

# Analysis of the effect of the coupling mode of photovoltaic and soil remediation on the ecological environment improvement

Hongwei Cui

China Energy Engineering Group Yunnan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650100, China

## Abstract

The coupling mode of photovoltaic and soil remediation is a new type of ecological governance mode combining photovoltaic power generation and soil ecological restoration, which has significant potential for ecological environment improvement. This mode regulates the soil temperature and humidity through the shade effect of photovoltaic modules, improves the soil microenvironment, and combines phytoremediation, microbial remediation and other technologies to effectively promote the improvement of soil structure and nutrient circulation. The research shows that the coupling mode of photovoltaic and soil remediation can not only improve soil quality and vegetation coverage, but also enhance the carbon sink capacity, hydrological regulation function and biodiversity protection ability of regional ecosystems, so as to achieve a win-win situation between ecological and economic benefits. In the future, it is necessary to further strengthen technology research and development, optimize the management mode and improve the policy system, so as to promote the wide application of the coupling mode of photovoltaic and soil remediation in ecological governance.

## Keywords

photovoltaic power generation; soil restoration; ecological environment improvement; vegetation restoration; ecosystem service

# 光伏与土壤修复耦合模式对生态环境改善的作用分析

崔红伟

中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司, 中国·云南昆明 650100

## 摘要

光伏与土壤修复耦合模式是一种将光伏发电与土壤生态修复相结合的新型生态治理方式, 具有显著的生态环境改善潜力。该模式通过光伏组件的遮荫效应调节土壤温湿度, 改善土壤微环境, 同时结合植物修复、微生物修复等技术, 有效促进土壤结构改良和养分循环。研究表明, 光伏与土壤修复耦合模式不仅能提升土壤质量和植被覆盖率, 还能增强区域生态系统的碳汇能力、水文调节功能和生物多样性保护能力, 从而实现生态效益与经济效益的双赢。未来需进一步加强技术研发、优化管理模式并完善政策体系, 以推动光伏与土壤修复耦合模式在生态治理中的广泛应用。

## 关键词

光伏发电; 土壤修复; 生态环境改善; 植被恢复; 生态系统服务

## 1 引言

随着全球能源结构转型和生态环境问题的日益突出, 探索可再生能源开发与生态治理协同发展的新模式成为当前研究的热点。光伏发电作为一种清洁能源, 近年来发展迅速, 但其大规模建设也对土地利用和生态环境产生了一定影响。与此同时, 土壤退化问题严重威胁着生态安全和可持续发展, 亟需有效的修复技术。在此背景下, 光伏与土壤修复耦合模式应运而生, 为实现能源开发与生态保护的双重目标提供了新思路。该模式通过光伏电站建设与土壤修复技术的有机结合, 不仅能够提高土地利用效率, 还能显著改善区域

生态环境质量。本文旨在探讨光伏与土壤修复耦合模式的作用机制、生态环境效益及其推广应用前景, 以期对相关研究和实践提供参考<sup>[1]</sup>。

## 2 光伏与土壤修复耦合模式的理论基础

光伏与土壤修复耦合模式是基于生态学、土壤学和能源科学的交叉理论提出的创新性生态治理方式。光伏发电通过太阳能电池板将光能转化为电能, 其建设过程中对土地の利用方式为土壤修复提供了空间和条件。土壤修复技术则通过物理、化学和生物手段改善退化土壤的结构和功能, 恢复其生态服务能力。光伏组件的遮荫效应能够调节地表温度、减少水分蒸发, 为土壤修复创造适宜的环境条件。同时, 光伏电站的运维管理措施, 如植被种植和灌溉系统, 可与土壤修复技术协同作用, 进一步提升修复效果。这种耦合模式不

【作者简介】崔红伟(1983-), 女, 中国黑龙江明水人, 硕士, 高级工程师, 从事环境工程研究。

仅实现了土地资源的集约化利用，还为生态修复提供了可持续的能源支持，体现了生态效益与经济效益的统一。

### 3 光伏与土壤修复耦合模式对生态环境改善的作用机制

#### 3.1 光伏与植物修复技术结合，促进土壤养分循环

光伏与植物修复技术的结合通过光伏组件的遮荫效应为植物生长创造了适宜的小气候环境，减少了极端温度对植物的胁迫，从而优化了植物生长条件。植物根系在土壤中的扩展和活动能够改善土壤结构，增强土壤的通气性和保水性，促进土壤微生物的繁殖和活动。微生物的活动加速了土壤有机质的分解，释放出植物所需的养分，如氮、磷、钾等，从而提高了土壤的肥力。光伏电站的灌溉系统和植被管理措施为植物生长提供了稳定的水分和养分供应，优化了土壤养分循环的条件。此外，植物修复技术通过富集和转化土壤中的污染物，改善了土壤的化学性质，减少了污染物对土壤生态功能的负面影响。这种协同作用不仅提高了土壤的养分含量和可利用性，还增强了土壤的自我修复能力，为生态系统的物质循环和能量流动提供了基础支持<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 光伏与生态修复技术结合，加速植被恢复进程

