

# 水利闸站运行对下游河道冲刷的影响与对策研究

王龙飞<sup>1</sup> 马秀云<sup>1</sup> 胡怀军<sup>2</sup>

1. 连云港市通榆河北延送水工程管理处 江苏 连云港 222000

2. 连云港市市区水利工程管理处 江苏 连云港 222000

**摘要:** 本文聚焦于水利闸站运行对下游河道冲刷的影响展开深入研究。首先阐述了水利闸站运行的基本方式与特点,接着从水流流速与流量变化、水流方向与紊动特性改变等方面详细分析了其对下游河道冲刷的作用机制。通过实际案例研究,揭示了闸站运行在不同工况下对下游河道冲刷的具体表现与严重程度。进而提出了一系列针对性的对策,包括优化闸站运行调度方案、采取工程防护措施以及加强监测与管理等。旨在为降低水利闸站运行对下游河道的不利影响,保障河道生态安全与水利工程长效运行提供理论支持与实践指导。

**关键词:** 水利闸站; 下游河道冲刷; 影响机制; 对策研究

## 引言

水利闸站是水利工程关键部分,在防洪、排涝等多方面作用不可或缺。合理调控闸门可控制水流流量、水位与流向,满足水资源需求和防洪要求。但闸站运行会对下游河道产生复杂影响,下游河道冲刷问题尤为突出。其会改变河道形态结构,致河床下切、河岸坍塌,影响稳定性与行洪能力,还威胁周边生态、水利设施及人类生产生活,如破坏生物栖息地、损坏农田道路建筑、威胁水利工程安全等。因此,深入研究其影响机制并提出对策,对保障河道生态、维护工程运行及促进区域可持续发展意义重大。

## 1 水利闸站运行方式与特点

### 1.1 闸站运行的主要方式

水利闸站运行方式依功能和水情灵活调整,常见方式如下:①按流量控制运行:依据下游水位、流量需求及上游来水,调节闸门开度控制下泄流量,实现防洪、排涝、灌溉或供水等目标。如灌溉季保证农田用水,洪水期加大开度降低上游水位。②按水位控制运行:以维持下游特定水位为目标,根据上下游情况调节闸门,用于城市供水、航运及生态用水保障等。如保证城市供水水位稳定,确保航运水深与安全<sup>[1]</sup>。③脉冲式运行:特定情况下,短时间内快速启闭闸门形成脉冲水流,用于河道生态补水、冲污及改善水动力条件等。如模拟洪水脉冲效应促进生态恢复,清除河道淤积物和污染物。

### 1.2 闸站运行的特点

①季节性变化明显:受气候和降水季节分配影响,运行季节性特征显著。雨季和洪水期以防洪排涝为主,闸门开启频率高、下泄流量大;旱季侧重灌溉、供水及生态用水保障,运行平稳、下泄流量小。②受双重制

约:闸站运行既要考虑上游来水,又要兼顾下游用水需求。上游来水决定可调节水量范围,下游用水需求对运行方式和下泄流量提出要求,需在两者间寻求平衡,实现水资源高效利用与合理配置。③协同运行:闸站是水利工程体系一部分,常与水库、堤防、泵站等协同运作。各工程相互配合、影响,共同发挥综合效益。如水库调蓄洪水时,闸站依泄流计划和下游承泄能力控制下泄流量;与泵站联合可实现水资源跨区域调配,提高利用效率。

## 2 水利闸站运行对下游河道冲刷的影响机制

### 2.1 水流流速与流量变化对河道冲刷的影响

水利闸站运行过程中,闸门的开启与关闭会直接导致下游河道水流流速和流量的发生剧烈变化。当闸门突然开启时,大量水流迅速下泄,下游河道水流流速急剧增大,水流挟沙能力显著增强。根据水流挟沙力公式,水流挟沙力与流速的幂次方成正比,流速的增加会使水流能够携带更多的泥沙,从而对河床和河岸产生强烈的冲刷作用。特别是对于一些原本水流平缓、泥沙淤积较为严重的河道,闸站泄洪时产生的高速水流能够迅速冲刷河床,使河床下切加剧,河道过水断面增大<sup>[2]</sup>。反之,当闸门关闭或减小开度时,下游河道水流流量减少,流速降低,水流挟沙能力减弱。此时,河道中部分被水流携带的泥沙会逐渐沉积下来,导致河床淤积。如果闸站运行频繁,下游河道水流流速和流量经常处于波动变化状态,就会使河道河床不断经历冲刷与淤积的交替过程,破坏河道的自然平衡状态,影响河道的稳定性。

