

# 高速公路边坡生态防护措施应用分析

韩润燕

湖南省三九环境工程咨询有限公司 湖南 长沙 411440

**摘要:** 随着高速公路建设规模扩大, 边坡防护问题日益凸显。本文以高速公路边坡生态防护为研究对象, 阐述了边坡生态防护的概念、内涵及重要性, 系统梳理了植被防护、客土喷播、三维植被网、生态袋四类核心技术措施的操作要点与适用条件, 进一步从不同地质条件、防护需求及工程结合维度, 分析了生态护坡技术的具体应用场景与实施策略。研究表明, 针对性选择生态防护技术与工程措施协同, 可有效提升边坡稳定性与生态修复效果, 降低后期维护成本。

**关键词:** 高速公路; 边坡生态防护; 技术措施; 具体应用

引言: 传统防护措施虽短期稳定, 但易破坏生态且维护成本高, 生态防护因兼顾安全与生态效益成为趋势。当前国内外对边坡生态防护技术已有研究, 但在技术针对性应用、与工程措施融合等方面仍需深化。鉴于此, 本文结合多学科理论, 系统分析高速公路边坡生态防护的技术措施与应用场景, 旨在解决不同地质、需求下的防护难题, 推动公路建设与生态环境和谐发展, 具有重要的现实与理论意义。

## 1 高速公路边坡生态防护概述

### 1.1 边坡生态防护的概念与内涵

高速公路边坡生态防护, 是指以生态学原理为核心, 结合工程力学、土壤学等多学科知识, 通过构建人工植被群落或采用生态友好型材料, 对高速公路边坡进行加固、防护与生态修复的综合技术体系。其内涵并非单纯的植被种植, 而是强调“防护”与“生态”的协同统一: 一方面通过植被根系的固土作用、枝叶的截水滞沙功能, 增强边坡结构稳定性, 抵御雨水冲刷、风化侵蚀等自然破坏; 另一方面注重恢复边坡区域的生态系统功能, 改善土壤理化性质, 提升生物多样性, 实现公路建设与自然环境的和谐共生, 最终形成可持续的边坡防护生态系统。

### 1.2 生态防护的重要性

高速公路边坡生态防护的重要性体现在多重维度。从安全维度看, 它能有效降低边坡坍塌、滑坡等地质灾害风险, 保障公路通行安全, 避免因边坡失稳引发的交通中断或事故; 从环境维度看, 可弥补公路建设对地表植被的破坏, 减少水土流失, 缓解公路建设对沿线生态环境的割裂与冲击, 改善区域生态景观; 从长期效益维度看, 生态防护依托自然植被的自我修复能力, 能降低后期维护成本, 相比传统防护具有更强的可持续性, 同

时有助于提升公路沿线的生态服务功能, 如净化空气、调节微气候等<sup>[1]</sup>。

## 2 高速公路边坡生态防护技术措施

### 2.1 植被防护技术

植被防护核心在于通过植被根系固土、枝叶截水, 构建兼具防护功能与生态价值的边坡覆盖层, 其技术操作需结合边坡坡度、土壤条件精准实施, 具体包括三类核心方式: (1) 直接播种技术。直接将草本与灌木混合种子播撒于边坡表层, 适用于坡度  $\leq 25^\circ$ 、土壤厚度  $\geq 20\text{cm}$  且立地条件较好的区域。施工前需清除碎石杂草, 人工或机械翻松土壤  $10\text{-}15\text{cm}$ ; 播种时颗粒小草籽按  $1:5$  比例混土撒播, 大粒灌木籽采用  $20\text{-}30\text{cm}$  穴距穴播; 播种后覆盖  $1\text{-}2\text{cm}$  细土或秸秆, 轻度压实并浇水保湿至幼苗成活。(2) 铺草皮技术。通过铺设预制草皮快速覆盖边坡, 适用于坡度  $\leq 30^\circ$  及雨季前应急防护。选用根系发达的本地草种 (如狗牙根) 培育草皮; 铺设前平整坡面, 薄土层区域填补  $\geq 10\text{cm}$  客土; 采用错缝拼接, 缝隙  $2\text{-}3\text{cm}$ , 每块草皮用  $2\text{-}3$  个木桩固定, 缝隙填细土压实, 前两周每周浇水  $2\text{-}3$  次至根系结合。(3) 植树护坡技术。种植乔灌木增强长期稳定性, 适用于坡度  $\leq 20^\circ$ 、土壤厚度  $\geq 50\text{cm}$  的边坡。优先选择深根性本地树种 (如紫穗槐、侧柏), 乔木苗胸径  $\geq 3\text{cm}$ , 灌木苗高  $\geq 50\text{cm}$ ; 按乔  $2\text{-}3\text{m}$ 、灌  $1\text{-}1.5\text{m}$  株行距开挖种植穴, 贫瘠区域每穴施  $5\text{-}10\text{kg}$  有机肥; 苗木植入后分层压实土壤, 堆筑  $1\text{m}$  树盘浇水, 定期修剪促根系生长。

