

# 河道行洪通道大中型水闸合理间距设计及行洪能力保障研究

陈 龙

(山东新汇建设集团有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要** 对河道行洪通道大中型水闸合理间距进行设计, 是保障河道行洪顺畅、提升防洪安全水准的关键。本文以河道行洪通道水文水力特性与大中型水闸功能定位为基础, 全面剖析水闸布局对行洪的作用机制, 建立包含核心原则、关键因子、计算模型的水闸合理间距设计体系, 构建保障行洪能力的工程手段与调度举措。通过引入水闸间距与行洪能力的耦合计算模型, 结合典型河道实例对设计方法的科学性与实用性加以验证, 合理的水闸间距可使河道行洪流量提升15%至20%, 让壅水高度维持在设计要求的限值范围内。该设计体系及保障策略旨在为河道行洪通道水闸布局优化和防洪安全保障提供理论借鉴。

**关键词** 河道行洪通道; 大中型水闸; 合理间距设计; 行洪能力保障

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.040

## 0 引言

大中型水闸作为河道行洪通道的重要控制工程, 承担着洪水调度、水量调节、安全防护等多重功能, 其间距布局的合理性直接影响水流形态、行洪速度与壅水程度。当前部分河道水闸布局存在间距过密导致水流壅塞、过疏导致调控失效等问题, 引发行洪能力下降、洪涝风险加剧等连锁反应。基于此, 本文深入剖析河道行洪通道与水闸基础特性, 探索水闸合理间距设计方法, 构建行洪能力保障体系, 为河道防洪工程优化升级与安全运行提供技术支撑。

## 1 河道行洪通道与大中型水闸基础特性分析

### 1.1 河道行洪通道水文水力特性

河道行洪通道的水文水力特性由流域气候、地形地貌、地质条件与河道形态共同决定, 直接影响行洪过程的水流状态与能量传递。平原河道行洪通道多呈现宽浅型断面, 河床坡度平缓(通常在1%~5%之间), 水流速度分布均匀, 洪水过程具有峰高量大、历时漫长的特点, 洪峰流量往往是平水期流量的数十倍甚至上百倍, 悬移质泥沙淤积是影响河道断面形态与行洪能力的主要因素。山区河道行洪通道多为窄深型断面, 河床坡度陡峭(可达10%~30%), 水流速度快、冲击力强, 洪水过程具有暴涨暴落的特点, 洪峰历时短但峰值流量大, 河床冲刷与砾石推移质运动对行洪通

道稳定性影响显著<sup>[1]</sup>。不同类型河道的水文水力参数差异可通过图1更直观地体现, 其核心指标(河床坡度、洪峰流量倍数、水位一流量敏感系数等)的对比, 进一步明确了平原与山区河道行洪特性的分异特征。

### 1.2 大中型水闸功能定位与核心技术参数

大中型水闸在河道行洪通道中承担着多重核心功能, 其功能定位需与流域防洪规划、水资源配置目标相契合。水闸核心技术参数直接决定了其功能实现效果, 设计流量需满足河道行洪能力与水资源调配需求, 通常按百年一遇或千年一遇洪水标准确定, 大中型水闸设计流量多在1 000~10 000 m<sup>3</sup>/s之间。闸孔尺寸与数量需根据设计流量、河道断面形态与水流速度综合确定, 闸孔宽度一般为8~16 m, 高度为5~10 m, 确保过流能力与结构稳定性。启闭能力参数包括启闭设备功率、启闭速度与调节精度, 大中型水闸多采用电动卷扬式启闭机, 启闭速度控制在0.5~1.0 m/min, 调节精度误差不超过5%, 保障流量调控的精准性。抗冲抗渗性能参数要求闸基渗透系数不大于1×10<sup>-6</sup> cm/s, 闸体抗冲流速不低于3 m/s, 抵御水流冲刷与渗透破坏。

### 1.3 水闸布局对河道行洪的影响机制

水闸布局通过改变河道水流边界条件与水力特性, 直接影响行洪通道的行洪效率与安全水平。水闸间距过密时, 相邻水闸之间的水流相互干扰, 上游水闸下泄水流尚未充分扩散便遭遇下游水闸阻挡, 形成叠加

