

化学工程固沙在塔里木沙漠公路沙害防治中的适宜性

韩致文, 胡英娣, 陈广庭, 姚正义, 邵国胜(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要: 由于天然材料日益紧缺, 研制适宜于流动性沙漠地区公路沙害防治的人工替代材料势在必行. 结合塔里木沙漠公路沙害环境, 实验室优选出 LVA、LVP、WBS 和 STB 4 种抗性较好的固沙剂, 对其理化性能、粘聚力学性能和抗风蚀性能等测试结果表明: 颗粒粒径 $0.2\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$, 粘度 $12\text{Pa}\cdot\text{s} \sim 15\text{Pa}\cdot\text{s}$; $10^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 温度下无沉淀, 不燃烧; 实验抗压强度 $1.0\text{MPa} \sim 12.1\text{MPa}$; $10^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ 低温下重量损失率 $0\% \sim 1.8\%$; 紫外光照射 300h 强度损失率 $0\% \sim 42\%$; 在 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \sim 25.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 实验风速下, 风蚀量 $0\text{g}\cdot(106\text{cm}^2\cdot\text{h})^{-1} \sim 4.0\text{g}\cdot(106\text{cm}^2\cdot\text{h})^{-1}$; 现场试验固结层厚度 $0.2\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$, 强度高. 化学工程固沙技术适宜于塔里木沙漠公路沙害防治.

关键词: 化学工程固沙技术; 固沙剂优选实验; 流动性沙漠公路; 沙害防治

中图分类号: X141 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)05-0086-03

The Suitability of Chemical Engineering Stabilization in Controlling Aeolian Hazard Along the Highway in Tarim Basin

Han Zhiwen, Hu Yingdi, Chen Guangting, Yao Zhengyi, Shao Guosheng(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As the decreasing of the amount of natural materials used to fix sand along the highway in Tarim Basin, it is essential to study the new chemical material that can effectively fix sandy in desert environment. Through the laboratory experiment study, LVA, LVP, WBS and STB can replace the natural material chemical sandy fixation agents. In the study, the chemical agents' physics and chemical characteristics, their coherence dynamic function, their abilities of countering and erosion were tested individually. And the following points can be concluded by tests: If the diameter of chemicals particle is $0.2\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$, the viscosity is $12\text{Pa}\cdot\text{s} \sim 15\text{Pa}\cdot\text{s}$ and the temperature is $10^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$, the chemical can not be kindled or precipitated, and the chemical layer can endure the pressure of $1.0\text{MPa} \sim 12.1\text{MPa}$. If the temperature is $10^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$, the materials lose only $0\% \sim 1.8\%$ of weight. If the chemical is exposed under ultra-violet for 300 hours, the ability of enduring the pressure decreases by $0\% \sim 42\%$. If the chemical is used to fix sand in the laboratory and the wind blows the fixed sand by $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \sim 25.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ speed, the wind erosion capability is $0\text{g}\cdot(106\text{cm}^2\cdot\text{h})^{-1} \sim 4.0\text{g}\cdot(106\text{cm}^2\cdot\text{h})^{-1}$. It was showed in the fields that if the thin of chemicals on the surface of sand is $0.2\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$, the ability of enduring the pressure is highest, and the chemical fixation sandy techniques can be effectively used in controlling aeolian hazard along the highway in Tarim Basin.

Keywords: chemical fixation sandy techniques; choice of chemical sandy fixation agents; highway on the sandy desert; controlling of sandy hazards

国外化学工程固沙研究始于 20 世纪 30 年代, 到 50 年代有了较大发展, 国内也有 30 余年的研究历史. 半个多世纪的研究与实践, 使化学工程固沙技术在流沙固定、沙地改造、人工绿洲建立、沙地作物产量提高等方面, 均取得良好效果^[1-3]. 以往研究和实践表明, 化学工程固沙技术应用于流动性沙漠地区公路沙害防治具有较好适宜性, 不失为一种有效固沙措施. 加之天然材料日益紧缺, 研制适宜于塔里木沙漠公路沙害防治的人工替代材料已势在必行. 为此, 在实验室研制了几种无毒、不污染环境的固沙剂, 结合塔里木沙漠公路沙害环境, 对固沙剂理化性能、粘聚力学性能和抗风蚀性能等进行了测试, 淘汰了不适应当地条件的配方, 优选出 LVA、LVP、WBS、STB(为不同品种和配方的

高分子材料)4 种抗性较好的固沙剂, 在塔里木沙漠公路沿线实施了现场固沙试验, 并取得预期结果.

