

OATA生态防护技术在三峡库区涨落区防治工程中的应用研究

汪金才^{1*}, 熊伟², 陈卫¹, 吴月旭³

¹重庆市地勘局208水文地质工程地质队, 重庆

²重庆诺为生态环境工程有限公司, 重庆

³巫山县地质灾害整治中心(巫山县地质环境监测站), 重庆

收稿日期: 2023年1月10日; 录用日期: 2023年2月15日; 发布日期: 2023年2月23日

摘要

三峡水库库区沿线岩质岸坡广泛分布, 受库水位涨落影响, 涨落区的稳定和安全是影响长江航道安全通行及区域生态平衡的主要问题之一。现阶段岩质涨落区主要采用锚喷和锚杆挡墙等支护技术进行防治, 主要解决涨落区安全性问题, 而区域生态修复问题解决难度大。OATA生态防护技术是利用自身防护体系既可抗水流冲蚀、浪蚀性能, 又可为植被生长创造条件、保护植物根茎的特点, 将工程防护和生态修复有机结合, 达到生态防护的目的。

关键词

三峡库区, 岩质岸坡, 涨落区, 生态防护, 快速施工

Study on the Application of OATA Ecological Protection Technology in the Control Project of Fluctuation Area in the Three Gorges Reservoir Area

Jincai Wang^{1*}, Wei Xiong², Wei Chen¹, Yuexu Wu³

¹Hydrogeology and Engineering Geology Team 208 of Chongqing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chongqing

²Chongqing Nuwei Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Chongqing

³Wushan County Geological Disaster Control Center (Wushan County Geological Environment Monitoring Station), Chongqing

Received: Jan. 10th, 2023; accepted: Feb. 15th, 2023; published: Feb. 23rd, 2023

*第一作者。

文章引用: 汪金才, 熊伟, 陈卫, 吴月旭. OATA生态防护技术在三峡库区涨落区防治工程中的应用研究[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(2): 156-166. DOI: 10.12677/ag.2023.132014

Abstract

The rocky bank slopes of the Three Gorges Reservoir area are widely distributed. Affected by the fluctuation of the reservoir water level, the stability and safety of the fluctuation area is one of the main problems affecting the safe passage of the Yangtze River waterway and the regional ecological balance. At present, anchor shotcreting and anchor retaining wall are mainly used to prevent and control the rock fluctuation zone, which mainly solves the security problem of the fluctuation zone, but it is difficult to solve the regional ecological restoration problem. OATA ecological protection technology uses its own protection system that can resist water erosion, wave erosion performance, and can create conditions for the growth of slope vegetation, protect the characteristics of plant roots, the organic combination of engineering protection and ecological restoration, to achieve the purpose of ecological protection.

Keywords

Three Gorges Reservoir Area, Rocky Bank Slope, Fluctuation Area, Ecological Protection, Rapid Construction

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

长江三峡水库是中国最大的河道型水库。三峡工程按照设计方案正常蓄水高水位为 175 m，低水位为 145 m，建成运行后形成了一个垂直落差达 30 m 的周期性水位涨落区[1]，是水库季节性水位涨落使库区岸坡被淹没而周期性出露于水面的区域[2]。涨落区受三峡库水位涨落影响，形成了夏季裸露，冬季淹没的周期性特殊斜坡单元，特殊的涨落区受长期水位涨落冲刷、浪蚀的影响，导致岸坡沿线剥蚀、坍塌及形成危岩崩塌等时有发生，严重威胁长江航道通行安全[3] [4]；周期性的裸露、淹没形成的特殊环境是目前三峡水库岩质岸坡多呈现裸露现象的主要原因。如何在解决岸坡安全性问题的同时，实现对区域生态的修复是目前三峡库区岩质涨落区的有待解决的主要问题之一。

