

# 悬袋网利用积沙体再利用风沙向上搬运流沙构筑拦沙坝 防治沙害

姜志平

(嵊州市姜志平生态工程研究所, 浙江嵊州)

**摘要:** 通过在各种积沙体(流动沙丘、沙堤、沙埂)上面设置沙障做拦沙固沙试验, 笔者发现, 只要在积沙体顶部制高点一线, 设置一道高 40cm 不怕风蚀的立式沙障, 就能固定住沙障底下的积沙体, 就可把高大的流动沙丘改造成高立式沙障, 用来拦截和固定流动沙漠。但, 已知的常规高立式沙障, 没有一款能设置在积沙体的脊线上经得起大风冲蚀。经过多年努力, 笔者于 2013 年 8 月试制成功了设置在流动沙丘脊线上不怕狂风冲蚀的笼式“悬袋形高立式拦沙网”, 简称“悬袋网”, 完成了一道高 40cm 的悬袋网施工在积沙体脊线上, 固定住积沙体, 利用积沙体再利用沙漠风沙向上搬运沙漠流沙到积沙体脊线上, 构筑拦沙坝防治沙害。十年来, 悬袋网利用积沙体治沙工程, 在中国的沙漠上施工一个, 成功一个。

**关键词:** 积沙体; 悬袋网; 悬袋网拦沙坝; 利用沙漠风沙; 悬袋网利用积沙体治沙

在流动沙漠上, 沙漠表面的沙在大风驱动下, 形成气固二相的流沙层, 沙漠流沙绝大部分在高度 20cm 以下跃移流动, 在平坦的沙漠上, 只要出现一个障碍物, 流沙就会被障碍物阻挡沉积下来, 当沙漠流沙掩埋了障碍物后形成积沙体, 流沙会被积沙体阻挡沉积下来堆积在积沙体上, 出现沙漠流沙在积沙体上越积越高、越高越积的现象, 说明在一定条件下, 积沙体是具有高立式沙障的拦沙固沙功能的, 沙漠上常见的积沙体, 例如流动沙丘, 高度远远超过常规高立式沙障, 而高立式沙障的拦沙固沙功能与沙障高度的平方成正比, 因此, 如何利用高高的流动沙丘等积沙体来拦截和固定流动沙漠, 成了笔者的研究方向。

## 1 利用积沙体治沙的试验

### 1.1 用一道沙障固定流动沙丘的试验

当沙漠流沙被流动沙丘阻挡, 在风力推动下, 流沙顺着沙丘的迎风坡上升, 颗粒较大的沙, 渐渐沉积在迎风坡上, 颗粒较小的沙, 跃上沙脊线沉积下来, 大风天, 流沙湧上沙脊线, 沙脊线一面向上增高、一面在水平方向的风推动下向前延伸, 形成沙脊平台, 当沙脊平台前沿的底角大于休止角, 积沙就向背风坡塌陷, 当沙脊平台前沿的底角小于休止角, 积沙塌陷立刻停止, 按这样的过程, 流动沙丘向前移动的速度是非常缓慢的, 可以说流动沙丘是一种天然的高立式沙障, 但流动沙丘很不稳定, 流动沙丘不但缓慢地向前移动, 沙丘上的沙不知什么时候会快速流失, 导致沙丘渐渐变小和消失, 同时, 在这个沙丘前方, 又会发育出新的流动沙丘, 新的流动沙丘可以把农田、树木、道路和建筑物埋在底下, 形成沙害。

经过多年观察, 笔者发现流动沙丘变小和消失, 问题出在流动沙丘两端的翼角上, 流动沙丘两端翼角上的沙, 在大风天向前方流动, 流沙是无需向上翻越沙脊线的, 大风夹带着沙漠沙, 可以通过向前延伸的翼角从水平方向快速流走, 大风同时会大量剥蚀翼角上的沙, 于是, 大风通过剥蚀沙丘两端翼角侵蚀沙丘,

