

抗冲刷保护技术在河道水工建筑物中的应用

文 / 陈日华 深圳市水务规划设计院股份有限公司

摘要：河道水工建筑物在防洪、灌溉和航运等方面具有重要作用，其安全运行关乎国计民生，当前水流冲刷致工程损毁问题突出需系统性防护对策。本文以河道水工建筑物抗冲刷保护为切入，详细剖析常见冲刷问题，针对不同工程环境系统研究抛石防护、混凝土护砌、土工合成材料防冲及植被护岸等技术应用特征，通过实际工程案例深入探讨抗冲刷保护技术实施效果，为提升河道水工建筑物安全性与耐久性提供理论依据及工程借鉴。

关键词：河道工程；抗冲刷；防护技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.073

引言

当前水利工程建设进入高质量发展阶段，河道水工建筑物是重要的基础设施，水流冲刷对其基础、河床、岸坡造成的破坏日益凸显，严重制约工程效益发挥。我国河道特性复杂、水文条件多变，传统单一防护方式难满足工程需求，创新发展抗冲刷保护技术、优化技术实施方案对提升水工建筑物安全性具有重要实践意义。

一、河道水工建筑物常见冲刷问题

河道水工建筑物涵盖桥梁、堤防、护岸工程、渡槽、

水闸以及消能建筑物等，这些建筑物在长期运行中面临严重冲刷威胁，对工程安全构成重大隐患。水流与建筑物相互作用产生的局部冲刷问题突出，例如桥墩周围因水流分离形成马蹄涡会导致基础持续下切，水闸下游消能池末端常因消能不充分引发深度冲刷进而危及建筑物整体稳定性，弯道段护岸工程受横向环流影响易出现坡脚掏空现象，渡槽槽墩在含沙量较高河段极易发生基础局部冲刷，建筑物断面收缩区域因流速骤增会引发河床整体下切尤其在洪水期明显。表1为河道水工建筑物常见冲刷问题。

表1 河道水工建筑物常见冲刷问题

冲刷类型	主要形成机制	高风险部位
清水冲刷	剪切力 > 临界值且无泥沙补给	基岩河床桥墩基础
浑水冲刷	断面收缩致单宽流量骤增	桥梁压缩河段、渡槽出口
桥墩局部冲刷	马蹄涡剥离墩周泥沙	圆柱 / 方墩周围
收缩冲刷	过流宽度缩窄→平均流速上升	桥孔区、闸室下游
射流冲刷	高速水舌冲击河床→紊动剪切力剧增	挑流消能区、泄洪洞下游
横向环流冲刷	弯道螺旋流侧向掏刷	导流顺坝坝脚、弯道凹岸
岸坡连接处冲刷	急流顶冲或防护薄弱	顺坝坝根、护岸工程端部

水工建筑物冲刷问题的发展程度与水文条件密切相关，水流速度、含沙量、底层河床情况及流态特征皆有影响，如粉细砂地层抗冲能力弱而岩石或卵石河床抗冲性能强。工程设计缺陷也会加剧冲刷问题，一些工程中未充分考虑水流夹角或消能设施与泄量不匹配。人类活动一定程度也会改变河道自然状态，采石作业与施工围堰会显著影响局部水流特征。这些冲刷问题若未有效防治，将致建筑物基础裸露悬空、引发结构变形开裂甚至造成工程事故，建筑物局部冲刷深度在某些情况下可达

构筑物特征尺寸的2.4倍，对工程安全构成严重威胁。冲刷问题已成制约水工建筑物正常运行与使用寿命的关键因素，需采取科学有效防护措施^[1]。

二、抗冲刷保护技术在河道水工建筑物中的应用

(一) 抛石防护技术

抛石防护技术将级配合理的块石材料抛投至河道岸坡或河床底部，形成具有柔性特征的防护层结构。块石材料之间的空隙率保持在35%~45%，这种特殊的结构能够有效耗散水流能量。经过实验研究证实，抛石

防护层可使波浪爬高度降低 42% ~ 57%。块石之间形成的空间网络结构产生了显著的几何锁结效应，其摩擦系数达到 0.25 ~ 0.35。该技术对材料选择提出了严格要求，必须采用新鲜完整的岩石，其饱和抗压强度不低于 40MPa，干密度大于 2.60g/cm³。施工工艺上需在枯水期进行作业，采用 RTK 导航定位系统指导施工船只精准抛石。防护层的设计厚度应为粒径的 3 ~ 4 倍，最小厚度不小于 0.6m。该技术具备适应性强、自愈能力突出等优点，机械化施工效率可达到日均 1400t。在深水河段防护中表现优异，特别适用于水深超过 3m 的岸脚防护工程^[2]。

