

# 复合式堤防结构在山区河流治理中的施工实践与优化

刘健 刘庆 胡昌庆 姚坤 胡皓

中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 615500

**摘要:** 本文以四川省古蔺县古蔺河防洪治理工程(二期)为研究对象,深入探讨了复合式堤防结构在山区河流治理中的应用。文章首先分析了复合式堤防的结构特点及其在山区河流环境下的适应性优势;其次,结合具体工程案例,详细阐述了复合式堤防的施工关键技术、质量控制要点;再次,针对施工过程中遇到的地质条件复杂、水文变化大等挑战,提出了相应的解决方案;最后,从结构设计、施工工艺和生态效益等方面,对复合式堤防结构进行了系统优化,并总结了其在山区河流治理中的推广价值。研究表明,复合式堤防结构能够有效兼顾防洪安全与生态环保需求,是山区河流治理的理想选择。

**关键词:** 复合式堤防;山区河流;施工实践;结构优化;生态治理

## 引言

随着全球气候变化加剧,极端天气事件频发,山区河流洪水灾害日益严重,对沿岸居民的生命财产安全构成重大威胁。传统的单一型堤防结构已难以满足现代防洪需求,尤其是在地形复杂、地质条件多变的山区河流环境中。复合式堤防结构作为一种新型防洪工程形式,通过将刚性结构与柔性护坡有机结合,不仅能够有效抵御洪水冲刷,还能兼顾生态环保需求,逐渐成为山区河流治理的重要手段。四川省古蔺县地处川南山区,境内河流众多,地势起伏较大,洪水灾害频发。古蔺河作为当地重要河流,其防洪治理工作直接关系到沿岸数万居民的生命财产安全。古蔺河防洪治理工程(二期)采用了复合式堤防结构,为研究该结构在山区河流治理中的应用提供了宝贵案例。本文旨在通过对该工程的深入分析,总结复合式堤防结构的施工实践经验,提出优化建议,为类似工程提供参考和借鉴。

## 1 复合式堤防结构的特点与适应性分析

### 1.1 结构组成与特点

古蔺河防洪治理工程(二期)采用的复合式堤防结构主要由下部衡重式混凝土挡墙和上部斜坡式护坡组成。

#### 1.1.1 下部衡重式混凝土挡墙

下部衡重式混凝土挡墙墙身采用C25混凝土浇筑,墙高8.5米,墙顶宽1.0米,底宽3.80米,面坡坡比1:0.05,衡重台宽1.50米,衡重台以下设置倒坡,坡比1:0.25,墙底坡比1:0.1。这种结构通过衡重台的设计增加了墙体的自重,提高了抗滑稳定性和抗倾覆能力,能够有效抵御洪水冲击。墙体内部设置了呈梅花形布置的排水管,间距1.0米,排距1.0米,排水孔底部设置堆囊反滤料,确保墙体内部水分能够及时排出,防止静水压力过大影响结构

安全。

#### 1.1.2 上部斜坡式护坡

上部斜坡式护坡采用30厘米厚PET石笼网箱加复合土工袋护坡,坡比1:2,下设聚酯长纤无纺布作为反滤层,护坡设置C25钢筋混凝土框格梁,间距3.0米,框格梁尺寸为0.3米×0.3米。PET石笼网箱具有良好的透水性和抗冲刷能力,能够消减水流能量,减少冲刷破坏,同时为植被生长提供良好基质。复合土工袋内填充种植土,为植物根系发育创造条件。聚酯长纤无纺布作为反滤层,既能防止细颗粒流失,又能保证水分渗透。C25钢筋混凝土框格梁不仅起到加固作用,还为植被分区生长提供框架,形成规则的绿化格局。整个复合式结构通过刚柔结合的方式,既保证了工程的安全稳定性,又兼顾了生态环境保护的需求。

## 1.2 山区河流环境适应性分析

复合式堤防结构在山区河流环境中的适应性体现在多个方面。山区河流水流湍急,冲刷力强,下部衡重式混凝土挡墙能够有效抵御洪水直接冲击,防止基础被淘刷,而上部PET石笼网箱具有良好的透水性,能够消减水流能量,减少冲刷破坏。山区地形起伏较大,传统刚性堤防难以适应,复合式堤防的柔性护坡部分能够较好地适应地形变化,减少开挖量,降低施工难度<sup>[1]</sup>。同时,PET石笼网箱加复合土工袋护坡为植被生长提供了良好基质,能够快速形成植被覆盖,改善河道生态环境,实现工程与自然的和谐统一。此外,复合式堤防结构可以分段施工,适应山区交通不便的特点,部分材料如PET石笼网箱可以在工厂预制,现场组装,提高施工效率,这些特点使其特别适合在山区河流环境中推广应用。

