

# 中国北方沙尘暴与气象要素关系的初步研究

陆 政 刘凑华

(南京大学大气科学系, 210093)

**提 要：**为研究沙尘暴形成机理以及各气象要素对沙尘暴的作用, 利用1954~2000年我国北方地区7个台站的月降水量、大风日数、月平均气温和沙尘暴日数资料, 以相关性分析为基础, 采用了建立大风修正指数, 线性拟合, 滑动相关的方法, 深入探讨其相关关系。结果表明沙尘暴与同期降水呈负相关, 而与前一年降水的相关不明显, 但有极值对应; 与大风和大风修正指数呈明显正相关, 并从结果比较可知大风修正指数可以很好地反映沙尘暴的发生规律; 沙尘暴日数与前冬气温呈负相关, 但是减去趋势后负相关消失, 这反映了两者的相关关系主要是趋势相关; 计算20年滑动相关, 由6个台站一致的变化趋势得出结论: 相关值的大小与下垫面的荒漠化程度有很大关系。

**关键词:** 沙尘暴 气象要素 相关性分析 大风修正指数

## On the Relationship between Sandstorm and Meteorological Elements in China

Lu Zheng Liu Couhua

(Department of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract:** To investigate the mechanism of the sandstorm, based on the correlation analysis, the establishment of the gale modified index, trends analysis, and moving correlation method, the correlation between Sandstorm in North China and meteorological elements is conducted, utilizing surface observing data from 7 meteorological stations in China during the period of 1954—2000, including monthly rainfall, gale dates, mean monthly temperature and sandstorm frequency. The results show that the correlation coefficient between the sand-

storm frequency and rainfall at the same period is negative, but the correlation coefficient between the sandstorm frequency and the previous year rainfall is not obvious, and their extrema are corresponding. The correlation between the sandstorm and gale frequency and gale modified index is positive, the comparison shows that the gale modified index can well indicate the rule of sandstorm. The correlation between it and the previous winter temperature is negative, after eliminated the trend, the negative correlation does not exist, so their correlation is due to their trend. Through 20 years moving correlation analysis, from which the 6 stations show the same tendency, so it shows that their correlation is related to the degree of underlying surface desertification.

**Key Words:** sandstorm meteorological elements correlation analysis gale modified index

## 引 言

沙尘暴是危害我国的自然灾害之一。它是在特殊的气象条件和地理条件下形成的，与气象要素及下垫面的土壤和植被关系密切。由于对沙尘暴的研究尚处于初级阶段，所以研究沙尘暴与其他气象要素的相关性是一个了解沙尘暴产生机理的很好的方法，有大量的文献<sup>[1-5]</sup>采用了这种方法。如：彭维耿<sup>[1]</sup>等对宁夏地区 5 台站的各气象要素与沙尘暴频数相关性进行了分析；唐国利<sup>[2]</sup>等对全国 100 站的大风日数与沙尘暴的相关性进行了分析。本文试图以相关性分析为基础，采用建立指数、线性拟合、滑动相关方法来深入考察沙尘暴与气象要素的关系。

## 1 资料与方法

观测资料由中国气象局国家气象中心气候资料室整理提供，时段为 1954—2000 年。选取盐池（53723）、银川（53614）、西宁（52866）、酒泉（52533）、民勤（52681）、赤峰（54218）、和田（51828）七个代表站进行研究。利用这些站点的月降水量、大风日数、月平均气温和沙尘暴日数的资料来分

析沙尘暴发生的频率与各个气象要素的关系。

## 2 沙尘暴与降水关系的分析

### 2.1 沙尘暴与同期降水的关系

各月各站沙尘暴日数与同期降水的相关系数（表 1）反映出，除和田以外的各个台站相关系数都较大。盐池 1—4 月、银川 2—4 月、西宁 2—3 月、酒泉 2—3 月、民勤 2—3 月、赤峰 4—6 月都达到或接近 0.05 的显著性水平（当样本容量 = 45 时，0.05 信度的临界相关系数为 0.28）。许多文献<sup>[6,7]</sup>都考虑了同期下垫面土壤湿度的影响。近期降水偏少，土壤干燥疏松时，下垫面的临界摩擦速度要明显小于紧土层情况。降水还可以对空气中的沙尘粒子起到湿清除作用。所以降水将减少起沙的可能性。和田的沙尘暴与降水相关不显著，因为和田并不是沙源地，该地区的沙尘暴主要是起源于周围的沙漠，因此本地降水对沙尘暴的抑制作用较小。

