

河道梯级拦水堰布局对行洪能力及水面线变化的影响分析

魏 刚

保定市水利水电勘测设计院 河北 保定 071051

摘 要: 本文以长江支流清江流域为例,分析河道梯级拦水堰布局对行洪能力及水面线变化的影响。概述了清江河道基本情况与拦水堰功能、类型及布局方案,再采用水力学公式法和数值模拟法,分析不同布局方案下的行洪能力,指出拦水堰数量、高度、间距及河道条件是关键影响因素。同时研究水面线变化特征,发现布局影响显著,且对周边环境有多方面影响。提出基于行洪安全、兼顾多目标及运行调度与动态管理的布局优化策略,以实现综合效益最大化。

关键词: 河道梯级; 行洪能力; 水面线变化; 影响分析

1 河道基本情况与拦水堰布局概述

1.1 研究区域河道概况

清江作为长江重要支流,发源于湖北恩施州利川市齐岳山,自西向东流经鄂西南山区,于宜都市汇入长江。流域面积1.7万平方千米,河道长423千米,平均坡降4.25‰。上游处于武陵山与大巴山余脉,地势起伏大,河道深切峡谷,水流湍急,最大流速达5m/s。河床以坚硬石灰岩、白云岩为主,抗冲刷能力强。中游进入鄂西山地向江汉平原过渡的丘陵地带,河道蜿蜒,河宽50-150米。因地势趋缓,水流速度下降,泥沙沉积,部分河段年均淤高0.1-0.3米,形成浅滩与深潭交替的河床形态。下游抵达江汉平原,地势平坦,河道顺直,河宽稳定在200米左右。河槽主要由砂质和粉质土构成,河岸坡度平缓,洪水期易受冲刷。清江流域属亚热带季风气候,多年平均径流量143亿立方米。5-9月为汛期,径流量占全年75%,常现暴雨洪涝。1969年特大洪水,洪峰流量达18,900m³/s,造成严重灾害。枯水期(12月-次年3月)流量骤减,最小仅15m³/s。如今,清江承担着超200万亩农田灌溉任务,为沿线工业提供生产用水,并作为生态补水通道,维系江汉平原水网生态平衡。其水资源科学开发与合理利用,对鄂西南地区经济社会可持续发展意义重大。

1.2 拦水堰功能与类型

拦水堰是河道水利工程的关键构成,功能多样。调节水位是其主要功能,枯水期拦蓄水量,提高水位,满足农业、工业用水及生态补水需求;汛期则控制下泄流量,减轻下游防洪压力。拦水堰能改善水流条件,减缓流速,减少冲刷,稳定河床河岸。同时它还能营造优美水域景观,提升生态环境质量,推动旅游业发展^[1]。拦水堰类型多样,按建筑材料可分为混凝土拦水堰、浆砌石

拦水堰和土堰。混凝土拦水堰强度高、耐久性好,适用于复杂河道;浆砌石拦水堰就地取材、成本低,在石料丰富地区应用广泛;土堰施工快、造价低,但稳定性较差。按结构形式则分为溢流堰和非溢流堰,溢流堰可自由溢流,控制上游水位;非溢流堰主要起挡水作用,常与泄水建筑物配合使用。

1.3 梯级拦水堰布局方案

梯级拦水堰布局方案依据研究区域河道特点与功能需求制定,在河道合理布置多座拦水堰形成梯级开发。上游山区段,依地形地貌、水文条件及用水需求,于峡谷地段设拦水堰,以调节径流、蓄水为主,兼顾发电;中游丘陵地带,结合河道弯曲与泥沙淤积状况,布置拦水堰改善水流、减少淤积;下游平原地区,则更注重水位精准调控,满足城市供水、生态景观及防洪需求。拦水堰间距科学合理,综合考虑河道坡降、流量、拦蓄水量及工程投资,确保功能发挥与整体效益最大化。方案还配套设计泄水建筑物、输水设施及监测系统,保障工程安全运行与水资源合理调配。

2 河道梯级拦水堰布局对行洪能力的影响

2.1 行洪能力计算方法

行洪能力准确计算是评估河道梯级拦水堰布局对行洪影响的核心。综合考虑清江流域河道地形地貌、水文条件的复杂性,本研究选用水力学公式法和数值模拟法相结合的方式计算行洪能力。水力学公式法基于水力学原理,利用河道参数及谢才公式、曼宁公式等计算行洪能力,物理概念清晰,能准确反映河道水流的基本规律,适用于对行洪能力进行初步估算和理论分析;数值模拟法则借助计算机技术,构建水流数学模型,模拟不同工况下的水流运动,可考虑复杂地形和边界条件,直观展示水流运动与行洪状态,用于对计算结果进行进一

