

文章编号:1000-694X(2008)05-0955-07

沙漠地区春季近地层气象要素分布规律的观测研究

程穆宁,牛生杰

(南京信息工程大学 中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室,江苏南京 210044)

摘要:利用 2005 年 1 月至 2006 年 4 月朱日和地区 20 m 气象塔的风向、风速、气温、相对湿度的观测资料,分析沙漠地区春季近地层气象要素的分布规律。结果表明:春季温度回升,风速最大,相对湿度最小,利于起沙,故沙尘天气频繁。风速满足幂指分布规律,并且幂指数 m 能够很好的反映出风速梯度的变化情况;在沙尘暴、扬沙、背景、浮尘的天气条件下,春季近地面层风速梯度依次增大,湍流动量、热量交换系数依次减小;风向以西南为主。浮尘、扬沙天气各气层平均增温率分别大于或小于同时段的背景大气;沙尘暴期间温度下降,平均降温率为 $0.61^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。春季相对湿度的平均递减率(递增率)与平均增温率(降温率)的大小正相关。浮尘天气相对湿度的平均递减率大于同时段的背景大气;扬沙天气相对湿度的平均递减率小于同时段的背景大气;沙尘暴天气相对湿度增大,平均增大率为 $2.80\% \cdot \text{h}^{-1}$ 。

关键词:沙尘天气;近地层;气象要素;浑善达克沙地

中图分类号:P42 **文献标识码:**A

沙尘天气作为一种灾害现象严重地影响着人们的日常生活。根据《地面气象观测规范》^[1],沙尘天气分为 3 个不同的等级:由于强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度小于 1.0 km 为沙尘暴;由于大风将地面沙尘吹起,使空气相当混浊,水平能见度在 1.0 km 至 10.0 km 以内为扬沙;尘土、细沙均匀地浮在空中,使能见度小于 10.0 km 为浮尘。

目前对气象要素梯度变化的研究涉及范围较广,其中以对北京 325 m 气象塔^[2]、天津 250 m 气象塔^[3]研究为最多。此外,彭艳等^[4]分析了青藏高原近地面层气象要素变化特征。张杰^[5]对塔克拉玛干沙漠腹地沙丘表面温度进行了研究。游庆龙等^[6]利用自动气象站和气象塔观测资料分析了纳木错气象要素的变化特征。董旭光等^[7]利用宁夏鸳鸯湖地区 61 m 铁塔一年的气象观测资料,分析了该地区近地层不同高度各气象要素的变化规律。佴抗等^[8]利用 20 m 的观测塔对巴丹吉林沙漠的比湿进行观测。孙继明等^[9]研究了沙漠地区沙尘天气微气象特征。

国内外对沙尘天气过程中气象要素的变化规律的研究以特强沙尘暴居多。徐国昌^[10]、Joseph^[11]、McNaughton^[12]等人将强沙尘暴过境时气象要素的变化规律总结为:风速猛增、气压猛升、气温剧降、相

对湿度增大。胡泽勇^[13]通过分析 2000 年 6 月 4 日沙尘暴过境时敦煌地面气象要素指出:在沙尘暴过境时地面水平风风向经历了从稳定到多次调整,再到稳定,最后崩溃的演变。Natsadorj 等^[14]通过对蒙古国 1937—1999 年沙尘暴的分析总结出,沙尘暴多发生在风速 $6 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,相对湿度平均值在 20%~40% 的条件下。李艳春等^[15]统计分析了宁夏中北部地区沙尘暴天气的持续时间及相关气象要素的变化及成因。此外,张仁健等^[16-24]也对沙尘暴期间气象要素的变化进行了研究。

到目前为止,对沙漠地区的研究主要集中在沙尘暴个例的气象要素研究、太阳辐射能量平衡以及沙尘气溶胶,而对沙漠地区近地层气象要素研究相对较少。笔者研究了 2005 年全年及 2005、2006 年春季近地层气象要素的变化,进而比较分析了晴天、浮尘、扬沙、沙尘暴天气条件下的近地层气象要素的变化规律,为揭示出不同天气条件下气象要素的变化规律提供进一步根据。

