

西北地区沙尘暴天气监测预警服务业务系统

王遂缠, 王鹏祥, 王志宇

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要 西北地区沙尘暴天气监测预警服务业务系统由沙尘天气资料库、沙尘天气监测、沙尘天气预报和沙尘天气服务4个子系统构成, 是一个具有较好物理基础、较强监测预报服务能力、较高自动化程度并具有西北区域沙尘暴气候特色的综合业务系统。业务试运行期间, 在2003、2004年春季几次沙尘暴天气的预报服务中发挥了重大作用, 并取得了良好的社会效益。该系统为西部大开发气象服务提供了有力的技术保障, 为西部地区环境保护和环境监测奠定了基础。

关键词 西北; 沙尘暴; 监测; 业务系统

中图分类号 TP29

文献标识码 A

引言

沙尘暴是西北地区的主要气象灾害之一, 它发生频率高, 持续时间长, 涉及范围广。沙尘暴尤其是特强沙尘暴(瞬时风速 ≥ 25 m/s, 能见度 < 50 m)破坏性极强, 会给农林业、畜牧业、电力、通信、交通和人民生命财产造成严重危害。如1993年5月5日, 发源于甘肃省金昌市的特强沙尘暴持续时间约5 h, 波及方圆500 km, 直接经济损失3.2亿元, 造成约300余人伤亡^[1]。

中国西北地区大部属于干旱半干旱区, 自然环境恶劣, 多沙漠和戈壁, 是我国沙尘暴多发地区之一, 也是沙尘暴的主要受灾区。每年由于沙尘暴灾害造成的损失数以亿计。境内的河西走廊被巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和塔克拉玛干沙漠包围, 常发生大规模风沙灾害, 其影响波及华北、东北直至长江中下游地区, 被确认为我国北方强沙尘暴源区之一^[2]。近年来, 由于全球气候变暖和不合理的人类活动等因素, 强沙尘暴出现频率有增加的趋势, 导致这一地区自然生态环境的进一步恶化, 使得本来就相对落后的当地经济雪上加霜。因此, 重视对沙尘暴的研究, 提高监测预警水平, 从而减轻沙尘暴的危害程度是目前一项十分重要和迫切的工作。

目前, 我国正大力实施“西部大开发”战略, 西

北地区逐渐成为人们关注的焦点, 其生态环境建设、防灾减灾等诸多问题已是许多科学研究领域的热点。在“西部大开发”战略的实施中, 生态环境建设将作为一项首要任务, 通过退耕还林(草)等一系列措施使甘肃等西北地区植被覆盖率增加, 沙漠荒地减少, 从而改善下垫面状况。从长远看, 将使沙尘暴的发生得到一定的遏制, 减轻沙尘暴的灾害程度。但要让西北广阔的沙漠荒地面貌得到根本改变, 尚需几代人的不懈努力, 而沙尘暴发生是生态环境恶化与大风等气象因素共同作用的结果, 也是人为力量所无法控制的。在目前有限的条件下, 要最大限度地减少沙尘暴灾害造成的损失, 就必须对沙尘暴天气的发生做出比较准确的气象监测和预测, 及早防范, 才能达到防灾减灾的目的。

就沙尘暴天气的成因分析^[3-4]、时空分布特征^[2]、卫星云图与光学特征^[5-6]以及沙尘气溶胶的物理化学及辐射特性^[7]等方面均有很多杰出的工作; 在沙尘暴的数值模拟与沙尘输送研究方面也取得了诸多成果^[8-9]。另外, 内蒙^[10]和北京^[11]的气象专家研制完成了环北京地区沙尘监测预警业务系统, 在业务预报服务中发挥了较好作用。本文从实际天气预报业务出发, 全面系统地介绍了中国西北地区以及内蒙古西部沙尘暴天气监测预警服务业务系统。

收稿日期 2005-08-07; 改回日期 2005-10-18

基金项目 科技部社会公益类项目(2000DIA10031、2002DIB10046)联合资助

作者简介 王遂缠(1975-), 男, 甘肃天水人, 工程师, 主要从事天气气候诊断与预报研究。E-mail: wangsc@gsm.a.gov.cn.

