

深圳清林径水库库区岩质边坡植被恢复技术

Vegetation Restoration Technology of Rock Slope in Reservoir Area of Shenzhen Qinglinjing Reservoir

林瑞君 黄益田* 林冠文

LIN Rui-jun, HUANG Yi-tian*, LIN Guan-wen

摘要: 水库库区是城市中水环境保护的重要生态敏感区域, 水源保护管理要求对库区岩质边坡植被恢复提出了新的要求和挑战。针对深圳清林径水库库区岩质边坡黄土裸露治理工程存在的边坡坡度和高程大、地质结构不稳定、水库管理对外源客土和灌溉水限制等难点, 采取了配置适宜的客土营养基质, 应用FS (Fence-Stripe) 客土喷播技术, 优化植物种类、配比和养护管理技术等措施。施工完成12个月后开展生态修复效果跟踪调查, 结果显示: 高陡边坡植被生长状况良好, 草本植物覆盖率达95%以上, 周边自然生长的乔灌木开始向坡面溢生, 裸露的高陡岩质边坡进入植被自然演替, 取得了良好的社会效益和生态效益。

关键词: 水库边坡; 植被恢复; 喷播技术; 客土配比; 植物优化; 生态效益

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2022) 03-0073-04

收稿日期: 2021-07-28

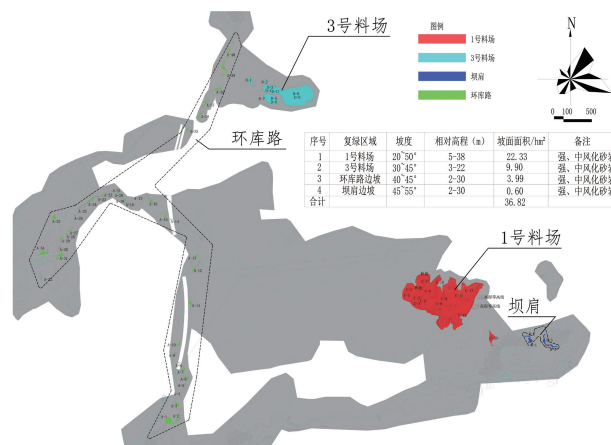
修回日期: 2022-03-24

Abstract: The reservoir area is an important ecologically sensitive area for urban reclaimed water environmental protection. The requirements of water source protection and management in the reservoir area put forward new requirements and challenges to the vegetation restoration of rock slope. In view of the difficulties existing in the loess bare treatment project of rock slope in the reservoir area of Qinglinjing in Shenzhen, such as large slope elevation, unstable geological structure, and limitation of external source guest soil and irrigation water in reservoir management, measures such as configuring appropriate guest soil nutrient matrix, applying Fence-Stripe guest soil spraying technology, and optimizing the species, proportions, and maintenance of plant and management techniques were taken. 12 months after the completion of the construction, a follow-up survey of ecological restoration effect was carried out. The results show that the vegetation on the high and steep slope grows well, the coverage rate of herbs plants reaches more than 95%, the surrounding naturally growing trees and shrubs begin to overflow to the slope, and the exposed high and steep rocky slope enters the natural succession of vegetation, which has achieved good social and ecological benefits.

Key words: Reservoir slope; Vegetation restoration; Spraying technology; Guest-soil ratio; Plant optimization; Ecological benefit

水库是防洪和提供生产、生活水源的重要设施, 但在其建设开发过程中存在破坏原有植被和土壤等问题, 导致了大量山体裸露坡面的形成, 易造成水土流失, 诱发地质灾害^[1], 对山、水、田、林、湖等生态系统的完整性维护构成了严重威胁^[2]。另外, 水资源短缺已是制约现代城市发展的重要瓶颈之一, 城市中的大型水库肩负着饮用水源和水资源调蓄的重要生态功能。因此, 水库库区的裸露山体治理与生态环境保护尤为重要^[3]。在裸露山体生态治理中, 岩质边坡立地条件差, 植被恢复往往最为困难。国内岩质边坡生态修复技术主要有客土喷播、喷混植生、生态笼砖、植生袋、人工种植盆(槽)等多技术组合的复合型工艺^[4-7], 不同工艺适用条件及效果存在较大差异, 目前针对水库库区的岩质边坡植被恢复技术的研究及应用实践还十分缺乏。

