

文章编号 :1000-694X(2001)02-0175-07

宁夏区域性强沙尘暴短期预报系统

赵光平,王连喜,杨淑萍

(宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏 银川 750002)

摘 要:通过对产生强沙尘暴天气三大因子的实时诊断,从强冷空气、热力不稳定和近地层环境分析入手,依据宁夏强沙尘暴天气预报着眼点,在较全面地对产生强沙尘暴天气的三维空间物理量结构和动力过程所进行的动力过程相似检验前提下,通过渗入有明确天气学意义并对宁夏强沙尘暴有实际预报能力的综合指标和组合模型,在天气系统自动识别技术的支持下,应用螺旋度修正方案确定强沙尘暴落区,建立自动、客观化的宁夏强沙尘暴天气监测和预报系统。

关键词:动力相似过滤;螺旋度修正;强沙尘暴;预报系统

中图分类号:P456.1 **文献标识码:**A

宁夏地处黄土高原西北部边缘,境内地势南高北低,地表侵蚀严重。其上游甘肃河西、内蒙古一带沙漠纵横。宁夏西部有腾格里沙漠,西北部有巴丹吉林和乌兰布和沙漠,加上特殊的地理、地貌条件,每逢春季几乎都会有较强沙尘暴天气影响本区。风沙是宁夏春季严重的灾害性天气之一,由于沙尘暴天气来势迅猛、影响范围大,尤其对农林业、畜牧业、电力、通讯有着极大危害。如 1993 年 5 月 5 日横扫我国西北地区 110 万 km^2 、72 个市县、1 200 万人口的一次强沙尘暴天气,仅宁夏就有 100 多人员伤亡,2 万多头牲畜死亡、丢失,3.37 万 hm^2 农作物受灾,8 万多株树木被折断或连根拔起,1 300 多根电线杆被刮倒或刮断,2.7 亿元财产顷刻间化为乌有,受灾人口达 70 多万(据政府有关部门统计结果)。从气象资料分析中得出^[1],类似 1993 年“5.5”强沙尘暴的天气过程,20 世纪 80 年代宁夏出现过 3 次,而随着西北地区生态环境的进一步恶化和干旱的加重,进入 90 年代后,宁夏沙尘暴天气的发生频率也有增加的趋势。截至 2000 年 5 月 13 日,2000 年宁夏出现区域性沙尘暴天气就有 11 次之多。根据我国的发展战略目标,开发西部将是重要的组成部分,随着宁夏经济实力的增强,同样强度的一次强沙尘暴天气带来的经济损失绝对值将会大大增加。同时,它的频繁发生也极大地影响了我国西部多民族地区的社会安定与经济发展。

统计表明,在我国气象灾害的损失约占整个自然灾害造成损失的 70% 左右。因而通过气象预报,

特别是灾害性天气的预报警报服务可以避免的损失也就越大。据我们初步估算,一次较准确、提前 6 h 的强沙尘暴天气预报和有效服务,不仅可为党政部门制定抗灾、减灾措施提供客观依据,减少人员伤亡,稳定社会、生产秩序,而且至少可降低直接经济损失 20% 以上。因此加强对宁夏强沙尘暴天气预报和监测能力的研究刻不容缓。

1 预报系统设计思路

研究结果表明^[1~4],强沙尘暴天气的产生必须具备两个基本物理条件和一个外部环境条件,即:强冷空气及南下引导急流;锋区附近的中小尺度系统或能引发高空下击暴流产生的低层能量聚积;裸露、干燥的荒漠化地表。受青藏高原北部特有的大气环流及生态环境等诸多因素影响,西北地区经秋、冬、春、春季连旱,春季裸露地表解冻后,特有的风沙地貌在地表大蒸发量的作用下表层土质松散。春季是西北地区荒漠化地表生态最为脆弱的时节。宁夏沙尘暴天气主要发生于每年冷暖空气活动最为频繁的 3~5 月,尤以 4 月份出现频数最高,占多发期的 59.1%,其次是 5 月,占 27.3%,3 月次之,占 13.6%。盐池、同心两县为本区出现沙尘暴天气的两大中心,其中 4 月下旬和 5 月上旬是宁夏强沙尘暴天气发生及预报的关键期。分析得出^[1]造成宁夏强沙尘暴天气的强冷空气主要取道于乌鲁木齐—哈密—野马街—酒泉—贺兰山西侧这一荒漠化通道上。当高空强冷空气急行东移南下时,地面冷高压

