

化学治沙作用的机理研究^{*}

王银梅

(太原理工大学 水利工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 随着经济的发展, 对沙漠研究的深入, 化学治沙技术将会有广阔的发展前途。进一步开展化学治沙作用机理的研究是十分重要和必要的。在查阅大量资料、试验和分析的基础上, 对无机材料、有机石油类产品和高分子聚合物治沙机理进行了较详细的研究, 认为化学治沙随治沙材料不同其作用机理各具特点, 又具相似性。一般是通过与沙粒发生化学或物理化学作用等, 使松散的沙粒粘结成整体, 形成保护层而达到防风固沙, 治理沙害的不同效果。

关键词: 沙害; 化学治沙; 化学材料; 机理; 扫描电子显微镜

中图分类号: S288 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)03-0032-04

0 引言

我国沙漠面积辽阔, 随着沙漠地区工、农业的迅速发展, 出现风沙危害的工矿交通等工程设施日趋增多, 沙害防治成为我们面临的重大问题。由于流沙为松散单粒沉积物, 缺乏胶结物质并以可侵蚀性颗粒为主要机械组成成分, 故在干燥、无保护情况下, 易于随风搬运并酿成沙害, 治沙的方法一般采用植物治沙、机械沙障和化学方法。前两种方法已在我国沙漠地区的铁路、公路及农田沙害防治中得到广泛应用, 并为实践证实了它们的效果。但是这两种方法存在着固有的局限性, 即在极端干旱缺水的沙漠地区植物难以成活, 植物治沙难以采用, 而缺乏建立机械沙障的材料, 机械治沙又费工费时受到限制。化学治沙法相对较新, 是在流沙表面喷洒化学胶结物质, 具有使流沙于瞬息时间内固定在原地, 施工简便快速的优点, 因而化学治沙措施的发展将是一个必然的趋势^[1]。

石油产品治沙的研究开始较早, 随着高分子化学工业的迅速发展, 现在开始越来越多地尝试用高分子材料, 应用现代膜技术固沙, 控制沙漠化扩展及沙尘暴的形成, 这又开拓了化学治沙的另一个发展方向。然而对高分子材料的研究开展较晚, 且大多集中在宏观力学特性方面, 治沙机理的研究还较少^[2-4]。化学治沙理论不够完善, 这也在一定程度上影响了化学治沙方法的发展速度。

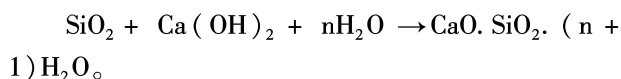
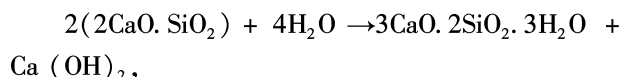
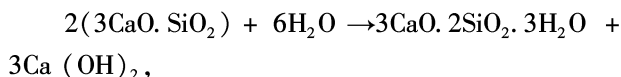
本文在对传统无机材料和有机石油类产品治沙原理和效果认识的基础上, 借助扫描电子显微测试技术, 进一步分析了新型高分子材料防治风沙灾害的机理, 以促进化学治沙基础理论研究, 以丰富化学治沙技术, 应用及推广化学治沙方法。

1 无机材料固沙机理

1.1 水泥、石灰

两者均为水硬性胶凝材料。从化学作用来分析, 水泥、石灰和沙无法胶结, 它们只能填充沙漠沙颗粒间的孔隙, 故固结主要靠水的作用。

存在于水泥熟料中的各种化合物全都是无水的, 但是当使之与水接触时则都能与水起化学变化或被水分解而形成水化物, 生成的强碱中的游离钙离子又迅速与大量沙子中的酸性二氧化硅起作用, 生成硅酸钙等稳定结晶物, 因而粘结成为具有较高机械强度的刚硬壳层, 以保护沙丘免遭风蚀。上述作用过程的开始至结束, 意味着胶结的开始与结束。其反应式如下:



^{*} 收稿日期: 2007-11-01

基金项目: 山西高校科技研究开发项目(2006110010)

作者简介: 王银梅(1965-), 女, 副教授, 工学博士, 从事工程地质、地质灾害防治方面的教研工作. E-mail: wangym65@163.com

因此水泥固沙的过程实际上是三种物质的化学转化与结合的过程。

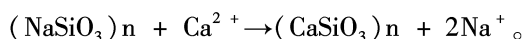
由于沙漠地区气候炎热干燥,沙面温度高,水泥浆喷洒在沙面上,其中的水分迅速蒸发,水泥由于缺乏足够的水分而无法完全水化,生成的水化产物量少,只能形成薄且强度很低的固结层。同时硬化的水泥浆体属于脆性材料,几乎没有柔性,在沙漠中受恶劣气候和沙丘迁移的影响,硬化水泥浆体很快就会干缩、龟裂,失去固沙和保水作用,所以现阶段很少单独使用水泥浆进行治沙,而在固定海岸沙丘方面水泥浆比其它材料优越。

