

# 沙漠公路风积沙路基防沙固沙技术研究

王晓鹏

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**【摘要】**：针对沙漠公路风积沙路基易受近地层输沙、坡脚堆积及路肩侵沙影响的问题，采用工程参数分析、结构布设比选及现场评价方法，研究了高立沙障、方格沙障、扎入式沙障组成的复合防护体系。结果揭示了不同沙障在阻沙、固沙、削风及表层嵌固中的功能分工，提出了以高立阻沙结构控制风沙流路径、以方格及扎入式结构稳定沙面的技术配置。研究为沙漠公路风积沙路基防护设计及现场养护提供了技术依据。

**【关键词】**：沙漠公路；风积沙路基；高立沙障（PE尼龙网）；芦苇束高立沙障；芦苇方格沙障；结构稳定性

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.019

## 引言

沙漠公路长期处于强风沙环境作用下，风积沙迁移易导致路基边坡积沙、坡脚侵蚀及防护结构失稳，已成为影响道路通行安全与养护效率的重要因素。当前风积沙路基防护多采用单一阻沙或固沙措施，对复杂风沙流条件下结构协同作用、参数匹配关系及长期稳定性研究仍相对不足。基于风沙动力学及路基防护工程相关研究，结合沙漠公路风积沙运移特征，对当前沙漠公路风积沙路基研究中存在的问题进行讨论，并展望了未来的研究方向<sup>[1]</sup>。围绕高立沙障、方格沙障及扎入式沙障的结构参数、施工工艺及现场稳定性展开分析，以期形成适用于沙漠公路风积沙路基的复合防沙固沙技术体系。

## 1 工程概况

研究路段位于典型流动沙丘发育区域，沿线风沙活动强烈，地表以细砂及粉细砂为主，颗粒分选性较高，路基迎风侧易形成连续性风积沙堆积带。结合现场风沙运移特征，防护体系采用高立沙障、方格沙障及扎入式沙障复合布设形式，其中方格沙障规格采用1m×1m形式，单格芦苇用量约1.2kg，埋设深度控制在20cm以内，以增强近地层粗糙度并削减贴地输沙气流。高立沙障主体高度设置为1.2m，入沙深度0.7m，外露高度1.4m，木桩断面尺寸5cm×5cm，纵向间距3m，采用18号镀锌铁丝形成双向拉结结构，拉线与地表夹角控制在45°，迎风侧布设宽度100~150cm。芦苇束直径控制在5~6cm，捆扎间距30cm，单层铁丝绞紧后形成高密度阻沙界面。扎入式沙障采用一年生芦苇材料，单束直径0.8~1.2cm，入土深度15cm，外露高度20cm，横向间距70cm，通过V形插设方式提高浅层沙体稳定性。

如图1所示，复合防沙固沙体系在路基迎风侧采用高立沙障、方格沙障及扎入式沙障组合布设形式，各类沙障按照不同功能分区设置，可形成由远端阻沙、近地固沙到坡脚稳沙的连续防护结构。

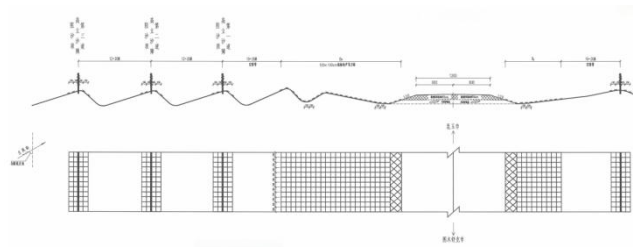


图1 路基防护设计图（风沙防护）

## 2 沙漠公路风积沙路基防沙固沙技术

### 2.1 芦苇高立沙障结构设计

芦苇高立沙障主要用于削弱近地层输沙气流强度，控制风积沙向路基边坡及路肩区域迁移。该结构采用双侧斜拉式柔性阻沙体系，由木桩、芦苇束、18号镀锌铁丝及锚固拉线组成，通过“立柱支撑—柔性阻沙—斜拉稳定”协同受力方式提高整体抗风稳定性。其布设形式如图2所示。

