

## 山区高速公路生态护坡状况调查及养护建议\*

黄媛媛<sup>1</sup>, 刘浩军<sup>2</sup>, 郭子瑞<sup>2</sup>, 查旭东<sup>2</sup>

(1.安徽省交通控股集团有限公司, 安徽 合肥 230088; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 为科学指导生态护坡养护, 通过现场调查安徽省山区营运高速公路典型生态护坡服役状况及本土植物主要物种和特征, 分析边坡的水毁成因及植被对边坡稳定和生态环境的影响, 提出生态护坡养护建议。结果表明, 调查区边坡植被以菊科、蔷薇科、禾本科、豆科植物组成的草灌结合群落为主, 拱形护坡+植生袋和锚杆框架+植生袋的生态护坡效果较好; 植被根茎叶的水文效应和根系的力学效应对边坡有长期的保护作用, 但乔木对边坡稳定会产生不利影响; 不同植物对边坡生态环境的适应性及影响各不相同, 养护时应因地制宜地合理选择生态护坡方案与植被种类, 提高生态护坡的长期固坡效果。

**关键词:** 公路; 边坡; 生态护坡; 服役状况; 固坡机理; 边坡稳定; 养护方案

**中图分类号:** U418.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2023)02-0082-05

随着高速公路网不断向山区延伸, 形成了大量裸露边坡, 不仅易引发坡面冲刷、溜塌、失稳等病害影响行车安全, 而且易导致水土流失, 破坏当地生态平衡, 因而兼具护坡效果和生态效益的生态护坡技术得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。与传统的工程防护相比, 生态护坡在节约工程造价、保障边坡稳定的基础上, 还能满足绿化、美观和环保的要求<sup>[4-6]</sup>。然而, 在长期的服役过程中, 受各种环境、地质、水文、荷载、人为等因素的影响, 部分生态护坡出现植被退化或水毁病害, 固坡效果降低, 急需进行养护恢复。常斐等系统阐述了高速公路生态护坡技术的优势<sup>[7]</sup>。段晓明等分析了生态护坡作用机理, 阐述了生态护坡技术种类, 提出草灌结合是生态护坡的最佳植被组合<sup>[8]</sup>。董琪等对黄土干旱地区边坡的植被状况和护坡技术进行调研, 提出了黄土边坡生态护坡技术及植物物种选择建议<sup>[9]</sup>。刘鑫等通过调查高寒山区道路边坡物种组成和群落结构, 得出了适合高寒地区边坡的植被恢复物种<sup>[10]</sup>。王志强等分析了高陡边坡上影响植物群落重建的各种因素, 并提出了生态恢复建议<sup>[11]</sup>。齐宏等对贵州省瓮马铁路沿线边坡草本植被进行调研, 分析该地区可应用于道路边坡防护的乡土草本植物物种<sup>[12]</sup>。叶建军等对比分析湿式和干式喷射生态护坡技术, 认为前者工作效率高但成本高, 只适用于缓坡; 后者工作效率低但成本低, 适

用于较陡的岩质边坡<sup>[13]</sup>。陈泰徐等通过对某山区公路生态护坡现状的调研, 评价了生态护坡的防护效果, 并提出了边坡生态防护建议<sup>[14]</sup>。Wei C.等依托汕湛(汕头—湛江)高速公路, 分析了沿线边坡防护技术及植被选择<sup>[15]</sup>。阳个小等依托巴平(巴马—平果)高速公路某边坡, 研究了植被混凝土护坡技术在炭质岩边坡上的应用效果, 认为植被混凝土中掺入一定剂量的绿化添加剂, 并选取耐酸性较好的植物, 对炭质岩边坡的防护效果较好<sup>[16]</sup>。生态护坡技术措施众多, 因各地环境、物种、自然条件等不同, 难以形成统一的养护标准。同时, 工程应用中往往存在重景观轻功能的现象, 造成边坡上植物根系浅, 固坡效果差<sup>[17-18]</sup>; 有些生态护坡技术未能因地制宜, 植被群落发生退化, 易发生边坡病害。为此, 本文依托安徽省大别山区、皖南山区及沿江地区营运高速公路, 通过调研典型生态护坡工程及植被种类, 结合生态护坡服役状况提出养护建议, 为当地山区高速公路生态护坡养护及植被种类选择提供指导。

