

塔克拉干沙漠腹地沙尘暴天气下风速脉动特征

郑先念^{1,2,3}, 杨兴华^{2,3}, 何清^{2,3,4}, 金莉莉^{2,3}, 杨帆^{2,3},

艾力·买买提依明^{2,3}, 周成龙^{2,3}, 张建涛^{2,3}

(1.新疆气候中心, 乌鲁木齐 830002; 2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002;

3.中国气象局塔克拉玛干沙漠气象野外科学试验基地, 新疆塔中 841000; 4.新疆气象台, 乌鲁木齐 830002)

摘 要:利用塔克拉玛干沙漠 2 次沙尘暴天气条件下人工绿地近地层 80 m 风速观测资料, 探讨近地层风速脉动特征及其与能见度、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的关系, 为进一步研究湍流情况下风蚀和风扬粉尘释放奠定基础。结果表明: (1) 不同高度风速脉动值在随高度的变化上近似符合高斯分布且在时间序列上波动性均具有一致性, 脉动频率不稳定, 无明显周期性, 相邻高度间均具有显著相关性。(2) 风速脉动强度随风速增大而增强, 随距离地表高度的降低呈先增大后降低的趋势。湍流度均与高度成反比关系, 整体上均随着高度的降低而增大, 因为地表植被的存在增大了湍流度。(3) 沙尘暴过程中地面风速的大小对水平能见度、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 具有直接影响, 风速脉动变化与水平能见度呈现反比关系, 与 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 呈现正比关系。

关键词:人工绿地; 近地层; 风速脉动; 脉动强度; 塔克拉玛干沙漠

中图分类号: Q359

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)01-0366-06

Characteristics of Wind Velocity Fluctuation During the Sand-Storm Weather in Hinterland of Takliakan Desert

ZHENG Xiannian^{1,2,3}, YANG Xinghua^{2,3}, HE Qing^{2,3,4}, JIN Lili^{2,3},

YANG Fan^{2,3}, Ali · Mamtimin^{2,3}, ZHOU Chenglong^{2,3}, ZHANG Jiantao^{2,3}

(1.Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002 China; 2.Institute Desert Meteorology, CMA,

Urumqi 830002, China; 3.Meteorological Field Test Base of Taklimakan Desert of China Meteorological

Administration, Tazhong, Xinjiang 841000, China; 4.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002 China)

Abstract: Basing on the observation data of 80 m wind speed in the near-surface layer during two sandstorms in the constructed green land of Taklimakan Desert, the characteristics of wind pulsation in the near-surface layer and its relationship with visibility, PM_{10} and $PM_{2.5}$ under sandstorm weather are discussed. It lays the foundation for further research on wind erosion and potential sand blowing in turbulent conditions. The results show that: (1) the pulsation values of wind speeds at different heights are approximately Gaussian distribution with the change of height, and the volatility is consistent in time series; the pulsation frequency is unstable and no obvious periodicity, and there is significant correlation between adjacent heights; (2) the fluctuation intensity is increasing with the increase of wind speed, and increases at first and then decreases with the decrease of the height of the surface; the turbulence is inversely proportional to the height, and the overall increases with the decrease of the height, because the bottom layer is increased by the presence of surface vegetation; (3) the magnitude of ground wind speed in sandstorm process has a direct impact on horizontal visibility, PM_{10} and $PM_{2.5}$. Wind speed pulsation changes are inversely related to horizontal visibility, and are proportional to PM_{10} and $PM_{2.5}$.

Keywords: constructed green land; near ground surface; wind velocity fluctuation; fluctuation intensity; Tazhong

收稿日期: 2018-12-10

修回日期: 2019-04-08

资助项目: 国家自然科学基金(41875019); 新疆气象局面上项目(MS201806); 新疆自治区柔性人才引进项目(2017)

第一作者: 郑先念(1992—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 实习工程师, 主要从事沙漠气象研究。E-mail: zxn19920710@163.com

