

# 新型化学固沙材料性能的试验研究

王银梅<sup>1</sup>, 谌文武<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学 水利工程学院, 山西 太原 030024; 2. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** SH 为新型高分子固沙材料。对 SH 固沙的强度、抗风蚀能力、耐水性、耐老化性、抗冻融稳定性进行了室内试验, 并开展了现场固沙试验研究。研究结果表明, SH 固沙效果好, 也比较适合化学结合植物固沙, 可用于沙漠化治理。

**关键词:** 化学固沙; 高分子材料; 性能试验; 强度

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)01—0108—04

中图分类号: S157.2

## Experimental Study on Properties of a New Chemical Material in Sand Fixation

WANG Yin-mei<sup>1</sup>, CEN Wen-wu<sup>2</sup>

(1. College of Hydraulic Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China;

2. College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** The SH is a new polymer material for sand fixation. Strength of SH-fixed sand, resistance to wind erosion, water resistance, resistance to ageing, freezing-thawing resistance were tested in an indoor experiment. The experiment of SH-fixed sand was also conducted in the field. Results indicate that the SH has some great effects on sand fixation, and is fit for chemical sand fixation as combined with plants. The SH may be used in sand control.

**Keywords:** chemical sand fixation; polymer material; property study; strength

土地沙漠化是我国特别是西北地区当前最为严重的生态环境问题之一。最近的资料表明, 全国沙化土地面积达  $1.74 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 18.2%, 目前沙化土地仍以每年  $2460 \text{ km}^2$  速度蔓延, 相当于每年损失一个中等县的土地面积。不断加剧的沙尘暴和沙化土地的扩展更使得生态环境雪上加霜, 吞噬着中华民族的生存空间, 给国民经济和社会发展造成了极大的危害, 成为中华民族的心腹大患, 已引起人们的关注。

20 世纪 50 年代, 我国开始对土地沙化进行研究和治理, 1956 年开始研究化学固沙。目前化学固沙材料虽然比较多, 但多数处于实验室研究阶段, 未能用于室外沙化治理。究其原因, 可能有的价高, 有的材料稀缺, 有的效果不佳, 有的污染环境。所以新型化学固沙材料的研制势在必行。

高分子材料因特有的结构和优异的性能是当今化学固沙材料的研究热点。我国一些高校及科研院所近年来相继开始对高分子固沙材料类进行研究, 但这些材料不但价格高, 也很少能直接与植物固沙结合起来<sup>[1-5]</sup>。本文就新型高分子材料 SH 的固沙性能

及其与植物固沙工程相结合的可能性进行了一系列试验研究, 取得了对该材料的认识。

## 1 SH 材料

SH 是兰州大学结合 863 课题“固沙植被用新材料及低成本制备技术”开发研制的新型固化产品。它为水溶性高分子材料, 分子量在 20 000 左右, 乳白色, 比重  $1.09 \text{ g/cm}^3$ , 黏度不大, 凝胶时间易于控制。SH 具有良好的物理力学性能, 如亲水性强, 在常温下与水可按任何配比互溶, 具超强的结合力和凝聚性可将沙土固化。SH 经兰州医学院药理教研室对小白鼠作急性毒力实验(对小白鼠进行强行喂养), 证实无毒, 符合我国环保要求。

## 2 试验内容与方法

### 2.1 固沙体强度试验

以固化沙体的抗压强度作为强度检验的标志。参照美国 ASTM 有关水泥土规程及我国土工和混凝土规程, 固沙试块采用  $7.07 \text{ m} \times 7.07 \text{ m} \times 7.07 \text{ m}$  的立方体。以不同的密度, SH 的掺量逐渐增加设计制

作固沙试块,试验设计 56 组,每组试样至少 3 个,共制作可测定抗压强度的试样 180 个。使用 WE—30 型液压式万能材料试验机对 SH 固沙体进行大量单轴抗压强度测试。

