

沙尘暴天气的归类判别分析预报模式

高 涛¹, 刘景涛², 康 铃²

(1. 内蒙古气象研究所; 2. 内蒙古气象台, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘 要:在大量分析了历史上 40 年发生在内蒙古中西部地区的 37 场沙尘暴天气过程的基础上, 总结归纳了其大气环流特征, 将他们划分成 4 个环流类型。参考 Saaty T. L., 提出的综合选优的方法^[1], 建立判别矩阵, 然后计算归类判别预报, 根据判别函数值判断实时待判样本的归属。参照归属类历史沙尘暴的天气形势和实况出现的范围以及强度作出沙尘暴天气预报, 并设计了一个沙尘暴天气的归类判别分析预报模式。该模式已较成功地应用于 2000 年春季内蒙古地区的沙尘暴天气预报业务中, 取得了较好的预报效果。实践证明, 它是一个客观化、定量化和计算自动化的实用的预报模式, 是我们目前作沙尘暴预报的重要技术手段之一。

关键词:沙尘暴; 大气环流特征; 判别分析

中图分类号:P425.5⁺5:P456 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7639(2001)-02-00014-06

前 言

国内外近 20 年在沙尘暴方面的研究多是侧重于对产生沙尘暴天气的天气气候学特征进行天气气候学方面的研究和诊断分析, 总结归纳其大气环流特征, 对个别沙尘暴个例的特殊成因分析等^[1~5]。沙尘暴归类判别分析预报模式是在总结、归纳、分析的基础上, 针对预报员设计的一个客观的、定量的、计算自动化的实用的预报方法。

沙尘暴分为一般沙尘暴、强沙尘暴和特强沙尘暴(即黑风暴)。黑风暴(水平能见度 $\leq 50\text{m}$)是一种猛烈的灾害性天气, 它可造成房屋倒塌, 电力设施遭破坏, 引起火灾和交通事故, 影响航空安全, 甚至造成人畜伤亡等严重灾害。例如, 1993 年 5 月 5 日发生在中国西北地区的一次特强沙尘暴造成 85 人死亡, 31 人失踪, 264 人受伤, 直接经济损失达 5.5 亿元人民币。这次沙尘暴损失惨重, 引起了社会各界的关注^[6]。因此, 作好沙尘暴的预报对我们的生活至关重要。

万方数据

特强沙尘暴(黑风暴)是一种小概率中尺度现象, 预报它非常困难。它的形成虽然与寒潮冷空气的爆发有关, 但并非每一次寒潮的爆发都造成特强沙尘暴天气, 这两者之间又存在着一些差异。特强沙尘暴的形成除了季节和热力因素外, 作为一种中尺度现象, 它总是与特定的大尺度环流过程相关联, 因此, 又是大尺度环流过程的产物。我们对历史上从 1957~1996 年, 40 年中 37 次发生在内蒙古中西部地区(这里包括阿拉善盟、巴彦淖尔盟、伊克昭盟、乌兰察布盟、锡林郭勒盟、呼和浩特市、包头市和乌海市)的特强沙尘暴进行了综合分析研究, 研究并分析了每一次沙尘暴形成前 24h 和前 12h 的 500hPa、700hPa、850hPa 和地面各层的大尺度环流形势特征, 其中包括寒潮冷空气的位置和强度, 寒潮冷槽的强度, 锋区强度, 冷槽附近的最大风速、

