

三峡库区陡坡消落带生态修复技术研究——以偏岩子为例

邱利文¹ 吴柳东² 张定军¹ 沈健² 李豪¹

1 中国长江三峡集团有限公司长江生态环境工程研究中心长江珍稀植物研究所, 湖北 宜昌 443000

2 中国建筑西南勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]以偏岩子为例对陡坡消落带进行了生态修复技术研究,提出了石笼防冲墙、生态挡墙、和生态袋护坡工程措施,为植物生长提供必要的土壤,并且防止土壤受水浸泡以及浪涌冲刷流失,在此基础上筛选了20种耐水淹植物,不同高程区域配置不同植物品种,经历1个水文年后,多年生草本植物成活率达90%以上,耐水淹灌木成活率达75%以上,生态修复效果良好。

[关键词]三峡库区;消落带;生态修复;生态袋;植被

DOI: 10.33142/ec.v5i12.7262

中图分类号: S727.2

文献标识码: A

Study on Ecological Restoration Technology of Steep Slope Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area——Taking Pianyanzi as Example

QIU Liwen¹, WU Liudong², ZHANG Dingjun¹, SHEN Jian², LI Hao¹

1 Yangtze River Rare Plants Research Institute of Yangtze River Ecological Environment Engineering Research Center of China Three Gorges Corporation, Yichang, Hubei, 443000, China

2 China Southwest Geotechnical Investigation & Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: Taking Pianyanzi as an example, the ecological restoration technology of steep slope fluctuation zone was studied, and the gabion scour wall, ecological retaining wall, and ecological bag slope protection engineering measures were proposed to provide necessary soil for plant growth, and prevent soil from being soaked in water and being washed away by surges. On this basis, 20 kinds of flood resistant plants were screened, and different plant varieties were deployed in different elevation areas. After one hydrological year, the survival rate of perennial herbs is more than 90%, and the survival rate of flood resistant shrubs is more than 75%. The ecological restoration effect is good.

Keywords: three gorges reservoir area; drop zone; ecological restoration; ecological bag; vegetation

三峡库区的生态环境问题一直是人们关注的焦点,其生态环境质量不仅关系到三峡工程的运行,也是影响长江流域可持续发展的重要因素^[1-2]。随着三峡工程的建成和运行,根据“蓄清排浊”的运行方案,在多水多沙的汛期6~9月,水库水位降低至145m,泥沙通过大坝上的泄洪深孔排出;汛末10月,来水中含沙量降低,水库蓄水至正常水位175m,达到蓄清排浊的目的。水库的调度引起水库水位变动,使得周围库岸形成了高达30m高差的消落带。三峡库区消落带是水位反复周期变化的干湿交替区,是库区水域与周边陆地环境的过渡地带,同时具有水、陆两个环境的特点。消落带生态环境由其地貌形态、组成物质与土壤、地下水、气候与植被等要素组成,由于其特殊性、不稳定性、脆弱性,且易受到外界环境的干扰,消落带出现的一系列生态环境问题日益明显和突出^[3-5]。因此,开展三峡库区消落带生态修复技术研究是服务于消落带生态环境建设和保护,对于深入践行新发展理念坚持生态优先绿色发展,保障三峡库区生态环境与库岸的稳定安全,促进库区经济社会可持续发展有着重大现实和深远意义。

1 偏岩子概况

偏岩子位于三峡大坝上游、背靠湖北省秭归县茅坪镇,是三峡库区中的一座小岛,主要由闪云斜长花岗岩组成。北侧B区岸坡总体较平整,地形坡度约30°,高程160m为一平台,高程160m以上岸坡采用喷射混凝土面板防护,局部破损,坡面存在浮石,高程160m以下岸坡已采用混凝土防护,现状基本完好。西侧A区岸坡总体上陡下缓,高程160m以上岸坡地形坡度约35°,采用喷射混凝土面板防护,破损严重,存在出现架空垮塌现象,坡面存在大量松动块石,高程160m以下岸坡地形坡度15°~25°,表层覆盖有沙壤土,如图1所示。

偏岩子岩体一般风化较强烈,在水流冲刷及浪蚀作用下,极易发生冲蚀、剥蚀型塌岸,如图2所示。当岩体中裂隙或岩脉发育时,岸坡风化岩体也易沿不利结构面倒向坡外,发生崩塌型塌岸,导致岸线逐渐后退,如图3所示。此外,在库水位的频繁涨落作用下,偏岩子消落带水土流失严重,岸坡原有土壤和植被冲刷殆尽,荒漠化严重,生态景观效果差。