三峡水库库区沿线岩质岸坡广泛分布，受库水位涨落影响，涨落区的稳定和安全是影响长江航道安全通行及区域生态平衡的主要问题之一。现阶段岩质涨落区主要采用锚喷和锚杆挡墙等支护技术进行防治，主要解决涨落区安全性问题，而区域生态修复问题解决难度大。目前，三峡库区岩质岸坡的生态防治研究处于初期阶段，研究成果较少，难点主要集中在生态修复问题。研究团队从岸坡安全防护和创造绿植生长空间两个层面，研发出了由有机质层、反滤垫、草皮增强垫和锚固系统共同构成的一种新型生态防治技术，基本能够实现对三峡库区岸坡的生态防治目的，即 OATA 生态防护技术。

2. OATA 生态防护技术

2.1. 研究背景

2008 年 11 月，三峡工程试验性蓄水 175 m 以来，由于周期性水位调度，三峡库区已经经历了 10 多年 145~175 m 的水位波动[5]。水位变化常态化强烈地改变了库岸斜坡的地质环境条件，三峡库区水位变

动带岩体损伤松动强烈，部分区域形成了高 30 m 的斜坡劣化带[6] [7] [8] [9]，即为目前社会认知的三峡库区岸坡水位涨落区。

岸坡涨落区岩体劣化的现象主要包括溶蚀/溶解、裂缝显化与扩展和机械淘蚀等，岸坡岩体质量和岩体物理力学性质会快速下降[10]。为减缓特殊的水环境对岸坡岩体造成的劣化影响，保证安全，采用工程手段对岸坡进行安全防护是必要的。

目前，针对三峡库区岩质岸坡涨落区主要采用的手段为锚喷支护和锚杆挡墙等传统支护技术。通过近几年三峡库区重庆段多个治理工程项目可知，以钢筋混凝土为媒介支护技术是可以解决岸坡涨落区的安全性问题，但防护结构表面均以混凝土面板等圬工结构为主，不但未能解决岸坡涨落区既有的生态问题，甚至加大了生态修复的难度。如巫峡段独龙 1 号采用的锚喷技术，巫峡段茅草坡 4 号采用的肋柱锚杆 + 现浇混凝土面板技术，均未能对岸坡生态问题进行有效处置，治理工程全貌见图 1，图 2。



Figure 1. Overview of Maocaopo (No.4) treatment Project in Wuxia Section
图 1. 巫峡段茅草坡 4 号治理工程全貌



Figure 2. Overview of Dulong (No.1) treatment Project in Wuxia Section
图 2. 巫峡段独龙 1 号治理工程全貌

因此，寻求一种既能对岸坡稳定性起到防护作用，又能实现生态修复的生态防护技术，是目前三峡库区岩质岸坡涨落区防治工作主要解决的问题之一。

2.2. 防护技术

OATA 生态防护技术是由有机质层(organic matter layer)、反滤垫(anti-filter pad)、草皮增强垫(turf

reinforcement pad)和锚固系统(anchorage)共同构成的一种既可抗水流冲蚀、浪蚀,又可为岸坡植被生长创造条件、保护植物根茎,从而实现生态修复的生态防护技术。

1) 有机质层采用秸秆及柔性麻纤维、泥炭土和生长剂等组成的生态微孔基质。有机质层喷射与岩面和草皮增强垫上,旨在建立土壤条件和后期生长提供初始营养,提高种子萌发率和促进植物生长,从而可以大面积及长期控制水土流失。

2) 反滤垫层由聚丙烯为原料制作而成,具有长期透水不淤堵的性能,能有效降低冲刷,极大程度保证了坡体物质稳定,减少冲刷、浪蚀影响。

3) 草皮增强垫采用具有独特截面形状的纤维通过经线和纬线的垂直编织形成的三维立体结构,结构单个的网孔由一系列的开放矩阵组成,呈倒四棱锥形,由聚丙烯为原料制作而成,结构图见图 3。相邻结构单元通过对应的底边相互衔接,各单元结构的棱锥定点为岸坡表面相贴靠形成支撑点,各结构单位的棱锥底边形成相对远离岸坡表面的缓冲面层。



Figure 3. Structure diagram of turf reinforcement pad
图 3. 草皮增强垫结构示意图

草皮增强垫主要作用为保护植物根茎,增强河道和岸坡的抗冲刷能力和减少植物的抗冲蚀疲劳;开放的矩阵结构式草皮增强垫有利于泥沙的富集,结合有机质层、反滤垫层的共同作用更有利于植被的后期生长,为水位降落之后实现岸坡快速自主复绿提供了良好条件。

