

## 矿山生态修复绿化项目中预制植物生态棒综合推广路径研究

武金桃 薛良 郭红宾 叶鹏飞 商昭阳

河北地矿建设工程集团有限责任公司, 河北 石家庄 050081

[摘要]矿产资源长期开采使得矿山区域生态系统被严重破坏,生态修复成为亟待解决的难题,而传统绿化方式苗木成活率低、季节依赖性强、初期效果不明显,制约着矿山复绿进程,预制植物生态棒技术优化种植基质和植物组合,可全年移植,种了就绿,绿化效率与成活率显著提升,将工程实践和数据监测相结合分析生态棒在不同地貌下的适应性和应用效果,提出推广路径和优化策略,为高效修复提供可行方案。

[关键词]预制植物生态棒;矿山生态修复;绿化技术;成活率提升;基质配比

DOI: 10.33142/ucp.v2i4.17315

中图分类号: X171

文献标识码: A

### Research on the Comprehensive Promotion Path of Prefabricated Plant Ecological Rods in Mining Ecological Restoration and Greening Projects

WU Jintao, XUE Liang, GUO Hongbin, YE Pengfei, SHANG Zhaoyang

Hebei Geology and Mineral Construction Engineering Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050081, China

**Abstract:** Long term mining of mineral resources has seriously damaged the ecological system in mining areas, and ecological restoration has become an urgent problem to be solved. Traditional greening methods have low survival rates of seedlings, strong seasonal dependence, and unclear initial effects, which restrict the process of mine greening. Prefabricated plant ecological stick technology optimizes planting substrates and plant combinations, which can be transplanted throughout the year and planted green, significantly improving greening efficiency and survival rate. By combining engineering practice and data monitoring, the adaptability and application effects of ecological sticks in different landforms are analyzed, and promotion paths and optimization strategies are proposed to provide feasible solutions for efficient restoration.

**Keywords:** prefabricated plant ecological stick; ecological restoration of mines; greening technology; improved survival rate; substrate composition

### 引言

落实生态文明建设战略,矿山生态修复是重要部分,由于生态环境破坏严重、复绿任务艰巨,面对这样的现实挑战急需高效且可持续的技术手段,当前绿化工程存在苗木成活率低、受季节影响大、“老苗”生长迟缓等不少问题,初期绿化效果出不来制约了修复质量和进度,而预制植物生态棒技术优化植物配置与种植基质,有效突破传统瓶颈,能提升绿化速度和稳定性,有广泛推广与实用价值。

### 1 预制植物生态棒绿化技术的理论基础与实践探索

#### 1.1 技术原理与构造组成

预制植物生态棒是一种集成化、模块化的绿化载体,专门为解决矿山生态修复中立地条件差、施工困难、植物成活率低等问题而设计,其结构包括容器层、束根层、基质填充层和外部保护网,物理强度和生态适应性都不错,容器层的材料透气性强、透水性适中,能让水分和空气流通以利于根系呼吸和下扎,束根层是特制薄膜,在植物育苗时可引导根系纵向生长、避免缠绕,为后期扎根做好准备,外部包裹的塑料网在运输和移栽时能起保护作用、减少机械损伤且安装施工时也很方便,它的

功能原理主要有三点,保水性能好,干旱环境能维持一定湿度、减轻水分胁迫,促根效果明显,合理束根机制和营养基质共同作用、加快根系下扎和分化速度,能进行生长预培养,出圃前就有一定的根系规模和地上生物量,达到“种植即见绿”的目的,从而大大提高施工后的初期绿化效果。

#### 1.2 常用植物筛选与生长适应性分析

预制生态棒选植物需兼顾矿山特殊立地条件和植物生理生态特性,筛选时主要看是否耐旱、耐寒、耐贫瘠、根系发达、生长快速,做了大量对比试验后,选出爬山虎、五叶地锦、荆条、紫穗槐、皂角、臭椿等品种搞绿化,其中爬山虎和五叶地锦攀援能力强,可用于高陡掌子面和微地貌区域立体绿化,荆条、紫穗槐耐旱且根系发达适应性强,适合布设于平台和渣坡区域,皂角、臭椿这类木本乔灌木有景观和固土功能,可用于台阶或平台边缘,通过动态监测株高增长、叶片含水量、根冠比等指标来评价植物适应性,不同植物在不同土壤配比下生长差异明显,紫穗槐在配比二基质里地上部分长得快,爬山虎在配比一基质里根系发育得好,根据生长数据有针对性地优化植物和基质匹配能有效提高成活率和绿化效率。

