

河西走廊东部城市空气质量预报系统

罗晓玲^{1,2} 王润元^{1,2} 李岩瑛² 刘洪兰³ 兰晓波²

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,中国气象局干旱气候变化与减灾开放实验室,兰州 730020; 2 甘肃省武威市气象局,武威 733000; 3 甘肃省张掖市气象局,张掖 734000)

摘要 利用气象和环保资料详细分析了武威市空气质量的特点,针对不同季节、不同时次分别建立了沙尘暴短时、短期预报模式及空气质量统计预报、潜势预报模式,经检验效果良好。应用 Fortran 和 VB 语言设计编程,建立了武威市空气质量预报系统,该系统包括沙尘暴预报预警服务系统、空气质量统计预报系统和空气质量潜势预报系统,直接和 MICAPS 系统接口,具有资料处理、动力统计预报、潜势预报等模式计算及资料采集、处理、模式运行、预报显示、产品分发、资料查询、预报评分等多种功能,在业务应用中效果良好。

关键词 沙尘暴 空气质量预报 业务系统 可操作性

引言

河西走廊东部武威市是一个拥有 192 万人口的农业城市,其特殊的地理环境使该市成为我国四大沙尘暴策源地之一,其沙尘暴天气发生的频度、强度及灾情在全国是罕见的。20 世纪 90 年代以来,随着气候变暖、干旱加剧、人口增多和城市的发展,武威市的沙尘天气日趋频繁,生态环境和空气质量日益恶化,给人们的生活和生产造成了严重的影响。

近十几年来,许多国家相继开展了空气质量污染警报发布和污染预报工作,现在我国已经有 47 个大中城市相继开展了空气质量预报工作,张迪^[1]等对北京市的空气质量做了分析研究,刘伟东^[2]等建立了北京市空气质量预警服务系统。

本文利用 1984~2005 年武威市空气污染浓度资料和气象要素资料,采用统计分析方法分析空气污染浓度与各种气象要素的关系,在此基础上建立预报模式并开展空气质量预报,为决策部门在加快城市化建设进程中提供科学依据。

1 系统介绍

武威市的首要污染物是总悬浮颗粒物 TSP^[3],沙尘天气是造成该区重污染的主要因素^[4],因此,

做好沙尘天气预报是提高该区重污染预报水平的关键^[5,6]。武威市城市空气质量预报系统分为 3 个部分:空气质量统计预报系统主要从微观上做好各个污染物的浓度预报;空气质量潜势预报系统主要从宏观上做好空气质量等级预报;沙尘暴预报预警服务系统主要对沙尘暴进行预报预警,为空气质量重污染预报打好基础。

1.1 空气质量统计预报系统

1.1.1 预报方程建立

通过应用 PRESS 准则选取与污染浓度相关最好的气象因子,用逐步回归方法分不同季节春季(3~5 月)、夏秋季(6~10 月)和冬季(11 月至次年 2 月),分别建立了 SO₂、NO₂、TSP 或 PM10(2003 年以前监测项目是 TSP,以后是 PM10)3 个污染物浓度共 9 个预报方程^[7]。

$$\text{冬季: } Y_{\text{PM10}} = 0.082 + 0.043X_1 + 0.0022X_3 + 0.358X_6 - 0.025X_8$$

$$\text{春季: } Y_{\text{PM10}} = (39.91 + 583.12X_1 - 68.38X_9 + 12.35X_4 - 21.83X_6 + 11.86X_{10} - 8.06X_8) / 1000$$

$$\text{夏秋季: } Y_{\text{PM10}} = 70.745 - 233.199X_1 - 0.478X_2 + 0.838X_3 + 2.242X_4 - 1.42X_5 - 0.629X_6 - 2.942X_7 - 3.038X_8$$

Y_{PM10} :PM10 浓度,单位为 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; X_1 :当日

科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J100)课题资助

作者简介:罗晓玲,女,1966 年生,高级工程师,主要从事天气预报与研究工作,Email:bxlxqj@163.com

收稿日期:2006 年 10 月 13 日;定稿日期:2007 年 1 月 25 日

PM10 实况浓度; X_2 : 当日最小相对湿度; X_3 : 当日 14:00 能见度; X_4 : 当日 08:00~20:00 降水量; X_5 : 当日总降水量; X_6 : 次日总降水量; X_7 : 当日 14:00 风速; X_8 : 次日 14:00 风速; X_9 : 当日 20:00~08:00 降水量; X_{10} : 次日 4 次定时平均风速。

