

韩庆杰,郝才元,张宏杰,等.临哈铁路典型防沙工程区阻风效率与积沙量特征[J].中国沙漠,2021,41(1):37-46.

# 临哈铁路典型防沙工程区阻风效率与 积沙量特征

韩庆杰<sup>1</sup>, 郝才元<sup>2</sup>, 张宏杰<sup>2</sup>, 屈建军<sup>1</sup>, 周福成<sup>2</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室/敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国铁路呼和浩特局集团有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010057)

**摘要:** 为掌握临哈铁路沿线风沙防护措施防护效果, 优化布设方案, 选择临哈铁路K217、K585、K745及其支线天策线K16典型防沙工程区, 采用样带同步观测法和测钎法, 测定了每个区域的阻风效率和积沙量特征。结果表明: 由铁路外侧向内侧, 防沙工程对风的抑制效应逐渐增强。1.5 m高沙障积沙带、2.5 m深路堑、10 m和16 m高路堤导致风速增减的幅度分别为114%—69%、44%、160%—24%和190%—75%。网格防护区比阻沙栅栏防护区在1 m高度处的平均抑风效应更强, 网格的高度和边长越大, 其抑风效应越强。在严重沙害路段, 大部分沙粒堆积在迎风侧中部的0.5 m网格内, 在轻微沙害路段1.5 m阻沙栅栏处积沙量最大。因此建议在沙障配置中, 中等和严重沙害路段以0.5 m高防沙网格为主, 特别是在上风向沙源丰富的戈壁地区; 在轻微沙害路段以多道1.5 m阻沙栅栏为主, 网格措施为辅。

**关键词:** 防沙工程; 流场; 阻风效率; 积沙量; 临哈铁路

**文章编号:** 1000-694X(2021)01-037-10

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00084

**中图分类号:** X169

**文献标志码:** A

## 0 引言

临哈铁路东接内蒙古自治区巴彦淖尔市临河站, 西至新疆维吾尔自治区哈密站, 线路全长1 326 km, 是连接中国西北、华北的重要通道, 也是新疆第二条与内地连接的铁路通道和最便捷的北部出海通道。临哈铁路的建成运营, 对于推动国家“一带一路”建设、促进地方经济和社会发展、加强民族团结、巩固国防具有重要意义<sup>[1-5]</sup>。

临哈铁路穿越乌兰布和、雅玛雷克、巴丹吉林三大沙漠和广袤的岩漠、砾漠(戈壁)分布区。区域气候干燥、大风频繁, 自然环境恶劣, 造成了严重的线路沙害, 对铁路运输安全构成重大危险, 对运输效率产生重大影响<sup>[6-8]</sup>。临哈铁路额济纳—哈密段96%以上处于沙漠和戈壁区, 部分地段沙害侵线上道严重。呼和浩特局集团公司管辖的1 115 km线路中, 受沙害影响区段568 km, 占线路总长度的

50.94%; 沙害地段414.2 km, 占线路总长度的37.15%。临哈铁路受风沙危害线路之长、程度之重、危害之大、影响之深, 为全国铁路之首。

在交通沿线沙害防治方面, 中国在理论和实践上都取得了重要的进展, 尤其是包兰铁路沙坡头段和塔克拉玛干沙漠公路沿线的防护体系, 已成为沙害治理的成功典范<sup>[9-13]</sup>。

2008年以来, 铁路部门在临哈铁路沿线典型沙害区段建设了大量防沙工程, 但目前对风沙环境和新建措施的防护效益仍缺乏系统的观测与总结。该区同类研究也仅集中在临策铁路的沙害防治方面<sup>[1-8]</sup>。因此, 观测不同类型沙害区段防沙措施的实际阻风效率及积沙特征、数量化界定防沙工程的阻风和固沙效果, 有利于优化各种措施的布设方案, 确定不同风沙危害段落中最经济、有效的防护措施及防护带宽度, 提升临哈线风沙防护效果, 从而指导全线的风沙防护工程实施。相关

收稿日期: 2020-06-26; 改回日期: 2020-07-28

资助项目: 国家自然科学基金项目(41771010, 41977416, 41730644); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部青年学者”项目; 中国铁路呼和浩特局集团有限公司科技研究开发计划课题(HTJ-GW-2018-59)

作者简介: 韩庆杰(1979—), 男, 甘肃两当人, 博士, 副研究员, 研究方向为风沙工程与风沙物理。E-mail: hqj ecology@163.com

结果对加快临哈铁路沙害治理、保障铁路运输安全、改善铁路沿线生态环境具有重要意义,可以为“一带一路”类似的铁路、公路风沙防治提供技术参考。

## 1 研究区概况

研究区地处亚洲大陆腹地的内陆高原,远离海洋,周围群山环抱,为典型的中温带大陆性干旱气候。研究区东西跨度大,年平均气温 $7.3\sim 9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $44.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-31.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最热月平均气温 $24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最冷月平均气温 $-10.9\sim -9.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;雨季在6—8月,年降水量 $35.2\sim 154.2\text{ mm}$ ,年蒸发量 $2\,265.6\sim 4\,217.8\text{ mm}$ ,年平均风速 $2.1\sim 4.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大风速 $28.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,年 $\geq 8$ 级大风日数 $4.8\sim 61.1\text{ d}$ ,主风向WNW、WSW。研究区土壤类型主要有灰棕漠土、风沙土、石质土、潮土、灌淤土等,植被类型以

半灌木、矮半灌木荒漠植被为主。

沿线地貌类型主要有灌丛沙堆、流动沙丘、沙砾质戈壁、砾质戈壁和剥蚀丘陵等。沙害类型多样,成因复杂,尤其是上风向地形开阔,沙源丰富,防沙治沙难度大。目前采用的防沙治沙措施主要是设置沙障,由铁路外侧向内侧,依次采用一字形或之字形高立式阻沙栅栏,按照 $106^{\circ}$ 折叠角延伸设置,可有效阻挡多风向风沙,是迎风侧的第一道阻沙屏障;其次是布设 $0.5\text{ m}\times 2\text{ m}$  HDPE 网格沙障,固定流沙;最后,在沿线迎风侧的内侧设置 $0.3\text{ m}\times 2\text{ m}$  或更小规格的网格沙障,整体结构呈带状和空白带间隔设置。