1 观测仪器和数据

朱日和($112^{\circ}54' \text{E}, 42^{\circ}24' \text{N}$),位于内蒙古中部南缘,海拔 1 152 m,处于浑善达克沙地的西端。利用朱

收稿日期:2007-08-31;改回日期:2007-10-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40575048, 40765001);科技部社会公益研究专项(2005DIB3J108);教育部博士点基金(20050300002);南京信息工程大学气象灾害重点实验室项目(KLME05006)共同资助

作者简介:程穆宁(1983—),女(汉族),黑龙江伊春人,硕士研究生,主要从事沙尘气溶胶研究。Email:chengmuning@126.com

日和气象站2005年1月至2006年4月20 m气象塔的10秒钟一次的观测记录,获得春季晴天(22 d)及浮尘(5 d)、扬沙(25 d)、沙尘暴(13 d)天气的温度、风速、风向、相对湿度数据。其中,温度、风速、相对湿度均为5层(1 m、2 m、4 m、10 m、20 m),分别用铂电阻温度传感器、湿敏电容湿度传感器、三杯风速传感器测定。风向为3层(1 m、4 m、20 m),使用风向标测定。

2 气象要素全年变化特征

由于各层气象要素月平均变化趋势相同,图1仅列出了2005年朱日和气象塔4 m处气象要素的变化,从图中可以看出:4月风速最大,8月风速最小。2—4月风速呈现出递增的趋势,4—8月风速大幅度下降,8—11月风速又呈增加态势,11—12月风速又有所下降。春季风速最大,秋季次之,夏季最小,平均值分别为 $5.11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $4.50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $3.67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

气温在7月达到最大值,12月为最小值。夏季温度最高,平均温度达到 22.71°C ;秋季次之;冬季最低,平均温度只有 -14.28°C 。

相对湿度在12月为最大,4月为最小,与气温并未呈现出完全的反相关关系。冬季最大,平均达到 64.36% ,春季最小,平均为 31.26% 。

入春之后,温度回升到 0°C 以上,沙源土壤开始解冻,这为沙尘天气的发生提供了物质条件。同时,极大的风速及干燥的环境对起沙十分有利。

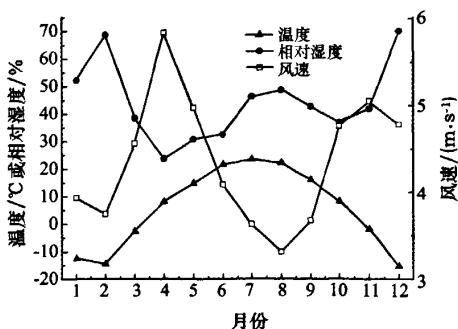


图1 2005年近地层气象要素的月平均变化

Fig. 1 Changes of monthly average meteorological elements at atmospheric surface layer

3 春季晴天背景下气象要素的变化特征

3.1 风场的变化特征

3.1.1 风速随高度的变化

根据观测数据计算得到1 m、2 m、4 m、10 m、20

m高度春季平均风速分别为 $3.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $4.21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $4.66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $5.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $6.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (表1),风速随高度升高明显增大,各高度春季平均风速为 $4.82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表1 春季晴天背景下各高度气象要素的平均变化

Table 1 Average changes of meteorological elements with different height on clean air in Spring

高度 /m	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	最多频 率风向	温度 /°C	相对湿度 /%
1	3.85	SW	14.50	22.09
2	4.21		13.96	22.07
4	4.66	SW	14.11	23.11
10	5.32		14.20	21.97
20	6.06	SW	13.99	21.49

图2A为朱日和地区气象塔春季不同高度逐时平均风速变化曲线。从每天的平均风速来看,各高度风速均在上午8时达到最大,8时至16时平均风速波动式缓慢递减,16时至20时降幅较大,20时至23时风速又呈快速增加态势,24时至翌日上午8时,各高度风速普遍增大。整体而言,呈单峰单谷分布。

3.1.2 风向随高度的变化

观测期间朱日和地区各高度最多风向均为西南(表1),这与朱日和位于蒙古气旋的底前部有关。1 m、4 m、20 m高度西南风频率分别为57.67%、49.86%、47.06%,最多风向出现频次随高度的升高有减小的趋势。