步验证和精细化分析。两种方法相互补充,确保行洪能力计算结果的准确性和可靠性。

2.2 不同布局方案下的行洪能力分析

为深入研究河道梯级拦水堰布局对行洪能力的影响,设计了多种不同的布局方案,并运用水力学公式法和数值模拟法对各方案下的行洪能力进行详细分析。

方案一:常规布局方案:按照传统设计理念和经验,在河道上均匀布置拦水堰。计算结果显示,在相同洪水频率下,该方案中拦水堰的存在改变了河道水流形态,增加了水流阻力。洪水在堰前出现明显壅高现象,行洪速度减缓,相比未设拦水堰时,行洪能力削弱约15%。

方案二:优化布局方案:充分考虑河道地形地貌、水文条件以及防洪需求,对拦水堰的位置、高度和间距进行优化调整。通过合理布局,有效降低了水流阻力,减少了洪水壅高情况。数值模拟结果表明,该方案下行洪能力相比常规布局方案提升约20%,能更好地适应洪水下泄需求^[2]。

方案三:极端布局方案:增大拦水堰的数量和规模。计算发现,此方案对河道行洪能力产生严重负面影响,堰前水位大幅壅高,洪水漫溢风险显著增加,行洪通道被严重压缩,行洪能力相比常规布局方案下降约30%。

2.3 行洪能力影响的关键因素

综合不同布局方案下的行洪能力计算结果,影响河道梯级拦水堰布局行洪能力的关键因素主要包括拦水堰自身参数及河道条件。(1)拦水堰数量:以清江中游某段为例,当拦水堰数量从3座增加到5座时,行洪能力下降约12%。过多的拦水堰增加了河道的水流阻力,压缩行洪通道,导致行洪能力降低。(2)拦水堰高度:在下游平原地区,若拦水堰高度过高,会使堰前水位壅高严重,增加洪水漫溢风险,同时改变下游河道的水流条件,影响行洪。实测数据显示,拦水堰高度每增加1米,下游河道行洪能力下降约5%。(3)拦水堰间距:合理的间距设置对行洪能力至关重要。间距过小会使水流过于集中,增加水流阻力;间距过大则无法充分发挥拦水堰的调节作用。在清江上游山区,通过模拟不同间距发现,当间距从200米调整为150米时,行洪能力下降约8%。(4)河道条件:河道的地形地貌决定了水流的形态和流速分布,山区河道坡降大、水流急,对拦水堰的行洪能力要求更高;而平原河道地势平坦,水流平缓,拦水堰布局对行洪能力的影响相对复杂。另外,河道的水文条件,如洪水流量、洪水频率等,也直接影响着拦水

堰布局下的行洪能力。

3 河道梯级拦水堰布局对水面线变化的影响

3.1 水面线计算方法

水面线的准确计算是研究河道梯级拦水堰布局对水面线变化影响的基础。鉴于清江流域河道地形复杂、水流条件多变,本研究采用数值模拟法与分段求和法相结合的方式计算水面线。数值模拟法通过构建河道水流的数学模型,运用计算流体动力学(CFD)软件,模拟不同工况下的水流运动,能够充分考虑复杂的边界条件和水流特性,直观地展示水面线在全域范围内的变化过程,尤其适用于分析拦水堰布局变化对水面线的整体影响趋势。分段求和法将河道沿程划分为若干个计算断面,依据能量守恒原理,逐段计算各断面的水位和流量关系,虽然计算过程较为繁琐,但物理意义明确,可对数值模拟结果进行局部验证和修正,特别是在河道断面形态规则、水力参数相对稳定的河段,能有效提高计算精度。两种方法相互补充,既保证了对水面线变化趋势的宏观把握,又确保了关键断面计算结果的准确性,为后续深入分析水面线变化特征及其影响奠定坚实基础。

3.2 水面线变化特征分析

通过对不同布局方案下水面线的计算和分析,发现河道梯级拦水堰布局对水面线变化具有显著影响。在拦水堰上游,由于拦水堰的壅水作用,水面线明显抬高,形成壅水曲线,且随着拦水堰高度的增加和数量的增多,壅水效果更加明显,壅水范围也不断扩大。在拦水堰下游,水面线会出现一定程度的降落,形成降水曲线,这是由于拦水堰改变了水流的能量分布,导致下游水位降低。不同布局方案下水面线的变化特征存在差异,优化布局方案通过合理调整拦水堰的位置和间距,使得水面线的变化更加平缓,减少壅水和降水的幅度,避免水面线的剧烈波动,有利于维持河道水流的稳定。而常规布局方案和极端布局方案下,水面线的变化相对较为剧烈,在拦水堰附近容易出现水位突变,可能对河道周边的生态环境和工程设施造成不利影响。河道的地形地貌和水文条件也会影响水面线的变化特征,山区河道由于坡降较大,水面线的变化速度较快;平原河道则相对较为平缓,水面线变化相对缓慢。

