

2008 年 第一届“数学中国杯”

数学建模网络挑战赛

承 诺 书

我们仔细阅读了首届“数学中国杯”数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站([WWW.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛报名号为：1090

参赛队员（签名）：

队员 1：

队员 2：

队员 3：

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：大学生组

2008 年 第一届“数学中国杯”

数学建模网络挑战赛

编 号 专 用 页

参赛队伍的参赛号码：（请各个参赛队提前填写好）：
1090

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

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

关 键 词 沙尘暴 综合气象影响指数 回归模型

Matlab 神经网络 等级划分 风险预测

摘 要：

本文通过数学建模的方法解决了西北地区沙尘暴与各项气象指标的关系研究问题。在问题一上，我们给出了两种思想方法，分别从微观和总体的角度建立模型。

微观上，我们关心每个观测站区的差别。首先，我们在定性分析个气象指标与沙尘暴频率关系的基础上建立了综合气象影响指数模型，通过数据处理分别得到了各观测站区的综合气象影响指数 Q ，然后建立回归模型 $N = P_1 Q + P_2$ ，并用 Matlab 拟合出了各观测站区回归模型系数，并给出了具体的根据观测数据估计出沙尘暴在某地区某段时间内发生的次数的流程图。

宏观上，我们将西北六省视作整体来考虑，先取其中的一个省份为依据，应用 Matlab 的神经网络工具箱，给出估计的方法，得到一个广义的神经网络模型。该模型的基本算法是先假定一组初始权值，再进行修正，再进行迭代，如此往复，直到得到满意的拟合程度为止。我们将大部分的观测数据当作学习资料来供神经网络来学习，得到计算机模型，然后，用余下的数据对模型进行检测，发现模型具有相当的可信度，可以用来预测西北地区一些沙尘暴常发区，目前也受到了广泛的使用。

在问题二上，我们解决了两个问题，一个是沙尘天气等级划分问题，另一个是观测站所在地发生沙尘暴的风险性预测问题。

针对等级划分问题，我们查阅了大量资料表明，在沙尘气象监测领域习惯上用风强度和水平能见度两个直观量来对其等级进行粗略划分，所以我们通过对相关数据的深入调查，建立了一个明细划分表格模型。

针对沙尘暴风险预测问题，我们根据明细等级划分表，建立风级、水平能见度同发生沙尘暴的危险性建立连续型随机变量模型：

$$W = \left(\frac{10-K}{9} - 1 \right) \times \left(\frac{F-1}{5} - 1 \right), \quad K \in (1, 10), F \in (1, 6),$$

得到了发生沙尘暴的危险性预测值，并定立了高危险性标准，用于发出警报。具有易操作性。并就发出的预报进行了讨论，具有很大的适用性和参考价值。

参赛队号 1 0 9 0

所选题目 C 题

参赛密码
(由组委会填写)

问题背景

沙尘暴天气是我国西北地区和华北北部地区出现的强灾害性天气，可造成房屋倒塌、交通供电受阻或中断、火灾、人畜伤亡等，污染自然环境，破坏作物生长，给国民经济建设和人民生命财产安全造成严重的损失和极大的危害。

沙尘暴天气成因

有利的大风或强风的天气形势，有利的沙、尘源分布和有利的空气不稳定条件是沙尘暴或强沙尘暴形成的主要原因。强风是沙尘暴产生的动力，沙、尘源是沙尘暴物质基础，不稳定的热力条件是利于风力加大、强对流发展，从而夹带更多的沙尘，并卷扬得更高。除此之外，前期干旱少雨，天气变暖，气温回升，是沙尘暴形成的特殊的天气气候背景；地面冷锋前对流单体发展成云团或飑线是有利于沙尘暴发展并加强的中小尺度系统，有利于风速加大的地形条件即狭管作用，是沙尘暴形成的有利条件之一。

沙尘暴形成的物理机制

在极有利的大尺度环境、高空干冷急流和强垂直风速、风向切变及热力不稳定层结条件下，引起锋区附近中小尺度系统生成、发展，加剧了锋区前后的气压、温度梯度，形成了锋区前后的巨大压温梯度。在动量下传和梯度偏差风的共同作用下，使近地层风速陡升，掀起地表沙尘，形成沙尘暴或强沙尘暴天气。[1]

沙尘暴对环境和人们的生产、生活都造成了影响甚至危害，因此近年来人们加强了对沙尘暴预报的研究，但一直没能取得满意的结果。我们也见于这种情况，对沙尘暴的进行了简单的研究。

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。

问题分析

沙尘暴天气虽然是一个短期天气过程，但却是在特定的地理环境及气候条件下形成的特殊天气现象。沙尘暴的发生至少要具备 3 个基本条件：一是大风，这是形成沙尘暴天气的动力条件；二是地面丰富的沙尘源，这是形成沙尘暴天气的物质基础；三是不稳定的空气状况，这是重要的局地热力条件。[1]

综合对所给数据进行观察，我们可以初步得到内蒙古、新疆、青海、宁夏、甘肃、陕西六省沙尘暴季节变化特征，春季较频繁的是内蒙古，冬末春初较多的是青海，春夏较多的是新疆、甘肃、陕西、宁夏。

对于问题一，估计出沙尘暴在某地区某段时间内发生的次数，需综合考虑：月平均风速，大风发生次数，月平均气温，月降水量，月蒸发量，月相对湿度等气候条件与沙尘暴的发生频率的关系。

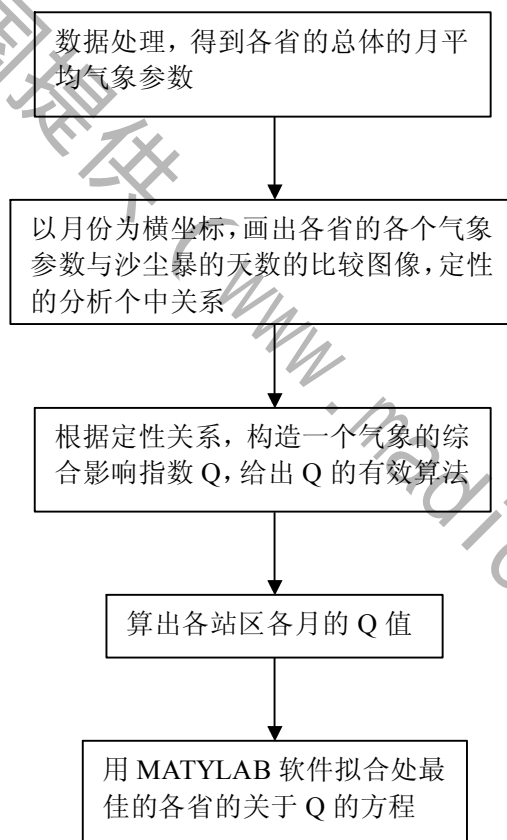
对于题目给的辐射值数据，我们查阅了相关资料[2]，发现它不是沙尘暴的成因。对于题目所给数据进行分析（见附录一），沙尘暴通过对太阳辐射的散射和吸收产生直

接的气候效应，在沙尘暴过程中，总辐射、光 and 有效辐射以及净辐射都大幅度减少，且沙尘暴对可见光辐射和总辐射的衰减幅度一致。所以，我们在考虑综合考虑气象因素时，不需把辐射作为沙尘暴的成因来考虑。

沙尘天气是各个因素综合作用的结果，不可孤立建某一个因素与沙尘暴频率的定量关系，但我们可以根据关联图来定性的到它们的关系。

观察题目所给数据发现，61到81年期间，各地的沙尘暴发生概率相对于82到05年同期数据很小，而显然后25年沙尘暴发生概率总体呈上升趋势，这是与社会因素紧密相关的。改革开放前经济发展相对较慢，自然环境也基本没遭到多大的破坏；78年改革开放后，经济迅速发展的同时也带来了自然资源的极大消耗和环境的较为严重的破坏，并且这种速度长期以来一直在加快，特别是西北地区的沙化速度长期保持在大于治理的水平上，所以造成了这样的观测结果。我们在处理数据时，完全可以忽略掉前二十年的缓慢变化的数据，只分析后25年的观测数据。