收稿日期:2000-05-22;改回日期:2000-10-23

基金项目:国家科技部及宁夏自治区科技厅项目资助

作者简介:赵光平(1962—),男(汉族),山东牟平人,高级工程师,主要从事天气预报业务及灾害性天气防灾减灾对策研究。

不断发展、加强和整体快速东移是产生强沙尘暴天气的必要条件。受本区地形狭管效应作用,石嘴山、中卫、中宁一带西北向风速一般较大。宁夏西侧的腾格里沙漠、西北的乌兰布和沙漠可使影响本区的沙尘在西部和北部得到补充和加强。因此,在地形、地貌等多种因素作用下,宁夏是最易受到强沙尘暴袭击的人口密集区和经济发展区域之一。春季西北地区变化剧烈的热力条件所产生的午后大气层结不稳定性是中小尺度天气系统发展和上下层冷暖空气交换的主要物理原因之一,同时这也是强沙尘暴天气日变化明显的关键所在。

通过天气诊断分析^[1],我们认为正是在极有利的大尺度环境、高空干冷急流和强垂直风速、风向切变及强热力不稳定层结条件下,激发起锋区附近的中- α 尺度干飑线(或巨型干雷暴)生成、发展,造成冷锋前气流强烈上升,感热、潜热释放使地面锋前降压,锋后高空的强干冷急流干绝热或与对流云团中云(水)滴混合后湿绝热下沉,在地面冷锋后部加压、降温,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。在动量下传和气压、温度梯度偏差风及飑线附近强大下击暴流(或气流)的共同作用下,使近地层风速陡升,卷起地表沙尘,形成强沙尘暴。而一般沙尘暴天气由于没有强中小尺度系统的配合,仅凭锋面大风和较弱上下层冷暖空气交换的动量下传大风所产生的沙尘暴就要相对弱些。

“在未来很长一段时间内,预报员的经验仍将在短期、短时预报,特别是在灾害性天气预报中发挥重要作用”是中国气象局在对我国现有数值预报精度和释用技术水平等全面评估基础上得出的重要结论。那么,通过对产生强沙尘暴天气三大因子的实时跟踪诊断,从强冷空气、热力不稳定和近地层环境分析入手,在较全面地对可能激发中- α 尺度干飑线(或巨型干雷暴)的三维空间物理量结构和动力过程所进行动力过程相似检验前提下,通过选取有明确天气学意义并对宁夏强沙尘暴有实际预报能力的综合指标和组合模型,在天气系统自动识别技术的支持下,应用螺旋度修正方案确定强沙尘暴落区,建立自动、客观化的宁夏强沙尘暴天气监测和预报系统的技术方案既符合传统的预报思路、发挥现有预报经验的作用,又能较充分地凸现数值预报产品释用技术的优势,取长补短,提高预报系统的先进性和实用性,这同时也是针对小样本灾害性天气事件的一种有效的处理方法。

2 技术方法

2.1 诊断分析

2.1.1 插值方案^[5]

我们选用高斯权重函数计算各站点间插值权重系数。

$$W = 1/(4\pi c) \times e^{-(r^2/4c)}$$

r 为插值与被插值站间距离; c 为任意权重常数, c 值选取可以满足不同的滤波要求。滤波响应函数为:

$$R(k, c) = \exp(-K^2 C) = \exp(-4\pi c/\lambda^2)$$

考虑到原始资料站点间分布距离及网格距(约 167 km),为滤掉极小尺度的噪波,取 $4C = 441 \text{ km}^2$ 。这样响应函数值在 0.8 范围以内的波长将小于 150 km。

用这一插值权重函数不仅可以滤掉大气中的噪声,经过处理后同时还可满足以下插值规则:①插值权重系数与距离成反比;②5 个插值站的权重系数相加为 1。

第一个原则保证了插值站点到被插值站点的距离越小,其权重系数越大(呈指数增大),它对被插值站的要素值影响也越大;第二个原则保证了被插值站的要素不大于 5 个插值站要素中的最大值,也不小于其中的最小值,用此方法插值符合气象要素连续分布的规律特征。

2.1.2 资料选取及网格范围

选用国内及 44 区共 91 个高空站点资料,网格范围 $85^\circ \sim 121^\circ \text{E}$, $28^\circ \sim 46^\circ \text{N}$;网格距为 $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ 。除北方路径影响系统外,从空间尺度上保证了 48 h 预报时段内影响系统基本不外漏。