收稿日期: 2001-02-25

作者简介: 高涛(1959-), 女, 陕西人, 高级工程师, 从事沙尘暴预报方法的研究工作。

风向以及地面冷高压的中心位置和强度,冷空气前部的最大气压梯度,气旋的位置和强度及其移动路径和冷锋附近最大正负 3h 变压等等。根据这些特征,将 37 场沙尘暴天气过程归纳成 4 个大气环流类型。在现有历史资料的基础上,对每一类型选取同一季节(春季)的一个典型历史个例作为该类型的类型样本。采用从中国气象局的 MICAPS 系统(气象信息综合分析处理系统)上获得的实时资料(有 500hPa、700hPa、850hPa 高度、气温、风速、风向和地面海平面气压、3h 变压、风速和风向)作为实时待判样本,与 4 个环流类型进行归类判别分析计算,参考 Saaty T. L. 提出的综合选优方法,建立判别矩阵和优先关系矩阵,然后计算判别函数,根据判别函数的值判断实势和沙尘暴的影响范围及强度作出沙尘暴预报。该模式的系统流程粗框图(图 1)。

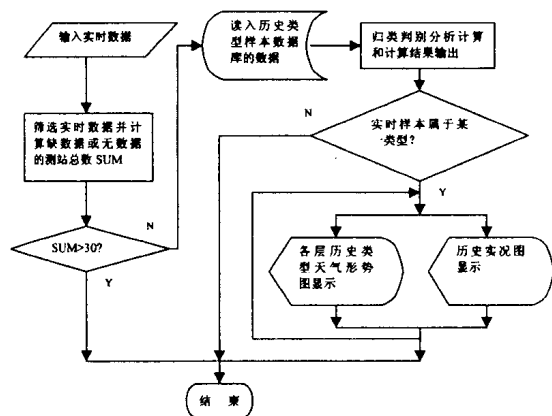


图 1 系统流程粗框图

该模式在 1998 年春季的业务试运行中,对 1998 年 3 月 17~19 日发生在内蒙古锡林郭勒盟、乌兰察布盟、巴彦淖尔盟和阿拉善盟的强沙尘暴获得了较高的判别指标,该次过程归属于西北路冷空气影响类,沙尘暴天气为中部型。

后经对算法的改进和调整参数,在 2000 年春季,从 3 月 17 日~5 月 20 日,我们逐日运行了该模式。从大气环流的类型特征看,万方数据

有 9 场为西北路冷空气影响类,2 场为西路冷空气影响类,计算结果与实况环流类型基本相符。从沙尘暴发生的地区和强度看,实况发生的地区和强度中心与历史类型典型个例的实况基本吻合。最差能见度测站出现的位置(内蒙古的中部或西部)与历史个例最差能见度测站出现的位置基本相符。该模式为预报员提供了一个沙尘暴预报的参考依据。

1 4 种沙尘暴大气环流类型和天气类型

根据冷空气影响内蒙古自治区的路径和影响方式,我们把沙尘暴的大气环流特征归纳成 4 个类型^[7]:

1.1 西路冷空气影响类(A 类)

其环流过程的一个显著特点是冷空气先在中国的新疆北部有明显的堆积过程,然后分裂,经河西走廊东移,影响内蒙古的西中部地区。

1.2 西北路冷空气影响类(B 类)

其环流特点是冷空气由西伯利亚北部快速并有规律地向东南方向移动,经蒙西山地影响内蒙古自治区。

1.3 北路冷空气影响类

冷空气自北路影响内蒙古自治区。在高空环流形势图上是一个横槽活动过程。根据横槽的影响方式,又分为横槽摆动类(C I 类)和横槽南压类(C II 类)。

根据沙尘暴天气造成 0 级能见度(能见度 < 50m)测站所出现的位置,并参考 1 级能见度(能见度在 50~100m 之间)和 2 级能见度(能见度在 100~200m 之间)测站出现的位置分布,把沙尘暴天气划分为^[8]:

1.4 西部为主型天气(WM 型)。它所对应的大气环流类型是 A 类。0 级能见度出现的测站在内蒙古西部地区,1 级,2 级能见度出现的测站扩大到内蒙古中部地区。

