

山区河道生态护岸结构选型与工程效果分析

卢紫娟

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：山区河道生态护岸结构选型直接关系到河道稳定性与生态系统修复成效。针对山区河道水流湍急、岸坡陡峭及地质条件复杂等特征，围绕结构安全性、生态适宜性与工程经济性构建选型原则，比较格宾石笼、生态混凝土护岸与植物护坡等常见形式的适用条件与技术要点，并结合工程效果对护岸结构的防冲稳固能力与生态恢复水平进行分析。结果表明，因地制宜的复合型生态护岸结构能够实现防洪安全与生态功能的协调统一。

【关键词】：山区河道；生态护岸；结构选型；工程效果

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.105

引言

山区河道兼具防洪排涝与生态涵养双重功能，其岸坡稳定与生态完整性直接影响流域安全与区域环境质量。传统刚性护岸虽能在短期内增强抗冲能力，却易削弱河岸生态系统活力。如何在保障结构安全时恢复河道自然属性，成为山区水利工程建设中的重要议题。围绕生态护岸结构的合理选型与工程效果展开分析，有助于明确不同结构形式在复杂山区条件下的适用性，为后续工程设计与实践提供技术依据。

1 山区河道生态护岸建设面临的主要问题

1.1 水流条件复杂对岸坡稳定性的影响

山区河道纵坡大、比降陡，洪水过程集中且历时短，水流呈现高流速与强紊动特征，近岸区常形成剪切应力峰值区与回流涡旋带，导致岸坡表层土体发生冲刷剥蚀。洪峰期间流态由缓流迅速转为急流，水位涨落频繁，岸坡孔隙水压力随之波动，易引发渗透破坏与坡脚淘刷，削弱整体稳定性。部分河段存在弯道水动力偏移现象，主流线外移造成凹岸冲刷强烈，岸坡稳定系数明显下降。在冻融循环与暴雨叠加影响下，坡面结构松散，抗剪强度降低，进一步放大水动力对护岸结构的冲击效应。

山区河道床沙级配不均，推移质与悬移质含量较高，水流携带的大粒径块石对岸坡及护岸结构产生撞击荷载，形成局部应力集中。坡脚一旦形成冲刷坑，岸坡土体失去支撑条件，可能出现滑塌或拉裂破坏，进而危及整体结构安全。河道纵向冲淤变化还会改变设计基床高程，使既有护岸基础暴露或失稳。针对上述水动力与地质耦合作用，应在结构选型中充分考虑抗冲刷强度、基础埋深及消能措施布设，通过水力计算与稳定性验算提高护岸体系的安全储备，保障山区河道生态护岸的长期稳定运行。

1.2 传统护岸结构生态功能缺失现状

长期以来，山区河道治理多采用浆砌石挡墙或混凝土重力式护岸，结构形式以刚性封闭为主，强调抗冲与防洪能力，却忽视河岸生态系统的完整性。硬质材料大面积覆盖岸坡，阻断了土壤与水体之间的物质交换过程，削弱河岸带的生物栖息功

能^[1]。河岸植被根系难以穿透密实结构层，生态基质贫乏，水生与陆生物种的过渡带遭到压缩，生境多样性明显下降。水体在光滑护岸表面形成反射流与局部冲刷，进一步改变原有水动力条件，加剧河道形态单一化趋势。

刚性护岸对河流自然演变过程产生约束，河床与岸坡失去自我调节能力，生态系统的自净功能与恢复潜力受到限制。护岸表面温度受太阳辐射影响波动较大，热量传递至水体后改变局部水温环境，不利于敏感水生生物生存。结构内部缺乏孔隙空间，无法为微生物附着与水生植物扎根提供条件，导致生态链条断裂。山区河道在暴雨径流作用下泥沙含量高，刚性界面易形成冲刷反弹效应，使水流能量集中于局部区域，反而增加下游冲淤风险。生态功能缺失影响景观品质，也制约河道综合治理目标的实现，促使护岸结构向生态化与复合化方向转型。

1.3 地质与施工条件对结构选型的制约

山区河道沿线地质构造复杂，岩土类型差异显著，常见碎石土、卵砾石层及强风化岩体交互分布，地基承载力与变形模量存在较大波动。部分河段覆盖层厚度有限，基岩裸露或节理裂隙发育，岸坡整体稳定性受结构面控制明显，抗滑安全系数对开挖扰动高度敏感。软弱夹层与松散堆积体在高含水状态下抗剪强度下降，易形成浅层滑移面，对护岸基础处理提出更高要求。地下水位变化频繁，渗流场复杂，若结构选型未充分考虑排水与反滤系统配置，可能引发管涌或基底淘空，影响护岸整体受力体系。地震动作用下，块石与填土结构存在动力响应差异，需通过动力稳定分析与抗震验算优化结构形式，确保在不良地质条件下仍具备可靠的安全储备。