1 系统开发环境和运行环境

1.1 系统开发环境

本系统是在联想“奔月 2000”(PⅢ866,内存 128 M,硬盘 20 G,SVGA 图形卡)微机上开发研制的,以 Windows98 为操作系统。主要开发工具为 Visual c++6.0、Visual basic6.0,数据库支持 SQL 查询,系统开放环境部分由 Java、Frontpage 等工具开发。

1.2 系统运行环境

系统最佳运行环境是 PⅢ或以上微机,内存在

64M 或以上,硬盘剩余空间在 1.5G 或以上,17 英寸以上显示器,并配有网卡可登录 Internet。操作系统要求是 Windows 98、NT4.0、Windows2000、Windows xp 中的一种。

2 系统结构

该系统包括 4 个子系统:沙尘天气资料库、沙尘天气监测、沙尘天气预报和沙尘天气服务。系统结构流程如图 1。

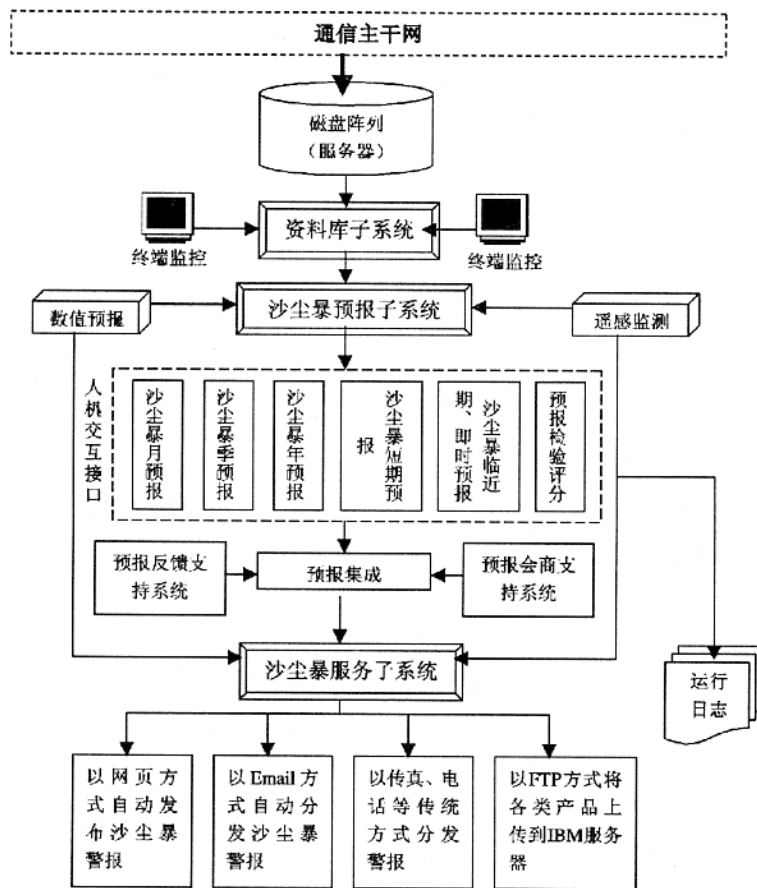


图 1 西北干旱区沙尘暴预警服务综合业务系统结构流程图

Fig.1 The flow chart of dust and sand storm monitoring and forecasting operation and service system in Northwest China

3 系统特点

3.1 应用特点

3.1.1 良好的物理基础

本系统以科技部 2000 年度科研院所社会公益类研究项目《西北干旱区沙尘暴预警、服务系统研

究》的研究成果为基础。系统引用的每一条结论,都是经过多人的悉心研究,认真总结的成果,预报模型和方法都已经经过认真检验和不断比较提炼。因此,系统有扎实可靠的理论基础。

3.1.2 含盖范围广

该系统的资料库、监测、预报和服务都把西北 5

省区(陕、甘、宁、青、新)和内蒙古西部地区作为对象,收集加工以上各省区资料构建了全面的沙尘天气各类数据资料库,并以此为基础,结合 EOS/MODIS 系统,完成了地基至空基的立体式沙尘暴监测预警网络。依托中国沙尘暴专业网站,可快速准确地向广大普通用户和国内外学者提供各类沙尘暴天气数据和信息。

3.2 运行特点

3.2.1 先进性

系统主要采用 Visual C++ 可视化语言编程,以面向对象、事件驱动和 DLL 动态库为主,摆脱了以往面向过程、代码驱动的弊端,使系统的开发更加高效、结构更加清晰。系统采用程序标准设计规范,充分考虑各类人群的用户,全程支持键盘或鼠标操作,具有全程的在线提示功能,系统界面友好、结构清晰、设计规范。