1.5 中部型天气(M 型)。它对应的环流类型为 B 类。0 级能见度测站出现在内蒙古的中部地区。

1.6 中部为主型天气(MW 型)。对应的环

流类型为 CI 类。0 级能见度测站出现在内蒙古的中部,1 级,2 级能见度出现的测站扩及到内蒙古的西部地区。

1.7 西部型天气(W 型)。对应的环流类型为 CII 类。0 级能见度测站出现在内蒙古的

西部地区。

内蒙古西部地区指阿拉善盟、巴彦淖尔盟、伊克昭盟、乌海市、包头市;内蒙古中部地区指呼和浩特市、乌兰察布盟和锡林郭勒盟。沙尘暴各类型典型个例表(表 1)。

表 1 沙尘暴各类型典型个例表

环流类型	天气类型	过程日期	数据库日期	
			过程前 24h	过程前 12h
A	WM	1993 年 5 月 5 日	1993 年 5 月 4 日 20 时	1993 年 5 月 5 日 08 时
B	M	1993 年 4 月 25 日	1993 年 4 月 24 日 20 时	1993 年 4 月 25 日 08 时
CI	MW	1962 年 5 月 6~7 日	1962 年 5 月 5 日 20 时	1962 年 5 月 6 日 08 时
CII	W	1994 年 4 月 6~8 日	1994 年 4 月 5 日 20 时	1994 年 4 月 6 日 08 时

2 实时数据筛选和历史典型个例数据库

我们采用了 MICAPS 系统下的地面和探空 500hPa、700hPa、850hPa 的资料作为实时数据,每日作 08 时和 20 时两个时次的计算。筛选实时数据是根据计算区域内选定的站号,将资料中缺数据和无数据的站剔除,并同时统计这些站的总数,如果这些站数太多,如 >30 个,则计算结果将降低或失去参考价值。

我们选定的计算区域是 35°~65°N, 65°~130°E。根据现有的历史资料,在该区区域内选定 78 个测站的要素参加计算。对于每一种环流类型,选取一个典型的历史个例作为类型样本,用沙尘暴天气出现前 24h 和前 12h 的 500hPa、700hPa、850hPa 和地面 4 层的数据建立历史典型个例数据库。数据库中包括的气象要素有气温、位势高度、风向、风速、海平面气压和 3h 变压。

3 数学模型和计算方法

由于使用各气象要素的单位和数量级的不同,我们必须对他们进行预处理^[9]。对于 K 个要素,我们有 K 个 M×N 的数据矩阵 L,这里 M 为环流类型个数,N 为计算区域内入选站个数,L 矩阵中的每一个元素记为 $\epsilon_{ij}^{(k)}$ 。实时数据为一个 N×K 的矩阵 X,其元素记为 $x_j^{(k)}$ 。

令: $b_{ij}^{(k)} = |\epsilon_{ij}^{(k)} - x_j^{(k)}| (i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, K)$

万方数据

生成矩阵 $B_M^{(k)} \times N$ 。

对于每一层的风向值我们作如下模糊化处理^[10](表略)。

其中,风向值定义成 0 表示风向在 0~45°之间,风向值定义成 1 表示原风向在 45~90°,等等。对矩阵 $B_M^{(k)} \times N$ 计算其列均值 $\overline{b_j^{(k)}}$ 和标准差: $S_j^{(k)}$

$$\overline{b_j^{(k)}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M b_{ij}^{(k)}$$

$$S_j^{(k)} = \sqrt{\sum_{i=1}^M (b_{ij}^{(k)} - \overline{b_j^{(k)}})^2}$$

对所有站 N 计算指数相似系数得相似矩阵 $C_{M \times N}$:

$$C_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{3}{4} \cdot \left(\frac{b_{ij}^{(k)}}{S_j^{(k)}}\right)^2\right) \text{ (其中 } C_{ik} \text{ 满足 } 0 < C_{ik} \leq 1)$$

