基于层次分析法的宁海县生态护岸选型研究

应建彤¹, 孙孝安², 孙广红¹, 王晨¹, 潘炳成³, 陈迪辉³

(1. 宁海县水利局, 浙江 宁海 315600; 2. 宁海县水利水电工程质量监督站, 浙江 宁海 315600;
3. 宁波市水利水电规划设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 在河道整治项目中, 生态护岸的选择是一个较为复杂的过程, 影响因素众多。参考《水力计算手册》、《水利工程生态护岸设计规程》(T/GDHES 001—2022), 结合现有研究成果和宁海县堤岸工程规划, 基于层次分析法构建了宁海县平原河道生态护岸综合评价指标体系及赋分标准, 建立了生态护岸综合评价模型, 并以宁海县二千渠一期整治工程为例, 进行了应用。结果表明: 宁海县二千渠一期整治工程最佳护岸类型为生态砌块挡墙+抗冲植生毯护坡组合; 建立的生态护岸综合评价指标体系和模型可操作性强, 能客观、定量地评价各护岸的安全稳定性、生态功能性、经济社会性, 有效降低人为判定的主观影响, 可推广应用。

关键词: 生态护岸; 选型; 层次分析法; 宁海县

中图分类号: TV85 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0941.2025.06.001

引用格式: 应建彤, 孙孝安, 孙广红, 等. 基于层次分析法的宁海县生态护岸选型研究[J]. 中国水土保持, 2025(6): 1-3, 6.

传统护岸多采用浆砌石、混凝土等硬质材料, 主要从抗冲防洪等安全角度考虑, 忽视了水体、护岸的生态交互, 不利于水生动植物的繁衍栖息, 影响水体的自净功能。自 20 世纪 90 年代以来, 对生态护岸的研究与应用开始得到重视, 并取得了一定的进展^[1]。根据材料的组成可将生态护岸分为天然材料护岸、天然材料与人工材料相结合的护岸。河道生态护岸选型方法不同, 评价指标的选取也不同。目前对生态护岸的评价以层次分析法为主, 从稳定性、生态性、经济性、社会性等角度, 选取具有代表性的指标, 结合专家打分, 得到不同生态护岸的评分^[2], 由此可择优选型。宁海县位于浙江省宁波市南部沿海, 全县流域面积大于 10 km² 的独立水系有 13 条。笔者以浙江省宁海县平原河道为例, 基于层次分析法, 对生态护岸的选型进行研究, 以为同类项目提供参考。

1 评价指标体系

1.1 评价指标体系的建立

参考《水力计算手册》、《水利工程生态护岸设计规程》(T/GDHES 001—2022), 结合现有研究成果和宁海县堤岸工程规划, 考虑指标的完整性、系统性、代表性、简洁性、可操作性, 运用层次分析法构建宁海县平原河道生态护岸综合评价指标体系(见表 1)。评价体系分 3 层, 即目标层、准则层和指标层。目标层即宁海县幸福河湖生态护岸综合评价; 准则层包括护岸的安全稳定性、生态功能性、经济社会性 3 个方面; 指

标层包括护坡抗冲性、耐久性、护坡稳定性等 6 项定量指标, 以及材料环保性、施工难易度、整体协调性 3 项定性指标。

表 1 宁海县平原河道生态护岸综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标类型
宁海县幸福河湖生态护岸综合评价	安全稳定性	护坡抗冲性	定量
		耐久性	定量
		护坡稳定性	定量
	生态功能性	通道畅通度	定量
		植被覆盖度	定量
		材料环保性	定性
	经济社会性	建设成本	定量
		施工难易度	定性
		整体协调性	定性

1) 护坡抗冲性。用不冲流速 v 表示, 依据《水利工程生态护岸设计规程》(T/GDHES 001—2022) 附录 B 中的规定, 考虑到宁海县平原河道流速较低, 确认 $v > 2$ m/s 时满足平原河道护坡抗冲性要求。

2) 耐久性。用使用寿命 t 表示, 以护岸主体结构在保持正常运行状态下的使用时间来表征。对于块石、混凝土护岸, 正常使用寿命可达 50 a; 对于格宾石笼挡墙护岸, 其钢丝锈蚀断裂后即认定护岸失去正常使用功能, 钢丝在有腐蚀的环境下能正常使用 30 a 左

收稿日期: 2024-12-18

基金项目: 宁波市水利科技项目(NSKB202423)

第一作者: 应建彤(1982—), 男, 浙江宁海人, 高级工程师, 学士, 主要从事水利工程建设及运行管理等工作。

E-mail: 34704743@qq.com

右;对于土工袋、抗冲植生毯等护岸,土工织物的使用寿命为 20~40 a。由此,认定 $t > 50$ a 为最好。

3)护坡稳定性。用坡度系数 m 表示, m 越大表明坡度越缓,植被固坡能力越强,根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013),为控制建设成本, m 不宜大于 5。

