

关于现代生态水利设计的研究

李健国

桂林市水利电力勘测设计研究院 广西 桂林 541000

摘要：本文围绕现代生态水利设计的理论基础、核心原则、技术方法展开研究，强调生态学原理、系统论与复杂性科学、可持续性理论对设计的指导作用，提出自然水文过程模拟、生态修复与保护、多目标协同设计等核心原则，并探讨空间规划、过程模拟、材料创新等技术方法，为生态水利设计的科学化、系统化提供理论支持与实践路径。

关键词：生态水利设计；水文循环；系统论；可持续性；多目标协同

引言：随着社会对生态环境保护与可持续发展的重视，传统水利工程逐渐向生态水利设计转型。生态水利设计强调在满足人类需求的同时，维护生态系统的完整性与稳定性，实现人与自然的和谐共生。本文从理论基础、核心原则、技术方法三个层面，系统探讨现代生态水利设计的理论与实践路径。

1 生态水利设计的理论基础

1.1 生态学原理

生态学原理是生态水利设计的核心理论基石。水文循环作为自然生态系统的核心驱动力，通过降水、蒸发、径流等环节，将大气、水体、土壤和生物紧密连接，形成动态平衡。这一循环不仅维持了水资源的分布与再生，还通过提供水源涵养、水质净化、土壤保持等生态服务功能，支撑着生态系统的稳定与人类社会的可持续发展。在生态水利设计中，需深刻理解水文循环与生态系统服务之间的相互作用。例如，湿地作为水文循环的关键节点，通过蓄水、滞洪、净化水质等功能，缓解洪涝灾害并提升水环境质量。设计过程中需注重保护湿地生态系统，避免因工程干预导致其功能退化，从而保障水文循环的完整性与生态服务的持续性。河流廊道与湿地生态系统作为生态水利设计的重点对象，其功能与保护阈值需被充分考量。河流廊道作为线性生态空间，不仅是水生生物的迁徙通道，还承担着物质循环、能量流动等生态功能。其保护阈值涉及河道的蜿蜒性、河床粗糙度、水生植被覆盖率等指标，若过度人工化或渠道化，将破坏河流生态系统的连续性与稳定性。湿地生态系统则通过提供栖息地、调节气候、维持生物多样性等功能，成为生态水利设计中的关键保护对象。

1.2 系统论与复杂性科学

系统论与复杂性科学，为深刻洞察及有效应对水文、生态、社会复合系统的复杂运行机制，提供了坚实

的理论基石。这些系统内部各要素之间，存在着千丝万缕的耦合关联，牵一发而动全身。以气候变化为例，它所引发的降水模式转变，犹如投入平静湖面的一颗石子，激起层层涟漪，会直接作用于河流流量以及地下水位的高低变化；而这一系列变化，又如同多米诺骨牌效应一般，最终波及农业灌溉的用水保障，以及社会层面的用水需求满足。在进行水利工程规划设计时，必须将系统各要素间的相互作用，纳入全方位考量范畴，以此制定出具备综合性的应对策略。非线性动态与阈值效应，作为复杂性科学领域的关键概念，在生态系统的演变过程中，扮演着重要角色。众多生态过程，并非呈现出简单的线性发展态势，而是存在特定的临界点或阈值。一旦系统状态跨越某个阈值，就如同突破了某种无形的界限，可能会引发系统的突变，使其进入一个全新的状态^[1]。以湖泊富营养化现象为例，当污染物浓度累积到一定程度时，湖泊水质会在短时间内急剧恶化，且这种恶化趋势，往往难以通过常规手段实现逆转。在生态水利设计工作中，精准识别并有效控制关键阈值，对于防止生态系统崩溃，具有至关重要的意义。

1.3 可持续性理论

可持续性理论强调经济、社会和环境三重底线的整合。这意味着在进行水利工程规划时，不仅要考虑经济效益，还要兼顾社会效益和环境保护。例如，在水库建设过程中，除了评估其发电、灌溉等功能外，还需考虑对当地居民生活的影响、文化遗产的保护以及生态环境的维护。只有在这三个方面取得平衡，才能实现真正意义上的可持续发展。适应性管理与弹性设计理念是可持续性理论在实践中的具体应用。适应性管理强调根据实际情况不断调整管理策略，以应对不确定性和变化。例如，在面对气候变化带来的不确定性时，水利工程的设计和管理需要具备一定的灵活性，以便及时响应新的挑

