

# 2008 年 第一届“数学中国杯” 数学建模网络挑战赛

题 目      沙尘暴与各项气象指标的关系分析  
关 键 词   聚类分析 遥感反演法 沙尘指数 非线性映射分析  
摘            要：

沙尘暴日益成为影响我国西北发展的突出问题，本文仅就 45 年来西北地区一些气象观测站点的气象数据进行建模分析，探讨影响沙尘暴产生的各个气候因素之间的关系及其预测问题。

对于问题一，该问题为一个统计分析问题，我们随机选取了一个观测站点 45 年的观测数据，通过宏观分析，得出该地区的年沙尘暴发生天数的整体趋势，及各个气候因素与其的定性关系。再对其进行微观分析，利用 SPSS 软件，对数据进行聚类分析，建立分类模型，得到各个气候因素与沙尘暴发生天数的定量关系，同时对聚类分析的过程进行分析，采用非线性映射分析法优化模型，该模型分对率达到了 82.6%。

对于问题二，由于沙尘天气的气象等级与能见度和风速有关，我们采用遥感反演法测定沙尘暴的强度指数，通过数据拟合得到沙尘指数公式，将代入气象数据所得函数值与对照表进行比较，评估沙尘天气气象等级。对于近期沙尘暴风险值的预测，基本思路是：采用自组织神经网络对数据样本进行聚类，用模糊神经网络综合建模反映样本的一般性规律，用非典型样本进行建模反映建模样本的特殊性，设计隶属度调整方案对一般性和特殊性进行协调，提高模型的精度。但由于时间有限，未进行深入分析。

最后本文还对模型的优缺点进行了客观的评价。

参赛队号   1102

所选题目   C 题

参赛密码 <u>                    </u> (由组委会填写)
--

报名号 1102

## 一、问题重述与分析

### 1.1 问题重述

沙尘暴是一种灾害性天气，近年来频繁发生，对环境和人们的生产、生活都造成了影响甚至危害。对沙尘暴的发生条件需要加以研究，以便人们进行有效的预测和预防。请为沙尘暴的发生建立数学模型，具体问题如下：

问题一：对沙尘暴的发生次数进行分析，建立相应的数学模型，使人们可以根据相关气象数据的监测结果，估计出沙尘暴在某地区某段时间内发生的次数。

问题二：评估沙尘天气气象等级，预测在近期内观测站所在地发生沙尘暴的风险，并在高风险时发出警报信息。

### 1.2 问题分析

#### 1.2.1 问题一

##### 1.2.1.1 对月沙尘暴发生天数进行宏观分析

由于不同地区的气候环境不同，各个因素对沙尘暴的产生影响也不同，故可任意选取某个站点的观测数据，通过统计绘图，判断该站所在地区的沙尘暴月发生天数的整体走向。

##### 1.2.1.2 对月沙尘暴发生天数进行微观分析

宏观分析只能对问题进行模糊的判断，若要对月沙尘暴发生天数进行估计，必须研究各个气象因素与它的关系。问题中涉及到多个变量，为一个多元统计分析的问题，通过聚类分析法，确定各个因素与沙尘暴发生函数关系，从而能根据所得气象数据对月沙尘暴发生天数进行估计。

#### 1.2.2 问题二

##### 1.2.2.1 沙尘天气气象等级划分：

沙尘天气气象等级与能见度和风速有关，问题的关键在于如何建立沙尘指数与能见度和风速的关系，而能见度与沙尘强度指数有关，且受散射辐射量的影响，最终将沙尘天气气象等级的划分转化为沙尘指数与各个气候因素的关系。

##### 1.2.2.2 预测沙尘暴的风险：

对于未来沙尘暴的风险预测，可采用自组织神经网络对数据样本进行聚类，构建出由大规模阵列式数据格式来表示的建模样本的低维特征，再用模糊神经网络综合建模样本的一般性规律，用非典型样本进行建模以反映建模样本的特殊性，并设计隶属度调整方案对一般性和特殊性进行协调，由此形成兼顾建模样本一般性和特殊性的双预报模型，增加模型的可信度。

## 二、问题假设

1. 沙尘颗粒呈球形。
2. 颗粒群有尺寸的差别，按固定尺寸分组，不同尺寸分为不同的相，其温度和物质密度相等，即  $T_{p_1} = T_{p_2} = \cdots = T_{p_n}$ ,  $\rho_{p_1} = \rho_{p_2} = \cdots = \rho_{p_n}$ 。
3. 所有颗粒相的时均速等于当地流体的相时均速，都等于混合相的时均速，即  $v_p = v_g = v_m$ 。
4. 颗粒相作为有湍流扩散的连续介质，扩散系数相等，即

## 报名号 1102

$$D_{p_1} = D_{p_2} = \cdots = D_{p_n} = D_{p_g}.$$

5. 颗粒已被悬浮起来做不沉积的运动.
6. 颗粒相与流体相的阻力不计.

