

沙尘暴成因的气象因子分析

马国顺¹, 屈建军²

(1. 西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中科院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:对沙尘暴成因的气象因素作了主成分分析, 得到沙尘暴形成的主要因素为风速、气压和地表温度。

关键词:沙尘暴; 气象因素; 主成分分析

中图分类号: X 820.3; X 830.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-988X(2003)04-0028-03

Meteorological factors analysis of the cause of the sandstorm

MA Guo-shun¹, QU Jian-jun²

(1. College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,

Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The principal components of meteorological factors which cause sandstorm are analysed. A conclusion is come to, that is, the key factors causing sandstorm are wind speed, atmosphere pressure and ground temperature.

Key words: sandstorm; meteorological factor; principal component analysis

1 符号和记法

用 $y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5}, y_{i6}, y_{i7}, y_{i8}, y_{i9}, y_{i10}$ 分别表示第 i 次测量的风速、气压、相对湿度、能见度、气温、地表温度、海拔高度、风向、最大风向、最大风速。

本文从数万次的记录中抽取了 2600 次的记录数值, 这些数据可以表示成一个 t 行 n 列的矩阵 (t 表示数值个数, n 表示指标个数, 即 $t = 2600$, $n = 10$), 即得到主成分原始数值矩阵

$$\begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{t1} & y_{t2} & \cdots & y_{tn} \end{pmatrix}.$$

2 数据的标准化

在原始数据中, 每个指标的数据来源不同, 单位的选取不同, 因而数值的大小及变化幅度不同。

指标之间的这种差异, 不仅毫无意义, 还会干扰分析。为了取得正确的分析结果, 有必要对原始数据进行变换, 以消除这种没有意义的差别。

先求每个指标的平均值和离差平方和, 即平均值:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t y_{kj}, j = 1, 2, \dots, n;$$

离差平方和:

$$d_j = \sqrt{\sum_{k=1}^t (y_{kj} - \bar{y}_j)^2}, j = 1, 2, \dots, n.$$

再作变换

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{d_j} \quad (i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, n)$$

得变换后的原始数值矩阵为

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t1} & x_{t2} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix}.$$

3 主成分分析

我们的目的是从上述 n 个指标中寻找影响沙尘暴的气象因子的主要方面。如果起主要作用的刚好就在某几个指标中，那么只需将这几个指标提出来进行分析，主要矛盾就抓住了。为此，用一个向量来体现多维事物的主要方面，以指标向量的线性组合来体现多个指标的综合效果，得主成分向量^[1]

$$F_i = a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + \dots + a_{ni}X_n, \\ i = 1, 2, \dots, n.$$

其中 $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})^T$ 。

如此构造的主要方面，考虑到它们各自所代表的实际意义是相互独立的，所谓相互独立，用数学方法表示就是两个不同向量互相垂直，即 $F_i^T \cdot F_j = 0 (i \neq j)$ ^[2]。若把 F_i 写成矩阵与向量乘积的形式，

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -0.1516 & -0.0780 & 0.1883 & -0.0803 & 0.1625 & -0.5129 & -0.0875 & -0.2023 & -0.0578 \\ -0.1516 & 1 & -0.0013 & -0.1108 & 0.0045 & -0.9674 & 0.1482 & 0.1505 & 0.2673 & 0.1538 \\ -0.0780 & -0.0013 & 1 & -0.4209 & 0.8276 & -0.1485 & 0.0468 & 0.0707 & -0.0780 & 0.1009 \\ 0.1883 & -0.1108 & -0.4209 & 1 & -0.4555 & 0.1389 & -0.2605 & -0.0496 & 0.0029 & -0.0375 \\ -0.0803 & 0.0045 & 0.8276 & -0.4555 & 1 & -0.0907 & 0.1383 & 0.1095 & -0.0674 & 0.1324 \\ 0.1625 & -0.9674 & -0.1485 & 0.1389 & -0.0907 & 1 & -0.1435 & -0.1583 & -0.2669 & -0.1728 \\ -0.5129 & 0.1482 & 0.0468 & -0.2605 & 0.1383 & -0.1435 & 1 & -0.1085 & 0.2780 & -0.1012 \\ -0.0875 & 0.1505 & 0.0707 & -0.0496 & 0.1095 & -0.1583 & -0.1085 & 1 & 0.1220 & 0.7986 \\ -0.2023 & 0.2673 & -0.0780 & 0.0029 & -0.0674 & -0.2669 & 0.2780 & 0.1220 & 1 & 0.1058 \\ -0.0578 & 0.1538 & 0.1009 & -0.0375 & 0.1324 & -0.1728 & -0.1020 & 0.7986 & 0.1058 & 1 \end{pmatrix}$$

计算可得矩阵 R 的特征值（按大小顺序排列）分别为：2.6657, 2.0252, 1.7707, 1.3048, 0.7653, 0.6306, 0.4553, 0.1991, 0.1656, 0.0178，从而得各因素的贡献率及累计贡献率（表 1）。

表 1 各因素特征值、贡献率及累计贡献率

	特征值	贡献率	累计贡献率
风速	2.6657	26.66%	26.66%
气压	2.0252	20.25%	46.91%
地表温度	1.7707	17.71%	64.62%
相对湿度	1.3048	13.05%	77.67%
气温	0.7653	7.65%	85.32%
能见度	0.6306	6.31%	91.63%
风向	0.4553	4.55%	96.18%
海拔	0.1991	1.99%	98.17%
最大风速	0.1656	1.65%	99.82%
最大风向	0.0178	0.18%	100%

