

流域水利工程布局优化与水资源可持续利用研究

彭标 熊浩淼

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 中国·重庆 404100

摘要: 在全球水资源日益紧张的背景下, 优化流域水利工程布局成为实现水资源可持续利用的关键。以长江流域为例, 研究通过综合分析水资源特性及现有工程布局, 结合多目标决策方法与先进技术手段, 探索水利工程优化策略, 旨在提升水资源调度灵活性与利用效率, 并增强应对极端气候的能力。研究表明, 科学规划与技术应用能有效协调防洪、发电、供水等多重效益, 为全国其他流域提供可复制经验。未来需进一步完善模型动态性, 关注气候变化影响, 推动国际合作与多元共治机制建设。

关键词: 水资源; 流域; 水利工程; 布局优化

Research on Optimization of Watershed Water Conservancy Engineering Layout and Sustainable Utilization of Water Resources

Biao Peng Haomiao Xiong

Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of the Upper Yangtze River, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Chongqing, 404100, China

Abstract: Against the backdrop of increasingly scarce global water resources, optimizing the layout of watershed water conservancy projects has become the key to achieving sustainable utilization of water resources. Taking the Yangtze River Basin as an example, this study explores optimization strategies for water conservancy projects through comprehensive analysis of water resource characteristics and existing engineering layouts, combined with multi-objective decision-making methods and advanced technological means. The aim is to improve the flexibility and utilization efficiency of water resource scheduling and enhance the ability to cope with extreme weather conditions. Research has shown that scientific planning and technological application can effectively coordinate multiple benefits such as flood control, power generation, and water supply, providing replicable experience for other river basins across the country. In the future, it is necessary to further improve the dynamic nature of the model, pay attention to the impact of climate change, and promote the construction of international cooperation and diverse governance mechanisms.

Keywords: water resources; watershed; water conservancy engineering; layout optimization

0 前言

水资源是人类生存与社会发展的基础资源, 其可持续利用关乎生态、粮食和经济安全。受气候变化和人类活动影响, 流域水资源分布不均、供需矛盾加剧, 亟须通过优化水利工程布局实现高效配置。长江流域虽已建成较完善的水利体系, 但工程布局仍存在资源配置不合理、调度效率低、生态评估不足等问题。科学规划水库群、泵站及灌溉网络可提升供水保障、调节水量、保护生态, 而早期无序建设已导致部分湿地萎缩、生态退化。当前面临区域差异大、多部门协调难、资金技术受限等挑战。未来应加强跨学科研究, 应用遥感、AI与大数据提升决策水平, 并建立跨区域协作机制, 推动流域整体优化与水资源可持续利用。

1 流域水资源特性

1.1 流域水资源的时空分布特征

流域水资源受气候、地形及人类活动影响, 时空分布

不均。时间上, 降水季节差异显著, 如长江流域夏季降水集中, 占全年 60% 以上, 冬春干旱, 形成明显丰枯周期; 2023 年重庆夏季平均降水 450 毫米, 冬季仅约 80 毫米, 对水利调度提出较高要求。空间上, 上游山地丘陵区河流落差大、集水快, 水资源丰富但开发难度大; 中下游平原河网密布、流速缓慢, 易发洪涝, 水资源利用率虽高, 但面临水质污染问题。

1.2 流域水资源的质量状况

流域水资源质量是衡量其可利用性的关键。近年来, 受工业化和城市化影响, 部分流域水质恶化, 主要污染物来自农业面源、工业废水及生活污水。例如, 长江上游因矿山和化工企业密集, 水体中重金属和有机物含量上升, 2023 年重庆主城区部分河段 COD 浓度一度超 30mg/L, 超过Ⅲ类水标准。同时, 部分地区地下水过度开采引发水质下降与地面沉降, 如华北平原深层地下水位持续下降, 出现盐碱化现象。因此, 需加强水质保护, 确保水资源可持续利用。

1.3 流域水资源的开发利用现状

中国各大流域水资源开发程度不一,长江流域整体利用率约 20%,干支流开发强度差异明显,部分区域如汉江、湘江已高度开发,水利工程密集。三峡工程在发挥防洪、发电、航运效益的同时也对生态造成一定影响。随着南水北调等工程推进,跨流域调水能力增强,但需协调上下游利益,防止局部用水过度引发生态问题,如汉江中下游因引水致水位下降,影响农业与生态稳定。流域水资源管理具有复杂性,未来水利布局应综合考虑水资源时空变化、分布特征、水质及现状,实现高效、安全、可持续利用。

2 水利工程布局现状

2.1 流域内主要水利工程分布概况

在当前的流域水资源管理体系中,水利工程的布局已经形成了较为系统的结构。以长江流域为例,其上游地区建设了众多水库、水电站和灌溉工程,这些设施不仅承担着防洪减灾的任务,还在发电、供水、农业灌溉等方面发挥着重要作用。长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局负责监测和评估该区域内的水资源状况,并为水利工程的运行管理提供技术支持。目前,长江上游地区的水利工程主要包括三峡工程、葛洲坝水利枢纽以及一系列中小型水库,它们在调控河流流量、优化水资源配置方面发挥了关键作用。