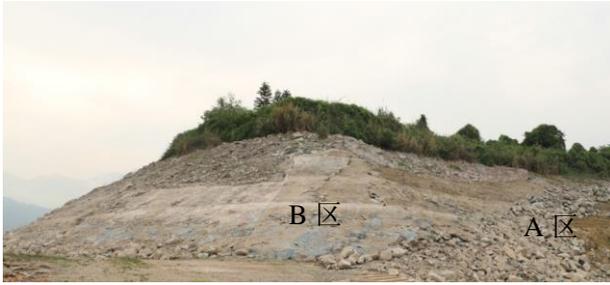


图1 偏岩子消落带全貌图

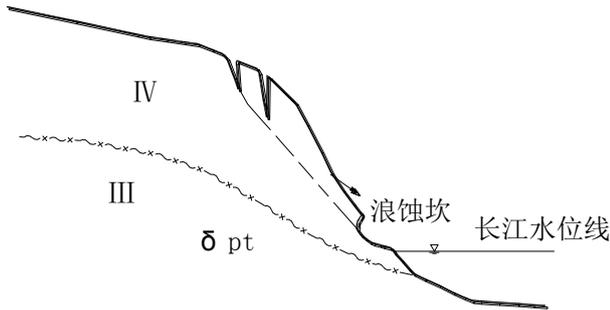


图2 因冲刷及浪蚀作用风化岩体崩塌

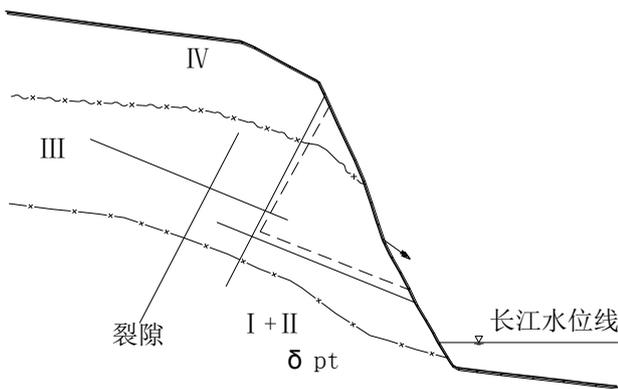


图3 因裂面或岩脉发育导致风化岩体崩塌

2 偏岩子消落带生态修复技术

消落带修复措施包括生物措施、生物+工程措施、工程措施三大类，其中工程措施费用昂贵，又无景观价值，破坏了消落带的水陆物质交换和能量流动，使消落带失去了截污去污能力，最好只应用于坡度较陡等不宜进行生物措施治理的区域（约占库区消落带总面积的3%）。相对于工程措施，生物措施明显具有多重生态效益和景观效益，是消落带生态修复的主要途径。只有在消落带构建具有自稳定维持机制的植被，提高消落带植被覆盖率，利用其降解吸收消落带的污染物质，阻隔消落带陆上污染物和降低土壤侵蚀，稳定消落带库岸，提高消落带的生态环境质量和景观质量，才能从根本上解决消落带生态问题^[6-8]。

目前消落带生态修复技术探索主要集中于小型工程加生物措施，而筛选耐旱耐淹、适合消落带生长的植物是

生态修复的关键，并且陡坡消落带基岩裸露、土壤稀少，植物栽植工艺、后期管护也是生态修复的重点难点。

根据偏岩子消落带的特点和现场实际情况，本次生态修复采用了石笼防冲墙、生态挡墙、生态袋护坡、锚杆挂网和植被绿化的综合措施。石笼防冲墙、生态挡墙、生态袋护坡为植物生长提供必要的土壤，并且防止土壤受水浸泡以及浪涌冲刷流失^[9-10]，锚杆挂网保证岸坡的稳定、生态袋的顺利铺设和整体性，如图4所示。植被绿化根据消落带不同区域受水淹胁迫的程度，选择相应高程适合的乔木、灌木、草本品种，以植物群落营造景观格局^[11-13]，如图5所示。

2.1 工程措施

(1) 场地整理

清除场地内的杂草、植物根茎、碎块石及松动岩体，杂草及植物根茎集中处理。B区坡面浮石和松动岩体清理至高程160m平台，坡面高程170m处布设一级马道，同时作为生态挡墙基础。A区上部块石堆采用锚杆及镀锌铁丝网固定，局部不稳定孤石，采用植筋方式支挡，防止滚动。

(2) 石笼防冲墙工程

为防止水流冲刷A区下部缓坡，造成水土流失，A区坡脚沿桥梁走向方向布设石笼防冲墙，墙高1.0m，宽1.0m，长约75m，防冲墙必须座落于平整坚硬的基础上。填石应尽量选用较大的石块，特别是靠近石笼边部的石块，其块径应大于网孔孔径，施工时石料应选择性的分层填筑，每层靠近石笼边部人工选择块径较大石块码砌，再回填内部石块，必须分层填筑密实。石块要求质地坚硬，不易破碎或水解。不允许使用薄片、条状、尖角等形状的片石和风化石、泥岩等石料。

