

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222216

三峡大坝上游近坝段偏岩子消落带复绿实践及效果

邱利文¹, 沈 健², 敖 谦³, 吴柳东², 张定军¹, 李 豪¹, 胡梅香¹, 吴锦华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华中公司, 湖北 武汉 430040; 3. 浙江省水文管理中心, 浙江 杭州 310009)

摘要: 针对三峡大坝上游近坝段偏岩子消落带现状, 提出了石笼防冲墙技术、石笼板式护坡技术、生态袋护坡技术开展生态治理与复绿实践, 为植物生长构筑生存空间, 提供必要的土壤基质, 并防止土壤受库水浸泡及浪涌掏蚀而流失。在此基础上筛选了十几种耐水淹植物, 不同高程区域配置不同植物品种, 经历 1 个水文年的长时间淹没, 乔木整体成活率为 54.9%, 灌木成活率为 35%。其中池杉、中山杉、水榉、疏花水柏枝、秋华柳耐淹性较好, 成活率较高, 分别为 84%、74.2%、88.3%、97%、95%, 能承受长时间的过顶淹没, 消落带复绿效果明显。

关键词: 三峡大坝; 消落带; 复绿实践; 生态袋; 耐淹植物

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)09-0151-04

1 概况

偏岩子是三峡大坝上游近坝段的一座小岛, 主要由闪电斜长花岗岩组成。北侧 B 区岸坡总体较平整, 地形坡度约 30°, 高程 160 m 为一平台, 平台以上岸坡采用混凝土面板防护, 局部破损, 坡面存在浮石, 平台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 165 m 以上岸坡地形坡度约 35°, 采用混凝土面板防护, 破损严重, 存在架空垮塌现象, 坡面有大量松动块石, 高程 160 m 以下岸坡地形坡度 3°~25°, 表层覆盖有沙壤土。消落带区域以岩石为主, 乱石分布, 立地条件较差, 适宜植物生长的泥土等较少, 中缓坡、缓坡为泥沙淤积区, 抗冲刷能力差。三峡大坝作为我国对外的窗口, 承载着防洪、发电及航运等作用的同时, 又是众多游客旅游观光的首选之地, 其近坝段消落带的生态治理修复工作刻不容缓。早期消落带修复主要集中于泥沙淤积、水库岸线稳定、水库工程及水质安全问题等。现有相关研究技术较多, 主要围绕土壤抗侵蚀及植被绿化开展研究, 其中应用较广的有混凝土框格梁、串珠式柔性护岸技术、复合锚垫生态护坡技术等。混凝土框格梁技术需混凝土、钢

筋等建筑材料, 且施工难度大、工期长、成本高, 虽能达到一定的景观效果, 但与周围自然生态并不协调, 框格内的土体易受水流冲刷而流失。串珠式柔性护岸技术^[1]是一种依靠钢筋的串联和构件自嵌于垒, 于构件种植穴中栽种植物的柔性护坡技术。该技术既能保护消落带表层土壤不受侵蚀, 又可恢复遭破坏的自然环境, 实现工程—绿化相结合的生态护坡理念。但构成这种技术的构件或砖块往往较小、较薄, 护岸施工耗时较长, 不适用于外露时间不长的硬质消落带。复合锚垫生态护坡技术是通过植物海绵栽培基质代替土壤基质, 然后通过锚固措施将植物海绵等固定在坡面的防护技术。该技术有较强的抗冲刷能力及植物生长能力, 减少了植被对土壤的依赖, 但相对成本较高。为此, 针对三峡大坝上游近坝段偏岩子消落带现状, 提出石笼防冲墙技术、石笼板式护坡技术及生态袋护坡技术, 开展生态治理与复绿实践, 旨在为河流、水库及整个长江流域的消落带生态修复提供借鉴和参考。

2 消落带生态修复技术

(1) 石笼防冲墙技术。主要是在消落带迎水

收稿日期: 2022-10-22, **修回日期:** 2022-11-28

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

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, E-mail: qiu_liwen@ctg.com.cn