可以看出，前 3 个因素的累计贡献率已经接近 65%，所以确定生成分为风速、气压、地表温度。

则

$$F_i = (X_1, X_2, \dots, X_n)(a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni})^T = \\ X(a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni})^T,$$

垂直条件可写成

$$F_i^T \cdot F_j = (a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni}) \cdot$$

$$X^T X(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj})^T.$$

记 $R = X^T X$ ，可以证明， R 就是原始数据各指标的相关系数矩阵，记为

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{pmatrix}.$$

其中 $r_{11} = r_{22} = \dots = r_{nn} = 1$ ，且 R 是一个对称矩阵。

本文根据标准化后的数据，使用 SPSS10.0 计算得到 10 阶相关系数矩阵为：

由于第一主成分（风速）的贡献率较高，所以风速在沙尘暴的成因中占有举足轻重的地位，在沙尘暴的预报与监测过程中，应密切注意对大风天气的预报与监控。

沙尘暴是特定的气象因素和地理条件相结合的产物。沙尘暴形成的基本条件：一是大风，二是地表上裸露的沙尘物质，三是不稳定的空气。三者同步出现，方能产生沙尘暴，而在这三个基本条件中强风是起沙尘的动力，是沙尘暴形成的决定因素。

第二主成分（气压）的贡献率显然低于第一主成分，也就是说它所代表的意义不及第一主成分重要，但是比率仍较高，亦有必要进行分析。

强冷空气入侵（即冷锋过境）时，穿越锋面的次级环流促使锋前动力强烈上升，锋后动力下传，因此导致锋前后的强变压梯度产生变压风，这是造成近地面大风的直接原因^[1]。同时，强冷空气过境，使得气压梯度增大，从而造成空气的不稳定，

为沙尘暴的形成创造了推波助澜的条件.

第三主成分(地表温度)也是影响沙尘暴形成的主要因素之一.一般来说,沙漠地带的风沙线上,植被稀少,裸露的地表升温回暖非常迅速,只要连续几天是晴天,地面气温将升高很多,若遇上强冷空气过境,就具备了空气不稳定的热力条件.

对这3个主成分的分析已经基本说明了沙尘暴形成的气象条件.至于排在以后的主成分,其贡献率都较低,它们所反应的规律性不明显,分析价值不大.

4 结束语

以上对沙尘暴成因的各种气象因素所作的定量

分析,在沙尘暴的预报和监测中具有重要的实际意义.通过主成分分析,指出了沙尘暴形成的3个主要因素是风速、气压和地表温度,只要把握这3个主要方面,就基本能够正确地预报、认识、评价每一次沙尘暴.

参考文献:

- [1] 徐克学.数量分类学[M].北京:科学出版社,1994. 133—140.
- [2] Seber G A F. Linear Regression Analysis[M]. New York: John Wiley & Sons, 1977. 52—62.
- [3] 夏训诚,杨根生,黄兆华,等.中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M].北京:中国环境科学出版社,1996.

(责任编辑 马宇鸿)

(上接第24页)

由于 M_2 是 M_1/X -内射的,所以存在同态 $h: M_1/X \rightarrow M_2$, 使下图交换:

$$\begin{array}{ccccc} 0 & \longrightarrow & A/\text{Ker } f & \xrightarrow{\alpha} & M_1/X \\ & & \downarrow \bar{f} & \nearrow h & \\ & & M_2 & & \end{array}$$

令 $g: M_1 \rightarrow M_2$, $g(m) = h(m + X)$. 由于 h 是同态映射,易得 g 是同态映射. 对任意 $a \in A$, $g(a) = h(a + X) = ha(a + \text{Ker } f) = \bar{f}(a + \text{Ker } f) = f(a)$, 所以图

$$\begin{array}{ccc} 0 & \longrightarrow & A \\ & & \downarrow f \\ & & M_1 \\ & & \nearrow g \\ & & M_2 \end{array}$$

可交换.因此 M_2 是广义基本 M_1 -内射.

若 $\text{Ker } f$ 是 M_1 的广义基本子模,则由已知条件(i),可得 M_2 是 $M_1/\text{Ker } f$ -内射的,且总存在同态 $h_1: M_1/\text{Ker } f \rightarrow M_2$,使下图交换:

$$\begin{array}{ccccc} 0 & \longrightarrow & A/\text{Ker } f & \longrightarrow & M_1/\text{Ker } f \\ & & \downarrow \bar{f} & \nearrow h_1 & \\ & & M_2 & & \end{array}$$

令 $g: M_1 \rightarrow M_2$, $g(m) = h_1(m + \text{Ker } f)$. 由于 h_1 是同态映射,易得 g 是同态映射. 对任意 $a \in A$, $g(a) = h_1(a + \text{Ker } f) = \bar{f}(a + \text{Ker } f) = f(a)$, 所以图

$$\begin{array}{ccc} 0 & \longrightarrow & A \\ & & \downarrow f \\ & & M_1 \\ & & \nearrow g \\ & & M_2 \end{array}$$

交换.因此 M_2 是广义基本 M_1 -内射.】

衷心感谢刘仲奎教授对本文的指导!

参考文献:

- [1] Zhou Y. Decomposing modules into direct sums of submodules with types[J]. *J Pure Appl Alg*, 1999, 138: 83—97.
- [2] Dung N V, Huynh D V, Smith P F, et al. Extending Modules[M]. Pitman Research Notes in Math 313. Harlow: Longman Sci and Tech, 1994.

(责任编辑 马宇鸿)