战。弹性设计理念则关注如何增强系统抵御外部干扰的能力,使其能够在遭受冲击后迅速恢复。例如,在城市排水系统设计中,采用绿色基础设施(如雨水花园、透水铺装)可以提高系统的抗洪能力,减少暴雨造成的内涝风险。生态水利设计还需要注重跨学科合作。不同领域的专家,如生态学家、工程师、社会学家等,需共同参与项目的规划与实施。通过多学科协作,可以更全面地理解问题,并提出更具创新性和可行性的解决方案。例如,在湿地恢复项目中,生态学家可以提供关于湿地生态系统的专业知识,工程师负责设计和施工方案,而社会学家则帮助协调社区参与和利益分配。

2 现代生态水利设计的核心原则

2.1 自然水文过程模拟

恢复自然河道形态是生态水利设计的重要内容之一。传统的水利工程往往倾向于直线化和硬化河岸,以提高防洪能力。这种做法破坏了河流的自然蜿蜒性和横断面多样性,削弱了河流的自我调节能力和生态功能。为了恢复这些自然特征,现代设计方法强调保留或重建河流的自然弯曲形态,并采用可渗透材料代替硬质护坡。例如,在进行河道整治时,可以设置不同宽度和深度的河段,以模拟自然河流的多样性。这不仅有助于维持河流的生态完整性,还能增强其抵御洪水的能力。动态水流与泥沙输移的模拟技术也是生态水利设计中的关键环节。河流不仅是水的载体,还是泥沙和其他物质的输送通道。传统水利工程常常忽视这一点,导致河流下游出现淤积或侵蚀问题。现代设计方法通过使用先进的计算机模型,模拟水流和泥沙的动态变化,预测不同设计方案对河流生态系统的影响。例如,在规划新建大坝时,可以通过模拟分析水库运行对下游泥沙输移的影响,调整水库调度策略,减少对下游生态系统的负面影响。这种基于模拟的设计方法能够更准确地评估工程效果,确保其符合生态保护的要求。

2.2 生态修复与保护

栖息地连通性设计是生态修复与保护的核心内容之一。许多水利工程由于阻断了河流的连续性,导致鱼类洄游受阻,湿地面积减少,生物多样性下降。为了改善这种情况,现代设计方法注重恢复和维护河流及其周边环境的连通性。例如,在大坝建设中,可以设置鱼类洄游通道,如鱼梯或鱼道,帮助鱼类顺利通过障碍物^[2]。还可以构建湿地网络,通过连接孤立的湿地斑块,形成一个完整的生态系统,促进物种迁移和基因交流。这种方法不仅有助于提升生物多样性,还能增强整个生态系统的稳定性和弹性。生物多样性提升策略也是生态修复

与保护的重要组成部分。本土物种优先是其中一项基本原则,因为本土物种通常具有更强的适应性和抗逆性,能够更好地融入当地生态系统。在进行植被恢复时,应选择适合当地气候和土壤条件的植物种类,避免引入外来入侵物种。还应注重生态位多样化,即在同一区域内种植不同层次的植物群落,为各种动物提供适宜的栖息地。例如,在河岸带植被恢复中,可以种植乔木、灌木和草本植物,形成多层次的植被结构,增加鸟类、昆虫和其他小型哺乳动物的栖息空间。

2.3 多目标协同设计

防洪、供水与生态功能的权衡方法是多目标协同设计的关键内容之一。水利工程通常需要满足多种功能需求,如防洪、供水、灌溉等。然而,这些功能之间可能存在冲突。例如,过度追求防洪安全可能导致河流生态系统的破坏;而过于重视供水则可能影响河流的自净能力。在设计过程中必须综合考虑各项功能的需求,寻找最优平衡点。例如,在城市排水系统设计中,可以通过结合灰色基础设施(如管道、泵站)和绿色基础设施(如雨水花园、透水铺装),实现防洪与生态功能的协同增效。这种方法不仅提高了系统的整体性能,还减少了单一措施带来的负面效应。公众参与与利益相关者协调机制是多目标协同设计的重要保障。水利工程涉及广泛的利益相关者,包括政府、企业、社区居民、环保组织等。不同的利益相关者往往有不同的诉求和期望,如何在满足各方需求的同时实现项目目标是一个复杂的问题。需要建立有效的沟通和协调机制,确保各方意见得到充分表达和尊重。例如,在大型水利工程建设前,可以组织多次公众听证会,邀请社会各界代表参加,共同讨论项目的可行性及潜在影响。还可以设立专门的工作小组,负责收集整理各方反馈意见,并将其纳入决策过程。这种开放透明的参与方式不仅能增强项目的社会接受度,还能提高方案的科学性和合理性。

3 生态水利设计的技术方法

3.1 空间规划与布局

生态水利设计中的空间规划与布局,是确保工程与自然生态系统协调共生的基础。生态红线划定与功能分区策略是空间规划的核心环节^[3]。生态红线作为不可逾越的生态底线,通过科学划定河流、湿地、森林等关键生态区域的保护边界,确保生态系统的完整性与稳定性。功能分区策略则依据生态红线的划定结果,将流域划分为生态保护区、生态修复区、生态利用区等不同功能区域,明确各区域的保护目标与管理措施。例如,在生态保护区,需严格限制人类活动,维持自然生态过程;在