可综合考虑各因素对沙尘暴的影响及各自的特点，建立一个气象影响因子，再应用软件和沙尘暴的发生频率进行线性回归，便可得到某个站区的沙尘暴发生频率的预测方程。所以，我们的工作可用以下流程图来清晰表示：



对于问题一，我们也可以应用计算机软件工具箱中的神经网络模型来对前一部分的大量数据进行学习，得到计算机权值模糊化模型，再带入后一部分的数据进行拟合度检验，判断模型的使用价值。

问题二，可以在一的数据处理基础之上，进一步划分相应的沙尘暴发生的危险级别。

据文献知道，沙尘天气根据能见度和风速分为浮沉、扬尘和沙尘暴，其定量程度较为不足。对于沙尘天气，应该将其分成若干等级或以沙尘指数的方式进行定量研究，这就要求对沙尘天气的观测要更加详细，例如要对风速、挟沙量以及沙粒粒度情况等指标进行详细观测。现有数据又只有次数统计，对于沙尘天气强度较难定级。而已有研究中

普遍用风速和水平能见度来定量分级别，有一定的合理性：月平均气温，月降水量，月蒸发量，月相对湿度等都一定程度的反映在了空气的含沙量上了，这又直接影响着水平能见度。

模型假设

- 1、假设所给数据可靠。
- 2、忽略题目给出的数据以外的因素（如地理位置、大气环流、风向、站区面积）对沙尘暴发生频率的影响。
- 3、对于历史记录上几乎不发生沙尘暴的地区，人们并不关注沙尘暴的预报情况。
- 4、忽略个别极端气象情况。
- 5、某地区沙尘暴的发生仅与当地的观测数据有关系。
- 6、在考虑某一因素对沙尘暴的影响是，其他的条件都相同。
- 7、不考虑沙尘在各地方的运输；

变量设置

Q: 气象影响指数
V: 月平均风速
H: 相对湿度
T: 月平均温度
D: 月大风天数
J: 月降雨量
Z: 蒸发量
N: 沙尘暴月发生天数
P1, P2: 线性拟合系数
W: 发生沙尘暴的危险系数
K: 水平能见度
F: 风级
VC: 速度比差
SC: 含沙比差
E: 风蚀率
N: 植被覆盖率
R: 含水率

