



沙柳 沙障

高永 虞毅 龚萍 汪季 等著



SEU 2735766



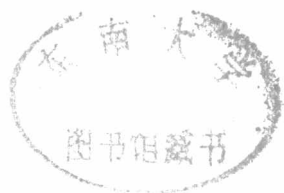
科学出版社

S792.12

1

沙柳沙障

高永虞毅等 著
龚萍汪季



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金“沙柳沙障腐蚀过程及其抗蚀机理研究(40961036)”、“沙柳沙障阻沙降尘机理研究(30360088)”、“沙柳沙障对流沙环境变异与天然植物定居的影响及机制(30972420)”等项目研究成果的总结;以沙柳沙障为主题,介绍了沙柳沙障技术体系,分析了沙柳沙障的防风固沙效益,总结了沙柳沙障对土壤的改良及对植被的恢复作用,阐述了沙柳沙障的腐蚀规律,揭示了沙柳沙障的腐蚀过程及腐蚀的影响因子,提出了沙柳沙障的防腐抗蚀对策和配置模式。本书是课题组成员多年来取得的相关研究经验的积累,对沙柳沙障进行了全方面的研究,为沙柳沙障的实际应用提供了理论基础。

本书可供从事水土保持学、荒漠化防治工程学、风沙物理学、林学、生态学、植物学和环境科学的科技工作者,以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

沙柳沙障/高永等著. —北京:科学出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-03-038723-3

I. ①沙… II. ①高… III. ①沙柳-防风固沙林-研究 IV. ①S792.12
②S727.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 232603 号

责任编辑:张会格/责任校对:韩 杨

责任印制:赵德静/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2013 年 11 月第一次印刷 印张:15 插页:1

字数:284 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《沙柳沙障》编撰委员会

主 编：高 永 虞 毅 龚 萍 汪 季

副主编：董 智 张利文 刘艳萍 周丹丹 党晓宏

著 者(以姓氏笔画为序)：

王 健 王 颖 王文玲 王淮亮

吕新丰 刘艳萍 那 钦 宋志博

汪 季 张 琪 张利文 陈 曦

罗凤敏 周丹丹 高 永 高 菲

党晓宏 龚 萍 董 智 蒙仲举

虞 毅

序

土地荒漠化已成为 21 世纪人类面临的巨大威胁。全世界超过 1/4 的土地遭到荒漠化的危害，土地荒漠化的扩大，造成巨大的经济损失，同时带来一系列的环境问题。例如，土地生产力急剧下降，生态平衡失调，自然环境恶化，灾害日趋严重等。因此，沙漠化治理既可以保证人类的生存，又可以实现社会的可持续发展，是社会稳定的关键环节。

沙漠化防治的一种重要手段是机械固沙，即通过各种工程设施的建设，对风沙起到固、阻、输、导的作用，达到防止风沙危害的目的。其中，最具有代表性的一种工程就是沙障的设置。沙障的基本原理是通过增大地表粗糙度，使得近地表风速降低，达到防风固沙的作用。沙柳沙障是我国西北地区及内蒙古西部地区进行防沙治沙的重要措施之一。实践证明沙柳沙障在防风固沙方面具有良好的效果，同时能有效地促进植被恢复及水土改良，使得生态环境从根本上得到改善。

该书撰写者和课题组成员从事沙障研究工作几十年，承担多项国家基金及课题，并取得丰硕成果。该书是在国家自然科学基金“沙柳沙障腐蚀过程及其抗蚀机理研究（40961036）”、“沙柳沙障阻沙降尘机理研究（30360088）”、“沙柳沙障对流沙环境变异与天然植物定居的影响及机制（30972420）”等项目的研究基础上整理而成，主要介绍了沙柳沙障技术体系，分析了沙柳沙障的防风固沙效益，总结了沙柳沙障对土壤的改良及对植被的恢复作用，阐述了沙柳沙障的腐蚀规律，揭示了沙柳沙障的腐蚀过程及腐蚀的影响因子，并对沙柳沙障的防腐抗蚀提出了对策，最后提出了沙柳沙障的配置模式。该书对沙柳沙障进行了全方面的研究，为沙柳沙障的实际应用提供了理论基础，值得国内外同行高度关注。

