

改性淤泥-植生混凝土生态护坡技术 在工程中的应用

——以高邮灌区为例

耿瑞雯^{1,2}, 闵克祥³, 张红艳³, 刘建华³, 朱慧³, 祝建中^{1,2*}

(1. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098; 2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏南京 210098;
3. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏南京 210022)

摘要:针对传统护坡技术生态效应差的问题,结合室内试验和现场示范,探究以改性淤泥和植生混凝土两种护坡材料相结合的生态护坡技术,建设兼具输水性、防渗性及保水性的生态可植生渠道。以江苏省高邮灌区生态护坡建设工程为例,明确护坡技术参数并进行现场施工。结果表明:经过3个月的现场示范,植物种子发芽情况良好,坡面稳固。即使在多雨时节,植物长势依然良好,且坡面未出现坍塌情况。和传统护坡方式相比,改性淤泥-植生混凝土生态护坡方式在兼具生态优势的基础上,造价估算要低13.63%,经济效益显著,具有较好的应用发展前景。

关键词:改性淤泥; 植生混凝土; 生态护坡

中图分类号:TV861

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)07-0017-0004

Application of modified silt-vegetated concrete ecological slope protection technology on engineering: taking Gaoyou Irrigation District as an example

GENG Ruiwen^{1,2}, MIN Kexiang³, ZHANG Hongyan³, LIU Jianhua³,
ZHU Hui³, ZHU Jianzhong^{1,2}

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor ecological effect of traditional slope protection technology, combining indoor tests and field demonstrations, the ecological slope protection technology combining modified silt and vegetated concrete as slope protection materials is explored, and an ecological vegetation channel with water conveyance, anti-seepage, and water retention properties is constructed. Taking the ecological slope protection construction project in Gaoyou Irrigation District of Jiangsu Province as an example, the technical parameters of the slope protection are clarified and on-site construction is carried out. The results showed that the plant seeds germinated well and the slopes were firm after a 3-month field demonstration. Even in the rainy season, the plants grew well and there was no collapse on the slope. Compared with the traditional slope protection method, the modified silt-vegetated concrete ecological slope protection method, on the basis of ecological advantages, the cost is estimated to be 13.63% lower, the economic benefits are significant, and has a better application and development prospects.

Key words: modified silt; vegetated concrete; ecological slope protection

收稿日期: 2024-03-12

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51979077); 江苏省水利科技项目(2022036)资助

作者简介: 耿瑞雯(1995—), 女, 研究方向为河道底泥污染控制技术。E-mail: 2530685055@qq.com

通信作者: 祝建中(1970—), 男, 教授, 博士, 研究方向为环境材料应用理论与技术。E-mail: zhuhhai2010@hhu.edu.cn

“十四五”期间,随着生态文明建设的发展,环保理念深入人心^[1]。在加强基础水利设施建设的同 时,工程项目的生态性能获得更多重视^[2]。传统河道治理多采用硬质式护岸^[3],边坡缺乏植被覆盖。降雨侵蚀造成的水土流失、边坡失稳塌陷成为常见的工程安全隐患^[4-5]。相比而言,植生混凝土修复技术作为一种新型生态护坡技术,既可以防汛护坡,又能够修复生态环境,降低护坡成本^[6]。目前广泛应用于在公路边坡防护、河流堤防护岸工程中。

相比选取天然土壤类传统植生基材作为主材料,将淤泥作为主要原材料制备植生基材,不仅对生态文明建设有积极的促进作用,而且可以实现淤泥原位资源化利用。我国大型河湖如黄河、太湖等每年会产生大量疏浚淤泥,若采用堆填或焚烧等常规方法处置,会产生大量资源浪费,甚至造成二次污染^[7]。淤泥的资源化利用具有重要的现实意义,若通过合理的淤泥资源化利用,则可以得到良好的环境效应^[8]。因此,把改性淤泥和植生混凝土两种护坡材料进行综合铺设,不但可以保证良好的植生效果,而且工程方面的力学支撑效应大大提升,保证了渠道的稳定性。

本文以江苏省高邮灌区为例,对改性淤泥-植生混凝土生态护坡技术的基材配比、工艺流程、护坡效果和工程效应进行综合评价与分析,旨在为该技术在生态护坡工程中的进一步推广和使用提供参考。