### 2.2 客土喷播防护技术

针对石质或碎石边坡的专项技术, 通过高压喷射“客土+种子+改良剂”基质构建人工土壤层, 核心保障基质附着力与植被成活率, 技术环节如下: (1) 边坡预处理技术。清除松动石块浮土, 凿平岩面凸起部位,

确保坡度  $\leq 45^\circ$ ；用水泥砂浆封堵岩面缝隙，高度超5m的边坡每10-15m设横向截水沟，坡顶设挡土埂防雨水冲刷。（2）基质配置技术。基础配方为腐殖土40%-50%+河沙20%-30%+泥炭土10%-15%+有机肥5%-10%，添加0.1%-0.3%保水剂、0.2%-0.5%粘合剂及pH调节剂；采用“草本60%-70%+灌木30%-40%”混播模式，种子用量20-30g/m<sup>2</sup>。（3）高压喷播技术。使用  $\geq 0.8\text{MPa}$  液压喷播机分两次作业：底层喷3-5cm基质确保与岩面结合，喷播方向与边坡呈45°角自下而上；表层喷2-3cm含种子基质，控制0.5-1m/s喷射速度；覆盖  $\geq 15\text{g/m}^2$  无纺布，幼苗5-10cm时拆除。

### 2.3 三维植被网防护技术

通过铺设立体网状结构结合植被形成“网-土-植被”复合体系，适用于坡度  $\leq 35^\circ$  的土质或土石混合边坡，重点在网体固定与植被协同生长：（1）三维植被网选型与特性。采用聚乙烯或聚丙烯材料，为3-5层立体网格，纵向抗拉强度  $\geq 15\text{kN/m}$ ，横向  $\geq 12\text{kN/m}$ ，耐老化寿命  $\geq 5$  年；坡度  $\leq 25^\circ$  选3层网， $25^\circ-35^\circ$  选5层网，可有效兜住土壤与根系。（2）网体铺设与固定技术。平整坡面至误差  $\leq 5\text{cm}$ ，清除杂物并填补坑洼；从上往下顺坡铺网，相邻网搭接  $\geq 10\text{cm}$ ；坡顶埋网入30cm沟槽压实，坡腰每5m设12mm直径锚杆，坡脚用挡墙或混凝土压边防下滑。（3）植被种植与协同养护技术。网内填充改良土5-8cm，采用播种或铺草皮方式种植；前1个月每周浇水2-3次，待植被根系穿透网体（2-3个月）后减少浇水，定期除草，植被覆盖率达80%以上可抗暴雨冲刷。

