

Research on Integrated Application of Forestry Ecological Protection and Restoration Technologies: A Case Study of the Qinling Ecological Barrier

Wenli Mao

Shaanxi Changqing National Nature Reserve Administration, Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

Abstract

Forestry ecological protection and restoration serve as critical pillars for safeguarding national ecological security. This study focuses on the Qinling Ecological Barrier to systematically review advancements in integrated forestry conservation technologies. Through three analytical dimensions—macro-system level, meso-management level, and micro/frontier research level—the paper presents key achievements in integrated conservation frameworks, precision forest management techniques, and long-term ecological monitoring systems. Findings demonstrate that forestry restoration practices are evolving from single-technology applications to multi-disciplinary integration, transitioning from empirical management to intelligent decision-making, and shifting from short-term interventions to long-term impact assessment, thereby establishing a comprehensive “diagnosis-monitoring-management-evaluation” technical chain. The study proposes future research directions including enhanced technological integration, strengthened long-term monitoring, and accelerated technology transfer, aiming to provide theoretical foundations and practical references for Qinling National Park development and ecological security assurance of the “Central Water Tower” ecosystem.

Keywords

forestry ecological protection; ecological restoration; technology integration; qinling mountains; integrated restoration

林业生态保护与修复技术集成应用研究——以秦岭生态屏障为例

毛文丽

陕西长青国家级自然保护区管理局，中国·陕西 汉中 723000

摘要

林业生态保护与修复是维护国家生态安全的重要支撑。本文以秦岭生态屏障为研究对象，系统梳理了林业生态保护与修复技术集成应用的研究进展。从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，阐述了一体化保护修复技术体系、森林精准经营与修复技术、长期生态效应与智能监测技术的研究成果。研究表明，林业生态修复正从单一技术应用向多技术集成、从经验管理向智能决策、从短期治理向长期效应评估转变，形成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。本文最后提出了深化技术集成、强化长期监测、促进成果转化等未来研究方向，以期为秦岭国家公园建设和“中央水塔”生态安全保障提供理论支撑与实践参考。

关键词

林业生态保护；生态修复；技术集成；秦岭；一体化修复

1 引言

林业生态保护与修复是生态文明建设的重要内容。秦岭作为我国重要生态屏障和“中央水塔”，其森林生态系统承载着水源涵养、水土保持、气候调节等关键生态功能，对长江、黄河两大流域的生态安全具有全局性影响。受自然与人为因素双重影响，秦岭部分区域森林生态系统面临退化风

险，修复任务紧迫。

传统单一技术措施难以应对复杂生态问题，技术集成应用成为研究热点。技术集成基于生态系统整体性原理，通过多种技术的有机融合实现修复效果最大化。当前，秦岭地区在林业生态修复领域已积累大量成果，亟需系统梳理。本文从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，系统综述技术集成的研究进展，探讨其特征与发展趋势。

2 宏观系统层：一体化保护修复技术体系

宏观系统层的技术集成着眼于秦岭生态系统整体性，构建涵盖生态诊断、全域监测、智能决策的一体化保护修复

【作者简介】毛文丽（1988-），女，中国陕西汉中，本科，工程师，从事林业，动植物保护研究。

技术体系。

2.1 山水林田湖草沙一体化修复的理论基础与技术框架

秦岭地质构造复杂,生态系统多样。传统“头痛医头”式修复难以解决深层问题。长安大学研究团队在秦岭北麓实践中,提出“生态地质环境系统”理论诊断框架,揭示了“生态损害-水土灾害-地质灾害”的递进演化与互馈关系,为修复提供了科学依据。

在此理论指导下,团队构建了覆盖“天-空-地”的全要素监测体系,深度融合航天遥感、航空遥感与地面传感技术,实现对九大要素的实时监测。通过数据湖技术,建立了生态地质环境信息智能化管理与分析平台,为秦岭生态环境治理提供决策支持,标志着修复从分散治理走向系统治理、从经验判断走向数据驱动。

2.2 国家公园背景下的淡水生态系统修复策略

秦岭作为“中央水塔”,淡水生态系统保护具有特殊重要性。亚洲开发银行技术援助项目“秦岭国家公园淡水生态系统保护与修复的机制与策略研究”提出了系统性方案。

研究指出,小型水坝过度建设、鱼类栖息地破碎化、湿地连通性下降是主要退化因素。项目提出了小型水坝退役、鱼类栖息地修复、湿地系统连接等近20项政策建议,并将公园内村庄划分为三类,结合水体距离提出三类空间调控策略,形成了《人居环境行动指南》等技术规范,推动了秦岭国家公园建设从“方案设计”走向“制度生根”。

