

喀斯特地区全域土地整治石漠化治理与植被恢复模式研究

周旋¹ 周川²

1 重庆华地资环科技有限公司, 重庆 401120

2 重庆地质矿产研究院, 重庆 401120

摘要: 在自然约束与人为扰动长期叠加的背景下, 石漠化问题不仅持续侵蚀区域土地资源基础, 更深刻影响着生态格局的完整性与可持续发展路径的构建。面对这一典型的地貌—生态耦合退化系统, 传统的分散治理模式已难以奏效, 亟需构建具备整体视野、系统逻辑与区域适应性的治理新范式。本文聚焦喀斯特石漠化治理与植被恢复的复合机制, 首先从地貌演化、成因机制与人地关系动态出发, 剖析石漠化的空间演变逻辑; 进而基于全域土地整治理念, 提出“分区分型—生态嵌套—功能协调”的系统整治框架; 在植被恢复层面, 构建从物种筛选到群落演替模拟的技术路径; 最终通过治理成效的指标化评估与推广机制设计, 探索可复制、可迁移的整治模式群。研究旨在为喀斯特区域石漠化治理提供具备理论深度与实践操作性的技术支撑, 并为区域尺度生态系统恢复策略提供范式启示。

关键词: 喀斯特地区; 全域土地整治石漠化治理; 植被恢复模式

引言

在自然地理格局快速演化与人类活动强度不断上升的双重驱动下, 喀斯特地区所面临的生态治理挑战日益严峻。石漠化作为典型生态退化过程, 其本质是地质基础、土地利用与生态功能三者之间协同失衡的集中体现。虽然关于石漠化治理的理论与实践已逐步积累, 但其零散性、短周期、单目标等问题依然突出, 难以有效支撑区域尺度上的系统性修复需求。与此同时, 近年来关于“全域土地整治”的概念提出, 打破了传统工程思维的局限, 为包括喀斯特在内的生态脆弱区提供了整合治理的新方向。然而, 如何将土地整治、生态修复与空间功能重构深度耦合, 并形成可操作的实施机制, 仍是当前研究的关键症结所在。

1 石漠成因剖析与区域生态格局识别

1.1 喀斯特地貌演化机制与生态脆弱性特征

碳酸盐岩广布所形成的喀斯特地貌, 其长期受溶蚀作用支配, 造就了地表支离破碎、土壤层极其浅薄、蓄水能力下的基本格局^[1]。这种地貌特性不仅削弱了区域生态系统的抗干扰能力, 也极大限制了植被的再生潜力。生态过程一旦遭受破坏, 常常难以通过自然途径自行恢复, 呈现出显著的脆弱性与不可逆性。

1.2 石漠化演进阶段与成因类型划分

石漠化的发生不是突变事件, 而是以阶段性递进方式展开, 其演化路径通常始于植被覆盖率下降与土壤结构破坏, 最终形成广泛裸露的岩石地表。从驱动机制看, 气候干扰与人为活动共同构成叠加效应,

而非彼此独立。精细划分各阶段石漠化类型，并识别其主导因子，是实现分区分类治理的理论前提^[2]。

1.3 土地利用变迁与人类活动干预强度分析

区域土地利用格局在过去十余年经历显著转变，特别是农业用地向高坡扩展、原始林地被人为分割的趋势明显，使得生态单元整体稳定性下降。在坡地地区，过度垦殖、放牧频繁及资源型开发等行为导致土壤扰动强度不断上升，促进了生态退化链条的扩展。因此，基于遥感数据与空间分析构建干预强度指数，有助于厘清人类行为在生态系统重塑中的影响路径^[3]。

1.4 多源数据融合下的石漠化空间格局重构

单一数据源难以刻画石漠化空间结构的复杂性与动态性。将遥感图像与数字高程模型（DEM）、气象数据及地面调查结果进行集成，可有效提升识别精度。运用时序分析与机器学习算法（如随机森林、支持向量机）构建多时相图谱，不仅可追踪石漠化的空间扩张轨迹，还可识别其斑块结构演替特征，为后续治理单元的精细化划分提供可靠支持^[4]。