风沙环境定位观测点选择在天策线K25和临哈铁路K360、K420和K745。阻风效率观测断面选择在天策线K16和临哈铁路K745、K585、K217。积沙量时空分布特征研究选择K745(图1)。

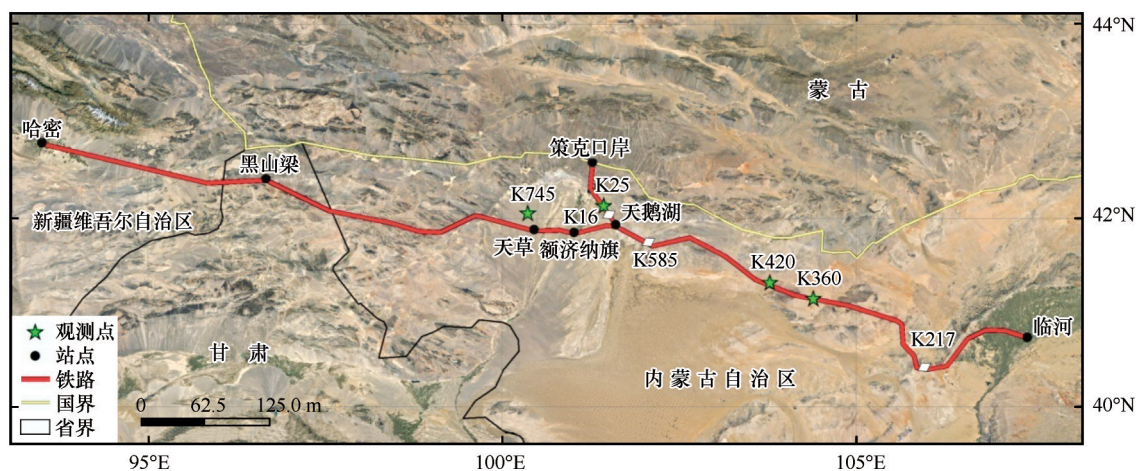


图1 临哈铁路典型防沙工程区观测点分布

Fig.1 Distribution of typical sand control engineering observation points in Linhe-Hami Railway

K16和K25为开阔沙砾质戈壁区。上风向十余千米为“漠中胡杨”景区,分布有大面积流动沙丘,沙源丰富。

K217为密集白刺灌丛沙堆区,灌丛沙堆高度 $0.7\sim 3.5\text{ m}$ ,主要植物种有白刺、梭梭、柠条、花棒、霸王、沙冬青、蒙古扁桃、白沙蒿和芦苇等。植物平均高度 $0.67\text{ m}$ ,平均冠幅 $0.5\text{ m}$ ,整体覆盖度为 $53\%$ ,上风向分布有大面积流动沙丘。

K360为流动沙丘区,上风向为剥蚀丘陵和低山,分布有大量沙丘和沙片;K420为开阔的沙砾质戈壁,上风向是剥蚀丘陵环境,分布有低矮的灌丛沙堆;K585为砾质戈壁高路堤区,上风向为剥蚀丘陵,地势起伏在 $0.5\sim 20\text{ m}$ 。

K745是沙丘滴灌试验区,累计长度 $4.875\text{ km}$ ,上风向主要地貌景观为开阔沙砾质戈壁、灌丛沙堆、半固定沙丘及沙垄。

## 2 研究方法

选择铁路沿线典型防沙工程区(K25、K360、K420和K745),布设HOBO气象站,分别监测开阔戈壁、流动沙丘、剥蚀丘陵戈壁和沙丘滴灌试验区的风速、风向变化,用于分析不同类型沙害区段的起沙风和输沙势特征(图1)。数据记录间隔为 $5\text{ min}$ ,记录时间段为2019年4月至2020年4月。

输沙势是衡量区域风沙活动强度的重要指标,常用于计算风沙活动强度<sup>[14-15]</sup>。根据风洞实验,该

地区沙粒的起动风速为  $5.70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 风能环境评价采用输沙势<sup>[14]</sup>:

$$DP = V^2(V - V_i)t \quad (1)$$

式中:  $DP$  为输沙势, 矢量单位;  $V$  为风速,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $V_i$  为起动风速,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $t$  为起沙风时间数, 一般为观测时段内观测的起沙风时间占总观测时间的百分比。

选择典型防沙工程区(K745、K16、K585 和 K217), 分别布设了沙丘滴灌试验区、开阔戈壁路堑区、剥蚀丘陵高路堤区和灌丛沙堆植被恢复区4种类型的观测样带(图1), 分别测定其阻风效率。每个样带从上风向旷野至路基背风侧, 沿观测期间主风向依次布设12个HOBO气象站, 同步观测风速、风向变化情况。数据记录间隔为1 min, 每个样带记录时长为2.5—3 d。阻风效率为每个点的平均风速值与旷野1号点对应值的比例, 即阻风效率越小说明防沙措施对风的抑制作用越强。4个区域观测期

平均风向与铁路走向的夹角为  $42^\circ\text{—}94^\circ$ , 均能满足阻风效率的观测需求。

在K745滴灌试验区, 在不同防沙工程内布设测钎, 监测积沙厚度的逐月变化, 时间从2016年10月至2018年3月, 总共18个月。每种防沙工程内布设随机散布的10根测钎, 然后使用平均值作为积沙厚度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 风沙环境特征

##### 3.1.1 起沙风特征

由图2可以看出, 观测点K25、K420和K745处, 年起沙风向主要为NW、WNW, 而观测点K360整体起沙风向较为多变。其中, K25年起沙风向主要为NW、WNW和W, 起沙风频率分别为4.3%、6.1%和