通信作者: 何清(1965—), 男, 四川成都人, 博士, 研究员, 主要从事沙漠气象研究。E-mail: qinghe@idm.cn

瞬时风速和平均风速随时间的变化总趋势是一致的,风沙研究中通常将平均风速代替瞬时风速来研究风对输沙量的影响,这种处理易于掌握风沙运移的宏观特征^[1]。但也有局限性,因为自然状态下引起沙粒运动的风几乎是湍流的,各点的流速大小和方向随时间脉动表现出一定的阵性特征^[2]。如果不考虑风速脉动,根据定常风速计算得到的地表输沙过程是平稳的,而野外实际输沙过程非平稳且具有一定结构特征^[3]。并且风速变化的周期、频率对输沙量有很大影响^[4],因此需要考虑风速的脉动性。前人研究还发现风速脉动使床面沙粒受到跃移上升力和剪切力,引发沙粒振动,使沙粒易于起运^[5],影响沙粒的跃移轨迹,且风速脉动与输沙率之间具有良好的相关关系,而沙粒的运动又可以影响风速脉动,进而影响沙粒自身的输移^[6]。所以湍流对于风沙输移有重要的意义。

脉动风速在沙漠—绿洲过渡带典型下垫面(裸样沙地、怪柳样地和骆驼刺样地)上都近似服从高斯分布,风速脉动规律没有因植被的存在而发生改变^[7],在晴天和沙尘暴天气下,近地表风速与风速脉动强度呈正相关,并受到沙尘一定的抑制作用^[8]。风速脉动强度和风速脉动的相对值整体上都随着植被覆盖面积的增大呈增大趋势^[9]。而在戈壁地表风速脉动具有非平稳性,随着风速增强而增大,尤其是在大风天气下研究风蚀不能忽略风速的脉动性^[10]。同时,通过对北方两次沙尘天气的研究发现,沙尘暴期间大气中可吸入颗粒物的浓度与风速存在显著的正相关关系^[11]。能见度、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 也随风速脉动而产生波动变化,地面风速、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 之间相互作用,呈明显脉动特征^[12]。

作为世界第二大流动沙漠,塔克拉玛干沙漠不仅是我国沙尘暴频发地区之一,也是亚洲沙尘暴产尘的重要源地,该地区大风条件下扬起的沙尘会随着高空西风环流影响整个东亚地区。然而,前人针对野外沙尘暴天气条件下的沙漠腹地近地表 80 m 高度范围的风速脉动特征及影响的研究较少。鉴于此,通过野外实测塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴天气条件下的风速资料分析不同高度风速脉动特征,完善了沙漠腹地风与沙粒运动的关系、防沙治沙以及风沙互馈机制等方面的研究^[13],为进一步研究湍流情况下风蚀和风扬粉尘释放奠定基础。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠腹地塔中地区(83°39'E, 38°58'N)。该地区气候极端干旱,植被稀少,地表为流沙覆盖,只有塔中作业区所在的垄间地有人工建造

面积约为 $2 \times 2 \text{ km}^2$ 地形呈 NE—WS 走向的人工绿地,种植有梭梭、怪柳、骆驼刺和一些野生芦苇等固沙耐旱耐盐碱的植物,生长高度夏秋两季高度可达 2 m 左右,覆盖度较高。试验站位于塔中作业区内东面为高大纵向沙陇,西面为坡度相对平缓的纵向沙陇,北面距沙漠公路 1.2 km,沙漠公路两侧也是人工种植的固沙植物,其余多为流沙地表;该区年平均气温为 13.6℃,极端最高气温达 46.0℃,极端最低气温达 -32.0℃;平均年降水量 25.9 mm 左右,平均年蒸发量高达 3 812.3 mm;平均年风速为 2.3 m/s,平均年扬沙日数为 59.6 d,平均年沙尘暴日数为 15.8 d,主导风向以 NE, NNE 主^[14]。

1.2 数据资料与研究方法

采用风速和风向资料来自于安装在沙垄间谷地的 80 m 铁塔梯度探测系统,铁塔共有 10 个呈对数间距分布的测量梯度,高度分别为 0.5 m, 1 m, 2 m, 4 m, 10 m, 20 m, 32 m, 47 m, 63 m 和 80 m,因为风速在近地层呈对数分布。探测的基本要素为:温度、湿度、气压、风速和水平风向等。其中风速仪采用英国 Gill 公司生产的 WindObserver II 型二维风速风向传感器,启动风速 0.01 m/s,风速量程为 0~75 m/s;风向测量范围 $0^\circ \sim 359^\circ$,分辨率为 1° ,观测的风速和风向数据有 3 s 数据、5 s 数据、10 s 数据和分钟平均数据及小时平均数据。本文计算风速脉动特征采用 3 s 间隔观测的数据,分别选取了北京时间 2018 年 5 月 20 日 15:26—15:35 风向为 NNE, 5 月 24 日 16:39—16:48 风向为 ENE 的两次典型沙尘暴天气的数据;计算风速脉动与能见度、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 关系采用的是 1 min 间隔观测的风速数据(为了与能见度、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 采集间隔时间一致), PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 采用的是 Grimm180 观测的 1 min 间隔的数据,选取的是 2018 年 5 月 24 日 15:36—18:15 (北京时)一次沙尘暴过程的数据。