张全璧

2013 年 3 月

前 言

中国是全球荒漠化面积较大、分布较广、危害较为严重的国家之一，共有荒漠化土地 263.63 万 km^2 ，约占整个国土面积的 27.5%，主要分布在西北、东北和华北地区 13 个省市，每年因荒漠化造成的直接经济损失高达 642 亿元，平均每天损失近 1.76 亿元。土地荒漠化是自然因素和人为活动综合作用的结果。自然地理条件和气候变异形成荒漠化的过程是较为缓慢的，而人类的各种活动刺激和加速了荒漠化的进程，成为荒漠化的主要原因。我国政府高度重视土地荒漠化治理，从 21 世纪初开始启动了一系列重大生态防治工程，包括退耕还林、京津风沙源治理、天然林保护、小流域综合治理、退牧还草等。经过多年的努力，我国防沙治沙事业已经取得了令人瞩目的成就，全国土地沙化由 20 世纪 90 年代末的年均扩展 3436 km^2 转变为现在年均缩减 1283 km^2 。然而我国仍是世界上生态环境比较脆弱的国家之一，局部地区土地荒漠化仍有明显恶化的趋势，荒漠化仍是阻碍我国经济社会可持续发展的重要因素。

荒漠化治理是一项长期而又艰巨的任务。荒漠化治理措施研究是荒漠化治理研究的重要内容。荒漠化治理措施的基本原理是通过增大地表粗糙度、土粒间的黏结力，增强土层抗风蚀的能力，最终实现荒漠化治理的目标。目前，应用于荒漠化治理的措施有：高大沙丘加机械沙障阻沙措施、化学固沙措施、生物固沙措施、草方格沙障固沙措施、沙地果树栽培措施、沙漠化草场改良措施、沙漠和沙漠化土地遥感监测措施等单项技术，以及单项措施综合运用形成的复合措施。

工程治沙和生物治沙是荒漠化防治的重要手段。在自然条件恶劣的地区，机械沙障是荒漠化防治的主要措施；在自然条件较好的地区，机械沙障是生物治沙的前提和必要条件。沙柳沙障是一种集合了工程治沙和生物治沙双重功能的荒漠化防治措施，如果设置沙障的季节合适，则插下去的沙柳枝条有个别的还能成活，长成沙柳灌丛，因此这是一种很有价值的治沙措施。沙柳沙障是中国西北地区及内蒙古地区进行防沙治沙应用的主要措施之一，大量的研究实践证明沙柳沙障在防风固沙、改良水土及促进植被恢复等方面均具有很好的效果，对沙地土壤改良有显著作用，而且还可以调节局部地区小气候，增大下垫面粗糙度，有效降低近地表层风速，明显减弱了输沙强度，使流沙表面得以稳定，是从根本上改善生态环境的一项关键措施。但是，在实践中发现，沙柳沙障在铺设几年以后，会发生不同程度的腐烂，沙障的倒伏大大降低了使用年限，影响了其生态效益的发挥。

本书以沙柳沙障为主题,全书共分为9章。第1章主要从沙柳沙障材料的制作、沙障类型、沙柳沙障的配置指标及模式、施工工艺等方面,介绍了沙柳沙障设置的技术方法及工艺流程、沙柳沙障植被恢复措施;第2章分析了沙柳沙障内风速变化、沙障对地表粗糙度的影响及近地表风沙流结构;第3章分析了沙柳沙障对土壤理化性质的改良;第4章从沙柳沙障对土壤种子库的影响、沙障破损与植被恢复的关系等方面,介绍了沙柳沙障对植被的恢复作用;第5章通过柳条直径、柳条埋深、障边方位、沙丘位置及障龄与腐蚀的关系,阐述了沙柳沙障的腐蚀规律;第6章从沙柳沙障的化学、构造及微生物数量的变化等方面,揭示了沙柳沙障的腐蚀过程;第7章对沙柳沙障腐蚀的影响因子进行了研究;第8章通过对经防腐剂处理后沙柳沙障的耐久性的研究,对沙柳沙障的防腐抗蚀提出了对策;第9章总结了沙柳沙障的配置模式。