稳定、精确、高强度的三维矩阵结构,保证了草皮增强垫的一致性,整体强度高,长期耐久性,抵抗化学、生物、物理和紫外线损伤能力强;其具有足够厚度的三维矩阵结构,能够提供高效的抗水流侵蚀和植被加固作用。由反滤垫层和草皮增强垫组成的面层保护综合层,抗水流冲蚀和浪蚀作用的能力达到 90%以上。

4) 锚固系统由坡面顶部和两端设置压顶梁结合普通锚杆固定(结构图见图 4, 图 5),以及坡面其他区域设置的自锁锚杆共同形成综合锚固体系。自锁锚杆(结构图见图 6)施工时,锚头采用钻孔灌浆锚固,从而实现对面层的草皮增强垫和反滤层的固定,并且通过灌浆,增加了坡体浅表层的稳定性,同时通过承载板(锚盘)的仅能单向前进的特点从而实现对面层的快速锁定,提高施工速度。

5) 环保性能达标。草皮增强垫与过滤垫均为 100%聚丙烯为原料,添加抗氧化剂,光稳定剂及防老化母料制作而成。承载板采用锌合金加工而成,锌合金熔点低,流动性好,易熔焊,钎焊和塑性加工,在大气中耐腐蚀。有很好的常温机械性能和耐磨性。锚索采用 304 不锈钢丝绳(1×7 股钢丝绳,直径 0.5 cm),在空气中或化学腐蚀介质中能够抵抗腐蚀的一种高合金钢,具有美观的表面和耐腐蚀性能好,不必经过镀色等表面处理,而发挥不锈钢所固有的表面性能。系统各结构相关采用均属于环保材料,无污染。