3.2.2 独立性

该系统内容多、涉及面广,按模块化设计,各个子模块互相独立地被主模块调用,各子模块之间通过公用数据区通信和交换信息,相互独立,某个子模块出现某中未预见故障而不会影响其它子系统的正常运行,从而避免了整个系统出现瘫痪的可能。

3.2.3 安全性

该系统的各个模块和接口都被严密监控,对一些系统环境改变可能波及的故障,如硬盘空间不足,WINDOWS 长驻程序出现异常增减以及 CPU 或内存被长时间独占等情况,均能及时给出警告和提示。系统对数据库使用提供了 3 重权限,分为管理员、专业用户和普通用户权限,对数据的保护和完整提供了可靠的保障。另外,系统对用户的一些非法操作能给出提示和引导信息,帮助完成操作。系统还能后台自动记录各个子系统的运行情况和利用率,便于维护和管理。

4 系统主要内容及功能

4.1 沙尘天气资料库子系统

数据库包括台站信息库、沙尘天气个例库、文献表、灾情表、图片库和要素库,库容超过 1.5G。系统提供了一个完善的查询条件生成器,实现任意范围、任意强度、任意时间尺度的查询。对于查询、统计的结果可以表格、曲线方式直接显示,也可以保存为特定格式的文件,以便进行其他处理,为了方便用户使用,系统可将显示数据保存为文本文件或输出到 EXCEL 中,同时提供了 winsurfer 绘图格式,实现了

沙尘天气资料的自动追加、区域分析、序列重建等,为业务和科研人员提供了一个基本数据平台,实现了产品的 web 发布,可以通过浏览器方便查阅所需资料,是目前我国第一个信息丰富、资料翔实并基于 Internet 的沙尘暴数据库。其主要特点如下:

(1) 可扩展性。实现了任意范围、任意时段、任意强度以及任意开始时间、持续时间的沙尘天气查询与统计。

(2) 区域沙尘暴标准划分的自动实现。只要给出区域性沙尘暴过程的相邻站数“n”,运行该程序就能自动划分出区域沙尘暴过程历史序列。

(3) 任意时段、任意范围、任意强度沙尘资料序列的重建。数据库实现了一般用户在不了解数据格式的情况下,通过可视化的界面按任意条件对资料进行查询、统计,并建立用户需要的资料序列,结果以图形、文本文件、绘图格式文件等多种格式输出,实现了沙尘暴区域性、连续性分析算法,为业务、科研人员了解沙尘暴的区域性、连续性提供了一个工具。

4.2 沙尘天气监测子系统

4.2.1 环流监测

系统可监测每天 100 hPa、200 hPa、300 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 高度层上的环流特征、温度平流和急流区。主要监测南压高压、极涡、新疆高压脊、东亚大槽等的强度和位置,乌拉尔山(或中亚)长波脊的建立、发展和东移等。系统也监测每天每 3 h 的地面要素场,分析判断地面冷锋、冷高压、热低压、地面气旋等。并结合冷锋云带和云顶亮温,建立了沙尘暴监测模型。

4.2.2 沙尘易发区环境场监测

沙尘暴的形成及其大小,直接取决于风力、气温、降水、冷空气活动及与其相关的土壤表层状况。强风是产生沙尘暴的动力,地面上裸露的疏松沙土是产生沙尘暴的物质基础,冷空气活动频繁,会导致风力增大沙尘天气加强。气温高、降水少、大风多是形成沙尘暴的主要原因。

本系统通过地面自动气象站网络,尤其是那些沙尘易发地区的气象站资料进行自动收集和检索,可监测每间隔 1 h 的降水量、气温、极端气温、湿度、本站气压、海平面气压、风向、风速、最大风速和最大风速的风向、地表温度(0 cm)、5 cm 地温、10 cm 地温、15 cm 地温、20 cm 地温、40 cm 地温、80 cm 地温、160 cm 地温等 18 种要素。并将地表温度、5 cm

地温、降水量、风速作为沙尘天气预警判据,对冬、春季节沙尘暴易发区域得出了以下 3 级预警:

沙尘 1 级预警(可能出现浮尘)地表温度和 5 cm 地温 $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;降水偏少,与历史同期相比负距平达 $-40\% \sim -60\%$;以上条件持续 3 d 或以上,并当日有 4~5 级风。

沙尘 2 级预警(可能出现扬尘)地表温度和 5 cm 地温 $> 3\text{ }^{\circ}\text{C}$;降水偏少,与历史同期相比负距平达 $-60\% \sim -80\%$;以上条件持续 3 d 或以上,并当日有 5~6 级风。