模型建立与求解

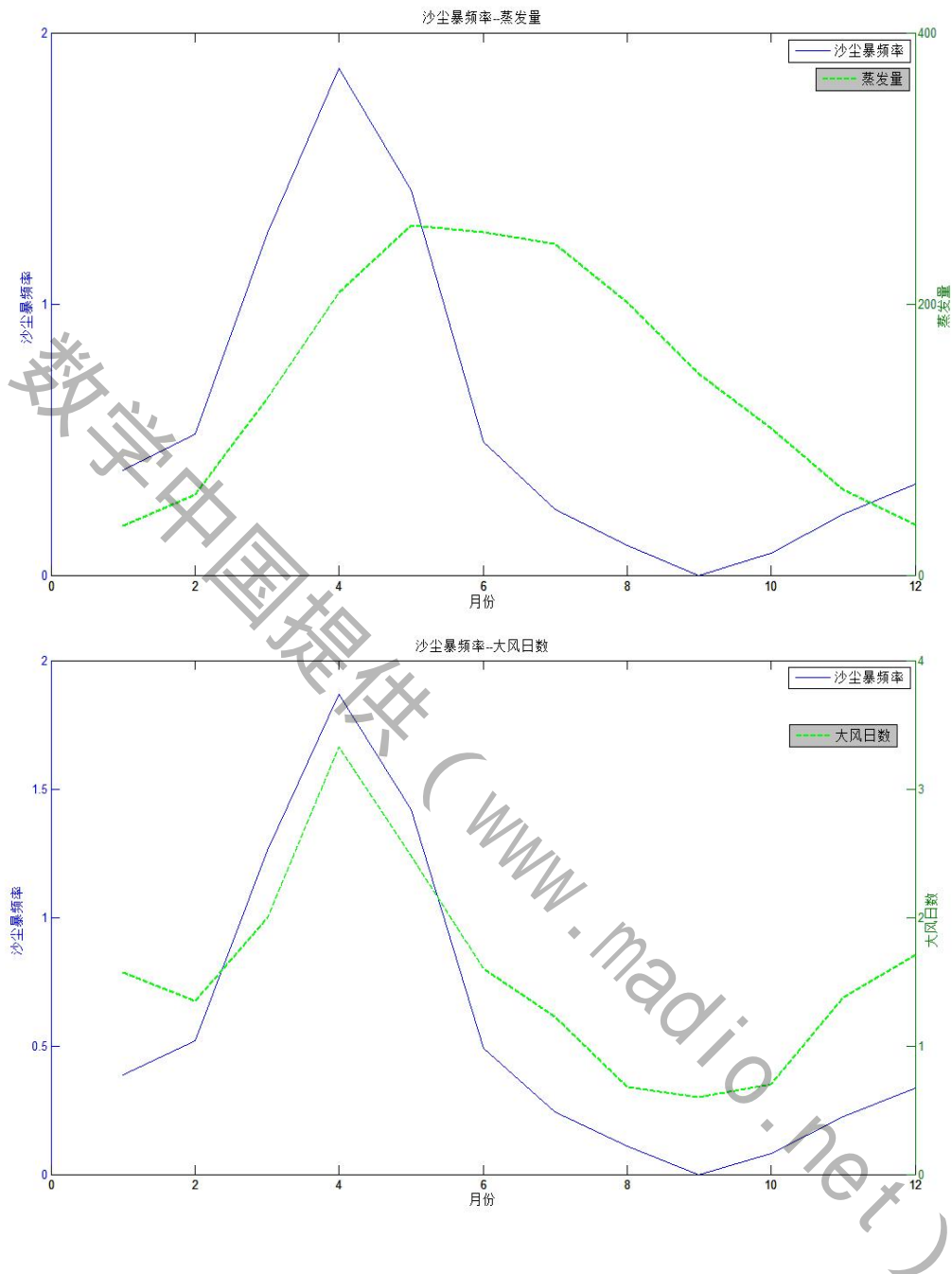
问题一

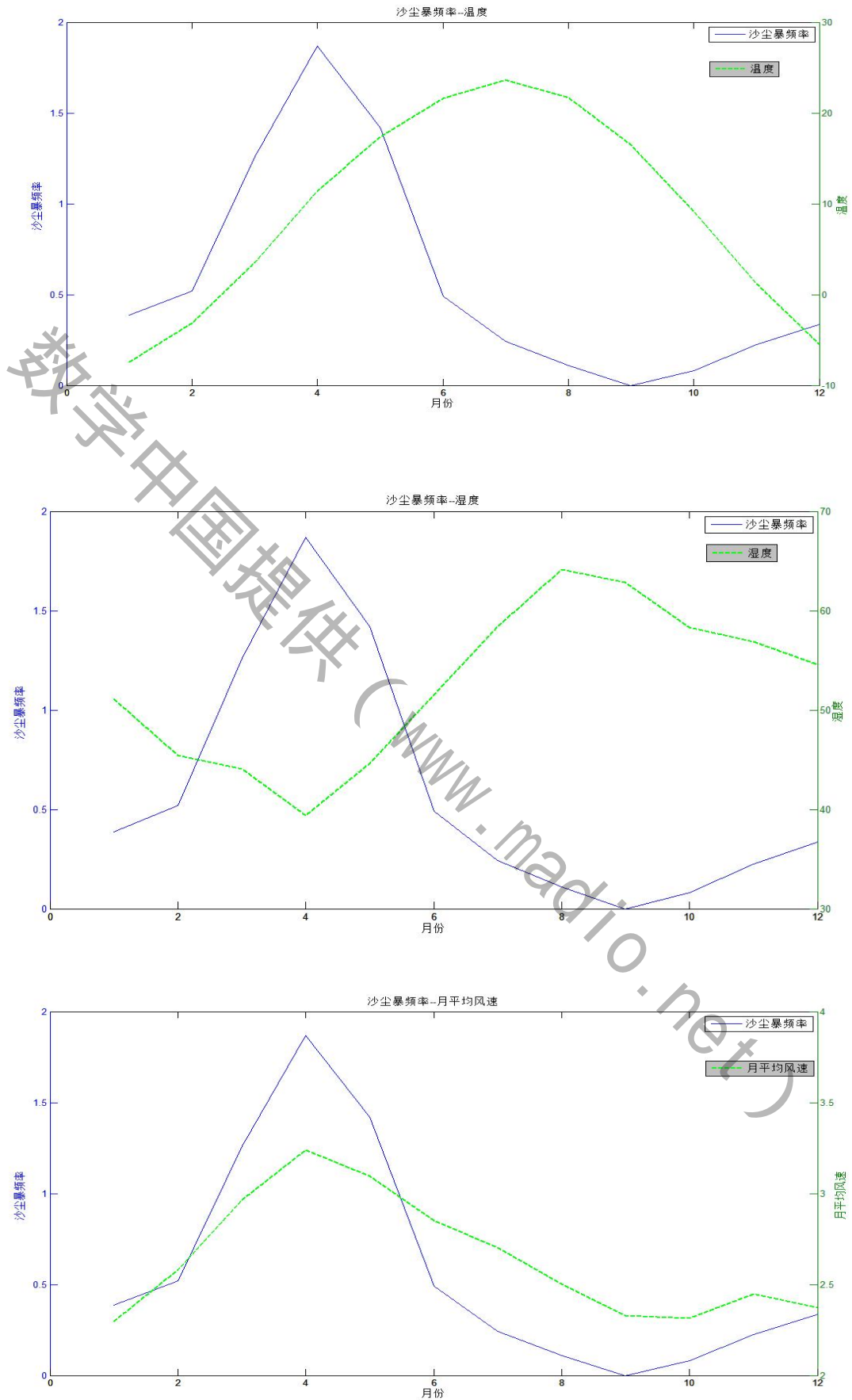
方法一

（一）各气象因素对沙尘暴频率影响的定性分析

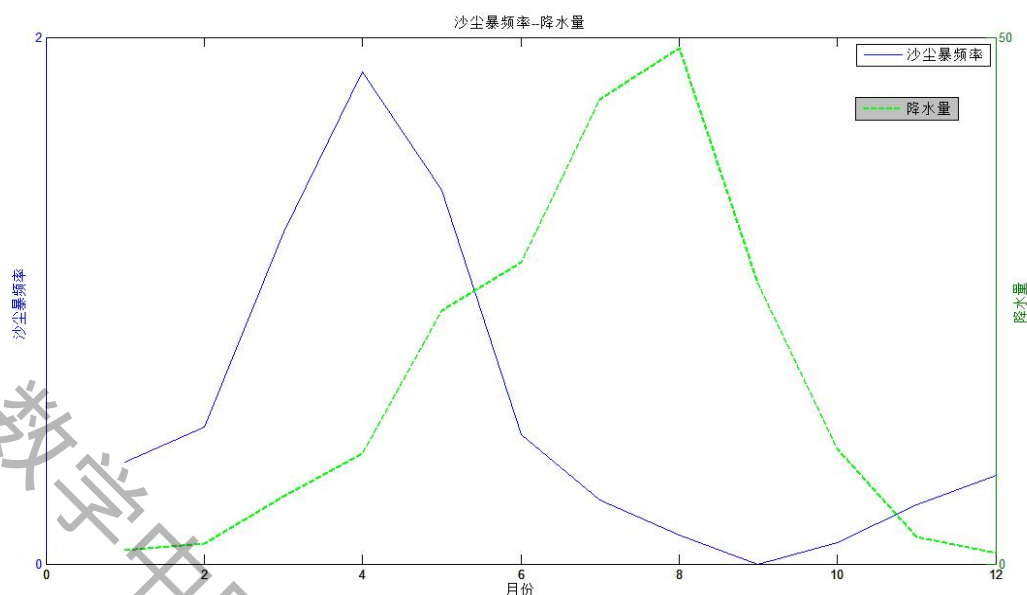
鉴于观测站比较多，为了不失一般性，我们对各省的观测数据进行了初步处理，算出了各省平均观测数据(见附录一)，并以月份为横坐标、相应因素和沙尘暴频率为纵坐标，画出了对比曲线（详见附录二）

以下是宁夏省相关图象：



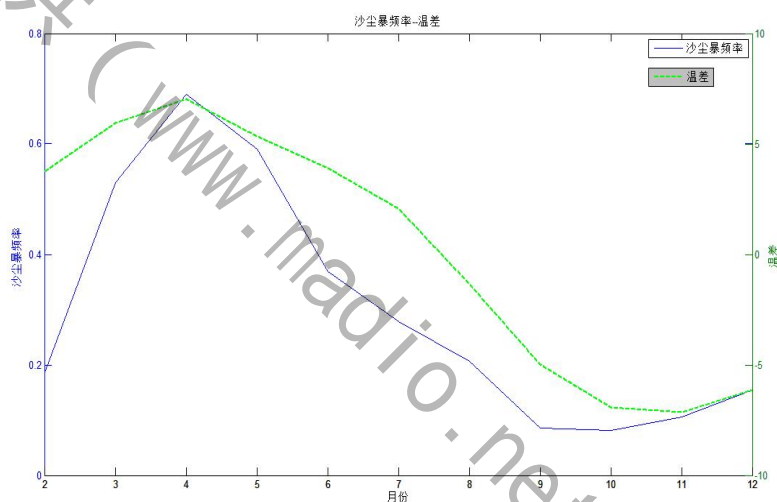


报名号 # 1090



根据曲线我们可以发现：

1、沙尘暴的高频期与风速最大月相对应，沙尘暴发生的低频期基本与风速最小月相对应，即存在一定的正比关系。3~4 月沙尘暴频率的增加与平均风速的增加是一致的，5 月以后(包括5 月)至整个夏季沙尘暴频率的下降速度大于月平均风速的下降速度。可以认为，5 月以后由于雨水相应增多，下垫面植被覆盖率增高，地表湿润状况得到改善，沙尘暴发生频率的下降除受月平均风速下降的影响外，还在一定程度上受下垫面湿润状况的影响。



2、大风发生次数、月蒸发量与沙尘暴发生频率也存在相似的关系。这与沙尘暴的成因完全吻合。大风、强对流天气易于将沙尘带上高空，随风而飞，形成沙尘暴。

3、月降水量、月相对湿度与沙尘暴发生频率近似呈反比关系，且一年中土壤湿润度在夏秋季节(8, 9 月) 最大，对应沙尘暴的发生频率最低；冬春季节(12 月~5 月) 是一年中土壤湿润度最低的时期，对应春季沙尘暴频率最高。冬季尽管土壤湿润度低，但由于冬季温度较低，地表土壤冻结，使风蚀和沙尘暴发生的可能性大为降低。因此，沙尘暴频率与土壤湿润度呈反比例关系。

4、但是，发现沙尘暴频率与气温月平均值没有直接的确定关系，而画出甘肃省的温差与沙尘暴频率对比曲线时，发现温差与之有十分近似的变化关系,见右图：

报名号 # 1090

(二) 各气象因素对沙尘暴频率影响的定量分析

综上，为了定量分析气象因素与沙尘暴发生频率的关系我可引入气象影响指数[3]Q，

其中Q表达式为：

$$Q = \begin{cases} \frac{D^2V}{(J+0.1)HZ} + T & (1) \quad 11\text{月到1月} \\ \frac{D^2V}{(J+0.1)H^2Z} + T & (2) \quad 2\text{月到3月} \\ \frac{D^2}{(J+0.1)Z} \left(2 \times \frac{V}{H^2} + \frac{1}{H'} \right) + T & (3) \quad 4\text{月到8月} \\ \frac{D^2V}{(J+0.1)H^2Z} \times \left(1 - \frac{1}{H'} \right) + T & (4) \quad 9\text{月到10月} \end{cases}$$

