

河流梯级开发中的水利水电工程规划与设计

秦宪红

恒荣建设集团有限公司 江西南昌

【摘要】河流梯级开发是水利水电工程中一种重要的开发模式，涉及多个水电站的梯次布局与综合利用。在水利水电工程的规划与设计过程中，需要综合考虑水资源的合理利用、环境影响、生态保护和社会经济效益等因素。本文主要探讨了河流梯级开发的水利水电工程规划与设计方法，分析了不同水电站间的协同效应以及水库的调度策略，并通过案例研究展示了优化设计的实际应用。通过系统性分析，提出了提升水资源利用效率与可持续发展的综合规划方案，为相关领域的工程设计与决策提供理论支持与实践指导。

【关键词】河流梯级开发；水利水电工程；规划设计；水资源利用；生态保护

【收稿日期】2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】2025 年 7 月 13 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250348

Planning and design of water conservancy and hydropower projects in cascade river development

Xianhong Qin

Hengrong Construction Group Co., Ltd, Nanchang, Jiangxi

【Abstract】 River cascade development represents a crucial model in hydropower engineering, involving the sequential layout and integrated utilization of multiple hydropower stations. During the planning and design phases of such projects, comprehensive considerations must be made regarding water resource efficiency, environmental impact, ecological conservation, and socio-economic benefits. This paper explores planning and design methodologies for river cascade hydropower projects, analyzes synergistic effects between stations and reservoir operation strategies, and demonstrates practical applications through case studies. Through systematic analysis, it proposes integrated planning solutions to enhance water resource utilization efficiency and sustainable development, providing theoretical support and practical guidance for engineering design and decision-making in related fields.

【Keywords】 River cascade development; Water conservancy and hydropower engineering; Planning and design; Water resources utilization; Ecological protection

引言

随着能源需求的不断增长，水利水电工程的开发逐渐向多级梯级化方向发展。通过对河流的梯级开发，能够最大程度地发挥水力资源的潜力，提高水电站的运行效率。梯级开发的实施不仅仅是单纯的水力设施建设，还涉及复杂的资源配置、环境调控与社会影响评估。如何在满足能源需求的同时，确保水资源的可持续利用与生态平衡，成为设计过程中必须面对的核心问题。探索有效的河流梯级开发规划与设计方法，对于提升水利水电工程的整体效益具有重要意义。

1 河流梯级开发的关键问题与挑战

河流梯级开发是一种集约化利用水资源的方式，其核心目标是通过多个水电站的梯次布置，实现水力资源的高效利用与综合开发。这一开发模式在实际操

作中面临多重挑战。梯级水电站的选址与数量配置必须综合考虑流域的水文条件、地理环境以及社会经济需求^[1]。在流域内，不同区域的水资源禀赋差异较大，如何合理布局各级水电站，确保梯级开发的电力输出最大化，并且能够平衡各梯级之间的水量分配，成为设计中的首要难题。如果设计不当，可能导致上游水库的过度蓄水或下游水电站的供水不足，影响整个开发系统的效率和稳定性。

除了水电站的选址与配置问题，梯级水库的调度与水资源优化管理也是一项复杂任务。在多级梯级开发的系统中，每个水库的蓄水与放水都可能对其他水电站的运行产生连锁反应。如何在不影响下游水电站的前提下，确保上游水库的最佳调度成为一项核心问题。水库的调度不仅需要考

还要处理复杂的水文气候波动对水库蓄水量的影响。流域的洪水调度也是梯级开发中不可忽视的因素,如何合理应对极端气候下的洪水问题,确保水库的安全性与防洪能力,是确保项目成功的关键。

在环境与生态保护方面,河流梯级开发的实施常常会对流域生态系统造成不同程度的影响。水库的建设通常会改变流域的水文条件,影响生物栖息地的水质与水量,进而影响生态系统的稳定性^[2]。水电站的运行可能导致水温、氧气含量的变化,从而对水生生物产生威胁。除了直接的生态影响,梯级开发还可能造成水土流失、湿地面积减少等长期的环境问题。如何在开发过程中实现环境与生态的双赢,是设计与规划中必须解决的重要课题。开发过程中,生态影响的评估与监控、环境修复措施的实施以及生物多样性的保护,都需要成为水利水电工程规划与设计的重要组成部分。

