

赵光平 施新民 丁永红

(宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002)

提 要

通过对北京 HLAFS 暴雨模式产品中诸多物理量场与历史个例进行动力过程相似检验,在较全面地掌握预报对象的三维空间物理结构和动力过程前提下,通过渗入有明确天气学意义、并对宁夏暴雨有实际预报能力的综合指标和模型,在天气系统自动识别技术的支持下,应用螺旋度修正方案,建立自动、客观化的暴雨落区预报系统。

关键词: 动力相似过滤 螺旋度修正 暴雨 落区

引 言

数值预报产品种类繁多,不仅时空分辨率高,而且时空分布的连续性好,数值预报产品正在成为天气预报走向客观化、定量化方向的发展基础。如何开展数值预报产品应用、提高天气预报质量,是目前世界各国气象界所面临的主要技术课题。美国从 60 年代中期开始开展数值天气预报以来,美国国家气象中心技术发展实验室和天气预报台利用本国数值产品进行数值预报产品解释应用研究工作,通过三种主要预报方法(数学物理方法,统计释用及人机交互方法)分别制作的三类不同的预报产品(数值预报格点指导产品,天气要素指导产品及最终用户预报产品),目前已成为美国现代天气预报的主要内容。

近年来我国的中期数值预报已从 T42L9 发展到了 T106L19 全球模式,取得了巨大进展。面对内容丰富、产品种类繁多、每天数据量近几十兆字节的数值预报产品,如何采用各种释用技术方法来充分挖掘数值预报产品中的有用信息,提高日常预报,特别是灾害性天气预报准确率是我国气象工作者亟待解决的重大技术课题。为了提高宁夏气象台对暴雨天气的预报服务能力和适应宁夏气象服务的特殊需要及城市气象保障的要求,

充分而有效地利用 T106L19 所提供的诸多数值预报产品。随着中国气象通信工程网络的建立,开展宁夏灾害性天气的数值预报产品释用技术研究的条件已经具备。

本项研究通过对北京 HLAFS 暴雨模式产品中诸多物理量场与历史个例进行动力过程相似检验,在较全面地掌握预报对象的三维空间物理结构的动力过程前提下,通过渗入有明确天气学意义、并对宁夏暴雨有实际预报能力的综合指标和模型,在天气系统自动识别技术的支持下,建立自动化客观化的预报流程。

1 技术方法

1.1 暴雨动力相似过滤释用技术方法

能够甄别出实况场是否具备产生暴雨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统、海明距离、欧氏距离等,经过其算式剖析可知,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^[1],意即相似的差异

① 本文得到宁夏气象局现代化建设项目资金资助。

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,比以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:

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

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

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

$$x_{ijk} = x_{ik} - x_{jk},$$

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

在此, E_{ij} 表示了 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。

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:

$$x'_k := (x_k - x_{kmin}) / (x_{kmax} - x_{kmin})$$

$$(k = 1, 2, \dots, m)$$

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_{kmax} , x_{kmin} 分别为所有历史样本原因子数据的最大和最小值。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。

1.2 螺旋度修正量在暴雨落区中的应用技术方法

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^[2~3]。由于暴雨的复杂性,每个暴雨

过程各不相同,因此,用单一或几个物理量进行解释,其总体性和实用性较差。Davies-Jones 等人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),能较好地刻画暴雨典型物理量的空间结构,发挥丰富的、多层次的数值预报产品优势,其天气学意义也十分清晰。

从计算方案^[4]的条件中可以看出,低层螺旋度往往与低槽前部、切变和低空急流等联系在一起,高层螺旋度与具有微弱上升气流的高压后部形势及高空急流有关,两者上下耦合表示的结构是低层有正涡度的辐合上升区,高层有较深厚的辐散、负涡度区。这是一种典型的天气学强降水的垂直模型。高、低空螺旋度高值轴的围区即是暴雨的警戒区。

从螺旋度计算方案与积分条件^[4]分析可知,螺旋度构造量是通过积分量反映暴雨形成的物理机制,用积分限定条件来刻画大尺度天气背景物理量空间结构。由于产生区域性强降水的大气环流背景,通常具有较典型或较明显的物理量空间分布特征,即:大范围的整层抬升性(低层辐合,高层辐散)。据此,参照历史资料统计给定的有暴雨出现的临界值^[5],并作相应地订正处理后,我们对螺旋度计算方案做了如下修正,以此使其能更完整地刻画产生暴雨的物理量空间结构和更精确地反映暴雨形成的物理机制,减少其在日常业务应用中的空报率,提高其实用效果。

