

# 沙漠地区高速公路防沙效应试验研究

## ——以营双高速公路八步沙段为例

高冠龙<sup>1</sup>, 张小由<sup>2</sup>, 杨凯<sup>3</sup>, 韩致文<sup>2</sup>, 贺晓萍<sup>3</sup>, 徐定艳<sup>3</sup>, 许克玺<sup>3</sup>

(1. 山西大学 环境与资源学院, 山西 太原 030006; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省路桥建设集团有限公司, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** [目的] 对沙漠地区高速公路防沙效应进行试验研究, 旨在为我国沙漠地区高速公路防沙体系建设提供理论依据和实践经验。[方法] 针对营盘水(甘宁界)至古浪(双塔)高速公路八步沙沙漠段沙害的成因、类型, 采取工程措施与生物措施相结合的防沙固沙方法开展试验研究。[结果] (1) 无论风速大小, 功能性固沙障网间的有效防护距离要远好于均一型, 且在网前近地处风速降低幅度要大于均一型。功能性防沙网后的防沙效益略低于均一型防沙网, 但前者可有效抬升风沙流运行高度, 极大减少过境风沙流对地面的侵蚀和地表沙粒的撞击启动, 加之网间风速低于沙粒启动风速, 进而起到固沙作用; (2) 功能性固沙障上疏下密的孔隙结构有利于气流的抬升, 降低防沙网上的风压, 缓解防沙网的兜风问题, 能有效解决固沙障底部的掏蚀问题。[结论] 所采用的两种防沙网各具优点, 可作为不同的防沙措施用于防沙。其中均一型可用来制作高立式阻沙沙障, 而功能性防沙网可用来制作低矮的半隐蔽式格状沙障, 二者均可用于替代传统的防沙材料, 具有极大的应用价值和推广前景。

**关键词:** 高速公路; 防沙固沙; 风沙危害

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0017-04

**中图分类号:** U412.36<sup>+</sup>, S157.1

**文献参数:** 高冠龙, 张小由, 杨凯, 等. 沙漠地区高速公路防沙效应试验研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 17-20. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.002; Gao Guanlong, Zhang Xiaoyou, Yang Kai, et al. Effects of Sand Prevention Measures Along Highways in Desert Areas[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 17-20. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.002

## Effects of Sand Prevention Measures Along Highways in Desert Areas

### — A Case Study at Babusha Section, Yingshuang Highway

GAO Guanlong<sup>1</sup>, ZHANG Xiaoyou<sup>2</sup>, YANG Kai<sup>3</sup>,

HAN Zhiwen<sup>2</sup>, HE Xiaoping<sup>3</sup>, XU Dingyan<sup>3</sup>, XU Kexi<sup>3</sup>

(1. College of Environment and Resource, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences,

Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. Gansu Province Road Bridge Construction Group, Ltd., Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of sand-prevention along highways were observed to provide theoretical basis and practical experience for sand-prevention system in desert area. [Methods] According to the causes and types of sand-damage in Babusha desert area, corresponding engineering and biological measurements were carried out to fix the sands. [Results] (1) Regardless of wind speed, the effective defending distance of internetwork of functional solid barriers were far greater than that of the uniform one. And also the reduction of wind speed near the ground before the nets of the functional solid barriers were greater. Though the sand-prevention effect of functional solid barriers behind the nets was a little worse than that of the uniform one, the sand flow was effectively uplifted. Whereby, sand erosion was reduced as a synergistic result of the decrease of sand movement by striking startup and the decrease of net-interwindspeed to the threshold of sand

收稿日期: 2016-07-22

修回日期: 2016-08-31

资助项目: 中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室开放基金项目“荒漠河岸胡杨林蒸发模型阻力参数计算及其对蒸散发模拟精度的影响”(90Y290F41); 国家自然科学基金项目“额济纳绿洲生态耗水多尺度实验与尺度转换研究”(41271037)

第一作者: 高冠龙(1988—), 男(汉族), 山西省晋中市人, 博士, 讲师, 主要从事生态水文学方面的研究。E-mail: gaoguanlong@sxu.edu.cn.