## 2.2 抗风蚀性试验

试验在中国科学院兰州分院沙漠与沙漠化国家重点风洞实验室进行。具体做法为:以 1% 的 SH (1.51/m<sup>2</sup>,代号 S,2.51/m<sup>2</sup> 代号 H) 喷洒腾格里沙漠流动沙丘沙制成沙盘(面积为 0.050 88 m<sup>2</sup>),待试样完全凝固干燥后,以 0°,30° 的坡度,不同风速的净风和风沙流进行模拟吹蚀。

## 2.3 耐水性试验

在沙漠里也要求固沙材料具有一定的耐水性。固结层的耐水性试验是在室内通过向固结层(先将流沙置于面积 0.050 88 m<sup>2</sup> 的盘中整平,然后以 SH 喷沙制成沙盘)模拟降雨喷水,观察固沙面的形态变化简易定性判断。主要考察 SH 耐水性的 3 个指标,即固结层的透水性,固结层的水稳定性,浸水干强度。

SH 固化沙体的耐水性,则分别在室内用渗透仪测定渗透性,用崩解试验定性考察水稳性。

## 2.4 老化试验

采用紫外光老化法。室内试验时,将 SH 固沙体置于距离 2 个 300 W 的紫外线碳弧灯正下方 30 cm 位置的耐老化试验箱中,在紫外光的间歇照射下。试

验中定期测量试样的表面温度、强度损失,并观察其形态变化。

## 2.5 冻融试验

结合我国北方地区早晚的温差变化,冻结和融化温度分别选定为 -20 和 +20,冻融循环周期为 8 h。测定固沙体在规定冻融循环后的重量和抗压强度。标准试件烘干后也测其重量和强度值。

## 2.6 SH 工程固沙试验

因需要试验 SH 与植物固沙结合的适宜性,分别于 2002—2005 年选择在年降雨量有明显差异的甘肃省敦煌莫高窟崖顶沙丘(23 mm),宁夏自治区中卫沙坡头试验站(186 mm),宁夏自治区银川植物园(110 mm),甘肃省武威市凉州区长城乡(400 mm 左右)4 个地点进行。

在敦煌莫高窟崖顶,单用 SH 喷洒加固流动沙丘,武威试验区用 SH 结合几种植物固沙,观察固沙效果。

# 3 试验结果与讨论

## 3.1 SH 固沙体的强度特征

试验结果如表 1。从表 1 可以看出,SH 固化沙试样抗压强度在 1.1~6.0 MPa 之间,超过国际上对固沙强度 1 MPa 的要求。固沙体的抗压强度与干密度、固沙剂的掺入量相关。

表 1 SH 固沙试样抗压强度测试结果

掺入量/ mL	密度/(g cm <sup>-3</sup> )						测试条件描述
	1.55	1.58	1.60	1.62	1.65	1.68	
10	1.13	1.24	1.31	1.38	1.49	1.60	
20	2.25	2.58	2.80	3.02	3.36	3.69	
30	3.21	3.42	3.57	3.02	3.93	4.14	养护时间为 21 d,抗压强度为均值,单位 MPa。
40	3.15	3.55	3.82	3.71	4.48	4.88	
50	2.71	3.37	3.81	4.08	4.91	5.57	
60	3.88	4.21	4.44	4.25	4.99	5.32	
70	4.24	4.43	4.56	4.66	4.87	5.06	

## 3.2 耐风蚀能力<sup>[6]</sup>

部分结果如表 2 所示。SH 固沙在净风风速下没有风蚀。当风沙流速度达到 15 m/s 时,不风蚀,当风速达 25 m/s 时,有风蚀。

原中科院兰州沙漠所试验了 石油产品固沙液:原油(A<sub>1</sub>),乳化原油(A<sub>2</sub>),乳化沥青(A<sub>3</sub>); 高分子材料类固沙液:改性聚乙烯醇(P<sub>1</sub>),聚合物(P<sub>2</sub>); 无机材料类固沙液:硅酸盐(W<sub>1</sub>),改性硅酸盐(W<sub>2</sub>) 处理沙坡头流沙(沙盘面积 0.010 6 m<sup>2</sup>),结果如表 3。