6) 主要实施步骤。工程施工采取自上而下进行施工。压顶梁和锚孔施工→铺设钢丝网、喷射内层有机质层→铺设反滤垫层和草皮增强垫→自锁锚杆锚固施工→喷射外层有机质层。

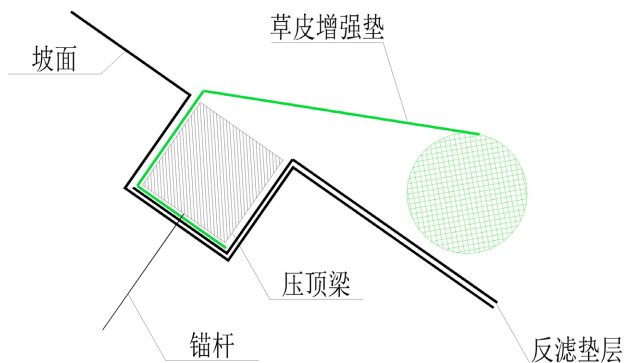


Figure 4. Structure diagram of lattice beam anchorage-1

图 4. 格梁锚固结构示意图-1

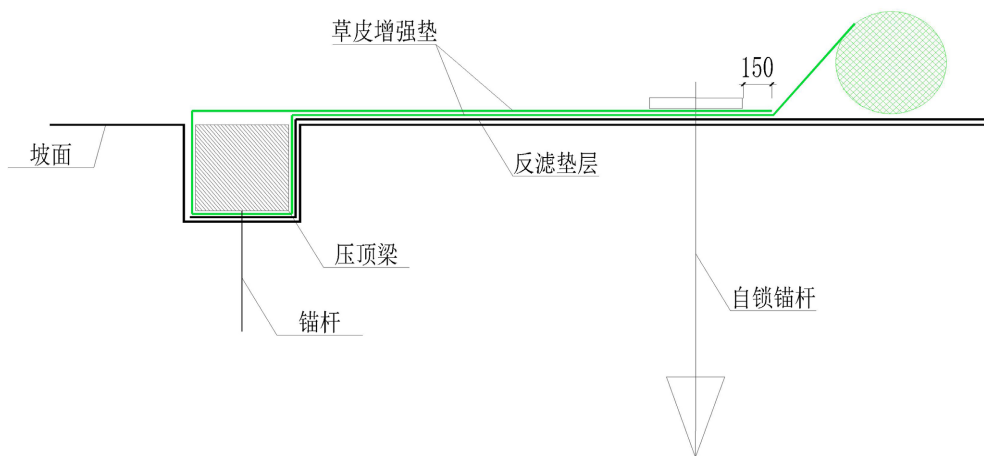


Figure 5. Structure diagram of lattice beam anchorage-2

图 5. 格梁锚固结构示意图-2

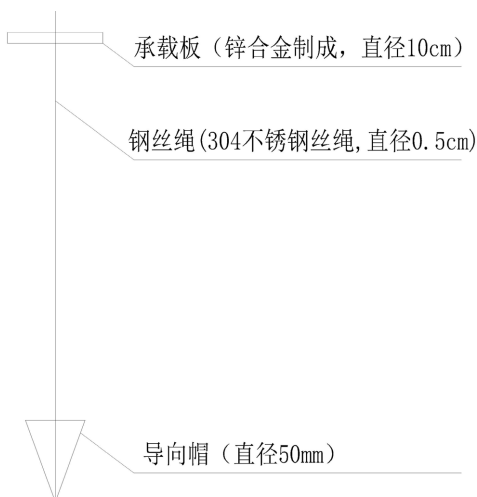


Figure 6. Structure diagram of self-locking anchor

图 6. 自锁锚杆结构示意图

2.3. 适用性

三峡库区岩质岸坡广泛分布，特别是巫峡段更是以高陡岩质岸坡为主，岸坡安全性和生态问题突出。

OATA 生态防护技术采用草皮增强垫等可铺装结构对岸坡坡面进行覆盖，自锁锚杆固定的结构方式。轻质的外置结构便于在高陡岩质边坡上的施工；自锁锚杆的固定方式，既能起到对坡体的灌浆加固，对外置结构有效固定，又能实现快速施工。

草皮增强垫等外置结构可以降低江水对岸坡的冲蚀和浪蚀作用，对岸坡坡体起到保护，另外为植被生长提供生长空间和环境。因此，OATA 生态防护技术能够适用各种坡度的岩土质岸坡，并在岩质岸坡的防护上更具独特性；OATA 生态防护技术采用铺装结构和自锁锚杆能够实现对工程的快速施工，在三峡库区现状低水位运行时间短的情况更具可操作性。

3. 三峡库区某岩质涨落区的技术应用

3.1. 涨落区基本特征

该涨落区位于三峡库区巫峡段，地形坡角 $37^{\circ}\sim 52^{\circ}$ ，基岩出露，为三叠系下统大冶组第三段薄层状的泥质灰岩，为较软岩，岩层正常产状 $335^{\circ}\sim 350^{\circ}\angle 52^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，东侧隆起的脊状地形处坡体前缘由于岩体变形其产状为 $356^{\circ}\angle 36^{\circ}$ ，整体为反向岩质斜坡。岩体内发育三组结构面：裂隙① $155^{\circ}\sim 175^{\circ}\angle 50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 、裂隙② $60^{\circ}\sim 85^{\circ}\angle 65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 、裂隙③ $220^{\circ}\sim 240^{\circ}\angle 75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。裂隙延伸长一般 0.4~2.5 m，间距 0.2~1.8 m，微张 1~3 mm，岩体破碎，岩体基本质量等级为 V 级。

涨落区为岩质岸坡，受库水位涨落影响，在水流冲蚀、浪蚀的反复作用下，坡局部发生塌岸，涨落区岩体的稳定性受库水涨落影响明显。涨落区现场照片见图 7。



Figure 7. Field photos of fluctuation area
图 7. 涨落区现场照片

3.2. 稳定性分析及塌岸预测

该段岸坡整体为反向岩质斜坡，斜坡体裂隙较发育，整体未发现明显变形，斜坡整体现状处于稳定状态；涨落区局部可见发生小规模塌岸，库岸塌岸类型为冲蚀、剥蚀型塌岸，岸坡稳定性主要受江水冲蚀、浪蚀作用影响。