生态修复区,可采取人工辅助措施,促进受损生态系统的恢复;在生态利用区,则需在保障生态安全的前提下,合理开发利用水资源。多尺度空间嵌套设计是生态水利设计空间规划的重要方法。流域尺度上的设计需统筹考虑整个流域的生态格局与水资源分布,通过构建流域生态廊道、保护重要生态节点等措施,增强流域生态系统的连通性与稳定性。河段尺度上的设计则需关注河流的形态特征与水文过程,通过恢复河流蜿蜒性、增加河床粗糙度等措施,改善河流的栖息地条件,促进水生生物的繁衍与迁徙。栖息地尺度上的设计则需聚焦于河流中的浅滩、深潭、回水区等微生境,通过营造多样化的栖息地类型,满足不同生物的生存需求。多尺度空间嵌套设计强调不同尺度之间的协同与互动,通过构建流域-河段-栖息地的多级嵌套体系,实现生态系统的整体优化。

3.2 过程模拟与评估

过程模拟与评估是生态水利设计技术方法的重要组成部分,通过模拟生态系统的动态过程,评估设计方案对生态系统的影响,为设计优化提供科学依据。水文模型与生态模型的耦合应用是过程模拟的核心手段。水文模型如SWMM(暴雨洪水管理模型)和HEC-RAS(水力学与河流分析系统)能够模拟降雨径流、河道洪水等水文过程,为生态水利设计提供基础数据支持。生态模型如InVEST(生态系统服务与权衡工具)则能够评估生态系统的服务功能与价值,如水源涵养、土壤保持、生物多样性保护等。通过将水文模型与生态模型进行耦合,可以综合分析水文过程与生态过程之间的相互作用,评估设计方案对生态系统服务功能的影响,为设计优化提供科学依据^[4]。生态风险评估框架是过程模拟与评估的重要工具。压力-状态-响应模型(PSR模型)作为经典的生态风险评估框架,能够从压力源、生态系统状态、响应措施三个维度全面评估设计方案对生态系统的影响。压力源维度需识别设计方案可能带来的生态压力,如水体污染、栖息地破坏等;生态系统状态维度需评估设计方案对生态系统结构与功能的影响,如生物多样性变化、生态系统服务功能下降等;响应措施维度则需提出减轻或消除生态压力、恢复生态系统状态的对策与建议。通过PSR模型的应用,可以系统评估设计方案对生态系统的

影响,为设计优化提供科学依据。

3.3 材料与技术创新

材料与技术创新是生态水利设计技术方法的重要支撑。生态友好型材料的应用是材料创新的核心内容。透水混凝土作为一种新型建筑材料,具有高透水性、高强度、耐久性好等优点,能够有效减少地表径流、增加地下水补给,减少城市热岛效应。生态护岸材料如植物护坡、生态混凝土等,则能够在保护河岸稳定性的同时,促进植被生长、改善栖息地条件。生态友好型材料的应用不仅有助于提升生态水利工程的生态效益,还能够降低工程对自然环境的干扰与破坏。数字孪生与智能监测技术在设计优化中的应用是技术创新的重要方向。数字孪生技术通过构建实体工程的虚拟模型,实现工程运行状态的实时监测与预测分析,为设计优化提供数据支持。智能监测技术则通过安装传感器、摄像头等监测设备,实时采集工程运行数据与环境参数,为设计优化提供实时反馈。通过数字孪生与智能监测技术的应用,可以实现对生态水利工程的动态监测与评估,及时发现并解决设计中的问题与不足,为设计优化提供技术支撑。

结束语

现代生态水利设计是水利工程发展的必然趋势,通过融合生态学、系统论等多学科理论,遵循自然水文过程模拟、生态修复保护等原则,运用空间规划、过程模拟评估等技术方法,可有效提升水利工程的生态效益与社会效益。未来,需进一步深化理论研究,加强技术创新,推动生态水利设计在更多领域广泛应用,为构建美丽中国、实现可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]马敏.水利工程设计过程中的生态理念应用[J].石材,2024,(06):36-38.
- [2]肖志强.水利设计中的生态理念应用探究[J].黑龙江水利科技,2023,51(12):108-111.
- [3]马俊.城市河道生态水利工程的设计原则与方法研究[J].工程建设与设计,2022,(24):52-54.
- [4]陈硕,宋亚平.生态水利工程设计若干问题的分析与探讨[J].企业科技与发展,2022,(11):101-103.