

陕北春季沙尘暴与春季风之间的相关分析

李平¹, 杜继稳², 徐小红³, 李明¹

(1. 陕西省气象台, 陕西 西安 710015; 2. 陕西省气象局, 陕西 西安 710015;

3. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710015)

摘要

利用陕北地区 24 个代表站 30 年 (1971-2000) 的气象观测资料, 计算分析了陕北沙尘暴的时间变化, 以及陕北 4 个代表站月平均风功率密度的变化, 并对春季沙尘暴月发生日数与春季风之间进行了相关分析, 结果表明: 春季即是一年中沙尘暴多发的季节, 同样是月平均风功率密度最大的季节, 春季沙尘暴出现的日数与这个季节的风速相关性比较好。通过逐步回归计算, 选取 2 月份的平均风速、3 月份的平均风速、3-5 月的平均风速, 可以建立较好的预测陕北春季沙尘暴出现次数多与少的预报方程。

关键词: 春季沙尘暴; 春季风速; 风功率密度; 相关分析

1 引言

陕北是我国西北地区沙尘暴多发区, 我们知道沙尘暴发生的基本条件有三个: 大风, 沙源和不稳定能量, 即沙尘暴是在特定的地理环境和气象条件下发生的^[1-4]。陕西省的北部地区包括榆林地区和延安地区, 位于“北山”以北, 是我国黄土高原的主要组成部分, 通常称之为陕北地区。长城沿线以北为毛乌素沙漠, 长城沿线以南地表被黄土覆盖。近 150 年来, 沙漠已伸展至长城沿线以南部分地区。为温带干旱和半干旱气候区, 年降水量为 450~600 毫米。定边降水量是全省最少的地方, 年平均降水量只有 334 毫米。陕西的沙尘暴主要集中在陕北地区。

国内外的气象工作者从 20 世纪 30 年代起, 就开始了沙尘暴分布、形成、监测和对策的系统研究。美国等许多国家在本世纪 30 年代就开始了黑风分析, 现已形成了一系列分析和预测方法。日本、韩国等国家都在进行有关沙尘的监测和预报技术研究。国内对沙尘暴的研究始于 20 世纪 70 年代末, 许多学者^[5-7]先后对发生在我国的沙尘暴个例做了分析和研究。通过对西北地区沙尘暴的成因, 沙尘暴的监测、预报方法以及沙尘暴天气的预警服务系统等方面的分析和研究, 由方宗义、朱福康等编写了《中国沙尘暴研究》一书。我们知道大风是沙尘暴发生的基本条件之一, 因而风速的变化与沙尘暴的变化有着紧密的联系, 为作好沙尘暴的中期趋势预测, 本文进一步研究了风速和风功率密度的变化及其与陕北沙尘暴之间的关系。

2、资料

本文沙尘暴使用的资料主要是陕北 24 个站原始气象记录报表, 以其出现的日数作为定量表征指标, 资料年代为 1971 年~ 2000 年。

基金项目: 陕西省气象局科研项目资助

计算风功率密度主要使用的资料有各气象观测站 1971~2000 年历年逐月平均风速、平均气温、平均气压、平均水汽压；1971~2000 年逐日日平均风速、气温、气压、水汽压观测记录。

3、陕北风功率密度及沙尘暴月变化分析

3.1 陕北风功率密度变化分析

风能是空气运动的动能，或以速度 V 自由流动的气流每秒种在面积 F 上获得的能量。即风能 W ：

$$W = (Fv) * \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) = \frac{1}{2} \rho F v^3$$

其中 ρ 为空气的密度，风能 W 的单位 $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$ 。

风能密度是气流垂直通过单位面积（风轮面积）的风能，因此在一段时间长度内的平均风能密度为：

$$\bar{w} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \rho v^3 dt \quad \text{式中 } \bar{w} \text{ 为平均风能密度, } T \text{ 为总时数。}$$

