

# 活树桩-堆石体在生态护岸中工作机制研究

陈 晗<sup>1,2</sup>

(1. 莆田市水务集团有限公司; 2. 莆田市水利投资有限公司, 福建 莆田 351100)

**摘 要:** 木兰溪属平原冲积河流型, 其河道岸坡大多是冲积泥沙在一定条件下落於、固结所形成, 其冲刷崩塌属于河道水流与岸坡土体二元接触边界的稳定性问题; 为打造绿色生态河流, 总结了莆田木兰溪流域河道土体特点及潜在不稳定因素后, 建议采用活树桩与堆石体的柔性固岸护坡方式进行河道绿色生态建设. 采用活树桩-堆石体柔性方式进行保护河道岸坡, 树根深根具有锚固作用, 浅根有加筋作用; 建立良性生态系统, 最大限度地减少对原有环境和地形的影响和破坏; 增添绿色景致, 景观效应显著.

**关键词:** 活树桩-堆石体; 生态护岸; 木兰溪; 水流; 机理分析

**中图分类号:** TV861      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1004-4701(2018)02-0096-04

## 0 引言

位于莆田市的木兰溪是福建中部最大河流, 天然水位高差为 784 m; 在区域经济发展过程中, 对其进行了大量天然资源开发, 同时也兴建了诸多的水利工程, 水利工程在发挥传统兴水取利、治水除害等功能的同时, 也间接对木兰溪流域生态系统产生一定的生态负面效应, 如生物栖息地特征及河道水文、水力学因子变化<sup>[1]</sup>. 在木兰溪流域生态环境调查过程中发现, 诸多河段防洪堤傍河侧为卵石堆冲积扇岸坡, 这些冲积扇岸坡在河水位较低时外露, 在高水位或洪水时为淹没状态. 在水流冲刷作用下岸坡发生了局部滑坡及坍塌现象, 这严重影响岸坡稳定性, 危及堤岸安全. 在减小水利工程负面效应的同时又能达到生态防护岸坡作用俨然成为木兰溪生态水系建设中亟待解决的重要问题.

近年来, 为打造生态绿色河道工程, 有关部门对木兰溪流域诸多河道进行了生态整治, 但卵石堆冲击扇岸坡因其具有周期性生态缓解河道水位变化(增大了高水位时期过水断面)、形成生态海绵的重要作用而不可全部消除, 也存在河道水流对其冲刷淘蚀而造成岸坡不稳, 同时, 上部卵石、下部高湿度粗细土的岸坡土体颗粒垂向分布无地表植被覆盖, 亦影响河岸景致. 参考奥地

利对多瑙河岸进行生态改造的方案<sup>[2]</sup>, 结合河道原有生态, 拟采用在岸坡人工种植高大喜湿乔木(如柳树等)并抛投块石稳固坡脚为主的方式对其进行固岸护坡, 并达到美化河道效用. 这种生态护坡与工程中抗滑桩加固边坡有相似之处, 但当前研究更多侧重于矮生植物根系作用于土质岸坡的加固原理, 对植物茎与堆石岸坡相结合工作机制的研究还较少. 因此, 搜集国内外文献, 整理当前研究成果, 概化植物茎在不同卵石岸坡中工作机制, 查明活树桩-堆石体在河岸生态护坡中工程特性及生态效用有重要意义.

## 1 卵石堆冲积岸坡稳定评价

木兰溪属平原冲积河流型, 其河道岸坡大多是冲积泥沙在一定条件下落於、固结所形成, 其冲刷崩塌属于河道水流与岸坡土体二元接触边界的稳定性问题, 该问题很大程度上取决于河道水流流速、流态及含沙率等冲淤特性, 更与岸坡土体颗粒级配、工程地质条件及其中的渗流作用密切相关.

### 1.1 岸坡土体结构及其性质

平原冲积河流泥沙颗粒多以砂性土为主, 黏性较小. 当前, 常采用颗粒的粒径级配及其比重、土体的密度及界限含水率和不同饱和度下压缩与剪切等室内试

验进行岸坡土体颗粒组成量测与基本物理特性分析。这些基本性质是决定土体抗冲刷能力的内在因素。木兰河流域河岸及其阶地土体多为第四纪更新世及全新世海积与冲洪积层,厚度从几米至几十米不等<sup>[3]</sup>。

在湖河沉积等地质作用下,岸坡地层结构中不同类型土体铅锤向分布也是影响岸坡稳定的重要因素。地质调查揭示河岸地层结构可知,木兰河流域地层以海陆相沉积为主,其上部粉质粘土、下部砂性土为铅锤向分布(见图1);局部区域存在粘土与砂性土互层现象。

