

· 工作研究 ·

## 内蒙古地区沙尘天气频率及其影响因素分析

李 栋 李建平 许 莹  
(华北油田公司二连分公司,内蒙古 012600)

**摘要:** 基于内蒙古中西部地区 45 年(1961~2005 年)的气象资料、沙尘暴资料,讨论内蒙古中西部地区沙尘暴频率变化趋势和气候动力因子对沙尘暴频率的影响。利用风速、降水量、蒸发量、相对湿度、大风日数等基本气象资料,建立新的影响沙尘天气的气候影响指数 D 模型,该模型不仅考虑影响沙尘暴的动力条件,而且也把影响沙尘暴发生的下垫面稳定情况纳入模型,所模拟的结果更趋近于现实。对各气象站计算的结果显示,气候影响指数 D 模型与沙尘天气频率有很好的线性关系,这种线性关系具有明显的区域特征。

**关键词:** 沙尘天气;气象因子;风速;相对湿度;气候影响指数

**中图分类号:** 文献标识码:A 文章编号:1007-0370(2010)04-0035-04

## SAND - DUST EVENTS FREQUENCY AND INFLUENCING FACTORS IN INNER MONGOLIA

LI Dong LI Jianping XU Ying  
(Erenhot Branch of Huabei Oilfield Company, Inner Mongolia 012600)

**Abstract:** By analyzing the 45 years (1961 ~ 2005) of meteorological data and Sandstorm information of central and western regions of Inner Mongolia, this article discuss the tendency of dust storm frequency and the influence of climate power factor of central and western regions of Inner Mongolia, making use of wind speed, precipitation, evaporation, relative humidity, days of strong wind, and other basic meteorological data to set up a new model of climate index D, which is affecting of sandstorm. A new climate impact index D model, which not only considered the impact of dynamic conditions of the sandstorm, but also considered the underlying conditions which impact the Occurrence of sandstorms. And put the underlying conditions into the model, so the simulation results more close to reality. The results of calculation in all weather situations show that the climate impact index D model and the dust weather frequency has a good linear relationship, this linear relationship has obvious regional characteristics.

**Key words:** dust weather; meteorological factors; wind velocity; relative humidity; climate impact index

### 前言

沙尘暴是在强烈气流运动下由地表风蚀所产生 的细颗粒物质的较大尺度的运移过程。它是一种重要的环境问题和自然灾害,是土地沙漠化程度的重

收稿日期:2010-07-22

作者简介:李栋(1964-),工程师,现任华北油田公司二连分公司副经理,主管安全环保工作。

要指标,沙尘暴的发生一般需要强劲的风力、丰富的沙尘源和不稳定的空气层结3个条件。其中,裸露地表富含松散、干燥的沙尘是沙尘暴形成的物质基础;足够强劲、持久的风力和不稳定的空气层是沙尘暴形成的必要气象动力和热力条件。此外还有一些常规气象因子(如风速、相对湿度、降雨量、相对湿度、蒸发量等)成为量化和评价沙尘天气的主要指标。

对于常规气象因子与沙尘天气之间的关系研究,许多学者用相关分析方法已得出一些有益的结论。全林生等指出沙尘天气频率与冬春季气温存在显著的负相关。刘泉等认为前一年夏秋降水量与春季沙尘天气发生的频次在年际变化上呈现较为明显的反相关关系。王耀庭等指出沙尘暴爆发前的天气受到均压场的控制,呈现双层逆温结构,相对湿度较大;沙尘暴爆发后受高压前部的西北气流控制,相对湿度大幅度下降,空气干燥度从地面到高空基本一致。翟盘茂等认为大风和相对湿度是影响沙尘天气形成的主要气象因子。赵景波等认为温度和降水对沙尘天气有重要影响。

以上学者的研究表明,用相关分析法可以得到各气象因子之间的相关关系,但不能确定它们之间的数量关系,许多学者给出了一些量化沙尘天气的气象指标,如贺大良等从风速值出发,提出了表示风沙活动强度的指标;张冬斌等提出了用能见度和风速构造沙尘指数;全林生等在春季气旋、冬季月平均温度的基础上建立了沙尘指数;申彦波等也采用能见度原理构造了沙尘浓度指数。因内蒙古沙源较丰富,气候条件在很大程度上决定了沙尘天气的发生,要量化研究沙尘天气的发生规律,需要确定出各气象因子与沙尘天气频率间的数量关系,但因各种气象因子之间有着错综复杂的交互作用,这种量化研究成为沙尘天气研究领域的一个难点。通过分析影响沙尘天气的关键气象因子,并用它们建立了一个相对综合的气候影响指数,无疑为这方面的研究提供了帮助。

