

# 大漾云高速临时用地复垦验收实践优化

## ——西南山区高速公路生态修复路径探析

杜杰明, 罗菲菲\*, 黄富, 禹建梅, 刘晓进, 赵艳妮

云南省有色地质局三一〇队环境资源工程院, 云南 大理

收稿日期: 2026年3月3日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年5月28日

### 摘要

作为云南西南地区交通路网重要的道路之一, 大漾云高速公路建设临时用地在一定程度上对沿线生态环境造成了扰动。而临时用地复垦和生态修复验收, 对于土地资源利用合理高效、保持生态安全等都有着极其重要的作用。本文根据大漾云高速临时用地复垦验收数据实际情况开展大漾云高速临时用地复垦验收实践情况调研, 针对大漾云高速临时用地复垦验收中存在的问题, 如技术标准不一、生态修复效果评估缺乏、长效管护制度不健全等, 提出差异化标准体系构建、全生命周期生态修复技术加强、数字赋能监管、多主体共治机制健全等完善路径。为西南地区山区高速公路临时用地复垦验收实践、生态修复优化工作提供参考借鉴, 助力自然资源节约集约利用、合理优化国土空间格局。

### 关键词

大漾云高速公路, 临时用地, 复垦验收, 生态修复

# Optimization of Reclamation Acceptance Practices for Temporary Land Use on the Dayangyun Expressway

## —Exploring Ecological Restoration Pathways for Expressways in Southwest Mountainous Areas

Jieming Du, Feifei Luo\*, Fu Huang, Jianmei Yu, Xiaojin Liu, Yanni Zhao

Environmental Resources Engineering Institute, Team 310 of Yunnan Nonferrous Geological Bureau, Dali Yunnan

Received: March 3, 2026; accepted: April 16, 2026; published: May 28, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 杜杰明, 罗菲菲, 黄富, 禹建梅, 刘晓进, 赵艳妮. 大漾云高速临时用地复垦验收实践优化[J]. 世界生态学, 2026, 15(2): 374-383. DOI: 10.12677/ije.2026.152041

## Abstract

As one of the important roads in the transportation network of southwestern Yunnan, the temporary land use for the construction of the Dayangyun Expressway has caused certain disturbances to the ecological environment along the route. The reclamation and ecological restoration acceptance of temporary land plays an extremely important role in ensuring rational and efficient utilization of land resources and maintaining ecological security. Based on the actual data from the reclamation acceptance of temporary land for the Dayangyun Expressway, this paper conducts a survey on the reclamation acceptance practices, identifying issues such as inconsistent technical standards, lack of ecological restoration effect evaluation, and inadequate long-term maintenance mechanisms. It proposes improvement measures, including the establishment of a differentiated standard system, enhancement of full-life-cycle ecological restoration technologies, digital empowerment for supervision, and the refinement of multi-stakeholder governance mechanisms. This study provides reference for the reclamation acceptance practices and ecological restoration optimization of temporary land for mountainous expressways in southwestern China, contributing to the conservation and intensive utilization of natural resources and the rational optimization of territorial spatial patterns.

## Keywords

Dayangyun Expressway, Temporary Land Use, Reclamation Acceptance, 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

基于坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，立足保障国家能源资源安全、加强生态保护的工作要求。高速公路建设是国家重大基础设施工程，所用临时用地(弃土场、拌合站、施工营地等)的合理取舍对是否能够守住耕地保护红线、生态安全底线、自然资源节约集约利用三条红线具有重要影响。

大漾云高速公路是《云南省公路网规划》[1]中的第19条南北纵线维西至永德(S41)的一个重要组成部分，由大理至漾濞再到云龙，贯穿横断山区东段，该项目所在的地势具有较大的起伏落差(海拔在1100~3300 m之间)、地貌结构较为复杂(以红壤、黄壤为主)、生态敏感性较高(途经苍山洱海国家级自然保护区)，大漾云高速公路建设项目的占地面积为168.64 hm<sup>2</sup>，其中项目建设临时占地的耕地占地率为31.51%、林地占地率为57.06%，因此，大漾云高速公路建设项目占用耕地必须做到占补平衡，同时要符合现行有关法律法规的要求，做好“土地功能恢复”和“生态系统修复”工作[2]。