通讯作者: 沈健(1987-), 男, 高级工程师, 研究方向为边坡治理及生态修复, E-mail: 693521828@qq.com

面布置石笼防冲墙,防止消落带土体被水流冲刷而导致岸坡再造,为植被存活构筑生存空间。该技术可就地取材、便于施工,适用于坡度较缓的土质岸坡。

(2)石笼板式护坡技术。是将稳定的土质岸坡修整后铺设一层种植土,播撒草灌木种子,盖无纺布后,错位满铺石笼网(留植物栽植空间),网箱内装填卵石,最后用锚杆固定石笼网箱的技术。该技术施工简便、成本低,既能有效防止消落带土质边坡因水的浸泡与冲刷造成水土流失而发生地质灾害,又能稳定消落带边坡,改善水岸边坡的生态环境。

(3)生态袋护坡技术。是将生态袋通过各袋体连接扣相连,堆叠在消落带上,在袋中装种植土种植植被,从而解决土壤流失造成植被难以恢复的问题。该技术具有性能良好、取材方便、施工便捷、对坡体平整度要求不高等优点,较适用于坡体稳定的硬质消落带。

3 偏岩子消落带复绿实践过程

与自然消落带相反,三峡库区水位呈现冬高夏低趋势,且持续时间长^[2],传统的消落带植被难以生长与维持,生物多样性遭到破坏,自我修复能力降低。偏岩子消落带地形起伏较大,坡度较缓的阶地受库水冲刷,水土流失严重,坡度较陡的岸坡块石分布,适宜植物生长的泥土较少,局部岸坡已用混凝土护面,植物无生长空间。为恢复偏岩子消落带生境,实现消落带复绿,首先应保证在不被库水冲刷的条件下提供植物赖以生存的土壤基质,其次栽种耐淹性植物确保植物得以存活。

3.1 植物生存空间的构建

根据偏岩子消落带现状地形地质条件,将消落带地形坡度小于 15° 的区域分为缓坡度区,介于 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间的区域分为中坡度区,大于 30° 的区域分为高坡度区。针对不同的区域,选用适宜的工程措施构建植物生存空间。

(1)缓坡度区。缓坡度区位于偏岩子消落带西侧,地形坡度 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$,分布高程 $155\sim 158$ m,岸坡物质成分为沙壤土,局部表层堆积有块碎石。库水消退后,原有植被枯死,岸坡裸露,受库水冲刷掏蚀,岸坡后退迹象明显。该区分布有植被赖以生存的土壤基质,但因受库水冲刷流失严重。据此,通过在缓坡区布设石笼防冲墙来营造植物生存空间。石笼防冲墙技术剖面示意图见图1。

(2)中坡度区。中坡度区位于偏岩子消落带

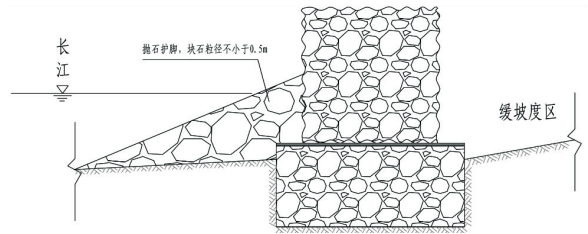


图1 石笼防冲墙技术剖面示意图

Fig.1 Schematic diagram of stone cage anti-wall technology

西南侧,地形坡度 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$,分布高程 $158\sim 165$ m,岸坡块碎石分布,局部基岩裸露,植被赖以生存的泥土较少。为确保该区复绿,需提供植被生存所需的土壤基质。为此,该区选用石笼板式护坡技术,将该区岸坡平整后,上覆一层种植土,满铺无纺布后用竹钉固定,然后错位满铺石笼网(留植物栽植空间),网箱内装填卵石,最后用锚杆固定。石笼板式护坡技术剖面示意图见图2。

