

# 陕西省公路黄土路堑高边坡植被防护研究

高德彬<sup>1</sup>, 陈增建<sup>2</sup>, 倪万魁<sup>1</sup>, 赵之胜<sup>3</sup>

(1. 长安大学 地测学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安市公路勘测设计所, 陕西 西安 710068; 3. 陕西省公路交通设计研究院, 陕西 西安 710068)

**摘 要:** 陕西省修建了多条经过黄土地区的高速公路, 其路堑高边坡的植被防护问题是目前研究的重点问题之一。总结了陕西省已建或在建公路黄土路堑坡面植被防护所采用的主要技术方法, 分析了各种方法的防护效果。同时, 探讨了黄土路堑高边坡植被防护目前存在的主要问题, 以便为其它地区黄土路堑高边坡植被防护提供参考。

**关键词:** 黄土; 公路; 高边坡; 植被防护

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)05-0155-06

中图分类号: S157, U417.1+2

## Research on Plant Protection for Loess Cutting Slope of Highway in Shaanxi Province

GAO De bin<sup>1</sup>, CHEN Zeng-jian<sup>2</sup>, NI Wan-kui<sup>1</sup>, ZHAO Zhi-sheng<sup>3</sup>

(1. Department of Geological Engineering and Survey, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Institute of Highway Survey and Design of Xi'an City, Xi'an, Shaanxi 710068, China;

3. College of Highway Investigation and Design of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

**Abstract:** Express highways have been built in the loess area of Shaanxi Province. Research on plant protection for loess cutting slope of highway is one of the important problems that are being studied recently. Based on it, the main styles of plant protection for loess cutting slope of highway built and being built are analyzed and plant protection effects for the loess high-cutting slope are discussed. At the same time, the major problems existed in plant protection are analyzed so that the conclusions can be referenced for the loess cutting slope during the highway construction in other loess areas.

**Keywords:** loess; highway; high slope; plant protection

已建公路黄土路堑高边坡的坡型设计基本上为阶梯状, 单级坡高 8~15 m, 单级坡比一般由坡脚至坡顶依次为 1:0.4, 1:0.5, 1:0.75, 1:1.0, 个别高度大于 80 m 的边坡, 设计了 1:1.15 的单级坡, 平台宽度为 3~8 m, 在高度大于 50 m 的边坡设置宽度 15~20 m 的大平台<sup>[1]</sup>。这种设计坡型能够保证黄土边坡的整体稳定性, 但坡面冲刷现象严重, 必须进行有效的防护。以往大多采用浆砌片石、喷射混凝土等传统的“灰色”防护措施, 它在安全功效上尽管满足了工程建设的需要, 但破坏了当地自然环境的协调。随着人们对环境意识的不断增强, 要求公路建设的同时, 必须保护周边生态环境, 尤其是在生态环境脆弱, 水土流失十分严重的黄土地区。因此, 坡面植被防护技术就应运而生。

许多水土保持的专家学者在恢复黄土高原的植被建设中作过大量的工作, 取得了卓有成效的成果<sup>[2-6]</sup>。但其研究对象主要针对适合植物生长的, 质地均匀, 结构松散, 孔隙发达, 透水透气性好的耕植土。而对于开挖形成的路堑边坡, 业内人士也做了大量的工作<sup>[7-10]</sup>。但因路堑边坡土质新鲜生硬, 土壤的通气性差, 透水性和蓄水能力低, 钙含量较大, 养分有效性差, 这些都限制了护坡植物的生长, 同时, 种类繁多的病虫害, 都为公路建设工作者顺利实施植物防护技术增加了难度。

鉴于此, 本文总结了陕西省已建和在建公路黄土路堑坡面植被防护的主要方法, 分析了各方法的防护效果。在此基础上, 探讨了黄土路堑高边坡植被防护目前存在的主要问题及防治对策。

收稿日期: 2007-09-12

修回日期: 2008-07-13

基金项目: 交通部西部重点交通建设科技项目“黄土地区公路高边坡防护技术研究”(200131800020)

