

衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复研究

张百千¹, 蒋鹏飞¹, 琚建辉¹, 纪光磊¹, 林志伟²

(1. 衢江抽水蓄能有限公司, 浙江 衢江 324005; 2. 国核电力规划设计研究院有限公司, 北京 100095)

摘 要: 水利水电工程建设会导致景观结构破坏、地质灾害频发等生态环境问题, 因此水利水电工程边坡生态修复十分重要。以衢江抽水蓄能电站为例, 基于层次分析法建立典型边坡植被恢复质量评价指标体系, 并结合典型样地调查结果提出最适宜的植被恢复配置模式。研究表明: ①准则层中景观效果和植生效益权重较高, 指标层中景观协调美感、植被盖度、绿期、植被均匀度和技术可行性 5 项指标权重较高, 是植被恢复需要考虑的重点; ②结合研究区的优势物种, 综合考虑物种丰富度及植被间的协调美感, 建议衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复配置模式为“2 种乔木+4 种灌木+2 种草本”, 其中乔木选择昆栏树、梧桐, 灌木选择乌冈栎、土茯苓、山油麻、蜡瓣花, 草本选择藎草属植物、毛竹。

关键词: 抽水蓄能电站; 边坡; 植被恢复; 层次分析法; 衢江; 浙江省

中图分类号: S157 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0941.2025.02.007

引用格式: 张百千, 蒋鹏飞, 琚建辉, 等. 衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复研究[J]. 中国水土保持, 2025(2): 24-26.

水利水电工程建设中山体开挖会形成大量裸露边坡, 破坏原有植被及其生长基质, 导致景观结构破坏、地质灾害频发等生态环境问题^[1-2]。因此, 水利水电工程边坡生态修复工作对清洁能源开发的长远发展和经济社会的可持续发展十分重要。在当前水利水电工程边坡生态修复过程中, 经常存在植被恢复生存率低或植被生长缓慢等问题, 导致生态系统恢复困难, 甚至出现退化^[3]。依据《国务院办公厅关于科学绿化的指导意见》《关于加强新时代水土保持工作的意见》, 为提高水利水电工程边坡生态修复成效, 应坚持因地制宜、适地适绿的原则, 以自然生态系统的结构和演替机制为参考, 以最小化的人为干预缩短自然恢复时间, 引入不同类型的乡土植物, 在恢复植被覆盖、修复生态系统的同时, 通过植物根系作用加固和防护边坡, 遏制水土流失^[4-6], 提升景观效果。乡土植物具有环境友好、适应性强, 可维护生态系统物种多样性、降低资源消耗等优势^[7], 而不同乡土植物的配置模式决定了植被修复成效。本研究以衢江抽水蓄能电站为例, 基于层次分析法建立植被恢复质量评价指标体系, 并结合典型样地调查结果提出最适宜的植被恢复配置模式, 以期同类型地区水利水电工程生态修复工作提供参考。

1 研究区概况

研究区位于浙江省衢州市衢江区黄坛口乡坑口村, 地理位置 28°14′~29°30′ N, 118°01′~119°20′ E。属于亚热带季风气候区, 全年四季分明, 气温适中, 年均气温 17.3℃, 极端最高气温 40.5℃, 极端最低气温 -10.4℃, 光热充足, 年均日照时数 1 966.4 h, 无霜期

长达 258 d, 具有春早秋短夏冬长、温适光足旱涝明显的气候特征; 降水丰沛, 年均降水量 1 636.0 mm, 每年 3—7 月为多雨期, 夏季多暴雨、大暴雨、冰雹、雷雨大风等灾害天气。地貌类型以河谷平原和丘陵为主, 主要土壤类型为水稻土和红壤, 也存在部分潮土、黄壤、紫色土和粗骨土。

衢江抽水蓄能电站分为上、下两个水库区和示范区, 其中: 库区边坡以土质边坡为主, 整体坡度为 60°~80°; 示范区边坡以岩质边坡为主, 高度约 20 m, 宽度约 120 m, 坡度约为 70°。上库区以弱风化晶屑斑状凝灰岩为主, 局部为安山玢岩, 岩体较破碎, 完整性差, 无较大不利结构面组合及不良地质, 边坡整体稳定; 下库区基岩主要为晶屑斑状凝灰岩, 局部为安山岩岩脉, 山脊缓坡及沟底两侧附近分布有少量覆盖层; 示范区的库岸以岩质边坡为主, 岩体破碎, 无较大不利结构面组合, 边坡整体稳定。

