

# 山区河道治理中岸坡防护结构设计及稳定性分析研究

周启玉 彭祖钰 黄光源 覃晓艳 林雅兰  
宜昌清江水利水电设计有限公司, 湖北 宜昌 443500

[摘要]受独特地形地貌与多变水文状况影响,山区河道岸坡稳定性问题突出,防护结构设计成为保障河道安全的关键,研究对重力式挡土墙、石笼网、植被防护等防护结构类型展开全面剖析,详细阐述各自特性与适用条件,同时着重探究水文、地质等因素对岸坡稳定性的作用机制,采用极限平衡分析、数值模拟等技术手段,系统评估岸坡稳定性,并针对性提出结构优化措施及新材料应用方案,为山区河道岸坡防护工程建设提供可靠理论支撑与实践指导。

[关键词]山区河道;岸坡防护;结构设计;稳定性分析;优化策略

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16896

中图分类号: TV139.2

文献标识码: A

## Research on the Design and Stability Analysis of Bank Slope Protection Structures in Mountainous River Management

ZHOU Qiyu, PENG Zuyu, HUANG Guangyuan, QIN Xiaoyan, LIN Yalan  
Yichang Qingjiang Water Conservancy and Hydropower Design Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443500, China

**Abstract:** Due to the unique terrain and varied hydrological conditions, the stability of mountain river bank slopes is prominent, and the design of protective structures has become the key to ensuring river safety. This study comprehensively analyzes the types of protective structures such as gravity retaining walls, gabion nets, and vegetation protection, elaborating on their respective characteristics and applicable conditions. At the same time, it focuses on exploring the mechanism of hydrological and geological factors affecting bank slope stability. By using techniques such as limit equilibrium analysis and numerical simulation, the stability of bank slopes is systematically evaluated, and targeted structural optimization measures and new material application schemes are proposed to provide reliable theoretical support and practical guidance for the construction of mountain river bank slope protection projects.

**Keywords:** mountain rivers; bank slope protection; structural design; stability analysis; optimization strategy

### 引言

山区河道地势崎岖且形态多变,水流态势复杂难测,致使岸坡持续承受强烈侵蚀冲刷,经年累月之下,滑坡、坍塌等地质灾害隐患不断累积,对区域生态环境及民众生命财产安全形成巨大威胁,伴随生态保护意识日益增强,合理规划岸坡防护结构并确保其稳固性,已成为河道综合治理的核心要务,现阶段针对防护结构优化与稳定性精确研判的研究尚存短板,亟待展开更为深入的探索,以此推动山区河道岸坡防护技术体系的健全与完善。

### 1 防护结构类型

表1整合工程实践成果与理论研究结论,对重力式挡土墙、石笼网、植被防护三种常用防护结构展开对比剖析,

借此直观展现各结构特性(见表1)。

#### 1.1 重力式挡土墙结构

重力式挡土墙作为经典传统防护结构,凭借自身重力抵御土体侧压力,构成抗滑主力,此结构构造简约,施工便利,多以浆砌石或混凝土为建材,于山区河道,若土质坚实,岸坡高度8米以内且坡度陡峭,该挡土墙防护效能得以充分彰显,凭借较大断面尺寸,墙体产生充足抗倾覆力矩,有效抗衡土体侧压力,其断面多呈梯形,墙背依实际需求,设计为仰斜、直立或俯斜等样式,地势开阔、土体侧压力小的区域,仰斜式墙背可削减圪工量、改善受力;地形狭窄、需承受较大侧压力处,俯斜式墙背更能强化墙体稳固性,依地形差异选用适宜形式,实现结构稳定性提升。

表1 山区河道常见岸坡防护结构特性对比表

结构类型	结构特点	主要材料	适用条件	优点	缺点
重力式挡土墙	依靠自身重力抵抗土体侧压力,断面多为梯形	浆砌石、混凝土	土质坚实,岸坡高度不超过8m且坡度较陡区域	结构简单,施工便捷,抗滑、抗倾覆能力强	圪工量大,对地基要求高,生态性差
石笼网防护	由高强度钢丝网笼填充石料构成,具柔韧性及透水性	高强度钢丝、石料	水流速度大、岸坡易受淘刷河段	适应变形能力强,抗冲刷效果好,就地取材降低成本,利于植被生长	耐久性受钢丝材质影响,长期受冲刷后石料可能移位
植被防护	利用植物群落固土护坡,构建乔灌草复合系统	草本、灌木、乔木等植物	坡度较缓、生态敏感区域	生态效益显著,改善环境,成本较低	防护效果见效慢,初期需养护,单一使用不适用于高流速河段