使沙丘变小，导致沙丘消失。

通过一年一年做固定流动沙丘的试验，笔者发现，只要在流动沙丘的脊线上，设置一道高度 40cm、孔隙度小于 25%、不怕风蚀的立式沙障，同时在两个相邻流动沙丘之间的风沙口，设置一道立式沙障，与设置在沙丘翼角上的立式沙障连接，提升风沙口被拦截下来的流沙堆埋的立式沙障构筑拦沙坝，阻断翼角向前延伸，就可固定住流动沙丘，可把一个相邻的流动沙丘串连成固定了的拦沙坝。这种由流动沙丘和脊线上一道矮矮的立式沙障组合成的拦沙坝，高度可达到常规高立式沙障的好几倍，高立式沙障的拦沙固沙功能与沙障高度的平方成正比，拦沙坝的拦沙固沙功能，可达到常规高立式沙障好几倍的平方。但，没有一款常规立式沙障，能够设置在流动沙丘脊线上经得起大风冲蚀，要想用一道沙障把流动沙丘改造成拦沙坝，就必须发明一种设置在流动沙丘脊线上，不怕狂风冲蚀的立式沙障。

2007 年，笔者制作了一款高 40cm 至 80cm 的串联式捕沙网笼，把常规高立式沙障的垂直立面，改成截面呈八字形的斜面，具备了很强的抗风蚀能力，包兰铁路中卫沙坡头沙漠，是中国工程

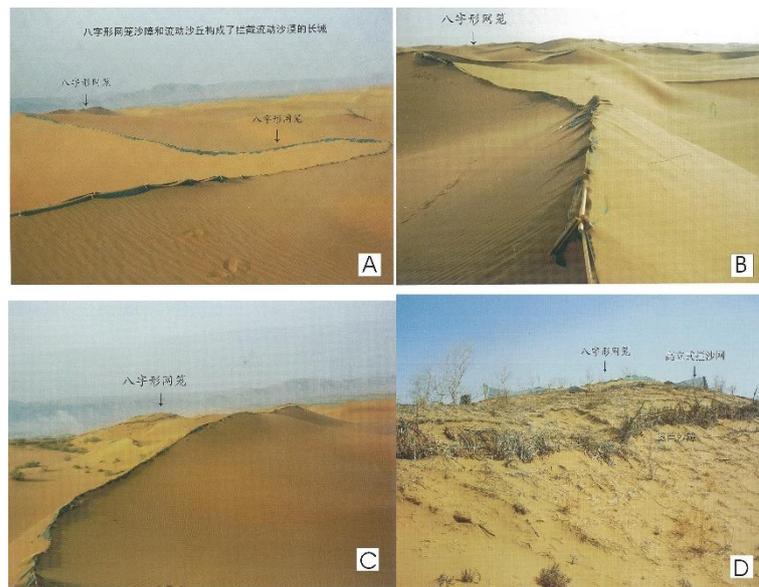


图 1 2008 年在铁路中卫固沙林场沙坡头前沿阻沙带上，一道网笼沙障设置在流动沙丘脊线上，把流动沙丘改造成了拦沙坝。照片 D 为布局在沙丘迎风坡上的几种常规高立式沙障分布景观。

固沙技术的发源地和展示各种治沙技术的博物馆，五十年代曾有人提出“把阻沙栅栏设置在沙坡头的前沿阻沙带流动沙丘脊线上，以提高阻沙栅栏拦截沙漠流沙的效果”。遗憾的是，当阻沙栅栏设置在流动沙丘的脊线上，一阵大风就全线崩溃，从此后，沙坡头前沿阻沙带上设置的各种高立式沙障，统统避开了流动沙丘的脊线，选择把高立式沙障设置在流动沙丘的迎风坡上。而设置在流动沙丘迎风坡上造价高昂的高立式沙障，拦截沙漠流沙的效果非常差，只会把流动沙丘顶部削平往前推，当然，这不是铁路中卫固沙林场的过失，而是全世界治沙技术就这么个水平。