其中Q 是用来刻画气候因素对沙尘暴频率的综合影响指数，即气候影响指数；D为大风次数；V 为风速月平均值；H 是本月土壤湿润度指数；H' 是前月土壤湿润度指数；T 为本月与前月地面平均温度差值；J为月平均降雨量(J加0.1表示土壤中的微生物，地下水的作用使土壤保持原有的湿润度)；Z为月蒸发量。

在上述诸多气候因素中：由于大风次数对沙尘暴的频率具决定性作用，权重应相对较大一些，所以设置为平方；由于湿润度指数与沙尘暴频率存在着一定的负相关关系，并且月际之间存在着显著的变化。一年中1~8月湿润度指数逐渐变大，9月以后开始变小，但冬季由于地面封冻，土壤水分不易散失，并且湿润度对沙尘暴发生频率的影响较小，因此11月~1月气候影响指数模型调整为（1）式。

2、3月尽管土壤湿润度指数仍然较小，但由于此时地表逐渐融化，湿润度对沙尘暴频率的影响在不断增大，因此2、3月气候影响指数模型调整为（2）式。

另外，考虑到土壤湿润状况在不同季节和月份间发生显著变化，相邻月份土壤湿润状况变化显著，以致对沙尘暴频率产生影响。我们借鉴了Mc Tainsh [4] 的研究成果，将相邻月份土壤湿润状况的变化划分为两种情况：一是土壤越来越湿润的变化过程，在这种情况下，前月较低的湿润度可以使本月土壤实际的湿润状况低于本月降水和蒸发状况决定的湿润度，从而使本月沙尘暴频率有所增大；另一情况是土壤越来越干燥的变化过程，此时前月较高的湿润度可使本月土壤实际的湿润状况高于由本月降水和蒸发状况决定的湿润度，而使本月沙尘暴频率有所减小。这种前期土壤湿润度对本月沙尘暴频率的影响，只有在前期湿润度达到一定的程度时才有可能对本月沙尘暴频率产生影响，因此我们将4~8月的气候影响指数模型调整为（3）式。9，10月湿润度指数迅速下降，对应前期较大的湿润度将对本月的沙尘暴频率产生一定的影响，因此气候影响指数模型调整为（4）式。

根据上述的气象指数模型,算出各站区各月的气象指数Q,见附录三中。

用MATLAB软件对沙尘暴关于气象指数进行一次线性回归,即可得到各站区的气象指数与沙尘暴的关系式,系数见附录三。

其中线性拟合公式为： $N = P_1Q + P_2$ 即

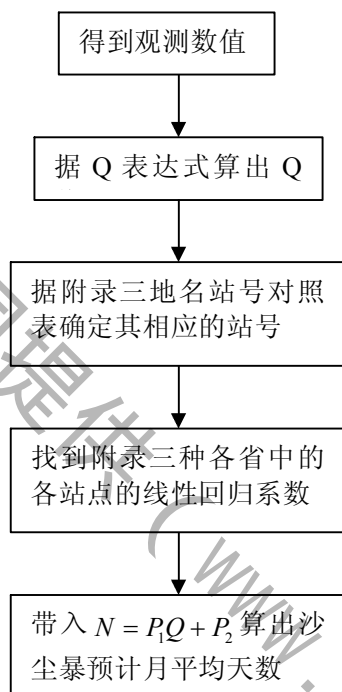
可以看到有相当一部分的站区的沙尘暴记录次数是很少的，致使在线性回归数据表中有一些非数值量。一定程度上说，这些地方与沙尘暴这种自然灾害天气相关性不大，

报名号 # 1090

我们甚至可以不必考虑这些地方的沙尘暴预报措施。实际上，社会生活中，人们从心理上也不会关注自己看来几乎不会在身边发生的自然灾害的，预报就显得无关紧要了。所以这些地方的预报在本文中忽略，可以通过其它更浅显的方法来预报。

对于其它的站点，特别是沙尘暴发生比较频繁的典型站点，线性回归的拟合度是较高的，只要有近期的某站点的月平均风速，大风发生次数，月平均气温，月降水量，月蒸发量，月相对湿度的观测数据，就可以通过上面的Q的算法，得到气象影响指数，从附录三中的地名与站号对照表中查到对应的站号，根据所在省及站号查出相应的线性拟合系数，根据线性拟合公式： $N = P_1Q + P_2$ ，进而算出沙尘暴可能发生的次数。

具体流程如下：



这里我们可以认为，某月发生沙尘暴天数即本月沙尘暴次数。

我们取其中一个站点的数据来检验模型的可信度，据前面的分析我们检验时不可取相对来说沙尘暴法甚频率很小的站点，且频率较高的地方的数据拟合度应该较好。我们取宁夏53614号观测站，其近25年来的Q的平均值为5.314672，月平均沙尘暴天数N为0.2891156，而此站点的回归系数P1，P2为0.0552，-0.0043，由回归模型 $N = P_1Q + P_2$ 可算出估计N为0.2890698994，相对误差为 1.58×10^{-4} ，比较精确。

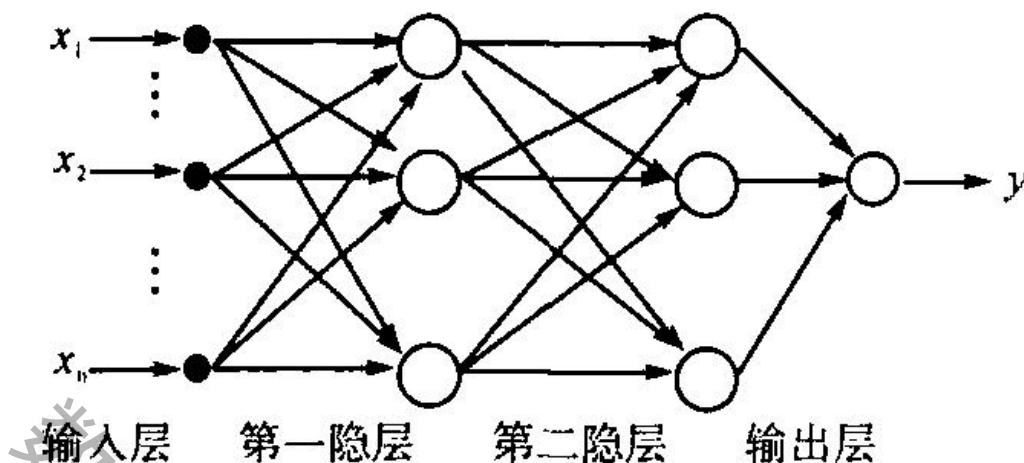
方法二

问题一的神经网络模型方法

人工神经网络（ANN），是对人类大脑系统的一阶特性的一种描述，它是一种数学模型，可以用电子线路实现，也可以用计算机程序来模拟，使人工智能研究的一种方法。其基本模型入图所示。它是一个并行、分布处理结构，由处理单元及其称为联结的无向讯号通道互联而成，这些处理单元具有局部内存，可以完成局部操作，并且do带有一个单向的输出连接，这个输出连接可以被分割成希望个数的许多并行连接，且这些相同的连接都输出相同的信号，即处理相同的单元信号，信号的大小不因分支的多少而变化。

根据上面的表述我们可以得到神经网络的图形，一个完整的神经网络分为输入层、隐藏层、输出层组成。如下图所示：

报名号 # 1090



典型的神经网络图

1, 网络层的设置。

以采集到的大量样本作为网络的输入，中间设第一隐层，第二隐层……输出层，网络有一个输出层。为了方便，我们以4层的网络为例。

2, 权值的设定。

以 ω_{ij} 表示第 i 层到第 j 层的连接权，为了表示方便，以 I 输入层， H 隐藏层， O 为输出层。一般情况下有 $\sum_{i=1}^m \omega_{ij} = 1$ ；考虑用模糊神经网络来实现时，设定相应的模糊区间 $[f(h_{1jl}(\alpha)), \omega_{iju}(\alpha)]$ ，不用要求对应的和等于1。

