

塔克拉玛干沙漠公路沿线风沙活动的时空分布

韩致文, 王 涛, 董治宝, 吴奇骏, 姚正毅

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用塔克拉玛干沙漠公路沿线的肖塘、满参和塔中 3 个定位观测站 1 个自然年的监测资料, 对以起沙风和输沙强度为表征的风沙活动进行了分析。选取气象站标准高度 10 m 风速中大于临界起沙风速 ($\geq 6.0 \text{ m/s}$) 的风, 按 16 方位分别统计不同级别风的次数及其方位, 计算输沙量。结果表明, 风沙危害的主风向为偏东风, 频率范围 48% ~ 76%。风沙活动集中在 4~9 月; 从沙漠边缘向腹地风沙活动加强。向沙漠腹地深入, 应加大公路风沙危害防护力度。

关 键 词: 塔克拉玛干; 沙漠公路; 起沙风; 输沙强度; 时空分布

中图分类号: P931.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2005)04-0455-06

20 世纪 90 年代初, 为加快塔里木盆地油气资源勘探开发进程, 中国成功修筑了南北纵贯塔克拉玛干沙漠的高等级公路, 为量化研究沙漠腹地风沙地貌与风沙运动规律创造了便利条件。以沙漠公路沿线为研究区, 许多学者从不同角度对风沙环境与沙害特征进行过研究^[1-11], 取得重要成果。但是, 有关公路沿线风沙活动在时间与空间上的分布规律, 目前还没有详细的研究报道。本文通过分析定位和半定位风沙监测数据, 试图对塔克拉玛干沙漠公路沿线风沙活动的时空分布特征加以总结与讨论。

1 公路沿线环境特征

塔克拉玛干沙漠公路北起塔里木河北约 35 km 的轮南, 南与民丰东 15 km 处 315 国道连接, 全长约 519 km, 近 90% 路段穿行于流沙中, 风沙危害对其正常营运构成严重威胁。在国家“八五”科技攻关项目支持下, 经过慎重论证和试验示范, 设计并建成宽 20~80 m、以 1 m × 1 m 芦苇方格半隐蔽固沙沙障与原状芦苇高立式疏透型沙障组合的风沙危害综合防沙体系。

沙漠公路沿线地势南高北低, 相对高差达 360 m。公路穿越四大地貌单元: (1) 塔里木河冲积平

原复合型横向沙丘链区, 沙丘高 20~30 m, 宽 200~500 m, 长 5 000~6 000 m; (2) 过渡平原穹状复合型沙丘区, 穹状沙丘高 40~60 m; (3) 高大复合型纵向沙垄区, 沙垄与垄间地相间分布, 走向 NNE-SSW 或 NE-SW, 沙垄高 60~80 m, 宽 500~1 000 m, 长 10 000~20 000 m, 其上叠置高度大于 3 m 的次级沙丘与沙丘链; 垄间地宽 400~600 m, 分布小于 3 m 的新月形沙丘和线形沙丘; (4) 牙通古斯河、尼雅河干三角洲及北民丰隆起区复合型沙垄区, 沙垄高度降低, 垄间地展宽, 受河流影响, 植被状况较好。沿线气候极端干旱, 年降水量低于 40 mm, 变率大; 年蒸发量大于 3 000 mm, 年平均温度 12~13℃, 年较差 37℃以上, 日较差超过 15℃。沙漠腹地天然植物隶属 9 科 12 属 12 种^[12], 以多年生草本为主 (占 50%), 主要有芦苇 (*Phragmites Communis*)、沙旋覆花 (*Inula Salsoloides*)、河西菊 (*Hexinia*)、阿克苏牛皮消 (*Cynanchum kashgaricum*)、罗布麻 (*Apocynum Venetum*)、沙米 (*Agriophyllum*)、刺沙蓬 (*Salso la ruthenica*)、白茎盐生草 (*Halogeton tubulosu*)、小花天芥菜 (*Heliotropium*)、管花苻蓉 (*Cistanche tubulosa*)、沙生怪柳 (*Tamarix taklamakanesis*)、塔克拉玛干沙拐枣 (*Calligonum sp.*)。