作者简介: 高德彬(1974-), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 讲师, 在职博士生, 从事地质工程、路基工程的教学与科研工作。E-mail: gaodebin74@163.com。

## 1 陕西省黄土路堑坡面植被护坡现状

路堑边坡坡面植被防护技术,在我国南方地区的应用已趋于成熟。而在黄土地区大多数还处于试验论证阶段。对于植物保持水土的能力,许多水土保持领域的专家学者做过大量的试验和观察。吴钦孝等在研究草本植物提高表土抗冲刷能力后得出,植被可以推迟和减缓产流、产沙时间,对降低土壤冲刷起决定作用<sup>[3]</sup>。它主要是利用植被的地上部分截留降水,增加入渗;利用地下部分根系的网络串连作用,根一土粘结作用及根系的生物化学作用,增强土壤的抗蚀、抗冲性等<sup>[5]</sup>。陕西省在绛法公路、铜黄公路、机场

高速公路、绕城高速公路、禹阎高速公路等进行了不同类型的植被防护试验和应用(表 1),取得一定的效果。但总体来看,仍然是试验性的,采用植被防护的黄土边坡占总量的比例很小。

陕西省在陕北、关中地区的国道主干线、国道、西部开发省际通道和主要省道总长度约 26 700 km,其中黄土边坡总长约 100 km,采用植物防护的边坡约 5~8 km,仅为总数的 5%~8%。陕西省  $1.0 \times 10^5$  km 农村公路,其中有  $6.5 \times 10^4$  km 分布在黄土地区,没有一处真正采用植物防护的黄土边坡。陕西省目前的情况也是黄土地区公路路堑高边坡防护技术的一个缩影。

表 1 陕西省几条公路黄土路堑高边坡植被防护方案

公路名称	高度/m	边坡型式	防护方案
绛法二级公路	31	台阶型,单级坡高 8 m,坡比 1:0.5~1:0.75,平台宽 2 m	平台种植刺槐,行距 1 m,株距 2.5 m,平台坡脚种植紫藤,株距 0.5m
铜黄高速公路	80	台阶型,单级坡高 8 m,坡比 1:0.3~1:0.75,平台宽 2 m	液压喷播。沙生冰草(28.1%)、高羊茅(21.0%)、柠条(22.2%)、紫穗槐(19.1%)、沙打旺(4.0%)、黑麦草(2.8%)、狗牙根(2.09%)等
机场高速 K9+750	32	台阶型,单级坡高 10 m,坡比 1:1,平台宽 2 m	三维网垫加液压喷播。植物喷播方案:高羊茅(30%)、黑麦草(30%)、小冠花(40%)。每 1 000 m <sup>2</sup> 播 15~20 kg 复合肥:有机肥(20%)、化肥(20%)、表土(60%)
绕城高速 K65+500	27	直线型,坡比 1:1	三维网垫加液压喷播。植物喷播方案:高羊茅(54%)、黑麦草(30%)、鸭茅(11%)、小冠花(5%)
阎禹高速公路 K30+710	32	台阶型,单级坡高 3.5 m,坡比 1:0.4~1:0.5,平台宽 2.5 m	平台种植。刺槐、栾树、火炬树,行距 1 m,株距 2.5 m,平台坡脚种植三叶地锦,株距 0.5 m
阎禹高速公路 K173+100	32	台阶型,单级坡高 3.5 m,坡比 1:0.4~1:0.5,平台宽 2.5 m	平台种植刺槐、黄栌、火炬树,行距 0.8 m,株距 1.5 m;最下面三级坡面厚层基材喷播植草,草种为:黑麦草、沙生冰草、高羊茅、沙大旺、沙蒿、草木樨、柠条