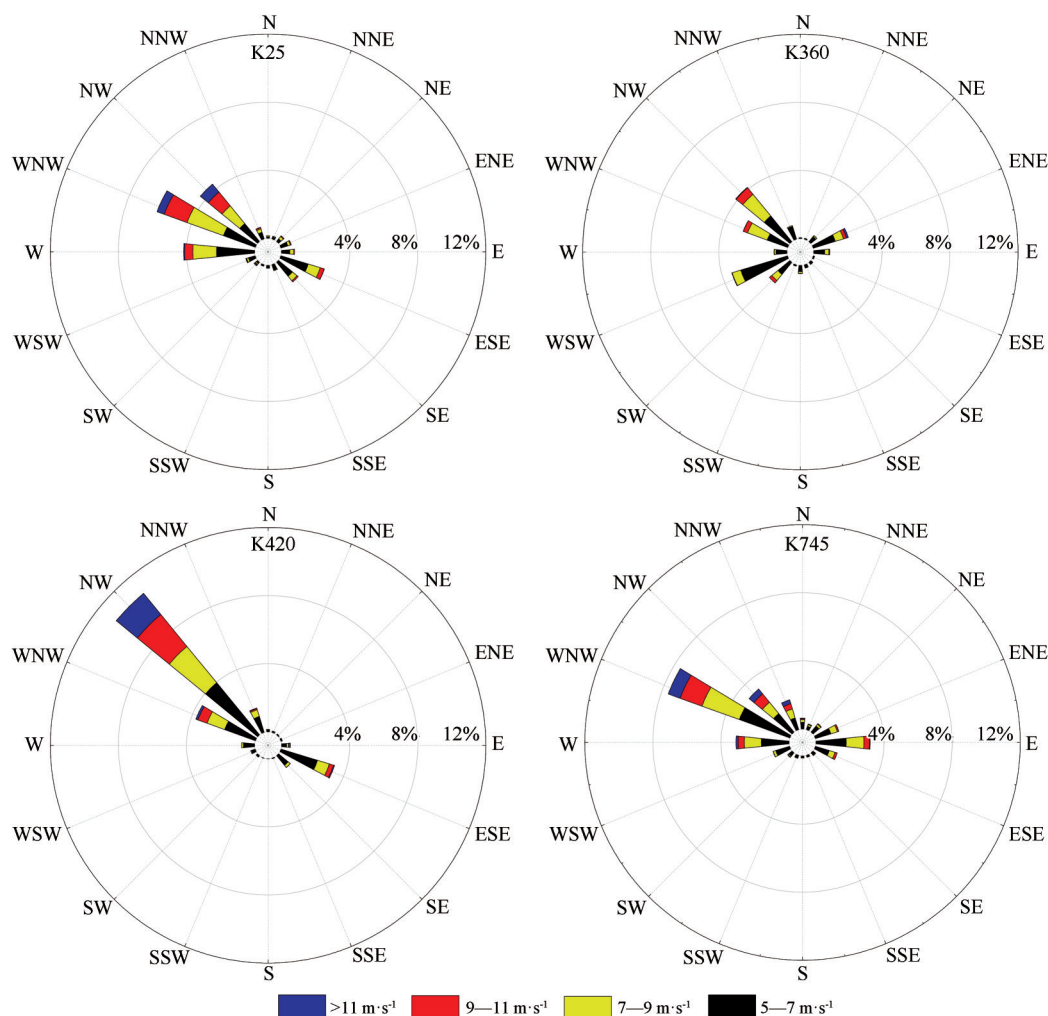


图2 临哈铁路观测点年起沙风向

Fig.2 Annual sand-laden wind rose of Linhe-Hami Railway observation point

4.2%, 分别占总起沙风频率的 18.8%、26.6% 和 18%。K360 年起沙风向多变, 整体以 NW、WSW 方向为主, 起沙风频率分别为 4.1%、3.4%, 分别占总起沙风频率的 22.8%、18.9%。K420 年起沙风较为单一, NW 风向优势明显, 起沙风向频率为 10.7%, 占总起沙风频率的 48.4%, 其次, WNW、ESE 两个风向也占有一定的比例, 起沙风频率分别为 3.7%、3.3%, 分别占总起沙风频率的 16.7%、14.8%。K745 起沙风以 NW、WNW、W 和 E 方向为主, 起沙风频率分别为 3.3%、7.6%、3.1% 和 3.2%, 分别占总起沙风频率

的 12.9%、30%、12.3% 和 12.6%。

### 3.1.2 输沙势特征

由图 2、3 可以看出, 年输沙势的分布特征和年起沙风的分布趋势一致。其中, 观测点 K25 的输沙势为 328.71 VU, 属中等风能环境, 合成输沙势为 208.32 VU, 合成输沙方向为  $120.02^\circ$ , 方向变率为 0.63, 属于中比率。从象限方面来看, K25 的风能主要来自于西北象限, 比例高达 79.3%, 东北、东南和西南 3 个象限的风能分别占 3.9%、13% 和 3.7%, 因此, 观测点 K25 的主要风能来自于西北(图 3)。