3.2 温度的变化特征

通过对朱日和春季气象塔的观测资料统计分析得到:1 m、2 m、4 m、10 m、20 m高度平均气温分别为 14.50°C 、 13.96°C 、 14.11°C 、 14.20°C 、 13.99°C (表1),2 m处气温最低,1 m处气温最高,2~10 m普遍存在逆温。

图2B为春季不同高度逐时气温变化曲线。从每天平均气温看:16时气温达到最高,5时气温为最低;19时至翌日6时2 m高度气温最低;朱日和地区2~20 m低空逆温明显,逆温从傍晚19时开始至翌日上午6时结束,逆温强度在21时达到最强,从2 m高度至20 m高度温差为 0.92°C 。

3.3 相对湿度的变化特征

春季1 m、2 m、4 m、10 m、20 m高度平均相对

湿度分别为 22.09%、22.07%、23.11%、21.97%、21.49% (表 1), 总体说来, 4 m 处相对湿度最大, 20 m 处相对湿度最小。9 时至 16 时, 除 4 m 高度外, 1 m、2 m、10 m、20 m 高度处相对湿度依次递增, 最大逆湿强度出现在 11 时, 为 6.38%/100m; 最小出现在 10 时, 为 1.04%/100m; 平均为 4.79%/100m。

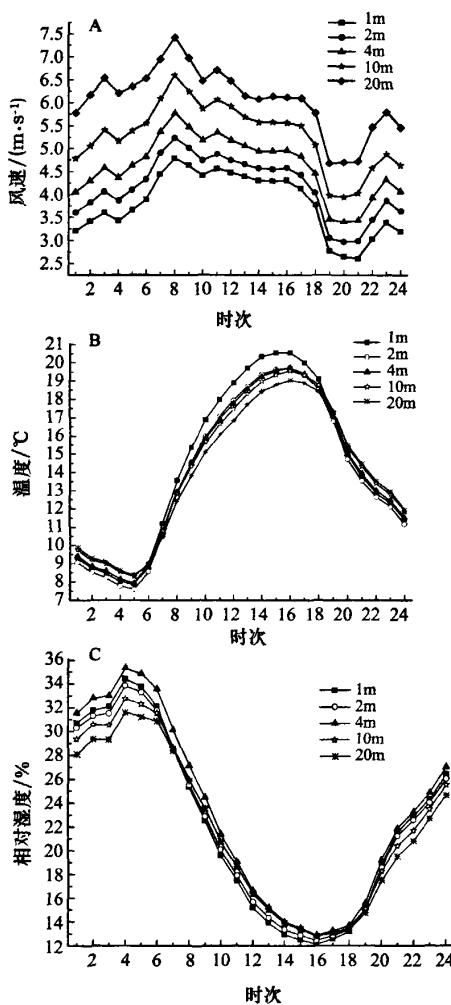


图 2 春季晴天不同高度逐时平均风速、平均温度和平均相对湿度的变化

Fig. 2 Hourly changes of wind speed, temperature and relative humidity with different height on clean air in Spring

图 2C 是春季不同高度逐时平均相对湿度变化曲线, 与图 2B 相比可以看出, 相对湿度与温度呈反相关关系。从图 2C 中可以看出: 逐日均为 4 m 处相对湿度最大, 可能原因是 2 m 处气温最低, 2~4 m 存在逆温且逆温强度较强, 水汽向逆温层顶聚集

导致。19 时至翌日 6 时 20 m 处相对湿度最小。7 时至 18 时 1 m 高度处相对湿度最小。

4 春季沙尘天气条件下气象要素的变化特征

4.1 风场的变化特征

4.1.1 风速

总体趋势是风速随高度的升高而增大, 五层风速随时间呈同位相波动。

近地层的风速满足幂指率公式, 它可以反映出水平风速随高度的变化。胡非等^[25]用大量的试验数据拟合表明, 幂函数对于描述北京 325 m 气象塔风速分布是合适的。