1.1.2 特殊天气判断

正常情况,用预报方程进行预报,特殊情况,还要考虑非正常因素的影响,如环保资料检测点附近有工程队施工,夏季麦收期农民打场等,在正常预报等级的基础上订正为大一个量级。具体判据如下:

(1) 预报次日有沙尘暴、强度较大的扬沙和浮尘,则直接预报次日空气质量为重度污染,空气污染指数大于 300;

(2) 当日有 5 mm 以上降水,则直接预报次日空气质量为优;

(3) 当日有 10 mm 以上降水,则直接预报次日连续 2 日空气质量为优;

(4) 预报次日有 5 mm 以上降水,则直接预报次日空气质量为优;

(5) 预报次日有 10 mm 以上降水,则直接预报次日连续 2 日空气质量为优;

(6) 预报连续 3 日有降水,累计降水量 7 mm 以上,则直接预报次日后 2 日空气质量为优;

(7) 预报次日有扬沙、浮尘且有 1 mm 以上降水,则进入方程进行预报;

(8) 预报次日有沙尘暴且有 3 mm 以上降水,则进入方程进行预报。

1.2 空气质量潜势预报系统

应用与空气质量密切相关的降水、沙尘、大气稳定性、风速、相对湿度和冷空气 6 个气象要素,通过标准化处理,用多元回归和逐步回归方法通过信度 0.05 的气象因子,分不同季节春季、夏秋季和冬季建立了 3 个空气污染等级预报方程。

1.2.1 因子标准化处理

空气质量级别:用首要污染物污染指数 I_{AP} 表示,当 $I_{AP} \leq 50$ 为 1 级; $50 < I_{AP} \leq 100$ 为 2 级; $100 < I_{AP} \leq 150$ 为 3 级; $150 < I_{AP} \leq 200$ 为 4 级; $200 < I_{AP} \leq 250$ 为 5 级; $250 < I_{AP} \leq 300$ 为 6 级; $I_{AP} \geq 300$ 为 7 级。

大气稳定性:用民勤 700 hPa 气温减去 08:00 地面气温差值 ΔT 表示,当 $\Delta T \leq -10^{\circ}\text{C}$ 时为 1; $-10^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq -5^{\circ}\text{C}$ 为 2; $-5^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 0^{\circ}\text{C}$ 为

3; $0^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 5^{\circ}\text{C}$ 为 4; $\Delta T \geq 5^{\circ}\text{C}$ 为 5。

风速、沙尘天气、降水量、相对湿度和气压的标准化处理与上类似。

1.2.2 预报方程建立

以上因子经过标准化处理后建立的逐步回归方程如下:

$$\text{春季: } Y = 3.46 + 0.80X_3 - 0.35X_5$$

$$\text{夏秋季: } Y = 3.35 - 0.29X_5$$

$$\text{冬季: } Y = 2.70 - 0.45X_2 + 0.925X_3$$

其中 Y 为空气质量级别, X_1 为大气稳定性, X_2 为降水量, X_3 为沙尘天气, X_4 为日平均风速, X_5 为日平均相对湿度, X_6 为日平均气压。

分析统计预报和潜势预报方程可知:沙尘天气对空气质量的贡献最大,与空气质量级别的大小呈正相关;其次是降水量,与空气质量级别的大小呈负相关。对春季空气质量影响最大的因子是沙尘天气(风速),沙尘天气越强,空气质量污染越严重;其次是湿度(降水),空气湿度(降水)越大,空气质量越好。夏秋季由于沙尘天气很少,因此湿度条件的好坏和降水量的大小决定着空气质量级别的大小。冬季沙尘天气的强弱和降雪量的大小对空气质量的好坏起着至关重要的作用。

1.3 沙尘暴预报预警服务系统

分析了武威市 5 站建站以来近 50 年的沙尘暴天气气候成因^[8,9],结合武威市春季大风预报系统,制作出武威市沙尘暴天气预报服务系统。

1.3.1 短期 24 h 预报

做好 24 h 预报是预防沙尘暴天气灾害的关键。首先分析前 5 天内的降水和气温情况,本地当日 14:00 气温的 24 h 变温值,当日或前日降水量大小,该市是否持续高温干旱;然后看高空有无大风的天气形势,高空正负变高差较大;新疆至河西有无强冷锋东移;地面冷锋强度、变压场分布;河西一带热力不稳定程度。根据沙尘暴发生的天气形势和日际特点^[10,11],将沙尘暴天气分为新疆冷槽型、西风槽东移发展型和高空脊前西北气流型 3 种类型^[12],具体预报指标如下。