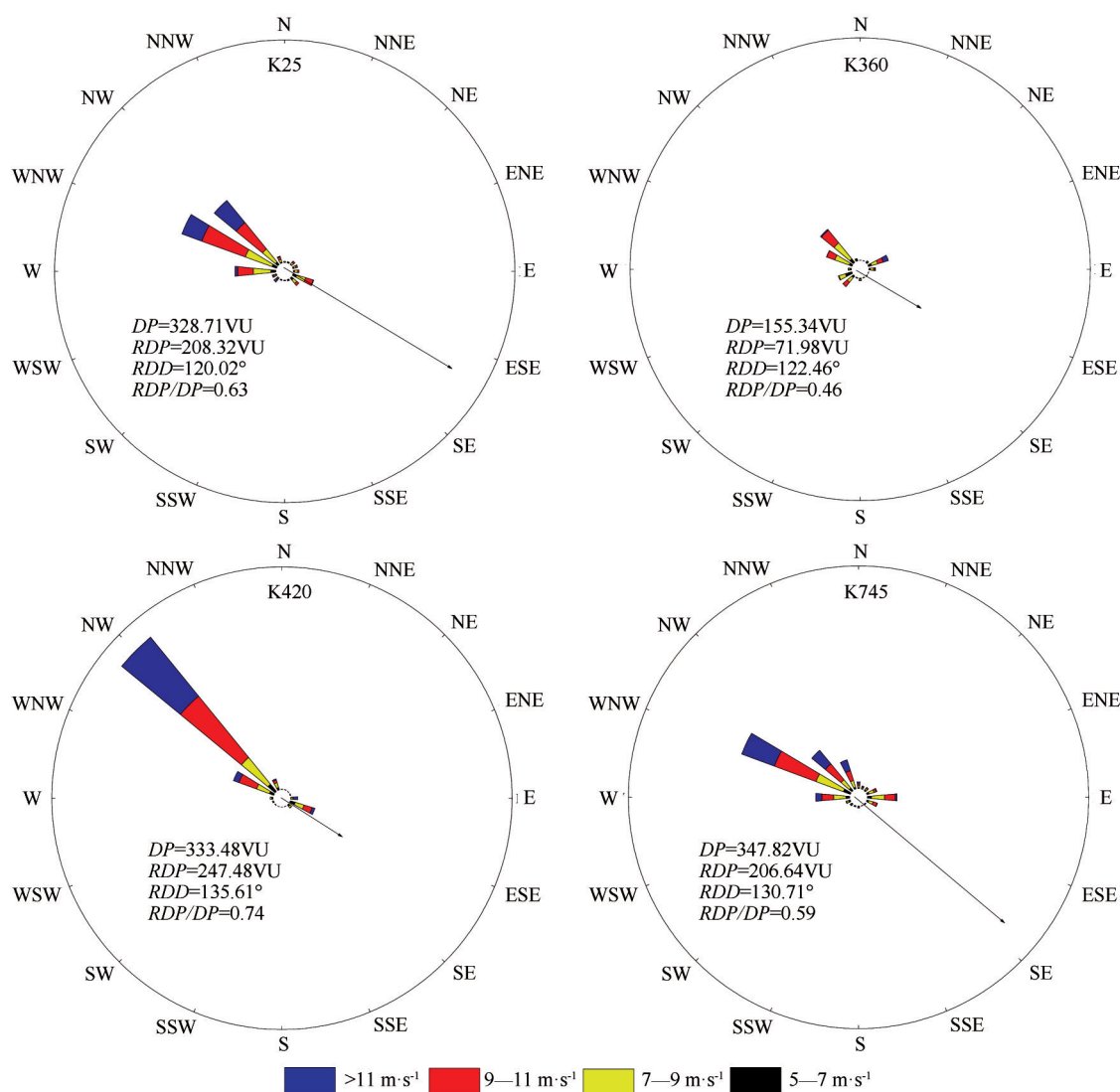


图3 临哈铁路观测点年输沙势

Fig.3 Annual drift potential of Linhe-Hami Railway observation points

观测点 K360 的输沙势为 155.34 VU, 属低风能环境, 合成输沙势为 71.98 VU, 合成输沙方向为  $122.46^\circ$ , 方向变率为 0.46, 属于中比率。从象限方面来看, K360 来自于东北、东南、西南和西北象限的

风能分别占 26.7%、5.7%、22.8% 和 54.8%, 可以看出, K360 主要风能来自于西北, 东北和西南次之, 东南方向的占比较小。

观测点 K420 的输沙势为 333.48 VU, 属中等风

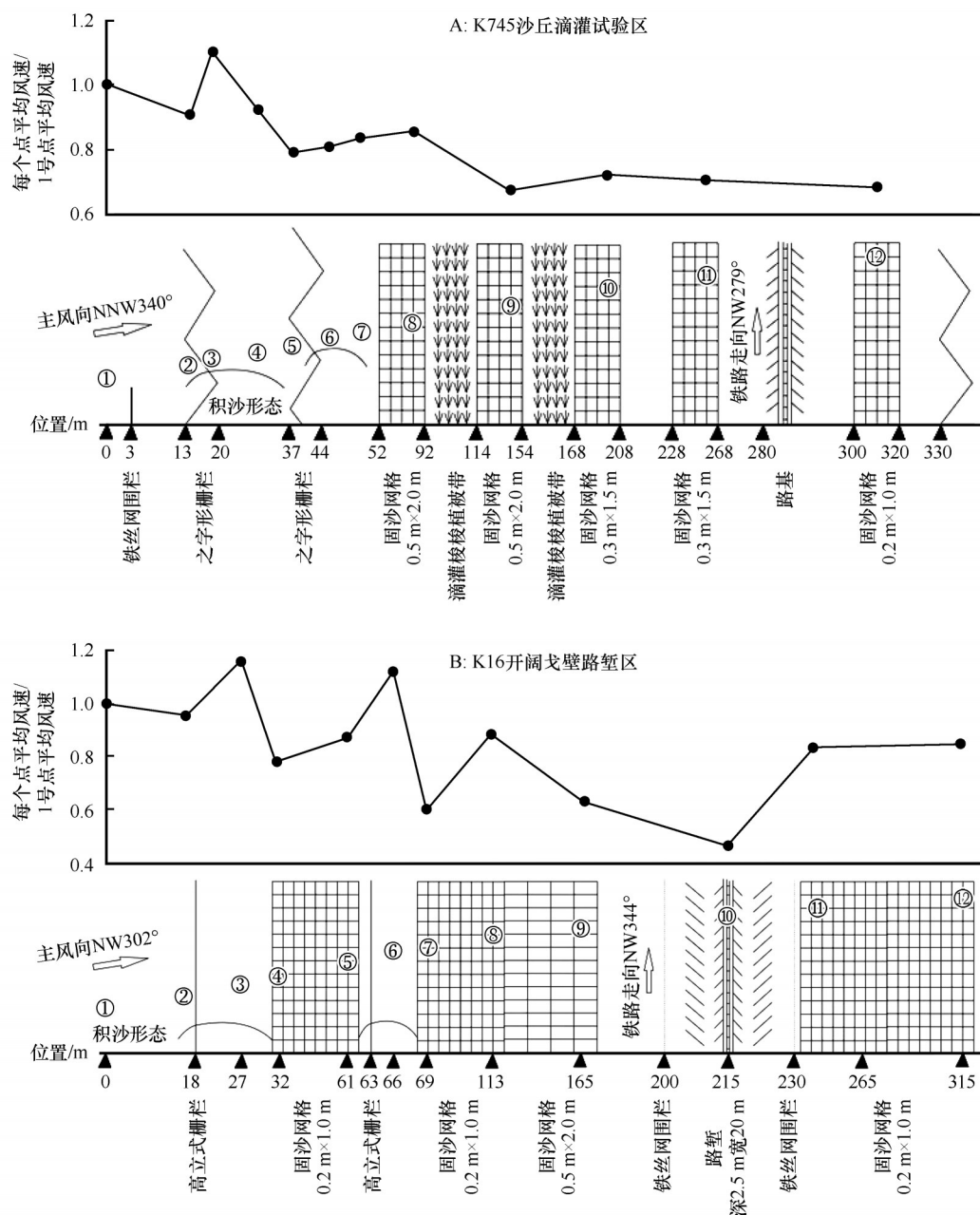
能环境,合成输沙势为247.48 VU,合成输沙方向为 $135.61^{\circ}$ ,方向变率为0.74,属于中比率。从象限方面来看,K420的风能主要来自于西北象限,比例可达86.5%,东北、东南和西南3个象限的风能分别占0.43%、12%和0.57%,因此,观测点K420的主要风能来自于西北,东北和西南的风能基本可以忽略不计。