## 2 陕西省黄土路堑坡面植被防护措施

陕西省目前采用的主要植被防护措施有如下几种:人工植草,人工植树,液压喷播植草护坡,框架植物护坡,铺网植草,厚层基材喷播植草护坡以及绿化防护板植草等。

### 2.1 人工植草

人工植草是黄土地区最初使用的一种植被防护方法,可分为沟种、穴种、撒种、铺草皮及植生带等方式。其中穴种是黄土地区最初使用的一种植物防护方法,它是在坡面上用特制的钻具,钻头直径为 5 cm,挖掘出直径 5~8 cm,深 10~15 cm 的小洞穴。将固体肥料和种子放入,用土和砂掩埋。也可以根据情况在肥料里面添加高效保水剂。洞穴的分布密度为 8~12 个/m<sup>2</sup>。肥料可由草木灰、锯末、禽畜粪便、尿素、磷肥等经特殊的工艺制成,并与土壤按 7:3 的

比例拌和。该法适用于坡比不大于 1:0.5,坡高小于 8.0 m 且坡体土层为新黄土或老黄土上部的路堑边坡。常根柱等<sup>[11]</sup>对陕西省几条高速公路黄土路堑边坡采用“挖穴投种”、“种包塞植”、“种籽直播”、“野生狗牙根栽植”等方法进行对比研究,认为边坡绿化以挖穴投种—覆土—浇水的方法最好。但因挖穴投种的许多技术问题未能解决,也未能大面积推广应用。同时,穴种费时费工,浇水养护的时候很容易出现径流对坡面造成冲蚀破坏。同时该方法在坡度较陡或坡体稳定性较差时效果较差。

### 2.2 人工植树

即在边坡各级平台上把树木的根部或插杆枝插入营养土,一起埋入事先挖好的坑内。显然这种防护形式更强调的是植被的生态景观效应,它对边坡的防护是通过植被的阻拦作用形成的(图 1)。茂密的树叶可防止雨滴直接击打坡体,同时树木的根部对冲刷

范围内的土壤还起到加固作用, 具有较好的防护效果。该方法在 210 国道陕西段、绛帐至法门寺二级公路以及阎禹高速公路芝川河大桥桥头路堑边坡进行了试验, 并在后者坡面上进行了现场模拟降雨试验。在雨强为 65 mm/h, 历时 16.6 h 的降雨过程中, 产生的最大径流量仅为 10.03 ml/s, 径流深不到 2 mm, 最大含泥量仅为 26.3 g/L, 降雨对边坡的最大冲刷深度为 0.3 cm (见表 1)。同时, 该法工程造价低廉, 成活率高, 生长状况良好。因此, 采用合适的坡型设计, 平台植树防护可以取得令人满意的效果, 是黄土高原多雨湿润地区公路边坡防护技术的首选。



图 1 绛法二级公路黄土路堑边坡平台植树

### 2.3 液压喷播植草

该法是将草籽、肥料、黏着剂、纸浆、土壤改良剂、色素等按一定比例在混合箱内配水搅和均匀, 通过机械喷射到边坡坡面而完成的植草施工防护的。陕西省高速公路集团与交通部科学研究院从 1999 年 9 月开始, 在铜黄公路选择典型边坡开展液压喷播植草试验。试验结果表明, 在坡比不大于 1:0.3 的黄土路堑边坡上采用液压喷播技术护坡, 可以达到护坡和绿化的目的。在合适的季节施工, 喷播后一般 3 个月左右, 植被覆盖率即可达 50% 以上, 坡面基本没有出现沟蚀和面蚀。但在第二年的雨季, 坡面古土壤部位的草皮呈片状剥落塌下。同时多次野外观察发现, 1:0.3 边坡植被覆盖率为 15%~20%; 1:0.5 边坡植被覆盖率为 15%~20%; 1:0.75 边坡植被覆盖率为 50%~65%; 1:1 边坡植被覆盖率大于 75%。分析其原因主要是铜黄高速黄土路堑高边坡设计时, 在总坡比一定时, 单级边坡坡比较大, 造成土壤出现干旱层, 植被因缺水而退化。同时, 构成坡体土层的古土壤也易产生风化、剥落。

### 2.4 框架植物护坡

即在坡面上利用混凝土、浆砌片石等在坡面上作成方形、菱形、圆形、拱形、三角形、六变形、人字形等不同形状的框架, 然后在骨架或框架内的坡面裸露部

位采用人工种植或机械喷播的方式建植草皮或灌木。该方法在陕西铜黄高速公路娄子沟隧道入口路堑边坡等多处地方应用。据大量现场调查发现, 在使用框架植物护坡的路段, 有植物生长的部位, 没有出现骨架或砼框架背后的土体被水蚀掏空现象, 证明了框架植物护坡可以解决硬质构筑物与黄土结合部位易受破坏的难题。

