

困难立地造林失败模式识别与适应性重构路径

李雅妮¹, 王唯², 张丰玺³, 王斌¹, 杨秀¹

¹商洛市商州区二龙山国有林场, 陕西 商洛

²商洛市镇安县高峰镇人民政府, 陕西 镇安

³商洛市商州区夜村国有林场, 陕西 商洛

收稿日期: 2026年1月20日; 录用日期: 2026年3月2日; 发布日期: 2026年3月13日

摘要

目的: 本研究旨在分析困难立地造林失败的原因, 精准找出典型失败模式, 构建适应性重构技术路径, 提高困难立地造林工程的成活率、保存率和长期生态稳定性。方法: 通过对水分胁迫、土壤贫瘠、树种与立地不匹配、施工管理失误这四个主要的失败原因进行梳理, 指出传统补植重来模式存在的治标不治本、资源浪费等问题, 结合立地条件分类和生态边界阈值分析, 提出相应的适应性重构方案。结果: 得出适地适树、先改善立地后营林、微环境调节、全周期可调节四大生态恢复原则。采用土壤改良、树种精准选配、微气候调控等技术措施, 使困难立地造林目标从短期成活变为长期存活, 极大地改善植被生长状况和生态系统抗逆性, 给生态修复提供稳固且可推广的技术途径。结论: 本研究形成的适应性重构路径, 给困难立地生态修复提供了一个系统的理论框架和操作指南, 不仅可以改善造林技术的应用效果, 还可以使生态恢复过程更加科学、精细化, 可以给相关领域的技术创新提供理论支持, 有利于生态环境的改善和可持续发展目标的实现。

关键词

困难立地, 造林失败模式, 适应性重构, 生态恢复

Identification of Failure Modes and Adaptive Reconstruction Paths for Afforestation on Difficult Sites

Yani Li¹, Wei Wang², Fengxi Zhang³, Bin Wang¹, Xiu Yang¹

¹Erlongshan State-Owned Forest Farm, Shangzhou District, Shangluo City, Shangluo Shaanxi

²People's Government of Gaofeng Town, Zhen'an County, Shangluo City, Zhen'an Shaanxi

³Yecun State-Owned Forest Farm, Shangzhou District, Shangluo City, Shangluo Shaanxi

Received: January 20, 2026; accepted: March 2, 2026; published: March 13, 2026

Abstract

Objective: This study aims to analyze the reasons for failure in afforestation on difficult sites, accurately identify typical failure patterns, and develop adaptive reconstruction technology paths to improve the survival rate, preservation rate, and long-term ecological stability of difficult site afforestation projects. **Methods:** By reviewing the four main failure causes—water stress, soil infertility, mismatch between tree species and site conditions, and management errors, the study points out the issues with traditional replanting models, such as being short-term solutions and resource wastage. It combines site condition classification and ecological boundary threshold analysis to propose corresponding adaptive reconstruction schemes. **Results:** Four ecological restoration principles are established: suitable tree species for the site, improving the site before afforestation, microenvironment regulation, and full-cycle adjustability. Technical measures such as soil improvement, precise species selection, and microclimate control are employed, transforming difficult site afforestation goals from short-term survival to long-term survival. These measures greatly enhance vegetation growth and the ecosystem's resistance to stress, providing a solid and scalable technical approach for ecological restoration. **Conclusion:** The adaptive reconstruction path developed in this study offers a systematic theoretical framework and operational guide for ecological restoration on difficult sites. It not only improves the application effects of afforestation technology but also makes the ecological restoration process more scientific and refined. It provides theoretical support for technological innovation in related fields and contributes to ecological environment improvement and the achievement of sustainable development goals.

Keywords

Difficult Sites, Afforestation Failure Modes, Adaptive Reconstruction, Ecological Restoration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

党的十九大报告提出“坚持人与自然和谐共生”，是新时代中国特色社会主义基本战略之一[1]。我国生态林业建设已经取得阶段性成果，生态环境得到明显改善，贫瘠立地(含困难立地)造林和森林植被恢复技术研究，已经成为林业领域的工作重点[2]。

我国土地辽阔，山地、沙漠等不适合植树造林的地形所占比重超过了 60%，尽管国家投入了大量的资金在贫瘠的土地上造林[3]，但此类造林需要持续研发支撑，仅靠政策难以突破自然条件瓶颈，技术创新成为摆脱困境的关键[4]。

