

适用于三峡水库中陡土坡消落区 等高种植的土工结构模型

李新^{1,2}, 高芳^{1,2}, 刘正学^{1,2}, 张立冬^{1,2}, 郝艳龙^{1,2}, 郭远臣³, 刘亚涛⁴

(1. 重庆三峡学院 环境与化学工程学院, 重庆 万州 404100; 2. 重庆三峡学院 三峡库区水环境演变与污染防治重庆高校市级重点实验室, 重庆 万州 404100; 3. 重庆三峡学院 土木工程学院, 重庆 万州 404100; 4. 重庆三峡学院 基建处, 重庆 万州 404100)

摘要: [目的] 探讨在当前三峡库区面临的严峻生态环境下, 采取何种适合的生态治理技术以解决库区生态环境安全问题, 为三峡库区生态环境修复提供一定的参考依据。[方法] 通过生态治理模型整体框架结构, 提高中、陡土坡生态系统地表基底稳定性; 通过等高种植平面绿化技术、土工格室垂直绿化技术, 提高消落区植被覆盖率和土壤肥力; 通过不同高层区段消落区适宜植物“乔—灌—草—藤”(177~170 m)、“灌—草—藤”(170~160 m)、“草—藤”配置(160~145 m), 对消落区的生物多样性、植被覆盖率及景观层次起提高作用。[结果] 通过模型设计, 将传统混凝土护坡技术与现代生态护坡技术相结合、等高种植平面绿化技术与土工格室垂直绿化技术相结合, 实现了生物措施与工程措施的高度统一、系统稳定性与开放性的高度统一、植被覆盖率与景观层次的高度统一。[结论] 该土工结构模型的应用对三峡水库中陡土坡消落区生态治理具有一定的参考价值和现实的应用前景。

关键词: 三峡水库; 消落区; 中陡土坡; 生态护坡; 模型

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)05-0266-04

中图分类号: P343.3, U656.3

文献参数: 李新, 高芳, 刘正学, 等. 适用于三峡水库中陡土坡消落区等高种植的土工结构模型[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 266-269. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.045; Li Xin, Gao Fang, Liu Zhengxue, et al. A suitable contour planted geotechnical pattern for middle and steep soil slope in water-level fluctuation zone of Three Gorges reservoir[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 266-269. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.045

A Suitable Contour Planted Geotechnical Pattern for Middle and Steep Soil Slope in Water-level Fluctuation Zone of Three Gorges Reservoir

LI Xin^{1,2}, GAO Fang^{1,2}, LIU Zhengxue^{1,2},

ZHANG Lidong^{1,2}, HAO Yanlong^{1,2}, GUO Yuanchen³, LIU Yatao⁴

(1. School of Environment and Chemistry Engineering, Chongqing Three Gorges

University, Wanzhou, Chongqing 404100, China; 2. Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Control, Three Gorges Reservoir, Wanzhou, Chongqing 404100, China;

3. College of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou, Chongqing 404100, China;

4. Infrastructure Construction Department, Chongqing Three Gorges University, Wanzhou, Chongqing 404100, China)

Abstract: [Objective] To find a kind of ecological management technology that can be adopted to solve the ecological problem existed in the Three Gorges reservoir area. Some appropriate ecological management technologies were researched to provide some reference for the restoration of ecological environment in the three gorges reservoir area. [Methods] To improve the foundation stability in the middle and steep soil slope of ecosystem, measure of open circulation of the reinforced concrete frame was adopted. To strengthen the vegetation coverage and soil fertility in the water-level fluctuation zone, measure of contour planted areal

收稿日期: 2017-02-21

修回日期: 2017-03-03

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“三峡库区消落带种子库动态及多年生草本植物适应机制”(31270451); 重庆市水利局项目(渝水资源[2014]10号); 三峡库区水环境演变与污染防治重点实验室开放基金(WETKL2012MS-07)