沙尘 3 级预警(可能出现沙尘暴)地表温度和 5 cm 地温 $> 3\text{ }^{\circ}\text{C}$;降水偏少,与历史同期相比负距平达 $-80\% \sim -100\%$;以上条件持续 3 d 或以上,并当日有 6 级以上风。

4.2.3 卫星遥感监测

气象卫星从太空观测地球,具有覆盖范围广、时效高、不受地理气候条件和地域限制的特点,利用气象卫星这一高科技手段对沙尘暴天气进行实时动态监测,从宏观上认识沙尘暴,对准确预测沙尘暴、及时发布预警及采取有效防护等方面,有着十分重要的意义。

根据业务需求,利用研制的沙尘判识指数,开发研制了一套用于沙尘暴气象卫星遥感实时监测和服务的业务系统。该系统能够根据卫星星体的变化选择判识指数,通过设定的阈值自动进行沙尘的判识,将沙尘判识结果以醒目又符合公众视觉的颜色叠加在 NOAA 卫星假彩色图像中,使沙尘的空间分布及其纹理特征明显真实地展现出来,并能统计出不同强度等级的沙尘暴面积。业务运行表明该系统具有实时性和实用性,为定量监测沙尘暴,提高沙尘暴监测和服务水平提供了有效工具。

4.3 沙尘天气预报子系统

4.3.1 建立了基于 T213 数值预报场的沙尘天气 MOS 系统

利用中国气象局开发的 T213 全球谱模式($70^{\circ} \sim 115^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$, 格距 1×1)00、24、36、48 共 4 个时次和 850、700、500、400、300、200、100 hPa 共 7 个层的 PS 、 H 、 T 、 U 、 V 、 RH 输出场建立了回归方程,预报输出了北疆西部、北疆东部、南疆西部、南疆东部、河西西部、内蒙西部、青海西北(柴达木地区)、河西东部、甘肃中部、宁夏、陕西北部、陇东南地区、高原东部各片未来 48 h 内的沙尘暴概率值、扬沙概率值、浮尘概率值、能见度、沙尘暴临界概率值、扬沙

临界概率值、浮尘临界概率值。

4.3.2 结合卫星云图特征分析的沙尘天气预报模型

通过 1977~2000 年 22 个典型个例以及近 2 a 发生的 2001 年 4 月 6~9 日、2002 年 3 月 18~22 日等沙尘暴个例分析,对以往沙尘暴天气分类进行了修改、补充和完善。将沙尘暴按冷空气移动路径分为 5 类,即:西北路径类、西北路径偏北类、北方路径类、北方路径偏东类、西方路径类。按照这 5 种类型筛选预报因子,建立预报规则。

预报因子有:冷锋云带、云顶亮温、500 hPa 低压槽、 ΔH_{24} 、 ΔT_{24} 、关键区高度差、500 hPa 强风带、500 hPa 锋区、地面冷锋、冷高压、热低压、地面气旋、 ΔP_3 、 ΔP_{24} 、气压差以及地面 ΔT_{24} 、 $T - T_d$ 、涡度、垂直速度、涡度平流、 θ_{se} 、 θ_e 、高空急流等 20 多个预报因子。

系统按预警分类模型、动力诊断模型、热力稳定度模型进行逐级诊断分析,同时满足以上模型规则,在对应区域将有一次沙尘暴天气过程。

4.3.3 场相似、相似离度在沙尘暴预报中的应用

C_{ij} 表示 2 样本的相似离度^[12]

$$C_{ij} = 0.5 \times (S_{ij} + D_{ij}) \quad (1)$$

其中

$$S_{ij} = \left(\sum_{k=1}^M |X_{ijk} - E_{ijk}| \right) / M \quad (2)$$

$$D_{ij} = \left(\sum_{k=1}^M |X_{ijk}| \right) / M \quad (3)$$

$$X_{ijk} = X_{ik} - X_{jk} \quad (4)$$

$$E_{ijk} = \left(\sum_{k=1}^M X_{ijk} \right) / M \quad (5)$$

X 表示因子数值; M 表示每个样本取 M 个格点; k 表示格点序号 $k = 1, 2, \dots, M$; i, j 表示 2 个不同的样本。相似离度 C_{ij} 是由形系数 S_{ij} 和值系数 D_{ij} 决定的,由于 S_{ij} 与 D_{ij} 数量级相同,因此 C_{ij} 值取两者平均即可。 C_{ij} 越小越相似, C_{ij} 越大越不相似。具体公式推导参见文献 [12]。

