

滨州市付家河护坡治理固碳与节能减排效益分析

刘景伟¹, 吕丽敏², 刘艳霞¹

(1.滨州市水利资源开发建设中心, 山东 滨州 256610; 2.滨州市水务发展服务中心, 山东 滨州 256600)

【摘要】以滨州市沾化区付家河综合治理工程中的草皮护坡设计为案例, 基于生命周期评价(LCA)理论方法和建筑碳排放计算等有关标准规范和文献, 量化核算护坡建材生产、运输、施工、运行维护、拆除处置全生命周期碳排放, 系统对比草皮护坡替代混凝土护坡的碳减排与固碳效益。结果表明, 20 年设计使用年限内, 单位面积草皮护坡净碳排放较 C30 混凝土护坡降低 86.9%, 整个工程总减排量达 476.95 t CO₂e, 生态价值显著。

【关键词】付家河治理; 生态护坡; 全生命周期碳排放; 节能减排

【中图分类号】X826

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0069-03

Analysis of Carbon Sequestration and Energy-Saving Emission-Reduction Benefits of Slope Protection Treatment in the Fujia River in Binzhou

LIU Jingwei¹, LV Limin², LIU Yanxia¹

(1. Water Resources Development and Construction Center of Binzhou Municipality, Binzhou, Shandong 256610, China;

2. Water Affairs Development Service Center of Binzhou Municipality, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: Taking the turf slope protection design in the comprehensive treatment project of the Fujia River in Zhanhua District, Binzhou Municipality as a case study, this paper quantifies and accounts for carbon emissions throughout the full life cycle, including building material production, transportation, construction, operation and maintenance, and demolition and disposal, based on the life cycle assessment (LCA) theoretical method and relevant standards, specifications, and literature on building carbon emission calculation. The carbon emission reduction and carbon sequestration benefits of turf slope protection as a substitute for concrete slope protection are systematically compared. The results show that within the 20-year design service life, the net carbon emission per unit area of turf slope protection is 86.9% lower than that of C30 concrete slope protection, and the total emission reduction of the entire project reaches 476.95 t CO₂e, demonstrating significant ecological value.

Key words: Fujia River treatment; Ecological slope protection; Full life cycle carbon emission; Energy saving and emission reduction

滨州市沾化区付家河属海河流域徒骇马颊河水系, 为秦口河一级支流, 全长 43.0 km, 流域面积 348 km², 承担防洪排涝、灌溉与生态景观功能。付家河综合治理岸坡防护工程治理范围为白家闸(40+850)~付家河挡潮闸(43+000), 治理河长 2.15 km。原设计采用全断面 20 cm 厚 C30 现浇商品混凝土护坡; 优化后按水位分区, 常水位(河底高程 1.4 m)以下保留混凝土护坡设计, 1.4 m 常水位以上变更为本土多年生高羊茅草皮生态护坡, 草皮总护坡面积 7 202.5 m²。工程设计使用

寿命为 20 年。

1 研究方法 with 数据计算

1.1 评价边界与方法

本研究以付家河 1 m² 护坡为功能单位, 计算年限同设计使用年限 20 年。采用全生命周期评价(LCA), 评价边界从原材料生产、运输、现场施工、运行维护、拆除处置的全过程, 全面评估草

收稿日期: 2026-03-31

作者简介: 刘景伟(1969—), 男, 研究员

皮护坡与混凝土护坡的碳排放差异。混凝土护坡核算全阶段碳排放,无碳汇;草皮护坡核算全阶段碳排放,并计入碳汇效应,计算净碳排放。核算评价遵循《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366—2019)、《农田水利工程碳排放计算导则》(T/CHES 81—2022)等技术标准规范,参考有关文献资料。

1.2 计算公式

总碳排放计算公式:

$$E=\sum (AD_i\times EF_i) \tag{1}$$

式中: E 为碳排放总量, kgCO_2e ; AD_i 为第*i*项活动数据; EF_i 为第*i*项排放因子。

参考公路边坡绿化与水土保持碳汇方法,植物年固碳量计算公式:

$$C_{\text{plant}}=A\cdot G\cdot T\cdot \alpha \tag{2}$$

式中: A 为护坡面积, m^2 ; G 为单位面积日干物质增量,取 $0.004\ 5\ \text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; T 为生长期,沾化区属暖温带季风气候区,取 $180\ \text{d/a}$; α 为干物质碳量转 CO_2 系数,取 1.63 。

