

黄土丘陵区山坡道路防蚀措施设计与效益分析

李波^{1,2}, 徐学选², 张良德¹, 胡伟², 李星¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对黄土丘陵区山坡道路侵蚀问题, 提出了以工程措施和林草措施相结合的山坡道路防蚀工程配置方案、布设原则等, 包括工程措施中路面起拱、路边布设蓄水池、蓄水窑窖和截水沟等配置方案和路面种草的草种选择。多年野外实地调查与路面路段监测的结果表明, 工程示范路段蓄水池、窑窖和植物措施的综合配置使山坡道路侵蚀模数减少了 40% ~ 82%。植物措施示范路段在次暴雨强度下较裸露地面道路侵蚀模数减少了 58% ~ 70%, 径流减少了 50% ~ 69%。路面起拱、蓄水槽、窑窖、截水沟、植物措施的综合配置可以有效地防止山坡道路侵蚀。

关键词: 山坡道路侵蚀; 生物与工程防治措施; 黄土丘陵区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0037-04

中图分类号: S157.2

Rural Road Erosion Controlling Design and Its Performance Analysis in the Loess Hilly Region

LI Bo^{1,2}, XU Xue-xuan², ZHANG Liang-de¹, HU Wei², LI Xing¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Aimed at reducing rural road erosion in the loess hilly region, some engineering measures and biological measures were initially proposed. The engineering control measure design was outlined here, which includes arching center road, blocking and cutting road flow by pond, water storage cellar, and cut-off ditch along road side. Some grasses suitable to road surface planting were also selected. To evaluate the effect of the road erosion controlling designs, several road sections were taken to monitor road erosion for several years. Results showed that intercepted sediment volume from the section with integrated engineering measures was a decrease of 40% ~ 82% compared with no protective measure section. In grass-covered section, erosion modulus was decreased by 58% ~ 70% and runoff, by 50% ~ 69% compared with the bare road. Practice has proved that the integrated conservation measure of water storage tank, cellar, cut ditches, and planting can effectively prevent road erosion.

Keywords: hilly road erosion; engineering and biological control measures; loess hilly region

黄土高原严重的水土流失, 主要来自沟道与坡面, 其中发生在坡面的主要是坡耕地与道路。山坡道路修筑由于改变了坡面径流泥沙的自然汇集过程, 常常使径流变得更加集中, 致使径流挟沙力倍增, 沟谷侵蚀加剧, 最终导致更为剧烈的水土流失。研究表明, 农村道路侵蚀已经成为该区生态环境危害最集中, 单位面积危害最严重的生态问题, 并最终制约了区域经济的发展^[1]。黄土丘陵区道路水土流失量已占流域总输沙量的相当比例。徐学选^[2]等研究认为

仅占流域 1% 的道路面积, 产沙量却达到流域总产沙量的 42%。近年来在道路路面的利用和开发以及防蚀措施的应用上也取得一定进展, 主要表现在道路种草的可行性草种选择和蓄水池、截水沟等措施的实施等方面^[3-4]。而道路种草被认为是减少道路侵蚀的主要措施, 世界各地在这方面都有研究^[5-7]。对山坡道路如何进行合理的规划设计, 如何进行合理有效的水土保持措施配置是亟需研究和解决的现实问题, 对新农村建设也具有重要的指导意义。

收稿日期: 2009-08-12

修回日期: 2009-12-25

资助项目: 国家科技支撑计划“坡面降雨径流调控与高效利用技术”(2006BAD09B01-5)

作者简介: 李波(1984—), 男(汉族), 陕西省户县人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持。E-mail: libobo8431@yahoo.com.cn。

通信作者: 徐学选(1966—), 男(汉族), 陕西省大荔县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为生态水文。E-mail: xuxuexuan@nwsuaf.edu.cn。

1 研究区概况

黄土丘陵区属于典型干旱半干旱地区,气候特点为冬春干旱少雨,秋夏多大、暴雨。本研究以黄土丘陵区燕沟流域为研究区,该流域沟壑密度为 $3.5 \text{ km}/\text{km}^2$,主沟纵比降为 2.14% ,土壤侵蚀模数为 $6\,500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,通常是由几次暴雨或大暴雨形成的占全年 90% 以上水土流失量。试验在燕沟四岔铺、鸡蛋峁和赵庄几个村庄进行。

