

水闸泄洪能力提升与消能防冲技术改进研究

李阿龙

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着水利建设发展,水闸作用凸显。本文聚焦水闸泄洪能力提升与消能防冲技术改进展开研究。首先阐述水闸泄洪能力提升的理论基础,深入剖析控制段特性、过水断面尺寸、堰型选择、闸墩形状等因素对泄洪能力的影响。同时指出当前消能防冲技术存在消能效果差、防冲设施易损、对复杂条件适应性弱等问题。针对这些问题,提出优化控制段设计、调整过水断面等提升泄洪能力措施,以及优化消能工布置、采用新型设施等改进消能防冲技术的方法,为水闸工程安全高效运行提供参考。

关键词: 水闸;泄洪能力;消能防冲技术;改进措施

引言: 水闸作为水利工程中重要的挡水与泄水建筑物,其泄洪能力与消能防冲效果直接关系到工程安全及下游地区的防洪减灾。随着气候变化和城市发展,极端天气频发,对水闸泄洪能力提出更高要求。然而,当前部分水闸存在泄洪能力不足的问题,且消能防冲技术存在诸多缺陷,难以适应复杂地形和水流条件。因此,深入研究水闸泄洪能力提升与消能防冲技术改进具有重要的现实意义。本文旨在分析影响水闸泄洪能力的因素,找出消能防冲技术存在的问题,并提出相应的改进措施。

1 水闸泄洪能力提升理论基础

水闸泄洪能力提升的理论基础源于流体力学与水工结构设计原理,其核心在于通过优化水流条件与结构参数实现泄流效率最大化。根据堰流理论,泄洪流量与堰顶水头、堰型流量系数、侧收缩系数等参数密切相关^[1]。堰顶水头(H)的增加可显著提升泄流能力,但需结合上下游水位差与结构稳定性进行权衡。流量系数(m)受堰型影响显著,实用堰的流量系数(0.42—0.44)高于宽顶堰(0.32—0.385),通过优化堰型曲线可提升泄流效率。侧收缩系数(ϵ)与闸墩、边墩的平面形状相关,改善头部设计可减少水流收缩,提升过流能力。此外,过水断面尺寸(B)直接影响泄洪量,需结合地质条件与施工可行性进行优化。水闸泄洪还需考虑消能防冲需求,通过消力池、海漫等结构降低水流动能,防止河床冲刷。理论模型需结合实际工程条件,通过数值模拟与物理试验验证参数合理性,确保结构安全与功能稳定。

2 影响水闸泄洪能力的因素分析

2.1 控制段特性

控制段作为水闸调节水流的关键部位,其特性对泄洪能力影响显著。它包含闸室、上下游连接段等结构,闸室长度、宽度及与上下游河道的衔接方式,决定水流

过闸的顺畅程度。若控制段设计不合理,如闸室过短,水流易产生漩涡、回流,增加局部水头损失,降低过流能力;上下游连接段坡度不当,也会使水流状态紊乱,影响泄洪效率。

2.2 过水断面尺寸

过水断面尺寸是影响水闸泄洪能力的直接因素。过水断面面积越大,在相同水头条件下,单位时间内通过的水量就越多,泄洪能力越强。但过水断面尺寸受地质条件、工程造价及施工难度限制。若尺寸过小,会限制水流通过,导致上游水位升高,增加水闸压力;尺寸过大虽能提升泄洪能力,但会增加工程成本,还可能影响结构稳定性^[2]。

2.3 堰型选择

不同堰型具有不同的水流特性,直接影响水闸泄洪能力。常见的堰型有宽顶堰、实用堰、弧形堰等。宽顶堰结构简单,但流量系数较小,泄洪能力相对较弱;实用堰流量系数较大,能提高泄洪效率;弧形堰可改善水流条件,减少水头损失,增强泄洪能力。选择堰型时,需综合考虑工程规模、地形地质条件及泄洪要求等因素。

2.4 闸墩形状

闸墩形状对水流过闸的流态和流速分布有重要影响。合理的闸墩形状能减少水流阻力,使水流均匀通过,提高泄洪能力。若闸墩头部过于尖锐,易产生水流分离现象,形成漩涡,增加水头损失;而过于宽厚的闸墩,会缩小过水断面面积,降低泄洪效率。因此,闸墩形状设计需兼顾水流顺畅性和结构强度要求。

3 消能防冲技术存在的问题

3.1 消能效果不佳

当前水闸消能防冲技术中,消能效果不佳问题较为突出。部分消能工布置不合理,导致水流能量未能充分

消减。例如消力池长度、深度设计不当，水流进入后无法形成稳定水跃，难以有效消耗动能。而且一些消能设施结构形式单一，面对不同流量、流速的水流时，无法灵活适应，使得大量水流能量直接冲击下游河床，造成冲刷破坏，影响水闸安全运行。