## 1 生态护坡物种及边坡状况调查

调查地点位于安徽省西部和南部的大别山区、皖南山区、沿江地区, 山地丘陵众多, 地势起伏较大, 属亚热带湿润季风气候、亚热带常绿阔叶林带, 土壤以黄壤为主, 植被种类丰富。

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878077); 安徽省交通运输科技进步计划项目(201839); 安徽省交通控股集团有限公司科技项目(AHJK-养-2019-0001)

1.1 植被物种

分别对安徽省大别山区 G35 岳西至潜山段(岳潜)、皖南山区 G3 铜陵至汤口段(铜汤)、沿江地区 G50 铜陵至池州段(铜池)3 条营运高速公路进行沿线边坡植被调研,记录典型边坡现状植被种类、植被高度、周边生态环境状况等信息,并按照外观标准统计边坡主要植被类型(见表 1)。

表 1 调查区边坡植被统计

植被类型	种数/种	所占比例/%
草本植物	29	42.03
灌木	21	30.43
藤本植物	4	5.80
乔木	15	21.74

共调查边坡植被类型 69 种 38 科,其中组成种类较多的科有菊科(9 种)、蔷薇科(6 种)、禾本

科(5 种)、豆科(5 种),占调查植物种类总数的 36.23%,表明这些科的植物对气候的适应性强,耐贫瘠,能较好地适应边坡环境;草本植物和灌木占调查植物种类总数的 72.46%,且其生长高度较大,长势较好,表明草本植物和灌木的组合形式较稳定,更易在边坡上生长;藤本植物和乔木占比较小,总占比为 27.54%,其中藤本植物一般依附在挡墙和浆砌片石护坡上,乔木种类多于藤本植物,一般生长在稳定的土质边坡上。既有的生态护坡植被经过建设期先锋物种栽植及营运期本土物种演替,多为菊科、蔷薇科、禾本科、豆科物种,且草灌结合形式最广泛。

1.2 边坡状况

通过分区整理,得到调查区部分典型生态护坡工程服役状况及经过长期自然演替的优势植被物种(见表 2)。

表 2 调查区典型生态护坡服役状况及优势植被物种

分区	高速公路名称	桩号位置	边坡类型	生态护坡方案	植物种数/种	植被覆盖度	优势物种
大别山区	岳潜高速公路	K765+300 上行	土质路堤	拱形骨架植物护坡	22	高	五节芒
		K765+600 下行	岩质路堑	挂网客土喷播	12	中	五节芒
		K773+750 下行	土质路堤	拱形骨架植物护坡	10	高	五节芒、紫穗槐、刺槐
		岳西互通上行入口	土质路堑	人工植草	8	高	五节芒
皖南山区	铜汤高速公路	K1196+100 上行	土质路堑	锚杆框架植物护坡	11	高	刺槐、五节芒
		K1245+268 上行	土质路堑	人工植草	12	高	五节芒、构树
		K1256+800 上行	土质路堑	人工植草	13	高	盐肤木
		K1260+100 下行	岩质路堑	挂网客土喷播	15	中	五节芒
		K1263+800 下行	土质路堤	拱形骨架植物护坡	6	高	苕麻、野大豆
		K437+400 上行	土质路堑	锚杆框架植物护坡	10	高	五节芒、火棘
沿江地区	铜池高速公路	K437+500 下行	土质路堑	拱形骨架植物护坡	9	高	刚竹、盐肤木
		K438+600 上行	土质路堑	人工植草	11	高	紫穗槐、盐肤木
		K446+100 上行	岩质路堑	挂网客土喷播	5	低	紫穗槐、黄背草
		K479+200 上行	土质路堑	拱形骨架+空心六棱块植草护坡、锚杆框架植物护坡	15	中	狗尾草、小蓬草