道路侵蚀由于路面容重比较大,加上道路几乎没有防护措施,入渗率小,故基本上侵蚀动力是以股流冲刷为主,破坏性很大,往往使路面被冲毁,造成交通中断。而且在暴雨期间,路堤、路堑也易发生崩塌、滑坡。据郑世清等对燕沟流域 25 个山坡道路测点的实地调查,山坡道路侵蚀沟最长达 60 m ,最大沟深达 0.6 m ,侵蚀相当严重。在调查的过程中发现,在峨岷等地方,由于回填土质疏松,遇到汇水冲刷,极易造成陷穴等严重的侵蚀危害。

2 山坡道路设计的原则、技术指标

2.1 规划原则

应按照小流域综合治理规划,合理布局沟道、坝系、村落系统、山坡梯田、果园等道路网。路线走向应该合理利用地形,避免深挖高填。主要作业区应保证行车安全。树草选择应遵照乡土树草为主,适应引进为辅的原则。

2.2 生产道路技术指标

沟坡道路规划与四级公路显著不同之处是道路的极限最小平曲线半径采用“解放 CA140”和“东方 EQ140”型载重汽车最小转弯半径 $R=8 \text{ m}$,可以满足农用车安全正常行驶。对于只有小四轮拖拉机、架子车行驶的道路, R 值还可减小。从农用机动车(中型拖拉机、小四轮拖拉机、农用车)的主要使用性能出发,提出主要技术指标为:路面地形为黄土高原丘陵沟壑坡面,行车速度为 $20 \text{ km}/\text{h}$,路面宽度为 $4\sim 5 \text{ m}$,路面纵坡为 $7\%\sim 9\%$,最小回头曲线半径 $R=8 \text{ m}$,转弯处的停车视距为 16 m ,山坡生产型道路防洪设计标准按 10 年一遇设计,20 年一遇校核。

3 山坡道路防蚀工程设计

道路防蚀措施以增加降雨就地入渗、拦蓄为核心,贯彻“上拦,下护,路蓄,合理引排”的方针,综合配套实施。

3.1 路面产水量估计

以减少路面侵蚀的道路防蚀措施(如窑窖、蓄水

槽),其设计主要在于截断或收集道路路面产水产沙。设计原则是最大可能拦蓄道路路面产生的径流。

3.1.1 设计暴雨量计算 设计暴雨的计算,可采用地区《实用水文手册》中给定的方法和参数进行。一般采用流域所属区域的某一发生概率下年最大 24 h 暴雨量为基础进行设计,具体如下式。

$$H_{24p} = K_p \cdot H_{24} \quad (1)$$

式中: H_{24p} ——频率 P 的 24 h 暴雨量 (mm); H_{24} ——年最大 24 h 暴雨均值 (mm); K_p ——频率为 P 的皮尔逊 III 型曲线模比系数,取值为 3.0。

按照陕西省水土保持工程地方标准,沟坡梯田一般按 10 年一遇设计,因而山坡生产型道路防蚀工程也按 10 年一遇设计。延安流域 10 年一遇 H_{24} 暴雨量为 107.86 mm 。

3.1.2 道路径流系数的确定 道路土壤容重一般为 $1.4\sim 1.60 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。郑科等^[8]研究认为,根据对黄土高原不同类型的道路野外人工降雨试验,在降雨强度为 $0.57\sim 3.33 \text{ mm}/\text{min}$ 时,径流系数最高为 $60\%\sim 70\%$,因此在设计中道路径流系数取 $60\%\sim 70\%$ 。