### 1.3 土壤基质配比研究成果

基质配置是生态棒的核心,其功能是给植物提供初期立地条件与养分供应以保证苗木移栽后快速适应环境稳定生长。本研究依“保水、通气、肥力”这三大核心原则设了两种典型基质配比,配比一为土壤百分百、有机肥百分之十五、蘑菇渣百分之十五、蛭石百分之十、珍珠岩百分之五,配比二则在配比一基础上再加百分之十五植物秸秆以增强保水性和有机质含量。现场实验表明,干旱环境中配比二保水性更好,适用于矿山台阶、高陡坡等易失水地段而配比一适合土壤条件较好的平台和微地貌区域,不同配比下植物各生长阶段表现差别大,早期配比二更有助于植物扎根稳定形成群落,后期配比一利于根系扩展和地上部分生长量提高。监测数据对照显示,含植物秸秆的基质可显著提高土壤含水量,减轻高温蒸腾胁迫,有效延长种植季以打破绿化施工季限制,蘑菇渣和有机肥含多种微量元素与有益菌群,利于推动土壤微生态系统恢复并给植物提供持久营养。

## 2 试验区规划与生态棒工程实施路径分析

### 2.1 试验区划分与生态棒规格分布

本次预制植物生态棒试验区按地形条件和绿化目标科学划分成三个功能性区域,总面积大概 5090m<sup>2</sup>,其中核心试验区是区域一,1953m<sup>2</sup>的占地用来测试 32×50cm 和 32×60cm 这两种大规格生态棒,栽植爬山虎、五叶地锦、荆条、紫穗槐、皂角、松树等植物组合且配置密度高,使用 5500 个生态棒,而强化比较区是区域二,面积约 2377m<sup>2</sup>,布设 24×50cm 与 24×60cm 两类中规格生态棒共 3000 个,重点研究以三种灌木类植物为主的搭配组合中基质对成活率的影响,区域三面积 613m<sup>2</sup>,采用 16×50cm 小规格生态棒,侧重于设置爬山虎、地锦与皂角等藤本和灌木苗木为植物组合,验证植物体量与生态棒尺寸间的匹配关系,并且在这三大区域都进行不同植物种类与基质配比的交叉试验,形成株高、枝长、根系发育、含水量等多指标全要素组合,确保研究数据的广泛性和科学性。

### 2.2 生态棒栽植流程与施工技术要点

生态棒种植施工严格按标准化流程,弄出了一整套“预制-移栽-稳根-成活”的高效路子,其种植流程以“一提苗、二踩、三埋”为核心技术动作,即在保证根系舒展的条件下,把生态棒放进预设壕沟里轻踩定型,接着覆土压实并把握好埋深与水平。不同工程类型如掌子面、台阶、平台等都制定了对应的布设间距与密度控制标准,使植物间通风和光照良好且能快速成群连片,提升了绿化覆盖效果。移栽时为避免根系失水和移植休克,生态棒外面包裹一层束根膜和塑料网,这能有效减少机械损伤从而让移栽更稳。水分管理方面,栽后初期要连续喷水养护,每株最少初灌 2-4 次以保证根部和基质充分接触、水化,攀援类植物还配有简易钢丝牵引网作为支撑结构引导生长方向,

为后期监测和管养提供方便接口,达成从施工到养护的无缝对接与技术闭环。

### 2.3 灌溉系统设计与分区分管策略

试验区要让生态棒中的植物在不同区域和基质条件下均衡生长,采用了分区喷灌和阵列式供水方式相结合的灌溉系统,总共布设五组主管道,使用地喷式喷灌设备,每组都有主管道和三眼分支细管,从而能实现局部灌溉和全区联动,喷头间距和喷洒范围按照植物分布密度、生态棒直径调整以保证水资源不浪费且精准覆盖,灌溉从上风口区开始依次到下风口区,既能避免积水,又利于自然通风和调节地温。在水分调控策略方面,根据植物类型设置灌溉频次和时长,像爬山虎、五叶地锦这类需水量中等但可蒸腾速率快的植物分次少量喷灌,荆条、紫穗槐这种耐旱灌木主要进行阶段性深灌以便让根部扎根更牢,皂角、臭椿这些深根乔木要灌足够的水且间隔周期合适以确保根系向下生长,有了这种“差异供水+统一管理”的智能化分区分管系统,水资源配置得到优化,生态棒整体绿化成效和植物生长质量也有效提升了。