笔者于 2008 年 10 月，在铁路中卫固沙林场沙坡头前沿阻沙带沙漠上，顺着紧贴草障植物带的流动沙丘制高点一线，设置一道由木龙骨和塑料网用铁丝捆扎的高 40cm 的串联式捕沙网笼，由东向西，把相邻的一个一个流动沙丘串连起来，施工了长约 2.5km 形似长城一样的捕沙网笼拦沙坝。再在这道捕沙网笼拦沙坝北面相隔 500m 的前沿阻沙带北缘，捕沙网笼以相同方式，自东向西串连一个一个流动沙丘，又施工了长约 2.5km 的捕沙网笼拦沙坝。

北面的捕沙网笼拦沙坝，北面的捕沙网笼拦沙坝可阻止腾格里沙漠的流沙侵入前沿阻沙带。南面的捕沙网笼拦沙坝，可阻止前沿阻沙带上的流沙侵入草障植物带。

经过二年观察，被串联式捕沙网笼串连起来的流动沙丘两端翼角，被自东向西延伸的捕沙网笼截断了，不能再向前延伸，流沙前进必须翻越捕沙网笼，通过提升被拦截下来的流沙掩埋的捕沙网笼，相邻沙丘翼角之间的风沙口渐渐抬高，在风沙口筑起了一道捕沙网笼拦沙坝，一个一个东西方向的流动沙丘被捕沙网笼串连成形似长城一样的拦沙坝，拦沙坝顶部的捕沙网笼由于底下衬垫了沙丘和沙坝，其高度可达到常规高立式沙障的好几倍，高立式沙障拦截过境流沙的功能，是以高度的平方递进的，性价比也是以高度的平方递进。

为了进一步节省成本，2009 年，笔者把串联式捕沙网笼改成造价低廉、高 30cm、容易提升的“八字形网笼沙障”，由于沙坡头前沿阻沙带沙漠上沙源丰富，大风天，流沙很快积压在刚施工完毕的八字形网笼沙障上，大风对八字形网笼沙障没有产生冲蚀和破坏，一道八字形网笼沙障利用流动沙丘构筑的拦沙坝，拦截沙漠流沙的效果比高 1.5m 的常规高立式沙障提高了许多倍。

图 1 中的网笼沙障利用流动沙丘构筑的拦沙坝，由于网材抗老化，在后面十多年无人管理的情况下，至今还在拦截沙漠流沙，随时可以到现场验证。

## 1.2 八字形网笼沙障提升拦沙坝的沙漠风洞检测

2010 年 5 月 9 日至 11 日，笔者的“八字形网笼沙障提升拦沙坝”项目，在中国科学院兰州分院沙漠风洞实验室检测，开机二天半，结论是：八字形网笼沙障提升拦沙坝是成功的。

《检测报告》的登记号是“中国科学院兰州分院沙漠分析测试部【2010】沙（检）字 S002 第 001 号”，检测报告附有带标记的风洞检测现场照片和录像，详细记录了八字形网笼沙障提升拦沙坝的全过程。

《检测报告》记录了“此项实验在拦沙坝堆积高度 600mm、风速 26m/s 冲击 10min 时结束，拦沙坝没有受到侵蚀，拦沙坝背风坡上方接近休止角，拦沙坝顶形成宽 100mm 与网笼顶边齐平的平台，背风坡底前方 2000mm 的沙向背风坡回流，加固了沙坝”的数据。



图 2 “八字形网笼沙障提升拦沙坝”项目沙漠风洞实验室的《检测报告》

上述实验，随时可到沙漠风洞实验室重复演示、观测数据。

## 2 不怕风蚀立式沙障的研制和应用

2010年下半年，笔者准备推广八字形网笼沙障利用流动沙丘等积沙体构筑拦沙坝的治沙技术，到了甘肃省民勤治沙站和青海省治沙站沙漠上，那里的沙漠是沙源少、风力大，由于缺少可拦截的流沙，大风天，设置在流动沙丘脊线上的八字形网笼沙障迎风面底边，被冲蚀出一个一个孔洞，大风从孔洞灌入网笼沙障，孔洞越淘越大，网笼沙障被东一段、西一段地掀翻，八字形网笼沙障面临的是被淘汰。