3.1.3 道路产流潜力 根据上述的暴雨量和暴雨径流系数的确定,路面汇流量主要取决于路面长度、宽度。其计算公式为:

$$Q = R \cdot H_{24p} \cdot L \cdot B \quad (2)$$

式中: Q ——产流潜力; L ——道路长; B ——路面宽度。

3.2 道路防蚀措施布局与技术指标

3.2.1 道路防蚀工程措施

(1) 拱形路面。路面修成拱形(图 1a),中心拱高 $20\sim 30 \text{ cm}$;经车辆压实以后,拱高落至 $10\sim 15 \text{ cm}$,可起到分散径流的作用。出于路面防蚀的考虑,弯道路面外圈不设超高,只是把拱顶移至距外边缘 B 处(图 1b)。一方面这是为了向外围分散一部分路面径流(包括上部来水),防止全部径流向圈内集中。另一方面,鉴于机动车在沟坡道路只限于无雨天低速行驶,粗糙路面对弯道路处的行车有足够的抗倾覆力。临坡一边的路肩一般不设边埂,以便使半边路面径流分散流入边坡。路边紧接深沟的危险处,可设置边墙。

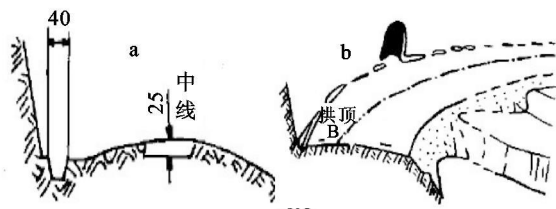


图 1 拱形路面示意图

(2) 集水窑窖。路边下部挖蓄水窑窖, 沿路每隔 25 m 布设 1 个。根据 10 年一遇 H_{24} 暴雨量 107.86 mm, 山坡生产型道路最常见宽度 5 m, 每相邻窑窖间隔为 25 m 计算: 将汇水面视为矩形, 由于路中间拱的存在(不包括弯道), 每个窑窖汇水面积为 $2.5 \text{ m} \times 25 \text{ m}$, 再结合 H_{24} 和径流系数, 可计算出每个窑窖的集水量约为 $4.1 \sim 4.7 \text{ m}^3$ 。故设定渗水窑窖的容积约 6 m^3 (图 2)。为增加窑窖的入渗能力, 蓄水部位不作防渗处理。

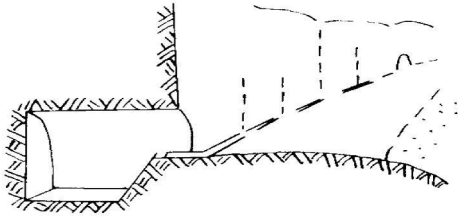


图2 蓄水窑窖

(3) 蓄水槽。蓄水槽设置的路面靠下边坡一侧, 根据汇水面积计算, 沿路每隔 5 m 布设一个。每个蓄水槽的长、宽、深分别为 200, 60, 80 cm, 容积为 0.96 m^3 (图 3)。槽子之间设置原状土土档, 顶宽 50 cm, 以截蓄水流, 并采用草皮护理。

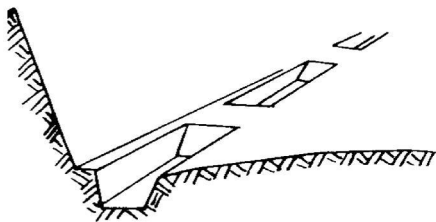


图3 蓄水槽

(4) 截水沟。截水沟布置在路边土崖之上。土崖之上的坡面未得到整治时才加以设置。壕沟断面宽 0.8 m^2 , 深 1.2 m; 位置距崖边 5 m; 走向与路面平行(图 4)。为了彻底拦蓄土崖之上的洪水, 土崖之上的坡面应修成梯田, 或者修成水平阶造林(图 5), 就不需设置截水沟。

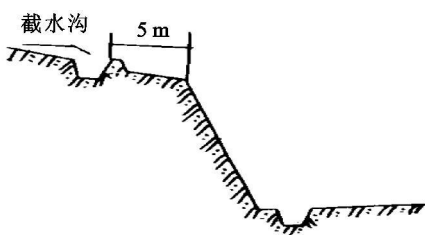


图4 截水沟布置

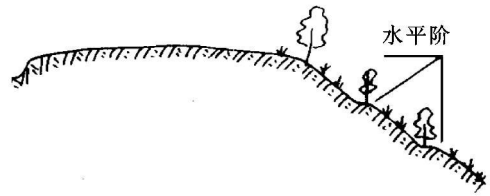


图5 边坡植被防护

(5) 跨越沟渠的防冲处理。道路越过冲沟或切沟, 郑世清^[9]等研究认为当上游汇水面积小于 0.15 km^2 , 沟缘线以上的土地得到整治, 保证无洪水下沟时, 可采取填堵沟槽作为坝顶路面过沟, 如果上游集水面积大于 0.15 km^2 , 洪水问题无法解决时, 须修筑路下涵洞过水。