风速的幂指率公式为:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m$$

式中: z_1 、 z 分别取 2 m、20 m, u_1 、 u 是 2 m、20 m 的风速, m 是与下垫面粗糙度和大气层结稳定性有关的幂指数。

根据上述公式, 我们可以得到不同的天气条件下 m 值的变化规律。如表 2 所示, 在不同的天气条件下, m 值呈现出一定的规律性。 m 值的平均值在沙尘暴、扬沙、背景、浮尘的条件下依次增大。 m 值是随风速和大气层结而改变的, m 的大小反映了风速随高度变化的快慢。 m 大表示风速梯度大或风速随高度变化快, m 小表示风速梯度小或风速随高度变化慢。 m 值能够反映出湍流的强弱: 湍流强度大时, 上下层空气能够充分的混合, 进而风速梯度小, 故 m 值小; 湍流强度小时, 上下层空气混合较弱, 进而风速梯度大。 m 是大气稳定时大, 不稳定时小, 接近中性平衡时介于两者之间。在春季近地面层沙尘暴、扬沙、背景、浮尘的条件下, 风速梯度依次增大, 即湍流交换的强度依次减小。

表 2 不同天气条件下的 m 值变化

Table 2 Changes of m values in different weather phenomena

天气现象	m 最大值	m 最小值	m 平均值
背景	0.292	0.047	0.161
浮尘	0.311	0.050	0.165
扬沙	0.211	0.009	0.160
沙尘暴	0.194	0.121	0.158

4.1.2 风向

不同的沙尘天气条件下, 风向的变化略有不同。除 2005 年 6 月 12 日 1 m、4 m、20 m 及 2005 年 4 月

19日4 m、20 m气层为西北风外,其余过程中的三层风均为西南风。可见,朱日和站在不同的天气条件下均为偏西风,且主要为西南风。沙尘天气发生时,西南风出现的频率大大增加,说明沙尘天气多伴随蒙古气旋产生。

4.2 湍流交换系数的变化特征

湍流交换系数 K_m 和 K_h 是表征近地面层湍流发展强弱程度的物理量,分别为湍流动量交换系数及湍流热量交换系数。为了定量地反映各气层的湍流状况,将气温和风速变化有机地结合起来,本文计算了湍流交换系数随高度的分布。计算公式采用Blackadar(1976,1979)根据湍流理论的二阶闭合近似发展得到的结论^[26-27]。

$$\text{不稳定: } K_m = l^2 S (1 - 21Ri)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_h = l^2 S (1 - 87Ri)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{cases} K_m = K_h = 1.1 \left(\frac{Ri_c - Ri}{Ri_c} \right) l^2 S & Ri \leqslant Ri_c \\ K_m = 0 & Ri \geqslant Ri_c \end{cases}$$

临界值: Ri_c 取 0.25。

其中梯度里查逊数 Ri 定义为:

$$Ri = \frac{g}{T_0} \frac{\partial \theta}{\partial z} / \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \approx \frac{g}{T_0} \frac{(z_2 - z_1)(T_2 - T_1)}{(u_2 - u_1)}$$

式中: T_0 为 2 m 处大气绝对温度(K); u 为风速($m \cdot s^{-1}$); g 为重力加速度; θ 为位温(K); z 为高度(m)。在实际计算中,用差分形式近似代替微分形式,位温梯度用温度梯度代替。

式中 S 的表达式为:

$$S = \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| = \left| \frac{u_2 - u_1}{z_2 - z_1} \right|$$

近地层内,混合长 l 表示为: $l = \kappa z$ 。 κ 为卡门常数,取 0.4。

从表 3 中可以看出,湍流交换系数随高度的升

高而增大,这与 Stull^[28] 的观测结果是一致的。这是因为在近地层处,由于沙粒等的摩擦作用,导致湍流增强,同时近地层也是能量消耗的最大区域。故在二者的共同作用下,使得湍流交换系数随高度的升高而增大。

表 3 不同天气条件下湍流交换系数的变化

Table 3 The turbulent exchange coefficients

in different weather phenomena

天气现象	背景	浮尘	扬沙	沙尘暴
K_m $(m^2 \cdot s^{-1})$	1—2 m 2—4 m 4—10 m 10—20 m	0.286 0.345 1.482 7.192	0.292 0.394 1.198 6.561	0.358 0.745 2.381 9.124
K_h $(m^2 \cdot s^{-1})$	1—2 m 2—4 m 4—10 m 10—20 m	0.530 0.409 2.189 12.961	0.482 0.394 1.480 10.833	0.541 0.752 2.705 14.282
				0.417 0.900 2.587 10.076 0.589 0.899 2.870 14.782