石灰加固沙子的作用原理与水泥一样,是通过化学反应完成。石灰中含有大量的钙离子,碱性很强,而沙子的主要成分为酸性二氧化硅,理论上,拌合后就能结合,但若没有水作媒介反应无法进行,所以加水发生化学反应的过程即为胶结过程。

1.2 水玻璃

水玻璃固沙研究早在 20 世纪 60 年代初就已开始,在化学治沙中被广泛应用,美国、日本等国均认为水玻璃是一种优良的固沙材料^[1]。

采用模数为 2.6 ~ 3.5 的钠水玻璃或最佳模数为 3.8 ~ 4.0 的钾水玻璃,并以钙盐溶液(如 CaCl_2)为增强剂,将水玻璃溶液渗透并填充到沙粒间隙中,与增强剂发生化学沉淀作用,生成难溶的硅酸钙。其化学变化为:



水玻璃是以硅氧四面体单元共用氧而相互联结的链状结构,但结构比较松散。增强剂中的 Ca^{2+} 比 Na^+ (K^+) 多带 1 个正电荷,它可以和 2 个非共用的氧离子相互吸引或联结而成内络盐,或和链状结构中任意 2 个靠近的共用的氧离子结合而成局部环状结构, $(\text{CaSiO}_3)_n$ 固结层的机械强度增强,形成强而硬的保护结构。

水玻璃添加有机或无机材料复合固沙效果较好,但这种固沙对空气湿度有一定要求,一般应大于 50%,否则水玻璃会逐渐失水,固结层越来越脆,因此在特别干旱的沙区不宜采用。

2 有机材料固沙机理

2.1 石油类产品

石油类有原油、重油、沥青及乳化沥青等很多产品,而乳化沥青是世界各国应用在化学治沙工程中最广泛的材料。乳化沥青喷至沙面后,由于受沙粒的强烈吸附和电性作用,沥青被挡在沙

面,形成一非连续固结层,由于蒸发作用逐渐变硬,以保护沙面免遭风蚀。

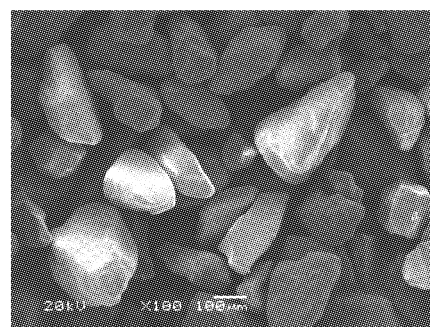
石油化学工业的副产品作为固沙胶结材料,已进行了大量研究工作,我国和俄国、德国都已采用过^[5-8],现在看来该类产品的不足主要是形成的黑色固结层与大环境协调方面较差。

2.2 高分子聚合物

高分子聚合材料中可作为治沙液的品种也很多,由于其治沙作用原理与沙粒和该治沙材料的物理化学性质有关,我们以自备的低成本水溶型高分子材料(代号 SH)加固腾格里沙漠东南缘宁夏中卫沙坡头流动沙为试验对象。

由于扫描电子显微镜在分子材料的微观结构形态分析中效果较好^[9-10],在实验室制作 SH 固沙的扫描电镜试样。利用中国科学院兰州分院 JSM-5600LV 低真空扫描电镜(SEM,分辨率 3.5 nm)详细观测其微观组构,典型照片如图 1(沙),图 2(固沙样 a、b、c、d、e 和 f)所示。

从图 1 可以观察到,未处理的沙土结构单元为无粘聚力的单粒结构。沙颗粒相互直接接触,形成接触支架空隙结构。这种结构的特点是,沙颗粒间无连结,当沙土潮湿含水时,粒间有微弱的毛细水连结,将沙粒暂时地连结在一起,但当沙土饱水或干燥失水时,这种联结就消失了。总体说来,沙颗粒间无连结或有微弱的水连结,颗粒接触面积小,孔隙也比较大,整体性和稳定性差。



($\times 100$)