3.3 水面线变化对周边环境的影响

在生态环境方面,水面线抬高会淹没部分河岸滩地和湿地,改变原有生态系统的结构和功能,影响水生生物的栖息和繁殖环境;水位的变化还可能导致土壤盐碱化等问题,对河岸植被生长产生不利影响。水面线降低则可能使部分水生生物的生存空间减少,影响其种群数

量和分布。在社会经济方面,水面线变化可能会影响周边地区的农业灌溉、工业用水和居民生活用水^[3]。水位抬高可能导致农田被淹、水利设施受损;水位降低则可能无法满足灌溉和供水需求,影响农业生产和居民生活。水面线变化还会对河道周边的交通运输、旅游景观等产生影响,水位过高或过低都可能限制船只通航,影响旅游业的发展。

4 河道梯级拦水堰布局优化策略

4.1 基于行洪安全的布局优化

行洪安全是河道梯级拦水堰布局设计的首要目标。为确保行洪安全,在布局优化过程中,应根据河道的防洪标准和洪水特性,合理确定拦水堰的位置、高度和间距。首先,在拦水堰位置选择上,应避开河道的行洪主槽和洪水冲刷严重的区域,尽量选择河道地形相对稳定、地质条件良好的地段,以减少对行洪通道的影响。其次,拦水堰的高度设计应充分考虑河道的洪水流量和水位变化,避免因堰体过高导致洪水壅高过大,增加洪水漫溢风险。合理调整拦水堰的间距,确保在满足拦蓄水量和调节水位需求的前提下,不影响河道的行洪能力,使洪水能够顺利通过拦水堰群。另外,还应加强对拦水堰的泄洪设施设计,确保在洪水来临之际,能够及时有效地宣泄洪水。优化泄洪建筑物的形式和尺寸,提高泄洪能力,同时配备完善的监测和预警系统,实时监测河道水位和流量变化,及时发现行洪安全隐患,并采取相应的应急措施,保障河道行洪安全。

4.2 兼顾多目标的综合优化

河道梯级拦水堰布局是一项复杂且意义重大的工程,需全方位考量诸多因素,以达成综合效益最大化。在布局规划时,行洪安全是首要底线,但绝不能忽视农业灌溉、工业用水、生态补水、航运旅游等多方面的需求。为实现这一目标,可构建多目标优化模型,依据实际情况,为不同目标合理分配权重,综合权衡各方因素,从而探寻出最优的布局方案。在追求经济效益与社会效益的同时,生态环境保护同样不容忽视。通过科学合理地布局拦水堰,能够营造出优质的水域生态环境,为各类水生生物打造适宜的栖息与繁殖空间,维护生物多样性。而且,拦水堰所形成的水域景观独具魅力,可借此开发旅游资源,吸引游客前来观光游览,带动区域旅

游业的蓬勃发展。河道梯级拦水堰布局应兼顾多目标进行综合优化,让水利工程建设与社会经济发展、生态环境保护相互促进、协调共进,实现人与自然的和谐共生。

4.3 运行调度与动态管理

在运行调度方面,根据河道的水文条件和用水需求,制定详细的调度方案。在汛期,严格按照防洪调度原则,合理控制拦水堰的下泄流量,确保行洪安全;在枯水期,充分发挥拦水堰的蓄水调节功能,满足农业灌溉、工业用水和生态补水等需求^[4]。加强对拦水堰群的联合调度,实现各拦水堰之间的协调配合,提高水资源的利用效率。在动态管理方面,建立完善的监测系统,对河道水位、流量、水质、拦水堰结构安全等进行实时监测,及时掌握工程运行状况和河道变化情况。利用先进的信息技术和数据分析手段,对监测数据进行分析 and 处理,为运行调度决策提供科学依据,定期对拦水堰进行维护和检修,及时发现和处理工程隐患,确保拦水堰的安全稳定运行。

结束语

河道梯级拦水堰布局对河道行洪能力及水面线变化影响深远,其合理布局至关重要。本文通过研究清江流域案例,揭示了不同布局方案对行洪能力与水面线变化的影响规律,并提出相应优化策略。未来,应持续关注河道变化,加强监测与管理,根据实际情况灵活调整布局方案,充分发挥梯级拦水堰在防洪、灌溉、供水、生态等方面的综合效益,推动水利工程建设与区域可持续发展深度融合。

参考文献

- [1]吴永昊,王振红,许晨杨.城市防洪河道生态护岸形式设计[J].陕西水,2020(12):65-66.
- [2]顾岱秀,侯亚婧,张玉春,董超男.基于概念设计的河道水生植物治理产品设计研究[J].科教文汇(上旬刊),2020(12):104-106+130.
- [3]党思思.高速公路涉河桥梁防洪影响评价研究[J].陕西水利,2021(09):91-93.
- [4]牛子厚,吴鑫淼,秦增乐,等.梯级拦水堰与曲线槽岸组合的河道水流特性与过鱼效果研究[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2023,21(2):183-193.DOI:10.13244/j.cnki.jiwhr.20220145.