

# 三峡库区消落带两个重要高程段边坡的生态修复模式

周明涛<sup>1,2</sup>, 杨平<sup>1</sup>, 许文年<sup>1,2</sup>, 胡欢<sup>1</sup>

(1. 三峡大学 土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 以三峡库区 185 m 观景平台上游消落带生态治理试点为例, 阐述了库区消落带两个重要高程段(夏季防洪水位 145~152 m 和冬季蓄水水位 170~177 m)内岸坡遭涌浪侵蚀破坏的现状, 并对涌浪的成因及其对消落带岸坡的侵蚀机理进行了分析。研究表明, 涌浪是造成库区消落带土壤侵蚀的主导因素; 传统硬性加固措施应与生态河岸带构建技术有机结合。根据消落带坡度差异, 分别提出了几种可行的生态修复措施, 初步构建了一套针对库区消落带两个重要高程段内边坡的生态修复模式。

**关键词:** 消落带; 两个重要高程段; 涌浪侵蚀; 生态修复模式

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0122-04

中图分类号: X171.4

## Ecological Side-slope Restoration Modes for Water-level-fluctuating Zone Between Two Critical Elevations of Three Gorge Reservoir

ZHOU Ming-tao<sup>1,2</sup>, YANG Ping<sup>1</sup>, XU Wen-nian<sup>1,2</sup>, HU Huan<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges Univ., Yichang,

Hubei 443002, China; 2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges

Reservoir Region, Ministry of Education, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

**Abstract:** Ecological management was investigated and demonstrated on the 185 m observation platform within the water-level-fluctuating zone of the upstream Three Gorge Reservoir. This study addressed the current adverse situation; the side slopes between the two critical elevations(145~152 m, 170~177 m) has experienced destructive surge erosion. The cause of surges and their erosion mechanism were analyzed. It was found that surges were the main force causing soil erosion. Traditional slope reinforcement measures and ecological techniques like riparian zone construction should be combined organically. Several feasible ecological restoration measures were proposed in respect to slopes of various gradients. In addition, an ecological restoration modes for the slopes between the two important elevations in the fluctuating zone was developed preliminarily.

**Keywords:** water-level-fluctuating zone; slope between two critical elevations; surge erosion; ecological restoration modes

水库消落带又称水库涨落带或水库涨落区, 指水库因季节性水位涨落而使周边被淹没土地周期性地出露于水面的一个特殊的区域<sup>[1]</sup>。消落带周期性涨落导致水土流失、滑坡等危害<sup>[2-3]</sup>, 对库区生态环境造成巨大压力<sup>[4]</sup>, 其产生的景观不协调也将制约三峡库区旅游业的发展, 且治理存在很大困难。目前对库区的研究主要集中在地质灾害、土地利用、生态环境调控、健康评价体系构建、土壤物质释放规律、重金属污染、水土环境的影响等方面<sup>[5-8]</sup>, 而对如何治理消落带

尤其是结合生态措施治理消落带则鲜有研究成果, 可借鉴的经验十分有限。

三峡库区消落带两个重要高程段指的是夏季防洪水位(145~152 m)和冬季蓄水水位(170~177 m)这两高程段边坡。通过对已完建消落带生态治理试点进行连续多年观测, 发现现有消落带治理技术在上述两高程段的应用存在很大弊端, 直接影响了生态治理成果和景观效果。

本研究以此为出发点, 分析这两高程段边坡受浪

收稿日期: 2011-12-30

修回日期: 2012-01-13

资助项目: 三峡大学博士启动基金项目“植被混凝土生态基材胀缩恢复性研究”(KJ2011B006); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07104-003-03); 三峡大学研究生科研创新基金项目(2011CX023)

作者简介: 周明涛(1979—), 男(汉族), 湖北省保康县人, 讲师, 主要从事边坡生态修复与库区消落带综合治理研究。E-mail: zmt@ctgu.edu.cn。

通信作者: 杨平(1985—), 男(苗族), 湖南省邵阳市人, 硕士研究生, 主要从事边坡生态修复与库区消落带综合治理研究。E-mail: yp20061016@163.com。