2 整治格局构建与治理路径分区

2.1 全域整治理念下的空间系统重构逻辑

在石漠化综合治理中，局部修复往往难以打破系统性退化格局，因此更需从整体出发，构建跨单元、跨要素的整治逻辑。全域治理不仅强调单一区域的生态修复，更注重“山、水、田、林、路”系统之间的功能协调。基于地貌单元的空间组织，构建具备弹性调节能力的土地利用格局，将生态修复与空间优化统筹推进，是提升整治成效的关键所在。

2.2 分区治理框架与类型化整治路径制定

喀斯特区域的异质性决定了整治策略不能一刀切。以地形坡度、基岩裸露度、土壤深厚性及植被盖度为主要判别因子，构建分区治理单元，并分别匹配适宜的整治技术路径。例如，在重度石漠化区以生物工程和地貌稳定为主，在轻中度区则可引入生态农业与封禁恢复并举策略。分类分区的核心不在“治理方式”本身，而在于“干预尺度”与“自然适应性”的精准匹配。

2.3 土地资源优化配置与生态功能嵌套机制

单纯追求土地复垦面积难以支撑生态系统的稳定重构，必须同时考虑土地利用结构的生态功能承载能力。在整治过程中，应基于自然格局重建“生态嵌套”，即将生态缓冲带、水源涵养区、生物廊道等生态单元有机镶嵌于整治空间之中。通过引入地形重塑与坡地工程，实现土地的空间重构与生态功能的协同提升，使“可利用性”与“生态安全性”在同一空间中实现耦合。

2.4 典型区样板构建与整治模式迭代应用

面对多样化的石漠化情境，仅依赖理论推导无法确保整治模式的适应性。应在代表性治理区设立试验样板，融合地形、土壤、水文与社会干预等多因子条件，构建实地验证体系。通过治理过程的动态监测与反馈调整机制，推动治理策略在实际应用中不断优化，逐步形成可迁移、可复制的整治模式群。最终目标是由“试点成功”走向“模式沉淀”，再向区域尺度的整治推广过渡^[5]。

3 植被恢复路径优化与群落构建模式

3.1 植被退化机制与恢复潜力区域识别

喀斯特地区的植被退化不同于一般区域的草木更替，其背后潜藏的是深层次的地质限制与生态过程障碍。在长期溶蚀作用主导下，基岩裸露、土壤层极度稀薄成为区域普遍特征，使植被生长缺乏必要的立足环境。与此同时，垂直水分渗漏造成的表层干旱，加剧了种子萌发失败与植株死亡率的上升。退化过程呈现明显的“不可逆性趋势”，尤其在中重度石漠化区，一旦植被失稳，生态系统极易陷入持续衰退循环。因此，恢复潜力的评估不能仅依赖静态指标，而应通过地貌因子（如坡位、坡向、地形位势）与环境压力因子（如光照强度、降水分布）进行动态叠加分析。在技术手段上，可融合遥感影像序列反演与实地剖面调查，对区域进行响应敏感性分区，并进一步识别生态“高潜力恢复核”与“低效输入区”，为后续的资源调度和策略设计奠定精准基础。

3.2 恢复目标导向下的物种选择与结构构建

喀斯特地貌条件限制了大多数外源性植物的存活能力，因此，构建恢复群落的首要任务在于选准“在地适应性强”的核心物种。植被重建必须摒弃“单树种速成”思路，而应聚焦群落生态功能的系统协同。从生态功能定位出发，先锋物种需具备快速固土、强抗旱、根系发达等基础生理特征；而建群与顶层物种，则应在提升群落稳定性、恢复土壤微生环境方面承担主导功能。在配置结构上，可采用乔-灌-草立体组合方式，结合不同物种的生长节律与空间竞争关系，建立互为依存、功能互补

