

高速公路水土保持措施及其生态效益分析

——以沪蓉西高速公路湖北宜长IV标段为例

张锐¹, 张洪江¹, 江玉林², 陈宗伟², 程金花¹, 陈学平²

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 交通部科学研究院, 北京 100029)

摘要:以沪蓉西高速公路湖北省宜昌至长阳IV标段为对象,研究了该标段公路两侧边坡和弃土(渣)场的水土流失现状和水土流失防治措施种类及其布局。研究结果表明在挖方段边坡宜采用客土喷播技术,填方段边坡可采用拱形框架梁的护坡形式,弃土(渣)场则在削坡开级和修建挡渣墙、排洪沟基础上,可营造马尾松、栓皮栎混交林或刺槐、柏木混交林。通过对在典型地段采用插签法和布设径流小区获取的观测数据进行分析研究,实施水土保持措施前后弃土(渣)场土壤侵蚀量分别为 $5\,247.7\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 和 $1\,871.0\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,填方段边坡平均土壤侵蚀量分别为 $4\,781.1\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 和 $2\,196.6\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,其土壤侵蚀量消减率分别达到64.3%和54.1%。高速公路两侧绿化后能有效地改善公路路域小气候,保障行车安全。

关键词:高速公路;水土保持措施;生态效益;弃土(渣)场

中图分类号:S157;U412

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)05-0142-04

Soil Conservation Measures of the Highway and Its Ecological Benefit

——Taking Yichang IV, Hubei, Hurongxi Highway as a Case

ZHANG Rui¹, ZHANG Hong-jiang¹, JIANG Yu-lin²,

CHEN Zong-wei², CHENG Jin-hua¹, CHEN Xue-ping²

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on Yichang IV, Hubei, Hurongxi highway, the situation of the soil and water loss in the highway's slope and spoil disposal area was analyzed, also the kinds and the layout of the soil conservation measures were studied. The results showed that it was better to adopt external-soil spray seeding technique in the excavation section, and in the filled slope it can adopt vaulted frame measure. And in spoil disposal area the main protection measure is building *Pinus massoniana*, *Quercus variabilis* mixed forest and *Robinia pseudoacacia*, *Cupressus funebris* mixed forest, based on terrace, drainages and slag dam. Using the data of the runoff plots and insert-stick measure located in the typical area, after the measures the erosion amount in spoil disposal area reduced from $5\,247.7\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ to $1\,871.0\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$, and in the filled slope the erosion amount reduced from $4\,781.1\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ to $2\,196.6\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$. The soil erosion removal rate of spoil disposal area and filled slope reached 64.3% and 54.1%. Virescence in both sides of highway can adjust regional climate and safeguard drivers' safety.

Key words: highway; soil conservation measures; ecological benefit; spoil disposal area

高速公路建设有效地促进了国民经济的高速发展,但它对环境的不利影响却是决策者们不得不面对的严峻事实。沪蓉西(上海至成都高速公路西段)高速公路建设也同样面临着多种生态环境问题,例如公路建设使其周边的植被盖度降低、局部植物种类减少、弃土(渣)场水土流失严重、流失土沙造成河道湖泊的淤积和阻塞等,公路填挖工程产生大面积裸露边坡,尤其是在山丘地区不良地质条件的开挖地段,可诱发滑坡和泥石流等灾害的发生。因此,针对IV标段的水土流失为研究对象,对该标段弃土场和边坡采取的水土保持措施及其生态效益进行分析研究,为较好地控制水土流失,恢复

植被,改善生态环境制定相应措施提供依据。

1 自然条件概况

沪蓉西高速公路宜长段位于湖北省境内西南部,所经区域地形地貌复杂,地势西南高,东北低,自西向东呈梯级下降。地处中纬度,介于东经 $108^{\circ}23'$ ~ $111^{\circ}26'$,北纬 $29^{\circ}07'$ ~ $31^{\circ}24'$ 之间,属亚热带大陆性气候区,其光照充足,雨量充沛,多年平均降雨量 $1\,150\text{ mm}$,四季分明,雨热同期,无霜期长。研究区段内林草覆盖度较高,植物资源丰富,主要森林类型为针阔混交林,其中阔叶树以栓皮栎(*Quercus variabi-*

收稿日期:2006-07-23

基金项目:交通部西部交通科技项目“公路路与生态工程技术研究”的部分研究内容(20033182233)