因此，开展困难立地造林失败模式识别研究具有迫切性。以二龙山国有林场为研究核心区，历时 29 年用长期定位观测和多区域调查与实证验证相结合的方法进行研究，分析各种立地类型的失败原因及阶段特征，避免重复犯错、减少资源浪费，为后续工程提供科学的指导。本文主要探究问题产生的原因，提出有针对性的改善措施，搭建理论研究和实践应用之间的桥梁，为我国的生态建设长远发展提供帮助。

2. 困难立地造林失败类型系统识别

困难立地指土地条件恶劣、不适合造林的区域，包括沙漠、高地陡坡(坡度 $\geq 25^\circ$)、矿区、盐碱地(土

壤电导率 ≥ 3 mS/cm)、沿海滩涂等,其主要限制因子为缺水(年降雨量 ≤ 600 mm)、土质贫瘠(有机质含量 $< 1\%$)或者地形陡峭,造林难度较大。造林成功之后能够增加林地资源、改善土壤结构、调节大气环境、减少贫瘠土地面积,对维持生态平衡、实现可持续发展有重大意义[5]。为了保证造林工程质量,首先要准确识别出失败的类型,然后结合现代技术手段科学应对。

2.1. 水分胁迫型失败

年降雨量在 300 mm 至 600 mm 的干旱、半干旱地区,水分胁迫是最常见的致命失败类型,例如陕西省商洛市二龙山国有林场干旱立地,年降雨量为 380 mm,土壤容重为 1.52 g/cm³,田间持水量为 18.6%。由于根区土壤含水量小于 8%、灌溉不及时,新栽的苗木失水率超过 15%以后就会死亡,这种失败主要发生在春季蒸发旺盛期。防控措施要量化参数,使用滴灌系统(流量 2 L/h·株到 4 L/h·株)或者微喷技术(强度 30 L/m²·h 到 50 L/m²·h),土壤含水量低于 10%时开始灌溉,秸秆覆盖厚度为 5 cm 到 8 cm 或者 0.08 mm 到 0.12 mm 黑色地膜覆盖,配合使用 30 g 到 50 g/株聚丙烯酰胺类保水剂,混合种植穴土壤深度 20 cm 到 30 cm,利用遥感技术和物联网传感器每 7 天检测一次土壤湿度,为灌溉提供数据支持。推荐使用侧柏(蒸腾速率 ≤ 2.5 mmol/m²·s)、山杏(耐土壤含水量下限 6%)等树种,使用后苗木成活率由 45%~55%提高到 78%~85%,3 年保存率达到 70%~78%。

2.2. 根系障碍型失败

黄土高原、西南石质山区(陕西延安立地)容易发生此类失败,主要原因是土壤板结(0 到 30 cm 土层紧实度大于 2.5 MPa)或者整地不彻底,造成苗木根系深度小于 30 cm,根冠比小于 0.5,易受风害和干旱影响而死亡。改良措施要明确技术标准:深翻深度大于 60 cm,采用“两翻两耙”工艺打破犁底层;客土改良比例为本地土壤:腐殖土:生物炭 = 7:2:1,配合 15~20 t/hm²生物炭和 5~8 kg/hm²微生物菌剂,提高土壤通气性 25%到 35% [6]。借助无人机遥感、土壤探测技术监测土壤硬度,指导栽植方案。推荐油松(主根穿透力 ≥ 3 MPa)、刺槐(根系穿透紧实土壤能力 ≥ 2.8 MPa)等深根树种,应用后根系扎根深度达到 50~70 cm,风害死亡率由 30%降到 8%,3 年保存率 75%~82%。

2.3. 温度极端型失败

高寒、高海拔地区(极端最低温 $\leq -25^\circ\text{C}$)或者干热河谷(极端最高温 $\geq 38^\circ\text{C}$),苗木冻梢率或者灼伤率 $\geq 30\%$ 。防控要精准控制微环境,划定温度风险区,选择青海云杉(低温半致死温度 $\leq -35^\circ\text{C}$)、黄连木(高温半致死温度 $\geq 45^\circ\text{C}$)等抗逆树种;夏季用透光率 40%~60%的遮阳网(10:00~16:00 覆盖),冬季设 3~4 m 高风障网(防护范围为风障高度 5~8 倍);根据气候模型确定栽植时间(高寒区 4 月中旬~5 月上旬,高温区 9 月中旬~10 月上旬) [7]。应用后苗木冻害率降至 10%~15%,热害率降至 8%~12%,2 年成活率达 72%~80%。