## 三、符号说明

$ETP_i$	第 <i>i</i> 月的蒸发量
$T_i$	第 <i>i</i> 月平均温度
$P_i$	第 <i>i</i> 月平均降雨量
$RH_i$	第 <i>i</i> 月平均相对湿度
$u_i$	第 <i>i</i> 月平均风速
$n_i$	聚类分析中第 <i>i</i> 类的特征值
$d_i$	第 <i>i</i> 月大风日数
$S_i$	第 <i>i</i> 月散射量
$I_{csd}$	可比沙尘强度指数
$I_{DDI}$	沙尘指数
$R_{1.6}$	可见光 1.6 μm 波段测得的反射率
$T_{11}$	11 μm 波段红外亮温
$T_{12}$	12 μm 波段红外亮温
$\alpha$ 、 $\beta$	调节因子
$V$	能见度
$\rho$	颗粒物单位体积内所占的质量
$\rho_p$	颗粒密度
$T_{p_i}$	颗粒温度
$D_p$	扩散系数
$v_i$	相的时均速
$u_r$	颗粒被加速的相对速度
$U_{go}$	气流运动速度
$C_D$	雷诺数 Re 的有关函数
$\mu$	气体的动力粘性系数
$F_R$	气流的曳引阻力

## 四、模型建立与求解

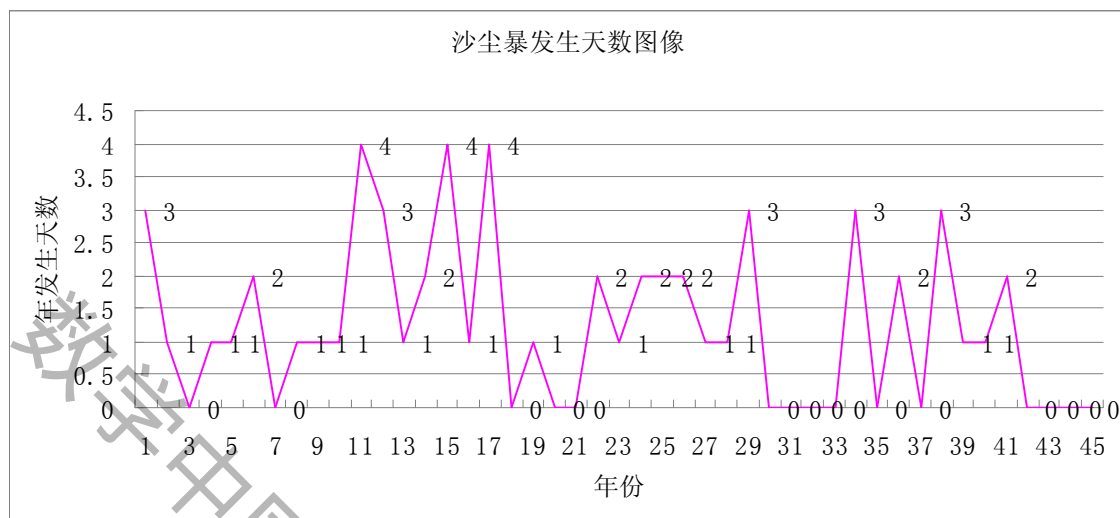
### 4.1 问题一：

因为不同地区的地理气候条件不同, 导致各个因素对沙尘暴的产生影响程度不同, 但作用的原理一致, 故我们任取一个观测站点 45 年来的观测数据进行研究.

#### 4.1.1 宏观分析：

## 报名号 1102

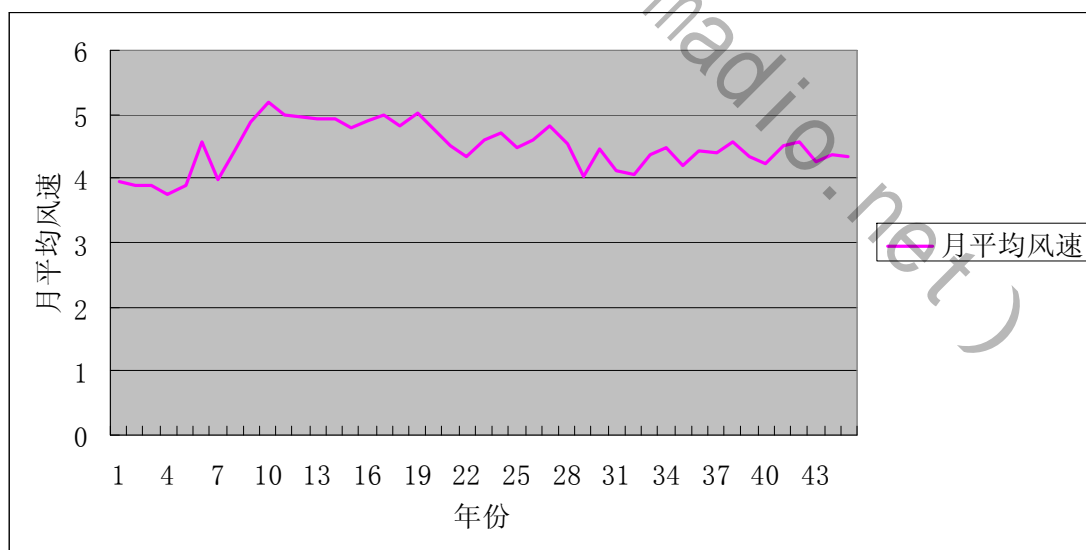
对 52323 号观测站点所在地区 45 年来沙尘暴发生的整体趋势进行分析，软件统计每年沙尘暴发生的天数，绘出图形，如图 1 所示：