作者简介:张锐(1982-),女,硕士,主要从事水土保持研究。

通讯作者:张洪江,教授,博士生导师,主要从事流域管理和土壤侵蚀研究。

lis)、油桐(*Vernica Lour*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和棕榈(*Trachycarpus fortunei*)为主,针叶树中柏木(*Cupressus funebris*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)占优势,灌木中慈竹(*Sinocalamus affinis*)、毛黄栌(*Cotinus coggygia*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、马桑(*Coriaria sinica*)、黄荆(*Vitex negundo*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)较为普遍,草本中蕨类(*Asplenium*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)、羊胡子草(*Carex polyschoenoides*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、蒿类(*Artemisia L.*)较多,此外还有多种藤本植物以及古老珍稀树种。乔木中柏木、马尾松为建群种,灌草总盖度多在90%以上。

研究区土壤为山地黄棕壤,土层厚度多在15 cm左右,枯枝落叶层厚度为2.0~3.0 cm,盖度为60%~95%。山地黄棕壤的有机质与全氮含量均较高,一般有机质含量为3.72%~11.83%,全氮为0.018%~0.177%,但由于土壤酸度较大,有机氮矿化过程比较弱,供氮能力较低,黄棕壤盐基淋溶较强,一般呈弱酸性到中性反应,pH值在5.0~6.7之间,质地为黏壤土。

2 水土流失现状

研究地区土壤侵蚀类型主要为水力侵蚀,局部有重力侵蚀发生,土壤侵蚀模数多为800~2 000 t/(km²·a)。

挖方边坡位于主体工程两侧,由于高速公路宜长段地处鄂西山地,穿越丘陵及山区,山坡坡面较陡,复杂地形导致大量开挖边坡,且超过3~5 m的高边坡数量较多,坡比大多为1:0.5。出露地层岩性主要为砾岩、砂页岩和石灰岩,研究区段以砾岩和砂页岩为主,边坡岩石风化程度严重,该区段边坡裸露面积约为2 100 m²。

填方边坡为砂砾土堆积而成,路基随地形变化其高度多在5~15 m不等,坡比为1:1.5,裸露路基边坡面积约为7 100 m²。由于不同地段填方所含土、砾、砂数量的差异,填方边坡极易产生水力导致的面蚀和沟蚀等侵蚀形式。

弃土(渣)场位于女娘山隧道入口附近的沟谷处,弃土弃石堆放在原自然沟道内,坡面未采取相应的水土保持措施。堆积物靠自重挤压压实,表面较为疏松,易发生水土流失。边坡堆置坡度为42°,部分边坡已经产生崩塌现象,堆渣坡面出现宽度不等的裂缝。其堆渣体总量约为18万m³,其裸露表面积约为1.25万m²。

3 水土保持措施配置

3.1 挖方段边坡工程措施

宜长IV标段主体工程两侧的挖方段形成的岩石边坡,基本上不具备植被生长所必需的土壤条件。所形成的边坡坡度较大,使边坡地表径流速增大,受水力侵蚀作用明显。因此,挖方段边坡宜采用客土喷播方式进行再造植被。客土喷播方式,是将土壤与有机基材、高分子黏结剂、保水剂、肥料和种子等,按一定数量比例混合,经充分搅拌后,利用注浆泵和空气压缩机提供动力,将其喷射到坡面上,形成适宜植物生长的人造土壤层^[9],对边坡起到稳定和绿化美化作用。

3.2 挖方段边坡生物措施

裸露基岩面上的生物措施的实施须辅以相应的客土工

程,以创造植被生长所必须的土壤条件,在我国南方地区,所用的客土材料pH值多为6.75,全碳含量0.359%,全氮含量0.043%,有机质含量0.691%。路堑挖方边坡的生境条件较为特殊,水分、养分条件差,一般的植物难以正常生长,因此尽量选取速生、抗逆性强、耐瘠薄、抗旱的草本或小灌木等作为绿化材料。根据当地植物种类及其生长状况,应选紫穗槐、美丽胡枝子(*Lespedeza formosa* (Vog.) Koehne)、黄荆、毛黄栌、马桑、火棘、盐肤木(*Rhus chinensis*)、狗牙根、画眉草等作为绿化植物种。