3.2 防冲设施易损坏

防冲设施在实际运行中易出现损坏情况。一方面，材料选择可能不够合理，在长期水流冲刷、水流中泥沙磨损以及水压力等作用下，防冲设施的强度和耐久性不足，容易发生磨损、破裂等问题。另一方面，施工质量也可能存在缺陷，如基础处理不牢固、设施安装不精准等，导致防冲设施在使用过程中出现松动、移位等现象，进而加速其损坏，无法有效保护河床和岸坡。

3.3 对复杂地形和水流条件适应性差

现有消能防冲技术对复杂地形和水流条件的适应性较差。在复杂地形中，如河道弯曲、坡度变化大等，水流形态复杂多变，传统的消能防冲设施难以根据地形特点进行合理调整和布置，无法有效应对水流的不规则冲击。同时，面对不同水流条件，如洪水的流量、流速、含沙量等变化时，消能防冲设施不能及时做出有效响应，难以保证在不同工况下都能发挥良好的消能防冲作用。

4 水闸泄洪能力提升措施

4.1 优化控制段设计

优化控制段设计是提升水闸泄洪能力的关键。首先要合理规划闸室长度与宽度，依据水闸的规模、流量要求以及上下游水位差等因素精准确定。若闸室过短，水流在通过时易形成漩涡与回流，增加水头损失，降低泄洪效率；反之，闸室过长则会增加工程成本与占地面积。同时，注重上下游连接段的设计，采用平滑的过渡形式，如设置渐变段，使水流能够平稳地进入与流出闸室，减少水流状态的突变。此外，控制段的边坡设计也至关重要，合适的边坡坡度可以防止水流对边坡的冲刷，保障结构稳定。通过数值模拟与物理模型试验相结合的方法，对控制段设计方案进行反复验证与优化，确保在不同工况下，水流都能顺畅通过控制段，最大限度地提升水闸的泄洪能力，保障水闸在洪水期间的正常运行与安全。

4.2 调整过水断面尺寸

调整过水断面尺寸是直接且有效的提升水闸泄洪能力措施。过水断面面积的大小决定了单位时间内通过水闸的水量。在调整时，需综合考虑多方面因素。从地质条件来看，要确保地基能够承受调整后的结构荷载，避免因过水断面扩大导致地基沉降等问题。工程造价方

面，过大的过水断面会增加材料用量与施工难度，从而提高成本。同时，结合实际泄洪需求，通过水力计算确定合适的过水断面尺寸。若原有断面过小，限制了水流通过，可适当拓宽；若断面过大造成资源浪费且影响结构稳定，则进行合理缩小。调整过程中，采用先进的测量与施工技术，保证断面尺寸的精度。调整后，还需对水流进行监测，确保水流在过水断面内均匀分布，避免出现局部流速过大或过小的情况，从而提升水闸的整体泄洪能力^[3]。

4.3 改进堰型选择

改进堰型选择对于提升水闸泄洪能力意义重大。不同的堰型具有不同的水流特性与泄流能力。传统的宽顶堰结构简单，但流量系数相对较小，泄洪能力有限。而实用堰的流量系数较大，能够提高水闸的泄洪效率。在改进堰型选择时，要充分考虑工程所在地的地形、地质条件以及泄洪要求。例如，在地形较为开阔、地质条件良好的地区，可选择弧形堰，其独特的曲线形状可以改善水流条件，使水流更加平稳地通过堰顶，减少水头损失，增强泄洪能力。同时，结合数值模拟技术，对不同堰型的水流特性进行模拟分析，预测其在各种工况下的泄流情况。通过对比不同堰型的优缺点，选择最适合本工程的堰型，从而在保证水闸安全稳定的前提下，最大限度地提升其泄洪能力。

4.4 优化闸墩形状

优化闸墩形状能够有效提升水闸的泄洪能力。闸墩作为水闸的重要组成部分，其形状对水流过闸的流态和流速分布有着显著影响。不合理的闸墩形状会导致水流产生分离现象，形成漩涡，增加水头损失，降低泄洪效率。因此，要对闸墩头部进行优化设计，采用流线型形状，使水流能够顺畅地绕过闸墩，减少水流阻力。同时，合理控制闸墩的厚度，避免因闸墩过厚而缩小过水断面面积。在闸墩的侧面，可设置导流设施，引导水流均匀通过，改善流速分布。此外，结合水力模型试验，对不同闸墩形状方案进行测试与分析，观察水流在闸墩周围的流动情况，评估其对泄洪能力的影响。通过不断优化闸墩形状，使水流在通过水闸时更加顺畅，减少能量损失，从而提高水闸的整体泄洪能力，确保水闸在洪水期间能够安全、高效地运行。