基本上 1—2 m、2—4 m、4—10 m、10—20 m 四个气层的动量、热量交换系数均呈现出沙尘暴天气条件下最大,扬沙次之,浮尘最小的特点(除 1—2 m 和 2—4 m 气层处浮尘的 K_m 值,该处浮尘的 K_m 值大于背景天气的 K_m 值,可能是所选取的浮尘天气贴地层风速切变与背景天气相比较大,湍流有所发展,且以动力湍流为主的缘故)。这是因为沙尘暴天气条件下沙尘粒子较多,摩擦作用增强,湍流交换系数较大。浮尘天气近地层湍流较弱,主要是由于空中大量浮尘的存在减小了地面的净辐射,从而抑制了湍流的发展。除 2—4 m 气层处沙尘暴条件下 K_h 值略小于 K_m 值外,其余 K_h 值均大于 K_m 值。因此在近地层,湍流感热交换占主导。

4.3 温度的变化特征

4.3.1 浮尘

如图 3A 所示,2 m 以上气层的增温率随高度递减,平均增温率为 $1.77^\circ C \cdot h^{-1}$,大于同时段的

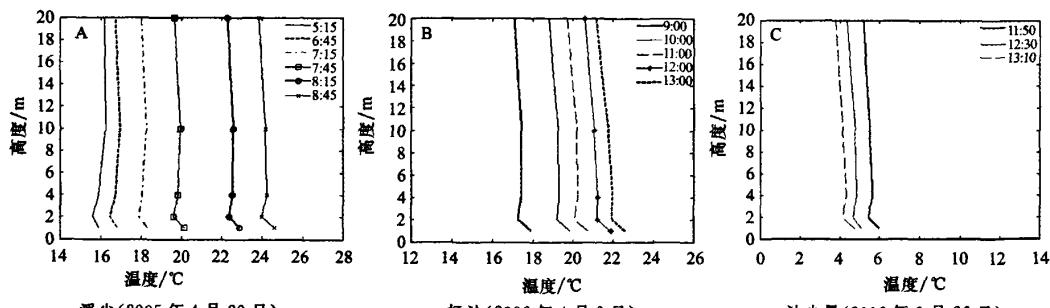


图 3 不同天气条件下的温度廓线

Fig. 3 Temperature profiles in different weather phenomena

背景大气增温率 $1.50^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。可能的原因是,浮尘天气都发生在早晨,太阳辐射较弱,故沙尘气溶胶对太阳辐射的削弱作用较小;由于沙尘对地面长波辐射的吸收及向地面的长波辐射反馈作用较强,起主导作用,故平均增温率较背景大气有所增大。

4.3.2 扬沙

扬沙天气条件下,温度变化以增温为主(图3B),个别扬沙天气会出现先增温后降温或降温情况。

扬沙天气增温的幅度不同,这主要与扬沙发生的强弱有关。在两年的春季观测期内,扬沙天气条件下 $1-20\text{ m}$ 气层增温幅度最大达到 $1.23^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年4月9日),最小为 $0.43^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年4月6日),平均增温率为 $0.77^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,小于同时段背景增温率 $0.89^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。究其原因扬沙天气多发生在午后,该时段太阳辐射较强,但由于近地层沙尘粒子数浓度和质量浓度明显大于浮尘天气^[29],故沙尘气溶胶对太阳辐射的削弱作用增强,导致近地层增温率相对较小。

$4-20\text{ m}$ 气层温度随高度降低,最大降低率 $4.11^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (2006年4月13日),最小降低率 $2.97^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (2006年3月30日),平均降低率为 $3.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

4.3.3 沙尘暴

沙尘暴天气条件下,温度变化以降温为主(图3C)。个别沙尘暴天气温度变化会出现先升温后降

温或升温情况,这与沙尘暴发生的强弱有关。

在两年的春季观测期间,沙尘暴天气条件下 $1-20\text{ m}$ 气层降温幅度最大达到 $1.04^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年3月26日),最小为 $0.16^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年4月8日),平均降温率为 $0.61^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。可见,沙尘暴爆发时,使温度下降。说明伴随沙尘暴而至的冷空气的降温作用要大于太阳辐射对近地层的加热作用。 $4-20\text{ m}$ 气层温度随高度降低,最大降低率 $3.31^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (2005年4月19日),最小降低率 $1.13^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (2006年3月9日),平均降低率为 $2.72^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