1 改性淤泥-植生混凝土生态护坡技术现场试验

1.1 工程概况

高邮灌区位于淮河下游,东近三阳河,西依大运河,南接江都区,北又与宝应县相邻,是南水北调东线工程源头,也是首个面积超过3.3万hm²的大型灌溉区。高邮灌区立足于农业的有效灌溉,为周边建设有效的灌溉渠道,在丰水期和枯水期提供良好的水分平衡。工程实施之后,灌区范围内渠系水利用系数增大,灌溉保证率更是得到提高,高达90%。恒丰支渠是扬州高邮市灌溉区车八干渠的支渠,全长1.35 km,其中使用本课题组改性淤泥、植生混凝土护坡植生技术的长度约为60 m,位于干渠的出水口处。

1.2 改性淤泥-植生混凝土生态护坡技术材料

现场试验所用的主要材料是改性淤泥-植生混凝土。

改性淤泥:实验中所选淤泥取自江苏省南京市鼓楼区江边路西长江江边。首先利用硅酸盐水泥、低碱水泥、肥料和粉煤灰材料增强淤泥的力学性能;然后在此基础上,添加3种固化剂通过复合正交实验获得改性淤泥。

改性淤泥-植生混凝土:植生混凝土主要是由骨料、胶结材料和水制备而成的一种多孔型混凝土。首先,选取石子作为骨料,并将水泥、灌浆和砂浆作为胶结材料,以制备植生混凝土;其次,确定适当的骨料粒径范围和骨胶比,并且利用FeSO₄溶液处理胶结材料来降低植生混凝土的内部碱度;最后以淤泥为原材料制备植生基材填充混凝土。将改性淤泥替代客土铺设于植生混凝土上方,进行组合铺设,选取由上向下的种植方式进行播种。

在植生混凝土试验中,利用淤泥替代土壤进行客土铺设,达到了淤泥资源化利用的目的。另外,将改性淤泥和植生混凝土两种护坡材料进行综合铺设,不仅能够保证良好的植生效果,而且提高了渠道的稳定性和抗冲刷能力。

1.3 改性淤泥-植生混凝土生态护坡试验方案设计

改性淤泥-植生混凝土生态护坡设计方案主要是根据恒丰支渠生态渠道建设而提出的,恒丰支渠生态渠道位置如图1所示。该方案立足于淤泥资源化处理及生态渠道构建要求,强化改性淤泥的工程资源化应用;在基于工程稳定建设的要求上,将两种技术有效地结合在一起,改性淤泥-植生混凝土兼具生态渠道的边坡稳定性与植生效能。



图1 渠道位置示意

2 工程建设目标

(1)提高渠道两岸护坡稳定性:通过改性淤泥护坡材料及植生混凝土的作用,在高坡比的情况下,可以克服渠道放水期的水流冲刷力,维持边坡的安全稳定性,安全系数达到1.05以上。

(2)植被绿化:在经过改性淤泥与植生混凝土

的建设之后,其坡岸植被与渠道两岸坡体生长在一起,保持了生态的延续性,植被覆盖率达85%以上,并且具有良好的景观性能。

(3)淤泥的资源化利用:将淤泥作为原材料并应用于生态渠道工程项目建设中,达到良好的生态效应及经济效益。

3 工程调查研究

3.1 前期调查研究

(1)现有资料收集。根据各级政府及有关部门资源保护的规定与环境保护规划,对地形地貌、水文、气象气候、土壤、大气、水质、污染源等状况,包括动植物的繁殖、迁移规律等进行资料收集;

(2)现场调查研究。通过现场观察及勘测,包括采样分析等了解工程现场的情况,通过数据收集并预测分析工程实施时对环境的影响。

(3)图件收集和编制。关于工程现场的相关调查资料分析等,对相关图件进行收集分析,包括对工程现场绘图编制。

(4)制定工程方案。在开工前制定施工方案,明确工程量、工程特点、工程的有利和不利条件;具体施工方法;编制施工程序和进度计划表;明确人员分工等;提出现场平面布置,包括水源、电源、道路交通、料场、库房、生活设施等;制定的施工方案应附有计划表格,包括用水、劳动力、进度、材料机械运输等;编制施工预算,根据设计概算、现场定额、现场施工条件和采取的施工方法等编制施工预算;明确材料的采购、堆放、保管等,编制工程实施方案。