通讯作者: 张小由(1963—), 男(汉族), 甘肃省临洮县人, 博士, 研究员, 主要从事生态水文学方面的研究。E-mail: zhangxy@lzb.ac.cn.

startup. (2) The functional solid barriers have a structure with thin upper part and close lower part, this structure can effectively uplift the wind flow, reducing the wind pressure upon the sediment control network and relieving the wind-catching problem. This can solve the erosion problem under the solid barriers. [Conclusion] The two kinds of sediment control networks both have their advantages. The uniform solid barriers can be used to make high upright solid barriers, and the functional solid barriers can be used to make short hidden solid barriers. The two types can both replace traditional materials and have great applicable value.

**Keywords:** highway; sand defense and solidification; wind-sand hazard

中国沙漠主要分布在偏远干旱、人烟稀少的西部地区<sup>[1]</sup>,随着西部大开发战略的实施,沙漠地区的公路建设得到了长足发展,特别是高速公路里程迅速增加<sup>[2]</sup>。高速公路是国家重要的基础设施<sup>[3]</sup>,涉及地域广泛<sup>[4]</sup>。然而,高速公路建设的同时,公路沙害已成为影响公路正常运营的主要灾害<sup>[5-6]</sup>,高速公路沙害防治已迫在眉睫<sup>[7-8]</sup>。高速公路边坡防护就是利用植物根系固着边坡表层土壤以减轻冲刷,从而减缓边坡的水流速度,达到保护边坡的目的<sup>[9]</sup>。近年来,有关高速公路综合防沙体系的研究已逐步展开。李建国等<sup>[10]</sup>通过风洞试验,模拟了不同类型的防沙堤流场,并对不同类型的防沙堤的防护效益进行了评价,初步提出了最佳的防沙堤设计方案。尤全刚等<sup>[11]</sup>通过野外实地观测结合历史资料,研究了隔壁地区风沙活动。营盘水(甘宁界)至古浪(双塔)高速公路(以下简称营双高速公路)是青岛至银川国家高速公路陕西省定边至武威连接线(G2012)的重要组成部分,也是甘肃省高速公路网规划的重要组成部分。营双高速公路全线位于腾格里沙漠南缘,主要沙害路段 K448+300—K458+927,全长 10.6 km。该路段 2013 年开工,公路建设与防沙、绿化工程同步进行。本文针对该路段沙害的形式、特征,提出并建立沙漠地区高速公路防沙体系结构、功能,以及工程防沙和工程措施下生物防沙固沙模式与技术。

## 1 研究区概况

营双高速公路全线属蒙新温带干旱气候区,具有太阳辐射强、干燥少雨、四季分明(春季多风、夏季酷热、秋季干燥、冬季寒冷)等特点。年均气温 7.6℃,日较差大,最高气温 21℃,最低气温 -10.3℃。植物生长季较长,热量水平高,太阳辐射、光、温、水配合好。年平均降水量 180 mm,年最大降水量 396.6 mm,7—9 月降水量占全年的 76.4%~85.7%;年平均蒸发量 2 197.7~2 922.9 mm,年最大蒸发量 3 051.7 mm;年平均风速 3.3 m/s,主导风向 WE,W 等,最大风速 8.0 m/s,年平均大风日数(≥8 级)6.9

~12.5 d。由于降雨量较少,蒸发量大,气候干燥,植被较为稀疏,在低山和风沙化地、坡地沙漠化较为严重,由此形成的风沙活动以春季最为严重。该地区土壤主要以风沙土为主,类型为沙地灰钙土,有机质含量平均为 0.75%,其中含氮 0.045%,含磷 0.13%,含量低且容易水解。养分状况是氮少而磷钾丰富。植被以天然植被为主,主要有白刺、红砂、沙蒿、沙米和冰草等沙生植物,人工植被主要有沙枣、花棒、白榆、梭梭、毛条。研究区风况环境如图 1 所示。从图 1 可以看出,观测期内 WN,W 方向风向频率最大,分别为 23.5%和 15.1%;其次为 SE,WSW 和 NW,频率分别为 8.0%,7.7%和 7.1%。从图 2 可以看出,观测期内起沙风频率最大的 2 个方向分别为 WNW 和 W,频率分别为 34.8%和 32.1%;其次为 WSW,SW 和 NW,频率分别为 13.4%,7.7%和 5.7%。