注:植被覆盖度大于 75%为高,45%~75%为中,小于 45%为低。

由表 2 可知:调查的 14 处典型边坡中有 11 处土质边坡、3 处岩质边坡,其中土质边坡的生态护坡方案种类多样,且植被物种丰富,草本植物和灌木种类多,乔木少,植被覆盖度高,景观效果与防护效果好;岩质边坡生态护坡方案大部分为挂网客土喷播技术,且植被数量较少,草本植物多于灌木,植被覆盖度较土质边坡低,景观效果与防护效果较差。主要是因为岩质边坡土壤覆盖度小,需要客土喷播,植物生长环境较恶劣,对植物的适应性要求更高。

结合 2020 年生态护坡水毁统计结果分析,采取挂网喷混、人工植草等单一的生态护坡技术,种植刺槐、构树等落叶乔木时,更易发生局部浅层冲刷和土体滑塌等水毁病害;养护维修后采用锚杆框架梁+植生袋或拱形护坡+植生袋等生态护坡措施,种植植被以黑麦草、紫穗槐等草灌植物为主,并适当进行矮挡墙、护面墙等圬工结构防护,边坡病害较少发生。

从植被生长情况来看,调查路域范围内稳定边

坡上主要是草灌组合形成的植物群落,禾本科和豆科植物是边坡上常见的优势物种,五节芒、紫穗槐等植物在各边坡中都有生长,且在植被中所占比例较大。五节芒、紫穗槐等禾本科和豆科植物可作为边坡先锋物种,率先完成边坡绿化,稳定边坡。

## 2 生态护坡固坡效果及影响分析

根据调查结果,通过对边坡水毁成因的分析,结合植被对边坡稳定及生态环境的影响,选择生态护坡方案,配置护坡植物群落。

### 2.1 边坡水毁成因

调查区为亚热带湿润季风气候区,自北向南,降水量不断递增,呈南多北少、山区多、平原丘陵少的特点,且每年6—7月为典型的梅雨季节,年降雨量在1500 mm以上,调研结果表明安徽山区高速公路在役边坡病害主要发生在6—8月。由此可见,降雨是在役边坡失稳病害频发的主要原因。其危害主要表现在两个方面:一是随着降雨量增大、降雨历时延长,边坡岩土体不断经受坡面径流的冲刷,容易导致边坡产生浅层坡体滑塌等病害;二是持续的降雨渗入边坡,导致坡体自重增大、内部渗流场发生变化,岩土体黏聚力和内摩擦角下降,坡体抗剪强度降低,进而产生浅层坡体滑塌、支护设施局部损坏和崩塌等病害。

### 2.2 植被固坡机理

在生态护坡工程中,植被主要通过改善边坡的水文条件及植物根系对土壤的力学作用来提高边坡的稳定性。植物的水文效应表现在植物茎叶能截留雨水,减少地表水下渗量,降低地表径流速度,通过蒸腾作用降低孔隙水压力等,改善坡面小气候,减缓边坡表层水土流失;力学效应表现在植物浅根与土壤形成根土复合体,可提高土体抗剪强度,深根类似于锚杆,起到加固边坡的作用(见图1)。

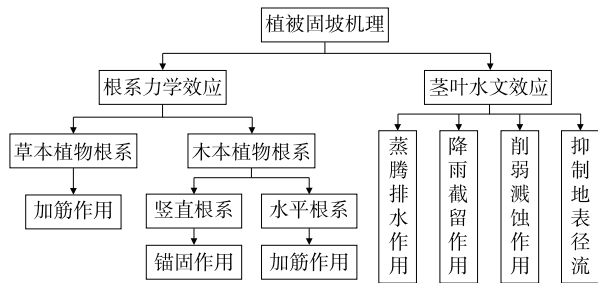


图1 植被固坡机理

### 2.3 植被对边坡稳定的影响

虽然植被对边坡有明显的稳定作用,但也存在

一定局限。生态护坡效果受植物根系自身、生长环境及边坡条件等因素的影响,固坡效果受到多重制约,与圬工结构支护效果相比,对岩土体整体强度的增强和内部稳定性的提高存在一定局限。在植物生长初期,植被覆盖率较低,根系稀疏分布,短期内稳定边坡和保持水土的预期目标无法实现;植物根系长度相对于深层滑坡的滑动面位置十分有限,远小于边坡内大多数滑移面(或潜在滑动面)的埋深,其加固作用对于深层滑坡防治不具备明显效果;岩质边坡无法为植物提供生存环境,植物根系无法深入,而部分深入的根系又可能破坏岩体紧密的结构。