图一

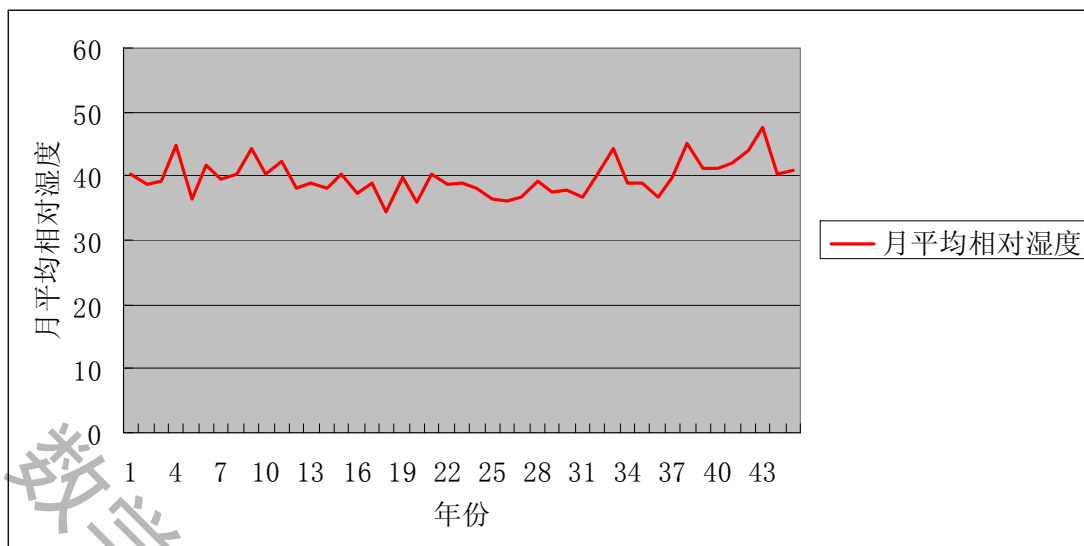
通过图一中折线的走向，可以看出，该地区在 60~70 年代年沙尘暴发生天数，呈下降趋势，20 世纪 70~80 年代沙尘暴活动频繁，80 年代至 90 年代初沙尘暴频数基本保持稳定，90 年代 20 世纪末沙尘暴在波动中回升，直至 21 世纪初，沙尘暴天数数较少。总体上，该地区沙尘暴天数是呈下降趋势的。