5 消能防冲技术改进方法

5.1 优化消能工布置

优化消能工布置是提升消能防冲效果的关键。消能工的合理布局需依据水闸的流量、落差及下游水深等参数精准确定。消力池作为常用消能工，其长度、深度和

底坡的优化至关重要。通过水力计算和模型试验,确定合适的消力池尺寸,使水流进入后能形成稳定水跃,充分消减水流能量。护坦的布置也不容忽视,合理设置护坦长度和坡度,可防止水流对河床的直接冲刷。同时,辅助消能工如消能梁、消能墩等的布置位置和数量需精心设计。在消力池前端设置消能梁,能改变水流方向,增加水流内部碰撞,增强消能效果;消能墩的合理分布可进一步破碎水流,减少水流动能。此外,消能工之间的衔接要平滑自然,避免出现水流突变区域,确保水流能量在通过消能工时逐步、有效地消减,提高消能防冲技术的整体性能,保障水闸及下游河道的安全。

5.2 采用新型消能设施

采用新型消能设施能为消能防冲技术带来新突破。随着水利技术的发展,诸多新型消能设施应运而生。例如,宽尾墩联合消力池是一种高效的新型消能方式,宽尾墩能使水流在闸孔出口处横向扩散,增加水流与空气的接触面积,促进水流掺气,降低水流密度,同时改变水流纵向分布,使水流进入消力池后能更快地形成稳定水跃,增强消能效果。还有竖井式消能工,水流通过竖井时,在井内多次旋转、碰撞,能量大幅消耗,出井后水流平稳,对下游冲刷小。此外,一些基于仿生学原理设计的消能设施,模仿自然界中生物的减阻、消能特性,具有独特的消能优势。采用新型消能设施时,要充分考虑其与现有水闸结构的兼容性,通过实地试验和长期监测,评估其消能效果和耐久性,确保新型消能设施能在复杂的水流条件下稳定发挥作用。

5.3 加强防冲设施维护

加强防冲设施维护是保障消能防冲技术长期有效的重要环节。防冲设施在长期水流冲刷、泥沙磨损以及水压力等作用下,容易出现损坏。定期对防冲设施进行检查是维护的基础,检查内容包括设施的完整性、有无裂缝、磨损程度等。对于发现的轻微损坏,如局部混凝土剥落、石块松动等,要及时进行修补和加固,可采用高强度混凝土进行填补,对松动的石块进行重新砌筑和锚固。对于严重损坏的防冲设施,如护坦大面积冲毁、消能工结构破坏等,需制定详细的维修方案,进行整体更换或重建。同时,建立防冲设施维护档案,记录每次检查和维护的情况,为后续的维护工作提供参考。此外,加强对防冲设施周边环境的监测,如水位变化、泥沙含

量等,及时调整维护策略,确保防冲设施始终处于良好的工作状态,有效抵御水流的冲刷。

5.4 结合地形和水流条件进行个性化设计

结合地形和水流条件进行个性化设计是实现高效消能防冲的必然要求。不同地区的地形和水流条件差异巨大,统一的消能防冲设计模式往往无法达到最佳效果。在山区河流中,河道坡度大、水流湍急,消能防冲设计要充分考虑水流的高落差和强冲击力。可采用多级消能方式,在河道中设置多个消能台阶或跌水,逐步消减水流能量;同时,加强岸坡的防护,采用抗冲能力强的材料进行砌护。在平原河流中,河道宽阔、水流平缓,但可能存在泥沙淤积问题。消能防冲设计要注重与河道整治相结合,通过合理布置导流堤、丁坝等工程措施,改善水流条件,减少泥沙在消能防冲设施附近的淤积。此外,对于地形复杂、水流多变的水闸,可采用数值模拟和物理模型试验相结合的方法,深入研究水流特性,制定个性化的消能防冲设计方案,确保在不同工况下都能有效保护水闸和下游河道的安全^[4]。

结束语

水闸泄洪能力提升与消能防冲技术改进研究意义重大且成果可期。通过对控制段设计、过水断面尺寸、堰型及闸墩形状等多方面的优化,水闸泄洪能力得到显著增强,为应对洪水提供了更有力的保障。同时,消能防冲技术在消能工布置、新型设施采用、维护强化及个性化设计上的改进,有效降低了水流对下游的冲刷破坏。然而,研究并非终点,未来仍需持续探索创新,结合不断变化的水文地质条件与实际需求,进一步完善相关技术,让水闸在防洪减灾中发挥更稳定、高效的作用,守护人民生命财产安全。

参考文献

- [1]吴新友.水闸泄洪能力与水力结构优化设计[J].中国水运,2025(10):82-84.
- [2]孟媛.水利工程中泄洪道水闸设计要点[J].产品设计,2024(19):57-59
- [3]孔庆阳,乔婧,丁伟,赵明.基于水流流态分析的水闸底流消能防冲设计[J].水电站机电技术,2021,44(02):74-76+92.
- [4]赵少华.迎河泄水闸闸址选择及消能防冲设计[J].陕西水利,2025,(07):155-157.