根据调查区水毁病害,高陡边坡植被为落叶乔木时,更容易发生失稳病害,因为刺槐、构树等乔木根系浅,高10~20 m,自质量大,遇持续大风大雨天气时,乔木通过自身把大量风力传给坡体,增大了坡体的不稳定因素,且乔木覆盖越多,自质量越大,坡体的下压力越大,边坡下滑力相应增加,加大了坡体的不稳定性。另外,植物会增大岩土层的渗透性,容易加大雨水入渗,造成浅层土体饱和、坡体剪应力增大,导致水毁等病害。因此,乔木不适宜用于高陡边坡防护。

植被与工程措施相结合的生态护坡技术与传统工程防护相比具有优势,体现在:植物护坡能快速恢复边坡生态环境,且护坡成本低于工程防护;工程防护会随时间推移、岩石风化、混凝土老化、钢筋锈蚀等使边坡稳定性逐渐降低,而生态护坡随着植被的生长,边坡稳定性逐渐提高;生态护坡为植被的生长和恢复创造了有利条件,不仅可预防和控制边坡水土流失,还可恢复公路生态环境,维持生态平衡。

### 2.4 植被对生态环境的影响

植物是生态环境的主体要素,在改善空气、净化污水、改良土壤、减轻噪声、维护生态平衡、改善生态环境中具有不可替代的作用。不同的植物对边坡生态的影响不相同,明确不同植物的生态效果,对护坡植物组合搭配及保证边坡长期稳定等具有重要意义。

山区高速公路发生病害的在役生态护坡的坡面环境往往较恶劣,对植物自身适应性的要求较苛刻,合理选用乡土植物对于边坡植被的高效恢复很关键。对当地常见草本和灌木植物的抗逆性、生长速度及特有的生态服务功能(侵蚀控制、固碳、防洪、净水等)等进行分析,可从生态方面为边坡植物种类选择提供依据。调查区常见草本植物及灌木对环境的

适应性见表 3。

表 3 调查区主要草本植物及灌木的适应性

植物类别	植物名称	抗寒性	抗旱性	抗贫瘠性	抗热性
草本植物	小蓬草	A	A	A	B
	五节芒	A	A	A	B
	狗尾草	A	A	A	B
	黄背草	A	A	A	B
	野大豆	A	A	B	B
灌木	紫穗槐	A	A	A	B
	胡枝子	A	A	A	B
	火棘	A	A	A	B
	苎麻	B	B	B	B
	盐肤木	A	A	A	B
	刚竹	A	A	B	B

注:A 代表优秀,B 代表良好。

在当地常见草本植物中,小蓬草、五节芒、狗尾草、黄背草、野大豆均具有较强的适应性和发达的根系,能改善土质、保持水土。其中小蓬草、五节芒、狗尾草具有一定的对重金属污染土壤的修复能力,狗尾草、黄背草有较大的根冠比,能增加边坡覆盖面积。但这 3 种草本植物易形成单一优势群落,破坏自然景观,影响生态稳定,而野大豆易受到其他植物的威胁,影响其生长。

在当地常见灌木中,紫穗槐、胡枝子、火棘、盐肤木、苎麻、刚竹适应性较强,根系发达,保持水土能力强。其中紫穗槐有较高生产力,适合作为主要生态恢复灌木物种;胡枝子具有改善基质养分状况、降低重金属污染程度的双重作用;火棘的固碳释氧量、增湿降温、滤尘效果好,对二氧化硫有很强吸收和抵抗能力;盐肤木根系发达,可作为观叶观果物种,但其发芽慢,前期生长速度不快;苎麻是中国特有的农作物,其茎叶茂盛,保水、保肥、排水性能优越,可以修复被重金属污染的土壤,但其适应性较差;刚竹生长速度快,有良好的降雨截留作用,但其对土质有一定要求。