3.3 填方段边坡工程措施

宜长IV标段的填方路基边坡坡比为1:1.5,高度5~15 m不等,面积约为7 100 m²。针对路基边坡坡度大,土壤熟化程度差的特点,研究区填方边坡采用拱形框架梁与混凝土制作的框架梁。框架梁设计为宽2 m,总长3.5 m,拱形框顶部为一半圆,半径为1 m,隔墙宽0.5 m。框架梁在边坡形成一定规格的混凝土网格,其内回填土壤,形成植被生长所需的基质,这种与生态护坡结合考虑的护坡方式,既能满足固坡强度的要求,也能达到景观生态美观的目的。根据现场土壤较为缺乏的情况,框架梁内填10~20 cm厚的泥质页岩风化物,其砾石含量应≤25.8%。施工方法较简单,形成的植被基层有一定厚度,有利于水分的保持和地表水的涵养,为草本、灌木、甚至乔木生长创造了基本条件。

3.4 填方段边坡生物措施

框架梁内回填土主要为泥质页岩风化而成的物质,泥质页岩岩层松散,其质地较细,保肥能力强,土壤透水通气性差,持水量较大,pH值较低,其物理特性见表1。覆土厚度为12~15 cm。

表1 框架梁土样颗粒粒径组成

项目	<2 mm	2 mm~	2 mm~	4 cm~	6 cm~
		2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
比例/%	74.20	10.48	7.18	0.00	8.32
累计比/%	74.20	84.68	91.86	91.86	100.00

针对填方边坡土壤条件,主要选择抗逆性强、耐瘠薄、耐干旱、根系发达、分蘖能力强的植物,以在尽可能短的时间内防治因地表裸露产生的土壤侵蚀,做到乔、灌、草、花的合理搭配,打破传统单一植草的现状,改善高速公路景观。

据当地植物生长状况调查,选用的植物种可为刺槐、毛黄栌、火棘、画眉草、云实(*Caesalpinia decapetala* (Roth) Alston)、盐肤木、马桑、狗牙根、黄荆、紫穗槐、美丽胡枝子、慈竹等。

路基边坡草种和灌木种均采用人工撒播方式,与细纱混合后均匀地撒播于框架梁内。不同植物种的配比组合应根据框架梁所在公路路段情况及公路景观要求进行具体设计。

3.5 弃土(渣)场工程措施

由于弃土(渣)场的堆渣量和堆积体形成的面积较大,且部分渣坡已发生崩塌现象,所以弃土弃渣场的生态恢复,前期应以工程措施为主,后期主要以植物措施为主,在防治水土流失的同时,起到改善生态环境的作用。

在弃土(渣)场不同部位采取不同水土保持防治措施,渣

体进行削坡(削坡坡度不大于 35°)后在渣体下部修建挡渣墙,挡渣墙不适宜过高,一般为重力式挡渣墙。墙体设排水孔,入口处用粗砂材料建反滤层。挡渣墙下游面修建排水渠,并根据汇水面积计算洪峰流量,设计排洪渠过水断面。

渣体削坡开级,边坡采用大平台形削坡开级形式,每渣高 10 m 为一级。削坡所形成的马道宽度为 4 m 左右,马道内侧设排水沟,将地表径流排向其周边水沟。

渣场四周设排洪沟,为防止地表径流直接冲刷渣体,应根据当地水文资料设计(可按 10 a 一遇或 20 a 一遇洪水计算)排洪沟。

3.6 弃土(渣)场生物措施

据表 2 弃土(渣)场粒径分析结果,弃土(渣)场堆土土壤粒径从 <2 mm,到 >8 cm 的范围内均有分布,其中 >2 mm 的砾石含量高达 85.56%。

表 2 弃土(渣)场土样颗粒粒径组成项目

项目	<2 mm	2 mm~2 cm	2~4 cm	4~6 cm	6~8 cm	>8 cm
比例/%	14.44	29.32	19.60	23.90	5.55	7.28
累计比/%	14.44	43.67	63.27	87.17	92.72	100

弃土(渣)体通透性良好,排水快,但一般很少有速效矿质养料,保持水分的能力也很差,且有机质、全氮、全碳等养分含量都很低。

因此,在选择绿化材料时,除了选择抗逆性强的植物种外,还要以根系发达、生长快、绿期长、能迅速覆盖地表、成活率高,并能吸收深层水分和养分的植物为主,如马尾松、柏木、栓皮栎、刺槐、美丽胡枝子、紫穗槐、马桑、黄荆、火棘、野蔷薇、画眉草、狗牙根。混交形式可为马尾松、栓皮栎混交,或刺槐、柏木混交等。