的复合结构。以贵州典型石漠山区为例，构建以黄栌—紫穗槐—金银花为核心的三层复合群落，可兼顾防风固沙、涵养水源、改善土壤等多重效益。与此同时，还需针对特定恢复阶段设定动态物种更替机制，使群落从建立初期的“功能主导型”逐步过渡至“稳定调节型”，避免群落结构僵化和物种退化现象的发生。

3.3 水热因子调控与小气候优化技术融合

水分与热量作为生态系统运行的根本动力，其空间分布的均衡性直接决定了植被恢复的实际效果。在石漠化地区，水分流失途径多样且不可控，主要包括垂直渗漏、水平径流以及表层蒸发三大路径。传统的补水技术如滴灌或水池集蓄虽然在局部地区应用，但难以在大尺度中实现生态可持续性。因此，构建“微域水热调控系统”成为当前恢复工程的关键方向。一方面，可通过地形重塑形成反坡台地、沉水槽等微地形，提升降雨的有效蓄积与入渗比；另一方面，结合碎石覆盖、腐殖层铺设等地表调温措施，降低地温波动对幼苗生长的影响。在微气候调节方面，亦可通过构建种植带层次结构，增加冠层阴影面积，有效缓解极端高温胁迫。此外，在技术集成层面上，可引入被动式节水材料、生物降温涂层等新型生态材料，增强植被系统对极端气候事件的缓冲能力，实现水热条件的自调节、自维持与自增强。

3.4 群落演替路径模拟与生态系统协同恢复

重建植被系统的目标从来不仅限于“绿色覆盖”，更应着眼于生态系统的长效稳定。在实际操作中，许多工程恢复项目常常在初期取得快速成果，但数年后群落结构退化、物种单一化严重，甚至出现

二次退化现象，暴露出忽视演替路径控制的核心问题。为此，有必要构建动态群落演替模拟框架，引入演替阶段理论、生境位移理论以及种群扩散模型，对不同植被组合在时间维度上的竞争、共生与替代关系进行量化预测。通过对 NDVI 等遥感植被指数的时间序列分析，结合实地物候观测数据，可模拟出群落演替的潜在路径图谱。在此基础上，制定干预节点策略，即在不同演替阶段精准嵌入管理措施（如补植、疏伐、覆草），形成“顺演替、弱干预”的系统调控模式。同时，应强化生态系统的协同修复机制，尤其是植被恢复与土壤微生物系统、水文循环系统的互馈关系构建，通过引入改良型土壤基质、接种促生菌群以及设置生态调节带等方式，增强恢复系统的整体生态稳定性，使其具备对扰动的适应力与恢复力。

4 治理成效评估与模式推广机制

4.1 多维指标体系构建与成效量化评估

对石漠化整治工程而言，治理成效的评判必须摆脱“表层绿化率”这一单一导向，转向对多维生态系统服务能力的系统评价。构建科学合理的评估体系，应从结构性指标与功能性指标两个维度同步展开：前者涵盖植被盖度变化、土壤厚度增量、水源涵养能力提升等直接量测参数，后者则侧重于生物多样性水平、生态过程稳定性以及恢复区域的自然更新能力等深层属性。在方法论上，应结合高分遥感影像反演与野外定点长期监测数据，采用多时间尺度序列对比方法，实现从短期效果到长期趋势的动态评估。同时，引入主成分分析（PCA）、熵权法等数据综合工具，以提升指标体系的敏感性与区分力，确保评估结果具备实证支撑与决策指导价值。