综上,本土草本植物和灌木物种具有优良的抗寒性、抗旱性、抗贫瘠性和抗热性,适合当地边坡的土质和气候条件,可广泛种植于生态护坡上。其中小蓬草、五节芒、狗尾草适应能力强,还能修复由于汽车尾气排放造成的重金属污染,但容易形成优势物种,影响植物多样性,破坏自然景观,在选择植被物种时应适量减少小蓬草、五节芒、狗尾草的用量,并注意后期观测,防止其形成单一优势物种;苎麻和

刚竹均可作为经济物种,但对土质有一定要求;盐肤木景观效果好,但前期生长速度较慢,可适当减少其种子用量。

3 生态护坡方案及植被选择的养护建议

根据安徽省山区地质条件、地层构造特点及外露边坡岩土体结构组成,将路堑边坡分为土质边坡和岩质边坡两类。鉴于路堤边坡一般为土质填方,只考虑土质路堤边坡。针对前述调查分析结果,提出山区不同类型边坡生态护坡方案和植被类型选择的养护建议。

3.1 土质路堑边坡

(1) 对于稳定土质路堑边坡,可采用人工植草、喷播植草等防护方案;对于坡度较大的不稳定土质路堑边坡,可采用人字形或拱形骨架植草、植生袋等防护方案。

(2) 边坡植被组合选取注重草灌结合,尽可能选择多年生的深根植物,丰富植物种类,保持生态与景观多样性,维持生态稳定。草本植物可选取黄背草、狗尾草等维持前期边坡稳定,选取野菊花、小蓬草美化边坡;灌木可选取火棘、胡枝子加固边坡,选取盐肤木、石楠等美化环境。边坡上不建议种植乔木,因为乔木长大后树根会破坏边坡防护结构,且遇到大风大雨天气易倒伏,存在安全隐患。

(3) 对于已经发生过水毁病害的边坡,可配合护面墙、挡墙等圬工结构支护措施,并进行坡顶减载,完善坡面截排水系统等。

3.2 岩质路堑边坡

(1) 对于稳定的岩质路堑边坡,可采用 TBS 喷播植草、挂网客土喷播等防护方案;对于整体稳定性不好的岩质路堑边坡,应注重防治坡面水土流失,可采用拱形护坡+植生袋、锚杆混凝土骨架+植生袋等防护方案。

(2) 岩质路堑边坡植被应以耐旱、耐贫瘠的浅根植物为主,草本植物可选取小蓬草、五节芒等抗逆性强的植物作为先锋物种,以较快维持边坡稳定;灌木可选取紫穗槐、胡枝子等提高土壤氮肥含量,改善土质;可选取野菊等常绿植物来稳定、美化边坡。

3.3 路堤边坡

(1) 对于稳定的路堤边坡,可采用铺草皮、液压喷播等防护方案;对于欠稳定的路堤边坡,可采用挂网喷播、刚性骨架植草等防护方案。

(2) 路堤边坡本身坡度较大,不宜在边坡上种

植树木或大型灌木,只能在护坡道上种植。边坡上植被类型应充分利用周围植物群落的优势物种,种植深根植物。草本植物可选择五节芒、狗尾草等繁殖能力强、生长迅速的植物;灌木可选择盐肤木、胡枝子等根系发达,能恢复边坡的先锋植物;小蓬草、火棘等菊科和蔷薇科植物可作为边坡美化物种。

(3) 对于病害频发的高路堤边坡,可采取衡重式挡墙+扶壁墙加固等措施配合生态护坡技术方案,挡墙基底可增设排水沟,边坡平台上可设置植生袋绿化。

为保证边坡植被正常生长,可在植被生长初期适当施肥,并定期观测植被生长状况,防治植被病害。同时,为保证路堑、路堤边坡的稳定,定期砍伐边坡上杂树,防止杂树树根破坏防护结构。特别是隧道、桥梁周边高大边坡,需对杂树清理后的边坡现状进行实时调查,记录边坡健康状况,保证道路营运安全。