### 2.2 沙尘暴与前一年降水的关系

表 2 是各月沙尘暴日数与前一年降水总

量的相关系数。主要反映了由于前一年降水的多少而产生的下垫面的植被情况差异对沙尘暴的作用。如果前一年降水较少，植被稀少，解冻土层疏松，就为沙尘暴提供了沙源。盐池的负相关最为显著，其中1—4月的相关系数都达到了0.05的显著性水平。而其他各站均不明显。

降水对下垫面的作用更主要地体现在气候的长期效应，如对植被的影响，因此前一年的降水波动会产生多大的影响还需要进一步研究。但是遇到降水极值时，下一年的沙尘暴会显著地较前期（1~3年）爆发或锐

减。如民勤地区1960、1973年降水偏大，1961、1974年沙尘暴日数偏少；1962、1965、1999年降水偏少，1963、1966、2000年沙尘暴日数偏多。银川1980、1981年降水偏少，1981、1982年沙尘日数偏多，1984、1956、1967、1968年降水偏多，1985、1957、1968、1969年沙尘暴日数偏少。盐池1961、1964、1967、1995、1996年降水偏多；1962、1965、1968、1996、1997年沙尘日数偏少；1975、1982、1983年降水偏少，1976、1983、1984年沙尘暴日数偏多。

表1 各地区各月沙尘暴与同期降水相关系数

	盐池	银川	西宁	酒泉	民勤	赤峰	和田
1月	-0.37	-0.26	-0.22	-0.09	-0.06	-0.04	-0.16
2月	-0.42	-0.27	-0.27	-0.24	-0.29	-0.12	-0.12
3月	-0.37	-0.34	-0.33	-0.21	-0.28	-0.07	-0.14
4月	-0.29	-0.32	-0.20	0.35	0.13	-0.25	0.13
5月	-0.24	-0.21	-0.19	-0.09	-0.07	-0.21	-0.12
6月	-0.02	-0.23	-0.27	-0.12	-0.30	-0.30	0.00

表2 各台站各月沙尘暴日数与前一年降水量的相关系数

	盐池	银川	西宁	酒泉	民勤	赤峰	和田
1月	-0.30	-0.04	-0.05	0.08	-0.11	0.29	0.04
2月	-0.50	-0.12	-0.15	-0.12	-0.10	0.27	0.13
3月	-0.29	-0.08	0.00	-0.05	-0.14	-0.09	0.02
4月	-0.38	-0.11	-0.21	-0.01	-0.02	0.11	-0.18
5月	-0.38	-0.27	-0.19	-0.04	-0.16	0.02	-0.01
6月	-0.29	-0.22	-0.12	-0.01	0.05	0.15	-0.12

### 3 大风修正指数及其与沙尘暴日数的相关性分析

大风是形成沙尘暴的必要条件之一<sup>[8]</sup>。虽然起动临界摩擦速度不一定和大风风速相同（大风是指瞬时风速达到或超过 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风<sup>[9]</sup>，而起动临界速度则与下垫面土壤特征有很大的关系<sup>[10]</sup>），但是大风日数却能反映当年的整体风力状况，在大风频繁的

时期，风力条件好，沙尘暴发生的频率大，相反则沙尘暴发生的频率小。

通过计算春季（2—4月）沙尘暴日数和同期大风日数的相关系数发现（表3），沙尘暴和大风呈明显的正相关。6个台站达到了0.01的显著性水平。盐池地区也达到了0.05的显著性水平（样本容量为46时，0.05、0.01信度的临界相关系数分别是0.28，0.37）。图1是银川地区1954—2000年春季沙尘暴日数与同期大风日数曲线，两