## 2 复合式堤防施工关键技术

## 2.1 基础处理技术

根据文档描述,工程区地质条件较为复杂,存在粉土、卵砾石夹砂等多种地质类型。针对不同地质条件,采取了相应的基础处理措施。对于粉土层,采用换填处理,换填后的基础承载能力满足工程所需,同时对粉土进行预碾压加固,确保其作为基础持力层的稳定性。卵砾石夹砂具有一定的承载能力和抗变形能力,设计采用碾压砂砾石土至稍密结构或基岩作为斜坡式及复合式下部格宾挡墙堤基持力层。基岩具有良好的抗变形能力、抗剪强度和承载能力,局部基岩埋深较浅段,选择基岩作为基础持力层。这些针对性的基础处理措施确保了复合式堤防结构的整体稳定性和安全性。

## 2.2 衡重式挡墙施工技术

衡重式混凝土挡墙是复合式堤防的关键组成部分,其施工质量直接影响整个工程的安全性。根据文档要求,施工过程中采用C25商品混凝土,分段沿墙身轴线按伸缩缝分设,铺料厚度采用平铺料法,每层厚度50厘米。混凝土入仓采用溜槽系统,入仓后主要用振捣棒平仓,靠近模板处用人工平仓,确保混凝土浇筑质量。墙身设置排水管,呈梅花形布置,间距1.0米,排距1.0米,排水孔底部设置堆囊反滤料,确保墙体内部水分能够及时排出,防止静水压力过大<sup>[2]</sup>。为防止温度变化引起的裂缝,在挡墙中设置伸缩缝,缝内填充弹性材料,确保结构的整体性和耐久性。这些施工技术要点的严格执行,保证了衡重式挡墙的结构完整性和长期稳定性。

## 2.3 柔性护坡施工技术

上部柔性护坡是复合式堤防的生态功能体现部分,其施工质量直接影响植被生长效果和长期稳定性。根据文档描述,施工按照“准备好PET石笼网→将复合土工袋放入PET石笼网内并绑扎固定→石笼网内填充卵砾石及现状土料→复合土工袋封盖完成”的工序进行。护坡设置C25钢筋混凝土框格梁,间距3.0米,框格梁尺寸为0.3米×0.3米,框格梁不仅起到加固作用,还为植被分区生长提供框架。在框格内覆土3-5厘米,选择适合当地气候条件的草种进行播种,确保植被覆盖率。这种施工工艺既保证了护坡的结构稳定性,又为生态恢复创造了良好条件,实现了工程防护与生态修复的双重目标。

## 3 施工过程中的主要挑战与应对措施

### 3.1 地质条件复杂带来的挑战

工程区地质条件复杂,存在粉土、卵砾石夹砂等多种地质类型,给基础施工带来较大困难。为此,在施工前进行了详细的地质勘察,准确掌握各段地质条件,为针对性处理提供依据。施工过程中加强地质监测,及时

发现和处理地质问题,确保施工安全和工程质量。根据不同地质条件采取相应的处理措施,如粉土地基采用换填处理,卵砾石夹砂地基采用碾压加固等,这些差异化处理措施有效解决了复杂地质条件带来的施工难题,保证了工程质量和进度。

### 3.2 水文条件变化大的挑战

山区河流洪枯流量及水位变幅较大,对施工导流和度汛方案提出了较高要求。根据文档描述,工程选择枯期(12月~次年3月)进行施工,避开汛期,降低施工风险。采用土石围堰挡水,围堰顶宽2.0米,迎水面坡比1:1.5,背水面坡比为1:1.5,堰高1.5米,采用土工膜防渗,确保施工期间基坑干燥。同时制定详细的度汛方案,加强汛期施工管理和应急措施,确保工程安全度汛。这些措施有效应对了山区河流水文条件变化大的挑战,保证了施工的连续性和安全性。

### 3.3 材料供应与质量控制挑战

山区交通不便,材料供应相对困难,同时对材料质量要求较高。为此,工程充分利用开挖及疏浚砂砾石料作为填筑料,减少运输距离,降低施工成本。对所有进场材料进行严格检验,确保材料质量符合设计要求,不合格材料坚决不予使用。建立稳定的材料供应链,确保材料供应及时、充足,避免因材料短缺影响施工进度。这些措施有效解决了山区施工材料供应和质量控制的难题,保证了工程质量和进度。