施工条件同样对生态护岸结构选型形成约束。山区交通不便，材料运输距离长，大型机械进场受限，场地布置空间狭窄，施工组织需兼顾安全与效率。汛期施工窗口期短，水位波动对基坑开挖与围堰布设产生干扰，若采用整体浇筑式刚性结构，施工风险与成本显著增加。生态护岸往往需要分层填筑、设置透水垫层及植物基质层，对工序衔接与质量控制要求较高。高陡边坡作业环境下，脚手平台稳定性与人员安全防护成为关键因素。材料来源也影响结构形式选择，块石级配、钢丝网耐久

性能及土工材料抗老化指标均需结合现场条件综合评估。合理匹配地质特征与施工技术能力,能够在保障结构安全的前提下提升生态功能,实现山区河道生态护岸工程的可实施性与长期稳定性。

2 山区河道生态护岸结构选型原则与技术路径

2.1 结构安全性与抗冲稳定性控制要点

山区河道生态护岸结构在选型过程中需以水力条件与岸坡受力特征为基础进行系统论证。设计阶段应通过洪水频率分析确定控制水位与设计流速,结合二维水动力数值模拟计算近岸区床面切应力与流速分布,明确冲刷敏感区段。在结构布置上,应保证坡脚设置足够埋深,并通过抛石护脚或设置抗冲槽形成消能缓冲带,降低主流冲击强度。护岸坡比需结合岸坡土体内摩擦角与黏聚力参数进行稳定性验算,采用极限平衡法或有限元分析计算安全系数,避免出现滑移破坏与倾覆失稳。对于高流速河段,可采用块石格宾或连锁式护面结构,通过柔性变形能力分散水动力荷载,增强整体抗冲稳定性。

结构构造层次应形成完整的力学传递体系。护面层需具备一定孔隙率,以减小水流反射与掏刷效应,在其下设置反滤层与垫层,防止细颗粒流失导致管涌现象。排水孔与透水管布置应满足渗流计算要求,使岸坡内外水头差保持在可控范围内,降低孔隙水压力对稳定性的影响。施工阶段需严格控制填料压实度与块石级配,确保结构整体性与抗剪强度达到设计指标。通过水力参数控制与结构细部优化相结合,可在复杂山区水动力条件下实现生态护岸的安全运行与长期抗冲能力。

2.2 生态功能提升与植物配置方式

生态护岸结构在满足安全要求的基础上,应强化河岸带生态系统的恢复与重建能力。岸坡表层宜采用透水性良好的生态基质,增加土体孔隙率与含氧量,为植物根系生长提供稳定环境。结构表面可预留种植槽或生态孔穴,形成立体化绿化空间,促进水陆交错带生境扩展^[2]。水位变幅区应选用耐淹耐旱能力较强的乡土植物种类,通过群落配置提升群落稳定性与抗逆性。植物根系对土体具有加筋作用,其根系抗拔强度与土体黏聚力叠加,可提高浅层稳定性并减缓坡面侵蚀。

植物配置需兼顾生态演替规律与景观协调性。乔、灌、草复层结构能够增强群落结构多样性,提升生物栖息空间与生态服务功能。水生挺水植物与沉水植物的合理布设,有助于改善水体溶解氧条件并吸附悬浮颗粒,增强河道自净能力。植物栽植密度应依据坡面坡度与土壤肥力进行优化,避免过密导致养分竞争或过疏影响覆盖效果。结合生态监测数据对成活率与生长状况进行动态调整,可逐步形成稳定的河岸生态系统,使护岸结构兼具防护与生态修复功能。

2.3 复合型生态护岸结构的优化组合

山区河道条件多变,单一结构形式难以兼顾安全与生态需

求,复合型生态护岸成为合理选择。将柔性块石结构与生态植被系统结合,可在满足抗冲要求时保留一定变形能力,适应河床冲淤变化。坡脚区域采用抗冲性能较强的抛石或格宾结构,坡面过渡区设置植生袋或生态框架,形成由刚到柔的结构梯度,降低应力集中。不同材料的界面连接需通过锚固构件或钢筋网片加固,保证整体协同受力,避免界面脱开影响稳定性。

优化组合还需结合河段功能定位与景观需求进行分区设计。洪水主槽区域以抗冲结构为主,滩地与缓坡区侧重生态植被恢复,形成分级防护体系。材料耐久性与环境适应性同样是组合设计的重要因素,镀锌或覆塑钢丝网应满足抗腐蚀指标,生态基质需具备良好的保水与透水性能。通过模块化设计与标准化施工流程,可提高工程实施效率并降低维护成本。多种结构形式协同配置,有利于构建稳定、安全且具有生态韧性的山区河道护岸体系,实现工程效果与生态效益的协调统一。