本书在写作过程中,著者进行了大量的资料整理和分析工作,为本书的顺利完成提供了很大的帮助。参加撰写的有山东农业大学、内蒙古农业大学、内蒙古财经大学、内蒙古师范大学、中华人民共和国水利部牧区水利科学研究所等单位的20余人。各章节的分工如下:前言,高永、虞毅;第1章,高永、党晓宏、张利文;第2章,刘艳萍、汪季、王颖;第3章,虞毅、周丹丹、高菲、罗凤敏、张琪;第4章,董智;第5章,高永、宋志博、那钦、吕新丰;第6章,龚萍;第7章,龚萍;第8章,龚萍、陈曦;第9章,蒙仲举、王淮亮、王健、王文玲。本书由内蒙古农业大学高永教授担任主审。

沙柳沙障是防沙治沙的重要措施,有关沙柳沙障的相关领域的研究,有很多问题尚在探索之中。对其深入研究,必将对沙柳沙障的实际应用的发展起到积极的推动作用。著者殷切地希望本书的出版,能够引起相关人士对该领域的更多关注及支持,并希望对从事荒漠化防治方面研究的学者有所裨益。

本书在撰写过程中参考和引用了国内外有关书籍和文献,特此感谢。本书的出版承蒙科学出版社的大力支持,编辑人员为此付出了辛勤的劳动,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中若存在不足之处,敬请读者批评指正。

著者

2013年3月

目 录

序

前言

1 沙柳沙障技术体系	1
1.1 沙柳条材料的选择及插条的制作	1
1.2 沙障类型	1
1.2.1 沙柳形状	2
1.2.2 沙障规格设置	2
1.2.3 沙障布设方式	3
1.3 沙柳沙障配置指标及模式	4
1.3.1 沙柳沙障配置指标	4
1.3.2 沙柳沙障配置模式	5
1.4 沙柳沙障设置方法及工艺流程	5
1.4.1 沙柳沙障设置的方法	5
1.4.2 施工工艺	7
1.5 沙柳沙障植被恢复措施	7
1.5.1 沙柳扦插造林	7
1.5.2 柠条、杨柴植苗造林	8
1.5.3 沙柳沙障内播草固沙	9
2 沙柳沙障的防风固沙效益	10
2.1 风速变化特征	10
2.1.1 格状沙障的防风效应	11
2.1.2 带状沙障的防风效应	15
2.2 地表粗糙度	19
2.2.1 格状沙障对地表粗糙度的影响	19
2.2.2 带状沙柳沙障对地表粗糙度的影响	27
2.3 近地表风沙流结构	28
2.3.1 沙障阻沙机理	28
2.3.2 格状沙障对近地表风沙流结构的影响	30
2.3.3 带状沙障对近地表风沙流结构的影响	34

3 沙柳沙障对土壤的改良作用	36
3.1 沙柳沙障对土壤物理性质的改良	36
3.1.1 土壤剖面特征	36
3.1.2 土壤机械组成	37
3.1.3 土壤水分	49
3.2 沙柳沙障对土壤化学性质的改良	54
3.2.1 土壤有机质分析	55
3.2.2 土壤全氮	60
3.2.3 土壤全磷	64
3.2.4 土壤全钾	65
3.2.5 土壤酸碱度	67
3.3 土壤理化性质的相关性	68
3.3.1 土壤物理性质的相关性	68
3.3.2 土壤化学性质的相关性	68
3.3.3 土壤物理性质和化学性质之间的相关性	69
4 沙柳沙障对植被的恢复作用	71
4.1 沙柳沙障对土壤种子库的影响	71
4.1.1 不同设置年限沙柳沙障对土壤种子库组成与密度空间变化的影响	71
4.1.2 不同设置规格沙柳沙障对土壤种子库组成与密度的空间变化	81
4.1.3 不同设置年限沙柳沙障对土壤种子库种类组成相似性的影响	85
4.1.4 不同设置规格沙柳沙障对土壤种子库种类组成相似性的影响	87
4.1.5 沙障对植物群落组成变化及生物多样性的影响	88
4.2 沙障破损与植被恢复的关系	94
4.2.1 沙障破损对植被的恢复	94
4.2.2 沙障对植物种子与繁殖体的拦截作用	97
4.2.3 植被恢复过程中沙障的庇护作用及植物生长对沙障的依附作用	97
5 沙柳沙障的腐蚀规律	100
5.1 柳条直径与腐蚀	100
5.1.1 不同直径沙柳沙障的物理性质分析	100
5.1.2 不同直径沙柳沙障的化学性质分析	101
5.2 柳条埋深与腐蚀	102
5.2.1 单根沙障枝条腐蚀	102
5.2.2 同一障格内沙障腐蚀	104
5.2.3 不同坡位的沙障腐蚀	109
5.3 障边方位与腐蚀	113