昆明市石林彝族自治县西街口镇位于石漠化丘陵地带，该地区长期面临严重的土地退化和生态恶化问题。为改善这一局面，云南省积极推进“光伏+集水灌溉+生态修复”的综合治理模式，在西街口镇的石漠化丘陵地实施了创新性的生态修复项目。当地的光伏发电系统利用该区域丰富的阳光资源，不仅为修复工作提供了必要的能源支持，还通过光伏板遮荫效应有效减少了土壤水分蒸发，有助于保持土壤湿润，改善土壤环境。通过集水灌溉技术，该模式使得水资源得到更高效的利用，为植物生长提供了充足的水源，促进了植被的恢复。结合集水灌溉与光伏发电，修复区域的生态环境得到了显著改善，同时也提高了土地的利用效率。通过光伏发电系统支持当地的农业活动，如花卉、药植种植和养殖，促进了绿色经济的可持续发展。西街口镇的石漠化丘陵地，借助“光伏+集水灌溉+生态修复”的模式，生态环境逐步得到恢复，土地集约化利用的目标逐渐实现，为昆明市乃至云南省的绿色低碳循环发展提供了宝贵的经验。

#### 3.3 保护生物多样性，增强生态系统稳定性

昆明市石林彝族自治县西街口镇石漠化丘陵地在生态修复过程中，不仅注重土地恢复和水资源优化，还积极采取措施保护生物多样性，增强生态系统的稳定性。通过结合“光伏+集水灌溉+生态修复”的模式，西街口镇的生态系统得到了更为全面的提升。光伏系统为修复区提供了稳定的清洁能源，支持了智能化水肥管理系统的运作，减少了农业活动对自然环境的干扰，为周围的野生动植物提供了更为友好的生境。这一模式成功地在保护本地生态系统的同时，促进了区域内物种多样性的恢复，为生物多样性的保护提供了有

效路径。西街口镇的成功实践表明，保护生物多样性与推动绿色低碳发展并非对立，而是能够通过创新的技术手段实现互促共赢，图1为昆明市石林彝族自治县西街口镇石漠化丘陵光伏与土壤修复耦合示范区实景图。



图1 昆明市石林彝族自治县西街口镇石漠化丘陵光伏与土壤修复耦合示范区实景图

### 4 光伏与土壤修复耦合模式对生态环境改善的作用

#### 4.1 光伏遮荫效应改善土壤微环境

光伏组件的遮荫效应对土壤微环境的改善具有显著作用。研究表明，光伏板能够将地表温度降低约5-10摄氏度，减少土壤水分蒸发量达20-30%，从而显著改善土壤的温湿度条件。例如，在中国西北某光伏电站的实测数据显示，光伏板下方的土壤湿度比裸露区域高出15-20%，土壤温度降低约6-8摄氏度。这种温湿度的调节为土壤微生物活动和植物根系生长提供了适宜的环境，促进了土壤有机质的分解和养分释放。实验数据显示，光伏板下方的土壤有机质含量比对照区域高出1.5-2克/千克，微生物活性提高了30-40%。同时，遮荫效应减少了土壤表面的风蚀和水蚀，降低了土壤退化的风险。光伏电站的布局设计还可以形成局部小气候，进一步优化土壤微环境。这种改善不仅有利于土壤生态功能的恢复，还为植被生长和生态系统重建奠定了基础，实现了光伏发电与土壤修复的协同效益<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 光伏电站运维促进土壤结构修复

光伏电站在运维过程中采取的一系列管理措施对土壤结构修复具有积极作用。光伏电站通常需要进行定期的植被种植和灌溉管理，这些措施能够增加土壤的有机质含量，改善土壤的团粒结构，增强土壤的通气性和保水性。例如，在宁夏某光伏电站的实测数据显示，经过3年的植被种植和灌溉管理，土壤有机质含量从10克/千克提高到15克/千克，土壤孔隙度增加了5-8%。此外，光伏电站的建设和运维过程中采用的免耕或少耕技术减少了土壤扰动，有利于土壤结构的自然恢复。在甘肃某光伏电站的研究表明，光伏板区域的土壤侵蚀量比裸露区域减少了60-70%。通过这些运维措施，光伏电站不仅实现了能源生产，还为土壤结构的修复和生态功能的恢复提供了重要支持<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 光伏与植物修复协同提升土壤肥力