收稿日期: 2004-07-13 修订日期: 2004-12-28
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“中国北方沙漠化过程及其防治研究”(TG2000048705)、国家自然科学基金资助项目(40472144)、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(CACX 210093)。
作者简介: 韩致文(1963-), 男, 甘肃会宁人, 博士, 研究员, 主要从事风沙地貌与风沙工程研究。E-mail hzw@lzb.ac.cn

2 研究方法

风沙活动由起沙风引起,其发生频率直接取决于起沙风频率。风沙活动强度(可用输沙强度表示)是起沙风强度(风速)函数。因此,研究沙漠公路沿线的起沙风和输沙强度的时空变化规律,可揭示风沙活动时空变化特征。利用沙漠公路沿线的肖塘(84°17.7'E,40°49'N)和满参(84°21'18"E,40°6'30"N)和塔中(83°36'24"E,39°01'N)3个气象站(图1)的定位风速风向资料,对1992年4月至1993年5月(肖塘站、满参站)与1995年5月至1996年4月(塔中站)1个自然年内气象站标准高度10m in 风速风向进行统计,选取大于起沙风临界值的风速,按16方位统计出不同级别的风速频率。气象站标准高度(11.4m)10m in 起动风速为6m/s[按 $V_{11.4}=1.87+1.35V_2^{[8]}$ 换算(V_2 为2m高度自记10m in 风速)]。统计起沙风时,取气象站标准高度10m in 自记风速中 ≥ 6 m/s的风。可能输沙量据 R. A. Bagnold 的理论公式 $Q=5.2\times 10^{-4}(V-V_t)^{3[13]}$ 计算。

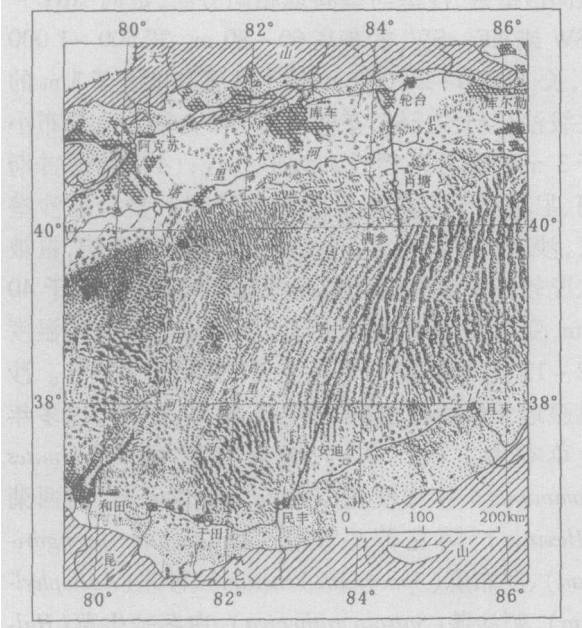


图 1 塔克拉玛干沙漠公路及观测站地理位置
Fig 1 Location of the Taklimakan Desert highway and meteorological stations

3 结果与讨论

3.1 起沙风频率、方向及其时空分布

起沙风频次、平均风速与气温时间分布对比分

析表明(图2),沙漠公路沿线具有“风热同步”的环境特征。分析沙漠公路沿线肖塘、满参、塔中3个观测点的风速资料可知,起沙风主要分布在春、夏两季,冬季最少。肖塘站1992年出现起沙风2948次,主要出现在春、夏两季。春季,随着气温回升,平均风速迅速升高,起沙风频率也相应增多,出现起沙风880次,占全年的30%,主要集中在4、5月,以5月份最多,占全年18%以上。夏季是塔克拉玛干沙漠的高温季节,也是风沙活动最频繁和强度最大的季节。风沙活动的次数增多强度增大,7月份起沙风达532次,占全年20%以上,其中 ≥ 10 m/s的风81次,占全年同等强度起沙风的33%;秋季,气温下降,起沙风频次降低,9月份出现起沙风226次,10月份陡减为61次。冬季,塔克拉玛干沙漠风平沙静,从11月底到2月初,3个测点都没有出现 ≥ 6 m/s的起沙风。2月底开始有起沙风,但频率不足全年的1%,且均为风速6~7 m/s的中能风。