3.2 工程方案

根据实际勘察情况,新建河道的底层为旧河道淤泥、底泥,因此工程先进行了底层固化剂的喷洒工作,为了更好地防止塌陷,渠道底层铺设一层土工格栅。施工工艺如图2所示,本研究主要应用于改性淤泥、植生混凝土绿化护坡段,全长60 m,坡比为1:1。改性淤泥材料护坡铺设30 cm后进行整平,然后对60 m施工区域进行分割,宽3 m为1组,列格梗,立模板,将骨料和胶凝材料搅拌后倒入模板10 cm,碾压处理后,将搅拌好的植生基材缓缓倒入植生混凝土骨架中,压实、整平,表层铺设改性淤泥护坡材料约2~3 cm,加固边坡的稳定性。

所研发的改性淤泥护坡材料、植生混凝土与两岸坡面胶结良好,植物生长效果好。生态渠道在连续放水2个月后,植生混凝土和护坡材料没有发生脱落、松散现象,也没有出现裂缝等现象。

3.3 实体工程观测

图3为高邮渠道现场图,项目开始之前,由图3(a)可知,渠道两侧未进行护坡工程,表面贫瘠。经过改性淤泥材料护坡和植生混凝土两种护坡技术进行组合护坡工程,经过3个月时间,见图3(b)。植物种子发芽之后生长良好,坡面稳固,未发生塌陷、毁坏现象。在渠道灌溉期,水流冲刷情况下,特别在初夏多雨时节,未出现坍塌情况,植物长势良好,植物根系加固了边坡,景观美丽。

