

# 山洪沟治理工程中排洪断面水力计算与岸坡生态护砌一体化设计方法探讨

王浩源

海南锦匠工程咨询有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8729

**[摘要]** 随着生态文明建设的深入推进,传统硬质化、渠化山洪沟治理模式的生态弊端日益凸显,已难以适应水利高质量发展要求,排洪断面水力计算是确保山洪沟行洪安全的核心前提,岸坡生态护砌是实现工程生态性与耐久性的关键保障。本文聚焦山洪沟治理,梳理山区山洪沟非均匀渐变流水力计算方法,阐述生态护砌的设计原理与类型,探讨排洪断面水力计算与岸坡生态护砌一体化的方法,并结合某山区典型案例验证方法的科学性与可操作性,旨在实现防洪安全与生态保护的多元目标共赢,有效提升沟道泄洪能力和生态功能,为类似工程提供科学可行的设计参考。

**[关键词]** 山洪沟治理;水力计算;生态护砌;一体化设计

## Discussion on Integrated Design Method of Hydraulic Calculation and Ecological Slope Protection in Mountain Flood Gully Control Projects by

Wang Haoyuan

Hainan Jinjiang Engineering Consulting Co., Ltd.

**[Abstract]** With the deepening of ecological civilization construction, the ecological drawbacks of traditional hardening and channelization models in mountain flood gully control have become increasingly evident, making them inadequate for high-quality water conservancy development. Hydraulic calculation of flood discharge sections serves as the core prerequisite for ensuring flood safety, while ecological slope protection provides critical safeguards for engineering sustainability and durability. This paper focuses on mountain flood gully control, systematically reviews non-uniform gradient hydraulic calculation methods for mountainous areas, elucidates the design principles and types of ecological slope protection, and explores integrated approaches combining hydraulic calculation with ecological slope protection. Through a case study of a mountainous region, the scientific validity and practical applicability of these methods are validated. The research aims to achieve multi-objective synergy between flood control safety and ecological conservation, effectively enhancing channel discharge capacity and ecological functions, while providing scientifically sound design references for similar projects.

**[Key words]** mountain flood gully management; hydraulic calculation; ecological lining; integrated design

### 引言

我国山区面积广阔,受地形地貌复杂、降水分布不均、极端天气频发等自然因素影响,山洪灾害呈现出“突发性强、破坏力大、影响范围广、次生灾害多”的特点,已成为威胁山区人民群众生命财产安全、制约区域生态环境保护和经济社会高质量发展的主要自然灾害之一,加强山洪沟治理是山洪灾害防御体系的关键环节,直接关系到下游村镇、农田、基础设施及人民群众的生命财产安全。长期以来,我国山洪沟治理工程多采用“以排为主、被动防御”的传统模式,过度注重排洪断面的行洪能力,采用浆砌石、混凝土等硬质护砌材料加固岸坡,

虽然在短期内能够满足行洪安全要求,但存在生态兼容性差、景观效果不佳、岸坡土体透气性受阻、生物多样性下降等突出问题,甚至会加剧水土流失、破坏流域生态平衡,难以实现工程的可持续利用。同时,传统设计中存在排洪断面水力计算与岸坡护砌设计相互脱节的现象,导致工程设计不合理、综合效益偏低,部分治理工程出现岸坡冲刷、护砌破损、断面淤积等问题,影响工程使用寿命和治理效果。现代治水理念强调“人水和谐”,山洪沟治理需统筹“安全泄洪”与“生态修复”两大目标,打破传统设计中水力计算与岸坡防护脱节的困境。因此,探索排洪断面水力计算与岸坡生态护砌一体化设计方法,

具有重要的理论意义和实践价值,可为山区山洪沟生态化治理提供支撑。

### 一、山洪沟排洪断面水力计算方法

科学准确的水力计算是一体化设计的基础,核心是为生态护砌设计提供流速分布、水位变幅、冲刷深度等关键参数,兼顾泄洪安全与生态适配性。山区山洪沟水文、地形复杂,水流多为明渠非均匀渐变流,计算方法需结合其特点针对性选择。

#### (一) 水力计算的特点与基本方程

山洪沟纵坡陡(多在1%以上)、断面不规则、流量变化剧烈,水流惯性项和压力项影响显著,需基于一维圣维南方程组开展计算,其核心由连续方程和动量方程组成:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0$$

实际工程中可简化方程组,采用水面线算法或分段求和法,核心需确定设计洪水流量、沟道糙率、断面几何尺寸三大关键参数;设计洪水流量采用暴雨推理公式等方法推求,糙率结合床面材质和植被情况确定,断面尺寸需结合地形和设计目标拟定。