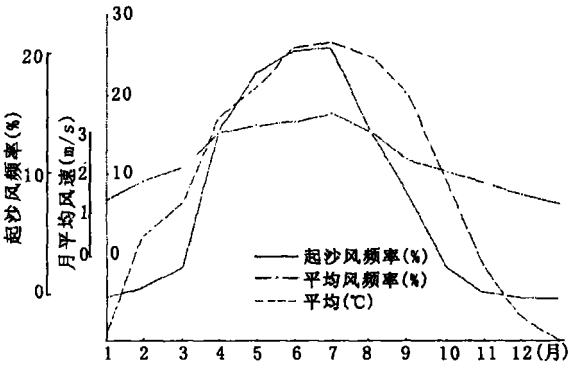
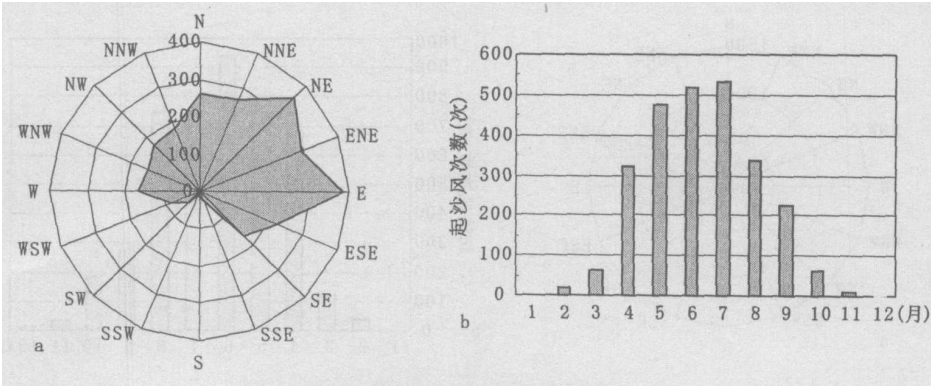


图 2 沙漠公路沿线起沙风-平均风速-气温曲线
Fig 2 Sandmoving windmean wind velocity-air temperature along the desert highway

沙漠公路沿线肖塘站(图3a)的起沙风主风向为N、NE、E、ENE这4个方位,分别占到11.19%, 11.57%, 10.58%和14.69%,合计占到48.03%;满参站(图4a)为NE、NE、ENE和E方位,分别占到9.04%, 15.14%, 16.00%和15.43%,合计占到55.61%;位于沙漠腹地的塔中(图5a),ENE向占30.07%, NE向占8.08%, E向21.58%, ESE向占16.15%,合计占总风向频率的76%;10m in 自记风速的最大值中,ENE风占44.44%, NE风占16.67%, NNE风占5.56%,三者合计66.67%;定时最大风速中,ENE、NE、NNE和E向风分别占27.28%, 11.11%, 8.33%和8.33%,合计为55%。



a 起沙风频次玫瑰; b 各月起沙风次数

图 3 肖塘站起沙风 (1992-05~1993-04)