考虑成活、修剪、极端天气等影响,折减系数取 0.1 ,核算实际固碳量。

1.3 参数与数据来源

滨州市沾化区付家河综合治理护坡工程原设计为 $20\ \text{cm}$ 厚 C30 混凝土护坡,C30 混凝土为商品混凝土,商混站至施工现场运距 $15\ \text{km}$;草皮设计本土培育养殖易生长、养护简易的高羊茅草皮,运输距离为 $15\ \text{km}$ 。护坡生命周期按照 20 年设计使用年限测算。碳排放活动因素根据工程施工方案确定,碳排放因子依据《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366—2019)和《农田水利工程碳排放计算导则》(T/CHES 81—2022)有关规定和要求,参考或采用官方权威数据及有关文献数据,生命周期能耗按工程实际取值,主要包括施工用电、机械油耗、维护耗材等。

2 护坡碳排放核算结果与对比分析

2.1 混凝土护坡全生命周期碳排放

付家河护坡工程混凝土在商混站进行加工生产,混凝土主材配比按照 $1:2.18:3.52:0.5$ (水泥:砂:碎石:水)的比例自动配料,采用 $7.5\ \text{t}$ 混凝土罐车运送至工地施工现场。浇筑过程中采用 $2.2\ \text{kW}$ 平板振捣器振捣, $3.5\ \text{kW}$ 磨光机压光找平,工程运

行过程主要是修补裂缝,找补塌陷等。具体计算见表 1。

表 1 C30 混凝土护坡全生命周期碳排放计算表 ($1\ \text{m}^2,20\ \text{年}$)

生命周期阶段	材料/能耗	活动数据 AD	排放因子 EF	碳排放量/ kgCO_2e
建材生产 C1	P.O42.5 水泥	66 kg	0.91 kgCO_2/kg	60.060
	天然砂	144 kg	0.01 kgCO_2/kg	1.440
	0.5~2 mm 碎石	232 kg	0.015 kgCO_2/kg	3.480
	拌和用水	33 kg	0.0003 kgCO_2/kg	0.010
	模板辅材摊销	0.04 kg	1.6 kgCO_2/kg	0.064
	小计	—	—	65.054
运输 C2	商品混凝土	$0.475\ \text{t}\times 15\ \text{km}$	$0.27\ \text{kgCO}_2/(\text{t}\cdot\text{km})$	1.924
	小计	—	—	1.924
施工 C3	振捣器用电	$0.4\ \text{kW}\cdot\text{h}$	$0.58\ \text{kgCO}_2/(\text{kW}\cdot\text{h})$	0.232
	小型机具用电	$0.1\ \text{kW}\cdot\text{h}$	$0.58\ \text{kgCO}_2/(\text{kW}\cdot\text{h})$	0.058
	小计	—	—	0.290
运维 C4	修补砂浆	0.4 kg	0.3 kgCO_2/kg	0.120
	清理用电	$0.5\ \text{kW}\cdot\text{h}$	$0.58\ \text{kgCO}_2/(\text{kW}\cdot\text{h})$	0.290
	小计	—	—	0.410
	破碎油耗	0.50 L	$2.63\ \text{kgCO}_2/\text{L}$	1.315
拆除 处置 C5	废渣运输	$0.48\ \text{t}\times 15\ \text{km}$	$0.27\ \text{kgCO}_2/(\text{t}\cdot\text{km})$	1.944
	建筑垃圾处置	0.48 t	11 kgCO_2/t	5.280
	小计	—	—	8.539
	总计	—	—	76.217

2.2 草皮护坡全生命周期碳排放与固碳

生态护坡采用草皮为滨州本土培育的高羊茅草皮,生产阶段主要包括草皮、基质(本地沙壤土匹配有机肥)、肥料、灌溉洒水用管材设备等,由柴油单斗货车运输到工地现场,平均运距 $15\ \text{km}$,排放因子 $0.27\ \text{kgCO}_2/(\text{t}\cdot\text{km})$ 。施工主要采用小型机械对河坡进行压实整平,因紧邻河道,运行期间不需要灌溉,简单施肥、少量修剪补植,按照材料生产→材料运输→施工建造→运营维护→拆除处置+排放因子法全生命周期法,计算 $1\ \text{m}^2$ 高羊茅草皮护坡碳排放量。草皮碳排放量计算见表 2。

1)碳汇计算。按照式(2)计算草皮护坡年固碳量理论值为 $1.32\ \text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。实际工程中草皮护坡受第一年成活及修剪移除、极端天气等多

表 2 高羊茅草皮护坡全生命周期碳排放计算表(1 m²,20 年)