## 2. 国内外研究综述

在工程迹地复垦与生态修复领域，国内外研究已形成较为成熟的理论体系与实践路径。国外研究起步较早，聚焦矿山、交通工程迹地的生态修复评价与适应性治理，核心围绕土壤重构、植被重建、生态系统韧性提升展开，部分学者引入社会-生态系统(SES)理论，将工程复垦视为生态子系统与社会子系统的耦合过程，强调复垦工作不仅要满足生态修复需求，更要兼顾地方社区生计、土地权属与长效管护，

突破单一工程修复的局限性，重点研究系统脆弱性成因与适应能力提升路径，形成了“生态修复 - 社会协同 - 长效管护”的一体化研究框架。同时，国外针对不同地貌区、气候区的临时用地复垦，制定了差异化的技术标准与验收体系，注重长期生态监测与动态评估。

国内研究多聚焦矿山复垦、水利工程与交通工程临时用地复垦，围绕复垦技术、验收标准、管护机制三大核心展开，针对西南山区、黄土高原、东部平原等不同区域，形成了适配区域特征的修复技术模式。但现有研究仍存在短板：一是针对西南山区高海拔、生态敏感、地形复杂的高速公路临时用地复垦研究较少，多数通用标准与山区实际脱节；二是复垦验收多侧重短期工程指标，长期生态绩效与社会经济效益评估缺失；三是多方协同管护机制缺乏制度性保障，权责划分模糊，修复成果巩固难度大。此外，现有研究较少将社会 - 生态系统理论应用于高速公路临时用地复垦领域，缺乏从系统韧性角度剖析复垦模式的脆弱性，也未明确不同区域复垦模式的适用边界，研究普适性与针对性有待提升。

### 3. 理论基础与分析框架构建

本文引入社会 - 生态系统(SES)理论作为核心分析框架，将大漾云高速临时用地复垦全流程视为生态子系统与社会子系统相互作用、相互制约的耦合系统。其中，生态子系统涵盖土壤、植被、地形、水文等自然要素，核心目标是实现生态结构稳定、水土保持达标、生物多样性提升；社会子系统涵盖项目建设单位、地方自然资源部门、村集体、农户、科研机构等多方主体，核心目标是明确权责划分、保障资金供给、兼顾农户生计与社区发展。

从系统韧性角度来看，当前大漾云高速临时用地复垦模式存在明显脆弱性：生态子系统层面，技术标准与区域土壤、植被特性脱节，短期修复难以保障长期稳定；社会子系统层面，管护责任悬空、资金保障不足、多方利益协调不畅，导致复垦土地易出现返荒、二次损毁问题。本文基于 SES 框架，从“生态修复适配性 - 社会协同有效性 - 系统韧性提升性”三个维度，剖析大漾云高速复垦验收现存问题，针对性提出优化路径，既破解西南山区复垦的特殊性难题，也明确研究结论的适用边界，为同类山区高速公路工程迹地复垦提供理论与实践支撑。

然而，对于西南山区交通工程临时用地复垦验收而言，其普遍存在问题包括标准、技术和协调上的问题，即由于缺乏一定的科学依据或专业技术方法，在验收过程中因未能统筹整体而易于出现偏差等；虽然《土地复垦条例》已经明确规定了“谁损毁，谁复垦”的规定，但是目前也存在一些主要的问题包括：第一，复垦验收以短期工程目标为主，忽视长期生态系统；第二，管护责任人不明造成“返荒”；第三，复垦验收标准未因地制宜[3]。

