

水利工程中生态护岸施工技术应用探讨

李耀军¹, 陈正友²

(1. 汉江水利水电(集团)有限责任公司, 湖北 武汉 430040;

2. 南水北调中线水源有限责任公司, 湖北 十堰 442700)

摘 要 在水利工程中, 传统刚性护岸结构虽然具备较强的防护能力, 但容易破坏河道自然生态系统, 不利于生物多样性维持。基于此, 本文以某流域治理工程为例, 深入研究了生态护岸施工技术方案, 详细探讨了生态袋堆放工艺, 包括基面处理、袋体填充、分层堆砌、锚固与排水等技术要点。工程实践经验表明, 生态护岸在防洪抗冲刷、水质改善、植被恢复及生物多样性提升方面均取得显著成效, 经济成本较传统护岸降低约 15%, 具有良好的生态效益和经济效益。

关键词 水利工程; 生态护岸; 生态袋; 坡面排水; 植被施工

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.014

0 引言

随着我国经济社会的持续发展与生态文明建设战略的全面推进, 水利工程不仅承担着防洪排涝、供水灌溉与水资源综合利用等传统职能, 也被赋予了生态保护与环境修复的重要使命。在水利工程建设过程中, 护岸工程作为保障河道稳定、防止水土流失和维持堤防安全的关键环节, 长期以来多采用浆砌石、混凝土等刚性护岸结构, 此类护岸结构在结构强度、防护效果等方面具有一定优势, 但往往忽视了河流自然演替规律和生态环境需求, 易造成河道景观单一、水生生物栖息环境破坏和护岸生态系统退化等问题^[1]。在“绿色水利”“生态优先”的理念指引下, 生态护岸技术引发广泛关注。生态护岸即在满足护岸工程基本功能前提下, 综合利用植物、土工材料和自然基质等措施, 构建与自然环境相协调的岸带防护体系^[2], 不仅可有效降低水利工程建设对河道生态系统的破坏, 还能恢复和重建水生生物栖息环境, 实现水利工程护岸工程防护功能与生态效益的统一。

1 工程概况

某水利工程位于某流域中游河段, 属于中小型河流流域治理工程。该工程的治理河段全长 10.0 km, 流域面积为 17 183 km², 年均降水量为 400 ~ 600 mm, 蒸发量为 1 500 ~ 2 000 mm。河道地貌为冲击河谷, 河道平均宽度为 120 m, 纵比降为 2.3%, 河道流速为 4.0 ~ 6.0 m/s。流域河道河床主要砂卵石构成, 渗透性强, 易出现冲刷变形现象。

工程设计采用生态护岸施工技术进行河道整治, 工程建设目标包括恢复水利流域生物多样性、增强水体自净能力。通过对比常见生态护岸结构型式, 包括植被型生态混凝土护坡技术、网格生态护坡技术、三维植被网护坡技术、厚层基材喷播技术等, 该工程确定植被型生态混凝土护坡技术, 采用柔性生态袋和三维植被网垫组合技术提升水体自净能力和自然生态^[3]。

2 水利工程中生态护岸施工方案设计

2.1 技术要素

在工程中, 技术方案由植被护岸、护岸基质材料和护岸结构形式三部分组成。

植被护岸采用植物喷播技术, 先锋种选用草木樨与披碱草, 喷播厚度为 10.0 ~ 20.0 mm, 草种喷播密度为 25 g/m²。先锋草种可在播撒 30 d 覆盖率达 70%。固土草种选用香根草和野牛草, 固土草喷播密度为 30 ~ 35 g/m²。固土草根系深度可达 1.2 m, 可满足河岸护坡固土性能要求。