## 1.2 石笼网防护结构

高强度钢丝精细编织成网笼,内填石料构成石笼网防护结构,其显著特点是柔韧性佳,这种特性使其能从容应对山区河道岸坡因地质变动引发的不均匀沉降和变形,石笼网特殊的孔隙构造,允许水流通过,有效缓冲水流冲击力,显著减轻对岸坡的冲刷侵蚀,在水流湍急、岸坡易遭淘刷的河段,石笼网内石料相互嵌固,形成坚固防护面,有力抵御水流侵袭,某山区急流河道采用石笼网防护后,岸坡冲刷状况明显好转。

## 1.3 植被防护结构

植被防护借助植物群落生态效能达成岸坡防护目的,草本植物生长迅猛,浅根系分布密集,能迅速覆盖坡面,有效降低雨水溅蚀损害;灌木根系发达扎得深,大幅提升固土效能;乔木凭借庞大复杂的根系网络,稳固深层土体,于山区河道坡度较缓、生态脆弱地带,植被防护可与其他防护结构搭配运用,植物选种时,优先考虑耐旱耐瘠薄、固土能力强的本土品种,打造乔灌草复合植被体系,该体系既能有力防治坡面水土流失,又能营造良好生态环境,为水生生物提供栖息场所,推动河道生态系统平衡稳定<sup>[1]</sup>。某山区河道生态修复工程里,复合植被体系建成后,河道周边生态显著改善,生物多样性大幅增加。

## 2 设计要点考量

### 2.1 水文条件分析

山区河道水文情势复杂多变,是防护结构设计不可回避的关键要素,洪水期,大流量、高流速水流对防护结构形成强烈冲刷,需广泛收集历史洪水数据,借助前沿流域水文模型,精准测算不同频率洪水的流量、流速及水位波动,枯水期水位消落,岸坡土体在干湿循环影响下,力学性质易生变化,水流流向与弯道环流,会加剧岸坡特定部位冲刷,常见弯道凹岸冲刷、凸岸淤积现象,防护结构设计须综合考量各类水文状况,合理确定结构抗冲刷能力、基础埋置深度与防护范围。

### 2.2 地质条件评估

岸坡防护结构的稳定性与适用性,很大程度受制于地质条件,项目筹备阶段,需对岸坡开展全面细致的勘察,内容涉及土层分布、岩土类别、风化状况及地下水情形等多个维度,针对土质岸坡,土的黏聚力、内摩擦角、压缩模量等物理力学指标,是衡量土体抗剪强度与承载性能的核心要素;岩石岸坡则应重点评估岩石节理发育程度、完整状态及风化深度,地下水会改变土体重量与抗剪强度,提升孔隙水压力,容易诱发岸坡失稳,系统的地质勘察工作,能够为防护结构选型、基础设计及稳定性分析提供精准数据依据。

### 2.3 生态与经济平衡

山区河道治理进程中,生态保护和经济成本的平衡不可或缺,防护结构设计当以生态理念为先导,优先采用环

境友好型材料及技术,尽可能降低对河道生态系统的干扰,选用可降解土工合成材料,其在完成防护任务后能自然分解,不产生长期环境污染;或者采用多孔生态混凝土,凭借其独特孔隙结构为动植物营造栖息繁衍场所<sup>[2]</sup>。同时依据当地资源禀赋,择选经济实用的防护方案,切实削减材料运输与施工开支,经细致优化设计,规避防护过度引发资源浪费,力求在保障防护功能的前提下,充分释放生态与经济效益。