清林径水库是深圳市最大水库, 位于龙岗区龙岗河中游, 正常蓄水位79.0 m, 相应库容0.173 km³, 水库水面面积10.6 km², 一级水源保护区面积21.4 km², 连接东江、东深、西江3条境外引水工程。本文以该水库黄土裸露治理工程(图1)为例, 探讨水库库区特殊生态环境的岩质边坡植被恢复技术的工艺及要求, 以期为国内其他水库库区生态环境保护及岩质边坡植被恢复工程提供参考。



注: 采用1956年黄海高程系

图1 治理范围示意图

1 水库库区岩质边坡植被恢复难点

1.1 边坡高程和坡度大

清林径水库引水调蓄工程施工时在库区范围内取料用于土坝填筑,造成水库内出现大面积黄土裸露区域,存在水土流失隐患。该项目需要对库区1号和3号料场裸露区、环库路边坡裸露区及坝肩边坡裸露区进行水土保持和植被恢复治理。1号、3号料场高程大于79m的裸露区域约20.85 hm²,高程70~79m的裸露区域约11.38 hm²;坝肩裸露边坡现状坡顶建有截排水沟,坡面已进行削坡修整、压实,坡度在45°~55°,相对高程在2~30m,裸露区域面积0.60 hm²;环库路裸露边坡坡面已修整压实,相对高程在2~30m,边坡裸露区域面积3.99 hm²。项目总治理面积36.82 hm²,边坡高程大于70m的区域占总治理面积的87.53%,施工难度高,养护难度大。

1.2 地质结构不稳定

1号和3号料场裸露区坡面较松散,在水力侵蚀和重力作用下,已形成侵蚀沟,出现水土流失,影响了水质安全。环库路边坡位于道路旁,长期裸露,在水力、风力和重力作用下,不仅易出现水土流失,而且存在坍塌、滑坡等安全隐患。坝肩裸露边坡位于主坝一侧,若长期裸露,其隐患将对主坝稳定造成影响。边坡和料场的现状裸露面均以强、中风化砂岩为主。边坡裸露面为基岩裸露,完全缺少植被生长所需的土壤环境,几乎没有有机质、氮、磷等营养物质的积累,再加上边坡水热容量小,容易遭受水力侵蚀,植被恢复困难。

1.3 实施区域禁止客土和外来水源

根据《饮用水水源保护区污染防治管理规定》的要求,水库库区严格禁止可能污染水源的活动。清林径水库作为一级饮用水源,其管理单位深圳市东部水源管理中心要求在植被恢复施工过程中,严禁可能带来污染的活动,具体包括:1)植被恢复所需

的客土严禁从库区外获取,防止携带外源污染物进入库区;2)严格控制有机土使用,不宜使用速效肥料,防止营养盐污染水库水体;3)植被养护不得从库区外取水。加之,施工期间遭遇长期干旱,灌溉需水量加大。这些因素对水库库区植被恢复技术客土基质的配置、养护管理等提出了特殊的限制条件,进一步加剧了植被恢复的难度。

2 针对难点的植被恢复技术

2.1 配制适宜的营养喷播基质

土壤基质是植物生长和植被恢复的关键基础^[8-9]。岩质边坡的客土基质不仅要满足生长所需营养、疏松透气、保水保肥等理化要求^[10-11],还需满足适应边坡水土保持的稳定性要求,而两者存在一定矛盾性。此外,项目还受制于饮用水源保护区对营养盐的特殊要求。因此,客土的基质配置需在三者之间寻找平衡点。经多处取样送检后,选用土样酸碱适中、疏松肥沃的具有扩容需求的区域作为取土场,添加蘑菇肥、糠壳、泥炭土等有机疏松材料,以及添加缓释复合肥增加营养供应,从而满足土壤容重、粘结性和肥力综合需求,为植被提供较好的生长环境。种

植土与泥炭土、蘑菇肥、纸浆、糠壳等有机质按8:2配比,四者重量比为4.5:3:0.5:2,每立方混合土缓释复合肥0.20~0.25 kg,再搅拌均匀,配制成营养土作为喷播基质。