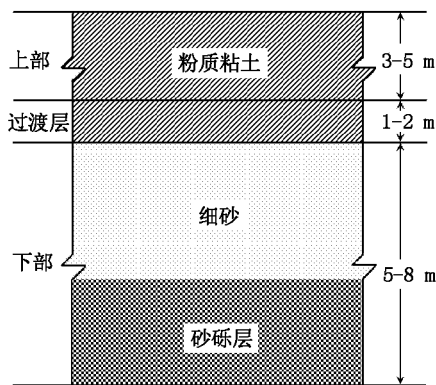


图1 土层垂向结构图

## 1.2 河道演变及水流动力冲刷

河流动力学理论指出,木兰河流域诸多天然河道中悬移质及推移质在长期相互作用过程中已处于相对稳定状态,但河岸两侧新修防洪堤采取了截弯取直等工程措施缩小或移除了部分河段滩地,减小了木兰溪过水断面面积;这破坏了河道天然滞洪作用,迫使河道水流速度增大,从而增大了水流对河道的冲刷作用,并扰乱了河道泥沙落淤与冲刷平衡。诸多水利工程的兴建,如官杜陂等引水工程、古洋水库等蓄水工程、南北洋海堤等防洪堤工程以及九仙溪等水电工程,不单是阻断了水流携沙连续性,更改变了河道水流动力条件。部分河段(临近水利工程下游更为明显)水流对岸坡坡脚的冲刷作用、紊动输沙作用等直接或间接导致了河岸坍塌。

因此,基于河流动力学探究河床演变规律应运而生。当前主要研究方法<sup>[4]</sup>:1)基于大量实测数据的河流冲刷作用经验公式,这种探究方式比较简单,在缺少实测资料时较为方便使用,但也限制其适用区域,仅供部分区域参考或修正使用;2)水流动力冲刷的河床演化理论分析,采用极值假说与冲积河流线性及滞后理论等传统理论和模糊数学及神经网络等现代数学分析方法进行水流动力条件改变而引起河岸演化规律探究;

3)天然河道不同等比尺概化水槽物理模型试验,这种研究方法能真实地再现天然河道各断面形态演化过程,但也存在费用高、成本昂贵的特点;4)基于河流动力学及泥沙运动的河道演变数值仿真,高速发展的仿真技术促进了各种泥沙运动数学模型的建立,随之内置了诸多河流动力学经验公式及理论进行多种土料岸坡在不同水流冲刷作用下演化模拟;这种数值分析不仅节省了诸多工程投资,更能进行复杂水力环境及边界条件求解并预测河道系统未来演变,但尚未经受诸多工程验证及当前认知限制其精度及效用,仍需有待进一步论证及完善。

## 1.3 冲击扇岸坡渗流特性

河道水位涨落、地下水位升降等过程造成卵石岸坡体内存在不同程度水力坡降,从而引起渗流。当河堤及岸坡内渗流通道继续扩大并发展到一定程度时将诱发管涌,危及其稳定。土颗粒级配、土体应力状态及其密实度和所处水力条件是影响木兰溪岸坡渗流及管涌的重要影响因素<sup>[5]</sup>。

从土的工程性质可知,粘性土颗粒粒径较小、颗粒间距小,这使得颗粒表面强烈吸纳一定厚度水体作为结合水,这既增大了颗粒间作用力也进一步减小了土体空隙比,使得粘性土体渗透性较小;无粘性土体颗粒较大,其土骨架主要以土颗粒以不同方式堆叠、机械咬合等形式搭建,骨架空隙可填充水体、气体及小于空隙的细小颗粒,这种结构使得其渗透系数较大<sup>[6]</sup>。当河道及阶地存在渗流通道并逐步扩大时,木兰溪岸坡土体地层的垂直结构分布易使下部砂性土出现细颗粒流失而引起管涌、上部粘性土受浮托力及渗透力而呈现鼓包等渗透破坏现象。

## 2 活树桩-堆石体加固岸坡机理分析

当河道存在因水流冲刷及水位涨落等因素引起的岸坡不稳定或潜在破坏时,通过岸坡阶地外添活树桩(高大乔木)而作为一种增加抵抗土体破坏的生态措施已被广泛关注,并逐步被用于河道治理工程实际中,其在河道岸坡中布置见图2所示。

### 2.1 活树桩-堆石体“融合”机制分析

在工程应用中,常抛投一定尺寸大小的块石构筑堆石体防护体进行岸坡防护,在此过程中可采用移栽方式种植活树桩;因而,活树桩与堆石体共同护堤固岸的前提是两种材料在力学上能起到相互协调以加强整体力学性能效用。这种“融合”机制分成树干与树根两部分。