本研究结合大漾云高速临时用地复垦验收实践和相关政策，对验收流程、技术难点及优化方向等进行了系统分析，试图探寻一种适用于西南山区高速公路临时用地复垦验收的实践优化路径和生态修复方式，对类似工程具有一定的可借鉴性和复制性，也体现了新时代地质工作“资源安全、绿色高效”的发展定位。

### 4. 研究方法

本文采用案例分析法为核心研究方法，辅以实地采样调研法、半结构化访谈法、数据统计分析法与对比分析法，全面收集大漾云高速临时用地复垦验收相关数据与资料，确保研究结论真实可靠、论据充分，具体研究方法与数据收集途径如下。

#### 4.1. 实地采样与检测分析

本次研究针对大漾云高速全线不同类型临时用地，选取 42 个典型地块开展系统性土壤与植被采样，

涵盖弃土场 18 处、施工营地 12 处、施工便道 12 处，覆盖大理、漾濞、云龙三段核心区域，兼顾干热河谷区、中山坡地区、高山草甸区三类不同地貌单元，全面反映项目沿线复垦现状。采样标准严格遵循《土地复垦质量控制标准》(TD/T 1036-2013)等要求[4]；土壤采样采用网格化布点法，采集 0~50 cm 耕作层土壤样本，共计采集土壤样本 24 份。

检测方法委托具备 CMA 资质的第三方检测机构完成，土壤检测指标包括 pH 值、有机质含量等重要指标。所有检测数据均进行标准化处理与统计学分析，确保数据精准性与可比性。

## 4.2. 半结构化访谈调研

为全面掌握复垦验收流程、多方主体诉求与现存问题，本次研究开展半结构化访谈，访谈对象选取遵循代表性与针对性原则，共计访谈 21 人，具体分为三类：一是项目管理层面，包括大漾云高速项目建设指挥部管理人员、施工单位复垦负责人 5 人，重点了解复垦工程实施流程、资金投入、技术应用情况；二是主管部门层面，包括漾濞县、洱源县、云龙县自然资源局、农业农村局、林草局相关业务负责人 8 人，重点了解复垦验收标准、审核流程、监管难点；三是基层群众层面，包括沿线村集体干部、复垦土地农户 8 人，重点了解复垦土地使用情况、农户生计影响、管护需求。

访谈提纲围绕复垦技术标准适配性、验收流程合理性、管护机制落地性、多方利益协调四大核心设计，采用一对一访谈形式，全程做好访谈记录与核心信息整理，提炼多方主体诉求与实践痛点，为问题剖析与对策提出提供一线实践支撑。

## 4.3. 项目数据收集与统计

本文所引用的项目基础数据、复垦验收数据、生态修复数据，时间范围为 2019 年项目启动至 2024 年 12 月，覆盖大漾云高速全线 168.64 hm<sup>2</sup> 临时用地，数据来源权威可靠：一是项目业主单位提供的《大漾云高速临时用地复垦方案》《复垦验收报告》《土壤检测报告》等正式文件；二是沿线各县自然资源局备案的复垦台账、验收记录、公示资料；三是实地踏勘与采样检测获取的一手数据。

对复垦面积、合格率、土壤指标、植被成活率、资金投入等关键数据进行分类统计，形成完整数据库，针对不同类型临时用地复垦成效、不同区域技术适配性开展对比分析，直观呈现复垦验收现存问题，为后续优化路径提供数据支撑。

# 5. 大漾云高速公路临时用地复垦验收实践现状

## 5.1. 临时用地类型与复垦目标

大漾云高速公路临时用地按照不同的功能属性分类，分为 3 种类型，分布特征和复垦要求不同。

1) 生产型临时用地：包括弃土场、拌合站、钢筋加工场等共 83 处，分布在路基施工区和隧道进出口处占地 71.03%，该类型用地损毁程度大、地表植被及土壤结构破坏严重，恢复难度大。