生态袋选用柔性、高密度聚乙烯材料编制而成, 具有抗紫外线、抗老化、抗酸碱盐、抗微生物侵蚀等特点。同时, 生态袋具备透水不透土过滤功能, 既能防止填充物流失, 又能确保水分交换, 满足植物生长所需水分要求。在工程中, 设计采用 2.0 ~ 5.0 mm 厚生态袋, 内部填充粒径 2.0 ~ 5.0 mm 级配砂砾(砂与种植土比例为 3:7), 生态填充后尺寸为 580 mm×320 mm×145 mm(长×宽×高)。

三维植被网采用聚丙烯材料编制而成, 网片开孔

作者简介: 李耀军(1988-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 水利工程建设与管理。

率为 90%，抗拉强度为 40 kN/m，与生态护岸植被结合后形成加筋复合结构^[4]。

护岸坡脚采用生态袋碎石垫层，按 1.25 坡度设置 900 mm×340 mm×150 mm 生态袋护岸，堆砌至 2.15 m 高度后按 0.7 坡度生态袋挡墙至 3.2 m 高程。其中，坡脚 2 层为生态袋碎石垫层，碎石垫层上堆砌砂石填料生态袋。

2.2 生态护岸设计

为确保生态护岸方案的科学性，从抗滑稳定性、抗冲刷能力、经济性等方面进行计算验证。

根据工程设计方案，可计算生态护岸抗滑稳定性系数 K_s ：

$$K_s = \frac{cL + W \cos \theta \tan \phi}{W \sin \theta} \quad (1)$$

式(1)中， c 为土体黏聚力，取值 18 kPa； L 为滑动面长度，取值 8.5 m； W 为边坡重力，计算值取值 52.6 Kn/m； θ 为边坡倾角，取值 26.6°； ϕ 为内摩擦角。取值 28°。

根据式(1)，计算生态护岸抗滑稳定性系数 K_s 为 1.42，满足抗滑稳定性大于 1.25 要求。

生态袋抗冲刷能力验证采用曼宁公式计算，可表示为：

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式(2)中， v 为生态袋抗冲刷设计流速； n 为曼宁系数，即生态袋表粗糙系数，取值 0.035； R 为水力半径，取值 800 mm； J 为纵坡度，取值 0.0024。

根据式(2)计算得出生态袋护坡冲刷流速为 1.93 m/s，抗冲刷强度设计值为 20.0 kg/m²，满足设计要求。

在验证生态护岸设计可行性的基础上，生态袋成本按 30 元/m²，三维植生网垫按 15 元/m² 计算，单位面积成本为 45 元，显著低于硬质护岸成本 53.0 元/m²，表明生态护岸技术方案经济效益良好。

3 生态护岸施工技术应用研究

3.1 施工准备

根据工程岩土勘察文件和工程设计，生态护坡基础设计埋深为 1.2 m 时可满足最大冲刷深度要求。根据工程设计，该工程河堤坡脚设计采用生态碎石垫层，按设计坡度 0.4 堆砌挡墙至 2.15 m。2.15 m 至坡顶按 0.7 坡度堆砌生态挡墙。其中，坡脚挡墙 2 层堆砌生态碎石垫层，生态袋内装填碎石后码放，坡脚挡墙以上坡顶装填砂土混合料生态袋^[5]。

施工前，施工单位抽水疏浚河道，整平并夯实护岸基面。现场放线确定生态袋位置和标高。为提高护岸

基层抗侵蚀性能，施工单位在护坡清表时按 5% 比例掺入石灰稳定剂。护岸基面处理完成后，调整生态袋线形，按坡面分级结构划分种植区域，分级坡高 500 mm，宽度 2 000 mm。

本工程施工中，为确保生态袋挡墙稳定性，施工单位采用 ZDY-3500 型钻机取样护岸基层土壤并进行土壤分析，根据抗冲刷性要求，掺入 5% 石灰固化剂进行护岸表层土壤改良，将护岸基层强度提高至 1.8 MPa。基层改良处理后，采用 YZD-100 型压实机分层压实护岸，分层压实厚度为 150～200 mm，压实度要求 ≥ 95%，防止后续生态袋堆砌施工发生不均匀沉降^[6]。