1 化学工程固沙原理简述

利用化学工程方法在流沙表面形成一层具有一定结构和强度、能够防止风力吹蚀、又可保持下层水分的固结层, 以达到控制流沙和改善沙害环境的目的. 固结层一般分为刚性壳层、柔软粘结层和弹性粘结层, 均为光滑表面, 能使沙丘表面形成保护层, 隔绝气流对松散沙层直接作用以防止风沙流对沙粒的吹蚀, 且能形成

基金项目: G1999043504 项目

作者简介: 韩致文(1963~), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事沙漠化与风沙工程研究.

收稿日期: 2000-01-15

输沙面,使沙粒不易堆积。化学工程固沙与生物固沙、半隐蔽沙障、高立式沙障多种防沙措施相结合,是防治沙害的最佳措施。

化学工程固沙剂一般都具有粘结性。沙粒之间虽然是紧密堆积体,但仍存在微小通道($8\mu\text{m}$ 以上)。一旦固沙液喷至流沙表面,小于 $8\mu\text{m}$ 的液滴便渗入沙体,与沙粒胶结,而大于 $8\mu\text{m}$ 的液滴则在流沙表面形成结皮,待其固化后,流沙得以固定。这一过程很快,可认为瞬间过程。除了简单粘结作用外,还存在一些复杂的固结因素,如固沙剂颗粒存在电性或含有一定功能团,它们与沙粒之间会产生电荷作用、分子内力作用,形成连续或非连续网状结构,将沙粒牢固地粘结在一起。

化学工程固沙可机械化施工,简单快速,尤为适宜于缺乏工程固沙材料和环境恶劣、降雨稀少、不易建立植被的地区。

2 固沙剂优化实验

化学工程固沙材料包括无机材料和有机材料 2 大类。首先要求材料本身无毒,不污染环境,其次要考虑材料对气候环境的适应性、高效性,以及成本低廉、作用持久。根据以上原则,在实验室对多种配方进行优化

表 1 固沙剂理化性能

固沙剂名称	外观	颗粒粒径/ μm	粘度/ $\text{Pa}\cdot\text{s}$	稳定性($10\text{C}\sim 70\text{C}$)	燃烧性
LVA	乳白色	0.5	12	无沉淀	不燃烧
LVP	无色	0.5	15	无沉淀	不燃烧
WBS	无色	0.5	15	无沉淀	不燃烧
STB	乳白色	0.2	15	无沉淀	不燃烧

固沙效果;固沙剂粘度过小,固然有良好的渗透能力,但达不到预期固结强度。合理的粘度对化学工程固沙剂固结层强度十分必要。实验测定表明,化学工程固沙剂的适宜粘度为 $12\text{Pa}\cdot\text{s}\sim 15\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。经采用涂-4 粘度计测定(表 1),LVA、LVP、WBS、STB 4 种固沙剂具有良好的粘结性。

(3) 固沙剂稳定性 沉淀现象是固沙液稳定性指标,也是固沙剂温度适应范围。所选配方在 $10\text{C}\sim 70\text{C}$ 温度下试验,未发现沉淀现象(表 1),可保证现场施工中的操作和施工后的维护。

(4) 固结层抗压强度 固结层抗压强度是固沙能力指标。试样置于室温下养护,采用常规材料压力试验方法(30t 材料压力试验机),测定了一定体积固结试样的抗压强度。回归分析结果(表 2)表明,LVA、LVP、WBS、STB 4 种固沙剂试样抗压强度在 $1.0\text{MPa}\sim 12.1\text{MPa}$ 之间,超过国际上对固沙强度 1MPa 的要求。

(5) 固结层抗冻融性 固结层抗冻融性是表示固沙剂在低温环境下固沙功能的指标。将试样置于低温箱中,在 $10\text{C}\sim -20\text{C}$ 温度条件下经 12 次连续循环试

