一化、标准化的工程模式,充分尊重区域自然水文节律与地貌形态特征,因地制宜制定生态修复方案。优先保留区域原生自然生态单元,包括原生植被群落、自然岸线形态及原有水域微生境结构,依托原有水域形态、岸带结构进行优化设计,避免大范围开挖、硬化等过度改造行为破坏自然生态基底。同时需综合考虑区域气候条件、季节性水位变化、土壤理化性质等环境因素对生态修复效果的影响,确保修复方案与区域生态环境高度适配,保障生态系统自然演替与自我

修复能力的持续发挥。

2.2 功能协同性原则

功能协同性是水利工程生态修复设计必须遵循的基本原则,要求生态修复方案不得与工程原有使用功能产生冲突,实现工程安全功能与生态修复功能的协调统一。水利工程的护坡稳固、防洪排涝、输水调水等核心功能是工程设计的根本前提,生态修复设计需在此基础上展开,严禁为追求生态景观效果而降低工程结构的安全标准与使用性能。

设计过程中应首先确保工程结构的承载力、抗渗性、抗冲刷能力等关键指标满足规范要求,在此前提下合理植入生态修复技术。具体可通过优化工程结构形态,如采用生态护坡替代传统硬质护坡,在保证边坡稳定性的同时提供生物栖息空间;替换环保建材,如采用透水性混凝土、生态砌块等材料,兼顾结构强度与生态透水需求;改造岸线形式,如设置生态缓坡、构建浅滩湿地等,在不削弱防洪功能的前提下提升岸带生态多样性。通过上述方式,实现水利工程实用性与生态性的协同统一。

2.3 自然自愈性原则

自然自愈性原则是生态修复设计的核心理念,要求设计方案以激活生态系统自我修复能力为目标,最大限度减少人工干预强度。设计过程中应避免采用结构复杂、维护成本高的人工改造设施,优先利用自然生态演替规律与生物自我调节机制,通过低干预手段推动受损生态系统自主恢复。

具体设计中可采用构建近自然水域结构的方式,恢复河道自然弯曲形态与深浅交替的水文格局,为水生生物提供多样化栖息生境;通过恢复原生植被群落,选用区域乡土植物进行岸带绿化,降低外来物种引入风险,提升植被群落的环境适应能力与抗逆性;通过打通水体连通通道,消除闸坝、围堰等构筑物对水系连通性的阻隔,恢复水体自然交换与物质循环功能。上述措施共同搭建完整的水域生态循环体系,使受损生态系统依靠自然力量逐步恢复至稳定状态,有效降低后期人工运维成本,提升生态修复效果的长效性与稳定性^[3]。

3 生态修复在水利工程设计中的核心应用领域

3.1 河道工程生态修复设计

河道是水利工程的核心载体,也是生态受损最严重的区域,是生态修复设计的重点应用场景。在河道平面形态设计中,摒弃传统裁弯取直的单一设计方式,保留或复原河道自然弯曲形态,打造深浅交替、宽窄错落的近自然河道结构,形成缓流区、急流区、浅滩、深潭等

多样化水域空间,适配不同水生生物的生存需求。在河道断面设计中,打破单一矩形断面模式,采用梯形、复式断面结构,预留浅水生态缓冲区,为水生植物生长、生物栖息提供空间。同时,优化河道底部结构,替换硬质河床,采用碎石、卵石、生态土质河床,恢复水体与河床土壤的物质交换,提升水体自净能力。

3.2 岸坡护坡生态修复设计

针对传统硬质护坡生态缺失的问题,生态修复设计重点以生态护坡替代全硬质护坡,兼顾岸坡稳固性与生态通透性。常见的生态护坡设计形式包括植被护坡、生态格网护坡、土工织物护坡、石笼生态护坡等。植被护坡适用于坡度平缓、水流流速较小的岸坡,通过种植乡土草本、灌木植被,利用植物根系固土稳坡,同时恢复岸带植被生态;生态格网与石笼护坡适用于水流冲击力较强的河段,通过网格、石块稳固岸坡,内部填充土壤与植被种子,实现硬质防护与生态绿化的结合。此类生态护坡可打通水陆物质交换通道,恢复岸带植被群落,重构水陆交错带生态系统^[4]。

3.3 水体水质生态修复设计

在水利工程水体设计中,融入生态净化修复技术,改善水体环境、提升水质。设计过程中可结合工程布局,在河道、库区合理设置生态浮岛、人工湿地、水生植物净化带等生态设施。生态浮岛通过挺水、浮水植物吸收水体中的氮、磷等营养物质,抑制藻类滋生,同时为水生生物、鸟类提供栖息空间;人工湿地依托基质、植被、微生物的协同作用,对水体污染物进行吸附、降解与净化。同时,通过优化闸坝工程设计,合理调控水体流动,提升水体复氧效率,激活水体微生物活性,强化水体自然净化能力,改善水域水质环境。