图 1 加固前沙土的微观结构形态

图 2 表明,随着 SH 的掺入,沙土的微结构特征发生了一定程度的变化。施用少量的 SH 后,沙土颗粒由原来的无或弱连结变为胶结连接,相互粘合而为集粒,形成类似于碎屑沉积岩的接触式或接触-孔隙式胶结结构。而这种结构的特点是,SH 覆盖于颗粒之上,局部起桥梁连结作用,部分填充在颗粒之间。松散的沙颗粒间粘结力有所增强,对整体粘聚力的提高具有一定贡献。干燥状

态下, 高分子材料与沙土之间可能存在粘接作用。正是由于 SH 的加入, 改变了沙的结构单元、结构

连结与结构类型, 大分子链把沙颗粒联结成为一个整体, 从而增强了沙的强度和稳定性。

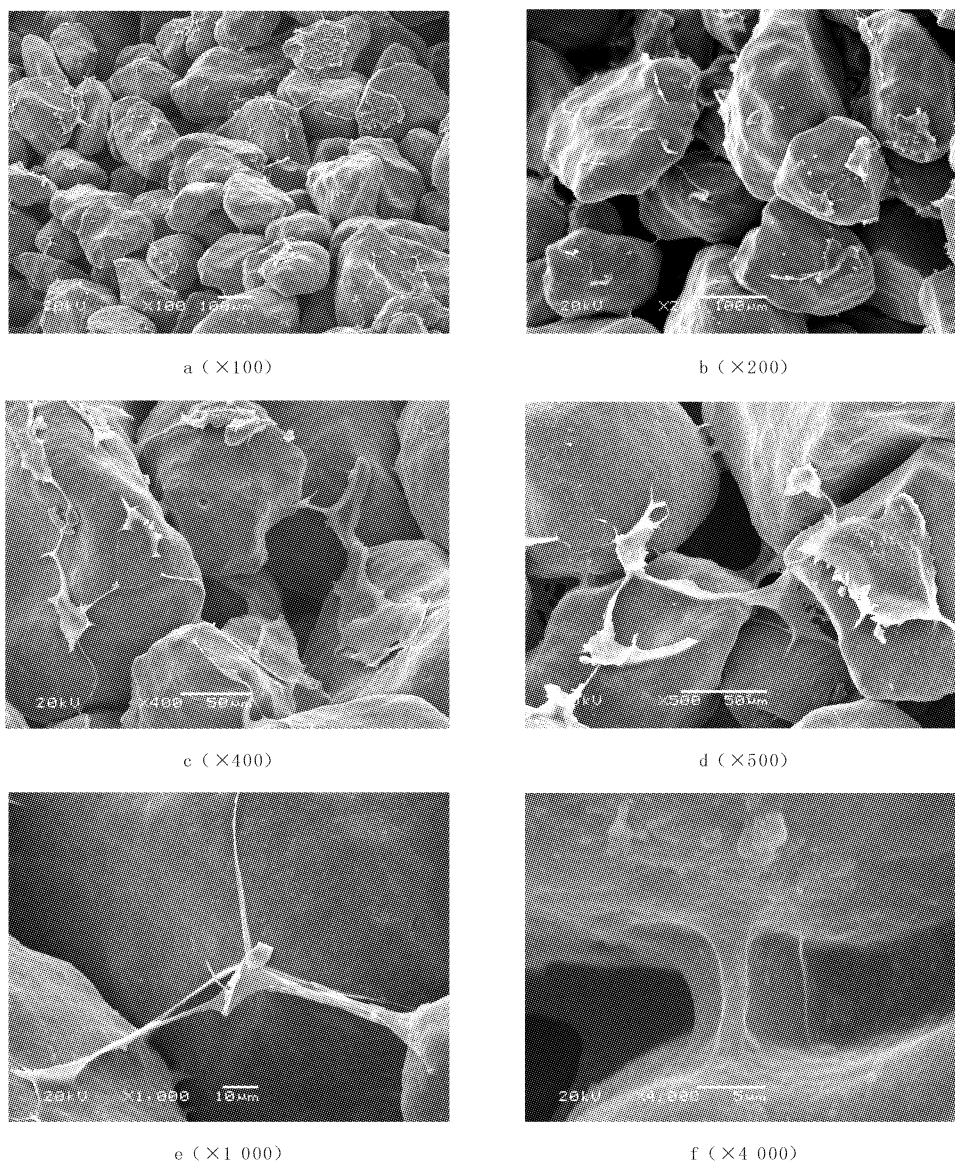


图2 SH 固沙后结构形态

一般说来, 水溶性高分子材料, 其大分子链上大都有亲水基团如羧基 ($-\text{COOH}$), 羟基 ($-\text{OH}$), 磺酸基 ($-\text{SO}_3\text{H}$), 酰胺基等功能团。SH 分子量 20 000 左右, 遇水可无限稀释, 它以疏水性 $\text{C}-\text{C}$ 键相联的大分子链为主链, 含有 $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ 基团, $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ 和沙粒表面的 $\text{Si}-\text{OH}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} 等通过交联作用, 吸附和架桥等物理化学作用于沙, 相邻的松散细沙颗粒由高分子链相互搭接, 同时, 高分子链之间又互相交叉缠绕、联结, 当高分子材料失水后进一步固化, 最终整个沙土成为一个不溶性的、富有弹性的、较牢固的整体性空间网状结构, 如图 3 所示。