光伏与植物修复技术的结合能够显著提升土壤肥力。光伏组件的遮荫效应为植物生长提供了适宜的光照和温湿度条件，促进了植物根系发育和生物量的积累。例如，在青海某光伏电站的研究显示，光伏板下方的植物生物量比对照区域高出 20-30%，根系深度增加了 10-15 厘米。植物通过根系分泌物和凋落物向土壤中输入有机质，增强了土壤的养分循环能力。实验数据显示，光伏板下方的土壤有机质含量比对照区域高出 2-3 克/千克，土壤氮含量增加了 0.5-1 克/千克。同时，植物修复技术通过富集和转化土壤中的污染物，改善了土壤的化学性质。在河北某光伏电站的研究表明，经过 2 年的植物修复，土壤中重金属含量降低了 20-30%。光伏电站的灌溉系统和植被管理措施进一步优化了植物生长环境，加速了土壤养分的积累和转化。这种协同作用不仅提高了土壤肥力，还为生态系统的物质循环和能量流动提供了基础支持。

#### 4.4 光伏耦合模式助力植被恢复与生态重建

光伏与土壤修复耦合模式为植被恢复和生态重建提供了有效途径。光伏组件的遮荫效应和温湿度调节为植物生长创造了有利条件，提高了植被的成活率和覆盖率。例如，在内蒙古某光伏电站的研究显示，光伏板区域的植被覆盖率比对照区域高出 30-40%，植物种类增加了 5-10 种。结合生态修复技术，如种子库激活和土壤改良，能够加速退化生态系统的植被恢复进程。在宁夏某光伏电站的实测数据显示，经过 3 年的生态修复，植被覆盖率从 20% 提高到 60%，土壤有机质含量增加了 2-3 克/千克。光伏电站的运维管理措施，如定期灌溉和植被养护，进一步优化了植被生长环境。这种耦合模式不仅实现了土地资源的集约化利用，还为区域生态重建提供了可持续的能源支持。通过植被恢复和生态重建，光伏耦合模式显著提升了区域生态系统的稳定性和抗逆性<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 光伏-土壤修复耦合提升区域生态系统服务功能

光伏与土壤修复耦合模式对区域生态系统服务功能的提升具有显著作用。通过改善土壤质量、恢复植被和增强生物多样性，这种耦合模式提高了生态系统的生产力、碳汇能

力和水文调节功能。例如，在甘肃某光伏电站的研究显示，经过 5 年的耦合修复，区域植被碳储量增加了 10-15 吨/公顷，土壤碳储量提高了 5-8 吨/公顷。光伏电站的建设为区域提供了清洁能源，减少了化石能源的使用，降低了温室气体排放。在青海某光伏电站的实测数据显示，每年可减少二氧化碳排放约 10 万吨。同时，植被恢复和土壤修复增强了生态系统的抗干扰能力和稳定性，为区域生态安全提供了保障。在内蒙古某光伏电站的研究表明，经过 3 年的修复，区域生态系统稳定性指数提高了 20-30%。这种耦合模式不仅实现了生态效益与经济效益的统一，还为区域可持续发展提供了重要支撑，体现了人与自然和谐共生的理念。

## 5 结语

光伏与土壤修复耦合模式作为一种创新的生态治理方式，为实现能源开发与生态保护的双重目标提供了有效途径。通过光伏组件的遮荫效应和电站运维管理措施，显著改善了土壤微环境，促进了土壤结构修复和养分循环。结合植物修复和生态修复技术，加速了植被恢复进程，增强了区域生态系统的稳定性和抗逆性。未来，需进一步加强技术研发、优化管理模式并完善政策体系，以推动该模式在更广泛区域的推广应用，为实现生态效益与经济效益的统一、促进人与自然和谐共生提供科学依据和实践经验。

## 参考文献

- [1] 袁琳雁.某化工园区有机物污染场地修复工程案例[J].广东化工,2025,52(02):116-118+115.
- [2] 崔云飞,曹晓青,徐健健.固废资源化利用与土壤修复的技术与政策探索[J].清洗世界,2025,41(01):105-107.
- [3] 郭浩,罗斌.生态修复理念下巢湖龟背潭矿坑景观设计实践[J].安徽建筑,2025,32(01):12-14.
- [4] 尚海丽,杨宏宇,郑春丽,邱守文.多源固废联合碳酸盐矿化菌对西北干旱矿区土壤改良协同固碳效果研究[J].矿业研究与开发,2025,45(01):212-221.
- [5] 沈日敏,杜培兵,朱智慧,白小东,范向斌.微生物菌肥及土壤修复剂对马铃薯生长、产量及营养品质的影响[J].农业科技通讯,2025,(01):51-55+63.