2.2 FS客土喷播技术稳定结构填充基质

项目岩质边坡植被恢复采用FS(Fence-Stripe)客土喷播技术,即将高强度钢丝网与生态条袋作为客土重建的基础结构,高强度钢丝网作为生态条袋和客土的附着骨架及受力点,生态条袋采用高密度无纺布缝制成长柱形,内装入客土基质,横向绑扎在钢丝网上,上下间距15~25cm,再以喷播工艺将特别配置的客土基质充填在上下两条生态条袋之间以及生态条袋外表面,形成“三明治”式客土建植系统(图2)。该系统具有较强的耐冲刷特性和稳定性,能有效解决岩质边坡土壤基质缺乏,有机质、氮、磷难以积累的问题,适合我国南方多雨地区;同时其具有较好的整体性,能够为植物根系提供良好的伸展空间。

2.3 选择适宜植物种类并优化配比

边坡植物群落总的演替顺序为草本植物群落、灌草混生群落、乔灌草立体群落,单纯草本群落在生态演替过程中存在植被容易退化的

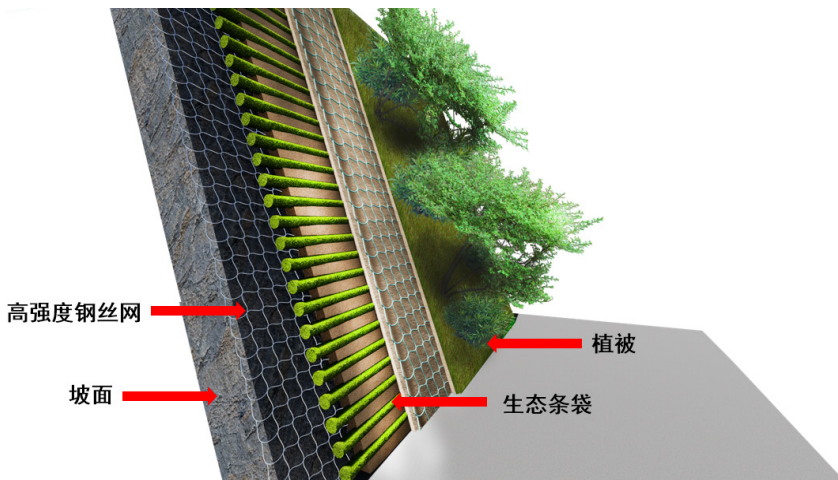


图2 工艺示意图

问题,而岩质边坡植物难以扎根,乔木生长较为困难且存在安全风险,因此灌草混合群落是岩质边坡植物配置的最佳模式。为了充分兼顾人工干预和自然演替的植被恢复效果和群落稳定性,达到与周边生态植被接近的目的,项目采用“生态优先,乡土为主”的植物配置基本原则,遵从植被演替规律,进行科学合理搭配,优选了狗牙根 *Cynodon dactylon*、高羊茅 *Festuca elata*、百喜草 *Paspalum notatum*、白灰毛豆 *Tephrosia candida*、紫穗槐 *Amorpha fruticosa*、野牡丹 *Melastoma candidum* 的种子,以 0.5 : 0.5 : 1 : 2 : 3 : 3 的比例,总体按 30 g/m² 的量进行配置,与纸浆、保水剂等材料混合成浆液,通过液压喷播机喷播到客土基质面层,形成种子萌发层。

2.4 加强养护管理

养护管理是岩质边坡生态恢复与重建最为关键的部分。项目中坡面土壤较薄,保水能力非常差,洒水车养护基本不可行,既不能满足养护频次,也不能满足浇灌强度。而草种发芽、生根期是植被恢复与重建的关键时期,须充分保障浇灌效果。项目通过人工洒水与节水灌溉养护技术(滴灌)相结合的浇灌方式,既保护了坡面不受冲蚀,亦降低养护台班和人工支出以及坡面作业的风险。在客土喷播初期,由于客土尚未与边坡稳定结合,植物根系尚未形成,浇灌以人工洒水为主。人工洒水养护1个月后,安装滴灌养护系统,根据不同坡面土壤干湿情况,设置滴灌时间和水量大小参数,保障植被在恢复过程中对水分的需求,同时节省人力和水资源的投入。喷播后的3个月为成活养护期,在坡面植物生长旺季需加强灌溉和适当补充缓释型复合肥,促进其营养生长,获得足够密度的草灌木植被以进行自然驯化。项目采用了水肥一体化的施肥灌溉养护方式,将水溶性肥以低剂量添加进滴灌用水,减少了面源污染。之后进入9个月的自然驯化期,采用一般养护,逐步减少人工干涉,锻炼植物的适应能力。项目养护工作覆盖了一般一年生草本植物的生长周期,留下足够的种子进入下一个生长循环。至此,岩质边坡植被恢复与重建完成。