脉动风速值以瞬时风速与相应时段 10 min 平均风速之差表示,用以反映风速波动幅度;以脉动风速的均方根表示风速脉动强度(u_v):

$$u_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u - \bar{u})^2} \quad (1)$$

式中: u 为瞬时风速(阵风风速); \bar{u} 为平均风速; n 为采集风速的样本数。脉动强度实际上就是瞬时风速概率分布函数的标准差,它反映某一高度层瞬时风速波动范围的宽窄^[15]。为了比较不同风速下脉动强度随高度的变化,用各高度层风速脉动的均方根与平均风速之比表示风速脉动相对值(阵性度或湍流度)^[16]。利用 Excel 和 SPSS 20.0 软件进行统计分析,利用 Origin 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 风速脉动

图 1,2 可看出,不同高度风速脉动值在时间序列上波动性均具有一致性,即同步增大或减小,脉动频率不稳定,无明显周期性,说明自然风除具有脉动性外,还有间歇性特点。2 次沙尘暴天气过程的风速脉动最大波动幅度分别为 13.59 m/s 和 10.09 m/s,最小值波动幅度分

别也达到了 7.53 m/s,6.58 m/s,这么大的脉动风速对输沙过程定会产生很大的影响,因为根据定常风速计算得到的地表输沙过程是平稳的,而野外实际输沙过程非平稳且具有一定结构特征^[3]。同时,相邻高度间均具有显著相关性,经计算相关系数均大于 0.49、5 月 20 日相邻高度相关性在 0.49 以上、5 月 24 日相邻高度相关性在 0.62 以上,不同高度间相关性不是很显著,高度间隔越大相关性越不显著。

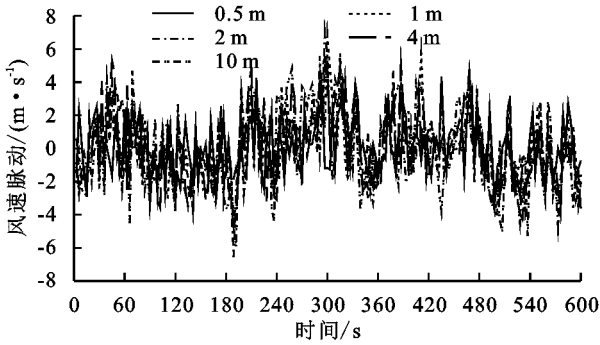


图 1 5 月 20 日沙尘暴天气条件下风速脉动变化

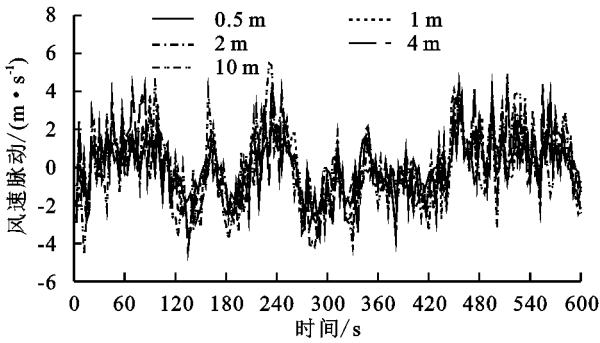
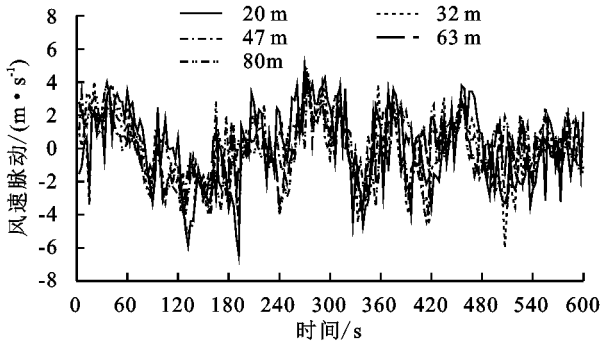
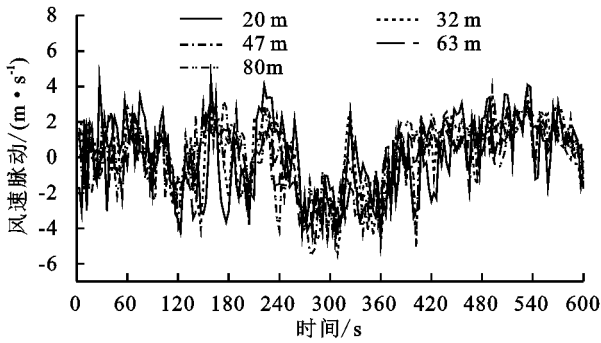