对该地区沙尘暴日数不断变化的原因，我们可以通过该地区 45 年每月各项因素的变化来定性分析。45 年来该地区的各个因素的大致走向如下图所示：

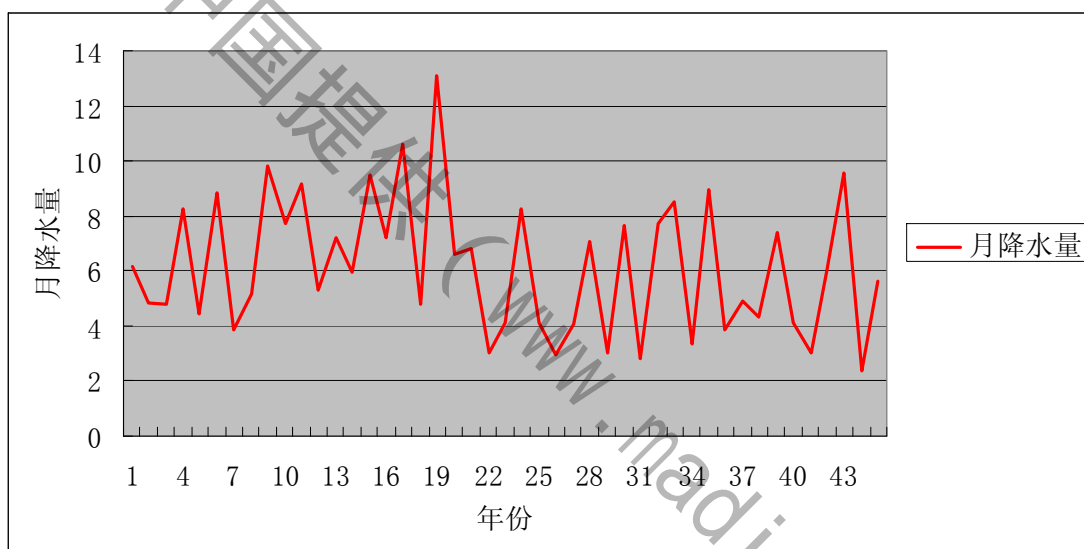


图二

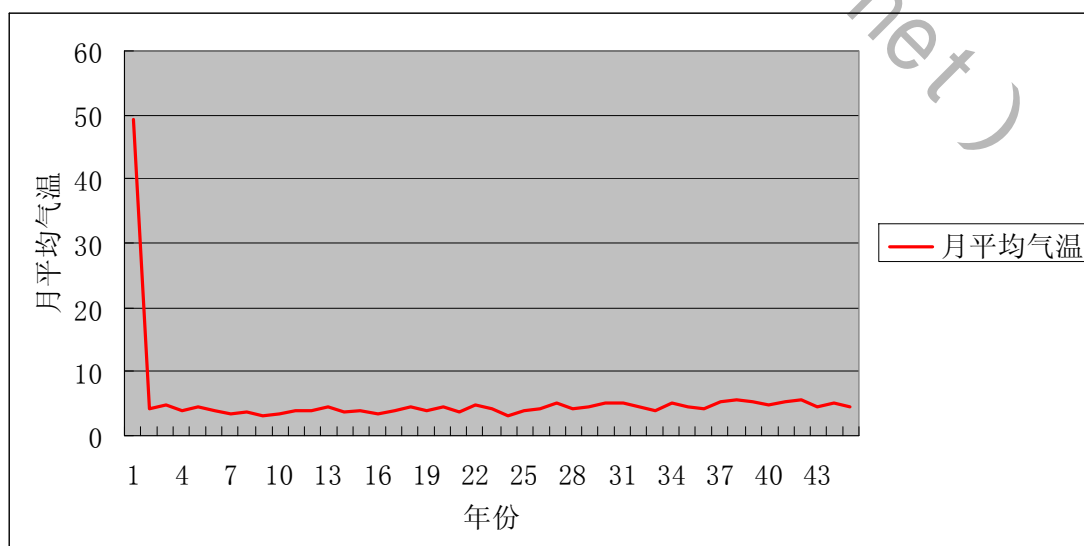
报名号 1102



图三



图四



## 报名号 1102

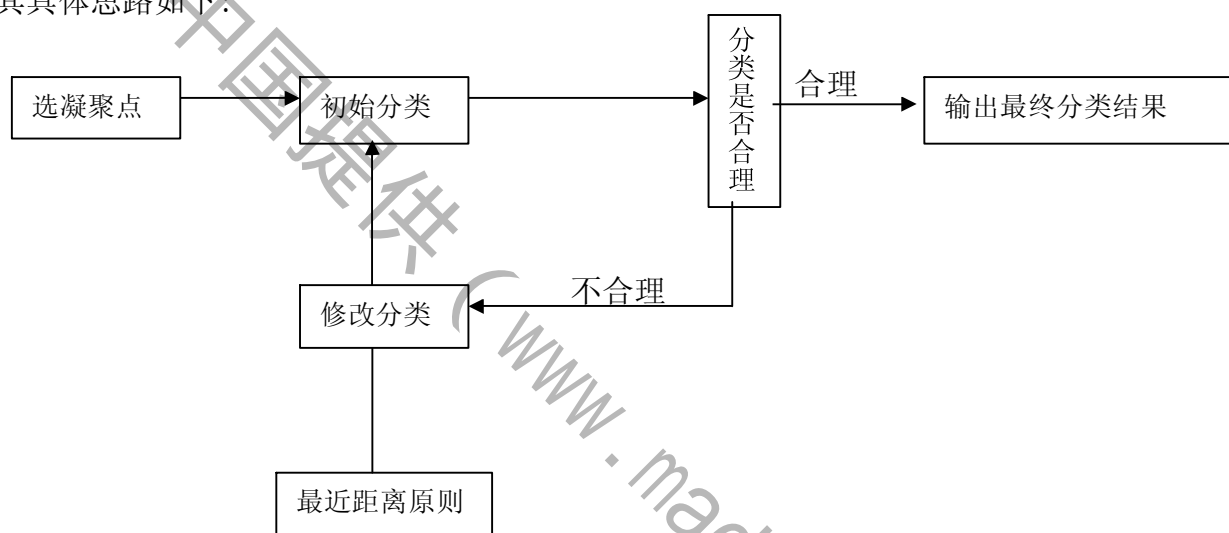
## 图五

将图二、三、四、五与图一进行比较,图二、图四与图一地走向相似,即月平均风速和月降水量对沙尘暴发生的影响较为密切,但不能具体确定其他因素对其的影响大小,通过宏观分析只能定性的分析各个因素之间的关系,并不能确定各个因素对沙尘暴的产生的作用程度,故我们需要通过微观分析,量化它们之间的关系,以便较准确估计沙尘暴月发生天数.

#### 4.1.2 微观分析

对历年沙尘暴发生天数的宏观分析,只能从总体上反映每年沙尘暴发生天数的大致趋势,而不能对产生这种趋势的原因做出很好的解释,也不能根据某月相关气象数据较准确地对该月沙尘暴发生次数进行估计.在此我们通过对各个因素与沙尘暴发生之间的关系进行定量分析,以52323号观测站点为例,利用SPSS软件对其历年数据进行动态聚类分析.

其具体思路如下:



将气象数据中七个变量引入聚类分析,由于52323号观测站点所在地区月沙尘暴历年发生天数在0~3天范围内,故我们按照沙尘暴月发生天数的种类进行分类.