2.4. 土壤盐碱胁迫型失败

盐碱地(土壤电导率 3~8 mS/cm, pH 值 8.5~10)离子毒害抑制根系生长,造成苗木黄化、停止生长。改良措施有施用 500~800 kg/hm²石膏降低钠离子含量,20~30 t/hm²腐熟羊粪提高有机质, pH 值大于 9.5 时施用 300~500 kg/hm²石灰调节到 8.0~8.5;采用土壤电导率传感器(1 个/5 hm²)和遥感技术实时监测。推荐怪柳(耐盐阈值 EC 值 ≤ 8 mS/cm)、沙枣(耐 pH 值 8.0~9.5)等树种,改良后土壤 EC 值降到 2.5~3.5 mS/cm,苗木成活率由 30%~40%提高到 65%~75%,2 年保存率 60%~70%。

2.5. 施工管理型失败

因苗木运输失水(失水率 $> 15\%$)、栽植深度偏差 ± 5 cm 或定根水未浇透(土壤含水量 $< 15\%$),导致栽

植后 1 个月内苗木死亡率超 30%。防控措施需明确标准：苗木运输时间 $\leq 6\text{h}$ ，用湿苔藓(含水量 $\geq 70\%$)包裹根系；针叶树栽植深度 3~5 cm，阔叶树 5~8 cm，栽植后立即浇透定根水(20~30 L/株)；加强施工人员培训，采用智能化管理技术监控栽植质量。后期养护需保障定植后 1 个月内每 7 天浇水 1 次，之后每 15 天 1 次，持续 3 个月。实施后施工操作合格率由 65% 提升至 92%，苗木运输失水率降至 8%，成活率提升 25%~30%。

2.6. 困难立地造林失败模式诊断检索

Table 1. Diagnostic retrieval table for afforestation failure patterns on difficult sites

表 1. 困难立地造林失败模式诊断检索表

一级诊断指标(现象)	二级诊断指标(量化指标)	本质原因	失败模式结论
苗木叶片萎蔫、干枯	1. 土壤含水量 $< 8\%$ ；2. 蒸腾速率 $> 3.0\text{ mmol/m}^2\cdot\text{s}$ ；3. 叶片相对含水量 $< 60\%$	水分供应不足，供需失衡	水分胁迫型
苗木倒伏、根系浅生	1. 根系深度 $< 30\text{ cm}$ ；2. 土壤紧实度 $\geq 2.5\text{ MPa}$ ；3. 根冠比 < 0.5	土壤结构不良，扎根障碍	根系障碍型
苗木冻梢、灼伤	1. 极端温度 $\leq -25^\circ\text{C}$ 或 $\geq 38^\circ\text{C}$ ；2. 细胞膜透性 $> 40\%$ ；3. 新梢死亡率 $\geq 30\%$	温度超出树种耐受范围	温度极端型
苗木黄化、生长停滞	1. 土壤 EC 值 $\geq 3\text{ mS/cm}$ ；2. pH 值 > 8.5 ；3. 根系鲜重减少 $\geq 20\%$	盐碱离子毒害，根系受损	土壤盐碱胁迫型
栽植后 1 个月内死亡	1. 苗木失水率 $> 15\%$ ；2. 栽植深度偏差 $\pm 5\text{ cm}$ ；3. 定根水未浇透(土壤含水量 $< 15\%$)	施工操作不规范，养护缺失	施工管理型

3. 困难立地造林失败诱因系统剖析

困难立地造林失败不是单一的生态条件或者个别操作失误造成的，而是生态承载力、技术适配性、管理连续性等众多因素长期相互影响的结果。对失败诱因进行系统地剖析，是提高成活率、创建适应性路径的根本。