(6) 羊肠小道防蚀措施配置。道路上方坡面侵蚀沟及“之”字状分布的羊肠小道, 通常构成较为复杂沟蚀系统, 对山坡道路水土流失产生重要影响, 因此, 采取相应的防护措施就显得尤为重要。但是, 在道路防蚀上常被忽视。在防护措施配置上, 应按照“上拦, 下护, 路蓄, 合理引排”的方针进行配置, 确保上方坡面径流不直接汇入沟坡道路上。

3.2.2 生物防护措施 (1) 边坡生物防护。路基边坡由填方土堆成, 坡度为 1:1.4 (36°), 土体会逐步陷实。边坡宜栽培草、灌木植被加以保护。曹世雄、郑世清^[10-11]等研究提出可供选择的草灌有: 小冠花、白三叶草、黄花菜、沙打旺、胡枝子、紫穗槐、山桃、山杏、爬地柏、连翘、柠条、沙棘、黄刺玫、虎榛子以及野生的混杂草灌。行道树主栽树种应选择山桃、山杏、土槐、桑、矮化枣树等。为了不影响路旁的农田和果园, 一般不选择杨树、刺槐、松柏、泡桐作行道树, 最好以乡土草灌为主进行配置。(2) 路面生物防护。山坡生产型植物路面草种选择是一项世界性难题, 到目前为止远未形成成熟的技术体系, 通过一些研究和调查, 确定以乡土草种为主, 适当引入草种为辅的原则。选择草种时按以下标准: ① 生长速度快; ② 根系发达, 网络状, 具有强的无性繁殖能力; ③ 喜阳耐践踏, 耐瘠薄, 抗逆再生能力强; ④ 栽种简单易成活; ⑤ 外观叶硬、细, 革质、蜡质, 自由水含量低, 纤维素含量高(对路面而言, 茎矮化, 柔韧性强); ⑥ 进行组合时, 考虑地面部分、地下部分空间与时间互补性。

近年, 曹世雄、郑世清^[12-13]等研究得出一些较为适宜的植物路草种。如白羊草、披碱草、陕北冰草、胡枝子、灯心草、燕麦、小冠花、无芒雀麦、宾草、紫羊茅。从生态和经济综合角度考虑, 陕北冰草和无芒雀麦是黄土丘陵区道路种草的最佳草种, 陕北冰草、胡枝子、小冠花、无芒雀麦、寿命可达 50 a 以上, 应成为植物路的首选品种。

4 道路防蚀措施的效果评价

对延安市燕沟流域四岔铺村上山路段的 3.02 km 综合治理路段 2003—2005 年的雨后观测结果表明(表 1),侵蚀模数随着道路坡度的增加而增加,在路宽、坡度和坡长基本相同的情况下,有蓄水池的路段比无蓄水池的路段侵蚀模数减少了 55%(路段 6—7),有窑窖的路段比无窑窖的路段侵蚀模数减少了 80%(路段 4—5),有植物措施防护的路段比裸露地面的路段侵蚀模数减少了 40%~62%(路段 8—14),蓄水池加上横坡草带的路段比裸露的路段平均侵蚀模数减少 82%(路段 15)。说明植物防护配上蓄水槽和蓄水窑窖能很好地防止路面侵蚀沟的形成,对山坡道路起到了明显的防护作用。

根据延安市燕沟流域鸡蛋砭村植物路 12 个径流路段(坡长均为 20 m)观测资料(表 2),对植物路与裸露土质路面产流产沙规律进行了研究。观测分析结果表明,裸地面路段(1—2 号路段)侵蚀模数为 358.9~701.0 t/km²,其它路段有草覆盖道路的侵蚀模数平均为 150.82~213.23 t/km²,裸地面径流深为 14.70~17.07 mm,其它路段有草覆盖道路的径流深平均 4.57~8.53 mm,有草覆盖的道路在次暴雨强