$4-20\text{ m}$ 气层的温度递减率小于扬沙天气条件的递减率,可见沙尘暴天气条件下大气湍流运动强烈,使上下层温度能够得到混合,进而使递减率减小。

4.4 相对湿度的变化特征

沙漠地区地表含水量低,蒸发量极少,故大部分时间段内,近地层温度升降导致相对湿度随之减小或增大,即相对湿度与温度呈反相关性。但也有相对湿度和温度一致变化的情况,可能是水汽平流或高层水汽向下输送引起的。同时,相对湿度也呈现出最大值、最小值分别在 4 m 、 1 m 层出现频率最大的特征(表4)。由于沙尘天气多发生在午后至傍晚,此时基本上是 1 m 层处的温度最高,故相对湿度最小;至于 4 m 层相对湿度最大,如前所述,可能是 $2-4\text{ m}$ 逆湿引起的。

表4 不同天气条件下 20 m 以下气层相对湿度极值的垂直分布

Table 4 Vertical distribution of relative humidity extreme values below 20 m in different weather phenomena

天气现象	相对湿度极值	1 m	2 m	4 m	10 m	20 m	合计
背景大气	极大值/次		1	18	10	1	30
	极小值/次	22		6		2	
浮尘	极大值/次			7			7
	极小值/次	3				4	
扬沙	极大值/次			16	3		19
	极小值/次	15	2			2	
沙尘暴/次	极大值/次			14			14
	极小值/次	9	5				

注:1次表示1个分析时段(1 h),相对湿度的极值为 1 h 内的平均情况。

4.4.1 浮尘

浮尘天气条件下各气层相对湿度随温度的升高而逐渐减小(图4A),递减率为 $3.05\% \cdot \text{h}^{-1}$,比同时段背景天气的平均递减率 $1.25\% \cdot \text{h}^{-1}$ 大。说明浮尘天气各气层相对湿度下降速率大,这主要是因为浮尘天气各气层增温率大于背景天气的缘故。

4.4.2 扬沙

扬沙过程中,相对湿度随温度的升高而减小,占

主导(图4B)。个别扬沙过程中出现了相对湿度先减小后增大或始终增大的情况。

在扬沙天气条件下,相对湿度递减率最大值为 $8.25\% \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年4月6日),最小值为 $0.74\% \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年3月21日),平均递减率为 $1.31\% \cdot \text{h}^{-1}$,小于同时段背景天气的平均递减率 $1.81\% \cdot \text{h}^{-1}$ 。这是由扬沙天气条件下平均增温率小于背景天气导致的。2006年4月6日扬沙过程中,增

温率大导致相对湿度减小率亦大。

4.4.3 沙尘暴

沙尘暴过程中,相对湿度随温度的降低而增大,占主导(图4C)。个别沙尘暴过程中出现了相对湿度先减小后增大、先增大后减小或始终减小的情况。

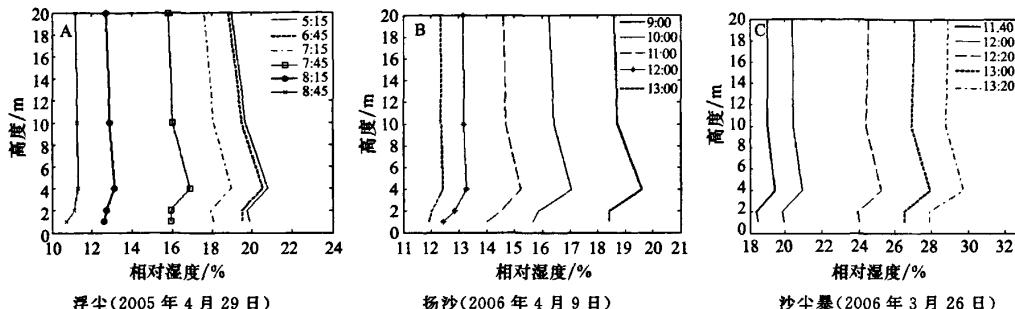


图4 不同天气条件下的相对湿度廓线

Fig. 4 Relative humidity profiles in different weather phenomena

5 结论

利用朱日和地区2005年1月至2006年4月20 m气象塔的资料,初步分析得到气象要素在晴天和沙尘天气条件下的变化特征,得到以下结论:

1)朱日和地区气象要素的全年变化特征表明:春季温度回升,风速最大,相对湿度最小,利于起沙,故沙尘天气频繁。

2)春季晴天条件下,风速随高度升高而增大;相对湿度的变化与温度呈反相关关系;气温在2 m处最低,1 m处最高,2—10 m普遍存在逆温;从平均气温看,16时气温达到最高,5时气温为最低;相对湿度均为4 m处最大,19时至翌日6时20 m处相对湿度最小,7时至18时1 m处相对湿度最小。

3)近地层风速符合幂指数率的分布规律,并且幂指数 m 能够较好的反映出风速梯度的变化情况。在沙尘暴、扬沙、背景、浮尘的天气条件下,春季近地面层风速梯度依次增大,湍流动量、热量交换系数依次减小。风向以西南为主,这跟朱日和处于蒙古气旋的底前部有关。

4)在沙尘气溶胶对长波辐射的吸收反馈作用、对短波辐射的削弱作用以及冷空气等的共同影响下,浮尘天气温度变化以增温为主,各气层平均增温率大于同时段的背景大气;扬沙天气温度变化亦以增温为主,但各气层平均增温率小于同时段的背景大气;沙尘暴天气温度变化以降温为主,平均降温率为 $0.61^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,而同时段的晴天条件下是增温的。

5)相对湿度的最大值、最小值分别在4 m、1 m

在沙尘暴天气条件下,相对湿度增大率最大值为 $5.77\% \cdot \text{h}^{-1}$ (2006年3月26日),最小值为 $0.82\% \cdot \text{h}^{-1}$ (2005年4月19日),平均增大率为 $2.80\% \cdot \text{h}^{-1}$ 。2006年3月26日沙尘暴过程中,降温率大导致相对湿度增大率亦大。

层出现频率最大,2—4 m气层存在逆湿。春季相对湿度的平均递减率(递增率)与平均增温率(降温率)的大小正相关。浮尘天气相对湿度的平均递减率大于同时段的背景,扬沙天气相对湿度的平均递减率小于背景,沙尘暴天气相对湿度随时间增大,平均增大率为 $2.80\% \cdot \text{h}^{-1}$ 。

参考文献(References):

- [1] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:23.
- [2] 赵鸣.论塔层风、温廓线[J].大气科学,1993,17(1):65—76.
- [3] 解以扬,刘学军.天津气象塔风温梯度观测资料的统计特征[J].气象,2003,29(1):592—595.
- [4] 彭艳,张宏升,刘辉志,等.青藏高原近地面层气象要素变化特征[J].北京大学学报:自然科学版,2005,41(2):180—190.
- [5] 张杰.塔克拉玛干沙漠腹地沙丘表面温度特征初探[J].中国沙漠,2003,23(5):592—595.
- [6] 游庆龙,康世昌,李潮流,等.青藏高原纳木错气象要素变化特征[J].气象,2007,33(3):54—60.
- [7] 董旭光,王栋成,陈艳春,等.宁夏贺兰山地区低空气象要素观测分析[J].干旱气象,2006,24(3):62—67.
- [8] 佴抗,胡隐樵.远离绿洲的沙漠近地面观测实验[J].高原气象,1994,13(3):282—290.
- [9] 孙继明,肖稳安,牛生态,等.沙漠地区沙尘天气近地层湍流输送特征分析[J].南京气象学院学报,2002,25(4):489—495.
- [10] 徐国昌,陈敏连,吴国雄.甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析[J].气象学报,1979,37(4):26—35.
- [11] Joseph P V, Raipal D K, Deka S N. “Andhi”, the convective dust storms of Northwest India[J]. Mausam, 1980, 31: 431—442.
- [12] McNaughton D L. Possible connection between anomalous an-