图 2 5 月 24 日沙尘暴天气条件下风速脉动变化



各高度层脉动风速概率分布近似符合高斯函数,且高度越高,概率分布拟合曲线越陡,脉动风速分布越集中。2 次沙尘暴天气下风速脉动的波动范围在 0.5~10 m 高度层内均随高度的增高而增大,以 0.5 m 高度的风速脉动强度与其他高度的表现最显著,风速脉动值在 0.5 m 高度层分别为-3.21~4.32 m/s,-2.77~3.81 m/s,到了 10 m 高度层上为-5.91~5.16 m/s,-4.78~5.49 m/s;而在 32~80 m 高度层上脉动风速的波动范围随着高度越高而减小,20 m 高度层的波动范围 5 月 20 日为-6.42~4.99 m/s,5 月 24 日为-4.50~4.42 m/s,80 m 高度层的波动范围 5 月 20 日为-4.04~3.97 m/s,5 月 24 日为-4.76~3.16 m/s。由此进一步验证脉动风速的分布规律与高度无关,高度仅对脉动风速的波动范围和概率分布的集中性产生影响。

2.2 风速脉动强度

从表 1,2 可知,2 次沙尘暴天气条件下,随着高度的降低和风速平均值减小,风速脉动强度呈先增长后降低

的趋势,侧面验证了风速脉动范围随高度的增大而先增后减小的规律。具体表现为,5 月 20 日的沙尘暴天气下,除 2 min 和 10 min 时段的外,其他各时段在 20 m 高度层上风速脉动强度达到最大值,在 0.5~20 m 高度范围内均随高度的增高而增大、在 20~80 m 范围内整体呈减小后增大的趋势,2 min 和 10 min 时段则是在 10 m 高度上增长到最大值随后呈曲线增大的变化趋势。5 月 24 日的沙尘暴天气下,除 2 min,4 min 和 5 min 时段外,同样在其他各时段风速脉动强度在 20 m 高度达到最大值,在 0.5~20 m 高度范围内呈随高度的增高而增大、而 20~80 m 高度范围内脉动强度呈先降低后增的规律。2 min,4 min 和 5 min 时段则是在 10 m 高度上增长到最大值随后呈曲线增大的趋势。因为风速脉动强度随着不同高度间风速增加的幅度而变化。

在同一高度层和时距上,风速脉动强度与平均风速正相关,即风速脉动强度值随平均风速值的增大而增大,如 10 m 高度层 10 min 时距上风速平均值分别为 5 月 20 日 11.97 m/s,5 月 24 日 9.24 m/s,相对应

风速脉动强度值分别为 2.41 m/s,2.09 m/s,风速脉动、风速脉动强度均与风速相关,风速越大,风速脉动和风速脉动强度越大。相同高度不同时距上,风速脉动强度随平均风速的变化上比较复杂,总体呈现出时距越长风速脉动强越大,如 10 m 高度层风速脉动强度值,在 1 min 时距为 5 月 20 日是 1.52 m/s,5 月 24

日是 0.90 m/s,而增 10 min 时距为 5 月 20 日增到 1.60 m/s,5 月 24 日增到 1.21 m/s,同时,风速平均值随时距增长则呈现出减小的变化规律。因为不同时距的风况资料反应真实情况的准确度不同^[17]平均风速时距越小,越接近瞬时风速状态,所以计算平均风速的时段越小,算出的输沙率的值更精确。