(1) 新疆冷槽型

图 1 为新疆冷槽型 500 hPa 典型环流形势场。
① 高空 500 hPa 新疆附近 $35^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}, 70^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{E}$ 有冷温槽存在,槽后乌山脊较强,槽前后正负变高差和变温差较大,差值常常在 20°C 以上;② 槽线附近风

速较大,一般大于 34 m/s ;③对应 700 hPa 有较强的密集型等温线,锋区较强,民勤与乌鲁木齐附近站冷温中心的温差常大于 10°C 以上;④地面有冷锋存在,锋面前后正负 3 h 变压差较大,常在 4 hPa 以上。满足以上 3 条,即可考虑报沙尘暴。

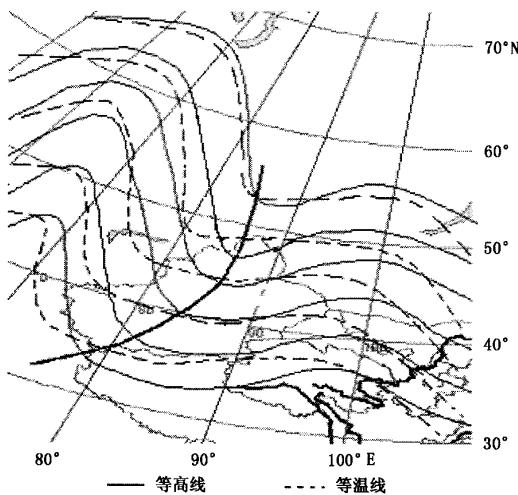


图 1 新疆冷槽型 500 hPa 典型环流形势场

(2) 西风槽东移发展型

①高空 500 hPa 中亚至新疆 $35^\circ \sim 55^\circ\text{N}, 60^\circ \sim 80^\circ\text{E}$ 为西风气流,有小槽存在,西风气流较强;②对应在低空至地面锋区表现不明显,但地面在新疆西部常常有 8 hPa 以上的 3 h 正变压中心存在。此类沙尘暴日数出现较少,但常常在东移过程中不断加强发展,造成武威市较强的大风沙尘暴天气。满足以上 2 条,即可考虑报沙尘暴。

(3) 高空脊前西北气流型

①高空 500 hPa 新疆至河西 $35^\circ \sim 55^\circ\text{N}, 80^\circ \sim 100^\circ\text{E}$ 为强脊,东部华北地区为低压槽,武威市处于脊前强西北气流中;② 700 hPa 武威市附近高空风速较大,在 20 m/s 左右;③河西上空有较强的正变压和正变温场存在;④对应地面 $08:00, 14:00$ 增温明显,一般在 5°C 以上,但 3 h 变压不明显。此类沙尘暴有较强的日变化,常出现在晴天中午 $12:00$ 左右,随着太阳辐射的增强而增强,减弱而减弱。满足以上 4 条,即可考虑报沙尘暴。

1.3.2 短时 6 h 预报

沙尘暴天气是一种中小尺度天气系统^[13],短时指标主要考虑高空地面有无大风的天气形势,高空变高场分布、地面冷锋强度、变压场分布及热力不稳定因子等。预报指标如下:①地面图上河西上游有大风沙尘暴天气发生;②地面图上有 6 hPa 以上 3 h 变压差;③上游 $40^\circ \sim 50^\circ\text{N}, 90^\circ \sim 105^\circ\text{E}$ 有小于 $-300 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 负垂直螺旋度中心存在;④ 700 hPa 河西上游风速 $V \geq 20 \text{ m/s}$ 。满足以上 4 条, 6 h 内有区域性大风、沙尘暴。

定因子等。预报指标如下:①地面图上河西上游有大风沙尘暴天气发生;②地面图上有 6 hPa 以上 3 h 变压差;③上游 $40^\circ \sim 50^\circ\text{N}, 90^\circ \sim 105^\circ\text{E}$ 有小于 $-300 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 负垂直螺旋度中心存在;④ 700 hPa 河西上游风速 $V \geq 20 \text{ m/s}$ 。满足以上 4 条, 6 h 内有区域性大风、沙尘暴。