2.3 生态安全格局构建与功能提升

宏观系统层技术集成的核心目标是构建稳定的生态安全格局。在秦岭北麓主体山水林田湖草沙一体化保护和修复工程中,研究者将生态安全格局构建作为关键环节,通过生态廊道建设、关键节点修复、生态网络优化等技术组合,恢复区域生态系统整体功能。

研究表明,一体化保护修复技术体系的核心在于“系统诊断—全域监测—智能决策—精准实施—动态评估”的闭环管理,突破了传统项目“重工程、轻监测”的局限,实现了生态效益与经济效益的统一。

3 中观经营层：森林精准经营与修复技术

中观经营层的技术集成聚焦具体森林经营措施,通过对比实验和长期观测,形成可复制、可推广的技术规范。

3.1 人工林近自然经营技术

秦岭地区分布着大面积人工林,部分因密度过大、树种单一而出现生态功能下降。近自然经营理念为其修复提供了新思路。

西北农林科技大学研究团队在火地塘林区开展了不同经营措施对落叶松林影响的对比研究,设置抚育间伐(强度20%)、林窗和对照三种处理。7年连续观测表明,两种方式均能促进生长,但抚育间伐效果更显著——不仅提升林分平均胸径和单株材积,还显著增加林下物种多样性。研究证

实了“近自然经营”在秦岭人工林修复中的有效性,为优化经营技术提供了依据。

3.2 森林病虫害靶向治理技术

森林病虫害严重威胁秦岭生态安全。历史上,沔峪林场华山松大小蠹侵袭率高达97.43%,致死率近30%。在秦岭北麓一体化修复工程中,项目采用了“打孔注药+诱捕消杀”的靶向治理组合方案,使虫口减退率降至90%以上,有虫株率控制在8%以内。

项目创新建立了“一木一牌”的精细化树木档案管理制度,为每株树木悬挂三色号码牌,实现全流程精准管控。此外,修复防火通道44.26公里,强调“柔性植物措施为主”的理念,减少过度人工干预对生态系统的扰动。

3.3 林分结构优化与多功能经营

林分结构优化是森林多功能经营的基础。在秦岭地区,研究者通过引入乡土树种、调整树种比例、优化垂直结构等措施,将纯林逐步改造为混交林,提升生态系统稳定性和多功能性。同时,结合水资源承载力优化林分密度,使森林修复从单纯的“种树”走向全面的“营林”。

4 微观与前沿层：长期生态效应与智能监测技术

微观与前沿层的技术集成关注长期效应评估及新兴技术应用,为生态修复提供科学依据和技术支撑。

4.1 长期修复效应与树种选择机理

清华大学、中国农业大学等研究团队在秦岭开展了长达20年的树种恢复效应研究,系统对比云杉和日本落叶松的修复效果。结果显示,日本落叶松在植被 α 多样性、生物量及土壤细菌群落组成与多样性方面均优于云杉。其速生能力和相对疏朗的冠层结构有利于林下光环境改善和植被发育,形成“地上-地下”正反馈循环。

这一研究提示,树种选择应综合考虑生态适应性、生长特性及对生态系统整体的影响,而非简单以“乡土”或“外来”作为唯一标准。

4.2 天空地一体化智能监测技术

西安电子科技大学全英汇团队构建了雷达和光学多源融合探测体系,对陕西省2000年至2024年土地覆盖变化进行长时间序列监测,重点分析秦岭森林变化特征。通过雷达与光学数据的协同应用,克服了云雨天气对光学影像的影响,实现全天候、高频度森林监测。

团队还开展了水生态产品价值实现研究,利用多源遥感立体协同算法实现智能反演,并将遥感技术应用于秦岭自然灾害预警,拓展了遥感技术在林业生态保护中的应用场景。

4.3 生态修复成效定量评估方法

科学评估是技术集成的闭环环节。秦岭生态修复实践中,研究者探索了多种定量评估方法:在宏观层面通过遥感反演评估生态系统服务功能影响;在样地尺度通过固定样地

连续观测分析植被、土壤、生物多样性变化；在个体层面通过树木档案追踪单株健康动态。

这些方法的集成应用，使修复成效从定性描述走向定量分析。在沔阳林场病虫害治理和落叶松经营措施对比研究中，基于数据的评估方式为技术优化和推广提供了科学依据。

5 技术集成特征与未来展望

5.1 技术集成的层次结构与基本特征

综合上述研究，可以将秦岭林业生态保护与修复的技术集成归纳为三个层次：

宏观系统层以山水林田湖草沙一体化修复为核心，强调生态系统的整体性，通过系统诊断、全域监测、智能决策，构建生态安全格局，解决区域尺度上的生态问题。这一层次的技术集成体现了“系统思维”和“整体治理”的理念，是生态修复的顶层设计。