表 1 5 月 20 日沙尘暴天气下不同高度平均风速、脉动强度和湍流度随时间的变化

参数	时间/min	0.5 m	1 m	2 m	4 m	10 m	20 m	32 m	47 m	63 m	80 m
平均风速/ (m·s ⁻¹)	1	4.81	7.75	9.48	10.66	12.47	15.66	16.69	18.06	17.99	18.35
	2	4.47	7.44	9.28	10.33	12.09	15.08	15.56	16.41	16.62	16.98
	3	4.34	7.22	9.08	9.86	11.58	13.90	14.45	15.54	15.90	16.29
	4	4.32	7.38	9.00	9.90	11.68	13.95	14.58	15.55	15.89	16.36
	5	4.48	7.78	9.39	10.32	12.30	14.52	15.01	15.84	16.17	16.63
	6	4.61	7.85	9.48	10.44	12.23	14.41	14.97	15.80	16.09	16.60
	7	4.64	8.04	9.62	10.55	12.34	14.37	14.79	15.70	16.17	16.82
	8	4.75	8.12	9.66	10.63	12.37	14.49	14.91	15.81	16.23	16.93
	9	4.64	7.98	9.47	10.39	12.10	14.24	14.69	15.68	16.22	16.98
	10	4.61	7.93	9.35	10.29	11.97	14.23	14.75	15.73	16.23	16.96
脉动强度 (m·s ⁻¹)	1	1.52	1.67	1.82	2.47	2.07	1.76	1.72	0.94	0.81	0.82
	2	1.50	1.68	1.65	2.29	2.25	1.78	1.89	1.95	1.79	1.83
	3	1.47	1.59	1.54	2.22	2.11	2.39	2.42	2.19	1.92	1.93
	4	1.54	1.77	1.77	2.39	2.34	2.46	2.26	2.03	1.75	1.76
	5	1.55	1.99	2.04	2.46	2.52	2.56	2.31	2.01	1.85	1.90
	6	1.61	2.07	2.11	2.46	2.47	2.58	2.35	2.01	1.84	1.86
	7	1.56	2.09	2.10	2.39	2.42	2.54	2.34	2.02	1.76	1.85
	8	1.60	2.05	2.04	2.30	2.36	2.48	2.26	1.96	1.72	1.80
	9	1.62	2.05	2.05	2.35	2.43	2.47	2.28	1.92	1.66	1.74
	10	1.60	2.05	2.05	2.30	2.41	2.40	2.19	1.84	1.60	1.67
湍流度	1	0.32	0.22	0.19	0.23	0.17	0.11	0.10	0.05	0.05	0.04
	2	0.34	0.23	0.18	0.22	0.19	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
	3	0.34	0.22	0.17	0.23	0.18	0.17	0.17	0.14	0.12	0.12
	4	0.36	0.24	0.20	0.24	0.20	0.18	0.16	0.13	0.11	0.11
	5	0.35	0.26	0.22	0.24	0.20	0.18	0.15	0.13	0.11	0.11
	6	0.35	0.26	0.22	0.24	0.20	0.18	0.16	0.13	0.11	0.11
	7	0.34	0.26	0.22	0.23	0.20	0.18	0.16	0.13	0.11	0.11
	8	0.34	0.25	0.21	0.22	0.19	0.17	0.15	0.12	0.11	0.11
	9	0.35	0.26	0.22	0.23	0.20	0.17	0.16	0.12	0.10	0.10
	10	0.35	0.26	0.22	0.22	0.20	0.17	0.15	0.12	0.10	0.10

同样,2 次沙尘暴天气下的湍流度 0.04~0.35 之间变化,属于高湍流强度,80 m 高度范围内均与高度成反比关系,随着高度的增高而减小;底层 0.5 m 和 1 m 高度湍流度较大,原因是怪柳和梭梭等植物冠层对该高度层平均风速消减的结果。

2.3 风速脉动与水平能见度、PM₁₀、PM_{2.5} 浓度变化

图 3 看出,沙尘暴发生前,能见度都保持在 1 100 m 以上,PM₁₀ 浓度维持在 4 000 μg/m³ 以下波动,PM_{2.5} 浓度在 800 μg/m³ 以下。沙尘暴发生时,PM₁₀ 浓度在瞬间上升到 4 500 μg/m³,PM_{2.5} 浓度也上升到 800 μg/m³ 以上,沙尘暴过程中能见度降到 700 m 以下。沙尘暴后,转化成扬沙天气,空气中含有大量的气溶胶,短时间内能见度还比较低,但开始呈现上升趋势,PM₁₀、PM_{2.5} 浓度最大值区域对应能见度最低区域,沙尘暴过程中,能见度都维持在 1 000 m 以下,而