- ticyclones and sandstorms[J]. Weather, 1987, 42(1): 8—13.
- [13] 胡泽勇, 黄荣辉. 2000年6月4日沙尘暴过境时敦煌地面气象要素及地表能量平衡特征的变化[J]. 大气科学, 2002, 26(1): 1—8.
- [14] Natsadorj L, Jugder D, Chung Y S. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937—1999 [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 1401—1411.
- [15] 李艳春, 赵光平. 宁夏中北部沙尘暴过程中气象要素变化特征及成因分析[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 212—217.
- [16] 张仁健, 徐永福, 韩志伟. 北京春季沙尘暴的近地面特征[J]. 气象, 2005, 31(2): 8—11.
- [17] 张广兴, 李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 586—591.
- [18] 徐晓峰, 张小玲, 李青春. 北京地区一次强沙尘天气过程的气象因子及空气污染状况分析[J]. 气象科技, 2003, 31(6): 321—327.
- [19] 霍文, 李霞, 艾力, 等. 塔里木盆地2004年春季沙尘暴特征分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(2): 210—215.
- [20] 岳平, 牛生杰, 王连喜, 等. 一次夏季强沙尘暴形成机理的综合分析[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 370—374.
- [21] 岳平, 牛生杰, 张强. 民勤一次沙尘暴天气过程的稳定性分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 668—671.
- [22] 周自江, 章国材, 艾婉秀, 等. 中国北方春季起沙活动时间序列及其与气候要素的关系[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 935—941.
- [23] 赵红岩, 杨瑜峰, 梁东升, 等. 中国北方沙尘暴与地温场的相关关系[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 509—513.
- [24] 王金艳, 王式功, 马艳, 等. 我国北方春季沙尘暴与气候因子之关系[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 296—300.
- [25] 胡非. 湍流、间歇性与大气边界层[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 175—178.
- [26] Blackadar A K. Modeling the nocturnal boundary layer[C]// Preprints of the Third Symposium on Atmospheric Turbulence, Diffusion and Air Quality, Raleigh, NC, 19~22 October 1976, Amer. Meteor. Soc., Boston, 46—49.
- [27] Blackadar A K. High resolution models of the planetary boundary layer[J]. Advances in Environmental and Scientific Engineering, Vol. I, Gordon and Breach, 1979: 55—85.
- [28] Stull R B. An introduction to boundary layer meteorology [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998: 11.
- [29] 牛生杰, 孙继明, 陈跃, 等. 贺兰山地区春季沙尘暴质量浓度的观测分析[J]. 高原气象, 2002, 20(1): 82—87.

Study on Meteorological Elements Structure of Atmospheric Surface Layer over Desert Area in Spring

CHENG Mu-ning, NIU Sheng-jie

(Key Laboratory of Atmospheric Physics & Atmospheric Environment of CMA, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The characteristics of meteorological elements of atmospheric surface layer in spring were studied based on the observational data of wind speed, wind direction, temperature and relative humidity obtained from 20m meteorological tower in Zhurihe of Inner Mongolia from January, 2005 to April, 2006. The results show that the temperature rises rapidly, the wind speed is maximal and the relative humidity is minimal in spring, which is beneficial to drive sand, so the sand dust weather is frequent. The wind speed profile accords with exponential function and the exponential coefficient m could reflect well the change of wind speed at different altitudes. In sand storm, blowing sand, clean air and floating dust weather conditions, the wind speed in atmospheric surface layer raises gradually in spring. Meanwhile, the turbulent exchange coefficient diminishes gradually in spring. The main wind direction is southwest. Compared with clean air, the average rate of temperature increase is larger in floating dust, less in blowing sand. And the change of temperature reduces in dust storm, which is $0.61^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$. There is a positive correlation between the average rates of relative humidity decrease and temperature increase, and also between those of relative humidity increase and temperature decrease in all layers. Compared with clean air, the average rate of decrease is larger in floating dust, less in blowing sand. And the change of relative humidity enhances in dust storm, which is $2.80\% \cdot \text{h}^{-1}$.

Keywords: dust weather events; atmospheric surface layer; meteorological elements; Hunshandake Sand Land