(3) 生态挡墙工程

B区高程160m平台内侧布设1#生态挡墙，高程170m马道布设2#生态挡墙。1#生态挡墙，墙高1.0m，顶宽1.3m，底宽1.3m；2#生态挡墙，墙高0.8m，顶宽1.0m，底宽1.0m，侧面坡率均为1:0.2，均采用生态袋堆砌。生态挡墙上垂直布设锚杆，间距2.0m，锚孔直径70mm，锚孔深0.8m，锚杆钢筋长1.8m和1.6m，型号为HRB400级Φ25钢筋，采用M30砂浆灌注。生态挡墙墙身布设PVC排水管，水平间距3.0m，内径75mm，长1.8m和1.5m。

(4) 生态袋护坡工程

消落带坡面采用生态袋护坡，生态袋紧贴坡面，间隙不超过1cm。生态袋外形尺寸40cm×80cm，装土后25cm×65cm×15cm，呈面状堆叠，错位码放（开口处向边坡）。坡面PVC排水管梅花型布置，水平间距5.0m，斜面间距3.0m，内径75mm，长45cm。锚杆水平与斜面间距2.5m，梅花型布置，锚孔直径70mm，锚孔深1.2m，锚杆钢筋长1.7m，型号为HRB400级Φ25钢筋，采用M30砂浆灌注。锚杆节点处布设HPB300级Φ12加强钢筋，水平与沿斜面间距5.0m。排水管、锚杆安装完毕后，外挂直径3mm、网孔10cm×10cm

的镀锌铁丝网。客土混合草籽，生态袋现场装填。

(5) 人行梯道工程

B区高程160m至坡顶沿坡面布设两条梯道，梯道宽1.2m，每级台阶高150mm，宽300mm，将岩质坡面凿成台阶状后，浇筑15cmC25混凝土面层。



图4 偏岩子消落带生态修复工程措施

2.2 生物措施

(1) 植物品种筛选

根据淹水胁迫下植物的适应性、植物出水后的恢复生长、扩展和拓殖能力，偏岩子消落带生态修复筛选的乔木品种包括池杉、中山杉、枫杨、杂交柳、湖北海棠、水桦，灌木品种包括中华蚊母、疏花水柏枝、秋华柳、野生蔷薇、黄苍蒲、美人蕉，草本品种包括花叶芦竹根、狗牙根、牛鞭草、莎草、狗尾草、苍耳、多年生野花。

(2) 植物配置

根据消落带不同区域受水淹胁迫的程度，乔木、灌木、草本植物配置如下：

①高程155~160m：以草本植物花叶芦竹为主。

②高程160~165m：草本植物（花叶芦竹、狗牙根、牛鞭草、莎草、苍耳、狗尾草）+灌木（疏花水柏枝、秋华柳、中华蚊母、黄苍蒲、美人蕉、野生蔷薇）+乔木（中山杉、杂交柳）。

③高程165~170m：草本植物（花叶芦竹、狗牙根、牛鞭草、莎草、苍耳、狗尾草）+灌木（疏花水柏枝、秋华柳、中华蚊母、黄苍蒲、美人蕉、野生蔷薇）+乔木（中山杉、池杉、枫杨、杂交柳、湖北海棠、水桦）。

④高程170~175m：草本植物（狗牙根、牛鞭草、莎草、苍耳、狗尾草、野花组合种子）+灌木（疏花水柏枝、秋华柳、中华蚊母、野生蔷薇）+乔木（中山杉、池杉、枫杨、杂交柳、湖北海棠、水桦）。

(3) 植物栽植

每年夏季汛前三峡水库需逐步降低水位，此时方可进行消落带生态修复，而苗木一般夏季生命活动最旺盛，移栽成活率低，加之低水位生长时间有限，会导致成活率进一步降低。为提高苗木成活率，偏岩子消落带生态修复选择苗木生命活动最微弱的冬季、提前半年采用无纺布种植袋进行移栽假植，给苗木提供足够的生长时间。

消落带高程160~175m坡面清理完成后开挖树穴，树

穴间距3.0×3.0m，梅花型布置，树穴大小根据假植的无纺布种植袋确定，一般直径60cm，深60cm，乔木连同种植袋一并移栽，周边回填客土，胸径一般3~5cm，各品种间隔布置。

A区高程155~160m栽种花叶芦竹，栽种密度4株/m²；高程160~175m坡面栽种中华蚊母、疏花水柏枝、秋华柳、黄苍蒲、美人蕉及野生蔷薇，栽种间距为1.0×1.0m，各品种混合栽种；

B区生态挡墙背侧回填客土后栽种乔木，株距1.5m，乔木间片植灌木，1#生态挡墙片植疏花水柏枝、秋华柳黄苍蒲及美人蕉，片植密度4株/m²，混合栽种；2#生态挡墙片植野生蔷薇，栽种密度15株/m²；