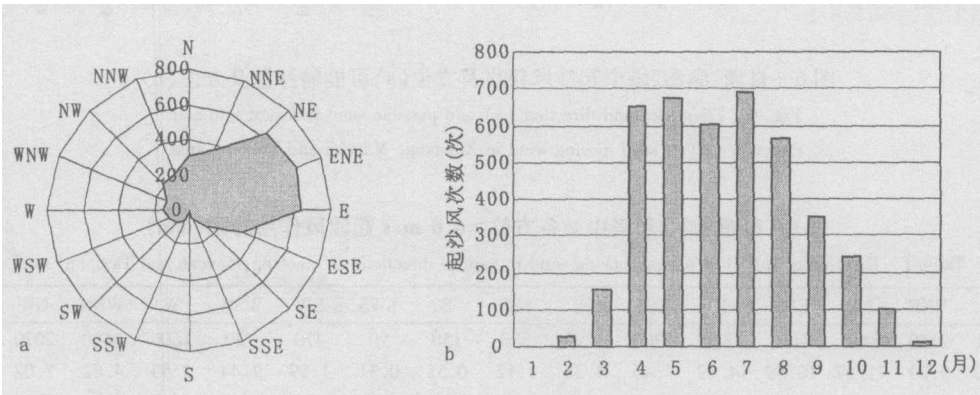
Fig 3 Sand moving wind observed atXiaotang station (1992-05~ 1993-04)

构成沙漠公路风沙危害的主风向为偏东风 (NNE、NE、ENE、E), 其频率范围 48% ~ 76%。

按照 Freberger 的划分标准^[14], 公路沿线以低能风环境为主。肖塘站 1992 年 2 948 次起沙风中, $\geq 10\text{ m/s}$ 的高能起沙风仅占起沙风总次数的 9.4%。自记 10 min 平均风速 $\geq 14\text{ m/s}$ 的起沙风只有 2 次。强起沙风频率、方向、时间变化, 与整个起沙风变化规律相似: 起沙风出现频率高的时段, 强起沙风频率亦高。7 月份强起沙风频率占全年

的 33.47%, 6 月份 15.70%, 5 月份 26.03%, 8 月份 21.49%, 这 4 个月占全年的强起风沙总数的 96.69%, 比低能起沙风更加集中。另一方面, 高能起沙风频次的时间分布特点与低能起沙风渐强和渐弱的规律不同, 具有突发性特征。

上述可见, 沙漠公路沿线起沙风发生在春夏季, 主要集中在 3~9 月份期间 (图 3b, 4b, 5b)。具有从沙漠边缘向腹地明显加强的空间变化特征 (图 6a)。



a 起沙风频次玫瑰; b 各月起沙风次数

图 4 满参站起沙风 (1992-05~1993-04)

Fig 4 Sand moving wind observed atManan station (1992- 05~ 1993- 04)

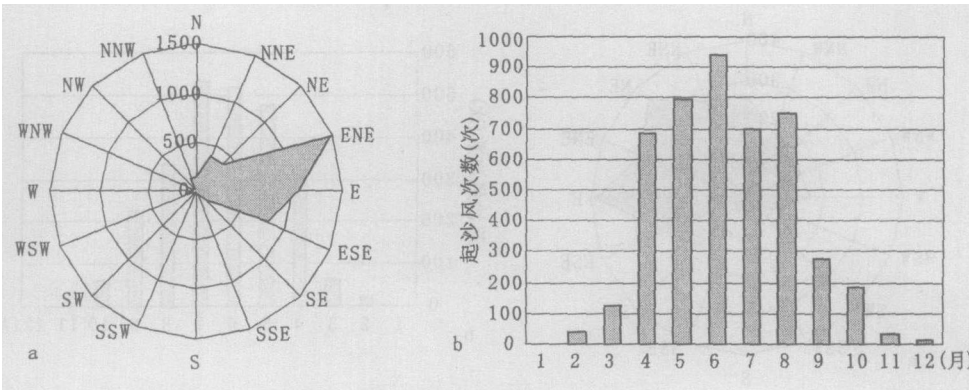
3.2 输沙强度及其时空分布

输沙强度作为表征风沙危害程度的物理量, 是制定合理防沙方案与措施的必要依据。影响输沙强度的因素很多, 风力大小, 沙粒粒径、比重, 沙子含水率, 地貌部位, 植被状况等, 都不同程度地影响风沙流输沙量大小及其垂直分布。