### 2.5 铺网植草

坡面铺网是在坡面铺草皮或液压喷播植草易遭降雨或常年坡面径流形成冲沟、引起边坡浅层失稳和滑塌等缺陷的基础上发展起来的, 其本身也经历二维到三维的发展过程。在刚开挖的坡面上预铺网, 可以固定喷射在坡面的客土。采用三维网植草具有的固土效果, 使植草覆盖率提高, 从而达到较好防护边坡目的。陕西省西安绕城高速公路南段在边坡防护上采用该法护坡, 在历次降雨中都表现出良好的防护效果, 草被发育的地方, 边坡无任何破坏现象。

### 2.6 厚层基材喷播植草

利用特制的机械将植物种子、肥料、土壤、保水材料等混合物加水后高压喷射到黄土坡面上。喷射层粘结硬化后, 在坡面上形成具有一定抗冲刷能力的硬化层。该硬化层又具有连续空隙, 可作为植物根系的生长空间。该法是一种较为先进的方法, 不仅比传统植草方法省时省力, 其防护能力更佳。该项技术在陕西省阎良至禹门口高速公路 K173—K178 的路堑边坡得到成功应用 (图 2)。



图 2 西禹高速公路 K173 段厚层基材喷播植草防护

### 2.7 绿化防护板植草技术

绿化防护板植草技术是长安大学根据黄土路堑高边坡单级陡边坡的工程特性, 与燕山石化集团公司联合研发的一种新型柔性防护材料<sup>[1]</sup>。该防护板由高分子材料挤出成型, 呈条状片材。使用时, 水平展开, 通过防锈钉(钢条或钢塑复合钉)将该板下方钉入

开挖坡面上,将其固定,填入客土与植物种子后施工即告完成。由于防护板保持直立,该结构体抗冲刷性强,特别适宜较陡稳定边坡的防护。这种防护技术原理与坡面平槽和鱼鳞坑有同工异曲的效果,但对降雨的拦蓄能力远大于平槽和鱼鳞坑。该技术在黄延高速公路娄子沟隧道出口处得到成功应用(图 3),且在降雨量较少的黄土高原地区有较好的应用前景。但施工难度较大,且工程造价较高。

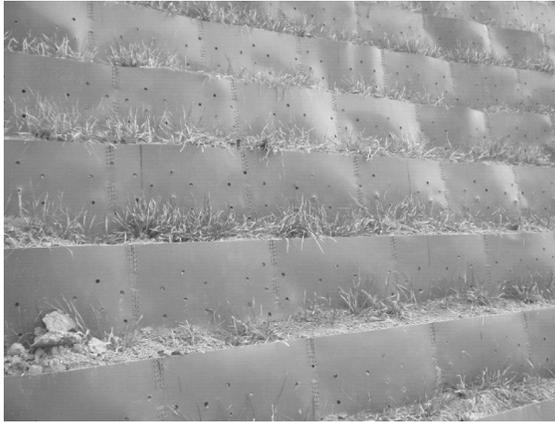


图 3 黄延高速道南隧道出口绿色防护带植草防护

## 2.8 黄土路堑边坡植被护坡效果分析

根据野外观察和模拟降雨冲刷试验发现,坡面降雨侵蚀是从雨滴打击土体开始的。雨滴引起溅蚀,分散土粒;然后是超渗径流造成的冲刷,其径流强度和径流量取决于降雨强度和土壤渗透速度;对坡面破坏最大的是坡顶上方来水。裸露边坡在雨季里很容易

因坡面遭到侵蚀而导致坡体破坏。应用植被防护技术后,由于植物的茎叶和根系抑制了径流的产生和发育,同时根系的存在也增强了坡体土壤的抗冲刷能力(表 2),因此边坡在降雨过程中产生的侵蚀量很少。