2.2 水利工程的功能与作用分析

从功能上看,现行水利工程主要分为防洪工程、供水工程、灌溉工程、发电工程以及生态保护工程等几大类。防洪工程通过调节洪水流量,降低了流域内暴雨引发的洪涝灾害风险,保障了沿岸城市的人民生命财产安全。供水工程则主要服务于城市居民及工业用水需求,确保水资源的稳定供应。灌溉工程在农业区域广泛分布,提高了农田的灌溉效率,促进了农业生产的发展。而水电工程则是清洁能源的重要来源,在节能减排方面具有重要意义。随着生态文明建设的推进,部分水利工程还兼顾了生态补水和湿地保护的功能,为维护流域生态平衡提供了基础支撑。

2.3 当前水利工程布局存在的问题

尽管水利工程在流域发展中起到了积极作用,但其布局仍存在一些亟须解决的问题。部分地区水利工程密度偏高,导致自然河流的水文过程受到干扰,影响了水生生态系统的健康。工程之间缺乏统一规划与协调管理,导致水资源利用效率不高,甚至出现“上下争水”的现象。另外,部分老旧工程因设计标准偏低、设备老化等问题,已难以满足当前的防洪与供水需求。资金投入不足和技术更新滞后也制约了水利工程现代化水平的提升。这些问题的存在表明,现有水利工程布局需要进一步优化,以实现更高水平的水资源可持续利用^[1]。

3 水利工程布局优化的必要性

3.1 提升水资源利用效率

水利工程布局直接影响流域水资源调配与利用。当前

部分地区水利设施分布不均,导致水资源配置失衡,影响利用效率。通过优化布局并引入现代化调度系统,可提高水资源循环利用效率,减少浪费。研究表明,科学规划的水利工程可使流域水资源利用率提升 20% 以上。以长江流域为例,干支流水库联合调度提高了汛期洪水利用率,保障了枯水期生态基流,有效缓解供需矛盾,提升整体利用效益。

3.2 保护生态环境

水利工程在促进经济发展的同时,也对生态环境造成了不可忽视的影响。传统工程往往忽视生态系统健康,导致河流自然流动受阻、鱼类洄游路径中断及地下水位下降等问题。为实现可持续发展,应从生态保护角度优化工程布局,重视水流通性、生物多样性与水质保护。实际操作中,可通过设置生态流量释放机制,保障河道最小生态需水量,维持水生生态系统功能。以长江流域为例,生态调度实施后,水质明显改善,水生生物种群逐步恢复,不仅有助于生态修复,也提升了流域应对气候变化的能力,为可持续发展目标提供有力支撑。

3.3 满足社会经济发展需求

随着人口增长和城市化进程加快,社会对水资源的需求持续上升。水利工程布局的合理性不仅影响区域经济发展,还关系到供水、防洪抗旱能力的提升。在长江经济带发展战略背景下,优化水利布局成为推动区域协调发展的重要手段。以重庆为例,通过加强水资源调配设施建设,提升了供水和灌溉效率,促进了水电开发和清洁能源产业发展,助力“双碳”目标实现。水利工程布局优化不仅是技术问题,更是实现人与自然和谐共生、高质量发展的战略选择,为区域发展和未来水资源管理提供了坚实基础和可复制经验^[2]。

4 水利工程布局优化面临的挑战

4.1 多目标协调困难

在流域水利工程布局优化中,多目标协调是首要挑战。水利工程功能多样,如防洪、供水、灌溉、发电及生态保护,各目标间常存在冲突。以长江上游为例,水库建设虽提升发电与防洪能力,却可能破坏生态环境,影响水文过程与鱼类洄游。如何兼顾经济发展与生态健康,成为布局优化的关键难题。同时,不同区域与部门对水资源的需求差异明显,如上游重水电开发,下游重防洪与饮水安全,进一步加大协调难度。因此,需构建科学评价体系,综合经济、社会与生态多维度,实现资源最优配置。

4.2 资金和技术限制

资金投入和技术水平是影响水利工程布局优化的关键因素。大型水利工程建设需要大量资金和高水平技术支持,但部分地区财政能力有限,导致项目推进缓慢或停滞,中小河流域水利设施老化问题尤为突出。同时,尽管遥感、大数据和人工智能等技术已逐步应用,但在偏远或发展水平较低地区,受基础设施薄弱和人才短缺制约,仍依赖传统监测手段,数据获取不及时、精度不高,影响布局科学性与前瞻性。