(1)不同类型树根的固土作用。乔木表层根系能

在富水区域生长,匍匐在上层土中的根系形成了一个毯式保护层,减缓上层土体被水流淘刷作用;浅层根系以在河岸土体中以水平向生长为主,与土体颗粒结合较为紧密,这形成了网状固持土效用;深层根系在土层穿插,类似土体加筋处理,这增加了土层抗剪强度,一定程度增大了土体的密实程度。河北安平滹沱河、北京怀柔琉璃河岸采用柳树进行生态护岸正是<sup>[8]</sup>利用树桩根部不同类型根与岸坡土体穿插而达到加强岸坡抗冲刷性能的目的;其培育方式为枯水期岸坡挖坑扦插方式进行种植,行距以 1.00 ~ 3.00 m、株距以 1.50 m 为宜;自然,也可

通过移栽方式进行种植活树桩<sup>[9]</sup>。

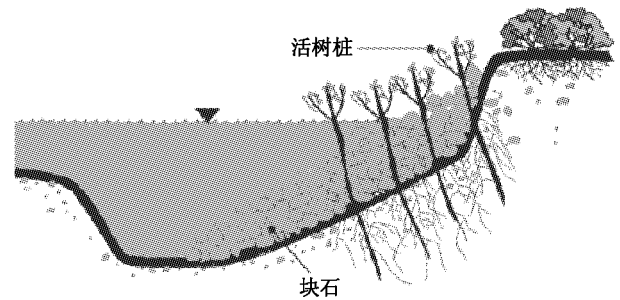


图2 活树桩-堆石体岸坡布置<sup>[7]</sup>



图3 柳树种植及其根系分布<sup>[8,9]</sup>

(2)树干与堆石的相互作用。与北方岸坡相比,南方岸坡因坡度、土体性质、河道断面形式及月流量不均等因素影响,岸坡常被水流淘刷严重,因而不同类型堆石体要进行亲水性护坡。岸坡铺设一定尺寸及级配的堆石体后,不同粒径颗粒间以堆叠、衔接、咬合等方式搭建堆石体空间结构,颗粒间摩擦作用为影响堆石岸坡稳定主要因素;活树桩根部与下部土体紧密相连,类似倒“T”形式紧固与岸坡土体,树干在堆石岸坡中调节部分颗粒排布及其粒间力传递,将部分自重以弯矩形式传递至下部土层<sup>[10]</sup>。

活树桩过于稠密时,将破坏堆石体及岸坡原有稳定;其布置稀疏时,又难以与堆石体共同形成防护体系。因此,活树桩的种植密度应介于一定范围,且与堆石体及岸坡土体的级配密切相关。

作为桩与堆石体相接触部分,堆石体整体稳定及其护岸效用高低很大程度上受活树桩茎秆强度影响。一般而言,河道岸坡土体及堆石体变形随活树桩杆径的强度增大而逐步减小,活树桩所受应力也随之增大。对平面二维情形,主要以活树桩间距控制其在河道岸坡布置形式,树桩加固深度受其品种及岸坡土层物理性质相关;实际工程中通常为三维空间布置,投影至平面上可近似为矩形、菱形等多种形式栽培活树桩。整体而言,可采用单位面积内活树桩的密度来表征其布置形式。

整体而言,活树桩下部根系的锚固作用使得树桩类似倒“T”形紧紧嵌固与岸坡土体,并上部树干在堆石体中调节与平衡堆石自重;反过来,上部堆石体紧紧覆压在下部岸坡土层,起到了反压护坡的效用。总体而言,只有在活树桩存在一定强度且与周围堆石相互协调后方能发挥其生态防护功能。

### 2.2 活树桩-堆石体固岸力学特性分析

堆石体与岸坡在活树桩的“串连压重”作用下成为一个有机结合整体,一方面树桩根部对岸坡起到了加筋作用,使得河床上部土体与树桩紧密连成一个整体;另一方面树桩也部分增大了堆石体的抗剪切强度,使其更倾向于稳定;整体而言,这种工艺近似在上部粘性土中增厚了覆盖厚度,进一步降低了河道水位变化过程中岸坡土体受动水淘刷作用及其渗透破坏的可能性<sup>[11]</sup>。