设 r_k 为各要素的专家权重,对 C_{ik} 赋权后仍记为 $C_{ik} = C_{ik} r_k$ 。

按照 Saaty T. L. 提出的方法构造一个 K×K 的判别矩阵 A,其元素由如下公式计算: $a_{kl} = \left(1 + \frac{4(l-k)}{K-k}\right) \frac{1}{K-k}$, 并且满足: $a_{kk} = 1; 1 < a_{kl} < 5 \text{ and } a_{lk} = (a_{kl})^{-1}$

$$\text{令: } \overline{w_k} = \left(\prod_{l=1}^K a_{kl}\right)^{\frac{1}{K}}$$

$$w_k = \frac{\overline{w_k}}{\sum_{k=1}^K \overline{w_k}}$$

定义判别变量为

$$J = \frac{1}{K-1} \left(\sum_{i=1}^K \frac{(AW^T)_i}{Kw_i} - K \right)$$

其中 $(AW^T)_i$ 表示矩阵 (AW^T) 的第*i*行,这里 W^T 是矩阵 W 的转置矩阵。如果 $J < 0.1$,则认为判别矩阵 A 构造成功,否则修改 A 直到 $J < 0.1$ 。设 $\lambda = 0.5$ 为一判别数,对矩阵 C 的每一列建立下列 $M \times M$ 的优先关系矩阵, $P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(K)}$,其元素按如下公式计算

$$P_{ik}^{(k)} = \begin{cases} 1 & \text{if}(c_{ik} - c_{hk} \geq \lambda) \\ 0.5 & \text{if}(c_{ik} - c_{hk} < \lambda) \end{cases}$$

定义判别函数为:

$$f_i = \frac{100}{M} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M w_k P_{ik}^{(k)} (i=1, 2, \dots, M)$$

4 应用与实例

沙尘暴归类判别分析预报模式设计完成后,在1998年春季开始业务试运行。对于1998年3月17~18日发生在内蒙古中西部地区的一次强沙尘暴,参考其归属类型的天气形式和历史实况,及时发布了自治区历史上首次沙尘暴天气预报。该次过程是中部天气型,其大气环流特征为西北路冷空气影响。同样,对1998年4月15~16日出现在内蒙古的阿拉善盟、巴彦淖尔盟、伊克昭盟、锡林郭勒盟及呼和浩特地区的沙尘暴,通过媒体及时地发布了大风和沙尘暴预报,公众反映良好。关于这次预报,《中国气象报》1998年

4月23日和《内蒙古日报》4月16日、18日均有报道。

在2000年入春前,我们对模型的算法作了修改,调整了一些参数,并对历史典型个例库中的数据进行了补充和完善。在中国气象局的MICAPS系统推广使用后,修改并调试了模式中的全部计算程序使之适用于MICAPS系统的数据格式。从2000年3月17日~5月20日,在内蒙古气象台逐日运行该模式,获得了在此期间发生在内蒙古中西部地区11场沙尘暴中9场较高的归类结果,2场归类指标稍低。从大气环流类型看,归类基本正确。从沙尘暴影响的区域和强度中心看,实况的发生区域和中心与历史实况基本吻合,只有一场沙尘暴实况最差能见度测站出现在西部,而历史典型个例中的最差能见度测站出现在中部。值得一提的是2000年4月28~29日发生在内蒙古西、中部地区和宁夏、甘肃等省的一场特强沙尘暴。内蒙古气象台通过新闻媒体及时地发布了有关沙尘暴的重要天气预报,提醒公众和电力、交通、航空等相关行业注意预防、避免了不必要的损失。

对于2000年4月19日发生在内蒙古西部地区的强沙尘暴,我们获得了较好的计算结果,表2是这次沙尘暴过程的归类判别分析计算结果。

表2 归类判别计算结果(实时资料时间:2000年4月18日08时)

序号	地面				500hPa				700hPa				850hPa			
	归类	指标	典型历史个例日期		归类	指标	典型历史个例日期		归类	指标	典型历史个例日期		归类	指标	典型历史个例日期	
1	A	41	19930505		CI	75	19620506		A	66	19930505		A	75	19930505	
2	B	33	19930425		A	58	19930505		CI	66	19620506		CI	33	19620506	
3	CI	33	19620506		B	16	19930425		B	16	19930425		CII	16	19940406	
4	CII	8	19940406		CII	0	19940406		CII	8	19940406		B	0	19930425	