设置在流动沙丘顶部脊线上的立式沙障必须不怕狂风冲蚀，沙障抗风蚀的成功率必须达到百分之百才行，串联式捕沙网笼虽然抗风蚀比八字形网笼沙障强，但在过境流沙少、风力大的地方，抗风蚀成功率也达不到百分之百，而已知的其它常规立式沙障，没有一款能胜任。因此，发明一种抗风蚀成功率能达到百分之百的立式沙障，是利用流动沙丘等积沙体治沙必须完成的任务。

经过一年又一年的努力，2013年9月，不怕狂风冲蚀的笼式“悬袋形高立式拦沙网”简称“悬袋网”研制成功，悬袋网是高40cm、可连绵延长、截面呈悬挂着的袋子、袋底装填着沙漠沙、沙漠沙好像千斤坠一样镇压住设置在沙丘脊线上悬袋网的底部，一根一根间隔1m的木龙骨支架，直立在悬袋网的正中间，支架顶部与悬袋网顶边固定，下部穿过悬袋网袋底，垂直地插在沙丘脊线上，支撑着悬袋网（见下面图3 A、B）。这样的结构，狂风既不能对悬袋网的袋底造成冲蚀，也冲不倒呈八字形千斤索一样的悬袋网，被悬袋网阻挡的流沙，漏入悬袋网内，沉积在袋内增加了袋底沙的数量，流沙在袋内袋外堆积起来，自下而上填满悬袋网，悬袋网被嵌在沙脊线上，就越来越牢固。

介绍得具体一些，悬袋网由孔隙度25%、宽幅1.2m的抗老化塑料网和一根一根长90cm、截面1cm×2cm的木龙骨支架组合而成，悬袋网的截面形状像悬挂着的、装着东西的布袋。

悬袋网的施工过程是，顺着积沙体脊线挖15cm深的沟，把长度500m、孔隙度25%、宽幅1.2m的塑料网卷的中间部位，对准挖好的沟，滚动铺摊过去，接着用沙漠沙堆压铺好了的塑料网的中间部位，把塑

料网中间部位压入沟内，再把沟填满，构成悬袋网的袋底；取一根木龙骨支架，垂直地插在袋底的正中间部位，用锤子向下敲击至支架露出沙面 40cm；顺着堆压在悬袋网袋底上的沙，间隔 1m，用同样方式施工一根一根支架，然后用一根 18# 铁丝把相邻的支架顶部绷紧连接起来，接着把支架两侧的塑料网向上拉起，两侧网边向支架顶部靠拢，把塑料网的网边与支架顶部用捆扎丝捆扎固定，两侧网边就构成悬袋网的顶边。两根支架的中间位置，悬袋网的顶边用捆扎丝与 18# 铁丝捆扎固定，悬袋网施工完毕。

组成悬袋网的抗老化 HDPE 塑料网与 2008 年施工在沙坡头的串联式捕沙网笼的网材相同，15 年了，那里的串联式捕沙网笼强度还像新的一样，随时可以去沙坡头现场验证，因此，悬袋网的使用寿命可达到 15 年以上。

### 3 悬袋网拦沙坝拦沙固沙的风沙运动过程和风沙运动规律

#### 3.1 实地观察悬袋网拦沙坝的风沙运动过程

一直以来，人们认为流动沙丘的流动规迹是无法预测的，尤其是矮小的流动沙丘，大风天能快速移动，更无法预测其流动规迹。

自悬袋网利用积沙体构筑拦沙坝的技术问世，流动沙丘的流动规迹从不可预测，变成可以人为设定，把向前移动的流动沙丘，改变成向上增高，把拦截下来的沙漠流沙堆积在沙丘顶部，一道悬袋网可直接将大小不等的流动沙丘改变成固定了的拦沙坝。