5.3.1	沙柳沙障 SN 障边的腐蚀规律	113
5.3.2	沙柳沙障 EW 障边的腐蚀规律	120
5.4	沙丘位置与腐蚀	123
5.4.1	沙丘不同坡位沙柳沙障的腐蚀规律	123
5.4.2	沙丘不同坡向沙柳沙障的腐蚀规律	129
5.5	障龄与腐蚀	132
5.5.1	不同铺设时间沙柳沙障抗折强度损失率的变化	132
5.5.2	不同铺设时间沙柳沙障质量损失率的变化	133
6	沙柳沙障的腐蚀过程	134
6.1	沙柳沙障腐蚀的化学变化	134
6.1.1	沙柳沙障腐蚀过程中化学变化的 FTIR 分析	134
6.1.2	沙柳沙障腐蚀过程中纤维素的变化规律	138
6.1.3	沙柳沙障腐蚀过程中半纤维素的变化规律	140
6.1.4	沙柳沙障腐蚀过程中木质素的变化规律	142
6.2	沙柳沙障腐蚀过程中构造的变化	144
6.2.1	沙柳沙障腐蚀过程中宏观构造分析	144
6.2.2	沙柳沙障腐蚀过程中显微构造的比较	146
6.3	沙柳沙障腐蚀过程中微生物数量的变化	151
6.3.1	沙柳沙障腐蚀过程中细菌数量的变化	151
6.3.2	沙柳沙障腐蚀过程中放线菌数量的变化	153
6.3.3	沙柳沙障腐蚀过程中纤维素分解菌数量的变化	154
6.3.4	沙柳沙障腐蚀过程中真菌数量的变化	156
7	沙柳沙障腐蚀的影响因子	158
7.1	含水率	158
7.1.1	不同深度土壤含水率对沙柳沙障的致腐作用	158
7.1.2	不同障边位置土壤含水率对沙柳沙障的致腐作用	159
7.1.3	不同坡位土壤含水率对沙柳沙障的致腐作用	160
7.1.4	不同障龄沙丘土壤含水率对沙柳沙障的致腐作用	161
7.1.5	土壤含水率对沙柳沙障的致腐作用	162
7.2	有机质	166
7.2.1	不同深度土壤有机质对沙柳沙障的致腐作用	166
7.2.2	不同障边位置土壤有机质对沙柳沙障的致腐作用	167
7.2.3	不同坡位土壤有机质对沙柳沙障的致腐作用	168
7.2.4	有机质对沙柳沙障的致腐作用	169
7.3	酸碱度	173

7.3.1	不同深度土壤酸碱度对沙柳沙障的致腐作用	173
7.3.2	不同坡位土壤酸碱度对沙柳沙障的致腐作用	173
7.3.3	酸碱度对沙柳沙障的致腐作用	174
7.4	温度	178
7.4.1	温度对沙柳沙障抗折强度损失率的影响	178
7.4.2	温度对沙柳沙障质量损失率的影响	181
7.5	孔隙度	183
7.5.1	不同深度土壤孔隙度对沙柳沙障的致腐作用	183
7.5.2	不同坡边位置土壤孔隙度对沙柳沙障的致腐作用	183
7.5.3	不同坡位土壤孔隙度对沙柳沙障的致腐作用	184
8	沙柳沙障的防腐抗蚀效果	186
8.1	防腐剂的选择与配比	186
8.2	防腐剂耐腐性等级的标准	186
8.3	防腐剂处理沙柳沙障的吸药量变化	188
8.3.1	ACQ 防腐剂处理对沙柳沙障吸药量的影响	188
8.3.2	CuAz 防腐剂处理对沙柳沙障吸药量的影响	190
8.4	防腐剂处理沙柳沙障的室内耐久性	193
8.4.1	ACQ 防腐剂处理对沙柳沙障质量损失率的影响	193
8.4.2	CuAz 防腐剂处理对沙柳沙障质量损失率的影响	195
8.5	防腐剂处理后沙柳沙障的耐腐等级	197
8.5.1	ACQ 防腐剂处理后沙柳沙障的耐腐等级	197
8.5.2	CuAz 防腐剂处理后沙柳沙障的耐腐等级	197
8.6	防腐剂处理沙柳沙障的野外耐久性	200
8.6.1	ACQ 防腐剂对沙柳沙障的防腐效果	200
8.6.2	CuAz 防腐剂对沙柳沙障的防腐效果	207
8.6.3	ACQ 和 CuAz 防腐剂的对比分析	217
9	沙柳沙障的配置模式	221
主要参考文献		223
图版		