高立沙障主体木桩截面尺寸为5cm×5cm，桩体总长约2.1m，其中入沙深度控制为70cm，地表以上有效阻沙高度约140cm。木桩纵向间距设置为3m，迎风与背风两侧均采用18号镀锌铁丝进行斜向拉结，拉线与地表夹角保持45°，以降低风荷载作用下的顶部弯矩集中现象。迎风侧阻沙带宽度控制在100cm左右，通过双向斜拉形成稳定三角受力结构，提高高速条件下的抗倾覆能力。

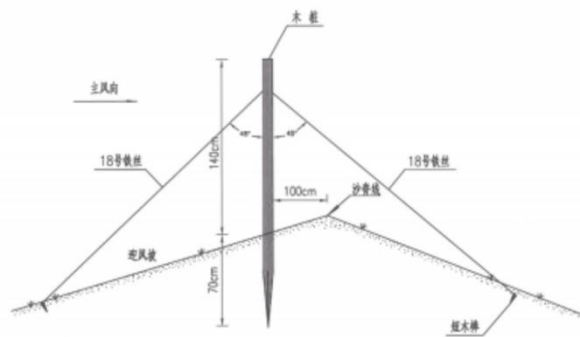


图2 芦苇束高立沙障结构布设示意图

阻沙界面采用芦苇束连续捆扎形式构成，芦苇束直径控制

在5~6cm，采用 $\phi 2.5\text{mm}$ 镀锌铁丝按30cm间距分层固定，形成连续高密度透风阻沙层。芦苇束排列密度直接影响近地层风速衰减效果，较高密度束体能够增强紊流耗散并降低跃移颗粒输移能力。芦苇束高立沙障构造形式如图3所示。

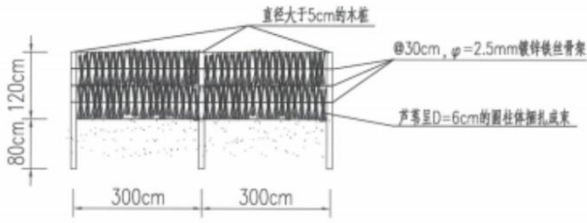


图3 芦苇束高立沙障构造示意图

图3中可见，芦苇束通过横向连续编织形成柔性阻沙界面，内部保持一定孔隙率，以兼顾阻沙能力与透风性能，避免障体前缘形成强烈绕流冲刷。为提高节点稳定性，铁丝连接部位采用双股回拧方式处理，增强整体抗拉性能与抗疲劳能力。该类柔性高立沙障在风沙环境下能够形成稳定的风速衰减区，使风积沙在障前逐步沉积，从而降低路基边坡积沙与坡脚冲蚀风险[2]。

### 2.2 PE 尼龙网高立沙障布设技术

防护体系采用柔性网障—刚性支撑复合结构形式，主体由PE尼龙网面、方木立柱、18号镀锌铁丝及铁钎锚固组件构成，如图4所示。网障总高度控制为1.2m，其中埋设深度80cm，地表以上有效拦沙高度120cm，纵向单跨长度3m，立柱间距100cm。方木立柱截面尺寸10cm $\times$ 10cm，采用垂直压入式埋设工艺，以提高风沙荷载条件下的抗倾覆稳定性。网面材料选用高密度聚乙烯单丝编织结构，网孔尺寸5cm $\times$ 20cm，目数100，遮光率30%~35%，单位面积质量2.5~21.6g/m<sup>2</sup>，断裂伸长率控制在12%以内，兼顾透风性与结构柔顺性。PE网孔尺度与近地层气流再附长度存在显著耦合关系，5cm级网孔能够有效削弱贴地风速梯度，降低跃移颗粒冲击频率。