2 研究方法

2.1 典型样地调查

2023 年 8 月, 采用典型样地调查方法获取衢江抽水蓄能电站典型边坡的植被分布情况。布设 25 个 10 m×10 m 的灌草样地, 在每个样地内选取 5 个灌草小样方(3 m×3 m); 布设 25 个 20 m×20 m 的乔木样地, 在每个样地内布设 4 个乔木小样方(10 m×10 m)。在

收稿日期: 2024-04-30

基金项目: 国网新源科技项目(SGXJKJ-2022-107)

第一作者: 张百千(1993—), 男, 山东滨州人, 工程师, 主要从事边坡生态修复研究工作。

E-mail: zhangbaiqian@hotmail.com

每一个乔灌草小样方内,调查得到植被种类、盖度、高度及株数。

2.2 层次分析法

本研究采取层次分析法构建衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复质量评价指标体系。主要过程包括:①模型构建。基于衢江抽水蓄能电站边坡植被组成及物种特性,同时参考生态修复及林草业方面专家意见,确定由1个目标层、3个准则层、10个指标层构建的综合评价模型(见表1)。

②建立判断矩阵。基于专家意见与张龙等^[8]的研究结果,采用“1~9”标度法,根据不同评价指标的重要程度,每两个指标相比较,得到判断矩阵。

③计算权重。对判断矩阵进行一致性检验并计算变量因子相对权重,先通过计算一致性比率 C_R 值,验证各层次指标是否通过一致性检验,当 $C_R<0.1$ 时,认为判断矩阵具有较高的一致性;再计算得到每项指标相应的权重值,以判断各指标的相对重要性。经计算,判断矩阵的最大特征向量分别为3.029、4.047、2.000、4.185,对应的 C_R 值分别为0.025、0.018、0.000、0.069,均小于0.1,符合要求。本研究采用Yaahp 10.3软件进行层次分析,采用Matlab 2019软件进行判断矩阵计算。

表1 衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复质量评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C
植被恢复质量评价 A	植生效益 B ₁	植被盖度 C ₁
		植被高度 C ₂
		植被均匀度 C ₃
		植物抗逆性 C ₄
		绿期 C ₅
	景观效果 B ₂	景观协调美感 C ₆
		植物生长条件 C ₇
	经济效益和可行性 B ₃	施工难度 C ₈
		技术可行性 C ₉
		固碳效益 C ₁₀

2.3 重要值分析

重要值(Importance Value)作为各植物种在群落中的优势度指标,可表征不同植物在群落中的功能地位。重要值计算公式为

$$I_{Vi} = (H_i + C_i + D_i) \times 100 \quad (1)$$

式中: I_{Vi} 为物种*i*的重要值; H_i 、 C_i 、 D_i 分别为物种*i*的相对高度、相对盖度、相对密度。

3 结果与分析

3.1 指标体系权重确定

以植被恢复质量评价为目标层,构建起包含3个准则层和10个指标层的植被恢复质量评价指标体系,其权重计算结果见表2。其中准则层中,景观效果的权重最高,为0.479 6;植生效益次之,权重为0.405 5;

经济效益和可行性的权重最低,为0.114 9。这表明在抽水蓄能电站植被恢复中,最看重的是景观效果的改善。景观效果包括绿期和景观协调美感2项指标,对准则层中的权重分别为0.333 3和0.666 7。在充分考虑植被恢复的协调美感,保障景观效果的同时,还要考虑植物配置的丰富度,注重植被类型的选择,最大程度发挥植生效益。植生效益包括植被高度、植被盖度、植被均匀度、植物抗逆性4项指标,其权重排序为植被盖度>植被均匀度>植物抗逆性>植被高度。经济效益和可行性包括植物生长条件、施工难度、技术可行性、固碳效益4项指标,权重排序为技术可行性>固碳效益>施工难度>植物生长条件。值得注意的是,虽然经济效益和可行性权重最低,但技术可行性指标权重较高,表明复绿工程的成熟性和经济性还是十分重要的。综合10项指标来看,景观协调美感、植被盖度、绿期、植被均匀度和技术可行性5项指标权重较高,这是抽水蓄能电站复绿工程需要优先考虑的5个方面,而不同植被类型的科学合理搭配才能实现植被覆盖度的提高和景观效果的提升。