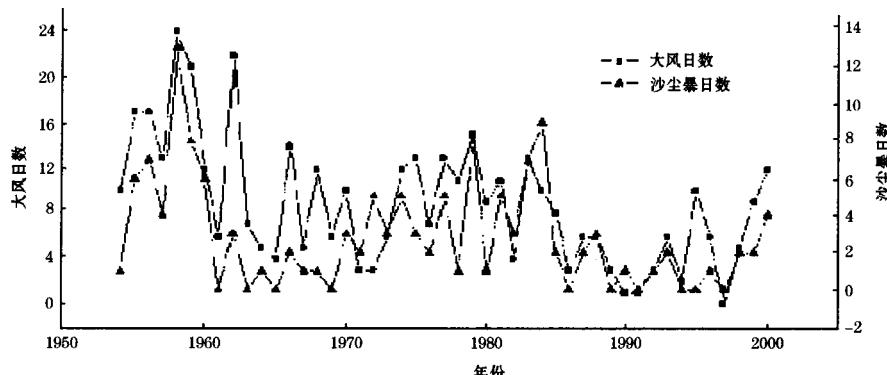


图 1 银川地区春季沙尘暴日数与大风日数的曲线

者走势相当一致。

由前所述，降水可以提高起沙条件，减少起沙可能，如提高了起动临界摩擦速度。为得到更大的相关系数，用同期降水量修正大风日数，并把修正的数值称为大风修正指数。各个地区所对应的指数将对未来的沙尘暴预报起到一定的参考价值。

**大风修正指数  $A$** ：大风日数 — 降水 (ml)  $\times a$ ：表示大风天气中排除出现降水

的情况。

**大风修正指数  $B$** ：大风日数  $\times (1 - \text{降水 (ml)} \times b)$ ：表示大风出现的概率乘以少雨地面干燥的概率。

分别选取不同的  $a, b$  值，当计算得到的  $A, B$  与同期沙尘暴日数的相关系数最大时，记  $a, b$  为修正系数。表 3 同时列出了修正系数  $a, b$  以及对应的大风修正指数  $A, B$  与同期沙尘暴日数的相关系数。

表 3 7 台站春季大风、大风修正指数  $A, B$  与同期沙尘暴日数相关系数及  $a, b$  值

	盐池	银川	西宁	酒泉	民勤	赤峰	和田
大风相关	0.2922	0.7151	0.5347	0.6361	0.5796	0.3989	0.5127
$a$ 值	0.0270	0.0019	0.0046	0	-0.0077	0.0151	0.0105
$A$ 结果	0.3758	0.7162	0.5891	0.6361	0.5820	0.4245	0.5720
$b$ 值	0.0019	0.0015	0.0015	-0.0004	-0.0018	0.0011	0.0019
$B$ 结果	0.3668	0.7162	0.6277	0.6364	0.5872	0.4118	0.5366

经过修正，盐池地区的相关系数也达到了 0.01 的显著性水平。但是盐池地区的  $a$  值相对于其它地区较大，这是因为该地区沙尘暴日数与大风日数相关系数较小，而与降水量相关较大 (2、3、4 月的相关系数分别达到了  $-0.42$ 、 $-0.37$ 、 $-0.29$ )，降水的修正作用更大。其他地区的相关系数也有不同程度的提高。值得一提的是，民勤与酒泉的修正系数出现了负值，但当逐月计算大风沙尘指数时，两个地区的修正系数在 2、3

月均为正值，说明该指数在这两个地区也是适用的。

#### 4 沙尘暴与前一年冬季平均气温的关系

##### 4.1 沙尘暴日数与前一年冬季平均气温的相关性

通过计算 2—5 各月、春季、全年的沙尘暴日数与前一年 11、12 及同年 1 月及前冬 (11、12、1 月) 平均气温的相关系数，

可以得出结论：沙尘暴总体上与前冬平均气温和同年1月气温有很大的负相关。表4列出7台站各时间段沙尘暴与前冬平均气温的相关系数，其中5个台站都有达到0.05显

著性水平的月份，相关显著，银川、酒泉相关较小，但也表现出一定的负相关性。其他研究<sup>[1]</sup>分析了另外一些站点的情况，也得到了类似的结论。

表4 各站沙尘暴日数与前一年冬季气温的相关系数

	盐池	银川	西宁	酒泉	民勤	赤峰	和田
2月	-0.27	-0.15	-0.39	-0.09	-0.17	-0.002	-0.44
3月	-0.30	-0.25	-0.28	-0.10	-0.38	-0.43	-0.22
4月	-0.14	-0.05	-0.17	-0.07	-0.32	-0.47	-0.03
5月	-0.06	0.11	-0.25	-0.19	-0.19	-0.36	-0.38
春季	-0.29	-0.14	-0.34	-0.11	-0.37	-0.44	-0.21
全年	-0.26	-0.06	-0.36	-0.11	-0.32	-0.44	-0.21