4)通道畅通度。即护岸与空气、植物、水体的交互能力,用护岸材料孔隙率 p 表示。参考《格宾网石笼挡土墙的设计和计算方法》、《生态混凝土应用技术规程》(CECS 361—2013)、《水利工程生态护岸设计规程》(T/GDHES 001—2022),认定格宾石笼的孔隙率为 30%~40%,生态混凝土孔隙率为 25%~30%,多孔混凝土孔隙率为 25%~30%。基于生态护岸,认定孔隙率 $p \geq 50\%$ 时通道畅通度好, $p < 10\%$ 时通道畅通度差。

5)植被覆盖度。用植被茎叶在护岸上的垂直投影长度占护岸全长的比例 $F(\%)$ 表示,基于生态护岸,认定 $F < 30\%$ 时覆盖度差, $F > 60\%$ 时覆盖度好。

6)材料环保性。根据护岸断面中人工材料和自然材料的占比、护岸孔隙率等综合定性判断。

7)建设成本。用生态护岸设计断面建设成本 C 表示,包括护岸和护坡的建设成本。参考宁海县工程建设成本,认定 $C \leq 1\ 000$ 元/m 时建设成本低, $C \geq 3\ 000$ 元/m 时建设成本较高。

8)施工难易度。不同护岸所需的材料不同,施工工艺和方法也不尽相同,施工难度各有区别。根据护岸材料获取、运输、施工工艺、施工机械、场地施工条件等综合定性判断。

9)整体协调性。依据景观优美度,以及生态护岸与周边景观、人文休闲娱乐等适宜程度综合定性判断。

1.2 评价指标赋分标准

每个单项指标赋分 10 分,得分小于 0 分时按 0 分计,超过 10 分时按 10 分计。基于以上认定结果,各指标赋分标准见表 2。考虑各指标的取值范围、单位各

表 2 宁海县平原河道生态护岸综合评价指标赋分标准

评价指标	赋分标准
护坡抗冲性 v	得分 = $v/0.2$
耐久性 t	得分 = $(t-10)/4$
护坡稳定性 m	得分 = $2 \times m$
通道畅通度 p	得分 = $(p-0.1)/0.04$
植被覆盖度 F	得分 = $(F \times 100 - 30)/3$
材料环保性	根据护岸断面中人工材料和自然材料的占比、护岸孔隙率等综合定性判断,专家打分
建设成本 C	得分 = $(3\ 000 - C)/200$
施工难易度	依据护岸材料获取、运输、施工工艺、施工机械、场地施工条件等综合定性判断,专家打分
整体协调性	依据景观优美度,以及生态护岸与周边景观、人文休闲娱乐等适宜程度综合定性判断,专家打分

有不同,为统一评分标准,对各指标的赋分进行率定,通过对数据进行无量纲化处理,得到各指标评分。

2 评价模型

1)层次分析法。该方法是一种常用的决策分析方法,它通过专家打分来构建判断矩阵,进而确定各因素的相对重要性。为保证判断矩阵的合理性,需对其进行一致性检验,计算公式为

$$I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$R_C = I_C / I_R \quad (2)$$

式中: I_C 为一致性指标; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值; n 为判断矩阵的阶数; R_C 为检验系数,一般认为 $R_C < 0.1$ 时判断矩阵符合一致性检验; I_R 为平均随机一致性指标。

基于层次分析法,构建宁海县平原河道生态护岸综合评价指标判断矩阵,经一致性检验后计算各指标权重平均值,以此确定各指标的最终权重值,见表 3。从准则层来看,安全稳定权重最大,指标最重要,其次是生态功能性;从单项指标来看,护坡抗冲性权重最大,其次为通道畅通度和耐久性。

表 3 宁海县平原河道生态护岸综合评价指标权重

目标层	准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	单项指标权重
宁海县 幸福河湖 生态护岸 综合评价	安全 稳定性	0.409	护坡抗冲性	0.425	0.174
			耐久性	0.362	0.148
			护坡稳定性	0.213	0.087
	生态 功能性	0.352	通道畅通度	0.434	0.153
			植被覆盖度	0.389	0.137
			材料环保性	0.177	0.062
	经济 社会性	0.239	建设成本	0.376	0.090
			施工难易度	0.327	0.078
			整体协调性	0.297	0.071

2)综合评分。将各指标实值无量纲化处理后,按生态护岸综合评价指标赋分标准得到各指标评分,再乘以权重得到综合评分,以此为据可判优劣。计算公式为

$$N = \sum_{i=1}^l B_i \sum_{j=1}^k C_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

式中: N 为生态护岸综合评分; B_i 为第 i 个准则层的权重; C_{ij} 为第 i 个准则层中第 j 个指标所占的权重; X_{ij} 为第 i 个准则层中第 j 个指标的评分; l 为准则层的个数; k 为指标层中指标的个数。