PM₁₀ 浓度值多次达到峰值 6 500 μg/m³,PM_{2.5} 浓度值也多次达到 1 000 μg/m³ 以上,峰值到达了 1 355.9 μg/m³。沙尘暴过后能见度呈上升趋势,对应 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度值呈波动下降趋势,因为沙尘暴结束后天气转为扬沙天气。

分析图 4,5 可知,风速波动与 PM₁₀、PM_{2.5}/能见度分别呈现明显的正/反向变化,风速波动与 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度增大,能见度减小,其中 PM₁₀ 达到 6 500 μg/m³ 时不随风速的变化而变化。沙尘暴发生时,瞬时风速峰值达到 10.50 m/s 时,PM₁₀、PM_{2.5} 的浓度值最高处于 6 500 μg/m³,1 355.9 μg/m³,能见度也达到最低值。地面产生强风,使得沙尘粒子悬浮在空气中,一旦风速减小,受到重力沉降作用,悬浮在近地面的 PM₁₀、PM_{2.5} 迅速增加。此后伴随着风速的周期波动,PM₁₀、PM_{2.5} 的浓度也相应作出调整,直到沙尘结

束减小到 $3\,000\,\mu\text{g}/\text{m}^3$, $6\,009\,\mu\text{g}/\text{m}^3$, 能见度又升回 $1\,000\,\text{m}$ 以上。由于沙尘暴结束后天气转为扬沙天气, 所以沙尘暴过后, 风速没有骤减, 而是随时间的变化呈波动减小。

表 2 5 月 24 日沙尘暴天气下不同高度平均风速、脉动强度和湍流度随时间的变化

参数	时间/min	0.5 m	1 m	2 m	4 m	10 m	20 m	32 m	47 m	63 m	80 m
平均风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1	5.10	6.97	8.03	8.40	9.06	11.55	12.92	12.96	13.57	13.88
	2	5.22	7.14	8.26	8.89	9.77	11.53	12.32	12.91	13.55	13.88
	3	4.92	6.62	7.63	8.11	9.18	11.00	12.04	13.12	13.59	14.18
	4	4.91	6.66	7.65	8.11	9.30	11.14	12.13	13.16	13.57	14.09
	5	4.77	6.52	7.51	7.90	9.09	10.81	11.69	12.62	13.11	13.59
	6	4.77	6.52	7.51	7.90	9.09	10.81	11.69	12.62	13.11	13.59
	7	4.67	6.29	7.24	7.66	8.86	10.45	11.38	12.31	12.87	13.46
	8	4.76	6.45	7.40	7.85	9.00	10.61	11.57	12.52	13.05	13.66
	9	4.88	6.56	7.54	7.99	9.18	10.90	11.84	12.78	13.26	13.82
	10	4.93	6.63	7.62	8.06	9.24	10.98	11.99	12.91	13.39	13.91
脉动强度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1	0.90	1.46	1.41	1.89	1.95	2.08	1.12	1.29	1.32	1.41
	2	0.92	1.35	1.37	1.85	2.01	1.97	1.60	1.35	1.37	1.40
	3	1.03	1.57	1.64	2.04	2.18	2.21	1.81	1.35	1.55	1.50
	4	1.12	1.62	1.71	2.06	2.34	2.23	1.81	1.36	1.53	1.54
	5	1.21	1.72	1.75	2.10	2.36	2.28	2.07	1.85	1.76	1.78
	6	1.19	1.69	1.73	2.04	2.20	2.25	2.19	1.93	1.86	1.85
	7	1.14	1.63	1.66	1.95	2.09	2.18	2.12	1.90	1.82	1.85
	8	1.18	1.67	1.70	2.00	2.10	2.15	2.09	1.88	1.80	1.82
	9	1.21	1.67	1.71	1.99	2.15	2.22	2.12	1.94	1.83	1.80
	10	1.21	1.68	1.72	1.96	2.09	2.16	2.11	1.90	1.79	1.75
湍流度	1	0.18	0.21	0.18	0.22	0.22	0.18	0.09	0.10	0.10	0.10
	2	0.18	0.19	0.17	0.21	0.21	0.17	0.13	0.10	0.10	0.10
	3	0.21	0.24	0.21	0.25	0.24	0.20	0.15	0.10	0.11	0.11
	4	0.23	0.24	0.22	0.25	0.25	0.20	0.15	0.10	0.11	0.11
	5	0.25	0.26	0.23	0.27	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.13
	6	0.25	0.26	0.23	0.26	0.24	0.21	0.19	0.15	0.14	0.14
	7	0.24	0.26	0.23	0.25	0.24	0.21	0.19	0.15	0.14	0.14
	8	0.25	0.26	0.23	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.14	0.13
	9	0.25	0.25	0.23	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.14	0.13
	10	0.25	0.25	0.23	0.24	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.13