涌侵蚀机理,并对库区消落带两个重要高程段边坡生态修复模式做出思考。

## 1 试验区概况

以三峡 185m 观景平台上游消落带生态治理试点和观测区为例。该消落带治理所采取措施为:首先在消落带试验示范区域设置菱形框格梁,然后在框格梁内覆盖一层人工植生土,最后将事先选配好的两栖物种如狗牙根(*Cynodon dactylon*)、香根草(*Chrysopogon zizanioides*)、疏花水柏枝(*Myricaria laxiflora*)、水蓼(*Polygonum hydroper*)等植物进行撒播或栽种,待植物生长到一定程度,且具备一定耐水淹的能力时,可认为其初步达到消落带生态恢复与重建目标。通过定期实验与观测,总体上认为该消落带生态恢复与重建试验达到预期目标,但局部范围仍存在较大问题,即在夏季防洪水位 145~152 m 和冬季蓄水位 170~177 m 两个重要高程段的边坡,框格梁与人工建植生态系统出现了明显的侵蚀破坏情况。以 170 m 高程段多个框格梁内覆土损失厚度为观测对象,将侵蚀破坏情况用框格内土层距框格梁表面最大距离的平均值  $H$  表示,观测数据见表 1。

表 1 连续 3 a 框格内覆土损失( $H$ )观测结果

年份	2008 年	2009 年	2010 年
$H/cm$	7.9	19.4	33.6

由表 1 可见,框格内覆土损失情况随时间增长愈趋严重。经分析,发现导致两重要高程消落带岸坡遭侵蚀破坏的主因是涌浪对岸坡的长期冲刷。夏季防洪期和冬季蓄水期,库区水位长期处于相对稳定状态,水位只在两个高程段进行小幅度波动,因而涌浪对岸坡形成高频率的冲刷,加上植物生长基质受水体浸泡,长期处于饱和状态,导致强度和抗冲刷性能明显降低,因此两高程段消落带边坡遭受的破坏最为严重。152~170 m 高程段则因蓄水及放水过程中,水位变化较快,受涌浪冲刷几率小,因而所受影响不明显,人工建植生态系统处于相对稳定状态。

## 2 涌浪成因及侵蚀机理

### 2.1 涌浪成因

经现场长期观测表明,对库区涌浪的形成原因进行了分析,得出最主要因素为行船的吨位、速度、频率以及风速等。长江航道是著名的“黄金水道”,据悉三峡工程全面投产运营后,库区吨位大于 5 t 的轮船通航量达到 300 次/d,涌浪高频率的冲刷库岸,使两个

高程段的水土流失相当严重,库区平均风速约为 1.0~1.2 m/s,风速引起的风浪对库岸的侵蚀相对较小。所以三峡库区行船产生的涌浪是库岸侵蚀破坏的主导因素。

### 2.2 侵蚀机理

由图 1 可见,当涌浪靠近库岸边坡时,首先拍打消落带岸坡土体发生过程 1,随后涌浪对边坡产生正面冲击,分散成沿坡面向上和向下的两股水流,即过程 2 和过程 4,且两过程同时发生。过程 2 和过程 4 在向上攀爬和向下滑落的过程中与坡表面直接接触,产生冲刷侵蚀。过程 2 的土粒主要受力是水流的拖曳力和上举力、重力以及嵌锁力,但由于这个过程水流速度已经减缓,水流的拖曳力和上举力与重力的合力较小,嵌锁力的阻碍作用使这个阶段的土粒很难脱离土体,所以这个阶段土粒一般不会发生较大的运动。产生过程 4 的水流在重力作用下融入库区水体。而过程 2 动能与势能则反复转化,先爬升后回落,进而产生过程 3,在坡面上形成坡面流,此时坡面土粒受到向下的拖曳力,向上的浮力,土粒自身的重力和土粒之间的嵌锁力,此过程水流的作用主要是把入射阶段冲出土体的土粒带回水中造成泥沙流失,且其侵蚀破坏也比过程 4 为大。涌浪正面冲击和水流在坡表面的流动都会对消落带岸坡产生不同程度的破坏,按破坏力大小排序可归纳为:过程 1>过程 2,3>过程 4。