注:计算区域内缺、无数据站数:地面8个,500hPa24个,700hPa24个,850hPa32个。

从高空天气图上看,在4月16~17日08时,乌拉尔山有长波脊发展,其前部在西伯利亚有低槽向东南方向移动,18日08

时,受槽后西北气流的引导,低槽加深并东移到中国的新疆北部。500hPa低槽附近锋区密集,温度梯度为 $20^{\circ}\text{C}/500\text{km}$, -32°C 冷中

心在蒙西山地。700hPa 和 850hPa 有明显的冷平流,与高空冷空气相配合,地面冷高压主体从西西伯利亚经中亚地区移至中国的新疆北部。02 时,在蒙西山地到天山北部冷高压与蒙古低槽之间形成了等压线密集带的强气压梯度。14 时,冷锋经过哈密,锋面前后有明显的正、负变压,3h 变压差达 6.3hPa。这

次沙尘暴过程的大气环流属西路冷空气影响类,与 1993 年 5 月 5 日沙尘暴的大气环流特征很相似。由于高空锋区和急流不如 1993 年 5 月 5 日特强沙尘暴过程高空锋区和急流强,故产生的天气也没有达到特强沙尘暴的强度,但沙尘暴天气均出现在内蒙古的西部地区,强度中心亦基本吻合(图 2)。

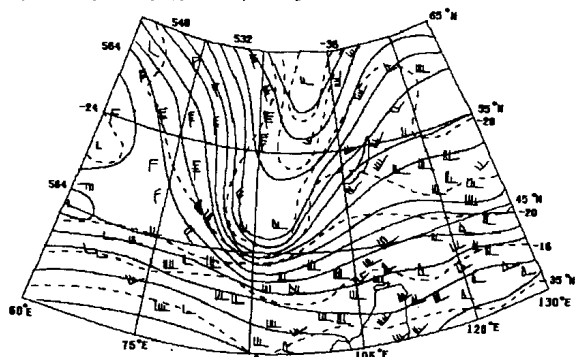


图 2 1993 年 5 月 5 日 08 时 500hPa 天气图、2000 年 4 月 18 日 08 时 500hPa 天气图

5 结论和两点讨论

通过实际业务运行证实:沙尘暴归类判别分析模式的计算结果可为沙尘暴预报提供参考依据,是一个客观的、定量化的、可行的、使用效果较好的预报方法。为提高预报准确率,防灾减灾,生态环境保护提供了技术支持。

关于沙尘暴的分级,我们参考了刘景涛的“关于黑风暴定义的意见”一文和内蒙古自治区技术监督局 1997 年公布的《内蒙古自治区地方标准》— 畜牧气象灾害标准,根据能见度、风速等,把沙尘暴划分为三级:在内蒙古地区出现 3 个以上能见度低于 1 000m 的测站为一般沙尘暴;出现 3 个以上能见度低于 500m 的测站为强沙尘暴;如有一个以上测站的能见度 < 50m 为特强沙尘暴(黑风暴)。根据以上划分,2000 年春季从 3 月 17 日~5 月 20 日发生在内蒙古境内的 11 场沙尘暴中有 5 场一般沙尘暴,6 场强沙尘暴,没有出现特强沙尘暴,在同时间的逐日计算中也没有获得很高的归类指标,沙尘暴天气出现的强度和范围与归类计算结果基本吻合。

讨论 1:影响归类指标的几个因素

万方数据

为了让预报员更直观,更易理解判别函数值的意义,我们将判别指标换算成百分数,百分数越高,即归类指标越高,表明实时样本的天气形势与历史类型的天气形势之间的“距离”越近。