## 2 公路沙害现状

### 2.1 沙害成因

营双高速公路八步沙段地处荒漠区,路域范围的流沙系古湖彭沉积物,路域两侧沙丘密度在 70%~90%,沙丘高度高于路面,近路侧相对高度 2~6 m,200~300 m 范围内相对高度 5~8 m。沙丘呈半流动状态,裸露沙丘占 90%以上,植被盖度小于 5%。沙粒粒径以细沙、中沙粒为主(表 1)。该地西北风、西风盛行,风沙运动具有往复式移动的特点,这决定了该路域一年四季都有形成沙害的可能。

### 2.2 沙害特征

该段公路路基、边坡都是建立在沙质地表上,建设中对于丘间地开采了地表 50 cm,后用砾石作为路基,公路两边边坡形成了与路面高度相差不大、起伏不大的地表类型,该类型长度 6 km,这部分主要风沙危害是路面太高使得风沙流遇阻堆积在路基和路面。在公路建设中,该段风沙危害严重。开挖高大半流动沙丘时,在公路两侧形成了坡度为 40°的沙面,沙质地表裸露,在风力作用下,形成新的风沙来源,在路堑形成积沙,也容易形成沙面坍塌。

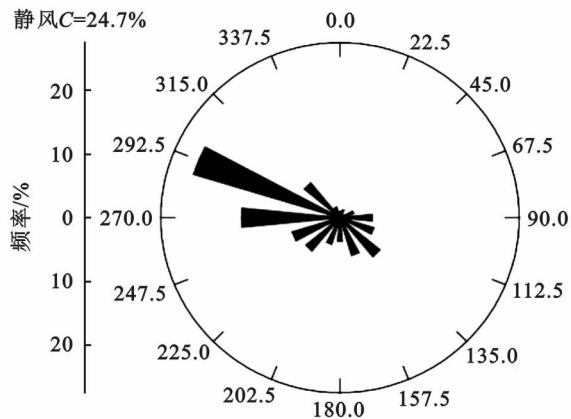


图 1 研究区风况环境玫瑰图

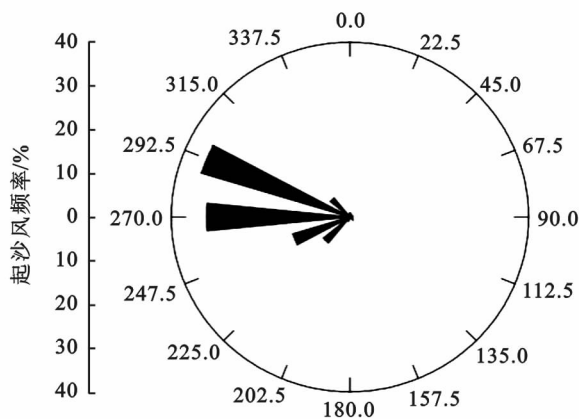


图 2 研究区起沙风玫瑰图

表 1 八步沙路段地表沙物质机械组成

类型	<3.9 μm	3.9~62.5 μm	62.5~125 μm	125~250 μm	250~500 μm	500~1 000 μm	1 000~2 000 μm
	黏粒含量	粉沙含量	极细沙含量	细沙含量	中沙含量	粗沙含量	极粗沙含量
丘间地	0.93	5.59	17.82	40.64	20.39	14.28	0.35
草丛沙包	0.87	3.18	10.40	53.60	31.89	0.06	0
沙垄底部	0.05	2.92	3.36	26.22	49.43	18.03	0
沙垄半坡	0.78	3.43	1.14	38.67	52.39	3.57	0
沙垄顶部	0.50	3.26	1.75	45.17	47.61	1.71	0

表 2 试验用防沙网的结构说明

型号	防风网结构说明
均一型	疏透度一致
911 型	下部密区高 9 cm,上部疏区高 11 cm
2810 型	下部密区高 2 cm,中部密区高 8 cm,上部疏区高 10 cm