表2 衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复质量评价指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	对准则层权重	总权重
植被恢复质量评价 A	植生效益 B ₁	0.405 5	植被盖度 C ₁	0.444 7	0.180 3
			植被高度 C ₂	0.087 9	0.035 7
			植被均匀度 C ₃	0.254 5	0.103 2
			植物抗逆性 C ₄	0.212 9	0.086 3
	景观效果 B ₂	0.479 6	绿期 C ₅	0.333 3	0.159 9
			景观协调美感 C ₆	0.666 7	0.319 7
	经济效益和可行性 B ₃	0.114 9	植物生长条件 C ₇	0.136 1	0.015 6
			施工难度 C ₈	0.144 0	0.016 5
			技术可行性 C ₉	0.540 2	0.062 2
			固碳效益 C ₁₀	0.179 7	0.020 6

3.2 植被调查结果与植被配置模式建议

表3为典型样地调查结果,衢江抽水蓄能电站乡土植被共包含:乔木植物9种,分属8科8属;灌木植物7科8属9种;草本植物10科13属13种,按照生活型进行划分,有多年生草本植物11种、一年生草本2种(小蓬草、牵牛)。根据重要值计算结果,乔木中昆栏树、梧桐、柯的重要值较高,灌木中乌冈栎、土茯苓、山油麻的重要值较高,草本植物以藎草属植物、毛竹和蕨为主,且藎草属植物和毛竹的重要值均高达7.5以上,在进行生态修复时属于优先选择的乡土植物。乔灌草的合理搭配可以使植物群落具有丰富的层次,维护生态系统的稳定性和多样性,同时四季景观变化明显,视觉效果丰富、层次分明,具有更好的景观协调效果。基于植被恢复质量评价指标体系及其权重,结合研究区的优势物种,综合考虑物种丰富度以及植被

间的协调美感,以营造多层次、高覆盖度的景观为抽水蓄能电站生态修复的目标,建议衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复配置模式为“2 种乔木+4 种灌木+2 种草本”,其中乔木选择昆栏树、梧桐,灌木选择乌冈栎、土茯苓、山油麻、蜡瓣花,草本选择藁草属植物、毛竹。

表 3 衢江抽水蓄能电站主要植被重要值

类型	植物名称	重要值	属	科
乔木	昆栏树	1.949	昆栏树属	昆栏树科
	梧桐	1.038	梧桐属	锦葵科
	柯	1.000	柯属	壳斗科
	桂樱	0.879	李属	蔷薇科
	华山松	0.504	松属	松科
	杉木	0.311	杉木属	柏科
	多型铁心木	0.265	铁心木属	桃金娘科
	青麸杨	0.217	盐麸木属	漆树科
	湿地松	0.143	松属	松科
灌木	乌冈栎	2.371	栎属	壳斗科
	土茯苓	1.206	菝葜属	菝葜科
	山油麻	0.992	山黄麻属	大麻科
	蜡瓣花	0.503	蜡瓣花属	金缕梅科
	鼠刺	0.381	鼠刺属	鼠刺科
	金缕梅	0.342	金缕梅属	金缕梅科
	锦熟黄杨	0.247	黄杨属	黄杨科
	掌叶覆盆子	0.241	悬钩子属	蔷薇科
	栎	0.136	栎属	壳斗科
草本	浙江藁草等	8.994	藁草属	莎草科
	毛竹	7.952	刚竹属	禾本科
	蕨	2.559	蕨属	碗蕨科
	林泽兰	0.685	泽兰属	菊科
	芒萁	0.620	芒萁属	里白科
	小蓬草	0.500	飞蓬属	菊科
	乌蕨	0.470	乌蕨属	鳞始蕨科
	五节芒	0.421	芒属	禾本科
	牵牛	0.379	番薯属	旋花科
	山莓	0.335	悬钩子属	蔷薇科
	三脉紫菀	0.251	紫菀属	菊科
	密花豆	0.203	密花豆属	豆科
	庐山香科科	0.199	香科科属	唇形科