2) 生活型临时用地：共有 29 个施工营地靠近村屯，占地总面积占 7.32%，这些营地硬化程度较高(60%以上)，但由于土层扰动较小、整体覆土较薄，具备较好的复垦条件。

3) 辅助型临时用地：施工便道、临时堆料场共有 90 处，呈线状分布，占比为 21.65%，损坏以压占为主，复垦时需注意解决土壤板结问题。

根据《土地复垦条例》第十六条要求，复垦义务人需对拟损毁的耕地、林地、牧草地进行表土剥离，剥离的表土用于被损毁土地的复垦[3]。大漾云高速项目执行《云南省临时用地复垦技术标准(试行)》[5]，针对不同地类制定差异化复垦目标，见表 1：

**Table 1.** Reclamation target requirements for temporary land use on Dayangyun Expressway  
**表 1.** 大漾云高速公路临时用地复垦目标要求

用地类型	复垦核心指标	验收基准
耕地	土壤肥力、耕作层厚度	肥力不低于原水平, 满足农作物种植条件
林地	植被覆盖率、乡土树种占比	覆盖率 $\geq 80\%$ , 乡土树种 $\geq 70\%$
生态敏感区	水土流失控制率、土壤侵蚀模数	控制率 $\geq 95\%$ , 侵蚀模数 $\leq 500 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$

## 5.2. 验收流程与实施框架

按照《生产项目土地复垦验收规程》(TD/T 1044-2014)要求和标准开展验收工作, 采取“三级审核 + 现场核验”的方式进行大漾云高速公路临时用地复垦验收[6]。

1) 施工单位自验阶段: 复垦工程结束之后三个月内由施工单位做好初步管护工作, 在此期间植被成活、土壤稳定后, 向当地林业主管部门提交《复垦验收申请报告》, 报送土壤检测报告、植被成活率统计表及复垦前后的对比影像资料。自查重点检查整治工作落实情况, 发现问题自行纠正, 洱源段某弃土场通过开展初检时查实土壤有机质不够, 立即追加有机肥补救。

2) 项目业主复验阶段: 由云龙县项目建设指挥部组织, 邀请地质、生态、农业领域专家组成评估组。采用网格化抽样法(每 10 亩设 1 个采样点)检测 23 项指标, 重点包括:

- ① 土地平整度(坡度  $\leq 5^\circ$ );
- ② 土壤层厚度(耕地  $\geq 50 \text{ cm}$ , 林地  $\geq 30 \text{ cm}$ );
- ③ 重金属含量(符合《土壤环境质量标准》[7]二级限值)。

3) 自然资源部门终验阶段: 县级自然资源主管部门联合农业农村、林业草原部门和专家组等开展终验。此阶段突出多部门会审、专家审查与公众参与:

- ① 核查土地利用现状与规划一致性, 确保复垦地类符合国土空间用途管制要求;
- ② 评估生态功能恢复度, 重点审查漾濞江沿岸等敏感区的水土保持成效;
- ③ 公示初步验收结果, 听取土地权利人的意见。

到 2024 年 12 月止, 项目已累计完成临时用地复垦 147.73 公顷(占面积比例的 87.6%), 其中施工便道路段复垦合格率为 82.1%, 施工营地复垦合格率为 91.3%, 弃土场复垦合格率为 68.5% (主要受地形影响大、地表土壤贫瘠)。

## 5.3. 生态修复技术措施应用

针对不同类型临时用地的损毁特征, 项目采用差异化生态修复技术:

1) 土壤重构技术:

严格执行表土剥离制度, 耕作层腐殖质土剥离厚度 0.5 米, 林地 0.3 米。剥离表土就近堆存并采取防蚀网覆盖 + 生态袋围挡措施, 防止养分流失。弃土场采用“梯级整地 + 客土回覆”模式, 如云龙段三家村弃土场通过外购土方 6.2 万  $\text{m}^3$  重建耕作层。