### 3 防沙效益观测

在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室野外环境风洞中进行了试验。该风洞全长 38.78 m,试验段长 21 m,横断面 1.2 m × 1.2 m。试验材料选取孔隙均一的 HDPE-UNI 均一型防沙网和孔隙度上部大底部小的 HDPE-911, HDPE-2 810 两种功能性防沙网,分别将其布设为 1 m × 1 m 的方格固沙障于试验段洞体中央,出露床面高度为 20 cm。气流场模拟试验阶段,以固沙障的中心位置为 0 H(H 为固沙障高度),将风速廓线仪分别沿试验风向布置于 10 H,5 H,3 H,2 H,1 H,0.5 H,0 H,-0.5 H,-1 H,-2 H,-3 H,-5 H 和 -10 H 共 13 处,各处的廓线仪采样点距床面高度分别为 0.03,0.06,1.0,1.5,3.0,6.0,12.0,20.0,35.0,50.0 cm,试验风速稳定后采集各点的风速数据,采集间隔 2 s,各处的试验时间为 100 s,计算平均风速。防沙效益模拟试验阶段,在风洞试验段内铺设 4 m 长的流沙床面,HDPE 沙障置于流沙床面下风向 2~3 m 处。测量单宽输沙率的垂直分布采用阶梯式积沙仪,风沙流入口断面为 2 cm × 2 cm,高 20 cm,置于流沙床面末端中心位置,每组试验重复 3 次,单宽输沙率的计算取 3 次测试的平均值。试验采用沙样为腾格里沙漠南缘天然混和沙,为确保沙源充足,每完成 1 组风速试验,重新布置沙面。试验布设示意图与防沙网的结构说明分别见图 3 及表 2。

通过不同风速等级下单宽输沙率的风洞对比试验可以看出,3 种防沙网的防沙效益均比较显著,可以达到 80% 以上,并且 3 种防沙网的防沙效益有随风速的增高而出现指数衰减的趋势。在同等风速条件下,HDPE-UNI 防沙效益最高,HDPE-2810 型次之,HDPE-911 最低,但 3 种防沙网的防沙效益差别并不明显,平均防沙效益差仅为 5% 左右,最大者也不足 10%(表 3),这在防沙实践中是可以忽略不计的。因此可以认为 3 种防沙网的防沙效益是没有显著差别的。

通过对比空洞和 3 种防沙网后风沙流结构,可以看出 3 种防沙网均可有效地改变原有的风沙流结构,且 3 种防沙网后的风沙流结构具有显著区别:从总体结构而言,均一型防沙网后的风沙流结构整体随高度的升高而出现输沙率递减的趋势,并在 9~15 cm (0.45~0.75 H) 段出现较大的波动,其中 11 cm (0.55 H) 处变化最为明显。此外随着风速的增大,输沙率递减的速率也增大。而功能性防沙网的风沙流结构呈“C”型,即随高度的增加先逐步递减,11 cm (0.55 H) 处为输沙率最低处,之后随高度迅速增加,并随风速的增

大,这种趋势越发明显。比较 3 种防沙网的风沙流结构,在 13 cm 以下,均一型防沙网的相对输沙率要均高于功能性防沙网,且有随风速的增大,相对输沙率差有增大的趋势,13 cm 以上则反之。对比两种功能性防沙网,可以看出在低风速(14 m/s 以下)时,

11 cm 以下,HDPE-911 型的相对输沙率要小于 HDPE-2 810 型,11 cm 之上则反之,而在高速条件下(14 m/s 以上),则正好相反。由此可见,功能性防沙障不仅可以有效地降低单宽输沙率,而且改变了原有的风沙流结构,有效地抬升风沙流的运移高度。