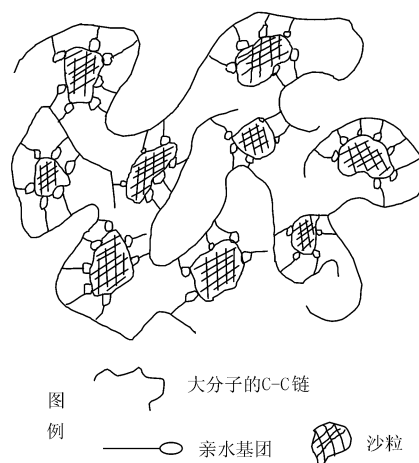


图3 高分子材料与沙子结合示意图

3 结语

风成沙土颗粒细小, 在干燥状态下无粘聚力, 结构不良, 整体性差易于风蚀而形成沙害。喷洒水泥、石灰、高炉矿渣和水玻璃及其改性类无机材料, 主要是通过水化、沉淀等化学作用形成强而脆的固结层。沥青等石油类有机产品及乳液, 喷于沙面后化学材料被阻挡在沙面, 形成封闭层, 主要靠表层覆盖作用得以治沙。

施用少量的高分子材料后, 相互间不发生化学反应, 但电子显微镜显示沙土的结构单元体、结构形式与连结类型等内在微结构发生了明显变化。主要是通过聚合交联、吸附等物理化学作用, 沙子被镶嵌在这种高分子材料(或高分子膜)之中, 因而沙土的结构强度增大, 整体性提高, 起到加固沙土的作用, 沙害得以防治。

通过对 SH 固沙微观结构的再观察, 进一步认识了高分子聚合物治沙原理。与其它有机和无机材料相似, 聚合物溶液渗入沙粒间隙后, 或者在沙粒外围形成连续膜, 或者只是在某些点与沙粒接触, 都会在分子间力作用下, 吸附在沙粒表面, 待其失水固化后, 由于形成为不可逆凝胶而使沙粒牢固地粘连在一起。

化学治沙作用机理是一个比较复杂的问题,

它既包含简单的物理、化学过程, 也包含许多物质结构、胶体化学等方面的问题。深入进行化学治沙作用机理的研究, 是十分重要的, 它不仅为实用提供理论依据, 还为研制新材料起到指导作用。应大力深入加强该项基础理论研究。

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] 王银梅, 孙冠平, 谌文武, 等. SH 固沙剂固化沙体的强度特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(S2): 2883-2887.
- [3] 李建法, 周永红, 王占军, 等. 改性亚硫酸纸浆废液对沙土结构的作用研究[J]. 林产化学与工业, 2003, 23(3): 1-5.
- [4] 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.
- [5] 中国科学院沙漠研究所沙坡头科学研究所. 腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1988.
- [6] 丁向南. 渣油乳液结合植物固沙的试验研究[J]. 中国沙漠, 1992, 12(1): 47-52.
- [7] T. H. 法济洛夫. 胶结剂固定流沙[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [8] 胡孟春. 独联体利用有机粘合剂固定流沙现状[J]. 世界沙漠研究, 1993, (2): 47-51.
- [9] 高家武. 高分子近代测试技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.
- [10] 温变英, 张学东, 王桂梅. 用 SEM 研究高聚物的微观形态结构[J]. 电子显微学报, 2000, 19(2): 166-170.

Study on Mechanism of Chemical Desert Control

Wang Yinmei

(College of Hydraulic Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: With the development of economics and the further study on desert, chemical desert control technique will have a promising prospect. It is important and necessary to study deeply the mechanism of chemical desert control. Based on a lot of references, experiment and analysis, desert control mechanism of inorganic materials, organic petroleum products and high polymer materials is studied in detail. The study shows that the chemical desert control mechanisms of the different materials are of different characteristics and also similarities. Generally, the chemical or physical action of these materials with sand will make loose sand stick each other and form a protective layer for windbreak and sand fixation.

Key words: desert hazard; chemical desert control; chemical material; mechanism; scanning electron microscope