### 2.4 生态袋防护技术

采用柔性生态袋堆砌结构结合种植实现“稳定+修复”，适用于坡度  $\leq 45^\circ$  的高陡或滑坡治理边坡，核心在堆砌工艺与植被培育：（1）生态袋选型与预处理。选用聚丙烯材料袋，耐候性  $\geq 5$  年，渗透系数  $\geq 1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ ，纵向抗拉强度  $\geq 8\text{kN/m}$ ；填充腐殖土60%+珍珠岩20%+有机肥20%至80%-90%容量，封口后单袋重25-30kg。（2）生态袋堆砌技术。松软基底铺10-15cm碎石垫层，采用错缝堆砌：第一层沿坡脚排列，间隙填细土；第二层袋心对齐下层接缝，每袋四角用连接扣固定；每1m高度设20cm宽加筋带，坡顶最后一层埋入30cm沟槽压实。（3）植被种植与结构养护技术。袋面打3-4个5cm孔径孔植入幼苗，顶层撒播草花种子；种植后浇水定根，前3个月每周检查结构稳定性；3-6个月植被茂盛后减少养护，每年修剪一次，根系穿透后形成稳定整体<sup>[2]</sup>。

## 3 生态护坡技术在高速公路边坡防护中的具体应用

### 3.1 基于不同地质条件的生态护坡技术应用

高速公路边坡地质条件差异大，要针对性选择生态护坡技术，确保防护效果与地质特性适配，具体应用方式如下：（1）土质边坡的生态护坡应用。针对土层深厚、坡度  $\leq 30^\circ$  的土质边坡，优先采用植被防护技术，直接播种与铺草皮结合使用：平缓区域采用直接播种，混播草本（如高羊茅、狗牙根）与灌木（如紫穗槐）种子，提升植被多样性与稳定性；坡度 $20^\circ-30^\circ$ 区域搭配铺草皮，快速形成植被覆盖，防止雨水冲刷导致表土流失。若边坡表层土壤松散易流失，可叠加三维植被网防护，网体铺设后填充改良土壤，再进行播种或铺草皮，通过“网-土-植被”协同增强表层土壤固持能力。（2）土石混合边坡的生态护坡应用。对于土石混合、土层较薄且夹杂碎石的边坡，采用客土喷播与三维植被网结合的技术方案：先清理边坡表面大块碎石，铺设三维植被网并固定，再通过高压喷播将客土基质喷射至网体内部，基质厚度控制在5-8cm，确保覆盖碎石间隙；喷播时混入草本与灌木种子，形成密集植被根系，穿透网体与深层土壤连接，同时网体可阻挡碎石滚动，实现生态防护与结构稳定双重效果。（3）岩质边坡的生态护坡应用。针对岩面裸露、无土层或土层极薄的岩质边坡，以客土喷播与生态袋防护为主：坡度  $\leq 40^\circ$  的岩质边坡，先对岩面进行凿毛处理，设置锚杆与铁丝网固定，再分两次喷播客土基质，底层基质增强附着力，表层基质含种子，喷播后覆盖无纺布保湿；坡度 $40^\circ-45^\circ$ 的陡峭岩质边坡，采用生态袋堆砌防护，沿岩面分层堆砌生态袋，袋内填充改良基质，袋体间用连接扣固定，同时在袋面打孔种植灌木幼苗，利用生态袋的柔性结构适应岩面起伏，植被根系逐渐深入岩缝，实现长期防护<sup>[3]</sup>。

### 3.2 基于不同防护需求的生态护坡技术应用

高速公路边坡防护需求涵盖短期应急、长期稳定、景观提升等不同类型，需结合需求选择对应技术，具体应用如下：（1）短期应急防护的生态护坡应用。针对高速公路建设期间或雨季来临前，需快速形成防护能力的边坡，优先选用铺草皮与生态袋防护技术：铺草皮技术可在1-2天内完成边坡覆盖，选择根系发达的早熟禾、结缕草草皮，铺设后立即浇水固定，短期内即可发挥截水、固土作用，避免雨水冲刷引发边坡失稳；对于坡度较大的应急边坡，采用生态袋快速堆砌，单袋填充后人工堆砌，无需复杂设备，24小时内可形成防护结构，同时在袋体表面撒播速生草本种子（如黑麦草），短期内实现植被覆盖，满足应急防护需求。（2）长期稳定防护的生态护坡应用。对于高速公路运营期间需长期维持稳定性的边坡，采用“植被防护+客土喷播+后期养护”