由表 2 可以看出,三维网植草防护、厚层基材喷播植草防护和平台植树等 3 种植被防护措施对边坡的降雨冲刷都起到了很好的防护效果,其差别只在于防护的程度不同。平台植树的成活率高,防护效果好,造价低廉,但是林木对水分的需求量比草本植物要大得多。据中国科学院水土保持研究所在陕西省黄龙山测定,每  $1 \text{ hm}^2$  柠条林地在半年内比糜子地多吸收水分  $1\,416.7 \text{ m}^3$ ,相当于  $141.7 \text{ mm}$  的降雨<sup>[12]</sup>。因此仅能在降雨量丰富,土壤水分多的地区采用。厚层基材喷播植草成活率稍次,但因为其工艺包含植生带、铁丝网以及所喷射的厚层基材具有一定的粘结、硬化强度,即使生长其上的植被退化甚至消亡,它仍对黄土高边坡面具有很大的保护作用。西禹高速公路 K173+100 段的两侧采用厚层基材喷播植草防护的三级坡面,护坡植被虽然因退化而失去护坡功效,但在经历过 2005 年 9 月的强降雨侵蚀后,坡体仍安然无恙。因此,在降雨量较少,土壤含水率较低,无法采用平台植树技术的地区,尤其是坡面古土壤出路的边坡,采用厚层基材喷播植草技术为佳。三维网液压喷播植草虽成活率较差,但其施工成本仅为厚层基材喷播的  $1/2$ ,因此对于规模较小,坡度较缓的黄土公路边坡,仍不失为一个经济的防护手段。

表 2 不同植物防护类型的防护效果

组合模式	降雨总量/ mm	雨强/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	最大冲刷 深度/cm	最大径流量/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最大含泥量/ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	减少径流量/ %	减少含泥量/ %
裸露边坡	476.85	51	21	139.5	149.5	—	—
三维网植草防护	556.20	60	0	9.9	7.0	93.0%	99.0%
厚层基材喷播防护	446.25	51	0	0	4.1	0	97.0%
平台植树	1\,079.70	65	0.3	10.0	26.3	92.8%	82.4%

## 3 黄土路堑高边坡植被护坡问题探讨

### 3.1 植被护坡措施选择问题

开挖后形成的黄土路堑高边坡,由于侧向卸荷作用,使黄土内存在的节理裂隙张开,消弱了坡面的稳定性。单一的植被护坡效果较差,必须对表层土采用工程措施固定后才能进行植被护坡。同时,在新开挖的坡体上由于没有适合植物生长的耕植土,土壤硬度大,造成护坡植物根系的生长发育比在耕植土生长的同类植物要弱,短期内生成的根系短而细,削弱了植被持水固土能力。因此,在植被自身根系没有完全发

育成熟的时间段内,需对坡面土壤乃至正在生长的植物施加辅助的防护措施,使植被防护与工程防护相结合,如框架植物护坡,铺网植草等。

### 3.2 植被退化问题

人工建植的植被退化问题是黄土高原普遍存在的问题。据调查,目前已建公路黄土边坡的植被防护在  $1 \sim 2 \text{ a}$  后开始出现不同程度的植物退化,表现为护坡植被遭受病虫害、枯萎退化、当地野草、微生物入侵,涵水固土的能力大为降低(表 3)。造成植被退化的原因主要有 3 种:植物养分的缺失、土壤干化和护坡植被的演化等。

表 3 护坡植被退化路段调查

实体工程	坡比	坡高/m	植被退化原因
西安机场专用线 K9+ 050	1: 1.0	20	土壤干化
西安机场专用线 K9+ 900	1: 0.75	25	土壤干化, 野草入侵
西安机场专用线 K14+ 300	1: 0.4	7	土壤干化, 野草入侵
西安绕城高速公路南段 K61+ 500	1: 0.3	8	土壤干化
西安绕城高速公路南段 K66+ 500	1: 0.5	10	土壤干化
西安绕城高速公路南段 K73+ 050	1: 1.0	12	土壤干化
西安绕城高速公路南段 K73+ 100	1: 1.0	16	阳坡土壤干化
阎禹高速公路 K173+ 100	1: 0.4	32	养分不足、土壤干化、野草入侵
铜黄高速公路罗圈梁隧道进出口	1: 0.75	80	养分不足、土壤干化、野草入侵、古土壤脱落
铜黄高速公路娄子沟隧道进出口	1: 0.75	55	养分不足、土壤干化、野草入侵、古土壤脱落
兰州机场专用线 K10+ 300	1: 0.75	25	土壤干化, 养分不足
榆靖高速公路 K179+ 400	1: 0.5	11	土壤干化
西安至黄陵高速公路 K64+ 600	1: 0.5	10	土壤干化, 养分不足