图 3 2017 年拍摄于腾格里沙漠亿利集团民勤治沙点。

图 3 中，A 是 4 月初民工正在沙脊线上施工悬袋网，B 是沙丘脊线上施工完毕的悬袋网阳光下的透视图，C 是 5 月下旬拍摄的，悬袋网已被拦截下来的流沙掩埋，悬袋网的顶边整整齐齐地露出在迎风坡沙脊线下方，照片左边是背风坡，D 是 8 月中旬拍摄的，照片左边是背风坡，由于夏季风向相反了，沙脊线被

吹送到迎风坡上。悬袋网顶2边整整齐齐露出在背风坡沙脊线下方。

为什么在流动沙丘顶部脊线上，设置一道 40cm 高的悬袋网，可把流动沙丘改造成沙漠流沙无法逾越的拦沙坝？要解开这个迷，需到悬袋网拦沙坝治沙工程现场观察。

当流动沙丘脊线上设置了一道 40cm 高的悬袋网，大风天，大风夹带着的沙漠沙，顺着迎风坡冲到沙丘顶部脊线上，大风被悬袋网阻挡，无法推移悬袋网底下的沙脊线，斜着从悬袋网顶边冲向天空，被大风夹带着的沙漠沙，因重力，有的漏入悬袋网内，有的跌落在沙脊线上，有的抛洒在沙丘的背风坡上，悬袋网渐渐被拦截下来的流沙填满后堆埋，沙脊线随之增高 40cm，按照现有治沙理论，高立式沙障被拦截下来的流沙掩埋后，就报废了，而被掩埋了的、躲在沙脊线内的悬袋网，拦截过境流沙才刚刚开始，40cm 高的悬袋网被拦截下来的流沙掩埋后，沙丘脊线增高了 40cm，在沙丘顶部脊线上形成 40cm 高、接近休止角的陡坡，大风天，大风夹带着沙漠沙从迎风坡上升，经过沙丘顶部嵌着悬袋网的陡坡，大风从悬袋网的顶边斜着冲向天空，风走了，被大风夹带着的沙漠沙因为重力跌落在沙丘脊线上，沙脊线一面向上增高，一面因水平方向风的推力，向前延伸，形成沙脊平台，当沙脊平台的前沿底部坡度大于休止角，积沙就向背风坡塌陷。沙丘顶部嵌着悬袋网的沙脊平台，能向上增高，向前延伸，但，由于悬袋网的阻挡，沙脊平台迎风坡一侧，不能再向前移动，这样，当沙脊平台向前延伸到前沿底部坡度大于休止角，就向背风坡塌陷，流动沙丘的背风坡就成为存储被悬袋网拦截下来流沙的仓库，这个仓库的容沙量，随着沙丘升高而增大。为悬袋网利用积沙体构筑拦沙坝提供了存储流沙的条件。

2017 年 4 月 3 日，笔者与亿利集团沙漠研究院张吉树院长合作，在腾格里沙漠亿利集团民勤治沙点一条 500m 长的流动沙丘脊线上，设置了一道高度 40cm 的悬袋网(见图 3 A. B)，经过几

次大风，到 5 月份，悬袋网已被拦截下来的流沙掩埋，沙丘脊线增高了 40cm 以上，超过了悬袋网的顶边，悬袋网顶边整整齐齐地露出在沙丘脊线顶端的下方，这时的沙脊线，是处于悬袋网的背风坡一侧的。见（图 3 C）图 3 C 的左侧是背风坡。

图 3 中的 D 拍摄于 2017 年 8 月，夏天的东南风把沙丘背风坡上的沙，吹送到迎风坡上，由于悬袋网的阻挡，流沙整整齐齐地沉积到了悬袋网的迎风坡一侧，沙脊线高于悬袋网的顶边，悬袋网顶边整整齐齐地嵌在沙脊线顶端的下方。图 3 中 D 左侧是沙丘背风坡。