验,筛选出 LVA、LVP、WBS、STB 4 种材料,并对其性能进行了全面测定。

2.1 实验方法与设备

固沙剂颗粒粒径在显微镜下测定,采用涂-4 粘度计测定粘度,稳定性在 $10\text{C}\sim 70\text{C}$ 温度下加热,观察试样的沉淀现象;用 30t 材料压力试验机测定固结层抗压强度;将试样置于低温箱中,在 $10\text{C}\sim -20\text{C}$ 温度条件下连续循环试验,测定表征抗冻融性的固结层重量损失率;抗老化性用紫外光老化法测定,试样经紫外光照射 300h 后测定其强度损失率;抗风蚀性在直流闭口吹气式风洞进行,测定固结层风蚀量随风速和时间的动态变化,边界条件根据塔克拉玛干的风况设计。

2.2 结果与讨论

(1) 固沙剂颗粒粒径 固沙剂颗粒粒径是其分散均匀性的物理指示,在显微镜下测定结果表明(表 1),LVA、LVP、WBS、STB 4 种固沙剂颗粒粒径均小于 $0.5\mu\text{m}$,具有良好的渗透能力。

(2) 固沙剂粘度 固沙剂粘度与固沙剂渗透性能有关。溶液粘度大,固然有较好的固结强度,但粘度过大,固沙剂在沙面下渗困难,聚集于沙层表面,会降低低

验,测定冻融因素对粘附层变化的影响(表 2)。结果表明,LVA、LVP 2 种固结层重量损失率为 0,WBS、STB 2 种固结层重量损失率小于 1.8%。

表 2 化学工程固沙粘附体力学性能

固沙剂名称	抗压强度 /MPa	抗冻融性 (重量损失率/%)	抗老化性 (强度损失率/%)
LVA	1.0~ 2.4	0	10.7
LVP	2.7~ 3.3	0	0
WBS	3.3~ 12.1	1.79	41.4
STB	1.3	0.91	39.2

(6) 固结层抗老化性 固结层抗老化性是预测固沙剂使用寿命的依据。由于实验边界条件与野外环境差异较大,固沙剂老化测试难以做到与实际情况完全吻合。实践表明,化学工程固沙材料在大气环境中,会受到光热辐射、氧化、风蚀和雨淋作用,使材料内部组成和分子结构发生质的变化,随着时间推移,这种变化加强,从而缩短材料的寿命。在沙漠环境下,变化更加剧烈,因此固沙剂抗老化性能显得非常重要。同时,固结层寿命长短,直接影响固沙成本。本实验采用紫外光老化法测定,试样经照射 300h 后强度变化测定结果

(表 2) 表明, 4 种材料都有良好的抗老化能力和较长的使用寿命, 能满足塔里木沙漠公路沿线固沙需要。

(7) 固结层抗风蚀性 固结层抗风蚀性是固沙剂性能的关键性指标和确认化学工程固沙剂能否使用的决定性依据。目前, 风洞实验是测定固结层抗风蚀性能的最佳方法。本实验在直流闭口吹气式风洞中, 对优选出的固沙剂所形成的固结层风蚀量随实验风速和时间的动态变化。风蚀量用称重法测定, 风速用毕托管微压计系统控制。实验边界条件根据塔克拉玛干的风况设计(干燥裸露沙起动风速约 $5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大瞬时风速 $20 \sim 23\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; 风成沙天然休止坡度为 $28^\circ \sim 32^\circ$), 测定结果见表 3。

表 3 固结层风蚀量/ $\text{g} \cdot (106\text{cm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$

固沙剂 名称	风沙流速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$					
	5	7	10	15	20	25.3
LVA	0	0	0	2.2	3.2	3.9
LVP	0	0	0	0	0	未测
WBS	0	0.1	0.2	0.9	2.1	未测
STB	0	0	0.3	0.3	1.2	1.8

当风沙流速度 $\leq 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时未发生风蚀; 风沙流速度 $\leq 15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 风蚀量不大; 当风沙流速度 $\geq 15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 风蚀量增大。这是由于固结层表面不仅受到气流作用, 更主要受到高速(转速 $1000 \sim 2000\text{r} \cdot \text{s}^{-1}$) 运动沙粒的直接冲击磨蚀和风压力作用。冲击力大小除取决于沙粒冲击速度外, 还与沙粒比重有关。空气在标准状态下密度约为 $1.25 \times 10^{-3}\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 而沙粒密度为 $2.65\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 二者相差极大。因此风沙流风蚀强度剧烈增加。