3.1. 立地适宜性评估不到位

许多造林失败都是因为前期对立地条件判断错误或者忽视造成的。青海柴达木盆地部分造林工程在施工前没有对地下水埋深、土壤盐碱度、有效土层厚度等进行调查，造成苗木大面积死亡[8]。为了避免类似情况的发生，立地适宜性评价要更加准确。利用遥感技术、GIS 空间分析、气候模型等方法来评价立地。遥感技术与 GIS 分析可以对立地条件的适宜性做全面的评价，在项目开始前按照气候、土壤、坡度等条件做出科学的判断。采用土壤电导率、水文监测数据等定量分析手段，可以及时发现潜在的问题，防止由于立地条件评价失误而导致失败。另外，气候模型可以预测出在不同的气候条件下，立地的适宜性变化，从而提高评价的准确性[9]。

3.2. 树种与立地不匹配

树种选择与立地条件不匹配是造成造林失败的主要原因之一[10]。在实际项目中，树种与立地条件不匹配的情况比较普遍，造成树木不能适应环境，生长不良。现代生物技术、气候模型给树种选择提供有效的指导。基因组学研究表明，树种的抗逆性同其基因组里的抗性相关基因有关，给树种选择赋予了新的理论依据。利用基因组学研究可以选出耐逆性强、适应性广的树种。另外，根据气候模型选择树种可以防止由于树种不适应而造成的失败。树种与立地条件的精准匹配，可以提高苗木的成活率，也可以提

高生态恢复的稳定性。

3.3. 整地与栽植技术不到位

整地方式不当是造成许多困难立地失败的直接原因。例如,在岩质丘陵区的工程用表层翻挖、浅沟刨植等简单的方法进行整地,不能形成蓄水透气的环境,使苗木根系不能深入土层。土壤板结严重的地区,因为苗木种植过浅、覆土不实、没有及时浇定根水等原因,在缓苗期很容易出现根腐、停滞生长甚至死亡的应激反应。因此,整地时要根据地形、土壤、水文条件选择适宜的整地方法,使苗木根系埋在合适的土层里,栽植后立即浇透定根水,防止土壤孔隙问题,提高成活率。对特别困难的地区,可以采用更加精细的土壤探测技术,结合土壤质量检测、遥感技术等手段,对整地效果进行准确的评价,保证整地措施的科学性、合理性。

3.4. 养护管理机制薄弱

养护期管理不到位是造成苗木初期成活、后期死亡的主要原因,在困难立地条件下更加明显。黄土高原区造林之后缺少系统的水源调配、除草抑蒸、病虫害监测等措施。项目建设周期结束以后,因为缺少后续资金以及责任主体,养护工作不能有效开展。困难立地苗木对养护的依赖性很大,在定植后的两年内如果没有覆盖、抗旱、补苗等动态调控,林分很容易退化。失败不是在造林阶段出现的,而是在养护空档期才暴露出来的。为解决上述问题,就需健全养护管理制度,采用智能化管理手段对水源、病虫害、环境等各方面实行实时监测。采用物联网技术以及大数据分析平台可以实现养护工作的精准化,对水源供给进行动态调节、对温湿度等进行控制,使困难立地苗木得到正常生长,从而达到生态修复的持久效果[11]。

4. 困难立地造林失败后适应性重构路径探讨

4.1. 适应性重构路径的核心原则

适应性重构路径就是按照立地条件、生态边界条件,创建可持续生长、动态调节的恢复过程。其主要原则有适地适树、优先立地改良、微环境调控、全程可调节这四个方面[12](如图1)。

适地适树要达到量化匹配标准,树种和立地水热条件的契合度不低于80%,土壤适配性不低于75%,优先选择抗逆性强的本地树种。陕南石质山地(年降雨量420 mm, pH 6.5~7.5)推荐侧柏(根系 ≥ 1.5 m)、油松(耐水下限8%),匹配度达85%以上,比速生杨成活率提高40%,3年保存率由55%提高到75%~82% [13]。

优先立地改良以改善土壤结构为主,目标是容重不大于 1.4 g/cm^3 、孔隙度不低于45%、有机质不低于1.0%。黄土高原板结立地采用深翻(≥ 60 cm)+生物炭($15\sim 20 \text{ t/hm}^2$)+微生物菌剂($5\sim 8 \text{ kg/hm}^2$)改良后,土壤通气性提高25%~35%,苗木成活率提高30%~40%,年高生长量提高45%~60% [14]。

微环境调控要保持生长季湿度60%~75%、温度波动不超过 5°C 、风速不大于 3 m/s 。技术参数:透光率40%~60%的遮阳网(夏季10:00到16:00覆盖,高2.0~2.5 m);3~4 m高风障网(防护范围5~8倍高度);5~8 cm秸秆或者0.08~0.12 mm地膜覆盖,可降低缓苗期死亡率25%到30%。