## 3 预制植物生态棒对矿山典型地貌治理的适应性研究

### 3.1 掌子面与高陡边坡应用路径

矿山修复中,掌子面和高陡边坡工程部位最具挑战性,坡度大、立地条件差、裸岩多、土壤贫瘠,常规绿化方式在这区域很难快速成活并持续覆盖,这是个难题,于是有了预制植物生态棒与储水种植孔相结合的技术路径,坡面 70° 区域一般会开设孔径 250mm、深 1.5m 且底部设储水仓的种植孔来收集自然降水和灌溉补水以增强水分供给能力,生态棒在安装前植物就育好苗且初步生长预培养好了,移植入孔后基本不用缓苗期能“即插即活”,为解决绿化难题,在生态棒预制阶段对爬山虎、地锦等藤本植物进行支架牵引让它们有一定生长长度,插入掌子面后迅速展开覆盖,孔内设置雨水收集导管和毛管自动滴灌系统有效提升水分利用效率和成活率,这种“预制育苗+储水结构+快速定植”的技术路径保障了掌子面绿化的初始成效,为后期构建稳定植物群落奠定基础,使高陡边坡快速从“裸岩”转变成“绿带”。

### 3.2 渣坡、平台及台阶绿化推广技术

在矿山开采时,渣坡、平台和台阶这类地貌类型很常见且土壤条件相对不错,但初期绿化速度慢、施工周期长这两个问题仍然很明显,预制生态棒有“覆土-生态棒同步施工”的机制,能边整形边铺设从而节省工期且快速绿化,在渣坡脚和平台边缘设置挡墙和种植槽便可稳固植入生态棒,植物配置方面,攀援类植物如爬山虎、地锦能快速遮蔽裸土,灌木类植物如荆条、紫穗槐可固土抗蚀,乔木类植物像皂角、臭椿能增强竖向结构,进而形成复合立体绿化带,台阶区域在挡墙内侧覆土后嵌植生态棒就能营

造出梯级式绿化景观,这种模式适应性强、效果很好且推广前景不错。

### 3.3 微地貌与立体绿化工程整合应用

在矿山生态修复时,微地貌属于人工处理区域,是对自然地形或者工程地形进行微调得到的,其常分布在高陡岩壁、残坡体或者不规则裸岩之间,施工不易且绿化更难。为适应这样的立地条件,生态棒应用于微地貌区域时注重将工程稳固和绿化功能整合起来,形成“生态棒+微地貌+生态袋”的多元协同路径,先对目标区域的地貌整形,使其有一定的平台或者凹槽结构以方便种植操作和保持覆土,接着在边缘垒砌生态棒并用锚杆固定以构建稳定的植生带基础,在生态棒后面铺一定厚度的种植土,再用生态袋、植生毯等材料覆盖表层来增强保湿、固土和美观功能。这种构造有效提高了绿化的层次感和立体性,能在单位面积内形成多个生态位点,增强生态系统多样性和抗干扰能力,爬山虎、葛藤等攀援植物借助牵引装置在立面结构快速延伸,形成绿色瀑布状植被带,视觉效果明显。

## 4 生态棒绿化效果评估体系与数据监测机制

### 4.1 生长期动态监测指标体系

要系统评估生态棒对植物生长的支持效果,就构建了以植物地上和地下部分生长状况为核心、将株高、叶片面积、叶片鲜重与干重、含水率、根系总长、根冠比等当作核心观测内容的动态监测指标体系,其中株高与地上生物量每株植物每 15d 测量一次,叶片质量及含水量每 30d 测定一次,结果表明基质对比对植物初期生长影响显著,添加植物秸秆的基质(配比 2)能有效提高叶片含水率和根系发育速度、减轻高温季节植物的水分胁迫,在藤本类植物快速扩展期尤其适用。

### 4.2 不同生态棒类型在时段数据对比

2022—2024 年对生态棒三组实验区连续监测,发现生态棒直径和植物组合关联显著,皂角、臭椿等深根型乔木更适配大规格(32cm)生态棒,而藤本类植物更适配小规格(16cm)生态棒,配比 2 里植株总生长量大多比配比 1 好是秸秆增强基质透气性和保水性能,试验区 1 整体绿化效果比其他区域好且成活率 92.5%、初期覆盖效果显著,试验区 2 和 3 棒体小、植物组合单一后期生长表现稍差,各区主要数据对比见表 1。