观测点K745的输沙势为347.82 VU,属中等风能环境,合成输沙势为206.54 VU,合成输沙方向为 $130.71^{\circ}$ ,方向变率为0.59,属于中比率。从象限方面来看,K745的风能同样主要来自于西北象限,比例为75.3%,东北、东南和西南3个象限的风能分别

占7.8%、13.6%和3.2%,可以得出,观测点K745的主要风能来自于西北。

### 3.2 阻风效率

图4A表明,在K745滴灌试验带,除3号点之外,其余各点的阻风效率均小于1,说明沙丘区滴灌试验带的防沙体系在一定程度上降低了风速,平均阻风效率为0.82。3号点位于沙障积沙带顶部,气流加速效应明显,因此阻风效率达到最大值1.1。而两道之字形阻沙栅栏2—7号的平均阻风效率为0.89,0.5 m $\times$ 2 m网格沙障8—9号点的平均阻风效



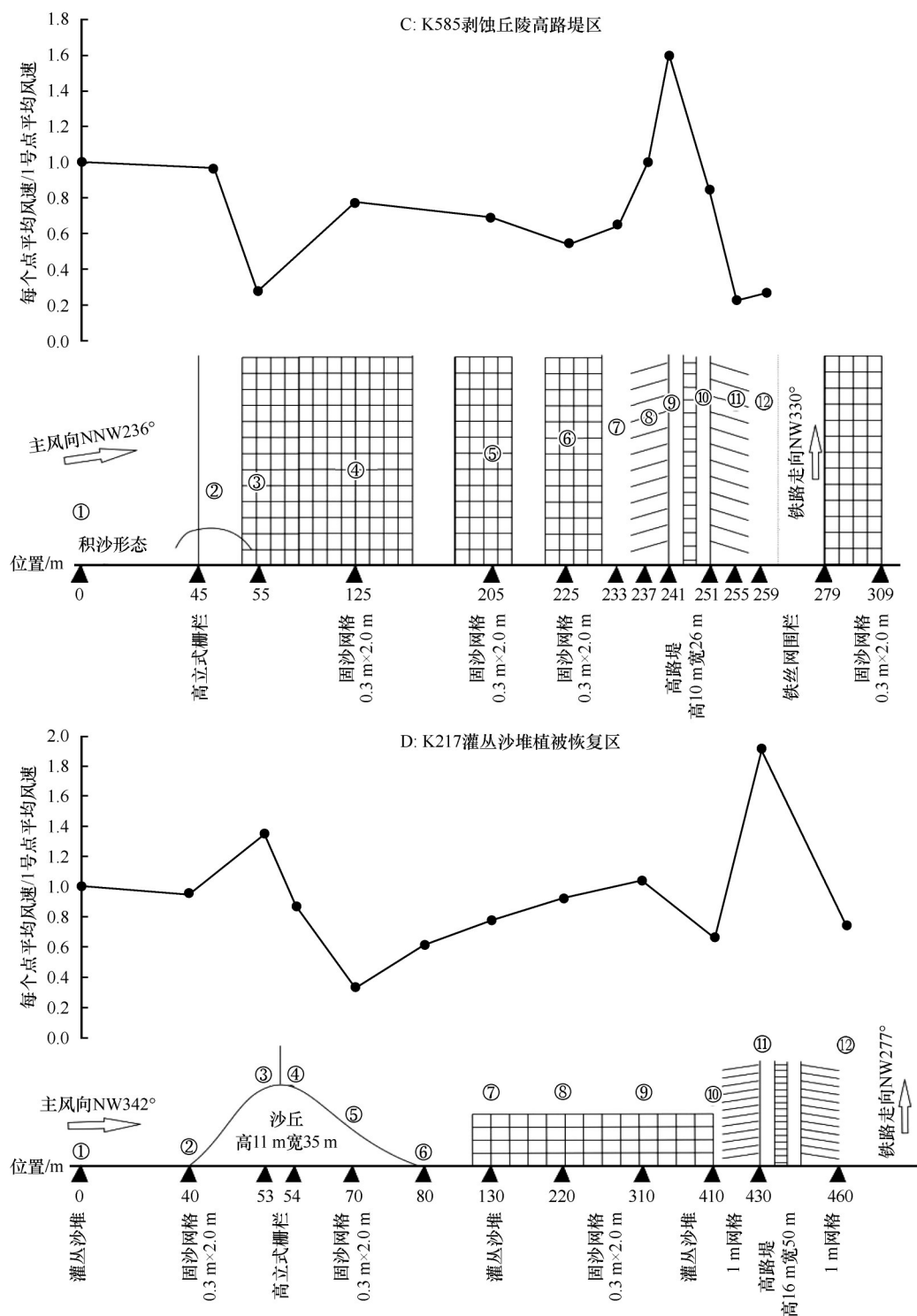


图4 典型防沙工程区的阻风效率

Fig.4 Wind resistance efficiency of typical sand control engineering area

率为0.76, 0.3 m×1.5 m网格沙障10—11号点的平均阻风效率为0.72。可见, 铁路迎风侧由外向内, 不同规格沙障对风的抑制作用整体呈现逐渐增强的趋势。