1 沙柳沙障技术体系

沙柳 (*Salix psammophila* C. Wang et C. Y. Yang) 别名北沙柳, 是杨柳科柳属灌木。沙柳是草原地带典型的沙生中旱生落叶灌木或小乔木, 广泛生长于我国西北地区及内蒙古西部地区, 多分布于流动沙丘、半流动沙丘及丘间低地。沙柳适应性强, 具有极好的抗风蚀沙埋的能力, 造林成活率高, 生长迅速易繁殖, 耐寒、耐旱、耐高温, 是防风固沙的先锋树种。沙柳由于其典型的旱生构造, 在风大沙多、干旱少雨的恶劣自然环境下也能够生存。根据沙柳的抗旱特性, 以及其他相关的生物学特性, 沙柳被广泛地应用于机械沙障的设置。沙柳萌发的枝条丛生, 枝繁叶茂, 同时又具有较强的萌生能力, 枝干呈丛生状, 并且生长迅速。另外, 沙柳沙障的使用成本较低, 防护时间持久且稳定, 因此沙柳是很好的沙障材料。

沙柳沙障固沙是机械沙障的一种, 以沙柳柳条为材料, 在沙面上设置各种形式的沙柳配置模式, 以此来控制风沙流运动的方向、速度、结构, 改变地表的积蚀状况, 达到防风阻沙、改变地貌状况等目的。

1.1 沙柳条材料的选择及插条的制作

流动沙丘、半流动沙丘和丘间低地广泛分布着沙柳, 沙柳的萌条丛生, 枝稠叶茂, 是防风、防蚀、固沙的良好树种。扦插的沙柳可于两年后的秋末或第三年年初进行割条, 这为设置沙柳沙障提供了便利条件。

选择在本地生长良好、无病虫害的 2 年生沙柳柳条作为原材料, 利用割灌机或人工平茬的方式将沙柳条平茬, 以便制作沙柳沙障。

将平茬下来的沙柳条, 去掉侧枝后用铡刀截成 40~80cm 长。沙障的插设季节以秋末冬初沙层湿润为宜, 这时开沟省力, 插后障基较稳固。高立式沙障的障间距应为障高的 10 倍左右, 在坡度较大的沙丘应遵循顶底相照原则。

1.2 沙障类型

沙柳沙障按照用途可以分为: 植物沙障 (活沙障) 和机械沙障 (死沙障)。植物沙障是用可以繁殖的植物枝条或苗栽子作材料设置的沙障, 它既能起到机械阻沙的作用, 成活后又能达到长久固沙的目的。机械沙障是用干枯的枝条、蒿草、作物秸秆或泥土作材料设置而成, 这种沙障较植物沙障起作用时间短, 也不

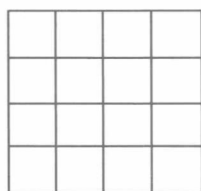
能提高沙地肥力，但它不与障间林木争水争肥，不受季节限制，而且材料来源广泛，目前被普遍采用。

(1) 沙柳活沙障取 0.3~0.7cm 粗、无病虫害的 2 年生健壮沙柳枝条，截成 50~70cm 长，开与种条相应的深沟，将条均匀地摆在沟的靠下一边（若摆在靠上一边踏平后露头过高），要求做到均匀栽植、踏实与地平，深了不易发芽，高了易遭风蚀。

