

不平衡场在甘肃平凉市强对流天气预报中的释用

王若升,樊晓春

(甘肃省平凉市气象局,甘肃 平凉 744000)

摘 要:通过对平凉市强对流天气发生发展的高空环流形势进行合成分析,归纳出平凉市强对流天气的 500 hPa 典型场模型和环境场特征;利用 T213 数值预报格点资料对 2008 年 6~9 月逐日资料计算不平衡场,探讨了不平衡场与平凉市强对流天气的对应关系,通过实例分析和业务应用,该释用方法取得了较好的业务效果。

关键词:强对流天气;合成分析;不平衡场

中图分类号:P434+.5

文献标识码:A

引 言

强对流天气是平凉市夏季主要的灾害性天气。它是大气对流活动强烈发展而产生的灾害性天气,常具有突发性,其预报时效短、准确率低,通常采用临近预报方法。国内气象学者对强对流天气预报方法的研究已有很多工作^[1-6],但实用有效的短期短时效预报方法尚不多见。近年来我国数值预报水平不断提高,各级台站不同程度地开展数值预报产品的释用,大都采用天气或统计学方法对一般降水和气温等要素进行释用^[7-13],但是动力释用方法开展的较少,张书余等提出了强对流天气动力释用方案^[4],建立了河北省强对流天气动力释用系统,取得了较好的效果。为了提高强对流天气预报的准确率和预报时效,平凉气象台在总结了原有强对流预报方法的基础上,参考上述方案,利用 T213 数值预报资料,开展强对流天气预报的释用。用该方法对 2008 年平凉市的强对流天气进行试报,效果良好。

1 强对流天气的合成环境场特征

1.1 500 hPa 环流分型

强对流天气与大尺度环流背景有着密切的联系。利用强对流天气发生前一天或当天 08 时 500 hPa 天气图,我们对平凉市 7 县(区)100 多次强对流个例(5~9 月)进行合成分析,划分出平凉市强对流天气的 500 hPa 高空形势主要有 4 种类型,即蒙

古冷涡类(占 57%)、河套低(压)槽类(占 25%)、西方小槽类(13%)和西南气流类(占 5%)。

1.1.1 蒙古冷涡类

蒙古低涡形成,环流的径向度明显发展,由于阻塞形势比较稳定,往往可以造成一个强对流天气的多发段和多雹时段。具体有以下 4 种形势:(1)蒙古西部有一低压,其西南有一槽伸向河西,东移造成平凉市雷阵雨冰雹天气,约占本类的 20%;(2)蒙古北部或贝加尔湖为一大低压,其后部有冷空气或气旋性曲率沿其底部西风带东移,并逐渐加强。这是造成平凉市雷雨冰雹天气最多的一种,约占本类的 50%(图略),这种形势有时一连几天降雹,如 1984 年 8 月 19~24 日,连续降雹 4 d;(3)蒙古大低压中有 2 个或以上小低压,按气旋性曲率在内部旋转并甩下一个,这种形势造成的雷雨冰雹约占本类的 25%,有时也可连续降雹,如 1983 年 8 月 23~28 日降雹持续 6 d;(4)本市处于蒙古东部低压后强西北气流中,无高度、温度槽配合,也无地面冷锋、切变配合,这种形势下出现热对流雷阵雨冰雹天气,只在盛夏出现,次数较少,约占 5% 左右。

1.1.2 河套低(压)槽类

主要由于河套低槽南压加深形成此类雷雨冰雹形势,具体有 2 种:(1)河套以北有低槽(有时接近横向槽),由于蒙古西部到河西、新疆的高脊较强,或有向北加强趋势,使河套槽南下加强而形成,这种形势冰雹约占本类的 60%;(2)河套及其以东地区

已形成低压,低压在东移中对应其后部地面也有冷空气配合东移,这种形势造成雷雨冰雹约占本类的40%,如2007年7月23~26日的持续冰雹天气(图略)。

1.1.3 西方小槽类

这类形势的直接影响系统是西西北气流中的短波槽(图略),相应地图上配有西北或西路冷锋,但一般降雹强度不大,也有2种形势:(1)平直西风中西西有小冷槽东移,并有弱锋区配合;(2)河西几个小高环流之间的切变东移,切变内有负变温配合。