初步分析发现,该指数与沙尘天气频率有着较一致的周期和数量关系,成为量化分析沙尘天气的一个较好指标。利用风速、降水量、蒸发量、相对湿度、大风日数基本气象资料,提出了新的风速影响指数和土壤湿润指数指标,并建立了新的影响沙尘天气的气候影响指数D模型,该模型不仅考虑影响沙

尘暴的动力条件,而且也把影响沙尘暴发生的下垫面稳定情况纳入模型,所模拟的结果更趋近于现实。本文以D模型为基础,尝试改进沙尘暴的气候影响指数模型,并将新模型应用于内蒙古地区以检验之。

## 1 资料来源

本研究所用资料包括:包括月平均风速(m/s)、月平均大风日数(d)、月平均温度(℃)、月均降水量(mm)、月蒸发量(mm)、月平均相对湿度(%)以及沙尘暴月发生日数(d)都由内蒙古各气象站提供,站点的资料时段为1961年1月1日~2005年12月31日通过以上各式分别计算各站各月气候影响指数,并汇总为内蒙古地区各月的气候影响指数。文中用到的沙尘天气频率由沙尘天气发生日数统计,其中对于同一天中同时有2种或2种以上沙尘天气记录的,沙尘天气频率记作1,即同一天出现了沙尘暴、扬沙和浮尘三种沙尘天气发生。

## 2 模型的建立

### 2.1 气候影响指数D

修正后的气候影响指数计算如下:

$$D = W^{\alpha} \cdot P^{\beta} \quad (1)$$

其中, $\alpha$ 、 $\beta$ 均为大于零的经验系数,取值根据具体情况而定。

$$W = \frac{\bar{v}}{v_i} \cdot d_v \quad (2)$$

其中, $\bar{v}$ 表示各月的平均风速;

$v_i$ 表示起沙风速;

$d_v$ 表示相应月份大风日发生率。

$$Imod = F_T \cdot F_B \quad (3)$$

$$F_T = 12 / (T_m + 10) \quad (4)$$

$$F_B = bP_m - aE_m \quad (5)$$

式中:

$F_T$ 、 $F_B$ 分别代表温度和水分平衡因素;

$T_m$ 是月平均温度, $P_m$ 是月降水量, $E_m$ 是月蒸发量;

$a$ 、 $b$ 是由自然地理条件决定的系数。

### 2.2 气候影响指数D模型的比较分析

风速影响指数W是一个无量纲指数,其中的起沙风速 $v'$ 是诱使沙尘飞扬的关键因子,在一定程度上也反映了下垫面温度和大气层结稳定性;而平均

风速和大风则影响飞扬沙尘传播和运送的距离以及沙尘影响的持续性。因此,该指数很好地刻画了沙尘暴发生的动力因素。

干燥指数  $I$  主要由 de Maitonne 的干燥度  $IdM$  决定。de Maitonne 的干燥度  $IdM$  计算简单,指标明确,与植被和水分对应性强,体现的生态学意义明确,适合于大范围的干燥度指数的计算,在我国的实际应用中看出,对我国的西北地区有较好的利用价值。Botzan<sup>[6]</sup>考虑了水分的盈亏,对  $IdM$  的计算进行了修改,计算公式如下:

$$\begin{aligned} Imod &= F_T \cdot F_B \\ F_T &= 12 / (T_m + 10) \\ F_B &= a \cdot P_m + b \cdot IR_m + c \cdot INF_m - d \cdot \\ &\quad ET_m - e \cdot D_m - f \cdot RO_m \end{aligned} \quad (6)$$

