

张书余

(河北省气象台, 石家庄 050021)

## 提 要

从散度方程出发, 推导出了不平衡场, 并应用一层中尺度模式为 T42L9 模式的地面风场引入由中、小地形影响产生的中、小尺度天气系统, 建立了一个符合郭晓岚对流参数化原理的强对流天气预报动力释用系统。通过实例分析和业务应用, 证明该释用方法取得了较好的业务效果。

关键词: 不平衡场 强对流天气 动力释用 预报流程

## 引 言

雷电是河北省夏半年主要的灾害性天气之一, 大量的研究表明<sup>[1]</sup>地形对强对流天气的发生、发展是非常重要的, 在国家气象中心提供的 T42L9 模式中, 只引入了大地形对天气系统的影响, 而没有考虑中、小地形对天气系统的作用, 因此, 用 T42L9 模式提供的产品制作局地强对流天气预报就存在着一些问题。

文献[1]提供了一个可用于业务的中尺度模式, 应用它就可以将中、小地形对中、小尺度天气系统的影响信息引入 T42L9 地面风场, 在此基础上, 本文根据郭晓岚的对流参数化原理建立了一个强对流天气预报动力释用系统。

## 1 散度方程在强对流天气预报中的应用

如何准确的预报强对流天气的发生及落区? 根据郭晓岚的对流参数化原理, 必须满足如下一些条件: 在位势不稳定的前提下, 只要近地面有净的水汽辐合, 高层有辐散, 并有垂直上升运动存在, 就可以产生强对流天气。下面应用散度方程导出一套基本上满足上述条件的关系式。

## 1.1 不平衡场的引出

应用算子 $(\nabla\{\})$ 作用一下无摩擦的运动方程, 即可得到如下形式的散度方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial t} + \nabla \cdot \omega \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial p} = \\ - \nabla^2 (\Phi + \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}}{2}) \\ - \nabla \cdot (\mathbf{k} \times \mathbf{V}(\zeta + f)) \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $D$  为水平散度 $(\nabla \mathbf{V})$ ,  $\mathbf{V}$  是等压面上的水平速度矢量,  $\Phi$  为位势高度,  $\mathbf{k}$  为单位垂直矢量,  $\zeta$  为相对涡度垂直分量,  $\omega$  为相对于  $p$  的垂直速度。

由式(1)得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega + \omega \frac{\partial \nabla \mathcal{V}}{\partial p} = \\ - \nabla^2 \Phi - \nabla^2 \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}}{2} - \nabla \cdot (\mathbf{k} \times \mathbf{V}(\zeta + f)) \end{aligned} \quad (2)$$

文献[2]指出  $\frac{\partial D}{\partial t}$  是小项可以忽略, 则式(2)得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega + \omega \frac{\partial D}{\partial p} = \\ - \nabla^2 \Phi - \mathbf{V} \cdot \nabla D - \nabla \cdot (\mathbf{k} \times \mathbf{V}(\zeta + f)) \end{aligned} \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 方程左侧各项为垂直变化项, 右侧各项为水平变化项, 它包括位势高度的拉普拉斯, 平流散度和绝对涡度三项。大量的研究指出, 当地转风平衡时, 散度为零, 即:  $\nabla^2 \Phi = -\nabla \cdot (\mathbf{k} \times \mathbf{V}(\zeta + f))$ 。反之, 也就是说当风场和气压场不平衡时, 必然导致大气质量场的源与汇, 上升与下沉, 形成垂直环流。

这种不平衡场的存在是导致大气对流的动力因素之一。

根据如上分析,定义式(3)右侧各项总和为不平衡场,用  $U$  表示:

$$U = \frac{\partial V}{\partial p} \cdot \nabla \omega + \omega \frac{\partial D}{\partial p} \quad (4)$$

式(4)中,散度平流项  $\omega \frac{\partial D}{\partial p}$  有4种可能的结合,其中  $\omega < 0$  与  $\frac{\partial D}{\partial p} < 0$ ,  $\omega > 0$  与  $\frac{\partial D}{\partial p} > 0$  两种情况发生在大气深厚的层次,并且产生正的散度平流,另外两种情况产生负的散度垂直平流,这两种情况仅仅发生在平均气流内部弱的次级环流上。在这4种情况中,仅有  $\omega < 0$  与  $\frac{\partial D}{\partial p} < 0$  这一种情况最有利于强对流天气发生,它基本上满足高层辐散( $D > 0$ )、低层辐合( $D < 0$ ),并具有垂直上升运动的条件。