第一作者: 李新(1992—), 女(汉族), 湖南省益阳市人, 硕士研究生, 研究方向为生态护坡。E-mail: 287347012@qq.com。

通讯作者: 刘正学(1965—), 男(汉族), 重庆市万州区人, 博士, 硕士生导师, 主要从事三峡库区生态重建、植物生理生态学、水生环境微生物学等方面的研究。E-mail: 1421031367@qq.com。

greening and geo-cell planted vertical greening were conducted. To increase the biodiversity and landscape level in the water-level fluctuation zone, some suitable plant arrangements at different slope levels in the water-level fluctuation zone were carried out, including "tree-shrub-grass-vine" (177~170 m), "shrub-grass-vine" (170~160 m) and "grass-vine" (160~145 m). [Results] The pattern helped to integrate the traditional concrete slope protection technology and modern ecological slope protection technology, and to integrate contour-planted areal greening and geo-cell planted vertical greening, is beneficial to gain high unity of biological measures and engineering measures, system stability and opening, vegetation coverage rate and landscape level. [Conclusion] The application of this pattern has reference value and application perspective for the ecological management in water level fluctuation zone of the Three Gorges reservoir to some extent.

Keywords: Three Gorges Reservoir; water-level fluctuation zone; middle and steep soil slope; ecological slope protection; model.

三峡水库消落区的生态环境问题,具有水位差大(0~30 m),持续时间长(因高程而异,一般5~6个月)、反季节性淹没(11月至翌年5月)及洪水的不定期淹没等特征,导致三峡水库消落区生态环境问题与原自然消落区或一般湿地生态系统所面临的生态环境问题存在较大差异^[1],其核心问题主要包括3个方面:①库岸稳定性差,水土流失严重,物质能量循环障碍;②植被遭毁灭性破坏,生物多样性急剧下降;③库岸治理模式简单,环境污染加剧,景观劣化严重。三峡水库消落区生态环境问题最为集中、最为严峻、最难解决、亟需治理的是中(15°~25°)、陡(25°~75°)土坡消落区,如何发展合适的生态护坡技术以解决消落区生态环境安全问题已引起多方关注,并日益成为工作的重点、难点和热点。

当前,针对三峡水库消落区的生态护坡技术主要有:①土工网复合植被护坡^[2]。如三峡工程坝区谷树岭及坛子岭、湖北省兴山县等,用网固草,以草防冲、网草交织共同护坡。②适宜植物护坡^[3]。常见于城镇消落区,主要通过消落区适宜植物的筛选,在不同高程段种植相适宜的植物进行护坡。③生态混凝土护坡^[4]。主要针对高陡岩石边坡。④自然卵石护坡^[5]。散见于三峡水库消落区不同区域。

以上针对三峡水库消落区的生态治理技术各有优缺点并且主要适用于一些坡度较平缓或浪刷作用相对较弱的消落区,但针对中、陡土坡消落区护坡治理在国内却很少见。因此,本文拟以三峡水库中、陡土坡消落区为研究对象,设计一种专门针对三峡水库中陡土坡消落区等高种植生态治理模型,以期解决三峡水库中、陡土坡消落区生态护坡、植被重建、景观层次等难题。

1 模型设计方案

1.1 结构设计

1.1.1 整体结构设计 本模型为一种开放型的钢筋

混凝土整体框架结构,其由许多结构单体组成。每一个结构体主要包括设置于消落区迎水坡横向方向带有框格的抗冲垂直板、设置于抗冲垂直板顶部带有框格的缓冲倾斜板、设置于抗冲垂直板一侧的连接板、设置于连接板底部的加固桩、在不同高层的相邻结构单体的抗冲垂直板之间通过连接板隔出的容纳槽等部分。

1.1.2 分体结构设计

(1) 抗冲垂直板与缓冲倾斜板。①结构:抗冲垂直板设置于消落区迎水坡横向方向,其顶部为缓冲倾斜板,并在垂直板、倾斜板上开孔形成框格;②功能:所述抗冲垂直板主要功能是抗冲蚀作用,缓冲垂直板主要功能是缓解冲蚀作用并防止容纳槽中的培养基流失。网孔部分的设计采取类似于土工格室植草护坡的方法在其框格内种植适宜草本、灌木、攀援性或垂吊性植物,达到垂直绿化目的。