2 优化河流梯级开发水利水电工程的规划设计方法

优化河流梯级开发的规划设计方法需要从多个维度进行综合考量,以确保水利水电工程的高效运作与可持续发展^[3]。在规划阶段,水资源的空间分布与时间变化必须得到精准的预测与分析。通过流域的水文气象数据、历史水文曲线和气候变化趋势的分析,结合大数据与人工智能技术,可以对未来的水流量进行预测,为梯级水电站的配置提供科学依据。在此基础上,合理设置水电站的容量、库容和电力输出,确保每个梯级水库的有效蓄水与合理放水,避免因水资源分配不均而导致的电力供应波动。还需要运用先进的优化算法进行水库调度,以最大限度地提高系统整体效率,确保电力生产的稳定与均衡。

在优化设计过程中,水电站的设备配置和技术选型同样至关重要。针对每个梯级的具体情况,如流量、落差和水库蓄水条件,选择合适的水轮发电机组、泵站以及变电设备,以保证各个环节的最佳工作效率。此外,工程设计还要充分考虑设备的耐久性与维护成本,确保长期运营中的经济性。随着智能化技术的逐步应用,自动化调度系统的引入使得每个水电站的调度过程更加精确与实时,能够在面对突发的水文变化时快速做出响应,从而最大化电力生产能力与资源利用率。

在环境与社会影响的评估方面,优化设计方法要求充分考虑生态保护与社会效益。通过实施环境影响评估(EIA)和生态恢复方案,水利水电工程可以在开发过程中最大限度减少对生态系统的负面影响^[4]。可以通过设置鱼道、调节水温或增设沉沙池等措施,保护水生生物的栖息环境,减少水库蓄水对生物多样性的威

胁。工程的社会影响评估也不可忽视。设计过程中需要充分考虑当地社区的水资源需求,平衡电力供应、农业灌溉、饮用水等各方面的需求,避免过度开发对当地居民生产生活造成负面影响,确保工程的社会可接受性与可持续性。

3 河流梯级开发水利水电工程的环境与生态影响分析

河流梯级开发的水利水电工程在带来显著经济效益的同时,也不可避免地对环境和生态系统造成一定的影响。水库的建设和水流的改变,往往会对周围的生态环境产生深远影响。尤其是在水流速度和水温的变化下,水生物种的生存环境发生了显著改变^[5]。不同的水库在不同的梯级中具有不同的蓄水量和水流控制,这种人为的水文调控会直接影响到水体的氧气含量、温度和流速,进而影响水生植物与动物的栖息和繁殖。如果水库的蓄水过多,可能导致水位的突然升高,从而淹没原本生活在该区域的湿地或森林生态系统,影响水生物种的生长和繁殖,甚至引发生态链的断裂。

水流的调度和水质的变化也是生态影响中的重要因素。水电站的梯级开发需要对流域内的水流量进行精细调控,然而这也可能导致水体中溶解氧的含量下降,水温升高或水质富营养化等问题。尤其在干旱季节,水库的放水量有限,可能使得下游的水流量过低,导致生态系统中的水生物种失去足够的生存空间和食物来源。长期的大规模蓄水过程还会加剧水体富营养化现象,增加藻类的滋生,导致水体的氧气含量急剧下降,进而影响水质的稳定和可持续性。水质变化不仅影响生物生存,还可能对周围居民的饮用水源和农业灌溉用水产生威胁。

梯级开发过程中,尽管水库的建设能够对洪水起到一定的调控作用,但过度蓄水和人为水流的控制也可能对下游生态造成负面影响。水库的梯级开发往往使得水流失去了自然的流动方式,原本季节性变化的水量和水质规律被打破,进而影响到沿岸湿地、渔业资源和农业灌溉的稳定性。更为严重的是,梯级水库的建设还可能导致水库后方的淤积问题加剧,淤泥沉积的增加可能改变水体的自然流态,进而影响到下游生态系统的稳定^[6]。为了尽量减少这些负面影响,需要采取综合性的环境保护措施,如设立生态流量、建立生态走廊、优化水库调度等,以在水利工程建设和生态保护之间找到平衡点。