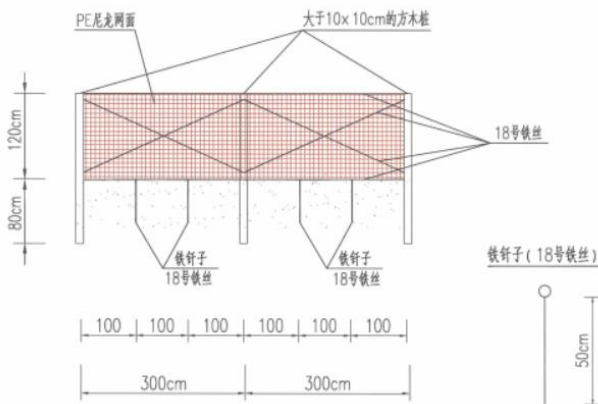


图4 高立沙障（PE尼龙网）示意图

网面通过18号镀锌铁丝实施双向交叉拉结，铁丝间距

100cm，底部采用18号铁丝铁钎进行锚固固定，单根铁钎长度50cm，形成多点约束受力体系。为降低高频风振条件下网面疲劳损伤，网障内部设置“X”形斜向拉撑结构，提高整体抗变形能力。网面底部采用压沙覆埋工艺处理，覆沙厚度约5cm，减少底缘掀动与流场穿透现象。依据风沙流数值模拟结果，网障孔隙率维持在35%左右时，可有效抑制结构前缘分离涡发展，减小局部风蚀强度[3]。

### 2.3 方格沙障固沙技术

方格沙障采用规则网格化平面布设形式，基本单元尺寸为1m $\times$ 1m，纵横向沙障带按正交方式嵌入表层风积沙层，形成连续粗糙元阵列。其以100cm $\times$ 100cm的规则网格进行布设，纵横向沙障带交叉后形成连续固沙单元，可增强表层风积沙的几何约束能力，并为路基边坡及坡脚区域提供稳定的表层防护基础，具体结构形式如图5所示。芦苇材料用量约1.2kg/格，埋设深度不大于20cm，外露高度宜保持在15~20cm。芦苇束采用直径5~6cm规格，铺设前清除表层松散浮沙，开槽深度控制在15~20cm，槽底宽度略大于芦苇束直径，保证束体嵌入后具有稳定侧向约束。交叉节点采用压埋搭接方式，节点处芦苇束重叠长度不小于10cm，避免网格边界发生离散化破坏。既有风沙工程研究指出，1m尺度草方格能够改变沙面空气动力学粗糙度，增加近地层动量耗散，削弱0~30cm高度范围内的跃移颗粒输移能力。

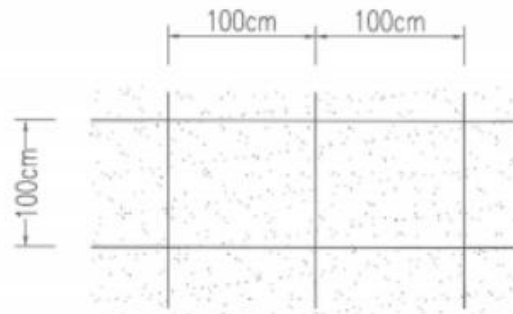


图5 芦苇方格沙障平面布置示意图

施工控制以“放线定格、开槽压草、覆沙夯实、节点整形”为核心流程[4]。测量放样阶段按路基边坡坡脚外缘向外扩展布设，网格轴线偏差控制在 $\pm 5\text{cm}$ 以内；开槽阶段保持槽线顺直，避免局部弯折引发风流集中；压草阶段使芦苇束中部入沙、两侧外露，形成稳定拱形截面；覆沙阶段利用原状风积沙回填压实，回填厚度控制在3~5cm。方格边框外露高度过大易诱发局部绕流冲刷，外露高度不足则难以形成有效粗糙元，故应依据风积沙粒径、含水率、坡面坡度动态修正埋设深度。对路肩外侧及坡脚过渡带，可采用加密网格或错列布设方式提高边界连续性，减少格间裸露沙面。该技术重点在于通过几何约束、表层嵌固、粗糙度调控实现沙面稳定化，为高立沙障阻沙结构提供稳定基础。