(二) 混凝土护砌技术

混凝土护砌主要涵盖现浇整体式结构与预制装配式构件这两大类型，其中现浇整体式结构采用连续浇筑工艺，具有极强的整体抗渗性能。为确保其护砌结构的耐久性及抗冲刷性能，混凝土材料设计应严格遵循相关技术规范，在主体结构区域采用不低于 C20 强度等级混凝土，水流速度较大区域需使用 C30 及以上强度等级，混凝土配合比设计中水胶比宜控制在 0.25 ~ 0.35 之间并适当掺加钢纤维或硅粉等添加剂以提升结构的抗裂性与耐久性。施工工艺上现浇混凝土护砌技术需着重关注基

面处理与养护环节，基面应充分凿毛并高压冲洗且养护期不少于 14d。预制装配式护砌技术施工速度快，施工质量易于控制，但对基面平整度要求较高。在钢筋防护设计方面保护层厚度应不小于 10cm，钢筋布置宜平行于水流方向。护砌结构需要进行定期检测，以碳化深度检测与钢筋锈蚀监测作为主要评估手段。混凝土护砌结构具备优异的抗冲磨性能，在 5m/s 以上高速水流条件下仍能保持良好的防护效果且设计使用寿命可达 50 ~ 100a，但该技术在生态环境方面存在一定局限性，会对水土交换产生不利影响，一旦出现破损维修成本相对较高，实际工程应用中需结合具体水文条件、地质特征以及生态环境要求来合理选择护砌形式并制定完善的维护方案。

(三) 土工合成材料防冲技术

土工合成材料防冲技术运用聚合物制品建立物理性防护屏障。此类防冲技术依托材料的隔离效应和反滤机制，能够阻挡水流对土体的直接冲刷作用，确保水流通过时土颗粒得以保留。采用土工合成材料进行防护不仅可增强土体抗拉强度，还能提升整体工程的稳定性。现阶段常用的土工合成材料可分为格栅网石笼、沉枕及土工模袋三大类。表 2 为常用的土工合成材料。

表 2 常用的土工合成材料

类型	结构形式	适用流速	适用场景
土工格栅 / 土工网石笼	箱形 / 圆柱形结构，填充块石或卵石	4-5 m/s	临时工程、无滚石河段
土工合成材料沉枕	土工布缝制管袋填充砂石料	4-5 m/s	丁坝、顺坝等冲刷严重区域
土工模袋	填充水泥砂浆或混凝土，厚度按需设计	砂浆：2-3 m/s；混凝土：>3 m/s	坡度 ≤ 1:1.5 的护坡

格栅网石笼呈箱形或圆柱形结构，内部填充块石或卵石，适用于 4 ~ 5m/s 流速的临时工程。土工合成材料沉枕采用土工布缝制管袋并填充砂石料制成，可应用于丁坝及顺坝等冲刷严重区域。土工模袋技术使用水泥砂浆或混凝土填充，能够根据实际需求调整厚度，适合坡度不超过 1:1.5 的护坡工程。在施工工艺方面，软体排防冲技术借助排体压载加固方式适应河床变形，模袋护坡工艺采用泵送方式填充砂浆或混凝土，网石笼施工则需完成格栅组装并填充石料后整体沉放。土工合成材料防冲技术具备施工便捷、工期短的特点，其成本低于传统石材防护。这类材料具有优良的耐腐蚀性及抗老化性能，使用寿命可达 20 ~ 50a，且柔韧性突出，能够较好地适应地基变形。现代土工合成材料在高流速水域的

应用中表现出色，其中 HDPE 土工膜和 PVC 土工膜具备良好的防渗性能，配合土工织物可达到加固效果。400g/m² 规格的土工织物铺设垫层，辅以 50 ~ 100cm 的搭接长度，能显著提升护坡结构的抗冲击能力。但该技术也存在接头处理复杂及抗穿刺能力较弱等不足，工程人员在设计施工时需充分考虑这些因素。基于技术特点，该防护方案适合应用于流速大于 3m/s 的护坡及堤脚防护工程，在临时抢险或需要快速施工的项目中具有明显优势^[3]。

(四) 植被护岸与生态工程技术

植被护岸与生态工程技术基于生态学理论，是将活体植物系统应用于河道水工建筑物防护工程中。该技术充分发挥植被在水文效应及力学效应方面优势，凭借植物茎叶有效截留降雨、削弱溅蚀作用，依靠根系固土加