#### 4.2 减去趋势后两者之间的相关性

对沙尘暴日数和前冬气温求一次线性趋势，分别减去线性趋势，再计算两者之间的相关性。发现以上计算的负相关性消失，甚

至有的台站出现了很大的正相关。银川达到了0.05，赤峰达到了0.01的正相关检验。表5列出了减去趋势后的7个台站各时间段沙尘日数与前冬平均气温的相关系数。

表5 各站减去趋势后的沙尘暴日数与前一年冬季气温的相关系数

	盐池	银川	西宁	酒泉	民勤	赤峰	和田
2月	-0.03	0.25	-0.05	0.17	0.15	-0.11	-0.14
3月	-0.27	-0.17	-0.02	0.03	-0.16	0.14	0.28
4月	-0.08	0.11	0.13	0.03	-0.02	0.73	0.20
5月	0.10	0.15	-0.07	0.13	0.19	0.49	-0.25
春季	-0.16	0.12	0.03	0.08	-0.01	0.46	0.27
全年	-0.02	0.29	0.06	0.15	0.18	0.52	0.21

由以上结果可以得出结论，沙尘暴日数与前冬气温的负相关主要是趋势相关。由于温室效应，1954—2000年7个台站的冬季气温显著上升；而大量的研究表明这段时间内沙尘暴为减少趋势<sup>[8,11-13]</sup>，因此计算时会得到负相关。

沙尘暴与前冬气温的负相关也可能与下垫面作用有关。彭维耿<sup>[1]</sup>等认为当冬季气温较低时，冻土层越厚，初春解冻后形成的松土层也越厚，容易形成沙尘暴。而冬季温度较低还会使沙石冻裂严重，第二年回暖时，土层松动，<sup>万方数据</sup>沙石更细，同样易导致沙尘。

#### 4.3 两者之间的滑动相关

对每一年进行研究，取其前后10年（包括该年共20年）的春季沙尘暴日数和冬季气温进行相关性分析，这样从1965年到1991年每年将有对应的相关系数。图2、图3详细列出6个站点（无赤峰站）各年的情况（样本容量为20时，显著性水平为0.05的临界相关系数为0.42）。可以看出这六个台站的变化趋势很接近：1970年代后期以前主要表现为正相关，1970年代后期以后变为负相关。