式中:  $F_T$ ,  $F_B$  分别为温度和水分平衡因素;  $T_m$  是月平均温度;  $P_m$  是月降水量;  $IR_m$  是农业灌溉量,  $INF_m$  是地面表层以下水分的流入量;  $ET_m$  是潜在蒸发量,  $D_m$  是地表层以下的排水量;  $RO_m$  是径流量;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$  是由自然地理条件决定的系数。由于考虑了水分平衡模式, Botzan 认为该式可被应用于不同的景观区域。考虑到该计算方法中许多参数在大部分的气象站不易获得,因此,只考虑月降水量  $P_m$  和月蒸发量  $E_m$  对于区域水分平衡的影响。即(6)式简化如下:

$$F_B = bP_m - aE_m$$

综上所述,新的沙尘暴气候影响指数模型  $D = W^\alpha \cdot I^\beta$  构建完成,分别由(1)、(4)和(5)式来计算相关参数。其中,  $D$  随  $W$  的增加而影响加大,通过  $\alpha$  表达两者呈正相关关系;  $D$  随  $I$  的增加而增大,  $\beta$  同样表达了两者的正相关关系。

### 3 模型的应用

选取内蒙古各气象台站 1961 - 2005 年的气象资料,包括月平均风速、月平均大风发生日数、月平均温度、月均降水量、月蒸发量以及沙尘暴月发生日数,通过(1)、(4)、(5)式和  $D$  分别计算各站各月气候影响指数,并汇总为内蒙古自治区各月的气候影响指数。

#### 3.1 气候影响指数与沙尘暴发生日数的特征

(1)式中的  $v$  取  $5 \text{ m} \cdot \text{s}$ , (5)式中的  $a$ 、 $b$  都取 1,  $D$  中的  $\alpha$  和  $\beta$  也均为 1。内蒙古自治区各月气候

影响指数  $D$  和沙尘暴发生日数  $S$  如图所示。  $D$  值和  $S$  值的变化过程,大致可以分为 4 个阶段:

3.1.1 快速上升阶段 随着  $D$  值的急速升高,  $S$  值表现出一致的趋势,沙尘暴频率逐渐增加,且  $D$  值和  $S$  值在该阶段结束时达到最高值,大多出现在 4 月,沙尘暴发生日数达 1 ~ 3d。其间  $D$  值和  $S$  值大多保持较高的数值,  $D$  值 1 月在内蒙古为负值。

3.1.2 急速下降阶段  $D$  值在第一阶段达到最高值后,急速下降,并在 7 ~ 8 月达到较低值,此后  $D$  值变化和缓。  $S$  值的变化与之完全相同,且 7 月前和  $D$  值一样具有较高的数值。

3.1.3 稳定阶段(8 ~ 10 月) 该阶段尽管  $D$  值和  $S$  值依然在降低,但变化幅度很小,总体呈稳定趋势,沙尘暴发生日数远远小于 0.5。

3.1.4 波动阶段 此时,各地存在差异,但各自的  $D$  值和  $S$  值大致保持一致的变化趋势。  $D$  值波动中下降,  $S$  值的变化与  $D$  值大体相同。总体上,  $D$  值极好地反映了沙尘暴发生日数  $S$  值的变化,是其中一个较好的替代指标。

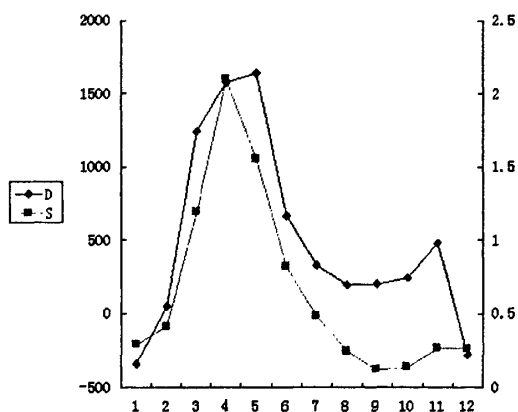


图 1 各月气候影响指数和沙尘暴日数

Fig. 1 Monthly climate index and dust storm frequency

#### 3.2 气候影响指数与沙尘暴发生日数的关系

将  $D$  值和  $S$  值进行回归分析,二者有较好的相关性,内蒙古自治区气候影响指数与沙尘暴发生日数的关系如图 2 所示。  $S$  值和  $D$  值相关性较好,两者的关系式为一元二次多项式即  $S = 5E - 07D^2 + 0.0001D + 0.2474$ ,  $R^2 = 0.9081$ 。决定系数  $R^2$  大于 0.90,表明  $S$  值和  $D$  值具有很好的相关性。