式(4)中的倾斜项可用下面的形式来表示:

$$\frac{\partial V}{\partial p} \cdot \nabla \omega = \frac{\partial V_s}{\partial p} \frac{\partial \omega}{\partial s} \quad (5)$$

其中  $s$  是与气流相平行的单位矢量,式(5)是由风速随高度的变化和垂直速度的水平梯度

$$\begin{aligned} U(i, j) = & -\omega_{500}(i, j) [(D_{200} - D_s(i, j))/800] \\ & + \left[ \frac{u_{850}(i, j) - u_s(i, j)}{150} + \frac{u_{500}(i, j) - u_{850}(i, j)}{350} \right. \\ & \left. + \frac{u_{200}(i, j) - u_{500}(i, j)}{300} \right] \times \left[ \frac{\omega(i+1, j) - \omega(i-1, j)}{16 \times 10^3} \right] \\ & + \left[ \frac{v_{850}(i, j) - v_s(i, j)}{150} + \frac{v_{500}(i, j) - v_{850}(i, j)}{350} \right. \\ & \left. + \frac{v_{200}(i, j) - v_{500}(i, j)}{300} \right] \times \left[ \frac{\omega(i, j+1) - \omega(i, j-1)}{16 \times 10^3} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

由式(6)即可计算出  $42 \times 42$  个网格点的不平衡场。

### 1.3 实例计算分析

利用式(6)对1991年6—9月在河北省范围内发生的69次强对流天气过程进行了事后预报计算,计算的个例为6月20次,7月24次,8月11次,9月14次。下面以1991年6月15日,7月9日,11日三次过程为例,给出不平衡场与雷暴发生区的关系。

图1是1991年6月14日20时不平衡场的24小时预报和15日雷暴实况分布图,

决定了,表明了垂直速度的水平梯度与随高度的垂直风切变之间的相互作用。Maddox (1973)<sup>[3]</sup>指出风速随高度增加,风向随高度顺时针转有利于强对流发生,即  $\frac{\partial V_s}{\partial p} < 0$ , 这意味着有正涡度平流。Willis(1969)年指出,在雷暴发生区,垂直速度由下游向上游增加,倾斜项的净效应在最大上升速度区的下游产生正的散度倾向,在满足如上两项最佳结果时,最有利于强对流产生。

### 1.2 计算方案

式(4)是不平衡场的最终计算公式,计算区域,网格距同文献<sup>[1]</sup>,不满足这种网格条件的采用 Gressman 方案插值完成。

所需的 T42L9 模式的资料主要包括:500hPa 24 小时垂直速度预报场( $\omega$ ),200hPa 24 小时散度( $D$ )预报,850hPa、500hPa、200hPa 预报风场及 T42L9 模式提供的 850hPa 24 小时温度、位势高度预报场等资料,用 Mass 中尺度模式作诊断运行后的地面风场、散度场。

计算格式:

从图中可以看出雷暴基本上发生在  $0 < U < 10 \times 10^{-10} \text{s}^{-2}$  的范围内,仅北京地区少数站在此区之外发生,该次强对流天气过程从15日13时开始,由西北向东偏南方向移动,山西雁北地区、河北的张家口、承德、保定西北部、北京大部先后出现了雷暴天气,并伴有8—9级短时大风,其中14—17时,河北省张家口和承德两地区有6个县降了冰雹,降雹区基本上集中在  $U = 9 \times 10^{-10} \text{s}^{-2}$  附近。

