

3种固沙剂固沙能力的野外试验研究

姚正毅, 王 涛, 韩致文, 赵爱国, 陈 珩, 杨佐涛

(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, 兰州 730000)

摘 要:以国内3种化学固沙剂为研究对象,对其不同用量下形成的结皮渗透性能、结皮厚度、抗风蚀能力、力学强度进行了野外实验观测研究。结果表明,DST、改性聚醋酸乙烯的渗透性较好,入渗深度分别可达到4.0~5.0 mm和3.2~5.0 mm,星火A渗透性差。在3种固沙剂中,DST形成的结皮厚度大,可达到10~13 mm,抗压强度也最大,为1.22~2.27 MPa。改性聚醋酸乙烯和星火A形成的结皮厚度小,只有DST结皮的1/4~1/5。改性聚醋酸乙烯结皮在用量为150 g/m²时抗压强度为0.98 MPa,中小用量强度较低。星火A 3种用量结皮强度都弱。野外实验表明,DST无论是耐候性和抗紫外线辐射性能较好,具有较强的抗风蚀能力,改性聚醋酸乙烯的耐候性和抗紫外线辐射性能较差。相比之下,DST是一种优良的固沙剂,用量还可以降低,以降低成本。

关键词:固沙剂;固沙能力;野外试验

中图分类号:X171;S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0066-03

Field Tests on Consolidation Effect of Three Sand Stabilizers

YAO Zheng-yi, WANG Tao, HAN Zhi-wen, ZHAO Ai-guo, CHEN Heng, YANG Zuo-tao

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Three types of sand stabilizers were used for field tests on loose sand surface in Shapotou. Each sand stabilizer was conducted in three concentrations. The observed contents include penetration depth, crust thickness, surface hardness, compressive strength and erodibility. Based on the test results, PAE (Polyvinyl acetate emulsion) and DST have good permeability and penetration depth is 4.0~5.0 mm and 3.2~5.0 mm respectively. The Xinghuo A has poor permeability. The crust thickness of DST is 10~13 mm and is the thickest among three sand stabilizers. The crust thickness of PAE and the Xinghuo A only is 1/4~1/5 of DST's. Compressive strength of DST crust can reach 1.22~2.27 MPa and can bear a human being weight. Compressive strength of the Xinghuo A crust is the lowest among three sand stabilizers. Field tests show that DST is the most appropriate material for fixing sand drift because DST has the wider range of temperature tolerance, higher aging and natural weathering resistance and sand-flow resistance, and the test also showed that the dosage of DST can be reduced and decrease the cost.

Key words: sand stabilizers; sand consolidation effect; field test

1 简 介

化学固沙作为一种固定流沙的工程措施,迄今应用已有70 a的历史。经过数十年的研究,国内外已经研制出100多种化学固沙材料^[1-3]。但无论何种固沙材料,都具有粘结作用,能使单颗粒松散的沙粒粘结在一起,形成强度很高的结皮(有的文献称固结层、防护层、覆盖层等)。其次固沙材料还可以与沙粒发生某种化学反应(如水化作用),产生胶结力,把沙粒胶结在一起,增大了颗粒之间的粘聚力,提高了结皮的整体结构强度^[4-5]。另外,化学固沙材料具有充填作用,材料固化后本身具有较高强度,充填于沙土孔隙中,限制土体变形,提高土体抵抗外力的能力^[6-7]。固沙材料和流沙接触后,在流沙表面凝固直至固结成具有一定强度的保护层,保护其下松散流沙免遭风蚀,同时形成光滑床面,促使风沙

流顺利输移。根据固定流沙的要求,理想的化学结皮应具有以下的特点:(1)抗风蚀力强,(2)承压力强,(3)抗严酷环境条件^[8]。虽然从理论上说,可供的化学固沙材料很多,但是考虑到价格、材料来源、环保、喷洒工艺等因素,全世界已经试验成功的100余种固沙材料中90%以上不能大规模使用^[3]。一些在实验室里性能表现很好的固沙剂因不能抵抗野外严酷环境而被淘汰,野外严酷的环境条件成为制约某些固沙剂的大规模应用的瓶颈,高温(夏季沙面温度可达70℃以上)、紫外线辐射、雨水冲刷、低温等因素极大地影响了固沙剂的固沙性能。因此,固沙材料在野外环境中的实验观测成为优选固沙材料的必要环节。

通过对3种固沙剂固沙能力的野外试验对比观测,优选出性能良好的固沙剂及最佳浓度配比。实验使用的3种固

收稿日期:2007-05-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40472144)