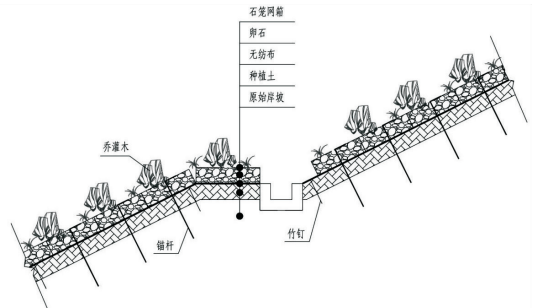


图2 石笼板式护坡技术剖面示意图

Fig.2 Schematic diagram of stone cage plate slope protection technology

(3)高坡度区。高坡度区位于偏岩子消落带西南侧和北侧,地形坡度 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$,西南侧分布高程 $165\sim 175$ m,北侧和东侧分布高程 $155\sim 175$ m。西南侧和北侧岸坡已采用混凝土面板防护,坡面凹凸不平,上有浮石,库水消落后,为一硬质岸坡,无植物生存。对此,清除坡面浮石,每 10 m高设置一条 2 m宽马道,马道内侧及坡脚布设生态挡墙,生态挡墙由生态袋装填种植土堆叠而成。坡面采用生态袋护坡,生态袋与边坡紧贴,呈面状堆叠,错位码放(开口处向边坡),间距 2.5 m(水平间距) $\times 2.5$ m(斜面间距)梅花型布设锚杆,间距 5.0 m(水平间距) $\times 3.0$ m(斜面间距)梅花型布置一根硬PVC管;安装完毕后,外挂镀锌铁丝网以防生态袋滑落。生态袋护坡技术剖面示意图见图3。

3.2 消落带植被种植

为适应消落带周期性的蓄水和消退,需选用耐淹性强,并能够适应当地气候条件、快速生长的植物品种,以保证库水消退后岸坡植被覆盖率及生物群落稳定。结合近坝段消落带植被现状调查

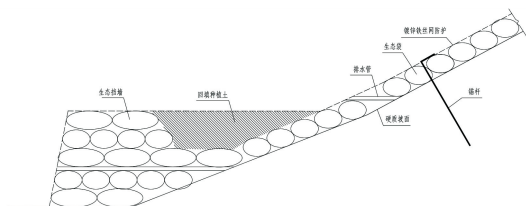


图 3 生态袋护坡技术剖面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of ecological bag slope protection technology

及文献调研,选取的乔木有中山杉、池杉、枫杨、杂交柳、水桦及湖北海棠,选择胸径 3~4 cm,自然高 3 m 左右,枝叶茂密、层次分明、冠形均匀、无明显损伤的苗木;灌木有中华蚊母、疏花水柏枝、秋华柳、野生蔷薇,选择株高 50 cm 左右的姿态自然、优美,丛生灌木分枝不少于 5 根,且生长均匀无明显病虫害的苗木;草本植物有花叶芦竹、黄菖蒲、美人蕉、狗牙根、牛鞭草、莎草、狗尾草、苍耳、藜蒿。具体配置为:①乔木栽植方案。高程 161.0 m 生态挡墙墙顶后方平台间隔 1.5 m 种植杂交柳,高程 161~165 m 坡面间隔 3.0 m (斜距)×3.0 m (水平)交叉栽植中山杉和杂交柳;高程 171.0 m 生态挡墙墙顶后方平台间隔 1.5 m 交叉种植池杉、中山杉、枫杨及杂交柳,高程 165.0~175.0 m 坡面间隔 3.0 m (斜距)×3.0 m (水平)交叉栽植池杉、中山杉、枫杨、杂交柳、水桦及湖北海棠,其中水桦及湖北海棠栽植于高程 173.0~175.0 m 的坡面。②灌木栽植方案。高程 161.0 m 生态挡墙墙顶后方平台片植疏花水柏枝及秋华柳,栽种密度为 4 株/m²,高程 171.0 m 生态挡墙墙顶后方平台片植野生蔷薇,栽种密度 15 株/m²,其余坡面间隔 1.0 m (垂直)×1.0 m (水平)交叉栽种中华蚊母及野生蔷薇。③草本栽植方案。A 区高程 155~160 m 缓坡度区片植花叶芦竹,播撒草籽(狗牙根、牛鞭草、莎草、狗尾草及苍耳),高程 160~170 m 中坡度区石笼缝隙中回填客土后栽植花叶芦竹,坡面间植美人蕉和黄菖蒲;B 区高程 160~175 m 坡面生态袋中放置混合草籽(狗牙根、牛鞭草、莎草、狗尾草、苍耳及藜蒿),高程 161 m 生态挡墙后方片植黄菖蒲和美人蕉。各植被栽植数目及成活情况见表 1。

4 偏岩子消落带复绿效果评估

偏岩子消落带生态修复工程于 2021 年 5 月中旬开工建设,2021 年 7 月底完成所有设计内容,经历 1 个水文年后,各植被生长状态表现不一。根据长江水位运行情况,按 175 m 正常蓄水