通过分析得到了七个变量之间的关系,其系数如下表所示:

表1 有关判别函数的输出

	沙尘暴天数			
	0	1	2	3
月	-.238	-.250	-.332	-.410
月平均风速	16.774	17.797	19.366	19.400
大风日数	1.489	1.556	2.083	3.101
月平均气温	.436	.311	.389	.588
月降水量	-.463	-.481	-.532	-.585
月蒸发量	.039	.048	.045	.033
月相对湿度	1.459	1.412	1.414	1.484
常数	-74.330	-79.474	-89.264	-94.570

将其转化为判别函数即为:

### 报名号 1102

$$\begin{cases} n_0 = -0.238m_i + 16.774u_i + 1.489d_i + 0.436T_i - 0.463P_i + 0.039ETP_i + 1.459RH_i - 74.330 \\ n_1 = -0.250m_i + 17.797u_i + 1.556d_i + 0.311T_i - 0.481P_i + 0.048ETP_i + 1.412RH_i - 79.474 \\ n_2 = -0.332m_i + 19.366u_i + 2.083d_i + 0.389T_i - 0.532P_i + 0.045ETP_i + 1.414RH_i - 89.264 \\ n_3 = -0.410m_i + 19.400u_i + 3.101d_i + 0.588T_i - 0.585P_i + 0.033ETP_i + 1.484RH_i - 94.570 \end{cases}$$

函数式组所表征的意义：

四个函数式将该站所观测气象数据分为四类，即分别为月沙尘暴发生 $i(i=0,1,2,3)$ 天这四类，将该观测站的气象数据代入函数式组，比较各个函数式值的大小，当 $n_i$ 最大时，表示这组数据表征 $i$ 类的特征值最大，即该气象数据属于第 $i$ 类。

为检验其分类的正确性，将该站点历年气象数据代入上式，利用SPSS软件进行验证，得到其分析结果如下表所示：

表2  
聚类分析验证结果<sup>a</sup>

沙尘暴天数			Predicted Group Membership				Total
			0	1	2	3	
Original Count	0		203	55	6	17	281
	1		3	6	0	2	11
	2		0	2	1	3	6
	3		0	0	0	1	1
	Ungrouped cases		6600	0	0	0	6600
%	0		72.2	19.6	2.1	6.0	100.0
	1		27.3	54.5	.0	18.2	100.0
	2		.0	33.3	16.7	50.0	100.0
	3		.0	.0	.0	100.0	100.0
	Ungrouped cases		100.0	.0	.0	.0	100.0

a. 70.6% of original grouped cases correctly classified.

由表2可知，该模式下，对月沙尘暴天数为0天的数据的分对率为72.2%，月沙尘暴天数为1天的数据的分对率为54.5%，月沙尘暴天数为2天的数据的分对率为16.7%，月沙尘暴天数为3天的数据的分对率为100%，总体上对气象数据的聚类分析正确率达到了70.6%。

#### 4.1.3 模型误差分析

由于模型一是通过线性加权的方法对该气象数据进行聚类分析，气象数据的分错率较大，达到29.4%，对于模型中的这个问题，我们分析数据中7个变量的线性相关性。

利用SPSS软件，通过分析得出各个因素之间的相互关系矩阵，如下表所示：

表3

报名号 1102

Correlation Matrix

	月	月平均风速	大风日数	月平均气温	月降水量	月蒸发量	月相对湿度
Correlation 月	1.000	-.032	-.200	.157	.056	.054	.157
月平均风速	-.032	1.000	.430	.025	-.094	.128	-.229
大风日数	-.200	.430	1.000	.141	.099	.243	-.298
月平均气温	.157	.025	.141	1.000	.493	.913	-.628
月降水量	.056	-.094	.099	.493	1.000	.390	.023
月蒸发量	.054	.128	.243	.913	.390	1.000	-.674
月相对湿度	.157	-.229	-.298	-.628	.023	-.674	1.000

当两个因素的相关性接近±1时，表示两个因素的线性相关性越好，但分析可知因素间相关性接近±1的较少，故模型一中，通过线性估计进行聚类分析，是导致误差较大的原因。

4.1.4 模型改进

根据 Chepil 提出的气候因子概念，认为气候条件决定年均土壤的损失量，气候因子受表面土颗粒含水量和平均风速的影响，其中风速项是基于土壤的可蚀性，并随 Thornthwaite 指数变化的土壤近表层当量含水量的平方成反比. 随后联合国粮油组织将 Chepil 公式做了修改得到气候因子：

$$C=\frac{1}{100}\sum_{i=1}^{12}u_i^3\left[\frac{ETP_i-P_i}{ETP_i}\right]d_i$$

由气候因子的公式可知，气候因子与月平均风速非线性. 针对模型一中以多元线性模型进行分类导致的误差，我们通过修正参与聚类的因子来修正模型，对历年月平均风速取立方后再参与聚类分析。

表4

聚类分析验证结果<sup>a</sup>

沙尘暴天数			Predicted Group Membership				Total
			0	1	2	3	
Original	Count	0	217	44	8	12	281
		1	1	7	1	2	11
		2	0	2	2	2	6
		3	0	0	0	1	1
		Ungrouped cases	6600	0	0	0	6600
%		0	77.2	15.7	2.8	4.3	100.0
		1	9.1	63.6	9.1	18.2	100.0
		2	.0	33.3	33.3	33.3	100.0
		3	.0	.0	.0	100.0	100.0
		Ungrouped cases	100.0	.0	.0	.0	100.0

a. 75.6% of original grouped cases correctly classified.