(2) 沙柳死沙障按照防沙原理和设置方式方法可大致划分为两大类：直立式沙障、平铺式沙障（集束式沙柳沙障）。

1.2.1 沙柳形状

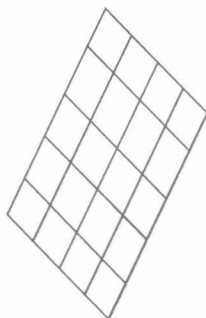
根据沙障在地面分布的形状可分为：方格沙障、矩形沙障、菱形沙障、带状沙障（图 1.1）。



方格沙障



矩形沙障



菱形沙障



带状沙障

图 1.1 沙柳沙障铺设形状

Fig. 1.1 The laying shape of the *Salix* sand barrier

1.2.2 沙障规格设置

方格沙障：0.5m×0.5m，1m×1m，2m×2m，3m×3m，4m×4m，5m×5m。

矩形沙障: $1\text{m} \times 2\text{m}$, $2\text{m} \times 3\text{m}$, $2\text{m} \times 4\text{m}$, $2\text{m} \times 5\text{m}$, $3\text{m} \times 4\text{m}$, $4\text{m} \times 5\text{m}$, $3\text{m} \times 6\text{m}$ 。

菱形沙障: $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$, $1\text{m} \times 1\text{m}$, $2\text{m} \times 2\text{m}$, $3\text{m} \times 3\text{m}$, $4\text{m} \times 4\text{m}$, $5\text{m} \times 5\text{m}$ 。

带状沙障: 5m , 10m , 15m , 20m , 30m , 40m 。

屈建军等(2005)研究认为,沙柳沙障障格的边长与内部的风蚀高度在 $1:10 \sim 1:8$ 时,沙障的防护相对稳定;沙障的规格为 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 及 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的防风性能较好。

1.2.3 沙障铺设方式

带状沙障的间距为 12~18 倍障高 ($20 \sim 40\text{m}$) (图 1.2)。

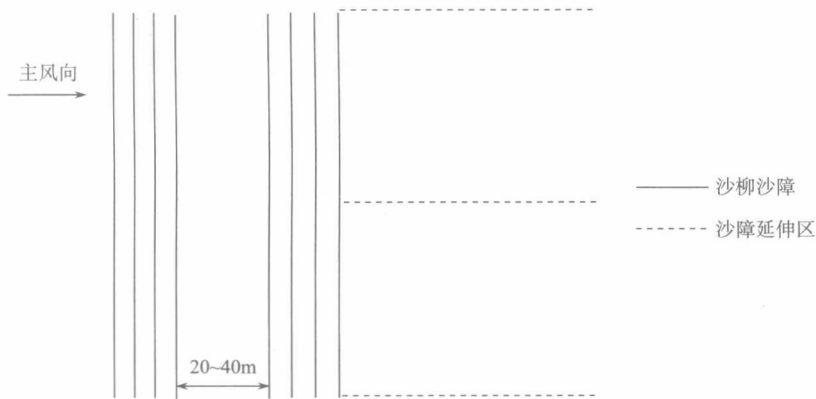


图 1.2 带状沙柳沙障设置示意图

Fig. 1.2 The setting schematic diagram of the ribbon *Salix* sand barrier

格状沙障的规格有 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 2.5\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 4\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 5\text{m}$ 等类型, $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $1\text{m} \times 2\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 3\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 4\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 、 $3\text{m} \times 4\text{m}$ 、 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 、 $4\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $3\text{m} \times 6\text{m}$ 等不同规格的沙柳沙障,沙障高 $20 \sim 30\text{cm}$ 。每一种规格的沙障从沙丘的基部一直设置到沙丘的顶部,方格沙障的短边走向与主风方向西北风(NW)平行。

高立式带状沙柳沙障设置在格状沙障的外侧,障高 $1 \sim 2\text{m}$,障间距 $20 \sim 40\text{m}$,上风向设 $5 \sim 6$ 带,下风向设 $3 \sim 4$ 带,目的是阻止外围流沙的入侵,保护格状沙障(图 1.3)。