4 水利工程生态修复设计的关键技术要点

4.1 优先选用生态环保建材

工程建材的选择直接决定生态修复的实际成效,设计阶段需系统性摒弃高硬质、高封闭性的传统建材,优先选用具备透水性、透气性、可适配植被生长条件的生态环保材料,从材料源头保障生态修复效果。(1)在护坡与岸带结构设计中,应替换传统密实混凝土,采用生态透水混凝土或多孔混凝土,该类材料内部具有连通孔隙结构,可保障岸坡与河床的透气性与透水性,为微生物活动与植物根系生长提供必要空间。在河床与底部结构中,优先选用天然卵石、级配碎石、生态种植土等天然建材,减少人工化工材料的使用比例,降低工程建设过程中对周边土壤与水体的化学污染风险。(2)所有选用建材须严格适配区域生态环境条件,材料中不得含

有重金属、有毒有机物等有害物质,确保无有害成分析出,不对水域水质与土壤环境造成二次污染。建材的物理性能指标需满足工程结构强度与耐久性要求,在保障工程安全的前提下,为植被定植、底栖生物栖息及微生物群落发育提供安全、稳定的基础环境。

4.2 构建连通性生态水系结构

水域生态系统失衡的核心原因之一在于水系连通性断裂,闸坝、堤防等工程构筑物的建设阻断了水体自然交换路径与生物迁徙通道,导致水域生境碎片化、水体自净能力下降。在工程设计中需将恢复水系连通性作为生态修复的关键环节,系统性打通水系生态通道。(1)针对闸坝、堤防等阻隔性工程结构,应根据区域水生生物种类与迁徙习性,增设生态鱼道、生态涵洞、底部过水通道等配套设施。生态鱼道的设计需匹配目标鱼种的游泳能力与习性,合理设置坡降、流速与休息池,保障鱼类等水生生物洄游通道畅通。生态涵洞与过水通道需保证足够的过水断面与适宜的水流条件,实现水体纵向与横向的双向连通,恢复上下游水域的水力联系。(2)需从流域层面优化库区、干流河道、支流及湖泊的水系布局,打通因工程建设形成的碎片化水域,消除水体滞留盲区,构建完整贯通的生态水系网络。通过恢复水系连通性,保障水体自然循环通畅,促进水域生态系统中营养物质输移、溶解氧交换及能量流动的正常运转,从根本上提升水域生态系统的自我调节能力与稳定性^[5]。

4.3 适配性配置乡土生态植被

植被修复是水利生态工程设计的核心内容,设计过程中需严格坚持乡土化、适配化配置原则,杜绝盲目引进外来物种。外来物种存在适应性差、入侵风险高、与本地生态系统竞争激烈等问题,一旦引入可能破坏区域原有生态平衡,因此必须以区域乡土物种为主体进行植被配置。(1)设计前需全面调查项目区域的气候类型、年均温降水、土壤理化性质、地下水位变化及季节性水文波动等环境条件,在此基础上筛选适应性强、成活率高、固土护坡能力突出的乡土水生、湿生、陆生植被品种。植被配置采用分层种植模式:水下层以沉水植物为

主,构建水下生态基底;水面层配置浮水植物,抑制水体藻类繁殖;近岸浅水区种植挺水植物,发挥消浪护岸与水质净化功能;岸坡区域搭配灌木与草本植物,形成多层次、立体化的植被群落结构。(2)需合理搭配植被种类,避免单一品种大面积种植,通过多物种混植提升植被群落的稳定性与抗逆性,降低病虫害大面积暴发风险。科学配置的乡土植被群落可充分发挥净化水质、固土护坡、涵养水源、为水生陆生生物提供栖息生境等综合生态功能,保障水利生态工程的长期运行效果。

结束语

生态修复在水利工程设计中的应用,是实现工程安全功能与生态保护目标协调统一的关键路径。本文系统构建了涵盖影响分析、设计原则、应用领域与技术要点的完整体系,强调了生态适配性、功能协同性与自然自愈性三大原则的统领作用,明确了河道形态优化、生态护坡替代、水质净化设施配置等具体应用方向。在实施中需以乡土化植被配置、连通性水系构建、生态环保建材选用为技术支撑,确保修复方案的科学性与可持续性。后续应进一步强化全生命周期生态监测与评估机制,推动水利工程设计由单一工程导向向工程生态协同导向转变,切实保障水利生态工程的长期运行效果。

参考文献

- [1]吴金刚.数字孪生技术在河道水利工程生态修复中的创新应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(5):105-108.
- [2]李飞,张春媛.水利工程中水库生态修复施工技术的应用研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):182-184.
- [3]张连起.河道生态护坡施工技术在水利工程中的应用研究[J].中国科技纵横,2026(3):32-34.
- [4]吴海龙.数字化技术在水利工程施工组织设计可视化与优化中的应用[J].科学技术创新,2026(3):169-172.
- [5]陈玉祯.生态护坡技术在水利工程渠道边坡施工中的应用探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(3):115-118.