比较两次分析验证结果，可知第二次的总体分对率比第一次增长了5个百分点，达到了75.6%。但由于月沙尘暴发生天数为2天和3天的数据样本点太少，不可避免在分类时，由于一个样本点的错分，导致验证结果正确性有很大的波动. 为减少样本点少对模型精度的影响，我们将与该观测站点相近的站点的历史数据整合，增大样本容量，以提高精度。



## 报名号 1102

### 4.1.5 模型第二次改进：

前面所使用的聚类分析存在以下几个缺点，第一，特定地聚类分析方法，分析结果很大程度上依赖于一系列人为主观地确定的参数，而且没有一个很好的方法评价所得的聚类结果；其次，聚类谱系并不能表达各个样本间的真实关系。

利用非线性映射方法在很大程度上克服了聚类分析的不足。非线性映射通过某种非线性变换，将高维空间的几何图像变换成地位空间的图像，并且变换后仍能近似地保持原来的几何关系。

为了达到上述目的，我们引入非线性映射由高维变换到低维的约束条件：

$$K = \frac{1}{\sum_{i < j} d_{ij}^*} \sum_{i < j} \frac{(d_{ij}^* - d_{ij})^2}{d_{ij}^*} = \frac{1}{nF} \sum_{i < j} w_{ij} (d_{ij}^* - d_{ij})^2$$

其中  $nF = \sum_{i < j} d_{ij}^* = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N d_{ij}^*$ ， $nF$  称为标准化因子， $w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^*}$ ， $w_{ij}$  称为权重系数， $d_{ij}^*$  为

原来空间  $n$  个样本点间的距离， $d_{ij}$  为新空间中  $n$  个样本点的距离， $K$  的含义是使原空间距离与新空间距离之差平方和达到最小时来求得新空间点的几何构形。

选取甘肃省与 52323 号站点相近的 5 个站点的气象数据，对 6 个观测站点每月的数据取平均值，组合成一个新的数据样本，从中提取了 96 组数据，代入分析得到结果如表 5 所示：

表5  
聚类分析验证结果<sup>a</sup>

沙尘暴天数			Predicted Group Membership			Total
			.00	1.00	2.00	
Original Count	.00		71	12	4	87
	1.00		1	7	0	8
	2.00		0	0	1	1
	Ungrouped cases		1	0	0	1
	%		81.6	13.8	4.6	100.0
	.00		81.6	13.8	4.6	100.0
	1.00		12.5	87.5	.0	100.0
	2.00		.0	.0	100.0	100.0
	Ungrouped cases		100.0	.0	.0	100.0

a. 82.3% of original grouped cases correctly classified.

由表5可知，该模式下，对于月沙尘暴天数为0天的数据的分对率为81.6%，月沙尘暴天数为1天的数据的分对率为87.5%，月沙尘暴天数为2天的数据的分对率为100%，总体上对气象数据的聚类分析正确率达到了82.3%，即在该模型下估计的精度较其他两种聚类方法精度高，可利用其对月沙尘暴天数进行估计。

## 4.2问题二

### 4.2.1 沙尘天气气象等级划分

#### 4.2.1.1 沙尘强度指数

根据国家气象局关于沙尘天气气象等级定义，可以将沙尘天气分为4个强度等级，即：能见度小于100m的强沙尘暴、能见度小于1km的沙尘暴、能见度小于10km的扬沙

## 报名号 1102

和浮尘.

由于沙尘暴是由不同大小的沙尘粒子构成的, 其在空中浓度很强时会形成一个密度很厚的沙尘层, 这个沙尘层会强烈地吸收地表和太阳辐射, 同时产生反射、散射, 并向外发射辐射.

因此我们通过分析沙尘暴形成的沙尘层向外发射的辐射量, 建立起与沙尘暴强度的函数模型. 而在现实生活中, 测定沙尘暴强度, 大致可以分为直接观测和遥感反演两种方法, 在此我们应用遥感反演的方法进行测定.

专家通过研究沙尘的光谱分布特征和粒子构成的物理特征表明, 沙尘信息在遥感数据的各波段上均有强弱不同的反映, 因此在沙尘的识别过程中, 必须综合考虑各有关波段的特性.

由于沙尘粒子的分布跨度较大, 观测到的粒子半径  $r$  可以从  $0.1\mu\text{m}$ — $100\mu\text{m}$ , 较强沙尘天气粒子半径分布最大值常在  $5$ — $10\mu\text{m}$  之间. 大气分子与微粒气溶胶对可见光有较强的散射, 成为大气沙尘遥感的干扰因素. 在我们使用的所有遥感数据中, 位于  $3.7\mu\text{m}$  和  $1.6\mu\text{m}$  波段附近的中红外和近红外数据对沙尘信息有最明显反应.