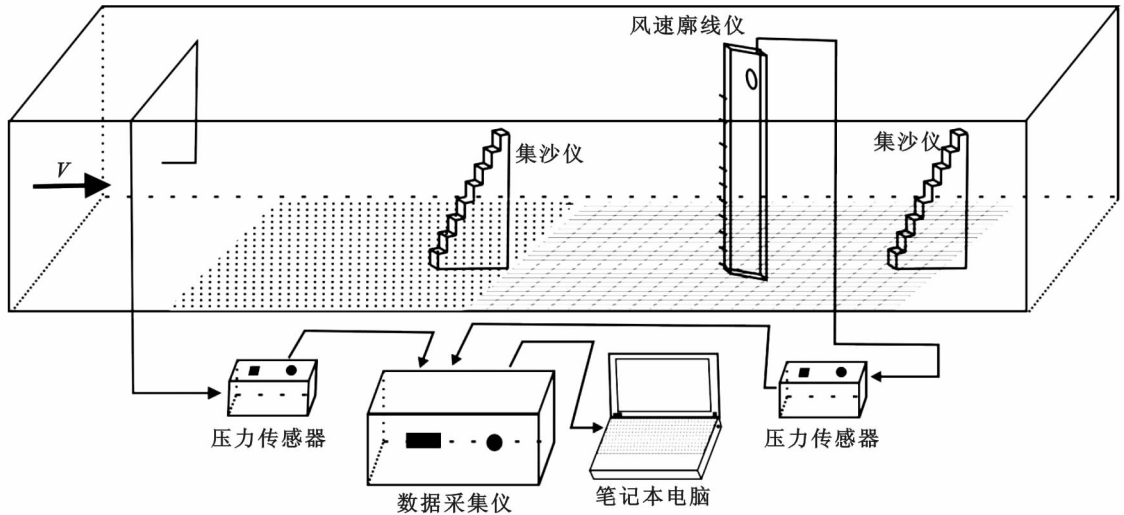


图 3 防沙效应试验布设示意图

表 3 3 种防沙网的防沙效益对比

防沙网类型	参数	风速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )					
		8	10	12	14	16	18
空洞	单宽输沙率/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	10.72	39.18	79.65	124.91	190.91	286.72
HDPE-UNI	单宽输沙率/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0.04	1.00	6.88	8.81	16.37	25.77
	防沙效益/%	99.61	97.44	91.36	92.95	91.43	91.01
HDPE-911	单宽输沙率/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0.57	3.35	9.99	20.58	32.62	39.13
	防沙效益/%	94.67	91.44	87.46	83.52	82.91	86.35
	效益差/%	-4.94	-6.00	-3.90	-9.43	-8.51	-4.66
HDPE-2810	单宽输沙率/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0.25	3.40	10.63	15.98	23.01	30.40
	防沙效益/%	97.70	91.31	86.65	87.21	87.95	89.40
	效益差/%	-1.91	-6.13	-4.71	-5.75	-3.48	-1.62

## 4 结果分析

(1) 针对孔隙度,综合分析得出 40% 孔隙度防沙效果相对较好,防护距离达 30 H 以上;相同孔隙度的防沙材料,随着风速的增大,有效防护距离和防沙效益均呈显著降低趋势;从防沙材料结构来看,下密上疏结构的防沙材料相对较好。在低风速( $<14 \text{ m/s}$ )条件下,HDPE-UNI 均一型固沙障的总有效防护距离最长,HDPE-2 810 型功能性固沙障次之,HDPE-911 型功能性固沙障最短;而在高速( $>14 \text{ m/s}$ )条件下,HDPE-2 810 和 HDPE-911 两种功能性固沙障总有效防护距离相差不大,但都远大于 HDPE-UNI

均一型固沙障。无论风速大小,功能性固沙障网间的有效防护距离要远好于均一型,且在网前近地处风速降低幅度要大于均一型。

(2) 虽然功能性防沙网后的防沙效益略低于均一型防沙网,但前者可有效抬升风沙流运行高度,大大减少过境风沙流对地面的侵蚀和地表沙粒的撞击起动,加之网间风速低于沙粒起动风速,进而起到固沙作用。