生态袋护坡中以草本植物为主，客土混合草籽，选用狗牙根、牛鞭草、莎草、狗尾草、苍耳及野花组合种子，按10g/m²、12g/m²、5.5g/m²、2.5g/m²、4.5g/m²及5.5g/m²配置。

(4) 管护工程

假植苗移栽后应立即浇水并浇透，保证树根与土壤紧密结合，促进根系发育。灌水后及时采取措施防止表土开裂透风，后期根据土壤墒情变化注意浇水。夏季还需多对坡面和树冠喷水，增加环境湿度，降低蒸腾。造林后需对幼苗进行抚育管理，造林初年苗木以个体状态存在，树体矮小，根系分布浅，生长比较缓慢，抵抗力弱，适应性差，因此需加强苗木的初期管理，采取松土、灌溉、施肥等措施进行管理，待植物生长出的发达根系可反过来促进消落带的土壤保存。



图5 偏岩子消落带生态修复植被绿化

3 偏岩子消落带生态修复效果

消落带植被生长情况是判断生态修复是否成功的重要标志，因此，采用植物成活率来评价生态修复的效果是可行的。

以树苗的叶片没有发黄发黑，没有全部脱落或虽有脱落，但枝条还是新鲜的，没有变色、皱缩现象或有新芽（叶）长出作为植物成活标准，经历1个水文年后，各种植物长势喜人，偏岩子消落带全部被耐淹耐旱的绿色植被覆盖，多年生草本植物成活率达90%以上，耐水淹灌木成活率达75%以上，说明不同高程区域淹水胁迫下植物的适应性良好、植物出水后的恢复生长、扩展和拓殖能力较强，消落带修复后景观改善显著，景观效果良好，如图6所示。



图6 偏岩子消落带生态修复效果(1个水文年后)

4 结论

(1) 陡坡消落带基岩裸露、土壤稀少,采用石笼防冲墙、生态挡墙、生态袋护坡、锚杆挂网等工程措施可为植物生长提供必要的土壤,并且防止土壤受水浸泡以及浪涌冲刷流失。

(2) 消落带生态修复筛选了乔木、灌木、草本等20种耐水淹植物,不同高程区域配置不同植物品种,苗木选择在冬季提前移栽假植,经历1个水文年后,多年生草本植物成活率达90%以上,耐水淹灌木成活率达75%以上。

(3) 后续需定点监测多个淹水-落干循环下消落带植被变化过程,进一步研究消落带植物群落的分异与自维持机制。

基金项目:中国长江三峡集团有限公司技术服务项目(合同号SXSZNZB/0593)。

[参考文献]

- [1] 谢红勇, 扈志洪. 三峡库区消落带生态重建原则及模式研究[J]. 开发研究, 2004(3): 36-39.
- [2] 戴方喜, 许文年, 陈芳清. 对三峡水库消落区生态系统与其生态修复的思考[J]. 中国水土保持, 2006(12): 6-7.
- [3] 周永娟, 仇江啸, 王姣. 三峡库区消落带生态环境脆弱

性评价[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6726-6733.

[4] 潘晓洁, 万成炎, 张志永, 等. 三峡水库消落区的保护与生态修复[J]. 人民长江, 2015, 46(19): 90-96.

[5] 潘晓洁. 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.

[6] 鲍玉海, 贺秀斌. 三峡水库消落带土壤侵蚀问题初步探讨[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 190-195.

[7] 贺秀斌, 鲍玉海. 三峡水库消落带土壤侵蚀与生态重建研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(4): 160-168.

[8] 周明涛, 杨平, 许文年, 等. 三峡库区消落带两个重要高程段边坡的生态修复模式[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 122-125.

[9] 简尊吉, 郭泉水, 马凡强, 等. 生态袋护坡技术在三峡水库消落带植被恢复中应用的可行性研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7941-7951.

[10] 鲍玉海, 贺秀斌, 钟荣华, 等. 三峡水库消落带植被重建途径及其固土护岸效应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 171-174.

[11] 樊大勇, 熊高明, 张爱英, 等. 三峡库区水位调度对消落带生态修复中物种筛选实践的影响[J]. 植物生态学报, 2015, 39(4): 416-432.

[12] 周明涛, 杨平, 许文年, 等. 三峡库区消落带植物治理措施[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(4): 90-94.

[13] 卢刚, 徐高福, 刘乐群, 等. 中国水库消落带植被恢复研究进展[J]. 浙江林业科技, 2016, 36(1): 72-80.

作者简介: 邱利文(1981-), 男, 高级工程师, 研究方向为陆生生态修复; 通信作者: 吴柳东(1990-), 男, 工程师, 研究方向为边坡治理及生态修复。