全程可调节要求定植前后2年每3个月监测1次,3~5年每6个月1次,主要指标为土壤含水量、生长量、病虫害发生率。设定阈值:成活率小于70%补植,生长量低于平均值的30%调整养护,病虫害大于15%防控,五年保存率比固定方案提高20%到25%。

4.2. 适应性重构路径的过程优化

4.2.1. 苗木准备阶段的优化

苗木质量决定造林成败,优先选用大容器苗($25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$,地径 $\geq 0.8 \text{ cm}$ 、苗高 $\geq 60 \text{ cm}$,主根 \geq

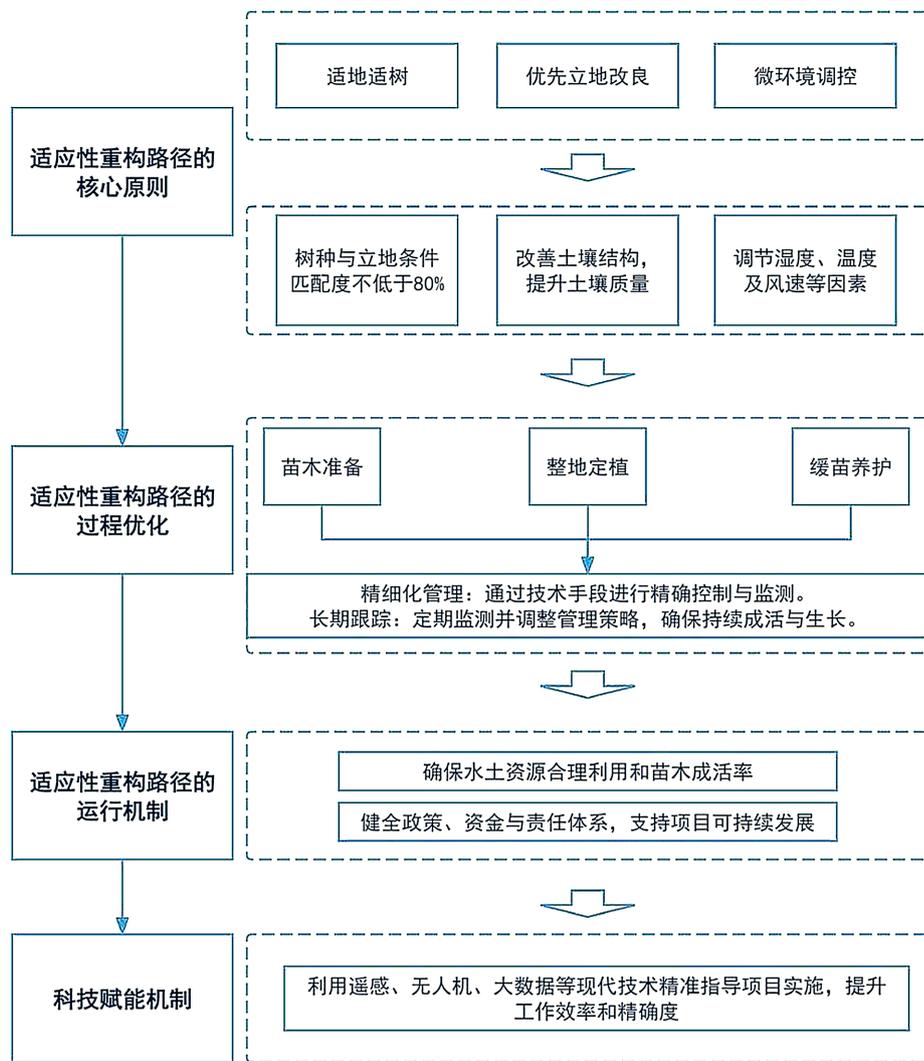


Figure 1. Adaptive reconstruction technology roadmap

图 1. 适应性重构技术路线图

20 cm、须根 ≥ 30 条)或带土球苗(土球直径为地径 5~6 倍, 完整率 $\geq 90\%$, 1 cm 厚草绳 + 无纺布包装)。运输时间 ≤ 6 h, 湿苔藓(含水量 $\geq 70\%$)包裹根系, 失水率 $\leq 8\%$ [15]。