3.2.1 植物养分的缺失造成护坡植被的退化 对于刚开挖的边坡, 由于坡面土质新鲜, 生硬紧密, 养分贫乏, 影响植物生长。此时护坡植物的生长所吸收的养分大多来源于种植时人工添加的营养材料。由于添加的数量很少, 其营养物质仅能满足植物发芽生长前期所需部分。随着植物的继续成长, 其茎材的积累壮大越来越需要更多的养分。而如果长期不归还土壤中的养分, 养分的数量将越来越少, 土壤将变得越来越贫瘠。当植物生长所需的养分得不到满足, 种植植物的生长就会受到抑制, 导致植被衰落、退化。

与此同时, 当地的野草对环境的适应能力较强, 对养分的吸收具有更大的能力, 一旦有合适的机会在护坡植物当中生根发芽, 它们必然夺取四周植物的养料与水分, 造成周围植物的死亡。因此, 在一些试验路段可以发现植被退化的部位被当地的野草所占据的现象。

3.2.2 土壤干化造成护坡植被的退化 植被作用下的土壤干化现象在气候干旱少雨的黄土高原是常见的土壤水文现象。因此护坡植物也容易因土壤干化而退化。一方面是由于黄土高原少而集中的降雨特点造成的, 降水量越少, 发生的可能性越大, 土壤干化层亦有增厚的趋势。另一方面边坡的坡形设计是以排水为目的, 采用宽台陡坡坡形的边坡, 仅有少量的降雨被土壤吸收, 大部分转化为地表径流被排走, 这对需要拦截天然降雨补给护坡植物来说是矛盾的, 因此, 在黄土地区公路边坡, 天然降雨对土体水分的补偿作用是十分有限的, 土体很容易出现干层, 而且一旦形成干层很难得到恢复, 从而造成护坡植被大面积

的枯萎退化。同时, 黄土地区在进行植被防护技术试验时, 没有进行科学周全的规划, 片面的追求植物的成活数量, 在播种的时候多采取密集型的种植方式, 播种的草种往往要大于实际值, 造成植物发芽后所吸取的水量、养分大大的超出土壤的承受能力, 如果在雨季没有得到足够的补偿, 那么土壤的含水量将持续下降至凋萎湿度, 造成护坡植被大面积的枯萎退化。所以应该根据当地的土壤水分所承受的植物生长数量来设计植物的播种量。

3.2.3 植被群落的演化造成护坡植被的退化 按照演替理论, 自然界总是遵循由低级向高级发展模式演化。各类种群也在不断进行自身进化来适应自然的选择, 选择了最适宜生存的物种, 也选择了最适合的植被类型及结构。一个地区的天然群落时刻都与自然界保持着最协调、最平衡的关系。当它遭到破坏之后, 将重新进行迁移、定居、群聚、竞争、发展、稳定这 6 个阶段的演替。演替仍遵循与原生演替一样的由低级到高级的过程, 方向趋向于恢复到受到破坏前原生群落的类型。护坡植被作为一个不完善的群落必然在自然选择中开始它的演化过程, 最终复生至破坏前的原生植物群落。H. W. Cooper 等也认为尽管次顶极植物群落在某些时候占据优势, 但最终会形成稳定的适应于当地生态环境的顶极植被群落<sup>[13]</sup>。以现有的经济技术手段, 人工无法营造出一个状态稳定, 功能相差无几的原生群落。植被演化是人们无法改变的客观规律, 但是我们可以从护坡植物物种着手, 选取当地的原生物种或最接近于原生的物种, 采用类似于当地植物群落生长模式的多种属混播模式进行