2 业务流程

图 2 为武威市气象台空气质量预报业务流程。通过 MICAPS 系统自动对前期高空、地面实时资料进行检索,判断是否有天气系统影响,如果有,则进入特殊天气进行处理,没有,则进入预报方程运算。

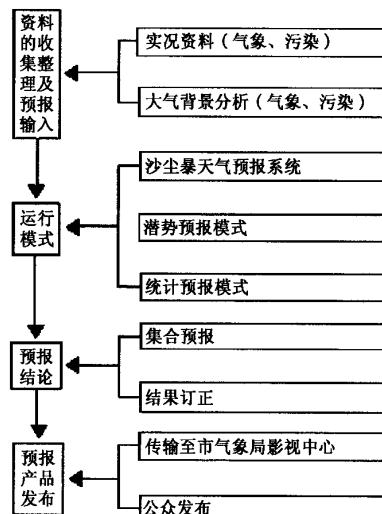


图 2 武威市气象台空气质量预报业务基本流程

资料检索后,若有天气系统影响,有风时,进入大风、沙尘暴预报系统进行沙尘暴预报指标验对后,得出预报结论;有大降水时,则进入空气质量特殊天气判断系统,得出预报结论(直接报次日空气质量为优);没有天气系统影响,或有降水和风同时影响时,则通过人机结合的方式,将气象因子逐一输入,通过潜势预报和统计预报模式分别计算得出 2 个预报结论,综合分析后进行订正得到最终预报结论。

根据潜势预报、统计预报和沙尘暴天气预报系统运行结果,利用前一天武威市各污染物浓度,综合分析订正得到当日对外发布的空气质量预报。将当日空气质量实况和次日预报结论通过武威市气象局的局域网传输到市气象局的影视中心,由影视中心制作录像带,送到武威市电视台每日播放。

3 系统简介与结果检验

该系统主要应用 VB 语言设计编程,界面美观清晰,便于操作^[2,14]。主要包括环保资料查询、空气质量各污染物分级标准、气象实时资料检索、特殊天气判断、大气潜势预报模式、统计预报模式、预报集成、预报评分、系统说明 9 个子模块。

该系统从 2002 年开始试运行,2003 年 1 月正式对外发布空气质量预报,系统性能稳定可靠,在运行过程中,首要污染物从 TSP 过渡到 PM10,我们不断将模式优化完善,预报质量也稳步提高,特别春季质量提高明显(表 1),基本可以满足城市空气质量的预报需求。

表 1 2003~2006 年武威市城市空气质量预报月评分

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
2003 年	81.5	81.4	63.5	69.1	63.1	78.5	84.3	77.5	83.1	78.5	79.7	86.9	77.3
2004 年	71.8	86.9	86.1	86.6	86.8	89.9	84.6	84.0	79.0	80.1	78.6	80.5	82.9
2005 年	81.3	80.9	81.2	87.0	80.3	81.7	75.9	88.4	77.8	79.4	83.9	92.5	82.5
2006 年	82.6	84.4	88.0	88.8	82.3	78.7	88.5	89.8	89.2	79.0	93.1	83.2	85.6

4 结论

武威市城市空气质量预报系统分为沙尘暴预报预警服务系统、空气质量统计预报系统和空气质量潜势预报系统 3 个部分。针对不同季节、不同时次分别建立沙尘暴短时、短期预报方程及空气质量统计预报、潜势预报方程。通过人机结合方式,应用气象和环保实时资料,经特殊天气判断、模式运算、预报集成等步骤得出武威市空气质量预报结论,并对外发布。应用 VB 语言设计编程,界面美观,清晰,直接和 MICAPS 系统接口,自动存取资料,便于操作。系统性能稳定可靠,在运行过程中,不断将模式优化完善,预报质量稳步提高,特别是春季质量提高明显。

