水电水利
Hydropower and Water Resources
第 10 卷◆第 9 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

# 人工河道截流流道的冲刷防护与生态恢复设计

李欢　顾滨
中水东北勘测设计研究有限责任公司
DOI:10.32629/hwr.v10i9.7112

[摘　要] 随着我国水利工程的快速推进与城市化进程的加剧,人工河道及其截流流道在防洪排涝、水资源调配及水生态修复中发挥着日益关键的作用。然而,截流流道因其特殊的水力边界条件与剧烈的水流动力学特征,常面临严重的冲刷破坏风险,同时传统的硬质护坡工程往往导致河流生态系统的退化。文章先分析了截流流道在高速水流冲刷、涡旋淘刷及材料失效三个层面的冲刷破坏机理；其次,提出涵盖刚性结构防护、柔性材料防护、生态复合防护及主动流场调控综合防护措施；最后,从植物群落配置、生态材料应用、生境营造及基质修复维度构建生态恢复设计体系。
[关键词] 人工河道；截流流道；冲刷防护；生态恢复
中图分类号：TV85　文献标识码：A

## Design of Erosion Protection and Ecological Restoration for Artificial River Channel Diversion Channels by

Huan Li　Bin Gu
Northeast Water Resources Survey, Design and Research Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid advancement of water conservancy projects and the intensification of urbanization in China, artificial rivers and their diversion channels play an increasingly crucial role in flood control, water resource management, and aquatic ecosystem restoration. However, due to their unique hydraulic conditions and complex flow dynamics, these structures are prone to severe erosion and damage. Traditional hard-facing slope protection methods often lead to degradation of river ecosystems. This paper first analyzes the mechanisms of erosion and damage in three aspects: high-speed water flow, vortex scouring, and material failure. It then proposes comprehensive protection measures involving rigid structural barriers, flexible materials, ecological composite protections, and active flow regulation techniques. Finally, an ecological restoration design framework is established by considering aspects such as plant community arrangement, use of ecological materials, habitat creation, and substrate restoration.
[Key words] Artificial rivers; Diversion channels; Erosion protection; Ecological restoration

## 引言

我国水利建设目前处在从传统工程水利向现代生态水利顺利转型的重要阶段,而《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国河道管理条例》的实施,将河道治理的目标从单纯的防洪排涝拓展到保障防洪安全、供水安全、生态保护及综合效益兼顾。尤其是人工河道建设中所采用的截流流道,作为导流、泄洪、水量调控等功能的核心枢纽,其稳定性关系到整个水利工程的安全运行。但截流过程中水流条件复杂,流速剧烈变化,局部剧烈冲刷的风险大,河床及岸坡稳定性面临严峻考验。传统混凝土硬化护坡虽能较好地解决冲刷问题,却也切断了水土之间的物质交换,破坏了河流生物栖息地,因而导致水生态系统服务功能退化。因此,如何在确保防洪安全的前提下,实施科学的冲刷防护并进行有效的生态恢复,成为当前水利科研与工程实践的热点问题。

## 1 人工河道截流流道的冲刷情况分析

### 1.1高速水流动力剪切导致的河床质起动与迁移

人工河道截流流道在运行过程中,往往由于过水断面的骤然缩窄或上下游水头的差异,形成高速水流。高速水流在重力与压力梯度的驱动下,对河床及岸坡产生强烈的剪切应力,是导致冲刷的首要动力学因素。根据河流动力学原理,当水流作用于床面时,由于流体的粘滞性与边界的阻滞作用,形成近壁流速梯度,进而产生剪切力；一旦该剪切力超过河床泥沙的起动切应力,床沙便会由静止转为运动,引发冲刷。特别是在截流流道的进口段与束窄段,流线密集,流速梯度极大,水流的拖曳力与