运行模式时常遇到的问题是实时资料的短缺,在计算区域内一些站的某个要素缺数据或是整个站无数据。当缺、无数据的总站数较少时,对判别函数的值影响不大。当缺、无数据的站较多时,将影响判别函数的值,从而影响归类结果。例如某个站的实时与某类该站的历史数据相差无几,如果只用该站作归类计算,归类指标几乎为 100%,但这种结果是毫无意义的。一个点或少数几个点无论如何也代表不了一个面的情况。因此,当实时资料中缺、无数据的站太多时,直接影响归类的准确性。

模型中的一些参数也会影响判别指标。一个是根据专家经验给出的各气象要素的权重会影响判别指标;另一个是算法中参数 λ 的取值,对于该参数涉及两个方面,一是调整其大小将改变对矩阵 C 的判断标准,这会改变优先关系矩阵 P 的每个元素的取值,因此

将影响判别指标。另一方面是只设一个判别数 λ 使矩阵P的元素呈二值化,即矩阵P的每个元素是1或0.5。如果这里设多个判别数,使矩阵P的元素呈多级化,归类结果更精细。

在模式的计算中由于一些原因我们没有获得计算区域内网格点上的历史数据,因此采用的是测站上的实测数据。采用实测数据的一点好处是它可以避免往网格点上插值的误差。

讨论2:影响预报效果的几个因素

运行该模式时,计算区域内缺数据或无数据的站所集中的区域位置是影响预报效果的重要因素之一。蒙古国境内的数据对内蒙古中西部地区的沙尘暴预报至关重要。由于一些原因,我们收到的实时资料中缺数据或无数据的站往往都集中在该区域内,这直接影响到归类指标和预报效果。

模式中现已考虑的气象方面的因素是否合理是我们应当进一步研究的问题。例如地面的干湿程度是在一定的风速下能否起沙或发生沙尘暴的因素之一。因此,当天气形势达到一定的能形成沙尘暴的条件时,前面的日子是否有降水和降水量的大小亦是一个重要因素。

新环流类型的发现和数据库的补充是模式完善的另一个方面,在今后的应用中,可能会有新的环流类型被发现,这时需将新的类型补充进数据库。对于类型数据库的改进应考虑类型细化的问题。可把每个大类再划分成几个子类,在初步归类的基础上作更进一步的精细归类。这会使归类更精细,以提高预报效果。

该模式是按照每日计算两个时次设计的,即北京时08时和20时,在实际运行中,往往20时的资料缺的太多,因此20时的计算结果无参考价值,在一定程度上影响了计算的延续性和预报时效。

6 模式的改进和开发

模式的改进与开发涉及以下几个方面:第一,该方法经过修改后可以应用于其他灾害性天气的预报,如大雨、暴雨及大雪、暴雪等天气的预报。第二,如用该方法预报其他地区可通过改变计算区域和建立适合该地区的类型数据库来实现。第三,将多个典型的历史个例放入数据库,在大分类的基础上,寻找历史相似个例作为预报参考以提高预报效果。

参考文献:

- [1] Saaty T. L. (1996) The Analytic Hierarchy Process [M]. Pittsburgh, RWS Publications, 287pp.
- [2] Li, A. C., Chen, L. R. & Wang, P. G. (1998) Source of a floating dust episode over the Qingdao region and dust throughout to the ocean. Chinese Science Bulletin [J]. 43: 62 - 65.
- [3] Niimura, N., Okada, K., Fan, X. B., Dai, K., Arao, K., Shi, G. Y. & Takahashi, S. (1998). Formation of Asian dust - storm particles mixed internally with sea - salt in the atmosphere. Journal of the Meteorological Society of Japan [J]. 76: 275 - 288.
- [4] Chung, Y. & Yoon, M. B. (1996). On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings. Atmospheric Environment [J]. 30: 2387 - 2397.
- [5] Chang, X. Y., Arimoto, R., An, Z. S., Chen, T., Zhang, G. Y., Zhu, G. H., & Wang, X. F. (1993). Atmospheric trace - elements over source regions for Chinese dust - concentrations, sources and atmospheric deposition on the loess plateau. Atmospheric Environment Part A - General Topics [J]. 27: 2051 - 2067.
- [6] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.
- [7] 刘景涛,郑明清.华北北部黑风暴的气候学特征[J].气象,北京:气象出版社,1998.
- [8] 内蒙古技术监督局.畜牧气象灾害标准[A].内蒙古自治区地方标准[C].1997.
- [9] 张圣华.C语言数值算法[M].北京:海洋出版社,1993.
- [10] [美]T.帕夫利迪斯.计算机图形显示和图像处理的算法[M].北京:科学出版社,1987.