图4B表明, K16的阻风效率呈现波动下降趋势, 在2.5 m深路堑底部(10号点)降到最低值0.44。

整体上, 开阔戈壁路堑区的防沙体系迎风侧平均阻风效率为0.87。由于是路堑结构, 铁路背风侧网格沙障内11和12号点的风速基本与迎风侧网格沙障内(4、5、7和8号点)的风速相同, 其0.2 m×1 m网格的平均阻风效率为0.80, 0.5 m×2 m网格(9号点)阻风效率为0.63, 因此大网格沙障的阻风效率要优于

小网格沙障。另外,迎风侧的3号和6号点均处在沙障积沙带顶部,由于气流加速和空白带的原因,导致了阻风效率的增加,其平均值为1.14,随后的4号和7号点处在积沙带背风坡坡脚,风速快速降低,平均值为0.69。阻风效率在坡顶加速到1.14,坡底降低到0.69,这一趋势表明,沙障积沙带形成的微地形起伏导致了气流场的剧烈波动,风速增减的平均幅度为114%—69%。

图4C表明,K585剥蚀丘陵高路堤区的防沙体系迎风侧平均阻风效率为0.65。由于2号点地势较低,其阻风效率并未增加,3号点在沙障积沙带背风坡坡底,其阻风效率降低到0.28,4号至6号点位于 $0.3\text{ m}\times 2\text{ m}$ 网格沙障区,其阻风效率呈逐渐降低趋势,平均值为0.67。而后在路基坡脚7号点开始增加,至10 m高路堤路肩位置,阻风效率陡增到1.60,随后在路基背风侧降到了最低值0.24。10 m高路堤导致风速增减的幅度达到了160%—24%(图4C)。

图4D表明,K217沙丘顶部3号点由于布设了1.5 m高立式沙障,风速的增加不是很明显,阻风效率为1.33,在沙丘背风侧中部的5号点阻风效率降低到0.33,因此,该高度11 m的沙丘对风速的增减幅度为133%—33%。在6—9号点,由于地势的上升,阻风效率增加到1.04,10号点位于路基坡脚处,可能受到高路堤堤前回流的影 响,风速有所降低,至路肩11号点位置,阻风效率陡增到1.90,而后在背风侧降低到0.75。因此,该16 m高路堤对风速的增减幅度为190%—75%。

由于K217处在灌丛沙堆区,因此没有统计网

格沙障的阻风效率,其余3个防沙工程区虽然不在同一区域,但均为开阔平坦的戈壁,网格沙障的材料和透风率一致,阻风效率之间具有一定可比性。因此综合以上分析得出,各类网格沙障的阻风效率呈现出如下趋势,之字形阻沙栅栏(0.89) $>0.2\text{ m}\times 1\text{ m}$ 网格沙障(0.80) $>0.3\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 网格沙障(0.72) $>0.3\text{ m}\times 2\text{ m}$ 网格沙障(0.67) $>0.5\text{ m}\times 2\text{ m}$ 网格沙障(0.63)。这表明,防沙网格的平均阻风效率高于阻沙栅栏,网格高度和边长越大,阻风效率越高。

### 3.3 积沙特征

#### 3.3.1 积沙厚度和单宽积沙量的时间分布特征

积沙厚度和单宽积沙量能够直接反映各类防沙工程措施固定风沙流的数量和效果。K745滴灌试验区的防沙工程于2016年10月竣工,之后钢轨内侧经过多次清沙导致积沙厚度减少,在其他4个区域,迎风侧的路基坡脚、PE之字形阻沙栅栏、0.5 m和0.3 m高的HDPE网格沙障,工程高度依次降低,积沙厚度均呈现出逐月增加和依次减小的趋势(图5A)。由此推断,积沙厚度主要取决于防沙工程的高度,工程宽度对积沙厚度的影响很小。另外,这4个区域的工程高度依次降低,对应曲线的线性拟合斜率也依次减小( $1.442>1.417>1.137>0.919$ ),表明这4个区域积沙厚度随时间的增加速率也依次减小,工程高度与积沙厚度的增加速率呈正相关性。

图4A表明,由铁路外侧向内侧,迎风侧两道之字形栅栏总宽度14 m,两道0.5 m和两道0.3 m高网格宽度均为80 m,路基坡脚宽度6 m,轨道间距

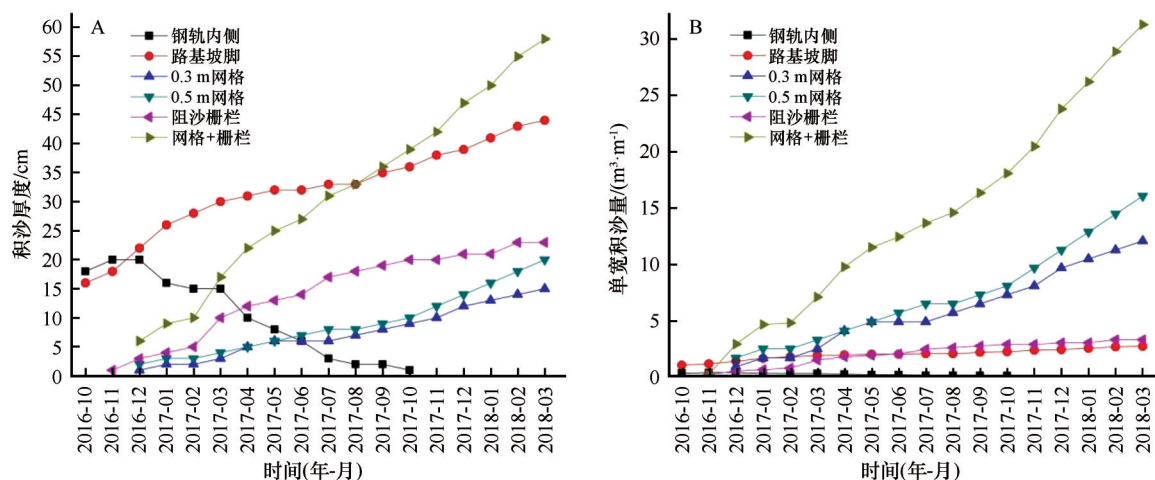


图5 K745积沙厚度和单宽积沙量的时间分布

Fig.5 Time distribution characteristics of sand thickness and single width sand accumulation quantity at K745