图2是1991年7月8日20时不平衡场24小时预报和9日雷暴实况分布图。该过程

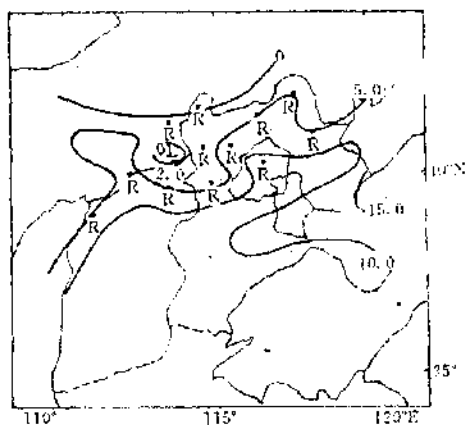


图1 1991年6月14日20时不平衡场24小时预报和15日雷暴实况分布

是一次冷锋过境天气过程,冷锋大约14时到20时由西北向东南呈西南东北向通过山西、河北两省,从图中看出在山西中北部、河北大部均产生了雷阵雨,它们发生的区域基本上落在 $0 < U < 13 \times 10^{-10} \text{s}^{-2}$ 的范围内。其中河北的张家口、保定西部、山西的东北部有14个县降了冰雹,冰雹直径基本上在3—14mm之间,降雹区基本上位于 $9 \times 10^{-10} \text{s}^{-2} \leq U < 13 \times 10^{-10} \text{s}^{-2}$ 的范围内。

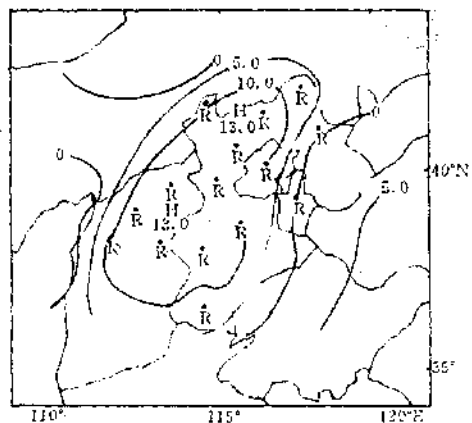


图2 1991年7月8日20时不平衡场24小时预报和9日雷暴实况分布

图3是1991年7月10日20时不平衡场24小时预报和11日雷暴实况分布图,该过程是一次暖区强对流天气过程,在850hPa天气图上,山西、河北交界地区存在一个近似

南北向的辐合线,地面为均压场,在山西东部、河北北部、西部均出现了雷雨天气,并伴有短时大风,仅有河北省的唐山、秦皇岛两市未出现对流天气。

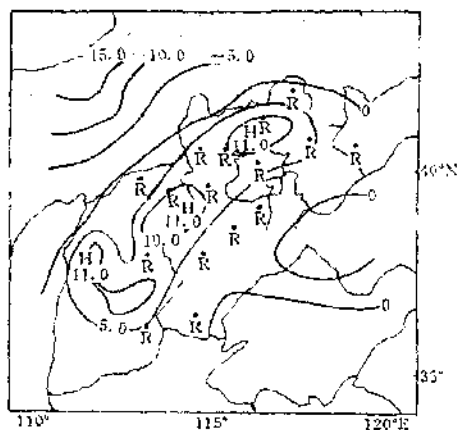


图3 1991年7月10日20时不平衡场24小时预报和11日雷暴实况

以上3个实例是华北强对流天气发生的常见的三种环流形势,通过这些实例的分析,可以初步的确定,不平衡场对强对流天气的发生、发展有较好的预报价值。

## 2 河北省强对流天气动力释用流程

图4是河北省强对流天气动力释用流程图,它完全符合郭晓岚对流参数化原理,整个流程共分五步。第一步首先判断河北省区域上空是否大气层结不稳定,如果张家口、北京、邢台三个探空站的沙氏指数小于或等于零就可以确定河北省区域上空是不稳定的,否则全省将无雷暴发生。如果第一步成立,流程将运行第二步500hPa位势高度24小时预报场分型,具体分型办法见文献[4]。第二步成立,流程将启动第三步,运行改进后的一层中尺度模式,在AST486微机上,模式只需运行4分钟左右就可以输出6小时地面诊断风场,从而将华北中、小地形对中、小尺度天气系统影响的信息引入到T42L9模式提供的地面风场之中去。第四步利用T42L9模式输出的各有关物理量和一层模式诊断的风场计算不平衡场,并插值到31个气象台站上空,第五步判断31个台站上空不平衡场是否满足 $0 < U < 18 \times 10^{-10} \text{s}^{-2}$ ,该指标是计算1991