3.3. 防治技术应用

涨落区采用平整坡面 + OATA 生态防护技术进行生态防治。

1) 坡体表面浮石、松散、凸起岩体, 坡面局部凹腔采用喷射 C25 混凝土嵌补, 使面层平整; 坡面采用 OATA 生态防护。

2) 在黄海高程 141~175 m 段岸坡坡面喷射有机质层 A, 依次铺设反滤垫、草皮增强垫, 喷射含有草籽的有机质层 B; 顶部和两端(黄海高程 145 m 以上)设置压顶梁结合普通锚杆固定, 其他斜坡区域设置自锁锚杆进行坡面固定。普通锚杆锚筋 1-HRB400-20, 倾角 15°, 锚孔直径 75 cm, 4.0 m 长, M35 水泥砂浆灌, 顶部单排布置, 两排单列布置; 自锁定锚杆锚筋采用 304 不锈钢钢丝绳, 倾角 15°, 锚孔直径 75 cm, 4.0 m、3.0 m 长, 矩形相间布置, M35 水泥砂浆灌注, 顺坡横竖向间距 1.5 m。支护结构剖面示意图见图 8, 工程布置图见图 9, 涨落区防治效果见图 10, 图 11。

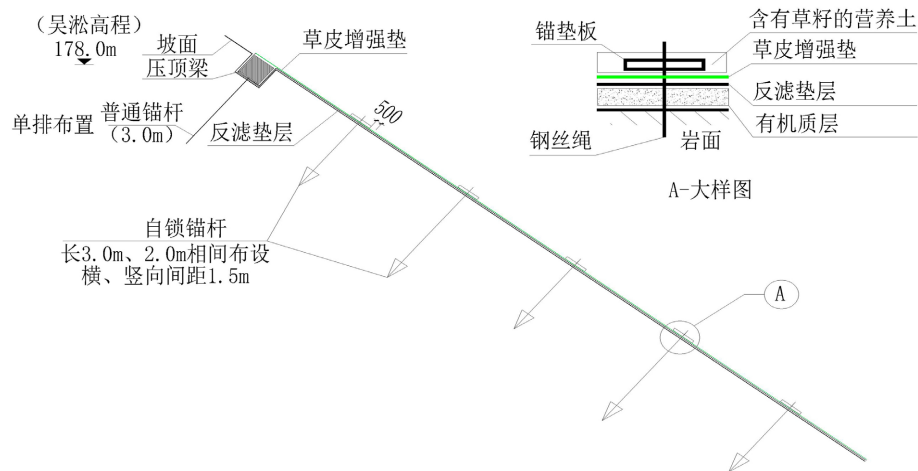


Figure 8. Schematic diagram of supporting structure section
图 8. 支护结构剖面示意图

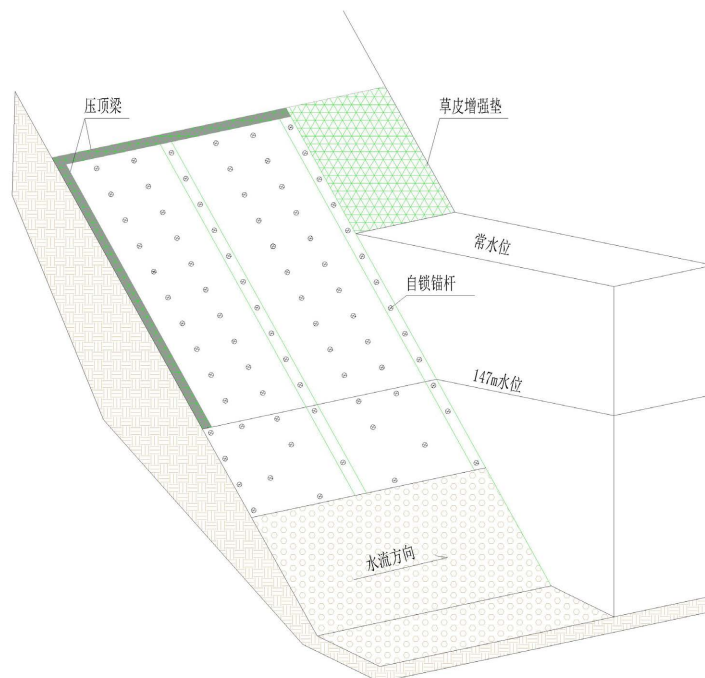


Figure 9. Engineering layout diagram
图 9. 工程布置示意图

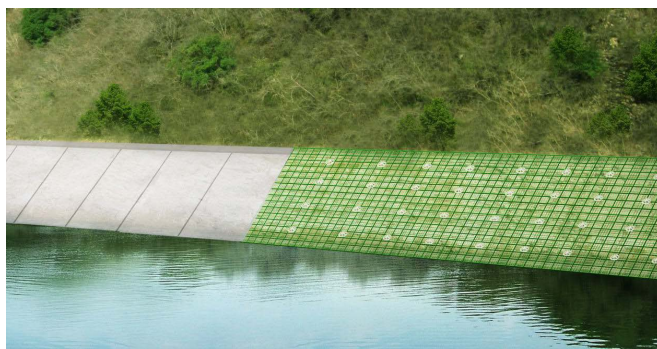


Figure 10. Control effect picture of fluctuation area—side mesh pad laid
图 10. 涨落区防治效果图——侧面网垫铺设后效果



Figure 11. Control effect picture of fluctuation area—lateral vegetation restoration
图 11. 涨落区防治效果图——侧面植被恢复效果

3.4. 与传统技术对比

现阶段岩质涨落区主要采用锚喷技术和锚杆挡墙等常规技术进行安全防护，主要解决涨落区安全性问题，对区域生态修复问题无法处理。OATA 生态防护技术利用自身防护体系既可抗水流冲蚀、浪蚀性能，又可为岸坡植被生长创造条件、保护植物根茎的特点，将工程防护和生态修复有机结合，实现生态防护的目标。