空气密度 ρ 计算如下：

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \frac{(p - 0.378e)}{1000}$$

式中 P 为气压 (hPa), t 为气温 ($^{\circ}C$), e 为水气压 (hPa)。

由此可知，平均风能密度 \bar{w} 为 ρ 和 v 两个随机变量的函数，对一个地方而言 ρ 的变化可忽略不计，因此 \bar{w} 的数学期望值主要是风速立方 (v^3) 的数学期望值。

而风速立方 (v^3) 的数学期望值：

$$\begin{aligned} E(v^3) &= \int_0^{\infty} v^3 \rho(v) \\ &= \int_0^{\infty} \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] v^3 dv \\ &= \int_0^{\infty} v^3 \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] d \left[\frac{v}{c} \right]^k \\ &= \int_0^{\infty} c^3 \left[\frac{v}{c} \right]^3 \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] d \left[\frac{v}{c} \right]^k \end{aligned}$$

令 $y = \left(\frac{v}{c} \right)^k$ ，即 $\frac{v}{c} = y^{\frac{1}{k}}$ ， $\left(\frac{v}{c} \right)^3 = y^{\frac{3}{k}}$ ，所以

$$E(v^3) = \int_0^{\infty} c^3 y^{\frac{3}{k}} \exp[-y] dy$$

$$= c^3 \int_0^{\infty} y^{\frac{3}{k}} \exp[-y] dy$$

$$= c^3 \Gamma\left(\frac{3}{k} + 1\right)$$

因此，只要确定了风速的威布尔分布两个参数 c 和 k ，平均风能密度 \bar{w} 便可求得，即：

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{3}{k} + 1\right)$$

以平均风速 \bar{v} 估计 μ ，以样本标准差 s_v 估计 σ ，即

$$\mu = \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

$$\sigma = s_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2 - \bar{v}^2}$$

式中 v_i 为风速观测序列， n 为计算时段内风速序列个数。

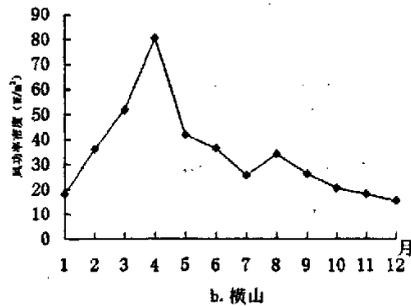
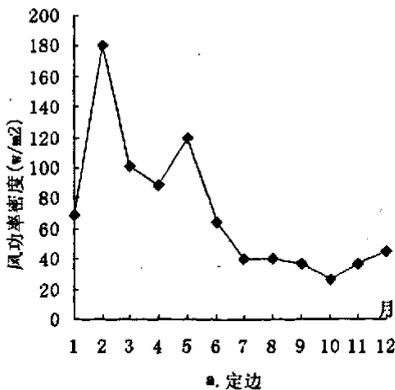
则：Weibull 两参数 k 、 c 可按式估计^[6]：

$$k = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^{-1.086}$$

$$c = \frac{\mu}{\Gamma(1 + 1/k)}$$

其中 $\Gamma(1+1/k)$ 为伽马函数，可查表求得。

由此可计算分析出月平均风功率密度分布（图 1）



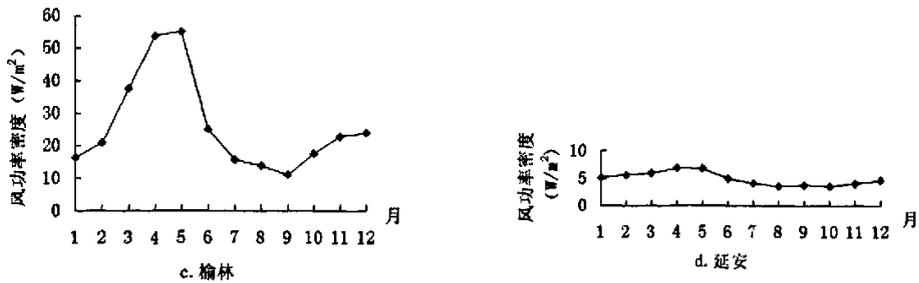


图1 陕北月平均风功率密度分布图

由图1我们可以看到1-6月定边的风功率密度都大于50 w/m²，2月份最大，达180 w/m²；10月份最小，为26w/m²；其它月份都大于37w/m²；2-5月份横山风功率密度最大，4月份达80.6 w/m²；榆林2-6月份风功率密度最大，5月份达55.2 w/m²；延安4-5月份风功率密度最大。我们用从这四个代表站的风功率密度的变化可以得出：陕北风功率密度的变化可以得出：陕北风功率密度最大，夏秋季风功率密度相对较小。