2) 植被恢复与生态重建技术:

耕地应优先用于种植粮食类作物(如水稻、玉米), 林地使用“乔灌草立体配置”。

3) 水土保持与生态防护技术:

在陡坡区域, 应用了专门的技术。这项技术借鉴自久马高速公路的经验, 名为“三联生态防护”技术。该技术包含三个层次的措施。下层使用锚杆来固定岩体。中层铺设混合土层, 材料是黏土和腐殖土的混合物。表层则种植耐旱的草本植物和灌木, 采用这种技术带来了显著效果。它使得混凝土的使用量

大幅减少, 减少比例达到 70%。同时, 也有效降低了碳排放量。碳排放减少量大约为 420 吨。

## 6. 不同区域高速公路临时用地复垦案例对比分析

为提升本研究结论的普适性, 明确西南山区复垦模式的特殊性与适用边界, 本文选取西北黄土高原区某高速公路与东部平原区某高速公路临时用地复垦案例, 与大漾云高速案例进行横向对比, 从区域特征、核心问题、修复技术、管护机制四个维度剖析异同, 进一步凸显西南山区复垦的难点与特殊性, 见表 2。

**Table 2.** Comparison of temporary land reclamation cases for expressways in different regions  
**表 2.** 不同区域高速公路临时用地复垦案例对比

对比维度	西南山区(大漾云高速)	西北黄土高原区	东部平原区
区域核心特征	地形起伏大、海拔落差高、红壤酸性强、生态敏感区多、交通不便, 土层薄且贫瘠	黄土层深厚、水土流失严重、干旱少雨, 土壤结构性差, 生态修复侧重保水固土	地势平坦、土壤肥沃、耕地集中, 生态敏感性低, 复垦以恢复耕地产能为主
复垦核心问题	通用标准与区域土壤植被脱节、地形限制修复难度大、长效管护落地难、资金缺口大	水土流失防控难度大、植被成活率低、灌溉设施配套不足, 复垦后易沙化	硬化地面破除难度大、复垦标准单一, 后期管护责任划分模糊
核心修复技术	酸性土壤改良、梯级整地、乡土灌草配置、三联生态防护	梯田整治、黄土改良、耐旱植被种植、集雨灌溉技术	表土回填、土壤培肥、耕地平整, 常规农作物种植
管护机制特点	需多方协同、技术支撑要求高, 资金需求大, 侧重生态与生计兼顾	侧重政府主导, 侧重水土保持长效监测, 农户参与度较低	管护成本低, 以村集体自主管护为主, 侧重耕地产能保障

通过对比可知, 西南山区高速公路临时用地复垦面临的地形、生态、技术难题远高于黄土高原区与东部平原区, 无法直接套用其他区域的复垦模式与验收标准, 必须构建适配山区特征的差异化体系。本研究结论主要适用于西南横断山区、云贵高原等地形复杂、生态敏感、酸性红壤分布的山区高速公路临时用地复垦, 对于平原区、黄土高原区仅可参考多方协同管护、全周期监测等机制性对策, 技术标准需结合区域特征调整, 有效界定了研究成果的适用边界, 填补了西南山区相关研究的空白。

## 7. 临时用地复垦验收存在的主要问题

### 7.1. 制约科学有效的生态修复

因为西南山区地质、生态环境的特殊性, 部分通用标准无法直接使用, 见表 3。

1) 土壤评价指标脱离实际: 现行《土地整治工程质量检验与评定规程》(TD/T 1041-2013)规定耕地复垦后土其 pH 为 6.0~7.5, 而大漾云沿线红壤的自然 pH 为 4.5~5.5; 云龙县关坪乡某地块复垦后的 pH 为 5.4 评定为“不合格”, 但栽种白芸豆(适宜生长在酸性土壤上)亩产是当地的 110%, 说明标准与实际情况矛盾, 造成标准与作物需求脱节, 其根源在于指标本身的刚性与地方差异性之间的矛盾[8]。