作者简介: 陈龙(1992-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程设计。

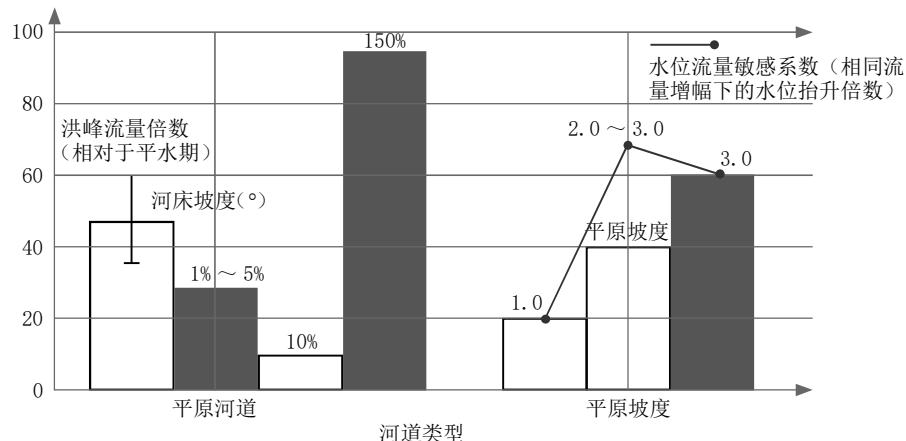


图 1 平原河道与山区河道核心水文水力参数差异

壅水效应，导致河道水位异常抬升，超出两岸堤防设计高程，增加漫堤风险。密集布局的水闸会分割行洪通道，使水流呈现分段壅塞状态，行洪阻力增大，行洪历时延长，降低洪水下泄效率，导致流域内洪水总量累积。水闸间距过疏时，单座水闸控制范围过大，无法实现对行洪过程的精细化调控，部分河段因缺乏有效控制节点，水流速度过快引发河床冲刷，或流速过慢导致泥沙淤积，破坏河道行洪断面形态<sup>[2]</sup>。水闸布局与河道弯道、支流汇入口等关键节点的相对位置也会影响行洪效果，水闸设置在弯道凹岸易受水流冲击导致结构损坏，设置在支流汇入口上游易造成支流洪水倒灌，这些影响机制为水闸合理间距设计提供了重要理论支撑。

## 2 大中型水闸合理间距设计方法研究

### 2.1 影响水闸合理间距的关键因素

河道水文特征是影响水闸合理间距的核心因素，设计洪峰流量决定水闸过流能力需求，流量越大，单座水闸控制范围需相应缩小，间距应适当加密；水闸核心技术参数对间距设计具有直接约束作用，设计流量大、调控精度高的水闸控制范围更广，间距可适当增大；反之，技术参数较低的水闸需减小间距以保障调控效果<sup>[3]</sup>。两岸防洪标准与堤防工程条件也影响间距设计，防洪标准高、堤防坚固的河道可适当扩大水闸间距；防洪标准低、堤防薄弱的河道需加密间距，通过精细化调控降低壅水压力。

### 2.2 水闸合理间距计算模型与优化方法

基于河道水力平衡原理与行洪安全约束，构建大中型水闸合理间距计算模型，综合考虑设计流量、允许壅水高度、河道平均流速、水闸过流能力等关键参数，模型公式如下：

$$L = \frac{K Q_d T}{v H_{hollow} B} \quad (1)$$

式(1)中， $L$  为水闸合理间距 (单位: m)； $K$  为安全系数 (取值范围  $1.2 \sim 1.5$ ，根据河道重要性与洪水风险等级确定，重要防洪河道取高值)； $Q_d$  为河道设计洪峰流量 (单位:  $m^3/s$ )； $T$  为设计洪水历时 (单位: h)； $v$  为河道允许平均行洪流速 (单位:  $m/s$ ，根据河床质组成确定，沙质河床取  $1.0 \sim 1.5 m/s$ ，岩石河床取  $2.0 \sim 3.0 m/s$ )； $H_{hollow}$  为允许壅水高度 (单位: m，不超过两岸堤防设计高程与河道正常水位差值的 30%)； $B$  为河道平均行洪宽度 (单位: m)。

以行洪能力最大化、壅水高度最小化、工程成本最低化为优化目标，采用遗传算法对间距方案进行多目标优化，筛选出兼顾安全、效率与经济的最优方案。以某平原河道为例，设计洪峰流量  $5\ 000\ m^3/s$ ，允许壅水高度  $1.2\ m$ ，河道平均行洪宽度  $200\ m$ ，允许平均行洪流速  $1.2\ m/s$ ，安全系数取  $1.3$ ，设计洪水历时  $72\ h$ ，代入公式计算得到合理间距为  $1\ 875\ m$ ，经数值模拟验证，该间距下河道壅水高度控制在  $0.9\ m$ ，行洪历时满足设计要求，验证了模型的科学性。前述平原河道实例的合理间距参数、不同间距下的流态差异，以及从间距布局到行洪保障的完整逻辑，可通过图 2 直观呈现。