(2) 连接板与加固桩。①结构:连接板设置于抗冲垂直板一侧,加固桩设置于连接板底部;②功能:连接板的主要功能是连接不同高层相邻结构单体的抗冲垂直板,加固桩的功能是深入土中进一步稳固整个装置。

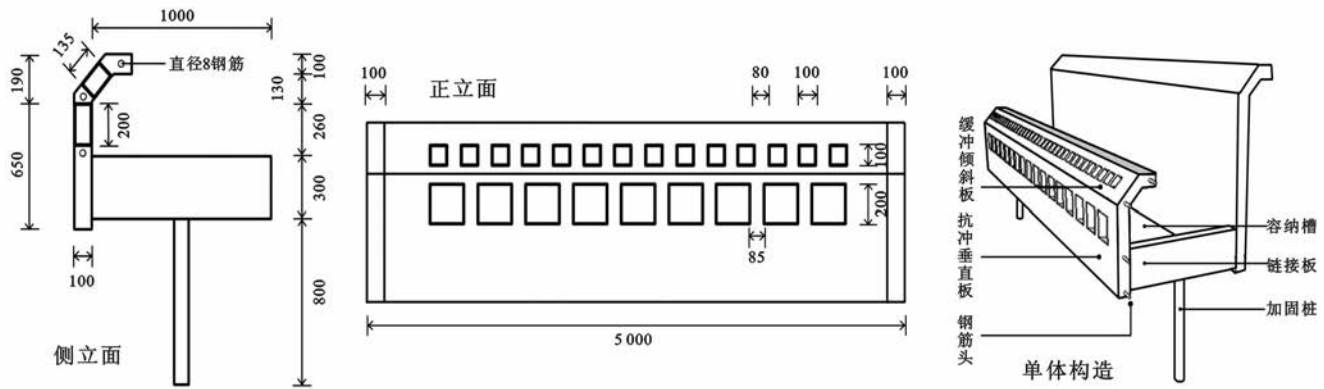
(3) 容纳槽与培养基。①结构:在不同高层的相邻结构单体的抗冲垂直板之间通过连接板隔出容纳槽,在容纳槽中填充植物培养基;②功能:根据不同的地理条件和生态环境容纳槽中等高种植适宜的植物群落,达到平面绿化目的。上述平面绿化与垂直绿化技术相结合,植被覆盖率可到达90%~100%。

1.2 结构预制规格尺寸

如图1所示,抗冲垂直板,长约5 000 mm,宽约100 mm,高约650 mm。缓冲倾斜板与抗冲垂直板形成45°夹角,分为2个部分:①倾斜部分。向外斜面约200 mm,向内斜面约150 mm,厚度约100 mm;②水平部分。上平面向内深入约100 mm,厚度约为100 mm。在抗冲垂直板和缓冲倾斜板上分别开约

200 mm×200 mm 和约 100 mm×100 mm 的方形孔,间隔分别约为 85 和 80 mm。连接板长约 1 000

mm,宽约 100 mm,高约 300 mm,在下底面中间处插入直径约 80 mm,长约 800 mm 的加固桩。



注:侧立面和正立面中数值单位为 mm。

图 1 开放型钢筋混凝土结构规格尺寸

1.3 混凝土结构材料构成

混凝土结构材料构成包括:胶凝材料、粗骨料、细骨料、水、外加剂。胶凝材料用水泥为 P32.5 普通硅酸盐水泥和 I 级粉煤灰。粗骨料为碎石(粒径范围 5~31.5 mm,视密度 2.89(g/cm³),其堆积密度为 1.47(g/cm³),吸水率为 0.40%,压碎值为 10.2%)。

细骨料为山砂(最大粒径 4.75 mm,连续级配),其它外加剂有高效减水剂(FDN)、膨胀剂(UEA)。以 C₃₀ 混凝土配合比为基准,参照《JGJ55-2000 普通混凝土配合比设计规程》,前期试验结果(表 1)表明,其适用性能能够满足模型应用要求。