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

上举力协同作用,使得原本稳定的河床材料发生松动、跳跃乃至悬浮迁移。

1.2涡旋结构与马蹄形涡系引发的局部淘刷

在截流流道的特定边界条件下,如导流墩、截流堤头、丁坝或护岸转折处,水流会脱离边界产生分离现象,形成复杂的涡旋结构,其中以马蹄形涡系最为典型且危害最大。当水流受阻于水中结构物时,会在结构物前缘产生下潜水流,并在底部绕流过程中形成环绕结构物的马蹄形涡,同时在下游产生尾流涡。这些涡旋内部压力低、流速高,且具有极强的紊动特性,能够像钻头一样对河床产生强烈的淘刷作用。研究表明,涡旋产生的上举力远大于单向流的剪切力,能迅速将大颗粒推移质卷起并带走,形成局部冲刷坑。在人工河道截流工程中,截流戗堤或围堰的布置往往会改变原有的流态,导致流线发生剧烈弯曲与分离,诱发大规模的涡旋体系。

1.3水力边界突变与材料抗冲性能失稳

人工河道截流流道的冲刷问题不是单纯由水动力条件决定的,要结合考虑河道边界材料的抗冲性能以及局部地质条件。截流过程中水流边界条件发生明显突变：从宽浅天然河道流入狭窄的人工渠道,或者从土质河床进入衬砌河段,因此水流会对薄弱环节予以选择性攻击。若河道地质条件不均一,存在软弱夹层或断层破碎带,水流便极其容易沿软弱面溯源侵蚀。形成恶性循环的是,人工护砌材料若选型不当或施工质量不佳,如混凝土预制块勾缝不严、抛石级配不合理等,在水流渗透压力及脉动压力的协同作用下,护坡材料极易松动、脱落,最终导致连锁破坏。

## 2 人工河道截流流道的冲刷防护措施

2.1刚性结构防护与消能工程设计

针对截流流道高流速段的强冲刷问题,刚性结构防护是最为传统且可靠的手段。这主要包括采用高强度材料对河床及岸坡进行封闭式护砌,如钢筋混凝土预制块、现浇混凝土面板及浆砌石护坡等。这类材料具有整体性好、抗冲流速高、表面糙率低等优点,能有效抵抗高速水流的剪切与撞击。在截流龙口或跌坎处,往往还需结合消能工程设计,如设置护坦、消力池、防冲墙等。护坦作为紧接泄水建筑物的护底结构,其长度与厚度需根据水跃长度及脉动压力计算确定,以保护下游河床免受高速水流的冲刷。对于地质条件极差或冲刷深度极大的区域,采用“钻孔灌注桩+悬臂式挡墙”的复合结构,能够将护岸基础深埋于冲刷线以下,显著提升抗滑与抗倾覆稳定性。此外,防冲槽其作为典型的被动防护措施,一般布置于护坦末端,预先铺设一定厚度的块石或石笼,当河床发生冲刷时,槽内材料自动坍塌填补冲刷坑,形成稳定边坡,既消除了冲刷隐患,又防止冲刷向上游扩散,保护主体结构。

2.2柔性材料防护与自适应性技术应用

与刚性结构相比,柔性材料防护由于透水性好、适应性强,在截流流道防护中得到了充分的应用。抛石护岸是典型的柔性防护形式,即用一定级配的块石覆盖河床,以块石自重及彼此咬合的方式抵御水流冲刷,抛石防护具有适应河床变形的能力：河床局部冲刷时,块石能自行调整位置填充凹坑,很快恢复平衡。石笼护岸则是将块石装入金属或高强土工网箱中,形成较大的结构单元,具备更高的整体性与抗冲能力,同时其多孔隙结构为水生生物提供了栖息空间。近年来,受益于材料科学的进步,土工格栅、土工模袋等新型土工合成材料已被自然、妥帖地引入冲刷防护领域。模袋混凝土护岸便是其中的典型,用高压泵将混凝土直接注入高强度土工模袋中,形成能贴合地形起伏的刚性护面,因而特别适合于流速高、地形复杂的流道段。