3 技术应用效果与特点

3.1 应用效果

项目针对实施过程中场地分散、点多面广、边坡基底松散、高陡边坡等施工难点,以及长期干旱带来的灌溉取水难题,因地制宜优化技术措施,实施后取得了良好效果。完工6个月场地植被覆盖率达到90%;经过一个生长周期的养护驯化,植被开花结果,进入下一个生长周期;完工后12个月进行了生态修复效果跟踪调查,高陡边坡植被生长状况良好,周边自然生长的乔灌木,如五节芒 *Miscanthus floridulus*、蜈蚣草 *Pteris vittata*、华南毛蕨 *Cyclosorus parasiticus*、马占相思 *Acacia mangium*、



图3 边坡喷播施工后的植被恢复效果

山黄麻 *Trema tomentosa*、山鸡椒 *Litsea cubeba*、木荷 *Schima superba*、山乌柏 *Triadica cochinchinensis*、桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa* 等,已经开始向坡面溢生,草本植物覆盖率达95%以上,具备了灌草结合的多层次稳定结构(图3)。原本裸露的高陡岩质边坡已经进入植被自然演替,取得了良好的生态效益和社会效益。

3.2 技术特色

1) 客土稳固结构

针对中强风化、松散、不平整的岩质边坡基底,生态条袋以其一定的柔韧性,紧贴坡面,经客土基质充填后,在边坡表面构建了稳定的客土基质层。生态条袋中的基质与喷播的基质结合形成有机的整体,为草灌群落的根系伸展提供了较大的空间,不仅保障了植被生长所需的土壤基础,还具有良好的边坡水土保持效果。

2) 特异性营养基质配置

项目对客土基质进行了优化,采用泥炭土、蘑菇肥等作为土壤的有机质来源,添加缓控释型复合肥作为植物生长所需的外源肥力来源,从而达到营养供应和水污染风险的兼顾和平衡。

3) 水肥一体节水养护

适宜的灌溉技术不仅将有限的水资源高效利用,也使坡面先锋植被完成快速的构建,从而稳定了客土基质层,减少了水土流失,进而保障植被进入自然演替阶段。同时,水肥一体的施肥灌溉养护方式减少了施肥造成的面源污染,达到了节水、节肥和截污的效果。

3.3 FS客土喷播植被恢复技术应用优势

岩质边坡植被恢复常用技术有植生袋、土工格栅、土工袋、高次团粒喷播、V型植生槽等^[12]。针对项目具有水土保持要求高、面源污染控制严、坡面面积大、高陡岩质边坡的特点,根据植被恢复目标、水土保持功能需求,结合投资目标控制等综合因素,将FS客土喷播技术方案与常用岩质边坡植被恢复技术进行综合比较,可以得出,FS客土喷播技术具有施工成本较低、覆盖速度快、效果好、低维护等优势(表1),适合在水库库区应用推广。

表1 岩质边坡植被恢复技术对比

技术工艺	优点	缺点	造价(元/m ²)
FS客土喷播	1) 抗冲刷能力好; 2) 水土保持、植被恢复效果好; 3) 客土建植系统整体性好, 植物根系伸展空间大	1) 施工工艺略复杂; 2) 投资略高	70~100
植生袋	1) 抗冲刷能力好; 2) 水土保持效果好	1) 投资高; 2) 施工工艺复杂、周期长	260~300
挂三维网客土喷播	1) 施工工艺简单、工期短、造价低; 2) 用于缓坡或土质边坡, 抗冲刷能力强;	1) 与客土结合度弱; 2) 易老化、影响水质	42~60
V型植生槽	1) 短期见效; 2) 植生基质稳定, 耐冲刷;	1) 各植生槽之间割裂, 植物根系无法 串通; 2) 植被长期效果差; 3) 施工周期长, 造价高	300~350
土工格栅	1) 可以结合植生袋工艺, 植物基质有保障; 2) 水土保持效果好	1) 施工周期长; 2) 造价高	350~400