4 结束语

抽水蓄能电站边坡生态修复中既存在岩土边坡特有的易碎、陡峭等问题,又有植被生长困难、适应性差、绿化品种单一等问题,且植被恢复的景观效果通常被忽略^[9]。在施工迹地植被恢复的前期阶段,栽种豆科植物和适应性较强的乡土草本植物,可充分发挥植物的固氮功能,对土壤进行改良,为中后期引入植被提供良好的土壤环境^[10];在植被恢复的后期阶段,需要考虑植被本身的物候时间和观赏特性,以实现季相景观设计,进一步提高植被恢复的景观效果^[11],同时不能忽视生态系统的自我修复作用,在适当的时间引进适宜的植被,以达到植物与环境协同进化的目

标^[12]。在充分调查研究区优势物种的基础上,基于植被恢复质量评价指标体系及其权重,综合考虑生态系统稳定性、丰富度和景观效果,建议衢江抽水蓄能电站典型边坡植被恢复配置模式为“2 种乔木+4 种灌木+2 种草本”,其中乔木选择昆栏树、梧桐,灌木选择乌冈栎、土茯苓、山油麻、蜡瓣花,草本选择藁草属植物、毛竹。

本研究采用的层次分析法在评价指标的选择方面具有一定的主观性,这对植被恢复质量评价结果有一定影响,但植生效益、景观效果、经济效益和可行性 3 个方面基本涵盖了抽水蓄能电站典型边坡植被恢复需要考虑的主要因素^[13],其中景观协调美感、植被盖度、绿期、植被均匀度和技术可行性 5 项指标权重较高,是抽水蓄能电站典型边坡植被恢复需要重点考虑的 5 个方面。今后在植被恢复质量评价指标体系构建中,可采取更加科学客观的评价指标选取方法,以进一步提高研究结果的科学指导性和实践意义。

参考文献:

[1] 张进. 浅谈水利工程设计中生态景观化优化设计策略[J]. 河北水利, 2023(11): 47-48.

[2] 徐喜刚. 一处典型陡坡消落带生态修复综合治理分析[J]. 云南水力发电, 2023, 39(11): 22-25.

[3] 薛梦楠, 秦朝莹, 张园媛. 浅谈生态护坡在河道治理工程中的应用[J]. 陕西水利, 2020(9): 137-139.

[4] 安伟莉, 卢耀海, 谢威, 等. 基于近自然植被恢复的乔灌草种子混播研究[J]. 中国水土保持, 2021(8): 40-43.

[5] 白中科, 师学义, 周伟, 等. 人工如何支持引导生态系统自然修复[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 1-9.

[6] 刘汉民, 冯智, 吴中奎, 等. 河道生态护坡技术对比研究: 以溢流河生态护坡为例[J]. 大众标准化, 2023(7): 61-62, 68.

[7] 罗雨薇, 李梦圆, 初奇霖. 北京部分景观河道护坡形式分析[J]. 北京农业, 2015(14): 88-89.

[8] 张龙, 刘奕含, 王鹏胜, 等. 基于层次分析法的露天采石场高陡边坡生态修复方案遴选研究[J]. 环境生态学, 2023, 5(6): 93-98.

[9] 席琳, 秦佩, 刘金凤, 等. 新时期引黄涵闸的植被配置[J]. 中国水土保持, 2023(5): 32-35.

[10] 杨帅, 高照良, 白皓, 等. 矿山废弃地植物种植模式对土壤改良效果[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 134-140.

[11] 李杰. 游客对滨水空间植物绿化及环境偏好研究: 以郑州市熊儿河为例[J]. 河南科学, 2017, 35(4): 662-667.

[12] 于泽, 张云路. 基于植被演替理论的城市废弃地植物景观营造策略[J]. 中国城市林业, 2020, 18(2): 20-24.

[13] 鲁胜哈, 朱成立, 周建新, 等. 生态景观视角下土地整治的生态效益评价[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 311-317.

(责任编辑 李佳星)