度下较裸露地面道路侵蚀模数减少了 58%~70%,径流深减少了 50%~69%。通过 2008—2009 年对赵庄村庄至梁砭顶 2 km 植物路段进行实地观测,经过 5 a 生长的植物路,路面植物覆盖度达到 50% 以上,路面上无侵蚀沟发生。这进一步说明了植物路对道路防蚀防冲起到了明显的保护作用

表 1 山坡综合治理示范路段侵蚀量监测结果

路段 编号	路面 处理	路宽/ m	路段 长/m	坡度/ (°)	侵蚀模数/ (t·km ⁻²)
1	横坡草带	3.80	144	2~4	0
2	蓄水池和横坡草带	3.80	141	3	1 842
3	窑窖和横坡草带	3.80	345	3~5	1 467
4	无窑窖	3.98	460	5	9 858
5	窑窖	3.40	630	4~6	1 965
6	蓄水池	4.00	220	4~6	6 175
7	无蓄水池	3.57	245	4~6	2 762
8	横坡草带	4.20	390	12~14	9 057
9	裸露地面	4.30	325	8~10	15 278
10	裸露地面	3.00	96	10~12	19 388
11	裸露地面	4.30	85	8~10	11 299
12	裸露地面	4.30	84	8~10	10 883
13	裸露地面	4.50	70	8~10	13 715
14	横坡草带	5.30	72	8~10	4 074
15	蓄水池和横坡草带	3.90	150	14~16	2 508

表 2 道路径流路段产流产沙定点监测结果

路段 编号	路宽/ m	坡度/ (°)	路面处理	2005 年 7 月 5 日降雨		2005 年 7 月 26 日降雨	
				径流深/ mm	侵蚀模数/ (t·km ⁻²)	径流深/ mm	侵蚀模数/ (t·km ⁻²)
1	3.0	8~9	裸地面	15.4	701.0	17.07	595.88
2	3.5	6~7	裸地面	14.7	358.9	16.29	657.94
3	3.5	4.5~8	横坡草带	5.6	239.1	10.60	269.03
4	3.0	8.8~10	横坡草带	5.0	140.6	10.08	245.97
5	3.2	8	横坡草带	2.7	65.6	7.47	131.28
6	3.0	7~9	横坡草带	10.9	175.2	13.07	175.21
7	2.8	7~8	横坡草带	10.4	375.0	12.03	112.50
8	3.0	5.5~9	横坡草带	3.7	132.8	18.25	733.87
9	2.6	3~6	横坡草带	2.1	140.4	7.59	160.49
10	2.5	0~1	横坡草带	3.1	83.2	3.50	20.80
11	2.5	0~1	横坡草带	1.3	37.4	1.59	8.32
12	2.8	8~14	横坡草带	0.9	118.9	1.12	274.86
平均	2.95			4.57	150.82	8.53	213.23

注:平均值为横坡草带处理的平均。

5 结论

在新农村建设的新形势下,对黄土丘陵区山坡道路进行合理的规划设计具有重要的现实意义,对山坡道路进行路面起拱、蓄水槽、窑窖、截水沟、植物措施等防蚀措施的综合配置可以有效地防止道路侵蚀,减少水土流失。在对山坡道路侵蚀的综合防护措施的

配置上,不能忽视道路上坡面侵蚀沟系统有效防护,特别是羊肠小道与侵蚀沟混合发生坡面的综合治理,山坡道路的侵蚀防治不仅要积极采取工程措施,更要采取生物措施,积极开展路面种草,路畔植树造林和路面集水灌溉,变害为利。

(下转第 45 页)

坡耕作(玉米);土壤总孔隙度由大到小的顺序: 梯土(桃树+黑麦草)> 松树> 白杨> 梯土(玉米)> 柑橘> 桑树、顺坡耕作(玉米)。

(3) 梯土(桃树+黑麦草)的稳渗速率最大,为5.6 mm/min。此外,稳渗速率由小到大的顺序: 松树> 白杨> 桑树> 柑橘> 梯土(玉米)> 顺坡耕作(玉米)。