表 1 C₃₀ 混凝土配合比及前期试验结果

项目	水灰比	砂率	减水剂掺量/%	膨胀剂掺量/%	粉煤灰掺量/%	28 d 抗压强度/MPa	28 d 抗剪强度/MPa
参数	0.40	0.53	0.2	5	10	32.7	4.05

1.4 施工流程

主要施工流程如下:①地质勘测;②桩基施工;③确定构件使用量;④构件预制;⑤养护;⑥现场装配;⑦植被修复、重建。

1.4.1 施工条件 三峡库区消落区中陡土坡不稳定^[6-7],并随水位的涨落时而淹没时而出露成陆,施工现场不易进行频繁的机械调动,所以不宜采用传统现浇式施工方法。经实地考察分析发现:消落区出露水面后一般形成 10~30 cm 的淤泥质土,强度较低但是含有较多腐殖质,能加速植被生长;淤泥质土下部为黏土或砂岩,强度相对较高,可以进行桩基础施工。加固桩施工时根据实地条件,要求嵌入岩石深度不低于 50 cm,以保证桩身不被地下水侵蚀破坏。其余部分采用预制构件现场拼装,铆合部分用胶凝材料加固。

1.4.2 施工步骤 施工时先用混凝土预制出钢筋混凝土结构单体,在消落区同一高层上平整出能够放置结构单体的基底,将结构单体通过加固桩固定在基底上;同一高层相邻结构单体通过抗冲垂直板相向的钢筋头焊接在一起,并在钢筋焊接处通过浇筑混凝土将

处于同一高层的结构单体连为一体。依次可沿消落区地势的不同高层设置连为一体的结构体(图 2)。

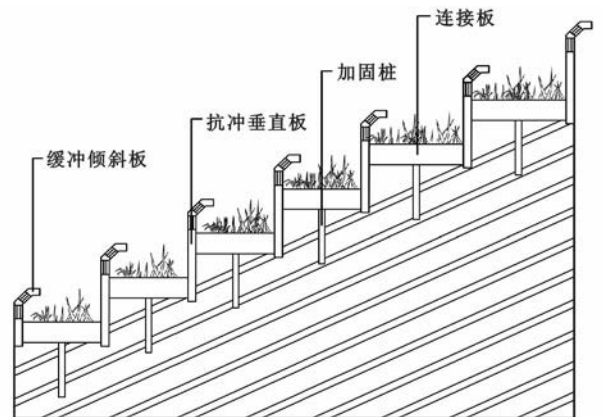


图 2 开放型钢筋混凝土模型侧面

2 模型性能分析

2.1 模型设计的结构分析

2.1.1 结构设计分析 建筑施工时,桩底嵌入岩石部分不小于 500 mm,混凝土强度为 C40,桩身截面为

圆形,配筋采用 $6\Phi 10$ 圆形排列,箍筋采用 $6\Phi 150$ 。因此,钢筋混凝土加固桩与基岩(主要为砂岩)具有较好的嵌固能力和抵抗流水潜蚀能力。

2.1.2 结构力学分析 模型采用装配式结构。首先预制抗冲垂直板和缓冲倾斜板构件,与连接板现浇连接;加固桩现浇完毕后与上部容纳槽通过装配方式用胶凝材料连接,此时一个单体装配完成,依次逐级装配。该结构能够加强模型整体稳定性。

2.1.3 结构抗浪蚀能力、抗冲刷能力分析 钢筋混凝土结构具有较好的抗浪蚀、抗冲刷能力,此设计采用的材料强度足够,安全系数较高。消落区水位涨落与自然洪枯规律相反,每年夏季出露水面时正值天气炎热、暴雨频繁,地表蒸发量于晴天时过大,导致土坡松动;中陡土坡抗滑系数较小,抗剪能力较差,土壤固结能力弱,在浪蚀以及地表径流的冲刷作用下逐渐被侵蚀,部分土壤颗粒形成富含有机质的淤泥,更加降低了土坡稳定性。传统灰砂砖设计强度达到 20 MPa 时即满足抗浪蚀要求,而此设计采用的是刚性框架,基准设计强度为 30 MPa,能够满足抵抗水浪侵蚀与地表径流的冲刷能力。