## 3 稳定性影响因素

### 3.1 土体力学特性

土体力学特性是左右岸坡稳定性的核心内因,黏聚力和内摩擦角作为衡量土体抗剪强度的重要参数,意义重大,黏聚力数值越高,意味着土体颗粒间的黏结作用越强,土体相对滑动的可能性越低;内摩擦角越大,则土体抵御剪切滑动的能力越强,土体含水量波动显著改变其力学性能,含水量上升时,土体黏聚力与内摩擦角减小,重度却随之增加,多重变化共同作用致使岸坡稳定性降低,土体压缩性与渗透性也会对岸坡稳定造成影响,高压缩性土受荷后易出现沉降变形,渗透性强的土体在地下水影响下,可能引发渗流破坏,威胁岸坡安全。

### 3.2 水流冲刷作用

山区河道水流流速迅猛、流量波动剧烈,致使其对岸坡的冲刷作用极为强劲,水流冲刷岸坡主要呈现面流冲刷与淘刷两种形态,面流冲刷体现为水流顺坡面流动,持续侵蚀坡面土体;淘刷多发生于坡脚,水流涡流不断裹挟坡脚土体,冲坑渐成,大幅削弱岸坡支撑能力,河道弯道处,环流致使凹岸冲刷加剧,凸岸出现泥沙淤积,洪水期间,高流速水流挟带大量泥沙,磨损防护结构表面,致使其稳定性下降,诸多山区河道经多次洪水侵袭后,防护结构表面可见明显磨损痕迹。

### 3.3 地形地貌与外部荷载

地形地貌对岸坡稳定性有着不可小觑的影响,岸坡坡度与高度左右着土体自重应力分布格局,坡度陡峭、高度增加,土体承受的下滑力随之增大,岸坡稳定状况堪忧,特殊的坡面形态,像台阶状坡面、陡崖之类,会改变土体应力集中态势,致使局部应力过高,提升岸坡失稳概率<sup>[3]</sup>。地震冲击、车辆荷载等外部作用,同样可能触发岸坡失稳状况。

## 4 稳定性分析方法

### 4.1 极限平衡法原理与应用

极限平衡法以土体达到极限平衡状态为理论根基,构建力与力矩平衡方程,精确求解岸坡安全系数,实际运用时,将滑动土体分割成多个土条,逐一核算各土条下滑力与抗滑力,再综合得出滑动面整体安全系数,瑞典圆弧法、毕肖普法等是该方法的常见类型,瑞典圆弧法预设滑动面呈圆弧形态,计算流程简洁,适宜地质条件单纯的岸坡;毕肖普法纳入土条侧向力影响,计算结果更贴合实际受力,

极限平衡法多应用于简单均质土坡,或可近似简化为均质土坡的岸坡稳定性评估。

#### 4.2 数值模拟技术优势

依托有限元、离散元等专业软件,数值模拟法可精细再现岸坡在复杂工况下的力学响应,有限元法把岸坡剖分为大量有限单元,求解各单元应力、应变及位移,以可视化形式展现岸坡内部应力分布与变形特征,离散元法在处理颗粒介质运动及相互作用方面独具优势,特别适用于石笼网等颗粒材料构成的防护结构稳定性研究,数值模拟技术能综合考量土体非线性特性、复杂边界条件和多种荷载组合,克服极限平衡法的不足,为岸坡稳定性分析提供更丰富、详实的数据支撑。

#### 4.3 监测分析方法实施

于岸坡关键位置合理布设位移、应力、孔隙水压力等监测设备,监测分析法得以实时采集岸坡变形数据,全站仪用于精准测定位移,土压力计实现土体应力精确量测,渗压计完成孔隙水压力测量,这些都是常见监测方式<sup>[4]</sup>。深入剖析监测数据,可及时察觉岸坡异常变形倾向,进而对岸坡稳定性作出准确评估,监测所得数据还可检验稳定性分析方法的可靠性,为后续设计优化筑牢数据根基。