育苗使用自动化温湿度控制(白天 $20^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$, 夜间 $10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$, 湿度 $60\%\sim 70\%$), 叶面喷施 0.2% 磷酸二氢钾和 0.1% 氯化钙溶液, 苗木脯氨酸 $\geq 150\ \mu\text{g/g}$ 。实测大容器苗成活率为 82% 到 88%, 比裸根苗提高了 37% 到 43%; 带土球苗的缓苗期缩短了 15 天到 20 天, 适应期成活率提高了 50% 到 60%。

4.2.2. 整地定植阶段的优化

特殊地形整地参数: 反坡平台(坡度 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、宽 1.5~2.0 m、埂高 15~20 cm); 水平沟(深 40~50 cm、宽 30~40 cm、间距 2.0~2.5 m); 鱼鳞坑(直径 50~60 cm、深 30~40 cm, “品”字形排列, 间距 1.5~2.0 m)。

盐碱地、黏重土壤采用客土改良(本地土:腐殖土:生物炭 = 7:2:1), 配施 $20\sim 30\ \text{t}/\text{hm}^2$ 腐熟羊粪, 保证透气性 $\geq 15\%$ 。定植深度针叶树 3~5 cm、阔叶树 5~8 cm, 覆土压实度 $60\%\sim 70\%$, 乔木浇定根水 $20\sim 30\ \text{L}/\text{株}$ 、灌木 $10\sim 15\ \text{L}/\text{株}$, 保证 0~30 cm 土层含水量 $\geq 18\%$ 。应用后根系扎根深度提高 60% 到 80%, 扎根率 85% 到 90%。

4.2.3. 缓苗养护阶段的优化

缓苗期要调节微环境,主导风向侧设 2.5~3.0 m 高风障网(间距 3~5 m),降低风速 40%~60%;夏季用透光率 40%~60%遮阳网,降低地表温度 4℃~6℃;5~8 cm 秸秆或地膜覆盖,配合 30~50 g/株保水剂,保持土壤含水量 12%~18%。

每 5 hm² 设 1 个综合监测站,实时监测土壤温湿度、空气温湿度、风速,数据 2 h 上传 1 次。使用自动化滴灌,土壤含水量小于 10% 时开始灌溉,大于 18% 时停止,单次灌溉 30 分钟到 60 分钟。实测苗木缓苗率 90%~95%,比传统养护提高 30%~35%,叶片黄化率降到 8%。

4.2.4. 生长稳定阶段的优化

苗木进入生长期之后,要通过精细化管理来保证林分均衡稳定。修剪在春季萌芽前进行,病虫害枝条修剪率 ≥ 90%,整体修剪强度 ≤ 15%,避免过度疏枝影响生长;施肥根据立地肥力差异化施用,有机肥 15~20 t/hm²、氮磷钾复合肥 300~450 kg/hm²,分两次施用(春季萌芽后、秋季落叶前),补充微量元素肥(硼、锌肥) 30~50 kg/hm²。补植窗口期为栽植后第二、四年春季,补植苗木规格与原苗木一致,补植后成活率 ≥ 85%。坡度 ≥ 25° 或者风速 ≥ 5 m/s 的区域应设置支撑和围栏,支撑柱间距 3~5 m,围栏高度 1.2~1.5 m。智能化监控每 10 hm² 设 1 个监测点,实时跟踪苗木胸径增长率、病虫害发生率,数据每周上传 1 次,病虫害预警阈值 ≥ 8%。从实际测量结果可知,应用之后林分 5 年郁闭度达到 0.6~0.7,病虫害发生率降低到 5%~8%,年胸径生长量 ≥ 1.0 cm。

4.3. 适应性重构路径的运行机制

适应性重构路径的运行机制是保证困难立地造林项目顺利进行的保障。多方合作加强技术、资金、政策以及管理体系有效衔接,可以保证生态恢复路径连续、稳定。其主要目的就是通过协调各方资源来实现造林项目的有效实施,为生态修复的长期发展提供保障。以下为适应性重构路径运行机制的组成。