作者简介:姚正毅(1969-),男,博士,副研究员,主要从事风沙工程与沙漠化研究。E-mail:yaozy@lzb.ac.cn

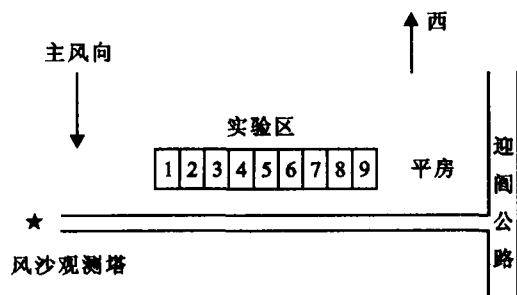
沙剂分别是改性聚醋酸乙烯,星火 A、DST。实验的浓度配比是由生产厂家推荐,并在此基础上增大和减小用量,以观察在不同的用量下,固沙剂的固沙效果。

改性聚醋酸乙烯(Polyvinyl acetate emulsion)呈白色乳液状,有较强黏性,密度略大于水,溶于水后,呈半透明乳液。星火 A 呈白色粉末状,密度略小于水,溶于水后,颗粒粉末体积膨胀,形成黏稠的胶状液体。DST 是一种白色果冻状固体,密度略大于水,含有杂质时,略带浅黄色,在常温下难溶于水,需要加热煮沸才能溶于水。

2 野外实验地状况及实验过程

野外实验地点在中国科学院风沙实验观测场,位于宁夏回族自治区中卫市迎门公路 9 km 处,距沙坡头沙漠科学试验站直线距离为 11 km,地理坐标为 $N37^{\circ}34'$, $E105^{\circ}02'$,海拔 1 277 m。地处温带干旱地区东部边缘的腾格里沙漠东南缘,年平均气温 9.6°C ,1 月平均气温 -6.9°C ,7 月平均气温 24.3°C ,地面最高温度可达 74°C 。多年平均降水量 179.6 mm,多年平均蒸发量为 1 829.6 mm,为降水量的 10.2 倍。降水主要集中在 6—8 月,占全年降水量的 60%。全年无霜期平均 167 d,全年日照时数 2 870 h。

在通往观测塔的便道西侧,选择一平坦场地,长度为 60 m,宽度为 10 m,分为 10 个小格,每个小格规格为 $10\text{ m}\times 6\text{ m}$ 。9 个小格喷洒固沙剂,余下最北端的一个小格作为对比。首先用皮尺测量好面积四周钉上木桩,用红色塑料绳把区域分为 10 小格,每个小格面积为 60 m^2 ,喷洒一种固沙剂。为了保证喷洒均匀,在 $10\text{ m}\times 6\text{ m}$ 再划分出 10 小格,规格为 $1\text{ m}\times 6\text{ m}$,每一小格用水 50 kg,用 5 个 50 kg 的塑料桶装水,加入称量好的固沙剂,搅拌均匀,用一台汽油机泵进行喷洒。实验在 2005 年 4 月 21—24 日进行,实验期间天气晴好,白天最高气温 28°C ,夜间最低气温 12°C 。最大风速曾达 12 m/s(发生在 23 日,因此停止工作 1 d)。



图中数字为实验区编号

图1 实验布置图

3 观测结果

4 月 25 日下午,除了星火 A 实验区少部分结皮尚潮湿外,其他大部分结皮表面已经干燥,对结皮情况进行了实地观察。观察的主要项目有入渗深度(cm),结皮厚度(mm),抗踩踏能力等。入渗深度(cm),结皮厚度(mm)可以用尺子测量,其他项目只能根据一些观测到的情况进行定性的判断和比较。例如,抗踩踏能力是根据人脚踩结皮时出现的一些情况判断,如是否出现裂纹、留下小坑、发生破裂,以及人在上

面行走的困难程度等;力学强度是按照相应的浓度配比在铁盘里重新制样,在实验室内用 CSS-1120 电子万能材料试验机完成。抗风蚀能力主要根据风沙流在结皮上的打磨痕迹的明显程度及风蚀小坑的大小来判断。观察结果如表 1。

3.1 固沙溶液入渗情况

按照实验设计,所用水量刚好能浸湿表层 5 cm 的沙土,入渗再深,大量的固沙剂被带入地下,失去表面防护的目的;入渗太浅,形成的结皮厚度太薄,强度太低,同样不能起到防护的目的。虽然固沙溶液入渗深度可达 5 cm,但在水分蒸发过程中,固沙剂分子随水分向表层运移,从而聚集在表面,形成一层强度较高的薄层结皮,这是主要抵抗风沙流侵袭的一层。其下的沙土里虽然含有固沙剂分子,但含量已大大减少,只能形成很松散的固结层,这层物质强度很低,几乎没有抗风蚀能力,一般可以起到支撑重量、抵抗踩踏的作用。