### 5 结构优化策略

#### 5.1 结构形式创新组合

在山区河道岸坡防护的实际工程场景中,单一防护结构受限于自身特性,难以全方位应对复杂环境挑战,将不同类型防护结构进行科学搭配与有机组合,能够实现优势互补,充分发挥协同防护效能,坡顶区域采用植被防护,草本、灌木与乔木错落种植,其纵横交织的根系如同天然的“锚固体系”,深入土壤内部,有效加固表土,显著降低坡面水土流失风险,同时为生态系统增添绿色屏障,坡身部分选用石笼网防护,高强度钢丝编织的网笼内填充石料,结构柔韧且孔隙独特,既能在水流冲击下灵活形变,又能通过透水特性消散水流能量,抵御急流冲刷对岸坡的侵蚀,坡脚处设置重力式挡土墙,依靠自身巨大重力与稳固结构,形成坚实的抗滑支撑,防止坡脚土体被水流淘刷带走,稳固岸坡根基,这种组合式防护结构从坡顶到坡脚层层设防,构建起立体防护体系,不仅大幅提升岸坡整体稳定性,还兼顾生态保护与工程防护双重效益,为山区河道的长治久安提供可靠保障。

#### 5.2 新型材料研发应用

新型材料的研制与推广是增强防护结构性能的关键所在,生态混凝土凭借其独特的多孔结构,具备优良的透水透气性能,不仅能有效维持防护结构的强度与耐久性,还能在表面及孔隙间为植被生长营造适宜环境,随着植物根系的延伸与盘结,生态混凝土与植被共同构成一道柔性防护屏障,助力生态修复的同时增强岸坡稳定性,土工格

栅、土工格室等高强度土工合成材料,通过与土体深度融合,形成复合加筋体系,可显著提升土体的整体性与抗剪能力,在应对高填方、软土地基等复杂工况时发挥重要作用,纳米材料的运用则为防护材料性能提升开辟新路径,其极小的粒径与独特的物理化学性质,可大幅提升防护材料的耐腐蚀与抗老化性能,有效延长结构使用寿命,在新型材料研发及应用过程中,需紧密结合山区河道高侵蚀性水流、强风化地质等特殊环境,通过长期性能测试与优化改进,保证材料在长期使用过程中的性能稳定可靠,同时最大限度减少对生态环境的负面影响,实现工程效益与生态效益的有机统一。

#### 5.3 施工工艺改进完善

科学先进的施工工艺是确保防护结构质量的核心要点,贯穿工程建设全流程,对防护效果起着决定性作用,在基础施工阶段,需依据详细的地质勘察数据,因地制宜地选用适配的地基处理手段,对于软弱地基,采用换填法将软土替换为强度高、稳定性好的砂石或灰土材料,重塑地基承载能力;针对密实度不足的地基,运用强夯法通过重锤的反复夯击,增强土体密实度与抗剪强度,为上部防护结构筑牢根基<sup>[5]</sup>。石笼网防护结构施工过程中,石料填充质量与网笼连接工艺是重中之重,选用粒径均匀、质地坚硬的石料,保证填充密实度,使石笼在水流冲击下仍保持整体稳定;采用专业的锁扣或绑扎技术,确保网笼各节点牢固连接,防止石料散落影响防护性能。

### 6 结语

针对山区河道岸坡防护结构设计及稳定性分析展开研究,全面整合结构类型、设计关键要素、影响因子及分析手段,并给出优化策略,往后,应不断探寻兼具生态效益与工程性能的防护结构,深化多物理场耦合情境下的稳定性分析,融合人工智能与大数据技术,达成防护结构智能化设计与动态化监测,助力山区河道岸坡防护技术朝着高效、环保方向迈进。

#### [参考文献]

- [1]李明,王强.山区河道岸坡防护技术研究[J].水利水电技术,2020,51(8):120-126.
  - [2]张华,陈亮.岸坡防护结构稳定性分析方法探讨[J].岩土工程学报,2019,41(6):1100-1106.
  - [3]刘勇,赵伟.生态防护技术在河道治理中的应用[J].中国水利,2021(15):45-49.
  - [4]孙刚,周明.基于数值模拟的岸坡稳定性研究[J].水力发电,2018,44(10):85-89.
  - [5]吴华,郑平.河道岸坡防护结构优化设计[J].水利规划与设计,2022(9):102-107.
- 作者简介:周启玉(1990—),女,民族:土家族,学历:本科,职称:工程师,研究方向:水利水电设计。