1.1.4 偏南气流类

此类以东高西低为主要特征。本市处于副热带高压边缘,盛行西南气流,但在马鬃山到磴口间仍有西北气流,辐合线在40°N、100°E附近。当有西南气流负变温移于平凉市上空时,雷雨中有时伴小冰雹,危害甚少,一般盛夏才有此类形势(图略)。

1.2 合成环境场特征

大范围强对流天气在满足发生强雷暴的大环流形势下,有组织的雹暴系统不是随机发生和分布的,而是出现在特定的地区和时间,必须具备一定的强雷暴天气的局地环境条件。观测和数值模拟研究有关成果表明,强雷暴动力结构及潜在的影响力很大程度上取决于环境的热力不稳定、风的垂直切变和水汽的垂直分布3个因子,它们相互作用决定了强对流天气的演变、发展和强度^[7]。为此,我们通过对2001~2008年平凉市强对流天气10多个典型个例成因机制的合成分析和环境场物理量诊断得出以下特征:

(1)平凉市区域性强雷暴80%以上发生在蒙古冷涡或河套低压槽的影响系统下,如2005年5月30日,甘肃省河东地区出现的大范围强对流天气,强中心在庆阳,冰雹最大直径75 mm,影响系统是蒙古冷涡;2007年7月23~26日甘肃陇东的持续强对流天气,平凉华亭连续3 d降雹,影响系统是河套低压;2008年7月18~21日甘肃省大部分地区发生强对流天气,大风、暴雨、冰雹袭击定西、平凉、天水等地,平凉市静宁县最重,直接经济损失3.4亿多元,影响系统是河套低压;

(2)在蒙古冷涡或河套低压槽系统与低层暖湿舌相互作用下,对流层中高层具备上冷下暖,主要反映在300~500 hPa蒙古或河套为明显冷温度槽,对应700 hPa平凉上游地区为暖湿平流,构成强对流天气发生必须的物理条件;

(3)在对流层中高层500~300 hPa,兰州以西有一支 ≥ 16 m/s西北气流强风速带,对应200 hPa有一支 ≥ 32 m/s急流带,急流轴强中心风速位置在35~40°N,100~106°E,平凉市处在急流轴出口区强风速中心下游;

(4)分析平凉上游及周围101~111°E,32~39°N区域的平均散度、垂直速度和水汽通量散度的垂直分布,水汽通量辐合主要表现在700 hPa以下,低层辐合和高层辐散的抽气机制将暖湿空气向上输送,在午后层结不稳定的环境中对流天气得以发展;

(5)分析强对流天气出现当日700~300 hPa平凉及周围的平均风垂直切变,发现强切变层在500~300 hPa,平凉最大,特别是强冰雹日,与其强切变中心对应。

2 不平衡场的引入及计算

综合上述分析,在大尺度环流形势有利于产生强对流天气时,要较准确预报冰雹天气的发展、演变及强度、落区,还要综合分析判断有利于产生强对流天气的环境场特征,即高空急流或强风速带和中低层有风的强垂直切变,高空辐散,低空辐合,大气层结的稳定度等。

根据郭晓岚的对流参数化原理^[8],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,就有利于产生强对流冰雹等天气。文献[4]由散度方程推导出不平衡场。

应用算子 ∇ 作用于无摩擦的运动方程,得到简化形式的散度方程:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega + \omega \frac{\partial D}{\partial p} = -\nabla^2 \varphi - \vec{V} \cdot \nabla D - \nabla(\vec{K} \times \vec{V}(\zeta + f)) \quad (1)$$

从(1)式可以看出,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、散度平流和绝对涡度3项。当地转风平衡时,散度为0,即:

$$\nabla^2 \varphi = -\nabla(\vec{K} \times \vec{V}(\zeta + f)) \quad (2)$$

反之,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运动的动力因素之

一。

根据以上分析,式(1)左侧各项的总和定义为不平衡场,用 U 表示:

$$U = \frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega + \omega \frac{\partial D}{\partial p} \quad (3)$$

(3)式中散度对流项, $\omega \frac{\partial D}{\partial p}$ 仅当 $\omega < 0$ 与 $\frac{\partial D}{\partial p} < 0$ 时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($D < 0$),且有垂直上升运动的条件。

倾斜项 $\frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega$ 可为表示:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \cdot \nabla \omega = \frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \frac{\partial \omega}{\partial s} \quad (4)$$

式(4)由风速随高度的变化和垂直速度的水平梯度决定,表明垂直速度的水平梯度与垂直风切变之间的相互作用。当风速随高度增加,风向随高度顺时针旋转(这意味着有暖平流)并且上升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时有利于强对流产生。