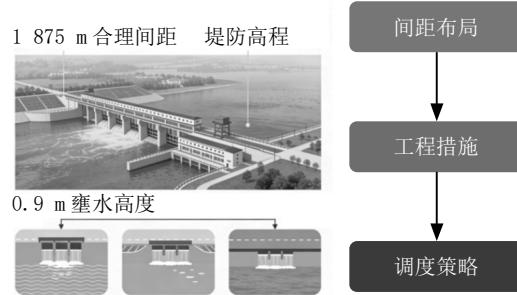


图 2 水闸合理间距工程示意及行洪能力保障流程

### 3 河道行洪能力保障体系构建

#### 3.1 行洪能力保障的核心目标与评价标准

行洪能力保障的核心目标是确保河道行洪通道在设计洪水条件下，能够在规定时间内安全下泄洪水，不发生漫堤、溃堤等洪涝灾害，同时保障水闸结构安全与行洪过程稳定。具体目标包括：设计洪水位河道行洪流量达到设计标准，无显著行洪阻滞；河道壅水高度不超过允许限值，两岸堤防处于安全运行状态；行洪过程中水流形态平稳，无剧烈冲刷、淤积或回流现象；水闸调控响应及时，能够根据洪水过程动态调整运行状态<sup>[4]</sup>。行洪能力评价标准围绕核心目标构建多维度指标体系，行洪流量达标率要求设计洪水位实际行洪流量与设计流量的比值不低于95%；壅水高度控制标准要求最大壅水高度不超过允许壅水高度的1.1倍；行洪历时标准要求设计洪水位流域上游至下游出口的下泄时间不超过设计行洪历时；水流稳定性标准要求河道断面平均流速变异系数不超过0.3，无局部流速超出抗冲限值的区域；水闸调控精度标准要求水闸实际下泄流量与设计调控流量的偏差不超过5%。

#### 3.2 基于合理间距的行洪能力工程保障措施

以水闸合理间距为基础，通过工程技术措施优化行洪通道条件，提升行洪能力。河道断面整治工程针对水闸控制河段的淤积与冲刷问题，采用机械疏浚与生态护岸相结合的方式，清理河道淤积泥沙，恢复行洪断面面积，平原河道行洪断面面积需维持在设计标准的90%以上。对水闸上下游影响河段的河床进行固化处理，采用浆砌石、混凝土预制块等抗冲材料铺设护底与护岸，增强河床抗冲能力，避免水流冲刷改变河道断面形态。配套建筑物协同优化工程要求水闸与两岸堤防、支流节制闸、泵站等建筑物形成协同体系，堤防工程需与水闸间距布局相匹配，在水闸控制河段适当加固堤防，提升壅水承载能力；支流节制闸需与干流水闸联动，避免支流洪水对干流行洪造成干扰。

#### 3.3 水闸运行调度与行洪能力协同保障策略

设立基于洪水预报预警的动态调度模式，归并气象、水文、水利工程等多源监测数据，构建流域洪水预报的模型，提前24~72 h预估洪水过程、洪峰流量及到达时间，以预报结果为依据制定分级调度方案，将洪水分成一般洪水、较大洪水、特大洪水三个等级，对应各不相同的水闸开启关闭样式与间距调控举措。处于一般洪水期时采用常规调度模式，按照设计流量平稳下泄；针对较大洪水期，采用错峰调度模式，通过调整相邻水闸开启与关闭的先后顺序，防止洪峰叠

加碰头；特大洪水泛滥期采用应急调度模式，把全部水闸都开启，最大限度增强泄洪能力，构建水闸群协同调度体系，利用物联网、大数据跟人工智能的技术，实现多座水闸的集中把控与协同运转，实时监测各水闸上下游水位、流量等方面的水力参数。采用智能算法优化各个水闸的开启关闭幅度，保证水流的状态平稳无波动，实现行洪效率的最大化目标。增强运行维护以及应急管理水平，设定水闸定期检测及维护的制度，每年汛前对水闸的结构、启闭设备、监测系统实施全面检修工作，并将老化部件换掉，保证设备实现正常运行<sup>[5]</sup>，拟定洪水应急处置预案，明确不同洪水等级情形中的应急响应流程、人员职责及处置手段，按照一定周期开展应急演练，提升应对极端洪水时的快速反应水平，构建行洪能力动态监测与评估体系，借助布置在河道与水闸的传感器实时采集行洪工作数据，按规定周期对行洪能力评估，依照评估结果调整运行调度策略和工程保障相关措施，实现行洪能力的长期维持。

### 4 结束语

对河道行洪通道大中型水闸合理间距进行设计，是保障行洪能力、防范洪涝灾害的关键技术部分，其设计质量直接关系到流域防洪安全和经济社会的稳定。本文对河道行洪通道、水闸基础特性进行系统分析，探究水闸布局对行洪的影响机理，构建含有核心原则、关键参数、计算模型的合理间距设计模式，提出基于工程手段与运行调度的行洪能力保障办法。构建的水闸合理间距计算模型，为间距设计提供了量化工具。以实例验证，该设计方法以及保障体系具有较高的科学性与实用性，已在部分流域的河道防洪工程中试点应用，可明显增强河道行洪能力以及防洪安全系数。

### 参考文献：

- [1] 黄杨华.周宁县城区高水高排项目河道整治技术[J].湖南水利水电,2022(01):93-95,98.
- [2] 卫春仲.芹田水闸迁建工程优化设计对策研究[J].陕西水利,2023(06):141-143.
- [3] 周淑娟,郭朔彤.水闸交通桥安全加固技术方案应用[J].河南科技,2021,40(19):62-65.
- [4] 陈艳.改进Apriori算法的行蓄洪区水闸控制方法[J].水利技术监督,2023(08):28-30,71.
- [5] 冯博.渭河小量级洪水条件下华州区三座挡水闸工程运营管理的思考[J].陕西水利,2020(12):62-64.