### 2.2 水流方向与紊动特性改变对河道冲刷的影响

闸站的运行还会改变下游河道水流的方向和紊动特性。在闸门开启瞬间,水流从闸孔高速射出,形成射

流。射流具有明显的方向性和较强的紊动性，其冲击作用会对下游河道局部区域产生强烈的冲刷。射流与周围水体相互混合、碰撞，形成复杂的紊流结构，进一步增强了水流的冲刷能力。此外，闸站下游河道水流方向的改变还可能导致河道主流位置的偏移。长期来看，主流位置的偏移会使河道两岸受到不均匀的冲刷，一侧河岸因长期受到主流冲刷而逐渐坍塌，另一侧河岸则可能因水流流速较小而发生淤积，从而导致河道平面形态发生改变，出现弯曲、分汊等现象，影响河道的行洪能力和航运条件。

### 2.3 闸站运行方式对河道冲刷的累积效应

水利闸站的不同运行方式对下游河道冲刷的影响具有明显的累积效应。例如，长期采用脉冲式运行方式，频繁的脉冲水流冲击会使河道河床和河岸不断受到往复式的冲刷作用，加速河道形态的演变。而且，脉冲式运行产生的高速水流在冲刷河道过程中，还可能改变河道底部的泥沙粒径组成，使粗颗粒泥沙被冲走，细颗粒泥沙相对增多，进一步影响河道的冲刷特性。另外，闸站运行的季节性变化也会导致下游河道冲刷的累积效应。在洪水期，闸站大流量泄洪产生的强大冲刷力会对河道造成较大程度的冲刷破坏；而在旱季，较低的流量和较平缓的水流又难以对洪水期形成的冲刷坑进行有效的修复和填充。长期如此，河道冲刷问题会不断加剧，对河道生态和水利工程安全构成严重威胁。

### 3 案例分析：三峡大坝下游荆江河段冲刷案例分析

三峡水库自2003年蓄水后，下泄沙量大幅减少，导致荆江河段出现系统性冲刷。2002—2013年，荆江河段累计泥沙冲刷量达6.98亿立方米，年均冲刷量0.63亿立方米，是蓄水前（1975—2002年）年均冲刷量（0.14亿立方米）的4.5倍。

具体表现为：①滩槽皆冲：枯水河槽平均冲深1.6米，深泓最大冲深达15米（乌龟洲附近荆145断面）；平滩河槽冲刷量6.98亿立方米，冲深0.52米。②沿程差异：熊家洲至城陵矶河段冲刷最剧烈（枯水河槽冲深0.99米，平滩河槽冲深1.1米），石首河段次之（冲深0.9米），其他河段相对较小。③局部异常：下荆江七弓岭弯道深泓线2010年较2008年向左摆幅1330米，顶冲点下移4600米，引发“撇弯切滩”现象，导致护岸工程险情频发。④河势调整：荆江河段总体河势稳定，但局部弯道（如熊家洲、七弓岭）因冲刷下切，主流线摆动频繁。例如，七弓岭弯道凸岸边滩冲刷后退，深泓向凸岸偏移，形成双槽平面形态，观音洲弯道亦出现类似现象，汇流点下移。⑤崩岸风险：2003—2010年，荆江两岸护岸工

程总体稳定，但学堂洲、腊林洲、七弓岭弯道等18处地段发生崩岸或岸坡滑控，最严重处崩口距堤脚仅12米，崩塌面高12米，威胁9.2万亩耕地和5.8万人口安全。⑥生态效应：冲刷导致河床下切，枯水期同流量水位下降（宜昌站4000m<sup>3</sup>/s流量下水位降1.24米），影响鱼类洄游和水生生物栖息地。但通过生态修复（如滨江公园绿植护坡）和人工增殖放流，局部生态有所恢复。

## 4 应对水利闸站运行对下游河道冲刷影响的对策

### 4.1 优化闸站运行调度方案

#### 4.1.1 科学制定调度规则

根据上游来水预报、下游河道承泄能力以及用水需求等因素，结合历史数据和数值模拟结果，科学制定闸站运行调度规则。明确不同工况下闸门的开启时机、开度大小以及运行时长等参数，确保闸站运行既能满足防洪、排涝、灌溉、供水等功能需求，又能最大程度地减少对下游河道的冲刷影响<sup>[3]</sup>。例如，在洪水期，合理控制闸门开启速度和下泄流量，避免短时间内大量水流集中下泄对下游河道造成强烈冲刷；在旱季，根据下游用水需求和河道生态用水要求，合理安排闸站运行时间，维持下游河道一定的生态流量，改善河道水环境。

#### 4.1.2 实施动态调度管理

建立实时监测与预警系统，对上游来水、下游河道水位、流量以及水质等参数进行实时监测和分析。根据监测结果，及时调整闸站运行调度方案，实现动态调度管理。例如，当上游来水突然增大时，提前加大闸门开度，增加下泄流量，避免上游水位过高对闸站安全造成威胁；同时，密切关注下游河道冲刷情况，如发现局部冲刷严重，及时调整闸门运行方式，减小冲刷力度。