#### (二) 关键水力参数的确定

一体化设计中,四大关键水力参数直接影响设计合理性,兼具安全与生态意义:

1. 设计流速:区分主槽、滩地、近岸流速,主槽流速需控制在护砌材料抗冲极限内,滩地流速不超过1.5m/s,近岸流速控制在1.0~2.0m/s,兼顾稳定性与生物栖息需求。

2. 水位变幅与频率:常水位周边重点保障植被生长和生物栖息,生态水位变动区(常水位至多年平均洪水位)兼顾抗冲与生态,设计和校核洪水位重点保障防洪安全。

3. 冲刷深度与范围:采用经验公式预测,护砌结构埋深需大于冲刷深度0.3~0.5m,重点加强弯道、断面突变等易冲刷区域防护。

4. 水流流态:通过弗劳德数判断,优先营造缓流区域,形成缓急交替的水流格局,丰富生物栖息地类型。

### 二、岸坡生态护砌的方法

岸坡生态护砌是一体化设计的核心,核心目标是在保障岸坡稳定的前提下,实现防护与生态的有机统一,缓解传统硬质护砌的生态弊端,推动沟道生态系统恢复。与传统硬质护砌相比,生态护砌具有透水、透气、多孔、生态友好的特点,能够有效缓解传统护砌带来的生态问题,实现岸坡防护与生态修复的协同发展。

#### (一) 生态护砌的核心原则

设计需遵循四大核心原则:一是安全性原则,确保设计洪水工况下岸坡和护砌结构稳定,使用寿命不低于50年;二是生态性原则,优先采用天然、多孔材料,保障水陆物质交换,为生物栖息和植被生长提供条件;三是亲水性与景观协调原则,贴合周边自然环境,兼顾群众休闲需求;四是经济性原则,优先采用本地材料,降低造价和后期运维成本,具备适应地形水文变化的能力。

#### (二) 生态护砌的主要类型与材料选择

结合水力参数和生态要求,山洪沟生态护砌主要分为三大类,材料选择需与水力条件适配:

1. 多孔性结构护砌:孔隙率30%~50%,抗冲性强,适用于流速1.5~3.0m/s的区域,包括生态干砌石/卵石护坡、格宾石笼、生态混凝土砌块等,需设置反滤层防止土粒流失,优先选

用本地块石、卵石。

2. 植被复合型护砌:以植被为核心,结合土木材料,适用于流速1.0~1.5m/s的区域,包括三维植被网垫、土工格室植草、根系加固型护岸等,优先选用狗牙根、紫穗槐、柳树等乡土植被,利用根系加筋锚固土体。

3. 自然原型护砌:还原自然岸坡形态,生态效益最优,适用于流速≤1.0m/s的生态敏感区,包括扦插枝条、梢捆护岸等,采用天然材料,施工简便,能随植被生长增强护岸稳定性。

### 三、水力计算与生态护砌的一体化设计

#### (一) 设计流程

构建闭环耦合设计流程,分为四个关键步骤:

1. 初始参数设定与水力计算:收集地形、地质、水文等基础资料,拟定初始断面方案,推求设计洪水流量,开展水力计算,输出流速分布、水位变幅、冲刷深度等核心参数。

2. 生态护砌分区设计:根据水力参数和地形地质条件,划分高流速抗冲区、中低流速生态恢复区、低流速植被培育区、特殊部位加强区,分区选用适配的护砌型式和材料,实现精准防护。

3. 参数迭代与优化:将各分区护砌糙率反馈至水力模型,复核水力参数,若不满足设计要求,调整护砌或断面参数,重复计算直至适配,通常迭代1~2次即可达成目标。

4. 多目标综合评估:从防洪安全、生态效益、工程造价、运维成本、景观效果五个维度,对比不同设计方案,选取最优方案,确保多目标平衡。

#### (二) 一体化设计框架

以数据库、模型库、知识库为支撑,构建“现状分析-目标确定-协同设计-方案比选-细部设计-施工运维”的设计主线:

1. 支撑体系:数据库整合基础数据和工程资料,模型库提供水文、水力、稳定分析等工具,知识库提供规范标准和案例经验,为设计提供支撑。

2. 设计主线:全面分析工程现状和存在问题,明确防洪、生态、经济等设计目标,开展水力与生态协同设计,通过模型模拟比选最优方案,细化设计细节并完善施工运维方案,确保工程长效运行。

### 四、某山区小流域山洪沟治理应用

结合我国南方某典型山区小流域山洪沟治理工程,验证一体化设计方法的科学性和可操作性,该山洪沟位于亚热带季风气候区,暴雨集中,洪峰流量大、冲刷力强,是当地山洪防御重点区域。