表1 固沙结皮野外观察结果

| 名称 | 实验区 编号 | 用量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) | 入渗 深度/ cm | 结皮 厚度/ mm | 力学 强度/ MPa | 抗踩踏 能力 |
|-----------------|-----------|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
| 改性 聚醋酸 乙烯 | 1 | 100 | 5.0 | 1.5 | 0.67 | 弱 |
| | 2 | 125 | 4.0~5.0 | 1.8~2.0 | 0.81 | 中 |
| | 3 | 150 | 5.0 | 2.5 | 0.98 | 强 |
| 星火 A | 4 | 20 | 1.5~3.0 | 2.0~3.0 | 0.37 | 弱 |
| | 5 | 25 | 1.3~1.6 | 1.0 | 0.42 | 弱 |
| | 6 | 30 | 1.2 | 1.0 左右 | 0.51 | 弱 |
| DST | 7 | 660 | 4.5~5.0 | 10 | 1.22 | 强 |
| | 8 | 1000 | 3.6~4.2 | 12 | 1.65 | 强 |
| | 9 | 1330 | 3.2 | 13 | 2.27 | 强 |

从入渗情况看,星火 A 各浓度的溶液都是黏稠的胶状液体,入渗缓慢,30 g/m^2 的溶液入渗困难,致使溶液在沙面上流淌,在低洼处积聚,而突起的地方入渗量非常小,因此各浓度的溶液入渗深度较小,最大也只有 1.2~3.0 cm。改性聚醋酸乙烯各浓度的溶液都能很好地快速入渗,没有发生溶液流淌现象,入渗深度在 4.0~5.0 cm,基本达到了设计要求。DST 的中小浓度入渗较快,入渗深度在 3.6~5.0 cm 之间;大浓度入渗较慢,入渗深度在 3.2 cm 左右;但只要喷洒速度放慢些,入渗深度可以达到预定深度。

改性聚醋酸乙烯和 DST 属分子较小的有机胶结材料,在胶结过程中,与沙子形成网状交联,不会在胶结体表面形成膜,也不会将胶结体的孔隙填实,因此有比较快的渗透性。星火 A 属分子较大的有机胶结材料,溶于水后,颗粒粉末体积膨胀,形成黏稠的胶状液体,在浓度大时,甚至有未溶解颗粒混杂其中。在胶结过程中,将表面的大部分孔隙填充密实,在胶结体表面形成一层膜,阻止了胶结材料的继续下渗。

3.2 结皮厚度及强度

从现场观测的结果来看,星火 A 和改性聚醋酸乙烯形成的结皮厚度小,分别在 1.5~2.5 mm 和 1.0~3.0 mm 之间,DST 形成的结皮厚度大,在 10~13 mm 之间。星火 A 的 3 种用量下所形成的结皮强度最大为 0.51 MPa,都不能承受人体的重量,结皮很容易被踩破而形成小坑。改性聚醋酸乙烯形成的结皮在用量为 100 g/m^2 时强度为 0.67 MPa,在上面行走时会踩出裂纹;在用量为 125 g/m^2 时强度 0.81

MPa,可以承受人体重量,在上面轻步行走而不会踩出裂纹;在用量为 150 g/m^2 时强度 0.98 MPa ,人可在上面快步行走而不会踩出裂纹。DST 所形成的结皮强度在 $1.22 \sim 2.27 \text{ MPa}$ 之间,完全能够承受人在上面任意行走和踩踏。从结皮厚度及强度来看,改性聚醋酸乙烯还需加大用量,以获得厚度更大,强度更高的结皮。而 DST 则可以减少用量,在用量 $500 \sim 700 \text{ g/m}^2$ 时完全可以达到理想的固沙效果。

3.3 结皮抗风蚀能力

现场实验结束 4 个月后,8 月 31 日再次对结皮的情况进行观察。这 4 个月中,沙坡头地区共有 11 次小到中雨,总

降雨量达 153.2 mm ,大风日数 7 d,最高气温 38°C ,最高沙面温度 68°C 。经历了野外严酷环境的考验后,3 种固沙剂的固沙效果观测结果如表 2。