表 2 风沙流与固沙试样风蚀率关系

试样编号	风速/(m s <sup>-1</sup> )	吹风时间/min	风蚀率/(g min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	风蚀状况
S—3	10	10	—	无风蚀
S—5	15	10	—	无风蚀
S—6	25	5	3.46	有风蚀
H—3	10	10	—	无风蚀
H—5	15	10	—	无风蚀
H—6	25	5	1.26	有风蚀

表 3 原沙漠所试验的风沙流与固沙试样风蚀率关系  $g/(min \cdot m^2)$

固沙材料	风沙流速度/ ( $m \cdot s^{-1}$ )			
	5	10	15	20
A <sub>1</sub>	0	0	0	0.13
A <sub>2</sub>	0	0	0	0.13
A <sub>3</sub>	0	0	0	0.38
P <sub>1</sub>	0	0	0	0
P <sub>2</sub>	0	0	2.20	15.09
W <sub>1</sub>	0	0.13	4.25	38.68
W <sub>2</sub>	0	0.06	4.09	105.19

两个试验结果进行比较,可见 SH 固沙风蚀率不大,其抗风蚀效果比较明显。

### 3.3 耐水性

向已由 SH 固化完全的沙表层一次性倾倒 200 mL 水,发现 1% 的 SH 固沙后,表层的渗透性较好,有利于与植物固沙相结合。而 2% SH 固沙后薄壳强度较大,渗透性较差,强度越大的薄壳,它的渗透性越差。因为这样的薄壳中沙粒的粘接情况较好,固结层的空隙率较小。

SH 固结沙层水稳定性好,表现在固沙面在水的作用下不易散,浸水干后表面很硬,不易破坏。较高的浸水干后强度,一方面能体现良好的耐风蚀能力;另一方面说明其保水性较好,与植物固沙结合时,可储存植物生长所需的水分。

SH 固沙体的渗透试验结果如表 4。对照沙样的渗透系数为  $1.4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ,固沙体为  $1.0 \times 10^{-3} \sim 5.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ,可见固沙体的渗透系数较对照沙样略有降低,但基本在同一数量级内,都具中强透水性。上述事实说明 SH 固化沙体后,不会在很大程度上改变沙的渗透性,固化沙体的孔隙不会更多地被堵塞。与原状沙相比,试样加固后虽然沙粒被胶结在一起,疏松的结构明显得到了改善,但加固后样品仍能保持较多的孔隙。这样,SH 固化材料可以保证大部分的降水渗入表层以下,从而保证所种植物的成活。

表 4 不同掺量 SH 固化沙体的渗透性  $10^{-3} \text{ cm/s}$

密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	固含量/ %			
	0.000	0.400	0.500	0.600
1.55	—	0.631	0.553	0.439
1.60	1.413	0.761	0.647	0.559
1.65	—	0.949	0.805	0.729

注:纯沙稍加压实。

SH 固沙体浸入水中初期有气泡出现,但是,以后的较长时间外观无大的变化。试验 6 个月时还未

崩解,强度稍有下降,这表明 SH 胶结沙的能力强,水稳定性好。

SH 固沙后耐水性好,基于 SH 是具有较好粘结力和成膜性的水溶性高分子材料,其大分子链上有亲水羧、羟等基团,它们表现为亲水性,并具有螯合性;主链为疏水性 C—C 键相联的大分子链之故。沙粒主要成分是  $SiO_2$ ,盐类,表面存在少量的  $Si-OH$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ 。当 SH 与沙粒结合,失水以后,高分子链相互聚集形成膜或单个直链高分子,主链上羧、羟基等可以与沙粒表面的  $Si-OH$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  等发生络合等物理化学作用,依靠这种作用使高分子链紧紧抓住  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  和  $Si^{4+}$  等,从而使沙粒和高分子成为一个不溶性的、富有弹性的、坚固的、网络状的凝胶整体,实质上沙粒被镶嵌在 SH 高分子材料(或高分子膜)之中<sup>[7]</sup>。由于以上作用在水中的不可逆性,所以固沙后不仅形成强度而达到固沙的目的,且在水中不崩解。