年69次强对流天气过程的不平衡场与雷暴落区的对应关系统计获得的。如果 $U$ 满足如上指标,则该站未来24小时内有雷暴发生,否则将没有。最后从计算机屏幕或打印机上输出31个台站的对流天气预报结果。

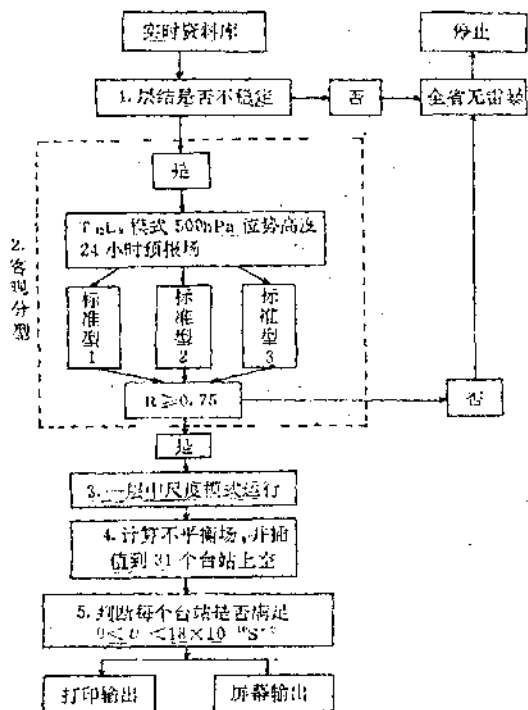


图4 河北省强对流天气预报流程

### 3 业务应用情况

1992—1994年6—9月在河北省气象台进行了业务试验,取得了比较好的效果,如附表所示,评定方法是对河北省31个台站的预报结果与实况采用如下4个公式进行计算:

$$T_s \text{ 评分: } T_s = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c}$$

$$\text{漏报率: } P_o = \frac{N_c}{N_a + N_c}$$

$$\text{空报率: } N_H = \frac{N_b}{N_a + N_b}$$

$$\text{预报效率: } E_H = \frac{N_a + N_d}{N_a + N_b + N_c + N_d}$$

其中 $N_a$ 是预报有雷暴,并且实际观测也有雷暴发生的站数, $N_c$ 为预报无雷暴而观测有雷暴的站数, $N_b$ 为预报有雷暴而实际无雷暴的站数, $N_d$ 为预报、观测均无雷暴的站数。

附表 强对流天气动力释用效果评定

年份	过程次数	$T_s$ 评分	漏报率	空报率	预报效率
1992	42	0.64	0.13	0.20	0.86
1993	43	0.66	0.21	0.19	0.81
1994	33	0.60	0.20	0.27	0.71

从附表的评定结果可以看出,该动力释用预报准确率基本上达到了70%以上,空、漏报率小于27%, $T_s$ 评分达到了比较好的水平,该预报方法有一定的业务使用价值。

### 参考文献

1. Shou Shaowen 和 Zhang Shuyu. A Numerical Experiment with effect of a complicated terrain on the mesoscales systems. ACTA Meteorological Sinica, 1992, 6(4): 450—461.
2. House, D. C. The divergence equation as related to severe thunderstorm forecasting. Bull. Amer Meteor. Soc, 1961, 42: 803—816.
3. Maddox, R. A. A study of tornado proximity data and an observationally derived model of tornado genesis. Atmos Sci Paper 212 101pp (Colorado State University).
4. 张书余. 强对流天气的客观分型. 河北气象, 1991年第2期.

## Dynamical Interpretation of Severe Convective Weather

Zhang Shuyu

(Meteorological Observatory of Hebei Province, Shijiazhuang 050021)

### Abstract

A dynamical interpretation system of severe convective weather consisting with principle of Guo Xiao lan's convective parameterization is built. Analysis and application of severe convective events show that dynamical interpretation technique has obviously increased the capability of objective forecasting of severe convective weather.

**Key Words:** unbalanced field severe convective weather dynamical interpretation forecasting system