而实际应用中  $1.6\mu\text{m}$  波段仍然受到空间、时间、卫星等方面因素的干扰, 监测结果仍不具可比性, 不能满足多源 (多时次, 多平台) 遥感数据在沙尘暴动态监测中定量分析的要求. 为达此目的, 经专家反复试验, 利用  $1.6\mu\text{m}$  波段特性, 构建了可比沙尘强度指数  $I_{csd}$

即:

$$I_{csd} = \alpha \times (e^{\beta \times R_{1.6}} - 1)$$

其中  $\alpha$  和  $\beta$  为调节因子, 通过查阅相关资料知, 其一般取值分别为  $10$  和  $0.8$ . 且  $R_{1.6}$  与  $I_{csd}$  在各个地区的经验值如下表所示:

表6

	东北地区	华北地区	南疆地区
$R_{1.6}$	0.45	0.72	0.83
$I_{csd}$	0.42	0.41	0.45

由于  $R_{1.6}$  的取值变化非常小, 所以  $I_{csd}$  的值无明显变化, 故可取

$$I_{csd} = 0.42$$

### 4.2.1.2 沙尘指数计算公式

利用可比沙尘强度指数的稳定性, 同时又利用  $11\mu\text{m}$ 、 $12\mu\text{m}$  波段探测值的差值对沙尘信息的敏感性, 结合二者的优点, 最终得到一个可定量描述沙尘暴识别信息和强度信息的沙尘指数, 其计算公式如下:

$$I_{DDI} = I_{csd} \cdot [(T_{12} - 1) / T_{11} - 1] \cdot 100 - 100.$$

沙尘指数的计算结果是一个  $0$ — $100$  之间的无量纲数值, 值越大表示沙尘强度越强. 查阅相关资料得到能见度与沙尘指数对照表.

表7

	正常	浮尘	扬沙	沙尘暴	强沙尘暴	特强沙尘暴
沙尘指数	1-10	11-30	31-50	51-70	71-85	> 90

## 报名号 1102

能见度(km)	≈2.0	2.0-1.5	1.5-1.0	1.0-0.5	0.5-0.1	< 0.1
---------	------	---------	---------	---------	---------	-------

鉴于此，解决沙尘暴的分类的核心问题是求解  $T_{11}$ 、 $T_{12}$

根据联合国粮农组织修改的 Chepil 公式：

气候因子：

$$C = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} u_i^3 \left[ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right] d_i$$

潜在蒸发：

$$ETP_i = \begin{cases} 0.19(20 + T_i)^2(1 - RH_i) & , T_i > -20 \\ 0 & , T_i < -20 \end{cases}$$

当潜在蒸发小于降水时，由于地面不会产生实际的沙尘暴，虽然风蚀的潜在能力依然存在，但可认为风蚀指数为 0

因此可以设

$$T_{11} = k_1 \ln \left\{ u_i^3 \left[ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right] d_i \cdot S_i \right\}$$

$$T_{12} = k_2 \ln \left\{ u_i^3 \left[ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right] d_i \cdot S_i \right\}$$

利用 Lingo 软件，按  $I_{DDI} = T_{csd} \cdot [(T_{12} - 1) / (T_{11} - 1)] \cdot 100 - 100$ ，对一个省的月平均散射辐射量和其他各个气象因子月平均值进行拟合得到  $k_1 = 0.208$ ， $k_2 = 0.4438$ 。

因此，气象数据代入求解出的  $I_{DDI}$  公式中，将所得的函数值与表 7 对比，即可判别天气的气象等级。

### 4.2.2 未来沙尘暴的风险预测

对于未来沙尘暴的风险预测，为了提高沙尘暴预报的准确率，可采用自组织神经网络对数据样本进行聚类，构建出由大规模阵列式数据格式表示的建模样本的低维特征，再用模糊神经网络综合建模样本的一般性规律，用非典型样本进行建模以反映建模样本的特殊性，并设计隶属度调整方案对一般性和特殊性进行协调，由此形成兼顾建模样本一般性和特殊性的双预报模型。但限于时间，对于该问题未作深入研究。

## 五、问题拓展讨论

### 5.1 因风起沙的量化分析

#### 5.1.1 建立动力学方程

对于沙漠地带，由于水资源很缺乏，因此水对沙漠沙尘暴的影响很小。当颗粒的浓度很稀时，颗粒与颗粒之间的相互作用可以忽略，因此可以用单颗粒的运动情况来描述颗粒在管内被输送的特性。通常，在等速流动气流中加入固体颗粒，颗粒被气流所曳引加速，到一定时间  $t$  和一定距离  $L$  后，达到稳定状态。假设颗粒已被悬浮起来做不沉积的运动，即气流速度不小于安全输运速度。因此可以略去重力和升力等垂直方向的作用力对颗粒水平运动的影响，颗粒的加速运动主要是由气流的曳引阻力  $F_R$  所决定。假设气流以等速  $U_{go}$  运动，颗粒是球形颗粒，且直径均为  $d_p$ 。

于是颗粒的加速运动方程为：

报名号 1102

$$\frac{\pi d_p^3}{6} \rho_p \frac{du_p}{dt} = F_R$$

于是有加速度方程

$$F_R = C_D \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot \frac{\rho_g u_r^2}{2} = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_g \frac{du_p}{dt} \quad (1)$$

由于  $C_D = f(\text{Re})$ ,  $\text{Re} = \frac{\rho_p u_r d_p}{\mu}$  是随相对速度  $u_r$  变化的量, 在不同的雷诺区域,  $C_D$  有不同的经验公式

若在方程 (1) 中再考虑贝赛特力的影响, 则方程可变为  $F_R - F_B = C_D \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot \frac{\rho_g u_r^2}{2} = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_g \frac{du_p}{dt}$ , 再采用不同的阻力系数代入颗粒加速运动方程, 则可求出颗粒的加速度运动规律.