中观经营层以森林精准经营为核心，通过抚育间伐、病虫害防治、林分结构调整等措施，优化森林结构和功能，解决林分尺度上的生态问题。这一层次的技术集成体现了“精细管理”和“近自然经营”的理念，是生态修复的主体工程。

微观与前沿层以长期效应评估和智能监测为核心，通过长期定位观测和多源数据融合，揭示生态修复的内在机理，解决时间尺度和技术手段上的科学问题。这一层次的技术集成体现了“机理认知”和“技术引领”的理念，是生态修复的科技支撑。

这三个层次相互关联、相互支撑，共同构成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。在这一链条中，宏观层为微观层提供目标导向，微观层为宏观层提供机理支撑，中观层则连接宏观目标与微观机理，实现技术与实践的有机融合。

5.2 当前研究的主要局限

尽管秦岭林业生态修复技术集成研究取得显著进展，但仍存在一些值得关注的问题。一是技术集成还处于探索阶段，部分技术的适用性和可推广性有待进一步验证；二是长期监测体系尚不完善，特别是对修复后生态系统演替过程的跟踪研究相对薄弱；三是技术标准体系尚未建立，不同研究之间的可比性有待提高；四是科技成果转化机制不够健全，产学研用协同创新有待加强。

5.3 未来研究方向

针对上述问题，未来研究可从以下方向深化：

第一，深化技术集成机理研究。加强多技术组合的协同机制研究，揭示不同技术之间的相互作用规律，为技术优化组合提供理论依据。同时，开展技术集成的生态效应评估，明确技术集成的适用范围和限制条件。

第二，构建长期生态监测网络。依托现有定位观测站和新建监测站点，构建覆盖秦岭主要生态系统的长期监测网络，开展气象、土壤、水文、生物等多要素协同观测，为修复效果评估和模型验证提供基础数据。

第三，完善技术标准体系。在现有研究成果基础上，加快制定林业生态修复技术规程、评价标准、验收规范等，推动技术应用的标准化和规范化。同时，探索建立修复成效认证制度，提高修复工程的质量和效益。

第四，创新科技成果转化机制。建立产学研用协同创新平台，促进科研院所、高校、企业、保护区管理机构的深度合作。探索政府购买服务、生态补偿等多元化投入机制，为技术推广提供资金保障。同时，加强技术培训和科普宣传，提高基层技术人员和公众的生态保护意识。

6 结语

林业生态保护与修复技术集成应用是生态文明建设的重要内容。本文以秦岭生态屏障为例，从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，系统梳理了当前的研究成果与技术进展。研究表明，林业生态修复正从单一技术应用向多技术集成、从经验管理向智能决策、从短期治理向长期效应评估的方向发展，形成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。这一转变体现了生态修复理念的深刻变革，标志着林业生态保护与修复进入以系统思维、精准管理和智能技术为特征的新阶段。

秦岭作为我国重要的生态屏障，其生态保护与修复实践不仅关乎区域生态安全，也为全国其他生态功能区提供了有益借鉴。未来，应进一步加强技术集成创新，完善长期监测体系，健全技术标准规范，促进科技成果转化，以科技支撑秦岭国家公园建设和“中央水塔”生态安全保障，为建设美丽中国贡献秦岭力量。

参考文献

- [1] 黄栋才；郭鑫；王得祥；王韵淑；张欣；霍雪莹.不同经营方法对秦岭华北落叶松林分生长和林下植被的影响[J]. 林业科学, 2024(8).
- [2] 洪增林；付垒.自然资源遥感监测体系在秦岭自然资源监测中的应用.卫星应用. 2024(1).
- [3] 周妍；王金满；陈妍；应凌霄；周旭；冯宇；景明.基于自然的山水林田湖草沙一体化保护和修复技术路径探索.中国土地科学.2024(6).