2) 植被恢复标准无分区指导思想, 普遍认为需“乔木覆盖率  $\geq 50\%$ ”, 没有考虑到垂直地带性的区别, 在漾濞江干热河谷(1400 米)处盲目栽植乔木, 成活率仅为 30%, 但由于当地天然存在车桑子、余甘子等灌草原生植被覆盖区域, 该种植物群落天然恢复区的植被覆盖度可达到 75%以上, 该区域林业专家建议: 以灌草为主, 乔木仅适用于沟谷阴坡。

**Table 3.** Main issues and typical cases in reclamation acceptance  
**表 3.** 复垦验收主要问题及典型案例

问题类型	表现形式	典型案例	导致后果
技术标准脱节	pH 值标准与酸性红壤不匹配	云龙县关坪乡种植成功但验收失败	复垦资源浪费, 延期移交
生态评估维度单一	缺失土壤有机质长期监测	某弃土场 1 年后植被枯萎率 40%	二次损毁, 重复投入
管护责任悬空	移交后缺乏技术支持	复垦林地病虫害致乡土树种保存率降至 52%	生态功能退化

## 7.2. 难以全面衡量生态修复质量与长期稳定

当前验收大多关注短期工程指标, 并且没有对生态系统的长期稳定性开展评估。具体表现在两个方面:

1) 生态功能指标缺失: 项目只看重草坪的成活率和覆土层的厚度等表面现象, 并没有查土壤有机质含量、生物多样性指数及水土保持能力等更深层次的数据, 比如刚刚验收通过的 2024 年的某弃土场虽然有 50 cm 的表层覆土, 且有 85% 的成活率, 但是在没测土壤团粒结构(田间持水量)仅 20% 的情况下, 到了旱季会有 40% 左右的植被枯死, 导致复垦花费多了还要重新再复垦。

2) 社会经济价值未纳入评估: 复垦耕地产能恢复度直接影响着农户生计, 然而目前还没有这样一种评价指标, 也就无法反映由于这些原因造成的耕地复垦失败状况。以西山乡复垦耕地来看, 因没有灌溉设施, 玉米亩产仅为 280 公斤(邻近地块为 430 公斤), 产能恢复率为 65.1%, 依旧顺利通过验收, 之后由于农户弃耕又造成耕地弃耕撂荒十余亩。

## 7.3. 导致生态修复成果难以巩固

复垦验收后的管护环节存在责任与资金两个缺口:

1) 管护责任制度模糊: 《土地复垦条例》没有规定验收后的管护主体问题, 在项目实践当中把复垦土地移交给原使用人(农户或者村集体), 但是缺乏技术上的力量支撑。漾濞县某复垦林地由于未及时修剪密植枝、松毛虫等病虫害的防治导致当地乡土树种保存率由 80% 下降为 52%, 其生态系统服务价值减少 40%。

2) 资金保障机制缺失: 按照现在的要求, 提存一定的复垦保证金(工程造价 2%), 只够完成基础性的复垦工作。通过验收后还是需要管护(例如, 林地的管护需要每年每亩 800 元左右), 现在由于县里配套资金到位的情况不是太好, 仅仅达到 30% 以下。云龙县就出现了因为缺资的原因, 停用了滴灌系统, 造成复垦的 2024 年的耕种作物因滴灌停止大面积枯死的现象。

## 8. 大漾云高速临时用地复垦验收优化路径与生态修复策略

针对实践中的问题, 结合西南山区实际情况, 提出优化路径和生态修复策略, 见表 4。

### 8.1. 构建“区域适配型”标准体系

1) 土壤指标动态调整:

为建立土壤质量分区基准值, 在酸性红壤区耕地的 pH 值按 4.5~6.5 的标准放宽要求, 并增加有机质( $\geq 1.5\%$ )、有效磷( $\geq 10 \text{ mg/kg}$ )等肥力指标; 试点地块数据表明, pH 值为 5.5~6.0 时, 配合有机质达到 2.3%, 能增产核桃 15% 以上。

2) 植被恢复分区分级管控:

植被恢复措施必须考虑区域差异。应根据海拔高度和降水量的梯度制定专门的生态修复指导规则。具体规则如下：

① 对于干热河谷区(海拔低于 1500 米)：重点要求灌草植物的覆盖率至少达到 60%。同时，要求所使用的植物中，原生种类的比例不低于 80%。

② 对于中山坡地区(海拔在 1500 米至 2500 米之间)：乔木种植应选择适生树种，例如云南松、旱冬瓜。要求乔木的覆盖率至少达到 65%。

③ 高山草甸区(海拔大于 2500 米)：严禁乔木栽植，采取高山栒子及草甸修复等措施。

3) 生态功能强化考核：

设置新增三年期生态绩效指标，即弃土场验收后土壤侵蚀模数不大于  $300 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ，复垦林地碳储量不小于 15 吨/公顷；把经过卫星遥感反演得到的植被指数(NDVI)、土壤侵蚀模数等信息纳入验收数据库，能够实现生态修复成效可追溯化管理。

## 8.2. 强化“全周期”生态修复技术支撑

从土壤改良、植被配置到智慧监测，实施技术创新：

1) 对于酸性贫瘠土壤快速改良和地力提升的技术，“生物 - 化学联合改良”为适用之法。将关坪乡弃土场采用脱硫石膏(3 t/亩) + 菌根真菌接种，6 个月后土壤 pH 由 4.8 升到 5.9，有机质含量提高 23%，比单纯客土置换成本节省了 55%。

2) 乡土植被精准配置与生态重建技术：构建“经济 - 生态双赢型”植被群落：

① 耕地：轮作模式(玉米 - 绿肥)提升地力，减少化肥依赖；

② 林地：优选核桃、花椒等经济树种，搭配固氮植物(如紫花苜蓿)；

③ 生态敏感区：引入久马高速草甸回植技术，剥离草甸四层叠放养护，回铺存活率 95%。

3) 空天地一体化生态监测与预警：建立生态修复全周期监测网络：

① 天基：每月 1 次高分卫星影像，监测植被覆盖变化；

② 空基：无人机季度航拍，三维建模分析地形稳定性；

③ 地基：布设物联网传感器，实时采集土壤温湿度、pH 值。

数据接入云南省自然资源“智慧国土”平台，自动预警生态退化风险。

## 8.3. 健全“多元协同”长效管护机制

1) 责任契约化：实行“3 + 5”分段责任制——验收后 3 年内由项目公司负责(从复垦保证金中留出 10%作为管护费用)，3 年后移交给地方政府纳入村级公益性岗位管理；明确了各方的管护责任。

2) 资金多元化：构建“复垦基金 + 生态补偿”资金池：

① 项目企业按复垦面积缴纳管护基金(2000 元/亩)；

② 申请省级生态补偿资金，优先支持贫困县复垦区；

③ 探索碳汇交易，将生态修复产生的环境效益转化为经济收益。

3) 效益共享化：推广“复垦土地 + 社区经济 + 生态维护”融合模式，实现“生态保护修复 - 社区经济发展”的良性循环：

① 弃土场转型林下经济：云龙县段复垦林地承包农户种植三七，企业提供种苗与技术，收益按比例分成；

② 施工营地改建生态教育点：利用复垦项目开设“高速生态课堂”，增强公众生态保护意识；

③ 借鉴襄阳高速“爱路-AiLu”志愿行动，培训村民担任生态管护员，实现管护的同时解决就业问

题，并不断巩固生态修复效果。

**Table 4.** Key implementation points for reclamation acceptance and ecological restoration optimization path  
**表 4.** 复垦验收与生态修复优化路径实施要点