3, 模糊权神经网络的推进策略是：

(1), 输入层: $I_i = x_i$;

(2), 第一隐层: $H_{1j}(\alpha) = [h_{1jl}(\alpha), h_{1ju}(\alpha)] = [f(u_{1jl}(\alpha)), f(u_{1ju}(\alpha))]$,

其中: $u_{2jl}(\alpha) = \sum_{i=0}^c w_{ijl}(\alpha) * h_{1ju}(\alpha) +$, $u_{1jl}(\alpha) = \sum_{i=0}^c w_{iju}(\alpha) * x_i$

C 第一层的节点数;

(3), 第二隐层: $H_{2j}(\alpha) = [h_{2jl}(\alpha), h_{2ju}(\alpha)] = [f(u_{2jl}(\alpha)) + f(u_{2ju}(\alpha))]$,

其中: $u_{2jl}(\alpha) = \sum_{i=0}^m w_{ijl}(\alpha) * h_{1jl}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) > 0$) + $\sum_{i=0}^m w_{ijl}(\alpha) * h_{1ju}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) < 0$);

$u_{2ju}(\alpha) = \sum_{i=0}^m w_{iju}(\alpha) * h_{1ju}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) > 0$) + $\sum_{i=0}^m w_{iju}(\alpha) * h_{1jl}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) < 0$);

m 为第一隐层节点数。

(4), 对输出层: $O_j(\alpha) = [o_{jl}(\alpha), o_{ju}(\alpha)] = [f(u_{jl}(\alpha)), f(u_{ju}(\alpha))]$;

其中: $u_{jl}(\alpha) = \sum_{i=1}^n w_{2ju}(\alpha) * h_{2jl}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) > 0$) + $\sum_{i=1}^n w_{2jl}(\alpha) * h_{2ju}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) < 0$);

$u_{ju}(\alpha) = \sum_{i=1}^n w_{2ju}(\alpha) * h_{2ju}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) > 0$) + $\sum_{i=1}^n w_{2ju}(\alpha) * h_{2jl}(\alpha)$ (当 $\omega_{iju}(\alpha) < 0$);

其中: n 为第二隐层的节点数。

对所有的 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

4, 目标函数:

报名号 # 1090

$$e = e_l(\alpha) + e_u(\alpha) = \frac{(Y_l - O_l)^2}{2} + \frac{(Y_u - O_u)^2}{2}$$

其中 Y_l , Y_u 为目标输出的 α 截止集上下限值;

O_l , O_u 为实际输出的 α 截止集上下限值。

5, 权值修正法:

采用负梯度法:

$$\Delta w_{ijl}(\alpha)(t) = -\eta \frac{\partial e}{\partial w_{ijl}(\alpha)} + \beta * \Delta w_{ijl}(\alpha)(t-1)$$

$$\Delta w_{iju}(\alpha)(t) = -\eta \frac{\partial e}{\partial w_{iju}(\alpha)} + \beta * \Delta w_{iju}(\alpha)(t-1)$$

η 是学习效率, β 是惯性系数, t 是迭代次数。

6, 学习步骤:

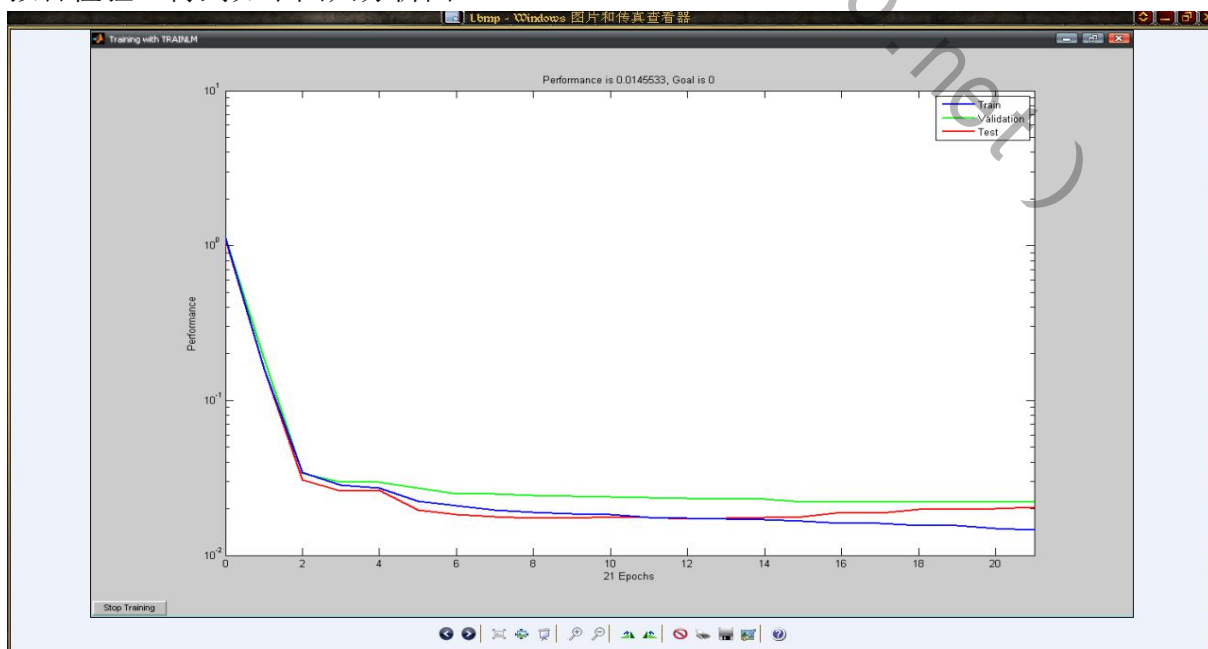
- (1) 初始化权值。
- (2) 根据输入的矢量 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$, 期望的矢量 Y_l, Y_u 。从第一层开始, 分别代入计算求得实际输出的值。
- (3) 计算差值, 以备修正。
- (4) 修正权值。
- (5) 迭代再比较, 达到满意的精度则停止计算, 否则继续。

人工的神经网络算法对于拟合数据很精确, 是建立在传统的概率论的基础上的, 因此具有一定的不确定性, 但是只要样本数目充分大, 迭代次数充分多, 就可以达到要求的精度。目前采用比较多的有前馈神经网络和模糊神经网络。