筋以增强岸坡稳定性。在植被配置上要构建多层次植物群落，深根系乔木刺槐、河柳可达2~3m深度能为岸坡提供深层稳定作用；中层灌木紫穗槐、沙棘根系分布在30~60cm区间具备良好中层锚固效果；浅层草本狗牙根、百喜草等可有效防止表层土壤流失。生态护岸结构形式呈多样化，空心混凝土块、生态砖等多孔隙结构为植物生长创造适宜环境。图1为河岸护坡生态砖。



图1 河岸护坡生态砖

三维植被网、生态袋护岸技术也在实践中成效显著。植被护岸工程施工需重点关注根系培育环境，合理控制播种及插枝密度促进植物根系充分发育，部分工程用凹槽填充树枝方式进一步增强抗冲能力。该技术在长期成本和维护需求方面优势明显，但植被生长周期长需耐心等待其充分发挥防护作用。植被护岸主要适用于流速不超过3m/s河段，高流速区域要结合传统工程措施防护。其不仅能提升河道生态系统自净能力，还能显著改善水域生物多样性、创造良好景观效果^[4]。

三、案例分析

(一) 工程背景

某二级公路跨河桥梁工程位于复杂地形区域，该地区水文地质条件特殊，汛期洪水频发。2023年特大暴雨导致河道内拦砂坝遭受强烈冲刷并发生倒塌，引发河床整体下陷。因河床持续下切，1号桥墩护岸构造物失去支撑发生倒塌，造成桥墩桩基外露约3.5m，工程安全形势严峻。

(二) 抗冲刷保护措施分析

工程处治采取系统性分析评估方法。技术人员深入研究桥梁技术状况评定报告，重点关注桥墩位移变形情况。检测数据表明桥墩未出现明显偏移现象，支座运行状态正常，桥面结构完好。查阅竣工资料确认该桥采用

端承桩基础形式。结合现场勘查结果，工程团队发现尽管桩基暴露严重，但桥梁整体结构体系受力状态维持稳定。基于前期勘察评估结果，项目组制定了针对性保护方案。在桩基防护设计中创新运用C20混凝土护面墙技术，有效解决桩基暴露问题。河床防护设计中布置下游C20混凝土拦砂坝工程，实现河床标高抬升目标，巧妙保护桩基稳定性。方案执行过程紧密结合现场实际条件。鉴于桥梁桩基后方填土稳定性良好，护岸墙采用平行四边形断面设计，既便于施工操作又节约工程造价。墙体顶部增设宾格石笼结构，提升桩基墩柱覆土深度，构建出经济性与安全性兼具的复合防护体系。拦砂坝结构选用重力式断面形式，背坡设计为主迎水面，减轻水流冲击力对基础产生影响。护岸墙与拦砂坝基础均位于计算冲刷线1.5m以下，确保地基承载力达到250kPa设计要求。整个工程体系构建了多重防护屏障，充分发挥各构件协同作用。

(三) 效果评价

该工程抗冲刷保护措施实施后取得显著成效。防护体系运行期间经受多次洪水考验，桥墩基础稳定性得到有效保障。拦砂坝成功控制了河床下切趋势，护岸墙结构完整性保持良好。工程方案实现了较高的性价比，维护成本处于合理水平。生态环境影响评估结果表明，该防护措施对河道自然环境扰动程度较小，体现了工程建设与生态保护相协调的理念。

结语

河道水工建筑物抗冲刷保护技术体系日趋完善，新材料、新工艺不断涌现，为工程建设提供了丰富的技术选择。科学选择和优化组合各类保护技术，对提升工程安全性和耐久性具有重要意义。未来应加强新型材料研发，深化生态环保技术创新，建立完善的技术评价体系。同时注重因地制宜，合理统筹工程安全、生态效益和经济性，推动抗冲刷保护技术在河道水工建筑物中的规范化应用，为水利工程高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 高鸿磊, 曹湘英. 河道整治岸坡护砌方案的优选研究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(07): 61-64.
- [2] 王乙堪, 戴惠民. 抛石护岸技术在海岸防护中的应用与效果分析[J]. 珠江水运, 2025, (08): 115-117.
- [3] 黄岳文. 土工合成材料在广州水利工程中的应用介绍[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(02): 120-125.
- [4] 杨海斌, 王敬元, 颜盼. 城市生态河道边坡治理措施研究[J]. 江西建材, 2024, (11): 248-250.