参考文献

- [1] 张迪,孙继松,王华.2004 年北京市沙尘天气对空气质量影响的对比分析[J].气象科技,2005,33(6):533~534.
- [2] 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.
- [3] 罗晓玲,郭良才,李岩瑛.武威市空气质量分析与污染防治[J].甘肃环境研究与监测,2003,2:8~10.
- [4] 罗晓玲,李岩瑛,李耀辉,等.河西走廊东部沙尘天气与武威市大气污染的关系研究[J].中国沙漠,2004,24(5):643~645.
- [5] 徐晓峰,李青春,张小玲.北京一次局地重污染过程气象条件分析[J].气象科技,2005,33(6):543~544.
- [6] 司瑞冰,宫春宁,郑有飞.呼和浩特市大气污染与天气气候的关系[J].气象科技,2005,33(2):173~175.
- [7] 罗晓玲.河西走廊东部空气污染的天气成因分析及浓度预报[J].干旱区资源与环境,2004,10(6):98~103.
- [8] 李岩瑛,杨晓玲,王式功.河西走廊东部近 50 年沙尘暴成因、危害及防御对策[J].中国沙漠,2002,22(3):283~286.
- [9] 曹玲,董安祥,张德玉,等.河西走廊春季大风、沙尘暴的成因差异初探[J].气象科技,2005,33(1):53~55.
- [10] 钱亦兵,吴兆宁,张立运,等.准噶尔南部沙尘暴发生的地表条件研究[J].干旱区地理,2004,27(4):540~542.
- [11] 达布希拉图,赵春生.下垫面因子对内蒙古中西部沙尘暴时空分布的影响[J].气象科技,2005,33(5):429~431.
- [12] 李岩瑛,李耀辉,罗晓玲,等.河西走廊东部沙尘暴预报方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):603~606.
- [13] 李岩瑛,余亚勋,罗晓玲,等.河西走廊东部近 50 年沙尘暴气候预报研究[J].高原气象,2004,23(6):851~856.
- [14] 赵习方,徐晓峰,张小玲.北京市空气污染预报业务显示服务系统[J].气象科技,2003,31(6):413~415.

Urban Air Quality Forecast System for Eastern Hexi Corridor

Luo Xiaoling^{1,2} Wang Runyuan^{1,2} Li Yanying² Liu Honglan³ Lan Xiaobo²

(1 Lanzhou Arid Institute of Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Open Laboratory of Arid Change and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020; 2 Wuwei Meteorological Bureau, Gansu Province, Wuwei 733000; 3 Zhangye Meteorological Bureau, Gansu Province, Zhangye 734000)

Abstract: The characteristics of urban air quality are analyzed in detail by means of the meteorological and environmental data. The results indicate that the high frequency of the sandy weather is the prime reason that made air quality worse. The short-time and short-term forecast equations of sandstorms and the statistical and latent equations of air quality are built up for different seasons and different periods of time, respectively. It is proved by tests that the system performs well. The Fortran and VB languages are used in the design of the programs and the establishment of the air quality forecast system for Wuwei. This system includes three parts: the sandstorm forecast, early-warning and service system; the air quality statistical forecast system; and the air quality potential forecast system. The interface designed by the VB language is directly connected with the MICAPS system, and there are multiple functions such as data processing, dynamic statistical forecasting, potential forecasting model, as well as data collecting and processing, model running, forecast display, results distributing, date inquiring, prediction scoring, etc. The system is simple, user-friendly, fast, and easy to operate and has abundant functions.

Key words: sandstorm, air quality forecast, operational system, operability

NCAR 科学家发现全球增暖导致 2005 年飓风加倍

NCAR 的 Kevin Trenberth 和 Dennis Shea 的最新研究表明,2005 年热带北大西洋海域的增暖是飓风增加的主要原因,其热量的一半来自全球增暖,自然循环只是次要原因。该研究发表在 2007 年 6 月 27 日的 Geophysical Research Letters 杂志上。

Trenberth 和 Shea 主要研究海洋温度升高。2005 年飓风季节多数时候 $10^{\circ}\sim20^{\circ}\text{N}$ 热带北大西洋海面温度比 1901~1970 年平均高 1.7°F ($1^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 9/5 + 32$)。Trenberth 和 Shea 通过分析 20 世纪初以来全球范围的海面温度来探究热带北大西洋海面温度升高的原因。结果表明,全球增暖能解释其约 0.8°F , 2004/2005 El Nino 解释其 0.4°F , 大西洋数十年振荡 (AMO: Atlantic Multidecadal oscillation), 即 $60\sim80$ 年 SST 自然循环解释其 0.2°F , 其余归因于逐年温度变化。Trenberth 指出,还不能说全球温度变化每年都会使飓风增加,2005 年的飓风活动与非常有利的高空风状况以及非常高的海面温度有关。自然变化,例如 El Nino 的出现与否,会使每年热带大西洋海面温度升高或降低。但海洋的长期增暖会提高飓风活动的底线。欲知详情,访问 <http://www.ucar.edu/news/releases>

程也编译自美国气象学会网站, Atmospheric News, 2007-10-20,
<http://www.ametsoc.org/amsnews/news.html>