对沙漠公路沿线的肖塘、满参、塔中 3 个定位观测站 1 个自然年气象站标准高度 10 m 自记风

速中大于起动临界值 (6.0 m/s) 的风, 按 16 方位统计不同级别风速频率和作用时间 (表 1), 并计算了 1 年内各方位的可能输沙量 (表 2)。结果显示, 位于沙漠边缘的肖塘地区可能输沙量为 $3456\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ 、满参达 $5814.3\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$, 位于沙漠腹地的塔中地区可能输沙量达 $6309\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$, 平均合成输沙方向 $230.42^\circ \sim 234.86^\circ$ 。

空间分布上 (图 6b), 自沙漠边缘向沙漠腹地,



a 起沙风频次玫瑰; b 各月起沙风次数

图 5 塔中站起沙风 (1995-05- 1996-04)

Fig 5 Sand moving wind observed at Tazhong station (1995-05- 1996-04)

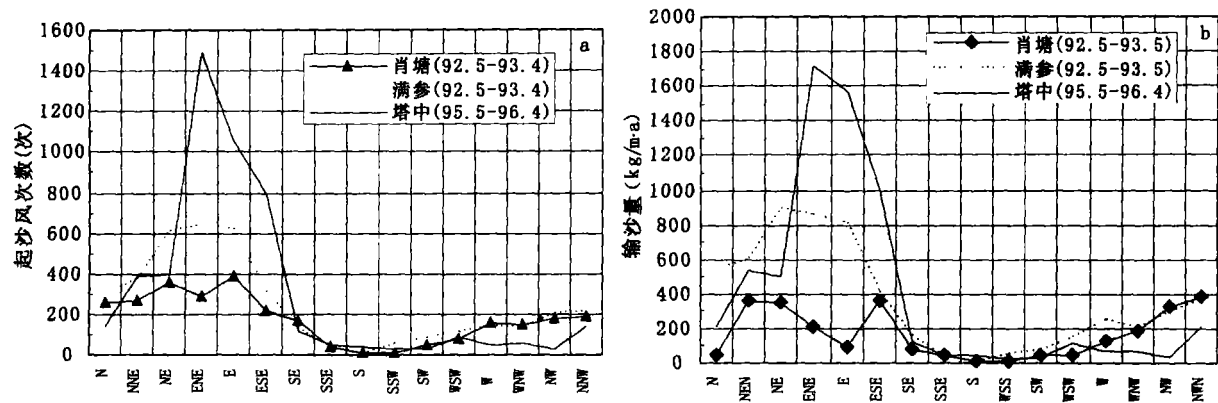


图 6 肖塘、满参、塔中起沙风频次及方位 (a)可能输沙量及方位 (b)

Fig 6 Frequency and direction (a) and possible sand transport rate and direction (b) of sand moving wind in X iaotang M ancan and Tazhong area

表 1 肖塘、满参和塔中站各方位 $\geq 6.0\text{ m/s}$ 起沙风作用时间 (m in)

Table 1 Duration of $\geq 6.0\text{ m/s}$ sand moving wind in various directions at X iaotang M ancan and Tazhong(m in)

观测站	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SWS	SW	WSW	W	WNN	NW	NNW	Σ
肖塘	3300	2740	3410	3120	4330	2200	1290	330	150	90	470	720	1600	1420	2070	2240	29480
(%)	11.19	9.29	11.57	10.58	14.69	7.46	4.38	1.12	0.51	0.31	1.59	2.44	5.43	4.82	7.02	7.60	100
满参	3050	3820	6150	6500	6270	3200	1370	400	120	590	880	1220	1500	1390	2040	2140	40630
(%)	7.51	9.40	15.14	16.0	15.43	7.88	3.37	0.98	0.30	1.45	2.07	3.00	3.69	3.42	5.07	5.27	100
塔中	1380	3920	3960	14890	10580	7920	1210	500	400	260	270	920	500	610	270	1440	49030
(%)	2.81	8.0	8.08	30.37	21.58	16.15	2.47	1.01	0.82	0.53	0.55	1.88	1.01	1.24	0.55	0.94	100