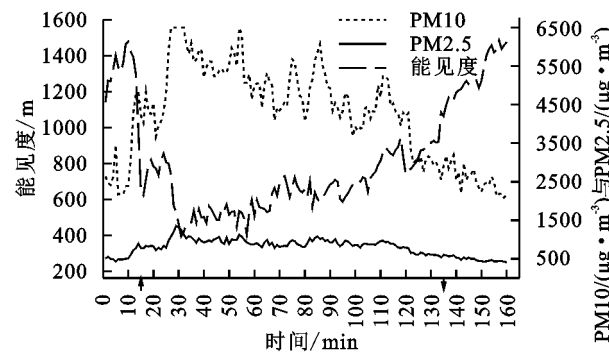


图 3 能见度与 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 变化

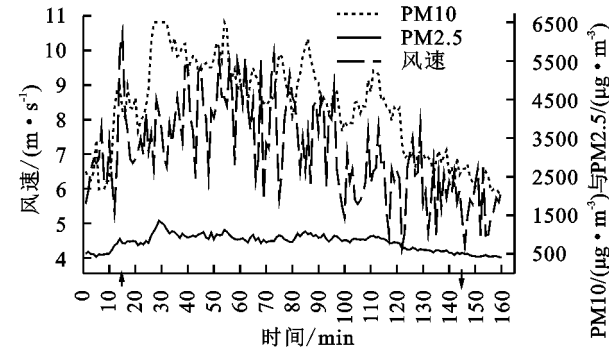


图 4 地面风速与 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 随时间的变化

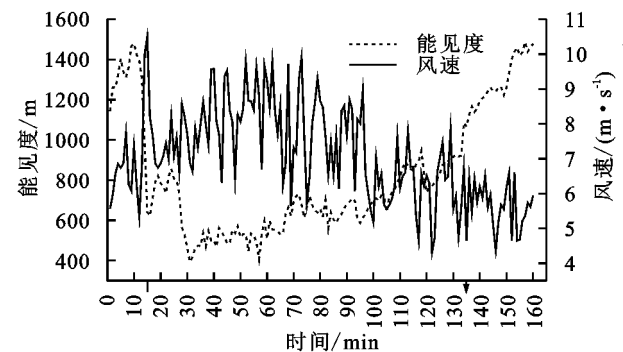


图 5 地面风速与能见度随时间的变化

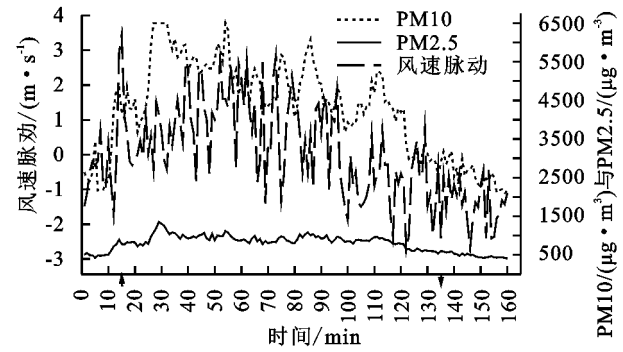


图 6 风速脉动与 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 随时间变化

为了更加详细了解风速脉动对 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值的影响,图 6 给出他们之间的关系。从图 6 可见,本次沙尘暴出现时,风速脉动最大值达到 2.93 m/s,对应 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值也达到了第一次的峰值,随后风速脉动仍然存在,其值基本维持在 $-2.75 \sim 3.45$ m/s, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值随之出现跃增趋势,而负风速脉动除少数几个点外均未出现 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值相应增加现象。根据风速脉动定义,风速脉动为正值,意味着短时间内的瞬时风速大于平均风速,因此能搬运沙粒的数量较多,相应空气中 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值增大。

3 讨论

通过对塔克拉玛干沙漠塔中地区人工绿地的风速脉特征分析发现,在风速脉动强度随高度的变化方面与前人^[7-8]在塔克拉玛干沙漠南缘分析得出的随高度的降低而降低不同,笔者认为,一方面这是由于所选的高度层不同,本文所选的是近地层 80 m 高度范围。另一方面是本文研究区的下垫面为植被覆盖的垄间谷地地形。至于不同风速下(5 月 20 日的风速明显比 5 月 24 日的大)风速脉动强度随高度和的变化在 1 min、和 2 min、4 min、5 min、10 min 时段与其他时段变化上不一致,这主要是瞬时风速具阵性特征所致。

PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 在沙尘暴发生和结束时的变化与沈洁等在民勤研究的结果不同,笔者认为,一是二者研究时所用时间尺度不同,本文采用的是分钟数据,而沈洁等用的是小时数据;二是本文研究仅研究沙尘暴过程的变化情况,沙尘暴开始前和结束后都是扬沙天气,因此没出现突增突降现象。

4 结论

(1) 脉动风速相邻高度间均具有显著相关性,高度间隔越大相关性越不显著。脉动风速近似符合高斯函数。风速脉动随高度的变化上,呈现出在 0.5~32 m 高度层脉动风速的波动范围整体上随高度的增高而增大,而在 32~80 m 高度层脉动风速的波动范围与高度成反比,高度越高,波动范围越小。

(2) 风速脉动强度在 0.5~20 m 高度范围内呈随高度的增高而增大、而 20~80 m 高度范围内脉动强度呈先降低后增的规律。同一高度层上风速平均值随时距增长则呈现出减小的变化规律。2 次沙尘暴天气下的湍流度在 0.04~0.35 之间变化,属于高湍流强度,80 m 高度范围内均与高度成反比关系,并随着高度的增高而减小。

(3) 沙尘暴过程中地面风速的大小对水平能见度、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 具有直接影响。因为风对沙尘粒子的搬运具有直接动力作用,所以风速脉动变化与水平能见度呈现反比关系,与 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 呈正比关系。

参考文献:

- [1] 崔军强,武生智.风速脉动对跃移的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,2013,49(5):611-615.
- [2] 杨林,韩广,杨济,等.大风天气老哈河下游迎风侧谷坡的风速脉动特征[J].中国沙漠,2014,34(6):1469-1474.
- [3] Baas A C W, Sherman D J. Formation and behavior of aeolian streamers[J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2005,110(3):195-221.
- [4] 王萍,郑晓静.野外近地表风沙流脉动特征分析[J].中国沙漠,2013,33(6):1622-1628.
- [5] Bisal F, Nielsen K F. Movement of soil particles in saltation[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1962, 42(1):81-86.
- [6] Shao Y P. A simlairy theory for saltation and application to aeolian mass flux[J]. Boundary—Layer Meteorology, 2005,115(2):319-338.
- [7] 王雪芹,杨东亮,马洋,等.沙漠—绿洲过渡带典型下垫面风速脉动特征:以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲为例[J].中国沙漠,2015,35(3):542-548.
- [8] 安志山,张克存,谭立海,蔡迪文.晴天和沙尘天气下沙漠绿洲过渡带近地表风速脉动特征[J].中国沙漠,2017,37(03):414-420.
- [9] 毛东雷,蔡富艳,杨余辉,等.新疆策勒 4 个典型下垫面近地层风速脉动特征[J].干旱区研究,2017,34(1):126-135.
- [10] 尚河英,尹忠东,张鹏,等.戈壁地表野外风速脉动特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2017,41(1):123-128.
- [11] 吕艳丽,刘连友,屈志强,等.中国北方典型沙尘天气特征研究[J].中国沙漠,2012,32(2):447-453.
- [12] 沈洁,李耀辉,胡田田,等.一次特强沙尘暴成因及近地面要素脉动特征[J].中国沙漠,2014,34(2):507-517.
- [13] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.典型下垫面风沙流中风速脉动特征研究[J].中国科学:D 辑:地球科学,2006,36(12):1163-1169.
- [14] 何清,杨兴华,艾力·买买提明,等.塔克拉玛干沙漠风蚀起沙观测研究:试验介绍与观测结果初报[J].中国沙漠,2011,31(2):315-322.
- [15] 张春来,邹学勇,程宏,等.包兰铁路沙坡头段防护体系近地面流场特征[J].应用基础与工程科学学报,2006,14(3):353-360.
- [16] 包慧娟,李振山.风沙流中风速纵向脉动的实验研究[J].中国沙漠,2004,24(2):132-135.
- [17] 杨东亮,王雪芹,胡永锋,等.绿洲—沙漠过渡带风况资料统计中的若干问题研究:以策勒绿洲为例[J].干旱区地理,2015,38(3):549-555.