4.3.1. 工程保障机制

根据困难立地水分缺乏、土壤贫瘠、地表扰动严重等状况,创建起标准的工程保证体系。集水蓄水设施按 ≥ 50 m³/hm² 配置雨水收集池,地下水储存池深度 ≥ 3 m,铺设 0.5 cm 厚 HDPE 防渗层,水资源利用率由 45% 提高到 75%,干旱期苗木供水保障率达到 90%。土壤改良方面,盐碱地施用 500~800 kg/hm² 石膏降低盐分,贫瘠土壤增施 20~30 t/hm² 腐熟羊粪,配合 ≥ 60 cm 深翻,土壤保水能力提高 30%~40%。风沙区营造防护林带,株行距为 2 m × 3 m,林带宽度不小于 10 m,风蚀强度降低 60% 以上。采用无人机(2 周巡护一次)、传感器网络(1 个/5 hm²)对水资源动态进行实时监测,自动化灌溉系统控制精度 ± 5%,用大数据分析来优化资源分配,实测干旱期苗木死亡率小于 10%,土壤改良区成活率提高 25% 到 30%。

4.3.2. 制度支撑机制

适应性重构路径成功实施需要有制度支持。政策保障、资金保障、责任制度的健全属于其中的重要组成部分。政府要将困难立地造林列入国家生态安全战略的优先扶持范围,给项目给予稳定的财政、技术和政策支撑。

政策支持方面要制定出长期、可持续的政策框架,给项目实施提供稳定的法律和财政保障。例如,把生态补偿、碳汇交易等纳入政策体系,用创新的金融机制引来社会资本参与造林、生态修复项目。这样政府既可以保证项目的顺利进行,又能促进绿色金融的发展。

资金支持要按照不同的阶段进行合理分配,保证建设期和养护期资金的接续。应设立专项资金,尤其是对技术研发、管理创新的支持。除了政府资金外,还可以引入社会资本,比如碳交易、生态补偿等方式筹集资金。依靠创新的社会资金平台,促使更多的社会力量加入进来,让资金的来源渠道更加多元

化,持久化。

在责任制度方面,要明晰各级政府、林业单位、科研机构、养护单位的责任,形成责任链条。用完善的制度、健全的监管手段来保证各个环节工作到位,提高项目执行的透明度和效率。

4.3.3. 立地优化机制

立地优化机制就是通过人工措施改善立地条件、提高生态承载力,从而增强困难立地造林的可行性。核心目的就是改善土壤、选择适宜的树种和配置植被,达到立地与树种之间最佳匹配。

立地条件改良首先要改良土壤,采用深翻、增施有机物、改良土壤结构等方法,提高土壤的透气性、保水性。在盐碱地等特殊环境下可以利用土壤电导率监测、盐碱改良等方法改善土壤盐碱程度,保证植物根系能够正常生长。利用遥感和 GIS 技术分析土壤性质,根据土壤改良方法来选择合适的树种,可以为林地恢复提供科学依据。

树种选择要根据立地类型的不同,选择适应性强、抗逆性好的本地树种,避免引进外来树种造成生态失衡。借助现代气候建模技术,预测气候变化给不同树种带来的影响,在栽植时挑选最适合的树种以及栽植时间,从而提升生态恢复的成功率。

4.3.4. 科技赋能机制

科技赋能机制依靠科技创新和技术手段的引领,使困难立地造林项目可以做到精细、智能地管理。现代技术,遥感监测、无人机航测、大数据分析等可以给项目提供实时的数据支持,使决策者准确掌握立地条件、苗木生长状况、潜在风险。像遥感技术就可以对森林的生长情况、土壤含水量、植被变化等进行监测,进而及时调整栽种方案或者灌溉计划。无人机航测可以完成高精度地形勘测、土壤检测,准确判断立地条件,给技术方案的制定提供科学依据。

在立地选定和树种安排时,利用 GIS 技术结合遥感技术做空间分析,可以准确划定造林的范围,优化树种的分布。对苗木管理阶段的土壤水分、温度等重要指标进行无线传感器监测,及时对苗木灌溉、养护等进行调整,提高苗木的存活率。同时使用自动化灌溉、机械化养护、无人机操作等先进科技手段,能大幅度提高工作效率与精准度。

此外,随着物联网技术的进一步发展,可以对整个造林过程进行更精细的监控和调整。通过实时获取土壤和环境数据,利用大数据分析可以给工程决策提供精准的指导,保证整个适应性重构过程的动态调整及改良。这样科技助力既可以保证工程执行精准无误,又可以给长期管理提供强大的数据支持,从而保证生态恢复的长久性和稳定性。