2.3生态复合型防护体系的构建

截流流道防护中存在工程安全、生态效益难兼顾的技术矛盾,生态复合型防护体系通过结构-材料-植被的多层次协同,实现了高强度抗冲与生境修复的统一。这一体系摒弃了传统防护工程与生态系统对立的思维,转而追求工程结构与生态过程的融合,在保障截流流道安全的前提下,尽可能恢复河流的生态功能。

第一,用加筋生态基材与抗冲结构复合技术,解决植被恢复初期抗冲能力不足的窗口期问题：因为纯植被防护在植物生长初期(一般为3-6个月)覆盖度尚低,抗冲能力差,不能防护截流时的瞬时高流速水流。复合生态格栅锚固系统的工程实践表明,将高性能土工加筋垫与格栅结构、锚杆相结合,能够形成多层次防护机制：格栅结构承担主要水力荷载,锚杆提供深层固定,加筋垫保护表土,植被则通过根系网络增强土体抗剪强度。

第二,开发生态型护面材料与多孔栖息地构建技术,实现防护工程的生态兼容性。传统混凝土护面虽抗冲能力强,但表面光滑、孔隙率低,切断了水陆生态联系。生态型护面材料的创新为这一困境提供了出路：在流速较高的河段或汇流口,采用预制空心生态混凝土模块砌筑护岸,模块的特殊连接设计既保证了结构整体性,其粗糙表面又能降低近壁流速；水下部分模块填充卵石形成水生生物栖息孔穴,水上部分填充生态土砂袋并种植乡土植物,创造了水陆生物可自由活动的绿色空间。植被型土工织物垫的应用则展现了另一种可能：该材料既能提供耐冲刷的耐久表面,其三维孔隙结构又为植被生长提供了基质,使原本灰白的硬质表面逐渐转变为富有生机的绿色空间。

## 3 人工河道截流流道的生态恢复设计

3.1乡土植物群落配置与多维度绿化

生态恢复的目的是恢复生态系统的结构及功能,植物群落的构建是实现这一目标的基础,人工河道截流流道的生态设计中植物配置应严格遵循“适地适树、乡土优先”的原则：乡土植物经长期自然选择,对当地气候、土壤、水文条件均有极好的适应性,养护成本低,也更不易造成生物入侵。设计时模拟自然河流的植被分布格局,构建乔、灌、草相结合的立体生态群落。具体而言,在岸顶及高滩地种植耐旱性强的乔木(柳树、樟子松、紫穗槐)作为防护林带,发挥防风固土、遮阴降温之效。岸坡常水位以上区域种植根系发达、固土力强的灌木及草本植物(三叶草、紫花苜蓿、丁香),用其发达的根系直接加固土壤,抑制地表


Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

径流侵蚀。水陆交界处的消落带宜种植耐水湿、根系发达的挺水植物,其能耐受周期性水淹,又能截留岸坡径流中所挟带的污染物,净化水质。常水位以下水域则适宜种植沉水植物及浮叶植物,主动恢复水下森林,为水生动物创造适宜的栖息、觅食环境。形成层次分明、彼此衔接、功能互补的完整人工生态系统,增强河道生态系统自我调节、自我恢复的能力。

3.2生态材料与多孔隙生境构建

传统水利工程中大量使用的混凝土材料阻断了水土联系,导致生境破碎化。生态恢复设计要求采用具有多孔隙、透水性的生态材料,重构生物栖息地。生态护岸材料如格宾网箱、自嵌式植生挡墙、生态砌块等,其内部填充的块石、砾石或土壤,保留了大量的孔隙,为底栖动物、两栖类及鱼类提供了躲避、觅食与繁殖的场所。棕纤维生态垫、椰壳纤维网等材料作为岸坡防护的载体,具有良好的保水保土性能,逐渐降解为土壤养分,促进植物生长。在截流流道的护底设计中,可采用天然块石、卵石等材料替代部分混凝土,营造深潭-浅滩序列,增加河床底质的异质性。多孔隙结构还能促进地表水与地下水的交换,增强河道的自然净化功能,利用附着在材料表面的微生物膜降解水体中的有机污染物。