4.3 部门利益协调

水利工程布局涉及多部门协作,因水利、农业、能源、生态等职能目标差异,常引发政策执行分歧。例如,长江流域治理中,水利部门注重调配防洪,环保部门关注水质生态,地方政府则侧重经济开发,缺乏沟通易致资源配置低效。此外,跨区域协调亦为难点,如重庆及周边地区因上下游用水权属频发争议,影响整体规划。为此,需建立统一的流域管理机构,强化顶层设计,推动协同治理模式,实现多方利益平衡^[3]。

5 水利工程布局优化策略

5.1 综合规划

综合规划是优化水利工程布局的首要策略,强调从系统角度统筹水资源分布、生态保护与经济社会需求,通过科学模型评估用水供需,制定适配性强的建设方案。以长江上游为例,依托水文数据分析,构建联合调度系统应对水量波动,提升布局合理性并减少生态干扰。同时,规划需兼顾空间协调,结合城市化、农业开发与生态红线,统一管理重点区域水资源,保障生态基流与下游用水安全。

5.2 多目标决策方法的应用

水利工程布局涉及多方利益和技术经济因素,需引入多目标决策方法以平衡各方诉求并寻求最优解。该方法可综合考虑能源效率、经济效益、环境影响和社会公平等多个维度,并通过层次分析法(AHP)和模糊专家评判系统等工具对备选方案进行评分。在重庆及周边山区小型水库优化布局项目中,设计者结合地形适应性、人口密度、灌溉覆盖、地质稳定性和征地成本等因素进行权重计算,最终选定南川区为试点,实现投资控制与用水保障的双重优化。对于大中型工程,还可通过听证会、网络调查或专家咨询等方式纳入公众意见,提升决策透明度与社会接受度。

5.3 引入新技术

现代科技为水利工程布局提供了创新手段,先进技术的应用不仅提升了工程运行效率,也增强了对自然资源的保护。当前广泛应用的技术包括遥感监测、地理信息系统(GIS)、人工智能预测模型和物联网传感设备。以长江上游为例,相关部门部署了自动水情监测站点和卫星遥感系统,实时追踪降水、径流和地下水变化,并通过云计算平台处理数据,支持防洪抗旱预警。部分流域还采用无人机巡查,提高河道与堤坝检测的效率和精度。此外,数字孪生系统在水利中的应用也展现出潜力,通过构建虚拟模型模拟真实水系行为,有助于优化设计、施工及运维策略。例如三峡库区“智慧水利”项目中,相关单位通过模拟不同调度方案,有

效协调了航运与发电之间的水资源配置矛盾。

5.4 加强部门合作

水利工程布局优化是一项涉及多行业、多层级协作的系统工程,需政府、科研机构、企业及社会组织建立沟通机制,实现资源共享与政策联动。以长江流域为例,因跨多个省市,易出现资源配置不均或重复建设,亟须统一管理原则与分工责任。职能部门应在国家规划框架下明确职责边界,如水资源管理部门制定取水计划,环保部门负责水质监控,地方水利局落实具体工程。重庆市政府牵头设立的“跨区域水资源联调办公室”已取得实效,整合多部门数据并建立应急调度协议,提升了对极端气候事件的应对能力。此外,推动跨区域合作协议也是关键路径,如《长江水资源协调利用合作备忘录》明确了数据共享、生态补偿共担及流域共治等机制,制度化的合作显著增强了协同性,减少了资源浪费与管理盲区。

6 结语

流域水利工程布局优化是实现水资源可持续利用的重要保障,需通过科学规划与管理缓解供需矛盾、提升配置效率并兼顾生态保护。当前中国在流域治理中仍面临多目标协调难、资金技术制约及部门利益冲突等问题,亟须深化综合规划理念、应用多目标决策方法、推动技术创新与跨部门协作。以长江流域为例,其水利布局不仅关乎防洪安全与生态平衡,也影响区域经济社会发展。未来应强化系统性与协同性,加快数字化、智能化技术应用,提升调度精准性,完善跨区域协调机制,加强偏远及生态脆弱地区水利建设,构建多层次水利网络。同时,要完善法规体系、强化用途管制与生态补偿,推动全社会节水意识提升。重庆等地虽取得进展,但如何守住生态底线、实现经济、社会与环境效益共赢仍是关键课题,亟待更多科研投入与持续探索适合中国国情的水安全路径。

参考文献:

- [1] 王冬雪,王美智.浅谈数字孪生在黄河上游流域水文测报的应用与研究[C]//2024(第十二届)中国水利信息化技术论坛论文集,2024.
- [2] 康霞.基于水资源可持续利用的河道治理规划与管理策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025(11):221-223.
- [3] 盛文博.水情报预报对水资源可持续利用的支持作用研究[J].水上安全,2025(7):7-9.

作者简介: 彭标(1997-),男,中国湖北恩施人,本科,助理工程师,从事水文与水资源工程研究。