根据弃土(渣)场的立地条件选择树种。一般情况下,刺槐、柏木、栓皮栎初植密度的株行距为 2.0 m×2.0 m,马尾松初植密度的株行距为 2.0 m×3.0 m,灌木初植密度一般为 1.0 m×1.0 m,草种播量以当年至次年能覆盖地表为宜。植苗与播种造林结合。造林整地以人工挖穴为主,栽植时先回填表土,并施用一定量的有机肥为宜(图 1)。

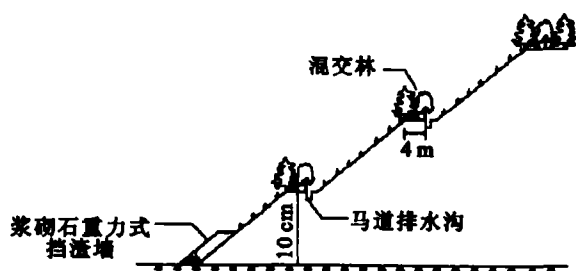


图 1 弃土(渣)场水土保持措施布设

4 生态效益分析

4.1 减少土壤侵蚀量

在对公路沿线进行综合调查基础上,在弃土(渣)场 I 布设径流小区观测坡面土壤侵蚀和坡面产流,并在填方段边坡和弃土(渣)场 II 选取典型坡面,采用插签法观测土壤侵蚀情

况(表 3 和表 4)。

土壤侵蚀量削减率 $h(\%)$ 是水土保持项目评价指标之一,它表示了实施措施后土壤侵蚀量的减少程度,是衡量其生态效益大小及所实施水土保持措施的效果,若以裸露边坡的土壤侵蚀量为 100%,则实施不同措施后的土壤侵蚀量及其消减率见表 3 和表 4。

$$h = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100\%$$

式中: M_1, M_2 ——措施实施前后土壤侵蚀量。

表 3 不同混播形式边坡土壤侵蚀量对比

混播形式	植被盖度/%	土壤容重/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	土壤侵蚀量/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	侵蚀量消减率/%
乔灌木混播	61	1500.47	2525.8	47.2
灌木混播	73	1500.47	1867.3	60.9
裸露边坡	8	1500.47	4781.1	—

表 4 弃土(渣)场土壤侵蚀量对比

弃土(渣)场	植被盖度/%	土壤容重/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	土壤侵蚀量/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	侵蚀量消减率/%
弃土(渣)场 I	75	1871.0	64.3	—
弃土(渣)场 II	6	1569.195	5247.7	—

边坡和弃土(渣)场表层生长的植被,主要通过自身枝叶覆盖和土壤根系固持土体作用,使表层土壤免受雨水的直接打击,增加土壤的抗蚀能力,减缓了坡面径流流速,从而起到减少土壤侵蚀量的作用。由表 3 和表 4 知,在 0.4~17.8 mm/d 雨量范围内,33.7°边坡上植被平均盖度为 67%,边坡土壤侵蚀量消减率平均为 54.1%,弃土(渣)场植被盖度为 75%,土壤侵蚀量消减率达到 64.3%。填挖裸露面和弃土(渣)场植被长成后,不仅有效地稳定了边坡,还防止了滑坡、崩塌等水土流失形式的发生,控制了入河泥沙量,做到泥沙就地拦截,保护了高速公路沿线生态环境。

4.2 净化大气,降低污染

来自大气、汽车等交通工具的有毒有害气体,通过植被带时可被吸收或吸附在植物的枝叶,而且植物的光合作用能够吸收 CO_2 ,释放出 O_2 ,植物枝叶还能稀释、吸收和固定周围大气中的有害气体,并具有吸收噪音、多方位反射太阳光线、降低噪音和降低强光照的作用^[5]。因此,在高速公路两侧进行绿化,不仅可有效地改善高速公路的小气候,还能在一定程度上提高路标、警示牌的可见度,给驾驶者提供一个轻松愉快的视觉环境,从而提高行车安全度。

5 结语

解决高速公路建设所产生的多种环境问题,是高速公路建设优劣的重要影响因素之一。通过对建设过程中沪蓉西高速公路宜长段水土流失防治措施的研究,采取相应防治措施,可有效抑制施工区及其周围影响区域范围内的水土流失,减少滑坡等灾害的发生,改善生态环境,既可为人们创造出和谐的路域环境,同时又可提高高速公路的行车安全性。

水土保持作为高速公路建设中必不可少的内容之一,在

水土流失防治中必须做到预防为主,开发建设与水土流失防治并重。只有切实保证各项水土保持措施的实施,才能达到控制水土流失、保护水土资源、维护生态环境、确保公路安全运行、促进经济发展的总体目标。