4.3.5. 社会协同机制

社会协同机制指的是政府、企业、社区和公众多方共同参与,一起治理困难立地造林问题。困难立地造林过程中社会协同机制可以调动社会动员能力,达到资源共享、共担责任、共享利益的目的。政府要在顶层设计和政策扶持上起主导作用,给予必要的资金扶持、政策扶持和技术扶持,企业和社会资本可以凭借碳汇交易、生态补偿、公益项目等途径,参与到造林当中来,给项目建设赋予资金和专业技术支撑。

社区居民属于直接的管理者,应当经由创建恰当的利益共享机制,将他们积极纳入造林与养护项目当中。既能调动居民的积极性,又能保证项目的持续性、稳定性。公众通过参与监督、宣传等方式来增加项目的透明度、执行力,促使项目顺利进行。

通过政府、企业、社区、公众四方面的共同努力,形成合力,促进生态恢复项目长期稳定发展。社会协同机制给困难立地造林赋予了一种全面的治理框架,有益于保证项目顺利开展并达成预期的生态效益。有效的运行可以整合各方面的力量,提高造林项目的效率和可持续性。

5. 结语

困难立地造林的真正价值不在一时生境困境的突破,而在展现人与自然在极限条件下最深的互动。识别失败模式就是对自然约束的深刻认识,适应性重构就是顺应自然规律和创造性转化的有机结合。立地条件不是不能克服的障碍,而是促使人类用更加科学、长远的眼光来认识环境、调整结构、重塑人与自然关系的契机。真正的成功不能只用短期的成活率来衡量,而应该在于构建一个能经得起时间考验、经得起环境变化的生态秩序。从这个角度来说,困难立地造林不单是生态工程,更是文明和自然共同演进的学术问题。它的意义就在于,在应对困境中重塑生态的可能,用适应性策略去寻找生态和社会的可持续发展。

参考文献

- [1] 吴胜胜. 探析定边县困难立地造林技术难点及处理对策[J]. 当代农机, 2025(7): 52-54.
- [2] 刘浩. 提高半干旱地区困难立地造林绿化策略探究[J]. 中国林副特产, 2021(5): 101-102, 104.
- [3] 沙学平. 辽西北半干旱地区困难立地造林关键技术[J]. 辽宁林业科技, 2023(4): 70-72.
- [4] 张波, 刘宝, 程伟. 困难立地造林存在的问题及其对策[J]. 南方农业, 2022, 16(8): 98-100.
- [5] 孙跃志. 造林对辽西北地区困难立地水土保持作用的影响[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(1): 61-62, 74.
- [6] 黄智群, 赵云, 武建超, 等. 渭北早腰带困难立地生态修复技术[J]. 特种经济动植物, 2024, 27(2): 172-174.
- [7] 赵云, 黄智群, 晁刚. 陕西礼泉县困难立地生态修复技术[J]. 特种经济动植物, 2024, 27(1): 176-177, 181.
- [8] 张晓娟, 赵福洲, 娜仁. 鄂尔多斯地区困难立地造林模式研究[J]. 防护林科技, 2022(2): 43-45, 51.
- [9] 谢毓芬, 陈鹏, 郭晖, 等. 渭北地区困难立地造林技术[J]. 温带林业研究, 2025, 8(2): 59-62.
- [10] 闫星达. 困难立地造林和森林植被恢复技术研究[J]. 林业科技情报, 2020, 52(1): 63-64, 66.
- [11] 常富智, 李皓. 困难立地造林难点与对策研究[J]. 河南农业, 2019(26): 27-28.
- [12] 刘姝玲, 刘巧红, 张婵婵. 榆林市定边县困难立地造林技术措施[J]. 防护林科技, 2024(5): 86-87.
- [13] 丁亚飞, 徐永宏, 范建忠, 等. 赤皮青冈幼林植物-微生物-土壤生态化学计量特征对困难立地的响应[J/OL]. 生态学杂志: 1-12. <https://link.cnki.net/urlid/21.1148.Q.20250825.1755.002>, 2025-10-22.
- [14] 游俊华. 落叶松、油松在困难立地条件下的造林关键技术[J]. 中国林业产业, 2025(6): 67-68.
- [15] 王育文, 郭忠升. 陕西黄河流域生态保护和森林植被高质量发展建设对策[J]. 人民黄河, 2021, 43(6): 6-9, 15.