

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 2 600 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

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

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:

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

离差平方和:

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

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

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

收稿日期: 2003-05-09; 修改稿收到日期: 2003-09-01

作者简介: 马国顺(1964—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 硕士. 主要研究方向为风险投资及经济量化.

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,

则

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

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

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

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:

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

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%, 所以确定主成分为风速、气压、地表温度.

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:

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

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 $a \in A$, $g(a) = h(a + X) = h(a + \text{Ker}f) = \bar{f}(a + \text{Ker}f) = \bar{f}(a)$, 所以图

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

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:

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

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 $a \in A$, $g(a) = h_1(a + \text{Ker}f) = \bar{f}(a + \text{Ker}f) = \bar{f}(a)$, 所以图

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

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 Reserch Notes in Math* 313. Harlow: Longman Sci and Tech, 1994.

(责任编辑 马宇鸿)