2.1.3 操作技术

对 91 个站点每天 10 层 5 个要素场的资料进行逐一检查,对缺测要素,用事先已选定的周围 5 个站点的同一要素进行补值。若在补值的 5 个站中也存有缺测要素,则空过此站先不补值,而对补值站先进行插值。用此法类推,并对所有站进行逐一补值或空过后,一个插值循环过程结束。然后再返回来重复上一循环过程,这样循环数次后,基本可把所有缺测记录补齐。我们在此过程中,设计循环 20 次,前 19 次方法一样,最后一次则定为即使只有一个补值站有记录也进行补值,并把其权重系数反乘,否则跳过此站,使其在以后网格点插值中作为废站略过。在正常情况下,只要不出现成片大范围站点记录缺

测，废站几乎不会出现。若缺测记录过多，大于总站数的 1/3，网格点插值已无意义，则跳过此日资料。

2.2 天气系统自动识别

由于影响宁夏的主要天气系统有冷槽、冷低压、脊线、切变、低涡和高原及其东部偏南气流等，而任一区域的偏南（北）气流（包括急流）较易于识别，这里我们主要分析识别任一区域内的冷槽（竖槽）、横槽（含冷式切变及暖式切变）两种。对于较弱低涡，受客观分析平滑作用，可能只会以切变形式出现。对于一些在实况资料中风场环流反映较好的低值系统，我们采用 u 、 v 场横切变加竖切变十字叠加的方式来识别。通过对任一区域内竖槽、横槽（冷式及暖式）的有无及位置识别，再加上上下层及相应的温度场、变温场、变高场和其他一些物理量场的配合诊断，不仅可以识别出其冷暖性质，而且也基本上能够准确地判别出其强度。此项工作仅对实况场系统进行识别，天气系统未来演变趋势需借助于 T106 数值预报产品进行判别。

2.3 强沙尘暴动力相似过滤释用技术方法

2.3.1 相似离度

能够甄别出实况场是否具备产生中- α 尺度干飚线（干雷暴）的基本物理条件和三维空间动力模型的便捷方法，就是从较全面的历史档案库中去找相似，而且以形相似为主。

目前常用的相似比较的标准主要有相似系数、海明距离、欧氏距离等，经过对其算式剖析可知，除海明距离尚能比较出两样本间的值相似程度（但对形相似无法比较）外，相似系数和欧氏距离并不理想。

本项研究中引入一种新的衡量相似程度的统计量——相似离度^[6]，意即相似的差异程度，它既能考虑到样本间值相似差异，又能体现样本间的形相似程度，比已往常用的判别样本间相似的技术方法有明显的改进。其算法如下：

$$C_{ij} = \frac{1}{2}(S_{ij} + D_{ij})$$

其中：

$$S_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |x_{ijk} - E_{ij}|$$

$$D_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |x_{ijk}|$$

万方数据 $x_{ijk} = x_{ik} - x_{jk}$

$$E_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_{ijk}$$

这里， E_{ij} 表示 i 样本对 j 样本中所有因子之间的总平均差值； D_{ij} 是海明距离对因子容量 M 求平均值，它能准确反映出两样本之间在总平均数值上的差异程度，在此称为值相似系数； S_{ij} 能反映出两个样本中的各个因子之间的差值 x_{ijk} 对 E_{ij} 的离散程度，称为形相似； C_{ij} 值越小，两样本之间越相似。

2.3.2 操作技术

由于不同因子间的数值变化域不同，需对历史及实时资料进行数据标准化处理，才能对其进行相似离度比较。

数据标准化处理采用下式进行：

$$X_k' = \frac{X_k - X_{k_{\min}}}{X_{k_{\max}} - X_{k_{\min}}} \quad k = 1, 2, \dots, m$$

其中， X_k 为样本的原因子数据， X_k' 为标准化后的因子数值， $X_{k_{\max}}$ 、 $X_{k_{\min}}$ 分别为所有历史样本原因子数据的最大值和最小值。经过标准化处理后，所有样本的因子数据都变为 0~1 之间数值，即 $0 \leq X_k \leq 1$ ，以此得出的相似离度 C 值也在 0~1 之间。