表 1 植被栽植数目及成活情况统计

Tab. 1 Statistical of plant number and survival rate

植被	栽种高程 /m	栽种株数 /株	淹没状态	全(半)淹时长 /d	成活株数 /株	植被	栽种高程 /m	栽种株数 /株	淹没状态	全(半)淹时长 /d	成活株数 /株
池杉	167	15	全淹	126	7	秋华柳	161	500	全淹	253	475
	169	15		55	12	中华	162	90	全淹	251	0
	171	40		22	35	蚊母	163	90		247	0
	175	30	不淹	365	30		164	90		244	0
中山杉	163	20	全淹	203	9		165	90		220	0
	165	20		171	12		166	90		187	0
	167	30		126	22		167	90		175	0
	169	30		55	26		168	90		160	0
杂交柳	171	20		22	20		169	90		145	0
	161	40	全淹	247	2		172	90		48	25
	163	20		203	3		173	90		37	33
	165	20		171	5		174	100		4	52
枫杨	167	50		126	18	野生蔷薇	162	100	全淹	253	0
	169	50		55	11	蔷薇	163	90		251	0
	171	20		22	8		164	90		247	0
	173	10	半淹	44	8		165	90		244	0
水桦	175	10	不淹	365	9		166	90		220	0
	167	38	全淹	126	0		167	90		187	0
	169	13		55	0		168	90		175	0
	171	25		22	1		169	90		160	0
疏花水柏枝	173	25	半淹	44	19		171	210		145	0
	169	20	全淹	55	15		172	90		48	11
	173	50	半淹	44	43		173	90		37	13
	175	50	不淹	365	48		174	90		4	37

注:草本植物以草籽为主,不参与统计。

时植被的初始状态,将各植被按全淹、半淹和不淹状态进行分类,统计各植被在不同状态下的淹没时长及各状态下的成活株数。

4.1 植物成活率评估

以树苗叶片不发黄发黑,不全部脱落或虽有脱落,但枝条仍新鲜,不变色、不皱缩现象或有新芽(叶)长出作为植物成活标准^[3],各植被的栽种高程及数目在不同状态下的成活株数见表 1。

由表 1 可知,175 m 蓄水后,乔木处于全淹、半淹及不淹三种状态,灌木完全被淹没,乔木整体成活率为 54.9%,灌木成活率为 35%。从淹没状态看,全淹状态下的乔木占总乔木株数的 73.5%,半淹状态下的乔木占总乔木株数的 12.9%,不淹状态下的乔木占总乔木株数的 13.6%,乔木在各状态下占比见图 4,其成活率分别为 42.4%、82.3%、96.7%。随着乔木从没顶淹到不淹没,其成活率逐渐增加。

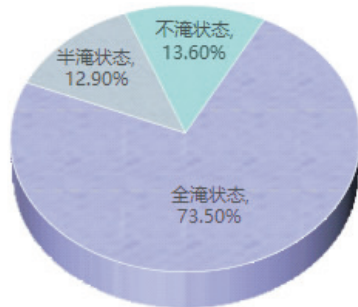


图 4 乔木在各状态下占比图

Fig. 4 Percentage of trees in each state

从植物品种方面看,乔木有池杉、中山杉、杂

交柳、枫杨及水桦，其成活率分别为 84%、74.2%、29.1%、19.8%、88.3%；灌木有疏花水柏枝、秋华柳、中华蚊母及野生蔷薇，其成活率分别为 97%、95%、11%、5%。成活率较高的乔灌木有池杉、中山杉、水桦、疏花水柏枝和秋华柳，均超过了 70%。

4.2 植物耐淹性评估

不同植物品种在被水淹没的情况下，表现出不同的耐淹能力。乔灌木在淹水状态下的成活率见图 5。由图 5 可知，在全淹状态下，乔木中池杉、中山杉、杂交柳、枫杨、水桦的成活率分别为 77.1%、74.2%、23.5%、1.3%、75%；灌木中疏花水柏枝、秋华柳、中华蚊母、野生蔷薇的成活率分别为 97.4%、95.0%、11.0%、5.0%。在半淹状态下，杂交柳、枫杨、水桦的成活率分别为 80.0%、76.0%、86.0%。从耐淹性上看，池杉、中山杉、水桦、疏花水柏枝及秋华柳耐淹性好，能承受长时间的过顶淹没；杂交柳、枫杨有一定耐淹能力，不能承受过顶淹没；中华蚊母及野生蔷薇不能承受长时间的过顶淹没。