收集三峡库区巫峡段已完成的两段涨落区防治工程，与本段涨落区 OATA 生态防护进行对比，相关工作对比见表 1。

对比发现 OATA 生态防护技术较传统防护技术更经济，实施工期更短，可以在一个水文年内完成施工，较传统防护仅完成了安全防护外，更实现了安全防护 + 生态修复有机结合。

Table 1. Comparison of OATA ecological protection and traditional control techniques [11] [12]

表 1. OATA 生态防护与传统防治技术对比表[11] [12]

工程名称	重庆市巫峡段独龙 1 号	重庆市巫峡段独龙 8 号	OATA 生态防护岸坡段
库岸长度	353.59 m	312.12 m	190 m
设计方案 (黄海高程)	锚喷 + 水下柔性防护： 150~175.5 m 高程涨落带采用 平整坡面 + 锚杆 + 喷砼护面 支护；150~142 m 高程范围采用 水下土工柔性防护垫防护。	格构 + 锚喷支护 + 水下主 动防护网；149.00~175.00 高程 采取格构 + 锚喷支护； 143.00~149.00 高程采用水下 主动防护网进行防护。	平整坡面 + OATA 生态防护技 术；141~175 m 高程岸坡平整坡 面边后采用 OATA 生态防护。

Continued

概算投资	总投资概算 1592.3 万元	总投资概算 1875.7 万元	总投资概算 752.4 万元
每米岸坡投资	4.5 万元	6.0 万元	3.9 万元
工期	110 日历天(两个水文年)	170 日历天(两个水文年)	90 日历天(一个水文年)
技术特点	安全防护	安全防护	安全防护 + 生态修复

4. 应用前景

4.1. 三峡库区应用环境

三峡大坝建成运营后, 三峡库区生态环境和工程环境发生巨大变化, 库区水位循环变动的特点, 对地质灾害防治提出了新的要求和挑战[13] [14]。三峡库区周边的地质灾害的防治工作, 应由对现有地质灾害隐患点的治理工作向对可能形成地灾点的区域的防范工作推进, 从源头保护三峡库区的安全, 是三峡库区面临的新的难题; 如何将单一的地灾防治向防治与生态环境保护相结合转变, 让新三峡成为生态三峡、绿色三峡, 是三峡库区地灾防治面临的新的挑战和努力方向。