根据对比验证，我们得出相似离度临界值为 0.45。

2.4 螺旋度修正量在强沙尘暴落区中的应用
技术方法

2.4.1 螺旋度

近几年，反映重要天气空间物理结构、阐明其机制的一些新构造量，如螺旋度、湿辐合量等诊断物理量，在暴雨落区预报中得到广泛的应用^[7,8]。通过诊断对比分析，我们选用 Davies-Jones 等人^[9]提出的螺旋度在垂直方向的分量，即垂直螺旋度（简称螺旋度，式中符号为常用气象符号）：

$$H_p = - \int \omega \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

用以刻画激发中- α 尺度干飚线（干雷暴）典型物理量的空间结构，发挥数值预报产品丰富、多层次的资料优势。

2.4.2 高低空螺旋度的耦合区与产生中- α 尺度干飚线的关系

高低层螺旋度计算方案^[9]如下：

$$H_l = - \int_{000}^{PU} \omega \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

$$H_h = - \int_{00}^{PU} \omega \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

的基础上,得出量化的、物理意义较为清晰的动力模型入库。历史个例库中包含 700 ~ 500 hPa 高度、700 ~ 300 hPa 散度和垂直速度、700 hPa 总温度等资料,其网格范围 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ $90^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 。

3.4 宁夏暴雨动力相似过滤系统

动力相似过滤分析软件采用动态连接方式,通过文本文件设置,可随意添加历史天气个例或追加实时分析场资料,具有很强的扩展性。

3.5 基本条件判读

3.5.1 冷空气条件

依据天气系统自动识别技术对宁夏上游关键区内冷低压系统进行识别与定位,结合新疆北部 51076、51288、51463 三个指标站与银川的地面气压差等条件组合判定冷空气条件(判别规则略)。

3.5.2 引导气流条件

(1) 40°N 附近高空引导急流判别子系统。使用高空全层 U 、 V 风场资料对 40°N 附近高空引导急流进行识别与定位。系统首先进行全层资料质量检验,对风速大于 $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或大于周围特定场平均值 2.5 倍的风速值进行剔除,然后在 40°N 附近,对 92.5°E 至 100°E U 场、 46.0°N 至 40.0°N V 场进行全程漂移式高空急流识别。当在选定的区域内,若西风分量大于 $36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速的格点数大于等于 70% 或其场平均值大于等于 $36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 以及北风分量小于 $-12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 格点数大于等于 60% 或其场平均值小于等于 $-12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 则判定 40°N 附近新疆至河西有高空引导急流存在,并对急流位置进行自动定位。本模块还同时对 U 场上下层平均垂直风速切变极值进行识别。

(2) 23 ~ 36 区高空引导急流识别。本模块为预报系统推导新疆北部有无强冷空气及是否已开始翻越天山提供判据。其选用 23 ~ 36 区 12 个站点 700 ~ 500 hPa 高空风场资料,运行结果通过公共区语句向主程序传递(判别规则略)。

(3) 地面风、压、变压条件识别。本模块选用 20 个地面站点资料对本区上游关键区内地面风、压、变压条件进行实时分析(判别规则略),为预报系统实时诊断提供基础判据。

3.5.3 热力不稳定条件

利用银川本站及周边地区多个代表站的探空资料,依据前后几个时次的总温度场和潜在不稳定指数特征及其演变趋势诊断低层能量聚积过程和大气热力不稳定条件。

3.6 宁夏强沙尘暴专家预报系统及推理流程

3.6.1 预报系统运行流程

系统首先进行形成宁夏强沙尘暴天气的各种基本条件判读,当强冷空气条件不满足时,未来 24 h 内宁夏区域性强沙尘暴天气排空,并转入区域性大风和局地沙尘暴天气预报流程;否则进行冷空气引导气流识别。当偏北引导气流不满足时,进入区域性大风和局地沙尘暴天气预报推理流程,否则进入附加条件识别、判读,并对宁夏强沙尘暴天气进行落区和影响时间外推。当预报系统按主流程运行结束,并最终排空宁夏区域性强沙尘暴、区域性大风和局地性沙尘暴天气后,系统最后进入动量下传型大风及局地性沙尘暴天气预报流程。

3.6.2 区域性强沙尘暴天气系统推理流程

当系统判断 23 ~ 36 区 700 ~ 500 hPa 有高空气流引导冷空气南下时,则首先识别新疆北部有无强冷空气堆积及强冷空气是否已开始翻越天山。当强冷空气条件具备,则对 40°N 附近高空急流进行识别;当高空引导急流条件具备时,则在预报关键区内依据最近时次的地面场资料对地面冷高压、锋区强度和天气现象等进行识别;当地面冷高压及锋区强度条件满足时,则依据地面风场和变压场实况资料及区域大气层结条件等对沙尘暴天气影响时间、强度及落区进行推理预报。