到秋冬季括西北风，沙漠沙又翻过悬袋网，沉积到悬袋网背风坡一侧。从此，悬袋网底下流动沙丘就变成固定了的拦沙坝，沙漠上的过境流沙，在风力作用下，在悬袋网两侧来回折腾，再也挣脱不了沙丘顶部悬袋网的控制。

大家可联系张吉树院长，去现场验证。那里从施工到现在已满 6 年，悬袋网拦沙坝是狂风摧不垮、打不烂的。

### 3.2 用示意图描述悬袋网拦沙坝拦沙固沙的风沙运动规律

下面图 4 中，带箭头的细实线是风向，一道 40cm 高的悬袋网设置在积沙体顶部脊线上，支架插在积沙体顶部的沙中，悬袋网的截面呈悬挂着的布袋的形状，可以避免与大风刚性对抗，流沙被拦截下来漏入悬袋网内，悬袋网被流沙填满后堆埋，积沙体升高 40cm，升高部分形成坡度接近休止角的陡坡，悬袋网嵌在陡坡内，与积沙体结合成整体，成为悬袋网拦沙坝。

大风受悬袋网拦沙坝阻挡、挤压、叠加、顺着迎风坡从悬袋网顶边斜着冲向天空，在拦沙坝背风坡顶形成低气压，大风夹带着的沙漠沙，因重力跌落在拦沙坝顶部，拦沙坝背风坡底的空气顺着背风坡向上流动，填补背风坡顶的低气压，形成向上的风，带着背风坡上的沙向坡顶流动，因此，在大风天，不

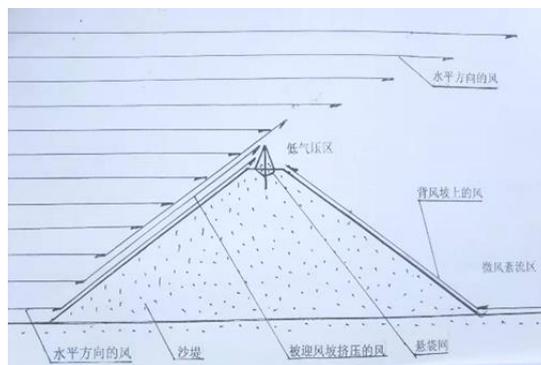


图 4 用示意图描述悬袋网拦沙坝拦沙固沙的风沙运动规律

但拦沙坝迎风坡上的沙在风力推动下向沙丘顶部流动，背风坡上的沙，也在向上的风力推动下向沙丘顶部流动，只不过背风坡向上流动的沙是很少的。由于大风被拦沙坝的迎风坡挡住斜着冲向天空，在拦沙坝背风坡顶形成了低气压，背风坡底的区域，就形成微风紊流区，是没有可以带动沙漠沙脱离拦沙坝的风的。这样，进入悬袋网拦沙坝的沙漠流沙，就挣脱不了拦沙坝的控制，被牢牢地固定在拦沙坝上，沙漠流沙只能进入拦沙坝，无法离开拦沙坝。

常规高立式沙障只能阻滞沙漠流沙，不能完全拦截和固定住流沙，因此无法计算固沙量。悬袋网利用积沙体构筑的拦沙坝，可以完全拦截和固定住沙漠流沙，就可以通过测算悬袋网拦沙坝的截面面积，乘等高线上拦沙坝的长

度，来计算悬袋网拦沙坝的固沙量。

悬袋网利用积沙体治沙的固沙功能(固沙量)，可如下表述：

“置在积沙体（流动沙丘、沙堤）顶部脊线上的沙障，具有大于置在平坦沙漠上相同沙障的固沙功能，固沙功能的大小，等于 1.42 倍积沙体的高度、加上积沙体顶部沙障高度之和的平方、乘积沙体等高线上沙障的长度，再加上积沙体背风坡上存储的流沙。

