

沙漠公路不同固沙措施防风固沙效益和成本比较研究

董 智¹, 李红丽¹, 胡春元², 左合君²

(1. 山东农业大学林学院, 泰安 271018; 2. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 对腾格里和库布齐沙漠公路不同固沙措施的防风固沙作用和运行成本进行综合比较, 结果表明, 受沙障材料、设置规格、使用寿命的影响, 不同沙障的防风固沙作用不同; 沙障的防护作用随着沙障的破损而减弱; 人工植被的防护作用随着建植时间的延长而增长。从运行成本分析, 沙柳和柴草沙障成本低, 土工材料和土壤凝结剂沙障运行成本较高, 人工植被运行成本最高, 实践中宜因地制宜采取不同的固沙措施。

关键词: 沙漠公路; 固沙措施; 防风固沙效益; 成本比较

中图分类号: S 157; X 171. 1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0128-03

Research on Cost Comparison and Wind-break and Sand-fixing Benefits of Different Sand-fixing Measures of Highway in Desert Regions

DONG Zhi¹, LI Hong-li¹, HU Chun-yuan², ZUO He-jun²

(1. Forestry College of Shandong Agriculture University, Tai'an 271018, China;

2. College of Ecology and Environment of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;)

Abstract: The authors mainly compared with the effect of wind-break and sand-fixing of different sand-fixing measures of Tengli and Kubuqi desert highway. The results were as follows. The effect of wind break and sand control of different sand-barriers was different which affected by material, size and using life; the defence effect of sand-barriers reduced along with the damage degree of sand-barriers. But the defence effect of artificial vegetation increased along with increasing of extending planting time. The cost of osier sand-barriers and oaten sand-barriers was the lowest and the cost of macromolecule plastic-bag sand-barriers and soil coagulant sand-barriers were higher, and then the cost of artificial vegetation is the highest. The sand-fixing measures fitting local condition should be selected on desert highway.

Key words: desert road; sand-fixing measure; effect of wind-break and sand-fixing; cost compare

公路作为现代化的物流、能流、信息流的运输、传递通道和纽带, 在区域经济发展中发挥了重要的作用。但在沙漠地区, 公路遭受风蚀和沙埋的影响较为普遍, 特别是流沙前移而造成的沙埋公路危害形式, 阻断交通, 威胁公路正常运营和交通安全。流沙固定技术主要包括生物措施和工程措施, 其中生物措施可分为封沙育草、防护林带等; 工程措施可分为机械沙障、化学固沙等。生物措施是固定流沙最为有效的措施, 但其建设周期长, 发挥效益慢, 不能满足公路对沙害迅速控制的要求, 因而常与机械沙障共同使用。机械沙障作为固定流沙的先行措施或作为植物难以生长的重沙害区独立的固沙措施在我国广大沙区被广泛应用。但因机械沙障的材料、规格、种类的不同, 在机械沙障的研究和应用方面还存在着明显的问题(常兆丰等, 2000)。如实践中比较普遍应用的麦草沙障易腐烂和沙埋, 而树枝立式沙障则易受风蚀而倒伏, 从而使沙障失去作用, 为了继续固定流沙而不得不进行沙障的重设, 引起成本的增加和人力、物力等资源的浪费。因此, 在公路沙害可被有效控制的前提下, 防治效果和成本便成为需要关注的问题了。为此, 本文以腾格里沙漠公路和库布齐沙漠公路为依托, 对公路沙害防治中应用的各种措施进行防风固沙效益、经济效益的比较分析, 以期从中筛选出防治效果好、设置成本低的防沙措施, 为沙漠地区公路沙害防

治措施的选优提供一定的依据。

1 依托工程概况

依托工程分布布设于鄂尔多斯高原北部的库布齐沙漠杭锦旗—独贵塔拉穿沙公路和阿拉善高原腾格里沙漠的阿左旗—月亮湖沙漠公路。工程区均处于温带干旱区, 年均风速 3~4 m/s, 大风日数在 25 d 以上; 流动沙丘分布密集, 移动速度快, 沙害均以沙丘整体前移埋压公路路面为主。依据因地制宜、就地取材的原则, 在库布齐沙漠公路设置了沙柳、土工袋高立式沙障和方格沙障; 在腾格里沙漠公路设置了稻草方格沙障、土壤凝结剂方格沙障和土工布方格沙障。各沙障的设置规格、设置方式和障高见表 1。此外腾格里沙漠公路两侧栽植了人工沙拐枣林。