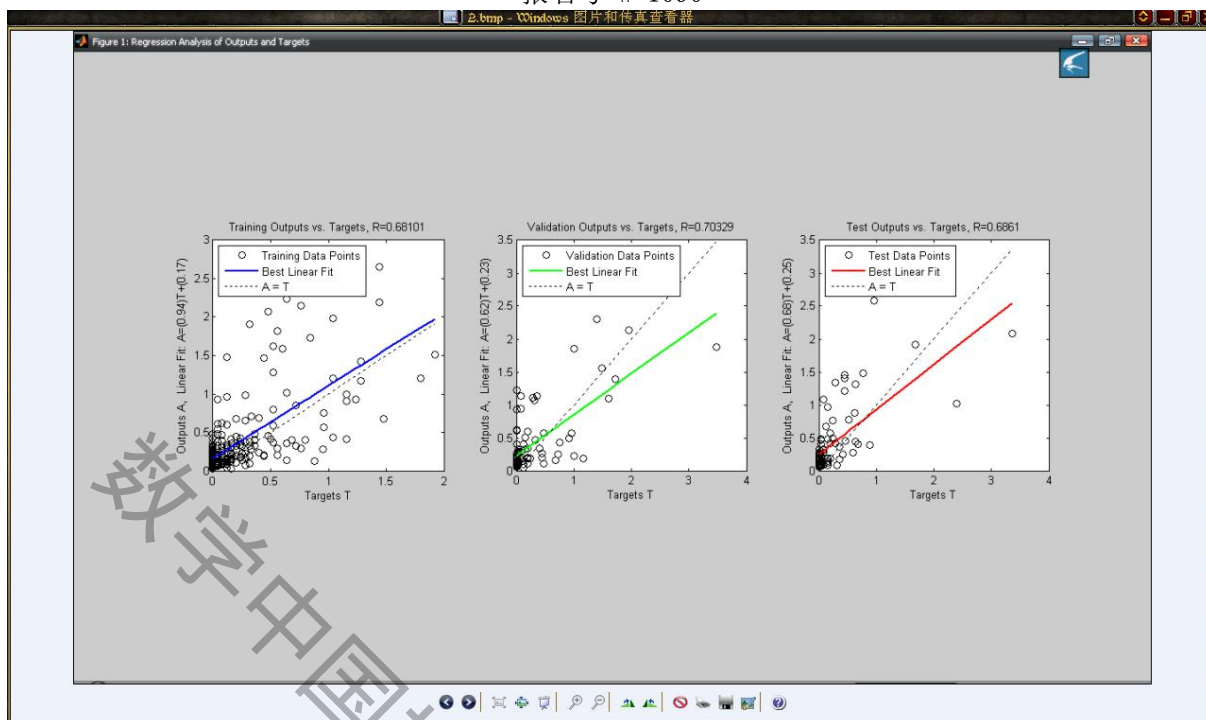
对沙尘暴预报中的小概率、多因子、高维、样本数据量大、建模样本量不均衡等问题。利用神经网络广泛的学习、适应和映射能力, 应用计算机软件的强大的数据处理能力, 可得到更加准确且普遍的拟合模型。

使用MATLAB软件中的的Neural Net WorkToolbox进行计算机拟合。

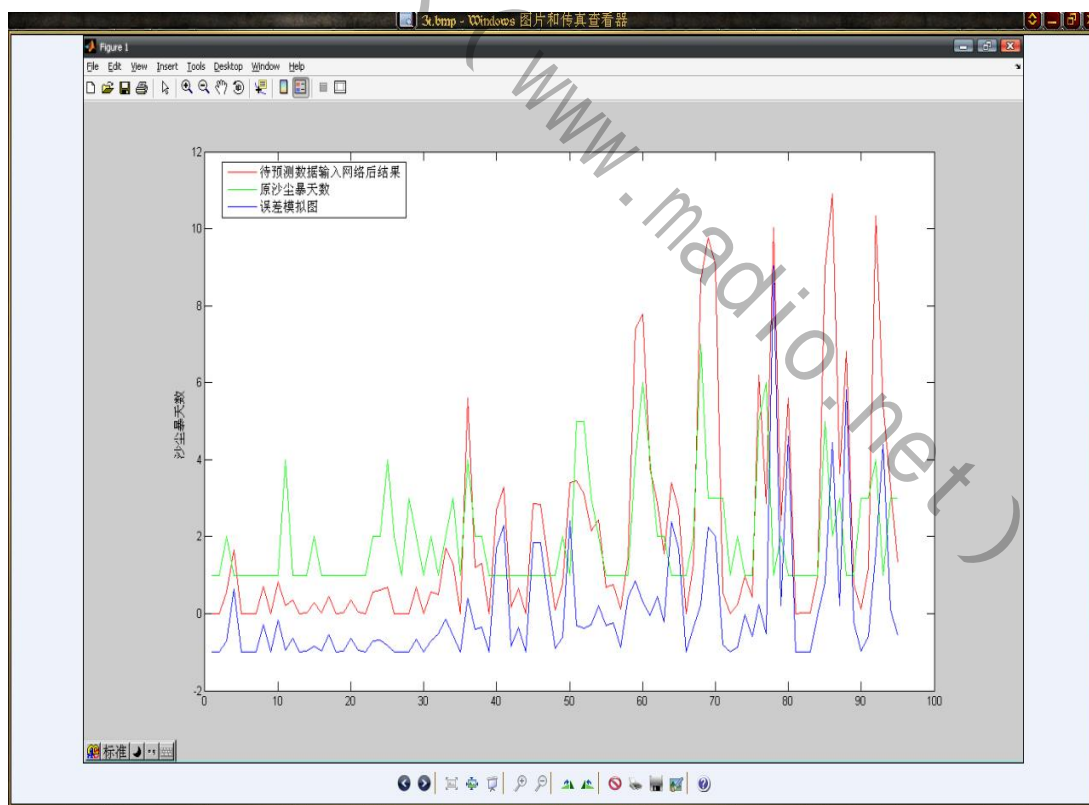
将新疆省1981年到2000年所有站区的数据作为样本, 其维数就是影响沙尘暴的几个因素, 输入计算机工具软件进行学习, 得到计算机模型, 再用2001~2005年的数据进行拟合检验。得到如下回归分析图:



报名号 # 1090



神经网络法的拟合情况图



拟合天数与实际天数的比较

由图象发现，计算机模糊权的神经网络学习率高，具有很高的拟合精度，达到 10^{-2} ，而且在进行检验时，由于初始化的点带来的误差，但不影响拟合的精度，图形的基本形

报名号 # 1090

状保持一致。

问题二：该模型的建立为了解决两个问题。

1、关于沙尘天气气象等级的划分。

沙尘天气的划分，查阅各种资料发现，几乎没有一格严格的定量标准，这是由于地区性差异的存在，很难定一个统一的标准。内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海和新疆各省(区)气象局的预报手册中都提出了各自的分级标准,而这些标准基本能反映各地沙尘暴之实况。

地面气象观测规范[5]中将沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴。浮尘是指尘土、细沙均匀地悬浮在空中，使水平能见度小于10 km；浮尘多为远处尘沙经上层气流传播而来，或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒悬浮空中而成,太阳呈现白色，远距离的景物呈现黄褐色；扬沙是指由于风大将地面沙尘吹到空中，使空气相当混浊，水平能见度在1~10 km以内；沙尘暴是指由于强风将地面大量尘沙吹起，使空气很混浊，水平能见度小于1 km，天空呈现沙褐色,甚至红褐色。强烈的沙尘暴(瞬时风速大于25m / s，风力10级以上)可使地面水平能见度低于50 m，破坏力极大，俗称“黑风”。

国内外目前对沙尘暴的分级较多，可归纳为3类：①只分强沙尘暴、特强沙尘暴(俗称黑风)两级。②分为强、中、弱三级；③分为特强、强、中、弱四级。

有些观点认为，应该将沙尘天气等级与沙尘气溶胶厚度关联起来，与风强度、能见度一起作为评判标准。

研究资料表明沙尘天气气象等级的划分还与空气中沙尘气溶胶厚度有关[6]，但是，考虑到能见度在一定程度上已经反映了沙尘气溶胶厚度，且它们是正关联关系，这里不再将沙尘气溶胶厚度作为划分标准。

综上所述情况，我们可以根据水平能见度、风强度的观测结果来划分等级。将沙尘天气气象等级的划分情况划出下面表格：

沙尘天气气象等级	浮沉	扬沙	沙尘暴	强沙尘暴
水平能见度	小于 10 千米	1 千米到 10 千米	小于 1 千米	小于 200 米
风级	小于 3 级	3 级到 5 级	6 级以上	9 级以上

观测站测出上述两数据后，只需对照上表即可粗略判断实时沙尘天气气象等级。

2、预测在近期内观测站所在地发生沙尘暴的风险。

分析：在对沙尘天气气象等级的评估基础上，要预测近期发生沙尘暴的危险性W，我们可以在对水平能见度K以及风级F的评测的数据进行更深入的分析。既然要根据观测结果来分析风险，则观测数据应该是没有发生沙尘暴时的数据。

危险性W是由水平能见度K和风级F同时决定的：F很大，但是若K很大的话，即空气含沙量很小，发生沙尘暴的危险性就会很小；同样，若风级数F很小的话，发生沙尘暴的危险性W也会很小。所以，两因素是并行的关系，且是相互独立的。