优化维度	具体措施	责任主体	预期成效	对生态修复的贡献
标准差异化(基础)	制定红壤区 pH 值、有机质新标准	自然资源厅 + 农科院	标准符合率提升至 90%	保障修复科学性、适配性
技术生态化(核心)	筛选耐酸树种，推广草甸回植技术	项目公司 + 科研机构	植被成活率 > 90%	提升生态系统稳定性与功能
监测智慧化(支撑)	建立空天地监测网，实时预警	自然资源信息中心	管护成本降低 30%	实现动态监管，预警退化风险
管护协同化(保障)	企业预留管护金，农户参与林下经济	企业 + 村委会 + 农户	复垦土地利用率达 85%	确保修复成果长效，实现共赢

## 9. 结论与展望

大漾云高速公路临时用地复垦验收中发现西南山区交通工程复垦及生态修复需破除“标准化、短期化”的思维局限，转向采用“差异化、全周期”的模式开展管理工作。从完善区域适配标准体系、完善全周期生态修复技术支撑、建立多方协同管护机制等三个方面入手，最终实现“土地功能恢复 - 生态系统修复 - 社会经济效益提高”的整体效果，探索出一套具有参考价值的高速公路生态修复方案。

根据“十五五”发展目标要求，要继续深化拓展生态修复之路。

1) 目标深化：由单一的土地复垦变为“山水林田湖草沙”一体化保护和修复、将复垦区纳入区域生态安全格局、联结生产空间、生活空间和生态空间。以漾濞江沿岸的弃土场复垦及流域廊道一体化修复为例，提升河流廊道范围内生物迁徙通道功能。

2) 技术创新：发展“地质 - 生态 - 智能”一体化核心技术。采用 InSAR 遥感进行边坡稳定度监测；大力推行久马高速三联生态防护体系，减少使用混凝土；完善恢复性复垦碳汇计量与交易制度，推动落实国家“双碳”战略目标。

3) 机制创新：健全“法治保障 + 市场激励 + 社区参与”三位一体的生态修复机制，完善《土地复垦条例》等有关法律，明确“法治保障 + 市场激励 + 社区参与”的义务，研究出台有关法规政策文件；探索复垦指标跨区域交易，将复垦形成的新增耕地指标纳入占补平衡范围，释放其生态修复内在动能。

伴随着技术的进步、管理的完善，高速公路临时用地生态修复将由“被动恢复”变为“主动提升”，以更加科学合理地为西南山区提供生态保护、绿色发展新路子。

## 参考文献

- [1] 云南省交通运输厅. 云南省公路网规划[R]. 2018. <https://www.tengchong.gov.cn/info/21571/5569413.htm>, 2025-07-09.
- [2] 自然资源部. 自然资规〔2021〕2号 关于规范临时用地管理的通知[EB/OL]. 2021. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content\\_5678095.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5678095.htm), 2025-07-09.
- [3] 国务院. 土地复垦条例[C]. 2011. [https://www.gov.cn/zwqk/2011-03/11/content\\_1822591.htm](https://www.gov.cn/zwqk/2011-03/11/content_1822591.htm), 2025-07-09.
- [4] 国土资源部. TD/T 1036-2013 土地复垦质量控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [5] 云南省自然资源厅. 云南省临时用地管理办法(试行) [S]. 2024. [https://dnr.yn.gov.cn/html/2024/xingzhengguifanxingwenjian\\_1126/4048664.html](https://dnr.yn.gov.cn/html/2024/xingzhengguifanxingwenjian_1126/4048664.html), 2025-07-09.
- [6] 国土资源部. TD/T 1044-2014 生产项目土地复垦验收规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

- 
- [7] 生态环境部. GB 36600-2018 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] 国土资源部. TD/T 1041-2013 土地整治工程质量检验与评定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.