2 研究内容与方法

在库布齐穿沙公路沿线和阿左旗—月亮湖公路沿线, 以流动沙丘为对照, 观测工程区各种沙障与人工林防沙措施内 50 cm 和 200 cm 高度的风速和 0~10 cm 的输沙量, 研究不同防沙措施内部风速、输沙量和粗糙度的变化, 分析其防风固沙效益。风速测定采用十路自动风速风向仪, 输沙量采用积沙仪测定。野外测定完成后采集数据, 计算粗糙度 Z_0 , 粗

¹ 收稿日期: 2005-04-14

基金项目: 内蒙古农业大学博士基金资助(BJ04-21)

作者简介: 董 智(1971-), 男, 博士, 山东农业大学林学院副教授, 主要从事荒漠化防治与干旱区生理生态研究。

糙度 Z_0 的计算公式为:

表 1 腾格里和库布齐沙漠工程区沙障类型

沙障类型	土壤凝结		土工布	沙柳沙障		土工袋	土工袋
	稻草沙障	剂沙障	沙障	沙障	沙障	沙障	立式沙障
方式	格状	格状	格状	格状	高立式	格状	高立式
规格(m)	1×1	1×1	1×1	2×2	1×1	15 m 一带	2×2
高度(cm)	10	20	15	20	150	15	100

$$\lg Z_0 = \frac{\lg Z_2 - A \lg Z_1}{1 - A} \tag{1}$$

$$A = u_2 / u_1 \tag{2}$$

式中: Z_0 ——粗糙度; u_2 、 u_1 ——高度 Z_1 (50 cm)、 Z_2 (200 cm) 处的风速。

同时以流沙输沙率为基准, 计算各沙障的阻沙作用, 其计算公式为:

$$F = 1 - \text{沙障输沙率} / \text{流沙输沙率} \tag{3}$$

在调查风速与输沙率的同时, 调查各沙障的风蚀、沙埋和破损情况。

3 结果与分析

3.1 机械沙障的防风固沙效果

野外观测表明, 不同沙障的风速、输沙率变化不同, 其结果如表 2, 3。由表 2, 3 可知, 不论何种规格的沙障, 与流沙相比, 不同沙障类型均可有效地增加地表粗糙度, 降低近地表风速。以流沙 50 cm 风速和粗糙度为基点, 则不同沙障同一高度风速降低百分比为 7. 5% ~ 52. 6%, 粗糙度则增加了几十倍至上千倍。地表粗糙度的增加将近地表风速降低至临界起沙风以下, 控制了流沙再起。由沙障的原理和作用划分, 方格沙障以“固”为主, 使得固沙区的沙物质不再成为不饱和风沙流的沙源; 而高立式沙障, 在“固”的同时兼具“阻”的作用, 即通过沙障切断固沙区之外沙源与公路间的风沙运移路径, 阻滞风沙流前移。

表 2 腾格里沙漠工程区不同沙障风速、粗糙度与阻沙作用变化

沙障类型		200 cm 风速	50 cm 风速	较流沙 50 cm	粗糙度	阻沙
		$/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	风速降低% Z_0/cm		作用
1 m×1 m 稻草	流沙	5. 71	4. 95	100	0. 006	0. 0
	新设	5. 6	3. 84	22. 4	2. 4	0. 7
	方格沙障 运行 1 年	5. 67	4. 00	19. 2	1. 8	0. 52
	运行 2 年	5. 72	4. 58	7. 5	0. 2	0. 24
1 m×1 m 土	流沙	5. 64	4. 9	100	0. 005	0. 00
	新设	5. 48	3. 18	35. 1	7. 4	0. 82
	方格沙障 运行 1 年	5. 51	3. 68	24. 9	3. 1	0. 72
	运行 2 年	5. 58	4. 11	16. 1	1. 0	0. 61
1 m×1 m 土工	流沙	5. 84	5. 06	100	0. 006	0
	新设	5. 76	3. 5	30. 8	5. 8	0. 80
	布方格沙障 运行 1 年	5. 84	4	20. 9	2. 5	0. 69
	运行 2 年	5. 84	4. 33	14. 4	0. 9	0. 46
2 m×2 m 土工	新设	5. 8	3. 67	27. 5	4. 6	0. 78
	布方格沙障 运行 1 年	5. 84	4. 12	18. 6	1. 8	0. 66
	运行 2 年	5. 84	4. 4	13. 0	0. 7	0. 41