(3) 功能性固沙障上疏下密的孔隙结构有利于气流的抬升,降低防沙网上的风压,缓解防沙网的兜风问题,能有效解决固沙障底部的掏蚀问题。

(下转第 26 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 姚晶晶,张洪江,张友焱,等.晋西黄土丘陵区不同植物群落的土壤分形特征[J].中国水土保持科学,2014,12(5):23-29.
- [2] 谢贤健,韩光中.不同巨桉人工林土壤分形特征及抗蚀性分析[J].土壤,2014(4):725-731.
- [3] 赵洋毅,舒树森.滇中水源区典型林地土壤结构分形特征及其对土壤抗蚀、抗冲性的影响[J].水土保持学报,2014,28(5):6-11.
- [4] Adhikary P P, Tiwari S P, Mandal D, et al. Geospatial comparison of four models to predict soil erodibility in a semi-arid region of Central India [J]. Environmental Earth Sciences, 2014,72(12):5049-5062.
- [5] Xu Guoce, Li Zhanbin, Li Peng. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China[J]. Catena, 2013,101(2):17-23.
- [6] 土小宁,刘广全,梁月,等.黄土高原水土流失区高效水土保持植物分区配置[J].国际沙棘研究与开发,2014,12(2):29-34.
- [7] 胡建忠.我国生态文明建设的辩证思考:以高效水土保持植物资源配置与开发为例[J].中国水土保持,2015(5):23-27.
- [8] 陈臣,李艳,牟德华.优化 GC 检测欧李酒香气成分的萃取条件[J].食品工业科技,2014,35(6):81-86.
- [9] 冯媛媛.欧李营养成分分析及低糖欧李果脯的开发[D].河北石家庄:河北农业大学,2015.
- [10] 李欧,李卫东,胡璇,等.欧李果实多酚含量的差异比较[J].中国试验方剂学杂志,2012,18(22):53-56.
- [11] Zhu Bingbing, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: A case study in the Loess Plateau, China[J]. Ecological Research, 2010,25(3):531-541.
- [12] 黄冠华,詹卫华.土壤颗粒的分形特征及其应用[J].土壤学报,2002,39(4):490-497.
- [13] 赵明月,赵文武,刘源鑫.不同尺度下土壤粒径分布特征及其影响因子:以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2015,35(14):4625-4632.
- [14] 马云,何丙辉,何建林,等.三峡库区皇竹草植物篱对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J].水土保持学报,2011,25(4):79-82.
- [15] 王敬贵,亢庆,邝高明,等.尖山河小流域土壤可蚀性 K 值空间变异研究[J].生态环境学报,2014(4):555-560.
- [16] 殷庆元,王章文,谭琼,等.金沙江干热河谷坡改梯及生物地埂对土壤可蚀性的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):41-47.
- [17] 曹祥会,龙怀玉,雷秋良,等.河北省表层土壤可侵蚀性 K 值评估与分析[J].土壤,2015(6):1192-1198.

(上接第 20 页)

(4) 由于两种防沙网都具有各自的优点,可作为不同的防沙措施用于防沙。其中均一型可用来制作高立式阻沙沙障,而功能性防沙网可用来制作低矮的半隐蔽式格状沙障,二者均可用于替代传统的防沙材料,具有极大的应用价值和推广前景。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 宋海民.营双高速公路沙漠段路基生态防护技术研究[M].陕西西安:长安大学出版社,2015:87-91.
- [2] 左合君,董智,魏江生,等.沙漠地区高速公路工程防沙体系效益分析[J].水土保持研究,2006,12(6):222-225.
- [3] 陶岩,江源,顾卫,等.内蒙古中部高速公路边坡植被恢复研究[J].中国水土保持科学,2006,4(12):61-66.
- [4] 徐洪雨,王英宇,宋桂龙.高速公路边坡滑坡原因分析及防治对策:以京承三期高速公路(北京沙峪沟—市界段)为例[J].中国水土保持科学,2012,10(5):84-89.
- [5] 王训明,陈广庭,韩致文,等.塔里木沙漠公路沿线机械防沙体系效益分析[J].中国沙漠,1999,19(2):120-127.
- [6] 赵晓彬,党兵,符亚儒,等.半干旱区沙地高速公路防风固沙林营造技术及其效益研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1247-1255.
- [7] 王智远,徐占云,崔琳,等.高速公路沙害防治技术研究:以丹东—拉萨高速公路新地—麻黄沟段为例[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):204-208.
- [8] 陆海平,赵国平,胡春元,等.沙漠地区公路植物防沙体系维护技术及效益分析:以 G304 国道公路植物防沙体系维护技术为例[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2006,27(4):20-26.
- [9] 李志刚,陈云鹤,钱国超.高速公路边坡野外模拟冲刷试验研究[J].公路交通科技,2004,21(1):30-32.
- [10] 李建国,屈建军,李芳,等.不同类型防沙堤流场的风洞试验模拟研究[J].中国沙漠,2012,32(2):291-299.
- [11] 尤全刚,薛娴,王涛,等.戈壁地区风沙活动对公路影响的初步研究[J].中国沙漠,2011,31(1):9-15.