生命周期阶段	材料/能耗	活动数据 AD	排放因子 EF	碳排放量/ kgCO ₂ e
建材生产 C1	高羊茅草皮	1 m ²	0.12 kgCO ₂ /m ²	0.120
	种植基质土	0.05 t	0.03 kgCO ₂ /t	1.500
	有机肥(基肥)	0.5 kg	0.15 kgCO ₂ /kg	0.075
	土工防护网	0.05 kg	2.14 kgCO ₂ /kg	0.107
	小计	—	—	1.802
运输 C2	材料运输	0.051 t×15 km	0.27 kgCO ₂ /(t·km)	0.207
	小计	—	—	0.207
施工 C3	整地油耗	0.02 L	2.63 kgCO ₂ /L	0.053
	临时用电	0.05 kW·h	0.58 kgCO ₂ /(kW·h)	0.029
	小计	—	—	0.082
运维 C4	氮肥追肥	5 kg	1.8 kgCO ₂ /kg	9.000
	修剪燃油	0.2 L	2.63 kgCO ₂ /L	0.526
	补植草皮	2 m ²	0.12 kgCO ₂ /m ²	0.240
	小计	—	—	9.766
拆除处置 C5	机械油耗	0.01 L	2.63 kgCO ₂ /L	0.026
	废弃物运输	0.01 t·km	0.27 kgCO ₂ /(t·km)	0.003
	填埋处置	5 kg	0.15 kgCO ₂ /kg	0.750
	小计	—	—	0.779
总排放	—	—	—	12.636

因素影响,固碳能力会显著降低,参考经验数值取折减系数 0.1,得 20 年碳汇量为 2.64 kgCO₂e/m²。

2)净碳排放。净碳排放=生命周期总排放碳汇量=9.996 kgCO₂e/m²。

2.3 两种护坡材料碳减排与生态价值对比

基于上述计算对比,单位面积的高羊茅草皮护坡相比 C30 混凝土护坡减少 66.221 kg 的碳排放量,同比减少 86.9%,对比结果见表 3。根据付家河综合治理工程设计,草皮护坡替代混凝土护坡的面积为 7 202.5 m²。按单位面积减排量 66.221 kgCO₂e/m² 计算,全生命周期内可实现 473.78 t 碳减排量。以全国碳排放权市场的 CCER 价格基准为参考,该工程取水生态碳汇交易价格平均值 60 元/t 计算固碳价值,付家河草皮护坡合计生态价值约 28 617 元,单位面积价值约 3.97 元/m²。如果考虑草皮生长期间光合作用产生氧气,生态护坡效益会更加突出。

表 3 混凝土与草皮护坡全生命周期碳排放对比
(kg CO₂e/m²,20 年)

阶段	混凝土护坡	草皮护坡(总排放)	草皮护坡(净排放)
建材生产	65.054	1.802	—
运输	1.924	0.207	—
施工	0.290	0.082	—
运维	0.410	9.766	—
拆除处置	8.539	0.779	—
碳排放小计	76.217	12.636	—
碳汇	—	-2.6400	—
净碳排放	76.217	—	9.996

3 结论与建议

草皮生态护坡可以实现工程功能与生态服务的协同,具有显著碳减排优势,是水利行业低碳转型的有效路径,对水利行业落实“双碳”目标具有重要实践价值。建议河道护岸护坡在保证工程安全前提下,推广水位分区护坡,常水位以下采用混凝土结构护坡,常水位以上采用草皮(植被)生态护坡,在安全前提下实现减排降碳效益最大化。草皮生态护坡要优化草种与管护,选用本土固碳强、低管护草种,以降低运维碳排放,提升长期碳汇稳定性。要进一步完善水利工程碳核算方法体系,将全生命周期碳排放与碳汇效益纳入水利工程规划、可研设计与方案比选,同时探索完善水利碳汇价值实现机制,推动水利生态碳汇纳入 CCER 与地方水生态产品交易,实现水利工程生态护坡生态价值在水生态产品价值转化中的市场转化。

参考文献

[1] 黄跃群,刘耀儒,许文彬,等.水利水电工程全生命周期碳排放研究——以犬木塘工程为例[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(8):1366-1373.

[2] 杨子杰,周滨荣,魏军,等.平原水网地区生态河道碳足迹量化与评价[J].水利与建筑工程学报,2023,21(3):216-225.

[3] 龙艳,卢德安,余梦如,等.基于 LCA 的消落带生态护坡技术碳汇效益研究[J].科技创新与应用,2025,15(34):82-85.

社科项目:2025 年度滨州市社会科学规划课题项目(25-SKGH-109)

(责任编辑 崔春梅)