三峡库区涨落区面积达 400 多平方公里, 其中重庆市境内涨落区面积达 247 平方公里, 岩质涨落区广泛分布。涨落区的特殊位置也决定了涨落区防治的重要地位和防治难度, 如何做到涨落区的防治与生态环境保护相结合, 是实现山水林田湖草系统治理, 保护长江母亲的重要环节。

面对安全防治与生态环境保护双重要求下, 对三峡库区涨落区实现生态防治是必要的, 应用前景广泛。

4.2. 三峡库区水文条件

三峡水库于 2003 年蓄水至 135 m, 2004 年蓄水至 143.2 m, 2006 年蓄水至 156 m, 2008 年 11 月蓄水至 172.8 m, 2010 年 10 月 25 日蓄水至 174.9 m。三峡水库运行调度方式是, 每年 11 月至次年 4 月处于 175 m 的高水位运行, 6~9 月份则为防洪限制水位 145 m 运行, 水位变幅呈秋冬季节高, 春夏季节低, 且每年经受一次从 175 m→145 m 的降水水位和从 145 m→175 m 抬升水位的变幅特征, 这对库岸斜坡地段的水文环境带来复杂的变化, 并为两岸沿线治理工程施工带来了极大的制约。

通过对近几年长江水文网发布的长江三峡水库库水位的统计分析(见图 12、表 2), 水位一般于 4 月初回落到 165 m (吴淞) 水位附近运行, 从 4 月下旬开始逐渐下降, 6 月上旬降至最低 145 m 水位左右运行, 进入 7 月份之后库水位受汛期降雨影响, 水位上下波动较大, 8 月下旬开始逐步蓄水回升。长江三峡库低水位运行时间主要集中在 6 月中下旬, 7 月开始库水位变动较大, 水位高度受降雨影响明显, 且整体连续三天以上低水位运行时间较短, 如 146.0 m (吴淞) 水位以下的运行时间为 12 历天。

三峡水库涨落区防治工程施工主要集中于 4 月至 7 月之间, 特别是高程 150 m (吴淞) 以下区域治理工程施工应于 6 月份水位最低运行期全部完成。因此, 受三峡水库特殊的水文条件制约, 涨落区防治工程主体结构施工空间窄、时间短, 寻求一项能够实现便捷、快速施工的防治技术, 是涨落区防治工作的突破方向。

4.3. OATA 生态防护技术应用前景

OATA 生态防护技术是结合安全防护和生态修复的一种新型生态防护技术。同时, 该技术主要采用了快速铺装和自锁锚固等技术, 能够实现快速锁定、便捷施工, 提高施工速度, 实现在三峡库区一个水文周期内完成所有防治工程施工的工期要求, 避免多次进出场, 节约投资。