3.6.3 强沙尘暴天气影响时间预报流程

通过分析近年来宁夏上游强冷锋的移动规律,强沙尘暴天气影响系统在宁夏上游平均移速一般在 $80 \sim 100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 之间,大致相当于高空引导急流 (300 hPa) 风速的 50%,其移动方向与高空急流走向基本一致。因此在推理天气系统影响时间时,我们以地面场 3 h 变压大于等于 3 hPa 及偏北风速大于等于 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或偏北瞬时风速大于等于 $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 作为锋面基准,以冷锋上空 300 hPa 引导急流平均风速的 50% 作为锋面系统移速。

3.7 强沙尘暴、风暴区落区动力诊断预报系统

本落区预报系统的计算资料选用中国气象局 T106 数值预报产品中预报时效为 24、36、48 h 的垂直速度、东西风、南北风、散度 4 个预报量的全层资料,计算范围为 $33^{\circ} \sim 43^{\circ}\text{N}$ $100^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$, 网格距为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 垂直方向格距为 100 hPa。

在计算出选区内各网格点上的高、低空螺旋度后,首先分析高、低空螺旋度的高值轴并确定两轴所围范围内的格点的经度、纬度,其投影区即为中 - α

尺度干飚线或干雷暴所易发生的警戒区。

4 业务应用

本系统基本实现了综合多种预报技术方法应用常规气象信息、数值预报产品、气象卫星制作短期灾害性天气落区、强度和移动路径的现代天气预报业务工作流程,不仅为准确制作宁夏强沙尘暴天气提供了较先进预报的工具和技术分析手段,而且为预报本区与沙尘暴天气相近的其它灾害性天气(大风、寒潮、强降温等)提供了诸多有效的客观依据。由于该系统是建立在对近 20 a 来宁夏沙尘暴天气个例形成机理分析基础之上,并综合了相近预报对象中专家推理思路的一个实时性业务分析预报系统,因此它还可在日常预报制作过程中帮助、引导预报人员全面分析考虑强沙尘暴天气产生的各种成因,减少人为性的失误。

本系统建成后,首先对近 15 a 来宁夏出现的强沙尘暴天气的历史个例进行了回报,预报概括率为 100%。

通过 1996—1997 年 3 月 1 日至 5 月 30 日两个年度的业务试验,该系统在运行的 184 d 中,使用 08、14、20、02 点 4 个时次的资料,在 368 次预报过程中,区域性强沙尘暴天气过程全部排空,实况也未出现区域性强沙尘暴天气过程,空漏报率均为 0。其中于 1996 年 4 月 15 日 08 点、15 日 20 点、16 日 08 点三个时次,准确地预报出了 16 日白天银南以北地区有动量下传大风和局地沙尘暴天气过程;于 1997 年 5 月 14 日 08 点准确地预报出了春夏期间宁夏最强的一次全区性大风天气过程。

目前该预报系统已完成了业务化完善及推广应用工作,近年来作为宁夏气象台强沙尘暴天气的主要预报工具,大幅度地提高了宁夏气象台沙尘暴天气预报水平及服务能力,经 1998—1999 年 3~5 月业务技术评定,其预报准确率 $T_s = 63\%$ 左右。

整个系统软件均由 Fortran77 语言编写,除主控程序外,其它程序均为独立的功能模块。通过调用过程中的虚实结合及公用区语句,可使同一模块处理不同网格范围及层次的数据。整个软件的模块化结构易于其今后修改和功能扩展。预报系统制作一次预报约需运行 10 min 左右。

5 结论与展望

区域性强沙尘暴天气的产生一般会有天气尺度系统作为参照背景,其主要影响系统的漏报率通常较低。未来强沙尘暴预报服务的侧重点应主要集中

于风暴时空分布的精细划分、定位及防灾减灾对策研究。

随着气象监测与预报服务技术水平的不断提高,解决沙尘暴天气预报准确率仅是个时间和技术的问题。但由于沙尘暴天气是恶劣生态环境的产物,如何从根本上遏制沙尘暴天气产生则是一个事关几代人的重大社会、环境问题。沙尘暴防灾、减灾的根本出路在于改善生态环境和不断提高生态调控自然灾害的能力。