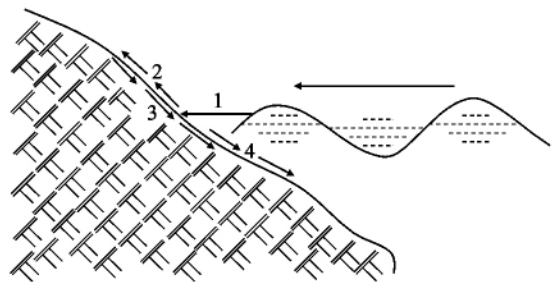


图 1 涌浪对消落带边坡的侵蚀过程

## 3 传统硬性加固措施与生态措施需有机结合

### 3.1 硬性加固措施

传统河道、湖泊、水库等对岸坡的治理措施主要是素喷混凝土层或浆砌片石<sup>[7]</sup>,但这些措施在流域生态治理中存有很大局限性。喷混或浆砌片石边坡虽具备较强抗水流冲刷能力,但一旦表面出现细小破损,涌浪将直接与岸坡土体接触,其冲击坡面破碎时

产生的冲击压力,加上土体受水长期浸泡,处于饱和状态,导致土体强度较低,冲击压力可引起土体颗粒发生运动,逐步向外迁移,加之土壤部分物质在水体中的溶解,久之岸坡内部将被掏空形成巨大的“空洞”,不利于边坡稳定。另外,素喷混凝土层或浆砌片石不能与周边景观协调一致,不符合流域生态旅游建设的原则,因而不适宜在库区大面积应用。

### 3.2 生态河岸带构建技术

近年来随着人类对生态环境问题的日益重视,通过对传统河岸带护坡技术进行生态改造,也开发出了一些边坡生态治理措施与生态河岸带构建技术,如植生型生态砖、石笼护岸、网袋式覆土护岸等。这些生态河岸带构建技术仅适用于静水流域岸坡或流速较小、流量不大的岸坡,且岸坡受冲刷方向主要与水流方向一致。而库区消落带受涌浪冲刷通常垂直于岸坡或与岸坡成某一夹角,且船只行驶引起涌浪高频率的冲刷库岸,显然库区消落带岸坡受涌浪侵蚀较普通河道严重,所以常规生态河岸带构建技术在库区应用受到限制。

### 3.3 二者有机结合

单纯依靠某种措施以解决消落带两重要高程段岸坡抗涌浪冲刷,显然是行不通的。可考虑将传统硬性加固措施与生态河岸带构建技术有机结合<sup>[9-10]</sup>,充分发挥二者的优势,研发出专门应用于库区消落带两个重要高程段边坡的生态修复新技术。该技术应用时,一方面随着植被的生长,可在一定程度上填补硬性加固措施出现的细小裂缝,防止被掏空形成巨大的浪蚀洞;另一方面硬性措施所具备的抗冲刷能力又能为植被赖以生长的基质提供保护,二者相辅相成,可共同构建库区消落带两重要高程段边坡的生态屏障<sup>[11]</sup>。

## 4 两重要高程边坡生态修复模式<sup>[12-13]</sup>

### 4.1 坡度很缓

首先对坡面进行平整、翻耕、施肥,随后播撒草种及栽种抗旱耐淹的两栖植物。若坡面土质贫瘠,可增设覆土措施。接着在坡表铺设一层粒径 $\leq 7$  cm的碎石层,厚度约 10 cm。该措施可使涌浪冲击消落带边坡时,先与碎石层接触,当其穿过碎石层时,动能损耗已较大,因而对土质层的冲刷力大大减小。同时碎石层间含有较多孔隙,植物茎叶可穿插其中,实现植物正常生长。此措施适用于坡度 $\leq 1:3$ 的状况。