计算公式： $V=1.42(H_1+H_2)^2L+W(H_1+H_2)L$

式中， $V$  为固沙量，1.42 为常数， $H_1$  为积沙体顶部的高度， $H_2$  为积沙体顶部沙障的高度， $L$  为积沙体顶部等高线上沙障的长度， $W$  为积沙体顶部沙脊平台的宽度”。

公式中的常数 1.42 是积沙体的截面在  $35^\circ$  休止角时的三角函数，积沙体的休止角普遍小于  $35^\circ$  角，休止角越小，积沙量越大。

悬袋网拦沙坝的实际固沙量是大于  $V$  的，因为悬袋网拦沙坝迎风坡的上风向，已成为被迎风坡阻滞下来过境流沙的蓄沙池，可储蓄大量过境流沙。

悬袋网拦沙坝是一种高立式沙障，是一种造价低廉、狂风摧不垮、打不烂、维护方便、寿命长久的高立式沙障。凡是施工常规高立式沙障的地方，都可以施工悬袋网拦沙坝。

被掩埋的悬袋网，可以解开顶边捆扎丝，拔出支架，去除袋内的沙，提升起网材，填满坑后，用旧材料重新施工悬袋网，可以做到零污染。



图 5 悬袋网的发明专利证书

## 4 结论

从 2013 年 10 月开始，笔者施工在乌兰布和沙漠上、腾格里沙漠上、巴丹吉林沙漠上、柴达木沙漠上、巴音温都尔沙漠上、库布其沙漠上、塔克拉玛干沙漠上的悬袋网利用积沙体治沙工程，施工一个，成功一个，是书写在中国大地上一篇又一篇悬袋网利用积沙体治沙的论文。

“工程固沙方面达到国内领先水平”已于 2015 年 6 月 8 日书写在内蒙古科技厅组织专家委员会(主任杨文斌研究员、副主任董治宝研究员)对“网笼沙障构筑阻沙坝技术”的《科学技术成果鉴定证书》上。证书编号是：内蒙古科技厅签字『2015』第 25 号。因为鉴定专家们看到了笔者书写在临策铁路 104km 处的悬袋网利用积沙体治沙工程的优异成绩，又看到了一道悬袋网固定住了侵害农田的流动沙丘，保护住了农田的优异成绩。实践是检验真理的唯一标准，书写在大地上的治沙工程，比书写在纸上的治沙论文更有说服力，更具公信力。专家们在鉴定和签字时，心中是踏实的。

沙漠上的风沙是风沙灾害的元凶，流动沙丘是帮凶，经过设置在流动沙丘脊线上的一道悬袋网，流动

沙丘变成固定了的拦沙坝，沙漠风沙变成自动向上输送流沙构筑拦沙坝的搬运工，负负得正，可见科学技术是第一生产力。

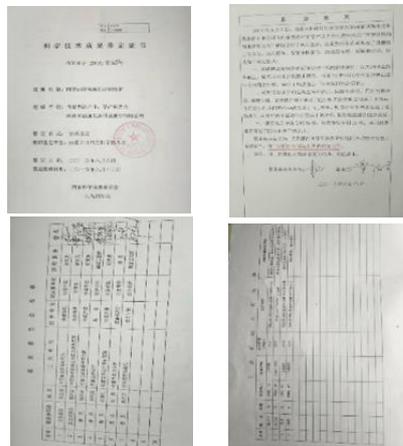


图 6 《科学技术成果鉴定证书》

笔者是内蒙古沙产业、草产业协会常务理事，西施生态科技股份有限公司治沙项目负责人。中国的“工程固沙方面国内领先”是公认的国际领先。悬袋网利用积沙体治沙工程，可在全世界需要防治风沙灾害的地方施工，可使拦截和固定流动沙漠变得简单方便，可使沙漠铁路和沙漠公路防治沙害变得简单方便，可使沙漠上建筑物的防治沙害变得简单方便，可大幅度降低全世界的治沙费用。