建立概率模型：
$$W = \left(\frac{a-K}{A} - 1\right) \times \left(\frac{F-b}{B} - 1\right), \quad K \in [1,10], F \in [1,6]$$

$$VC = \left(\frac{a-K}{A} - 1\right), \quad SC = \left(\frac{F-b}{B} - 1\right)。$$

其中VC，SC 分别代表风速才比差，含沙比差。

对于水平能见度K，我们可以认为在大于10千米时就没有分析发生沙尘暴的危险性

报名号 # 1090

的必要了，因为空气沙含量太少了，所以定限为 $[1, 10]$ 。其对 W 的贡献率为 $\frac{a-K}{A}$ ，根据其范围，可得 a 、 A 的值为10、9。

对于风级 F ，我们同样可以认为在小于1级时也没有分析发生沙尘暴的危险性的必要了，因为没有足够的动力来带动沙子飞动，所以定限为 $[1, 6]$ ，对 W 的贡献率为 $\frac{F-b}{B}$ ，同样的方法可计算出 b 、 B 值为1、5。

则有发生沙尘暴的风险模型为：
$$W = \left(\frac{10-K}{9} - 1\right) \times \left(\frac{F-1}{5}\right) \quad K \in [1, 10], F \in [1, 6]$$

只需根据观测的水平能见度 K 和风级 F 的数值，即可估计出发生沙尘暴的危险性 W 。例如，当观测得到 $K=2$ ， $F=5$ 时，有近期发生沙尘暴的危险性。

一般的，我们可以得到判定沙尘暴的简单条件是：

$W > 0$ 且 $VC > 0$ 。

即当速度比差和含沙比差同时大于0时，沙尘暴就会发生。

一般情况下，我们有以下几种预测情况：

1, $W > 0, VC < 0$ 。风力和含沙量都未达到危险等级；

2, $W < 0, VC < 0$ ，风力未达到危险等级，但是含沙量到质能见度小于1000米，这时虽未发生沙尘暴，但空气中含有的固体颗粒很多，能见度很低，在冬春时节常会导致大雾，同时做好监测、预报、防范准备，随时跟踪报道沙尘的动态，同时空气的质量也会很差，建议减少室外活动。

3, $W < 0, VC > 0$ ，此时风力达到了危险的要求，即超过了5级，但是由于此时空气中的含沙量不足，所以未发生沙尘暴；这时要考虑地域因素，即地表的植被覆盖率和土壤湿润度，尤其在我国的西北地区，地表覆盖率平均不足50%，而且西北地区降水量的稀少，蒸发量很大，导致土壤的湿润度很低，也就是含水率很低，这两种因素都会导致风蚀率的增加。若已知土壤中的含水率为 R ，则风蚀率可以表示为： $E = c + d \cdot R^{-2}$ ，其中 c 、 d 为常数；若已知植被覆盖率为 N ，那么风蚀率 $E = 830.14 \cdot (8.2 \cdot 10^{-5})^N$ ；其相关系数 $R = 0.9998$ 。而且，风蚀率与风速也有定量的关系，对于不同性质（主要指的是土壤的颗粒直径）的土壤，风蚀的速率大有不同。下面重点讨论风速与风蚀率的关系：

(1), 净风和挟沙风与土壤风蚀的关系

在净风和挟沙风的吹蚀下进行对比实验发现，在同一风速下挟沙风与净风作用于同一种土壤引起的风蚀量具有明显差异(表1)，前者是后者的4.3-72.9倍。这是因为在净风吹蚀下土壤表面主要受风的剪切应力作用，其力大小主要与风速大小有关；而在挟沙风中，除了有净风对土壤表面产生剪切力外，还有运动沙粒对土表产生的直接撞击力的影响。气流的挟沙能力随流速增加而增大，当上风向沙源充足时，气流速度达到起沙风速以上，即开始出现风蚀，且随气流挟沙能力的增大风蚀量迅速增加。但挟沙风对不同类型土壤的风蚀量也不同，如挟沙风对粉沙质壤土的风蚀量仅为净风的4.63倍，而固定风沙土是5.24倍，半固定风沙土则高达72.9倍。这主要是因为不同类型土壤表面性质不同的缘故。因此，在风蚀地区设法切断上风向沙源，避免风沙流对地表的直接冲击，是减小土壤风蚀的重要环节。

土壤类型	式样面积(平方厘米)	气流状况	风力等级	总风蚀量(公斤)	倍数
粉沙质土壤	95×30	净风	4-12	2.06	1
		挟沙风	4-12	8.99	4.36
固定风沙土	95×30	净风	4-12	2.15	1

报名号 # 1090

		挟沙风	4-12	11.27	5.25
半固定风沙土	58×26.5	净 风	8	0.11	1
		挟沙风	8	8.12	72.9

(2), 风速与风蚀的关系

由实验结果可见, 在其他条件相同的情况下, 风速越大, 风蚀愈烈。由于流沙表面质地松散, 当风速5- 6m /s时开始出现风蚀现象, 7m/s已形成风沙流, 10m /s风沙流已相当强烈, 10m /s上时随风速的增大, 风蚀量呈直线上升趋势。对于同一地区的沙质草甸土, 由于有稀疏草类生长而相对流沙样品质地坚实, 在风速7- 8m /s开始出现轻微风蚀, 且局部地表出现微风蚀形态, 当风速9m /s, 风速与土壤风蚀量的关系普遍出现风蚀, 随着风速增大风蚀量明显增加, 且风蚀量与风速之间存在着幂函数关系, 可以近似地看作二次幂(研究表明)。由于不论物质类型和存在状态如何, 风蚀机理是相同的。风蚀量与风速之间的二次幂函数关系反映了风蚀过程中的一个机理性问题, 即在风蚀过程中, 气流作用与地面物质之间存在的内在联系是能量转化关系, 风能的大小决定同一物质风蚀量的大小。被蚀物质类型及存在状态不同时, 风能的转化率及效应不同是造成风蚀量差异的根本原因。

(3), 风蚀与地表物质粒度组成关系

地表物质的粒度组成影响风力作用下颗粒的受力状况与效果, 因而影响土壤风蚀。Bagnold 的输沙率模型(1941) 表明, 影响土壤风蚀的粒度有平均粒度及粒配特征。Chapin (1953) 通过风洞实验研究将土壤粒度组成按其抗风蚀性的差异划分三部分。即小于0.42mm 的高度可蚀因子; 0.42- 0.84mm 为半可蚀因子, 大于0.84mm 为不可蚀因子。刘连友(1999) 3 在沙漠所风沙物理与沙漠环境实验室的室内风洞中实验证明, 不可蚀颗粒粒径是随土壤种类、结构和风力而改变的。理论和实验均表明, 风蚀率与粒径有很大关系。

综上所述, 沙尘暴与风速是由莫大的关系的。即使空中沙粒含量没有达到能见度小于1000米的程度, 但是由于风力效应, 空中的沙也会有所增加, 最终由量变到质变, 引发沙尘暴, 不得不重视。

4. $W>0, VC>0$, 这时根据判据, 会发生沙尘暴。在沙尘暴侵犯期间, 对气候会带来以下的影响:

(1), 对各种辐射的影响, 包括对太阳辐射, 电磁辐射等。从2004年北京发生的一次强沙尘暴来看, 在沙尘暴过程中, 总辐射、紫外辐射、光 and 有效辐射以及净辐射都大幅度减少。沙尘暴对紫外辐射的衰减主要取决于气溶胶中的细粒子的含量。在外地大量沙尘粒输入期间, 紫外辐射与总辐射的比值较沙尘暴初期的比重有所增大。

(2), 对面气压的影响, 沙尘暴期间, 地面处于低气压控制之下;而在沙尘暴过境时和过境后、地面空气显得相对湿冷, 地面气压急剧上升, 沙尘暴过境后地面处于高压控制下。