### 3.4 耐老化性和抗冻融稳定性

当老化试验进行 30 min 后试件表面温度可达  $65 \sim 70$ 。随着老化时间的延长,固沙试块外观完好,颜色无变化;经历 100 h 间断照射后,强度不变,但破坏应变减小,表明材料变脆。200 h,300 h 老化后,强度增长 8.9%。SH 耐老化性能优于同类其它固沙剂。

SH 固沙体随冻融循环次数的增加,重量损失逐渐增大,但增幅很小,而冻融强度在 8 次循环以前有所增加。此后,随冻融循环次数的增多,强度损失率逐渐增大,在经历 20 次循环后,强度损失率仅 17.4%,小于 25%,所以至少能耐 20 次循环。而推算 25 次循环后的重量损失率为 1.14%,强度损失率为 27.2%。SH 固沙试样在冻融后重量损失都较少,且没有明显的膨胀脱落或裂纹。在沙漠环境中,如固结层在冻融后不产生膨胀和裂纹,仅有较少的重量损失,那么其抗风蚀能力也将不会明显降低。SH 显示了较好的抗冻融稳定性。本部分细节见文献[8—9]。

### 3.5 SH 固沙效果及对植物的影响

在敦煌莫高窟崖顶,用浓度为 1%~2% 的 SH 喷洒加固流动沙丘,发现固结层厚度为 2~4 mm 或 0.5% 的厚达 1 cm 以上,可起到固定流沙的作用。从防止沙害的效应来看,还表现在以下几方面。

(1) 固结层对沙层含水量的影响。由于沙面喷洒固沙材料后形成固结封闭层,该层将切断毛管水的蒸发,对下部水分上升有明显的阻碍作用,使得蒸发量大大减小,沙层水分含量有所增加,保水性能得到一定程度的加强。经 SH 喷洒的沙面,沙层的保水性

能证实有所增加。现场试验时,由于敦煌 7 月份气温高,蒸发量太大,表层 30 cm 以上均为干沙层,用南通中天精密仪器有限公司生产的测墒仪无法测出其变化。为了对 SH 固沙前后的沙层水分情况有所了解,尝试在对照沙地和喷有不同浓度、厚度不同的固沙地块(2 m × 1 m)上均匀喷洒水量 1 000 mL,每隔 10 min 测定 6 cm 深的沙层体积含水量,部分结果见表 5。结果显示,不用 SH 的对照沙地,约 2 h 后水分即降为 0,而用 SH 作用后,可延长水分蒸发散失。本试验因人工喷洒 SH 和水时存在不均匀等情况,测试结果分散性、波动性较大,延长时间不大规律,但总体看来可后延一段时间,表现出较明显的保水保墒作用。

表 5 用测墒仪测定的 SH 固沙层与对照沙地体积含水量

测定时间	10 00	11 00	11 30	12 00	12 30	13 00
对照	2.93	1.17	0.57	0.20	0	0
1%SH 的固结层	2.97	2.87	2.83	1.20	1.07	0.97

(2) 固结层对沙层温度的影响。在不同深度埋设温度计,喷洒 SH 后进行地温测量,试验发现 SH 固沙后的固结层与聚乙烯醇的性能相似。在夏季时,固结层下 10 cm,一天中温度较低时,表现出一点增温作用,但在高温段降温作用更明显,20 cm 内沙层地温稍有下降(固结层下 10 cm,20 cm 沙层温度变化分别见图 1,2)。