所以在计算 U 时,只有在满足上述分析的最佳结果时,说明低层有水汽辐合,高层有辐散,并有强烈的上升运动和风场的垂直切变,有利于强对流冰雹等灾害性天气产生,并对其落区预报有较好的提示作用。

3 不平衡场在强对流天气过程中的释用

选用 T213 数值预报产品提供的 20 时 500 hPa 垂直速度场,200 hPa 与 850 hPa 的散度场,200、500、700、850 hPa 的风场资料,利用 U 场计算公式的差分格式以 20 时为起点分别计算 T213 资料 0 ~ 72 h 每 6 h 的不平衡场。对河东地区(101 ~ 111°E, 32 ~ 39°N)2008 年 6 ~ 9 月逐日不平衡场 U 进行了计算,发现不平衡场与平凉市强对流天气强度和落区(以冰雹为主)有很好的对应关系:

(1)当 $3 < U < 20$ 时,平凉市易发生冰雹,2008 年 6 ~ 9 月的 6 次冰雹过程,其中有 4 次落在其区

域;

(2)当 $U < 3.0$ 时,平凉市不易发生冰雹天气或为弱的冰雹天气,2008 年 6 ~ 9 月的 6 次冰雹过程,有 2 次在其范围内,但这 2 次冰雹过程的范围、强度都比较小,基本无灾害;

(3)当满足条件(1)时,也有少数个例未出现冰雹天气,分析发现大多是由于当时大尺度环流形势不具备产生冰雹的天气影响系统或大气层结稳定。

本文选取 2008 年 6 月 26 ~ 28 日和 7 月 18 ~ 19 日河东出现的强对流天气的 U 场计算结果,具体讨论不平衡场与强对流天气的对应关系。

2008 年 6 月 26 ~ 28 日,受蒙古冷涡影响甘肃河东出现了一范围较大强对流天气,28 日平凉市华亭县 3 个乡镇出现冰雹,受灾严重。利用 27 日 20 时 T213 预报场计算出的 28 日 14 时、20 时不平衡场,在陇东地区有就有 $U > 3.5$ 的大值中心(图 1), U 场最大值在崆峒区附近格点上。

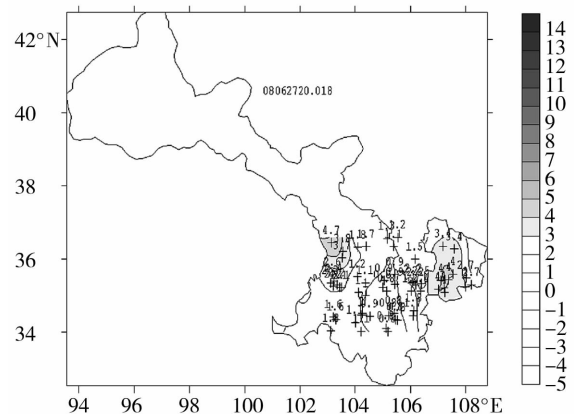


图 1 2008 年 6 月 28 日不平衡场计算结果

Fig. 1 The unbalanced field on June 28, 2008

2008 年 7 月 18 ~ 21 日,受河套低压影响,甘肃河东出现了强对流天气,大风、暴雨、冰雹袭击定西、平凉、天水等地,平凉市静宁县灾情十分惨重,直接经济损失 3.4 亿多元。利用 7 月 17 日 20 时的 T213 资料为初始场,计算出每 6 h 的不平衡场,在 18 日 14 时的预报图上陇西、张家川、礼县及武都附近的 4 个格点出现了 $U > 8.0$ (5 ~ 10) 高值区(图 2), U 值最大中心在陇西、张家川附近,中心值达 16.9。随着低压减弱东移,这次强对流天气过程由西向东移动,18 日下午 U 场高值中心附近的临洮、陇西、渭源、武山、清水等地先后出现冰雹,19 日平凉市崆峒、静宁、华亭等地也先后降雹。这次降雹过程中,雹区基本集中在 $U > 8.0$ 的范围。