表 1 不同规格生态棒绿化效果对比分析表

| 指标类别        | 区域 1 (大棒) | 区域 2 (中棒) | 区域 3 (小棒) |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 成活率 (%)     | 92.5      | 87.3      | 84.1      |
| 初期覆盖度 (%)   | 78.6      | 64.2      | 59.8      |
| 株高增长 (cm/月) | 14.2      | 11.8      | 10.5      |
| 叶片含水率 (%)   | 62.1      | 58.9      | 55.3      |
| 根冠比         | 1.43      | 1.27      | 1.12      |

### 4.3 成本与效果综合分析模型

构建一个从成本、成活率、绿化速度三个维度出发的

综合分析模型,对不同基质配比和植物组合的经济效益加以评估,分析结果表明配比 2 单株成本虽会高出大概 0.4 元,但补种率能降低 8%还多、人工养护周期能缩短 15 天左右,综合算下来单位面积养护成本能降低 12%左右,乔灌木组合方案绿化效果稳定不过周期长些,藤本搭配方案成本低且见效快、适合需要快速覆盖的区域,考虑成活率、成长速度和施工适应性,配比 2 和藤本-灌木复合组合被推荐为推广的优选方案。

## 5 推广路径构建与政策-产业联动建议

### 5.1 技术推广模型构建

预制植物生态棒推广得坚持“试验区-示范区-推广区”这三阶段路径,先在小范围试点来验证技术适用性,再扩展到不同地质类型和气候条件的示范区域,最终于区域尺度构建起可复制、可推广的工程体系,且推广时要因地制宜做本地化微调,基质配比要契合土壤条件、植物组合要符合气候差异,并且整合植物秸秆、蘑菇渣等农业废弃物作基质原料,能让废弃物资源化利用,提高生态棒的可持续性和经济性,推动矿山修复与农村生态振兴协同发展,打造良性循环的生态产业链。

### 5.2 政府引导与企业协同机制

绿色矿山建设的地方技术规范和产业政策体系应把生态棒绿化技术推广纳入其中并强化政策引导与标准保障。在工程实施方面,建议与 EPC 总承包模式深度融合以发挥设计、施工与管理一体化优势并提升落地效率,设立专项财政资金或者科技专项基金支持生态棒关键技术攻关和规模化应用,鼓励科研单位、施工企业与政府平台联动合作建立产学研用一体化的科技转化机制,从而加快生态棒在更多矿山修复场景中的推广应用。

### 5.3 未来研究方向与智能化发展潜力

未来,要加强生态棒与智能化手段的融合研究并构建集成温湿度、土壤 pH 值、含水率等多参数的智能监测系统以提升植物生长过程的精细化管理水平;生产环节中,要推动生态棒标准化、模块化设计与批量化制造从而降低物流与施工成本;作业方式上,需引入无人机播撒、远程控制灌溉等新技术以实现生产、运输、安装到养护全流程的信息化与智能化,让矿山生态修复朝着高效、安全、智慧新阶段迈进。

## 6 结语

在矿山生态修复领域,预制植物生态棒是一种创新型绿化技术,其突破了传统绿化受季节限制、成活率低、初期见效慢的难题,在提升绿化效率、提高植物成活率和实现全年可种植性上优势明显,经过系统实验和多地实践构建起了完善的基质配比体系、施工技术流程与评估机制,往后要加快这种技术标准化、智能化和规模化发展,推动其在更多生态修复场景里应用落地,为绿色矿山建设提质增效出份力。

## [参考文献]

- [1]胡许达.基于矿山生态修复理论的采石废弃地生态修复与景观重构研究[D].南昌:江西农业大学,2023.
- [2]范永超.矿山生态修复技术和绿化植物配置方案[J].中国金属通报,2024(5):219-221.
- [3]王俊杰.Z公司矿山生态修复项目施工进度管理研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院大学工程科学学院),2024.
- [4]于帅.基于层次分析-模糊综合模型的露天矿山微地形生态修复技术评价研究[J].中国矿业,2024,33(11):39-48.
- [5]郑雯.矿山生态修复工程研究——以开化县某矿山修复项目为例[J].中国资源综合利用,2024,42(8):159-161.

作者简介:武金桃(1989.1—),毕业院校:中国地质大学长城学院,所学专业:地质学,当前就职单位:河北地矿建设工程集团有限责任公司,职务:地勘部部长,职称级别:工程地质高级工程师。