3.2 生态袋堆放施工

生态袋堆放施工是生态护岸建设的核心环节，其施工质量直接决定了护岸结构的稳定性和后期生态效益。在本工程中，施工单位结合区域水文地质条件，制定了较为完善的生态袋堆放工艺与质量控制体系，主要包括袋体填充、分层堆砌、锚固措施及现场监测等环节。

3.2.1 生态袋装填施工

护岸基面清理完成并经石灰固化处理后，施工单位进行生态袋的填充与运输工作，袋体内填充材料采用 2～5 mm 的级配砂卵石和种植土混合料，比例控制在 3:7，以保证生态袋既具备足够的抗冲刷能力，又能为植物生长提供必要的养分。填充后的生态袋重量保持在 40～45 kg 之间，通过机械压实和人工辅助整形，确保袋体敦实饱满。袋内填充材料级配均匀，避免袋体受力不均而出现局部滑移失稳现象。

生态袋的填充质量是堆砌效果的前提。袋体应在施工现场统一进行装填与检测，混合料含水量保持在最佳含水量的 ±2% 范围内，以避免袋体因过湿而沉降或因过干而无法成型。袋口通过黑色抗紫外线扎口带扎紧，并采用双线缝合，以保证袋体在运输与堆砌过程中不出现开裂或漏料现象^[7]。

3.2.2 生态袋堆砌施工

生态袋堆砌过程中，坡脚部位设置 2 层碎石生态袋垫层，作为整体结构的承重与排水基础。其余各层则采用填充砂土混合料的生态袋，以“一丁一顺”方式交错堆砌，形成交错结构，确保生态袋挡墙分层有效分散应力，避免形成贯通性薄弱面。每层堆砌完成后，均需进行机械夯实。为确保生态袋挡墙稳定，防止生态袋失稳，施工单位分层打设 φ16 mm 钢锚杆，间距控制在 1.0～1.2 m，以增强整体结构的抗滑移性能。堆砌过程中，生态袋之间通过聚丙烯材质的高强度连接扣固定，形成整体化的受力体系。

待袋体堆砌至 2.15 m 高程后，施工坡比由 1:2.5 逐渐调整至 1:0.7，形成生态袋挡墙，再向上至 3.2 m

时恢复为 1:2.5 坡比。堆砌施工过程严格执行“逐层夯实、逐段施工、动态监测”的原则,确保工程整体线形顺直、稳定。生态袋挡墙堆砌过程中,为确保线形平顺,防止出现“鼓肚”或“凹陷”现象,现场施工人员随时调整生态袋位置,确保挡墙结构整体美观与受力均匀性。

考虑到工程段内河流流速较大,对生态袋挡墙冲刷作用显著,为提高生态袋挡墙稳定性,在生态袋堆砌完成后,施工单位采用钢锚杆与连接扣形成多向加固。连接扣采用具有倒钩特性的棘爪设计,可保证生态袋在受力过程中紧密咬合,并能够防止因不均匀沉降或水流冲击导致的整体滑移。根据相关试验数据,单个棘爪的抗剪切力不小于 360 N,可满足本工程的抗冲刷与抗滑移需求。为避免生态护岸挡墙局部锚固不到位出现滑移现象,施工单位在坡脚位置加密锚杆布设,并在关键节点采用钢筋网加固,以此增强护岸挡墙整体抗滑移性能。

3.2.3 坡面排水与防渗施工

为防止护坡坡体内部积水对生态袋产生额外静水压力,施工单位在坡顶设置截水沟,并在护坡内部设置横向盲沟,以减小静水压力 and 实现快速排水。坡体回填材料采用透水性较强的砂砾土,在生态袋与土体结合处增设三维植被网垫,以增强坡体抗剪强度和排水能力。