从表 2 可看出,3 种浓度的星火 A 固沙剂的固沙作用都很脆弱,需要添加其他物质进一步增强抗风蚀能力。改性聚醋酸乙烯低浓度固沙效果不明显,只有高浓度(150 g/m^2)显示出较强抗风蚀能力,在实际使用中还要提高用量,才能保证结皮有足够的强度抵抗风沙的侵蚀。DST 3 种浓度结皮强度都很大,有极强的抗风蚀能力和抗老化能力,是一种优秀的固沙剂,实验表明,用量还可以减少,以降低成本。

表 2 4 个月后结皮固沙效果观测结果

| 名称 | 用量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) | 现场描述 |
|-----------------|---|---|
| 改性 聚醋酸 乙烯 | 100 | 大部分被沙埋,未埋结皮大部分被风蚀,仅剩余个别结皮,强度极低 |
| | 125 | 部分被沙埋(1/3),上风向结皮仅存极少量,下风向结皮保存较多,但强度低 |
| | 150 | 下风侧部分被沙埋,表层结皮保存较多,有个别风蚀坑,直径 $10 \sim 30 \text{ cm}$,深 $5 \sim 10 \text{ cm}$ 。沙床面高出星火 A 类实验区 $10 \sim 20 \text{ cm}$,高出相邻用量 125 g/m^2 实验区 $5 \sim 6 \text{ cm}$,与相邻两侧实验区对比明显,显示出保护沙床面的作用 |
| 星火 A | 20~30 | 用量为 20 g/m^2 和 25 g/m^2 的实验区表面结皮全部被风蚀破坏,风蚀深度达 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 。用量为 30 g/m^2 的实验区表层有零星残存结皮,并有一定的强度;在下风向残存连片结皮,比相邻实验区(用量为 20 g/m^2 和 25 g/m^2 的实验区)地高出 $5 \sim 10 \text{ cm}$ |
| DST | 660 | 结皮表面光滑平整,强度较大,没有风蚀现象,人可以在上面随意行走,仅产生细微裂纹 |
| | 1000 | 上风向结皮下面的沙土被风掏蚀,风蚀深 $10 \sim 20 \text{ cm}$,致使结皮悬空但无破裂。整体强度大,没有风蚀现象,人可以在上面随意行走而不会产生破裂 |
| | 1330 | 结皮坚硬,强度大,没有风蚀现象;结皮外缘有翘起现象,局部可见收缩裂纹,人可以在上面随意行走而不会产生破裂。实验区下风侧有风沙堆积 |

4 结论与讨论

(1)通过对 3 种固沙剂固沙能力的野外试验及观测研究表明,DST 和改性聚醋酸乙烯的渗透性都较好,入渗深度分别可以达到 $4.0 \sim 5.0 \text{ mm}$ 和 $3.2 \sim 5.0 \text{ mm}$,星火 A 渗透性差,溶液有流淌现象,不适宜在斜坡上使用。

(2)在 3 种固沙剂中,DST 形成的结皮厚度大,强度也最大。改性聚醋酸乙烯和星火 A 形成的结皮厚度小,只有 DST 结皮的 $1/4 \sim 1/5$ 。改性聚醋酸乙烯结皮在用量为 150 g/m^2 时强度大,中小用量强度较低。星火 A 的 3 种用量的结皮强度都弱。

(3)DST 无论是耐候性和抗紫外线辐射性能较好,具有较强的抗风蚀能力,改性聚醋酸乙烯的耐候性和抗紫外线辐射性能较差,野外实验表明,DST 是一种优良的固沙剂,用量还可以降低,以降低成本。

参考文献:

[1] 朱震达,赵兴梁,凌裕泉,等.治沙工程学[M].北京:中

国环境出版社,1998:117-137.

- [2] T. H. 法济洛夫. 胶结剂固定流沙(许德全译)[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
- [3] 阳昌秀,刘铁良. 铁路固沙胶结材料述评[J]. 世界沙漠研究,1985(2):45-48.
- [4] Saad Ali Aiban. A study of sand stabilization in eastern Saudi Arabia[J]. Eng. Geol., 1994, 38(3): 65-79.
- [5] Stipho A S. Some engineering properties of stabilized salina soil[J]. Q. J. Eng. Geol., 1989, 26(4): 181-197.
- [6] 熊厚金,张良辉,邹小平,等. 岩土工程化学导论[J]. 岩土工程学报,1999, 21(4): 403-407.
- [7] Akpokodje E G. The stabilization of some arid zones soils with cement and lime [J]. Q. J. Eng. Geol., 1985, 18(2): 173-180.
- [8] 塔里木石油勘探开发指挥部. 塔里木沙漠石油公路[M]. 北京:石油工业出版社,1996:591-601.