①低层螺旋度积分条件,由散度 $D < 0$ 前提下,从 1000hPa 积分下限到第一个无辐散层,并只对 $\omega < 0$ 、 $\xi > 0$ 时进行计算,修正为:散度 $D < 0$,从 1000hPa 积分下限到第一个无辐散层,且其积分厚度要 $\geq 100\text{hPa}$,散度 $D \leq -1 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$,并只对 $\omega < -3 \times 10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\xi > 0$ 时进行计算,否则螺旋度置为 0;

②高层螺旋度积分条件,由散度 $D > 0$ 前提下,从 100hPa,由上而下,积分到第一个无辐散层,并只对 $\omega < 0$ 、 $\xi < 0$ 时进行计算,修正为:散度 $D > 0$,从 100hPa 向下积分到第一个无辐散层,且其积分厚度要

$\geq 100\text{hPa}$; 散度 $D \geq 2 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 并只对 $\omega < -3 \times 10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\xi < 0$ 时进行计算, 否则螺旋度置为 0。

2 预报系统

2.1 系统设计思路与流程

暴雨形成机制复杂, 既有不同尺度的热力动力过程, 也包含有很多微观物理过程, 它是各种天气系统相互作用的结果。不同的暴雨天气过程, 其环流背景、影响系统、三维物理结构和动力模型各有特点。因此, 首先进行排空处理, 当各个预报关键区内均无影响系统及指标诊断条件下不满足时, 系统排空; 其次通过与大量历史暴雨个例多次过滤、反复验证的相似过滤方法, 基本能够甄别实况场是否具备产生暴雨的基本物理条件和三维空间动力模型, 并作为入型的基本标准; 再次依据暴雨的成因, 对形成暴雨的基本条件, 如强烈上升运动、充沛的区域水汽条件或低空急流水汽辐合、极度不稳定大气层结等进行诊断分析, 运用数值预报的动力、热力参数综合模型制作区域暴雨有无预报; 最后利用数值预报产品计算得出的螺旋度构造量在区域暴雨中的应用技术方法, 确定暴雨落区, 并提示进入雷达、卫星监测流程 (见图 1)。

2.2 个例选取与资料范围

选取 1995~1997 年与 HLAFS 资料相对应的单站 24 小时降水量 $\geq 50.0\text{mm}$ 暴雨个例共 7 个 (另 5 次个例无对应资料), 对其物理量场做了全面客观诊断分析, 得出较清晰的三维物理结构和动力模型。其历史建库采用动态追加法。

对自治区气象台目前已形成业务定时传输的北京 HLAFS 全部资料 500hPa 高度、流场、300~500hPa 垂直速度、700hPa 相对湿度进行业务化选区, 存入实时中间资料库。网格范围: $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 。

2.3 暴雨动力相似过滤子系统

利用本文 2.1 中技术方法建立本系统。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。图 2 为其计算流程图。