3.3 植被施工与养护

待生态袋堆放施工完成后,施工单位及时开展护坡植被撒播和养护管理,通过恢复护坡植被固结坡面岩土、控制水土流失并增强边坡稳定性。植被播撒施工采用机械喷播和人工点播结合方式,常水位以上区域机械喷播高羊茅、黑麦草和三叶草混合草种,草种喷播量为 25 g/m^2 ,喷播完成后覆盖 30 mm 稻草层保湿促进草种萌发;常水位区域采用人工点播方式栽植水葱(4~8 丛/ m^2 ,每丛 10~15 株,株行距 30~40 cm)、再力花(1~3 丛/ m^2 ,每丛 10~15 株,株行距 30~40 cm)、水烛(9~25 株/ m^2 ,株行距 20~30 cm)等水生植物,人工点播时挖 15~25 cm 浅穴,每穴植入 1 丛后覆土压实,栽后保持水文稳定(无法保持常水位时定期浇透水),栽后 1~2 周内遮荫保湿,并视情况间苗、补植处理。为提高护岸植物成活率,施工单位加强护坡植被养护管理。栽后 0~6 个月重点落实保湿、除草、补植等工作;栽后 6~24 个月,加强促生、控草和适度施肥;栽后 24 个月加强汛期巡查、防灾,汛期前在冲刷风险较大的坡角、常水位位置增设无纺布,降低汛期冲刷作用影响。汛期后检查植被冲刷、倒伏、缺株断垄情况并及时补植。

4 生态护岸施工技术应用效果分析

本工程施工完成后,经连续 180 d 连续监测,该工程生态效益显著:

1. 防洪与抗冲刷能力。生态护岸施工完成后,汛期监测洪峰流量为 $450\text{ m}^3/\text{s}$,最大冲刷深度 0.75 m,均低于设计极值($500\text{ m}^3/\text{s}$ 、0.78 m),表明通过实施生态护岸挡墙工程,有效降低了汛期冲刷作用影响,提高了护岸挡墙结构安全性。

2. 植被恢复与生态效益。生态护岸施工完成后 30 d,护岸植被覆盖率由 56% 提升至 83%,6 个月后提升至 92%,表明生态护岸施工技术有利于促进生态环境恢复。

3. 水质改善作用。生态护岸施工前,水体溶解氧为 5.2 mg/L ,氨氮浓度为 2.3 mg/L 。生态护岸施工 30 d 后,溶解氧指标升至 6.8 mg/L ,氨氮浓度指标降至 1.2 mg/L ,表明河道自净能力增强。

4. 经济与社会效益。护岸工程施工完成后,经工程成本测算,相较于浆砌石、混凝土护岸施工方案相比,采用生态护岸施工方案成本降低约 15%,施工技术方案技术效益良好。

5 结束语

结合工程施工经验,生态护岸施工技术具有提升护岸防洪抗冲、植被恢复、生物多样性等应用优势,兼具显著生态、经济与社会效益。在工程施工中,为提高生态护岸施工质量,施工单位应加强施工方案设计,并加强生态袋堆放施工、坡面排水和防渗施工、植被施工与养护等关键工序施工管理,以此确保护岸工程防洪功能和生态功能目标实现。

参考文献:

- [1] 徐伟.生态护岸设计探讨[J].中国水运,2022,22(14):100-101,104.
- [2] 张琳琳.上海市生态护岸建设中生态袋关键材料参数试验研究[J].城市道桥与防洪,2021(07):142-146.
- [3] 董文凯.生态袋在上海市河道护岸中的应用分析[J].城市道桥与防洪,2021(01):134-136.
- [4] 石永超,张琳琳,翟晶.生态袋护岸的设计要点探讨[J].城市道桥与防洪,2020(10):108-110,129.
- [5] 张帆.甘肃省洮河流域生态护岸技术应用研究[D].兰州:兰州大学,2019.
- [6] 谢东.植物与土工合成材料相结合生态护岸的应用分析[J].价值工程,2019,38(22):105-106.
- [7] 覃贤.生态挡土墙在航道护岸工程中的应用[J].西部交通科技,2019(05):182-184.