2.2 开放型钢筋混凝土结构工作性能分析

2.2.1 基本力学性能 此模型的基本力学性能主要涉及抗压强度和抗剪强度 2 个方面。所制备的混凝土试件实测 28 d 抗压强度平均值为 32.7 MPa,抗剪强度为 4.05 MPa。结构上部容纳槽不承受较大荷载,主要是承受来自于土体围压的剪切力;而在容纳槽土体内所产生的横向力被抗冲垂直板的横向约束所抵消,土体底部地下水浮力又被倾斜缓冲板的纵向约束所抵消。因此,在力学效果上能够满足抗剪要求。

2.2.2 结构对植被的适应性 刚性护坡结构在施工过程中涉及到的基坑开挖、支挡结构的搭建,以及挤土效应和流土管涌现象所造成的土体松动,极易对原有植被造成破坏^[8]。而此模型设计的容纳槽能对已有土体形成锚固作用,使原有生态系统相对独立,在被淹没的单体内部,土壤不易流失,土工格室控制单体内部水流量,使出露成陆后原有生态系统得以延续;未淹没的部分植被正常生长,同时促使下一级植被出露水面后迅速形成,由此形成了一个相对独立却又相互共生的完整植被生态系统。

2.2.3 模型设计方案灵活性分析 本模型在实际应用中可根据实际情况进一步优化设计方案。一方面,模型材料可替代。一是混凝土材料可用新型生态环保材料替代;二是土壤基质可用植生袋等基质替代。另一方面,模型结构可灵活。一是可取消连接板,降低造价成本;二是可取消单体横向连接,降低维护成本。

3 模型技术特点及应用前景展望

综上所述,该模型具有如下技术特点:①将传统混凝土护坡技术与现代生态护坡技术相结合,既能充分发挥传统护坡的系统稳定性优势,又能兼顾生态护坡的系统开放性。②将等高种植平面绿化技术与土工格室垂直绿化技术相结合,植被覆盖率可达到 90%~100%。③模型材料可替代、结构可灵活,可适应不同的应用需求。

三峡水库消落区主要分布在 19 个区县,总面积为 360.93 km²,占淹没陆域面积 55.21%^[9-10]。根据《三峡后续工作规划总体报告》,要求在高程 145~170,170~175 m 这 2 个区域,完成植被恢复面积 26.98 km²;高程 145~170 m 为 19.04 km²,170~175 m 为 7.94 km²。因此,本模型的应用对三峡水库中陡土坡消落区生态治理具有一定的参考价值和现实的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] He Keqiang, Yu Guangming, Li Xiangran. The regional distribution regularity of landslides and their effects on the environments in the Three Gorges Reservoir Region, China[J]. Environmental Geology, 2009, 57(8):1925-1931.
- [2] Romano N, Lignola G P, Brigante M, et al. Residual life and degradation assessment of wood elements used in soil bioengineering structures for slope protection[J]. Ecological Engineering, 2016, 90:498-509.
- [3] Yan Zhixin, Song Yun, Jiang Ping, et al. Preliminary study on interaction between plant frictional root and rock-soil mass[J]. Science China Technological Sciences, 2010, 53(7):1938-1942.
- [4] 王飞,史文明,王能贝,等.绿色生态型护坡在三峡水库消落区的工程应用[J].水电能源科学,2010,28(3):105-107.
- [5] 王文君,黄道明.国内外河流生态修复研究进展[J].水生生态学杂志,2012,33(4):142-146.
- [6] 王佳佳,殷坤龙,肖莉丽.基于 GIS 和信息量的滑坡灾害易发性评价:以三峡库区万州区为例[J].岩石力学与工程学报,2014,33(4):797-808.
- [7] 陶俊.三峡库区不同护坡草本根系分布对土壤理化性质的时间尺度效应[D].昆明:西南大学,2013.
- [8] 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.
- [9] 王福海,周启刚,杨霏,等.三峡库区 2010 年度土地利用现状分析[J].水土保持研究,2013,20(5):221-225,231.
- [10] 李月臣,刘春霞,闵婕,等.三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J].生态学报,2013,33(1):168-178.