4 讨论

4.1 植被恢复技术关键

土壤基质是植被恢复的关键基础条件, FS客土喷播技术的“三明治”式固土结构, 从根源上解决了岩质边坡客土基质缺乏的难题。该技术还可以通过适当变化, 形成双层网结构, 进一步提高客土基质稳定性, 适用范围可扩展到近垂直边坡。相比植生槽类技术, FS客土喷播技术在边坡上构建了完整的客土基质体, 能够有效保障植物根系的自由伸展和串通。植物根系的横向伸展与金属网形成牢固结合体, 为丰富植物类型提供了土壤基础, 且具有较好的水土保持效果, 后期植被可进行自然演替, 逐渐减少甚至无需人工养护。

4.2 存在问题与展望

由于水库库区四面环山环抱, 场地的坡面朝向变化众多。经过1年养护期, 笔者发现, 坡面朝向不同导致的光热条件不同, 使植被生长情况出现较大差异: 西南及东南方向的阳坡植被恢复效果较好, 养护半年植被覆盖率达到90%以上; 而东北及西北方向的阴坡则植被恢复较慢, 甚至出现大面积秃斑。因此, 植被恢复过程中需考虑针对阴坡和阳坡的不同光热条件, 因地制宜地选用植物种类和配比以及养护策略, 从而达到最佳植被恢复效果。

此外, 项目在植被构建关键时期遭遇了长达半年的干旱季节, 给养护管理增添了预想不到的困难。虽然通过临时增添人力和灌溉设备解决了困难, 但此方式不具有可持续性。因此, 面对极端天气频频发生, 如何增加岩质边坡在植被恢复过程中应对突发恶劣天气的生态韧性, 是未来需要进一步研究的重要课题。

注: 图片均为作者自绘自摄。

参考文献:

[1]李可, 张强, 尚薇. 城市开发建设中裸露坡面治理和生态恢复[J]. 水利规划与设计, 2012(5): 56-59, 90.
[2]李海东, 沈渭寿, 贾明, 等. 大型露天矿山生态破坏与环境污染损失的评估[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015(6): 112-118.
[3]王永喜. 深圳城市水土保持的探索与思考[J]. 风景园林, 2013(5): 43-48.
[4]兰虎林, 李家祥, 彭国涛, 等. 关于深圳几个岩质边坡生态恢复案例的探讨[C]//中国水土保持学会工程绿化专业委员会, 交通部公路科学研究院, 北京林业大学. 全国公路生态绿化理论与技术研讨会论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2009.
[5]朱兆华, 赖涛, 陈晓蓉, 等. 受损边坡生态修复工艺选择、目标群落设计与效果评价[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 78-83.
[6]潘树林, 何鹏, 兰虎林, 等. 岩质边坡植被护坡技术在深圳的应用研究[J]. 北方园艺, 2012(10): 108-112.
[7]袁磊, 周建伟, 温冰, 等. 高陡岩质边坡生态修复过程中植物群落与地下生境特征研究[J]. 西南林学院学报, 2017, 32(2): 84-89.
[8]唐彪, 宋凤鸣, 黄蕾, 等. 工程创面生态恢复技术的典型案例研究[J]. 中国园林, 2017, 33(11): 25-29.
[9]苏绘梦, 黄景春, 王玲, 等. 高陡岩质边坡植被根系发育地境特征研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017(11): 56-62.
[10]钱华, 柏明娥, 刘本同, 等. 岩质边坡绿化过程中人工土壤的重建[J]. 中国水土保持科学, 2006(S1): 83-86, 106.
[11]莫春雷, 宁立波. 高陡岩质边坡植被修复的立地条件研究——以洛阳市宜阳锦屏山为例[J]. 安全与环境工程, 2014(1): 17-21.
[12]路秉翰, 戴伟, 谭广文. 广西南宁园博园岩质边坡生态修复工程应用与探讨[J]. 广东园林, 2019, 41(1): 63-67.

作者简介:

林瑞君/1982年生/女/广东揭阳人/本科/深圳文科园林股份有限公司(深圳 518000)/高级工程师/专业方向为风景园林

(*通信作者) 黄益田/1981年生/男/广东揭阳人/本科/深圳文科园林股份有限公司(深圳 518000)/高级工程师/专业方向为风景园林/E-mail: 243663390@qq.com

林冠文/1981年生/男/广东惠州人/本科/深圳文科园林股份有限公司(深圳 518000)/工程师/专业方向为风景园林