种植,同时适当加大后期的养护力度,这样可以延缓护坡植被的退化速度。

### 3.3 植物防护的“贵族化”倾向

在交通部《公路环境保护设计规范》的生态环境建设中提到“应注重高速公路的绿化设计,选用适合当地生长的花草、灌木和乔木对路堤边坡、弃土场等进行绿化,防止水土流失。”防止水土流失是植物防护的目的,而采取的措施应是种植适合当地生长的花草、灌木和乔木。由于对植物防护理解的差异,带来了许多不甚理想的实例。一些建设单位不注重实际,盲目追求“三季有花,四季常青”,甚至是“园林化、景点式”绿化的效果,设计单位大量引进南方,甚至是国外的名贵花草进行种植。结果一是植物防护造价不断攀升,从而使整体工程造价上升;二是防护效果不甚理想,不但达不到“三季有花,四季常青”的要求,而且也达不到防止水土流失的目的。耗费大量的人力物力对其进行病虫害治理、杂草清除等工作,只能暂时维持护坡植被的稳定,延缓群落的演化。尽管人工植被作为次顶极植物群落在某些时候占据优势,但最终会通过外来物种枯萎退化、当地野草入侵等方式形成稳定的适应于当地生态环境的顶极植被群落<sup>[14]</sup>。因此,现阶段投入巨大的资金营造的植物防护工程,防护效果不错,但是时效性很差,效费比过低,有必要调整植被防护的思路。

## 4 结论

(1) 根据对陕西省几条高速公路黄土路堑边坡植被防护研究发现,植被防护在各试验路段得到了较为成功的应用,并取得了一定的经验。采用合适的坡型设计,平台植树,厚层基材喷播植草和三维网液喷播植草 3 种植物防护的效果较好。

(2) 黄土路堑高边坡植被防护目前存在的主要问题是:植被护坡措施选择不当,没有采用工程防护与植物防护相结合的综合防护措施;植被退化问题较

为严重,表现为护坡植被遭受病虫害危害、枯萎退化、当地野草、微生物入侵等;植物防护的“贵族化”倾向,使植物防护造价不断攀升等。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 赵之胜,倪万魁,谢永利,等.黄土地区公路高边坡防护技术研究[R].陕西省公路勘察设计院,长安大学,2004.
- [ 2 ] 龙忠福,唐成斌,刘秀峰,等.草本植物混播对公路边坡防护效果研究[J].中国水土保持,2003(3):30—33.
- [ 3 ] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用与评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):24—28.
- [ 4 ] 王库.植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J].土壤与环境,2001,10(3):250—252.
- [ 5 ] 卢金伟,李占斌.植被在水土保持中的地位和作用[J].水土保持学报,2002,16(1):81—83.
- [ 6 ] 吴淑安,蔡强国.土壤表土植物根系影响其抗剪性的模拟降雨试验研究[J].干旱区资源与环境,1999,13(3):36—44.
- [ 7 ] 杨喜田,董惠英,黄玉荣,等.黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J].水土保持学报,2000,14(1):77—81.
- [ 8 ] 陈兵,任久长.铜黄公路边坡植被建植研究[J].公路,2004(10):127—130.
- [ 9 ] 乔卫国.高速公路边坡植物防护设计方案探讨[J].公路,2004(8):176—178.
- [ 10 ] 杨晓华,王文生.土工格室生态护坡在黄土地区公路边坡防护中的应用[J].公路,2004(8):179—182.
- [ 11 ] 常恩柱,赵贵钧,韩顺学.我国北方高速公路的环境绿化与景观再造[J].公路,1998(3):33—36.
- [ 12 ] 王孟本.柠条林土壤水分生态环境特征研究初探[J].西北水土保持研究所集刊,1989(10):155—160.
- [ 13 ] Cooper H W. Some plant material and improved techniques used in soil and water conservation in the Great Plain[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1967, 12(4): 52—55.
- [ 14 ] 周德培,张俊云.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003.