## 2.4 扎入式沙障施工技术

扎入式沙障采用簇束嵌入式施工形式，材料选用一年生芦苇，单株直径控制在0.8~1.2cm，要求无霉变、无虫蛀、无破损，保证束体弯曲韧性及抗折性能。施工时按主导风向确定布设轴线，沙障带宽度控制在70cm，单元间距为100cm，芦苇根部向下扎入沙层，入土深度15cm，地表外露高度20cm，局部外露差控制在2~3cm以内。插设截面宜形成V形或扇形展开结构，使束体根部集中锚固、上部呈扩散排列，以提高表层风积沙的三维约束能力。插设截面宜形成V形或扇形展开结构，使束体根部集中锚固、上部呈扩散排列，以提高表层风积沙的三维约束能力，其结构形式如图6所示。

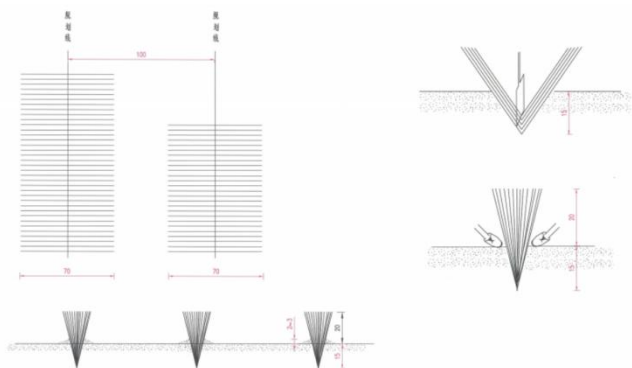


图6 扎入式芦苇束沙障结构示意图

## 参考文献:

- [1] 李瑞杰,李学丰.风积沙路基工程特性和稳定性防护研究综述[J].地基处理,2022,4(S1):105-114.
- [2] 徐腾飞,崔宇,孙晓骋.沙漠公路积沙特性及积沙路面抗滑性能研究[J].交通世界,2025,(22):98-100.
- [3] 王晓华.沙漠地区风积沙性能的研究与应用[J].交通科技与管理,2025,6(09):82-84.
- [4] 王宏刚,王盛兴,李征.沙漠地区风积沙路基施工技术研究[J].公路,2025,70(04):44-52.
- [5] 陈全德,丁亚飞,冯辉.沙漠地区风积沙路基结构设计及施工[J].城市道桥与防洪,2024,(04):39-42+12.

施工流程应按“定位放样、束体分拣、楔形开缝、芦苇扎入、两侧压实、表面整形”执行。开缝深度控制在15cm左右，缝宽不宜过大，避免扰动范围扩大导致沙体松弛；芦苇插入后沿两侧回填原状沙，采用人工踏压或木拍夯实，使根部周围形成密实包裹层。迎风侧可适当提高束体密度，坡脚及边界过渡区宜采用错列布设，减少连续空隙形成的局部加速通道。扎入角度需保持一致，束体倾斜过大会降低锚固深度，垂直度过高则不利于削弱贴地风流<sup>[5]</sup>。施工完成后应复核外露高度、带宽、间距、埋深四项控制指标，偏差分别控制在±3cm、±5cm、±5cm、±2cm以内，保证扎入式沙障形成连续稳定的表层固沙骨架。

## 3 结论

沙漠公路风积沙路基防护应采用阻沙、固沙、稳沙协同配置模式。高立沙障适用于控制近地层风沙流主输移路径，芦苇束结构可承担柔性阻沙功能；方格沙障通过1m×1m网格提高沙面粗糙度，扎入式沙障依靠15cm入土段及20cm外露段增强表层嵌固。现场评价应重点关注积沙剖面、障体功能高度、节点连接、基础冲刷及材料劣化。后续研究宜进一步开展长期监测及不同风沙强度条件下的参数优化。