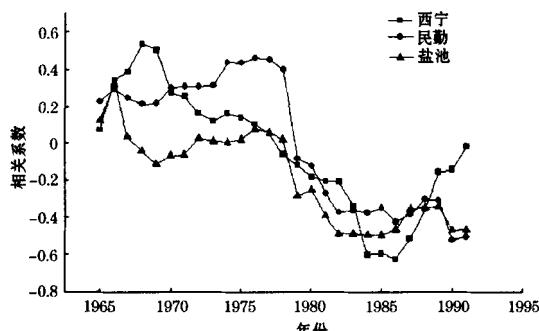


图 2 冬季气温与第二年春季沙尘暴日数  
滑动相关曲线

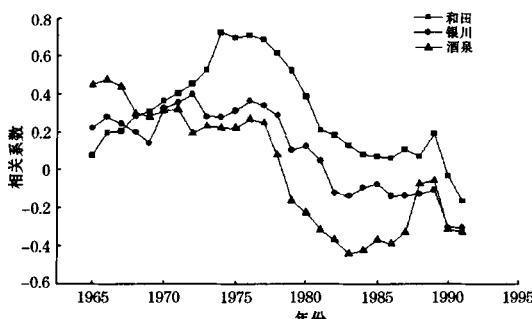


图 3 冬季气温与第二年春季沙尘暴日数  
滑动相关曲线

这种变化可能是随下垫面的变化而产生的。由前所述，冬季气温可以通过对下垫面的作用来影响沙尘暴的发生。六七十年代各地的下垫面植被相对较好，而图中可以看出同期的西宁、民勤、和田地区都达到了 0.05 的正相关检验，而盐池、银川、酒泉也都接近 0.05 的正相关检验。这是因为当地表有相对较多的植被覆盖时，植物可以有效地对地面沙尘起到固定作用。所以入冬以后，如果气温偏高，降水偏少，则土壤失墒严重，第二年春季植被稀少，不能有效地固定地面上土层，将使得第二年沙尘暴增多<sup>[14]</sup>。当植被破坏后，地面荒漠化加重时，本地沙源在沙尘暴的沙源中所占的比例加大，冬季气温对沙尘暴影响也就越大。综上述，可以得出结论：荒漠化越严重，气温与沙尘暴的

负相关越大。

以民勤为例来说明<sup>[14,15]</sup>。民勤地区地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠之间，1949 年后，政府组织了大规模的植树造林活动，民勤地区的地貌曾一度改善。1970 年代中期，由于地下水开采严重等原因，荒漠化又卷土重来，而图中可以看到相关系数恰好在七十年代中后期开始急剧下降。这就从一个侧面验证了上面的结论。

## 5 结语

(1) 沙尘暴与同期降水呈负相关；与前期降水的关系不明显，但是有极值对应，作用机理还需进一步研究。

(2) 由于下垫面的湿润程度对临界摩擦速度有很大影响，用月降水量资料和大风日数资料拟合大风修正指数，大风修正指数能较好的反映沙尘暴变化规律。

(3) 前冬气温与第二年不同时段内的沙尘暴日数呈负相关关系，但分别减去一次线性趋势后，相关不再明显。推测两者之间的负相关为趋势相关。

(4) 以 20 年为时间段，计算得到 1965—1991 年间的前冬气温和第二年沙尘暴总日数的滑动相关，发现六个台站的相关系数变化趋势基本一致，都是由正相关变为负相关，这可能是由下垫面的荒漠化引起。荒漠化越严重，负相关越明显，具体机制还需要进一步讨论。

**致谢：**南京大学大气科学系的潘宜农、张录军、任雪娟老师，以及南京信息工程大学的史慧敏老师在本文的写作中提供了很大的帮助，在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- 彭维耿, 赵光平, 陈豫英. 宁夏春季沙尘暴与气象要素及环流指数的关系 [J]. 气象, 2005, 31 (3): 17-20.
- 唐国利, 巢清晨. 中国近 49 年沙尘暴变化趋势的分析

- [J]. 气象, 2005, 31 (5): 8-11.
- 3 全林生, 时少英, 朱亚芬等. 中国沙尘天气的时空变化及其气候特征 [J]. 地理学报, 2001, 56 (4): 477-485.
- 4 柏晶瑜, 于淑秋. 河套地区春季扬沙天气影响因子的初步研究 [J]. 气象学报, 2003, 61 (5): 600-605.
- 5 张莉, 任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析 [J]. 气象学报, 2003, 61 (6): 744-750.
- 6 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气 [J]. 第四纪研究, 2001, 21 (1): 9-17.
- 7 周秀骥, 徐祥德, 颜鹏等. 2000 年春季沙尘暴动力特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 2002, 32 (4): 327-334.
- 8 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策 [J]. 地理学报, 2000, 55 (5): 513-520.
- 9 中央气象局编定. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 1979: 21-27.
- 10 Gillette D A, Adams J, Endo A, et al. Threshold Velocities for Input of Soil Particles into Air by Desert Soils [J]. J Geophys Res, 1980, 85: 5621-5630.
- 11 杨东贞, 房秀梅, 李东兴. 我国北方沙尘暴变化趋势分析 [J]. 应用气象学报, 1998, 9 (3): 352-358.
- 12 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径 [J]. 地理学报, 2001, 56 (3): 316-322.
- 13 周自江, 王锡稳, 牛若云. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究 [J]. 应用气象学报, 2002, 13 (2): 193-200.
- 14 杨德保, 尚可政, 王式功编著. 全球变化热门话题: 沙尘暴 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 52-55.
- 15 张克存, 屈建军, 马中华. 近 50a 来民勤沙尘暴的环境特征 [J]. 中国沙漠, 2004, 24 (3): 257-260.