3.4 工程效应分析

由表1和表2进行对比,通过将淤泥应用于现

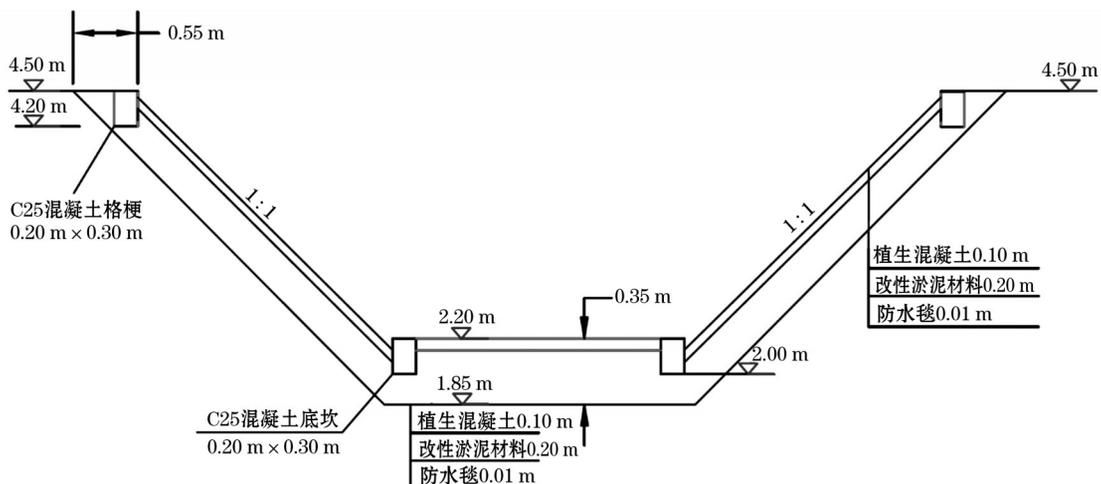


图2 施工工艺

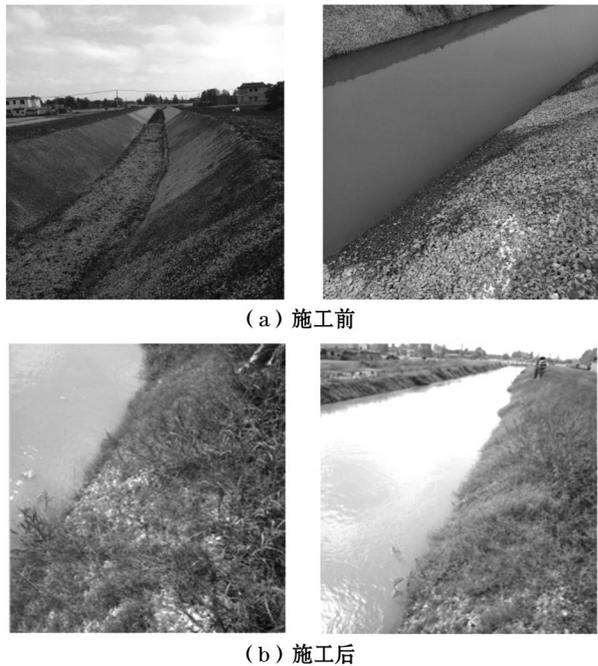


图3 施工前后对比

表1 传统硬质混凝土护坡造价估算

| 序号 | 名目 | 单价/(元/m ²) |
|----|----------|------------------------|
| 1 | 土方开挖费 | 8 |
| 2 | 整坡、人工清杂费 | 8 |
| 3 | 黄砂材料费 | 7 |
| 4 | 水泥材料费 | 17 |
| 5 | 石子材料费 | 4 |
| 6 | 机械费 | 5 |
| 7 | 人工费 | 6 |
| 8 | 其他费用 | 6 |
| 9 | 综合养护费 | 5 |
| 合计 | 直接费用合计 | 66 |

表2 传统硬质混凝土护坡造价估算

| 序号 | 名目 | 单价/(元/m ²) |
|----|----------|------------------------|
| 1 | 土方开挖费 | 8 |
| 2 | 整坡、人工清杂费 | 8 |
| 3 | 改性材料费 | 22 |
| 4 | 石子材料费 | 2 |
| 5 | 草种费 | 1 |
| 6 | 机械费 | 5 |
| 7 | 人工费 | 6 |
| 8 | 综合养护费 | 5 |
| 合计 | 直接费用合计 | 57 |

场工程建设,可以较大程度地解决淤泥的出路问题,并且施工步骤简单易行,不需要考虑淤泥的运

输、保存等过程中的成本等问题。与传统的淤泥处置方案相比,处理成本较为低廉,具有良好的经济效应,将其更进一步应用于生态护坡工程建设中,不仅工程效果美观、生态性强,改变了传统的砌制式硬质坡面的护坡方式,克服了隔绝土壤、生态性差的缺点,而且在应对渠道的放水、冲刷以及雨水的侵蚀等方面可以达到维持坡面稳定耐冲刷的效果。工程实施以来,植物生长形式良好,利用植物的排水、根系护坡等效应,进一步加固了渠道的护岸稳定性,并且一定程度上具有坡面径流的净化作用。以上表明,将淤泥资源化利用与生态护坡建设相结合的新型护坡方式具备良好的生态效应和经济效益。

5 结 论

(1)基于现场示范工程的结果,通过改性淤泥-植生混凝土生态护坡方式的应用,坡面植被覆盖率提高,边坡抗冲刷能力增强,边坡的稳定性提高。

(2)3个月的现场示范工程表明,基于改性淤泥与植生混凝土两种护坡材料相结合的生态护坡方式,具有良好的生态效益和经济效益,可以为后续生态护坡工程实践提供参考。

参考文献:

- [1] 张献萍. 我国绿色产业发展问题及对策研究——评《我国绿色产业的发展与实证》[J]. 生态经济, 2023, 39(12): 230-231.
- [2] 王飞. 植被混凝土生态修复技术在边坡防护的应用[J]. 价值工程, 2023, 42(25): 131-133.
- [3] 李奎鹏, 傅大放, 尹万云, 等. 多孔混凝土板改造直立硬质护岸的水质改善效果[J]. 中国给水排水, 2016, 32(19): 103-107.
- [4] SONG X, TAN Y. Experimental investigation on the influences of rainfall patterns on instability of sandy slopes[J]. Environmental Earth Sciences, 2021, 80(24): 1-21.
- [5] 黄少平, 陈俊毅, 肖衡林, 等. 不同坡度植被边坡降雨入渗和径流侵蚀规律的试验研究[J]. 岩土力学, 2023, 44(12): 3435-3447.
- [6] 刘黎明, 宋岩松, 钟斌, 等. 植被混凝土生态修复技术研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(3): 916-927.
- [7] WANG Q, KONG L, TSENG M L, et al. Solid waste material reuse analysis: filling the road subgrade with riverway silt and sediment[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(23): 35096-35109.
- [8] 张建华, 殷鹏, 张雷, 等. 底泥疏浚对太湖内源及底栖生物恢复的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(2): 828-838.