3.2 陕北沙尘暴月变化分析

以陕北24个县为代表站，对它们月平均沙尘暴日数累计图进行一些统计分析（如图2）。结果表明，陕北沙尘暴3—5月最多，4月份达29.5天，8—10月最少，11—2月、6—7月较少，3—5

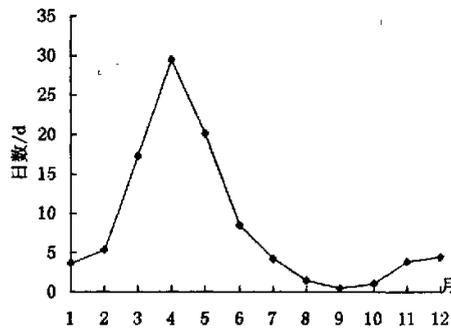


图2 陕北24个县月平均沙尘暴日数总计图

月沙尘暴占全年的66.7%。也就是说陕北春季沙尘暴也是全年沙尘暴最多的季节。

4、陕北春季沙尘暴发生次数与春季风之间的相关分析

从陕北风功率密度变化分析及陕北沙尘暴的月变化分析，我们发现春季风功率密度最大，沙尘暴发生日数也最多。为研究春季沙尘暴发生次数与春季风之间它们之间的相互关系，此处取陕北24

个站 30 年 (1971-2000 年) 春季 (3-5 月) 沙尘暴的资料, 当出现大于或等于 1 个站的沙尘暴时, 定义为一个沙尘暴日, 月出现的沙尘暴日数作为因变量; 风速用陕北榆林、横山、定边、延安四个代表站的 30 年的月变化资料的平均值, 选取 1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、1-2 月、1-3 月、1-4 月、1-5 月、2-3 月、2-4 月、2-5 月、3-4 月、3-5 月、4-5 月平均风作为自变量。分别计算 3 月份、4 月份和 5 月份的沙尘暴出现日数与前期月份的平均风之间的相关系数, 样本长度为 30, 取 $\alpha=0.01$ 时, $r_s=0.41$, 只有当相关系数 $r>r_s$ 时, 才能通过显著水平的相关性检验, 结果见表 1。

表 1 陕北沙尘暴月出现日数总计与前期各月份风速之间的相关系数

时间 (月)	1	2	3	4	5	1-2	1-3	1-4	1-5	2-3	2-4	2-5	3-4	3-5	4-5
3	0.31	0.42	0.52			0.33	0.39			0.47					
4	0.18	0.45	0.42	0.44		0.18	0.37	0.39		0.44	0.46		0.51		
5	0.16	0.43	0.46	0.50	0.46	0.07	0.11	0.15	0.33	0.36	0.33	0.34	0.42	0.47	0.48

由表 1 可见, 陕北 3 月、4 月、5 月份沙尘暴出现的日数与前期各月份风速之间均为正相关, 3 月份通过相关检验的有 2 月、3 月和 2-3 月; 4 月份通过相关检验的有 2 月、3 月、4 月、2-3 月、2-4 月、3-4 月; 5 月份通过相关检验的有 2 月、3 月、4 月、5 月、3-4 月、3-5 月、4-5 月, 总的来说, 陕北春季沙尘暴出现的日数与这个季节的风速相关性比较好。