表 2 肖塘、满参和塔中各方位可能输沙量 [$\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$]

Table2 Potential sand transport rates in various directions atX iaotang M ancan and Tazhong [$\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$]

观测站	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SWS	SW	WSW	W	WNN	NW	NNW	Σ
肖塘	48.38	362.6	353.4	215.0	95.8	365.8	85.7	41.6	14.4	7.9	50.2	44.8	128.5	184.9	326.9	389.2	3456
(%)	14.0	10.5	10.2	6.2	11.5	10.6	2.5	1.2	0.12	0.2	1.5	1.3	3.7	5.4	9.5	11.3	100
满参	546.1	602.6	905.9	863.1	814.0	422.3	167.7	44.2	13.7	56.0	84.9	157.3	257.7	207.7	300.7	370.1	5814.3
(%)	9.4	10.4	15.6	14.8	14.0	7.3	2.9	0.8	0.2	0.96	1.6	2.7	4.4	3.6	5.2	6.4	100
塔中	211.2	536.6	508.2	1715.3	1562.4	999.2	127.6	44.6	41.5	28.8	32.7	111.2	73.1	74.9	29.5	212.4	6309.0
(%)	3.35	8.50	8.06	27.19	24.76	15.84	2.02	0.71	0.66	0.46	0.52	1.76	1.16	1.19	0.47	3.37	100

输沙强度增大, 输沙方向更偏东; 时间分布上, 输沙强度与起沙风同步, 主要发生在每年春夏季, 集中分布于 4~ 8 月间, 以满参站 1992 年 5 月至 1993 年 4 月 1 个自然年内的输沙量分布为例, 3~ 9 月份输沙量合计 $5\,344\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$, 占全年总输沙量的 91.92%.

4 初步结论

- 1) 从风沙活动的时间分布来看, 起沙风和输沙集中发生在 3~ 9 月, 具有“风热同步”的环境特征, 3~ 9 月起沙风占年内总起沙风的 90% 以上, 4~ 8 月占全年的 80% 以上。
- 2) 从风沙活动的空间分布看, 起沙风自沙漠边缘向沙漠腹地增多, 起沙风合成方向肖塘为北偏东 $34^{\circ}27'$ 、满参北偏东 40° , 从满参以南 30~ 40 km 处开始向南至塔中地区, 合成起沙风方向稳定在北偏东 $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$ 。自沙漠边缘向腹地, 输沙强度增大, 位于沙漠腹地的塔中地区的可能输沙量达 $6\,309\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$, 平均合成输沙方向 $230^{\circ}\sim 234^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 。
- 塔里木盆地的环流形势受高空西风带控制。西风带在青藏高原的西部边缘分成两支, 北支气流在天山西缘进一步分为两支, 南支气流从帕米尔高原进入塔里木盆地后东进, 形成西北风系, 受到山地阻挡反射, 发展为影响沙漠边缘地区的西北或西南风, 由于受地形和绿洲的作用, 风力强度减弱; 北支气流绕天山北面东进, 经走廊地形加速后由罗布泊方向进入沙漠腹地, 形成所谓的“倒灌东风”, 风力强大, 加之沙漠本身的热力作用加剧了垂直对流, 由此导致从沙漠边缘向腹地风沙活动加强的空间分布特征。
- 3) 由起沙风和输沙强度所指示的塔克拉玛干沙漠公路风沙活动具有明显的时间与空间分布特征。风沙活动主要发生在春夏季, 尤其集中在

4~ 8 月; 空间上, 从沙漠边缘向腹地, 风沙活动加剧。因此, 愈向沙漠腹地, 应加大公路风沙危害的防护力度, 每年春夏季尤其 4~ 8 月期间, 应加强风沙危害监测与防护体系维护。

参考文献:

[1] 朱震达, 陈治平, 吴正, 等. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1981 103~ 106

[2] 朱震达, 陆锦华. 塔克拉玛干沙漠克里雅河下游地区风沙地貌的形成发育环境变化趋势的初步研究 [J]. 中国沙漠, 1988 8(2): 1~ 10

[3] 董治宝, 陈广庭, 韩致文, 等. 塔里木沙漠石油公路风沙危害 [J]. 环境科学, 1997 18(1): 5~ 9.