注: 表中风速数据均为 50 次观测平均值, 两种规格的土工布沙障同步测定。

沙障材料、规格、方式和使用年限不同, 其降低风速作用也不相同。对材料而言, 不同沙障中, 稻草方格沙障降低风速作用最低, 而且随着沙障的腐烂其功能日渐下降, 在运行至第 2 年基本已失去其防风固沙功能, 地表流沙仍处于起动风速之上。沙柳沙障与土壤凝结剂沙障效果较好, 运行 2 年后, 其作用仍比较明显。从设置规格和方式讲, 以高立式土工袋和高

立式沙柳沙障降低风速作用明显, 新设沙障可降低风速约 52. 6% 和 46. 8%, 运行 1 年后, 其风速降低仍与其他材料新设沙障相同。同一材料设置规格越小, 其风速降低作用越大, 如新设土工布沙障 1 m×1 m 规格较 2 m×2 m 规格风速下降比例增加了 3. 3%。土工袋沙障 2 m×2 m 规格沙障较 2 m×4 m 沙障风速降低比例增加了 9. 2%。随着沙障运行时间的增加, 沙障的防护作用日渐下降, 由新设沙障的 21. 5% ~ 52. 6% 下降至运行 1 年后的 19. 2% ~ 39. 6%, 运行至第 2 年后, 部分沙障已失去作用。

表 3 库布齐沙漠工程区不同沙障风速与粗糙度变化

沙障类型		200 cm 风速	50 cm 风速	较流沙 50 cm	粗糙度	阻沙
		$/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	风速降低% Z_0/cm		作用
1 m×1 m 沙柳	流沙	6. 2	5. 36	100. 0	0. 007	0. 0
	新设	6. 16	3. 60	32. 8	7. 1	0. 73
	方格沙障 运行 1 年	6. 16	4. 12	23. 1	3. 0	0. 66
	运行 2 年	6. 14	4. 42	17. 5	1. 4	0. 51
沙柳高	流沙	6. 19	5. 38	100. 0	0. 005	0. 0
	新设	5. 92	2. 86	46. 8	13. 7	0. 82
	立式沙障 运行 1 年	5. 92	3. 3	38. 7	8. 7	0. 73
	运行 2 年	5. 96	3. 78	29. 7	4. 5	0. 65
2 m×2 m 土工	流沙	6. 24	5. 4	100. 0	0. 007	0. 0
	新设	6. 11	3. 74	30. 7	5. 6	0. 78
	袋方格沙障 运行 1 年	6. 11	4. 11	23. 9	2. 9	0. 57
2 m×4 m 土工	新设	6. 11	4. 24	21. 5	2. 2	0. 65
	袋方格沙障 运行 1 年	6. 16	4. 33	19. 8	1. 9	0. 51
	土工袋高 新设	6	2. 56	52. 6	17. 8	0. 82
	立式沙障 运行 1 年	6. 06	3. 26	39. 6	9. 9	0. 70

注: 表中风速数据均为 50 次观测平均值, 三种规格的土工袋沙障风速同步测定。

由表 3 可知, 沙障的阻沙效果也各不相同, 阻沙效果最好的沙障为高立式沙柳沙障和高立式土工袋高立式沙障, 方格沙障中阻沙效果较好的是土壤凝结剂格状沙障和 1 m×1 m 的土工布格状沙障, 这些沙障在新设时可阻挡 80% ~ 82% 左右的流沙。所有的沙障随着运行时间的推移而阻沙效果下降, 特别是稻草方格沙障下降最为明显, 运行至第 2 年时, 其阻沙作用由新设时的 70% 下降为 24%; 土工布和土工袋方格沙障也下降明显。同一材料的沙障, 大规格沙障的阻沙作用弱于小规格沙障的阻沙作用。由上可知, 沙障的阻沙作用变化规律与沙障防风作用变化规律大致相同。