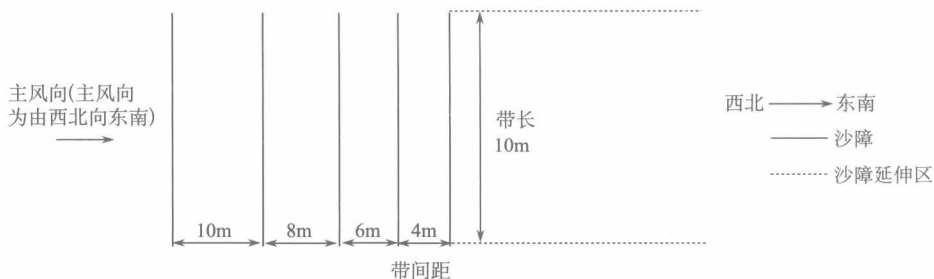


图 1.3 高立式带状沙柳沙障布设示意图

Fig. 1.3 The layout schematic diagram of the high vertical strip *Salix* sand barrier

1.3 沙柳沙障配置指标及模式

1.3.1 沙柳沙障配置指标

1. 沙障走向设置

由于当地主害风向为西北风，副主风为西南风，设置沙障主带走向为东北—西南方向，副带因沙地坡面可垂直于主带，或者主带、副带形成 45° 夹角。

2. 沙障高度

根据当地立地条件及风力强弱来设置沙柳沙障的高度。一般情况下，风沙流最活跃的范围主要是近地表 10cm 以下，尤其是距地面 0~5cm 的气流中，含沙量占 60%~80%。因此，沙障高度在地面上留 20~30cm 最佳。但一般在沙地部位和沙障孔隙度相同的情况下，积沙量与沙障高度的平方成正比。沙障高度一般设为 20~40cm，最高有 60cm。

根据沙障外露高度将沙柳直立式沙障分为以下 3 种。①高立式沙柳沙障：沙障外露高度 >40 cm。②半隐蔽式沙柳沙障：沙障外露高度为 20~40cm。③低立式沙柳沙障：沙障外露高度为 0~20cm。

张亚玲等 (2007) 认为在宽高比相同的条件下，1m 高的沙柳沙障的地表粗糙度大于 1.5m，防风效益也较好；在沙障高度一定的条件下，沙障的防风效益随沙障面积的增大而减弱。

3. 沙柳沙障孔隙度

通常把沙障孔隙面积与沙障总面积之比称为沙障孔隙度。通常用它作为衡量沙障透风性能的指标。一般当孔隙度为 25% 时，障前积沙为障高的 7~8 倍；而当孔隙度达 50% 时，障前基本没有积沙，障后的积沙为障高的 12~13 倍。孔隙度越小，沙障越紧密，积沙范围越窄，沙障很快被积沙所埋没，失去

继续拦沙的作用；反之，孔隙度越大，积沙范围延伸得越远，积沙作用越大，防护时间也越长。

为了发挥沙柳沙障较大的防护效能，在障间距和沙障高度一定的情况下，沙障孔隙度的大小，应根据各地风力及沙源情况来具体确定，一般多采用 25%~50% 的沙障孔隙度。风力大的地区，沙源小的情况下孔隙度应该小些；沙源充足时孔隙度应增大。

4. 沙柳沙障的间距设置

沙障间距是指相邻两条沙障之间的距离。该距离过大，沙柳沙障容易被掏蚀损坏；距离过小则浪费材料，增加成本。因此，在设置沙障前必须确定沙障的间距。

沙障间距与沙障高度、沙面坡度及沙丘部位有关，同时还要考虑风力的强弱。沙障高度大，障间距应增加，反之亦然。沙丘坡度大，障间距应减小；反之，沙丘坡度小，障间距应增大。风力弱处障间距可增大；风力强劲处障间距应缩小。在坡度小于 4° 的平缓沙地上，障间距应为障高的 15~20 倍。在地势不平坦的沙丘坡面上设置沙柳沙障时应根据以下公式确定障间距。

$$D = H \times \cot \alpha$$

式中， D ——障间距离； H ——障高； α ——沙面坡度。

1.3.2 沙柳沙障配置模式

沙障设在丘顶或沿丘背线布设，有利于阻沙，但要经常拔高沙障，否则沙埋严重。而在迎风坡中下部布设沙障，则易造成丘顶风蚀，有利于削平沙丘。此外，沙障高度过大（如 2m 以上）及夏季反向风的作用都会加重蚀倒的程度，在设障时都要考虑。