### 4.2 坡度较缓

当消落带边坡坡度介于 $1:3$ 到 $1:2$ 时,可采用窝眼植生型多孔混凝土护岸技术,如图 2 所示。先选

用粒径为 20~30 mm 单一粒级级配的碎石做骨料,按普通混凝土制备方法制成混凝土,其孔隙率可达到 20%~30%。将此混凝土块制成表面窝眼型,铺设在岸坡上,并在上面覆土。由于植生型多孔混凝土具有孔隙率较大及较好的透水透气特性,可使植被良好的生长,表面事先设置的窝眼,可减小土壤流失。

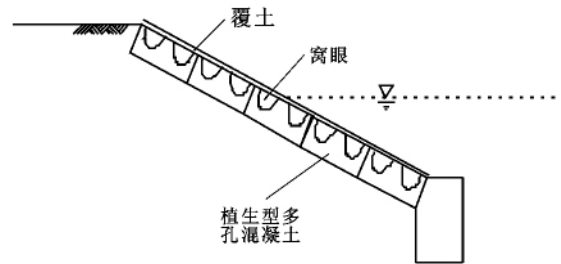


图 2 窝眼植生型多孔混凝土护岸技术

### 4.3 坡度中等

当岸坡坡度介于 $1:2$ 至 $1:1.5$ 之间的状况,可采取柔性生态袋措施。首先将砂料、土壤、有机质、混合植绿种子按一定配合比混合,随后装进柔性生态袋内并垒筑在消落带坡面上,然后用三维联接扣将生态袋联接形成牢固的三角内锁结构。柔性生态袋具有透水不透土的特性,可有效保证土粒不被水流带走,其较为适合在岩质坡面或已实施喷混的水泥坡面。

### 4.4 坡度较陡

当坡度大于 $1:1.5$ 时,可考虑采取水泥砌块咬接技术,具体做法为:首先平整坡面,待覆土完毕,铺设一等级配砂石料作垫层,厚度约 5 cm,随后将预制好的水泥砌块进行拼接,注意砌块在水平方向成“梅花形”分布,接着将事先选配好的水陆两栖物种栽种或播撒于预留在砌块上的圆台形孔洞中,待养护到一定程度即可。该技术的优点主要有:(1)砌块之间采用咬接技术,当涌浪冲击坡面时,需 4 次改变水流方向才可穿过砌块,可较大程度上消弱涌浪动能;(2)级配砂石料的作用,使涌浪动能进一步减小,对植被生长基质的冲刷力相应降低;(3)“梅花形”分布使砌块不会形成纵向通缝,可增强整体稳定性;(4)砌块上设置的消力坎可减短水流在坡表的径流路径,进一步降低涌浪对岸坡的破坏力。

### 4.5 物种与客土的选取

物种的合理选取对生态修复系统的稳定性至关重要,不仅需考虑坡度差异对植被生长胁迫的影响,还需运用生态位原理,对不同高程的库岸边坡设置不同类型的植被群落,如在常水位以下应多设置沉水植物,在常水位附近则应多设置挺水植物和浮水植物。