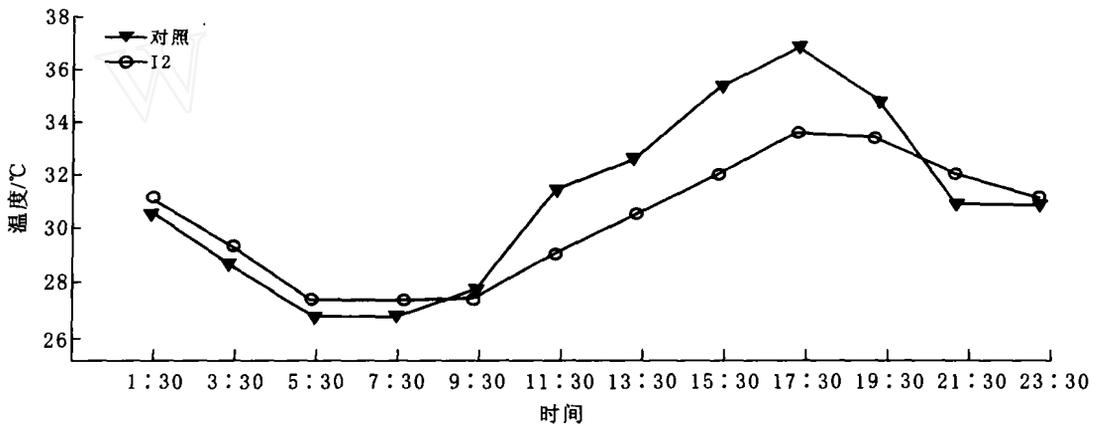


图 1 固结层下 10 cm 沙层温度变化

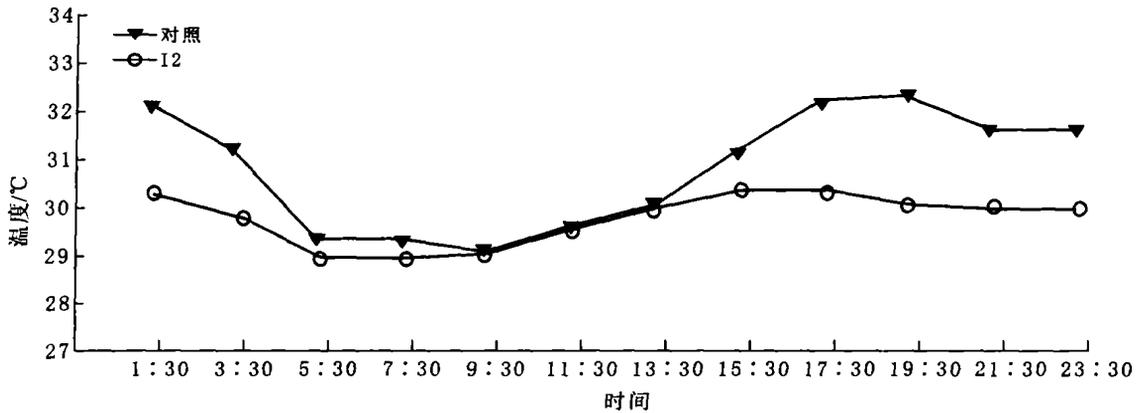


图 2 固结层下 20 cm 沙层温度变化

上述结果说明用 SH 固沙,可改善沙土的水温条件,为植物的生长创造较有利的环境。武威试验区用 SH 固沙并种植柠条、花棒、油蒿、沙拐枣等固沙植物,建立的固沙植被稳定,植物成活率高(80%),生长状况良好;沙坡头试验区则在用 SH 固定沙面的同时,用方格状播种柠条、沙打旺、草木樨等植物(部分配合使用保水剂),固沙效果好,生态效益比较明显。

敦煌的研究结果,结合其它几个地点的试验观察,均表明:

(1) 沙层表面喷覆 SH,喷覆层干燥后能够在沙层表面形成一定厚度的沙结皮,能够起到固定流沙的作用。

(2) SH 与流沙结合形成沙结皮,有良好的渗水性和透气性。

若采用小于 2.0%SH,形成的沙结皮对植物的生长影响较小,原有野生植物的生长没有受到任何不良影响。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘思峰,郭天榜.灰色系统理论及其应用[M].开封:河南大学出版社,1991.
- [2] 侯军岐,张社梅.黄土高原地区退耕还林还草效果评价[J].水土保持通报,2002,22(6):29—31.
- [3] 包建华,唐代旭,陈本林.四川省退耕还林社会经济效益监测报告[J].四川林勘设计,2005(1):26—32.
- [4] 古丽努尔·沙布尔哈孜,等.塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价研究[J].水土保持学报,2004,18(5):80—83.
- [5] 贾卫国,周辉.我国退耕还林政策实施效果与可持续性研究[J].林业建设,2004(5):3—7.
- [6] 温仲明,王飞,李锐.黄土丘陵区退耕还林(草)农户认知调查——以安塞县为例[J].水土保持通报,2003,23(3):32—35.
- [7] 李丁,马金珠,南忠仁.干旱区灌溉农田退耕还林政策实施的 WSU—PRA 调查研究——以甘肃民勤绿洲为例[J].干旱区资源与环境,2004,18(8):82—86.
- [8] 董世奎,康慕谊,等.黄土高原地区退耕还林(草)政策的持续性分析[J].水土保持学报,2005,19(2):41—44.
- [9] 杨从民,张爱红,李智勇.参与式在退耕还林中的应用比较研究[J].贵州农业科学,2004,32(6):74—79.
- [10] 翟文侠,黄贤金.应用 DEA 分析农户对退耕还林政策实施的响应[J].长江流域资源与环境,2005,14(2):198—203.
- [11] 陆贵巧,鲁绍波,等.农民对退耕还林工程满意度及影响因子的调查分析[J].河北林果研究,2005,20(1):14—17.
- [12] 徐刚.重庆市退耕还林条件的区域比较研究[J].水土保持学报,2001,15(6):81—84.

(上接第 111 页)

(3) SH 可单独用于固沙,也可与植物结合固沙,但最好结合当地适宜的植物配合使用。这样可在植物幼苗阶段保护幼苗免遭风沙危害,待植物长大后,植物本身可起到固沙作用,因而可长期固定沙面。化学与生物结合固沙措施有较好的应用前景。

(4) 用 SH 固沙成本较低,可以控制在 0.20 ~ 0.80 元/m<sup>2</sup>。

上述试验结果表明,SH 固沙的强度、抗风蚀能力、耐水性、耐老化性、抗冻融性良好。其良好的固沙能力,又可与植物固沙工程相结合,现场施工方便,价格也较便宜。该材料如能用于沙漠化治理将会有很广阔的前景。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 朱震达,赵兴梁,凌裕泉,等.治沙工程学[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [2] 郭峰,章梦涛,邱金淡,等.一种适合植物生长的高分子固沙剂[J].水土保持学报,2003,17(4):117—118.
- [3] 杨中喜,岳云龙,陶文宏.高性能固沙材料的开发与研究[J].济南大学学报(自然科学版),2002,16(1):71—73.
- [4] 丁庆军,许祥俊,陈友治,等.化学固沙材料研究进展[J].武汉理工大学学报,2003,25(5):27—29.
- [5] 李臻,王宗玉,胡英娣.新型化学固沙剂的试验研究[J].石油工程建设,1997(2):3—6.
- [6] 王银梅,谌文武,韩文峰.新型高分子材料固沙抗风蚀的风洞模拟[J].水土保持学报,2005,19(6):12—15.
- [7] 王银梅,谌文武,韩文峰.SH 固沙机理的微观探讨[J].岩土力学,2005,26(4):650—654.
- [8] 王银梅,韩文峰,谌文武,等.新型高分子材料耐老化性能的试验研究[J].工程地质学报,2004,12(3):318—322.
- [9] 王银梅,韩文峰,谌文武.新型高分子材料 SH 固沙抗冻性的试验研究[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(4):145—148.