4 河流梯级开发水利水电工程的效益评估与实践应用

河流梯级开发水利水电工程的效益评估不仅仅局限于经济层面,还包括生态效益、社会效益以及环境保护等多维度的综合分析。在评估过程中,电力生产能力的提升是最直接的效益之一,通过合理规划和设计,梯级开发能够最大化地发挥水力资源,确保稳定的电力供应。水电站之间的梯次运行能够实现水资源的最优配置,不仅提高了发电效率,还能够减少备用电力的需求,降低了电网调度的难度^[7]。梯级开发通过储水和调节水量,有助于在峰谷差较大的时段提供稳定的电力输出,这对于平衡电网负荷波动和促进可再生能源的并网具有重要意义。

除了电力生产,河流梯级开发还带来了广泛的社会经济效益。水电项目的建设通常伴随大规模的基础设施建设,包括交通、供水、灌溉和防洪等功能,能够促进当地经济发展与社会进步。水库的调度不仅能够为农业提供灌溉水源,还能有效地调节流域的洪水风险,保障下游居民和农业生产的安全。水电项目的实施往往伴随大量的就业机会创造和地方基础设施的改善,有助于提升区域的综合竞争力,带动沿线地区的经济发展。水利水电项目的社会效益也需要从不同角度评估,特别是在解决社会矛盾和保障当地居民的基本生存条件方面,合理的安置与补偿方案对项目的可持续性至关重要。

在环境保护方面,河流梯级开发的效益评估必须考虑生态影响的长期性。虽然水电开发带来显著的经济效益,但如果没有有效的生态修复与环境管理,可能会对流域的生态系统造成不可逆的损害。评估过程中应当重点考虑生态流量、鱼类资源保护及水质管理等方面。通过设立生态保护红线,强化环境监测和管理,合理调节水电站的水库蓄水与放水计划,可以在不影响生态平衡的前提下实现水资源的可持续利用^[8]。水利水电工程的实践应用需要与当地政府、社会组织和环保机构进行充分合作,共同推动生态保护与工程建设的双赢局面。通过科学的评估与合理的设计,河流梯级开发不仅能够实现经济效益的最大化,还能在环境保护和社会可持续发展方面发挥积极作用。

5 结语

河流梯级开发水利水电工程在提高能源利用效率的同时,也带来了诸多环境与生态挑战。合理的规划设计和精确的调度管理是实现高效开发与生态保护并重的关键。尽管水电站的建设可能对水文条件和生态系统造成一定影响,但通过科学的环境评估与保护措施,可以有效减少这些负面效应。未来,在推动水利水电工程发展的同时,更应关注生态恢复与环境可持续性,确保河流生态系统的健康和水资源的长远利用。加强技术创新与多方合作,将是确保项目成功与生态和谐共存的重要保障。

参考文献

- [1] 付意成,张剑,赵进勇,等.水利工程生态服务价值系统化测算体系研究[J/OL].水利学报,1-12[2025-07-10].
- [2] 王翔民.低碳建筑设计理念下建筑规划设计的优化策略分析[J].居舍,2025,(20):104-107.
- [3] 谢始群.书法艺术在园林规划设计中的创新融合探索[J].现代园艺,2025,48(17):109-113.
- [4] 田延翔,吴帅峰,骆亚生.回弹法在水利工程混凝土强度检测中的优化与应用研究[J/OL].水利建设与管理,2025,(06):35-41+34[2025-07-10].
- [5] 周芸,任鹏飞,叶贞丹.华数人工智能调度平台的整体规划设计与应用实践[J].广播电视网络,2025,32(06):39-44.
- [6] 索雨泽,高文娟,赵永晶,等.梯级开发对河流中下游大型底栖动物群落结构的影响[J/OL].水生生物学报,1-17[2025-07-10].
- [7] 周扬,杨珺.梯级水电开发对金沙江干流生态环境的累积影响[J].人民珠江,2024,45(12):39-47.
- [8] 曲佳美.考虑时间异质性的小水电梯级开发河流生态流量核算[D].华北电力大学(北京),2024.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