3.3人工湿地与生态浮岛技术应用

针对截流流道水体自净能力弱、生态系统单一的问题,引入人工湿地与生态浮岛技术是有效的生态恢复手段。人工湿地以土壤、植物、微生物三者协同作用为基础,以物理过滤、化学沉淀、生物降解机制高效去除水体中氮、磷及有机污染物,可在截流流道末端或两侧开阔处合理设计表面流或潜流人工湿地系统,基质选用粗砂、碎石等材料,严格控制水力停留时间及污染物负荷,种植净化能力强的水生植物,形成水质净化生态屏障。生态浮岛则适用于水位波动较大的截流流道区域,利用高分子材料或生态板材制成浮床,在水面种植挺水植物(如美人蕉、菖蒲)或浮叶植物。浮岛植物根系在水中形成巨大的生物膜网,直接吸收水体中的富营养物质,同时为水生昆虫、鸟类提供栖息地。浮岛还能通过遮挡阳光,抑制藻类的过度繁殖,防止水华发生。

3.4基底修复与土壤生物工程

截流流道在施工过程中往往受到严重扰动,原状土壤结构被破坏,肥力丧失,这直接影响了植被的定植与恢复。因此,基底修复是生态恢复设计的重要环节。首先要对施工迹地进行地形整治,清除建筑垃圾及硬化层,回填有利于植物生长的耕植土,对受污染的底泥予以原位修复或异位处置,杜绝二次污染。其次要采用土壤生物工程技术,让活体植物材料(柳枝、灌木层)与非活体材料(圆木、石块、椰纤网)合理结合,营造抗冲刷的生态护坡。例如,活灌木层技术通过将生根能力强的灌木枝条埋入岸坡土层中,随着枝条生根发芽,形成密集的根系网,起到加固土体、吸收水分的作用。在基质改良阶段适当添加有机肥、生物炭或微生物菌剂,改良土壤理化性质,激活土壤微生物群落,加速土壤熟化过程。为植物生长创造良好条件,同时为土壤动物及微生物的定殖提供适宜环境,触发生态系统恢复的级联效应。

## 4 结束语

人工河道截流流道的建设与治理是一项涉及水力学、岩土工程、生态学及景观美学的系统工程。本文通过对截流流道冲刷机理的深入剖析,揭示了高速水流剪切、涡旋淘刷及材料失效是导致工程破坏的主要原因。针对这些问题,提出了刚性、柔性防护措施,强调工程安全的基础地位。同时,结合当前水利发展政策与生态修复理念,构建以植物群落配置、生态材料应用、生境构建及基底修复为核心的生态恢复设计体系。未来的截流流道设计,应进一步摆脱单一工程视角的束缚,深入贯彻“绿水青山就是金山银山”的发展理念,将冲刷防护与生态修复有机融合,通过数值模拟优化设计参数,推广新型生态材料与技术,打造“河畅、水清、岸绿、景美”的生态型河道。

## [参考文献]

[1]王世栋.特大桥梁桥墩局部冲刷防护措施[J].工程技术研究,2026,11(02):132-134.

[2]杜圣康,赵冲,阮强蓓,等.航道疏浚下河道生态环境的恢复效果研究——以京杭运河苏南段为例[J].水运工程,2026,(01):189-200.

[3]张信.生态护岸技术在河道整治中的应用与稳定性研究[J].中国资源综合利用,2025,43(12):60-62.

[4]刘惠新.上海中小河道轮疏技术与维护管理探析[J].水利技术监督,2026,(01):233-236.

## 作者简介：

李欢(1980--),男,汉族,湖北省鄂州市人,本科,高级工程师,水利水电工程水工结构勘察设计。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.