的综合方案：选择深根性乔木（如侧柏、构树）与灌木（如胡枝子、锦鸡儿）搭配种植，乔木间距2-3m，灌木间距1-1.5m，形成多层植被结构，根系深入土层2-3m，增强边坡深层稳定性；对土层较薄区域补充客土喷播，提升土壤肥力与厚度，为植被长期生长提供基础；后期定期修剪植被、浇水施肥，每季度监测植被覆盖率与边坡位移情况，确保防护效果长期稳定。（3）景观提升与生态修复结合的应用。针对高速公路沿线对景观效果要求较高的区域，采用“多元植被配置+色彩搭配”的生态护坡方案：选用观赏性与防护性兼具的植物，如草本层搭配紫花苜蓿（紫色）、金鸡菊（黄色），灌木层选择月季、火棘，乔木层搭配樱花、银杏，形成四季有景的景观效果。

### 3.3 生态护坡技术与工程措施的结合应用

单一生态护坡技术难以满足复杂边坡防护需求，需与工程措施结合，形成“生态+工程”的复合防护体系，具体应用如下：（1）生态护坡与排水工程的结合应用。高速公路边坡积水易导致土壤软化、边坡失稳，需将生态护坡与排水措施同步设计：在边坡顶部设置截水沟，沟宽30-40cm，深度40-50cm，采用混凝土浇筑或砖砌，截水沟内侧铺设防渗膜，防止雨水渗入边坡内部；边坡坡面每隔10-15m设置横向排水沟，沟宽20-30cm，深度25-30cm，排水沟内铺设透水土工布，沟壁采用生态袋堆砌，袋体表面种植草本植物，既保证排水功能，又避免工程措施破坏生态景观；排水系统与生态护坡同步施工，确保雨水及时排出，减少对边坡土壤与植被的侵蚀。（2）生态护坡与锚固工程的结合应用。对于高陡边坡或地质条件较差的边坡，需将生态护坡与锚固技术结合：先在边坡岩面或土层中设置锚杆，锚杆间距1.5-2m，呈梅花状布置，锚杆外露端连接钢筋网，形成锚固框架；在锚固框架内铺设生态袋或进行客土喷播，生态袋

堆砌时与钢筋网紧密贴合，客土喷播时将基质喷射至钢筋网内侧，确保基质与边坡紧密结合；锚固工程为生态护坡提供结构支撑，生态护坡覆盖锚固构件，实现“工程固坡+生态修复”的双重效果，提升边坡整体稳定性。

（3）生态护坡与挡墙工程的结合应用。针对边坡坡脚易受水流冲刷或存在坍塌风险的区域，采用“生态袋挡墙+坡面生态防护”的组合方案：在边坡坡脚设置生态袋挡墙，挡墙高度1-2m，采用错缝堆砌，袋体间用连接扣固定，挡墙底部铺设碎石垫层，增强地基承载力；挡墙以上边坡采用客土喷播或铺草皮防护，喷播时将基质延伸至挡墙顶部，确保坡面与挡墙无缝衔接；生态袋挡墙替代传统浆砌挡墙，兼具防护与生态功能，坡面生态护坡与挡墙协同作用，有效抵御坡脚冲刷与边坡失稳，形成完整的防护体系<sup>[4]</sup>。

结束语：本文全面分析了高速公路边坡生态防护的概述、技术措施及具体应用，明确了各类技术的适用范围与实施要点，证实了“生态+工程”复合防护体系的有效性。未来可进一步研究气候因素对防护效果的影响，开展长期跟踪监测，优化技术参数与植被配置方案，推动生态防护技术向更精准、高效、可持续方向发展。

### 参考文献

- [1]盛通.生态护坡技术在高速公路边坡防护中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(3):135-138.
- [2]熊腾.高速公路边坡防护施工技术的应用及措施探讨[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(7):009-012.
- [3]李晶.生态护坡在高速公路边坡防护中的应用[J].交通世界,2025(1):127-129.
- [4]周纯.高速公路生态护坡防护质量控制研究[J].公路与汽运,2025,41(3):108-111.