#### 3.3 模型的检验

利用内蒙古自治区 1961 ~ 2005 年的气象资料,

根据图2中拟合的公式:  $S = 5E - 07D^2 + 0.0001D + 0.2474$ ,  $R^2 = 0.9081$  计算出1961~2005年沙尘暴天气日数。将模拟的沙尘暴天气日数与实际的沙尘暴天气日数作比较如图3。从图中可以看出,模拟效果较好,尤其是在沙尘暴高发期,预测值和实际值比较接近,表明所建立的模型模拟效果较好。

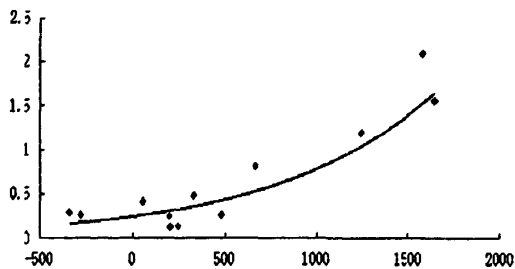


图2 沙尘暴日数和气候影响指数的关系

Fig. 2 Relation between dust storm frequency and climate index

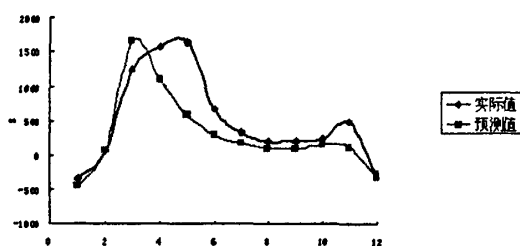


图3 各月沙尘暴日数的预测值与实际值

Fig. 3 Comparison of predictive and actual values of monthly dust storm frequency

#### 4 结论与讨论

在前人的沙尘天气模型基础上,重点将邱玉珊等人所建立的模型进行了改进,强调在内蒙古地区利用月均温度、月降水量、月蒸发量综合考虑地区水分均衡来计算干燥指数,并与大风日数和月均风速计算的风速影响指数共同建立新的沙尘暴气候影响指数模型。该模型实际应用于内蒙古地区,回归分析表明,气候影响指数D和沙尘暴日数S之间具有

良好的相关性,内蒙古地区以非线性函数为特征。选取1961~2005年以内蒙古地区气象资料计算的沙尘暴日数与实际值作比较,发现模型在揭示气候影响因子对沙尘暴影响作用方面,效果较为显著。鉴于没有考虑下垫面状况、空气湿度、土壤湿度以及太阳辐射的影响,在个别月份出现了D和S变化趋势不一致、函数拟合效果不佳等情况。内蒙古地区处在干旱、半干旱陆-气相互作用背景下,其独特的性质决定了沙尘天气的数值模拟要综合考虑多层次的因素,这将是以后工作中迫切需要解决的,如上述4方面以及起沙系数等。

#### 参考文献

- [1] 邱玉珊,牛生杰等. 沙尘天气频率与相关气象因子的关系[J]. 高原气象, 2008, 27(3): 637-638.
- [2] 陶健红. 西北地区沙尘天气的时空特征及影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 332-333.
- [3] 李智勇. 西北地区气候因素对沙尘暴影响的模型研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 415-418.
- [4] 邱玉珊,邹学勇. 气候因素对沙尘天气影响的模型研究[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 35-40.
- [5] 达布希拉图,赵春生. 气候因子对内蒙古沙尘暴频率的影响[J]. 大气科学, 2004, 28(6): 829-833.
- [6] Botzan T M, Marino M A, Necula A I. Modified De Martonne aridity index: application to the Napa basin, California [J]. Physical Geography, 1998, 19: 55-70.
- [7] 刘景涛,郑明倩. 华北北部特强沙尘暴的气候特征[J]. 气象, 1998, 24(2): 39-44.
- [8] 全林生,时少英,朱亚芬,等. 中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 477-485.
- [9] 张冬斌,尚可政,王式功,等. 沙尘天气的定量化指数及其应用[J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 58-62.
- [10] 丁瑞强,王式功. 近45a我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 306-310.