1.435 m。结合图 5A 积沙厚度数据,计算出迎风侧的单宽积沙量(即迎风侧防沙体系每延长米的积沙量,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ )。图 5B 表明,经过一年半的时间,截止 2018 年 3 月,大部分的积沙发生在 0.5 m 和 0.3 m 网格内,0.5 m 网格处于上风向位置,单宽积沙量为  $16 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ ,大于 0.3 m 网格( $12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ ),并远大于阻沙栅栏( $3.22 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ )和路基坡脚( $2.64 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ )。这表明,积沙量主要取决于防沙工程宽度,宽度相同时,则高度决定了积沙量的大小。整体上,迎风侧防沙体系(栅栏+网格)每延长米积沙量为  $31.22 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ 。图 5B 也显示出,10 月至次年 3 月风、旱同季,积沙量增加速率较快。

通过对图 5B 数据的线性拟合,得出 K745 防沙体系(栅栏+网格)、栅栏和网格的单宽积沙量( $Q$ ,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ )逐月( $M$ )预测模型。栅栏+网格: $Q=1.83M-$

$3.85 (R^2=0.98)$ ; 0.5 m 网格: $Q=0.91M-2.30 (R^2=0.95)$ ; 0.3 m 网格: $Q=0.74M-1.77 (R^2=0.98)$ ; 栅栏: $Q=0.20M+0.03 (R^2=0.94)$ 。

### 3.3.2 积沙厚度和单宽积沙量的空间分布特征

表 1 显示,由铁路外侧向内侧,工程措施依次为 1.5 m 阻沙栅栏、0.5 m 网格和 0.3 m 网格,积沙厚度呈现出逐渐减少的趋势,这与措施高度逐渐降低有关,图 5A 也表现出同样趋势。严重沙害路段是积沙厚度最大的区段,其中栅栏平均积沙厚度为 0.5 m,0.5 m 网格为 0.2 m,0.3 m 网格为 0.15 m。在不同沙害程度区段,迎风侧栅栏、网格的平均积沙厚度均大于背风侧相应值,整个防沙体系迎风侧阻沙栅栏的平均积沙厚度为 0.29 m,0.5 m 网格为 0.15 m,0.3 m 网格为 0.11 m,约为背风侧相应值的 2 倍。

表 1 平均积沙厚度空间分布(m)

Table 1 Spatial distribution of average sand accumulation thickness (m)

线路里程	沙害程度	铁路迎风侧			铁路背风侧		
		1.5 m 阻沙栅栏	0.5 m 网格	0.3 m 网格	1.5 m 阻沙栅栏	0.5 m 网格	0.3 m 网格
K741+948—K744+548	中等沙害	0.275	0.165	0.13	0.135	0.05	0.035
K744+548—K744+865	轻微沙害	0.175	0.065	0.055	0.145	0.075	0.04
K744+865—K745+280	严重沙害	0.5	0.2	0.15	0.415	0.115	0.09
K745+280—K745+473	中等沙害	0.25	0.175	0.135	0.15	0.07	0.05
K745+473—K745+823	中等沙害	0.275	0.165	0.115	0.125	0.06	0.035
K745+823—K746+823	中等沙害	0.25	0.14	0.1	0.14	0.04	0.035
整体平均积沙厚度		0.29	0.15	0.11	0.19	0.07	0.05

依据 K745 路基风沙防护工程设计图,不同沙害等级对应的网格和栅栏防护宽度,结合表 1 对应的平均积沙厚度数据,计算得出 K745 防沙体系总积沙量空间分布(表 2)。表 2 显示,防沙体系建成初期的一年半时间内,总积沙量为  $118\ 096.88 \text{ m}^3$ (其中,迎风侧  $97\ 738.35 \text{ m}^3$ ,背风侧  $20\ 358.53 \text{ m}^3$ )。空间分布上,中等沙害路段最长,由铁路两侧向内侧,积沙量逐渐增加,在内侧的 0.3 m 网格内达到最大值,这与积沙厚度的变化趋势相反;严重沙害路段迎风侧中间部位的 0.5 m 网格内积沙量最大;轻微沙害路段迎风侧则是 1.5 m 阻沙栅栏处积沙量最大。

## 4 结论

沿线 4 个典型风沙区的起沙风以 NW、WNW 方向为主,主要风能来自于西北,合成输沙势均低于

250 VU,属中等风能环境,合成输沙方向  $120^\circ-135^\circ$ 。

由铁路外侧向内侧,防沙工程对风的抑制作用逐渐增强,说明阻风效率具有一定的叠加性。路堤和路堑对风速的影响表明,2.5 m 深路堑可使风速降到旷野风速的 44%;10 m 高路堤导致风速增减的幅度为 160%—24%;16 m 高路堤导致风速的增减幅度为 190%—75%。另外,1.5 m 高沙障积沙带形成的微地形起伏导致风速增减的平均幅度为 114%—69%。

各类网格的平均阻风效率呈现出如下趋势,1.5 m 高之字形阻沙栅栏(0.89)>0.2 m×1 m 网格(0.80)>0.3 m×1.5 m 网格(0.72)>0.3 m×2 m 网格(0.67)>0.5 m×2 m 网格(0.63)。这表明防沙网格防护区较之阻沙栅栏防护区,在 1 m 高度处的平均抑风效应更强,网格的高度和边长越大,抑风效应越高。

K745 滴灌试验区防沙工程的积沙厚度主要取

表 2 K745 防沙体系总积沙量空间分布(m<sup>3</sup>)

Table 2 Spatial distribution of total sand accumulation quantity of K745 sand control system (m<sup>3</sup>)

线路里程	长度/m	沙害程度	铁路迎风侧			铁路背风侧		
			1.5 m 阻沙栅栏	0.5 m 网格	0.3 m 网格	1.5 m 阻沙栅栏	0.5 m 网格	0.3 m 网格
K741+948—K744+548	2 600	中等沙害	10 010	17 160	27 040	2 457	2 600	3 640
K744+548—K744+865	317	轻微沙害	776.65	412.1	348.7	321.76	475.5	253.6
K744+865—K745+280	415	严重沙害	2 905	6 640	4 357.5	1 205.58	1 909	2 241
K745+280—K745+473	193	中等沙害	675.5	1 351	2 084.4	202.65	270.2	386
K745+473—K745+823	350	中等沙害	1 347.5	2 310	3 220	306.25	420	490
K745+823—K746+823	1 000	中等沙害	3 500	5 600	8 000	980	800	1 400
合计			19 214.65	33 473.1	45 050.6	5 473.23	6 474.7	8 410.6
防沙体系总积沙量:118 096.88			迎风侧合计:97 738.35			背风侧合计:20 358.53		