参考文献:

- [1] 郑科,朗南军,等.水土保持生物措施的研究[J].水土保持研究,2003,10(2):73-75.
- [2] 席承藩,许琪,马毅杰,等.长江流域土壤与生态环境建设[M].北京:科学出版社,1994.
- [3] 祝列克,等.全国林业生态建设与治理模式[J].中国林业出版社,2003.
- [4] 卓慕宁,李定强,等.高速公路边坡快速绿化技术的应用与水土保持效果[J].水土保持研究,2004,11(3):106-108.
- [5] 潘树林,等.论边坡的生态恢复[J].生物学杂志,2005,24(2):217-221.
- [6] 舒翔,杜娟,等.生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J].公路,2001,(7):86-89.
- [7] 赵华,黄润秋.岩石边坡生态护坡特点及其关键技术问题探讨[J].水文地质工程地质,2004,(1):87-90.
- [8] 李绍才,孙海龙.中国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势[J].资源科学,2004,(26):61-66.
- [9] 章梦涛,丘金淡,颜冬.客土喷播在边坡生态修复与防护中的应用[J].中国水土保持科学,2004,2(3):10-12.
- [10] 张昌松,等.山区公路建设水土流失的原因及防护[J].湖北民族学院学报,2003,21(2):94-96.
- [11] 李玉娥,等.洛三高速公路弃土场、取土场类型与防护措施[J].中国水土保持,2003,(4):29.
- [12] 伍卫良,等.开阳高速公路水土流失成因与综合防治[J].公路,2003,8(上):127-130.
- [13] 袁平成,等.泰井高速公路的边坡绿化[J].江西林业科技,2005,(1):27-28.
- [14] 周长军.三维植被网路基边坡防护工艺[J].交通科学与经济,2004,(21):30-33.
- [15] 欧宁,李轩,等.高速公路岩质及不稳定边坡工程与生物防护结合技术研究[J].公路,2003,(1):106-111.
- [16] Gray D H, Sotir B R. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control [M]. Toronto: John Wiley & Sons, 1996.
- [17] Brow F, Clark J. The west Coast Road in St Lucia, an approach to slope stabilization [A]. Barker D H. Vegetation and Slopes Stabilization, protection and ecology [M]. London: Thomas Telford, 1995. 172-183.
- [18] Ministry of Works and Transport (Nepal). Use of Bioengineering in the Road Sector (Geo-environmental Unit) [Z]. 1999.
- [19] Nordin A R. Bioengineering to ecoengineering. Part one: the many names [J]. International Group of Bioengineers Newsletter, 1993, (3): 135-139.
- [20] Morgan R R C, Rickson R J. Slope stabilization and erosion control: A Bioengineering Approach [M]. London: E & EN Spon, 1995. 274.
- [21] Horton J L, Kolb T E, Harts S C. Responses of riparian trees to interannual variation in ground water depth in a semi-arid river basin [J]. Plant Cell and Environment, 2001, 24(3): 293-301.
- [22] Brunke M, Gonser T. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater [J]. Freshwater Biology, 1997, 37: 1-33.

(上接第98页)

建设,只是石嘴山市水环境功能区划的一部分,项目采用了先进的GPS、GIS技术进行数据的采集、合成,真实地反映了目前石嘴山市的水环境的功能、地理空间等属性数据,为石嘴山市的远景规划提供了科学的数学依据。本文只是对建立水环境功能信息数据库进行了一些简单的探讨,很多问题还有待于在今后的实践中研究。

参考文献:

- [1] 庞治国,李纪人,徐美.全国水环境信息数据库的设计与实现[J].煤田地质与勘探,2003,31(2):45.
- [2] 金建华,曾德飞,杨晓芳. GIS在水污染控制中的研究与探讨[J].新疆环境保护,2004,26(2):1-4.
- [3] 黄杏元,马劲松,汤勤.地理信息系统概论[M].北京:高等教育出版社,2001. 165.
- [4] 汤国安,陈正江,赵牡丹. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M].北京:科学出版社,2002. 107.
- [5] 尹魁浩,翁立达.地理信息系统技术在水资源开发利用和保护领域中的应用[J].水资源保护,1999,(1):10-14.
- [6] 林侃.地理信息系统在水环境功能区工作中的应用[J].福建环境,2003,20(4):27-28.