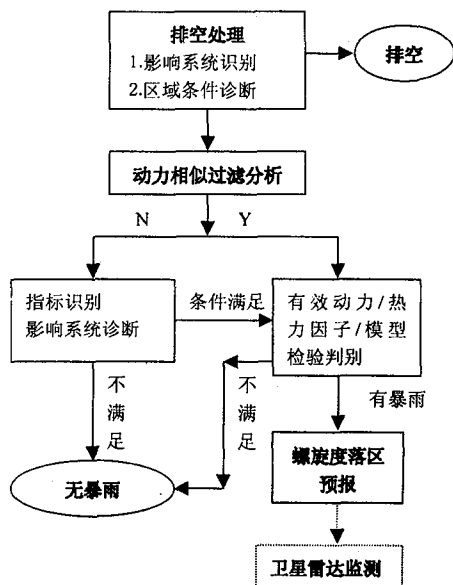


图 1 预报系统流程

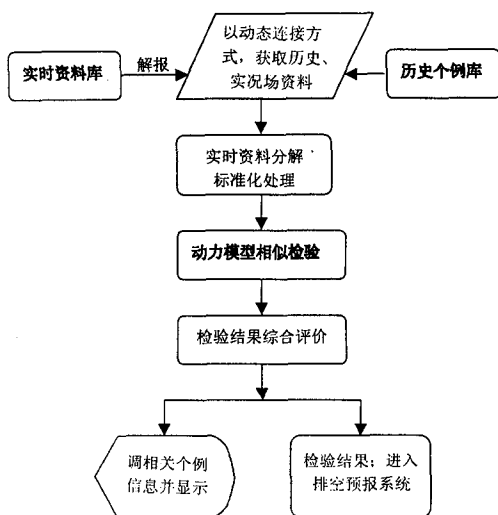


图 2 动力过程相似过滤分析流程

2.4 天气系统分型及自动识别

由于宁夏地处内陆属中温带半干旱气候区, 降水少而集中, 且降水多集中于 6~9 月, 约占全年降水的 60%~70%, 一年中降水日

远远少于无降水日。我们依据影响我区的天气系统主要来自于新疆到河西及蒙古方面的冷空气、高原低涡(含较强偏南气流)和副高西北边缘偏南气流这一特点,首先对这三个关键区内是否存在天气影响系统作为日常降水预报的排空指标。若三个区域内均不存在影响系统则降水预报排空,否则再依据系统识别结果作出类似分型,并根据分型结果的不同决定推理过程。

在软件仅对实况场系统进行识别,系统未来演变需借助于数值预报产品。由于影响我区的主要天气系统有冷槽、冷低压、脊线、切变、低涡及高原和其东部偏南气流等,而任一区域的偏南气流(包括急流)较易于识别,这里我们主要讨论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,由于网格点插值对要素场起了一定平滑作用,可能只能以切变方式反映。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之温度场、变温、变高场和一些物理量场的配合分析,不仅可以识别出其冷暖性质,而且也可以基本上准确地判别出其强度。

2.5 暴雨有无预报子系统

首先通过对实时常规资料场关键区内的客观诊断分析及影响系统自动识别结果确定预报系统处理流程,然后依据暴雨的成因,对形成暴雨的基本条件,如强烈上升运动、充沛的区域水汽条件或低空急流水汽辐合、极度不稳定大气层结等进行分析诊断,并产生判别因子(条件),结合数值预报产品,运用动力、热力参数综合模型制作宁夏区域暴雨有无预报结论。

2.6 宁夏暴雨落区动力诊断预报子系统

本暴雨落区动力预报系统的计算资料选用中国气象局 T106 数值预报产品中的垂直速度(ω)、东西风(u)、南北风(v)、散度(100hPa、1000hPa)4个预报要素的预报时效为24、36、48小时的全层资料,计算范围为 $33^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$,网格距为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ (经纬度),垂直方向格距为100hPa。计算螺旋度的核心程序由中国气象局王淑静提供。

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、纬度,然后将其投影到宁夏相应的站点,即为暴雨落区预报警戒点,再据此生成 MICAPS 第三类数据文件(属暴雨警戒点的站点取值为1,其他取值为0),供 MICAPS 系统调用显示。本系统设有0~12、12~24小时两个预报时段。

3 业务试验

本系统于1999年汛期的宁夏气象台进行了业务化完善与试验工作(7月28日至8月31日),此间共制作宁夏全区暴雨预报35次,全部排空,其空、漏报率均为0%,高于同期自治区气象台日常预报水平(此间自治区气象台共发布银南、固原局地大-暴雨预报各1次;银南、固原局地大雨各3次,实况均未出现)。系统试验结果表明,利用数值预报产品做宁夏暴雨预报不仅可行,同时也提高了暴雨预报制作过程中的客观、自动和定量化水平。

参考文献

- 1 李开乐.相似高度及其使用技术.气象学报,1986,44(2):174~183.
- 2 王淑静.螺旋度与区域暴雨落区.数值预报产品评价公报,1995,9~10.
- 3 吴宝俊.螺旋度在分析一次三峡大暴雨中的应用.应用气象学报,1996,1.
- 4 中国气象局科教局.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,1998:122.
- 5 中国气象局科教局.省地气象台短期预报岗位培训教材.北京:气象出版社,1998:244.

(上接第 35 页)

The Dynamic Similarity Filter Rainstorm Forecast System in Ningxia

Zhao Guangping Shi Xinmin Ding Yonghong

(Ningxia Weather Bureau, Yinchuan 750002)

Abstract

Through similarity test of the dynamic process of many physical filed and historical cases of the Beijing HLAFS rainstorm model, the physical structure of three-dimensional space and the dynamic process of forecasted object were understood. Then the synthetical index and model that have a definite sense of synoptic meteorology and the ability to practical forecast Ningxia's rainstorm were introduced. In support of the technology of automatic discernment of synoptic system, and applying the amendment of spiral degree, the automatic and objective system that may forecast the falling belt of rainstorm were established.

Key Words: dynamic similarity filter spiral degree amendment rainstorm rain belt