沙柳沙障规格为 $2.12\text{m} \times 0.67\text{m}$ ，在迎风坡上部障间距 0.3~0.4m，中部 0.5~0.6m，下部 0.7~0.8m，平缓沙地 0.9~1.0m，梁地 0.6~0.7m。

沙丘坡面及位置，代表不同的立地类型，设置沙障的类型应该有所不同。有人认为迎风坡和坡顶应该设置的沙障为小规格格状沙障，大规格的沙障设置在沙丘中部、下部及背风坡；带状沙障可以设置在沙丘的下部；在平缓沙地设置 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 或 $1\text{m} \times 2\text{m}$ 规格的沙障。同时也提出， $5\text{m} \times 5\text{m}$ 规格的高立式沙障可以设置在多风向、地形复杂的部位；地形平坦且风向单一的部位可以设置 $5\text{m} \times 10\text{m}$ 规格的沙障；大于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的高立式沙障甚至也可以设置在地形平坦的部位。

1.4 沙柳沙障设置方法及工艺流程

1.4.1 沙柳沙障设置的方法

直立式沙障：把沙柳条截成 70~120cm 的长度，在沙丘上用样线打好线，

沿着划好的线用铁锹开 20~30cm 深的沟。沙柳沙障外露高度为 40~80cm，地下埋深 30~40cm。将沙柳条基部插入沟底，两侧培沙，扶正用脚踩实，培沙要高出沙面。最好在降雨后再培沙一次，防止降雨导致培沙下陷后沙障出现倒伏的情况（图 1.4、图 1.5）。

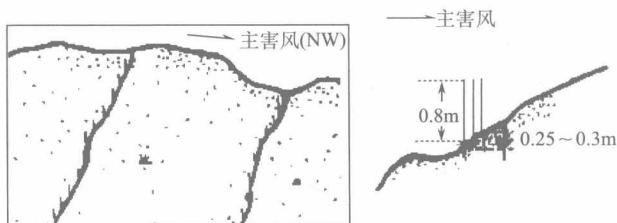


图 1.4 带状沙柳沙障工程示意图

Fig. 1.4 The projects schematic diagram of the ribbon *Salix* sand barrier



图 1.5 方格沙柳沙障工程示意图

Fig. 1.5 The projects schematic diagram of the grid *Salix* sand barrier

平铺式沙障（沙柳集束式沙障）：在 5m 以上沙丘的迎风面，取 2/3 直至沙丘顶部的位置，将平茬的整株沙柳集束，主带沿等高线与主风方向垂直，副带与主带为 45°夹角，配置为菱形沙障；主带沿等高线与主风方向垂直，副带与主带为 90°夹角，配置为格状沙障。沙柳集束不宜扎紧，束间为疏透结构，集束粗度以 15~25cm 为宜，接口处及主、副带的交叉处用 14 号铁丝捆紧（图 1.6）。

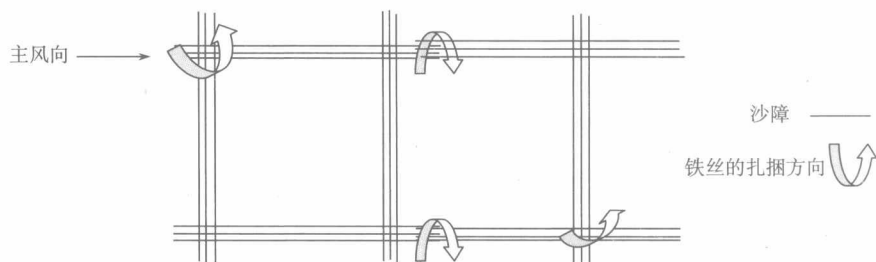


图 1.6 集束式沙柳沙障示意图

Fig. 1.6 The schematic diagram of the gathered bunch arch *Salix* sand barrier