野外调查表明, 沙障防风固沙效益的下降与沙障运行期间的腐烂、倒伏、沙埋、破损有关。就稻草方格沙障而言, 扎设初期固沙性能良好, 风速降低率和阻沙作用分别为 22. 4% 和 0. 7, 但运行 1 年后, 由于沙障的腐烂、风蚀, 其破损率达 31. 8% 左右, 风速降低率和阻沙作用也随之下降; 当运行第 2 年破损率达 62. 4% 时, 风速降低率和阻沙作用下降至 7. 5% 和 0. 24。由于稻草沙障的腐烂、风蚀降低了其使用年限, 影响了它的防沙效果。同样对于土工布、土工袋沙障和土壤凝结剂沙障而言, 设置初期防风固沙作用明显, 但因沙障为不透风结构, 障内极易积沙而遭受沙埋, 且沙障基部也有掏蚀现象发生, 使沙障的破损率达到 32. 6% ~ 44. 8%, 从而使其防风固沙功能大大减弱。但土工布和土工袋沙障移动性较好, 可通过拔高、移动而重新获得较好作用。沙柳沙障防护效果在扎设初期效果最佳, 但沙障易倒伏和沙埋, 方格沙障的破损率在运行 1 年和 2 年后分别为 23. 9% 和 37. 7%; 立式沙障的破损率分别为 28. 1% 和 40. 2%。沙障不同程度的破损使防风固沙效果下降, 为维护其防风固沙效益的正常发挥, 必须进行防沙措施的维护、更新和重建, 因而增大了防护

成本。

3.2 植物措施的防风固沙效果

植物固沙是控制流沙的重要措施,也是最为有效的根本措施。在腾格里沙漠公路两侧,人工栽植沙拐枣林带,带宽 10 m,株行距为 1 m×2 m,沙拐枣高度 1.2 m~1.6 m,平均冠幅 1.6 m×1.4 m,林龄 2 年。林带靠近公路一侧为稻草方格沙障,远离公路一侧为流动沙丘。以流沙、草方格沙障为对照,沙拐枣林防风固沙作用的测定结果如表 4 所示。

表 4 沙拐枣林带防风固沙效果

测定类型	200 cm 风速 /(m·s ⁻¹)	50 cm 风速 /(m·s ⁻¹)	较流沙 50 cm 风速降低/%	粗糙度 Z ₀ /cm	阻沙作用
林带内	5.29	3.26	37.7	5.4	0.77
稻草方格沙障	5.98	4.67	10.7	0.4	0.31
流沙	6.02	5.23	100.0	0.005	0.00

注:稻草方格沙障为运行第 2 年

由表 4 可知,沙拐枣人工林带可降低风速 37.7%,较之运行 2 年的稻草方格沙障高出 27.0%。与土工布、土工袋格状沙障相比,其降低百分比也处于较高水平。与方格沙障相比,林带不仅降低了 50 cm 高的风速,而且也使 2.0 m 高度的风速由 6.02 m/s 降低至 5.29 m/s,降低了 12.1%,这是林带与方格沙障降低风速作用的区别所在。比较林带 0.5 m 与 2.0 m 高处风速变化发现,0.5 m 高处风速变化更明显,这说明灌木林带可有效地降低近地表风速,这也是灌木固沙的理论基础。同样地,林带的存在也提高了地表粗糙度,增强了阻沙作用,粗糙度较之流沙提高了 1 000 倍之多,阻沙作用也高于方格沙障而与立式沙障相差不大。但因林带生长仅 2 年,植株较为稀疏,且测定时林带尚未开始着叶,因而测定的防风阻沙效益小于真实的阻沙效益。随着林带的生长加快和郁闭度的增加,其防风固沙效果会更加显著;而且林带不易被流沙掩埋,遭受沙埋后生长愈旺,这就提升了林带的防护年限,因而沙漠公路在条件允许的条件下,应增加灌木林带的建设,提高其固沙体系的稳定性和永久性。

3.3 不同措施的设置成本分析

通过对不同措施防风固沙效益的比较可知,不同沙障在设置初期,均可有效地防止流沙的运动而将其固定在防沙体系内部,但在运行过程中,则因遭受破损而降低了防护作用,此时则需进行维护、更新、改造或重设,为此需对不同沙障的经济成本进行核算,以比选较为适宜的防沙措施,从而在实施过程中可因地制宜、量力而行设置防护措施。

根据工程实施中的设置材料费、人工费、维护费用及使用寿命,计算工程总造价,而后平均为年运行成本。对不同沙障防沙措施的成本进行对比,其结果如表 5 所示。由表 5 可知,在各种不同的固沙措施中,沙拐枣人工林带的年运行成本最高,平均为 10 120 元/(hm²·a),是各种沙障固沙措施的 1.75~4.86 倍。沙柳高立式沙障的年运行费用最低,为 2 080.0 元/(hm²·a),仅为人工林带运行成本的 1/5。

各种沙障措施中,沙柳高立式沙障运行费用最低,沙柳方格沙障运行费用次之,为 3 120 元/(hm²·a);1×1 m 规格的

参考文献:

[1] 胡春元,杨茂,杨存良,等.库布齐沙漠穿沙公路沙害综合防治技术[J].干旱区资源与环境,2002,16(2):71-77.
[2] 董智,刘永茂,白凤武.杭锦旗穿沙公路综合防治技术及其效益研究[J].内蒙古林学院学报(自然科学报),1999,(2):19-24.
[3] 张奎壁,邹受益.治沙原理与技术[M].北京:中国林业出版社,1989.
[4] 常兆丰,仲生年,韩福桂.黏土沙障及麦草沙障合理间距的调查研究[J].中国沙漠,2000,20(4):455-457.
[5] 韩致文,刘贤万,姚正义.覆膜沙袋阻沙体与芦苇高立式方格沙障防沙机理风洞模拟实验[J].中国沙漠,2000,20(1):40-44.
[6] 徐峻岭,裴章勤,王仁化,等.半隐蔽式麦草方格沙障防护宽度的探讨[J].中国沙漠,1982,2(3):16-23.
[7] 龚福华,何兴东,彭小玉.塔里木沙漠公路不同固沙体系的性能和成本比较[J].中国沙漠,2001,21(1):45-49.

土工布沙障运行费用最高,为 5 780 元/(hm²·a);但 2 m×2 m 规格的土工布方格沙障费用下降,为 3 530.0 元/(hm²·a)。稻草方格沙障因其使用寿命短而增大了运行成本,其费用为 3 450.0 元/(hm²·a),即使如此,与土壤凝结剂沙障、土工布沙障和土工袋沙障(2 m×4 m 除外)相比,其运行成本仍然较低。尽管需多次设置,但费用低廉是柴草沙障被普遍应用于固沙工程的原因之一。沙柳沙障的费用最为低廉,而且可使用 5 年左右,这也是沙柳沙障被广泛应用的原因。

表 5 几种固沙措施的经济成本的对比分析

固沙措施	材料费/ (元·hm ⁻²)	人工费/ (元·hm ⁻²)	维护费/ (元·hm ⁻²)	使用年 限/a	总造价 (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)	年运行成本/ (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)
稻草方格沙障	3900	1050	150	1.5	5175	3450.0
土壤凝结剂沙障	6800	1200	800	2.5	10000	4000.0
1 m×1 m 土工布沙障	43000	800	1200	10	57800	5780.0
2 m×2 m 土工布沙障	22500	800	1200	10	35300	3530.0
沙柳方格沙障	7800	4800	600	5	15600	3120.0
沙柳高立式沙障	4200	3200	600	5	10400	2080.0
2 m×2 m 土工袋沙障	24000	1500	800	8	31900	3987.5
2 m×4 土工袋沙障	18000	1500	800	8	25900	3237.5
高立式土工袋沙障	18000	2500	1200	8	30100	3762.5
沙拐枣人工林带	1200	600	10000	15	151200	10120.0

从各固沙措施的运行成本和防风固沙效益综合比较分析,沙柳沙障运行费用最低,其防风固沙效果较好,因而在沙漠地区公路沙害维护中可广泛推广使用。柴草沙障也是较好的一种固沙措施,但其固沙功能要弱,而且沙障体系易破损,因而需进行经常维护和更新。土壤凝结剂沙障、土工布沙障和土工袋沙障固沙效果好,但运行费用偏高,且易遭受沙埋,因而这些材料可在流沙活动性较弱的地方采用大规格进行使用,以降低其单位运行成本。人工林是各种措施中固沙效果最佳,运行成本最高的一种固沙措施,但其防护最为有效,而且可通过自身作用改善流沙环境,使沙丘转为固定状态,而且植被具有其他生态、经济功能,因而,人工林带依然是实践中常用措施。

4 结 论

从固沙性能分析,沙障固沙措施初设时,防风固沙作用明显,但其防护高度和防护时间有限,随着防护时间的延长防护作用下降甚至失去作用,且沙障在防护过程中,易遭受腐烂、沙埋、倒伏和破损而失效。人工植被在栽植初期,防风固沙效果较弱,但随着防护延伸其防护高度和时间也增长。因而,二者各有利弊,在实践中宜根据需要因地制宜采取不同的措施或二者共用。

从运行成本分析,沙柳沙障(方格、高立式)和柴草沙障成本低,可在沙区大面积使用,但需加强其维护和管理;土工材料和土壤凝结剂沙障运行成本较高,可在小范围内使用;人工植被运行成本最高,但其防护作用长而持久,应在有条件的沙区进行人工植被建设,以增强沙害防治效果。