#### (一) 工程概况与核心问题

该山洪沟总长2.3km,集雨面积12km<sup>2</sup>,平均纵坡6.5%,两岸以粉质壤土和风化岩层为主,植被覆盖率35%,水土流失严重。工程核心目标是保障20年一遇防洪标准,保护下游300余名群众和800余亩农田,同时恢复沟道生态功能。当前存在四大核心问题:一是防洪能力不足,仅能抵御5年一遇洪水,易发生漫溢;二是岸坡稳定性差,边坡较陡且缺乏防护,易坍塌淤积;三是生态环境恶化,局部硬质护砌导致水体自净能力下降,生物多样性匮乏;四是水力条件紊乱,流速分布不均,加剧坍塌淤积。

#### (二) 一体化设计过程

##### 1. 水文水力计算

结合流域气象资料、地形地貌参数及历史洪水调查数据,采用暴雨推理公式推求设计洪水流量,公式为: $Q = 0.278\psi S_p F / \tau^n$ ,式中:Q为设计洪峰流量(m<sup>3</sup>/s); $\psi$ 为洪峰径流系数(结合流域植被覆盖率、土壤类型,选取

$\psi=0.65$ );  $S_p$  为 20 年一遇 1 小时暴雨强度 (mm/h), 经计算为 85mm/h;  $F$  为集雨面积 ( $\text{km}^2$ ),  $F=12\text{km}^2$ ;  $\tau$  为流域汇流时间 (h), 经计算为 0.8h;  $n$  为汇流参数 (结合山区地形, 选取  $n=0.75$ )。最终推求得出 20 年一遇设计洪峰流量为  $85\text{m}^3/\text{s}$ , 10 年一遇设计洪峰流量为  $62\text{m}^3/\text{s}$ , 作为本次水力计算的核心输入参数。

表 1 不同断面方案水力计算结果对比表

断面方案	断面参数 (底宽×水深×边坡系数)	设计洪水位 (m)	主槽平均流速 (m/s)	近岸流速 (m/s)	最大冲刷深度 (m)	过流能力 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
梯形断面	5m×2.2m×1: 1.5	182.65	4.2	3.8	0.9	86.3
复式断面	主槽 3m×2.0m×1: 1; 滩地各 3m×0.8m×1: 3	182.58	4.5	1.5	0.8	87.1

由计算结果可知, 两个方案均能满足 20 年一遇设计洪峰流量的泄洪要求, 但复式断面方案具有明显优势: 一是设计洪水位较梯形断面低 0.07m, 有效降低了洪水漫溢风险; 二是近岸流速 (滩地区域) 仅为 1.5m/s, 远低于梯形断面的 3.8m/s, 更有利于植被生长和生态护砌布设; 三是最大冲刷深度略小, 为后续护砌结构设计降低了难度, 同时复式断面的滩地可作为生态恢复区域, 更符合一体化设计的生态目标。因此, 初步选定复式断面作为本次治理的推荐断面方案。

## 2. 生态护砌分区设计

根据水力计算得出的流速分布、冲刷深度及水位变幅等参数, 结合岸坡地形、地质条件, 将该山洪沟治理段划分为 4 个防护分区, 分别采用对应的生态护砌型式和材料, 实现“分区防护、生态适配”, 具体分区设计如下:

(1) 高流速抗冲区: 主要分布在主槽底部及边坡下部, 该区域冲刷力强, 最大冲刷深度 0.8m, 是防护的重点区域。结合水力参数, 选用重型格宾石笼护砌, 护砌材料采用粒径 25-40cm 的天然块石, 强度不低于 30MPa, 格宾网采用 PVC 包塑钢丝编织, 抗拉强度不低于 35kN/m, 孔隙率 35%-40%; 护砌结构埋深为 1.3m (冲刷深度 0.8m+安全余量 0.5m), 底部铺设 30cm 厚的砂砾石反滤层, 防止土粒流失, 确保护砌结构的抗冲稳定性和渗透稳定性。

(2) 中低流速生态恢复区: 主要分布在滩地、主槽边坡上部及生态水位变动区, 该区域设计流速 1.2-1.5m/s, 是生态功能实现的核心区域。采用植生型石笼护砌, 石笼内填充粒径 15-25cm 的卵石和改良土壤 (壤土+腐殖土, 比例 7: 3), 预留 10cm×10cm 的植生孔, 植入狗牙根、百喜草等乡土湿生植被; 护砌边坡系数采用 1: 3, 与滩地地形衔接, 顶部铺设 5cm 厚的种植土, 进一步促进植被生长, 同时设置排水沟, 防止坡面径流冲刷。