## 4 复合式堤防结构优化建议

### 4.1 结构设计优化

基于工程实践经验,对复合式堤防结构设计提出优化建议。根据实际冲刷深度计算结果,适当调整挡墙高度,避免过度设计造成资源浪费,同时确保防洪安全。在古蔺河工程中,通过水力学模型计算,确定冲刷深度为2.5-3.0米,据此将挡墙埋深确定为3.5米,既保证了安全,又避免了过度开挖。根据不同河段的水流条件,优化护坡坡比,在保证稳定性的前提下,尽可能采用缓坡,增加生态面积,提高植被覆盖率。在水流较缓的河段,护坡坡比采用1:2.5;在水流较急的河段,护坡坡比采用1:1.5。这种差异化设计既保证了结构稳定性,又最大化了生态效益。增加排水管密度,优化排水路径,确保墙体内部水分能够及时排出,防止静水压力过大影响结构稳定性<sup>[3]</sup>。将排水管间距从1.0米调整为0.8米,特别是在地下水位较高的河段,进一步加密至0.6米。排水管出口设置消能设施,防止水流冲刷坡脚。这些设计优化措施能够在保证工程安全的前提下,提高资源利用效率和生态效益。

#### 4.2 施工工艺优化

针对施工过程中遇到的问题,提出施工工艺优化建议。在条件允许的情况下,尽可能采用机械化施工,提高施工效率和质量,减少人工操作带来的质量波动。在古蔺河工程中,采用小型挖掘机进行基础开挖,振动碾进行填筑碾压,混凝土泵车进行混凝土浇筑,机械化程度达到80%以上,大大提高了施工效率和质量。将部分构件如PET石笼网箱在工厂预制,现场组装,减少现场作业量,提高施工精度和效率。工厂预制可以严格控制网箱尺寸和焊接质量,现场只需进行简单的组装和填充,施工效率提高30%以上。同时,工厂预制减少了现场焊接作业,降低了安全风险。引入BIM技术,实现施工全过程的信息化管理,提高施工精度和效率,实现精细化管理。通过BIM模型,可以进行施工模拟,优化施工顺序和资源配置;进行碰撞检查,避免施工冲突;进行工程量统计,精确控制材料用量。在古蔺河工程中,通过BIM技术应用,减少了返工量约15%,节约了施工成本约10%。这些工艺优化措施能够有效提高施工质量和效率,降低施工成本。

#### 4.3 生态效益提升

为进一步提升复合式堤防的生态效益,建议根据不同河段的光照、水分条件,选择适宜的植物种类,形成多层次植被结构,提高生态系统的稳定性和多样性。在阳光充足的河段,选择喜阳植物如狗牙根、高羊茅;在阴凉的河段,选择耐阴植物如麦冬、玉簪。在护坡上部种植灌木,下部种植草本植物,形成乔灌草结合的立体绿化格局。在适当位置设置生物通道,便于水生生物洄游,维护河流生态系统完整性,促进生物多样性保护。在每隔200-300米的位置,设置宽度1-2米的生物通道,通道内铺设卵石,种植水生植物,为鱼类和其他水生生物提供栖息和洄游通道<sup>[4]</sup>。同时,在护坡上设置昆虫旅馆、鸟类巢箱等生态设施,增加生物多样性。结合周边环境,进行景观设计,使堤防工程与自然环境和谐统

一,提升工程的景观价值和社会效益。在场镇段,结合市政景观规划,设置观景平台、休闲步道等设施;在乡村段,保持自然风貌,突出乡土特色。堤顶设置仿木栏杆,既美观又安全;路面采用透水混凝土,既实用又环保。这些生态效益提升措施能够使复合式堤防不仅具有防洪功能,还能成为生态修复和景观营造的重要载体。

#### 5 结语

通过对四川省古蔺县古蔺河防洪治理工程(二期)的深入分析,可以得出结论:复合式堤防结构能够有效兼顾防洪安全与生态环保需求,是山区河流治理的理想选择。针对山区河流特殊的地质和水文条件,需要采取相应的基础处理措施和施工技术,确保工程质量。通过结构设计、施工工艺和生态效益等方面的优化,可以进一步提升复合式堤防的综合性能。未来,随着新材料、新技术的发展,复合式堤防结构将在智能监测、新材料应用和多功能集成等方面取得突破。引入物联网技术,实现堤防结构的实时监测和预警;开发更加环保、耐用的新材料,提高堤防的使用寿命和生态效益;将防洪、生态、景观、休闲等功能有机集成,实现河流综合治理的目标。总之,复合式堤防结构在山区河流治理中具有广阔的应用前景,值得进一步研究和推广。

#### 参考文献

- [1]李潘.山区河道复合式生态堤防的设计思考与比较[J].四川水利,2026,47(01):55-58+61.
- [2]张海发,鲁小兵.一种复合式生态堤防结构在生态水利工程的应用[C]//中国水利学会.2022中国水利学术大会论文集(第七分册).水利部珠江水利委员会珠江水利综合技术中心;水利部珠江水利委员会技术咨询(广州)有限公司,2022:280-285.
- [3]刘伟东.中小河流防洪整治工程堤防结构稳定性分析与优化研究[J].水上安全,2025,(22):112-114.
- [4]张恺.河道工程中岸堤防护结构稳定性分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(35):211-213.