[4] Zhao Dong Guangting Chen, Xingdong He et al. Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert [J]. Journal of Arid Environments 2004 57: 329~ 344

[5] 王雪芹, 雷加强, 黄强. 塔里木沙漠公路风沙危害分异规律的研究 [J]. 中国沙漠, 1999 20(4): 438~ 442.

[6] 王雪芹, 黄强, 雷加强. 塔里木沙漠公路复合型纵向沙垄区的道路沙害 [J]. 干旱区研究, 1998, 15(3): 48~ 51

[7] 王训明, 陈广庭. 塔里木沙漠公路机械防沙体系效益评价及防沙带合理宽度的初步探讨 [J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(4): 28~ 35.

[8] 何兴东, 高玉葆, 段争虎, 等. 塔里木沙漠公路植物周沙灌溉方式比较研究 [J]. 地理科学, 2002 22(2): 213~ 218

[9] 陈渭南, 董治宝, 杨佐涛, 等. 塔克拉玛干沙漠的起沙风 [J]. 地理学报, 1995 50(4): 360~ 367.

[10] 董治宝, 陈广庭, 颜长珍, 等. 塔里木沙漠石油公路沿线沙丘移动规律 [J]. 中国沙漠, 1998 18(4): 328~ 333.

[11] 韩致文, 董治宝, 王涛, 等. 塔克拉玛干沙漠风沙运动若干特征观测研究 [J]. 中国科学, 2003 33(3): 255~ 263.

[12] 韩致文, 王涛, 孙庆伟, 等. 塔克拉玛干沙漠公路风沙危害与防治 [J]. 地理学报, 2003 58(2): 201~ 208.

[13] 何兴东. 塔克拉玛干沙漠腹地天然植被调查研究 [J]. 中国沙漠, 1997 17(2): 144~ 148.

[14] Bagnold R A (著). 钱宁, 林秉南 (译). 风沙和荒漠沙丘物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1959 65

[15] Freberger S G. Dune form and wind regime [J]. US Geological Survey Professional Paper 1979, 1052 137~ 169

Spatial-temporal Distribution of Blown Sand Activities Along Taklimakan Desert Highway

HAN Zhiwen, WANG Tao, DONG Zhibao, WU Qijun, YAO Zhengyi

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environment and Engineering
Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract The Taklimakan Desert highway cuts across the simple barchan and barchan dune chain zone, complex transverse dune ridges zone and complex longitudinal megadune zone. Based on a natural year observation data of three meteorological stations (Xiaotang, Manacan and Tazhong) along the Taklimakan Desert highway, we analyzed the blown sand activities that were characterized by intensity of sand driving wind and intensity of sand transport. We select all the winds with velocity greater than the threshold velocity at the standard height of meteorological station as the study winds. We count the frequencies and directions of different level winds by 16 directions and calculate the sand transport according to Bagnold formula of $Q = 5.2 \times 10^{-4} (V - V_t)^3$. The study results show that blown sand disaster causing winds come from the north-east (NNE, NE, ENE, E) and their frequencies ranging from 48% to 76%. On time distribution, the blown sand activities were concentrated in spring and summer, especially during the period of April to August. On the spatial distribution, the intensity of blown sand activities were trending stronger from the edge to center of the Taklimakan Desert. The sand transport can reach $6309.5 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{a})$ and resultant drift direction is $230^\circ - 234^\circ$ at the center of the Taklimakan Desert. So we draw a conclusion that the defending measures must be enhanced in the interior desert.

Key words Taklimakan, cross-desert highway, sand driving wind, intensity of sand transport, spatial-temporal distribution