为探讨 1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、1-2 月、1-3 月、1-4 月、1-5 月、2-3 月、2-4 月、2-5 月、3-4 月、3-5 月、4-5 月平均风速对春季沙尘暴的综合影响, 采用逐步回归方法^[6]进行统计分析。陕北春季沙尘暴出现的日数与各时间段平均风速的关系中, 最终方程中含有三个自变量: 2 月份的平均风速、3 月份的平均风速、3-5 月的平均风速。3-5 月份的平均风速和 5 月份的平均风速与沙尘暴出现的日数相关很好, 但它们之间相关又很好 (相关系数 0.6546), 同时进入方程会降低整个方程相关系数, 此处选取了相关系数较高的 3-5 月份的平均风速。于是可计算出其回归方程:

$$Y = -90.89 + 0.7 X_1 + 1.4 X_2 + 0.8 X_3$$

其中, X_1 为 2 月份的平均风速, X_2 为 3 月份的平均风速, X_3 为 3-5 月的平均风速。

采用复相关系数的检验方法对方程进行检验 ($R=0.6412>0.5415$, $n=30$), 预报方程通过了 0.01 的信度检验。说明这三个因子对陕北春季沙尘暴的形成有较大的影响。

为了比较各因子对方程贡献的大小, 进一步计算了标准偏回归系数, 其公式为:

$$b_i' = b_i \left[\frac{L_{ii}}{L_{yy}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中 b_i' 为方程中各因子的偏回归系数 ($i=1, 2, 3$), L_{ii} 为各因子的离差平方和, L_{yy} 为陕北春季沙尘暴出现日数的离差平方和。标准偏回归系数愈大, 其所对应的因子对方程的贡献愈大。

计算得到 2 月份平均风速因子的偏回归系数为 0.0213, 3 月份平均风速的偏回归系数为 0.0238, 3-5 月平均风速的偏回归系数为 0.0416, 也就是说 3-5 月平均风速对陕北春季沙尘暴的形成有较大的影响。

5、结论与讨论

本文通过对陕北地区 4 个代表站 30 年 (1971-2000) 风功率密度月平均变化的分析, 得出陕北一年中, 春季风功率密度最大, 其它季节风功率密度相对较小。对陕北 24 个县月平均沙尘暴日数进行统计分析, 也同样得出春季沙尘暴发生的次数最多, 其它季节相对较小。相关分析发现陕北沙尘暴出现的日数与前期各月份风速之间均为正相关, 采用逐步回归方法进行统计分析, 从陕北春季沙尘暴出现的日数与各时间段平均风速的关系中, 得出 3 月份的平均风速、4 月份的平均风速、3-5 月的平均风速对春季沙尘暴出现次数的多与少作用较大, 3-5 月平均风速对陕北春季沙尘暴出现次数的多与少贡献最大。

建立了陕北春季沙尘暴出现的日数与各时间段平均风速的相关方程后, 就给我们提出了这样一个问题, 只要利用气候学、天气学方法提前计算出了 2 月份的平均风速、3 月份的平均风速、3-5 月的平均风速, 就可以预测陕北春季沙尘暴出现日数的多寡。本文只是研究了它们之间的统计关系, 这方面的工作有待于以后进行深入研究。

参考文献

- [1] 王式功, 扬德保, 金炯等. 我国西北地区黑风暴的成因和对策[J]. 中国沙漠, 1995, 15 (1): 19—30
- [2] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22 (2): 106—111
- [3] 钟海玲, 李栋梁. 中国北方四月沙尘暴与西风环流的关系[J]. 高原气象, 2005, 24 (1): 104—111
- [4] 丁瑞强, 王式功, 尚可政等. 中国春季沙尘暴的趋势变化及年代际变化[J]. 高原气象, 2004, 23 (5): 660—666
- [5] 牛生杰, 章澄昌. 贺兰山地区沙尘暴沙尘起动和垂直输送物理因子的综合研究[J]. 气象学报, 2002, 60 (2): 194—204
- [6] 申彦波, 沈志宝, 杜明远等. 敦煌春季沙尘天气过程中某些参量和影响因子的变化特征[J]. 高原气象, 2003, 22 (4): 378—384
- [7] 刘景涛, 郑明倩. 内蒙古中西部强和特强沙尘暴的气候学特征[J]. 高原气象, 2003, 22 (1): 51—54
- [8] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1990