根据各类沙尘天气环流型,确定了冷锋后偏西型、强锋区下动量下传型、冷高压南部型、热低压前部型和河西小槽型 5 类沙尘天气基准库。在确定相似离度究竟多大是比较相似或认为可能有沙尘暴天气时,我们随机地选了 10 组数据,每组数据包含 10 个天气场(均为春—冬季且非沙尘暴天气日),将各类沙尘暴平均场以及对应的各个关键区进行了计算($10 \times 10 \times 6$)共得到 600 组相似离度数据,结果发现其中有 521 个 > 8 , 74 个 > 5 , 5 个 < 5 (仅占 8%)。

在业务试运行期间,验证了 < 5 的相似离度在实际预报中具有较稳定的可靠性。

4.4 沙尘天气服务子系统

依托中国沙尘暴专业网站(www. duststorms. com. cn) ,在准确及时和优质高效的原则之下 ,建立西北区沙尘暴服务子系统。该子系统可自动向沙尘暴网站主服务器传输中国范围沙尘暴天气实况图、EOS/MODIS 监测图、卫星遥感图和相应文本说明 ,并自动刷新网页。也可通过人工干预向网站发送沙尘暴天气警报和未来 48 h 以内的预报。

5 结 语

该系统是西北地区较专业的沙尘暴天气预报服务系统 ,汇集了很多气象工作者的聪明才智和已有成果。在业务试运行期间就 2003、2004 年春季几次沙尘暴天气的预报服务中发挥了重大作用 ,并取得了良好的社会经济效益。

参考文献 :

[1] 夏训诚 杨根生. 黑风暴[M]. 北京 : 科学出版社 ,1996. 10 - 18.

- [2] 周自江. 近 45 年中国扬尘和沙尘暴天气[J]. 第四纪研究 , 2001 , 21(1) : 9 - 17.
- [3] 夏训诚 杨根生. 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. 35 - 71.
- [4] 胡隐樵 ,光田宇. 强沙尘暴发展与干飚线—黑风暴形成的一个机理分析[J]. 高原气象 ,1996 ,15(2) : 178 - 185.
- [5] 尚可政 孙黎辉 王式功 等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析[J]. 中国沙漠 ,1998 ,18(3) : 239 - 243.
- [6] 王式功 杨德保 周玉素 等. 我国西北地区“ 94. 4 ”沙尘暴成因探讨[J]. 中国沙漠 ,1995 ,15(4) : 332 - 338.
- [7] 江吉喜. 一次特大沙尘暴成因的卫星云图分析[J]. 应用气象学报 ,1995 ,6(2) : 177 - 184.
- [8] 邱金桓 ,孙金辉. 沙尘暴的光学遥感及分析[J]. 大气科学 , 1994 ,18(1) : 1 - 10.
- [9] 杨东贞 王超. 1990 年春季两次沙尘暴特征分析[J]. 应用气象学报 ,1995 ,6(1) : 18 - 26.
- [10] 郝璐 ,石少宏 吴学宏 等. 区域性沙尘天气预警系统的开发与应用[J]. 干旱区资源与环境 ,2005 ,19(4) : 151 - 154.
- [11] 刘伟东 程丛兰 张明英 等. 北京地区沙尘天气监测预报预警业务系统[J]. 气象科技 ,2004 ,32(增刊) : 50 - 53.
- [12] 李开乐. 相似离度及其使用技术[J]. 气象学报 ,1986 ,44(2) : 174 - 183.

The Synthetical System of Operation and Service on Dust and Sand Storm Monitoring and Forecasting in Northwest China

WANG Sui - chan , WANG Peng - xiang , WANG Zhi - yu
(Lanzhou Central Meteorological Observatory , Lanzhou 730020 , China)

Abstract The synthetical system of operation and service on dust and sand storm monitoring and forecasting in northwest China , including four sub - systems , which are dust and sand storm weather database , monitoring system , forecasting system , and service system , has good physical foundation , strong monitoring , predicting and service abilities , higher automation degree , and obvious local characteristics. During practically running period , not only did the system play the important role in prediction on several dust and sand storm processes occurred in springs , 2003 and 2004 , but also it achieved good economic returns. Therefore , the system provides powerful technical guarantee of meteorological service for the West Development , and it also lays foundation for the West environment protecting and monitoring.

Key words : Northwest China ; dust and sand storm ; monitoring ; operational system