(3) 低流速植被培育区: 主要分布在坡顶及洪水罕至区, 该区域设计流速小于 1.0m/s, 冲刷力弱, 生态保护要求高。采用土工格室植草护坡, 土工格室高度 15cm, 抗拉强度不低于 20kN/m, 格室内填充肥沃壤土, 植入紫穗槐、柳树等乡土灌木和草本植物, 构建乔灌木结合的植被群落; 边坡系数采用 1: 2.5, 坡面铺设三维植被网垫, 固定土壤和草籽, 促进植被快速恢复, 提升岸坡稳定性和生态效益。

(4) 特殊部位加强区: 重点针对弯道凹岸、断面收缩处及沟道汇入主干河入口处, 这些区域经水力计算识别为冲刷风险较高的区域, 流速较周边区域高 0.3-0.5m/s。弯道凹岸采用加厚型格宾石笼护砌 (厚度由 0.5m 增加至 0.8m), 并辅以活柳桩加固 (柳桩直径 10-15cm, 长度 2.0m, 间距 1.5m), 削弱水流顶冲作用; 断面收缩处和入口处采用生态混凝土砌块护砌, 砌块强度不低于 C20, 预留植生孔, 与周边植生石笼护砌衔接, 确保衔接部位的密封性和稳定性, 避免出现冲刷缺口。

水力计算采用一维水动力模型 (HEC-RAS), 结合沟道地形测量数据, 拟定 2 个初始断面方案进行对比计算, 分别为梯形断面方案和复式断面方案, 初始糙率均按天然土坡取值 ( $n=0.030$ ), 纵坡按原有沟道纵坡 6.5‰进行计算, 重点分析设计洪水水位下的流速分布、水位高程、冲刷深度等关键参数, 计算结果如下表所示:

3. 参数迭代与方案评估: 将护砌糙率反馈复核, 设计洪水位抬升 0.04m, 仍满足要求, 主槽平均流速降至 4.3m/s, 近岸滩地流速降至 1.4m/s, 流速分布更趋合理, 均在护砌材料的抗冲极限流速范围内 (重型格宾石笼抗冲极限流速 4.5-5.0m/s, 植生型石笼 2.5-3.0m/s); 最大冲刷深度仍为 0.8m, 无明显变化。由于复核结果满足安全与生态要求, 无需进一步调整设计参数, 本次一体化设计迭代过程完成, 最终确定复式断面+分区生态护砌的设计方案。

## (三) 实施效果与优化建议

工程完工后监测显示, 防洪安全、生态恢复、水力匹配性均达到预期: 能有效抵御 10 年一遇暴雨洪水, 岸坡稳定安全系数 1.32, 满足要求; 植被存活率 82%, 水质提升至 III 类, 生物多样性显著增加; 水力参数与护砌设计匹配良好, 偏差小于 5%。

存在植被生长不均衡、特殊部位防护效果不佳、运维成本略高的不足, 建议优化植生孔设计、增加柳桩埋深并加固, 建立常态化运维机制, 选用耐冲刷植被, 降低运维成本。

## 结语

综上, 开展排洪断面水力计算与岸坡生态护砌一体化设计, 寻求工程安全与生态功能的最优平衡点, 实现山洪沟治理“防洪安全有保障、生态环境能改善、景观效果更协调”的多目标共赢。文章通过理论分析、框架构建和案例验证, 明确了山区山洪沟非均匀渐变流水力计算的核心方法和关键参数, 构建了生态护砌设计体系, 建立了水力与生态耦合设计流程和一体化框架, 实现多目标平衡; 案例验证表明, 该方法能有效保障防洪安全、提升生态功能, 具备良好的实用性。本文也存在一定不足, 一体化设计在不同地域山洪沟的参数适配性仍需进一步研究。未来, 可结合大数据、无人机监测等新技术, 优化设计精度和效率, 加强不同类型案例积累, 完善设计标准, 推动一体化方法标准化、规范化, 为山区山洪沟生态化治理和乡村振兴提供更有力的支撑, 助力实现人与自然和谐共生。

## 【参考文献】

- [1]唐勇. 山洪沟防洪堤提升及护岸综合整治探析[J].水利技术监督, 2025, (05): 104-108.
  - [2]李俊杰, 刘悦, 冉菁, 等. 涉高速公路山洪沟改道设计要点分析[J].水利技术监督, 2025, (03): 257-261.
  - [3]刘洋. 浅析山洪沟治理措施[J].陕西水利, 2019, (10): 60-61.
- 作者简介: 王浩源, 1994 年 7 月 21 日, 男, 海南省屯昌人, 汉族, 电大本科, 助理工程师 (水工建筑), 研究方向: 水利工程管理。