(4) 梯土(桃树+黑麦草)的土壤有机质含量为34.12 g/kg,显著高于其它措施。其余措施土壤有机质含量顺序为: 松树> 白杨> 桑树> 顺坡耕作(玉米)> 梯土(玉米)> 柑橘。

(5) 土壤全 N、全 P、全 K 和速效 N、速效 P、速效 K 的含量,梯土(桃树+黑麦草)均是最高,而其它各项措施相差不大。

总的来说,铁炉沟小流域坡耕地治理是成功的。各项综合措施在减沙减流、土壤改良方面均达到了一定效果,产生了一定的生态效益。其中,梯土(桃树+黑麦草)的生态效益最好。此外,其它调查研究表明梯土(桃树+黑麦草)的经济效益较其他措施也是最好的,高达13 950 元/hm²。所以,梯土(桃树+黑麦草)具有最佳的生态效益和经济效益,是完全值得在三峡库区推广的小流域坡耕地治理措施。

[参 考 文 献]

[1] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[J]. 中国水土保持, 2006(2): 16-17.

[2] 罗雷, 何丙辉, 文志勇, 等. 紫色砂泥岩严重侵蚀区小流域综合治理技术与效益评价: 以重庆市丰都县铁炉沟小流域为例[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 393-397.

[3] Guy B T, Dickinson W T, Rudra R P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow [J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5), 1378-1387.

[4] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 47-49.

[5] 符素华, 吴敬东, 段淑怀, 等. 北京密云石匣小流域水土保持措施对土壤侵蚀的影响研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 21-24.

[6] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. transactions of the ASAE [J], 1987, 30(5): 1387-1396.

[7] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for slopes [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6): 1835-1840.

[8] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 66-69.

[9] 吴发启, 赵西宁, 崔卫芳. 坡耕地土壤水分入渗测试方法对比研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 39-41.

[10] 朱青, 王兆骞, 尹迪信. 贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 219-228.

(上接第 40 页)

只有采取一系列综合措施,才能确保道路畅通无阻,这也是水土保持和农业生产的重要发展方向。对于本研究所提出的规划设计标准是否可以更大尺度范围的推广问题,还应进行进一步的研究和实践。

[参 考 文 献]

[1] 徐学选, 琚彤军, 郑世清. 黄土丘陵区植物道路的产流产沙试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 934-938.

[2] 徐学选, 琚彤军, 郑世清, 等. 黄土丘陵区次降雨下的山坡道路侵蚀分析[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S): 574-578.

[3] 郑世清, 高可兴. 黄土丘陵山坡生产型植物路综合防护技术体系规划设计[J]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 39-41.

[4] 郑世清, 郑科. 延安黄土区植物路植物根系特征与水土保持功能评价研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 174-176.

[5] Gratz K E. Sericea for erosion protection and beauty along highways [J]. Journal of Soil and Water Conser-

vation, 1966, 21(3): 92-94.

[6] Rodgers D B. Highway erosion control [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1965, 20(3): 189-190.

[7] Batra P C, Gill G S. Comparison of ipomoea and grass for checking erosion on road embankments [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1968, 16(3): 52-55.

[8] 郑科, 郑世清, 杨岗民, 等. 黄土丘陵区山坡防蚀道路技术体系与指标[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3): 135-141.

[9] 郑世清. 黄土高原沟壑区沟坡道路修筑技术与防蚀技术体系研究[J]. 水土保持通报, 1997, 17(7): 33-42.

[10] 郑世清, 霍建林, 李英. 黄土高原山坡道路侵蚀与防治[J]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 46-48.

[11] 郑世清, 文捷英, 阴振江. 黄土高原山坡生产型植物路防蚀机理与技术[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 95-97.

[12] 曹世雄, 陈莉, 高旺盛. 在黄土丘陵区土质路面种草[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1754-1763.

[13] 曹世雄, 陈莉, 高旺盛. 山区农田道路路面种草生长发育与通行能力观测[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 69-72.