依据对沙尘暴形成机理研究和历史演变分析,我们认为生态调控防灾减灾工作的开展,应强调地球科学、环境科学等学科的有机交叉综合,从地球各圈层相互作用过程来揭示强沙尘暴运动规律和成灾机理,加强人口、资源、环境、灾害之间互馈的关系研究,通过土地荒漠化与强沙尘暴间的相互耦合关系以及风暴时空特征,分层次地摸清极限气候条件下生态环境的改良对强沙尘暴天气防灾减灾的生态调节功能,突破传统、被动的气象灾害“预测—救灾”体制,形成更适合现代社会经济可持续发展的高效、动态的“生态治理—灾害控制”的强沙尘暴控制体系。

参考文献 (References):

- [1] Zhao Guangping, Wang fan, Yang Shuping, et al. Study on weather formation cause and forecast methods of strong dust storm in Ningxia [A]. Study on Dust Storm in China [C]. Beijing: Meteorological Press, 1997. 52—58. [赵光平, 王凡, 杨淑萍, 等. 宁夏区域性强沙尘暴天气成因及其预报方法的研究 [A]. 中国沙尘暴研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1997. 52—58.]
- [2] Wang Shigong, Dong Guangrong, Chen Huizhong, et al. Advances in studying sand-dust storms of China [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 349—356. [王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展 [J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349—356.]
- [3] Niu Shengjie, Sun Jieming, Song Jianren, et al. Change trend of dust storm numbers in Helan Mountain area [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(1): 55—58. [牛生杰, 孙继明, 桑建人, 等. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势 [J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 55—58.]
- [4] Zhao Guangping, Wang Lianxi, Yang Shuping. Preliminary research on ecological regulation countermeasure against strong sandstorm in Ningxia [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 447—450. [赵光平, 王连喜, 杨淑萍. 宁夏强沙尘暴生态调控对策的初步研究 [J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 447—450.]
- [5] Shou Shaowen. Mesoscale Synoptic Dynamics [M]. Beijing: Meteorological Press, 1993. 236—239. [寿绍文. 中尺度天气动力学 [M]. 北京: 气象出版社, 1993. 236—239.]
- [6] Li Kaile. A new similarity parameter and its application [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1986, 44(2): 174—183. [李开乐. 相似度及其使用技术 [J]. 气象学报, 1986, 44(2): 174—183.]
- [7] Wang Shujing. Helicity and Torrential Rain Area of Region [R]. Prod-

uct Evaluating Communique of Numerical Forecast ,1995.9 – 10. [王淑静.螺旋度与区域暴雨落区[R].数值预报产品评价公报 ,1995.9 – 10.]

[8] Wu Baojun. Applying Helicity to analysis of torrential rain over the Changjiang Gorges[J]. *Journal of Applied Meteorology* ,1996 (1) 38 – 43. [吴宝俊.螺旋度在分析一次三峡大暴雨中的应用[J].

应用气象学报 ,1996 (1) 38 – 43.]

[9] Dept. of Research and Education in China Meteorological Administration. Teaching Material of Quarters Training of Short-term Weather Forecast in Province or District[M]. Beijing : Meteorological Press ,1998.122 244.[中国气象局科教司.省地气象台短期预报岗位培训教材[M].北京 :气象出版社 ,1998.122 244.]

Short-range Forecast System for Regional
Severe Sandstorm in Ningxia

ZHAO Guang-ping , WANG Lian-xi , YANG Shu-ping

(Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of Ningxia , Yingchuan 750002 , China)

Abstract : The paper is based on real-time diagnosis about three major factors producing severe sandstorm , they are strong cold air , thermal instability and ground layer environment . Through analyzing the three factors , and according to the starting point of severe sandstorm forecast of Ningxia , we similarly test the physical structure of three-dimensional space and dynamic process which produce severe sandstorm , then permeate the comprehensive index and grouping model that have the definite sense of synoptic meteorology and have the ability to practically forecast severe sandstorms of Ningxia . In support of the technology of automatic discernment of synoptic system , and applying the amendment scheme of spiral degree we determin the falling area of severe sandstorm , and then create the automatic and objective system that can monitor and forecast severe sandstorm weather of Ningxia .

Key words : dynamic similarity filter ; spiral degree amendment ; severe sandstorm ; forecast system