3 4 种固沙剂在沙漠公路沿线现场固沙试验

3.1 自然环境

塔克拉玛干沙漠是世界第二大流动性沙漠。由于深处内陆, 形成干燥炎热的沙漠气候环境, 温差大, 风力强劲, 干旱少雨, 沙物质松散深厚, 沙丘裸露, 形态复杂, 类型多样, 沙害治理难度大。沙漠公路沿线环境条件(表 4)和沙粒特性(表 5)都适于实施化学工程固沙。

表 4 研究区环境条件

项 目	自然特点	项 目	自然特点
气候区	温带干旱	年降水量/ mm	16~ 60
土壤类型	流沙	年蒸发量/ mm	> 3000
年均气温/ $^\circ\text{C}$	10	年均风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2.0
最高气温/ $^\circ\text{C}$	40.0	最大风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	20
最低气温/ $^\circ\text{C}$	- 34	相对湿度/ $\%$	< 10
沙面最高温度/ $^\circ\text{C}$	80.0	地下水埋深/ m	2~ 5
年日照时数/ h	> 3000		

3.2 现场固沙试验

(1) 试验方法与过程 LVA、LVP、WBS和STB4种固沙剂在沙漠公路 K292+ 900 和 K287+ 500 2 处

表 5 研究区地表沙理化性质

物理粘粒 / $\%$	比重 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	最大吸水率 / $\%$	pH 值	
			/ $\%$	
0	2.65	12	5.5~ 6	

进行了现场试验。固沙剂边制备、稀释(1: 5~ 1: 10), 边用小型汽油泵均匀喷洒于沙面, 喷头距沙面 $1\text{m} \sim 1.5\text{m}$, 并掌握适宜角度, 避免沙面形成麻点或凹凸小坑而降低固沙效果。喷洒面积约 1200m^2 , 固沙区上风向设置一道芦苇疏通型高立式沙障。

(2) 试验结果 喷洒期间气温 $16.9^\circ\text{C} \sim 24.5^\circ\text{C}$, 最高 32.3°C , 最低 8.7°C ; 地面温度 $19.0 \sim 31.2^\circ\text{C}$, 最高 61.3°C , 最低为 0.4°C ; 相对湿度 $23\% \sim 32\%$; 风向 E 和 ENE, 风速 $3.0\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \sim 6.3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大达 $14.0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 6 固结层厚度、强度及外观

固沙剂 名称	固结层厚度 / cm	固结层强度及外观	
LVA	0.4~ 0.5	硬度很大, 能站人, 脚踩不破	
LVP	0.2~ 0.5	硬度很大, 能站人, 不易碎, 柔韧	
WBS	0.3~ 0.5	硬度很大, 但较脆, 有少量裂隙	
STB	0.3~ 0.5	硬度较大, 能站人	

喷洒后次日日至第 3 日抽样观测表明, 所试材料固结层厚度 $0.2\text{cm} \sim 0.5\text{cm}$, 各固沙剂均有良好渗透能力和固结强度(表 6), 表面能经受人踩踏。其中 LVP 还有一定弹性, WBS 虽有一定硬度, 但发脆, 喷洒时气温地温分别高达 30°C 和 50°C , 沙面溶液蒸发过快, 表面形成少量裂隙。

4 结论

(1) 结合塔克拉玛干沙漠环境条件, 对固沙剂理化性能和固结体抗性实验测定结果表明, LVA、LVP、WBS 和 STB 4 种固沙剂有良好的适应性, 是理想的优良固沙材料。

(2) 现场初步固沙试验表明, 固沙剂喷洒后固结速度快, 固结层强度较高, 固沙效果明显。从实践来看, 化学工程固沙技术适宜于塔里木沙漠公路沙害防治。

(3) 上述固沙剂无毒害, 不污染环境。喷洒过程操作简单、易行, 适宜于机械化作业。

(4) 为保证喷洒质量和固沙效果, 施工中应避免超过 $8.0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风和高温、低温天气。

参考文献:

- 朱震达, 赵兴梁, 凌裕泉, 胡英娣等. 治沙工程学. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 117~ 135.
- 赵性存. 中国沙漠铁路工程. 北京: 中国铁道出版社, 1988.
- 胡英娣. 几种化学固沙材料抗风蚀的风洞实验研究. 中国沙漠, 1997, 17(1): 103~ 105.