决于防沙工程的高度,与宽度关系不大,工程高度越大,积沙厚度的增加越快。积沙量主要取决于防沙工程宽度,宽度相同时,则高度决定了积沙量的大小。因此,依据以上野外观测结果,建议在沙障配置中使用高 0.5 m,边长为 2 m 或 2.5 m 的防沙网格,当阻沙栅栏遭遇风沙掩埋后,可利用原有立柱进行增高补强,特别是在上风向沙源较为丰富的戈壁地区。

由铁路外侧向内侧,积沙厚度逐渐减少,这与措施高度逐渐降低有关。在防沙体系迎风侧,阻沙栅栏的平均积沙厚度为 0.29 m,0.5 m 网格为 0.15 m,0.3 m 网格为 0.11 m,约为背风侧相应值的 2 倍。防沙体系建成初期的一年半时间内,总积沙量为 118 096.88 m<sup>3</sup>。另外,空间分布上,在中等沙害路段,由铁路两侧向内侧,积沙量逐渐增加,这与积沙厚度的变化趋势相反;在严重沙害路段,大部分沙粒能够翻越阻沙栅栏,堆积在迎风侧中部的 0.5 m 网格内;轻微沙害路段迎风侧则是 1.5 m 阻沙栅栏处积沙量最大。因此,在设置沙障类型和配置方式上,中等和严重沙害路段以 0.5 m 网格为主,并设置在距离铁路较远的位置,增加沉积区和铁路间的距离,以免就近积沙形成的二次沙害掩埋路基;在轻微沙害路段以设置多道 1.5 m 高阻沙栅栏为主,网格措施为辅。

参考文献:

[1] 郝才元.临策铁路沙害区划与治理[J].铁路节能环保与安全

卫生,2012,2(4):189-192.

[2] 郝才元.临策铁路沙害现状及治理途径[J].铁路节能环保与安全卫生,2011,1(2):93-96.

[3] 周福成.关于临策铁路沙害成因及工程治理的探讨[J].内蒙古科技与经济,2012,19:64-65.

[4] 王福.临策铁路沙害类型与风速流场分析[J].铁路节能环保与安全卫生,2013,3(2):57-62.

[5] 姚立强.临策铁路戈壁段不同路基断面形式气流速度场特征[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.

[6] 王洪峰.临策铁路 DK360+200 防风固沙措施防护效果研究[D].北京:北京交通大学,2017.

[7] 王国联,张道金.临策铁路天鹅湖至额济纳段线路及防沙工程方案研究[J].铁道标准设计,2011(4):1-5.

[8] 郝才元.临策铁路沙害治理研究[J].铁路节能环保与安全卫生,2014,4(1):6-11.

[9] 牛清河,屈建军,张克存,等.青藏铁路典型路段风沙灾害现状与机械防沙效益估算[J].中国沙漠,2009,29(4):596-603.

[10] 张克存,屈建军,鱼燕萍,等.中国铁路风沙防治的研究进展[J].地球科学进展,2019,34(6):573-583.

[11] 王涛,谢胜波,屈建军,等.通天河七渡口风沙环境特征及沙害防治[J].中国沙漠,2019,39(2):70-78.

[12] 闫德仁,袁立敏,黄海广,等.直压立式纱网沙障对近地表输沙量及风速的影响[J].中国沙漠,2020,40(2):79-85.

[13] 马晓洁,张春来,张加琼,等.包兰铁路沙坡头段防护体系前沿栅栏沙丘形态与近地面流场[J].中国沙漠,2013,33(3):649-654.

[14] Fryberg S H,Dean G.Dune form sand wind regime[R]//McKee E D.A Study of Global Sand Seas. Washington, USA: US Geological Survey, 1979:137-169.

[15] 张正偲,董治宝,赵爱国.输沙势计算中的“时距”问题[J].干旱区地理,2010,33(2):177-182.

## Distribution characteristics of wind resistance efficiency and sand accumulation quantity at typical sand control engineering area of Linhe-Hami Railway

Han Qingjie<sup>1</sup>, Hao Caiyuan<sup>2</sup>, Zhang Hongjie<sup>2</sup>, Qu Jianjun<sup>1</sup>, Zhou Fucheng<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification / Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. China Railway Hohhot Group Co., Ltd., Hohhot 010057, China)

**Abstract:** In order to grasping the protective effect of all kinds of wind-sand protection measures along Linhe-Hami Railway, and optimizing the layout project, the typical sand control engineering areas of the Tiance line K16 and K217, K585, K745 along the Linhe-Hami Railway were selected. The sample belt synchronous observation method and the brazing method were used to measure the wind resistance efficiency and the spatial and temporal distribution of sediment accumulation in each area. The results show that the restraining effect of the sand control engineering on the wind is gradually enhanced from the outside to the inside of the railway, and the amplitude of wind speed increase or decrease is 114%–69%, 44%, 160%–24% and 190%–75% respectively at the sand barrier sand zone of 1.5 m high, cutting of the 2.5 m deep, embankment of 10 m and 16 m high. The wind suppression effect was stronger in the grid protected area than in the sand barrier protected area at the height of 1 m, and the higher the height and side length of the grid, the stronger the wind inhibition effect. In the section with severe sand damage, most of the sand grains were deposited in the 0.5 m grid in the middle of the windward side, and the sand accumulation was the largest at the 1.5 m sand barrier of the section with slight sand damage. Therefore, it is suggested that in the configuration of sand barriers, the medium and severe sand damage sections should be dominated by 0.5 m high sand prevention grid, especially in the Gobi area with abundant sand sources at upwind. the light sand damage section should be dominated by multiple 1.5 m sand barriers, and supplemented by grid measures.

**Key words:** sand control engineering; flow field; wind suppression efficiency; sand deposition quantity; Linhe-Hami Railway