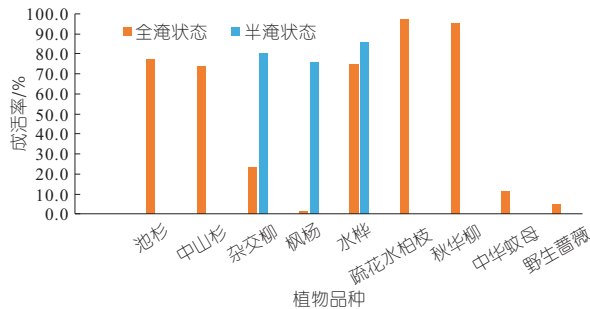


图 5 乔灌木在淹水状态下的成活率

Fig. 5 Survival rate of shrubs under waterlogged conditions

4.3 综合效果评估

经历 1 个水文年后，各植物长势喜人，偏岩子消落带全部被耐淹耐旱的绿色植被覆盖，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。

5 结论

a. 偏岩子消落带地形较陡，块石堆积，局部基岩裸露、土壤稀少，采用石笼防冲墙技术、石笼板式护坡技术、生态袋护坡技术可较好地防止消落带受库水冲刷引起水土流失，阻止生境退化，为植物生长提供必要的土壤基质。

b. 偏岩子消落带复绿过程中筛选了乔灌木、草本等十几种耐淹植物，不同区域配置不同植物品种，经历 1 个水文年后，乔灌木均有较高的成活率，消落带复绿效果明显。

c. 从成活率和耐淹性来看，池杉、中山杉、水桦、疏花水柏枝、秋华柳耐淹性较好，成活率较高，分别为 84.0%、74.2%、88.3%、97.0%、95.0%，能承受长时间的过顶淹没；杂交柳、枫杨的成活率分别为 29.1%、19.8%，有一定的耐淹能力，不能承受过顶淹没；中华蚊母、野生蔷薇的成活率分别为 11%、5%，不能承受长时间的过顶淹没。

d. 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。

参考文献：

[1] 卢彬. 三峡库区消落带生态修复文献综述[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(19): 59-61.
 [2] 梁洪海, 刘志文, 唐威, 等. 三峡库区巫山段消落带生态环境治理的策略[J]. 生物灾害科学, 2019, 42(2): 160-164.
 [3] 邱利文, 沈健, 张定军, 等. 三峡大坝下游河漫滩生态修复治理过程及效果[J]. 水电能源科学, 2022, 40(10): 191-194.

Practice and Effect of Regreening in the Slope Fluctuation

Zone Near Dam Section in the Upstream of the Three Gorges Dam

QIU Li-wen¹, SHEN Jian², AO Qian³, WU Liu-dong², ZHANG Ding-jun¹, LI Hao¹, HU Mei-xiang¹, WU Jin-hua¹

(1. Yangtze River Institute of Rare Plants, Yangtze River Ecological Environment Engineering Research Center, China Three Gorges Corporation, Yichang 443000, China; 2. Central China Company, China Southwest Geotechnical Investigation & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430040, China; 3. Zhejiang Hydrological Management Center, Hangzhou 310009, China)

Abstract: The practice of ecological governance and reforestation was carried out by taking Pianyanzi fluctuation zone as the object, proposed the stone cage anti wall technology, stone cage plate slope protection technology, ecological bag slope protection technology, which provides the necessary soil matrix for plant growth and prevents the soil from being soaked by reservoir water and erosion. On this basis, more than a dozen species of water-resistant plants were screened, and different plant species were configured in different elevation areas. After a long period of inundation in one hydrological year, the overall survival rate of trees and shrubs was 54.9% and 35%, respectively. Among them, *Taxodium ascendens* Brongn, *Ascendens mucronatum*, *Betula nigra*, *Myricaria laxiflora*, and *Salix variegata* had better submergence tolerance and higher survival rates, which were 84%, 74.2%, 88.3%, 97%, and 95%. They could withstand long-term overtop submergence, and the effect of reforestation in the water-level zone was obvious.

Key words: Three Gorges Dam; hydro-fluctuation belt; practice of green restoration; ecology bag; submergence tolerant plants