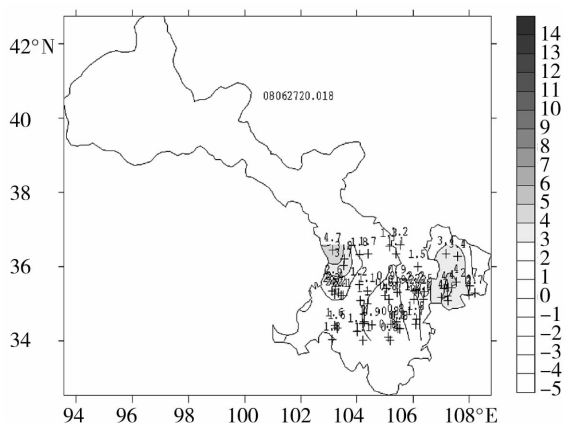


图2 2008年7月18日不平衡场计算结果

Fig. 2 The unbalanced field on July 18, 2008

通过上述分析得出,平凉市发生强对流天气时,大尺度环流形势应具备4种情形(主要是前2种类型),并要有利于产生强对流天气的环境场条件和大气层结不稳定条件。在上述条件具备时,分析不平衡场,当 U 值在有利产生强对流天气时(主要指冰雹)的范围时,该区域就容易产生冰雹等强对流天气。

4 小结

(1)平凉市降雹前500 hPa形势有它特定的类型特征,分析掌握降雹前500 hPa环流形势,是做好冰雹过程预报的基础,其中蒙古冷涡和河套低压槽是冰雹天气的主要影响系统。

(2)平凉冰雹天气发生时环境场有较明显的特征,上冷下暖的层结配置、对流层中上层的强风速带、高空急流、低层水气辐合等均是短期预报的着眼点。

(3)不平衡场 U 值对冰雹落区预报有很好的指示意义,平凉市冰雹天气主要产生在 $3 < U < 20$ 的区域,对不平衡场的应用还需不断的总结。

(4)利用我国T213的数值预报产品计算出的不平衡场与环境层结实况资料相结合,对平凉市冰雹天气的短期及短时预报有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 伍志方,张春良,许焕斌.应用二维冰雹云模式做冰雹预报[J].高原气象,2000,19(1):121-128.
- [2] 王宏,雷恒池,德力格尔,等.黄河上游地区强对流云特征的模拟分析[J].气候与环境研究,2002,7(4):397-408.
- [3] 叶渝汉,赵玲玲.强对流天气短时天气预报方法初探[J].气象,1991,16(2):17-21.
- [4] 张书余.强对流天气预报的动力释用[J].气象,1995,21(11):46-49.
- [5] 王笑芳,丁一汇.北京地区强对流天气短时预报方法的研究[J].大气科学,1994,18(2):173-183.
- [6] 樊晓春,董彦雄,李致君,等.T213资料在冰雹短期预报中的释用[J].干旱气象,2004,22(1):38-43.
- [7] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006.90-95.
- [8] 郭晓岚.对流参数原理[M].北京:气象出版社,2002.11-12.
- [9] 董安祥,张强.中国冰雹研究的新进展和主要科学问题[J].干旱气象,2004,22(3):68-72.
- [10] 王璉,董安祥,沈治广.一次连续性冰雹天气过程的诊断分析[J].干旱气象,2004,22(1):44-48.
- [11] 赵红岩,宁惠芳,徐金芳,等.西北地区冰雹时空分布特征[J].干旱气象,2005,23(4):37-40.
- [12] 景怀玺,徐科展,石圆圆,等.T213数值预报产品在白银市盛夏中雨以上降水中的释用技术[J].干旱气象,2008,26(1):83-88.
- [13] 王陇,刘卫民,贾海源,等.甘肃陇东南地区大到暴雨当时场环流气候特征分析[J].干旱气象,2005,23(4):30-36.

Interpretation of Unbalanced Field in Forecast of Severe Convective Weather in Pingliang of Gansu Province

WANG Ruosheng, FAN Xiaochun

(Pingliang Meteorological Bureau of Gansu Province, Pingliang 744000, China)

Abstract: Based on the composite analysis of high-level circulation under the situation of severe convective weather in Pingliang of Gansu Province, the typical field model and environmental field feature at the level of 500 hPa in severe convective weather process were summarized. Meanwhile, the daily unbalanced fields from June to September in 2008 were calculated by using T213 mathematical forecast products, and the relationship between the unbalanced field and strong convective weather was discussed. It showed that dynamical interpretation technique has obviously increased the capability of objective forecast for severe convective weather events in actual operation application.

Key words: severe convective weather; synthetic analysis; unbalanced field