### 5.1.2 利用 $Q_{seen}$ 阻尼系数求解

$$Q_{seen} \text{ 阻尼系数 } C_D = \frac{24}{R_e} \left(1 + \frac{3}{16} R_e\right)$$

$$\text{其中雷诺系数 } R_e = \frac{\rho_g \cdot u_r \cdot d_p}{\mu}$$

$$\text{代入可得 } \frac{du_p}{dt} = Au_r^2 + Bu_r \quad (2)$$

$$\text{其中 } A = \frac{3d_p \rho_g}{16\tau_v u}, \quad B = \frac{18u}{\rho_p d_p^2}$$

$$\text{由于 } u_r = U_{g0} - u_p$$

$$\frac{du_r}{dt} = -(Au_r^2 + Bu_r) \quad (3)$$

由 (2) (3) 式可得

$$u_r = \frac{U_{g0} B e^{-Bt}}{AU_{g0}(1 - e^{-Bt}) + B}$$

$$u_p = U_{g0} - \frac{U_{g0} B e^{-Bt}}{AU_{g0}(1 - e^{-Bt}) + B}$$

$$y = 1 - \frac{B e^{-Bt}}{Av_{g0}(1 - e^{-Bt}) + B}$$

$$t = -\tau_p \ln \frac{u_r(v_{g0} + c)}{v_{g0}(u_r + c)}, \quad \text{其中 } c = \frac{16\mu}{3\rho_g d_p}$$

$$L = \int_0^x dx_p = \tau_p v_{g0} \left[ \left(1 + \frac{c}{v_{g0}}\right) \ln \left( \frac{Au_r + B}{Av_{g0} + B} \right) - \ln \frac{u_r}{u_{g0}} \right]$$

$Q_{seen}$  阻力作用下, 加速时间和加速距离与粒径之间的关系: 直径越大, 加速时间和加速距离呈越长的趋势。当  $y=0.98$ ,  $d=100\mu\text{m}$  可得加速时间  $t=0.06\text{s}$ , 当  $d=1000\mu\text{m}$  时,  $t=1.09\text{s}$ , 当  $d<100\mu\text{m}$  时加速最长距离  $d=1\text{m}$ .

由此可见沙尘暴对单位面积的压强为  $\rho v_p^2$ , 所受到的力为  $\rho v_p^3$ , 则很好的 Chepil 提

## 报名号 1102

出气候因子的合理性，并可以推测出沙尘暴维持的时间和沙尘暴的强度。

### 5.2 主成分分析

通过SPSS软件对观测站的观测数据进行主成分分析,可得到下表:

表8

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
月平均风速	2.783	46.376	46.376	2.783	46.376	46.376
大风日数	1.438	23.964	70.340	1.438	23.964	70.340
月平均气温	.935	15.576	85.917			
月降水量	.546	9.103	95.020			
月蒸发量	.227	3.788	98.808			
月相对湿度	.072	1.192	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

表 9

Component Matrix<sup>a</sup>

	Component	
	1	2
月平均风速	.257	.789
大风日数	.418	.636
月平均气温	.919	-.298
月降水量	.459	-.502
月蒸发量	.940	-.145
月相对湿度	-.776	-.222

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 2 components extracted.

从表8可知月平均风速、大风日数这两个指标存在着极其显著的关系,从表9可知月相对湿度、月蒸发量、月平均气温在第一主成分上有较高载荷,说明第一主成分基本反映了这些指标的信息;月平均风速、大风日数、月降水量这三个指标在第二主成分上有较高载荷。说明第二主成分基本反映了月平均风速、大风日数、月降水量这三个指标的信息。所以月平均风速、大风日数这两个主成分是可以基本反映全部指标的信息。

## 六、 模型优缺点

优点:

1. 模型一中采用聚类分析法对数据进行分类,较直观,易于操作。
2. 采用主成分分析法,能清晰地定量表示各个气候因素的关系。
3. 通过非线性映射分析,克服了原来的动态聚类分析的不足,通过某种非线性变换降低了样本的报错率。

缺点:

1. 在聚类分析法中,用多元线性模型对数据进行分类,忽略了各个因素之间的非

## 报名号 1102

线性关系，增大误差。

2. 模型一中认为因子的重要性是固定不变的，而在估计过程中，有时会因因子集合中的一个或某几个“最佳”因子的表现不佳而导致该次预报的失败，多元线性模型难以对这种现象进行合理的判断和动态处理。

## 七、参考文献

[1]王繁强、郭大梅 不确定性理论集对分析在沙尘暴预报中的应用研究 《中国沙漠》第26卷 第2期 2006年3月

[2]罗敬宁 沙尘暴遥感方法研究及其强度计算模型构建 硕士学位论文 2006年5月

[3]杨青,杨莲梅,张广兴,李霞,李红军,霍文 能见度与空气质量的关系研究 《中国沙漠》第26卷 第2期 2006年3月

[4]王萍,刘颖,王汉芝,刘环珠 基于格点场数据的沙尘暴双预报模型 天津大学学报 第39卷 第3期 2006年3月

[5]唐启义,冯明光 《实用统计分析及其 DPS 数据处理系统》 科学出版社