#### 4.1.3 加强多工程协同调度

充分考虑水利闸站与周边其他水利工程的相互关系，加强多工程协同调度。例如，与上游水库联合调度，通过水库的调蓄作用，削减洪峰流量，减轻闸站的防洪压力，同时为闸站运行提供较为稳定的水源；与下游泵站协同运行，在闸站下泄流量不足时，启动泵站提水补充下游河道水量，保障河道生态用水和航运需求；与堤防工程相结合，根据河道水位变化情况，合理调整闸站运行，确保堤防安全。

## 4.2 采取工程防护措施

### 4.2.1 河道护岸工程

在下游河道易受冲刷的河段，采用适当的护岸形式进行防护。常见的护岸形式包括砌石护岸、混凝土护岸、生态护岸等。砌石护岸具有取材方便、施工简单、抗冲刷能力强等优点，适用于水流流速较大、冲刷较为

严重的河段；混凝土护岸强度高、耐久性好，但生态性较差，可根据实际情况与其他护岸形式结合使用；生态护岸如植草护岸、木桩护岸等，不仅具有一定的抗冲刷能力，还能为水生生物提供栖息场所，有利于改善河道生态环境，适用于对生态要求较高的河段。

#### 4.2.2 河床防护工程

对于河床下切较为严重的河段，可采取河床防护措施，如抛石防护、石笼防护等。抛石防护是将一定粒径的石块抛投至河床受冲刷部位，通过石块的自重和相互嵌挤作用，抵抗水流的冲刷，保护河床稳定；石笼防护则是将石块装入金属网箱或聚合物网箱中，形成石笼结构，再将其放置在河床受冲刷位置<sup>[4]</sup>。石笼防护具有柔韧性好、适应地基变形能力强等优点，能够有效分散水流冲刷力，保护河床不受破坏。

#### 4.2.3 丁坝与顺坝工程

在河道中合理布置丁坝与顺坝等整治建筑物，可调整水流方向，改善水流条件，减轻水流对河岸和河床的冲刷。丁坝一般垂直于河道主流方向布置，能够将水流挑离河岸，保护河岸不受直接冲刷；同时，丁坝还能促使水流在坝间产生回流，有利于泥沙淤积，起到束水攻沙的作用。顺坝则平行于河道主流方向布置，主要用于引导水流，稳定河势，防止河道主流摆动。在实际工程中，可根据河道具体情况，将丁坝与顺坝结合使用，以达到最佳的防护效果。

### 4.3 加强监测与管理

#### 4.3.1 完善监测体系

建立健全下游河道冲刷监测体系，增加监测站点数量，提高监测精度和频率。监测内容应包括河道水位、流量、流速、泥沙含量、河床地形、河岸形态等参数。采用先进的监测设备和技术，如声学多普勒流速仪（ADV）、全球定位系统（GPS）、遥感技术（RS）等，实现对下游河道冲刷情况的实时、动态监测。同时，建立监测数据管理系统，对监测数据进行及时整理、分析和存储，为河道冲刷研究和闸站运行调度提供科学依据。

#### 4.3.2 加强河道管理

制定完善的河道管理制度，明确各部门职责，加强对河道采砂、排污、建设等活动的监管力度，严禁在河道管理范围内进行非法采砂、乱倒垃圾等破坏河道生态和影响河道安全的行为。加强对河道周边企业的环境监管，督促企业做好污水处理和达标排放工作，减少污染物入河量，改善河道水质。同时，加大对河道管理法律法规的宣传力度，提高公众的环保意识和法律意识，形成全社会共同参与河道保护的良好氛围。

#### 4.3.3 开展科学研究与技术培训

组织开展水利闸站运行对下游河道冲刷影响的相关科学研究，深入探讨冲刷机制、影响规律以及预测模型等，为应对河道冲刷问题提供理论支持和技术指导。加强对水利工程技术人员的培训，提高其业务水平和应急处理能力，使其能够熟练掌握闸站运行调度技能和河道防护工程技术，及时应对闸站运行过程中出现的各种问题，确保水利工程安全和河道生态稳定。

## 5 结语

本文分析水利闸站运行方式与特点，研究其对下游河道冲刷的影响机制并评估程度，发现其通过改变水流因素致下游河道出现河床下切等问题，影响生态安全与工程稳定运行。为此提出优化调度、工程防护、加强监测管理等对策。展望未来，气候变化与城市化使问题更突出，需加强研究，完善对策，研究耦合影响、探索新型防护技术，注重生态协同，加强国际合作，提升运行管理与河道保护水平，保障水安全与可持续发展。

### 参考文献

- [1]唐玉元,印术宇.澧水青山枢纽泄水闸断面及下游局部冲刷试验研究[J].湖南交通科技,2024,50(02):160-164.
- [2]曹锐,唐波,裴素祥,等.平原地区砂性土地基水闸下游河道冲刷问题研究[J].治淮,2019,(02):24-25.
- [3]张丹.水闸对河道水流调控的影响及优化措施[J].珠江水运,2025,(16):147-149.
- [4]元媛,王祥,冯志州,等.减少坝下游河道冲刷的三峡水库调度方式优化初步研究[J].长江科学院院报,2025,42(08):27-37.