客土是植被赖以生存的基础条件,选取时则应考

虑孔隙率大、渗透性好、土粒适中、三相比良好的土壤,且具备良好的水、养、热、气条件,适合植被生长,因此选择砂壤土,避免选用黏性土。

## 5 结论

(1) 库区消落带两重要高程段边坡遭侵蚀破坏较其他高程段严重,船只行驶产生的涌浪为三峡库区岸坡土壤侵蚀的主要原因。

(2) 三峡库区消落带两重要高程段边坡的生态修复应根据岸坡坡度差异,将传统硬性加固措施与生态河岸带构建技术有机结合,以充分发挥二者的优势。

(3) 针对三峡库区消落带治理现状,建议在以后的工作中进一步研发相应的生态防护治理技术,并继续筛选或驯化适宜于消落带生长的两栖植物。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 杜逢彬,陈继平,石金胡. 三峡库区消落带环境问题及生态环境评价治理[J]. 城市勘测,2009(2):150-153.
- [2] 苏维词,杨华,罗有贤,等. 三峡库区涨落带的主要生态环境问题及其防治措施[J]. 水土保持研究,2003,10(4):196-198.
- [3] 周彬,朱晓强,杨达源. 长江三峡水库库岸消落带地质灾害防治研究[J]. 中国水土保持,2007(11):43-45.
- [4] Su Weici, Liu Jinping, Zhang Junyi. The main ecological issues of water-level-fluctuating zone and the strategies in Three Gorges Reservoir area[J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2011,4(1):77-82.
- [5] 陈梓云,彭梦侠. 三峡库区消落带土壤中重金属铬调查与分析[J]. 四川环境,2001,20(1):53-54.
- [6] 王炯. 三峡库区消落地的利用与管理问题研究[J]. 西南农业大学学报:社会科学版,2003,1(1):35-38.
- [7] 熊俊,袁喜,梅朋森,等. 三峡库区消落带环境治理和生态恢复的研究现状与进展[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2011,33(2):23-28.
- [8] Su Weici, Liu Junping, Yang Hua, et al. A preliminary study on land exploitation and utilization models of water-level-fluctuating zone (WLFZ) in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing[J]. Journal of Natural Resources, 2010,20(3):228-232.
- [9] 吴智洋,韩冰,朱悦. 河流生态修复研究进展[J]. 河北农业科学,2010,14(6):69-71.
- [10] 刘信安,柳志祥. 三峡库区消落带流域的生态重建技术分析[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2004,21(2):60-63.
- [11] 黄川,谢红勇,龙良碧. 三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究[J]. 重庆教育学院学报,2003,16(3):63-66.
- [12] 金鉴明,汪俊三. 峡库区必须进行生态修复与屏障建设[J]. 水科学与工程技术,2010(1):1-3.
- [13] 戴方喜,许文年,刘德富,等. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考[J]. 中国水土保持,2006(1):34-36.
- [6] 吴从林,张平仓. 三峡库区王家桥小流域土壤侵蚀因子初步研究[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(2):165-171.
- [7] 李晓红,韩勇,郑阳华. 三峡库区坡耕地土壤侵蚀治理效益分析[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(1):134-138.
- [8] 李夷荔,林文莲. 论工程侵蚀特点及其防治对策[J]. 福建水土保持,2001,13(3):7-9.
- [9] 杨志新,郑大玮,李永贵. 北京市土壤侵蚀经济损失分析及价值估算[J]. 水土保持学报,2004,18(3):175-178.
- [10] 崔伟宏. 区域可持续发展决策支持系统研究[M]. 北京:宇航出版社,1995:10-18.
- [11] 闫业超,岳书平,张树文,等. 黑土区土壤侵蚀经济损失价值估算及其特征分析:以黑龙江克拜东部黑土区为例[J]. 自然资源学报,2009,24(12):2135-2147.
- [12] 莫斌,朱波,王玉宽,等. 重庆市土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报,2004,24(5):45-50.
- [13] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报,2009,29(2):788-797.
- [14] 倪九派,魏朝富,谢德体,等. 坡度对三峡库区紫色土坡面径流侵蚀的影响分析[J]. 泥沙研究,2009(2):29-34.
- [15] 许月卿,黄靖,冯艳,等. 不同土地利用结构下的土壤侵蚀经济损失:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 地理科学进展,2010,29(11):1451-1456.
- [16] 夏建国,胡萃,刘芸. 川西低山区土壤侵蚀经济损失及其评估模式:以名山县蒙山为例[J]. 生态学报,2006,26(11):3696-3704.
- [17] 刘文明. 山东省沂蒙山区土壤侵蚀经济损失评估及恢复对策研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2005.
- [19] 史志华,蔡崇法,丁树文,等. 基于GIS的汉江中下游土壤侵蚀强度初步分析[J]. 水土保持学报,2001,15(6):14-18.
- [20] Pimental D, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits[J]. Science, 1995,267(5201):1117-1123.
- [21] Shi Hui, Shao Mingan. Soil and water loss from the Loess Plateau in China[J]. Journal of Arid Environments, 2000,45(1):9-20.

(上接第121页)