### 2.3 活树桩-堆石体固岸生态效用分析

具有结构简单的活树桩-堆石体主要有三大生态效用。首先是采用柔性方式进行保护河道岸坡,保证岸坡稳定;树根深根具有锚固作用,浅根有加筋作用,能降低坡体空隙水压力、截留降雨、削弱溅蚀、防止水土流失<sup>[12]</sup>,构建能透水、透气、调节水文过程、降解污染物的生态防护平台。其次是建立良性的生态系统,形成由高大乔木、沼生植被、浮游生物及两栖动物等生物构成生态环境,最大限度地减少对原有环境和地形的影响和破坏,为某些附着生物、底栖生物提供栖息场所,也不会阻隔岸滩两栖生物的生活通道<sup>[13]</sup>。最后是景观效应明显,放弃河床硬化处理,采用种植树木与河床控制相结合方式进行河道绿化处置,不仅降低噪音,增添绿化景致,也作为绿色河带组成部分,更是具有净化空气作用。

## 3 结 论

(1)木兰溪属平原冲积河流型,其河道岸坡大多是冲积泥沙在一定条件下落淤、固结所形成,其冲刷崩塌属于河道水流与岸坡土体二元接触边界的稳定性问题。土颗粒级配、土体应力状态及其密实度和所处水力条件是影响木兰溪岸坡渗流及管涌的重要影响因素。

(2)作为桩与堆石体相接触部分,堆石整体稳定及其护岸效用高低很大程度上受活树桩茎秆强度影响。采用活树桩-堆石体柔性方式进行保护河道岸坡,树根深根具有锚固作用,浅根有加筋作用;这对建立良性生态系统,最大限度地减少对原有环境和地形的影响和破坏有重要意义;增添绿色景致,景观效应显著。

### 参考文献:

- [1] GUO L D, XIA Z Q, YU L L, et al. Ecological significance of instream hydrological statistical parameters[J]. Journal of hydrological engineering, 2013, 18(9): 1088 ~ 1097.
- [2] MING H L, KAREN E. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: a biotechnical streambank stabilization design approach[J]. Landscape and urban planning, 2002, 30(8): 233 ~ 235.
- [3] 宗全利, 夏军强, 许全喜, 等. 上荆江河段河岸土体组成分析及岸坡稳定性计算[J]. 水力发电学报, 2014, 33(02): 168 ~ 178.
- [4] 廖治棋, 范北林, 黄莉, 等. 冲积性河流河床横断面形态研究与进展[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(05): 1 ~ 6 + 11.
- [5] 姚志雄, 周健, 吴波. 渗流潜蚀作用下堤岸的崩塌机理研究[J]. 水力发电学报, 2015, 34(09): 52 ~ 58.
- [6] 唐红梅, 周云涛, 沈娜, 等. 三峡库区类土质岸坡破坏机制研究—以巫山县江东寺岸坡为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(04): 32 ~ 39.
- [7] 赵华, 庞晓丽, 张超. 城市水系的生态堤岸设计[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2010(02): 94 ~ 100.
- [8] 王兵, 高甲荣, 陈琼, 等. 护岸柳树表层根系生长的影响因素[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12): 26 ~ 29 + 42.
- [9] 慕智增, 董兴启, 翟贵邦, 等. 生物治河工程—深栽柳树坝[J]. 泥沙研究, 1983(02): 38 ~ 47.
- [10] 孙羽, 张兵, 孙东坡, 等. 河道整治中的生态环境问题与生态协调的河道整治[J]. 水利水电技术, 2017, 48(05): 102 ~ 109.
- [11] 程永隆, 詹冯达, 余亮华. 福建省环境水利学科发展研究报告[J]. 海峡科学, 2016(01): 25 ~ 31.
- [12] 郭远镒, 陈建平. 木兰溪下游防洪工程软基处理技术与施工质量控制[J]. 水利水电技术, 2013, 44(03): 57 ~ 59.
- [13] 叶春, 李春华, 吴蕾, 等. 湖滨带生态退化及其与人类活动的相互作用[J]. 环境科学研究, 2015, 28(03): 401 ~ 407.

编辑: 张绍付

## Working mechanism of living stump rockfill in ecological revetment

CHEN Han<sup>1,2</sup>

(1. Putian Water Group Limited Corporation; 2. Putian Water Conservancy Investment Limited Corporation, Putian Fujian, 351100, China)

**Abstract:** Mulan river is a plain alluvial river, the river slope is mostly alluvial silt in certain conditions, the formation of consolidation in fall, the stability problem of the erosion and collapse to river bank soil contact boundary for two yuan; to build a green ecological river, summarized the Mulan River Basin of Putian River Soil Characteristics and potential instability. Recommended the use of the tree stump and rockfill slope protection method for flexible solid bank building green ecological river. The stump of rockfill - a flexible way to protect the river slope, deep roots with root anchoring effect, shallow root reinforcement effect; the establishment of a healthy ecological system, minimizing the original environment and Terrain Influence and destruction; add green landscape, landscape effect significantly.

**Key words:** Live stump rock mass; Ecological revetment; Mulan river; Flow; Mechanism analysis

翻译: 陈 晗