(3), 对风力的影响, 大量资料研究表明, “风伴沙起, 沙助风威”, 在沙尘暴期间, 风速会达到最大值。这样就更增加了其破坏力。

模型评价

对于问题一的解答, 本文建立了各个站区的沙尘暴发生频率的气象影响指数模型, 全面考虑了月平均风速, 大风发生次数, 月平均气温, 月降水量, 月蒸发量, 月相对湿度等气候条件对沙尘暴的发生频率的影响, 基本上得到了每一个站区的线性回归系数, 且建立的模型计算出的沙尘暴频率与实际观测数据具有一定的拟合度。但也有一定的缺陷, 由于本题的模型的建立是建立在对数据和图像的分析上的, 尤其在得到各因素对沙尘暴的影响方面, 仅从定性的角度的基础上, 因而没有给出具体的定量的表达式, 因此模型显得有些过于简单, 对于一些月沙尘暴次数极少的站区没能得到确实的线性拟合系

报名号 # 1090

数，在分析中给与了忽略，一些拟合系数算出的数据与实际有一定的差异。但是从效果上看，该模型的结果与实际吻合较好，这就说明了该模型具有一定的适用性。该模型的思路是从感性到理性，从假设到验证，体现了一般的科学研究方法。

该题的第二种方法，从整体考虑，大量的数据，而神经网络在数据拟合方面具有较好的功能，而且可以达到很高的精度。在计算机上应用软件建立了一个普遍意义的神经网络模型，并进行了相应的构建于检验策略，该方法抛开了现实生活中的各种量的关系，仅从数据的角度进行分析，最后也是由数据分析出结论。但是由于神经网络的原理是建立传统的概率论的基础上的因此具有很大的随机性和不确定性，因而必须有大量的样本，从而导致过学习现象，预测的效果不够理想，同时没能给出具体的预测函数，也忽略了地区其它差异，比如沙化程度，地理位置，人口数量等因素。但神经网络在沙尘的预测模型中是很适用的。

问题二的模型比较简单，但对模型的讨论是比较透彻的，这主要是因为问题的提出，问题的解决都是为了更实用。从讨论来看，该模型能够较客观地反映沙尘的评判标准，同时起到预测的作用，达到了题意的要求。但由于模型的建立仅就两个关键因素：风速、沙尘，进行研究，不免遗漏了其他方面的因素，如地理位置，地形，土壤，等。

本文的模型没有考虑到地球温室效应、厄尔尼诺现象、植被破坏、物种灭绝、气候异常等因素，而这些因素恰恰是最近才比较有影响力的因素。

问题扩展

1、我国沙尘暴加剧原因

在全球气候变化的影响下，我国北方地区干旱和暖冬现象日益加剧，加之不合理的人为活动的干扰，造成了大面积植被的破坏，加剧沙化、水土流失、土壤次生盐渍化和土壤物理性质的恶化。荒漠化正在加速蔓延和扩展是强沙尘暴灾害频繁发生的主要原因。多年来我国对沙化土地既有治理，也有破坏，总体上破坏大于治理。有的地方由于不合理的人为活动，滥垦、滥伐、滥樵、滥牧、滥用水资源，造成了大面积植被的破坏，加剧沙化、水土流失、土壤次生盐渍化和土壤物理性状的恶化，土地沙化过程在蔓延和扩展。

我国地表覆被变化的基本状况是：建设与破坏相抵后，土地沙化面积仍在迅速增长，局部有改善，整体在恶化。这一状况为沙尘天气频发提供了物质来源。

影响我国北方地表覆被退化的不合理生产活动包括：滥垦、滥伐、滥牧，使植被破坏严重，风蚀加剧。

滥用水资源：西北干旱、半干旱地区水资源总量主要来源于降水、地表径流和地下水。

多年来各地对水资源的利用缺乏科学管理，浪费现象十分严重，上游灌溉缺乏严格制度，灌溉用水量过大。严重的水资源短缺和分配不均造成西北地区生态用水困难，使大面积天然林死亡，植被干枯。在经济建设事业不断发展，水资源开发强度日益增加的情况下，致使河流下游断水，地下水开采过度，水土不平衡和沙化加剧。草地退化速率每年以216%的速度在扩大。10年来全国退化草地从8 667 万hm² 增到113 亿hm²，增加4 333 万hm²以每年43313 万hm² 的速度加速退化。草地退化的结果是沙化和盐渍化。

2、未来变化趋势

观测资料的分析表明，近几十年来，我国北方地区的气候有明显的干旱化趋势，地表湿润指数和土壤湿度明显变小，这为沙尘暴的发生提供了气候背景。在全球增暖的影响下，北半球中纬度内陆地区，降水量变化不大，但温度显著升高，地表蒸发加大，土壤变干。这是有利于沙尘暴发生的不良气候背景，再加上土地资源利用不合理的局面短

报名号 # 1090

期内难以根本扭转，草地资源退化和减少的状况难以根本改变，以及水资源短缺的矛盾日趋严重，应当引起我们的重视。

3、沙尘暴的有利方面：

(1)，我们国家北方地区的酸雨危害之所以没有南方严重，就是因为大气中的碱性沙尘会和酸雨发生中和反应，所以当我们国家春季的沙尘暴往东移到韩国和日本，还可以减轻他们的酸雨危害。

(2)、沙尘可以反射一部分射向地球的太阳辐射，一定程度减轻了由于温室效应而引起的全球温度升高。

(3)、我们国家著名的黄土高原就是百万年来从高原西面吹来的沙尘堆积而成的，黄土上的庄稼不仅解决了农民的吃和穿，而且还提供了冬暖夏凉的黄土窑洞给人们居住。

3、对策建议

(1) 做好科学的还林还草工作，大范围地恢复自然植被。减缓和治理沙尘至关重要的措施是实施以保护和发展林草植被为核心的治沙工程，保护好现有沙区植被，严禁乱砍滥伐、乱采滥挖和乱垦滥牧；做好生态规划，指导科学还林还草，建立起遏制沙漠推进的生态屏障；对已沙化的地区开展综合治理，扩大林草植被。在干旱和半干旱地区种草植树时，一定要考虑水资源的制约，选择好合适的品种和合理的密度。

(2) 实施西部开发战略应重视生态环境建设，要把生态效益、经济效益、社会效益结合起来考虑西部开发战略的实施，将会加快西部地区的交通建设、城市建设、工业建设的步伐，使水资源紧缺问题更为突出，从而对生态环境形成更大的压力。由于西北地区生态环境十分脆弱，因此在开发过程中，应把生态环境治理与恢复放在不首位，加强生态环境管理体系的建设。另外，在制定西部开发战略时，应以我国西部地区水资源状况和生态环境条件为主要制约因素，加以科学布局，保证西部地区的可持续发展。

(3) 建立和完善沙尘天气的动态监测、预警系统，做好防灾减灾的科学研究工作对全球天气变化趋势的把握需较长时间的科学积累和能力建设，而大面积恢复林草植被也需较长时间的努力。因此目前的当务之急是建设和完善沙尘天气监测系统，以降低强沙尘天气造成的损失。为此，必须针对我国沙尘天气的特点，研究沙尘天气动态监测方法。

报名号 # 1090

参考文献

- [1] 方宗义, 朱福康等编著. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 1 – 10
- [2] 胡 波, 王跃思等. 北京2004 年一次强沙尘暴过程的辐射特征研究. 气候与环境研究. 第10卷 第2期: 2005.6
- [3] 李艳春, 赵光平等. 气候因素对宁夏中北部沙尘暴频率影响的模拟研究. 高原气象. 第24卷 第3期: 第438页, 2005.6
- [4] McTainsh G H , Lynch A W, Burgess R C. Winderosion in eastern Australia[J] . J Soil Research , 1990 , 28 : 323 – 339
- [5] 中央气象局地面气象观测规范[M] . 北京: 气象出版社, 1979.
- [6] 李霞, 胡秀清等. 南疆盆地沙尘气溶胶光学特性及我国沙尘天气强度划分标准的研究. 中国沙漠. 第25卷 第4期 2005.7
- [7] 屈建军等, 沙尘暴风洞模拟实验的综述. 干旱区资源与环境, 第18卷 2004年3月