3 生态护岸工程效果分析与综合评价

3.1 防洪稳岸效果对比分析

山区河道生态护岸工程的防洪稳岸能力需通过水文资料与实测断面数据进行系统比对。不同结构形式在洪峰流量作用下的表现存在明显差异,刚性重力式结构依靠自重与基础埋深抵抗冲刷,短期内稳固效果显著,但在高流速与床沙冲淤变化条件下易出现基础暴露现象。柔性格宾或块石护岸通过结构整体联结与孔隙消能作用分散水流冲击力,可降低近岸区流速梯度与床面切应力峰值。建立典型断面水力模型,对比洪水前后河床高程变化与岸坡位移量,可评估不同护岸形式在抗冲刷与控制河势方面的实际效果。

现场监测资料显示,复合型生态护岸在坡脚设置抗冲结构、坡面布置植被体系后,岸坡稳定系数保持在设计控制范围内,冲刷深度明显小于单一刚性结构。水流在透水护面上产生渗透消能效应,削弱回流涡旋对岸坡的掏蚀强度。洪水过后岸坡变形量与裂缝发展情况可作为评价指标,结合安全系数反算结果,对工程稳岸效果进行量化分析。多类型结构对比结果表明,在满足设计洪水标准条件下,兼顾消能与加筋作用的生态护岸体系更有利于维持河岸长期稳定。

3.2 生态恢复与景观改善成效评估

生态护岸实施后,河岸带植被覆盖率与群落结构成为衡量恢复成效的重要指标。通过样方调查与生物多样性指数计算,可分析不同结构形式对植物群落演替的影响程度。透水型护面与生态基质层为植物根系提供稳定生长空间,促进本土物种定植与扩展^[3]。水陆交错带生境的形成改善了两栖类与水生昆虫的栖息条件,食物链结构逐步完善。对水体理化指标进行监测,溶解氧含量与透明度提升反映出生态系统自净能力增强,表明护岸结构在维持水环境质量方面发挥积极作用。

景观效果评估可结合视觉分析与公众满意度调查展开。自

然式护岸线形与植被层次形成连续绿色廊道,弱化人工结构的突兀感,增强河道空间的整体协调性。乔灌草复合群落构成多层次景观界面,季相变化丰富区域景观表现力。岸坡绿化覆盖后,地表温度波动幅度减小,局部微气候得到改善。综合生态指标与景观评价结果,可判断生态护岸在提升河道环境品质方面的实际成效,并分析植被覆盖变化、水体理化参数改善程度及生物多样性指数提升幅度,对河岸带生态系统结构与功能恢复水平进行量化评估,从而为结构形式调整、植物配置优化及后续养护管理方案制定提供更加科学、可靠的数据支撑。

3.3 工程适应性与长期运行稳定性分析

山区河道水文情势具有明显年际差异,护岸结构需具备较强的适应能力。长期观测河床冲淤演变与岸坡沉降数据,可分析结构对河势调整的响应特征。柔性生态结构在局部变形条件下仍能保持整体连续性,避免因刚性约束导致应力集中破坏。结构耐久性受材料抗腐蚀性能与环境因素共同影响,钢丝网防腐层厚度与块石风化程度需纳入寿命预测模型。定期开展结构安全检测与稳定性复核,有助于评估工程在多年运行中的安全储备变化,并及时掌握护岸结构的变形发展、基础冲刷状况及材料耐久性衰减情况,为后续加固维护与运行管理决策提供

科学依据。

运行维护管理同样关系到工程稳定性。植物群落生长状况与根系发育程度直接影响浅层加筋效果,应通过补植与修剪维持合理覆盖度。排水系统畅通与否决定岸坡内部水压力分布,需定期清理淤堵物,确保反滤层功能正常。极端暴雨与山洪事件发生后,应对护岸结构进行专项检查,评估护面完整性与基础冲刷情况。结合监测数据与运行记录进行综合分析,可判定生态护岸体系在复杂山区环境中的适应水平与长期稳定性能,并系统识别结构受力变化趋势、冲淤演变规律及植被生长对坡面稳定的影响程度,进而优化运行管理措施与结构细部设计参数,为后续同类河段生态护岸工程的规划布局与技术选型积累可借鉴的实践经验。

4 结语

本文围绕山区河道生态护岸结构选型与工程效果展开系统分析,从水动力特征、地质条件及施工环境等方面阐明结构选择依据,并对防洪稳岸能力、生态恢复成效与长期运行稳定性进行综合评价。研究表明,兼顾安全性与生态性的复合型护岸结构更契合山区河道治理需求,可实现工程效益与生态效益的协调统一,为类似工程建设提供技术参考。

参考文献:

- [1] 卫天雨.河流新型生态护岸形式有效性数值模拟研究[J].黑龙江水利科技,2024,52(10):18-21.
- [2] 郭美平.水利工程河道治理护岸防护施工技术分析[J].技术与市场,2021,28(06):123-124.
- [3] 张桂荣,周成,何宁,等.河流岸坡生态防护理论与实践[M].中国水利水电出版社:2020:183.