Objective pattern discriminating model for dust storm forecasting

GAO Tao, LIU Jing - tao, KANG Ling

(Inner Mongolia Autonomous Region Meteorological Bureau, Hohhot 010051, China)

Abstract: For forecasting dust storms in central and western area of Inner Mongolia Autonomous Region, a classified discrimination approach has been developed. According to the historical meteorological circulation patterns, we have classified the 37 strong historical dust - storm events in this area during the last 40 years into four patterns. Using the method suggested by Saaty T. L, a priority relationship matrix was set up and then, the discriminating function. Depending on the values of the function, we can judge whether the real - time situation belongs to one of the four patterns and if so, to which one. If it belongs to one pattern, then we can use this historical typical event as a background for forecasting a dust storm. Its successful applications were shown by the using during the spring of year 2000.

Keywords: Dust storm; Discriminating analysis; Circulation patterns

(上接 8 页) 万, 受影响耕地约 216.4hm^2 , 牧草地约 902.6hm^2 。由于其影响范围的向东南扩展, 逐渐覆盖了北京和天津这样的大城市的市区、郊区及河北、辽宁农业与沿海发达地区, 在 6 日下午 4 时的影响总范围达到约 $285\,797\text{km}^2$, 受影响人口约 4 408.99 万, 受影响耕地约 603.1hm^2 , 牧草地约 $1\,139.6\text{hm}^2$ 。此次沙尘暴造成了我国北方大范围的环境污染, 更造成了这一地区农牧业和航空运输、公路交通、邮电通讯的直接损失, 初步估算损失上亿元。

3 对策建议

如前所述, 沙源和合适的天气条件(大风、上升气流强), 对于沙尘天气形成来说, 缺一不可。因此大力减少裸露地面, 注意控制地面尘源, 是减轻沙尘天气强度的有效方法。此外, 目前人类虽无法控制天气条件, 但是加强北方地区沙尘天气监测预警系统建设, 加强沙尘暴形成条件、机理、变化规律等方面的研究, 对于减轻沙尘暴天气所造成的危害有十分重要的作用。

3.1 加强北方地区沙尘天气监测、预警系统建设

我国北方地区, 特别是西北地区的气象台站稀少, 设备落后, 难以适应沙尘暴天气进行监测、预警的要求。建议加强北方地区沙尘暴天气监测、预警系统, 应用气象卫星、雷达、探空、自动气象站等多种手段对沙尘暴的形成、发展和传播进行跟踪监测、探索将传统的天气学方法和现代数值预报方法有效结合的沙尘暴天气中短期预报方法以形成实时的沙尘暴监测、预警和服务系统。

3.2 加强沙尘暴形成条件、机理、变化规律等方面的研究, 提高沙尘暴天气的预报能力

目前我们对沙尘暴天气形成和发展的规律, 以及沙尘长距离输送的天气条件等了解很少, 直接预报沙尘暴发生的能力很低, 现在主要是通过预报大风来推测沙尘暴的发生。因此, 还需要加强对沙尘暴形成条件、机理、变化规律等全面的研究, 以逐步提高直接预报沙尘暴天气的能力。