3 生态护岸评价模型应用

3.1 工程概况

选择宁海县宁东新城二干渠一期整治工程为研

究对象。工程位于宁海县宁东新城,项目区属亚热带季风湿润气候区,四季分明,雨水充沛,光热条件较优;年均气温 16.2 ℃,年均无霜期 230 d;年均降水量 1 646.7 mm,降水大多集中在 5—9 月,约占全年降水量的 65.8%。地貌类型为山前海相沉积平原,地势平坦,仅东侧分布有丘陵,周边农田密集,河网密布,地面高程 1.5~3.0 m。出露土层上部以海相沉积的黏土和淤泥为主,下部以冲洪积圆砾层为主。根据毛屿港流域防洪排涝需求,结合《宁海经济开发区(宁东新城)排涝规划(2017 年)》等,确定工程建设的主要任务为收集河道沿线平原涝水南排入海,提升区域的排

涝能力。建设内容为治理河道 1.068 km,其中主线长 0.803 km、岸距宽 20 m,支线长 0.265 km、岸距宽 14 m;设计二干渠道级别 4 级、排涝标准 20 a 一遇。

3.2 护岸选型

根据工程特点及规划要求,护岸采取堤岸分离、带平台的下直上斜复合式挡墙结构,设置宽 2 m 的亲水平台,护坡垂直投影长 3 m,坡度系数为 2。根据河道沿线情况,工程设计挡墙+护坡的护岸结构,选取格宾石笼挡墙、生态砌块挡墙作为挡墙结构,干砌石、植草、抗冲植生毯、格宾石笼、联锁块植草 5 种护坡,利用生态护岸评价模型进行方案比选,其结果见表 4、表 5。

表 4 格宾石笼挡墙结构下各护坡评价指标的实值、评分、综合评分

评价指标	干砌石护坡			植草护坡			抗冲植生毯护坡			格宾石笼护坡			联锁块植草护坡		
	实值	评分	综合评分												
护坡抗冲性	3	10	1.74	1.5	7.5	1.31	2.5	10	1.74	4	10	1.74	4	10	1.74
耐久性	30	5	0.74	30	5	0.74	30	5	0.74	30	5	0.74	30	5	0.74
护坡稳定性	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35
通道畅通度	0.3	5	0.77	0.3	5	0.77	0.3	5	0.77	0.3	5	0.77	0.3	5	0.77
植被覆盖度	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37
材料环保性	7	7	0.43	7	7	0.43	7	7	0.43	7	7	0.43	6	6	0.37
建设成本	1 628.5	6.86	0.62	1 534.7	7.33	0.66	1 762.5	6.19	0.56	1 829.5	5.85	0.53	1 863.0	5.69	0.51
施工难易度	5	5	0.39	8	8	0.62	6	6	0.47	6	6	0.47	5	5	0.39
整体协调性	5	5	0.36	9	9	0.64	9	9	0.64	9	9	0.64	9	9	0.64
合计		57.86	6.77		62.83	6.89		62.19	7.07		61.85	7.04		59.69	6.88

注:表中实值仅取数值,下同。

表 5 生态砌块挡墙结构下各护坡评价指标的实值、评分、综合评分

评价指标	干砌石护坡			植草护坡			抗冲植生毯护坡			格宾石笼护坡			联锁块植草护坡		
	实值	评分	综合评分												
护坡抗冲性	3	10	1.74	1.5	7.5	1.31	2.5	10	1.74	4	10	1.74	4	10	1.74
耐久性	50	10	1.48	50	10	1.48	50	10	1.48	50	10	1.48	50	10	1.48
护坡稳定性	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35	2	4	0.35
通道畅通度	0.25	3.75	0.57	0.25	3.75	0.57	0.25	3.75	0.57	0.25	3.75	0.57	0.25	3.75	0.57
植被覆盖度	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37	60	10	1.37
材料环保性	5	5	0.31	5	5	0.31	5	5	0.31	5	5	0.31	4	4	0.25
建设成本	1 924.5	5.38	0.48	1 830.7	5.85	0.53	2 058.5	4.71	0.42	2 125.5	4.37	0.39	2 159.0	4.21	0.38
施工难易度	4	4	0.31	7	7	0.55	5	5	0.39	5	5	0.39	4	4	0.31
整体协调性	4	4	0.28	8	8	0.57	8	8	0.57	8	8	0.57	8	8	0.57
合计		56.13	6.89		61.10	7.04		60.46	7.20		60.12	7.17		57.96	7.02

3.3 评价结果

由表 4、表 5 可知,生态砌块挡墙+抗冲植生毯护坡组合的方案综合评分最高,为最优护岸类型。对于同一护坡,在其余条件相同情况下,与生态砌块挡墙组合的安全稳定性、生态功能性、经济社会性优于与格宾石笼挡墙组合;对于同一挡墙结构,5 种护坡综合得分排序均为抗冲植生毯护坡>格宾石笼护坡>植草护坡>联锁块植草护坡>干砌石护坡。由此可见,生态砌块挡墙与抗冲植生毯护坡组合的安全稳定性、生态功能

性、经济社会性优于与其他护坡组合。

4 结束语

在河道整治项目中,生态护岸的选择是一个较为复杂的过程,影响因素众多。本研究参考《水力计算手册》、《水利工程生态护岸设计规程》(T/GDHES 001—2022),结合现有研究成果和宁海县堤岸工程规划,基于层次分析法构建了宁海县平原河道生态护岸

(下转第 6 页)