4.2 治理响应监测与生态反馈路径分析

生态系统的恢复过程并非单向递进，而往往表现出明显的“延时反馈”与“非线性响应”特征。因而，仅通过年度监测获取静态数据远不足以捕捉系统演化的真实路径。应通过部署高频次遥感监测节点与地面生态因子传感器网络，建立连续性的响应记录机制，捕捉诸如物种入侵、植被群落替代、土壤团粒结构演化等关键生态节点的变化轨迹。更为重要的是，应从反馈机制层面探究治理干预与生态响应之间的耦合关系——如封禁恢复是否真正激活了土壤微生物系统？人工栽植是否稳定转化为自然演替？通过“干预-响应-再调控”的过程建模，可实现整治策略的迭代优化，逐步推进由被动治理向主动调控的治理模式跃迁。

4.3 模式适应性验证与跨区复制路径探索

整治模式的科学构建只是第一步，能否跨区域稳定复制、适应性迁移，才是其真正价值的体现。喀斯特地区生态类型复杂多变，即便是在相似的石漠化等级下，不同地貌单元、土地利用结构乃至社会经济条件的差异，均可能对模式适用性产生实质性影响。因此，在模式推广前，必须进行系统适应性测试。具体而言，可通过构建“模式—环境因子—响应变量”三元匹配矩阵，采用加权评分或机器学习分类器对模式迁移效果进行预测；亦可在多个类型区设置实验样板，通过小尺度试点不断校准参数，以提炼出具备弹性扩展力的“母模式”结构。最终，应以“核心不变+因地制宜”原则，形成可组合、可调节、可推广的策略单元，为广域治理提供可操作方案。

4.4 推广机制构建与政策耦合路径优化

治理技术的落地往往受限于体制机制的不适配,尤其在财政支持、土地权属、部门协同等方面问题频出。因而,在治理成效可视化的基础上,建立“科技—政策—资金”三位一体的推广机制成为关键。首先,应推动治理模式与现行国土空间规划、“三区三线”等政策工具之间的有机嵌套,明确整治单元的空间属性与用途分类,保障其政策边界清晰、责任主体明晰。其次,建立分级财政支持机制,对重点治理区、生态功能区及生态脆弱区实行差异化的激励政策,以撬动地方政府和市场主体共同参与。再次,推动技术标准体系建设,对整治模式中的关键工艺、成效评价与工程节点设置进行规范化管理,提升治

理方案的一致性与可复制性。最终,通过制度化路径,实现治理模式由“区域试点”向“政策载体”转化,从而推动石漠化整治与土地高质量利用的深度融合。

5 结语

喀斯特地区石漠化治理问题的本质,从来不是简单的生态修复技术选择,而是对“人—地—系统”深度失衡状态的根本性调节。唯有跳脱出点状修复、局部治理的局限,转向具备系统性、整体性与动态适应能力的整治机制,方能真正触及问题根源。本文通过构建多维解析框架,理清石漠化的时空演化路径与驱动机制,提出了兼顾空间格局优化与生态功能提升的整治策略体系,并进一步深化植被恢复的技术路径,拓展了群落构建与系统协同的新范式。

参考文献

- [1] 裴承敏. 张楠. 孙艳. 广西岩溶石漠化地区水土流失治理成效及存在问题[J]. 亚热带水土保持, 2025, 37 (01): 32-36.
- [2] 郭全同. 潘紫芊. 刘阿曼. 等. 香椿适应石漠化立地根际微生物特性研究[J]. 中南林业调查规划, 2025, 44 (01): 30-37.
- [3] 赵磊磊. 罗志锋. 孙永玉. 西南岩溶地区石漠化生态治理与植被恢复[J]. 林业建设, 2025, 43 (01): 62-66.
- [4] 王浪. 叶青. 董奎等. 毕节市石漠化空间分布及驱动因子分析[J]. 现代农业科技, 2025, (03): 140-143.
- [5] 潘立顶. 大桂山林场湘桂岩溶地区石漠化综合治理技术简介[J]. 南方农业, 2025, 19 (01): 72-82.

作者简介: 周旋 (1981—), 男, 汉族, 重庆垫江人, 高级工程师, 学士, 主要从事全域土地综合整治、矿山生态修复等工作。