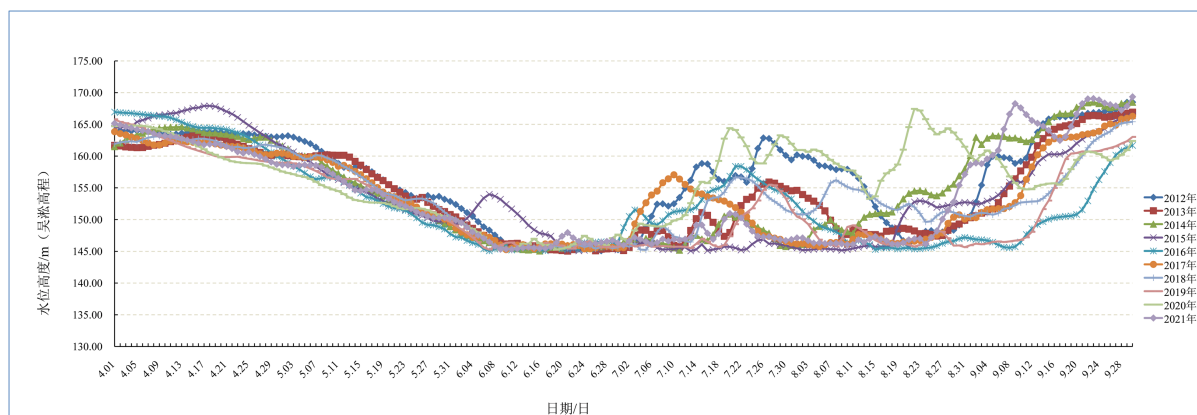


Figure 12. Statistical of water level in the Three Gorges Reservoir area

图 12. 长江三峡库水位统计图

Table 2. Statistical table of days with water level below 145~147.0 m (Wusong elevation) in the Three Gorges Reservoir Area from 2012 to 2021

表 2. 2012~2020 年三峡库区水位低于 145~147.0 m (吴淞高程) 的历天数统计表

水位\年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<147.0 m	29	30	45	61	58	48	32	74	23	66
<146.5 m	24	27	37	58	47	37	30	63	19	34
<146.0 m	21	22	24	46	34	19	25	37	9	12
<145.5 m	5	12	8	27	15	5	7	4	5	6
<145.0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. 结语

1) 三峡水库库区沿线岩质岸坡广泛分布, 受库水位涨落影响, 涨落区的稳定和安全是影响长江航道安全通行及区域生态平衡的主要问题之一。现阶段岩质涨落区主要采用锚喷和锚杆挡墙等传统支护技术进行防治, 主要解决涨落区安全性问题, 而区域生态修复问题解决难度大。

2) OATA 生态防护技术是通过锚固系统与面层的防护系统构成一个有机整体, 对于坡面的风浪、船行波以及地表径流的侵蚀起到有效防护作用, 减缓坡面裂化; 另外由于面层防护系统的几何结构能附着和积累植物生长的泥沙及其他营养物质, 为植物生长提供生长环境, 并且对于植被提供持续的防护, 最终实现坡面安全防护和生态修复。

3) 在对环境保护要求日益提高的今天, 为促进三峡库区地质灾害治理的生态化水平, 将地质灾害工程防治与生态修复有机结合是必要的, OATA 生态防护技术将会在三峡库区岸坡涨落区防治领域具有重要意义。

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] 刁承泰, 黄京鸿. 三峡水库水位涨落带土地资源的初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(1): 75-80.
- [3] 殷跃平. 三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 145-149.
- [4] 三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区地质灾害防治工程设计技术要求[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2014.

- [5] 黄波林, 殷跃平, 李滨, 等. 三峡工程库区岩溶岸坡岩体劣化及其灾变效应[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 51-61.
- [6] 陈祖煜, 殷跃平. 国务院三峡枢纽工程质量检查小组报告地质灾害专题报告[R]. 北京: 中国工程院, 2019.
- [7] 邓华锋, 肖瑶, 方景成, 等. 干湿循环作用下岸坡消落带土体抗剪强度劣化规律及其对岸坡稳定性影响研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(9): 2629-2638.
- [8] 余姝, 张枝华, 黄波林, 等. 三峡库区青石-抱龙段顺层灰岩库岸坡变形破坏机理[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(3): 18-23.
- [9] 蒋文明, 王鲁琦, 赵鹏, 等. 三峡库区箭穿洞危岩体变形破坏模式与防治效果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2021, 32(5): 106-112.
- [10] 黄波林, 殷跃平, 张枝华, 等. 三峡工程库区岩溶岸坡消落带岩体劣化特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(9): 1786-1796.
- [11] 重庆市地质矿产勘查开发局 107 地质队. 巫山县龚家方至独龙不稳定斜坡独龙 1 号库岸应急抢险治理工程初步设计[R]. 2018.
- [12] 三峡大学(湖北)建筑设计研究院有限责任公司. 巫山县龚家方至独龙不稳定斜坡独龙 8 号库岸应急抢险治理工程初步设计[R]. 2017.
- [13] 叶建军. 边坡生态护面方法探讨[J]. 水土保持研究, 2006(5): 215-219.
- [14] 谭淑端, 王勇, 张全发. 三峡水库消落带生态环境问题及综合防治[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 101-105.