#### 4 结论

(1) 安徽省山区营运高速公路生态护坡采用的69种植被类型中,草本植物和灌木占植物种数的72.46%,为主要植物群落;菊科、蔷薇科、禾本科、豆科植物占植物种数的36.23%,其中五节芒、小蓬草、胡枝子、紫穗槐、狗尾草等为边坡优势物种。在生态护坡技术方案中,拱形护坡+植生袋和锚杆框架+植生袋等的应用效果较好,边坡水毁病害较少发生,植被生长良好。

(2) 降雨是边坡发生水毁病害的主要诱因。植被对边坡稳定性的贡献体现在水文效应和力学效应,对边坡生态环境的影响体现在其对环境的改善及不同植被在边坡上的适应程度。选取根系发达、枝叶茂盛、适应和改善环境能力强的草灌结合植被物种,有利于边坡的长期稳定。

(3) 在役边坡生态护坡养护方案应因地制宜,采取植被护坡并配合圬工结构支护和完善坡面截排水系统等措施;植被可选择草灌结合的方式,选取五节芒、狗尾草、黄背草、紫穗槐、胡枝子等稳定边坡,同时适当种植菊花、石榴等菊科和蔷薇科植物来丰富边坡景观效果。

#### 参考文献:

- [1] FU H, ZHA H, ZENG L, et al. Research progress on ecological protection technology of highway slope;

Status and challenges [J]. Transportation Safety and Environment, 2020, 2(1): 3-17.

- [2] 刘黎明, 宋岩松, 钟斌, 等. 植被混凝土生态修复技术研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(3): 916-927.
- [3] 罗珂, 高照良, 王凯. 毛坝至陕川界高速公路边坡生态防护技术及其应用研究[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(6): 128-135.
- [4] 郝岩松, 王国兵, 万福绪. 我国高速公路生态边坡的建设及生态评价[J]. 水土保持研究, 2007(4): 257-262.
- [5] 王蓬. 高速公路边坡生态防护施工技术研究[J]. 北方园艺, 2010(20): 120-122.
- [6] HU L, SHAN Y, CHEN R, et al. A study of erosion control on expressway embankment sideslopes with three-dimensional net seeding on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Catena, 2016, 147: 463-468.
- [7] 常斐, 李彩霞. 高速公路边坡防护技术探讨[J]. 公路与汽运, 2007(3): 105-106.
- [8] 段晓明, 苗增健, 刘连新, 等. 生态护坡应用及护坡植物群落的选择[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 15327-15329+15339.
- [9] 董琪, 许锐, 郭璐, 等. 植物护坡技术用于黄土干旱地区边坡工程的调查研究[J]. 路基工程, 2016(1): 1-6.
- [10] 刘鑫, 包维楷, 胡斌, 等. 高寒山区道路边坡植被恢复物种选择及适宜性评估[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(6): 1015-1022.
- [11] 王志强, 王日明, 姚军, 等. 高陡边坡植物群落重建及干扰因素分析[J]. 公路与汽运, 2018(5): 74-76+93.
- [12] 齐宏, 程睿, 王琴. 瓮马铁路沿线边坡草本植物物种生态选择[J]. 公路, 2018, 63(12): 287-292.
- [13] 叶建军, 王波, 李虎, 等. 湿式喷射法生态护坡技术在曼大公路取土场的应用[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 259-263+272.
- [14] 陈泰徐, 陈筠, 邬忠虎, 等. 某山区公路边坡生态防护现状调查分析[J]. 水利科技与经济, 2019, 25(4): 56-61.
- [15] WEI C, HUANG K, ZHANG N, et al. Discussion on ecological protection technology of high and steep slope of expressway[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 632(2): 022022.
- [16] 阳个, 张黎明, 骆俊晖, 等. 生态护坡技术在巴平高速公路的应用研究[J]. 公路, 2021, 66(6): 100-103.
- [17] 邹全, 王桂尧, 张文豪, 等. 百喜草根对土壤渗透性能的影响[J]. 公路与汽运, 2022(3): 60-64.
- [18] 陶坚, 王桂尧, 常婧美, 等. 香根草根对膨胀土渗透性影响试验研究[J]. 交通科学与工程, 2020, 36(4): 10-16.

收稿日期: 2022-09-29